



# Introduction to Particle Physics

LHC/FCC Training for High school Students on  
8-9 April 2024

**Prof. Dr. Sehban KARTAL**

**İstanbul Üniversitesi**



# Outline :

- ➔ What Are Fundamental Particles?
- ➔ **Why Is It Important to Understand Fundamental Particles?**
- ➔ **Where is CERN Located? What is Done There?  
Who Works There?**

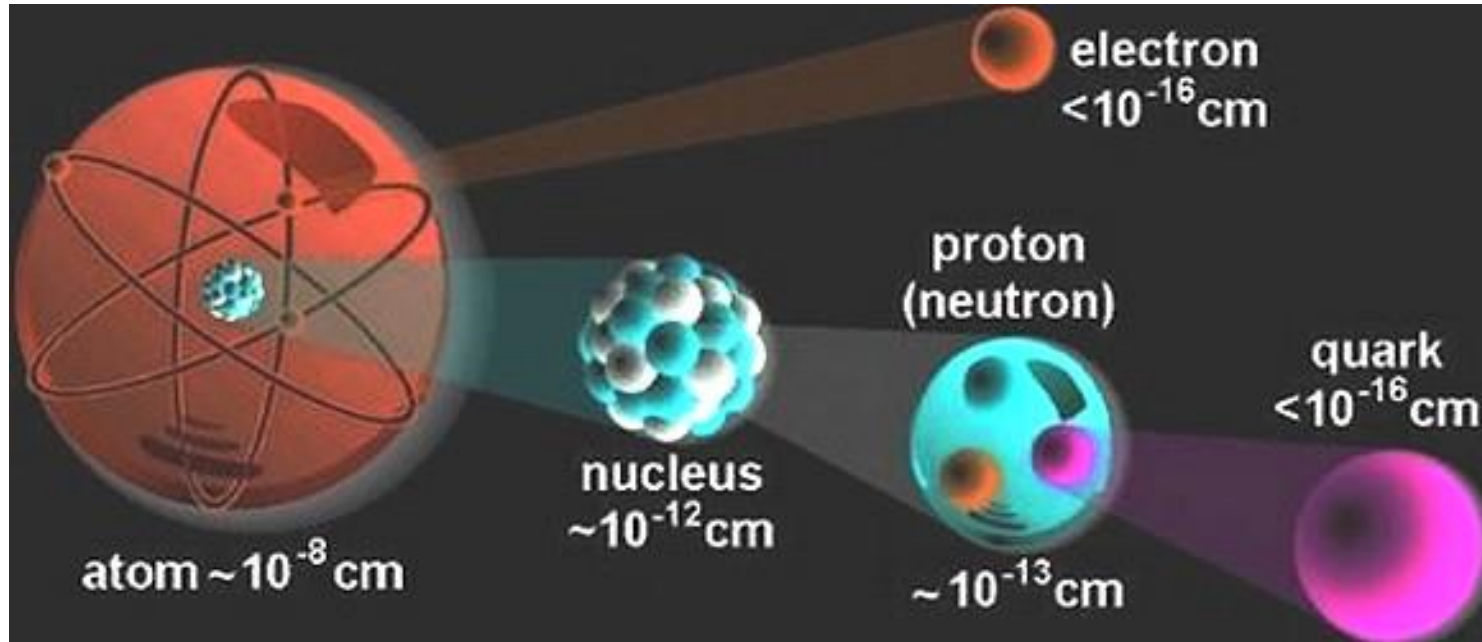
## Temel parçacık nedir?



İç yapısı olmayan, kütleli parçacık !

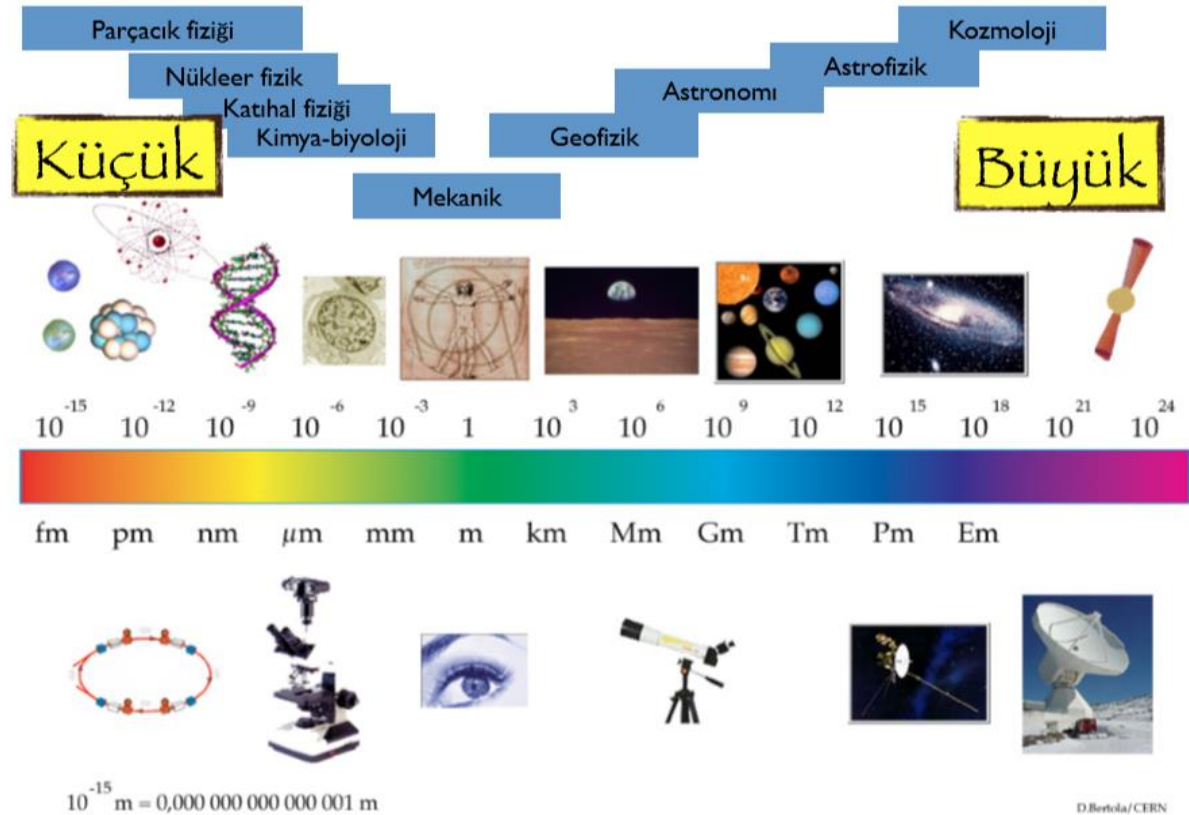
## Parçacık fiziği ne ile ilgilenir?

Parçacık Fiziği, maddenin ve etkileşimlerinin alt yapısını inceleyen bilim dalıdır. Aslında, en küçüklerin bilimi (kuarklar,  $10^{-18}$  m) olarak isimlendirmek yanlış olmaz.



## Parçacık fiziği ne ile ilgilenir?

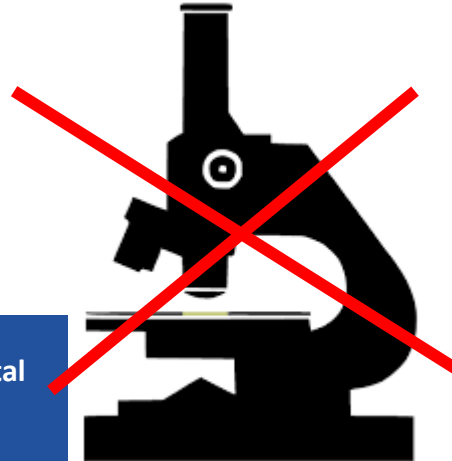
cm 'den daha küçük boyutlardaki maddeler için mikroskoplar (hücre boyutu) yeterli olurken daha küçük yapılar için ise bize elektron mikroskobu dediğimiz aletler yardımcı olur. Bu şekilde önce hücreyi daha sonra ise DNA yapısını görebiliriz.





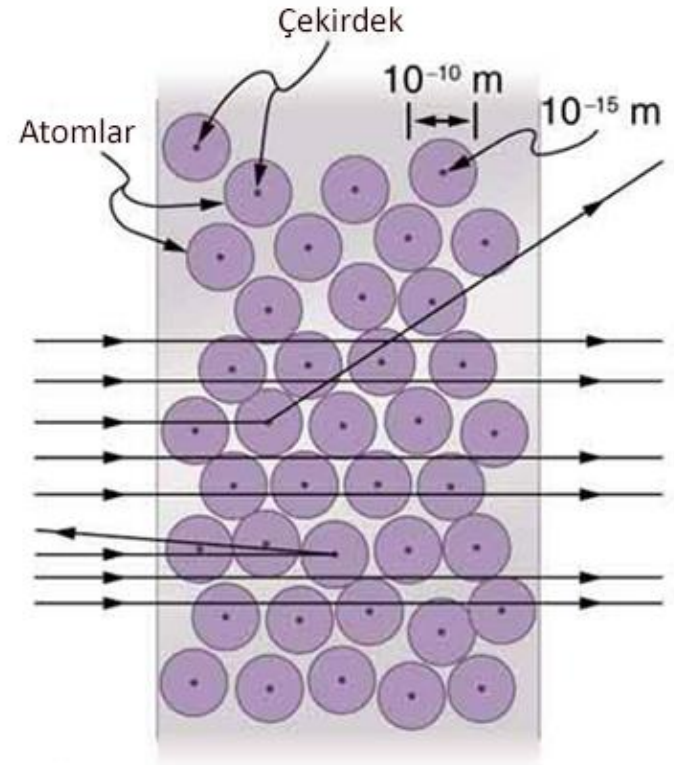
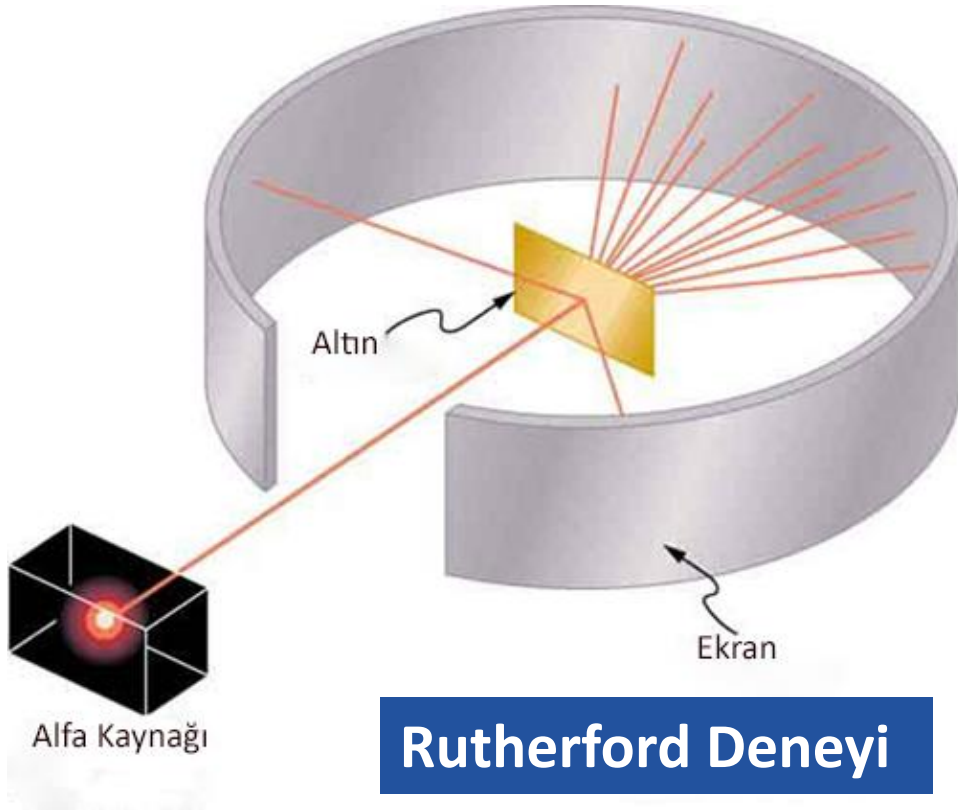
## Parçacık fiziği ne ile ilgilenir?

Atom altı parçacıklar için  $10^{-14} - 10^{-15} m$  mertebesine mutlaka inilmek zorundadır. Bu boyutlar için elimizdeki hiçbir mikroskop işe yaramaz. Bu yüzden de 1911 yılından beri Rutherford tarafından atomu anlamak için kullanılan yöntem kullanılmaktadır





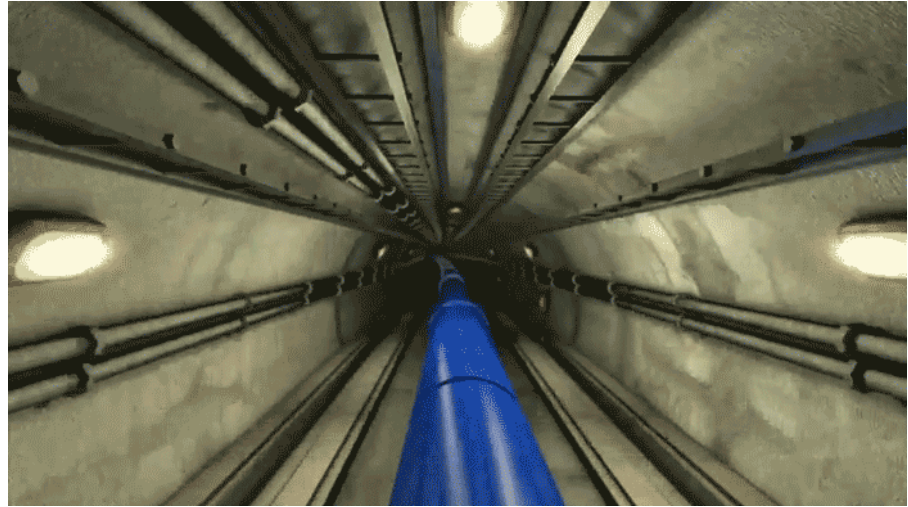
## Parçacık fiziği ne ile ilgilenir?





## Bu merakı gidermek için hangi yöntemleri kullanır?

- ✓ Bu yöntem şimdi adını Parçacık Hızlandırıcısı dediğimiz devasa aygıtlarla yapılmaktadır.
- ✓ Temel parçacıklar ve etkileşimlerini incelemek için  $p, \bar{p}, e, e^+$  gibi yüklü parçacıklar hızlandırılıp kafa kafaya çarpıştırılmaktadırlar



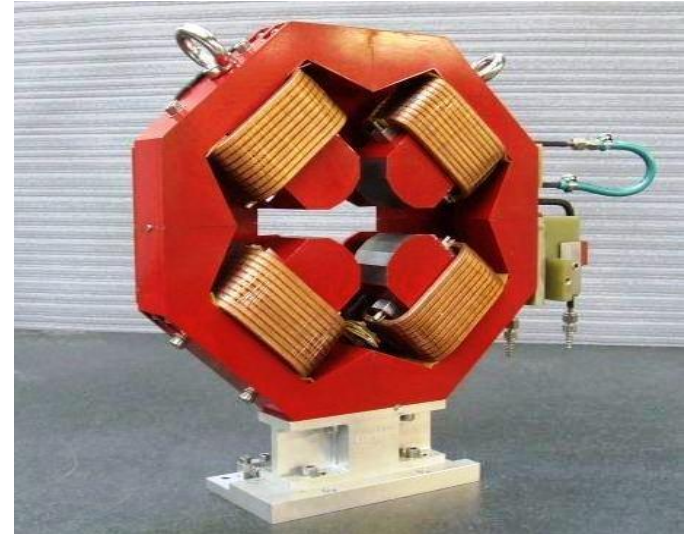
# Temel Etkileşmeler Nelerdir?

Doğada dört temel kuvvet mevcuttur.

Kuvvet Türü	Etki Alanı	Bağıl Şiddeti	Menzili	Kuantumu (parçacığı)	Kütlesi
Kütle-çekim Kuvveti	kütle	$10^{-38}$	$\infty$	graviton	0 MeV
Zayıf Kuvvetler	lepton, mezon, baryon	$10^{-4} - 10^{-12}$	$< 10^{-17}$ m	W- parçacığı Z- parçacığı	81000 MeV 93000 MeV
Elektromanyetik kuvvetler	yüklü parçacıklar	$10^{-2}$	$\infty$	foton	0 MeV
Güçlü kuvvetler	Kuark	1	$10^{-15}$ m	Gluon	0 MeV

## DeneySEL Yüksek Enerji Fiziği Hangi Araçları Kullanır ?

- ❖ Parçacık çarpıştırıcıları veya parçacık hızlandırıcılarında:
- $\vec{E}$  Elektron, Pozitron, Proton gibi elektrik yüklü parçacıklar **elektrik alan** kullanarak yüksek hızlara (momentumlara) çıkartılır.
- $\vec{B}$  manyetik alanlar da (iki ve Dört Kutuplu Magnetler) demeti bükmek ve bir arada tutmak için kullanılırlar



iki ve dört kutuplu magnetler

## DeneySEL Yüksek Enerji Fiziği Hangi Araçları Kullanır ?

- ❑ Genel olarak Doğrusal ve Dairesel Őeklinde iki çeŐit yapırlar.
- ❑ Günümüzde yüksek enerjilere çıkmak için dairesel hızlandırıcılar tercih edilirler.
- ❑ Bu arpıŐtırıcılarda güçlü magnetler (süper iletken magnetler) kullanılarak çok büyük manyetik alan elde edilir.



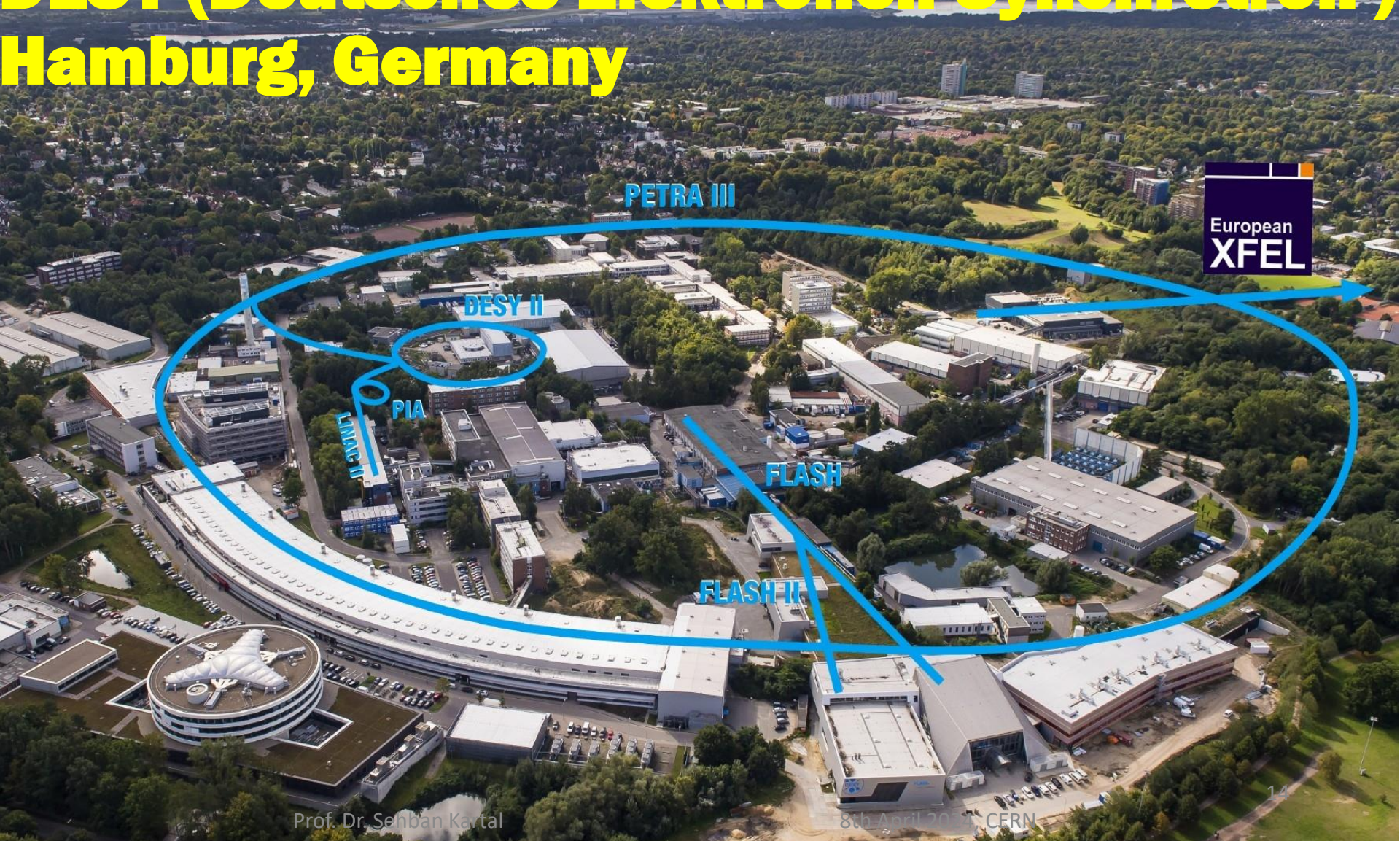
# DeneySEL Yüksek Enerji Fiziği Hangi Araçları Kullanır ?

## DOĞRUSAL HIZLANDIRICI - SLAC

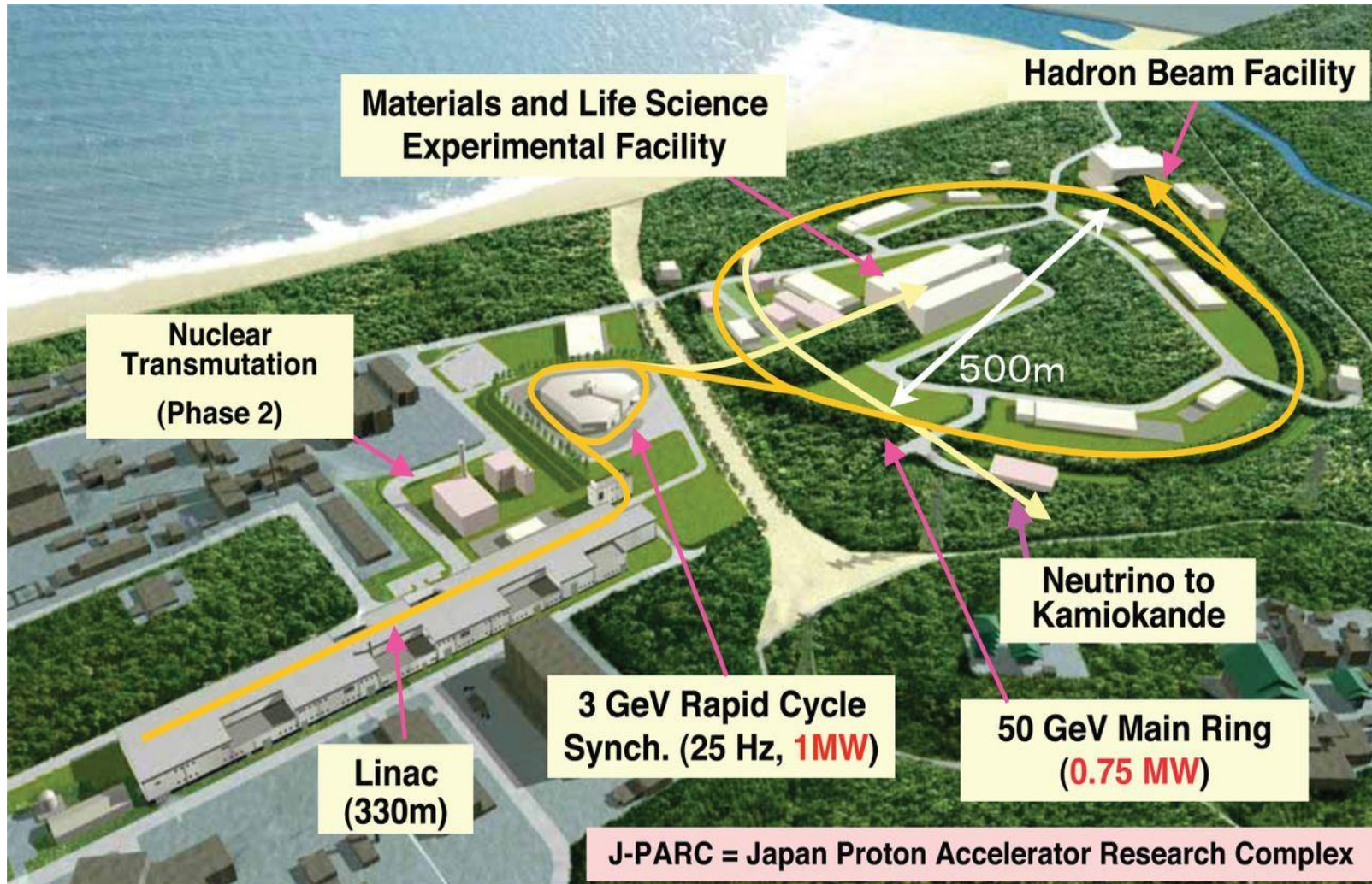




# DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) Hamburg, Germany

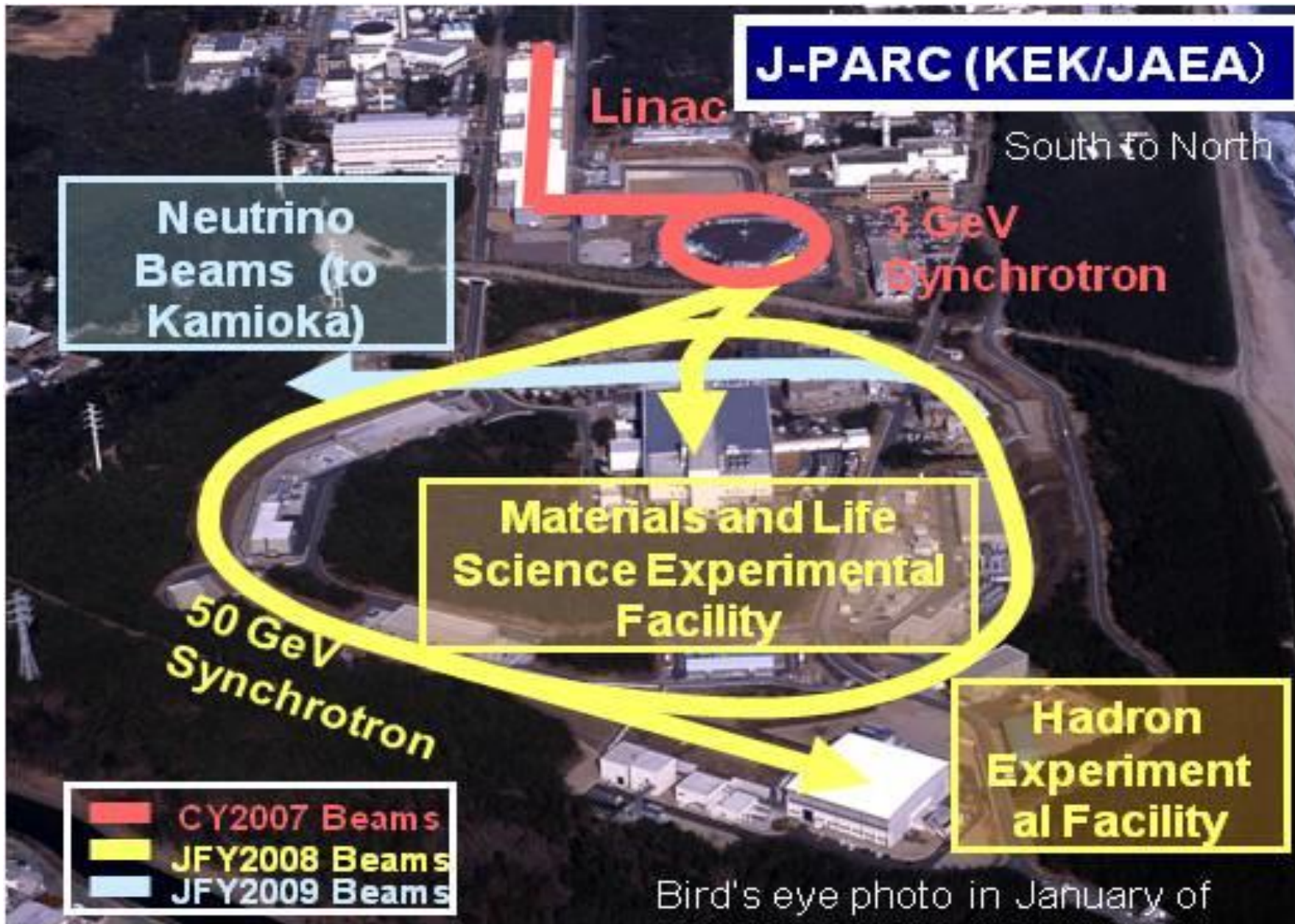






**Joint Project between KEK and JAEA**





# DeneySEL Yüksek Enerji Fiziği Hangi Araçları Kullanır ?



DAİRESEL HIZLANDIRICI  
TEVRATRON  
@FERMİLAB







Dünyanın en büyük parçacık fiziği laboratuvarlarından biri olan CERN, 29 Eylül 1954 yılında 12 Avrupa ülkesinin ortaklığıyla Cenevre'de kuruldu.

**CERN hızlandırıcıları;** *Proton Synchrotron (PS) , Super Proton Synchrotron (SPS), Large Electron-Positron Collider (LEP), Large Hadron Collider (LHC)*

- Sayılarla CERN
- 23 Tam Üye Ülke var, Türkiye dahil 8 adet Asosiye Ülke var ve 3 ülke Gözlemci statüsünde





**CERN bütçesini bağlama koymak için (~€1200 milyon), Avrupa'nın önde gelen futbol liglerindeki transferlerin değerini yaklaşık olarak hesaplayabiliriz. Premier Lig'de, takımlar 2022 yazında €2200 milyon harcadılar.**

**Avrupa'nın en iyi beş liginin toplamında harcanan miktarı eklersek, yeni oyuncular için €3700 milyon seviyesine ulaşır.**

**Yani Premier Ligin yarısı, avrupanın en iyi 5 ligine göre ise üçte biri kadar bir bütçe ile bu çalışmalar yürütülür !!!..**





## Büyük Hadron Çarpıştırıcısının Bazı Özellikleri

- ❑ LHC 2000 yılında faaliyeti sona eren LEP pozitron çarpıştırıcısı yerine inşa edilmiştir.
- ❑ Çevresi **~27 km** ve yer yüzeyinden 100 metre derinliktedir.
- ❑ LHC yaklaşık olarak ışık hızına erişen protonları **14 trilyon elektron-voltluk** bir enerjiyle kafa kafaya çarpıtmaktadır.



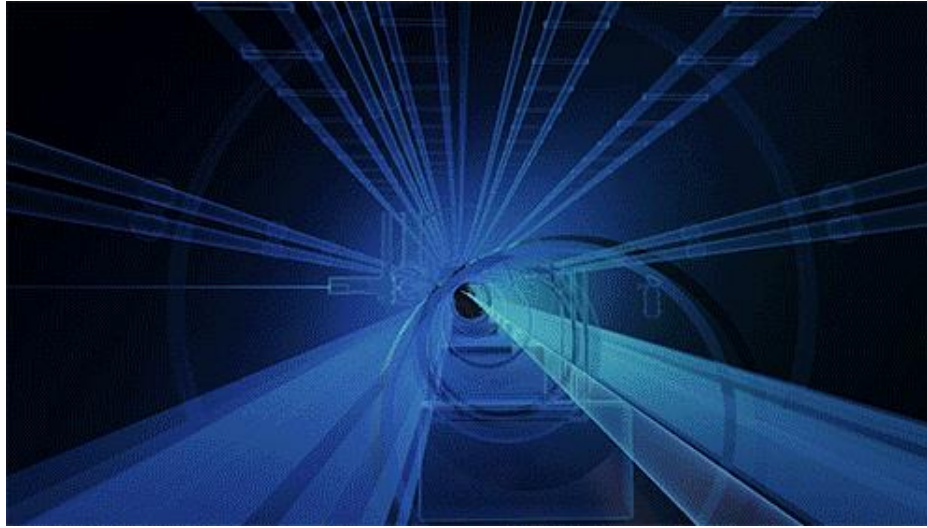
## Büyük Hadron Çarpıştırıcısının Bazı Özellikleri

- Yapımı 14 yıl sürdü ve LHC 4,1 milyar dolara mal oldu.
- Bütün verileri saklamak için yaklaşık 6 milyon DVD'ye ihtiyaç var.
- 1232 adet süper iletken dipole magnet ile 8,3 Tesla'lık bir manyetik alan elde edildi.



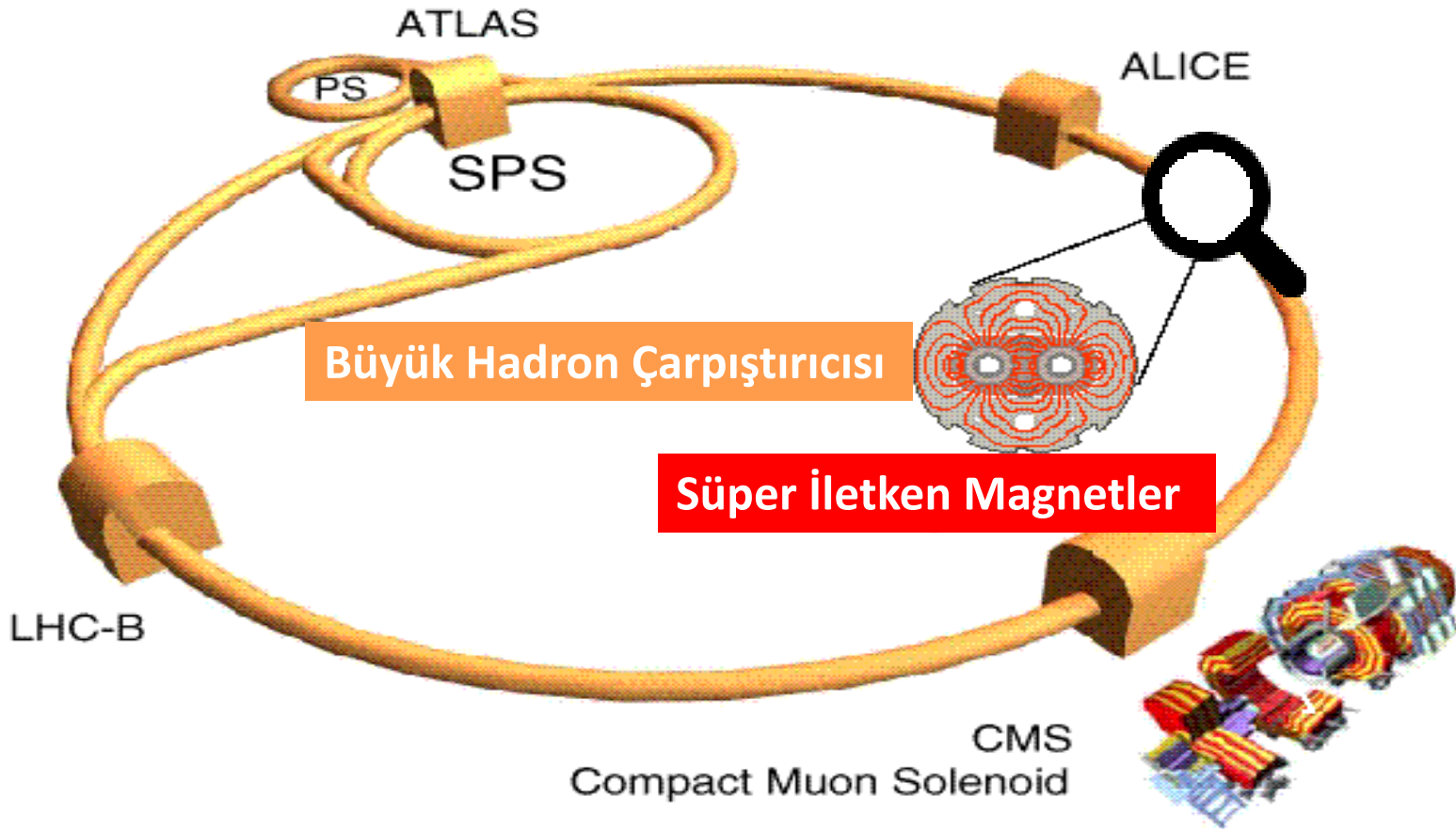
## Büyük Hadron Çarpıştırıcısının Bazı Özellikleri

- ❑ LHC'de birbirine zıt yönde iki parçacık demeti dolaşır. Bu durumu bir trenin **2808** vagonu gibi düşünebiliriz ve her bir vagona yaklaşık  $10^{11}$  adet proton bulunur.
- ❑ Bu protonlar 4 farklı noktada çarpışırlar (yaklaşık olarak her 25 nano saniyede 1 defa). Her vagon arasında 7m aralık olacak şekilde dolaşır.



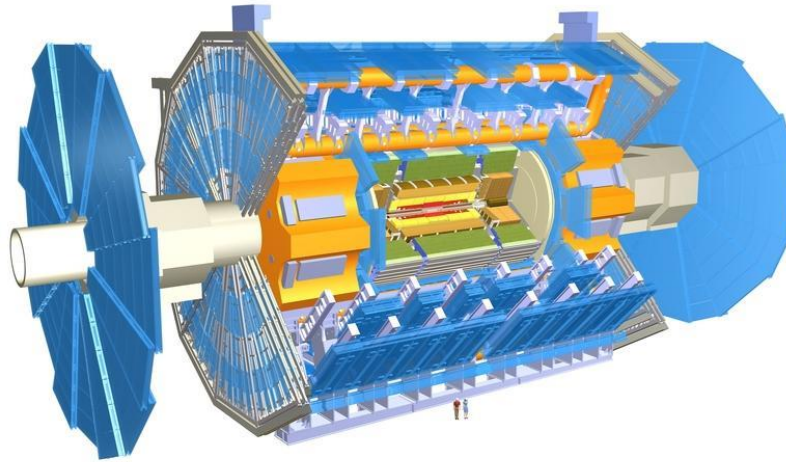


## LHC'de Kurulu Büyük Algıçlar



## LHC'de Kurulu Büyük Algıçlar

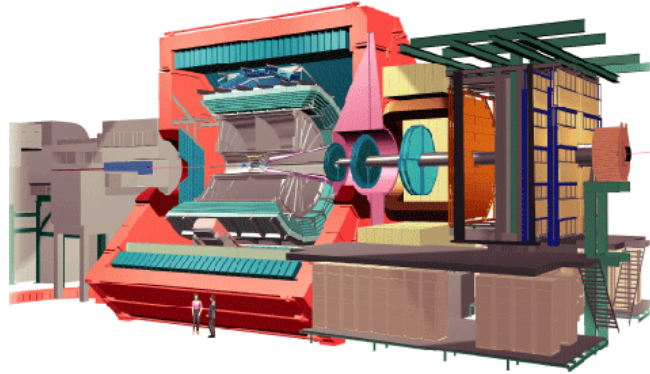
**ATLAS** deneyi (Algıcı), çok amaçlı bir algıç olarak kurulmuştur. **Higgs bozonu araştırmalarından, ekstra boyut ve karanlık madde** 'ye kadar pek çok amacı vardır. 38 farklı ülkeden ~3000 civarında bilim adamı çalışır.



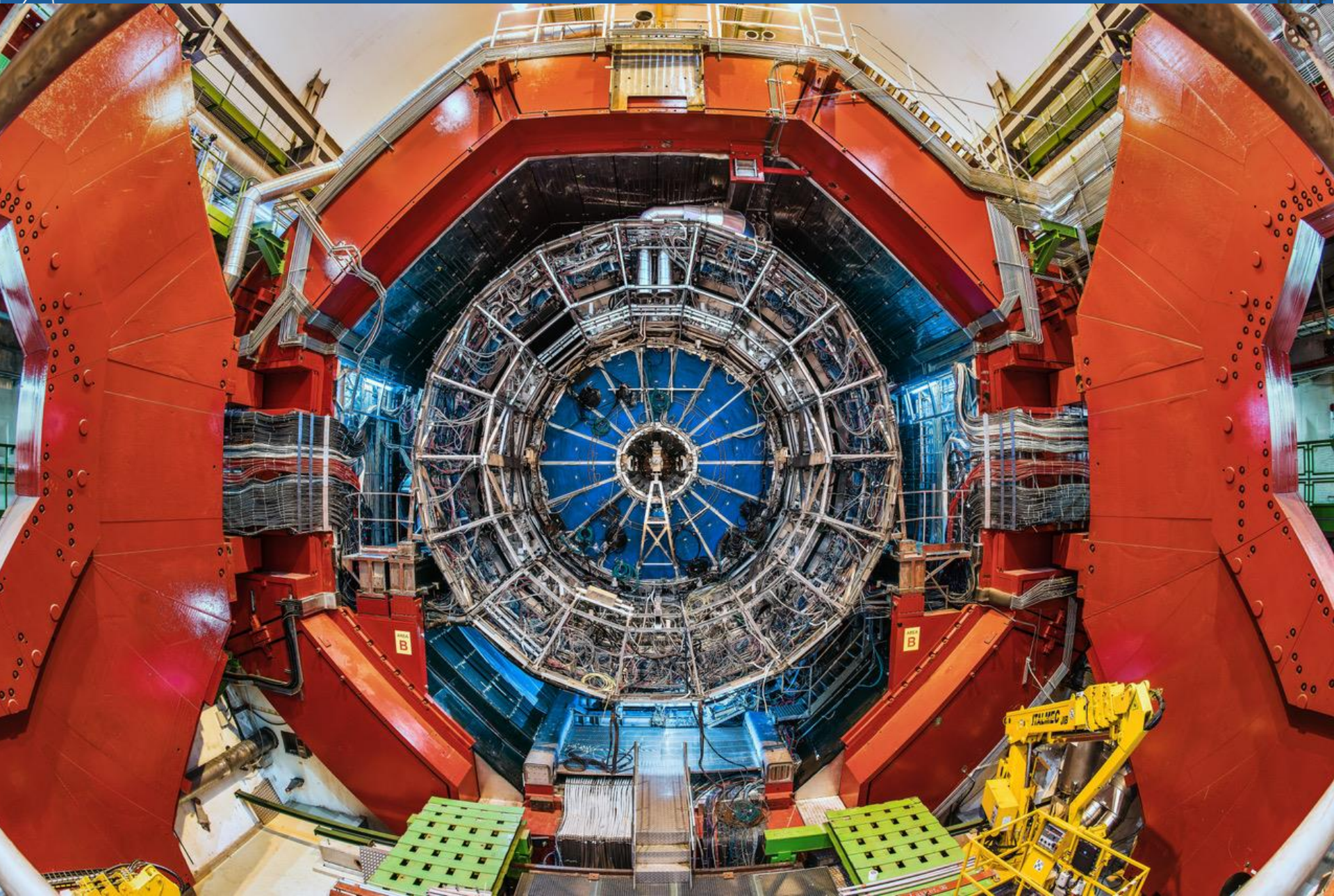
## LHC'de Kurulu Büyük Algıçlar

**ALICE** Büyük patlamadan hemen sonra oluştuğu düşünülen **kuark-gluon plazması** çalışmak üzere kurulmuştur. Bir ağır iyon algıdır.

- ❑ 10.000 ton ağırlığındadır.
- ❑ 26 m uzunluğunda 16 m yüksekliğinde ve 16 m genişliğinde dev bir yapıdır.
- ❑ 30 ülkeden 1000 civarında araştırmacı üyesi vardır





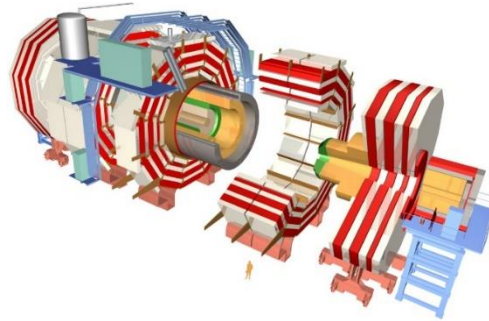




## LHC'de Kurulu Büyük Algıçlar

**CMS** Compact Müon Selenoid aynı ATLAS gibi genel amaçlı bir algıçtır. Birbirlerinin sonuçlarını karşılaştırma ve kontrol etme amacıyla çalışırlar.

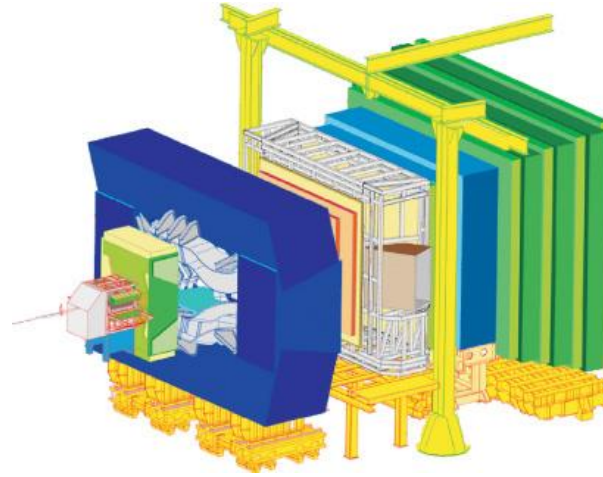
- ❑ CMS'te 4 Tesla büyüklüğünde silindirik süper iletken bir magnet vardır (Bu yaklaşık dünyanın manyetik alanınının 100.000 katıdır).
- ❑ 14 ton ağırlığındadır.
- ❑ 21 metre uzunluğunda, 15 metre genişliğinde ve 15 metre yüksekliğindedir.
- ❑ 42 farklı ülkeden 4300 araştırmacı bu deneye katılmaktadır



## LHC'de Kurulu Büyük Algıçlar

**LHCb** Özellikle **b kuark** ile ilgili araştırmalara odaklanmıştır.

- ❑ 21 m uzunluğunda, 10 metre yüksekliğinde ve 13 metre genişliğindedir.
- ❑ 66 farklı üniversite ve merkezden 700 bilim adamı katılmaktadır.







## Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak?

ILC (International Linear Collider)

CLIC (Compact Linear Collider)

FCC (Future Circular Collider)

Bu üç deneyde Uluslararası Geleceğin Hızlandırıcıları Komitesi, Avrupa Geleceğin Hızlandırıcıları komitesi ve CERN tarafından BHÇ sonrası ihtiyaç olacak çarpıştırıcılar için kavramsal tasarımların yapılmasını önerilmişlerdir.

## Standart model ile yanıtlayamadığımız hala pek çok soru var !

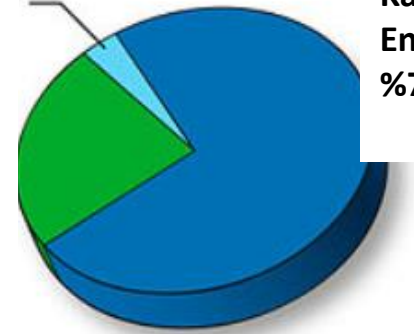
SM sadece bilinen maddenin hakkında bilgi vermektedir.  
Bu ise tüm evrenin sadece **%5** ini içermektedir.

- **Karanlık madde nedir?**
- **Karanlık enerji nedir?**
- **Neden anti maddeden daha fazla madde mevcuttur?**
- **Kuantum Teorisi kütle çekimi için yapılabilecek mi?**
- **Neden temel parçacıkların kütleleri arasında çok büyük ta**
- **Bütün kuvvetler tek bir alan kuramı altında birleştirilebilir mi?**
- **Tek bir denklem ile her şeyi açıklayabilir miyiz?**

Atomlar %5

Karanlık  
Madde  
%23

Karanlık  
Enerji  
%72



## WORLD OF COLLIDERS


Physicists around the world are designing a range of particle colliders that are much bigger than the Large Hadron Collider at CERN, Europe's particle-physics laboratory.

- Proton collider
- Electron-positron collider



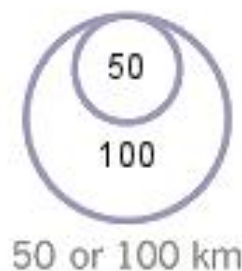
Circumference:  
27 km

**CERN-HOSTED LARGE HADRON COLLIDER**  
2009–35  
Energy: 14 teraelectronvolts (TeV)  
US\$5 billion



Length: 31 km

**JAPAN-HOSTED INTERNATIONAL LINEAR COLLIDER**  
Proposed: 2030  
Energy:  $\leq 1$  TeV  
US\$10 billion



50 or 100 km

**CHINA-HOSTED ELECTRON-POSITRON COLLIDER**  
Proposed: 2028  
Energy: 0.24 or  $\leq 0.35$  TeV  
US\$3 billion



50 or 100 km

**CHINA-HOSTED PROTON COLLIDER**  
Proposed: 2030s  
Energy: 70–100 TeV or 100–140 TeV



100 km

**CERN-HOSTED SUPER PROTON COLLIDER**  
Proposed: 2035–40  
Energy: 100 TeV  
< US\$10 billion

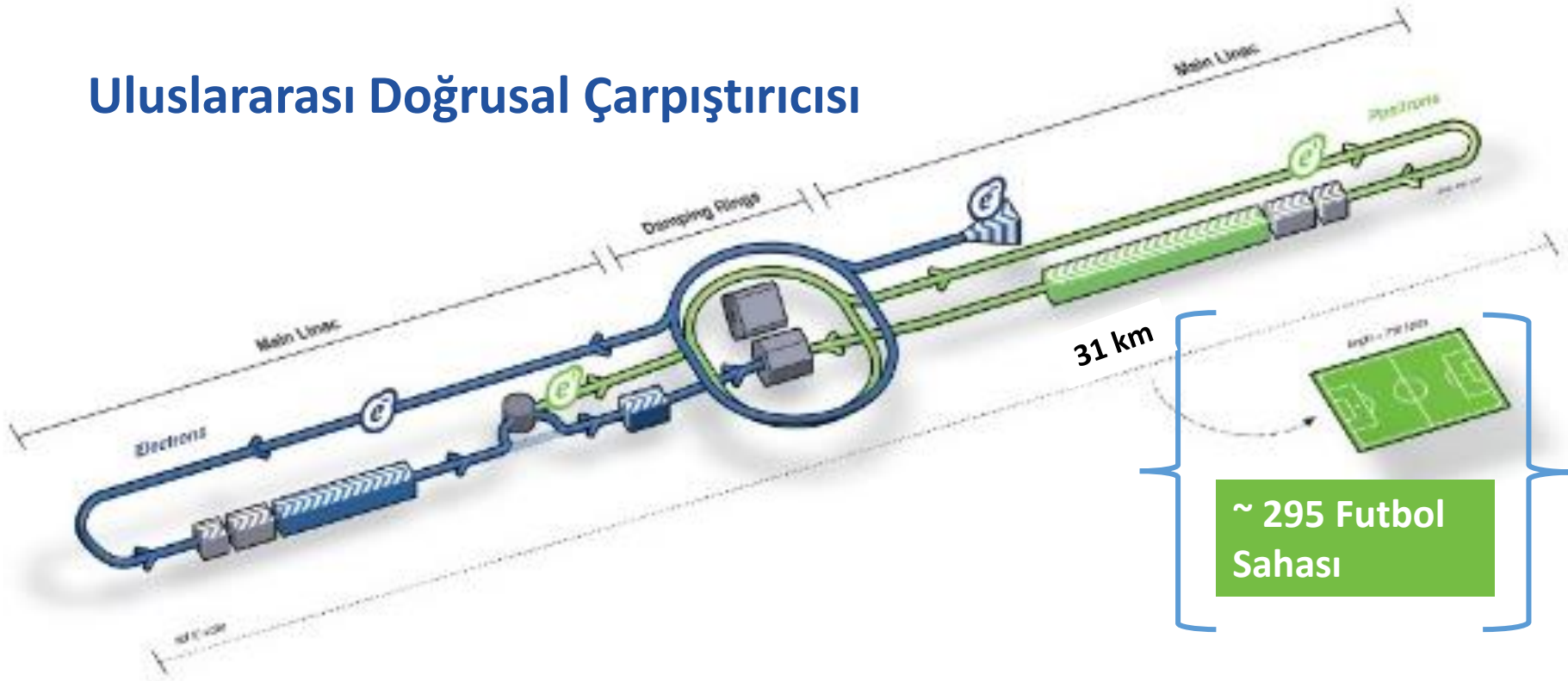
©nature



## Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak?

# ILC (International Linear Collider)

Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcısı



**Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak?**

**FCC (Future Circular Collider)**

**Geleceğin Dairesel Çapıştırıcısı (GDÇ)**

~~GDO~~

GDÇ



## Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak?

### Geleceğin Dairesel Çarpıştırıcısı (GDÇ)

- Yaklaşık 16 Tesla'lık süper iletken magnetler kullanılacak hızlandırıcının 100 TeV'lik kütle merkezi enerjisine ulaşması hedefleniyor.
- Çevresi ~91 km olacak şekilde tasarlanan çarpıştırıcı için İsviçre'nin Cenevre kentinde (Cern) 80-100 km'lik bir tünel yerin ~200m altına yapılacak

→ FCC

→ LHC



# Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak?

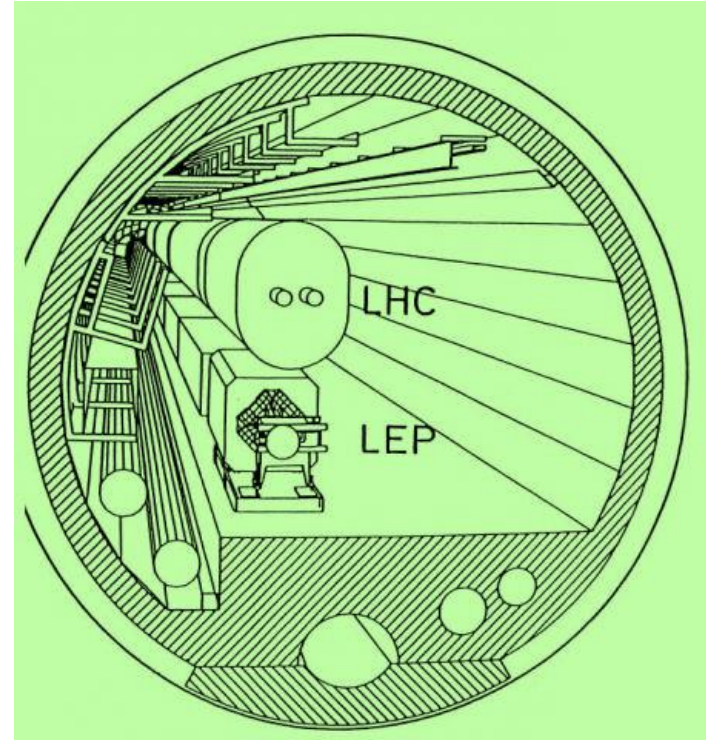
## CERN – Dairesel Çarpıştırıcıları ve FCC

### LEP:

- 1980 de tasarım aşaması.
- 1985'te yapım aşaması.
- 1990'da veri alımı.

### LHC:

- 1985'te tasarım aşaması.
- 2000'de yapım aşaması.
- 2009'da veri alımı ve 2023'e kadar birinci faz olacak.





## Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak?

### CERN – Dairesel Çarpıştırıcıları ve FCC

#### HL-LHC:

- 2005’de tasarımı başladı 2015’ten itibaren yapım çalışmaları devam ediyor.
- 2025’te veri alımı başlayacak ve 2035’ kadar veri alması planlanıyor.

#### FCC:

- 2013-2020 arasında tasarımı tamamlandı.
- 2021-2027 Feasibility Study aşaması
- 2027-2030 yılları yapım aşaması.
- 2040’tan itibaren veri alımı planlanmaktadır (FCC-ee).

## Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak? CERN – Dairesel Çarpıştırıcıları ve FCC

❑ 2035 te FCC-hh detektöründen saniiyede 400 Terabayt veri alınacak.



Bu da yaklaşık olarak bir saatte 1.5 Petabayt veri toplanacak demektir. **Bu ise sıradan bilgisayarlardan 1.4 milyon tanesinin hafızasına denk geliyor!**

❑ Bir yıl boyunca data topladığımızda ihtiyacımız olacak alan yaklaşık 12 milyar kişisel bilgisayar hafızası demektir. 



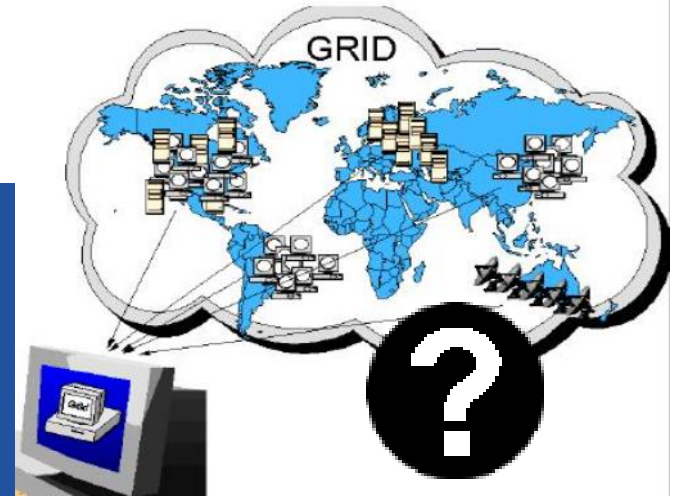
## Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak? CERN – Dairesel Çarpıştırıcıları ve FCC

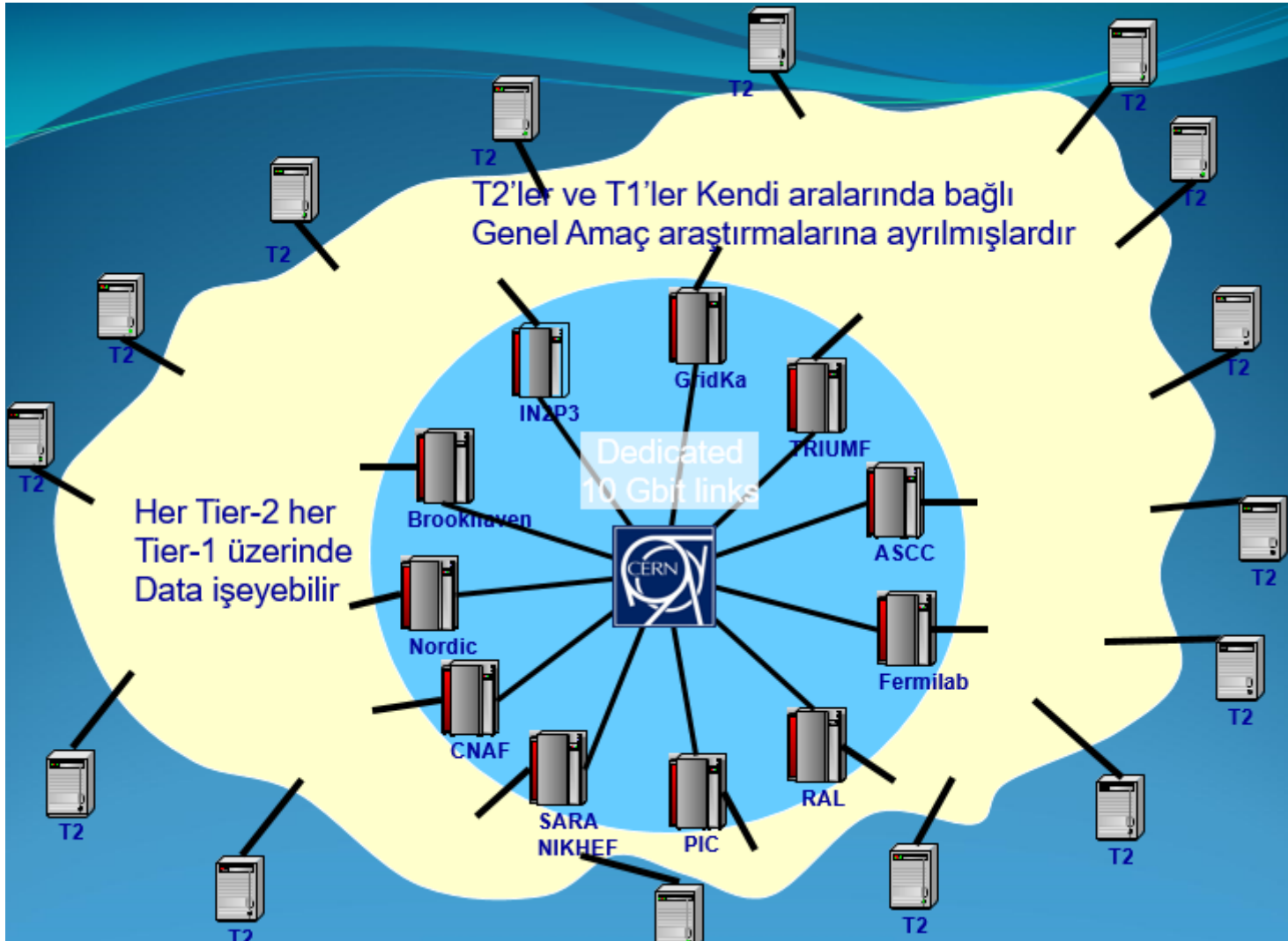
- ❑ Detektörlerde üretilecek verinin küçük bir miktardaki bir malzemeyle toplanabilmesi çözülmesi gereken en temel sorundur. ⚠
- ❑ Bu datanın yarısını dahi, bakır kablolarla silikon detektöründen almaya çalışsak detektörün çalışmasına çok büyük zarar verebiliriz. ❌
- ❑ Bütün veri detektörden hiçbir ayıklama yapmadan online bir sistem üzerinde analiz yapılacak yere kadar doğrudan yollanacak! (GRID) ✓

# Grid Nedir?

Dağıtık bilgi işleme yönteminin sanallaştırılmasını sağlayan çözüm mimarisine kısaca Grid diyoruz.

Temel amaç dağıtık bilgi işleme ve veri kaynaklarının kullanmakta olduğu işlemci güçleri, ağ kapasiteleri ve depolama kapasiteleri ile tek büyük bir sistem yaratmaktır.









## CERN' deki Tier-0 Merkezi

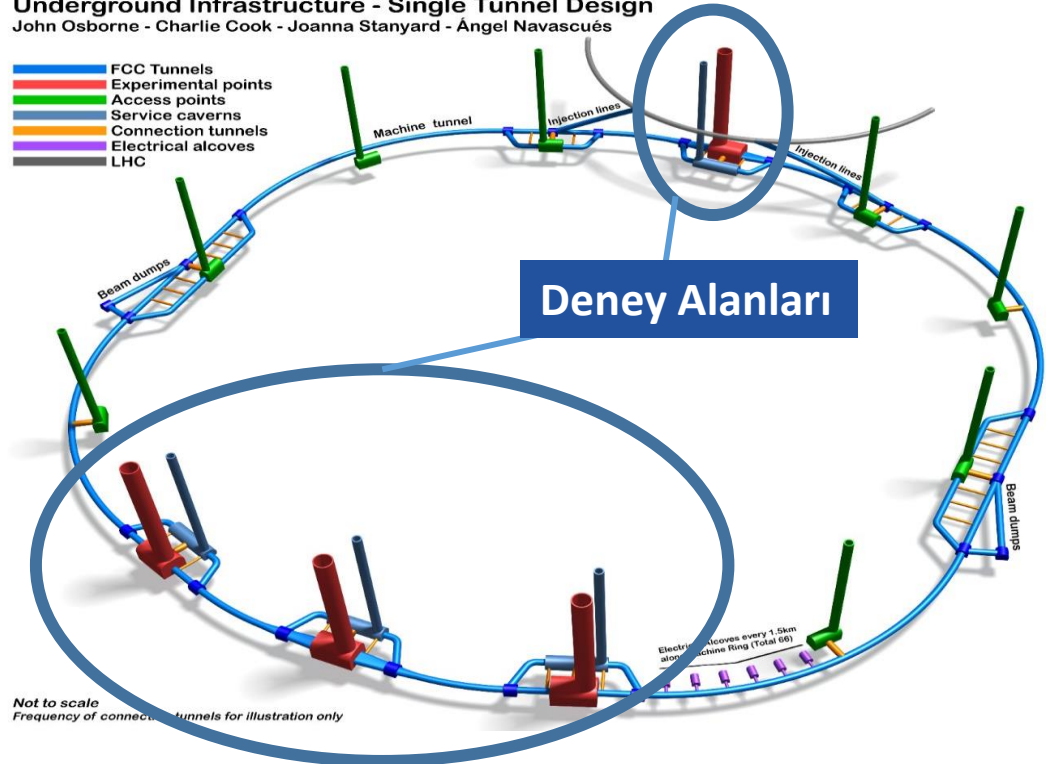
# Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak?

## CERN – Dairesel Çarpıştırıcıları ve FCC

- FCC için **6 metre çapı** olan **100 km'lik** tünel açılacak **4 adet deney alanı** açılacak.
- **8 adet altyapı için** tünele giriş inşa edilecektir

**FUTURE CIRCULAR COLLIDER (FCC) - 3D Schematic**  
Underground Infrastructure - Single Tunnel Design  
John Osborne - Charlie Cook - Joanna Stanyard - Ángel Navascués

- FCC Tunnels
- Experimental points
- Access points
- Service caverns
- Connection tunnels
- Electrical alcoves
- LHC





## Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak?



2024

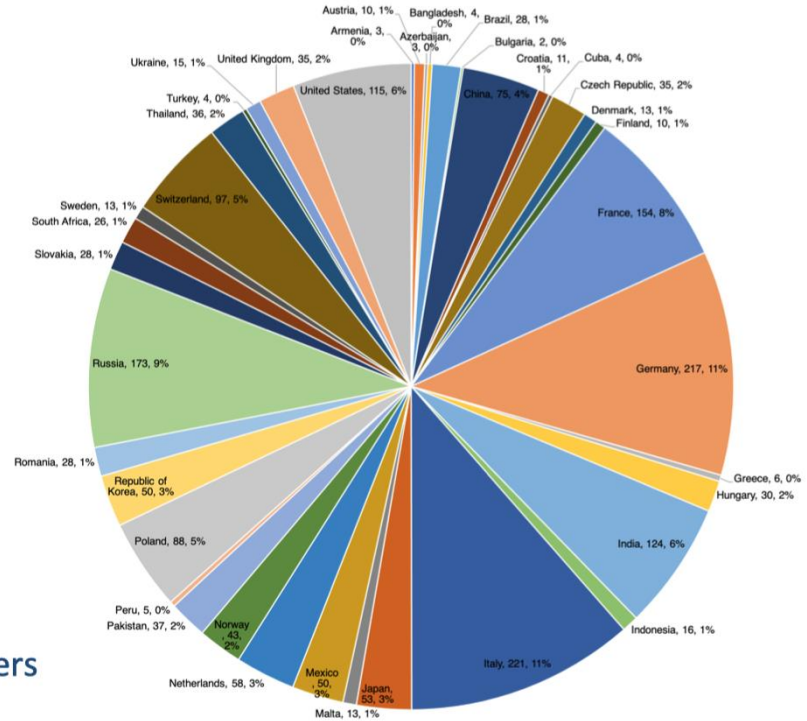
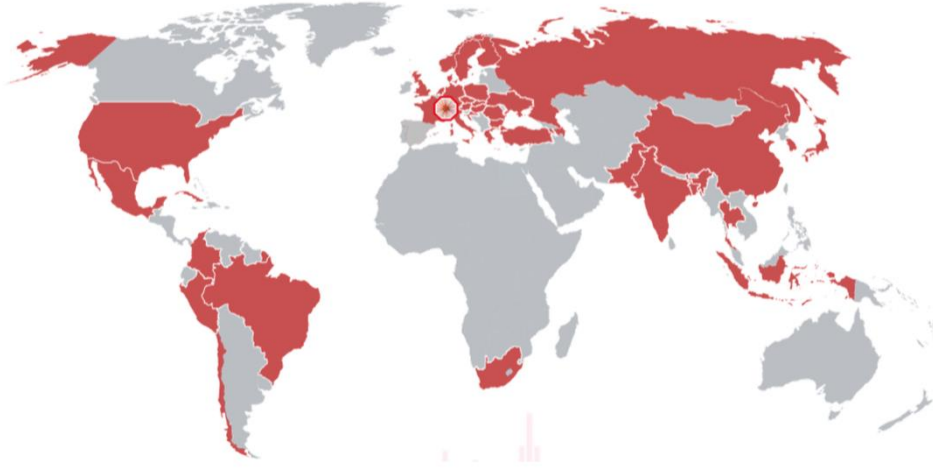


**4. Ay itibariyle 32 farklı ülke**  
175kadar üniversite, enstitü  
veya Araştırma Merkezi

**Her gün bir Ülke/Üniversite geleceğe ismini yazdırıyor !**



# The ALICE Collaboration



**39 Countries, 175 Institutes (including 18 Associates)**

1934 Members, about 1000 signing authors

- ▶ 941 Physicists (PhD + PhD Stuedntes)
- ▶ 580 PhD Physicists
- ▶ 361 Physics Doctoral Students
- ▶ 273 Undergraduate Students
- ▶ 49 Senior Engineers
- ▶ 225 Engineers
- ▶ 11 Technicians

# Geleceğin Hızlandırıcıları Neler Olacak?

## Türkiye'den katılanlar

- İstanbul Üniversitesi
- Ankara Üniversitesi
- Giresun Üniversitesi
- TOBB-ETÜ
- Aydın Üniversitesi
- Okan Üniversitesi
- Işık Üniversitesi
- Abant İzzet Baysal Üni.
- Piri Reis Üniversitesi
- Uludağ Üniversitesi
- İzmir Ekonomi Üniversitesi
- Akdeniz Üniversitesi
- Ege Üniversitesi
- İzmir Bakırçay Üniversitesi
- İstinye Üniversitesi





**Artık 2040'ı planlama zamanı!**