

# ANALİZE GİRİŞ

Aytül ADIGÜZEL

PFBU - 2020

# İÇERİK

- ☑ Parçacık Fiziği
- ☑ Temel Parçacıklar
- ☑ Temel Etkileşmeler
- ☑ Parçacıkları Aramak
- ☑ Kısaca Algıçlar ve Parçacıklar
- ☑ Sert Saçılma
  - ☑ Jetler
- ☑ Dallanma Oranı
- ☑ Tesir Kesit
- ☑ Kinematik Değişkenler
  - ☑ Değişmez kütle
    - ☑  $W$  kütlesi ve MET
  - ☑ Dikey Momentum
  - ☑ Rapidity & pseudorapidity

# PARÇACIK FİZİĞİ

- ✓ Maddenin temel yapıtaşları nelerdir?
- ✓ Bu yapıtaşlarının davranışlarını en temel düzeyde kontrol eden kuvvetler nelerdir?
- ✓ Evren nasıl bugünkü halini aldı?



Parçacık Fiziği

Kozmoloji

Nükleer Fizik

Astrofizik

Katıhal Fiziği

Astronomi

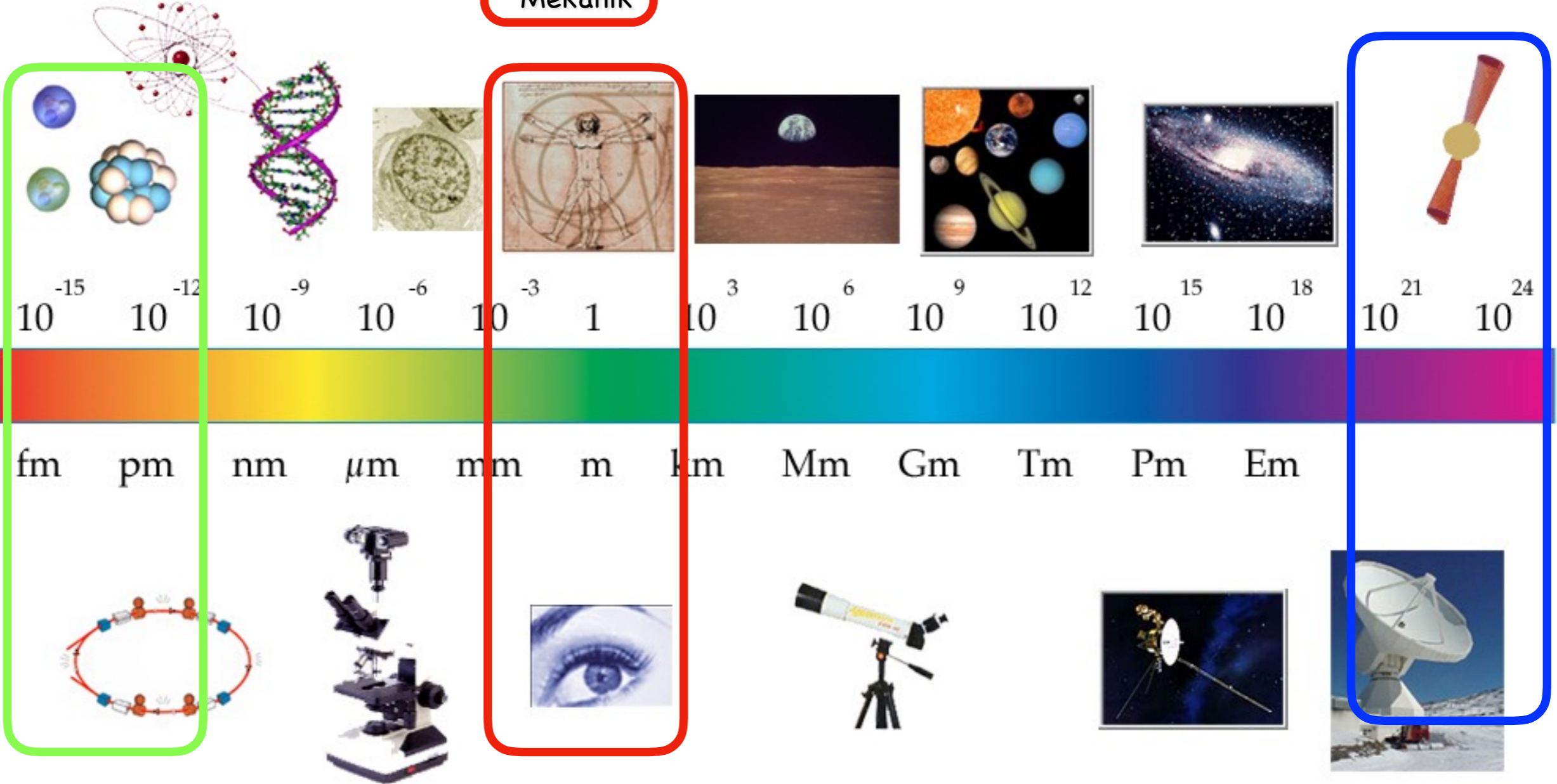
Küçük

Kimya-Biyoloji

Geofizik

Büyük

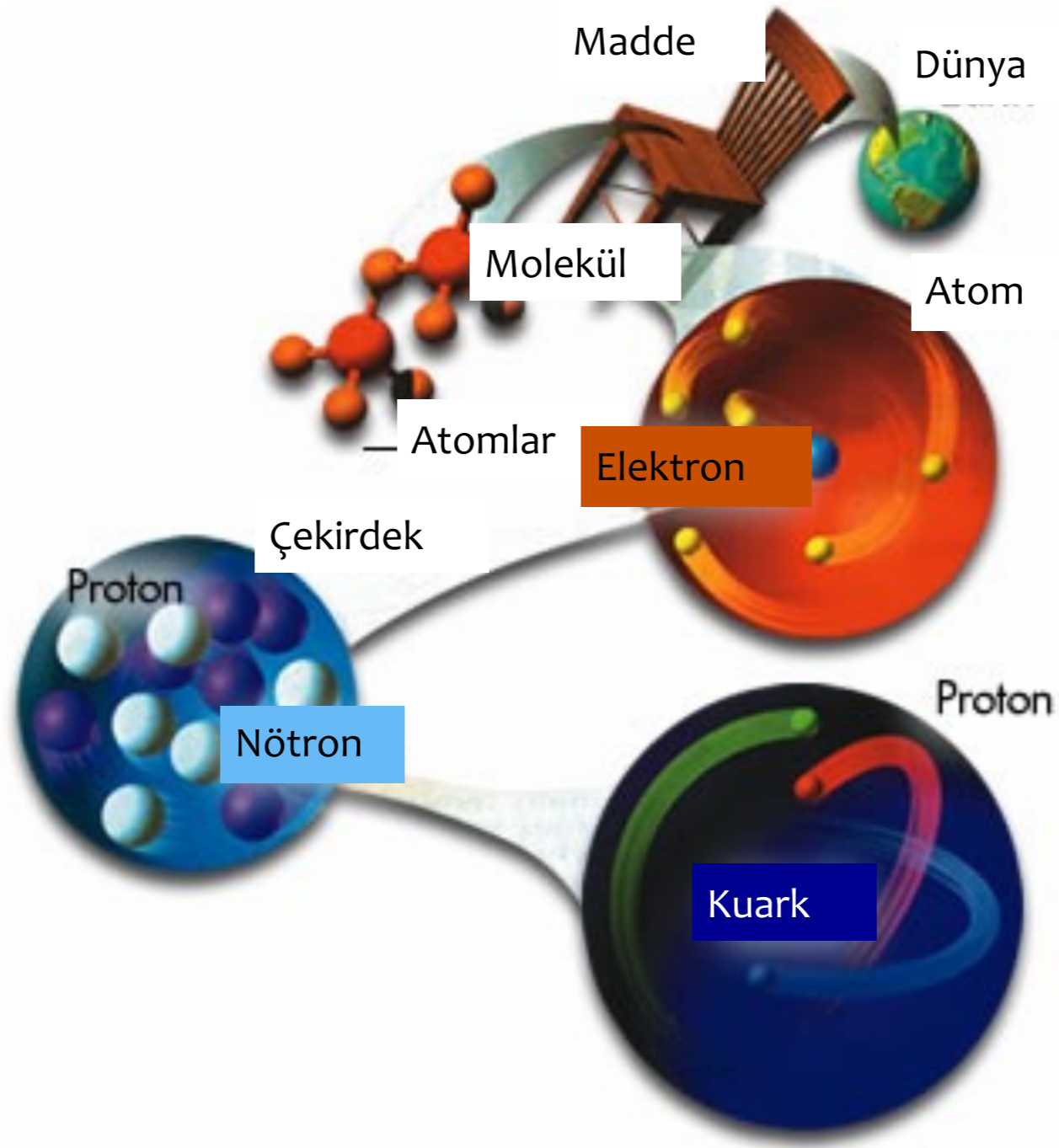
Mekanik



$10^{-15} \text{ m} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 \text{ m}$

D.Bertola/CERN

# Maddenin Yapıtaşları

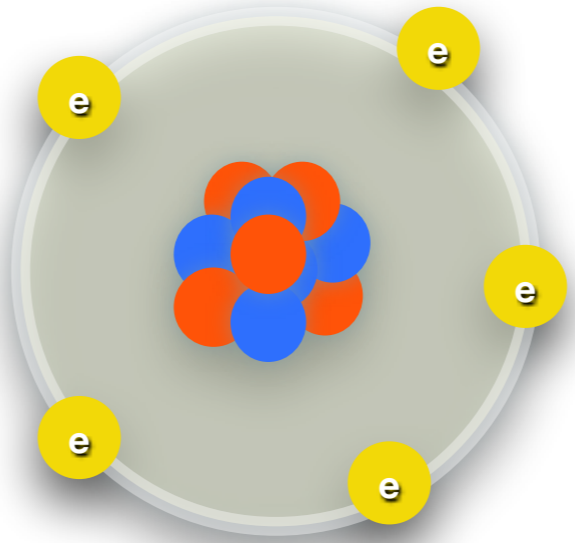
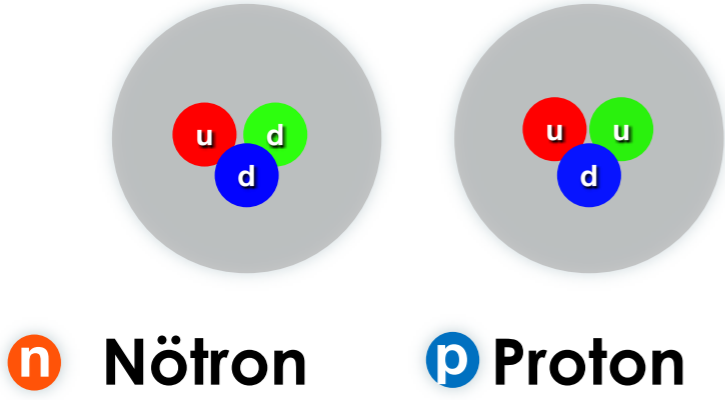


# TEMEL PARÇACIKLAR

- Fermiyonlar:
  - Kuarklar :  $u, c, t, b, d, s, \dots$  ?
  - Leptonlar:  $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau, e, \mu, \tau$

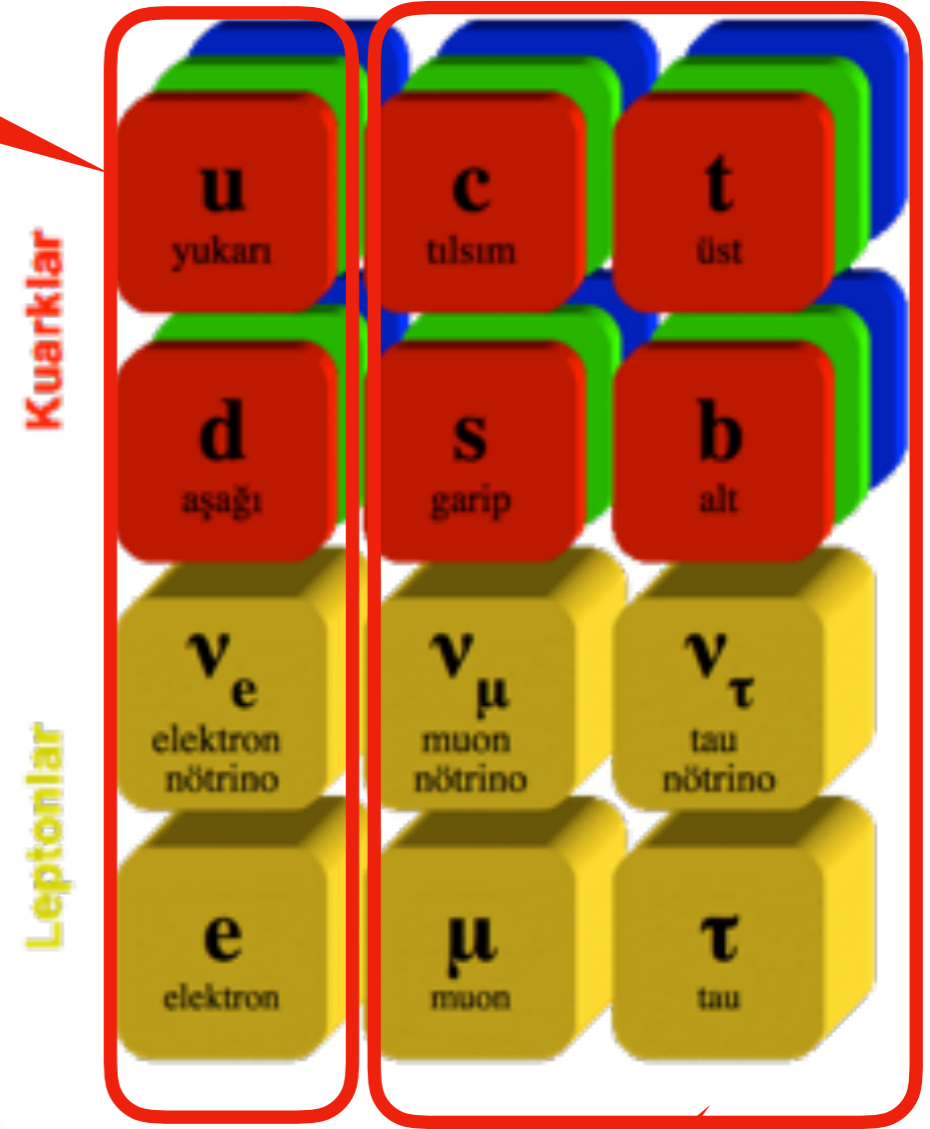
- Kuarklar bir araya gelerek hadronlar denilen birleşik yapıları oluştururlar.
  - Baryonlar (kuark/antikuark üçlülerinden)
  - Mezonlar (kuark-antikuark çiftlerinden)

- Çekirdekler, atomlar yukarıdakileri uygun şekilde karıştırarak yapılırlar:



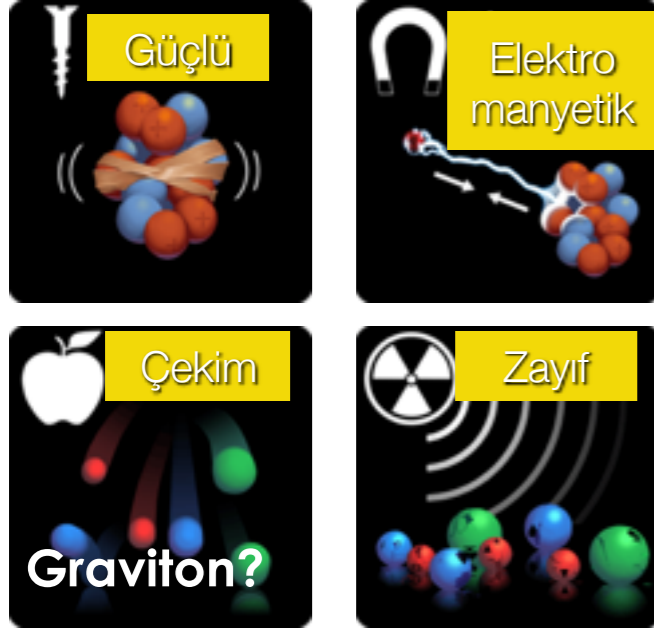
Etrafımızdaki cisimleri oluştururlar

Maddenin üç ailesi



Erken evrende ve laboratuvarında olanlar

# TEMEL ETKİLEŞMELER



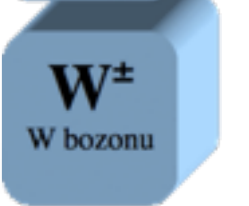
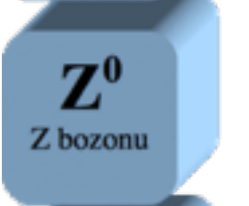
Elektromanyetik Etkileşme



Kuvvetli Etkileşme



Zayıf Etkileşme



- Tüm etkileşmeler madde ve kuvvet taşıyıcılarla açıklanabilir.
- Ancak henüz yerçekiminin taşıyıcılarını bulamadık.
  - Graviton araştırmaları devam ediyor
- Higgs bozonu 4 Temmuz 2012'de CMS ve ATLAS deneylerinde gözlenmiştir.



2013 Nobel Fizik Ödülü



François Englert

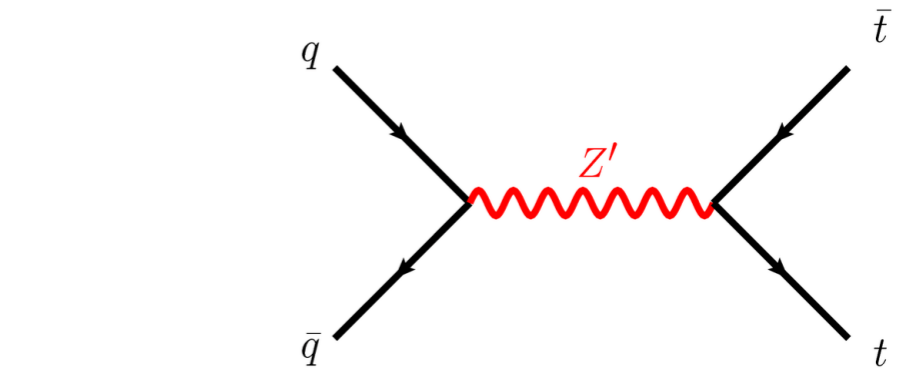
Peter Higgs

# PARÇACIKLARI ARAMAK

- Parçacıkları ölçmek için önce üretmek gerek :

$$E = mc^2$$

E : enerji, m: kütle , c: ışık hızı



- Gereken enerjiyi üretmek için hızlandırıcıları kullanırız,  
örneğin **Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)**
- Üretilen parçacıklar kendilerinden hafif başka parçacıklara bozunurlar.
- Bozunan parçacıkları gözlemlemek için çarpışma noktalarına algıçlar yerleştiririz.
- Algıçlar parçacıkları yakalayıp özelliklerini ölçerler: ATLAS, CMS, LHC-b , ALICE ....



# LARGE HADRON COLLIDER BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI

- 26,7 km uzunluğunda bir çember
- 9300 süpermanyetis
- 33000 ton
- sıcaklık: 1,9K
- iç basınç:  $10^{-13}$  at
- manyetik alan 8
- proton-proton çarpışmaları
- saniyede 600 mi
- proton enerjisi 7

Dünyanın en büyük makinesi

Bolu Dağı tüneline ~9 katı



# LARGE HADRON COLLIDER BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI

- 26,7 km uzunluğunda bir çember
- 9300 süpermanyetis

• 33000 ton

• sıcaklık: 1,9K

• iç basınç:  $10^{-13}$  atm

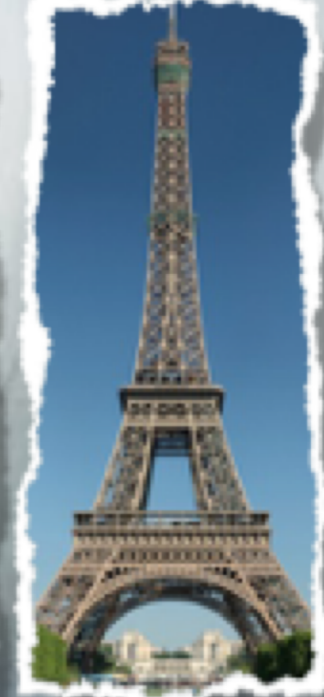
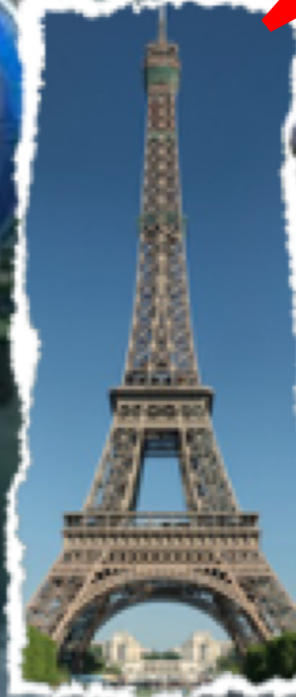
• manyetik alan 8,33T

- proton-proton çarpışmaları

• saniyede 600 milyon çarpışma

• proton enerjisi 7 TeV

yaklaşık  
3,5  
Eiffel  
kulesi



# LARGE HADRON COLLIDER BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI

- 26,7 km uzunluğunda bir çemb
- 9300 süpermanyetis
- 33000 ton
- sıcaklık: 1,9K
- iç basınç:  $10^{-13}$  atm
- manyetik alan 8,33T
- proton-proton çarpışmaları
- saniyede 600 milyon çarp
- proton enerjisi 7 TeV

dünyanın  
en büyük  
buzdolabı

-59 °C

saf antifriz donar

-89 °C

Kutuplarda ölçülmüş en düşük  
sıcaklık

-183 °C

Oksijen sıvıya döner

-270,5 °C

Dış uzayın sıcaklığı

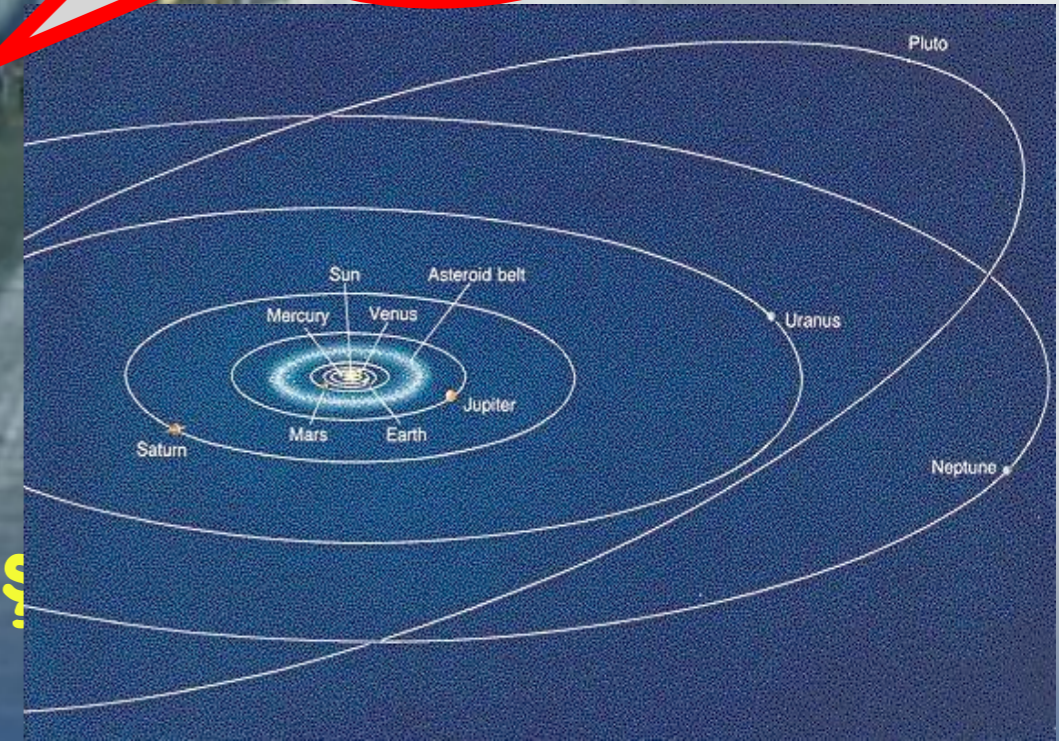
-271,3 °C

1,9 K

# LARGE HADRON COLLIDER BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI

- 26,7 km uzunluğunda bir çember
- 9300 süpermanyetis
  - 33000 ton
  - sıcaklık: 1,9K
  - iç basınç:  $10^{-13}$  atm
  - manyetik alan 8,33T
- proton-proton çarpışmaları
  - saniyede 600 milyon çarpış
  - proton enerjisi 7 TeV

Güneş  
sistemindeki  
en boş yer



# LARGE HADRON COLLIDER BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI

- 26,7 km uzunluğunda bir çember
- 9300 süpermanyetis
  - 33000 ton
  - sıcaklık: 1,9K
  - iç basınç:  $10^{-13}$  atm
  - manyetik alan 8,33T
- proton-proton çarpışmaları
  - saniyede 600 milyon çarpışma
  - proton enerjisi 7 TeV

Dünyanın  
manyetik  
alanının 150  
bin katı



# LARGE HADRON COLLIDER BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI

- 26,7 km uzunluğunda bir çember
- 9300 süpermanyetis
  - 33000 ton
  - sıcaklık: 1,9K
  - iç basınç:  $10^{-13}$  atm
  - manyetik alan 8,33T
- proton-proton çarpışmaları
  - saniyede 600 milyon çarpışma
  - proton enerjisi 7 TeV

1 yılda çıkan veriyi CD'lere yazsak, 20km'lik bir dağ olurdu...

1 yıllık LHC verisi  
(20 km)

Concorde  
(15 Km)

Mt. Blanc  
(4.8 Km)

# LARGE HADRON COLLIDER BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICI

- 26,7 km uzunluğunda bir çember
- 9300 süpermanyetis
  - 33000 ton
  - sıcaklık: 1,9K
  - iç basınç:  $10^{-13}$  atm
  - manyetik alan 8,33T
- proton-proton çarpışmaları
  - saniyede 600 milyon çarpışma
  - proton enerjisi 7 TeV

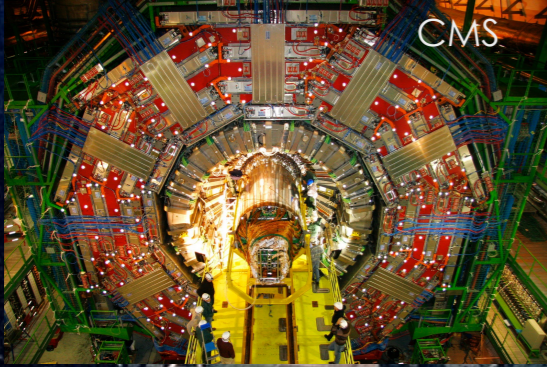
Protonların hızı:  
ışık hızının  
%99.999991'i.

Çarpışmaların  
sıcaklığı:  
Güneşin  
merkezinden  
100 bin kat  
fazla...

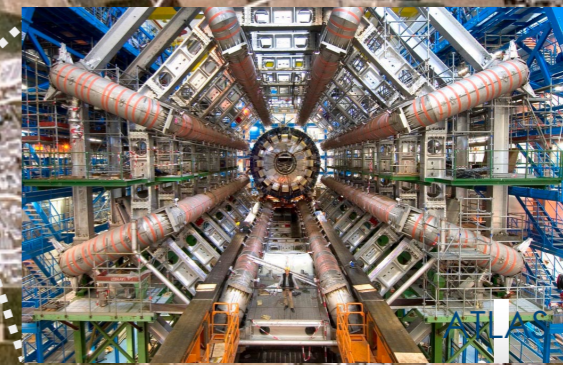
# KISACA ALGIÇLAR

BHÇ Çarpışmalarını nasıl görürüz?

- Yüksek çözünürlüklü fotoğraf makinalarıdır
- BHÇ'deki çarpışmaları **4 büyük, 2 küçük 'algıç'** ile izliyoruz



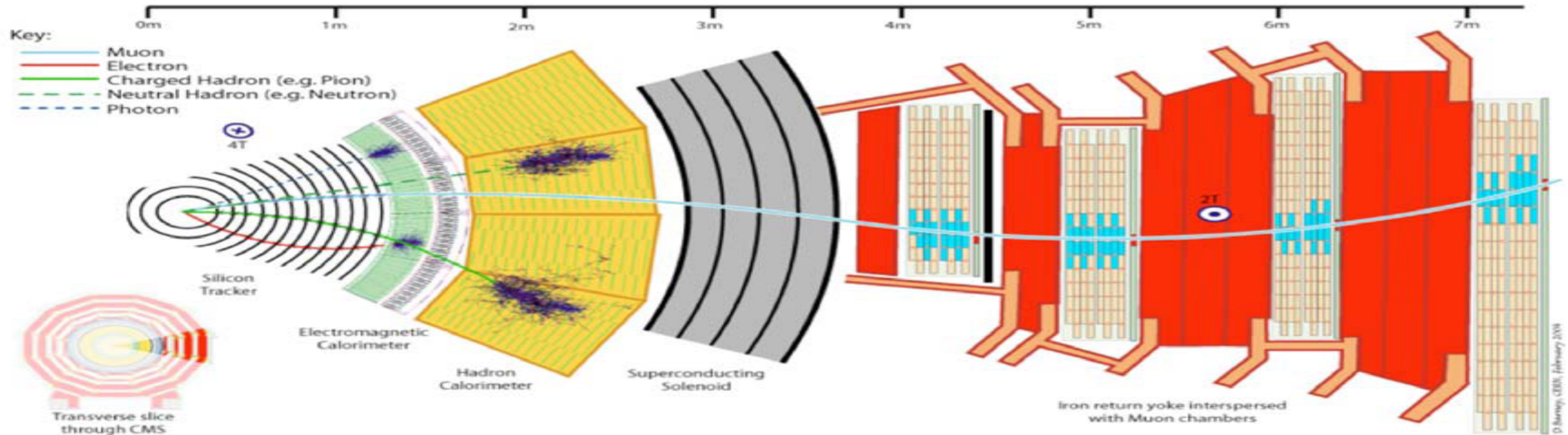
- ✓ İlk pp çarpışması Mart 2010,
- ✓ İlk Pb-Pb çarpışması Kasım 2010
- ✓ pp çarpışmalarının enerjisi
  - ✓ 7 TeV, 2011
  - ✓ 8 TeV, 2012
  - ✓ 13 TeV, 2015, 2016, 2017 ve 2018





# ÖRNEK: CMS ALGICINDAN PARÇACIKLARIN GEÇİŞİ

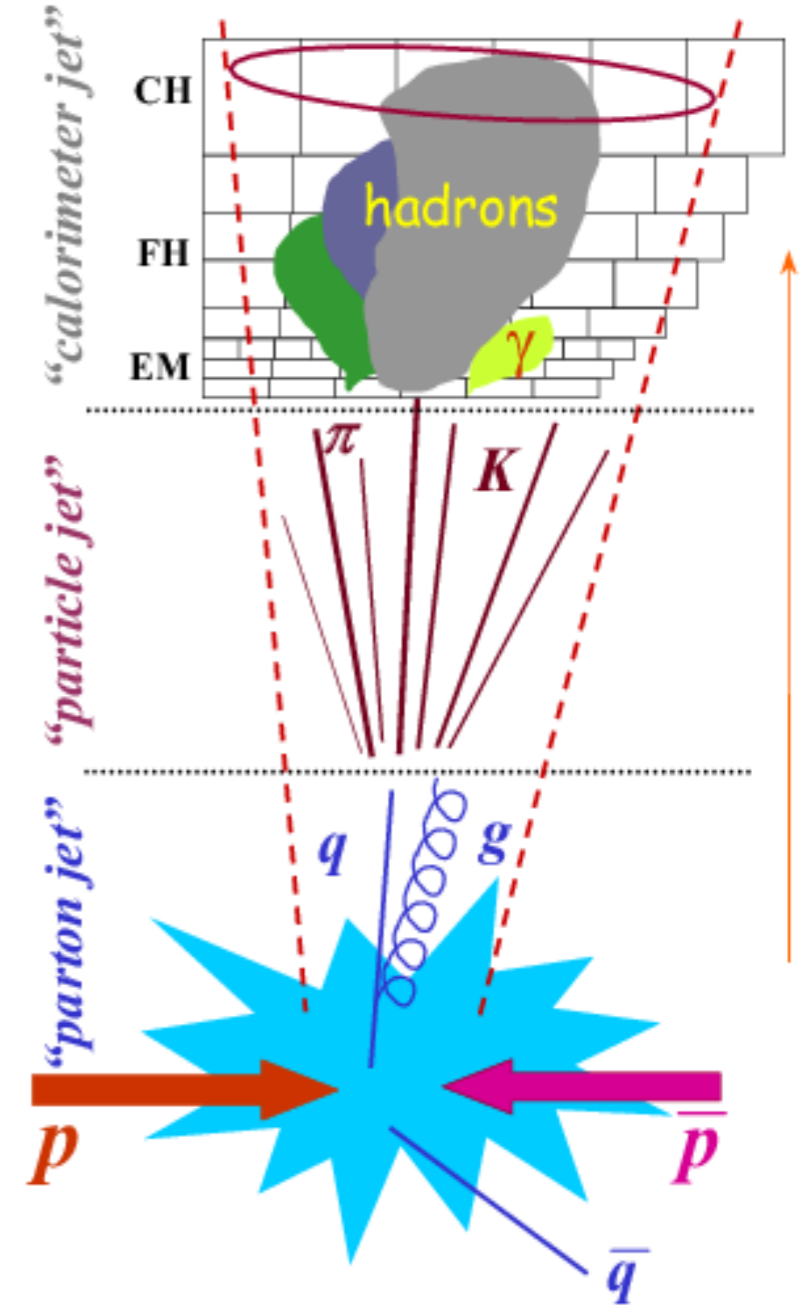
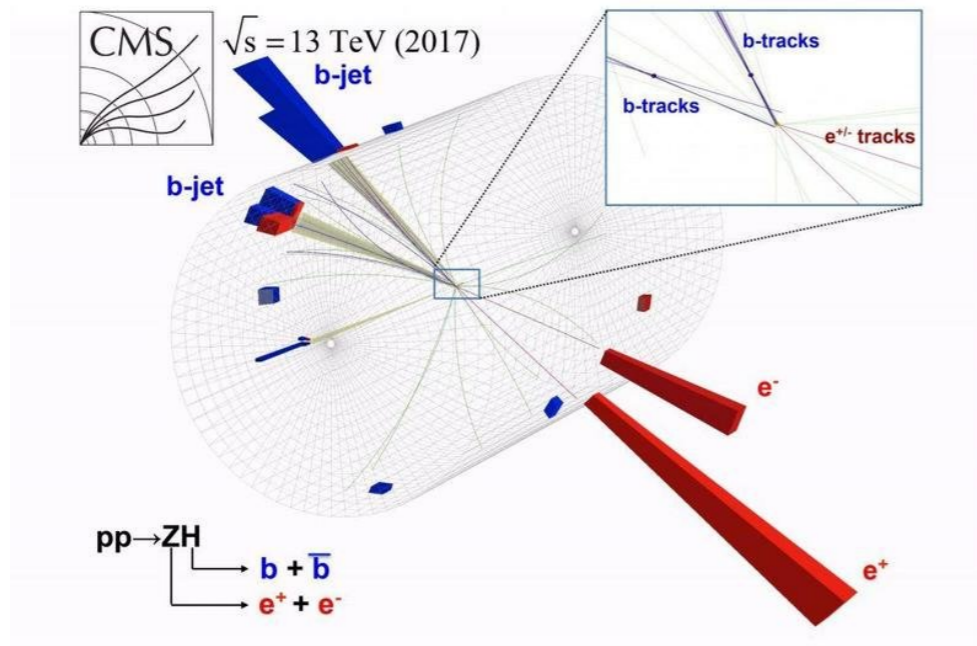
- Farklı parçacıklar algıcın farklı katmanları ile farklı şekilde etkileşirler.
- Etkileşim izlerine bakarak parçacıkları (e, muon, tau, foton, jet, b-jet, kayıp dikey enerji (MET)) tanımlar ve özelliklerini ölçeriz.



Particle	Detection Method
Photon	No signal in Tracker, signal in ECAL, no signal in HCAL or Muon chambers
Electron/Positron	Signal in tracker, signal in ECAL, no signal in HCAL or Muon chambers
Charge Hadron (e.g. $p^+$ , $n^-$ , $K^+$ , ...)	Signal in tracker, essentially no signal in ECAL, signal in HCAL, no signal in Muon chambers
Neutral Hadron (e.g. $n$ , ...)	No signal in tracker, no signal in ECAL, signal in HCAL, no signal in Muon chambers
Muon	Signal in tracker, no signal in ECAL or HCAL, signal in Muon chambers
Neutrinos, SUSY Particles, ...	No signal in any subdetector, presence inferred from missing energy

# SERT SAÇILMA

- BHÇ' de iki proton çarpıştığında aslında çarpışan iki partondur : qq, qg, gg
- Çarpışma sonucu partonlar birbirinden saçılabilir, kuark ve gluonlara bozunan parçacıklar oluşabilir.
- Kuarklar ve gluonlar renk yükü taşıdıkları için serbest halde bulunamazlar.
- **JETLER** yüksek enerjili çarpışmalarda açığa çıkan parçacık fışkiyesi olarak bilinen parçacık püskürtüleridir.
  - Partonların (kuark ve gluonların) dedektörde deneysel işaretleridir.
  - Algıçlarda kalorimetrelerde bıraktıkları enerjiler sayesinde tespit edilirler.



# DALLANMA ORANI (BRANCHING FRACTION - BR)

- Çoğu parçacık bir kaç farklı yolla bozulabilir:
  - Örneğin pion ( $\pi^+$ ):
    - $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$  (genellikle)
    - $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$  (bazen)
    - $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu + \gamma$  (nadir)
    - $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \pi^0$  'a bozunduğu da bilinir.
- Böyle durumlarda bozunma oranı ayrı ayrı bozunma oranlarının toplamıdır:

$$\Gamma_{top} = \sum_{i=1}^n \Gamma_i$$

- Parçacığın ömrü  $\Gamma_{top}$  'ın tersidir :

$$\tau = \frac{1}{\Gamma_{top}}$$

- Parçacığın ömrüne ek olarak, çeşitli **dallanma oranlarını** yani **verilen tipteki tüm parçacıkların değişik kanallara ait bozunma kesirlerini** hesaplamak isteriz.

- Dallanma oranları bozunma oranları tarafından belirlenir :

i. bozunma kanalı için dallanma oranı =  $\frac{\Gamma_i}{\Gamma_{top}}$

# TESİR KESİT

- Belli bir parçacık etkileşiminin hangi olasılıkla meydana geleceğini gösteren niceliğe **tesir kesiti ( $\sigma$ )** denir.

- Tesir kesiti alan birimleri ile ölçülür, (**barn ( $10^{-28} \text{ m}^2$ )**, **pikobarn**, **femtobarn**).
- Tesir kesiti, etkileşimde yeralan parçacıkların cinsine, özelliklerine ve etkileşim enerjisine bağlıdır.
- Etkin tesir kesiti  $\sigma_e$  ise tesir kesiti ( $\sigma$ ) ile dallanma oranı (branching ratio - BR) ve olay seçim verimliliğinin ( $\varepsilon$ ) çarpımı ile elde edilir :  $\sigma_e = \sigma \times BR \times \varepsilon$

- BHÇ'de **ışınllık (luminosity, L)**, saniyede 1  $\text{cm}^2$ 'de kaç pp çarpışması olduğunu ölçümüdür.

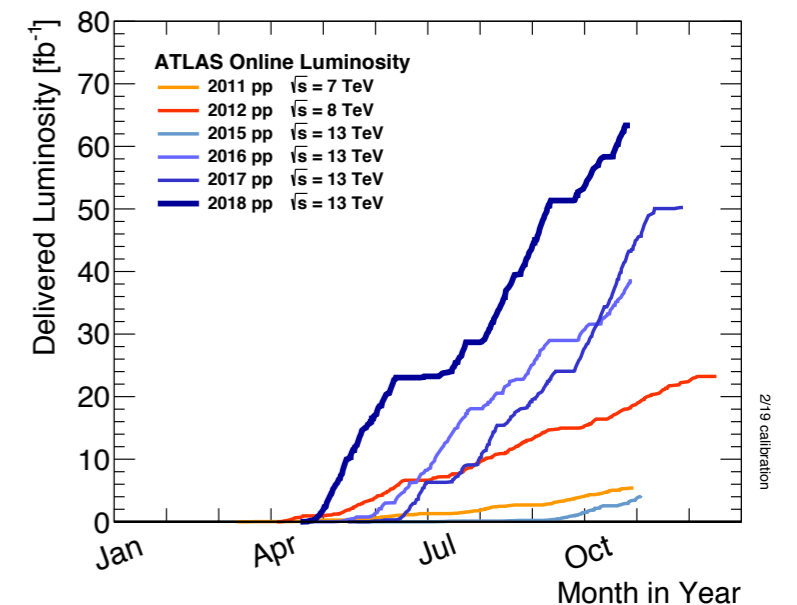
- Işınllık  **$\text{cm}^{-2}\text{sn}^{-1}$**  birimi ile ölçülür.

- Toplam ışınllık ise belli bir zaman sürecinde birim alanda kaç pp çarpışması olduğunu bir ölçümüdür.  **$\text{fb}^{-1}$ ,  $\text{pb}^{-1}$  gibi birimlerle ölçülür.**

- BHÇ'de oluşan etkileşim (olay) sayısı N:

$$N = \sigma_e \times L = \sigma \times BR \times \varepsilon \times L$$

şeklinde hesaplanır.



# KİNEMATİK DEĞİŞKENLER : değişmez kütle

- n tane son durum parçacığına bozunan bir parçacık için değişmez kütle:

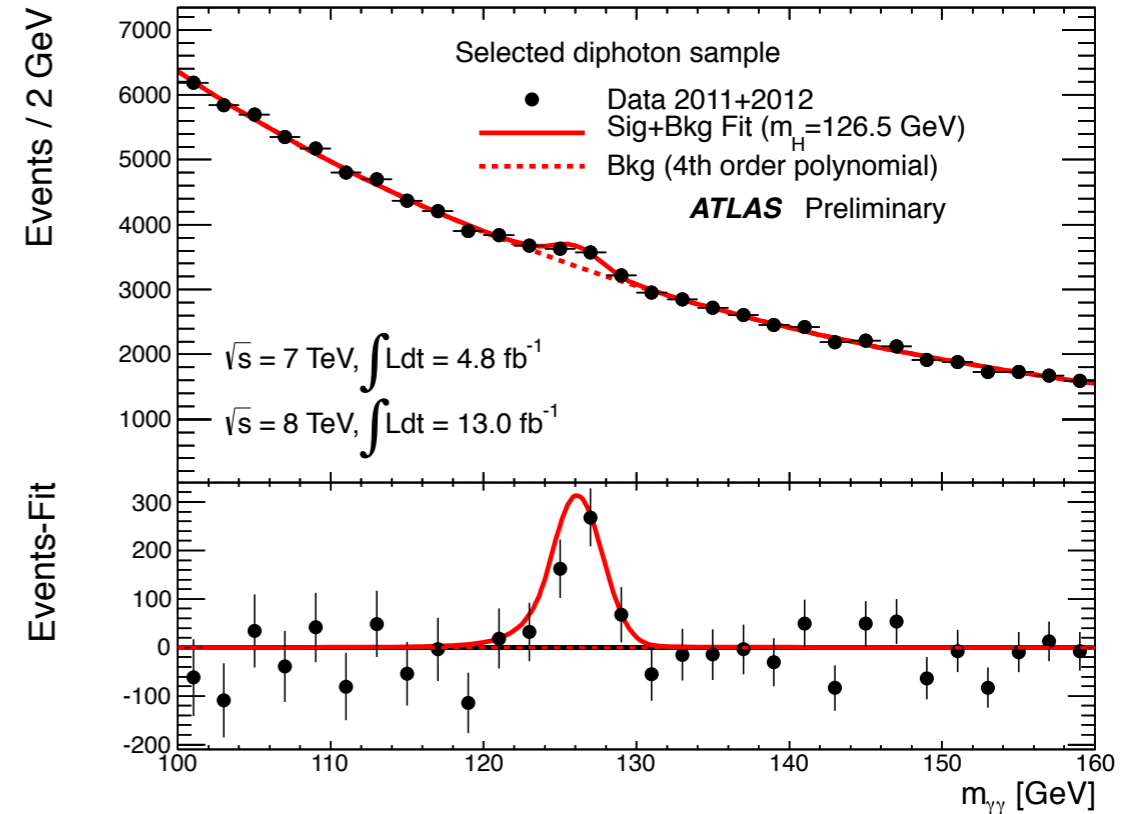
$$m^2 = \left( \sum_{i=0}^n E_i \right)^2 - \left| \sum_{i=0}^n \vec{p}_i \right|^2$$

Örneğin; Higgs'li son durumları  
Higg'siz son durumlardan ayırt  
etmeye yarayan bir özellik

- **Değişmez kütle her referans çerçevesinde aynıdır** ve ana parçacığın (örneğin Higgs'in) kütlesine eşittir.
- Ana parçacık için **değişmez kütle** ancak tüm **son durum parçacıklarının 4-momentumu bilinirse hesaplanabilir.**
- **Enerji ve momentum birlikte bir dört-vektör oluştururlar, enerji - momentum dört-vektörü (veya dört - momentumu):**

$$P = (E, p_x, p_y, p_z) \quad c=1$$

- **Değişmez kütle**, seçimde kütlesi bilinen parçacıklar ya da görünür parçacıklara bozunduğu varsayılan yeni parçacıklar aranırken kullanılır.
- **Değişmez kütle** yeni fizik arayışlarına dolaylı yoldan da yardım eder.



# W Kütlesi

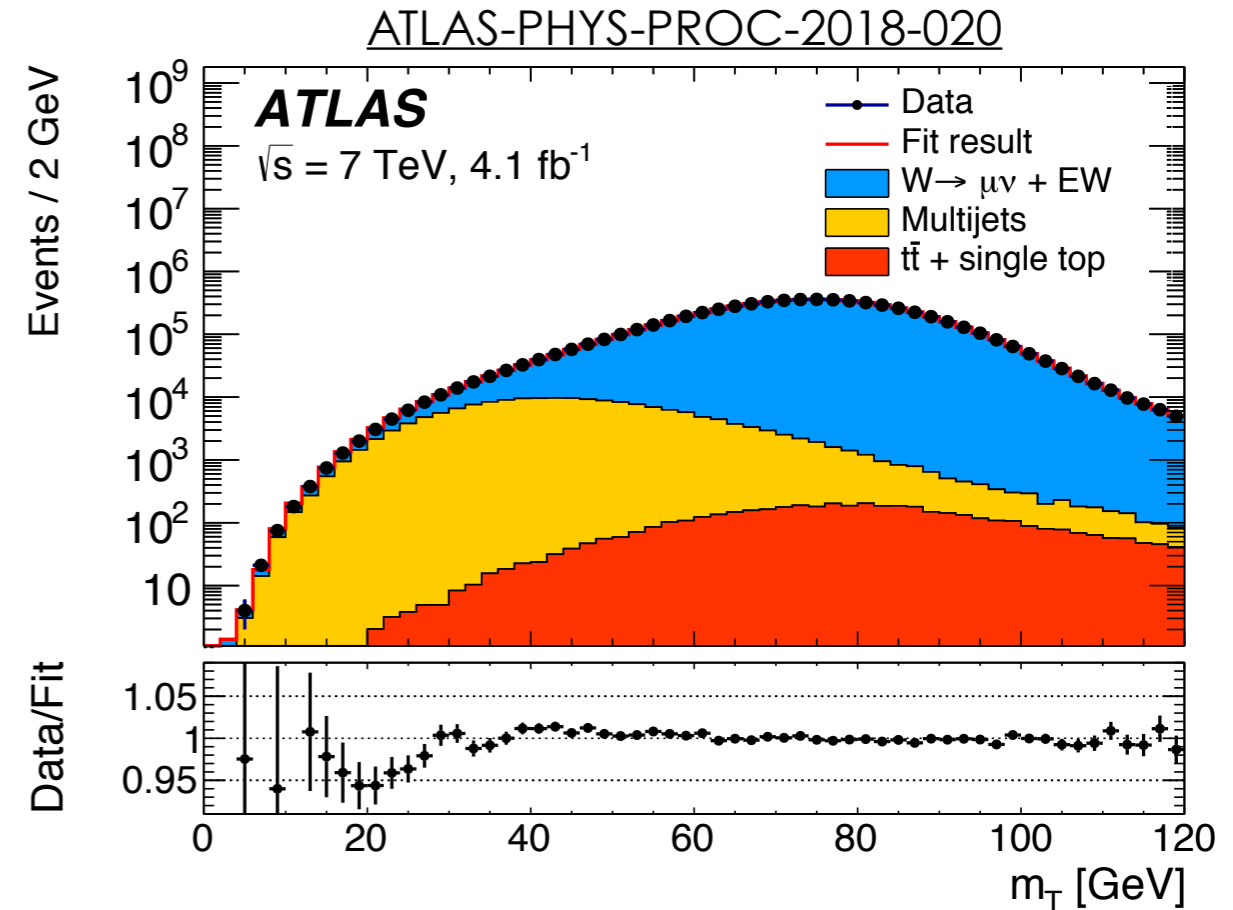
## KAYIP DİKEY ENERJİ (MET)

- **AMA** her zaman son durum parçacıklarının dört momentumunu bilemeyiz.
- Örneğin  $W \rightarrow l\nu$  bozunumlarında nötrinolar algıçtan kaçır. Olayda sadece tek  $\nu$  varsa  $\nu$  dikey kütlesini olaydaki **kayıp enerjinin**  $p_T$ 'si olarak tanımlarız. W dikey kütlesini şöyle tanımlarız:

$$m_T^W = \sqrt{2p_T^\ell E_T^{\text{miss}} \cdot (1 - \cos(\theta_{p_T^\ell, E_T^{\text{miss}}}))}$$

$$E_T^{\text{miss}} = p_T^\nu \quad ; \text{ kayıp dikey enerji}$$

$$p_T^\ell \quad ; \text{ yüklü leptonun dikey momentumu}$$

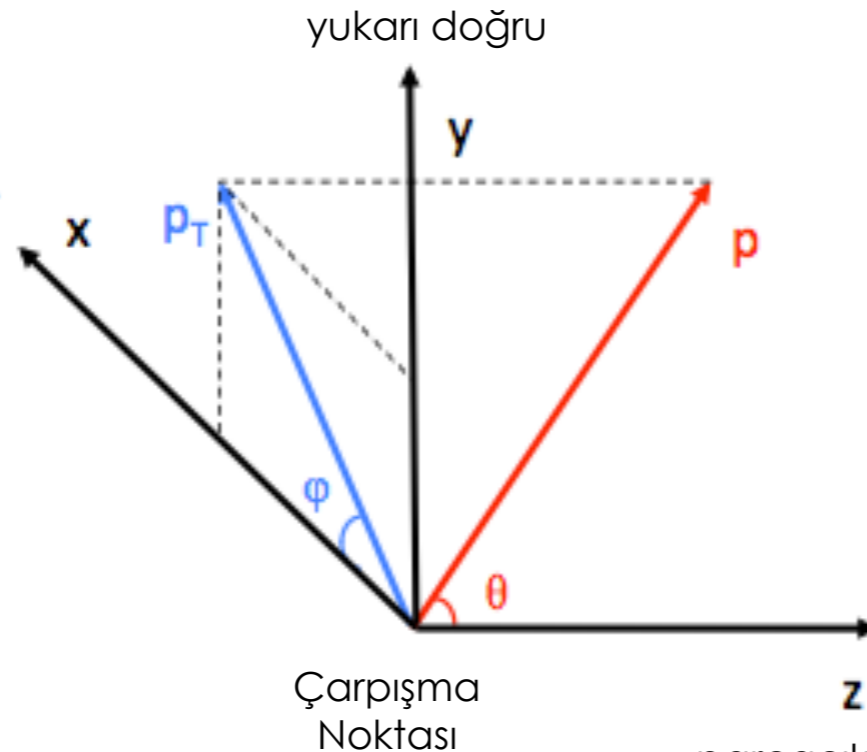


# KİNEMATİK DEĞİŞKENLER : dikey momentum

- BHÇ çarpışmalarındaki olayların çoğu iki partonun etkileşmesinden kaynaklanmaktadır: **qq, qg, gg**
- Bu partonlar tarafından taşınan enerji kesri bilinmediğinden, bir olaydaki toplam enerji bilinmez:
  - Hangi partonların çarpıştığını, bunların protonun momentumunun ne kadarına sahip olduklarını bilmiyoruz, yani çarpışmadan önceki parton bilgisi eksik ...
- Gelen proton enerjilerinin bir kısmı birbiri ile etkileşmeyen ve hüzmenin izlediği yol boyunca ilerleyen diğer partonlar tarafından taşınır.
- Bu nedenle fiziksel nicelikler tanımlanırken dik düzlemdeki bileşenler kullanılır:
  - **Parçacıkların momentumunun büyüklüğü, dik momentum  $P_T$**

z eksenine olan kutup açısı:  $\theta$   
x-y düzleminde ölçülen azimuthal açı:  $\phi$

Hızlandırıcı halkasının merkezine doğru



parçacık demetine veya manyetik alana paralel olacak şekilde yönelmiştir

$$p_T = p \cdot \sin \theta = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$$

$$E_T = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

# KİNEMATİK DEĞİŞKENLER : rapidity

- Özel görelilikte referans çerçevelerini ilişkilendirmek için kullanılan birim parabolün bir parametresidir.
  - Hiperbolik bir açı
    - Bu açı uzay-zaman oluşturan koordinat sistemine eşlik eden sbt bir ref. sisteminden hareketli bir ref. sistemini ayırır.
- Parçacık fiziğinde kullanılan diğer niceliklerden biridir ve şöyle tanımlanır :

$$y = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{E + p_z}{E - p_z} \right) .$$

*E ; gelen parçacığın enerjisi*  
*p<sub>z</sub> ; boyuna momentum*

- Kutup açısı yerine Pseudorapidity kullanılır, **pseudorapidity**, rapidity'nin bir yaklaşımıdır;  $E \gg m$  iken rapidity

$$\eta = -\ln \left( \tan \frac{\theta}{2} \right) .$$

olarak verilir.

*$\theta$  ; parçacık momentumu ile hız eksenini arasındaki açıdır.*