

# Dönme

Galileo Öğretmen Eğitimi Programı

Sabancı Üniversitesi – 14-16.08.2009

Nesin Matematik Köyü – Şirince – 17.21.08.2009

M. Ali Alpar

## Cisimler neden dönerler?

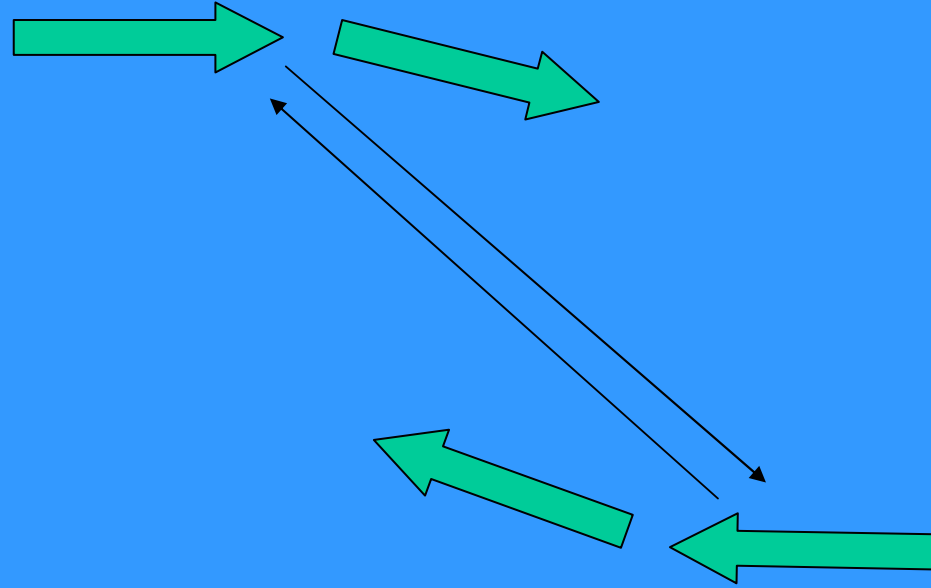
Öğrencinin sorusu:

Madem ki herhangi iki cisim evrensel kütleçekimi ile birbirini çekiyor, öyleyse niye birbirinin içine düşmüyorlar?

Dünya niye (“direk”) Güneş’e düşmez? Ay niye Dünya’ya düşmez?

Niye peki ?

Cisimler birbirine doğru řöyle düşerler:



Başlangıç hızları **nadiren** tam birbirine  
doğru olur:



İki yıldız birbirine yakın yerlerde oluştuğunda kütle çekimi kuvvetli, bunlar birbirine doğru sapacak. Genellikle, hemen her zaman oluşum sırasındaki rastgele ilk hızlar birbirine doğru değil. Oluşan iki yıldız birbiri etrafında yörüngeye girecekler. **Yörüngede dönmek sürekli birbirine doğru düşmektir.**

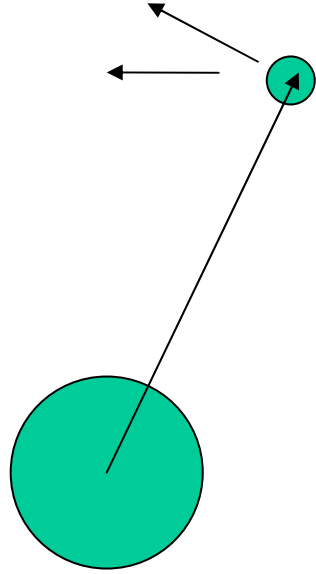
Nitekim gökteki yıldızların %60-70i çiftyıldızlar. Çiftler hababam birbiri etrafında dönüyorlar.

**“Enerji korunuyor.”**

**“Açısal momentum korunuyor.”**

Açısal momentum neyin ölçüsü: yanlamasına hareket, tam hedefe gitmemek, dönme.

Küçük  $m$  kütlesinin büyük kütle  $M$  etrafındaki  
Açısal momentum:  $L = m v_{\text{dik}} r = mr^2 \Omega = I \Omega$ .



## Açısal momentum sabit kalır.

Newton'un İkinci Kanunu  $\mathbf{F} = m \mathbf{a}$ , mesela kütleçekimi veya elektrik kuvveti gibi iki cismin birinden öbürüne doğru kuvvetler için ( $\mathbf{F} \parallel \mathbf{r}$ ) açısal momentumun sabit kalacağını söyler.

$$L = m v_{\text{dik}} r = m r^2 \Omega = I \Omega$$

Böylece Dünya Güneş'e daha yakınken daha hızlı hareket eder (Kepler).

Açısal momentum hangi şartlarda sabit kalır:  $\mathbf{F} \parallel \mathbf{r}$   
Bir yönden öbür yöne dönmeyi hızlandıracak bir etki yok (“tork yok”).

Yönler arasında bir tercih yok. Sistem yönlere göre simetrik.

Uzayda bir simetri varsa zaman geçerken sabit kalan birşey(ler) vardır. Emmy Noether





Birbiri etrafında yörüngede dönen iki yıldızın açısal momentumları korunuyor. İkili yörünge dengede kalıyor.

Üçlü, dördü, beşli vs gruplar dengeli değil. Toplam açısal momentum ve enerji korunurken tek tek yıldızların izledikleri yol çok karmaşık, grup içindeki ikili yörüngeler de dengeli değil.

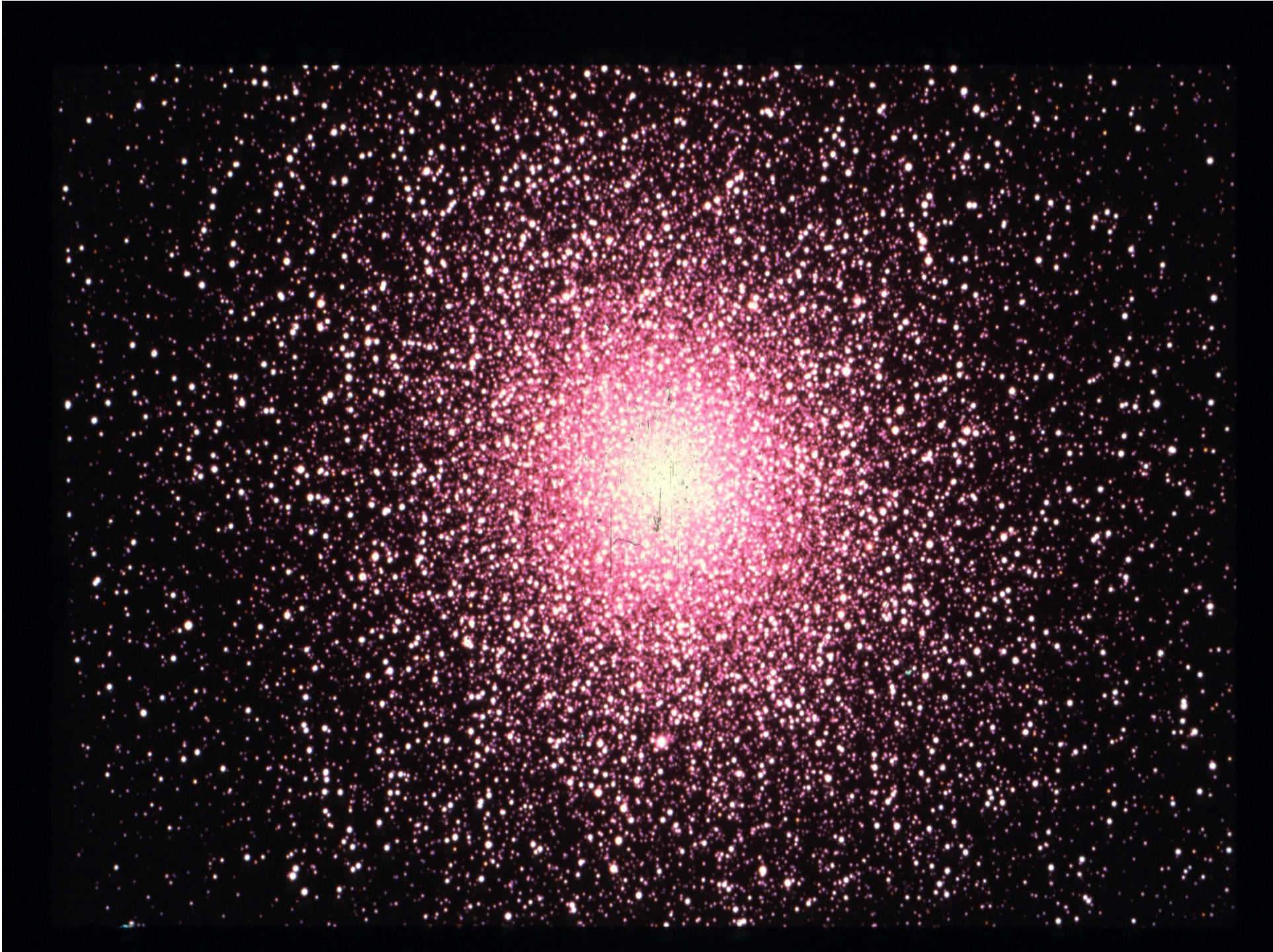
10'lular, 100'lüer uzunca bir süre için bir aradalar  
(açık yıldız kümeleri).

$10^5$ ,  $10^6$  iyice dengeli (küresel kümeler).

**Galaksiler:**  $10^9$ ,  $10^{10}$ ,  $10^{11}$  yıldız. Bütün bu yıldızlar kütle çekimi ile bir arada kalıyor, kütle merkezi etrafında dönüyorlar.



Orion'da açık yıldız kümesi – TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi  
(TUG) imajı







- Hubble Kanunu

- $V = H d$

- Her galaksi ne kadar uzaksa o kadar daha büyük hızla bizden uzaklaşıyor!

- Evren'in tümünün katıldığı ortak bir hareket var!  
Evren açılıyor!

- Hiçbir galaksi bu hareketin merkezinde değil!

- Evren'in tümü hiçbir eksen etrafında dönmüyor.  
Evrenin dönmesi yok.

Tüm gök cisimleri kendi eksenleri  
etrafında dönerler.

Tek bir yıldızın tüm parçaları da oluştuklarında birbirlerine göre hareket halinde idiler. Bu hareketin büyük bir kısmı yanlamasına, hele yıldız dengeye ulaştıktan sonra (ufak titreşimler haricinde) hareketin tamamı dönme hareketi. Yıldız bir eksen etrafında dönüyor. Bu eksen ve dönme hızını ilk oluşum zamanından kalan açısal momentum belirliyor.





TUG



Tek bir yıldız oluşurken, onun da bütün parçaları birbirine göre hareket halinde idi  $\rightarrow$  tüm yıldızlar (eksenleri etrafında) döner!

Nasıl birbiri etrafında yörüngede dönen iki yıldızın açısal momentumu varsa, tek bir yıldızın da açısal momentumu var.

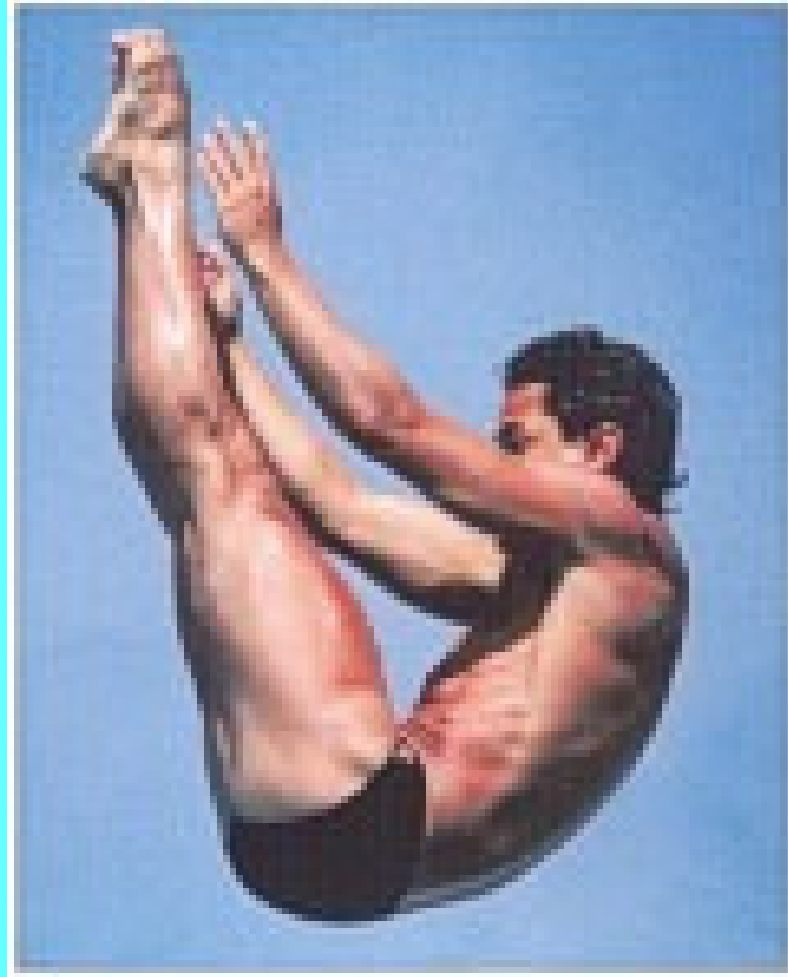
## Açısal momentum sabit kalır (KORUNUR).

(Bu korunum yasası, tıpkı enerji ve momentumun korunumu gibi, Newton'un 2. Yasası  $F = ma$  'dan kaynaklanır. Sadece “birbirine doğru” çeken (kütleçekimi gibi), veya iten kuvvetler için geçerlidir).

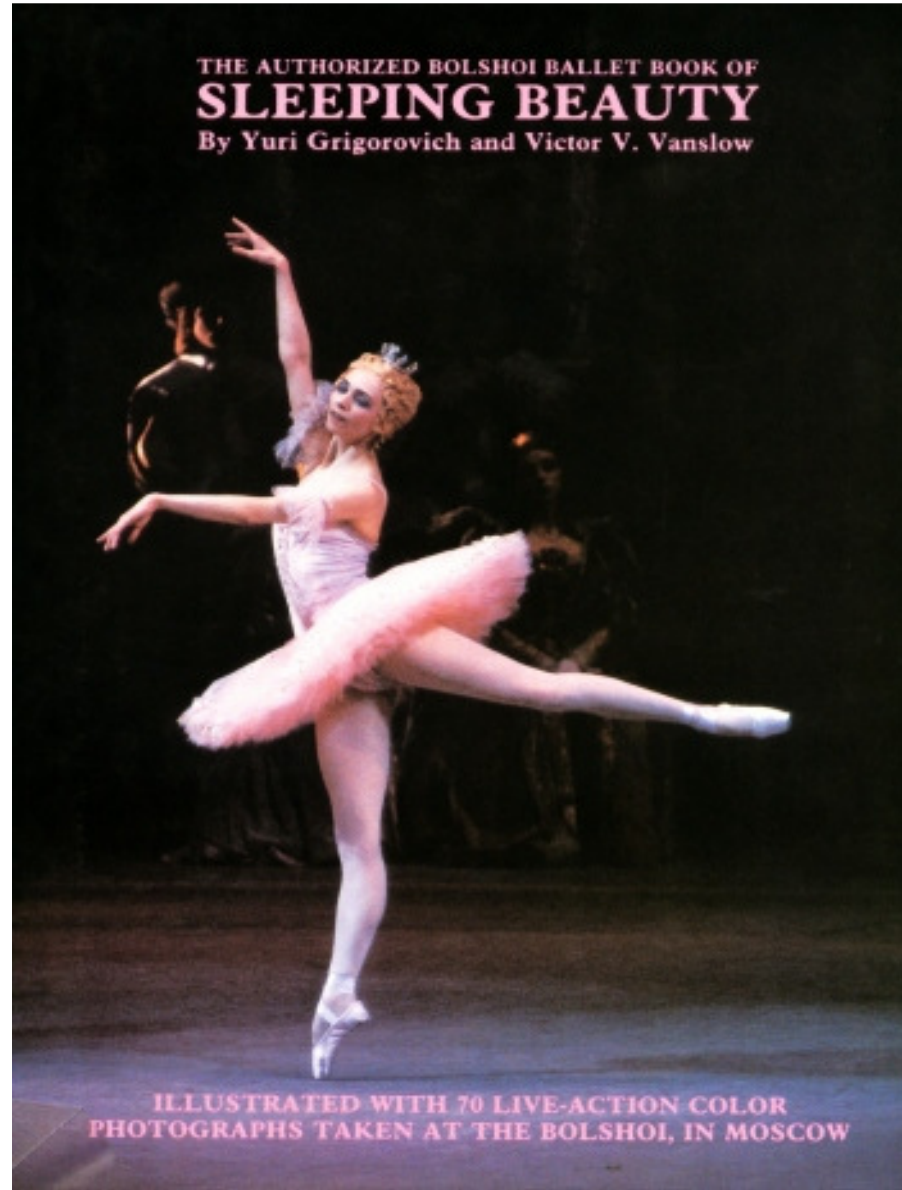
Bu yüzden Dünya Güneş'e yakinken daha hızlı, uzak iken daha yavaş hareket eder (Kepler'in 2. Yasası).

Tramplenden atlayanlar kollarını bacakların toparlayınca daha hızlı dönerler.

Patenciler ve balerinler de açısal momentum korunumunu kullanırlar.



Tramplenden atlayan sporcu kol ve bacaklarını toplayınca dönmesi hızlanır. (Greg Louganis, Olimpiyat Şampiyonu)



Balerinler ve patenciler kollarını içeri çekince dönme hızlanır.



En küçük yıldızlar en hızlı dönerler.

Ne kadar hızlı?

$$F = ma$$
$$GM_{\text{yıldız}} m_{\text{parça}} / r^2 = m_{\text{parça}} v^2 / r = m_{\text{parça}} \Omega^2 r$$
$$\Omega^2 = G M_{\text{yıldız}} / r^3$$

Kepler'in 3. Kanunu

$$\Omega = v / r \quad (\text{açısal})$$

$$P = 2 \pi r / v \quad (\text{period}) = 2 \pi / \Omega$$

$$f = 1 / P = \Omega / 2 \pi$$

(frekans, saniyede kaç dönme = Hertz )



$$\Omega_{\text{en hızlı}}^2 = G M_{\text{yıldız}} / R^3$$

$$\Omega_{\text{en hızlı}}^2 = G 4\pi/3 [M_{\text{yıldız}} / (4\pi/3 R^3)]$$

$$\Omega_{\text{en hızlı}}^2 = G 4\pi/3 \rho$$

**En yoğun yıldızlar en hızlı dönenler.**

Güneş'imiz gibi sıradan yıldızlar:

kütle:  $2 \times 10^{27}$  ton

yarıçap: 700 000 Km.

yoğunluk:  $1 \text{ gm/cm}^3$  mertebesinde.

Güneş kendi etrafında 25 günde döner.

Kütleçekimine karşı denge: Hidrojeni Helyuma dönüştüren termonükleer reaksiyonların verdiği enerji sayesinde oluşan yüksek sıcaklık ve **basınç** ile sağlanıyor.

Bu denge sonsuza dek süremez  
( Neyse ki Güneş için  $5 \times 10^9$  yıl sürecek 😊)

“Güneş kalacak. Sonra o da gidecek.”

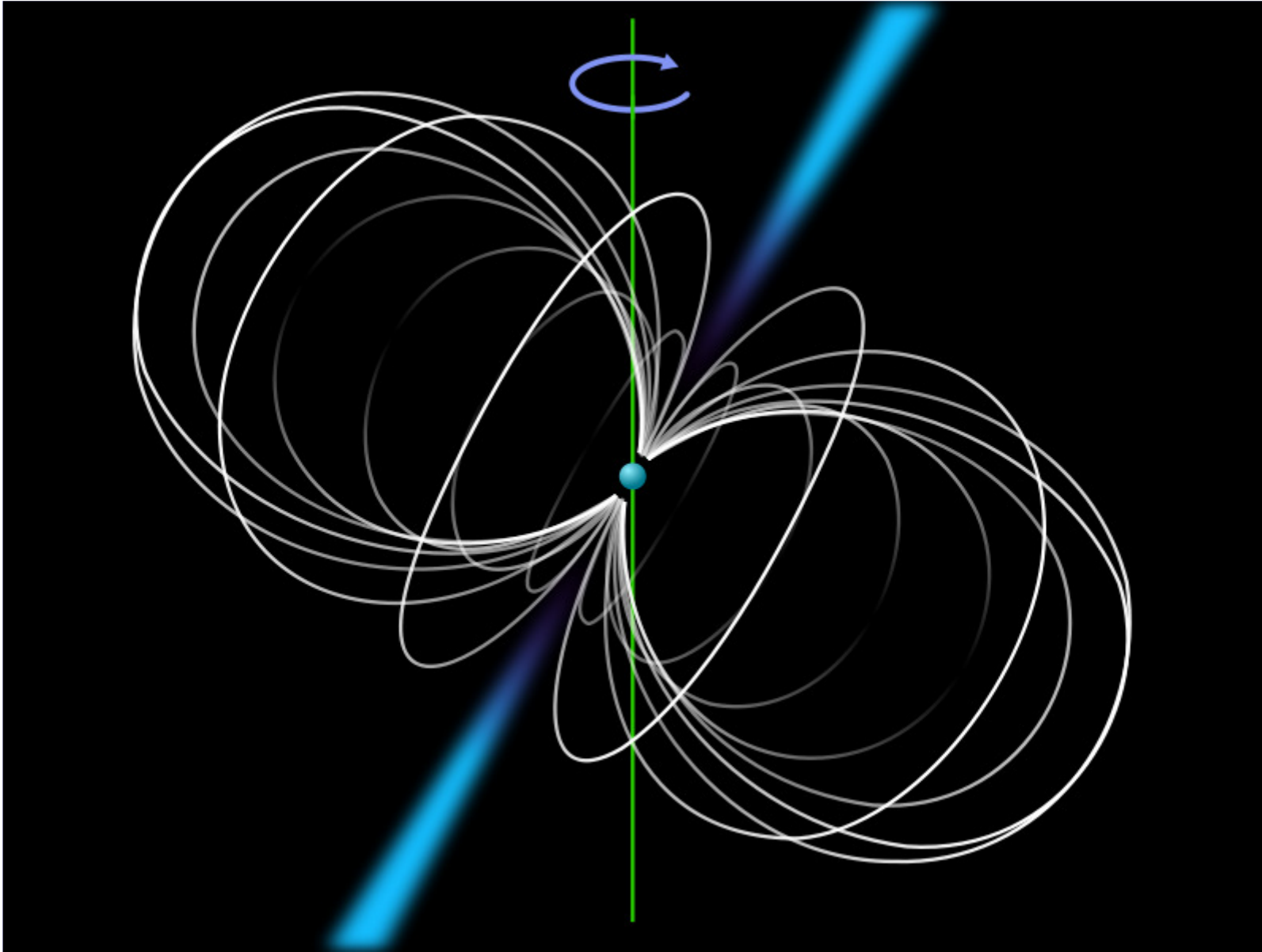
H yakıtı bitecek. Yakılacak- dönüşülecek eleman türleri de bitecek (en son varılan tür: Demir). Periodik Tablo'nun da bir sonu var (Niye? Çünkü çekirdek kuvvetlerinin, protonlar arası itici elektrik kuvvetine rağmen bir arada tutabilecekleri çekirdek türlerinin de bir sınırı var!)

**Tüm termonükleer olanaklar tükendiğinde sonsuz kütleçekimiyle çöküşü durduracak ne var?**

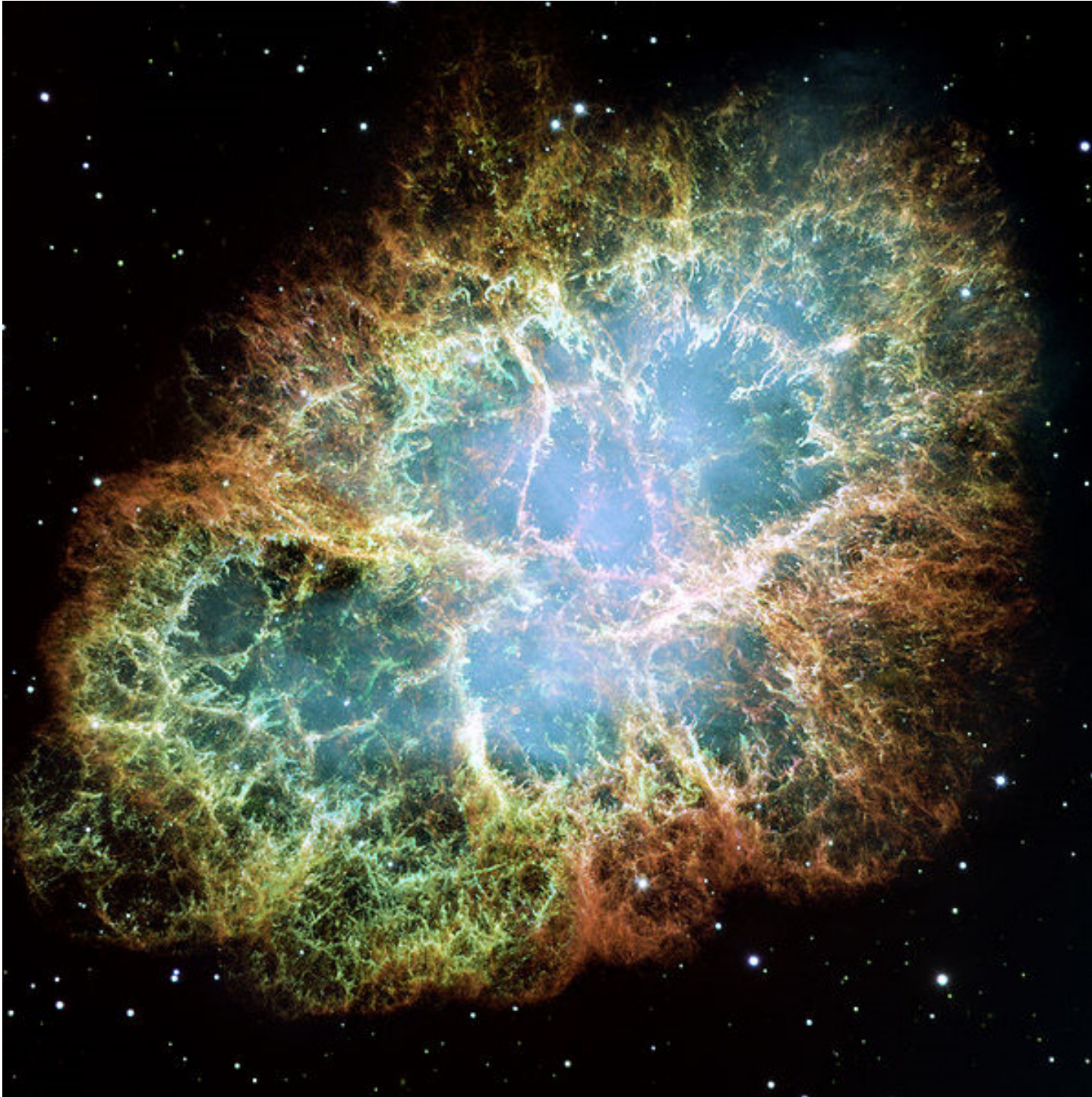
En küçük yıldızlar- nötron yıldızları.  
Kütle:  $2 \times 10^{27}$  ton Yarıçap: 10 Km.  
Yoğunluk:  $\sim 500$  milyon ton /cm<sup>3</sup> .  
Bildiğimiz en hızlı nötron yıldızı kendi  
etrafında saniyede 716 defa dönüyor.

(PSR J1748-2446ad adlı pulsar bu, Terzan 5 adlı Dünyadan 28,000 ışık yılı uzaklarda Yay Burcu yönündeki küresel kümede.)

En hızlı dönen mutfak robotları 250-500 Hz.



Bir atarcanın (pulsarın) yapısı: Şekil ortasındaki küçük nokta atarcayı, bu noktadan çıkan içbükey çizgiler manyetik alan çizgilerini, mavi konik çizgilerse atarcanın kutuplarından çıkan ışınımı göstermektedir. (Wikipedia)



Yengeç Nebülası  
(Wikipedia)



Yengeç Nebülası  
Optik + X-ışınları  
(Wikipedia)

Pulsarların “ses”leri:

<http://www.jb.man.ac.uk/research/pulsar/Education/Sounds/>