

Astroparacak Fiziği

Cenk Yıldız

cenk.yildiz@cern.ch

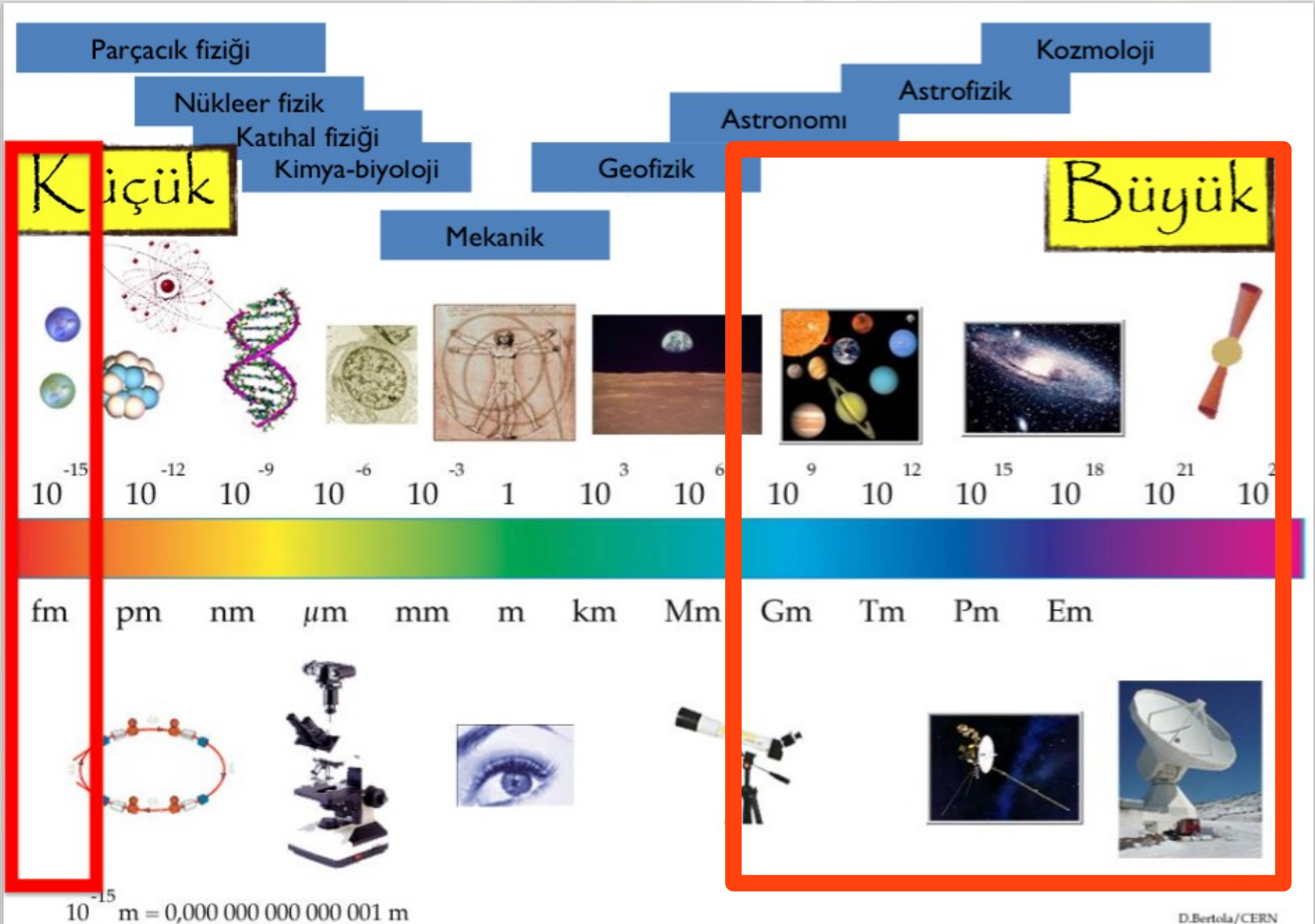
University of California Irvine (UCI)

CERN Türk ęretmen Programı
20-24 Temmuz 2015
Cenevre, CERN

...

- Nedir
- Parçacık Fiziği ile Farkları
- Kozmik Parçacıklar
- *Nötrinolar – Umut'un dersi*
- Yıldızların Evrimi ve Karadelikler
- Kütle çekim dalgaları
- Karanlık Madde / Karanlık Enerji
- Astroparçacık Fiziği Deneyleri

Nedir?



Nedir?

Parçacık Fiziği
+
Plazma Fiziği
+
Astronomi/Kozmoloji
+
Genel Görelilik

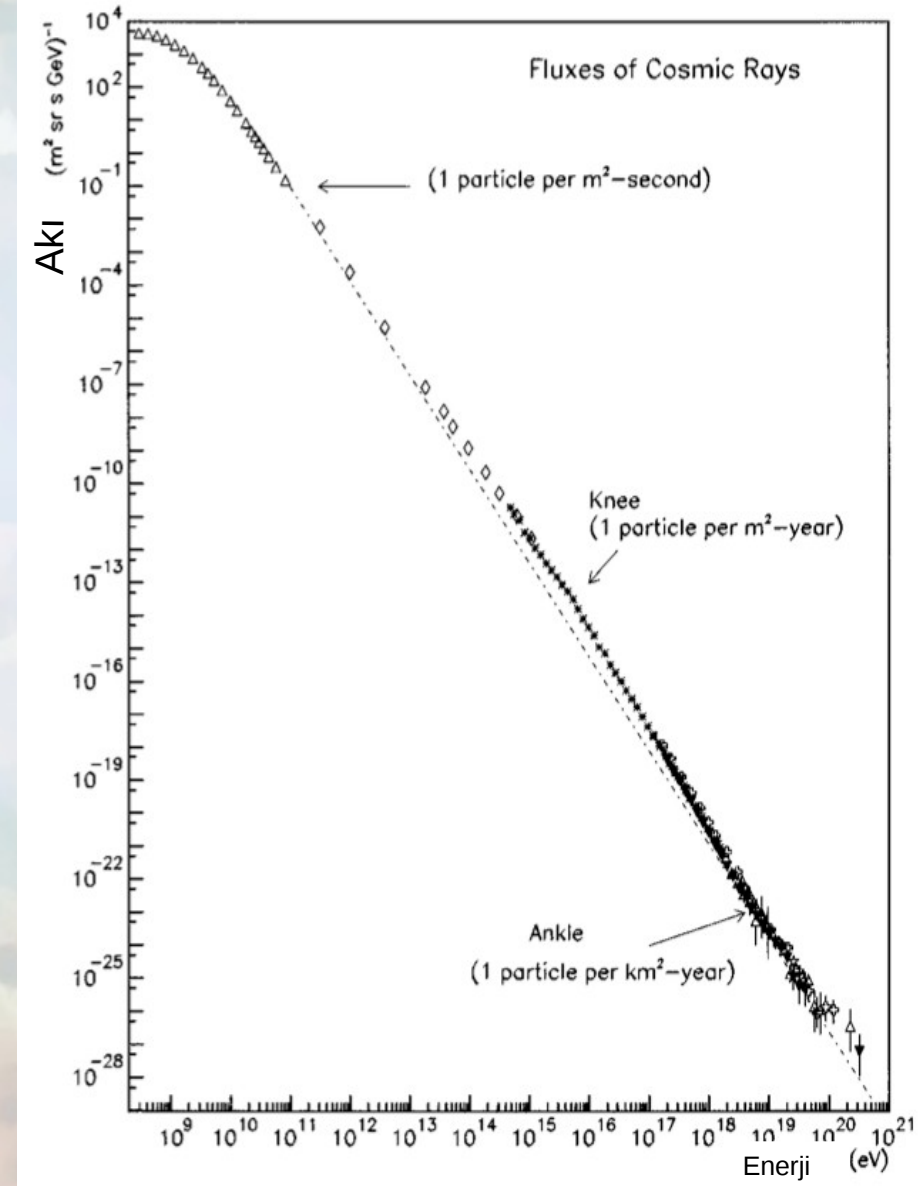
= Astroparçacık
Fiziği



Görelili olarak yeni bir alan..

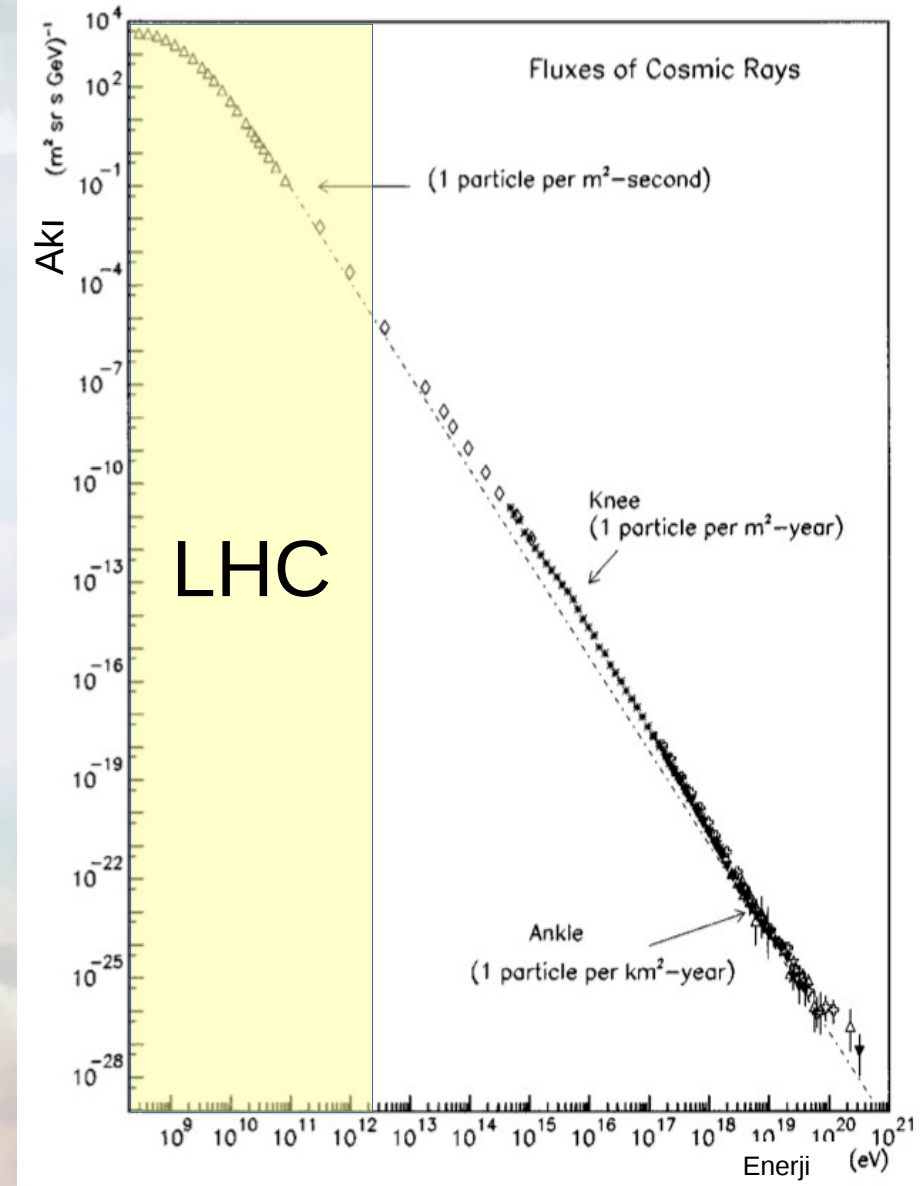
Parçacık Fiziği ile Farkları

- Kaynak dünyadaki hızlandırıcılar değil, astronomik cisimler
- Hızlandırıcı teknolojisine bağımlı değil



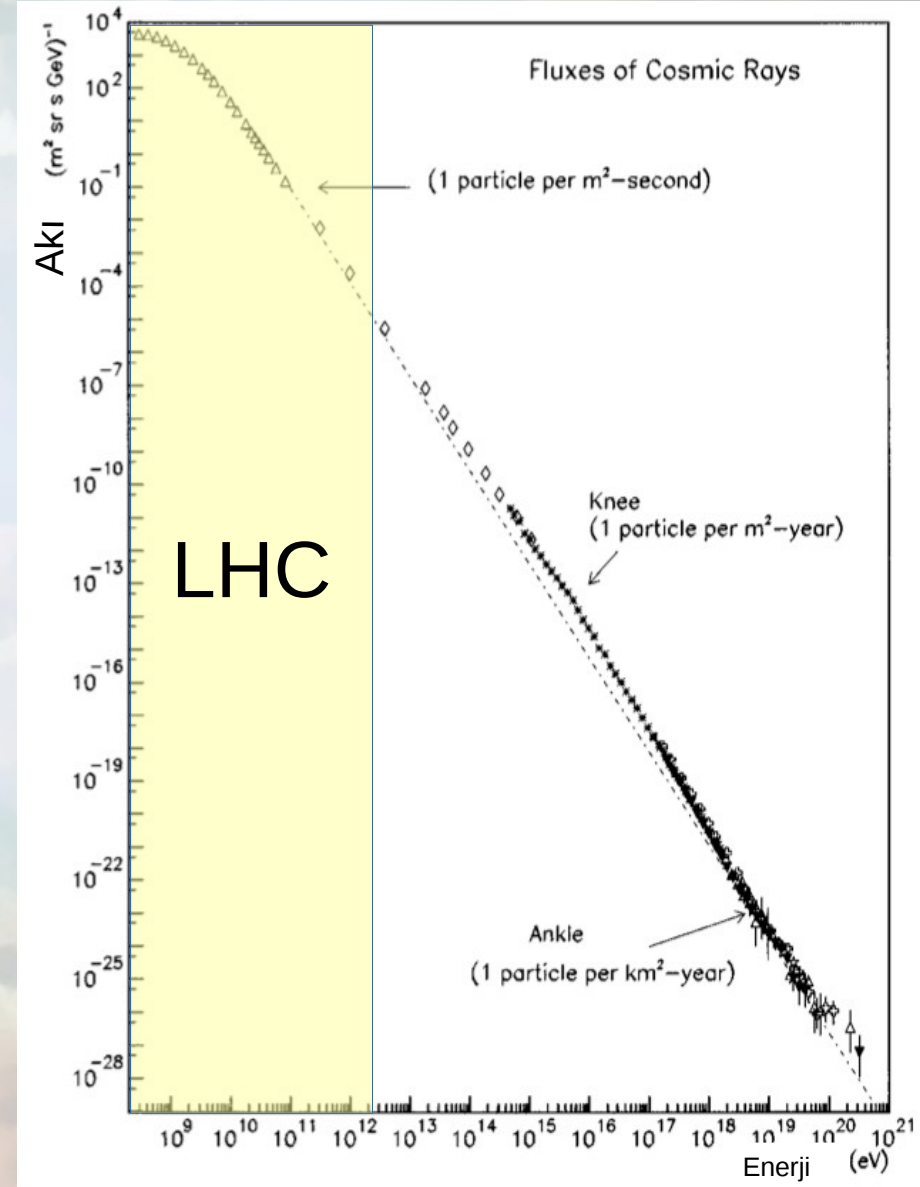
Parçacık Fiziği ile Farkları

- Kaynak dünyadaki hızlandırıcılar değil, astronomik cisimler
- Hızlandırıcı teknolojisine bağımlı değil



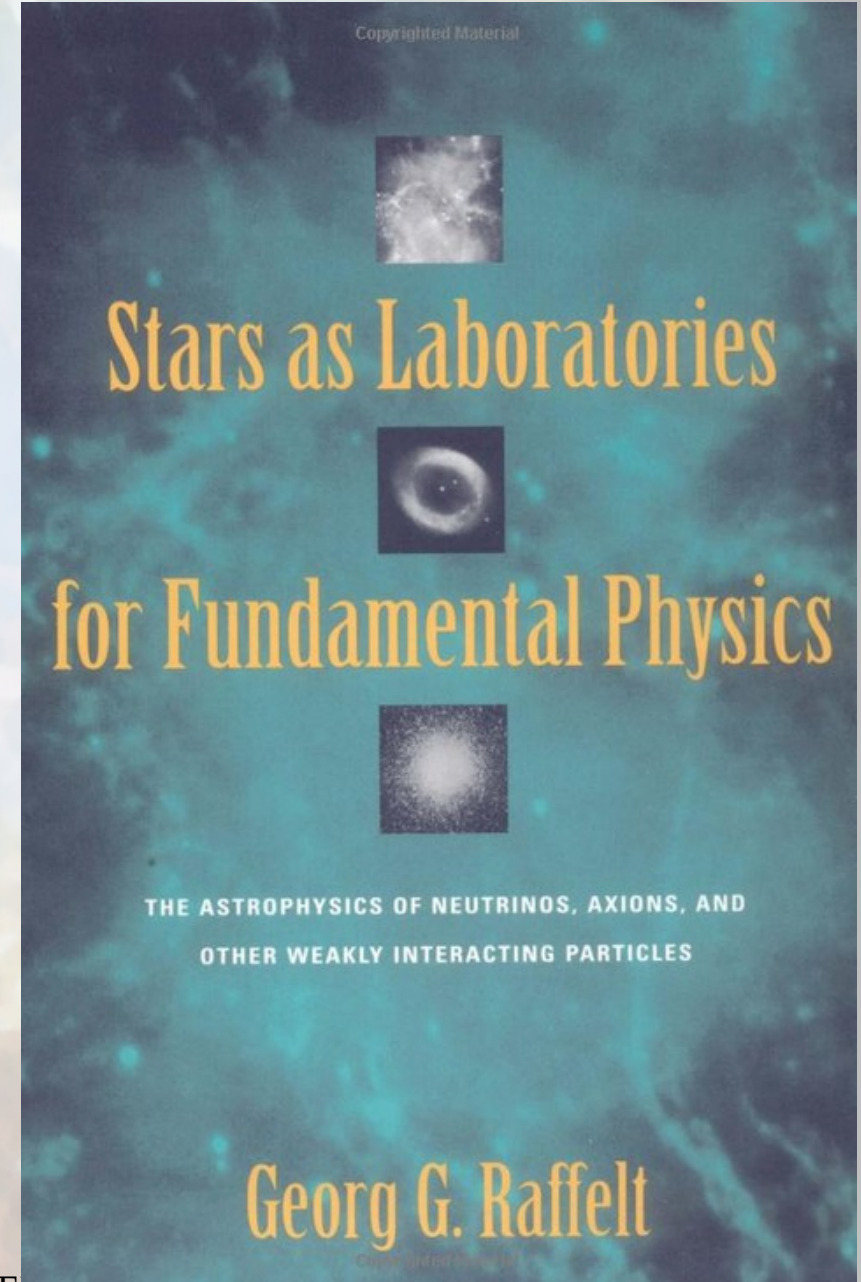
Parçacık Fiziği ile Farkları

- Kaynak dünyadaki hızlandırıcılar değil, astronomik cisimler
- Hızlandırıcı teknolojisine bağımlı değil
- Zaman-bağımlı
- Genel görelilik ile sıkı şekilde ilişkili



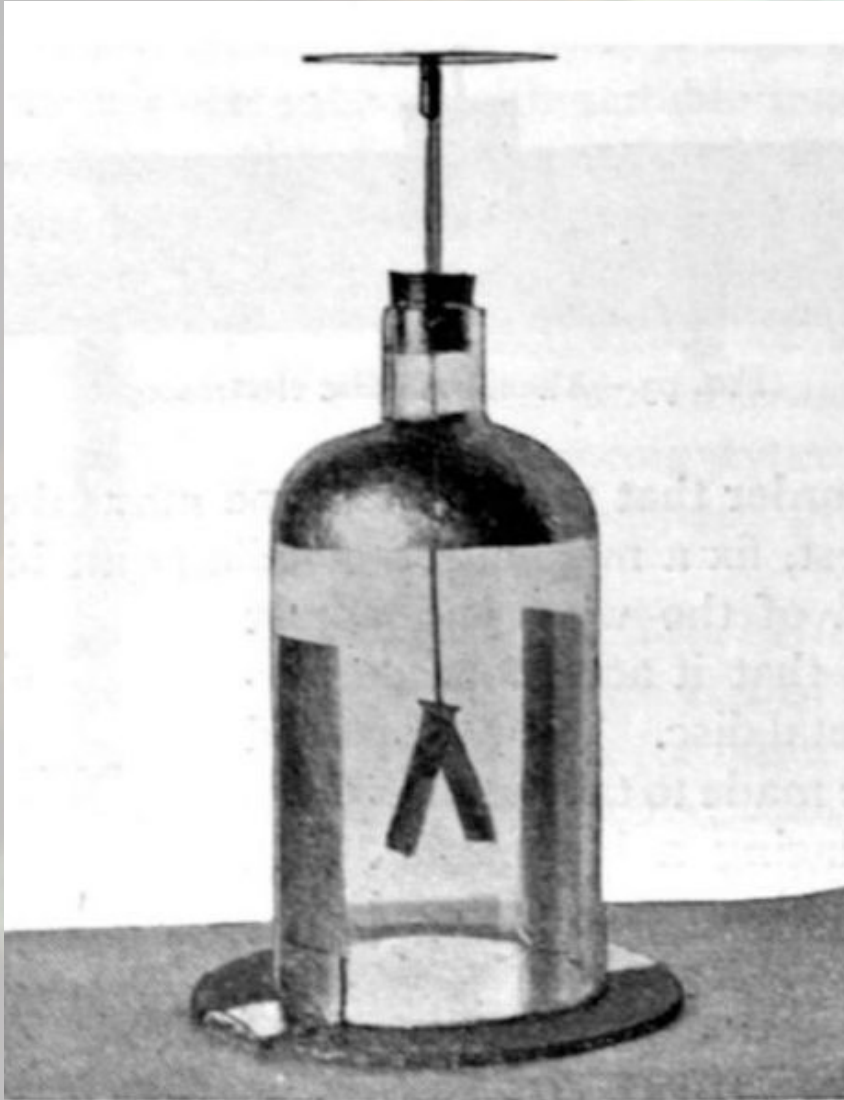
Parçacık Fiziği ile Farkları

- Kaynak dünyadaki hızlandırıcılar değil, astronomik cisimler
- Hızlandırıcı teknolojisine bağımlı değil
- Zaman-bağımlı
- Genel görelilik ile sıkı şekilde ilişkili
- Laboratuvar: Tüm uzay



Kozmik Parçacıklar

Elektroskop



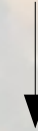
Yapraklarda bir elektrik yükü var
Bu sebeple birbirlerini itiyorlar.



Zamanla yapraklar kapanıyor



Sebebi: Havanın iyonizasyonu



Radyoaktivite'nin keşfinde önemli yeri var

İyonizasyona sebep olan parçacıkların
topraktan gelen radyoaktivitenin sonucu
olduğu düşünülüyordu

Kozmik Parçacıklar

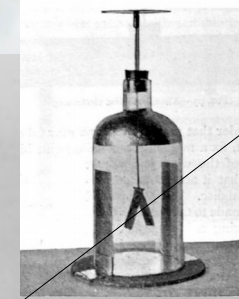
Wulf: 1909

Elektroskop tarzı bir aleti eyfel Kulesinin tepesine çıkarır

Tepede iyonizasyon azalır, ama beklendiği kadar değil

$$3.5 \times 10^6 \text{ ions/m}^3$$

$$6 \times 10^6 \text{ ions/m}^3$$



Kozmik Parçacıklar

Pacini: 1911

Dağlarda ve deniz altında ölçümler yaptı

Deniz altında ionizasyonun azaldığını gördü!



O zaman belki de tek kaynak yer değil!

Kozmik Parçacıklar

Hess: 1912

Kohlhörster: 1913



Balonla ölçümler yaptılar

Yükseklik arttıkça, ionizasyon
ilk düşüyor, sonra artıyor!

Dünya dışından gelen
parçacıklar olmalı

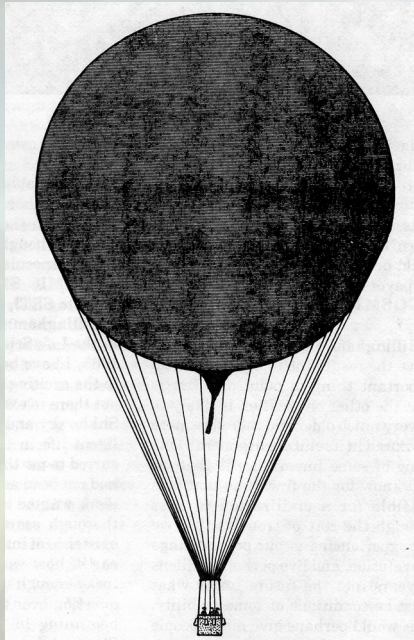
“Long Penetrating rays”

Kozmik Parçacıklar

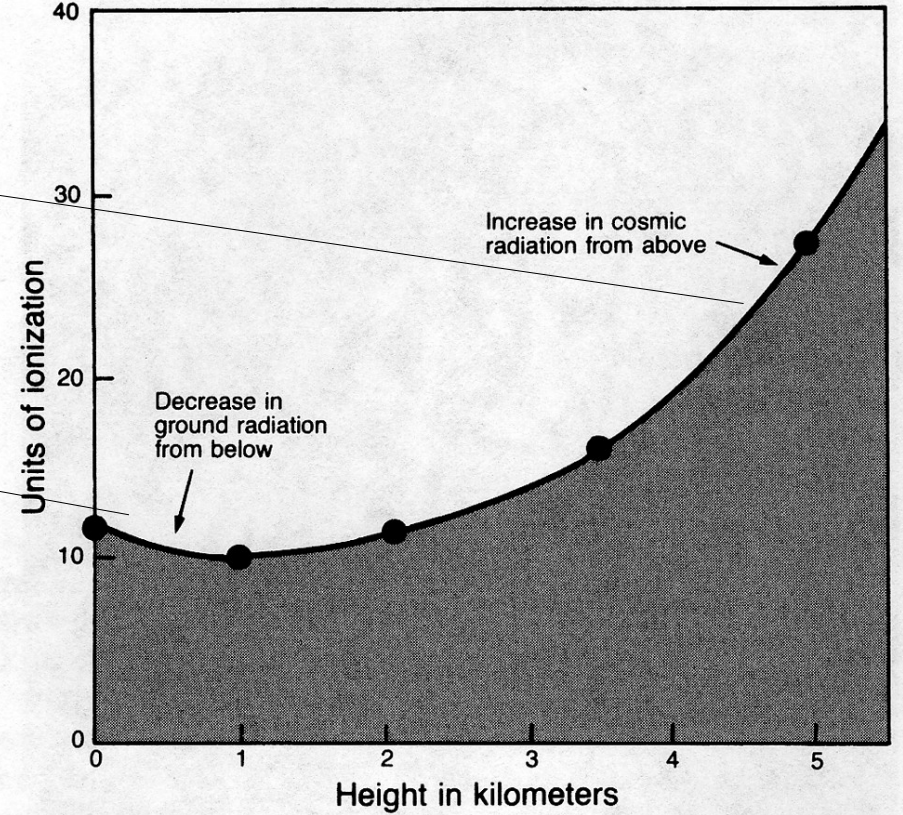
Hess: 1912 Kohlhörster: 1913

Uzaydan gelen parçacıkların artması sebebi ile artış

Yerden gelen radyasyonun azalması sebebi ile düşüş



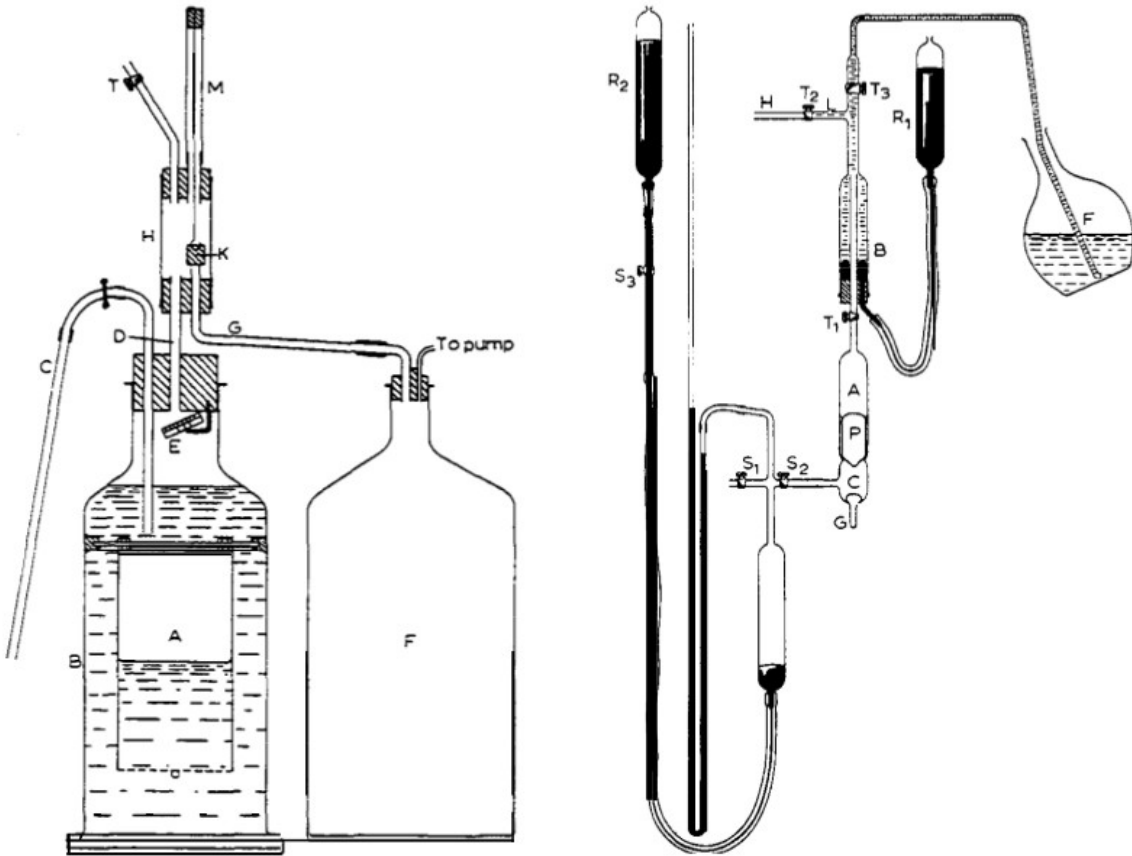
Ascent of the Böhmen



Readings on ionization chamber Victor Hess carried aloft in the Böhmen. Above four kilometers the ionization rose rapidly indicating "that rays of very great penetrating power are entering our atmosphere from above". These cosmic rays contain the only modern samples of matter from outside our solar system which can be investigated directly.

Kozmik Parçacıklar

Wilson: Bulut odası

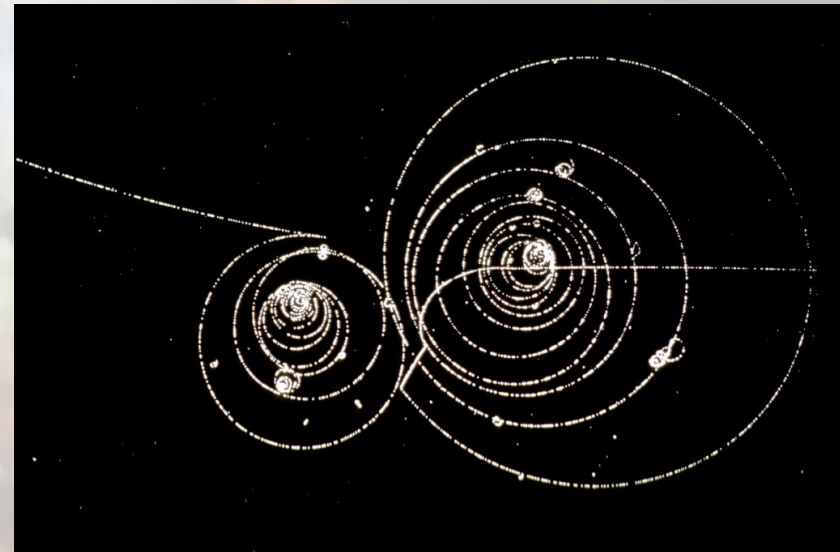


Prensip: Super doymun ortamda ionize olan atomlar etrafındaki yoğuşma

Manyetik alan ile parçacıklar hakkında bir çok bilgi elde edilebiliyor

1920'lerde kozmik ışınların anlaşılmasına yardımcı oldu

Ayrıntılar: Bugün öğleden sonra



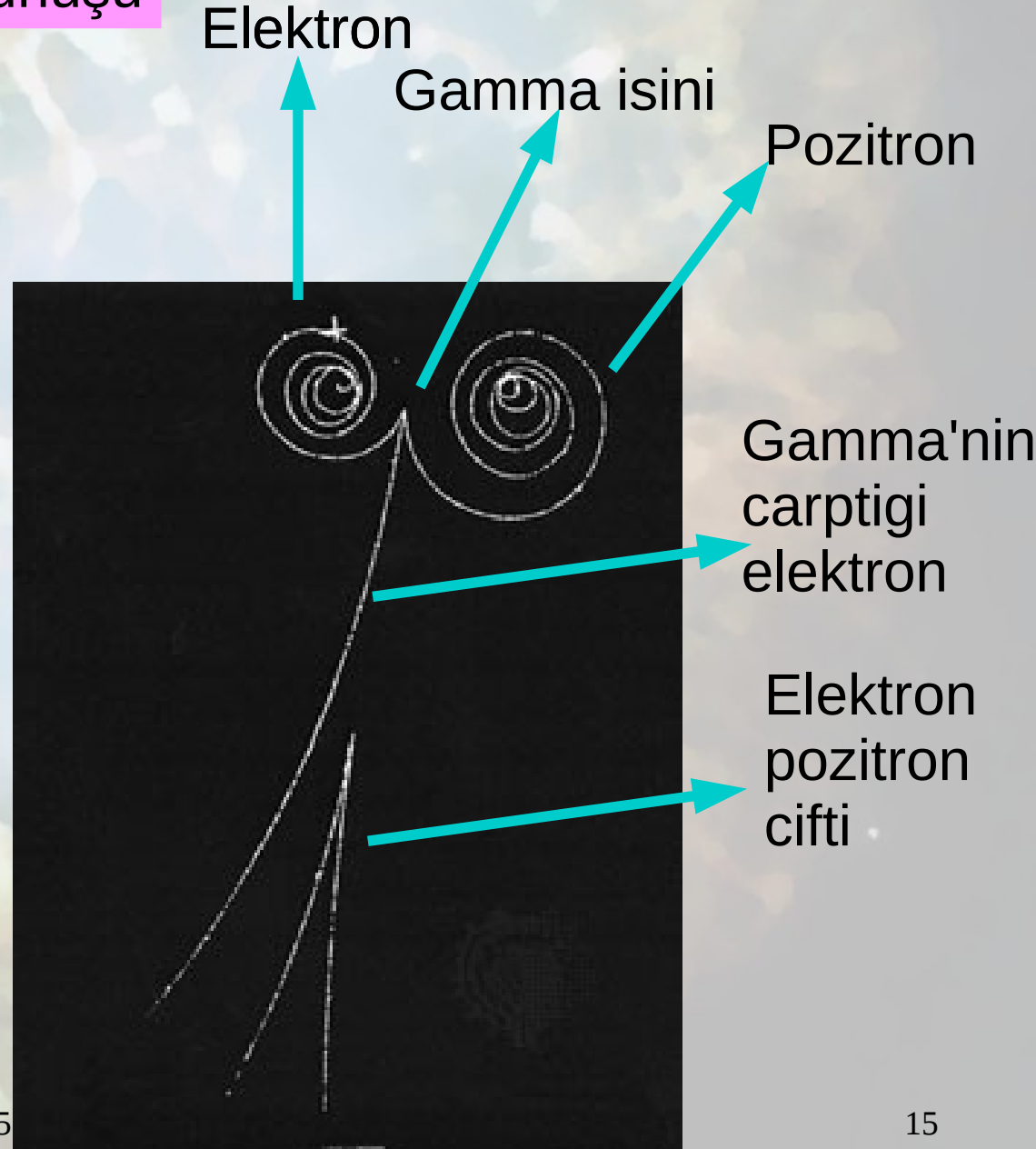
Kozmik Parçacıklar

1929-1933: Pozitron'un bulunuşu

Bulut odasında, elektron'la aynı kütlede, ama farklı yükte bir parçacık görüldü

Kaynak: Elektron-pozitron çiftine bozunan gamma ışını

Dirac, pozitronu 1931'de tahmin etmişti.



Kozmik Parçacıklar

1930: Nükleer Emulsion

Parçacıklar film üzerinde iz bırakır

Pion \rightarrow müon \rightarrow elektron
bozunma zinciri filmlerde
gözlendi

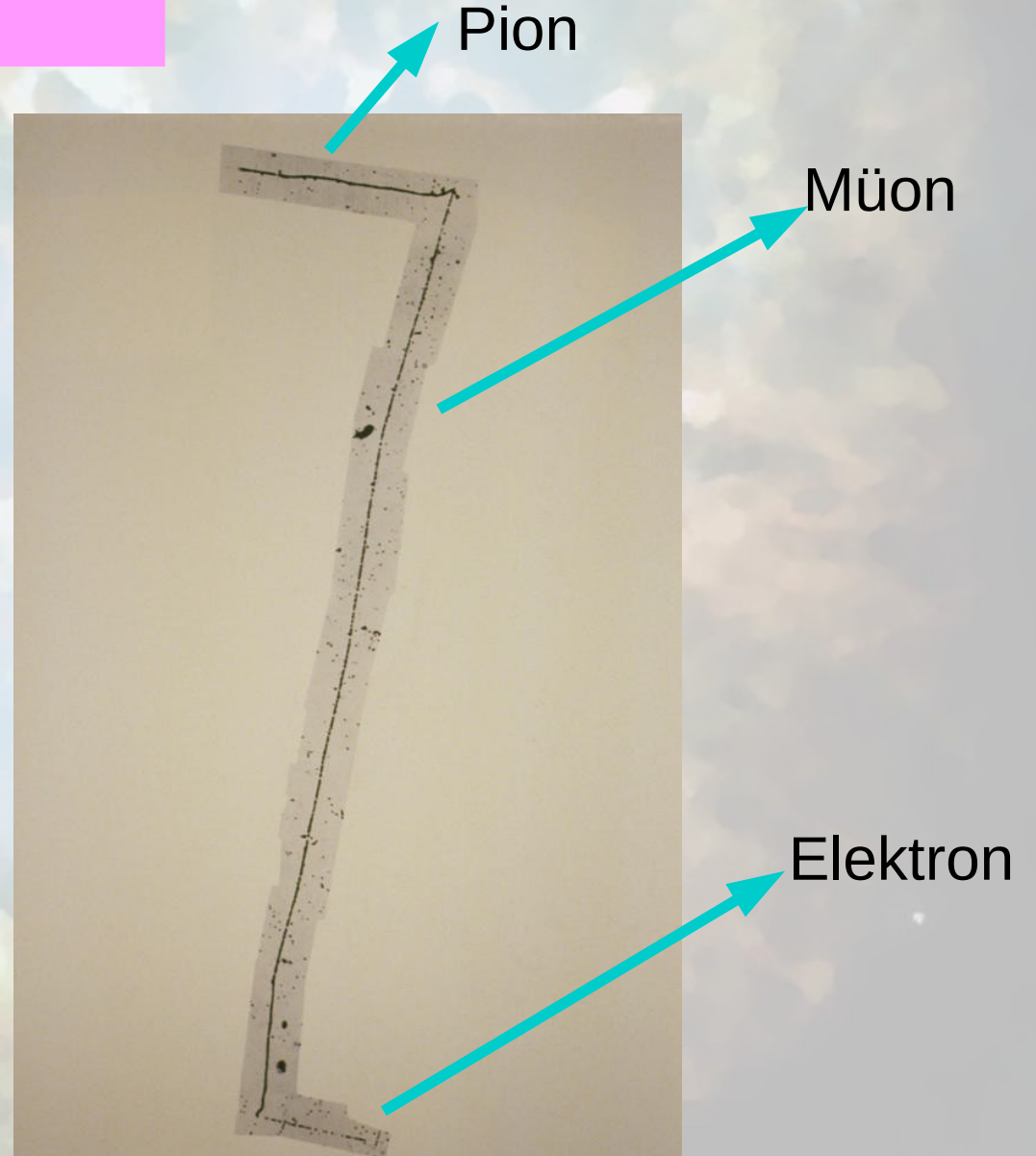
$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma,$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu,$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu.$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu,$$

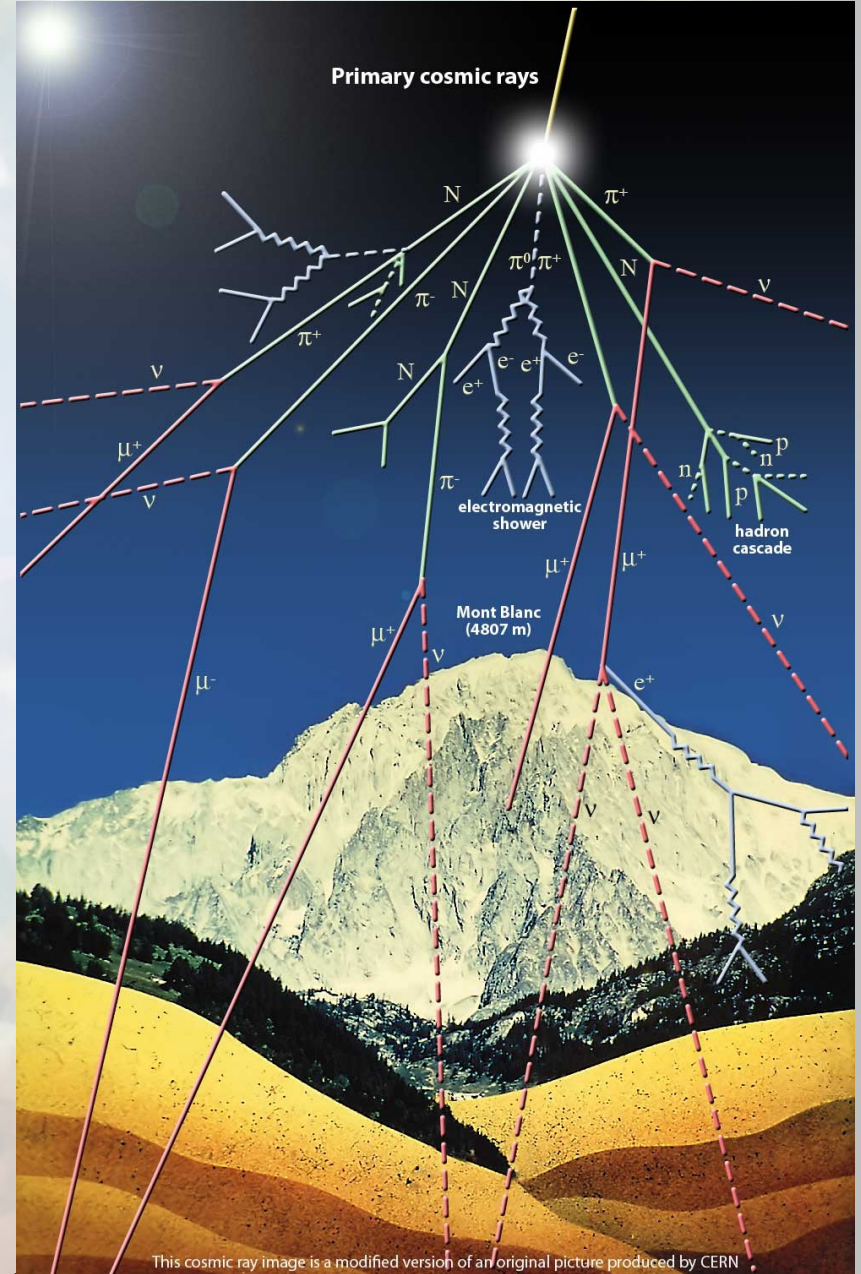
$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu.$$



Kozmik Parçacıklar

Pierre Auger: 1938

Yerdeki kozmik ışınların çok daha yüksek enerjili parçacıkların atmosferle etkileşmesiyle oluştuğunu keşfetti

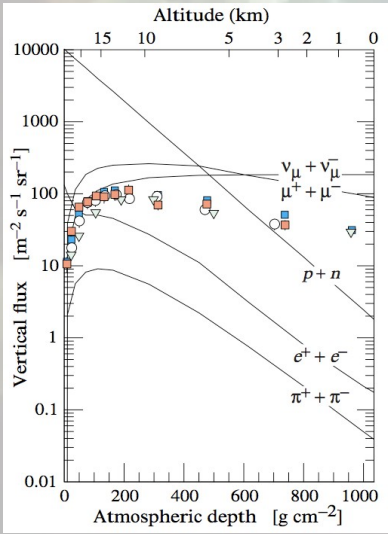


Kozmik Parçacıklar

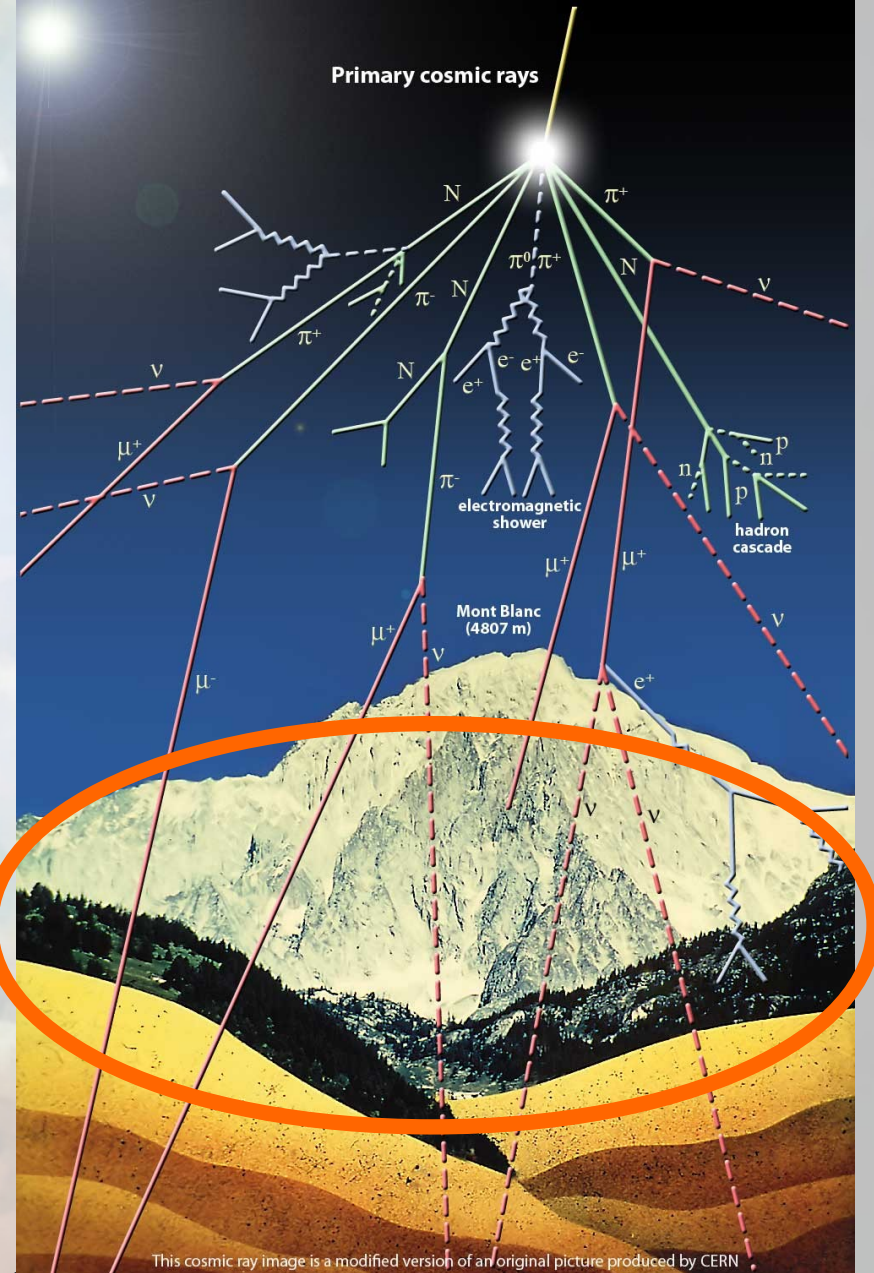
Kozmik Işınların içeriği

Birincil parçacıklar çoğunlukla astronomik cisimlerde hızlandırılmış protonlar

Protonlar kararlı parçacıklar, ama atmosferdeki parçacıklarla etkileşiyorlar



Deniz seviyesinde kalan parçacıklar çoğunlukla müon ve nötrino



Kozmik Parçacıklar

Pierre Auger Observatory

Geniş alana yayılmış algıçlar ile aynı anda gelen parçacıkları tespit ederek, birincil parçacık hakkında bilgi elde ediyor.
Ultra yüksek enerji: (10^{18} - 10^{20} eV)



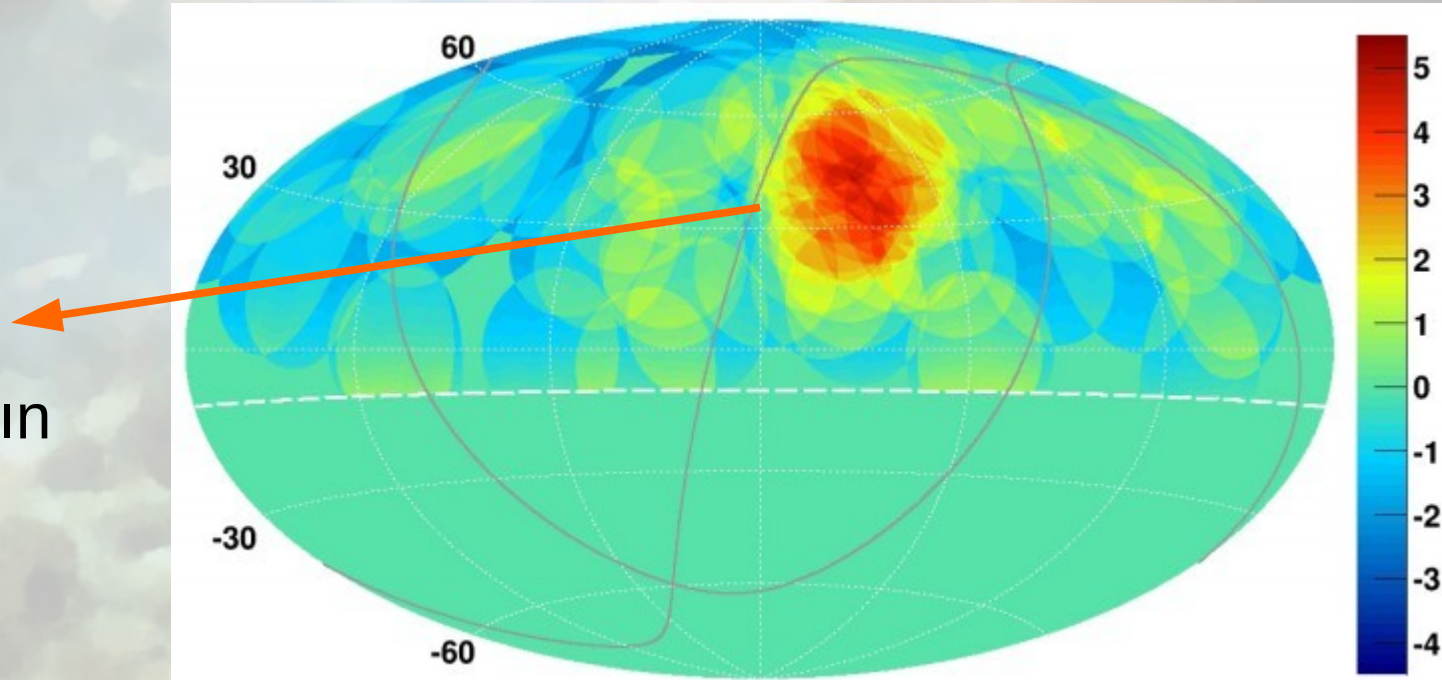
Kozmik Parçacıklar

Akıllı telefon Kozmik Parçacık Uygulaması :)

<http://arstechnica.com/science/2014/10/cosmic-ray-particle-shower-theres-an-app-for-that/>



Aynı bölgedeki pek çok akıllı telefonda aynı birincil parçacığın ürünleri görünebilir

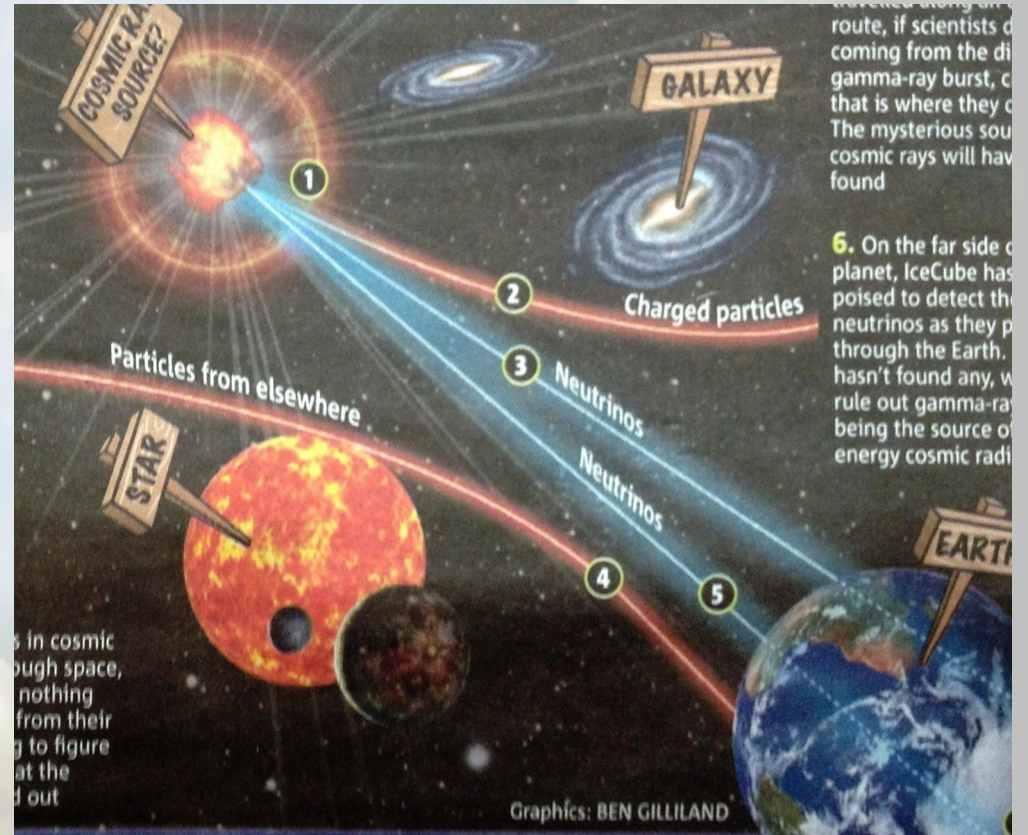


Kozmik Parçacıklar

Kozmik parçacıkların uzayda yönü

Galaksilerarası manyetik alanlar sebebiyle, sadece nötrino ve fotonlar sapmadan dünyaya gelir.

Bu sebeple yüklü kozmik parçacıkların kaynağını bilmek çok zordur



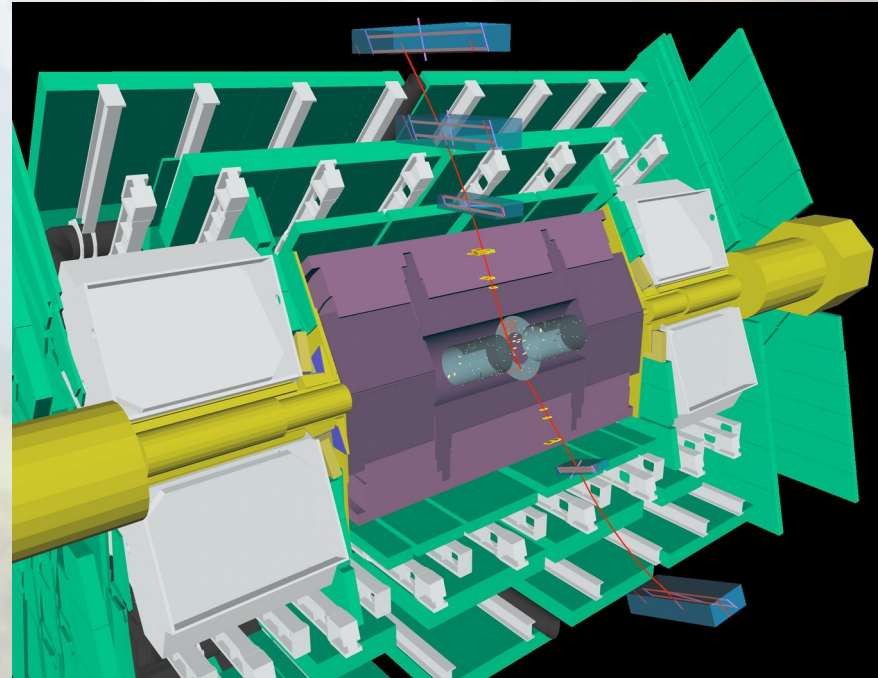
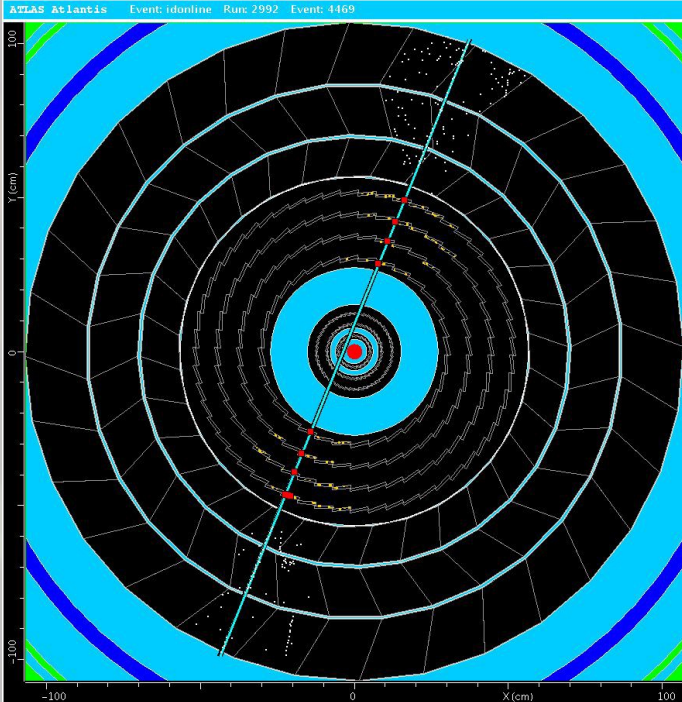
Kozmik Parçacıklar

LHC ve Kozmik Parçacıklar

LHC Dedektörleri
(ALICE, ATLAS, CMS, LHCb)
LHC'den gelen demete bağımlı

Demet yokken veya hizalama
için kozmik parçacıkları
kullanmak zorunda

Örnek: ATLAS'tan geçen bir kozmik parçacık

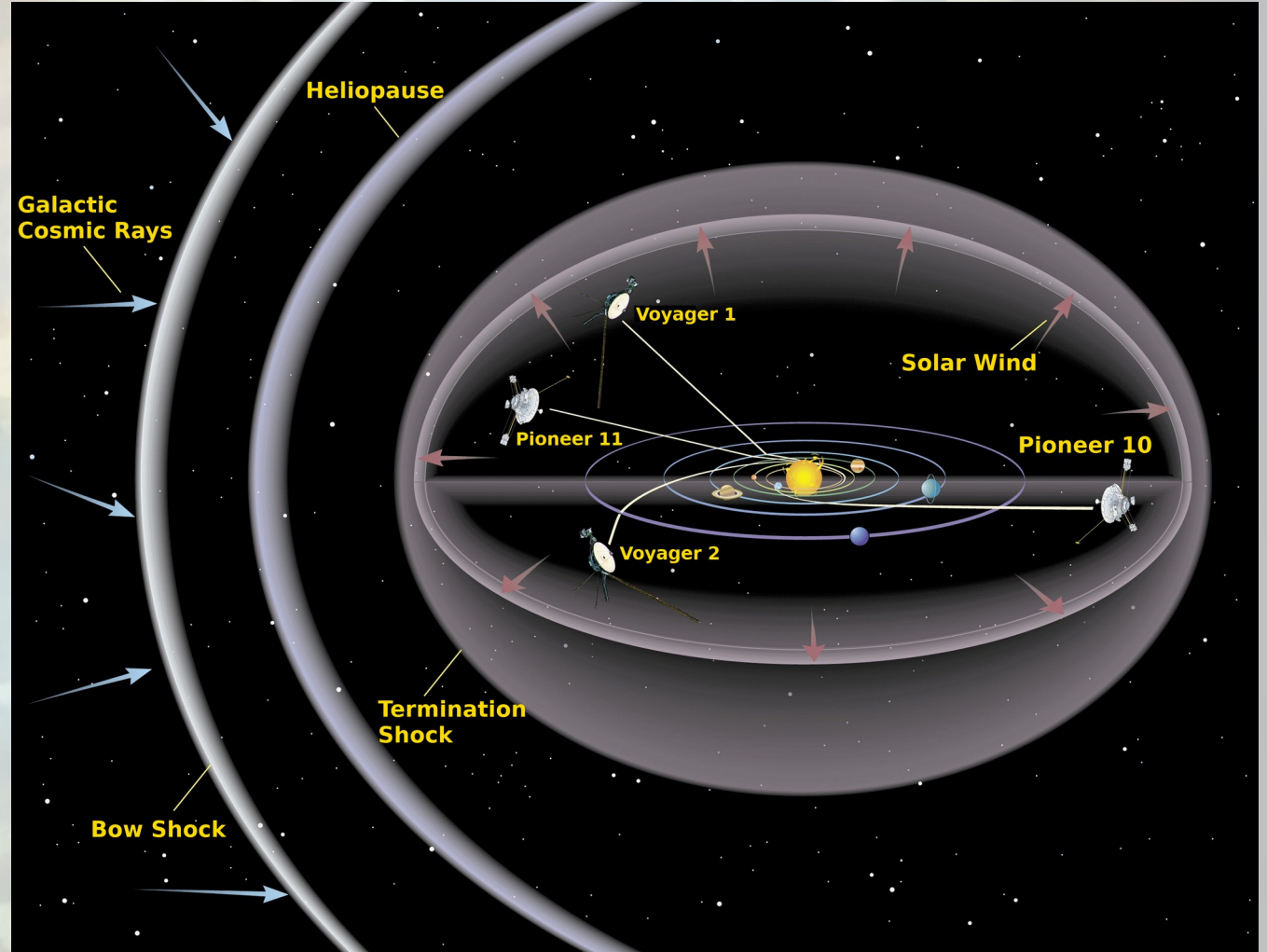


Kozmik Parçacıklar

Kozmik parçacıklar ve Mars yolculuğu

Güneşin manyetik alanı yüksek enerjili parçacıkları güneş sistemi dışına saptırır

Güneş aktivitesi azalır ise insanlı Mars yolculuğu zorlaşabilir (yoğun kozmik ışın bombardımanı)



<http://news.agu.org/press-release/increasing-cosmic-radiation-may-boost-danger-for-manned-missions-to-mars/>

Kozmik Parçacıklar

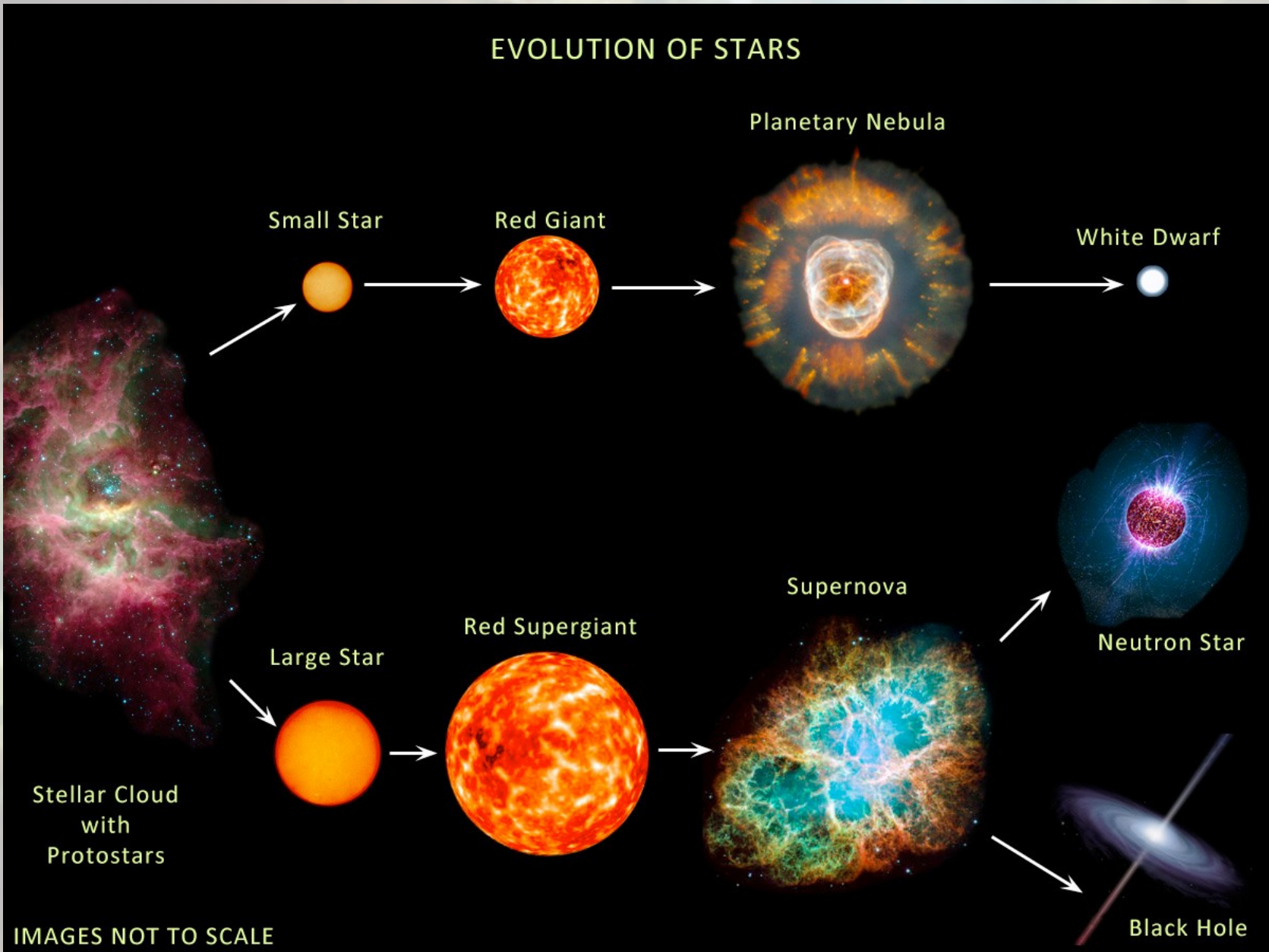
Müon Tomografisi

Kozmik Müonları kullanarak, kapalı alanların içini görme yöntemi: Müonların saçılımına bakılıyor



Özellikle gemilerdeki konteynerlerin veya tırların içinin taranması için kullanılıyor

Yıldızların Evrimi



Yıldızların Evrimi

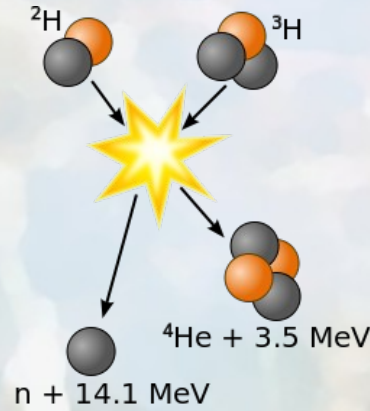
Protostarlar yoğun ve soğuk moleküler bulutların kütleçekimi ile toplanması sonucunda oluşur



Protostar: Çok yoğun, eksenini etrafında dönen gaz bulutu



Moleküler bulutlar çoğunlukla hidrojen den oluşur

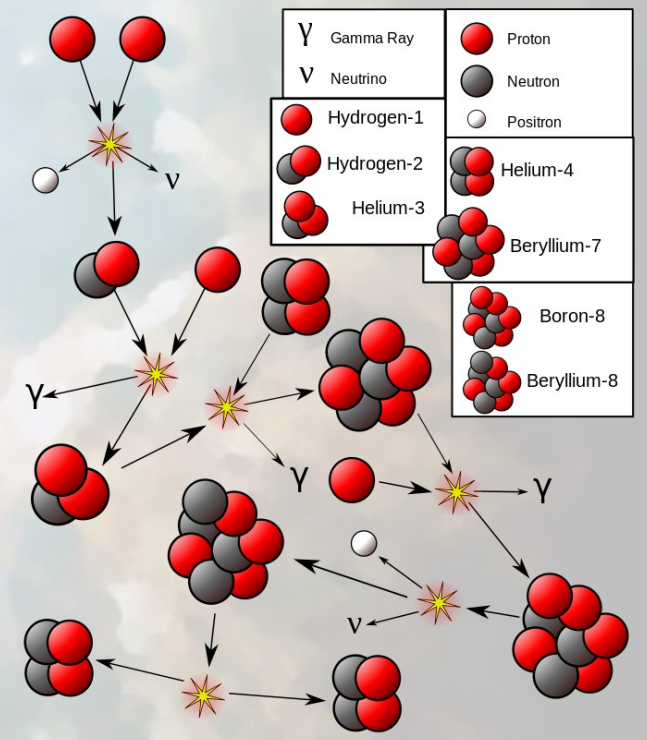
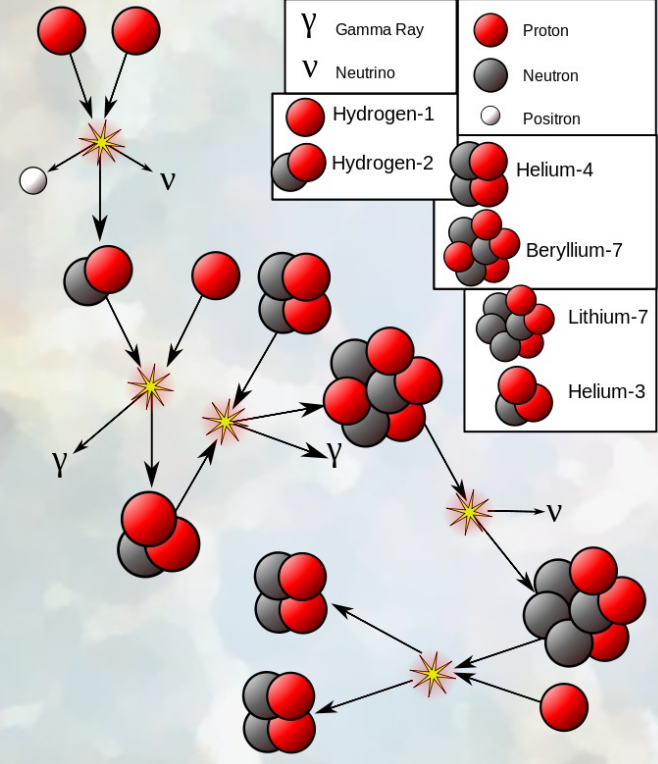
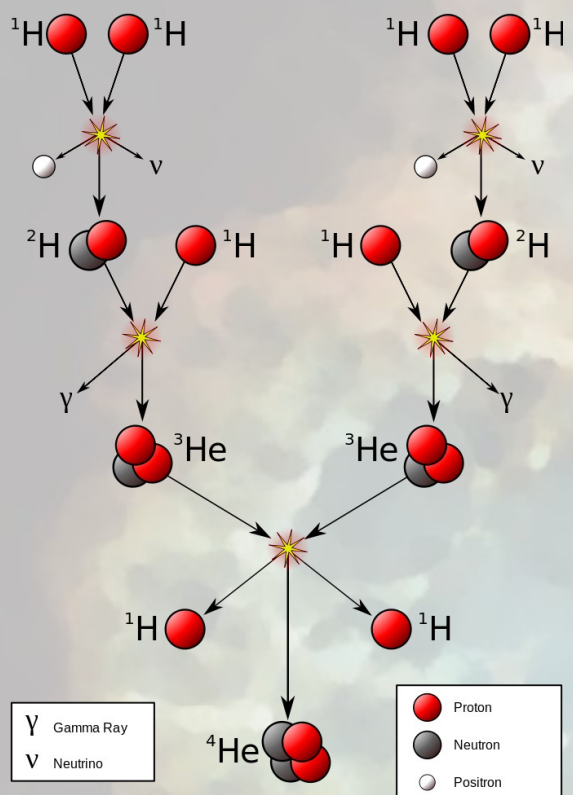


Protostar çekirdeğindeki Hidrojen → Helyum dönüşümü ile yıldızlaşmaya başlar.

Çok küçük kütleli olanları kahverengi cüceye dönüşür.

Yıldızların Evrimi

Hidrojen Füzyonu:

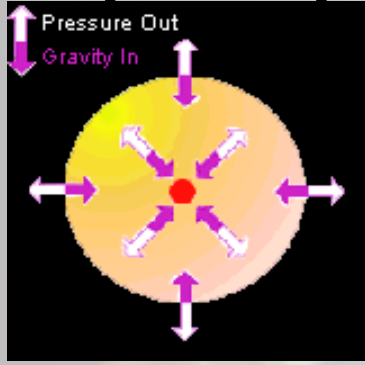


Yıldızların Evrimi

Yıldızlarda Denge

Kütleçekimi: İçeriye doğru baskı

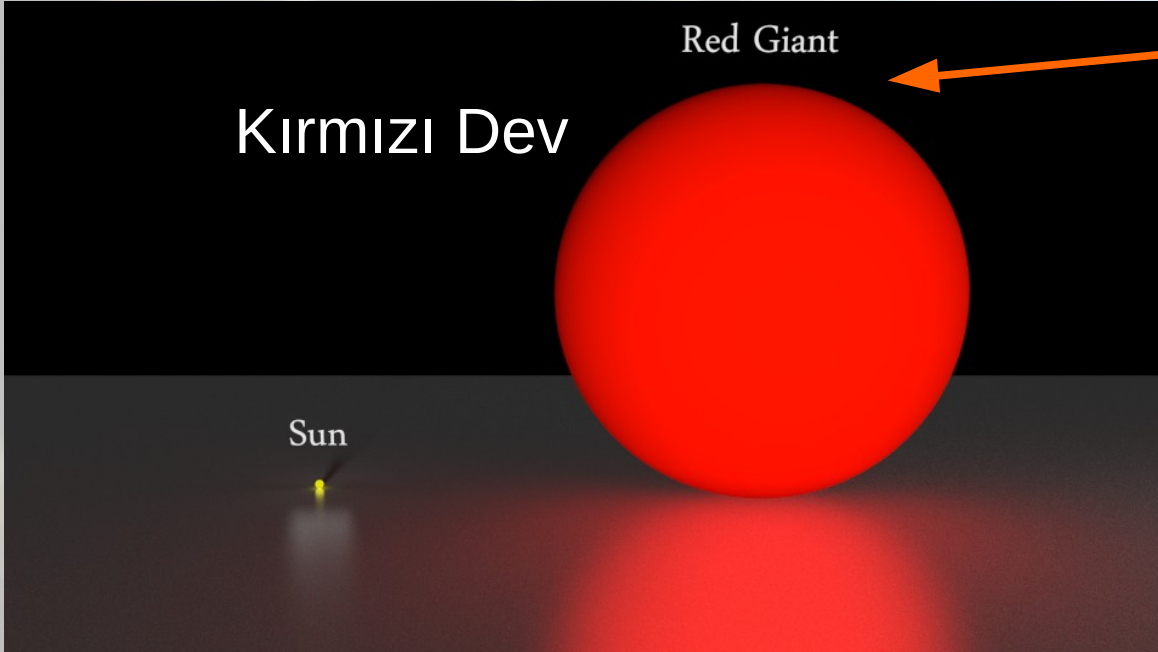
Füzyon: Dışarıya doğru baskı



Hidrojen azaldıkça denge durumu sona erer ve yıldızın çekirdeği çökmeye başlar

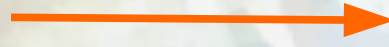
Çekirdeğin sıcaklığı artar

Sıcaklık artışı ile çekirdek etrafında hidrojen füzyonu devam eder, yıldızın yüzeyi ve parlaklığı artar

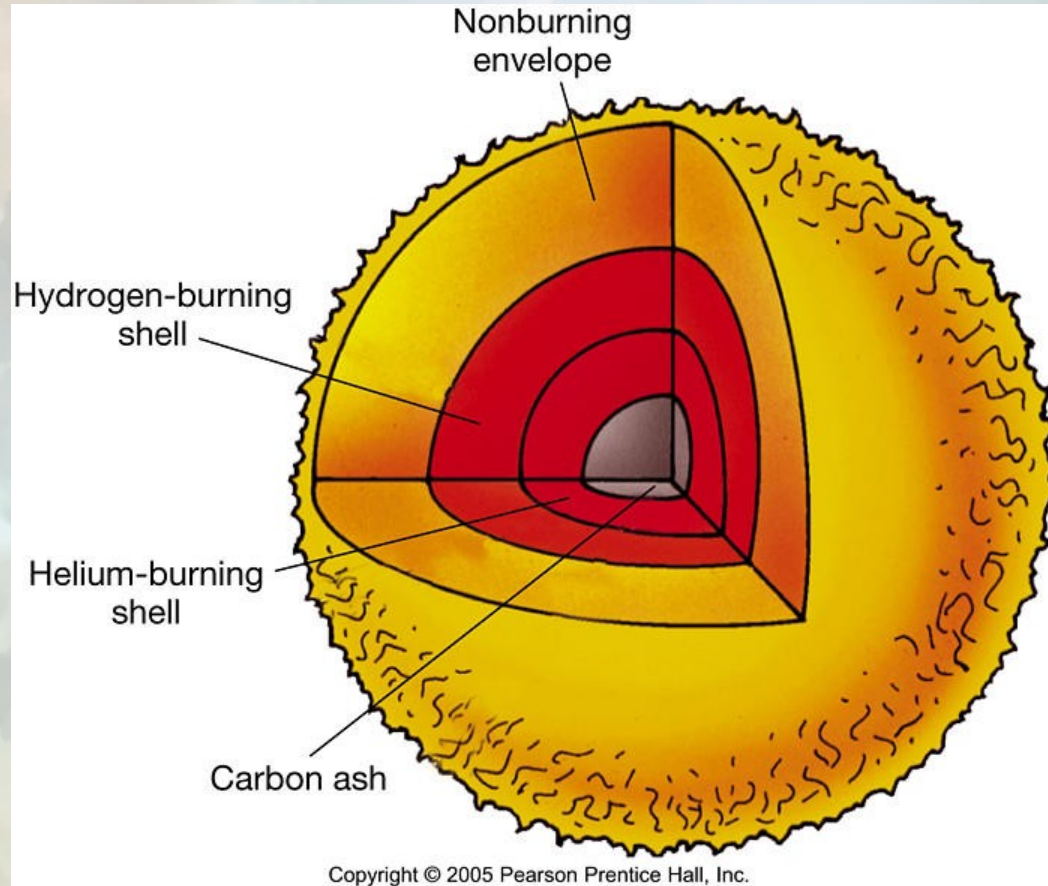


Yıldızların Evrimi

Kırmızı dev: Çekirdekte
Helyum füzyonu başlar
(Helyum → Karbon)



Karbon çekirdek etrafında
Helium ve Hidrojen yakan iki
kabuk oluşur



Yıldızların Evrimi

Düşük kütleli yıldızlar:
Karbon yakacak kadar
yoğun değil



Helium ve Hidrojen yakımı
yavaşlar, yıldız tekrar
çökmeye başlar



Gezegensimsi Bulutsu



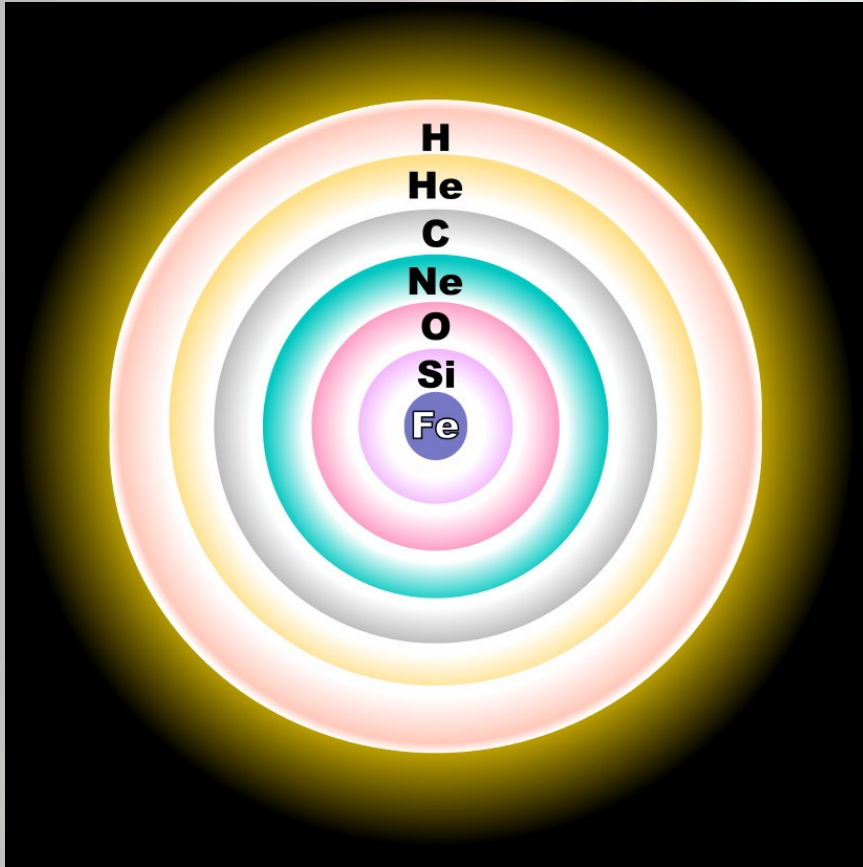
Beyaz cüce



Elektron basıncı çökmeyi engeller!

Yıldızların Evrimi

Büyük kütleli yıldızlar:
Ağır elementlerin yakımı
devam eder (Fe' ye kadar)



Elektron basıncı,
çekirdeğin çökmesine
karşı gelemez.

Nötron basıncı
çökmeyi
durdurursa:
Nötron yıldızı

Nötron basıncı
da çökmeye
karşı gelemez:
Kara delik

Çökme sırasında
Süpernova
adından devasa
bir patlama oluşur

Yıldızların Evrimi

Nötron Yıldızı



Boyut: 12-13 km çapında
(ama kütlesi güneşin iki katı)

Dönüş hızı:
Saniyede 700 kereye kadar

Yüzeydeki kütleçekimi:
Dünyanın 10^6 katı

Yıldızların Evrimi

Kütleçekim Dalgaları ve Pulsar



1993 Fizik Nobel:

PSR B1913+16. Pulsarının keşfi

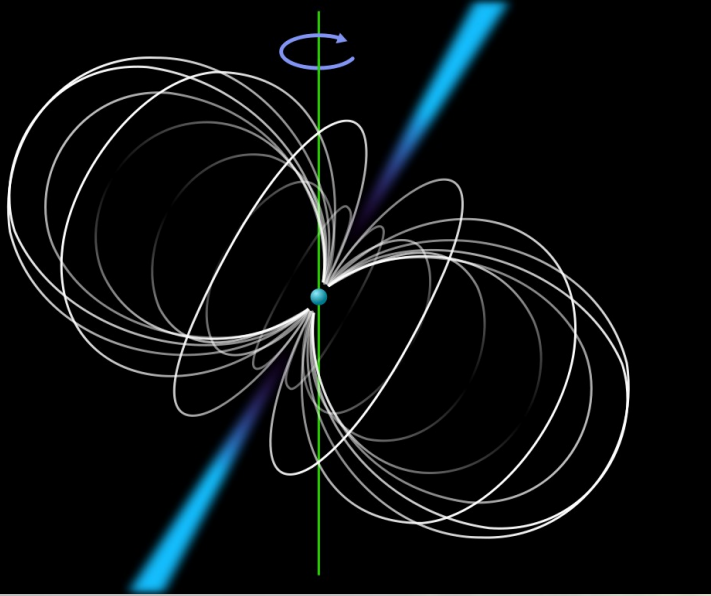
Russell A. Hulse

Joseph H. Taylor Jr.

Pulsar: Kendi etrafında hızla dönen bir nötron yıldızı. Periyodik olarak elektromanyetik radyasyon yayıyor.

Kütleçekim dalgaları: İvmeli cisimlerin uzay zamanda oluşturduğu dalgalanmalar.

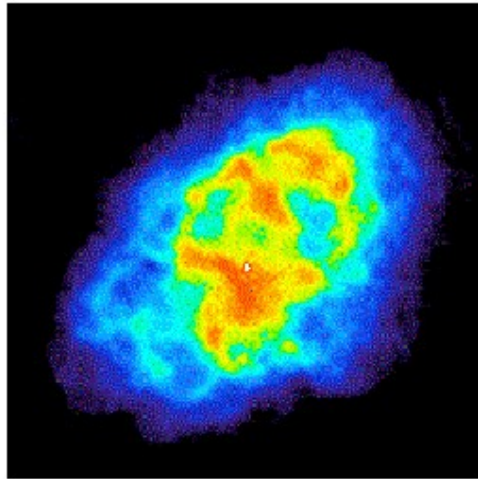
Pulsarın zamanla enerji kaybetmesi kütleçekim dalgalarına dolaylı kanıt sayılıyor.



<https://www.youtube.com/watch?v=VgGXaIU0ITU>

Yıldızların Evrimi

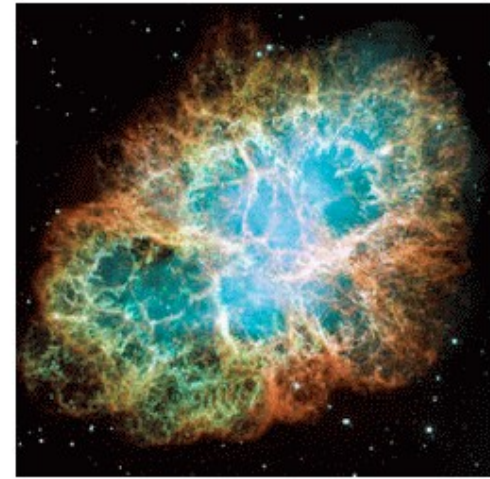
Crab Nebula: Remnant of an Exploded Star (Supernova)



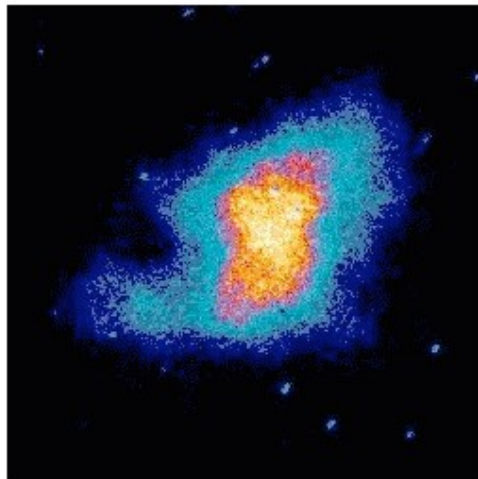
Radio wave (VLA)



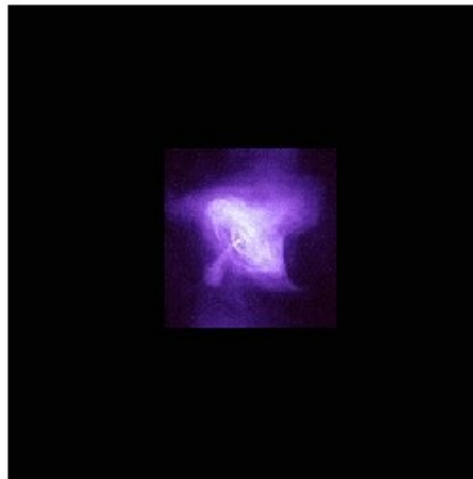
Infrared radiation (Spitzer)



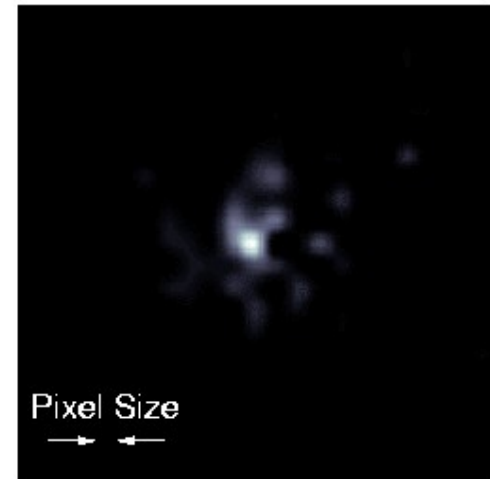
Visible light (Hubble)



Ultraviolet radiation (Astro-1)



Low-energy X-ray (Chandra)



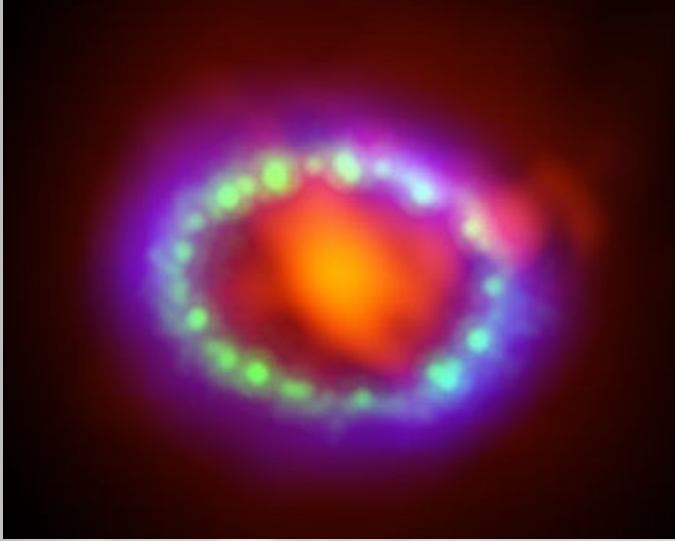
High-energy X-ray (HEFT)

*** 15 min exposure ***

Yıldızların Evrimi

Süpernova

1987A Supernova



Dünyadan 168000
ışık yılı uzaklıkta

Işığın dünyaya
23 Şubat 1987'de geldi

Süpernova Erken Uyarı Sistemi:

Işığın 3-4 saat önce kırmızı
devin çökmesi sırasında, 13
saniye içinde:

- Kamiokande: 11 antinötrino
- IMB: 8 antinötrino
- Baksan: 5 antinötrino

tespit etti



1987A'nın
kalıntıları hala
görülüyor

Hubble tarafından çekilen fotoğraflar

Yıldızların Evrimi

Kara Delik

Elektromanyetik dalgaların bile kaçamayacağı kadar büyük kütle çekimi merkezi



Karadelikler “*Hawking radyasyonu*” yayarak küçülüyor olabilirler
→ Karadeliği gözlemlemek için kullanılabilir!

LHC'de kara delik oluşabilir mi?
Mikro kara delik: Yıldız evrimi sonucu oluşan kara delik ile ilgisi yok. Oluştığı anda yok olması beklenen, teorik bir tahmin.



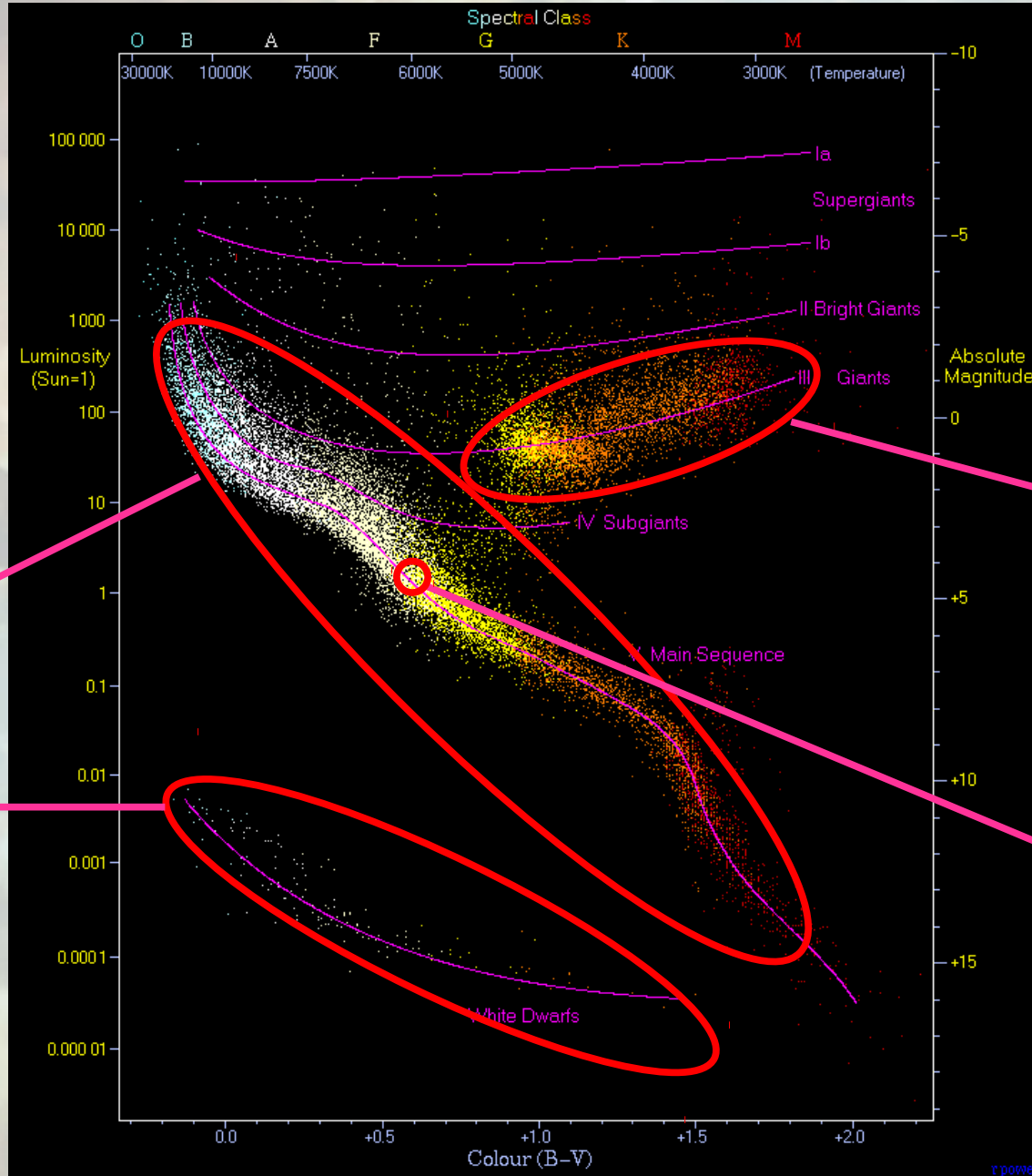
Yıldızların Evrimi

Kanıtlar?

Hertzsprung–Russell diagramı

Gözlenebilir yıldızları,
ışınlık/sıcaklık ilişkisine
bakarak
sınıflandırabiliriz.

Yıldızın sınıfına göre
evriminin hangi
aşamasında olduğu
söylenbilir.



Ana akım

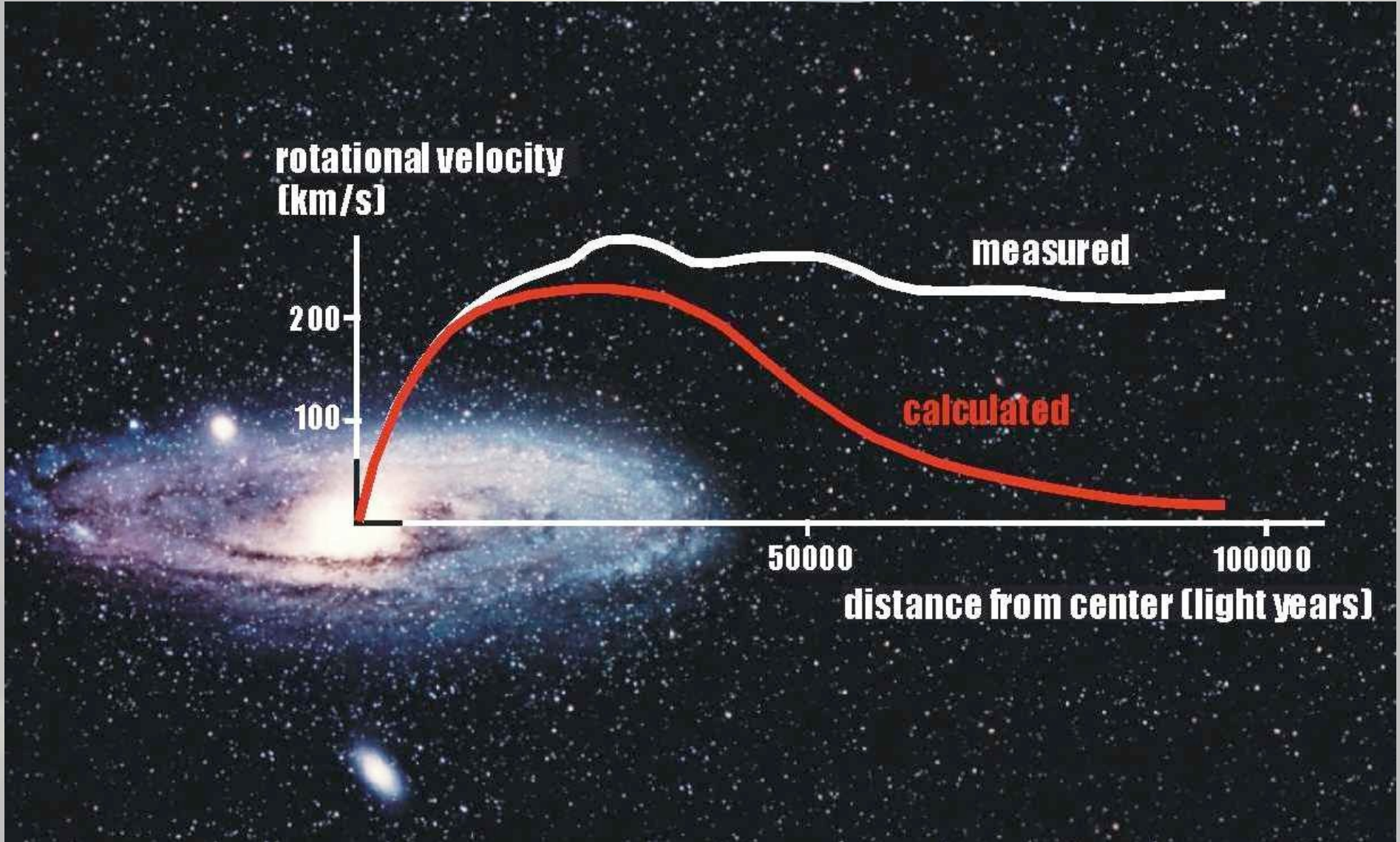
Beyaz
cüceler

Devler

Güneş

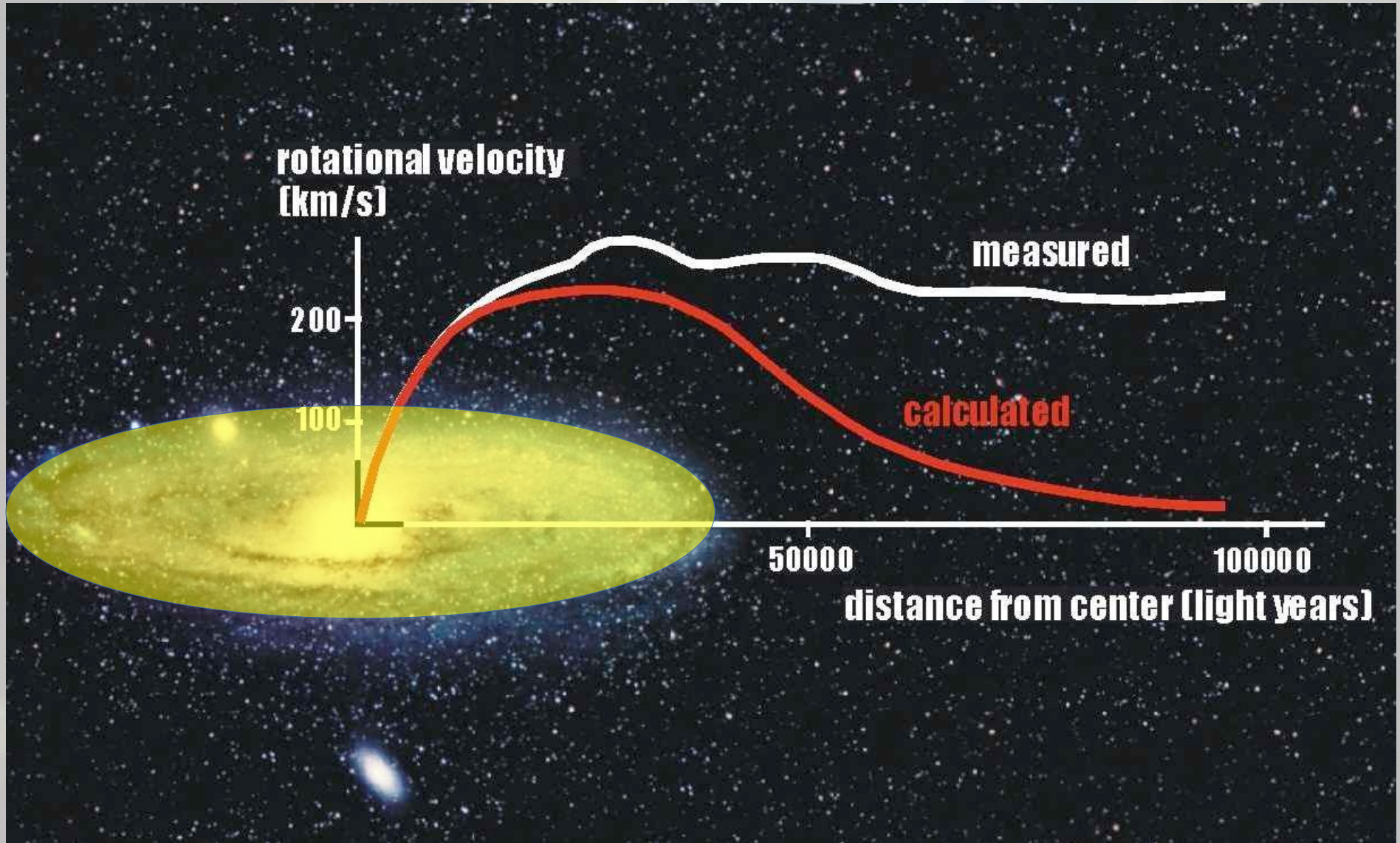
Karanlık Madde

Kütleçekim etkileri görünen, ama hiç bir ışığa yapmayan madde.



Karanlık Madde

Kütleçekim etkileri görünen, ama hiç bir ışığa yapmayan madde.



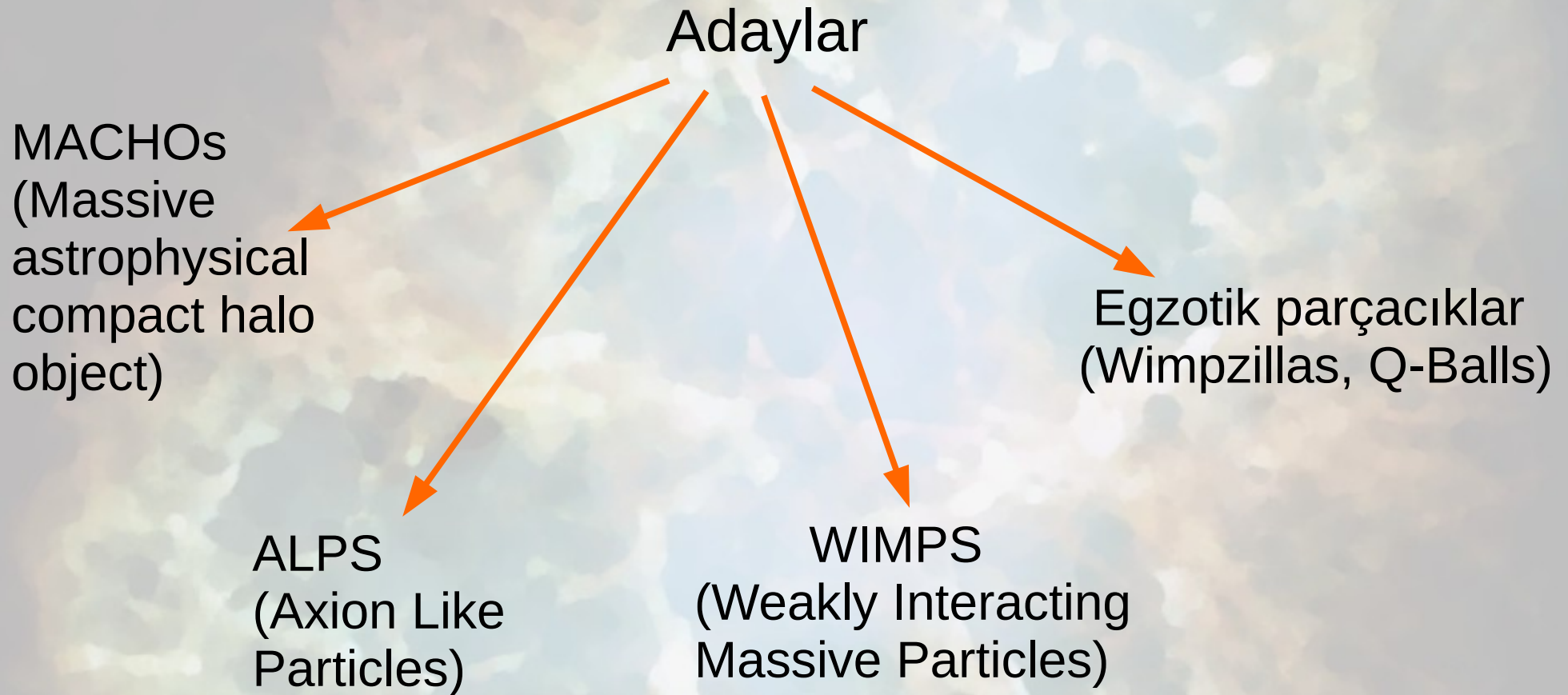
Karanlık Madde

Olası Türleri

Sıcak Karanlık Madde:
Işık hızına yakın hızda hareket eder, kütle çekim merkezleri oluşturamaz

Soğuk Karanlık Madde:
Yavaş hareket eder,
Karanlık maddenin çoğu soğuk olmalı!

Karanlık Madde



Karanlık Madde

Adaylar

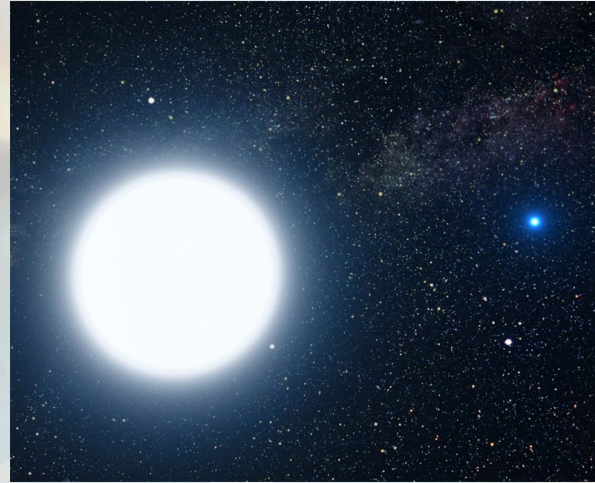
MACHOs
(Massive
astrophysical
compact halo
object)

Çok az ışık yapan gök cisimleri

Beyaz cüceler

Karadelikler

Karanlık maddeyi
açıklayacak
kadar çok yok

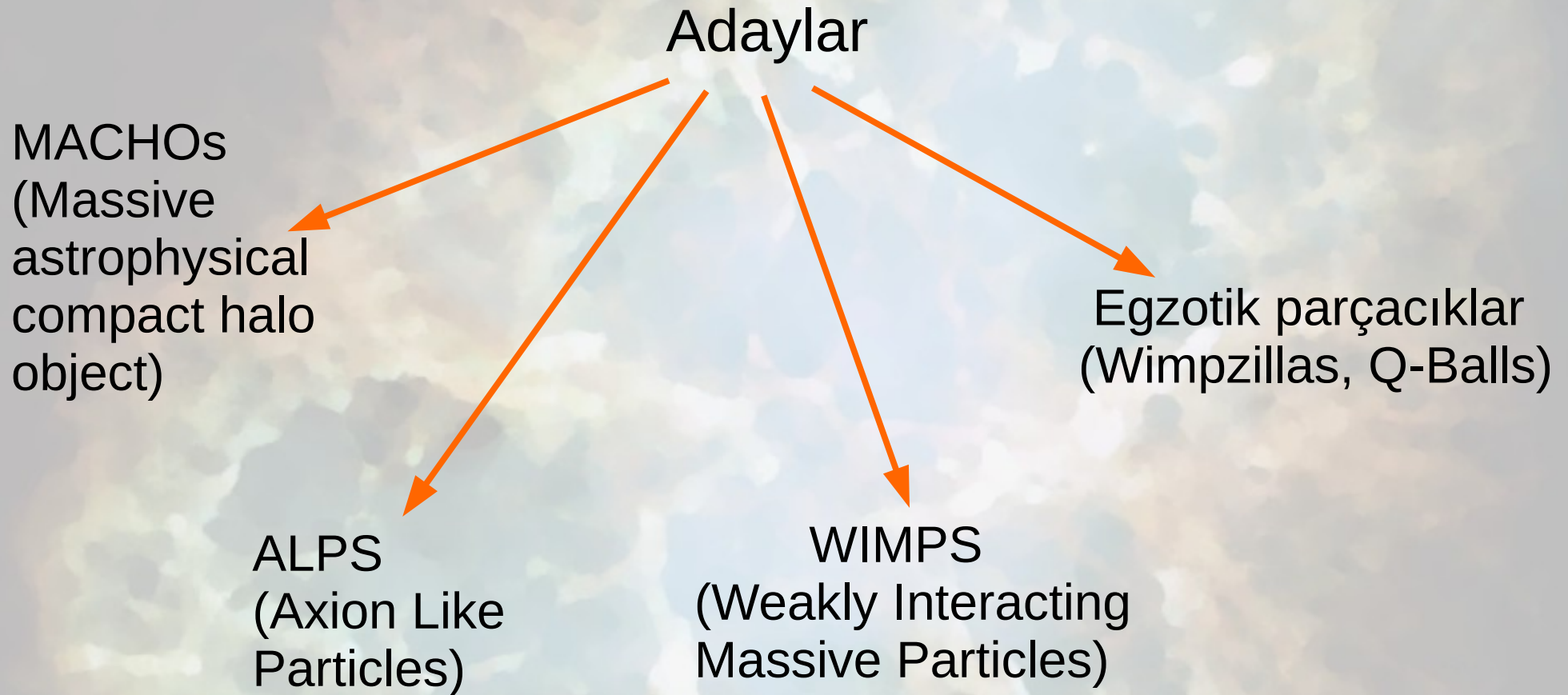


RAMBOs

(Robust Association of Massive Baryonic Objects)

Beyaz/Kahverengi cüce kümeleri

Karanlık Madde



Karanlık Madde

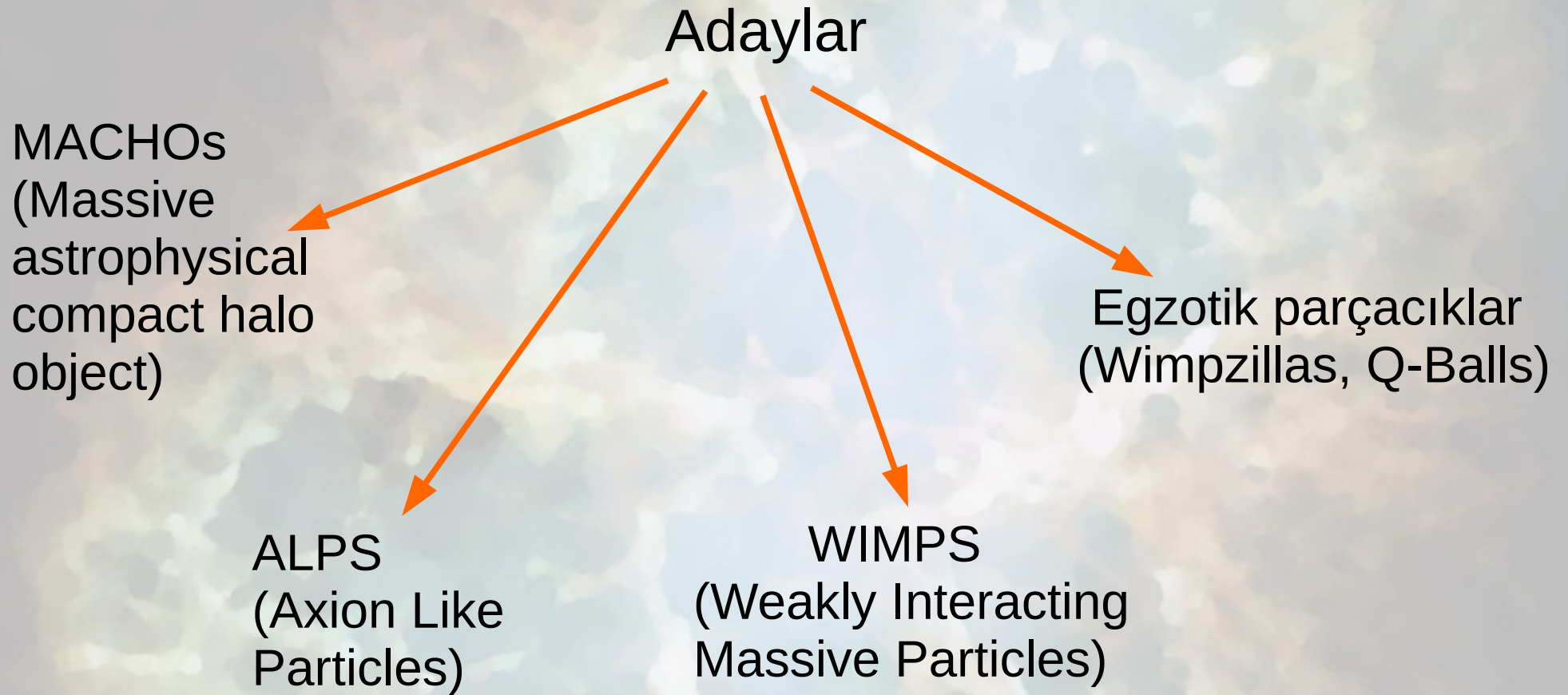
Adaylar

(bkz: Sunumun sonu)

ALPS
(Axion Like
Particles)



Karanlık Madde

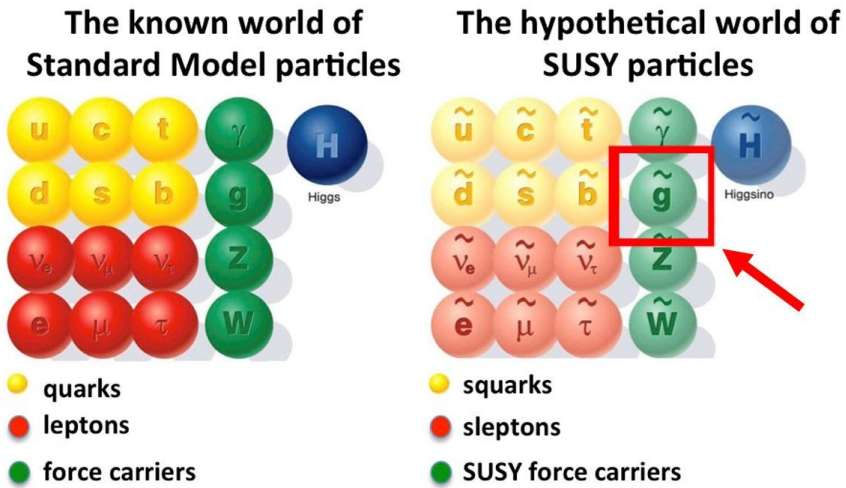


Karanlık Madde

Adaylar

SUSY(SuperSymmetry)
ile uyumlu

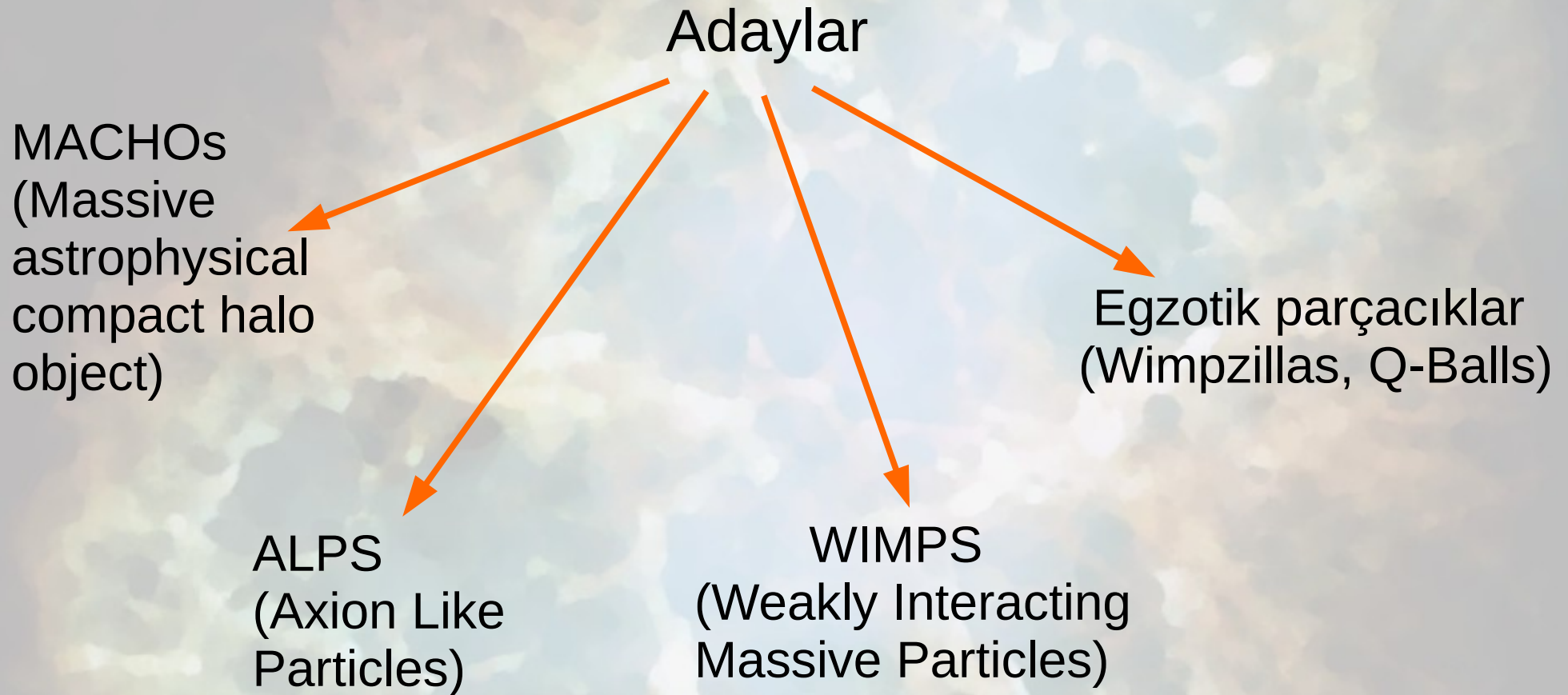
Henüz kanıt yok



İddia: Standard Modeldeki
her parçacığın
süpersimetrik bir eşi var.

WIMPS
(Weakly Interacting
Massive Particles)

Karanlık Madde



Karanlık Madde

Adaylar

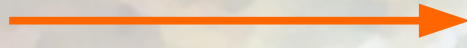
WIMPzilla:
Ultra yüksek enerjili kozmik
ışınların da kaynağı olduğu
düşünülen, yüksek kütleli
parçacıklar

Egzotik parçacıklar
(Wimpzillas, Q-Balls)

Q-Balls:
Bosonlardan oluşan
parçacık kümeleri

Karanlık Madde

Deney çeşitleri



Doğrudan Gözlem

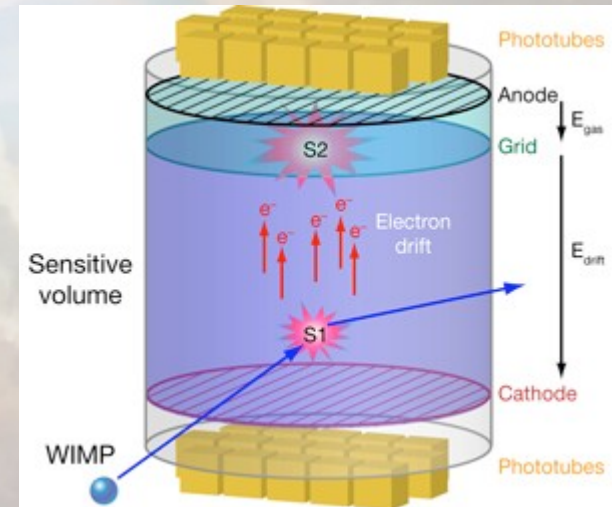


Dolaylı Gözlem

Genelde yeraltında (kozmetik ışın arkaplanı az), germanium kristali ya da 0K'ye çok yakın sıcaklıklara kadar soğutulmuş algıçlar kullanılır.

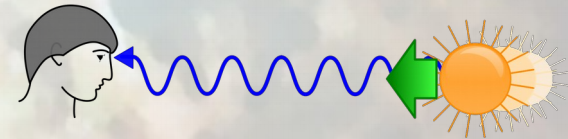
Karanlık maddenin algıç ile doğrudan etkileşimi beklenir

Karanlık madde parçacıklarının başka parçacığa bozunması sonucu oluşan yeni parçacıkları görmeye çalışır (Örnek: CAST)

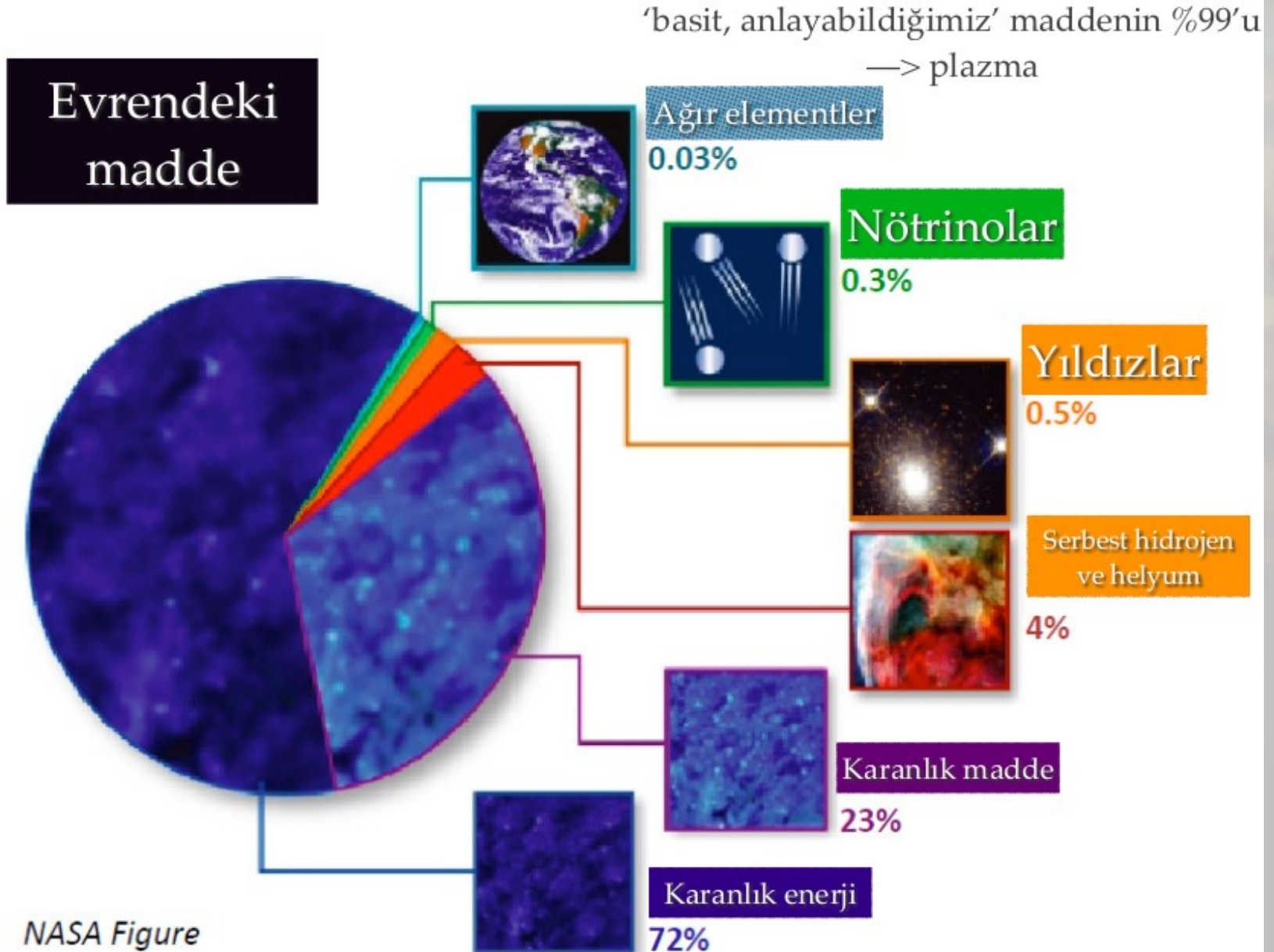


Karanlık Enerji

- Evren genişliyor
- Hesaplarımız evrenin genişleme hızının azalması gerektiğini söylüyor(kütleçekimi)
- Gözlemlere göre genişleme hızı artıyor
 - Cisimlerden gelen ışık, bizden uzaklaşma hızlarına bağlı olarak kırmızılaşır
 - Uzaktaki gök cisimlerinden gelen ışık daha “kırmızı”
- Bu hız artışını sağlayan, her yeri dolduran bir enerji olmalı → Karanlık Enerji



Evrenin İçeriği



CERN'de Astroparçacık Fiziği

- CLOUD
- AMS
- CAST

CLOUD

Cosmics Leaving OUtdoor Droplets

Kozmik parçacıkların aerosoller, bulut oluşumu ve iklim üzerindeki etkilerini araştırıyor

BL4S'in hemen yanı :)

Aerosol:
hava molekülleriyle hareket eden büyüyüp bulutların oluşumunu sağlayan damlacıklara dönüşebilen tanecikler.



CLOUD



26 m³ lük çelik bir odacık içinde sentetik hava oluşturulur.

İçindeki gazlara göre aerosol oluşma oranları incelenir.

Kozmik ışınlara benzer parçacıklar PS'ten gelen demet ile oluşturulur.

İlk sonuçlar: Kozmik ışınların aerosol oluşumuna önemli bir etkisi yok.

AMS

Alpha Magnetic Spectrometer



AMS

Amaç: Uzaydan gelen parçacıkları inceleyerek, karanlık madde, erken evrendeki antimadde konusundaki anlayışımızı geliştirmek

AMS

Amaç: Uzaydan gelen parçacıkları inceleyerek, karanlık madde, erken evrendeki antimadde konusundaki anlayışımızı geliştirmek

Pek çok ülkenin katılımıyla üretilip CERN'de parçalar bir araya getirildi.



AMS

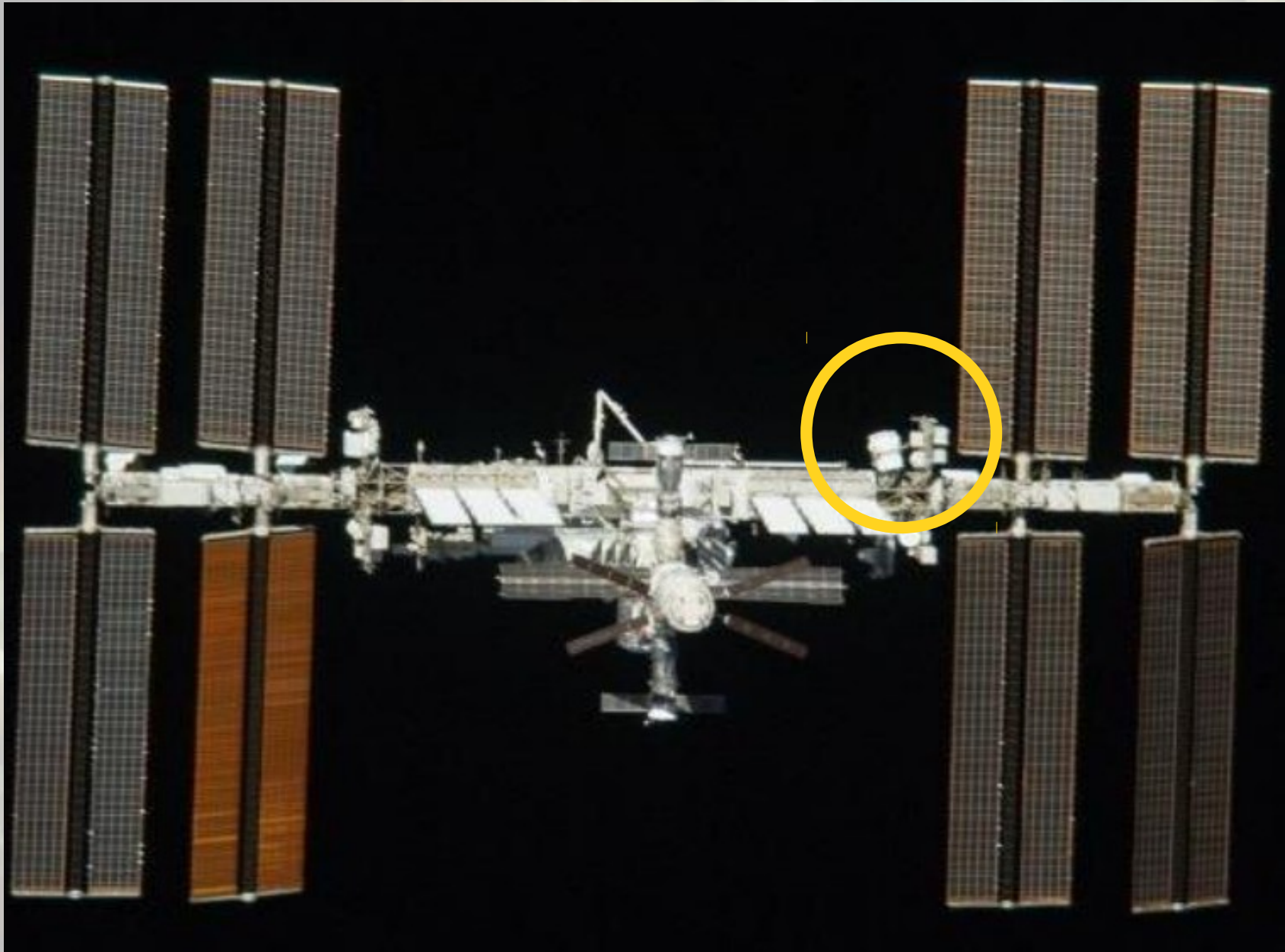
Amaç: Uzaydan gelen parçacıkları inceleyerek, karanlık madde, erken evrendeki antimadde konusundaki anlayışımızı geliştirmek

Pek çok ülkenin katılımıyla üretilip CERN'de parçalar bir araya getirildi.

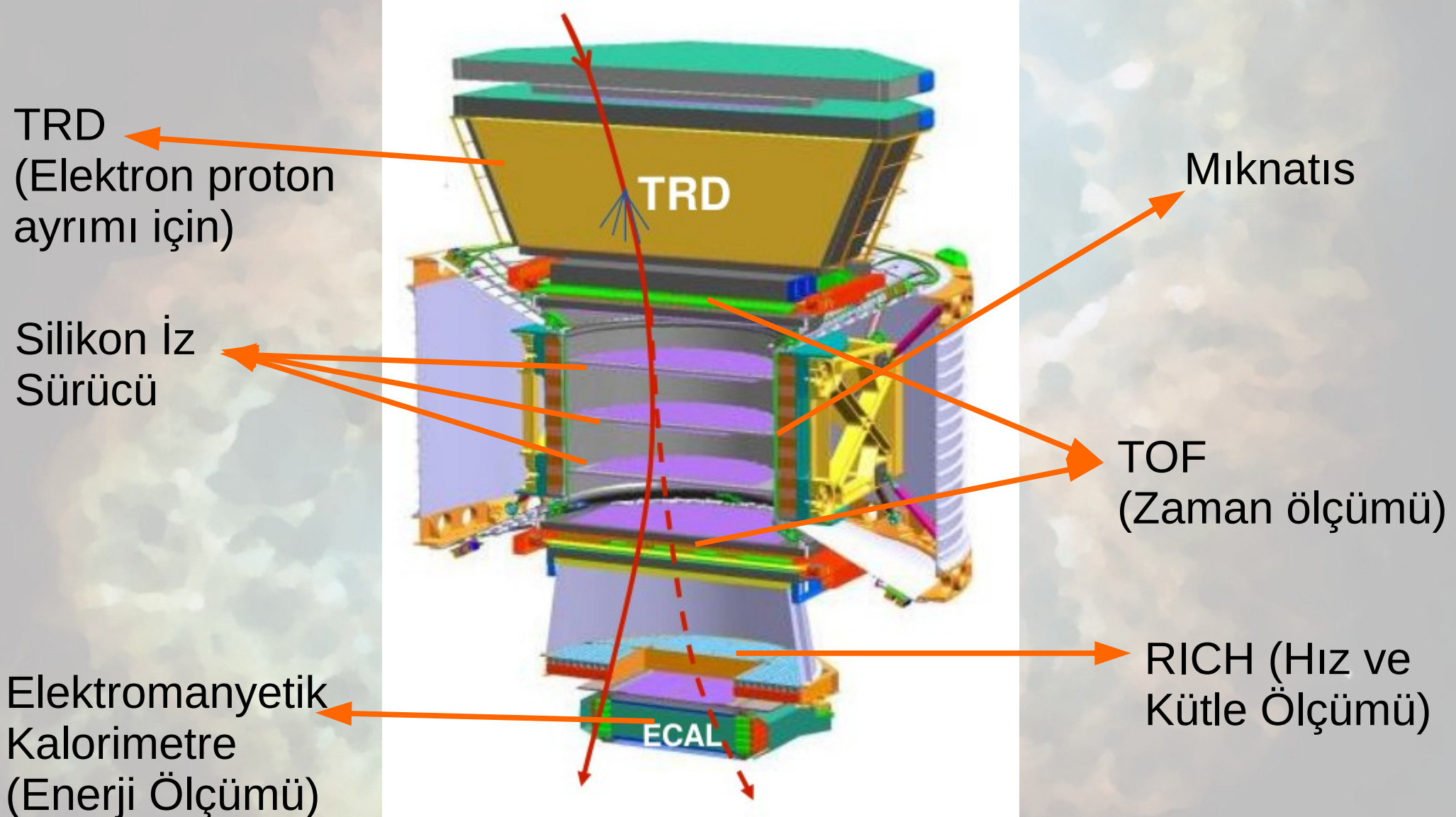
2011'de bir uzay mekiğine yüklenerek
“Uluslararası Uzay İstasyonu” na (ISS) yollandı.



AMS

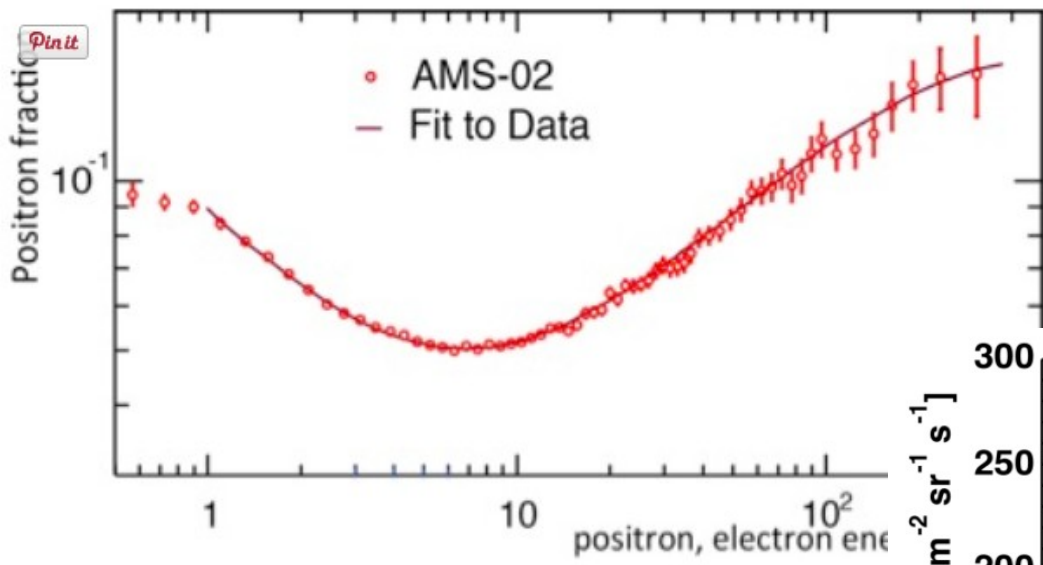


AMS



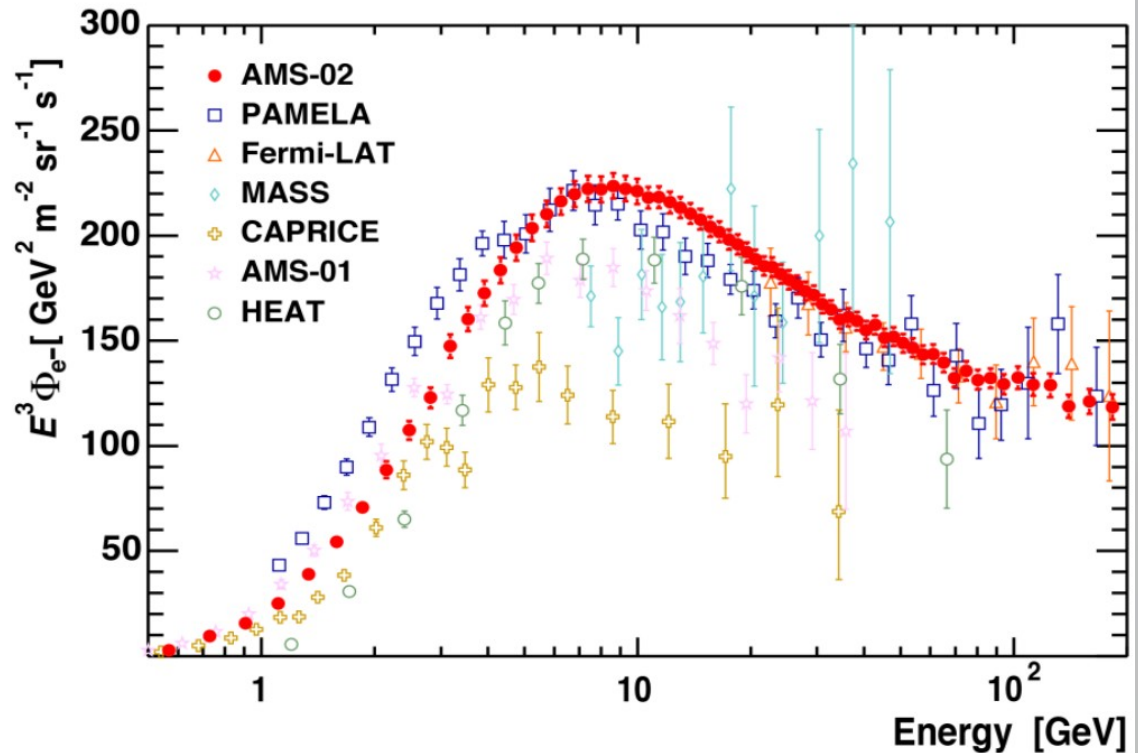
AMS

Sonuçlar:



Pozitron elektron oranı, elektron ve pozitron spektrumunun hassas ölçümleri yapıldı

Beklenenden fazla pozitron var! Karanlık maddenin yok olmasıyla oluşmuş olabilir



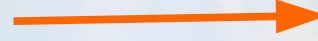
CAST ve Axion

Zayıf etkileşimlerde YP(yük-parite)
korunmuyor



Madde Anti-
madde farkı

Güçlü etkileşimlerde korunuyor



Teoriye göre burada da
korunmayabilir!
Hatta korunmaması
madde-anti madde
farkını açıklayabilir

Soru: Güçlü etkileşimlerde YP neden
korunuyor???

CAST ve Axion

Çözüm: Peccei Quinn Mekanizması
(1977)

YP bozulmasını sağlayan parametre
aslında dinamik bir parametre!



$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{SM} + \bar{\theta} \frac{g^2}{32\pi^2} \mathcal{F}_{\mu\nu}^b \tilde{\mathcal{F}}^{b\mu\nu} + \frac{1}{2} \partial_\mu a \partial^\mu a + \mathcal{L}_{int}\left(\frac{\partial_\mu a}{f_a}, \psi\right) - \frac{a}{f_a} \frac{g^2}{32\pi^2} \mathcal{F}_{\mu\nu}^b \tilde{\mathcal{F}}^{b\mu\nu}$$

CAST ve Axion

Bu mekanizmayla
ilişkili parçacık:
AXION



Düşük kütleli ($<1\text{eV}$)

Zayıf etkileşen (Karanlık Madde)

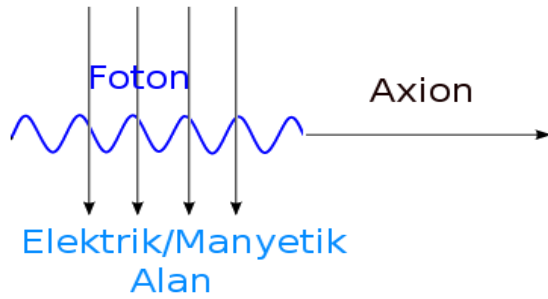


Kütlesi ve etkileşme sabiti
belirsiz, ama belli sınırlar var

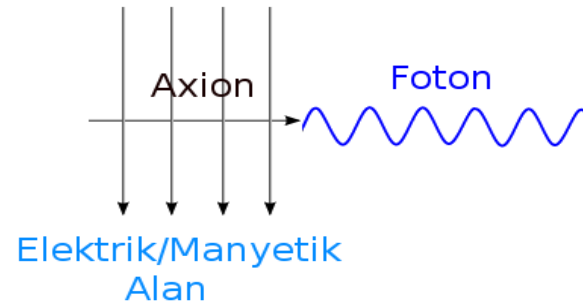
CAST ve Axion

Primakoff Etkisi: Axion ve foton birbirine dönüşebilir

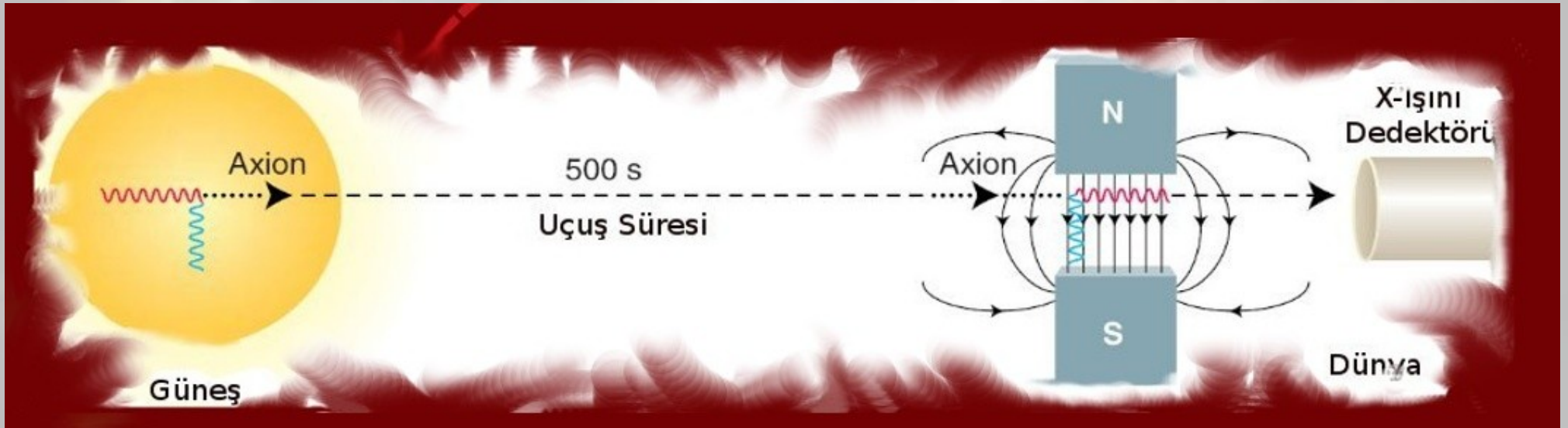
Primakoff Etkisi



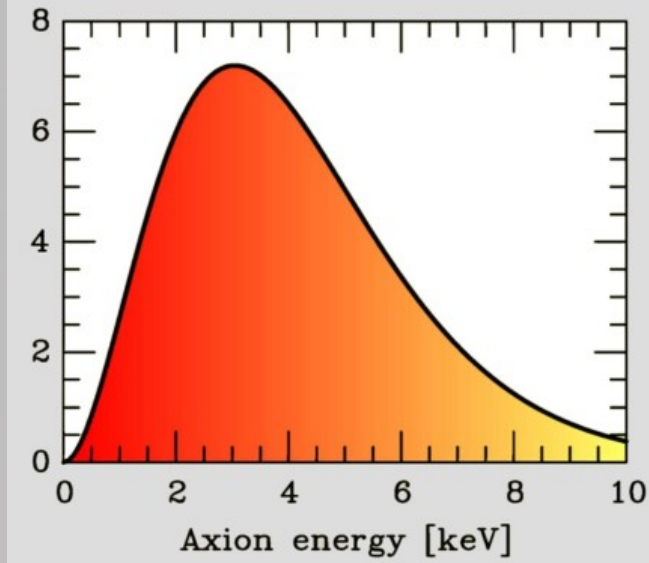
Ters Primakoff Etkisi



En yakın axion kaynağı: Güneş!

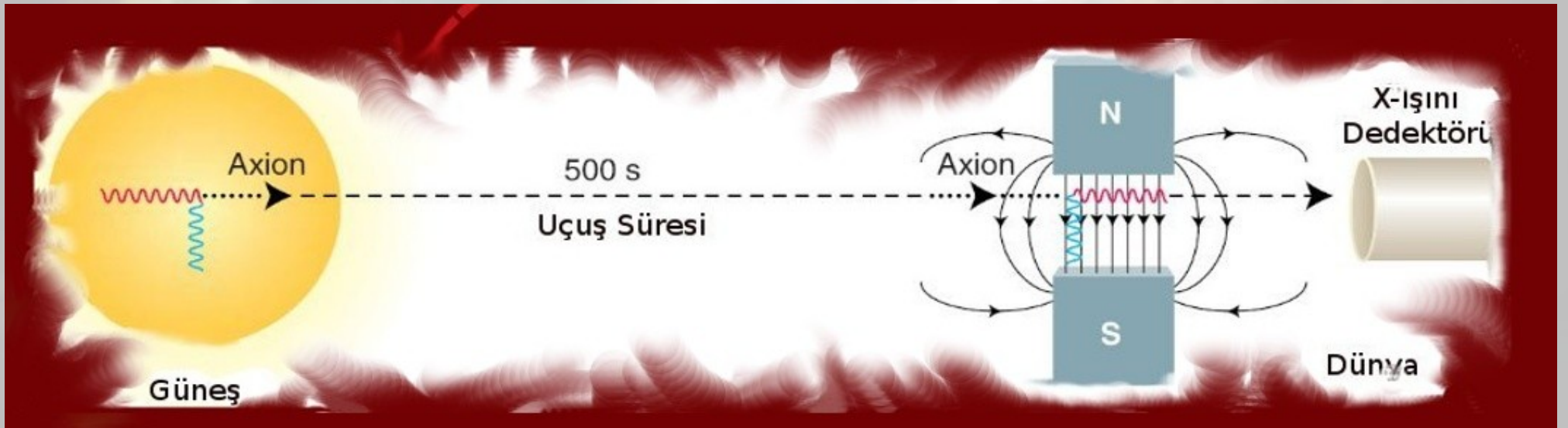


CAST ve Axion



- Güneşin merkezindeki sıcaklık dolayısıyla x-ışınları üretilir
- X-ışınları güneşin çekirdeğindeki elementlerin elektrik alanında axion'a dönüştürülür.
- Güneşte üretilen axionların enerji spektrumu: x-ışınları (0-10 keV)

En yakın axion kaynağı: Güneş!



CAST ve Axion



CAST ve Axio



CAST ve Axion

CERN-SPSC-99-21

CERN LIBRARIES, GENEVA



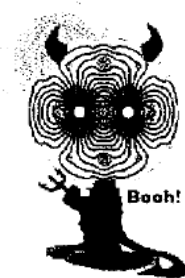
SC00001091

CERN 99-21
SPSC/P312
August 9, 1999

Sw 193948

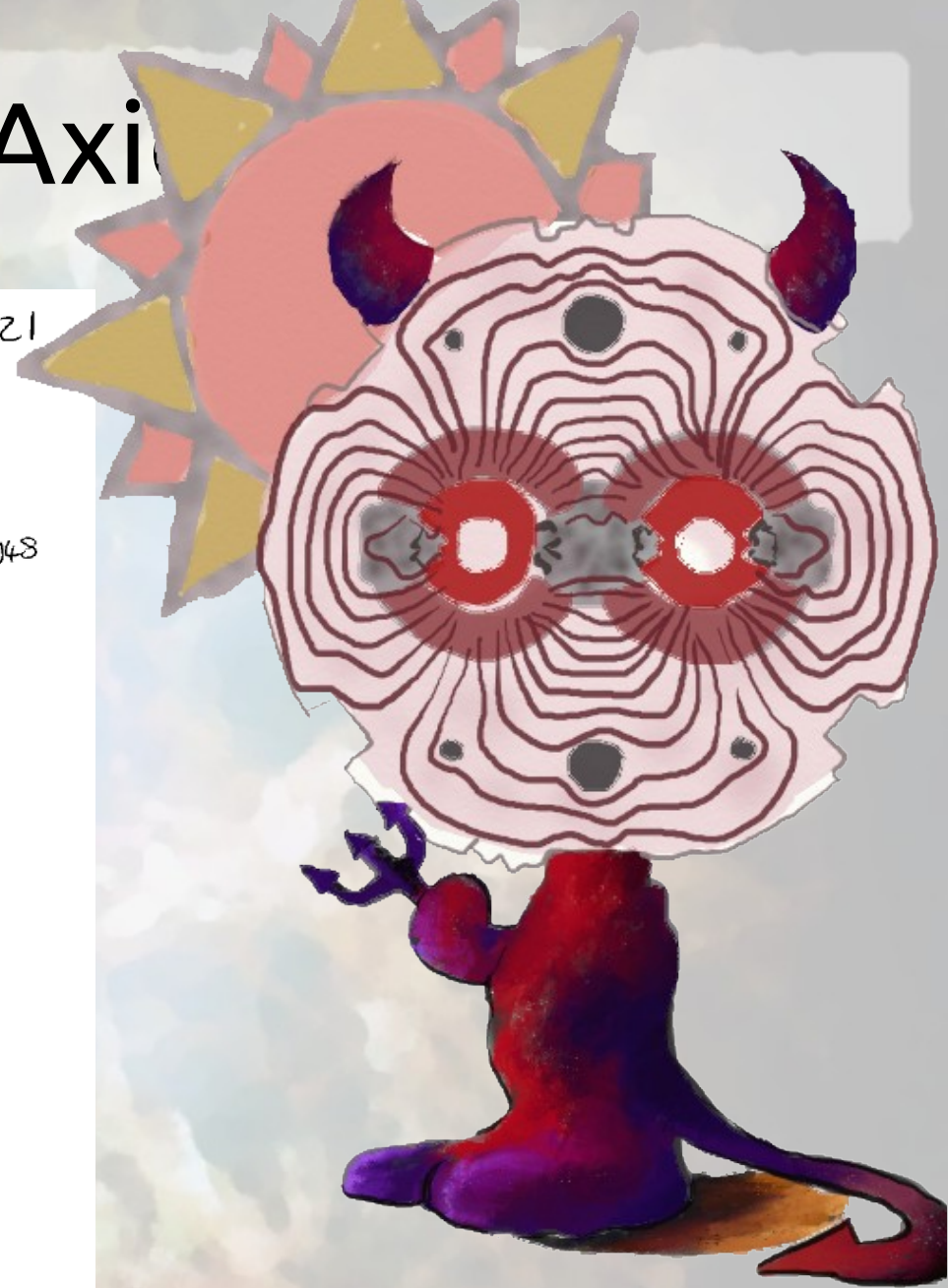
Proposal to the SPSC

A solar axion search using a decommissioned LHC test magnet



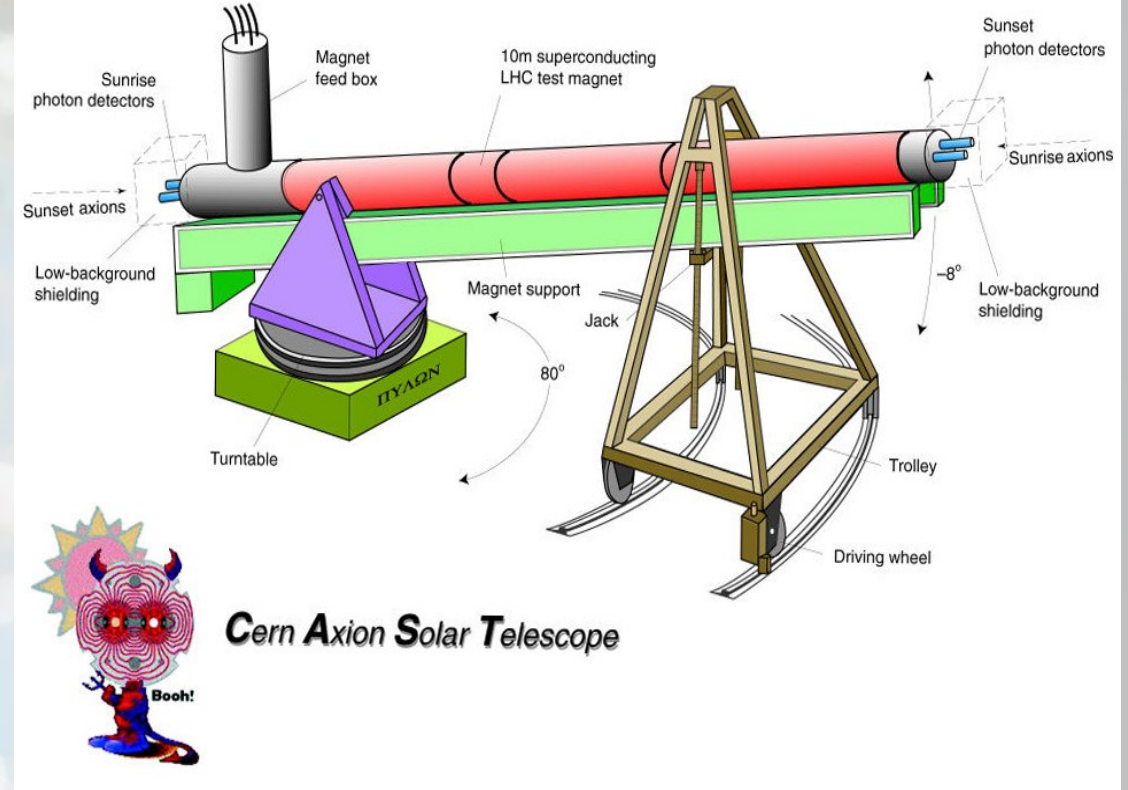
The Solar Axion Telescopic ANTenna

C.E. Aalseth¹, D. Abriola², F.T. Avignone III¹, R.L. Brodzinski³, J.I. Collar^{4*},
R. Creswick¹, D.E. Di Gregorio², H. Farach¹, A.O. Gattone², Y. Giomataris⁵,
S.N. Gninenko⁶, N.A. Golubev⁶, C.K. Guérard², F. Hasenbalg², M. Hasinoff⁷,
H. Huck², A.V. Kovzelev⁶, A. Liolios⁸, V.A. Matveev⁶, H.S. Miley³, A. Morales⁹,
J. Morales⁹, D. Nikas⁸, S. Nussinov¹⁰, A. Ortiz⁹, G. Polymeris⁸, G. Raffelt¹¹,
I. Savvidis⁸, S. Scopel⁹, I.N. Semeniouk⁶, J.A. Villar⁹, K. Zioutas^{8,12#}.



CAST ve Axion

- 9.26 m'lik süperiletken mıknatıs (LHC prototipi)
 - Sıcaklık: 1.8K
 - 8.8 Tesla manyetik alan (Bir buzdolabı mıknatısı 5mT)
 - 13000A Akım



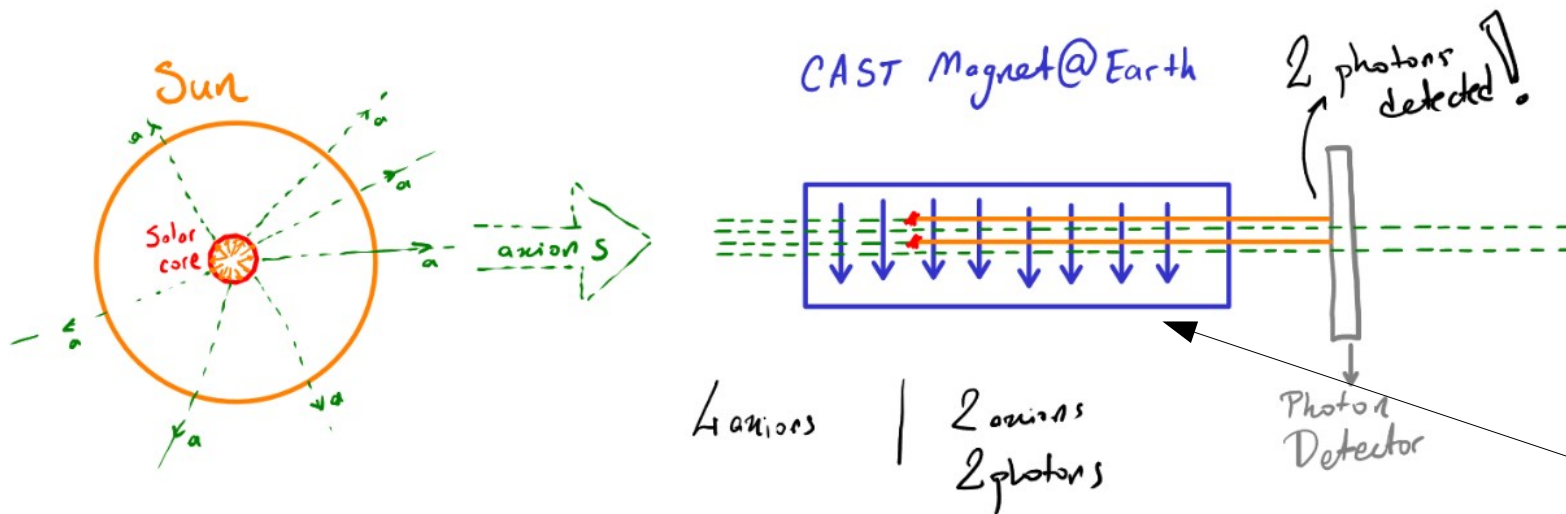
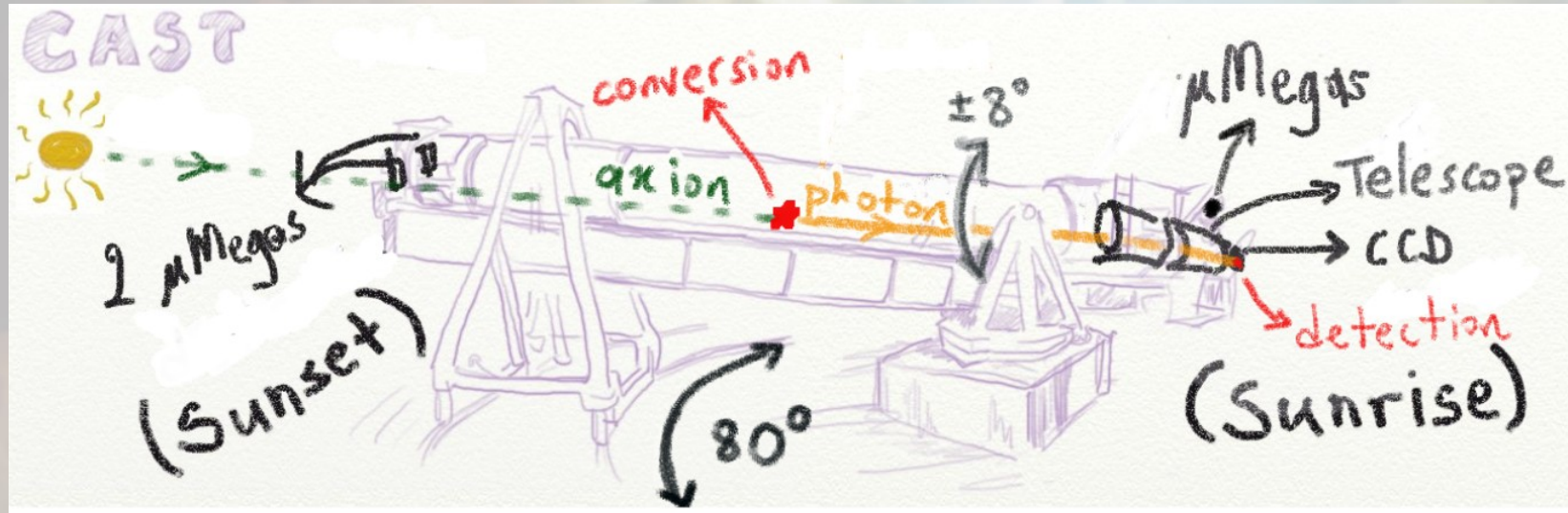
- Yatay hareket -> $\pm 40^\circ$
- Dikey hareket -> $\pm 8^\circ$

- Günde 2 vardiya
 - Sabah, Akşam
 - Herbiri 90'
- Kalan zaman: Ardalan ölçümü

<http://cast.web.cern.ch/CAST/>

<https://www.youtube.com/watch?v=XY2IFDXz8aQ>

CAST ve Axion

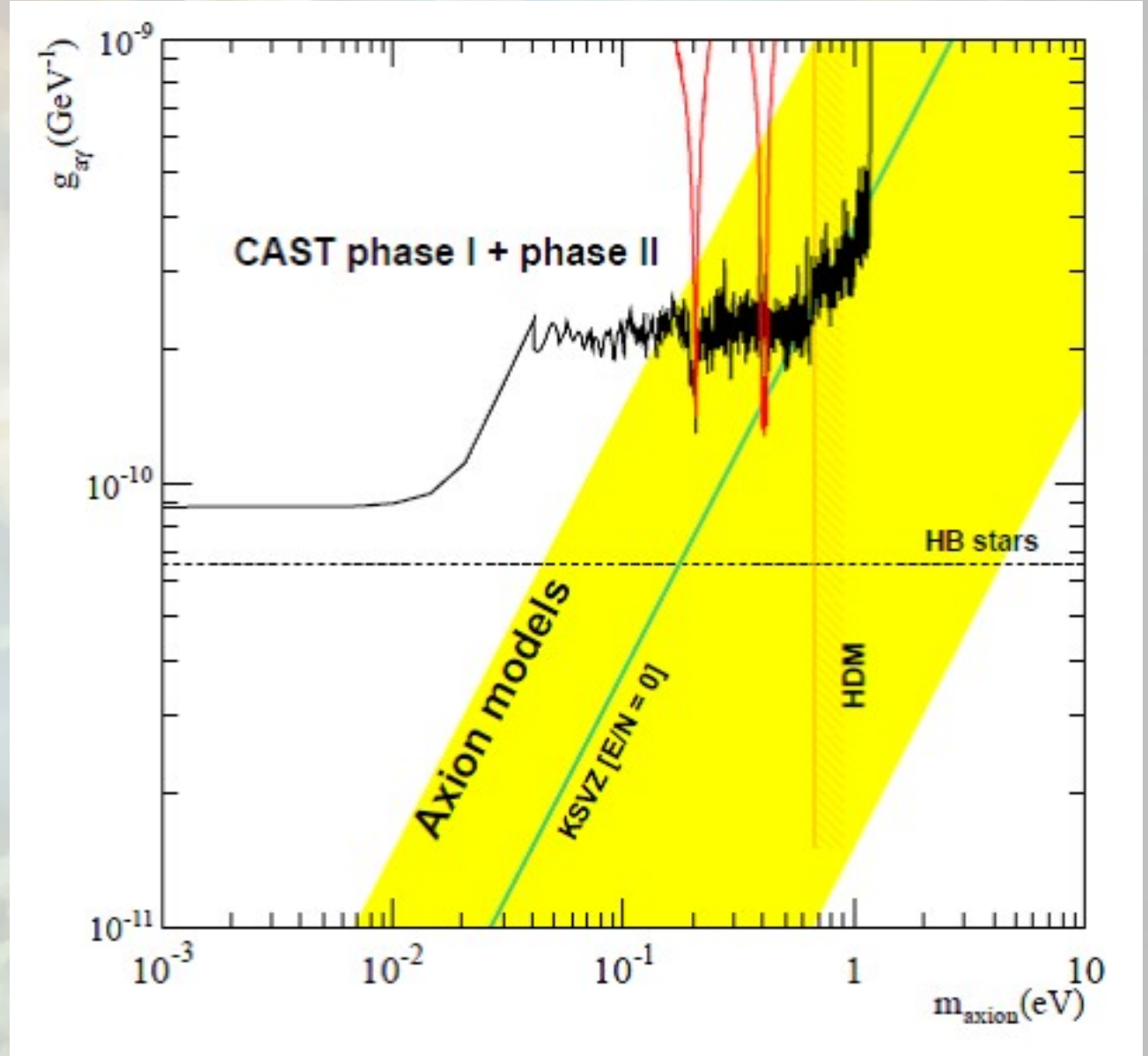


Dışarıdan gelen fotonlara kapalı

CAST ve Axion

Sonuçlar

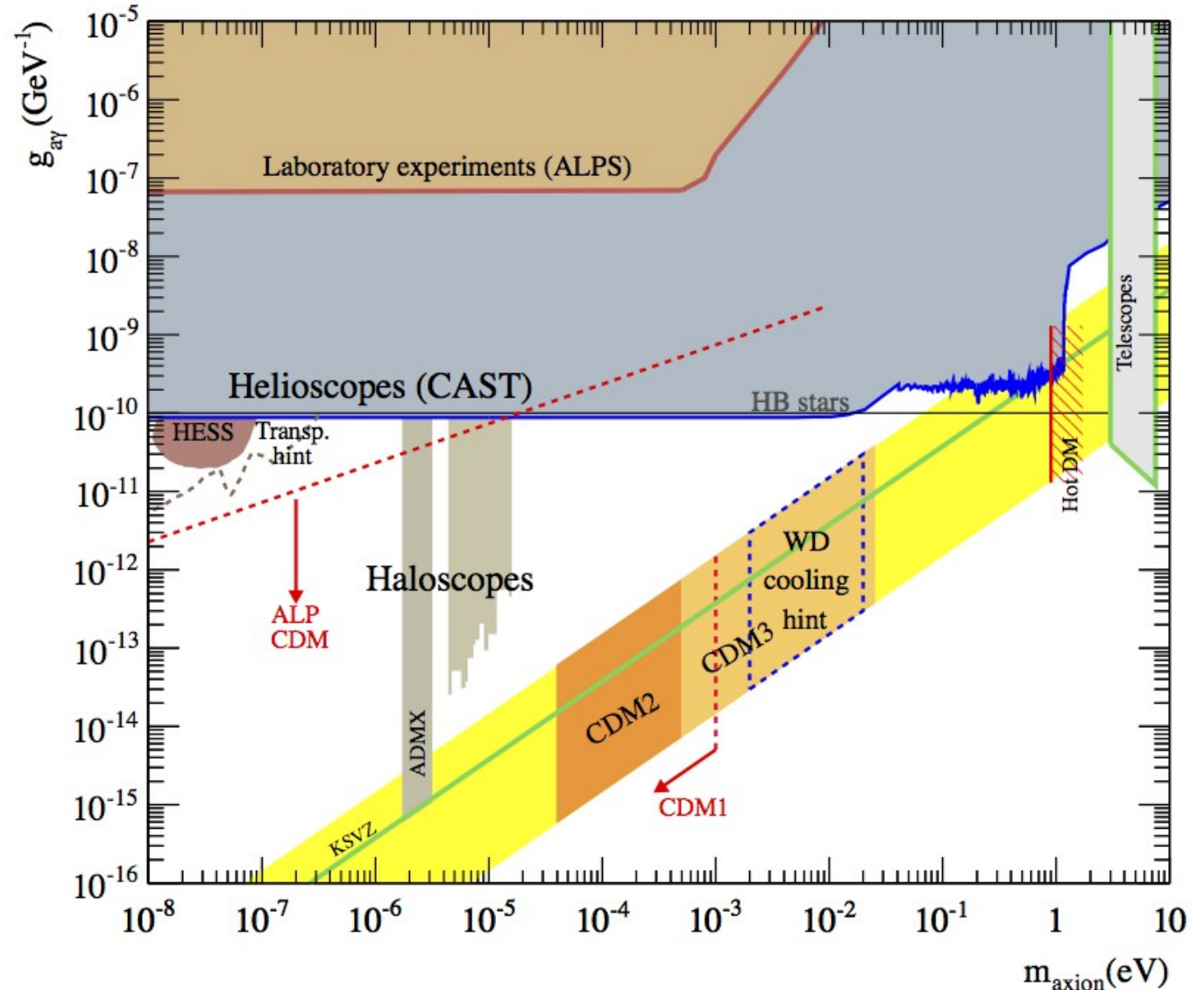
- Henüz axion gözlenmemedi
- Bir parçacığı görememek te o parçacık hakkında bilgi verir!
- Axion'un kütle-etkileşim sabiti uzayında nerede OLABİLECEĞİNİ söyleyebiliyoruz...



CAST ve Axion

Sonuçlar

- Henüz axion gözlenmedi
- Bir parçacığı görememek te o parçacık hakkında bilgi verir!
- Axion'un kütle-etkileşim sabiti uzayında nerede OLABİLECEĞİNİ söyleyebiliyoruz...



~SON~

