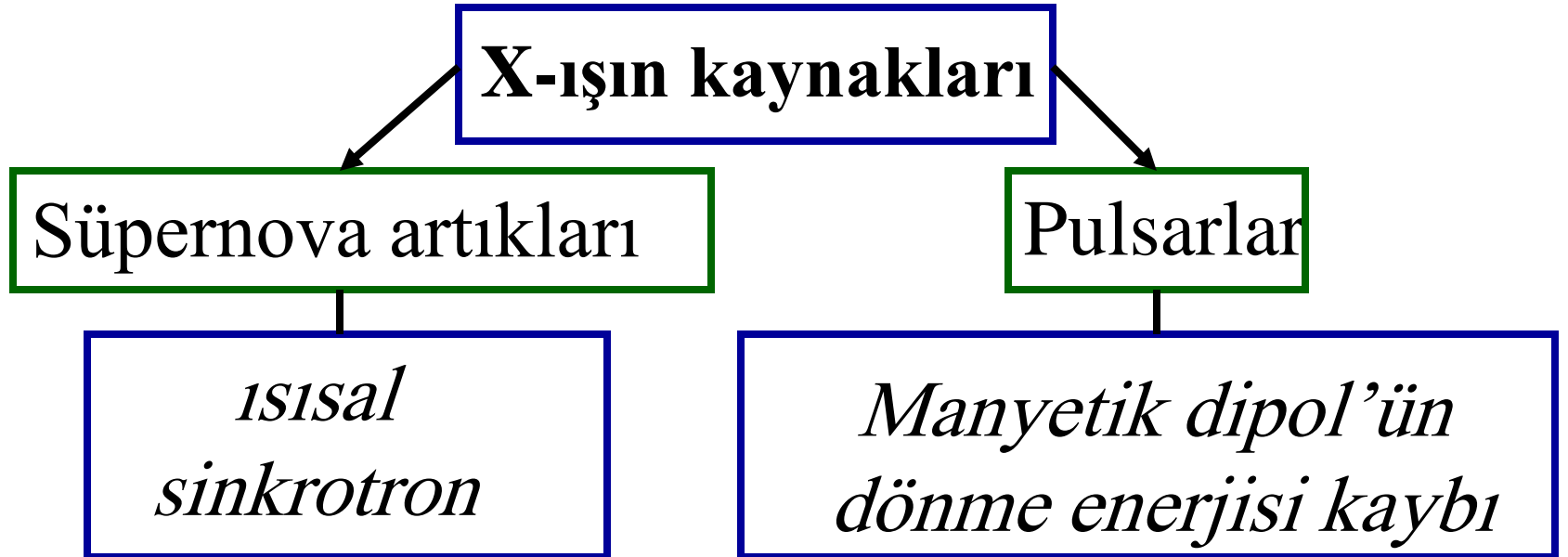


Madde Birikimi

2. Madde Birikimi: Yoğun cisimler tarafından madde birikimi; Eddington luminozite sınırı; Kara deliklerden ve nötron yıldızlarından ışınım; X-ışın çift yıldızları; Roche şişimi taşması ve yıldız rüzgarı ile madde birikimi

GİRİŞ

- Yüksek enerjili ışınım mekanizmaları



Yoğun bir cisim üzerine madde birikimi

- Yüksek enerjili ışınım üretmek için esas mekanizmadır.
- Evrende bilinen enerji üretimi için en verimli yöntemdir.

$$E_{acc} = G \frac{Mm}{R}$$

M kütlesine ve **R** yarıçapına sahip bir cismin, üzerine düşürdüğü **m** kütlesinden yayacağı gravitasyonel potansiyel enerji.

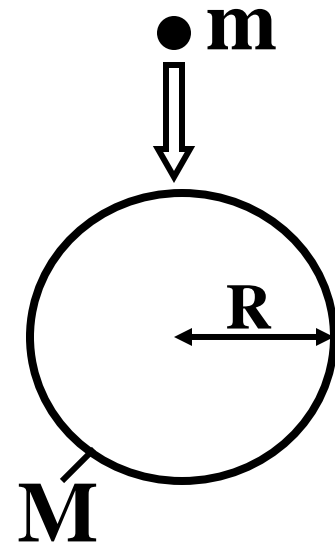
Nötron yıldızı örneği

Nötron yıldızına düşen kütle $m = 1\text{kg}$ olsun

Nötron yıldızının kütlesi $= 1 M_{\odot}$

Yarıçapı $R = 10\text{ km}$

$E_{\text{acc}} \sim 10^{16}\text{ Joule}$,



yani düşen kütle için her $\text{kg}'ı$ başına yaklaşık 10^{16}
J (elektromanyetik ışınım) enerjisi yayılır !!

Madde Birikiminin Verimi

- Bu sonucu nükleer füzyon ile kıyaslayalım:
H => He dönüşümü ile $\sim 0.007 mc^2$
 $\sim 6 \times 10^{14}$ Joule enerji açığa çıkar – Bu ise madde birikimi yoluyla salınandan **20 kat daha küçüktür!**

$$E_{acc} = G \frac{Mm}{R}$$

Salınan enerji M/R ile orantılıdır. Dolayısıyla cisim ne kadar yoğun olursa o kadar etkin madde birikimi oluşturur.

Beyaz cüceler (WD) üzerine madde birikimi

- WD için, $M \sim 1 M_{\odot}$ ve $R \sim 10,000$ km'dir. Yüzeylerindeki nükleer yanmanın verimi, madde birikiminin veriminden yaklaşık 50 daha fazladır.
- Madde birikimi önemli bir süreç olmakla beraber:
 - Yüzeydeki nükleer yanmaları unutmamalıyız => *nova parlamaları (outburst)*
 - Madde birikimi ise tüm hayatı boyunca önemli bir rol oynar.

Akan maddenin kaynağı

- Belli bir M/R için üretilen luminozite madde akış oranına (dm/dt) bağlıdır:

$$L_{acc} = \frac{dE_{acc}}{dt} = \frac{GM}{R} \frac{dm}{dt} = \frac{GM}{R} \dot{m}$$

- Cismin topladığı madde nereden geliyor olabilir?
 - 1) ISM: ISM den gelecek katkı çok yetersiz kalır.
 - 2) Bileşen yıldız : RLOF veya rüzgar yoluyla.

AGN'ler üzerine madde birikimi

- Aktif Galaksi Çekirdeği (AGN) $M \sim 10^9 M_{\odot}$
- Süper kütleli kara delik!
 - çok yoğun bir çekirdek, yani çok verimli madde birikimi
 - çekirdek çevresindeki gaz ve yıldızları üzerine çeker

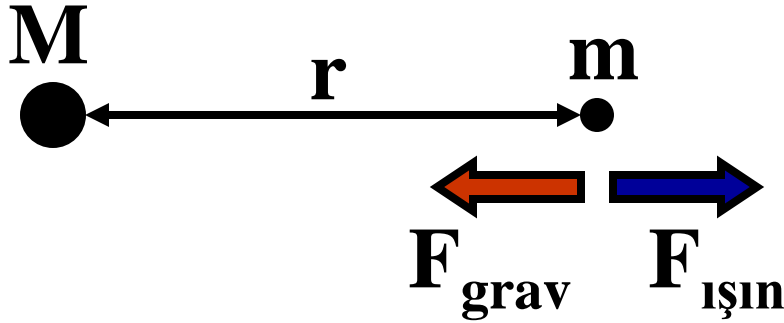
Bir nötron yıldızının yakıtı:

- Kütle = $1 M_{\odot}$
gözlenen luminozite = 10^{31} J/s (X-ışınlarında)
- Madde birikimi $\sim 10^{16}$ J/kg üretir.
- $dm/dt = 10^{31}/10^{16}$ kg/s $\sim 3 \times 10^{22}$ kg/yıl
 $\sim 10^{-8} M_{\odot}/yıl$

Eddington Luminozitesi

- Bir cismin birikim yoluyla üretebileceği maksimum luminozite sınırı vardır; buna **Eddington luminozitesi** denilir.
- Bu sınır, içeriye düşen maddeye uygulanan gravitasyonel kuvvetlerle, oluşan ışınımın dışarı taşıdığı momentumun dengelendiği anda oluşur.

Eddington Luminozitesi



Madde akış oranı, ışığın sahip olduğu momentumun düşen maddeye aktarılmasıyla idare edilir.

$$F_{grav} = G \frac{Mm}{r^2} \text{ Newton}$$

Note: $R \ll r$

Dışarı kaçan fotonlar, M kütlesine doğru akan maddeden (e ve p'lardan) etrafa saçılır.

Saçılma

L = madde birikimi yoluyla oluşan luminozite

r uzaklığında,
saniyede geçen
foton sayısı:

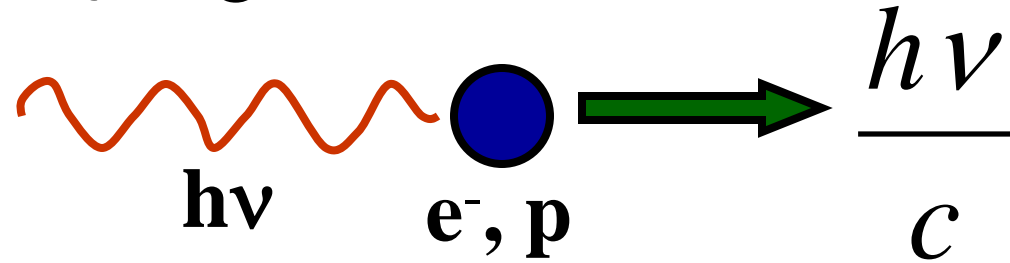
$$r = \frac{L}{4\pi.r^2} \frac{1}{h\nu} \text{ foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Saçılma en-kesiti, Thomson en-kesitine (σ_e)
eşit olur ve saniyede oluşacak saçılma

sayısı:

$$\frac{L\sigma_e}{4\pi r^2 h\nu}$$

Fotondan parçacığa aktarılan momentum:



{Saniyede parçacığın kazandığı momentum} =
{Foton tarafından parçacık üzerine uygulanan
kuvvet} olacağından;

$$\frac{L\sigma_e}{4\pi r^2 h\nu} \frac{h\nu}{c} = \frac{L\sigma_e}{4\pi r^2 c} \text{Newton}$$

Eddington Limiti

ışınım basıncı = kütle çekim kuvveti

olduğunda madde akışı durur, bu da ışınım luminozitesi üzerinde şu limiti getirir.

$$\frac{L\sigma_e}{4\pi r^2 c} = G \frac{Mm}{r^2}$$

Buradan Eddington luminozitesi:

$$L = \frac{4\pi c G M m}{\sigma_e}$$

Yapılan Varsayımlar

- **Madde akışının kararlı ve simetrik yapıda olduğu** : Örneğin supernovalarda, L_{edd} 'un birkaç on katına kadar taşmalar olduğu gözlenir.
- **Maddenin tamamen iyonize olduğu ve H'den oluştuğu**: Ağır çekirdekler, iyonizasyon miktarını değiştirdiği için sorunlar doğurur.

m değeri için ne kullanmalıyız?

e^- ve p arasındaki elektrostatik kuvvetler bunları birbirine bağıladığından, bu parçacıkları bir çift olarak dikkate alabiliriz.

$$\text{Yani: } m = m_p + m_{e^-} \cong m_p$$

$$L_{Edd} = \frac{4\pi(3 \times 10^8)6.67 \times 10^{-11} \cdot 1.67 \times 10^{-27}}{6.65 \times 10^{-29}} \text{ M Joule/s}$$

$$\approx 6.3 \text{ M Joule/sc} \quad \approx 1.3 \times 10^{31} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right) \text{ Joule/s}$$

Kara Delikler (BH)

- Kara deliklerin belli bir yarıçapı yoktur; dolayısıyla R için ney kullanabiliriz?
- Verim paramatresi, η olmak üzere;

maksimum durumda $L_{acr} = \eta \dot{M} c^2$, $\eta = 0.42$, iken tipik değeri $\eta = 0.1$ 'dir.

- 1 Güneş kütleli bir BH, bir nötron yıldızı kadar verimlidir
- Klasik mekaniğe göre m kütleli r yarıçaplı bir yıldızdan kaçış hızı : $v = (2GM/r)^{1/2}$
dolayısıyla $v = c$, r_g (Schwarzschild yarıçapı) = $2GM/c^2$ olmak üzere; r_g değeri BH'in “yüzey”ini belirler !

Yayınlanan Tayf

- Sıcaklık tanımını T_{rad} olmak üzere, $h\nu \sim kT_{\text{rad}}$
- Etkin kara cisim sıcaklığı T_b olmak üzere;

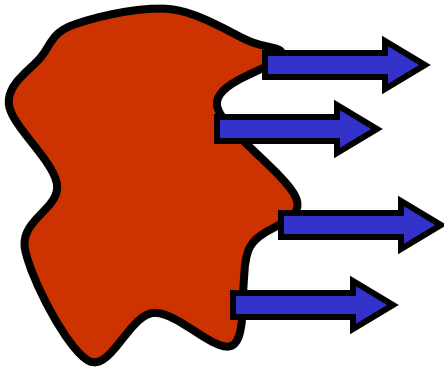
$$T_b = \left(L_{\text{acc}} / 4\pi R^2 \sigma \right)^{1/4}$$

- Isısal sıcaklık, T_{th} :

$$G \frac{M(m_p + m_e)}{R} = 2 \times \frac{3}{2} k T_{\text{th}} \Rightarrow T_{\text{th}} = \frac{GMm_p}{3kR}$$

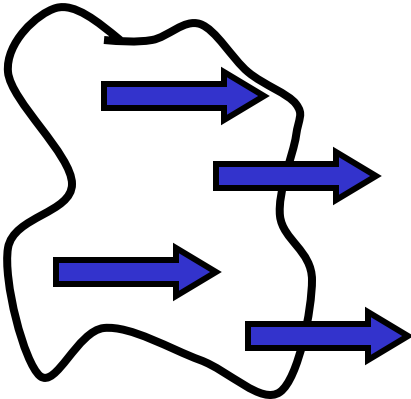
Birikimin sıcaklığı

- Madde akışı optik olarak **kalın** ise:



$$T_{rad} \sim T_b$$

- Madde akışı optik olarak **ince** ise :



$$T_{rad} \sim T_{th}$$

Birikimin enerjisi

- Genellikle,

$$T_b \leq T_{rad} \leq T_{th}$$

- Bir nötron yıldızı için, $T_{th} \approx 5.4 \times 10^{11} K$
 $T_b \approx 2 \times 10^7 K$

olduğunu varsayarak:

$$L_{acc} \approx L_{Edd} = 1.3 \times 10^{31} \left(\frac{M}{M_{Sun}} \right) J / s$$

Nötron Yıldızının Tayfı

- Bu durumda ışınım yayınlayacağı enerji aralığı:

$$1keV \leq h\nu \leq 50MeV$$

Benzer enerji tayfı, yıldız kütleli karadeliklerden de alınır.

- Beyaz cüceler için, $L_{\text{birikim}} \sim 10^{26}$ J/s, $M \sim M_{\odot}$, $R = 5 \times 10^6$ m,

$$6eV \leq h\nu \leq 100keV$$

- \Rightarrow bu ise optik, UV ve X-ışın bölgesine karşılık gelir.

Çift Sistemlerde birikim modları

Nötron yıldızı (NS), kara delik (BH) veya beyaz cüce (WD) içeren çift yıldız sistemlerinde madde akış mekanizmaları şunlar olabilir:

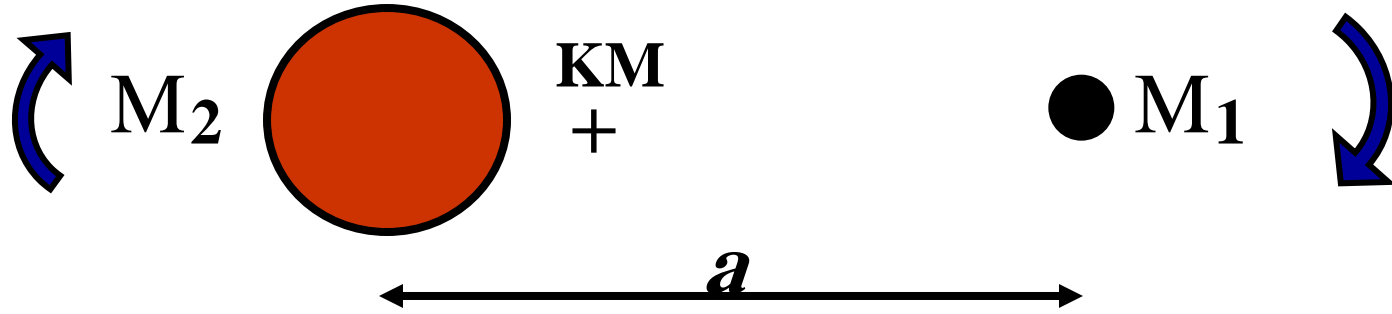
(1) **Roche Lob/Şişimi taşması (RLOF)**

(2) **Yıldız rüzgarı**

Her bir mekanizma farklı bir tür X-ışın çiftine karşılık gelir.

Roche Lob Taşması

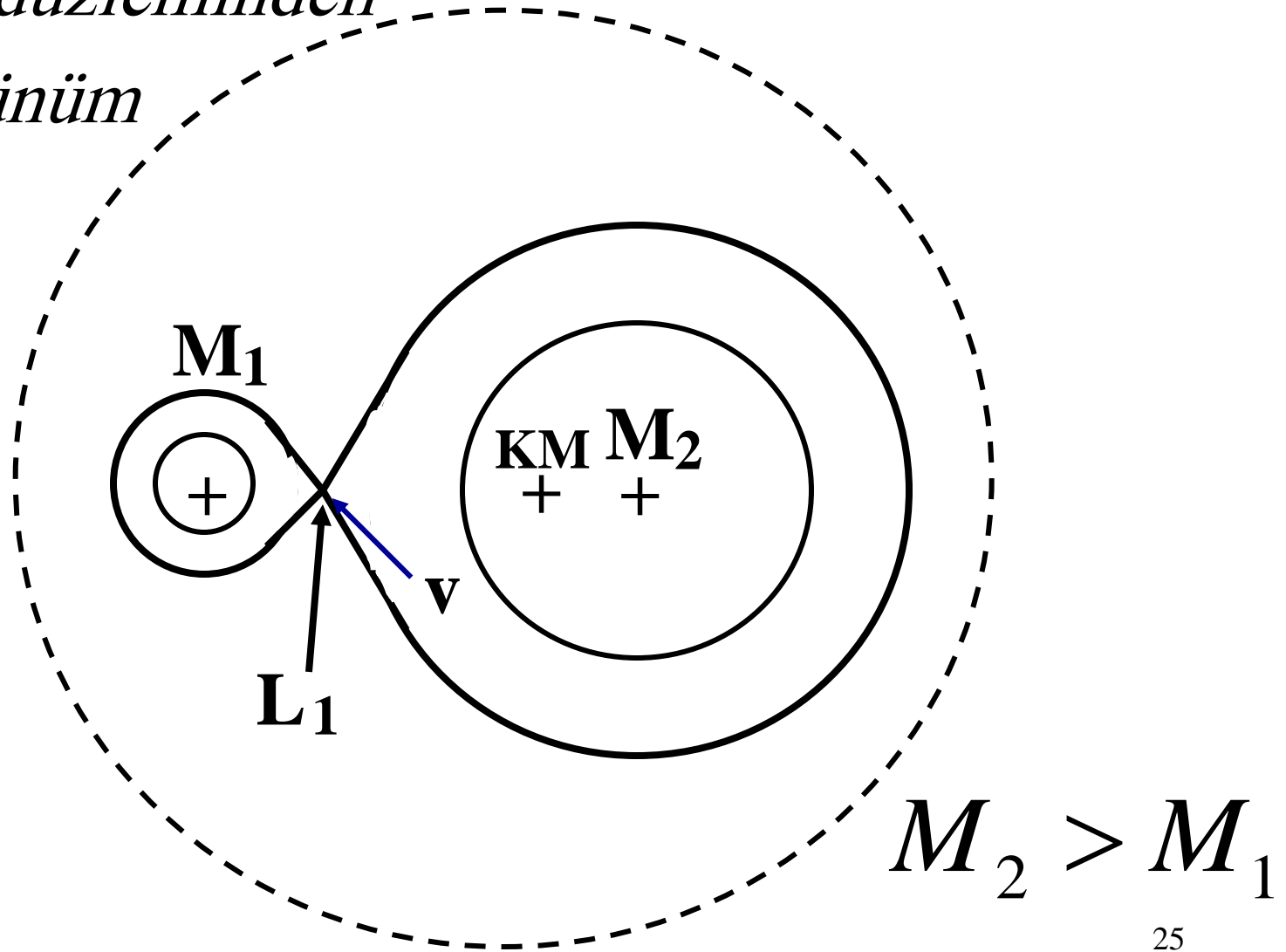
- $M_2 > M_1$ olmak üzere, yoğun yıldız M_1 , normal yıldız M_2 :



- Normal yıldız şiştiğinde veya “ a ” uzaklığı azaldığında \Rightarrow sistemin L1 noktasından, normal yıldızdan yoğun bileşene madde akmaya başlar.

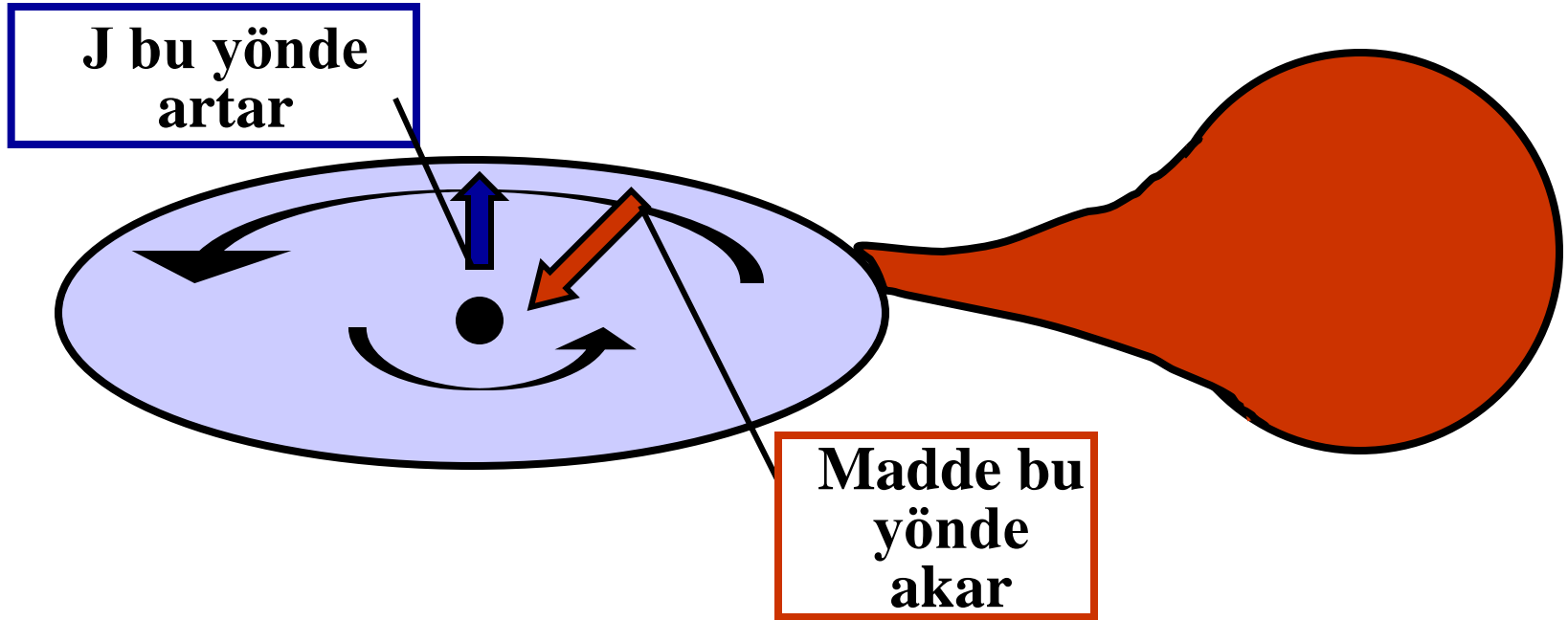
Roche Eşpotansiyel Yüzeyleri

*Yörünge düzleminde
kesit görünüm*



Birikim diski oluřumu

Açısal momentumun (J) korunumu gereğince $L1$ 'den akan madde yoğun bileşenin üzerine düşmez; etrafında birikir:



Yani madde J 'yi azaltacak şekilde hareket eder.

- Akan madde yüksek açısai momentum taşıdığından, yoğun cisim üzerine düşmeden önce sahip olduğu J 'yi kaybetmesi gerekir. Dolayısıyla “**birikim diski**” oluşturur.
- Akan plazma, açısai momentumunu çarpışmalarla, vizkoz sürtünmeyle, şoklarla ve manyetik alanlar yoluyla kaybeder: Böylece sahip olduğu kinetik enerji ısı ve ışınımına dönüşmüş olur.
- Diskteki madde giderek yoğun cismin çekim kuyusuna doğru düşer.

Birikim Diskinin Luminozitesi

- Çoğu birikim diskinin kütlesi çok küçüktür. Dolayısıyla kendi üzerine uyguladığı çekim gücünü ihmal edebiliriz.

- Dairesel yörüngede dolanan disk, Keplerian yörüngesinde şu açısal hıza sahip olur:

$$\Omega_K = (GM/R^3)^{1/2} = v/R$$

- Kepler yörüngesinde dolanan m kütleli cisim için enerjinin korunumu:

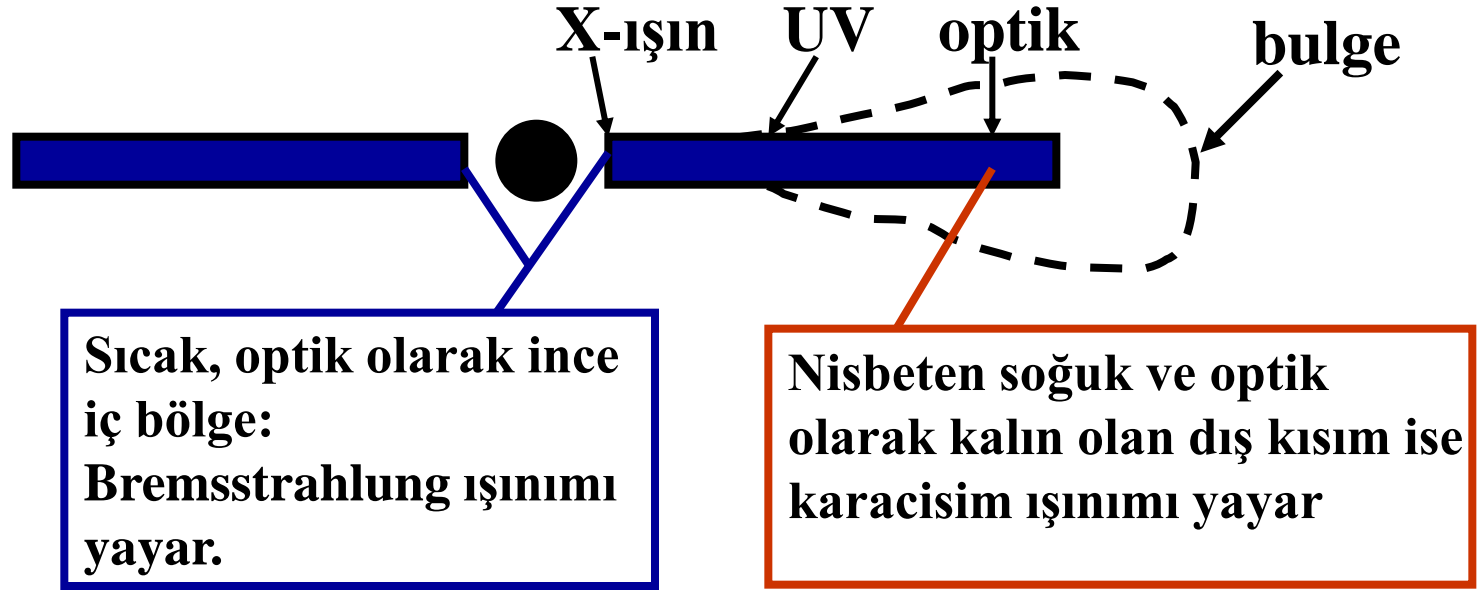
$$(1/2) mv^2 = (1/2) (GMm/R) = (1/2) E_{\text{birik.}}$$

- Büyük uzaklıklardaki gaz parçacıklarının PE ihmal edilebileceğinden:

$$\mathbf{L_{\text{disk}} = GMm/2R = (1/2) L_{\text{birik.}}}$$

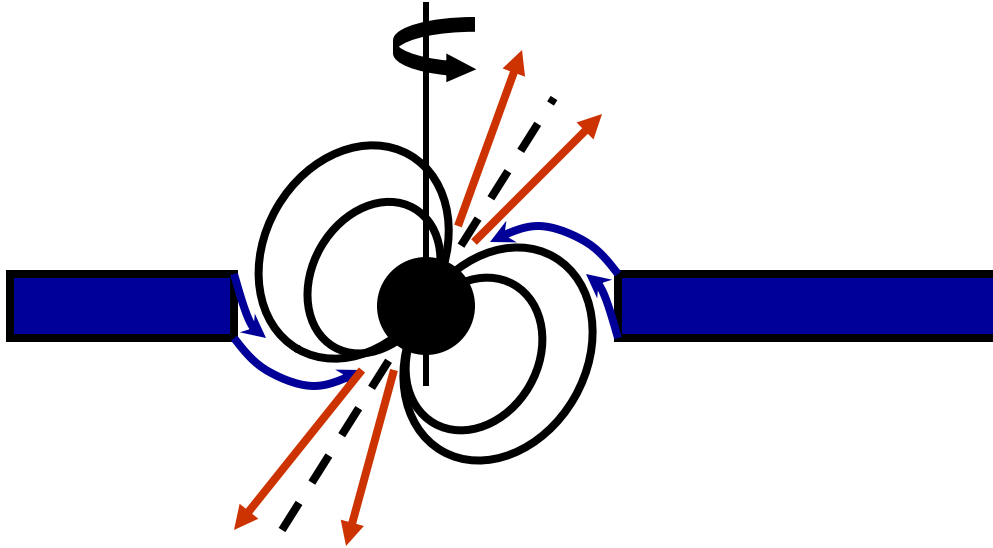
Diskin Yapısı

Birikimden oluşan luminozitenin diğer yarısı yoğun cismin yüzeyine çok yakın bölgelerde salınır.



Manyetik Nötron Yıldızları

Manyetik alanı güçlü olan nötron yıldızlarınının yakın civarında disk dağılır . . . →



. . . . madde, alan çizgileri boyunca kanalize olarak manyetik kutuplarından NS'nin üzerine düşer.

Işınımın büyük kısmı maddenin düştüğü yerde oluşur. NS döndüğünden bu cisimi X-ışın pulsarı olarak görürüz.

Spin-artışı gösteren pulsarlar

- Baş yıldız büyük açısal omentuma sahip maddeyi üzerine akıtır. Dolayısıyla baş bileşen (NS), pulsarlarda gözleendiği gibi, spin-azalmasından ziyade spin-artışı gösterir.
- Spin artış oranları NS'dan beklendiği gibi, uyumlu çıkmaktadır.
- Örneğin Cen X-3 'klasik' bir X-ışın pulsarıdır

Yıldız Rüzgarı Modeli-I

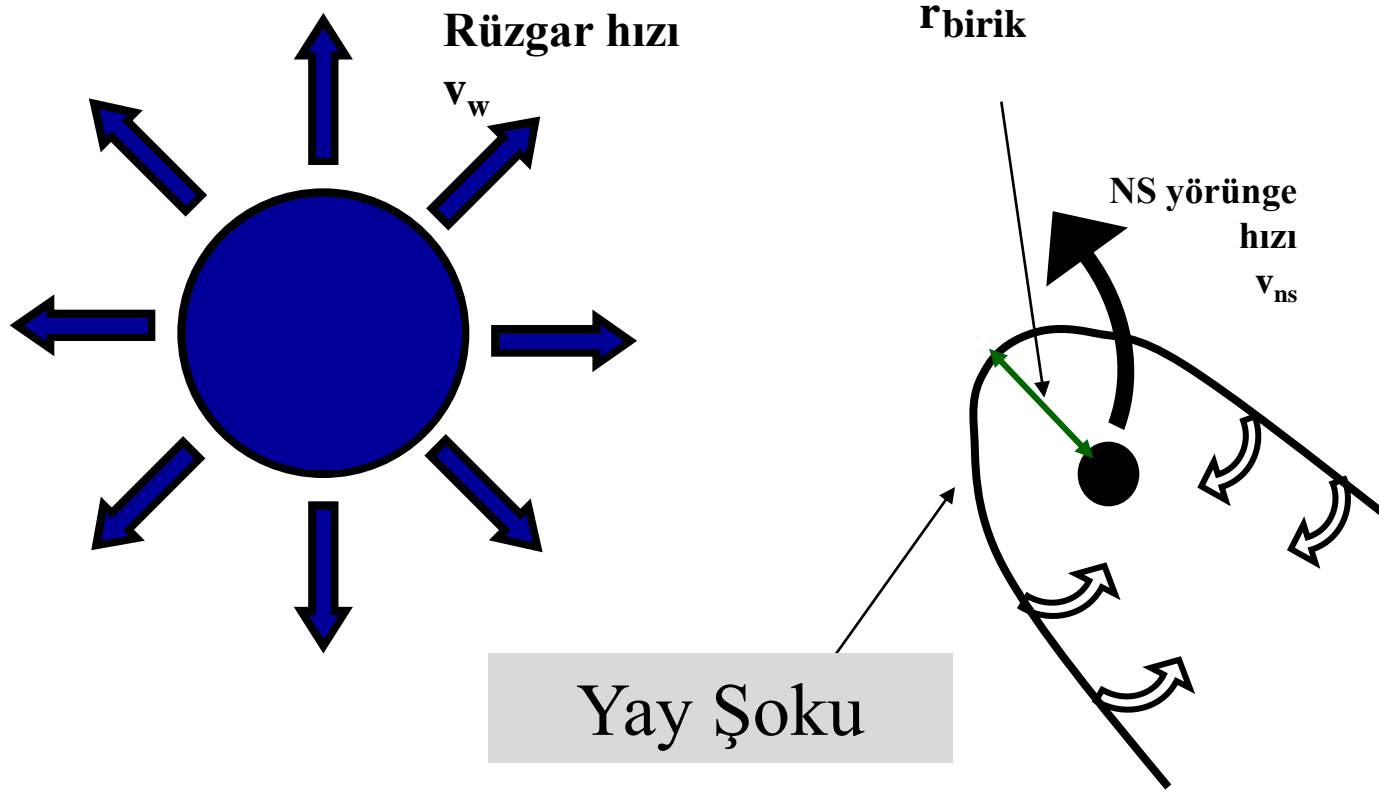
Erken tür yıldızlar oldukça yoğun ve süpersonik hızlarda rüzgarlara sahiptir. Rüzgar kütle atım oranları 10^{-5} - $10^{-6} M_{\odot}$ mertebesinde.

Bu tür Be bileşenli X-ışın çiftlerinde, aşağıdaki şart sağlanırsa yoğun bileşen madde toplar:

$$GMm/r > (1/2) m(v_w^2 + v_{ns}^2)$$

Burada:

$$r_{\text{birik}} = 2GM / (v_w^2 + v_{\text{ns}}^2)$$



Yıldız Rüzgar Modeli-II

- Rüzgar süreci, RLOF ile madde aktarımından daha az etkilidir. Yine de bu yolla aktarılan kütle, gözlenen luminoziteyi açıklamak için yeterlidir.
- 10^{31} J/s'lik luminoziteyi elde etmek için 10^{-8} M_{\odot} /yıl oranında kütle aktarımı yeterlidir.
- Erken tür yıldızlarda ise $10^{-5} - 10^{-6}$ M_{\odot} /yıl oranında rüzgar mümkündür.

Birikim Diskinin Luminozitesi

İç yarıçapı R , $KE = T$ ve $PE = U$ olan bir birikim diski için:

Virial teoreminden: $2T + U = 0$ yazılabilir

Yani $T = -\frac{1}{2} U$

Ve $U = -GMm/R$

m kütlesine sahip düşen madde için;

böylece $T = \frac{1}{2} GMm/R$

Eğer toplam enerji $E = T + U$ ise

buradan $E = \frac{1}{2} U = -\frac{1}{2} GMm/R$

ve **Luminozite** = $-\frac{1}{2} (GM/R) dm/dt$

Eddington Limiti

Işınım basıncı = kütle çekim kuvveti

Bu eşitlik sağlandığında madde akışı durur.

Dolayısıyla yoğun cisim için luminoziteye sınırlama getirir.

$$\frac{L\sigma_e}{4\pi r^2 c} = G \frac{Mm}{r^2}$$

Buradan Eddington
Luminozitesi:

$$= \frac{4\pi c G M m}{\sigma_e}$$

X-ışın çiftleri Türleri

Grup I	Grup II
<p>Optik bileşeni parlak, büyük kütleli bir yıldız <i>(HMXB)</i></p> <p>X-ışın tayfı sert <i>($T > 100$ milyon K)</i></p> <p>çoğunlukla pulsasyon <i>X-ışın tutulmaları</i></p> <p>Galaktik düzlemde <i>Pop I</i></p>	<p>Optik bileşeni sönük küçük kütleli bir yıldız <i>(LMXB)</i></p> <p>X-ışın tayfı yumuşak <i>($T \sim 30-80$ milyon K)</i></p> <p>pulsasyon yok <i>X-ışın tutulması yok</i></p> <p>Gal. Halo + bulge <i>yaşlı, Pop II</i></p>