



FİZ0424 PARÇACIK FİZİĞİ

*Ankara Üniversitesi
Fen Fakültesi Fizik Bölümü
12. Hafta*

AYSUHAN OZANSOY

İçerik:

1. Hangi parçacıkları çarpıştıralım?
2. CERN Hızlandırıcıları
3. Büyük Hadron Çarpıştırıcı
4. Dedektörler (Algıçlar)
5. Çok amaçlı bir dedektörün kesiti

1. Hangi parçacıkları çarpıştıralım?



Elektron ve proton iyi adaylar çünkü kararlılar (bozunmayan parçacıklar), elektrik yüküne sahipler, dolayısıyla bir elektrik alan ile hızlandırılabilirler.

→ Çarpışan parçacık tiplerine göre temel çarpıştırıcıları 4 grupta inceleyebiliriz: (Birer örnek verilmiştir)

1. $e^- e^-$ çarpıştırıcısı → LEP

2. pp çarpıştırıcısı → LHC

3. $p\bar{p}$ çarpıştırıcısı → Tevatron

4. ep çarpıştırıcısı → HERA



→ Elektron-pozitron çarpıştırıcılarında elektron (ya da pozitron) demetlerinden biri veya ikisi foton demetlerine dönüştürülerek (örneğin Compton geri saçılması yoluyla) $e \gamma$ ya da $\gamma \gamma$ çarpıştırıcıları düşünülebilir.

| çarpıştırıcı | \sqrt{s} (GeV) (GeV) | \mathcal{L} ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) |
|--------------|---------------------------|--|
| LEP I | M_Z | 2.4×10^{31} |
| SLC | ~ 100 | 2.5×10^{30} |
| LEP II | ~ 210 | 10^{32} |
| | (TeV) | |
| ILC | 0.5–1 | 2.5×10^{34} |
| CLIC | 3–5 | $\sim 10^{35}$ |

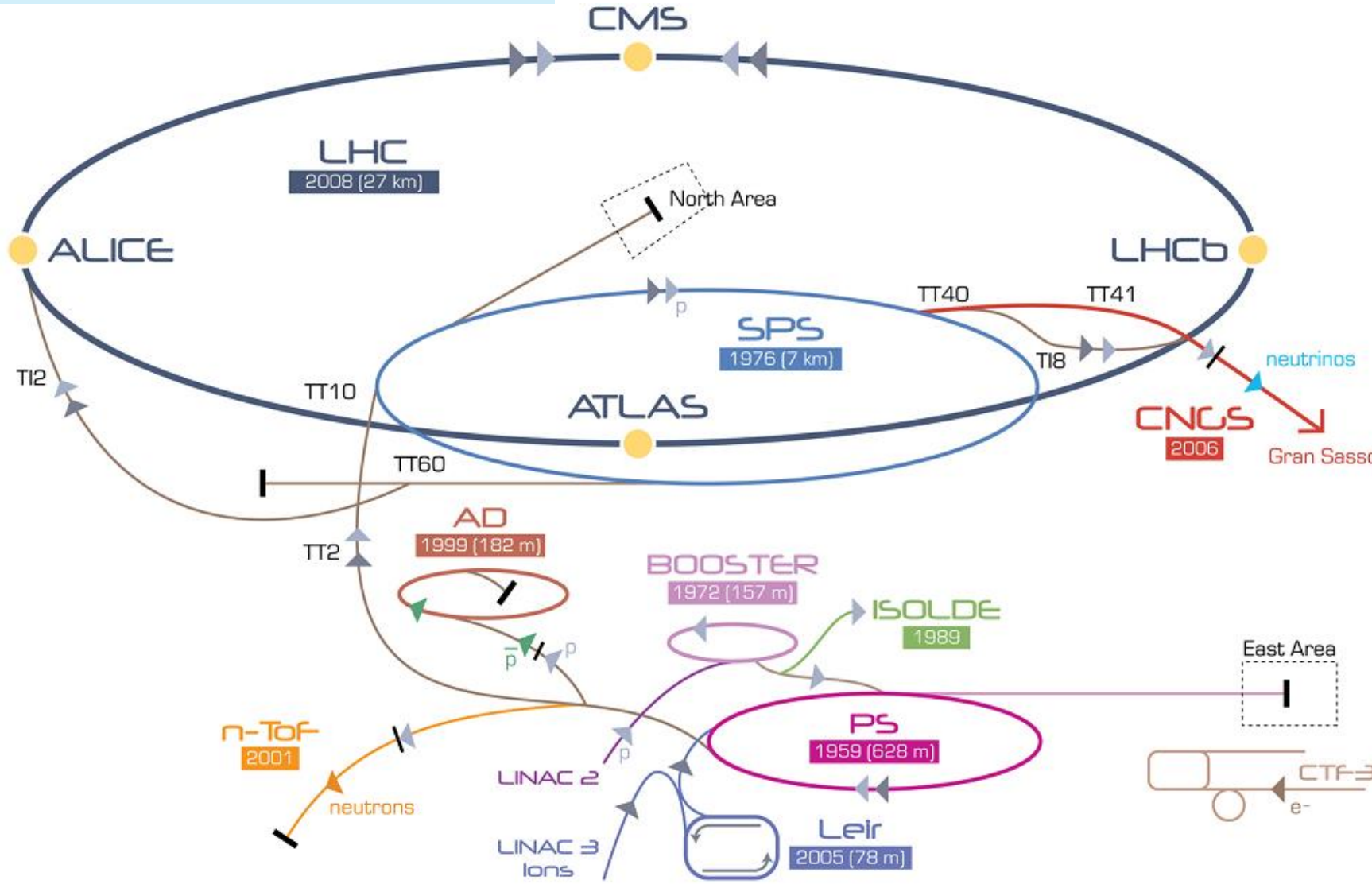
→ Bu tabloda yer alan çarpıştırıcılar elektron-pozitron çarpıştırıcısıdır. LEP ve SLC' nin işletimi durmuştur. ILC ve CLIC gelecekte kurulması planlanan çarpıştırıcılardır.

- **LEP:** Large Electron Positron Collider (İsviçre CERN' de, dairesel çarpıştırıcı, 1989-2000 yılları)
- **SLC:** Stanford Linear Collider (ABD - SLAC' da, ilk ve tek lineer çarpıştırıcı, 1989-1998 yılları)
- **ILC:** International Linear Collider=Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcı, Japonya' da kurulması planlanıyor.
- **CLIC:** Compact Linear Collider = Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı, CERN' de kurulması planlanıyor.

| çarpıştırıcı | \sqrt{s} (TeV) | \mathcal{L} ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) |
|--------------|---------------------|--|
| Tevatron | 1.96 | 2.1×10^{32} |
| HERA | 314 | 1.4×10^{31} |
| LHC | 14 | 10^{34} |
| SSC | 40 | 10^{33} |

- **Tevatron:** proton-antiproton çarpıştırıcısı. ABD Fermilab'ta (Fermi Ulusal Lab.) t-kuark burada keşfedildi. 1987-2011 yılları arasında çalıştı.
 - **HERA:** (Hadron-Electron Ring Accelerator) Almanya DESY' de. İlk ve tek elektron-proton çarpıştırıcısı. 1992-2007 yılları arasında çalıştı.
 - **SSC:** (Superconducting Super Collider=Süperiletken Süper Çarpıştırıcı).ABD' de kurulması planlanıyordu, 1993 yılında proje aşamasında iptal edildi.
- Bunlarda başka
- **HL-LHC:** High Luminosity LHC: LHC' nin ışınlığının artırılması planlanıyor.
 - **LHeC:** Large Hadron electron Collider: ep çarpıştırıcısı olarak planlanıyor.
 - **FCC:** Future Circular Collider=Gelecekteki Dairesel Çarpıştırıcı: CERN de 2040' lı yıllarda kurulması planlanan 100 TeV KM enerjisine sahip çarpıştırıcı.

2. CERN Hızlandırıcıları

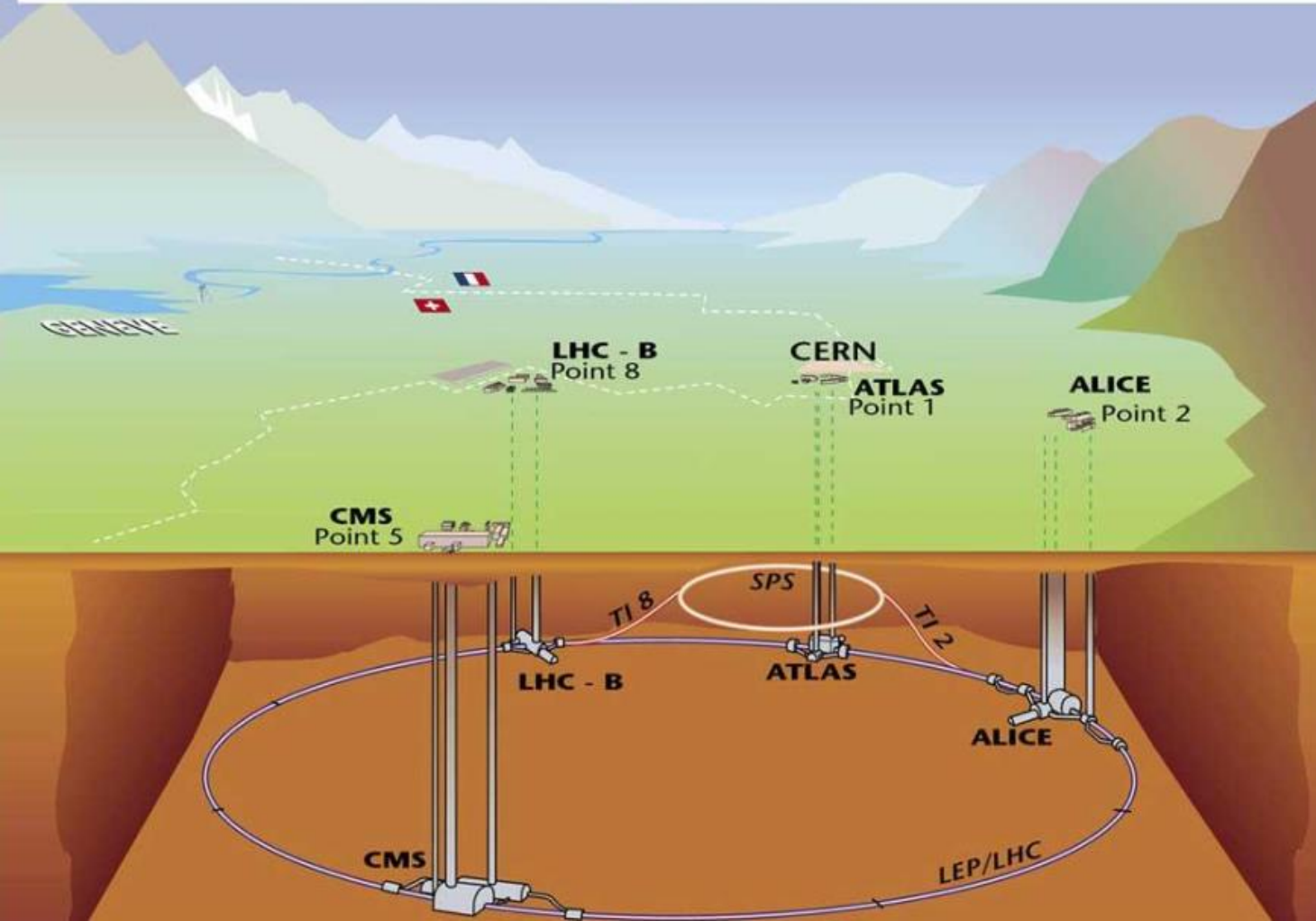


- LHC:** Büyük Hadron Çarpıştırıcı
- LINAC:** Linear Hızlandırıcı
- LEIR:** Düşük Enerjili İyon Halkası
- PS:** Proton Sinkrotronu
- Booster:** Öteleyici
- ISOLDE:** İzotop Ayırıcı Online Aygıt
- AD:** Antiproton yavaşlatıcı
- SPS:** Süper Proton Sinkrotronu
- CNGS:** Gran Sasso'ya CERN nötrinoları

→ ATLAS, CMS, ALICE, LHCb: LHC'nin 4 büyük detektörü (sonraki slaytta)

3. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Overall view of the LHC experiments.



27 kilometrelik, halka şeklinde bir hızlandırıcı

Protonlar hızlandırılıp çarpışıyor. Protonların hızları ışık hızının 0.999999991 katına ulaşacak

Çarpıştırılan protonların toplam enerjisi 14 TeV ($2.24 \cdot 10^{-6}$ J) olacak.

Saniyede yaklaşık 600 milyon çarpışma

Her bir çarpışma noktasında toplanacak olan bilgi yılda yaklaşık 100.000 DVD'yi doldurmaya yeter. (saatte 11 DVD)

Kullanılan süperiletken kabloların kalınlığı bir saç telinin onda biri kadar.

Demetler yüksek vakumlu borularda; 10^{-13} atm ' de tutuluyor.

Neler oldu???

- LHC 1980'lerin başında öneriliyor, 1994 onaylanıyor.
- 10 Eylül 2008 ilk demet verildi.
- 19 Eylül 2008 Kablo hatası !
- 23 Ekim 2009' da tekrar parçacıklar enjekte edildi.
- 23 Kasım 2009' da ilk çarpışmalar



- 30 Kasım 2009'da mevcut rekor enerji olan 1.96 TeV aşılarak 2,36 TeV KM enerjisi
- 30 Mart 2010 7 TeV KM enerjisi
- Nisan 2012 8 TeV KM enerjisi
- Şubat 2013-2015 ortaları LS-1 (Long Shutdown-1)
- 2015-2018 13 TeV KM enerjisi
- 2018 sonu-2020' ye kadar LS-2

ATLAS: A Toroidal LHC Apparatus

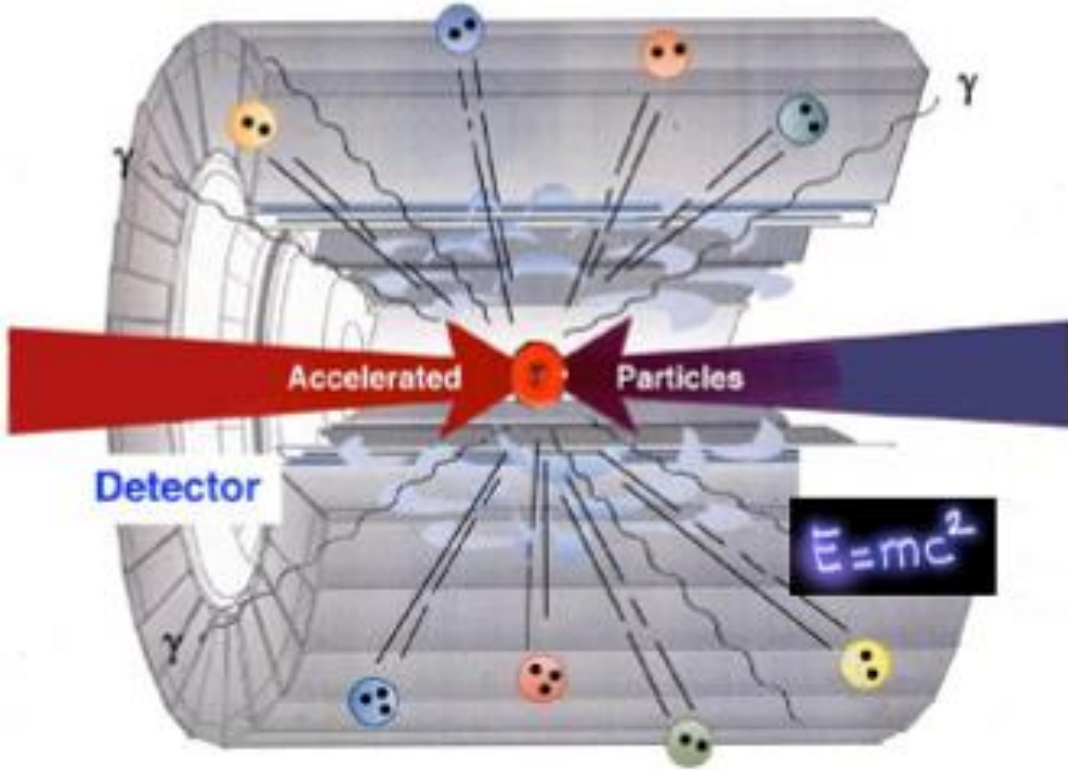
CMS: Compact Muon Solenoid

→ ATLAS ve CMS LHC' deki genel amaçlı detektörler / deneyler. SM, ekstra boyutlar, Higgs, karanlık madde,... gibi konularla ilgileniyor. Bu iki deneyin bilimsel amaçları aynı olmasına rağmen kullandıkları teknikler ve mıknatıs sistemleri farklı. 2012 yılında Higgs bozonunu bu iki deney grubu keşfetti.

ALICE: A Large Ion Collider Experiment → Ağır iyon çarpıştırılıyor (kurşun-kurşun). Kuark-gluon plazma üretilip, renk hapsi, proton ve nötronun kütlelerinin içerdikleri kuark kütlelerinden neden çok büyük olduğu gibi konularla ilgileniyor.

LHCb: LHC beauty experiment → b-kuark içeren hadronları ve özelliklerini inceliyor (b-fiziği). CP ihlali, madde-antimadde asimetrisi gibi konularla ilgileniyor.

4. Detektörler (Algıçlar)



1) Parçacıkları yüksek enerjilere çıkart (hızlandırıcı)

2) Hızlı Yüksek enerjili bu parçacıkları çarpıştır

3) Ortaya çıkan yeni parçacıkları detektörlerde (algıç) araştır.

Parçacık deteksiyonu; parçacıkların **detektörün yapıldığı malzeme ile etkileşmesine** dayanır.

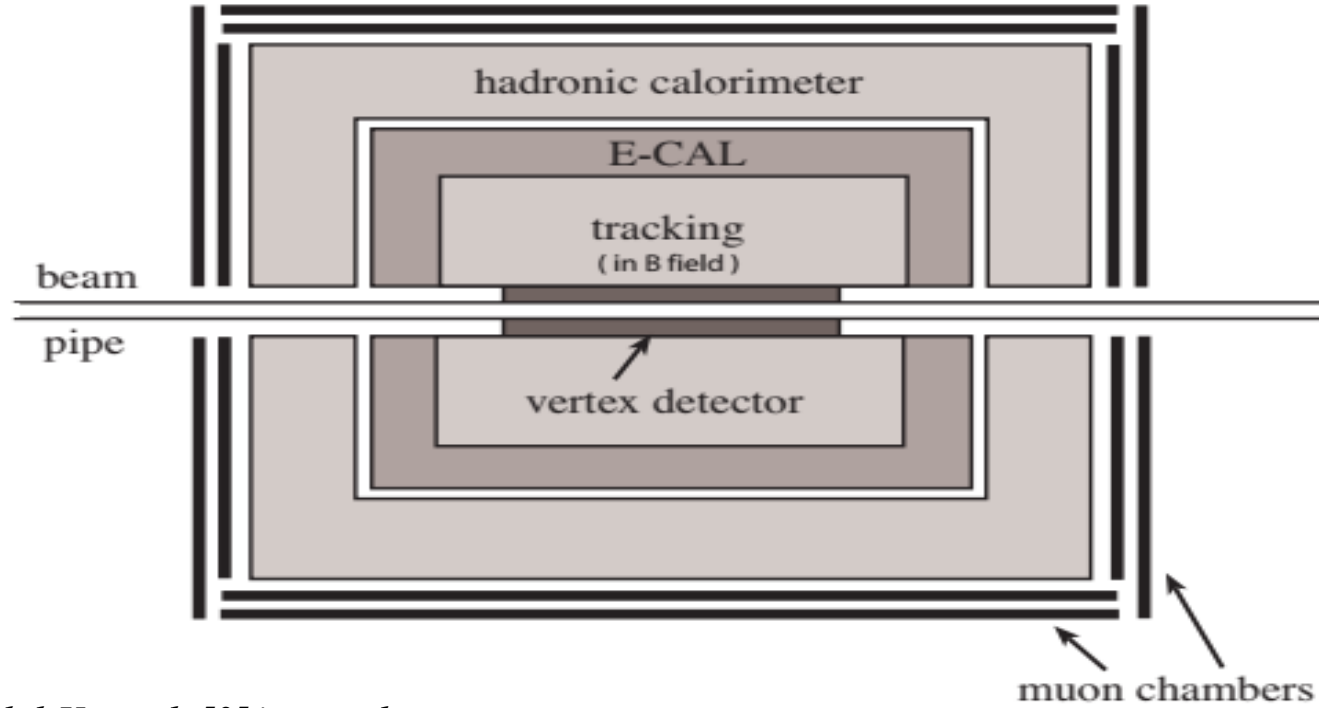
Parçacıkların özelliklerini ve etkileşmelerini anlamak: enerji, momentum, yük, spin....

Şekil Kaynak [1]'den alınmıştır.

Parçacıkları nasıl algılarız?

- Parçacığın bir ortamda geçtiğine ya da orada durduğuna dair bir sinyal almamız gerekir.
- Bunun gerçekleşmesi için parçacığın o ortamla etkileşmesi ve enerjisinin bir kısmını ya da tamamını ortama aktarması gerekir.
- **Detektörlerin çalışma prensibi bu kurala dayanır: maddenin iyonizasyonu ya da uyarılması**
- Pek çok çeşit parçacık detektörü vardır: fotoçoğaltıcılar, sis odaları, kabarcık odaları, sintilatörler...
- Modern detektörler, aslında farklı detektör tiplerinden pek çoğunun iç içe geçtiği katmanlardan oluşur ve bunlar bilgisayarlara bağlanmış şekildedir (Büyük elektronik yapılar)

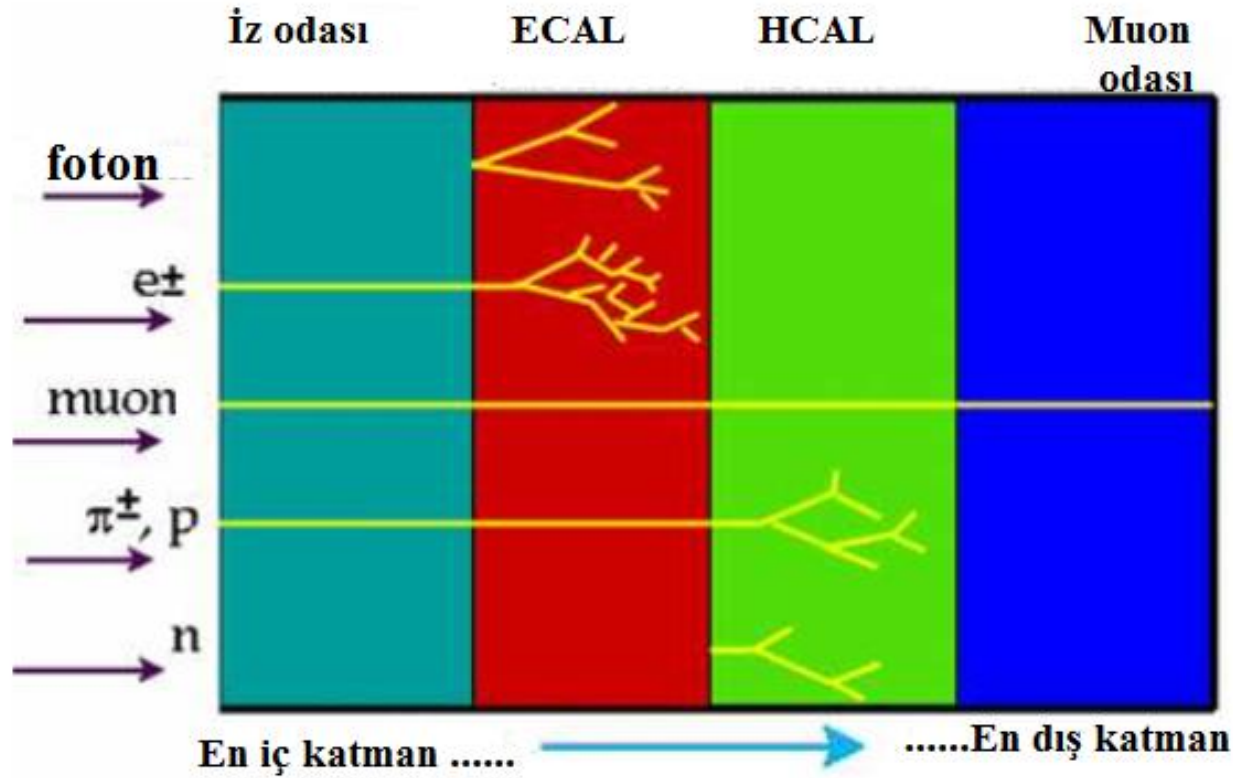
5. Çok amaçlı modern bir detektörün kesiti



Şekil Kaynak [3]'ten alınmıştır.

- İz odası (Manyetik alan içinde): parçacık yörünge ölçümleri
- Kalorimetreler: momentum ölçümü
- Zaman çözümlenmeli sayaçlar
- Parçacık tanımlayıcı aygıtlar

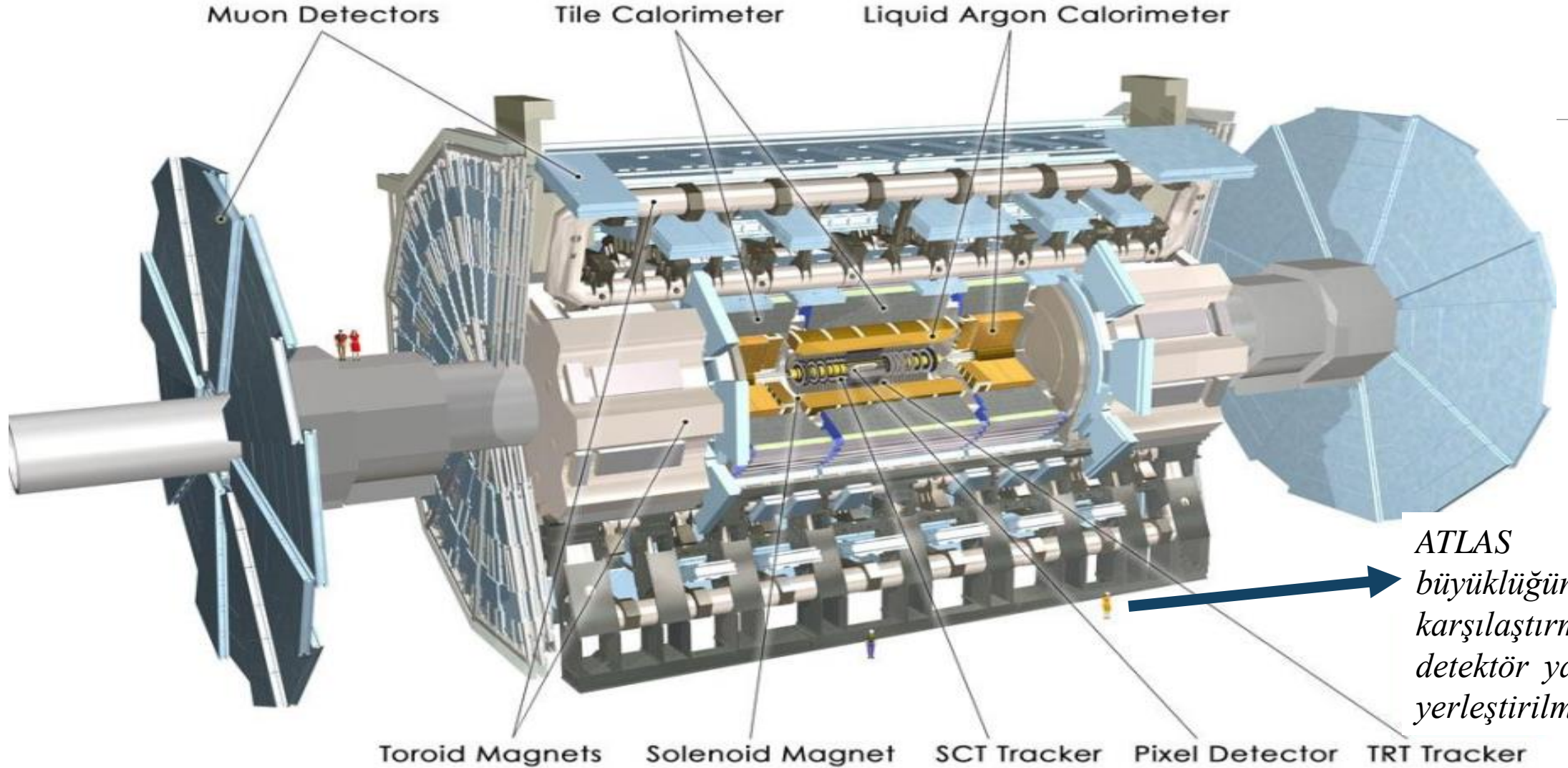
Tracking chamber: iz odası
ECAL: Elektromanyetik kalorimetre
HCAL: Hadronik kalorimetre
Muon chamber: muon odası
Beam pipe: demet borusu



- Elektron, proton, foton ve nötrino bozunmayan parçacıklardır. Elektron, proton ve foton gibi kararlı parçacıklar iz odasında bıraktıkları izler veya ECAL ya da HCAL' deki enerji birikimi olarak algılanabilirler.
- Pek çok parçacık detektörde doğrudan görünmüyor; W , Z , t -kuark gibi ağır parçacıklar bozunurlar ve bozunma ürünlerinden yola çıkılarak algılanabilirler.
- Detektörde manyetik alanın kullanım alanlarından biri parçacıkların (+) ya da (-) yüklü olduğunun tespit edilmesidir.

- ➔ İz odalarında, geçen yüklü parçacıkların izleri belirlenir. Yörünge yarıçapı yardımıyla parçacığın momentumu ölçülür. Nötral parçacıklar burada iz bırakmaz. (Yukarıdaki şekli inceleyiniz)
- ➔ ECAL: Elektromanyetik etkileşmeye giren parçacıkların enerjileri ölçülür.
- ➔ HCAL: p , n , π -mezon gibi hadronların enerjileri ölçülür.
- ➔ Kalorimetreler (ECAL ve HCAL), muon ve nötrino dışındaki pek çok parçacığı durdurur.
- ➔ Muonlar demir ile etkileşmeden çok fazla yol alırlar, bu nedenle muonların iz bırakabilmeleri için muon odaları detektörün en dış katmanında yer alırlar.

ATLAS Algıç Sistemi



ATLAS detektörünün büyüklüğünü karşılaştırmak için şekilde detektör yanına bir insan yerleştirilmiştir

Kaynaklar

1. <https://indico.cern.ch/event/669040/contributions/2735856/attachments/1586367/2508404/TTP-SCetin-22012018.pdf> (S.A. Çetin, CERN-Türk Öğretmen Çalıştayı Sunumu, 2018)
2. «Meraklısına Parçacık ve Hızlandırıcı Fiziği», B. Akgün, G. Ünel, S. Erhan, S. Sekmen, U. Köse ve V. Yıldız. (2014)
3. «Collider Phenomenology», T. Han, arxiv: hep-ph/0508097 (2005).
4. "Introduction to Elementary Particles" , D. Griffiths, Wiley, 2nd revised edition, 2013.