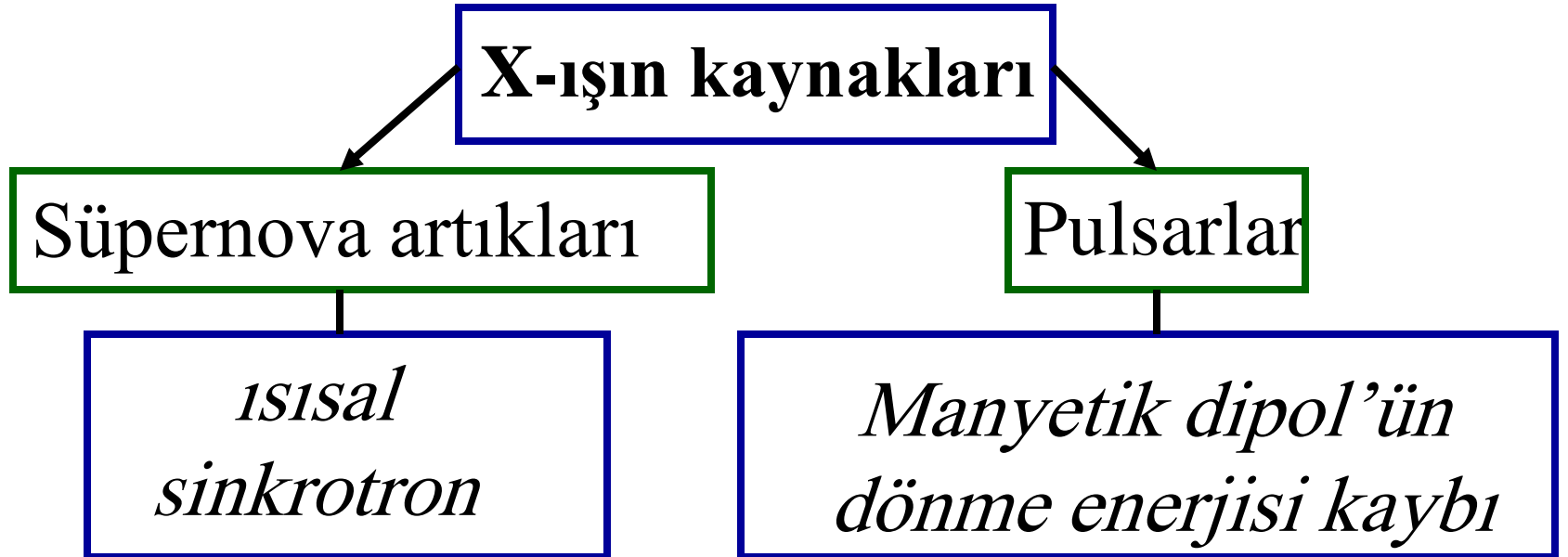


# Madde Birikimi

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.

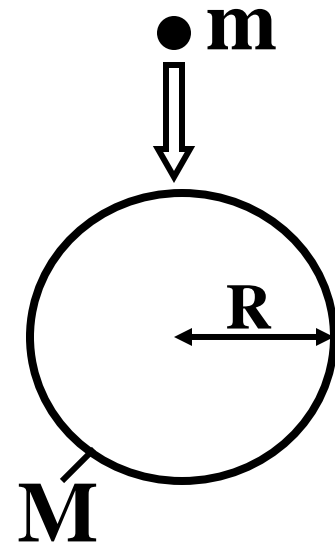
# Nötron yıldızı örneği

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 kütlenin 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

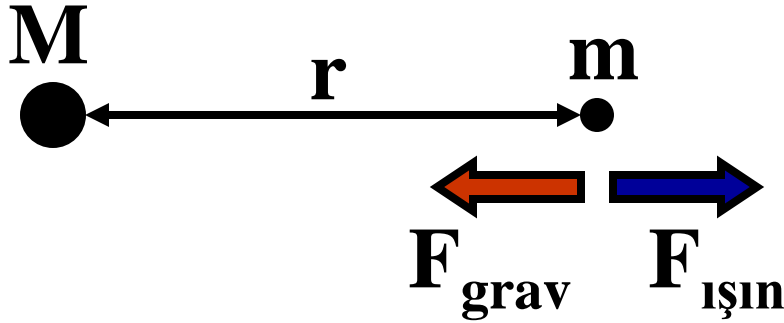
# Bir nötron yıldızının yakıtı:

- 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:

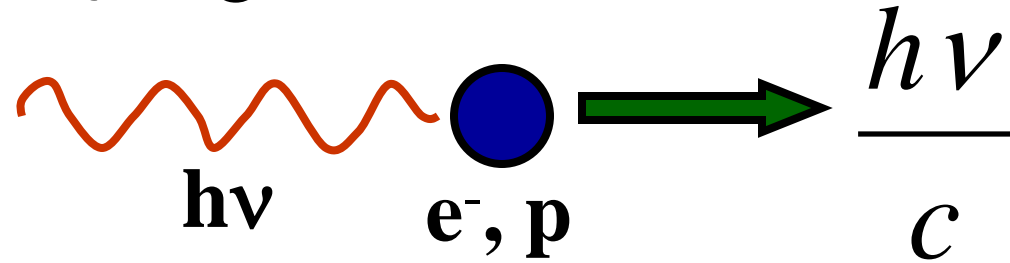
$$r = \frac{L}{4\pi.r^2} \frac{1}{h\nu} \text{ foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Saçılma en-kesiti, Thomson en-kesitine ( $\sigma_e$ )  
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,  $L_{\text{edd}}$ '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,  $\eta$  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  $T_{\text{rad}}$  olmak üzere,  $h\nu \sim kT_{\text{rad}}$
- Etkin kara cisim sıcaklığı  $T_b$  olmak üzere;

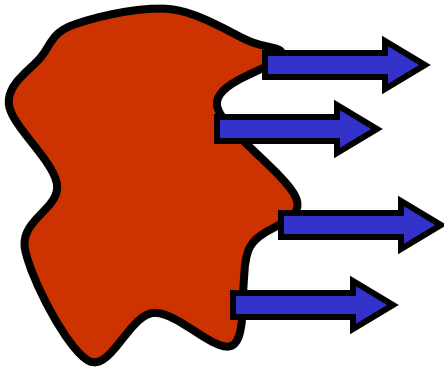
$$T_b = \left( L_{\text{acc}} / 4\pi R^2 \sigma \right)^{1/4}$$

- Isısal sıcaklık,  $T_{\text{th}}$  :

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

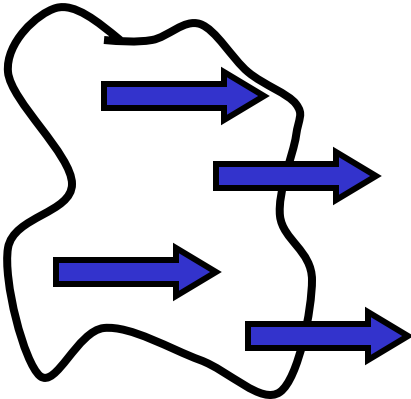
# Birikimin sıcaklığı

- 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:

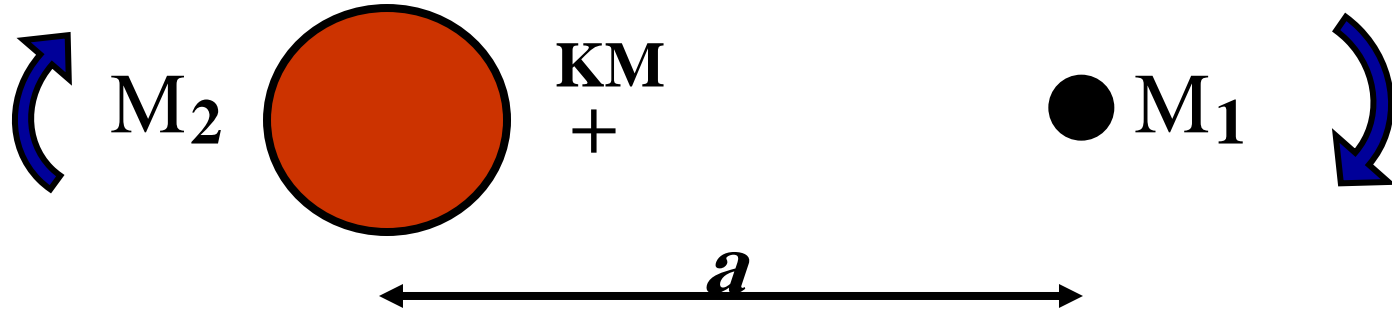
(1) **Roche Lob/Şişimi taşması (RLOF)**

(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  $M_2$  :

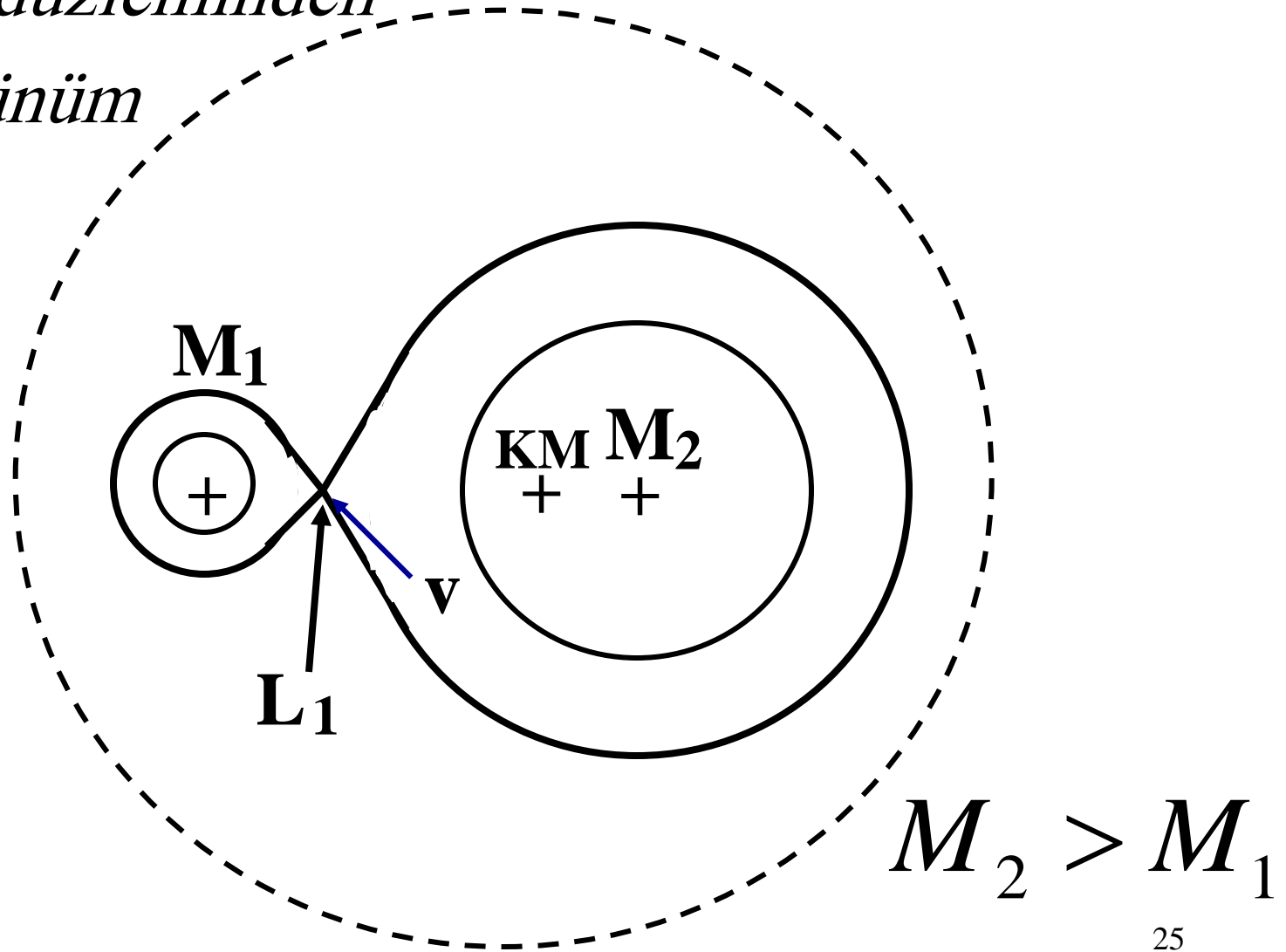


- Normal yıldız şiştiğinde veya “ $a$ ” uzaklığı azaldığında  $\Rightarrow$  sistemin L1 noktasından, normal yıldızdan yoğun bileşene madde akmaya başlar.



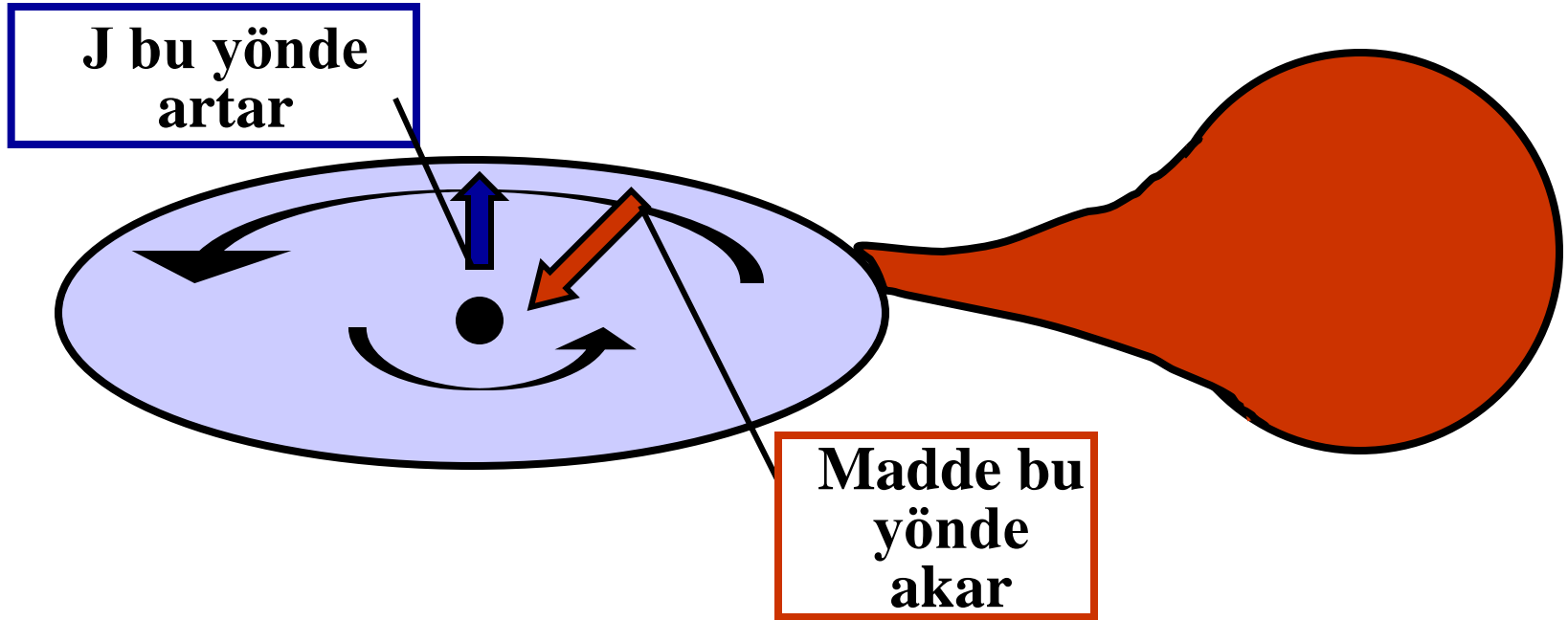
# Roche Eşpotansiyel Yüzeyleri

*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:

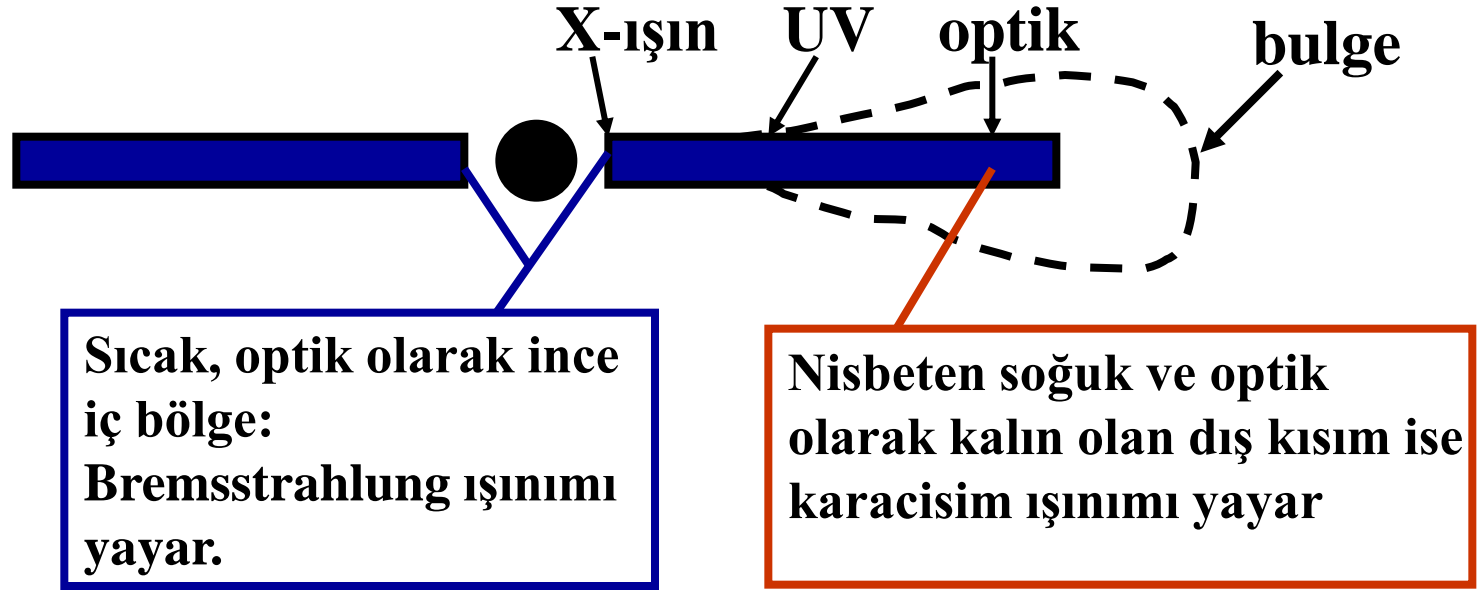
$$(1/2) mv^2 = (1/2) (GMm/R) = (1/2) E_{\text{birik.}}$$

- Büyük uzaklıklardaki gaz parçacıklarının PE ihmal edilebileceğinden:

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

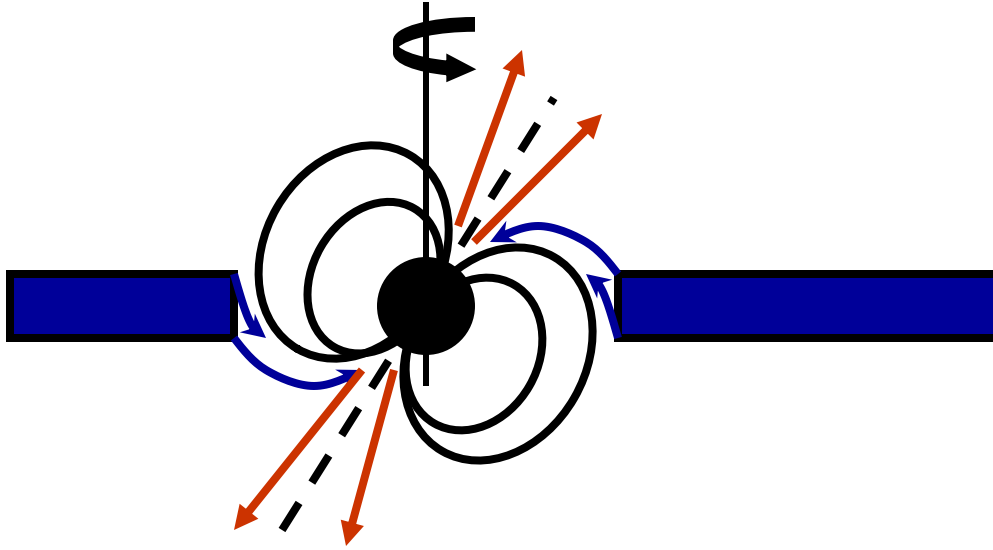
# Diskin Yapısı

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.

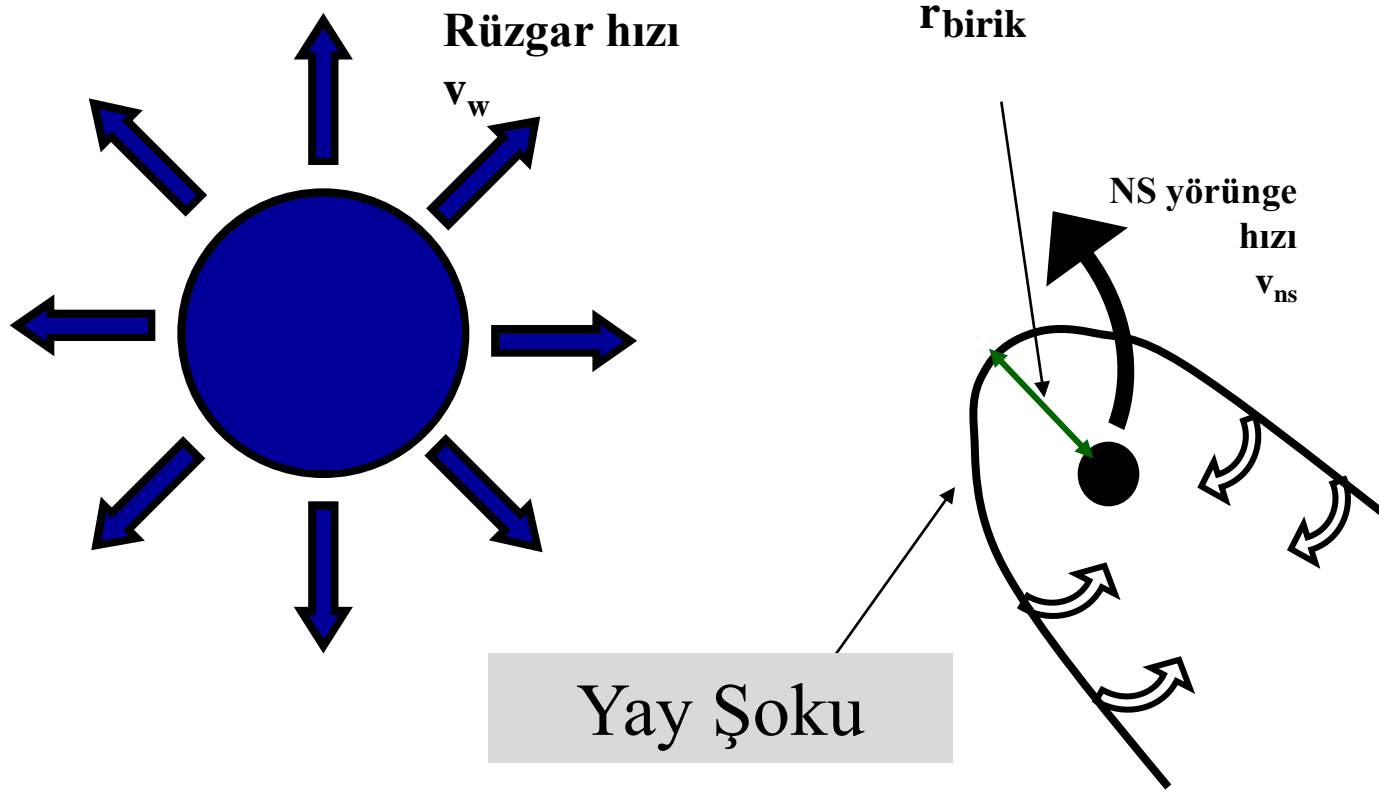
Bu tür Be bileşenli X-ışın çiftlerinde, aşağıdaki şart sağlanırsa yoğun bileşen madde toplar:

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



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

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