

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

5.7 Farklı Koşullar Altında Dağılım Yasası

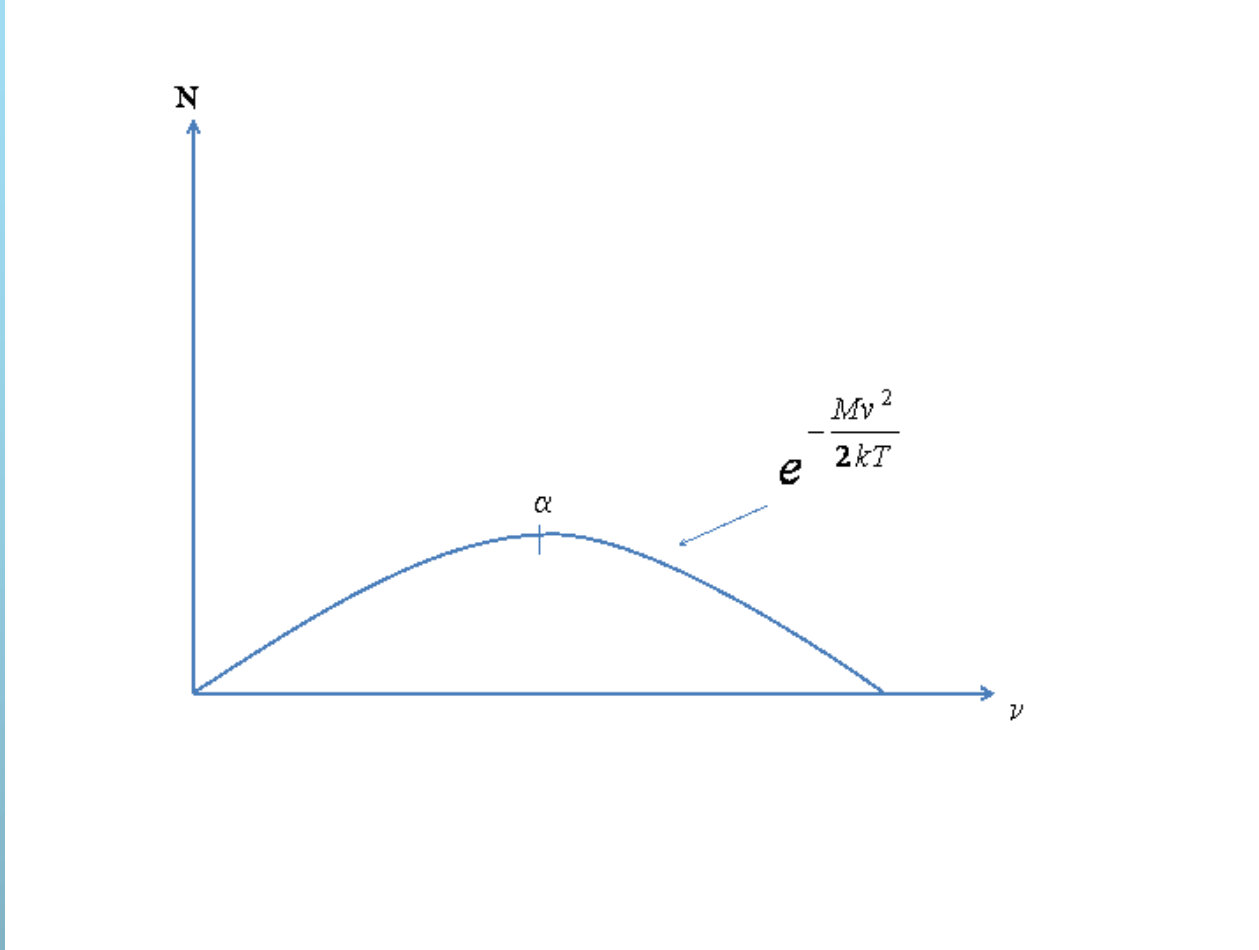
Hızların Maxwell dağılım yasası, doğanın en sürekli olaylarından biridir. Maxwell Dağılım Yasası :

$$N(v)dv = 4\pi N(M/2\pi kT)^{3/2} v^2 \exp(-Mv^2/2kT) dv \dots\dots(15)$$

Burada, **en olası hız** : $\alpha = (2kT/M)^{1/2}$ dir ki bu, (15) denkleminin maksimumudur. **En olası hız** kütle ile **ters orantılıdır**. Kütle arttıkça **en olası hız küçülür** fakat kütle ne olursa olsun sıcaklık arttıkça tüm parçacıkların hızı artar. (15) denkleminin grafiği **Şekil 64** de gösterilmektedir. Eğrinin **başlangıç** noktasının sıfır olmasının nedeni v^2 çarpanından, maksimumdan sonraki azalma da $\exp(-Mv^2/2kT)$ deki v^2 den ileri gelir.

Farklı koşullar altında, atomlar ve moleküller herhangi bir **T sıcaklığına** uygun bir **Maxwell dağılımı** verirler; **bu sıcaklığa** gazın **kinetik sıcaklığı** denir.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)



Şekil 64. (15) denkleminin grafiği. Eğrinin başlangıcı ile maksimumumundan sonraki kısmınaa etki eden faktörler

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Örneğin Langmiur ve Tonks'un deneyleri, bir gaz deşarjının içindeki elektronların hemen hemen bir Maxwell dağılımı verdiklerini göstermiştir. Hatta bir gaz bulutsusunda elde edildiği gibi değişik koşullar altında bile elektronlar bir Maxwell dağılımına uyarlar. (15) ile belirli Maxwell yasası,

1°) Parçacıklar çarpışmalar dışında birbirine etki etmiyorlar, ve

2°) Gazın termodinamik dengede

olduğu varsayımlarına dayanır.

Gerçekte ilk varsayım doğru değildir. Zira parçacıklar birbirlerine çekim etkisinde bulunurlar. Dolayısıyla Maxwell yasasından sapmalar söz konusu olacaktır. Parçacıklar arasındaki etki $PE(r)$ olup, şayet parçacıklar için,

$$(3/2)kT \gg | PE(r) |$$

ise, bu durumda Maxwell yasası geçerlidir diyebiliriz. $PE(r)$ nin bu koşulu iyonlaşmış ve nötr hidrojene uygulanırsa,

$$(3/2)kT \gg | PE(r) | \quad \text{den}$$

İyonlaşmış hidrojen için ; $T \gg 2 \times 10^{-3} N^{1/3}$

Nötr hidrojen için ; $T \gg 10^{-19} N$

elde edilir. Burada N , cm^3 teki parçacık sayısıdır.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Örnekler :

1°) Yıldızlararası maddede hidrojen sayısı $N \approx 10^6 \text{ cm}^{-3}$ ve $T = 100 \text{ }^\circ\text{K}$ alınırsa,

$$T \gg 10^{-19} N$$

elde edilir. Görüldüğü üzere koşul sağlanıyor, dolayısıyla Yıldızlararası maddede Maxwell yasası geçerlidir (İdeal gaz yasası da geçerlidir).

2°) Güneş atmosferinde $T \approx 6000 \text{ }^\circ\text{K}$ ve nötr hidrojen için $N = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ tür.

$$(3/2)kT \gg |PE(r)| \quad \text{veya}$$

$$T \gg 10^{-19} N$$

koşulu sağlandığından Maxwell yasası geçerlidir.

3°) Güneş merkezinde $T = 1.6 \times 10^7 \text{ }^\circ\text{K}$ olup hidrojen iyonlaşmış durumdadır ve $N \approx 10^{26} \text{ cm}^{-3}$ tür. Buna göre

$$T \gg 2 \times 10^{-3} N^{1/3}$$

koşulu kullanılırsa,

$$1.6 \times 10^7 \gg 2 \times 10^{-3} (10^{26})^{1/3}$$

$$1.6 \times 10^7 \gg 2 \times 10^6$$

Görüldüğü üzere Güneş'in merkezinde dahi Maxwell yasası geçerli olmaktadır. Maxwell yasası ideal gaz için de geçerlidir.

Maxwell dağılım yasasından kısmen sapmalar, Güneş için % 0.43 tür ($1.6 \times 10^7 \gg 2 \times 10^6$ den ileri gelir).

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Bir Maxwell dağılımını bozmak isteyen olaylar, sanki, onu eski haline getirmek için uğraşan olaylarla yarış halindedir. Bir gezegenimsi bulutsuda bir elektron fotoelektrik fırlatma yoluyla bir atomdan açığa çıkar, atom etrafında dolaşır ve sonunda tekrar atom tarafından yakalanır. Bir serbest parçacık olarak yaşantısında, söz gelimi bir oksijen atomuyla çarpışır ve esnek olmayan bu çarpışma sonunda enerjisini atoma vererek onu en yakın bir enerji düzeyine uyarır. Böylesi çarpışmalarla uyarılmalar, Maxwell dağılımını bozma eğilimindedir fakat diğer elektronlarla ve iyonlarla olan çarpışmalar ise bu dağılımı tekrar kurmaya eğilimlidirler. Elektron – elektron ve elektron – iyon çarpışmaları, diğer olaylardan çok çok daha fazla rastlanan olaylardır. Bu nedenle de Maxwell dağılım yasasından sapmalar boşlanabilir. Her tür parçacık, bir hız dağılımı oluşturduğundan ve farklı parçacıklar bir diğeriyle etkileşmeye girmeye eğilimli olduklarından, hız dağılımı tek bir kinetik sıcaklığa (T) uygun olacaktır.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

5.8 İdeal Gaz Yasasının Bozulması

İdeal gaz yasası, nokta moleküllerin tam çarpışma anları dışında diğerleri üzerine hiç bir kuvvet uygulamadığını varsayar. Eğer gaz, moleküller arası uzaklıkların molekül boyutlarına kadar azaldığı bir noktaya kadar sıkıştırılacak olursa, Van der Waals çekme kuvvetleri ve gaz moleküllerinin sonlu boyutları ideal gaz yasasının duyarlık sınırını bozmak için uğraşırlar. Van der Waals denklemi ;

$$[P + a (u / V)^2] (V - nb) = n RT$$

dir. Burada **a** : iç basınç sabiti, **b** : molekül başına oylum azalma miktarıdır.

Eğer basınç daha da artırılacak olursa, kritik nokta denen bir noktanın altında gaz sıvı durumuna geçecektir. Diğer taraftan sıcaklık arttıkça ve basınç azaldıkça bütün gazlar "ideal" olmaya eğilimlidirler. Çoğu yıldızların atmosferlerinde ve içlerinde yoğunluk yeterince düşük ve sıcaklık yeterince yüksektir. Bu nedenle oradaki gaz için hemen hemen ideal gaz yasası tam olarak geçerlidir. Yine gök biliminde incelenen çoğu olaylar için Maxwell hız dağılım yasası geçerlidir. Van der Waals denklemi kullanılmamaktadır.

Diğer taraftan, iyonlaşmış bir gazın yüklü parçacıkları arasındaki etkileşmeler, ideal gaz yasasından bazı sapmalar yaratır. R. E. Williamson, Güneş için $\delta P/P$ düzeltmesinin % 0.43'e ve kütlesi Güneş'inin 0.2 si olan σ_2 Eri C yoğun yıldızında ise % 2.1'e vardığını hesaplamıştır.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Bazı yıldızların içlerinde yoğunluk, ideal gaz yasasından sapmaların oluşacağı kadar yüksek duruma gelir. Bu sapmalar Van der Waals eşitliğiyle açıklanabilecek türde değildir, fakat tümünden yeni bir durum denklemini gerektirirler. Bir madde blokunun üzerindeki basınç arttıkça ne olacağını düşünelim. Deneysel olarak elde edilebilecek basınçlarda bile, genel maddeler çoğu kez ayırt edilebilecek özellikler gösterirler. 100 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda Bridgman'ın sıcak buzunu, katı suyunu hatırlayın. Yine de, bizim oluşturabileceğimiz en büyük basınçlar, Yer'in içindikilerle karşılaştırıldığında küçük ve büyük gezegenlerdekiyle karşılaştırıldığında ise hiç bir şey değildir.

Eğer soğuk bir cisim üzerindeki basınç artırılacak olursa sonunda “sıkıştırılmaz”, atomlar o denli sıkışır ki elektronlar ayırık duruma gelir. Buna basınçla iyonlaşma denir. Eğer yoğunluk yeterince artırılacak olursa, elektronların hepsi atomlardan ayrılacaklardır. Ayrılmış elektronlar, bir metaldeki iletim elektronlarının serbest oluşları gibi, serbest kalacaklardır. Bunun anlamı elektronların belli atomlara ait olmadığıdır. Fakat bu elektronlar klasik Maxwell yasasından tümüyle farklı bir dağılım yasasına uyarlar (N sayısı artarsa Maxwell dağılım yasası yerine Fermi-Dirac hız dağılım yasası geçerli olur. Bu yasaya uyan gaz, kuantum mekaniği aracılığı ile bulunabilir). Bu koşullar altında elektronlar eşsayıdaki çekirdekten daha fazla basınç yaratacaklardır. Madde de normal koşullar altındakinden tamamen farklı özellikler gösterir ve maddenin dejenere (bozulmuş, yozlaşmış) olduğunu söyleriz.

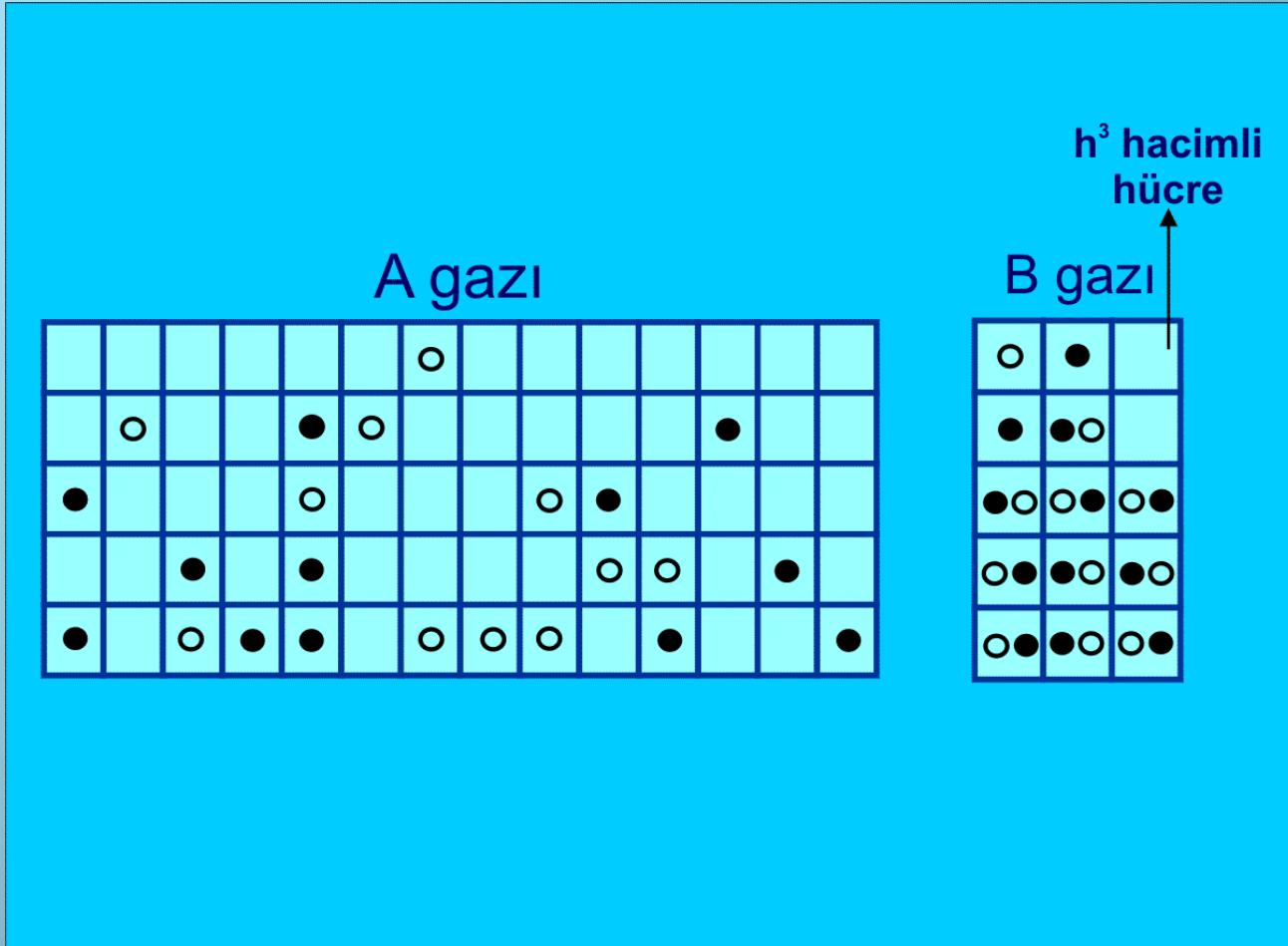
5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Eğer basınç yeterince büyük ise, yüksek bir sıcaklıkta da bu durum sağlanabilir. Kısaca, eğer bir gazın parçacıklarının hız dağılımı Maxwell hız dağılım yasasına uymuyor ve Fermi-Dirac hız dağılım yasasına uyuyorsa bu gaz “yozlaşmıştır” denir. Önce elektronlar veya elektron gazı yozlaşır. Yani Maxwell hız dağılımından ilk sapan elektronlardır. Çekirdekdeki proton ve nötronlar hala Maxwell hız dağılım yasasına uyarlar.

5.9 Bozulmuş(Yozlaşmış) Bir Gaz İçin Durum Denklemi

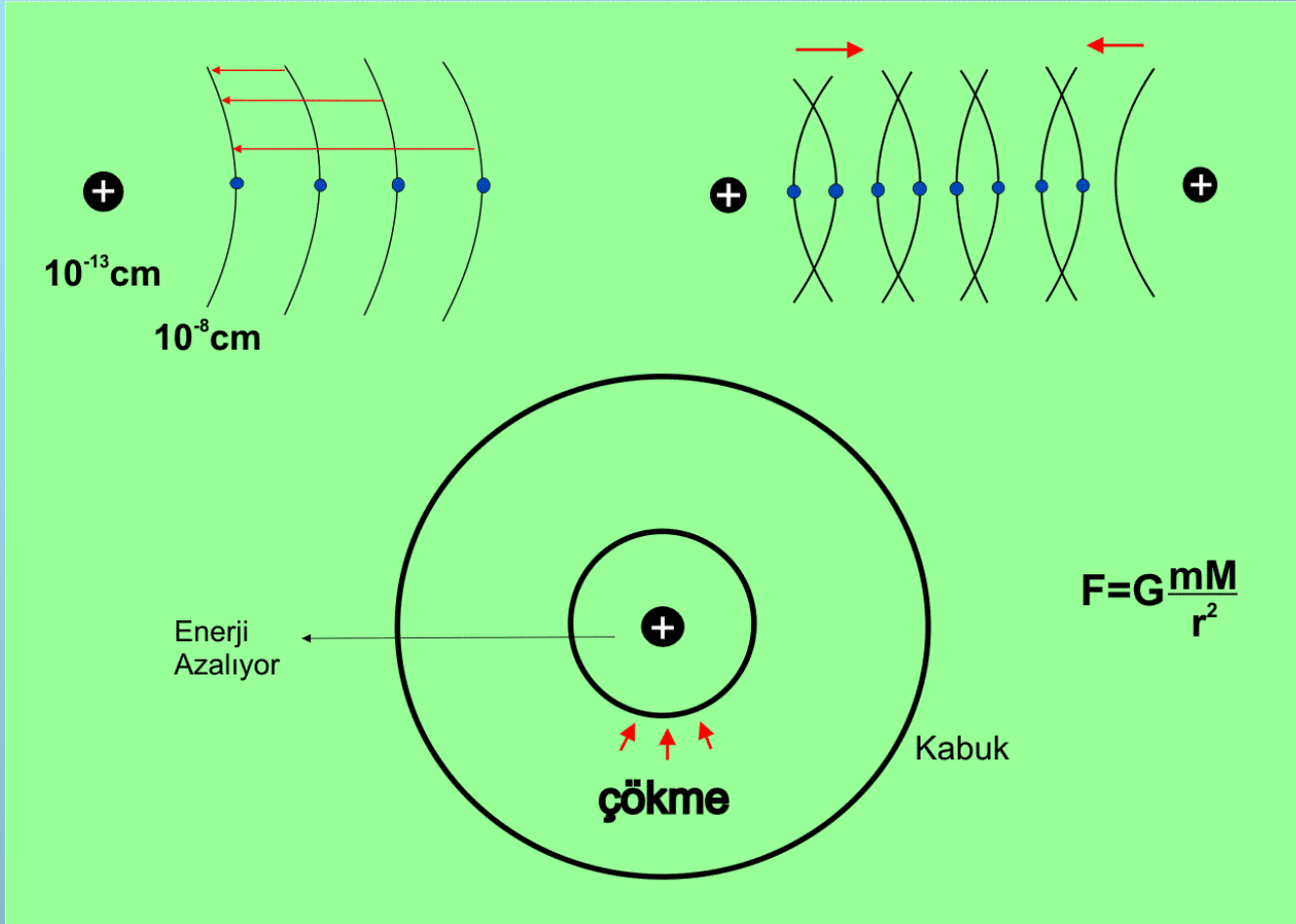
Bir gazın bozulması olayını açıklayabilmek için, önce “evre uzayı (phase space)” kavramını tanımlamalıyız. Herhangi bir anda bir akışkan içindeki bir parçacık, üç uzay konu, genellikle x, y, z yerine q_1, q_2, q_3 ile gösterilir ve üç hız ya da momentum P_1, P_2, P_3 (v_x, v_y, v_z) ile belirlenir (Şekil). Herhangi bir zamanda her bir parçacığın momentum ve konumunu tanımlamak için, bu altı sayıya gereksinim vardır. Eğer parçacıklar üzerine etkiyen kuvvetleri biliyorsak, klasik mekaniğe göre kuramsal olarak, bir an sonra parçacığın ne yapacağını söylebilmek olasıdır. Verilen bir parçacığın durumunu gösterebilmek için, her biri bir çift momentum ve uzay konumu için olmak üzere üç ayrı grafik kullanabileceğimiz gibi “evre uzayı” denen 6 – boyutlu bir uzayda bir tek nokta da kullanabiliriz. Son görüş çok daha kullanışlıdır. Bu 6 – boyutlu uzay, h^3 oylumlu küçük kutulara bölünmüş olarak düşünebiliriz. Eğer parçacıklar spine sahipse (elektronlarda olduğu gibi), genelleştirilmiş Pauli ilkesine göre, h^3 oylumlu her bir hücrede iki ve yalnız iki parçacık bulunabilir (Şekil 65). (Şekil 66) da artan yoğunlukla, bozulmaya yaklaşım özelliği gösterilmektedir.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)



Şekil 65. Yoğunluğun artmasıyla bozulmaya / yozlaşmaya yaklaşım

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)



Şekil 66. Yozaşmanın atomdaki elektron dizilişine etkileri.
Basınçla iyonlaşma

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Yıldız içlerinde var olan koşullar altında, bozulma yalnızca elektronlar için önemlidir.

Pauli ilkesinin, verilen bir sıcaklıktaki maddenin ulaşabileceği yoğunluk için bir sınır koymasının nedenini anlayabilmek için, farklı A ve B oylumlarını karşılaştıralım. Bu oylumlarda eşit nicelikte erke olsun. Şekil 65 da her bir dikdörtgen (kutu), her bir hücrede bir elektron bulunması durumuna göre biraz daha fazla bir şans vardır. Bu nedenle elektronlar Maxwell dağılımına sahiptirler. Eğer gaz B gibi küçük bir oylum içerisine sıkıştırılacak olursa ve sıkışma işiyle sağlanan enerji kaçarsa, uzay (oylum) iyice küçülür ve elektronlar momentum uzayının yüksek hücrelerine zorlanırlar. Tümüyle bozulma koşulları altında, evre uzayının hücrelerinin hepsi dolar ve gazdan, daha fazla erke çıkarılamaz. Çünkü yüksek hücrelerdeki parçacıklar artık dolu olan alçak erkeli hücrelere gidemezler. Gazı daha fazla sıkıştırabilmek için, ek erke sağlanmalıdır.

Böylesi bir gaz tuhaf özelliklere sahiptir ; bir parçacık başka bir hücreye oradaki parçacık başka bir yere gitmeden, gidemez. Bu nedenle gazın tek tek parçacıkları sanki birbirlerine kenetlenmiş gibi davranırlar.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Soruna ilk kaba yaklaşımla, tümüyle bozulmuş bir gaz düşünelim. Öyle ki 1 cm^3 lük bir fiziksel oylum kaplasın ve oradaki her evre uzayı hücresi bir E erkesine karşılık gelen ve momentumun belli bir değeri olan P_0 dolu değerine kadar olsun. Parçacıklar momentum bakımından sıfırdan maksimum değer olan P_0 a kadar düzgün bir biçimde dağılacaklar ve dağılma yasası dik kon düzenğinde şu şekle sahip olacaktır :

$$\begin{aligned} N(v)dv_x dv_y dv_z &= (2m^3/h^3)dv_x dv_y dv_z \\ &= (2/h^3)dP_x dP_y dP_z \quad \dots\dots(26) \end{aligned}$$

Çünkü $2/h^3$ parçacık, evre uzayının birim oylumu içine sıkıştırılabilir. Buradan v_0 dan daha küçük bütün hızlar içinde her bir birim hız aralığında (h^3 değeri koyularak)

$$N(v) = 5.20 \times 10^{-3}$$

değeri elde edilir. Burada $P_0 = mv_0$ dır ve m elektronun kütlesini göstermektedir.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

0 °C = 273 °K ve 1 atmosfer basınçta bir elektron gazı düşünelim. Cm³ deki parçacık sayısı **Loschmidt sayısı** kadardır ve bu da 2.6×10^{19} dur. Eğer elektronlar **Maxwell yasasına** (denklem 13) uyuyorlarsa,

$$N(v)dv_x dv_y dv_z = N(m/2\pi kT)^{3/2} \exp(-mv^2/2kT) dv_x dv_y dv_z \dots(27)$$

her bir birim hız aralığındakilerin sayısı, yukardaki hesapların **bu yasaya** göre yapılması ile,

$$T = 273 \text{ °K ve } P = 1 \text{ atm için } N(v) = 0.00645$$

ki bu değer (26) nolu denklemden elde edilen 0.0052 ile karşılaştırıldığında **daha büyük** olduğu görülür. **Bunun anlamı şudur** : küçük hızlarda **Maxwell yasasından** elde edilen **cm³ deki elektron sayısı**, **Pauli ilkesinin izin verdiğinden daha çok** olmaktadır. **Bu nedenle klasik bağıntıdan sapmalar olmalıdır. Yani Maxwell dağılım yasası geçersiz olmalıdır.** Bir **elektron gazının bozulması**, **oda sıcaklığında bile olabilir.** **Sıcaklıktaki bir artma ya da basınçtaki bir azalma bozulmayı ortadan kaldırabilir.** **Güneş'in** içinde **sıcaklık o denli yüksektir ki elektronlar klasik Maxwell dağılımı gösterirler, fakat Sirius'un çok daha yoğun olan bileşeninde elektron gazı bozulmuş** (yani **yozlaşmış**) durumdadır.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

FERMi-DİRAC DAĞILIM YASASI

Statistik mekanik incelemeleri, (26) nolu denklemin v_0 maksimum hızına kadar geçerli olmadığını göstermektedir. Yoğunluğun çok olduğu yozlaşma durumu için dağılım yaklaşık olarak Fermi-Dirac yasasına uygundur :

$$N dv_x dv_y dv_z = (2m^3 / h^3) (dv_x dv_y dv_z / \exp[((1/2)mv^2 - \Phi) / kT] + 1) \dots(28)$$

Burada Φ ,

$$\Phi = (3N/8\pi)^{2/3} (h^2 / 2m) \dots(29)$$

ile tanımlanan karakteristik enerjidir ve elektron yoğunluğuyla belirlenir, sıcaklığa bağlı değildir.

$(1/2)mv^2$ terimi Φ 'den çok küçük olduğunda $[(1/2)mv^2 \ll \Phi]$, eksponansiyel üssü negatif olur ve $N(v)$, (26) denklemine benzer. $(1/2)mv^2$, Φ 'den büyük olduğunda üs işaret değiştirir ve v arttıkça hızla artar. Üstel çarpan 1 den çok büyük olduğunda, 1 boşlanabilir ve eğri bir Maxwell dağılımına benzer. N elektron yoğunluğu büyüdükçe Φ artacak ve bozulmadan sözedilecektir.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Şimdi, **tümüyle bozulmuş** bir gaz içindeki parçacıkların üst sınır hızı olan v_0 'ı hesaplayalım. $d\tau$ evre uzayı oylumu, P ile $P+dP$ arasındaki momentumları içine alır ; burada $P^2 = P_x^2 + P_y^2 + P_z^2$, P yarıçapında ve dP kalınlığında bir kabuğun oylumudur. Fiziksel uzaydaki V oylumu ile çarpılırsa,

$$d\tau = 4\pi V P^2 dP.$$

Olası durumların sayısı ise, $2 / h^3$ ile çarpılarak elde edilir. Çünkü h^3 , iki elektron içeren her bir hücrenin oylumudur. Genelliği kaybetmeksizin $V=1$ olarak alınabilir. Buradan, momentumu P ile $P+dP$ arasında bulunan elektronların sayısı,

$$N_\varepsilon (P) dP \leq (8\pi P^2 dP / h^3) \dots\dots(30)$$

Tümüyle bozulmuş gaz için eşitlik işareti yazılır. **Tümüyle bozulma** koşulları altında birim oylumdaki elektronların toplam sayısı N olsun. Onların momentumları aşağıda verilen P_0 maksimum değerinden küçük olmalıdır :

$$N_\varepsilon = (8\pi / h^3) \int_0^{P_0} P^2 dP = (8\pi / 3h^3) P_0^3 \dots\dots(31)$$

Bir gazın basıncı, birim alanlı bir yüzey boyunca momentum geçişinin hızıdır. Konuyu basitleştirmek için x doğrultusuna dik bir birim alan düşünelim. Saniyede bir alanı geçen P_x momentumlu elektronların sayısı

$$N_\varepsilon (P_x) V_x$$

olacaktır.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Bu elektronların hepsi bir P_x momentumu taşırlar ve gaz izotropik olduğundan üçte birinin x-doğrultusunda hareket ettiği düşünülebilir. Buradan, bütün momentumlar üzerinden integral alınarak elde edilen toplam basınç şöyle olacaktır:

$$P_\varepsilon = \int_0^{P_0} N_\varepsilon(P_x) v_x P_x dP_x = (8\pi/h^3) \int_0^{P_0} P^2 (P^2/3m) dP = (8\pi / 15 h^3 m) P_0^5 \dots(32)$$

Elektronik hızlar çok küçük olduğundan, görelilik etkilerini boşlayabiliriz. (31) denkleminde P_0 , N cinsinden yok edilerek elektron gazının basıncı,

$$P_\varepsilon = (1/20)(3/\pi)^{2/3} (h^2/m) N_\varepsilon^{5/2} \dots(33)$$

elde edilir. Bu, yozlaşmış gazın (elektron) basıncını veren denklemdir. Bu son denklemin cm^3 teki elektronların sayısı ve basınçla ilgili olduğuna ama sıcaklıkla ilgili olmadığına dikkat ediniz ! Açıklaması şöyle yapılabilir : Bir gaz tümüyle bozulmuş ise, elektronların enerjilerinin yalnızca bir ölçüsü olan sıcaklık bize onlardan ne kadarının verilen bir oylum içinde bulunduğunu belirtir ; yani N_ε 'u ya da yoğunluğu belirler. Eğer gaz bozulmuş ise evre uzayının tüm hücreleri doludur ve belli bir oyluma daha fazla elektron sıkıştırabilmek için ek erke verilmelidir.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Bir daha vurgulanması gereken o ki, elektron ve iyonları kapsayan bir oylumda yalnızca elektronlar **yozlaşır**. İyonlar gaz yasasına benzer bir yasayı sağlamayı sürdürürler, fakat toplam basınca göre katkıları boşlanabilecek kadar azdır. (33) eşitliğini şöyle de yazabiliriz :

$$P = K_1 (\rho / \mu')^{5/3} \quad \dots\dots(34)$$

Burada ρ yoğunluk ve,

$$K_1 = (1/20)(3/\pi)^{2/3} (h^2 / m M_o^{5/3}) = 9.913 \times 10^{12} \text{ (c.g.s) } \dots(35)$$

Burada m elektronun kütlesi, M_o protonun kütlesi ve μ' (atom ağırlıkları biriminde) tümüyle iyonize olmuş olan gazın her bir serbest elektronunun ortalama kütlesidir.

Ağır atomların oynadığı rol boşlanabileceğinden, **bozulmuş** bir gazla ilgilenirken yalnızca her bir elektronun ortalama ağırlığıyla ilgileniriz. Tümüyle iyonize olduğunda Neon, bir çekirdek 10 elektron olmak üzere toplam 11 parçacık verir (Ne^{20}_{10}). Buradan tümüyle iyonize olmuş Neon, $\mu = 20.18 / 11 = 1.83$ lük bir molekül ağırlığına sahip olacaktır [$\mu' = \text{At. Ağ.} / \text{At. no}$; $\mu = \text{At. Ağ.} / \text{Top. parçacık sayısı}$].

Fakat her elektron için ortalama kütle μ' ,

$$\mu' = 20.18 / 10 = 2.018 \text{ dir (Parçacık başına kütle).}$$

Hidrojen için (H^1_1) molekül ağırlığı $\mu = 1/2$, fakat $\mu' = 1$ dir. Atom ağırlığı 4 olan helyumun iki elektronu vardır (He^4_2); buradan $\mu = 4/3$ fakat $\mu' = 2$ dir. μ ile μ' arasındaki fark, özellikle hafif atomlar için önemlidir. Ağır elementlerde μ ve μ' birbirlerine yakın, oysa hafif elementlerde farklıdır.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

- **Hangi durumda gaz yozlaşmıştır ? Kriter (Ölçüt) nedir ?**

İdeal gaz yasasını veren (4) eşitliği yerine, **bozulmuş gaz yasası** olan (34) ün **hangi koşullar altında** kullanılacağını bilmek gerekir. Eğer **bozulmuş gaz yasasından** hesaplanan **gaz basıncı ideal gaz yasasının** verdiği **büyükse, gazın bozulmuş olduğu sonucuna varırız. Bu kriter ;**

$$9.91 \times 10^{12} (\rho/\mu')^{5/3} > \rho (\mathcal{R}T/\mu) \quad \dots(36)$$

ya da,

$$(\rho\mu^{3/2} / \mu'^{5/2} T^{3/2}) > 2.43 \times 10^{-8} \quad \dots(37)$$

ya da,

$$(\rho^{2/3} \mu / \mu'^{5/3} T) > 8.387 \times 10^{-6}$$

ise gaz yozlaşmıştır denir.

Eğer **bu ölçütü hidrojene** uygulayacak olursak, **tümüyle iyonize olduğunu** varsayarak **elektron gazı** aşağıdaki **kritik yoğunluklarda bozulacaktır :**

Sıcaklık (°K)

Yoğunluk (gr / cm³)

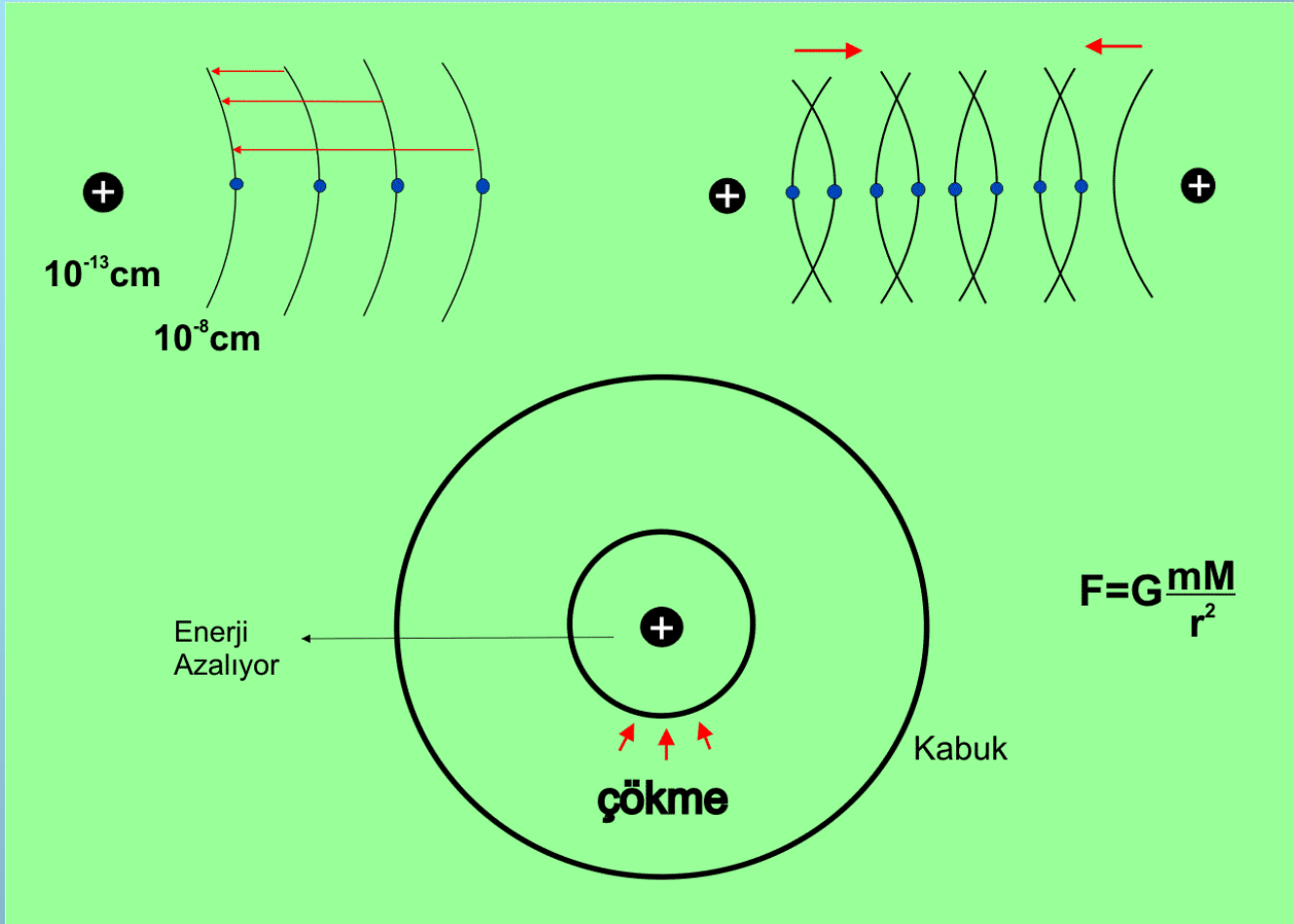
-----	-----
10 000	0.07
100 000	2.2
1 000 000	69
10 000 000	2170

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

- Yoğunluğun 8 – 10 gr / cm³ ve sıcaklığın yaklaşık 20°C olduğu metallerde, elektron tümüyle bozulmuştur.
- Yozlaşmış gaz, Maxwell hız dağılım yasasına uymayan, Fermi-Dirac hız dağılım yasasına uyan gazdır. Beyaz cücelerde yozlaşmış gaz sözkonusudur ve bu gazın verileri (36) ve (37) eşitsizlikleri sağlar.

Beyaz cücelerin şöyle oluştuğu tahmin edilmektedir : Bir evrim içinde olan yıldızın merkezinde Hidrojen tükenirken, Helyum yanması ve ağır elementlerin oluşumu ile bu yıldız anakoldan ayrılır ve devler bölgesine gider. Devler kolunun son kısmında evrim hala çalışılmakta(incelenmekte) olup bu aşamada yıldızın büyük bir olasılıkla herhangi bir yolla beyaz cüce olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayımlardan dikkate değer olanı şudur : Yıldız bir bünyesel değişen yıldız olan Nova veya Süpernova oluyor ve patlıyor. Bu patlama ile büyük miktarda dış kütleyi atıyor ve merkezde kalan bir miktar kütlenin beyaz cüce oluşumu için evre geçirdiği kabul ediliyor. Bu evrede çekirdekler sıklaşarak yoğunluğun müthiş derecede artmasına neden oluyor (Şekil 66).

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)



Şekil 66. Yoşlaşmanın atomdaki elektron dizilişine etkileri.
Basınçla iyonlaşma

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

- Normal bir gazda, basınç ne denli büyük olursa olsun atomların en dış yörüngeleri birbirine değmeyecek haldedir. Oysa **yozlaşmış** gazda atomlar ilk yörünge yöresinde sıkışırlar ve P basıncı **yozlaşmış gaz** için yeni bir denge durumu olur (Şekil 66). Atomlar birbirine o denli yaklaşır ki **elektronların hangi atoma ait olduğu bilinmez duruma gelir** ve çekirdek yöresindeki elektronlar serbest kalırlar. Bu olaya “**basınçla iyonlaşma**” denir. **Yozlaşmış gazlar** da metaller gibi özellikler gösterir. Normal gazlarda, **erkenin** üç türlü taşındığını biliyoruz. Bunlar,

- 1°) **Işınım ile erke taşınması,**
- 2°) **Dolaşım (konveksiyon) ile erke taşınması**
- 3°) **İletim ile erke taşınması**

Beyaz cücelerde erke ne **ışınım ile** ne de **dolaşım ile** taşınmayıp yalnız **iletim yoluyla taşınabilir.**

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Akyıldız'ın bileşeni **Sirius B** de elektron yoğunluğu $N_e = 10^{28} \text{ cm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Böyle yüksek yoğunluklarda yüksek hızlarla hareket eden elektronların varlığı sözkonusudur. Parçacıkların hızları ve momentumları büyük. Bu büyük hızlar da milyonlarca derecede sıcaklığın artmasına neden olur. **Sirius B** de maddenin %75 i yozlaşmıştır (önce merkezi kısım sonra dış kısım). Dış kısımlarda normal gazlar da bulunmaktadır. **Yozlaşan** elektron gazıdır. **Beyaz cüceler**, renklerine göre ışınım güçleri az olan yıldızlardır (HR den). **Sirius B**'de kütle, çift yıldız ölçümlerinden $M \approx M_\odot$ olduğu bilinirken $L = 0.003 L_\odot$ bulunmuştur. Genel olarak **beyaz cücelerin** renk ölçekleri $B-V = -0^m.6$ ile $+1^m.0$ arasındadır. Yani maviden kırmızıya kadar değişir. **Tayf türleri**, genellikle **A** tayf türünden olup bundan dolayı bunlara “**Beyaz Cüceler**” denir. **Salt parlaklıkları**, $M = +9^m$ ile $+16^m$ arasında olup genellikle $M = +12^m$ yöresindedir.

(37) denkleminde görüleceği gibi sıcaklık arttıkça gaz yozlaşmadan kurtulmaya, yoğunluk arttıkça da yozlaşmaya eğilimlidir.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

5.10 Görelilik Yozlaşması (Bozulması)

Çok yüksek yoğunluklarda elektronlar, hız ile kütlelerin görelilik değişmesinin gözönüne alınmasını gerektirecek büyük hızlara sahip olmalıdırlar. Bu koşullar altında (33) eşitliği artık geçerli değildir ve yeni bir bağıntı bulunmalıdır. Chandrasekhar doğru işlemi belirtmiş ve basınçla yoğunluğun parametrik denklemlerle ifade edilebileceğini göstermiştir.

$$P = A f(x) , \rho = B x^3 \quad \dots(38)$$

Burada,

$$x = P_o / mc , f(x) = x (2x^2 - 3)(x^2 + 1)^{1/2} + 3\sinh^{-1} x \dots(39)$$

$$A = \pi m^4 c^5 / 3h^3 = 5.998 \times 10^{22} ; B = 8\pi m^3 c^3 \mu' M_o / 3h^3 = 9.807 \times 10^5 \mu' \dots(40)$$

(38) nolu parametrik denklemleri, her türlü bozulmada durum denklemlerini temsil ederler. Yani, bu denklemler hızlar ne oranda olursa olsun geçerli olan denklemlerdir. Bu denklemlere göre elektron yoğunluğu,

$$N_\epsilon = (8\pi / 3h^3) P_o^3 = (8\pi m^3 c^3 / 3h^3) x^3 = 5.87 \times 10^{29} x^3 \quad \dots\dots\dots(41)$$

ve gr/cm³ olarak madde yoğunluğu ise,

$$\rho = N_\epsilon \mu' M_o = B x^3 \quad \dots\dots\dots(42)$$

denklemleriyle bağıntılıdır.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

Yoğunluk çok yüksek olduğunda, x büyüktür ; ve elektronlar, görelilik etkilerinin önemli duruma geldiği büyük hızlarla hareket edeceklerdir.

$x \rightarrow$ çok büyükse $x^4 \gg x^2$ olur. Buna göre,

$f(x) = 2x^4 + ax^2 + \dots$ Bağıntısındaki x^2 boşlanabilir. O zaman $f(x) = 2x^4$ alınabilir ki bu da (41) den hesaplanırsa,

$$\begin{aligned} f(x) \rightarrow 2x^4 &= 2 [3h^3 / 8\pi m^3 c^3]^{4/3} N_{\epsilon}^{4/3} \\ \text{ve } P &= Af(x) \text{ den,} \quad \dots(43) \\ P &= (1/8)(3 / \pi)^{1/3} hcN_{\epsilon}^{4/3} \end{aligned}$$

ya da yoğunluk cinsinden [(42) den N_{ϵ} çekilerek],

$$P = K_2 (\rho / \mu')^{4/3} \quad \dots(44)$$

elde edilir ki burada,

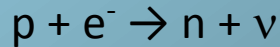
$$K_2 = (3 / \pi)^{1/3} (hc / 8M^{4/3}_o) = 1.2311 \times 10^{15} \text{ (c.g.s)} \quad \dots(45)$$

Bu, görelilik bozulması için durum denklemdir. V hızları ışık hızı ile karşılaştırılabilir mertebede ise yozlaşmış gazın basıncı (44) ve (45) denklemleri ile hesaplanır.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)

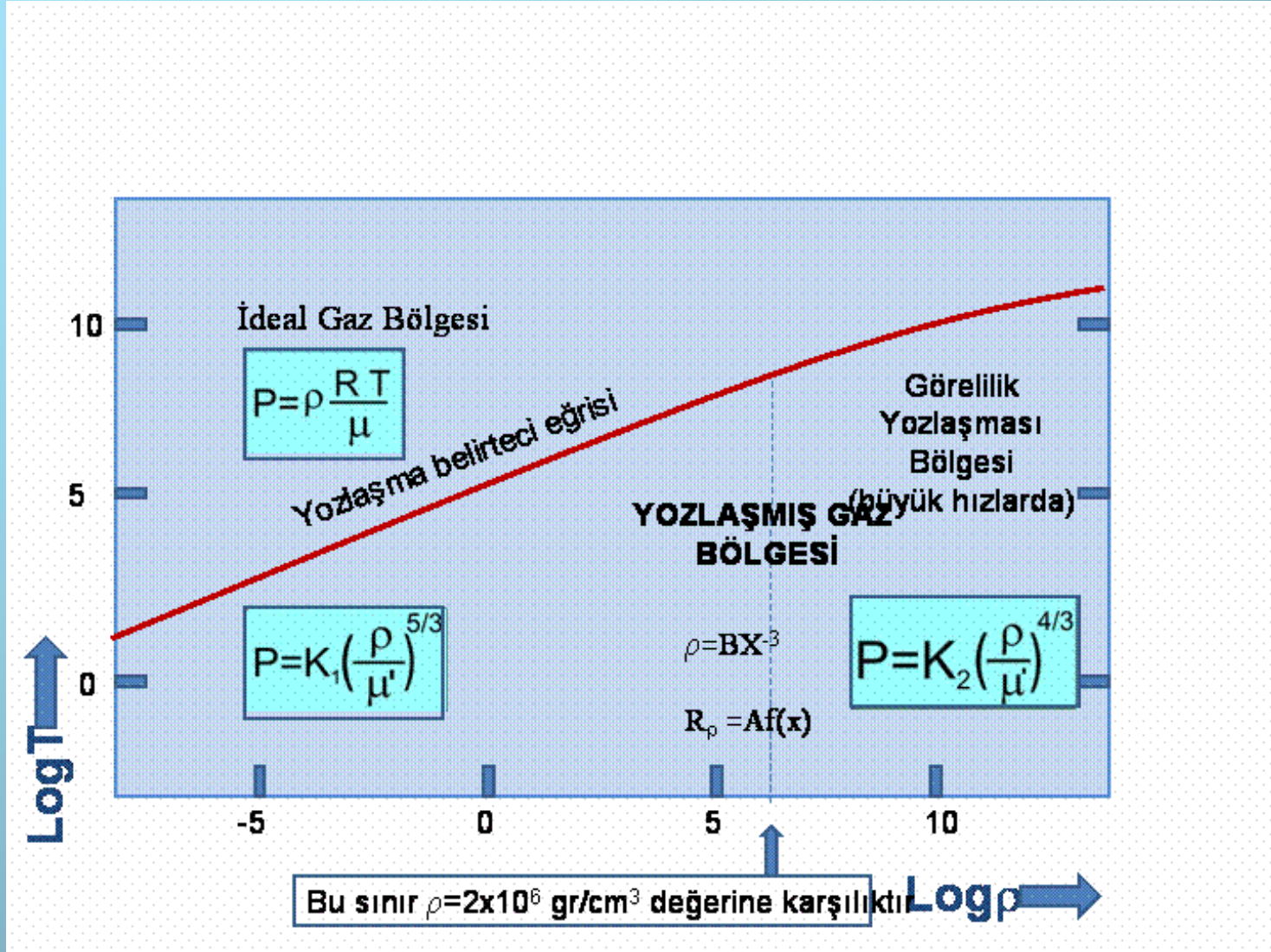
Görelilik bozulma gaz yasası ile hesaplanan basınç, ideal gaz yasasıyla hesaplanan basınçtan büyükse, görelilik denklemini kullanmalıyız. x 'in küçük değerleri için (yani görece olarak düşük yoğunluklarda) tekrar (34) eşitliğine dönülür. Böylece (34) ve (44) eşitlikleri, (38) denkleminin asimptotik şekilleridir. (38) nolu denklem genel denklemdir.

Farklı durum denklemlerinin uygulanması gereken sıcaklık ve yoğunluk bölgeleri, Şekil 67 de gösterilmektedir. Bozulma belirteci çizgisi olarak adlandırılan eğri, $T - \rho$ diyagramını iki parçaya böler. Bunlardan birinde elektronlar ideal gaz yasalarını sağlarken öbüründe bozulmuş gaz yasası elde edilir. Bozulmuş gaz bölgesindeki durum denklemleri Chandrasekhar'ın parametrik bağıntısıdır ve bu bağıntı $\rho \ll 2 \times 10^6 \text{ gr/cm}^3$ için (34) eşitliğine ve $\rho \gg 2 \times 10^6 \text{ gr/cm}^3$ için (44) denklemine dönüşür. Bozulmuş gaz bölgesiyle ideal gaz bölgesi arasındaki sınır bölgede gaz yasası karmaşık bir durum alır ve yıldız içlerine uygulamadaki hesaplarda kullanılır. Bozulmuş gaz yasaları ise beyaz cücelerin incelenmesinde önem kazanır. Beyaz cücelerde yozlaşma (sıkışma) $\rho \approx 10^9 - 10^{10} \text{ gr / cm}^3$ değerine kadar olur. Eğer sıkışma bu limiti geçerse, o zaman atom çekirdeğindeki parçacıklar ile elektronların etkileşmesi sonucu,



reaksiyonu olur yani elektron uzaklaşır (Nötron yıldızlarına doğru evrim). Daha sonra sıkışma artarsa, yozlaşma nötronlara ve protonlara doğru olur.

5. GAZ YASALARI ... (Devamı)



Şekil 67. Gaz yasasının bölgeleri