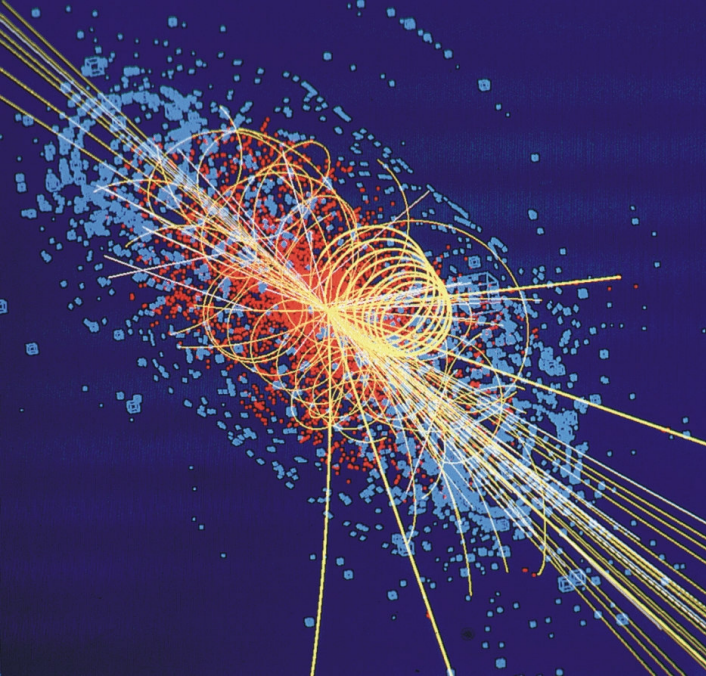




YENİ FİZİĞE DOĞRU

- *Yüksek Enerji Fiziği'ndeki son gelişmeler*
- *Fizik Bilimi'nin geleceği*



Öğr.Gör.Dr. Ahmet BİNGÜL
Gaziantep Üniversitesi
Fizik Mühendisliği Bölümü
01 Kasım 2007

İçerik

- **Parçacık Fiziği Kısa Tarihçesi**
- **Kuram** → *Standart Model ve Ötesi*
- **Deney** → *Hızlandırıcılar ve Detektörler*
- **Veri Analizi** → *Bilgisayarla son tahlil*
- **Gelecek** → ?

Fizik

Madde ve Enerjinin doğasını inceler!

- Mekanik
- Elektrik ve Manyetizma
- Termodinamik
- Astrofizik
- Atom ve Molekül Fiziği
- Yoğun Madde Fiziği
- Çekirdek Fiziği (Nuclear Physics)
- Yüksek Enerji Fiziği \equiv Parçacık Fiziği

Parçacık Fiziği'nin Kısa Tarihçesi

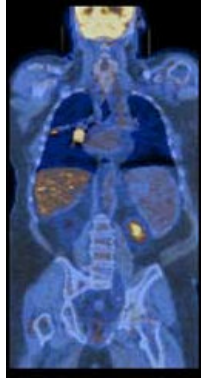
- **M.Ö. 450** İlk atom kavramı *Democritus*
- **1807** Elementler ve Atom *J. Dalton*
- **1895** X-ışınları *W.C. Röntgen*
- **1896** Radyoaktivite *H. Becquerel, M.Courie*
- **1898** Atom: üzümlü kek modeli *J. J. Thompson*
- **1899** Elektron *J. J. Thompson*
- **1911** Atom Çekirdeği *E. Rutherford*
- **1913** Bohr Atom Modeli *N.Bohr*
- **1920** Isotoplar *E.W. Aston*
- **1932** Nötron *J. Chadwick*
- **1932** Pozitron *C.D. Anderson*
- **1947** Muon ve Pion *C. Powell*
- **1947** Kaon (strange quark) *Rochester*
- **1955** Karşı-proton *E. Segre*
- **1956** Nötrino *Rhines*
- **1960-70** Diğer mezonlar/baryonlar ...
- **1974** J/ψ (charm kuark) *SLAC*
- **1977** Alt kuark *Fermilab*
- **1983** W ve Z bozonları *CERN*
- **1995** Üst kuark *Fermilab (Tevatron)*
- **1995** Karşı-hidrojen atomu *CERN*
- **????**

Parçacık Fiziğindeki Birimler

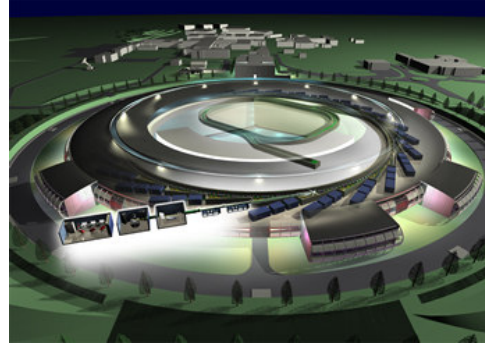
- Enerji
 - SI birim sisteminde, Joule, $1\text{J} = 1\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$
 - elektron-volt, eV: $1\text{ eV} = 1.6\times 10^{-19}\text{ J}$
 $1\text{ MeV} = 10^6\text{ eV}$ $1\text{ GeV} = 10^9\text{ eV}$ $1\text{ TeV} = 10^{12}\text{ eV}$
- Kütle
 - SI birim sisteminde, kg.
 - Doğal birim sisteminde $c=1$: $E = mc^2 \rightarrow E = m$
 $m = 1\text{ eV}/c^2 = 1\text{ eV} \equiv 1.8 \times 10^{-36}\text{ kg}$ $m = 1\text{ GeV} \equiv 1.8\times 10^{-27}\text{ kg}$

Büyükük	Doğal YEF birimi	SI birim sistemi
Uzunluk	1 fm	10^{-15} m
Enerji	1 GeV	$1.6\times 10^{-10}\text{ J}$
Kütle	1 GeV	$1.8\times 10^{-27}\text{ kg}$
$\hbar = h/2\pi$	1	$1.05\times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$
c (ışık hızı)	1	$3\times 10^8\text{ m/s}$

Parçacık Fiziği Uygulamaları



Tıp



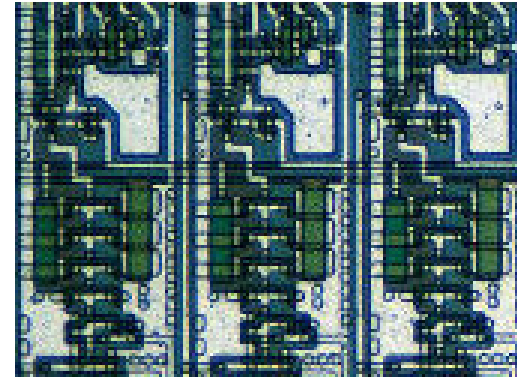
Araştırma



Eğitim



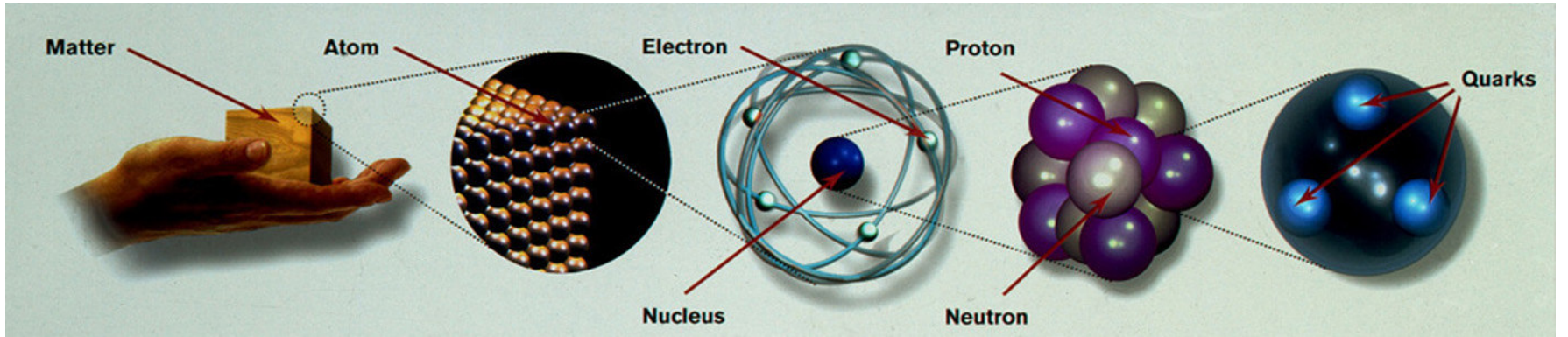
Bilgisayar

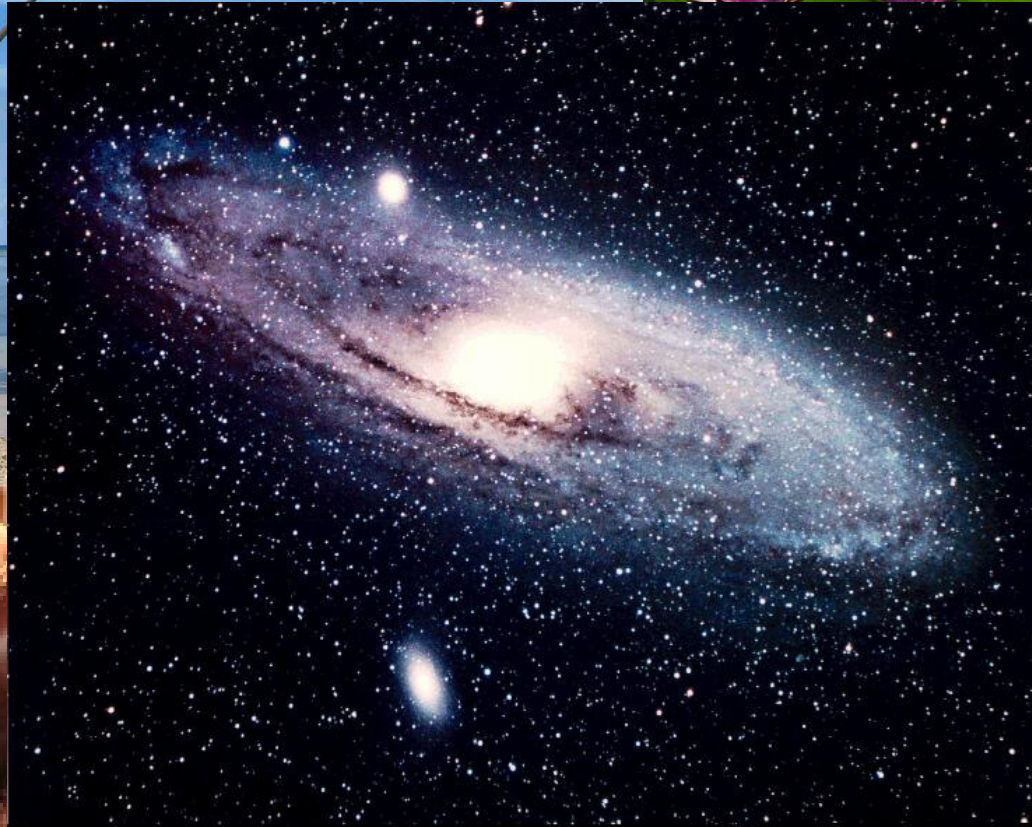


Teknoloji

Atom

- Maddeyi oluşturan temel parçacıklar:
Elektron – Proton – Nötron ?





Büyük Patlama

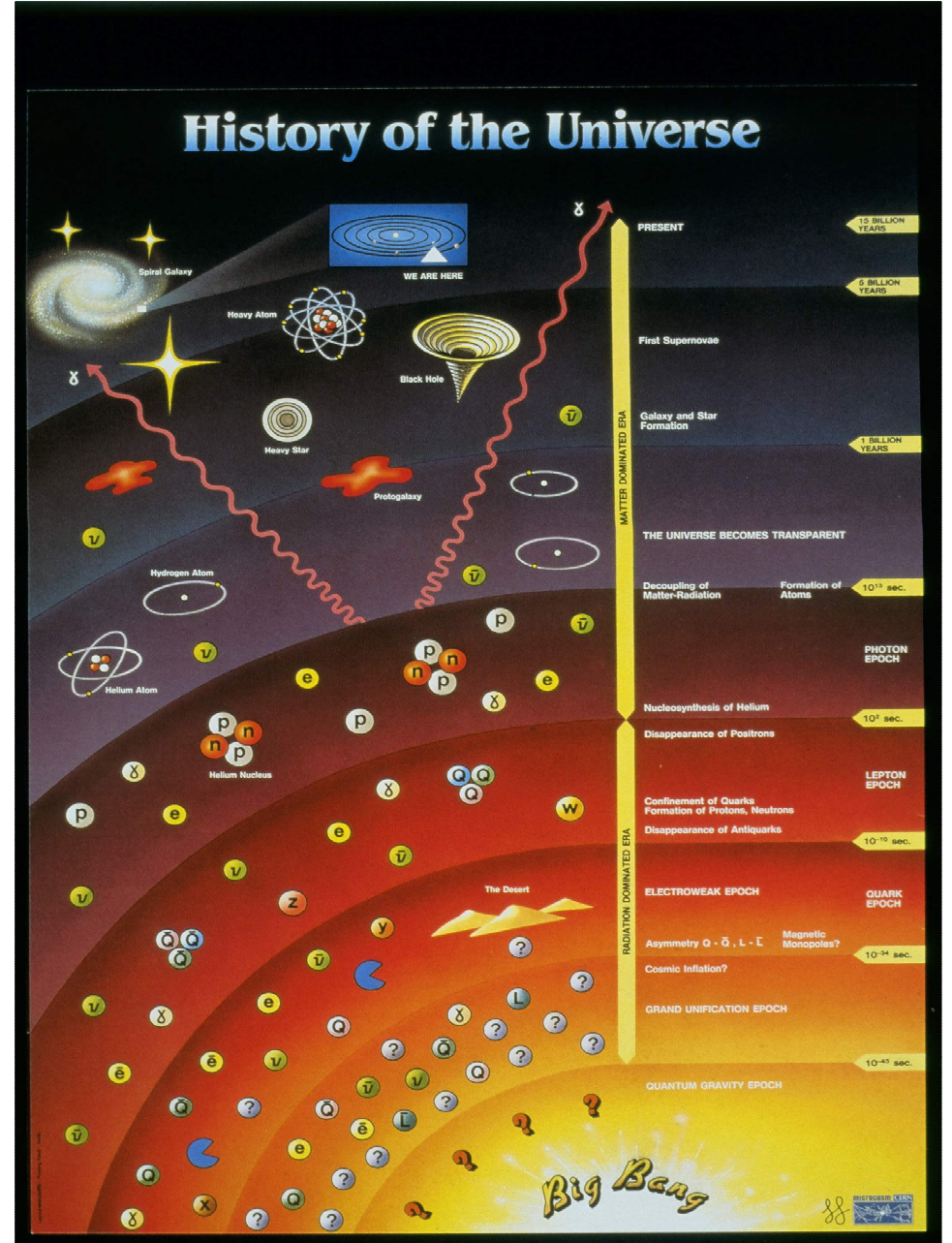
- Evrenin bugünkü duruma nasıl geldiğini açıklayan kozmolojik model

- Genişleyen evren ...

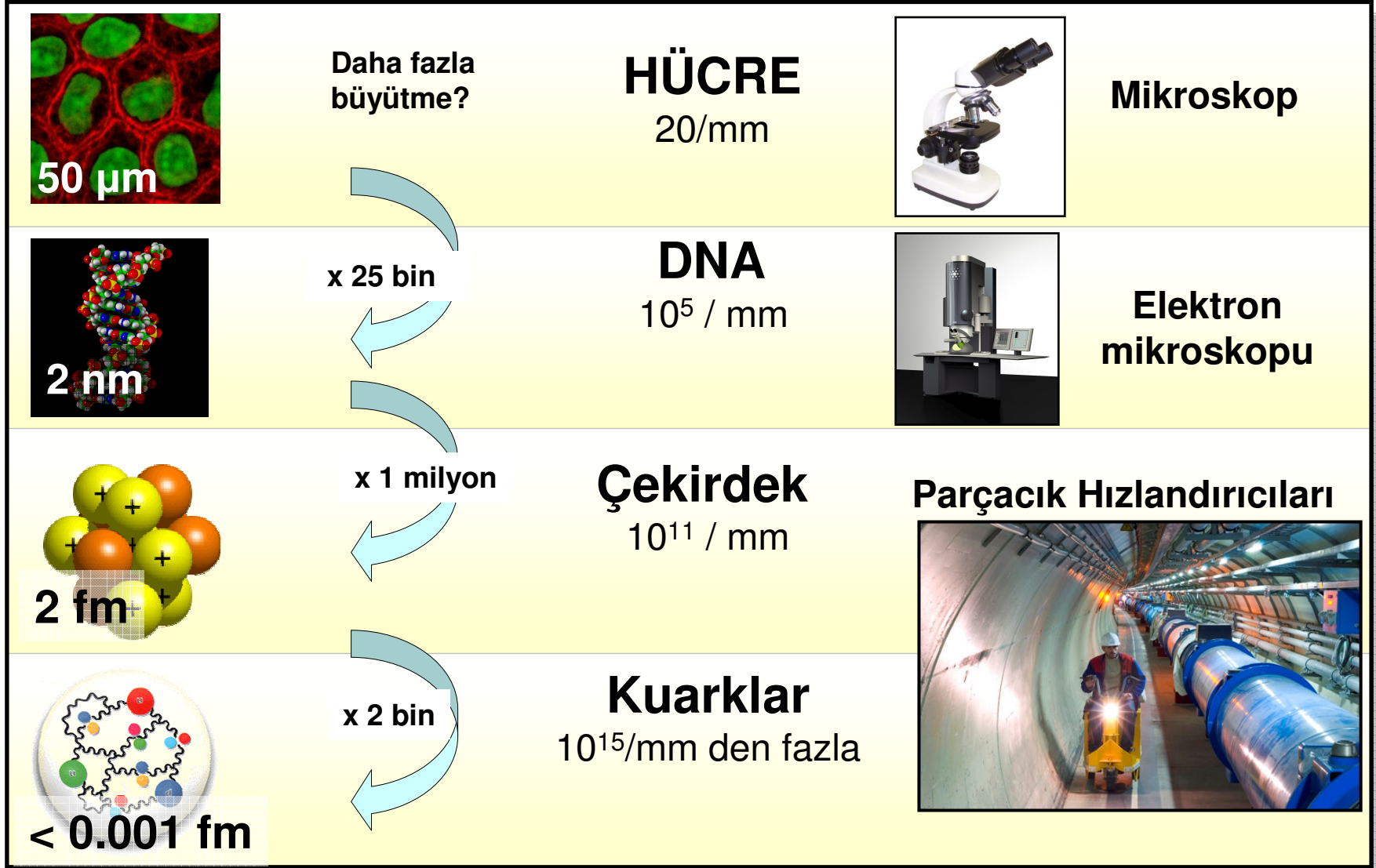
- Hubble kırmızıya kayma (red shift) yasası (1924)
- Kozmik artalan (1964)
Evrenin sıcaklığı

$$T \approx \frac{10^{10} K}{\sqrt{t}}$$

- Evrenin yaşı: 10-15 milyar yıl
 $T = 3 K$

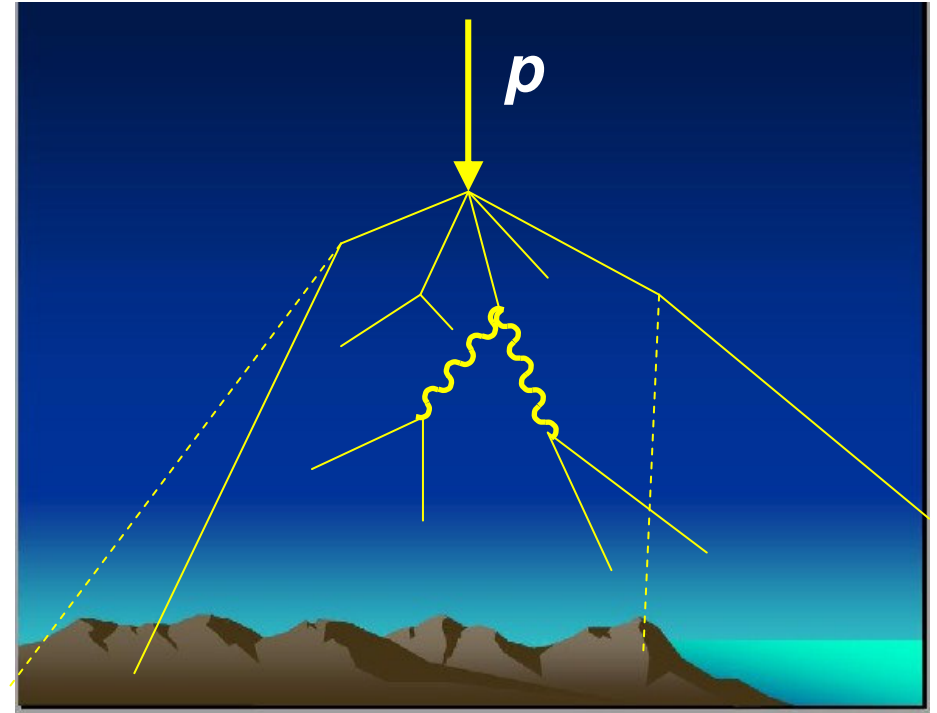
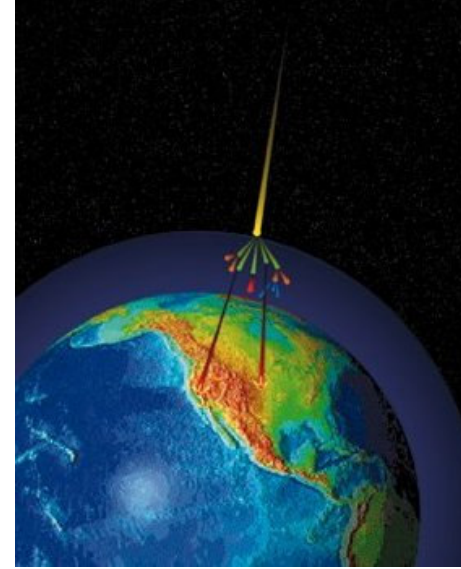


En Küçüğü Görmek



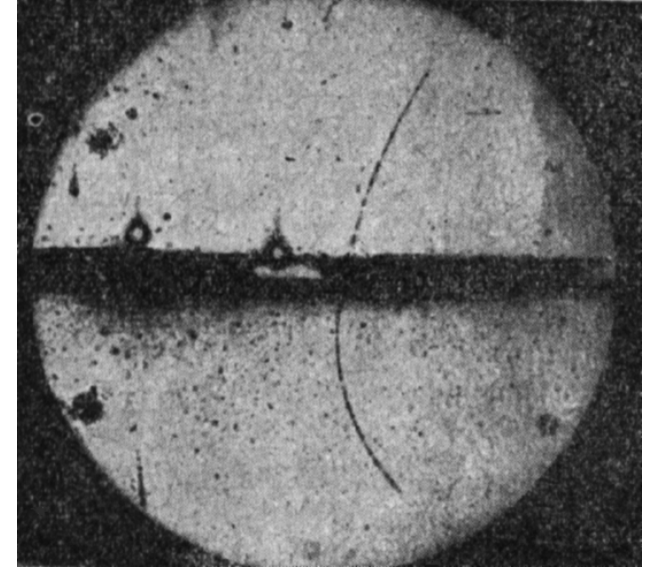
Kozmik Işınlar

- %90 p, %9 α , %1 e
- Doğal hızlandırıcı
 $0 < E < 10^{20}$ eV
- Parçacık sağanağı şeklinde
İsotropik dağılım
- Pozitron, Muon ve Pion
ilk kez Kozmik ışınlarda
bulundu
- Yeryüzündeki Kozmik muon
akısı $\varphi = 200 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$

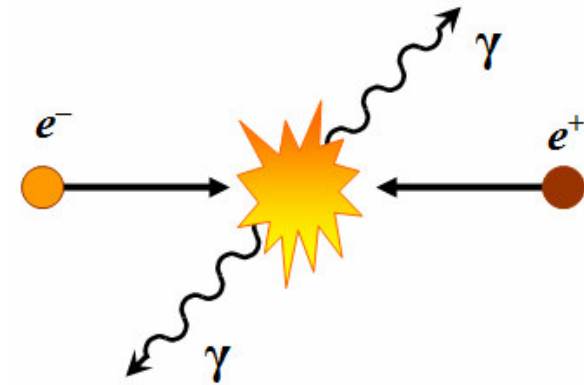


Karşı-Madde

- 1928 Dirac pozitif elektron (pozitron) önerisi
- 1932 Anderson deney: Kozmik ışınlar
- Her parçacık kendi karşı-parçacığına sahiptir.
Yüklü paçacıklar:
proton (+) karşı-proton (-)
Yüksüz paçacıklar:
foton = karşı-foton
- Madde ve karşı-madde birbirleri ile karşılaşınca madde enerjiye dönüşür.
- Enerji başka parçacıklara dönüşebilir
Örneğin: $e^+ + e^- \rightarrow J / \psi$
- Uygulama PET:
pozitron salan ^{22}Na çekirdeği



$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$$



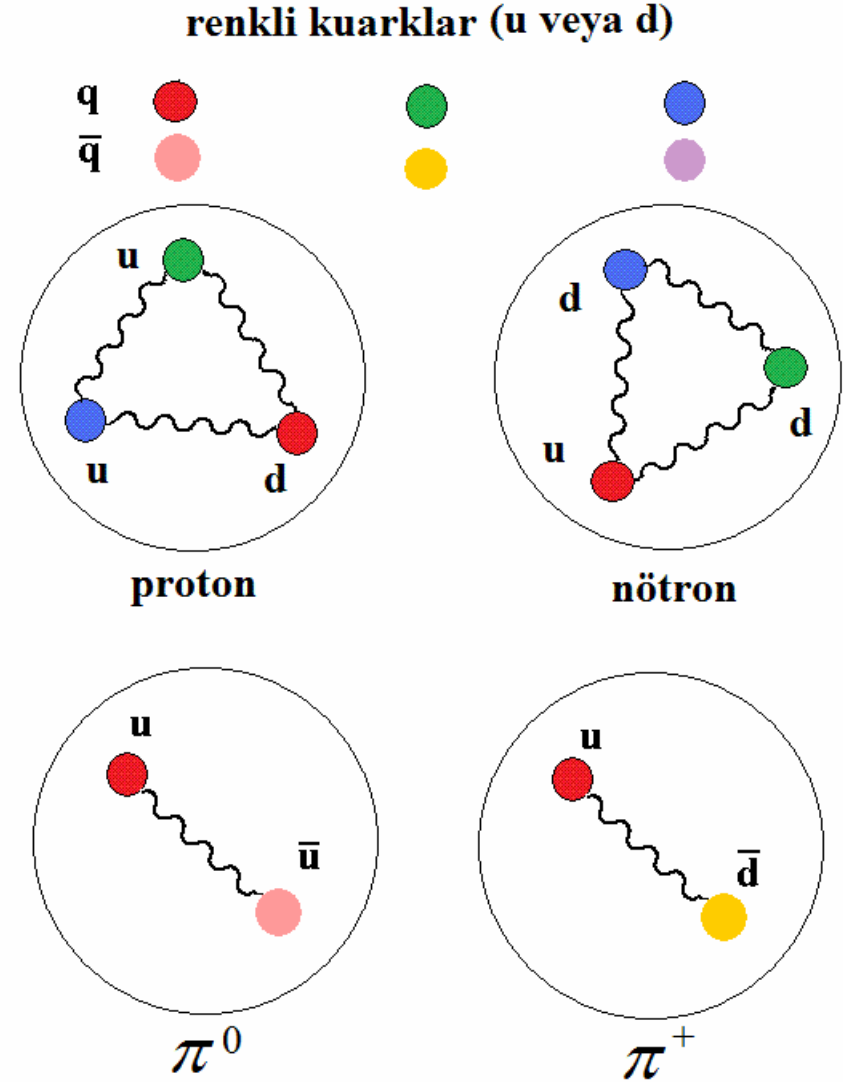
Parçacık Çiftliği

Sınıf	Parçacık Adı	Sembol	Kütle (MeV)	Ömür (s)	Bozunma modu
Leptonlar	Foton	γ	0	∞	
	Elektron	$e^- (e^+)$	0.511	∞	
	Nötrino (e)	$\nu_e (\bar{\nu}_e)$	0	∞	
	Muon	$\mu^- (\mu^+)$	106	2.2×10^{-6}	$e \nu_e \nu_\mu$
	Nötrino (μ)	$\nu_\mu (\bar{\nu}_\mu)$	0	∞	
	Tau	$\tau^- (\tau^+)$	1784	4×10^{-13}	$e \nu_e \nu_t$
	Nötrino (T)	$\nu_\tau (\bar{\nu}_\tau)$	0	∞	
Mezonlar	Pion (yükü)	$\pi^- (\pi^+)$	140	2.6×10^{-8}	$\mu \nu_\mu$
	Pion (yüksüz)	π^0	135	0.8×10^{-16}	$\gamma \gamma$
	Kaon	$K^- (K^+)$	495	10^{-8}	$\mu \nu_\mu$
Baryonlar	Proton	p	938	10^{32}	$e^+ \pi^0$
	Nötron	n	940	920	$p e^- \nu_e$
	Lamda	Λ	1116	10^{-10}	$p \pi^-$
	Sigma	$\Sigma^- (\Sigma^+)$	1189	10^{-10}	$p \pi^0$
	Omega	$\Omega^- (\Omega^+)$	1672	10^{-10}	ΛK

Standart Model

- Parçacıkları ve temel etkileşmeleri açıklayan *şimdilik* en iyi kuram.
- Kararlı maddeyi oluşturan parçacıklar

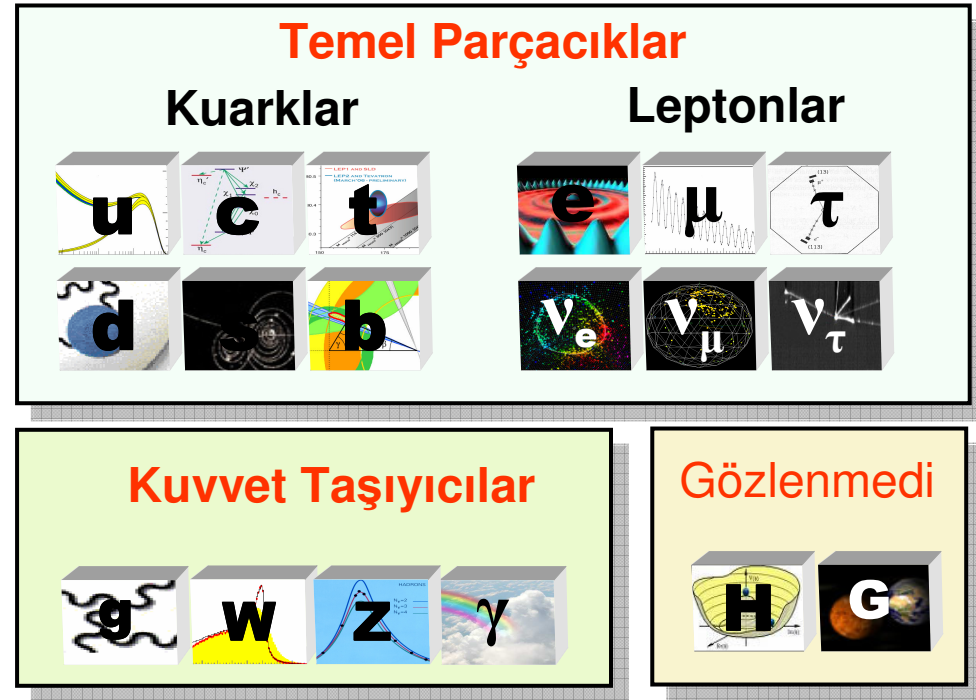
u ve *d* kuarkları ve elektronlar



Standart Model

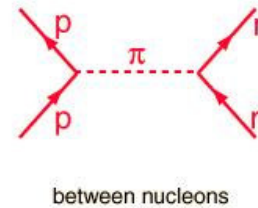
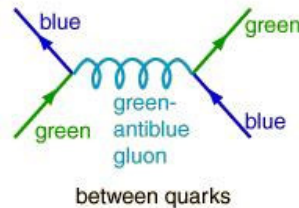
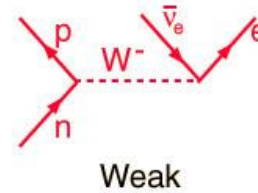
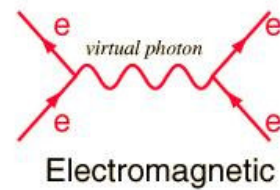
- SM Deneylerle örtüşüyor
- 3 kuvveti ve temel etkileşmeleri açıklıyor
- Ancak, cevaplayamadığı sorular var
- Tabloda delikler tıkanmalı

Yeni Periyodik Tablo



Dört Temel Kuvvet

Kuvvet	Kaynak	Menzil (m)	Şiddet	Kuram	Ayar
Kütle çekim	Kütle	∞	1	Genel Görelilik	Graviton ?
Zayıf	Zayıf yük	10^{-17}	10^{25}	Elektrozayıf kuram	W ve Z
Elektromanyetik	elektrik yükü	∞	10^{36}	QED	Foton
Güçlü	renk yükü	10^{-15}	10^{38}	QCD	Gluon



Strong Interaction

Standart Model

Yukarı (up, u) $m = 1.5-4 \text{ MeV}$ $q = +2/3 e$	Garip (strange, s) $m = 80-130 \text{ MeV}$ $q = -1/3 e$	Alt (bottom, b) $m = 4.5 \text{ GeV}$ $q = -1/3 e$
Aşağı (down, d) $m = 4-8 \text{ MeV}$ $q = -1/3 e$	Tılsım (charm, c) $m = 1300 \text{ MeV}$ $q = +2/3 e$	Üst (top, t) $m = 174 \text{ GeV}$ $q = +2/3 e$
Elektron (e) $m = 0.51 \text{ MeV}$ $q = \pm e$	Müon (μ) $m = 105.6 \text{ MeV}$ $q = \pm e$	Tau (τ) $m = 1.78 \text{ GeV}$ $q = \pm e$
Elektron nötrino (ν_e) $m < 2.2 \text{ eV}$ $q = 0$	Müon nötrino (ν_μ) $m < 170 \text{ keV}$ $q = 0$	Tau nötrino (ν_τ) $m < 16 \text{ MeV}$ $q = 0$

K
U
A
R
K

L
E
P
T
O
N

Fermiyonlar

Spin-1/2

EM (Foton, γ)	Zayıf (W^\pm ve Z)	Güçlü (g)
$m < 10^{-14} \text{ eV}$ $q < 3 \times 10^{-33} e$	$m(W) = 80.4 \text{ GeV} ; q = \pm e$ $m(Z) = 91.2 \text{ GeV} ; q = 0$	Gluonlar (8 tane)

Bozonlar

Spin-1

Standart Model

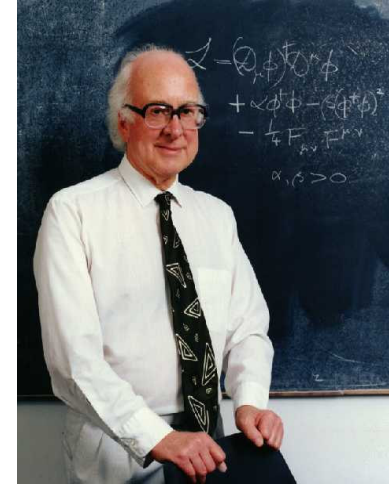
Higgs Bozonu (*Higgs Boson*)

■ *Elektrozayıf Kuvvet*

- 1960larda elektromanyetik ve zayıf kuvvet kuramsal olarak birleştirildi.
(A.Salam, S.Weinberg, S.Glashow)
- 1983'de W ve Z bozonları bulundu.
- Bu kurama göre, bütün parçacıkların çıplak kütlesi sıfırdır.
- Parçacıklar nasıl kütle kazanıyor?
- P. Higgs bir çözüm önerdi: Higgs mekanizması!

■ *Higgs Alanı*

- Büyük patlamadan hemen sonra oluşan ve parçacıklara kütle kazandıran alan.
- Alan taşıyıcısı: Higgs Bozonu (H)
- $m(H) > 118 \text{ GeV}$



Standart Model

Higgs Bozonu

$114 < m(H) < 130 \text{ GeV}$

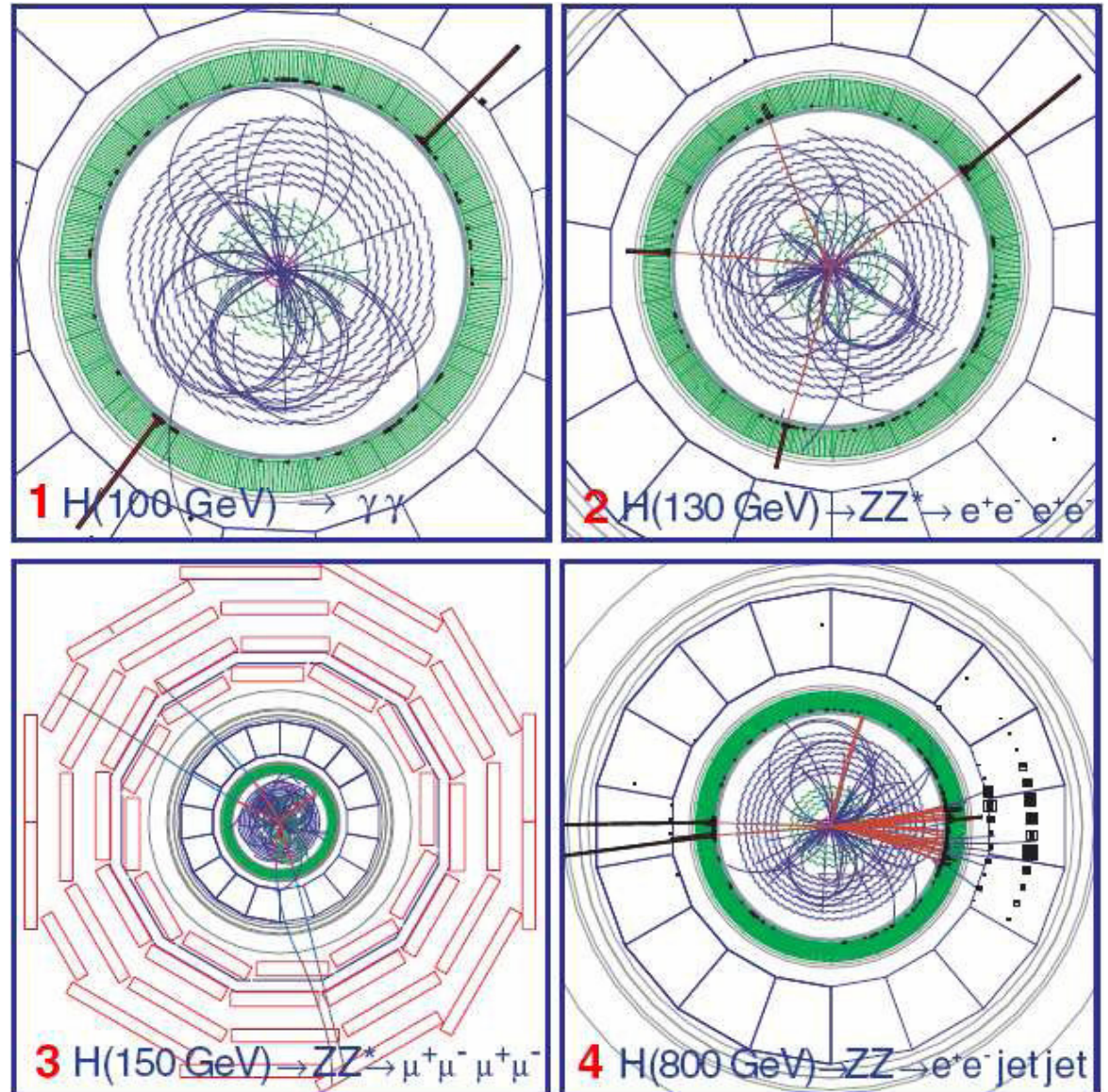
$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

$130 < m(H) < 600 \text{ GeV}$

$$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell^\pm$$

$600 < m(H) < 1000 \text{ GeV}$

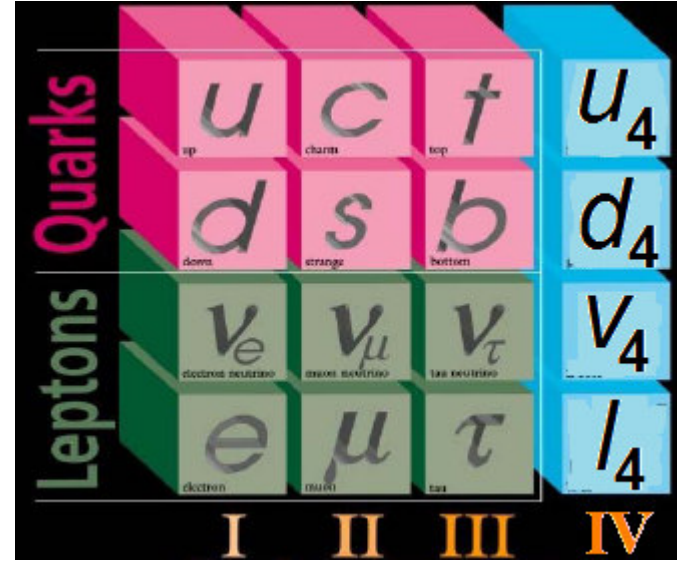
$$H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\ell jj$$



Standart Model

Dördüncü Aile (*Forth Family*)

- Önceki deneylerden toplanan verilere göre sadece $N = 3$ ailenin var
- SM'ye göre $N < 9$ olabilir
- Bugünkü alt sınırlar
 $m_l > 80 \text{ GeV}$, $m_q > 128 \text{ GeV}$



4. aile aşağı kuark

$$d_4 \rightarrow W + t$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ l\nu & & j \end{array}$$

4. aile yukarı kuark

$$u_4 \rightarrow W + b$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ l\nu & & j \end{array}$$

SM Ötesi

CP Kırılımı (*CP Violation*)

- CP: Yük eşleniği (charge conjugation) ve Parite (parity) çarpımı
- Yük eşleniği: $q \rightarrow -q$ (parçacık karşı-parçacık değişimi)
- Parite: $r \rightarrow -r$ (fizik ve kimya yasalarındaki ayna simetrisi)
- CP:
Güçlü ve em etkileşmelerde korunuyor ama zayıf etkileşimde korunmuyor. (1964)
- Problem:
Neden evren madde'den oluşmuştur?
Madde ve karşı-madde neden eşit değil?
Kayıp karşı-madde nerede?

Cevap:

Büyük patlamanın 1. saniyesinden sonra

CP simetrisi kırıldı!

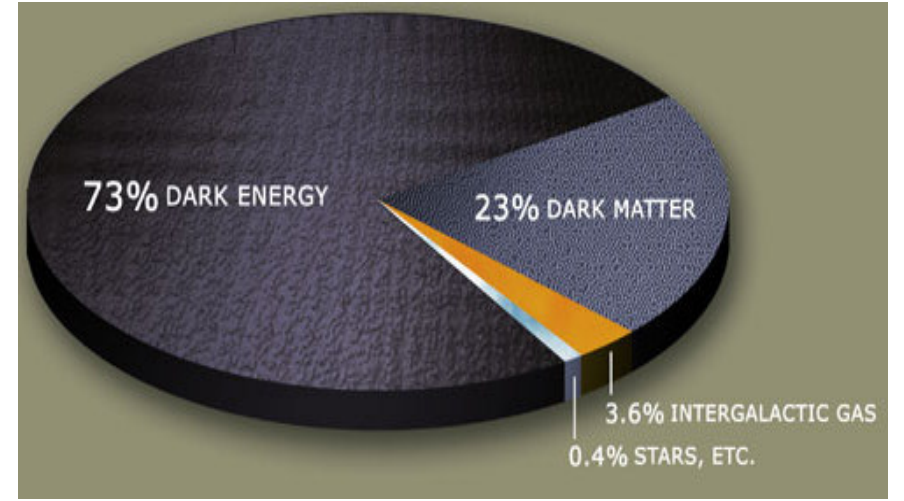
Eğer kırılmasaydı ...



SM Ötesi

Karanlık Madde (*Dark Matter*)

- em radyasyon yaymıyor ve yansıtıyor
- Görünür madde ile kütle-çekim etkileşmesine girebiliyor
- Gözlemler var olduğunu gösteriyor!

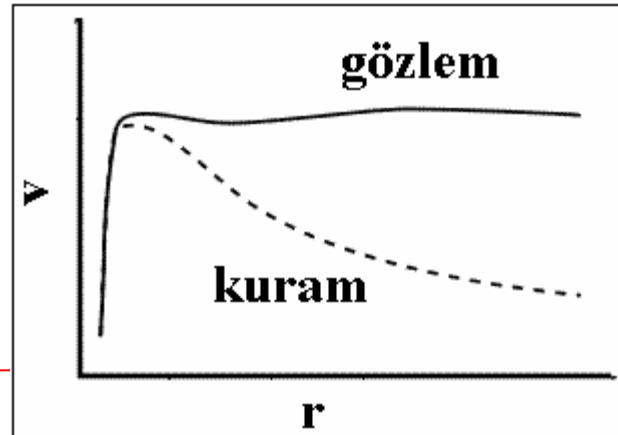


Karanlık madde kanıtları

$$\frac{mv^2}{r} = G \frac{mM}{r^2} \rightarrow v = (GM / r)^{1/2}$$

Gökada göbek: $M \propto r^3 \rightarrow v \propto r$

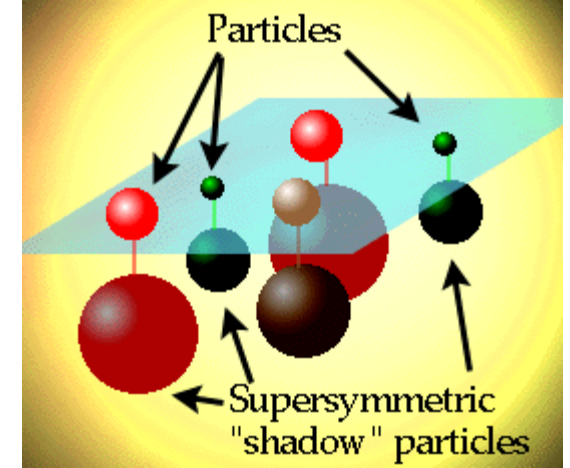
Gökada göbek dışı: $M \cong \text{sabit} \rightarrow v \propto r^{-1/2}$



SM Ötesi

Süpersimetri (*Supersymmetry = SUSY*)

- Bozonlar ve Fermiyonlar arası yeni bir simetri
- 1973 de Özel Görelilik kuramının simetrisini genişletmek için ortaya atıldı.
- 3 temel kuvveti açıklıyor.
- Normalden ağır **süper parçacık eşlerini** öngörüyor.
- En hafifleri, karanlık maddeyi açıklıyor.
- “Yanlış olmayacak kadar güzel” bir kuram.



<i>Parçacık</i>	<i>Spin</i>	<i>Sparçacık</i>	<i>Spin</i>
quark(6 tane), q	$\frac{1}{2}$	skuark, \tilde{q}	0
lepton(6 tane), l	$\frac{1}{2}$	slepton, \tilde{l}	0
photon, γ	1	photino, $\tilde{\gamma}$	$\frac{1}{2}$
gluon, g	1	gluino, \tilde{g}	$\frac{1}{2}$
W^\pm	1	wino, \tilde{W}^\pm	$\frac{1}{2}$
Z^0	1	zino, \tilde{Z}^0	$\frac{1}{2}$
H	0	Higgsiono, H^0_{12}, H^\pm	$\frac{1}{2}$

SM Ötesi

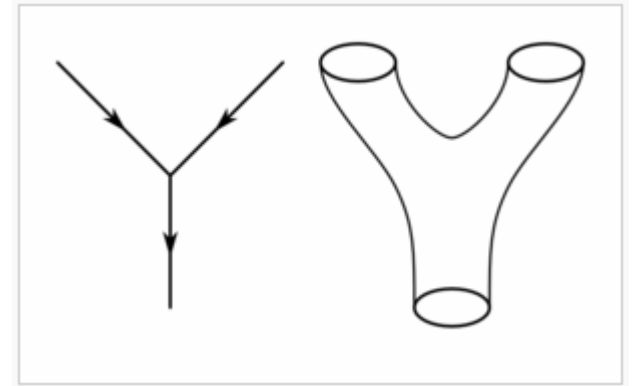
Sicim Kuramı = Herşeyin Kuramı (String Theory = Theory of Everything)

Amaç:

- Bütün parçacıkları (kuarklar ve leptonlar) ve
- dört temel kuvveti (kütleçekim, elektromanyetik, zayıf ve güçlü) bir çatı altında toplamak.

Fikir:

- Temel parçacıklar nokta şeklinde değil **titreşen sicim ilmikleridir** (loops of vibrating string)
- Aracı parçacıklar (γ, W, Z, g, G), sadece **tek cins bir sicimin farklı titreşim kipleridir**.
- Kuram ek boyutların (extra dimensions) varlığını öngörüyor:
 $4+6 = 10$ boyut veya $4+22 = 26$ boyut !



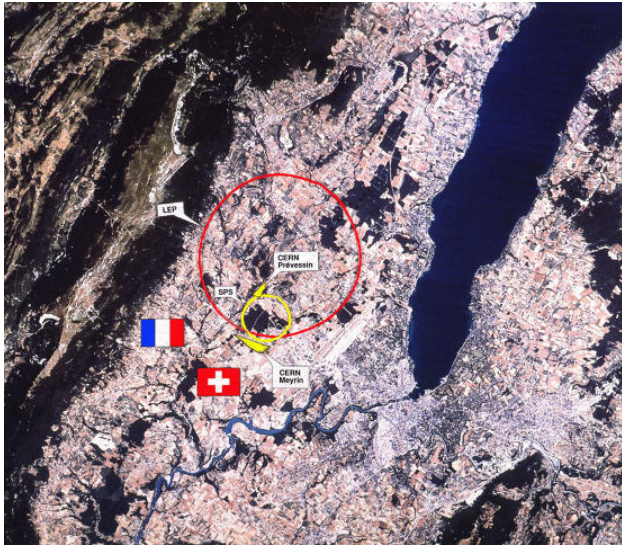
Cevap Bekleyen Sorular

- *Neden temel parçacıkların kütlesi var?*
- *Bu kütleler neden farklı?*
- *4. Aile, 5. Aile ...*
- *Nötrino kütlesi ve salınımı*
- *20 tane sabit deneyden alınmak zorunda*
- *Madde karşı-madde neden dengesiz?*
- *Kayıp karşı-madde nerede?*
- *Karanlık madde ve enerji*
- *Süpersimetrik parçacık eşleri*
- *4. kuvvet: Kütleçekim dahil edilemiyor*
- *Ek boyutlar mevcut mu?*

CERN



- *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*
European Council for Nuclear Research
European Organization for Nuclear Research
European Laboratory for Particle Physics
Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
- İsviçre-Fransa sınırı, Cenevre kentinde kurulu dünyanın en büyük Parçacık Fiziği Araştırma Laboratuvarı



CERN



- 1949: L. De Broglie tarafından teklif edildi.
- 1952: 11 kurucu ülke ile kuruldu.
- 1959-1999: 9 ülke daha katıldı.
- 2007: 20 tam üye ülke

- 8 gözlemci

Türkiye

Hindistan

Japonya

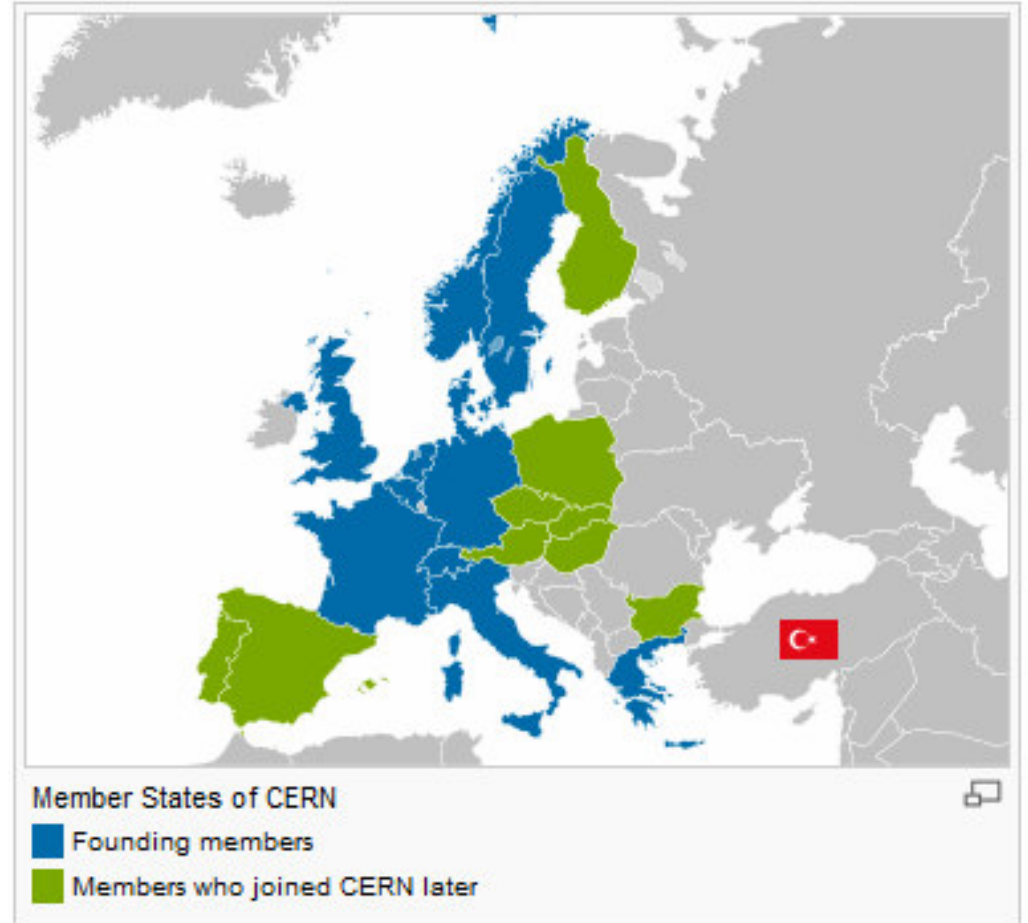
ABD

UNESCO

AB

İsrail

Rusya



Parçacık Hızlandırıcıları

■ Hızlandırıcı (Accelerator)

Temel yüklü parçacık demetlerinin toplam enerjilerinin artırılarak hedeflenen değere ulaşmalarını sağlayan donanımlardır.

■ Hızlandırma

Yüklü parçacıkların **elektrik alan** etkisinde kalarak boyuna ivmelenmeleri ile mümkündür. Bu demetler,

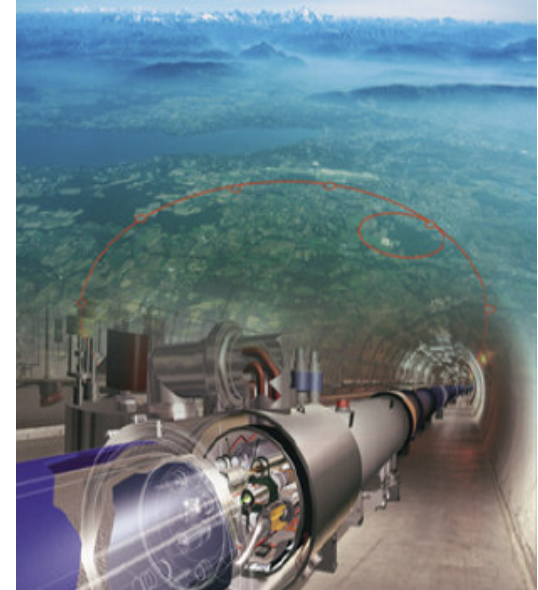
- durgun hedef deneylerinde
- çarpıştırıcılarda
- ışınım kaynağı olarak kullanılmaktadır.

■ Hızlandırıcı Fiziği

Parçacık demetlerinin elektromanyetik alanlar altındaki hareketini; *yörünge*, *momentum*, *enerji kazanımı*, *dağılma*, *odaklama* v.b. süreçleri inceleyen bir bilim dalıdır. → Mühendislik ve Teknoloji

Hızlandırma işlemi

Doğrusal (linear) veya **dairesel (circular)** yörüngelerde yapılabilir.



Parçacık Hızlandırıcıları

■ Çarpıştırıcı (Collider)

Bir parçacık demetini farklı bir demet ile, amaca uygun bir **kütle merkezi** (KM) enerjisi (E_{KM}) ve **parlaklık** (L , Luminosity) değeri ile çarpıştırılmasını sağlayan cihazlar.

Günümüzde e , p v.b. parçacık demetleri değişik tekniklerle GeV ve TeV mertebesinde enerjilere ulaştırılabilmektedir.

■ Parlaklık (Luminosity)

Parçacık demetleri kümeler halinde çarpıştırılır.

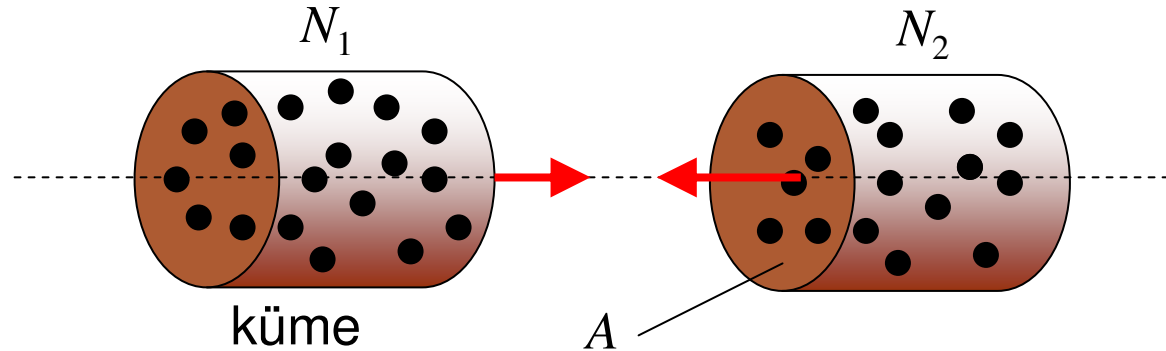
Çarpışma hızı (oranı) ve demet içindeki parçacıkların çarpışma tesir kesiti (ihtimali) arasındaki ilişki:

$$R = L\sigma$$

$$L = fn \frac{N_1 N_2}{A}$$

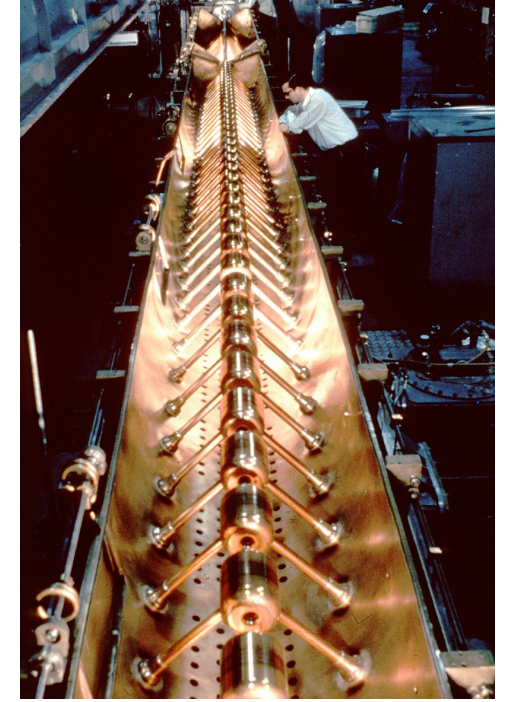
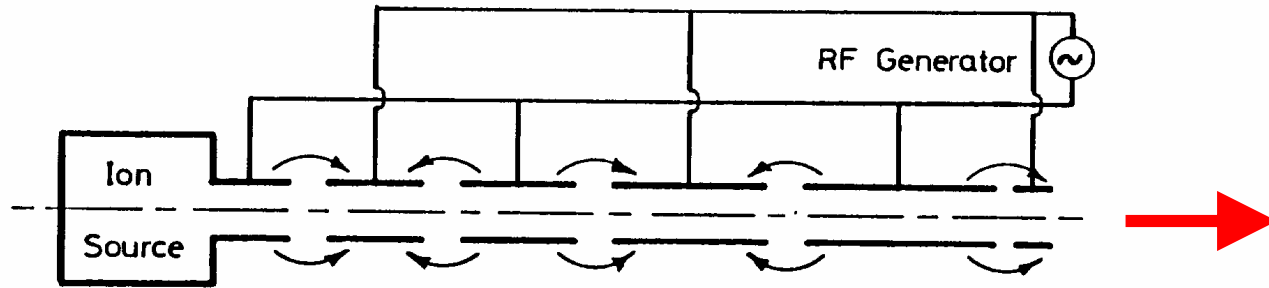
f : frekans

n : küme sayısı



Parçacık Hızlandırıcıları

- **Doğrusal Hızlandırıcı (Linear Accelerator: LINAC)**
Enerji kazanımı bölgeleri olan RF kavitelerin bir doğru boyunca sıralandığı bir hızlandırıcı düzenektir.



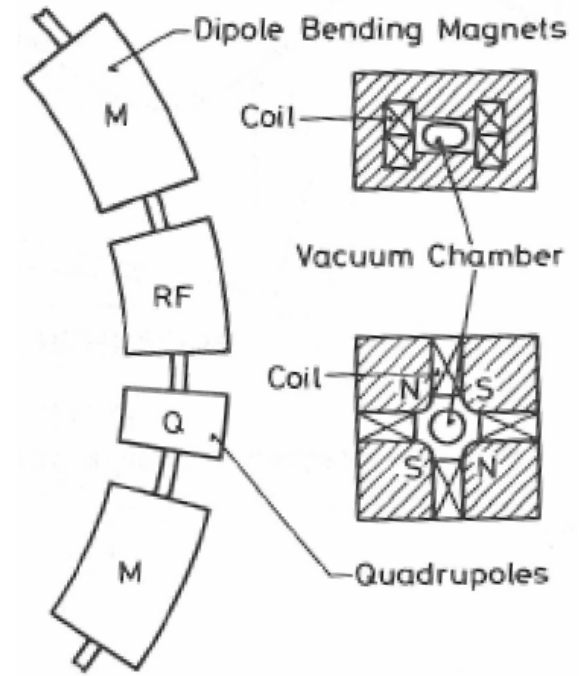
- **SLAC - Stanford Linear Accelerator Center**

- 1966 yılında kuruldu
- 3.2 km uzunluk
- 10 m toprak altında
- 100,000 RF kavite
- 50 GeV elektron ve pozitron hızlandırıcısı
- 1976, 1990 ve 1995 Nobel Fizik ödülleri
- 2006 Nobel Kimya ödülü



Parçacık Hızlandırıcıları

- **Dairesel Hızlandırıcı (Circular Accelerator)**
Parçacıklar, eğici mıknatıslar aracılığı ile kapalı bir yörüngede RF'lerden defalarca geçirilerek hızlandırılırlar.



- **LEP (Large Electron Positron Collider)**

- 27 km çevre uzunluğu
- 50-170 m toprak altında
- 1989-1995 yılları: Z bozonu incelendi.
 $E_{KM} = m_Z c^2 = 91.2 \text{ GeV}$
- 1995-2000 yılları: W^\pm bozonu incelendi.
 $E_{KM} = 2m_W c^2 = 160 \text{ GeV}$



Parçacık Hızlandırıcıları

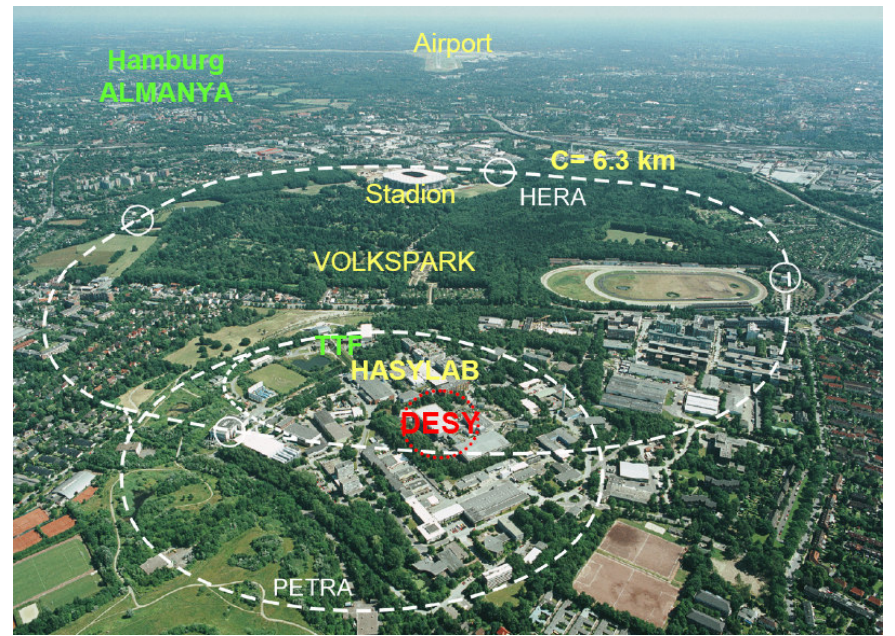
■ Fermilab (Fermi National Accelerator Laboratory)

- 6.3 km çevre uzunluğu
- $E_{KM} = 2 \text{ TeV}$ (Tevatron)
proton-antiproton çarpıştırıcısı
- 1977'de alt kuark ve
1995'de üst kuark bulundu



■ DESY (Deutsches Elektronen Synchrotron)

- 6.3 km çevre uzunluğu
- 20 m toprak altında
- Elektron-proton çarpıştırıcısı
- Amaç:
 - kuark yapısını anlamak
 - Synchrotron Radyasyonu kullanarak yüzey fiziği, malzeme bilimi ve tıp araştırmaları yapmak



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

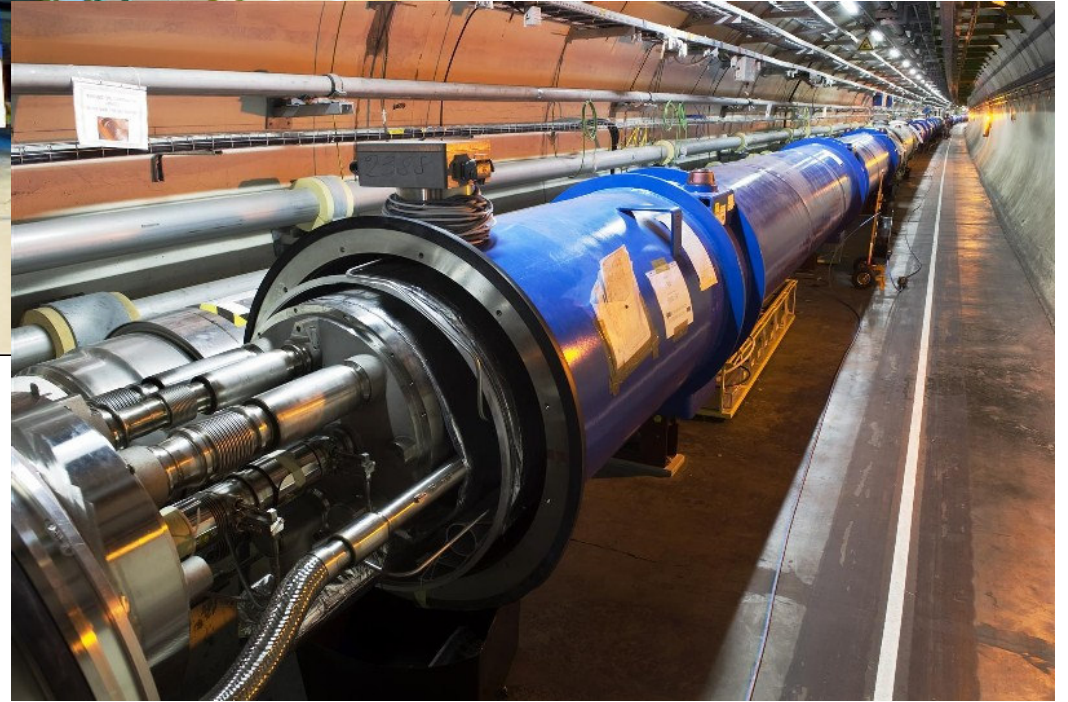
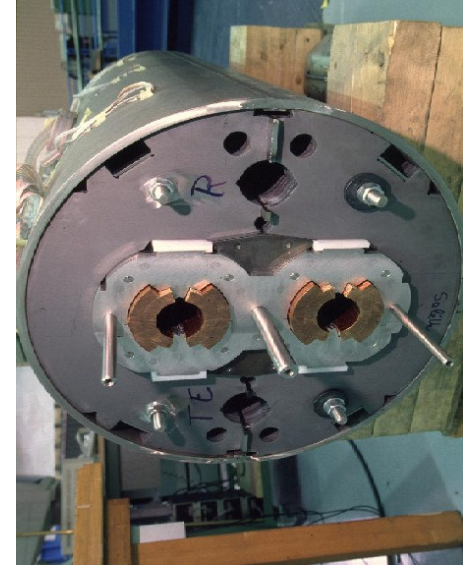
(LHC: Large Hadron Collider)

- **Büyük** : çarpıştırıcı çevre uzunluğu yaklaşık 27 km
Hadron: çarpıştırılacak parçacıklar:
 - 14 TeV KM enerjisine sahip protonlar
 - 1150 TeV KM enerjili kurşun (Pb) çekirdekleri (82 p ve 125 n)
- LHC projesi:
 - Fikir Aralık 1994 yılında başladı.
 - 1989-2000 yılları arasında çalışan LEP tüneli LHC'ye devredildi.
 - 1996-1998 yıllarında dört LHC deneyi onaylandı.
 - Mayıs 2008'de hizmete girecek ?
 - Maliyet: 3 milyar € (5.5 milyar YTL)
 - Web: lhc.web.cern.ch





Büyük Hadron Çarpıştırıcısı



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

- **Neden çarpıştırıcı?**

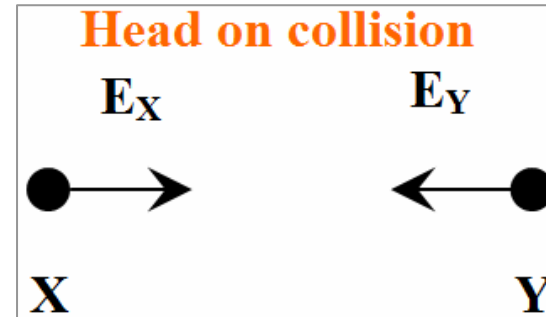
$X + Y \rightarrow Z$ tepkimesinde Z parçacığını elde etmek için iki yol vardır:

Durgun Hedef (Y)



$$E_X = \frac{m_Z^2 - m_X^2 + m_Y^2}{2m_Y} c^2$$

Kafa-kafaya çarpıştırma



$$E = m_Z c^2$$
$$E_X = E_Y = E/2$$

Örnek: $e^+ + e^- \rightarrow Z^0$ [$m(Z) = 91.2 \text{ GeV}$]

Durgun hedef:

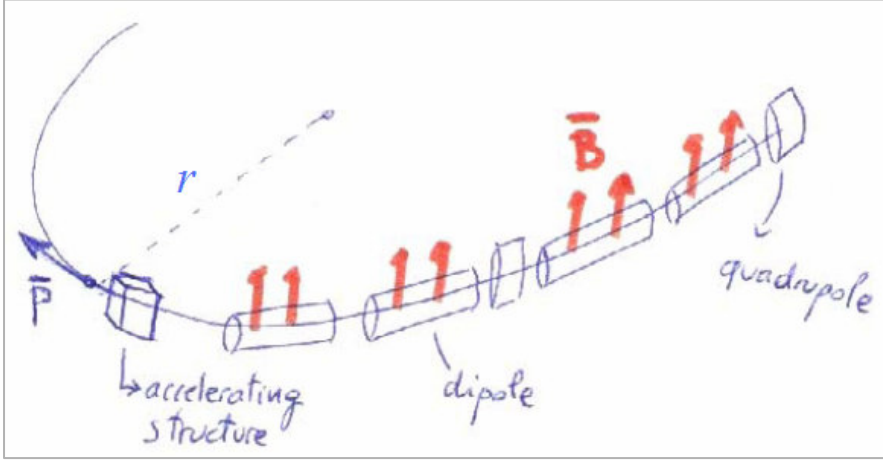
$$E_X = 8 \times 10^6 \text{ GeV}$$

Kafa-kafaya (LEP):

$$E_X = E_Y = 45.6 \text{ GeV}$$

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

■ Neden büyük?



Merkezcil kuvvet: $F = mv^2 / r$

Lorentz kuvveti: $F = evB$

Görelî dinamik: $p = \gamma mv$

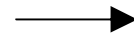
$\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ ve $\beta = v/c$

$$F = \frac{dp}{dt} = \gamma m \frac{dv}{dt} = \gamma m \frac{v^2}{r} = evB$$

Momentum: $p = eBr$

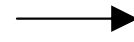
Toplam Enerji: $E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$

Ultra-relativistik limit: $E \approx pc = eBr$



$$E(\text{GeV}) = 0.3Br$$

Diğer taraftan, yüklü parçacıkların tur başına kaybettikleri enerji yarıçap ile ters orantılıdır.



$$-\Delta E = \frac{4\pi}{3} \frac{e^2 \beta^2 E^4}{m^4 c^8 r}$$

■ Neden hadronlar (p ve Pb)?

Hızlandırıcılarda yüklü ve kararlı parçacıklar veya iyonlar tercih edilir. Hadron kütlesi leptonlardan daha fazla.

Tur başına enerji kaybı kütlenin 4. kuvveti ile ters orantılıdır.



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

■ Neden toprak altında?

- Kosmik artalan (background) toprak altında daha azdır.
- Çarpışma sonucunda açığa çıkacak radyasyonun etkileri yüzeyde çok oldukça azdır (CERN yüzeyinde: 0.8 mSv/yıl; Mont Blanc: 8.7 mSv/yıl).

■ Ay LHC'yi etkiler mi?

Ay'ın gel-git etkisi ile dünya kabuğunun da yer değiştirmesine sebep olur (Cenevre'de, en fazla 25 cm kadardır).

Toprak hareketi, LHC tünelinin uzunluğunu 1 mm değiştirir.

Bu değişim, LHC demet enerjisinin 5/100,000 oranında değiştirilmesi demektir. LHC hassasiyeti 0.5/100,000.

Yani ayın etkisi dikkate alınmalıdır.

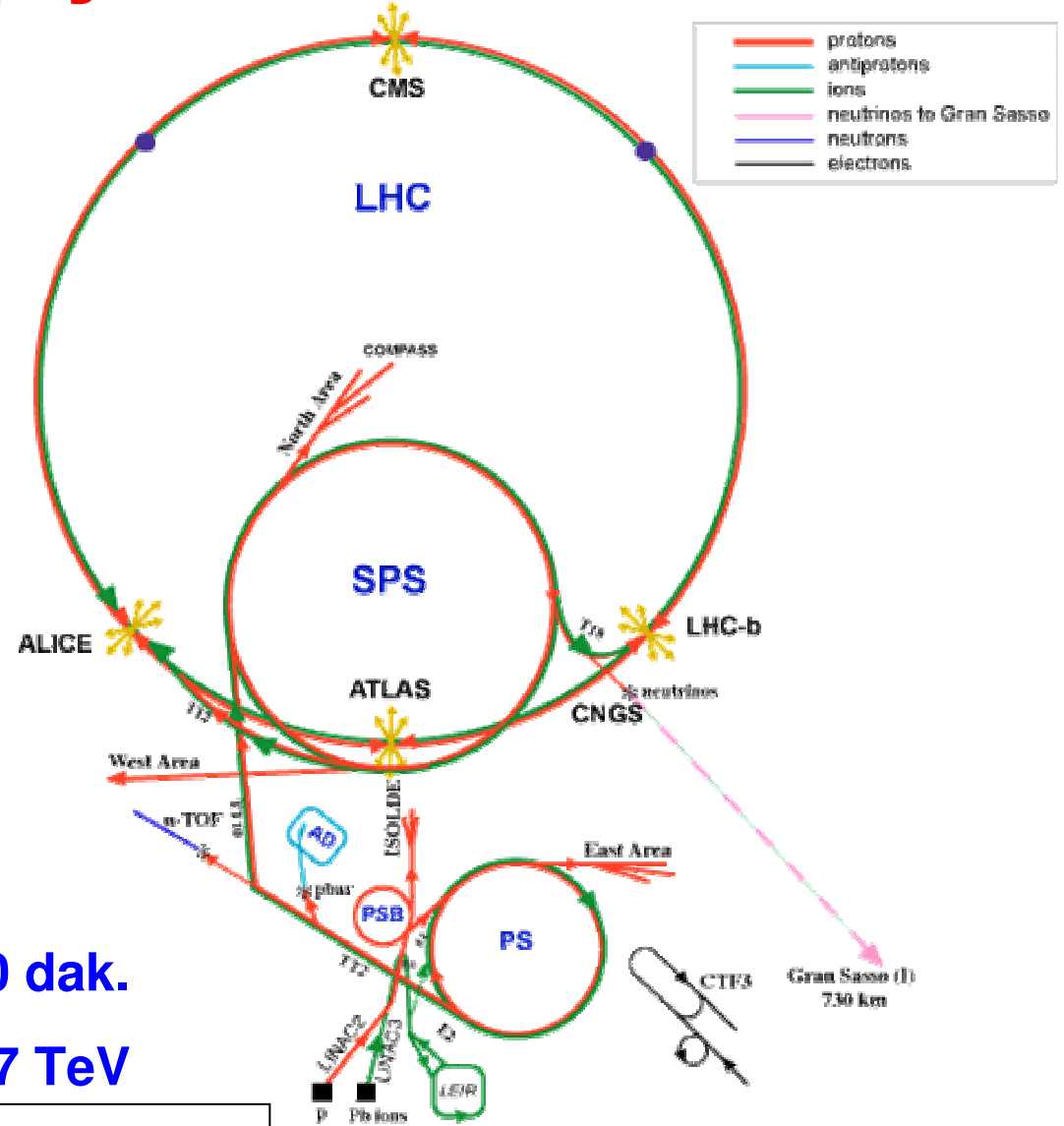
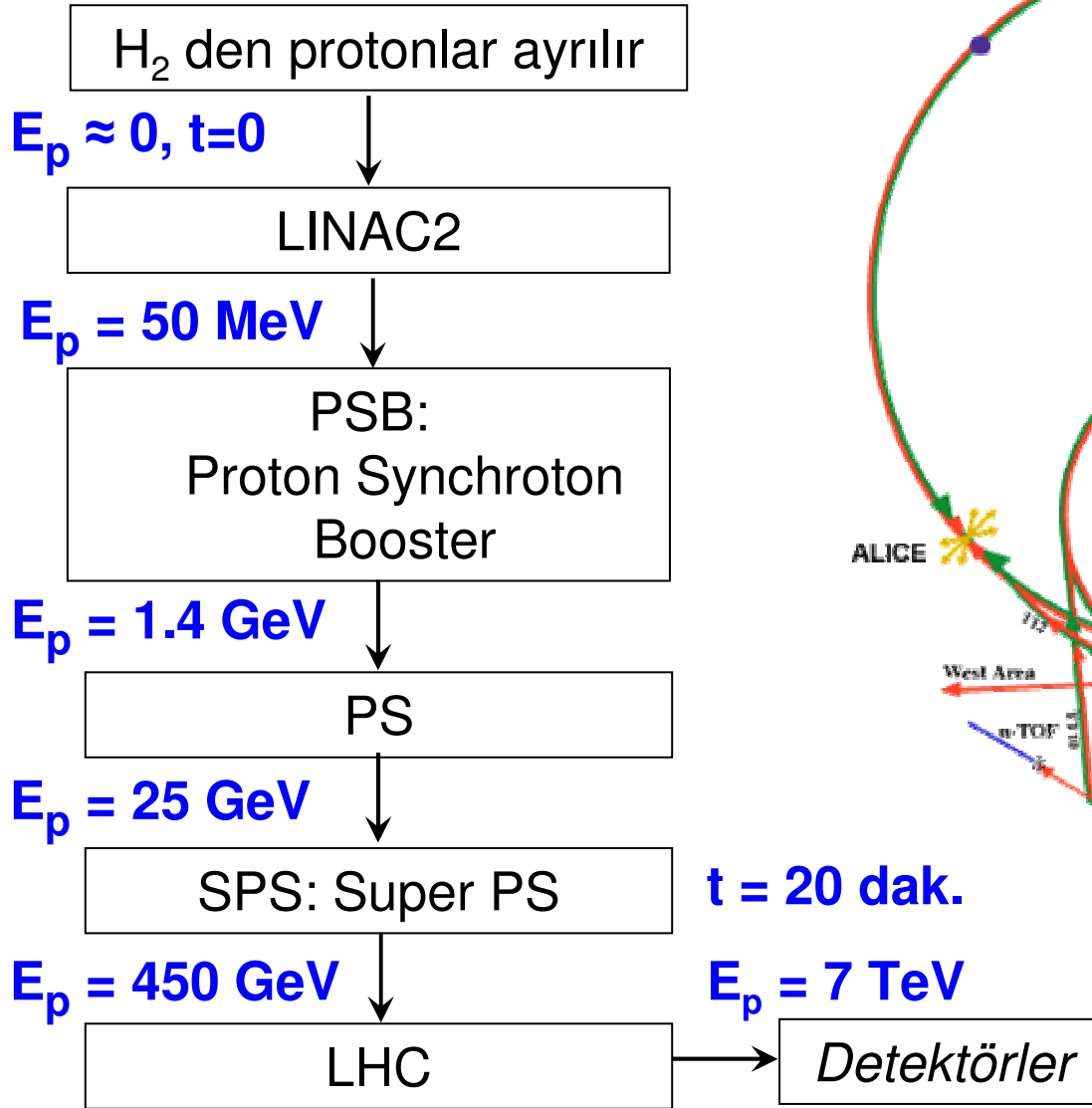


■ Çarpışmalar tehlikeli mi?

- *Hayır değil.* Kozmik müonların bir kısmı LHC protonlarından çok daha fazla enerjiye sahip. Bunların bir kısmı ile her an muhabız.
- Bazı kuramsal modellere göre LHC'de mini **kara delikler** oluşabilir. Ancak bu kara delikler çok kısa sürede detektörlerin gözleyebileceği **Hawking radyasyonu** yayarak bozunacaktır. Prensip olarak, kozmik ışınlar da bunu yapabilir. *Ancak bu güne kadar böyle bir gözlem kayıtlarda yok!*

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

CERN Hızlandırıcı Kompleksi



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

▪ Evrenin en soğuk yeri !

➤ LHC toplam 9300: dipol, kuadrapol, sekstupol, oktopol, dekapol içerir.

➤ Dipoller LHC boyunca $B = 8.4 \text{ T}$ manyetik alan sağlayan süper-iletken elektro-mıknatıslardır (SEM).

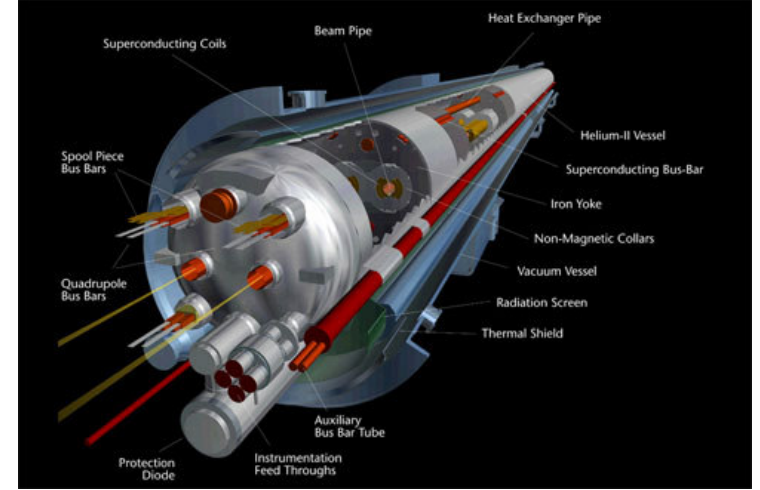
➤ SEM: $T < 10 \text{ K}$ (-263.2 °C) sıcaklıkta süper-iletken hale gelen Niobium-Titanium (NbTi) kablolarından yapılmış sargılardır.

Protonları bükecek $B = 8.4 \text{ T}$ 'lık alan $i = 11 \text{ 400 A}$ 'lık akım ile sağlanacak.

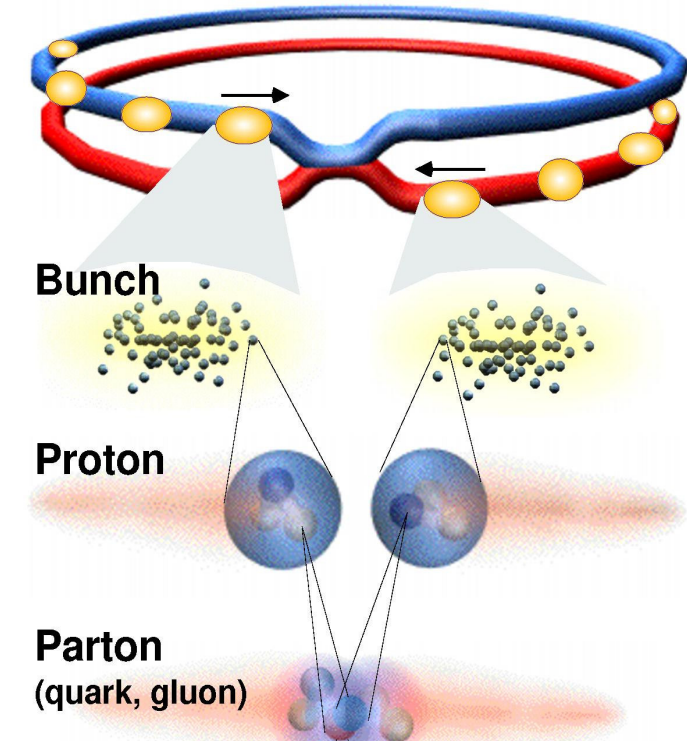
➤ LHC, $T = 1.9 \text{ K}$ (-271.3 °C) sıcaklıkta çalışacak (Evren sıcaklığı $T = 2.7 \text{ K}$)

➤ Atmosfer basıncındaki Helyum gazı $T = 4.2 \text{ K}$ 'de sıvılaşır. Soğutucular yardımıyla sıcaklık $T = 2.7 \text{ K}$ düşürülüp sıvı Helyum süper-akışkan haline getirilecek. Bu halde Helyum'un ısı iletimi mükemmeldir.

Basıncı düşürülen süper-akışkan Helyum, herbiri 14.3 m uzunlukta olan dipollere pompalanarak (iki haftada) tünelin sıcaklığı $T = 1.9 \text{ K}$ olacak.



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı



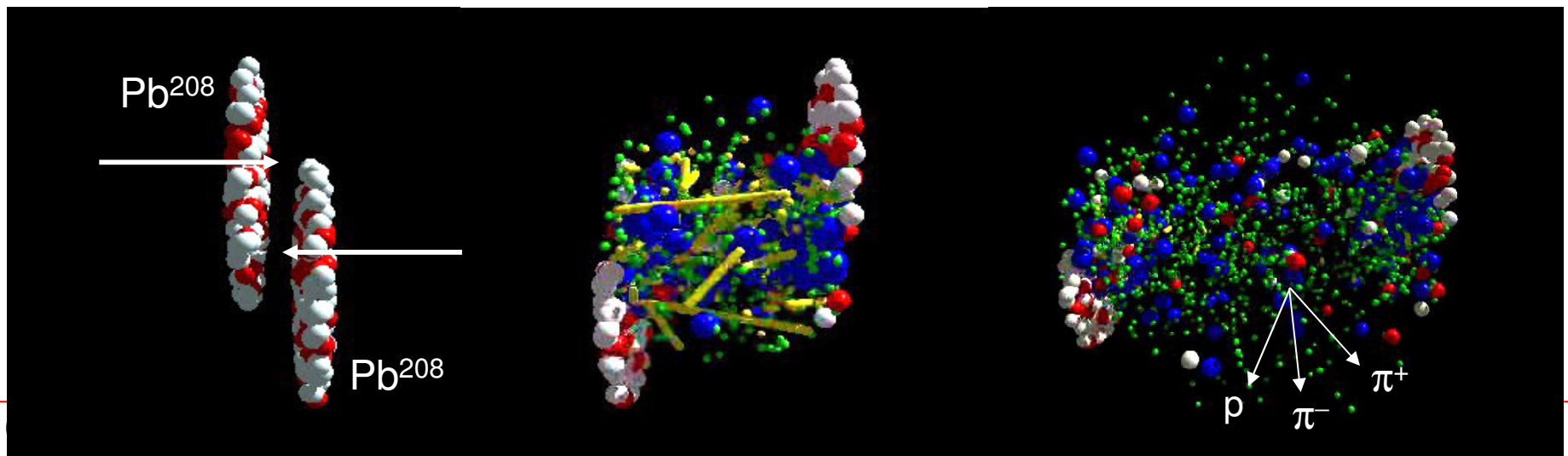
p-p çarpışması hakkında

- proton-proton
- 2808 x 2808 küme (bunch)
- Küme çapı = 16 μm (saç teli 50 μm)
- Komşu iki küme arası uzaklık: 7.5 m (25 ns)
- Parlaklık, $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Proton sayısı, $N = 10^{11}/\text{küme}$
- Küme çarpışma frekansı
 $f = 1/25 \text{ ns} = 40,000,000 \text{ Hz} = 40 \text{ MHz}$
- Proton çarpışma frekansı
 $f = 600 \times 10^6 \text{ çarpışma/s}$
küme başına 20 kafa-kafaya/s

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Pb-Pb çarpışması

- $E_{\text{KM}} = 1150 \text{ TeV}$
- $E = 2.78 \text{ TeV/u}$



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

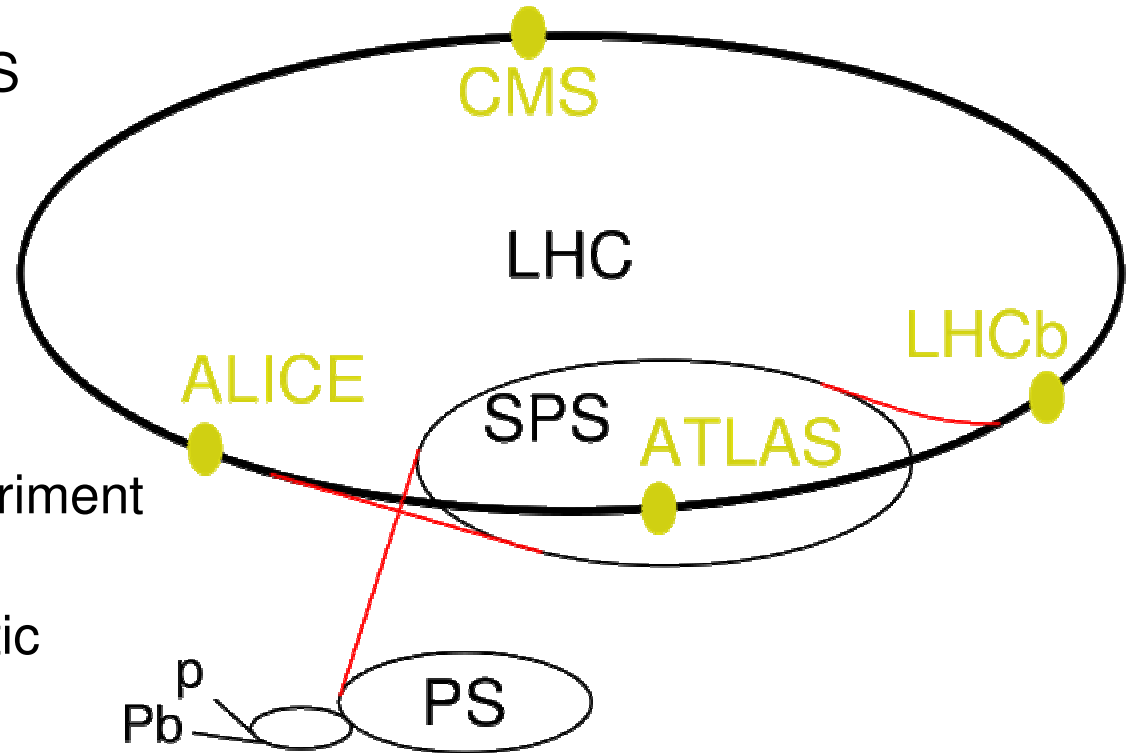
- Önemli LHC parametreleri

Çevre uzunluğu	26.659 km
Basınç (ultrahigh vacuum)	10^{-13} atm
Mıknatıs sayısı	9300
Dipol sayısı	1232
Dipol çalışma sıcaklığı	1.9 K (-271.3 °C)
Proton enerjisi	7 TeV
Nükleon başına Pb iyon enerjisi	2.76 TeV /u
Tasarlanan parlaklık	10^{34} cm ⁻² s ⁻¹
Proton sayısı/küme	1.15×10^{11}
Demetteki küme sayısı	2808
Çarpışma sayısı	600×10^6 / s

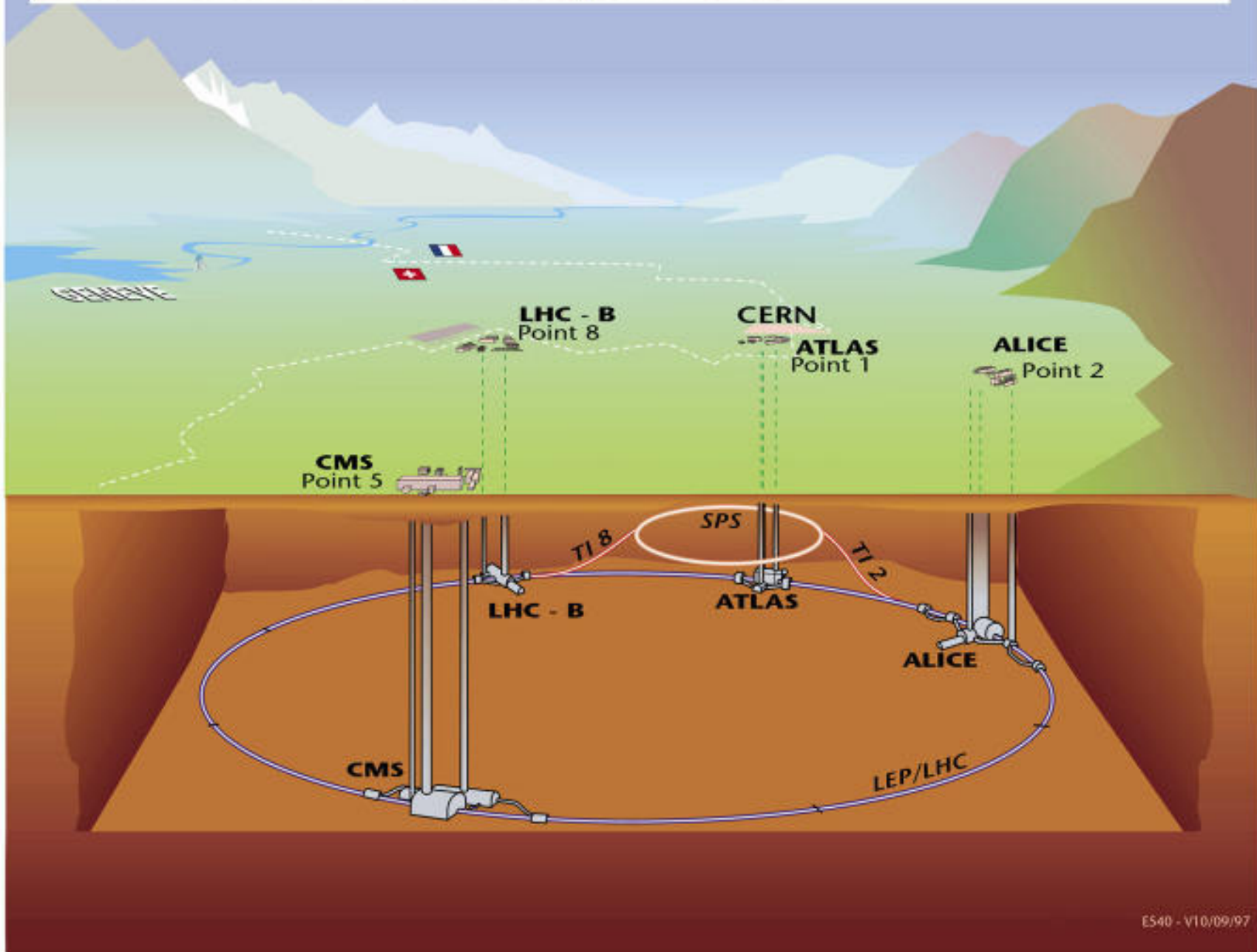
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

LHC Deneyleri

- **ATLAS**
A Toroidal LHC ApparatuS
- **CMS**
Compact Muon Solenoid
- **LHCb**
LHC-beauty
- **ALICE**
A Large Ion Collider Experiment
- **TOTEM**
Total Cross Section, Elastic Scattering and Diffraction Dissociation



Overall view of the LHC experiments.



Yeni Nesil Hızlandırıcılar

■ ILC (International Linear Collider)

- LHC'nin bulgularını derinlemesine inceleyecek
- Elektron-pozitron çarpıştırıcısı
- $E_{KM} \sim \text{TeV}$
- 30-40 km uzunluk ?

■ CLIC (Compact Linear Collider), CERN

- Elektron-pozitron çarpıştırıcısı
- $E_{KM} \sim \text{TeV}$

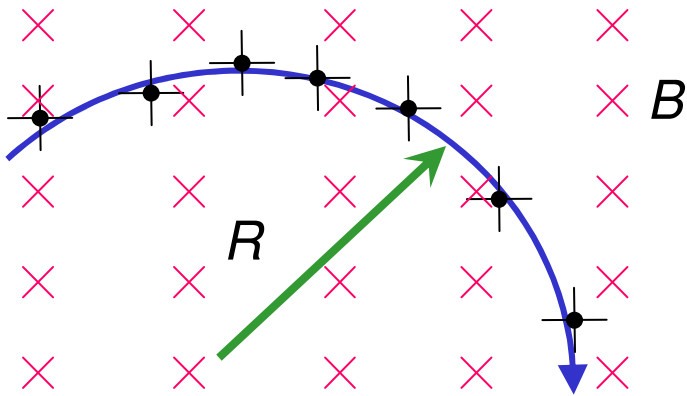
Parçacık Detektörleri

Parçacık detektörleri ile çarpışmalarda oluşan parçacıkların *konum, uçuş zamanı, momentum, enerji and kimliği* belirlenir.

Yüklü parçacıklar (e^\pm p K^\pm μ^\pm π^\pm)

iz odalarında oluşturdukları iyonlaşma etkileri ile ölçülebilir.

Manyetik alanda ölçülen eğrilik yarıçapı momentum ile orantılıdır.

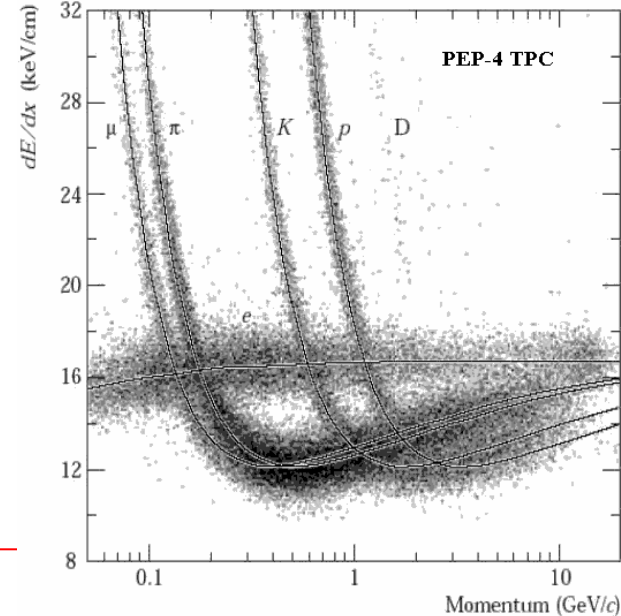


$$\frac{mv^2}{R} = qvB$$

$$p = mv = BqR$$

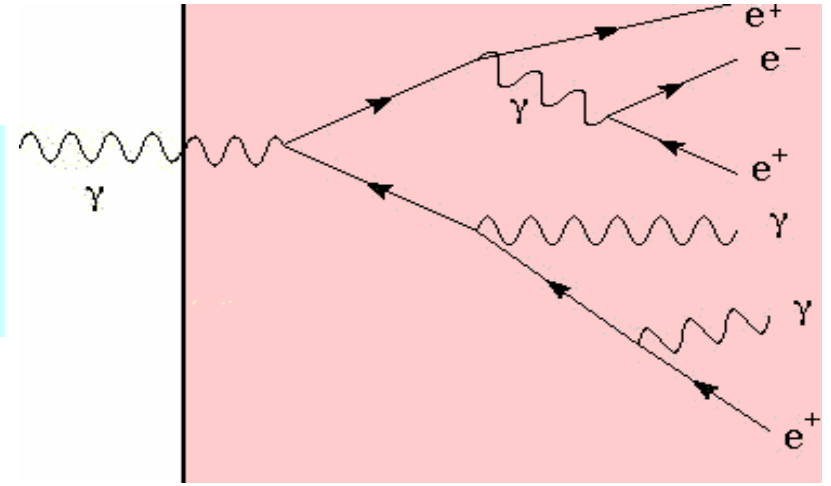
İyonlaşma enerji kaybı (ionisation loss) ölçümü parçacığın kimliğini belirler.

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi}{m_e c^2} \cdot \frac{nz^2}{\beta^2} \cdot \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \cdot \left[\ln \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I \cdot (1 - \beta^2)} \right) - \beta^2 \right]$$



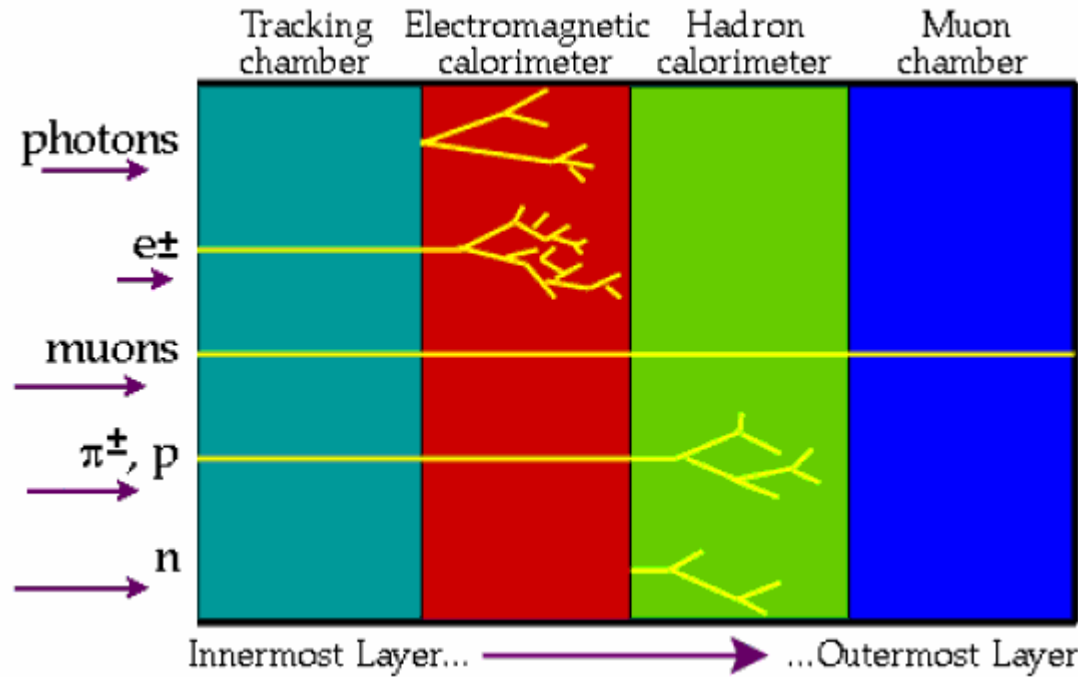
Parçacık Detektörleri

Yüksüz parçacıklar (γ n)
kalorimetrelerde konum ve enerjisi
ölçülür.



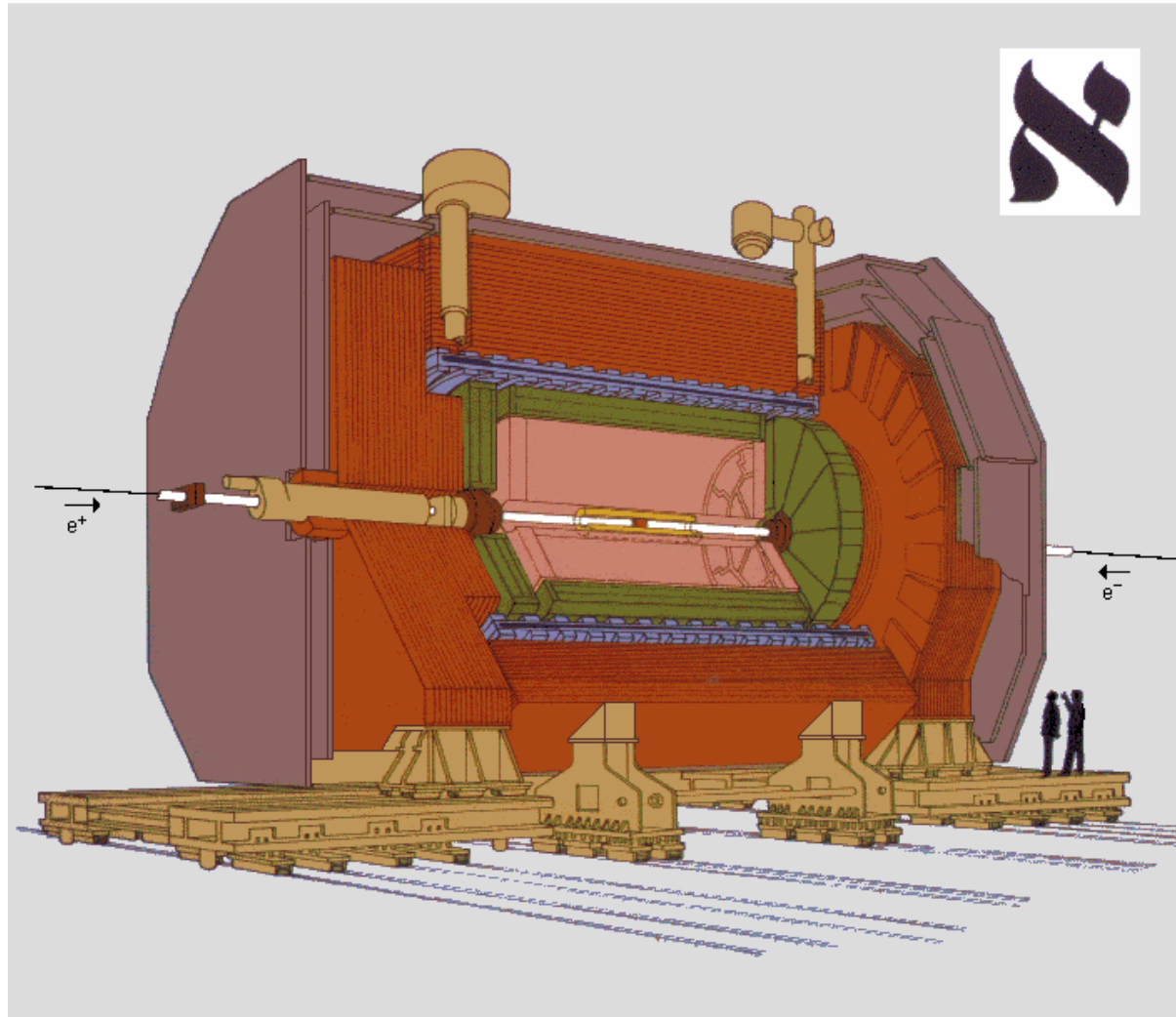
Her parçacık için farklı tip detektör gerekiyor.

Bu yüzden detektör kombinasyonları tercih edilir.



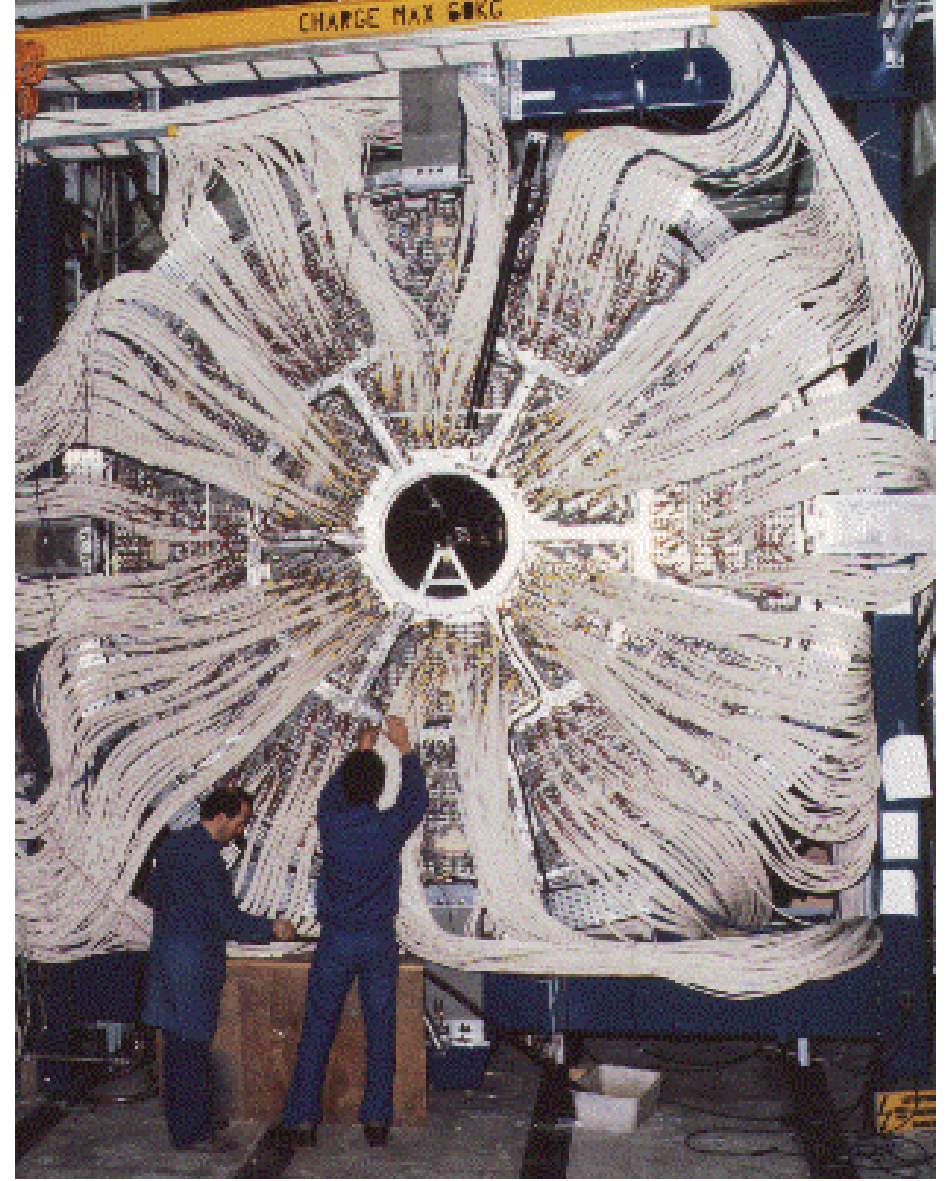
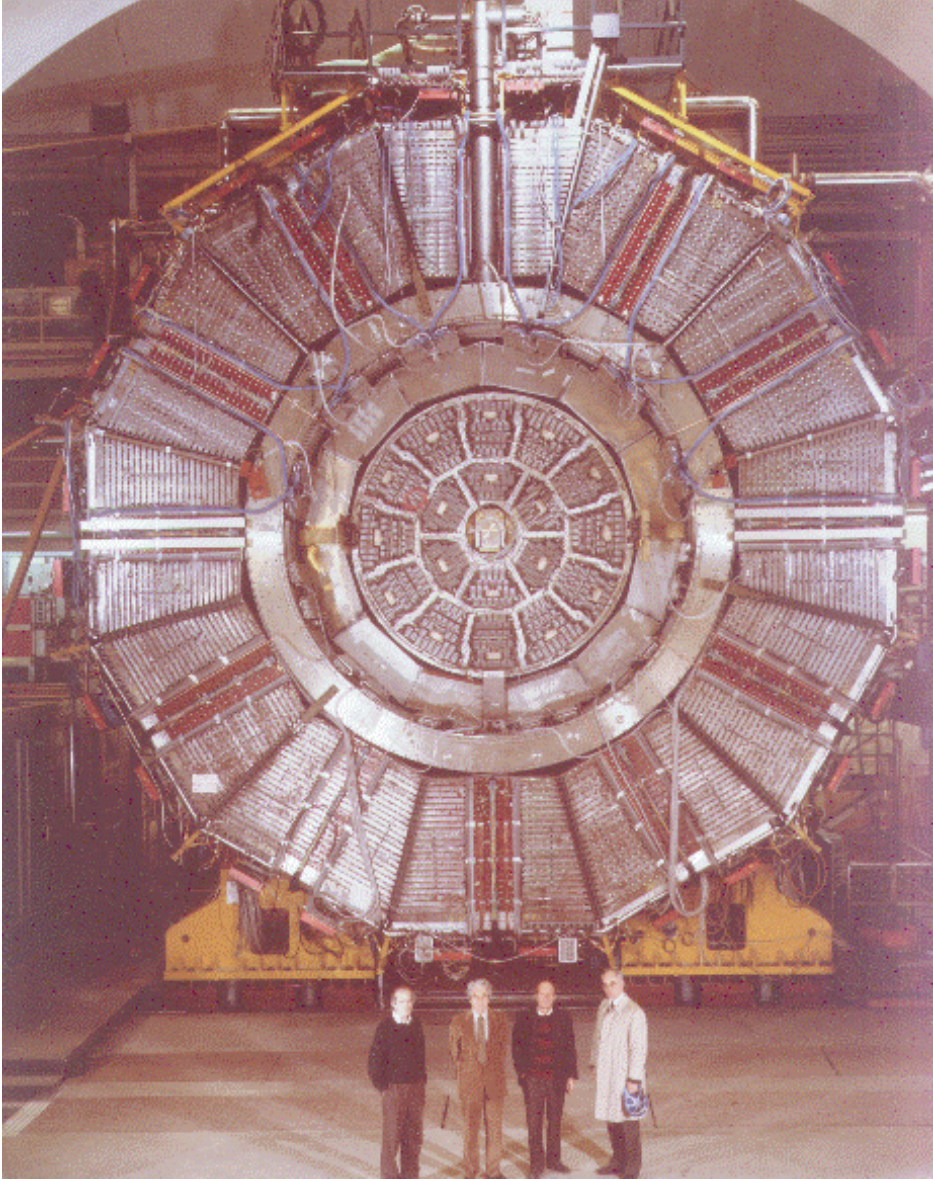
Parçacık Detektörleri

1989-2000 yılları arasında LEP'te kullanılan ALEPH Detektörü

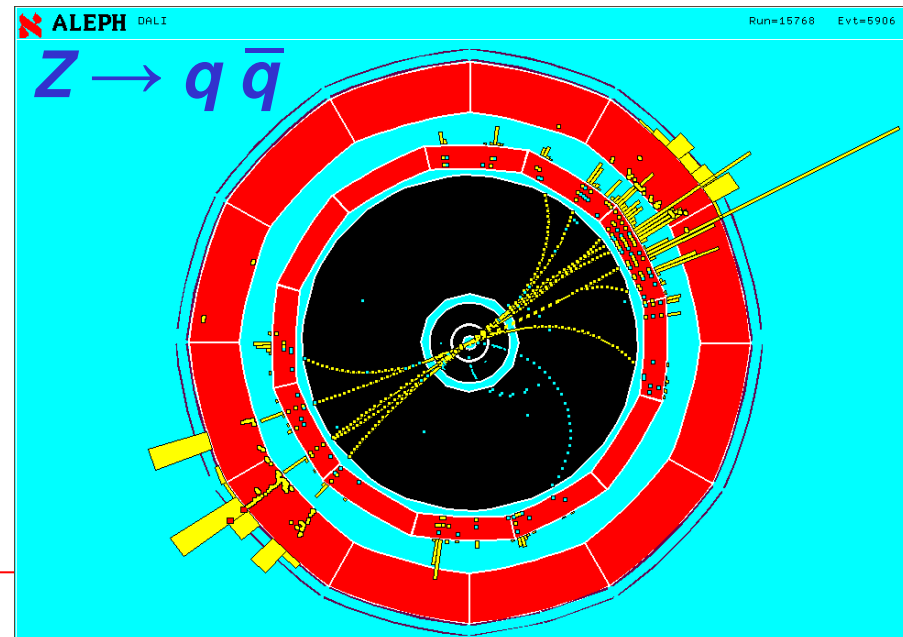
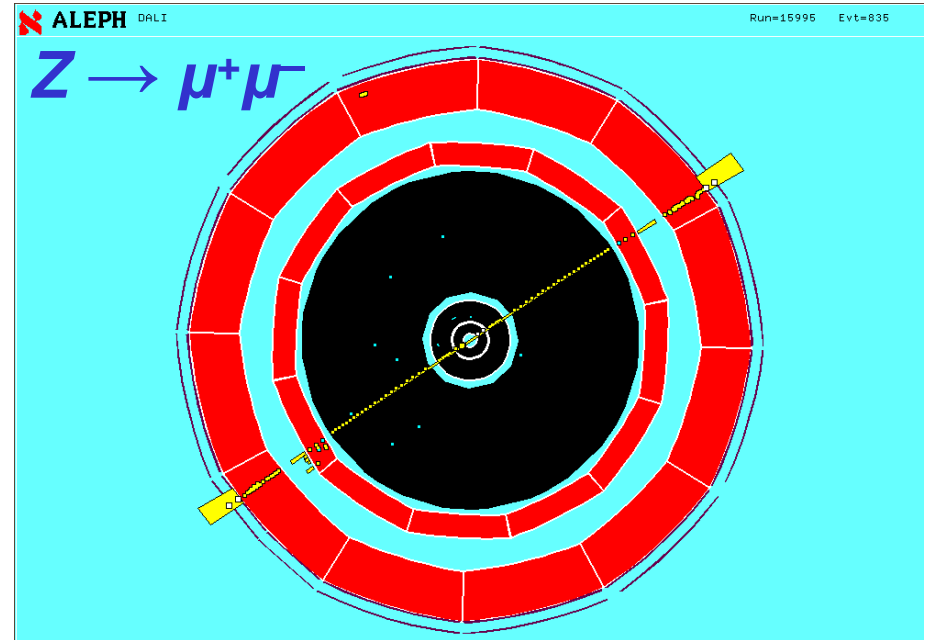
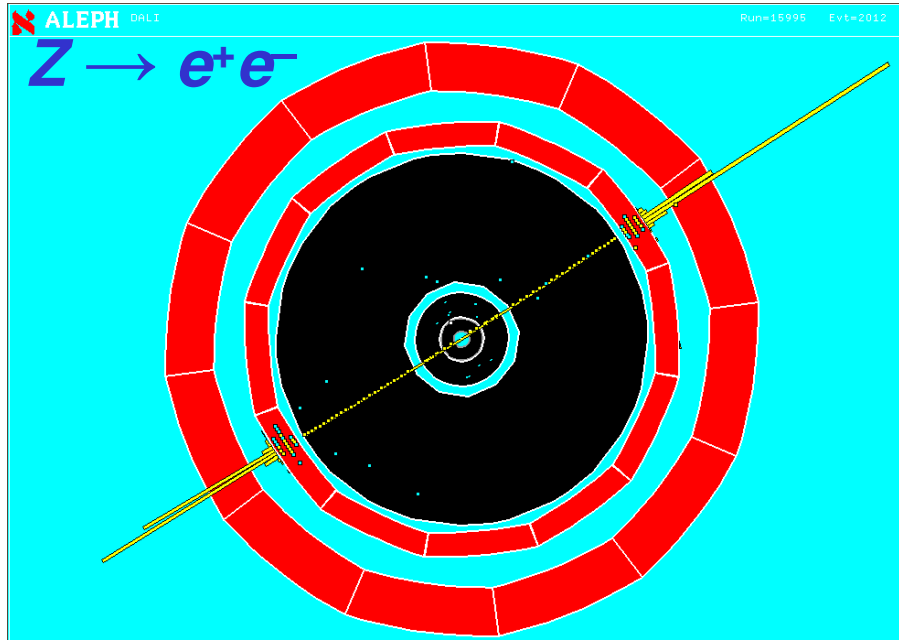


- Vertex Detector
- Inner Tracking Chamber
- Time Projection Chamber
- Electromagnetic Calorimeter
- Superconducting Magnet Coil
- Hadron Calorimeter
- Muon Chambers
- Luminosity Monitors

Parçacık Detektörleri

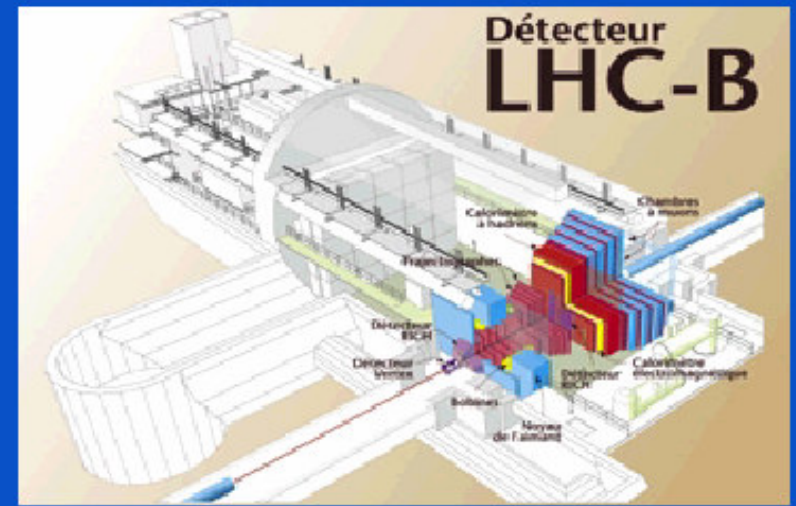
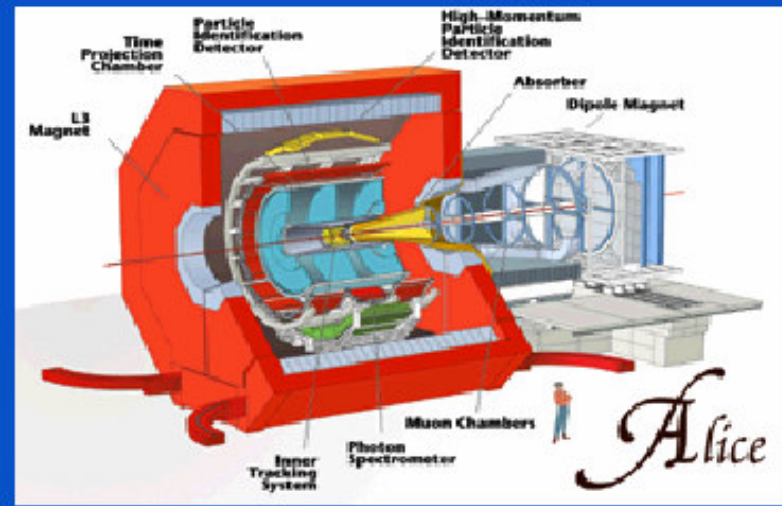
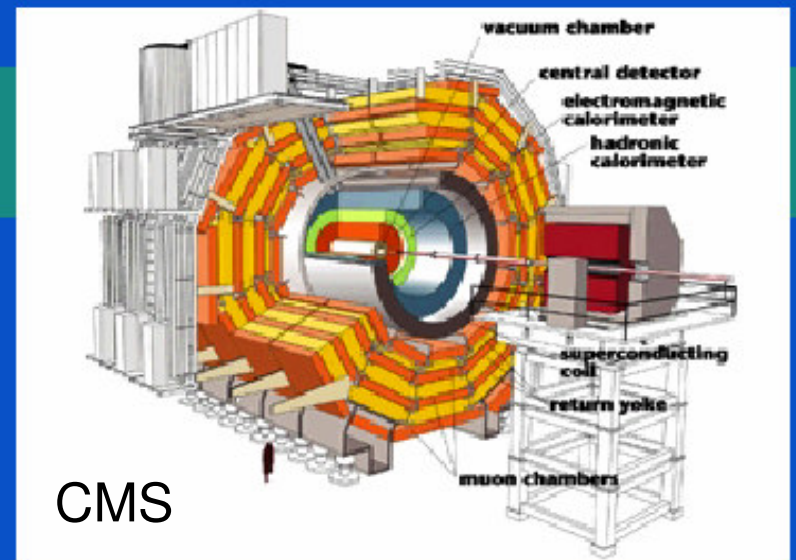
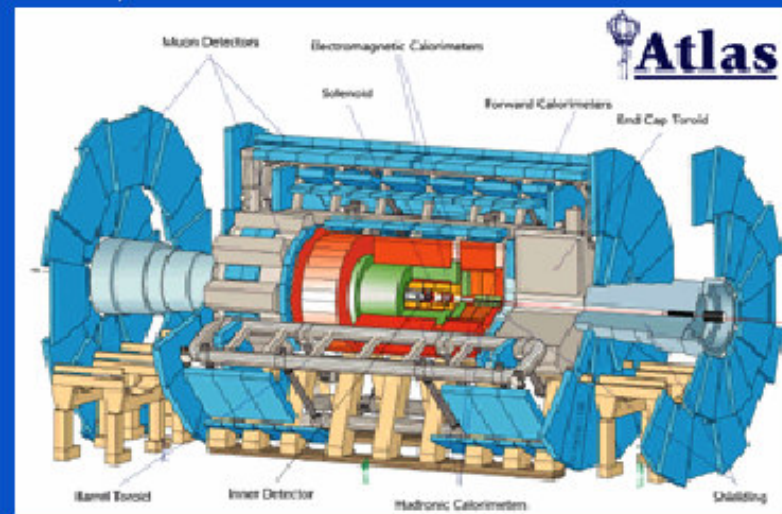


Parçacık Detektörleri



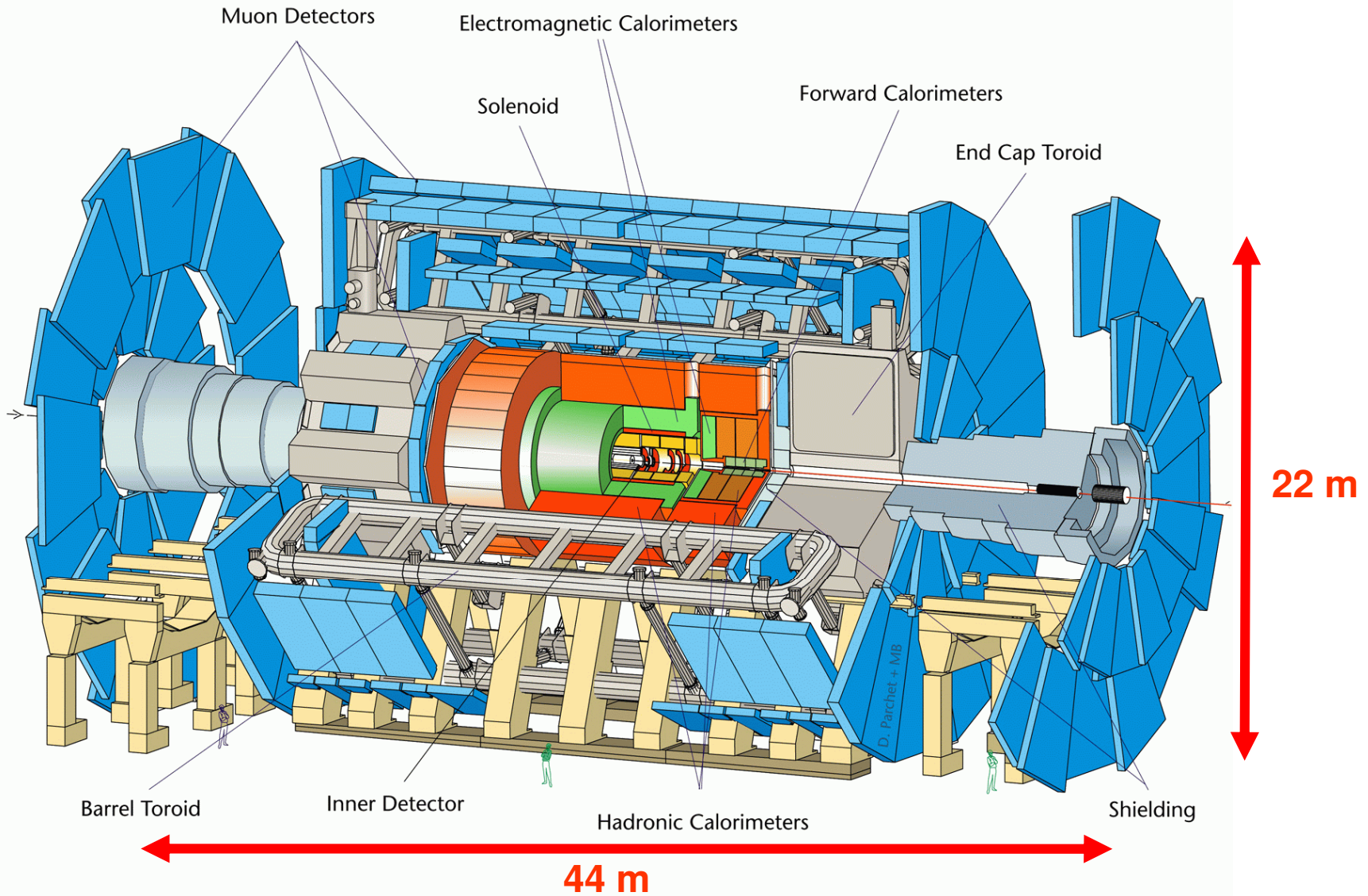
Parçacık Detektörleri

LHC'de çalışacak 4 detektör



Parçacık Detektörleri

ATLAS Detektörü (<http://atlas.ch>)



Parçacık Detektörleri

ATLAS İşbirliği Platformu

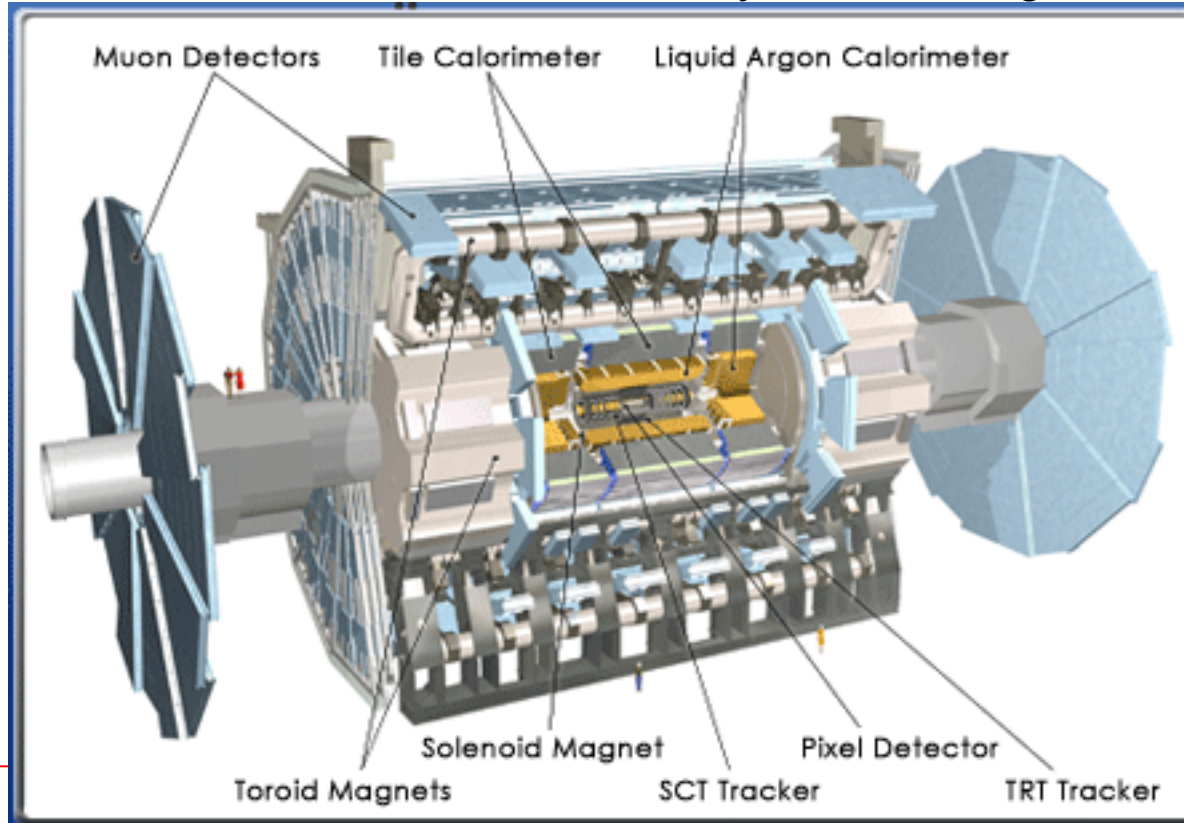
- 34 ülke
- 1850 fizikçi
- 175 enstitü



Parçacık Detektörleri

ATLAS dört ana kısımdan oluşmuştur:

- **İç izci (inner tracker)**
enkazda oluşan parçacıkların momentumunu ölçer
- **Kalorimetre**
Bazı parçacıkların enerjisini ölçer
- **Müon Spektrometre**
müonların enerjilerin ölçer
- **Mıknatıs Sistemi**
momentum ölçümü için gerekli eğici manyetik alanı sağlar



Parçacık Detektörleri

ATLAS İç İzçiler

■ *Piksel Detektörü (Pixel Detector)*

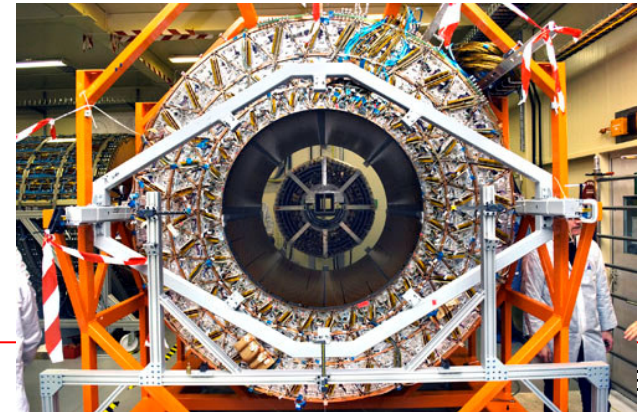
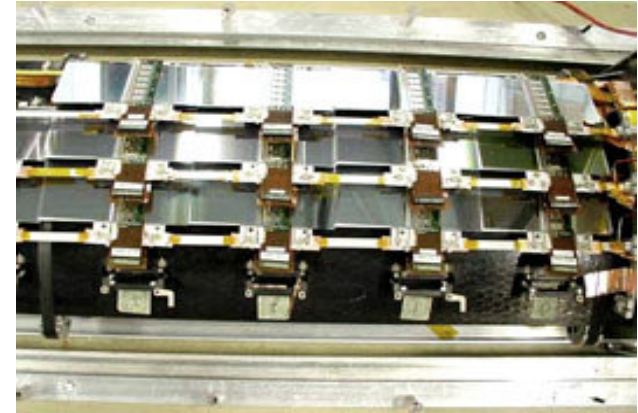
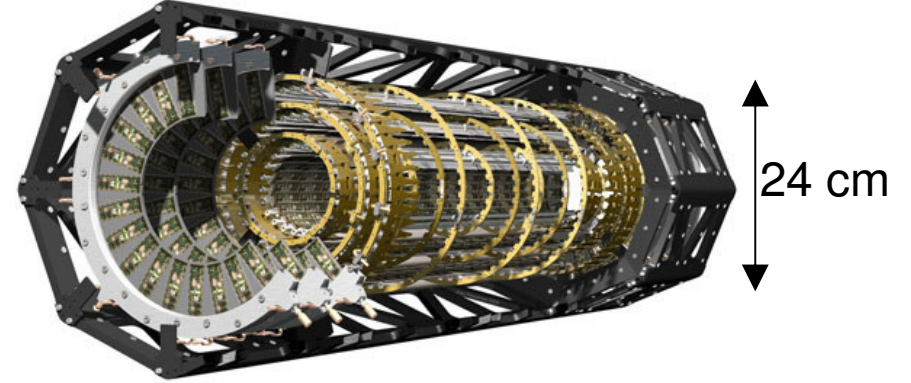
- Çarpışma noktasına en yakın
- 3B 3 adet yüksek çözünürlükte ($\delta = 15 \mu\text{m}$) parçacık konum bilgisi
- 1750 (60 mm x 20 mm) modül
- 80 milyon piksel

■ *Yarıiletken İzci (SemiConductor Tracker: SCT)*

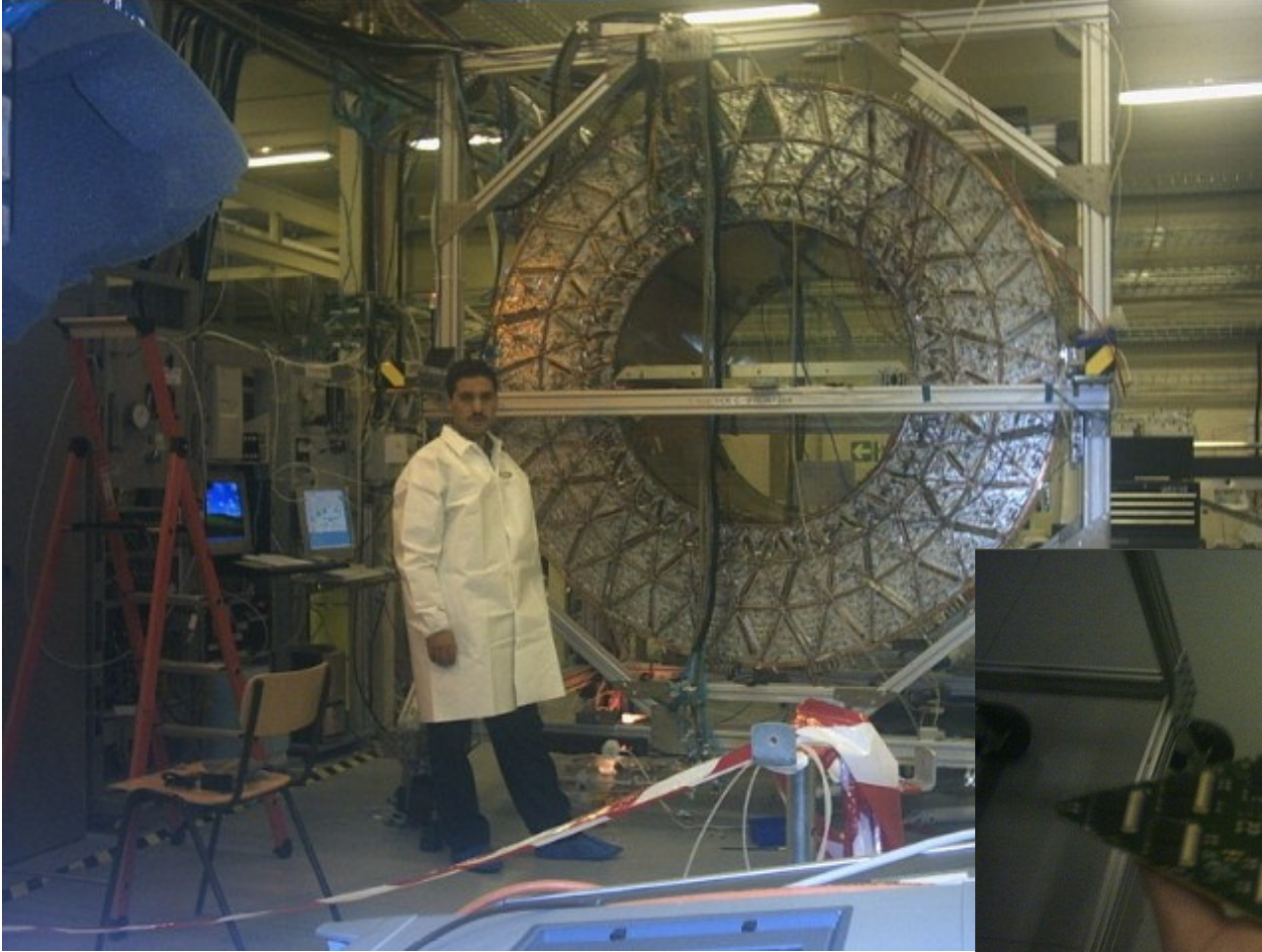
- 3B 4 adet oldukça hassas parçacık momentum ve konum bilgisi
- 780 (6 mm²) yarıiletken şerit

■ *Geçiş Radyasyonu İzçisi (Transition Radiation Tracker: TRT)*

- 2B 36 adet konum ($\delta = 150 \mu\text{m}$) ve momentum bilgisi
- 370,000 kamış (straw) tüp
- Gaz detektörü Xe(%70), CO₂(%27) ve O₂(%3)
- Yüksek enerjili e ve π kimlik tespiti



Parçacık Detektörleri



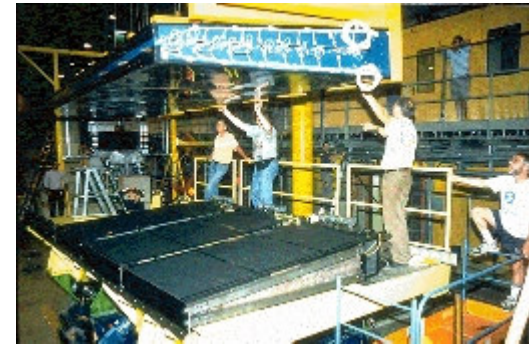
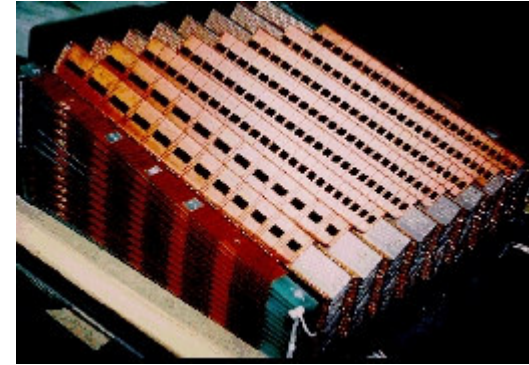
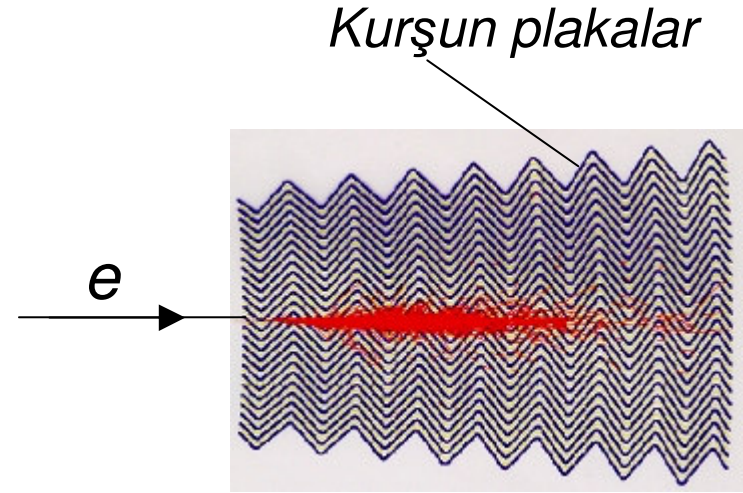
Parçacık Detektörleri

ATLAS Kalorimetre

Kalorimetre yükü ve yüksüz parçacıkların, soğurucu madde içinde meydana getirdiği parçacık sağanak (shower) bilgisinden, enerjisini ölçer.

Gelen parçacık, kalorimetre içindeki 'Sıvı Argon'da elektron-pozitron sağanağına dönüştürülür.

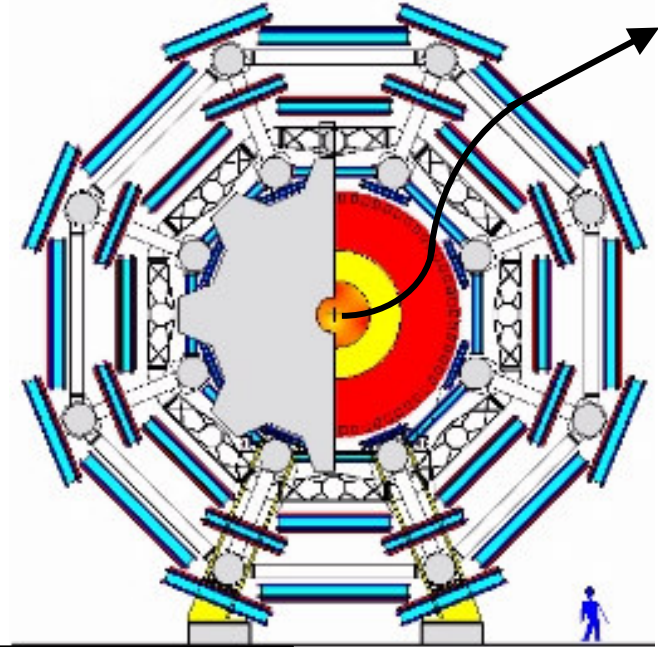
Bu ikincil parçacıklar, kalorimetrenin dış kısmındaki, plastik sintilatörde ışığa dönüştürüp elektronik kaydedicilere aktarılır.



Parçacık Detektörleri

ATLAS Müon Spektrometresi

Elektrondan 200 kat daha ağır olan müonlar, kalorimetre ile fazla etkileşmeden müon spektrometrelerine ulaşabilir. Burada müon momentum çok hassas olarak ölçülür.

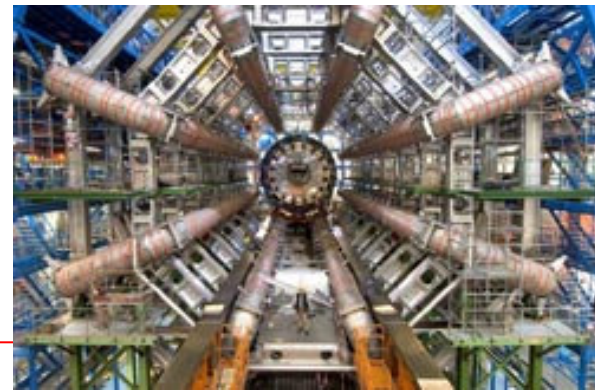


ATLAS Miknatis Sistemi

Solenoid: İç detektörlerde momentum ölçümü yapabilmek için bükücü manyetik alanı sağlar. $B = 2 T$ ve düzgün.



Toroid: Kalorimetre dışına kaçan müonların momentumunu ölçmek için ikinci bükücü alanı oluşturur. *Manyetik alan düzgün değil !*



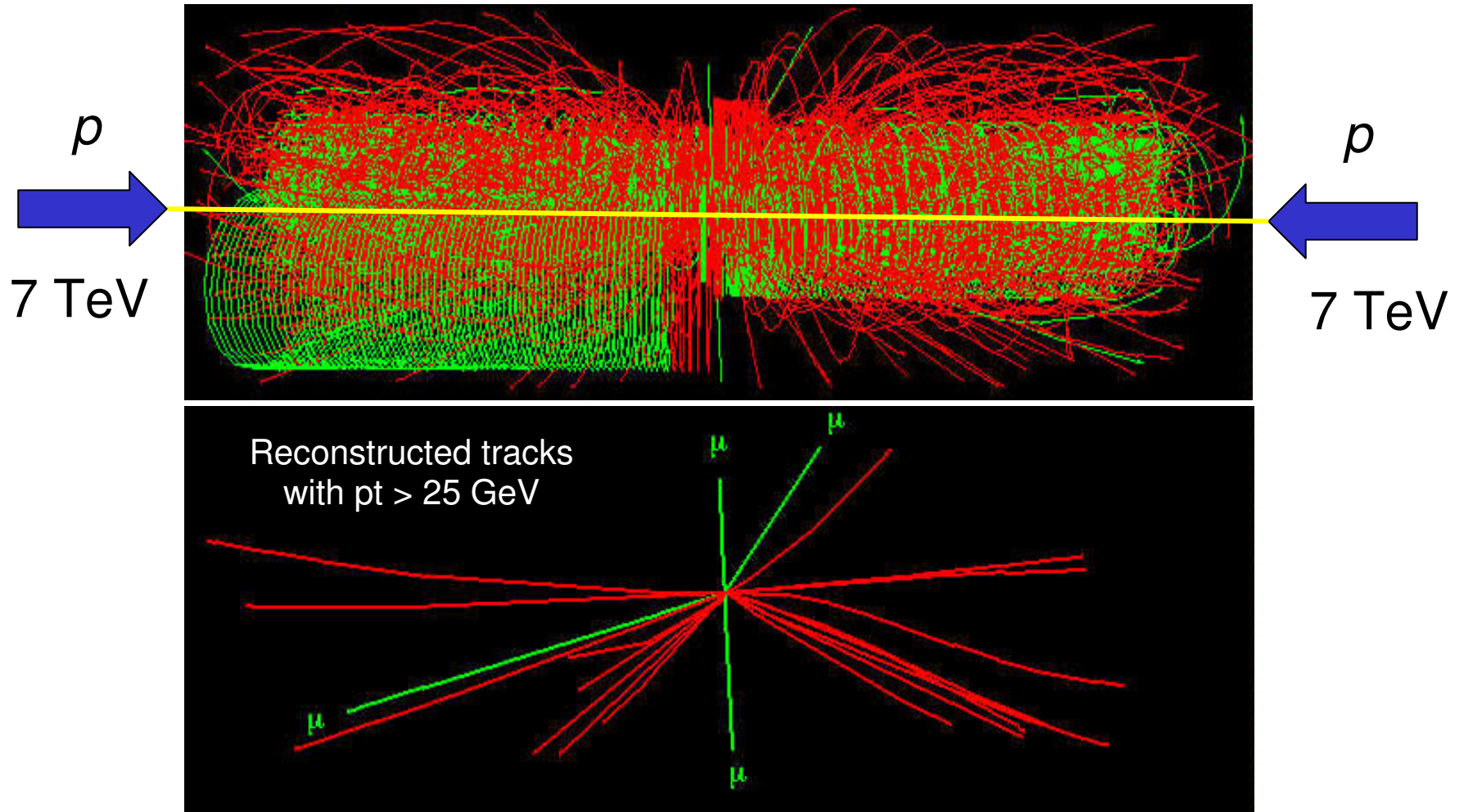
Parçacık Detektörleri



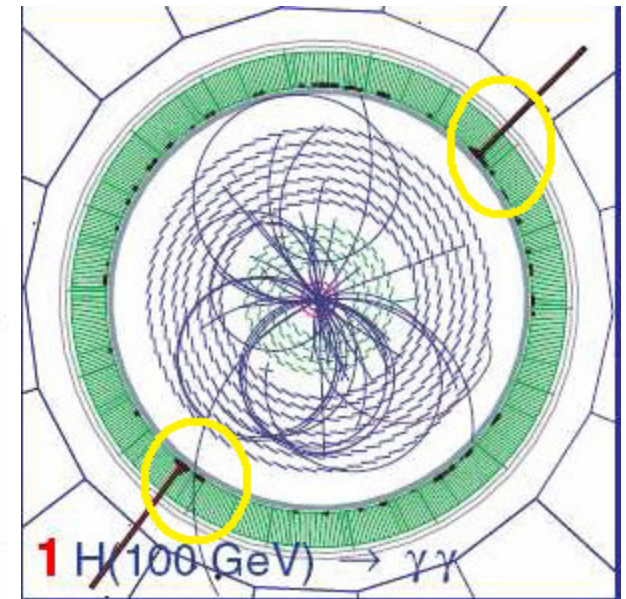
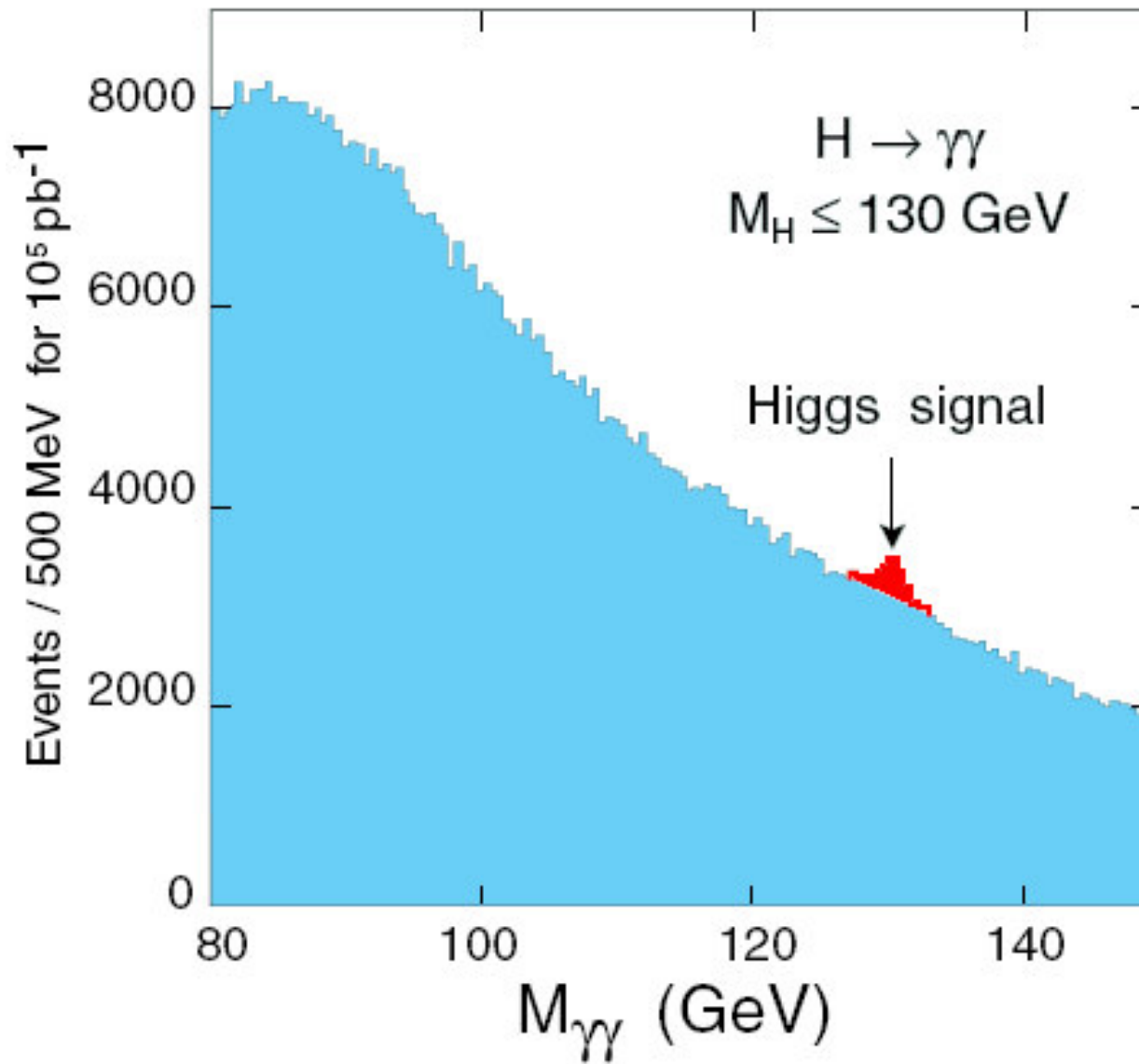
Veri Analizi

- LHC'de bakılacak önemli fizik olayları:
 - Higgs bozonu
 - Süpersimetrik parçacıklar
 - B mezon fizigi
 - Üst kuark fiziği ve ağır 4. aile
 - QCD: kuark gluon plazması
 - Ek boyutlar
 - Leptokuark ?
 - Manyetik Monopol ?

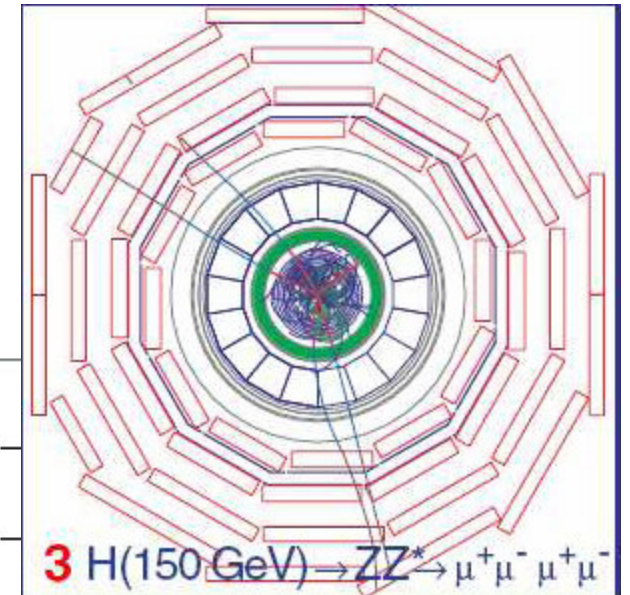
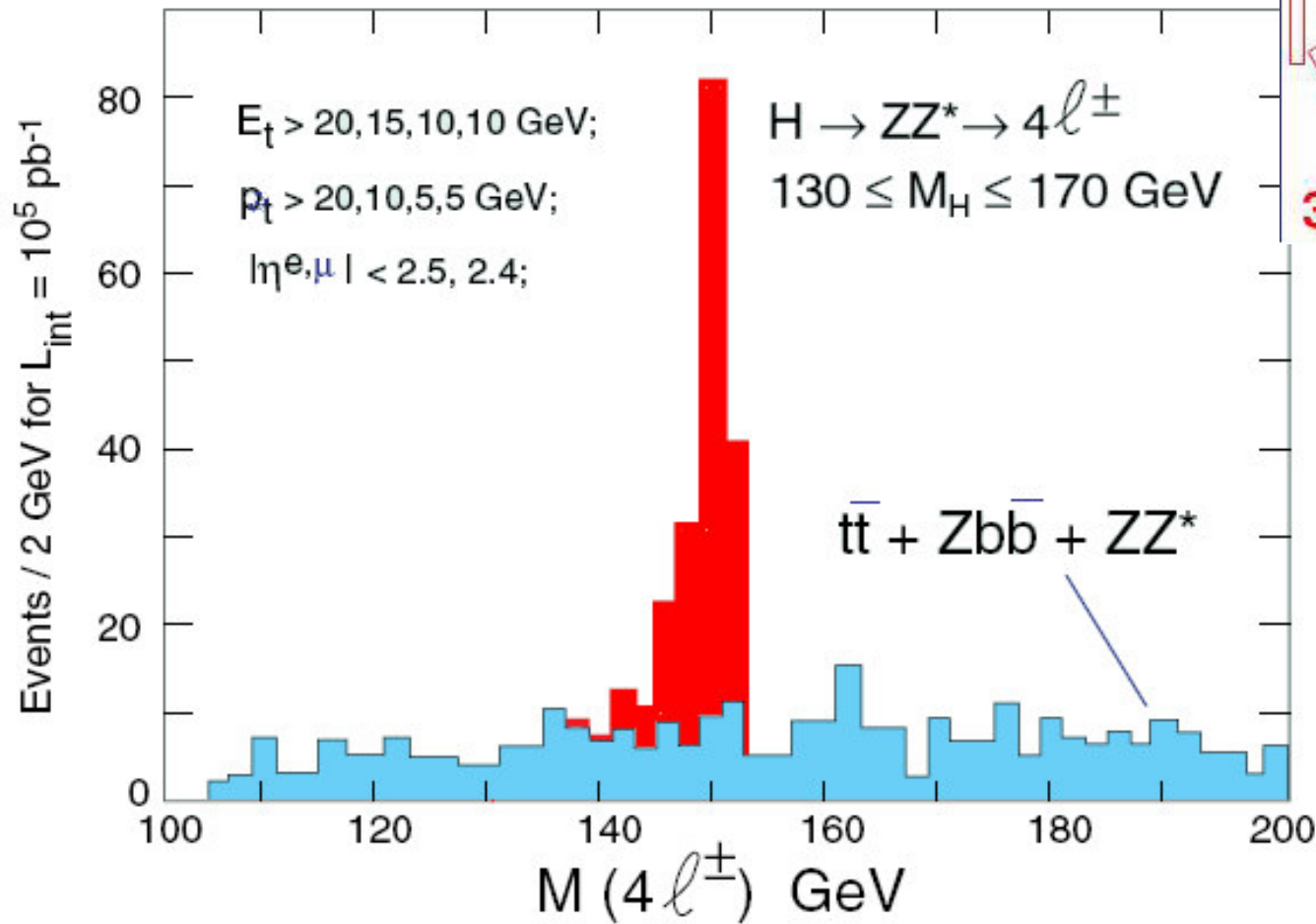
Veri Analizi



Veri Analizi



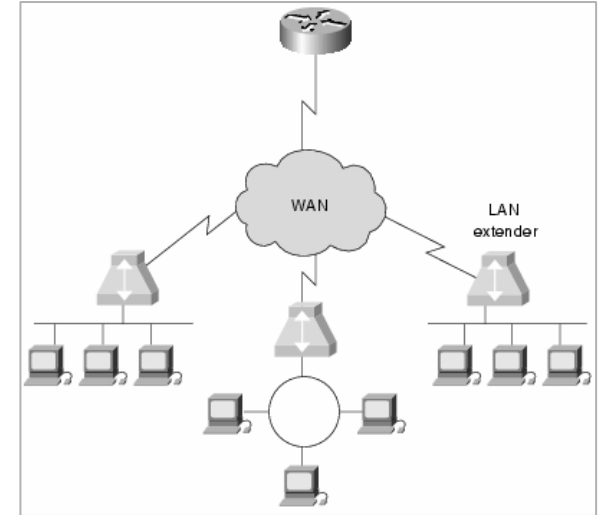
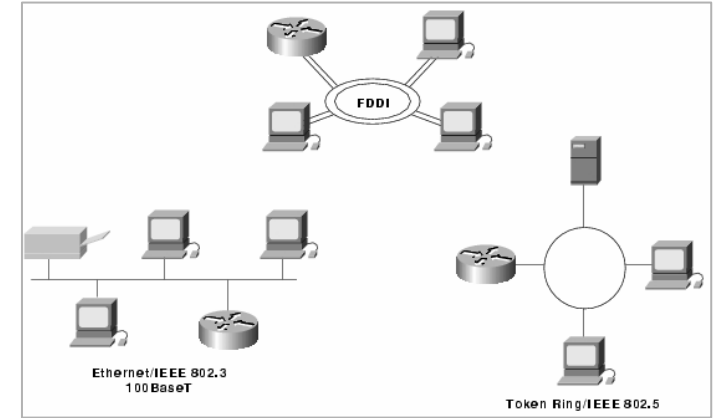
Veri Analizi



GRID Projesi

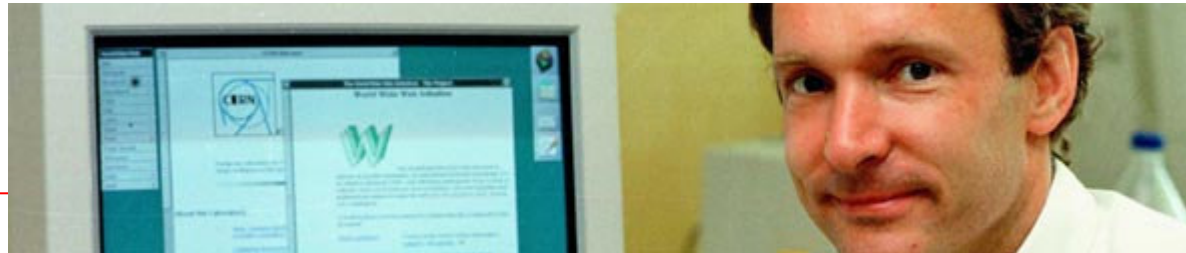
■ Bilgisayar Kümesi (Computer Cluster)

- Küme, birlikte çalışacak bilgisayarların oluşturduğu topluluk.
- Kaynaklar paylaşılarak, bir bilgisayardan elde edilen başarımlar artırılabilir.
- En popülerler kümeler: LAN, WAN



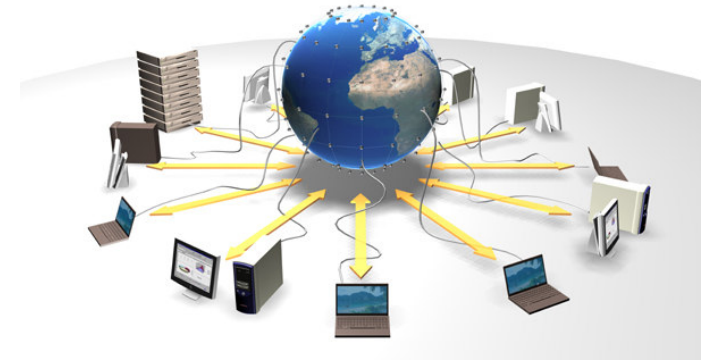
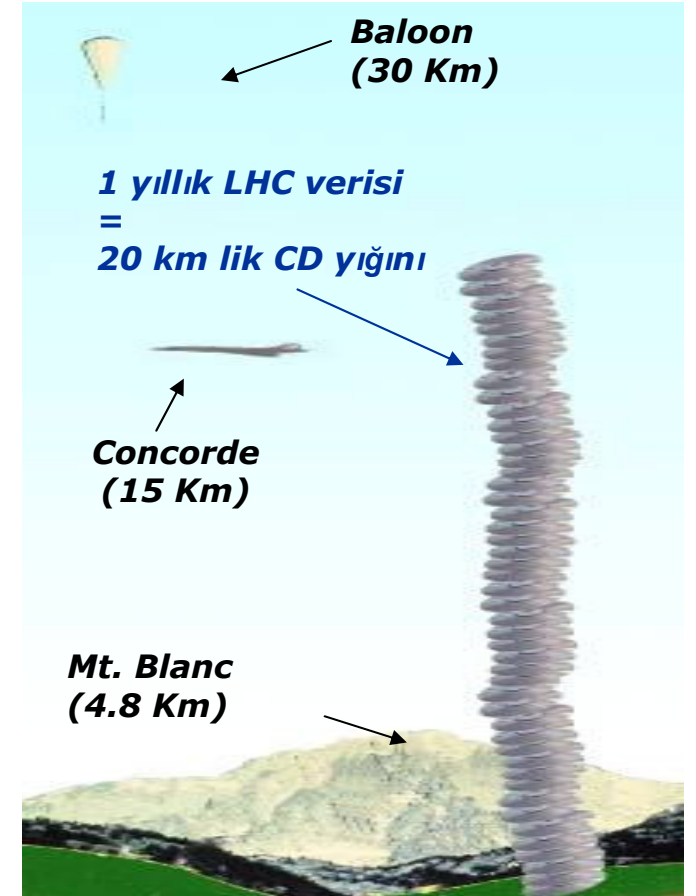
■ CERN – Web'in doğduğu yer

- 1990, CERN bilim adamlarından Tim Berners-Lee (Internet) için HTML, URL, Web sunucu ve Web tarayıcı tanımlamalarını yaptı.
- 1991, CERN (Avrupa) fizikçileri ile SLAC (Amerika) fizikçileri arasında ilk kez Web bağlantısı ile bilgiler aktarıldı.



GRID Projesi

- LHC deneylerinde yılda 15 petbaytlık bilgi toplanacak.
1 PB = 10^{15} B = 10^6 GB ~ 1.5×10^6 CD
15 PB ~ 22×10^6 CD \equiv 20 km CD yığını
- LHC 2008'de veri alımı başlayacak ve 10-15 yıl hizmet verecek ~ 200 PB!
Veri kontrolü çok zor!
- LHC veri analizleri en azından 100,000 tane GHz hızında mikroişlemci içeren bilgisayarlarla yapılabilecek. *CERN %20'sine sahip.*
- **Çözüm:** Bilgisayar kümeleri kullanmak.
Yeni teknoloji: **GRID Distributed Computing**
- Grid, bilgisayarların hesaplama ve veri depolama kaynaklarını internet üzerinden paylaşmak amacı ile oluşturulan bir servistir.
- CERN – Yeni bilgi transfer protokolü
CERN → California (11,000 km)
aktarım hızı: 6.25 GB/s



Kabus Senaryoları

■ Ya Higgs bulunamazsa ...

- 20 ülke, milyarlarca dolar masraf
- Bütün yeni kuramlar yanlış
- Planck ölçeğine kadar (10^{-35} m) yeni fiziğe ihtiyaç yok

■ Sadece Higgs bulunursa ...

- Kuramcılar: “Hiç bulunmasın daha iyi”
- Deneyciler: “Higgs bulunursa bu bir zafer”

Önemli Linkler

- **CERN** <http://cern.ch>
- **LHC** <http://lhc.web.cern.ch>
- **ALICE** <http://aliceinfo.cern.ch>
- **ATLAS** <http://atlas.web.cern.ch>
- **CMS** <http://cms.cern.ch>
- **LHCb** <http://lhcb.web.cern.ch>
- **TOTEM** <http://totem.web.cern.ch>
- **CLICK** <http://clic-study.web.cern.ch>
- **ILC** <http://www.linearcollider.org>
- **GRID** <http://www.gridcomputing.com>
- **Faaliyetteki mevcut bütün deneylerin listesi:**
http://www.slac.stanford.edu/spires/experiments/online_exp.shtml