

Higgs Bozonu

Efe Yazgan

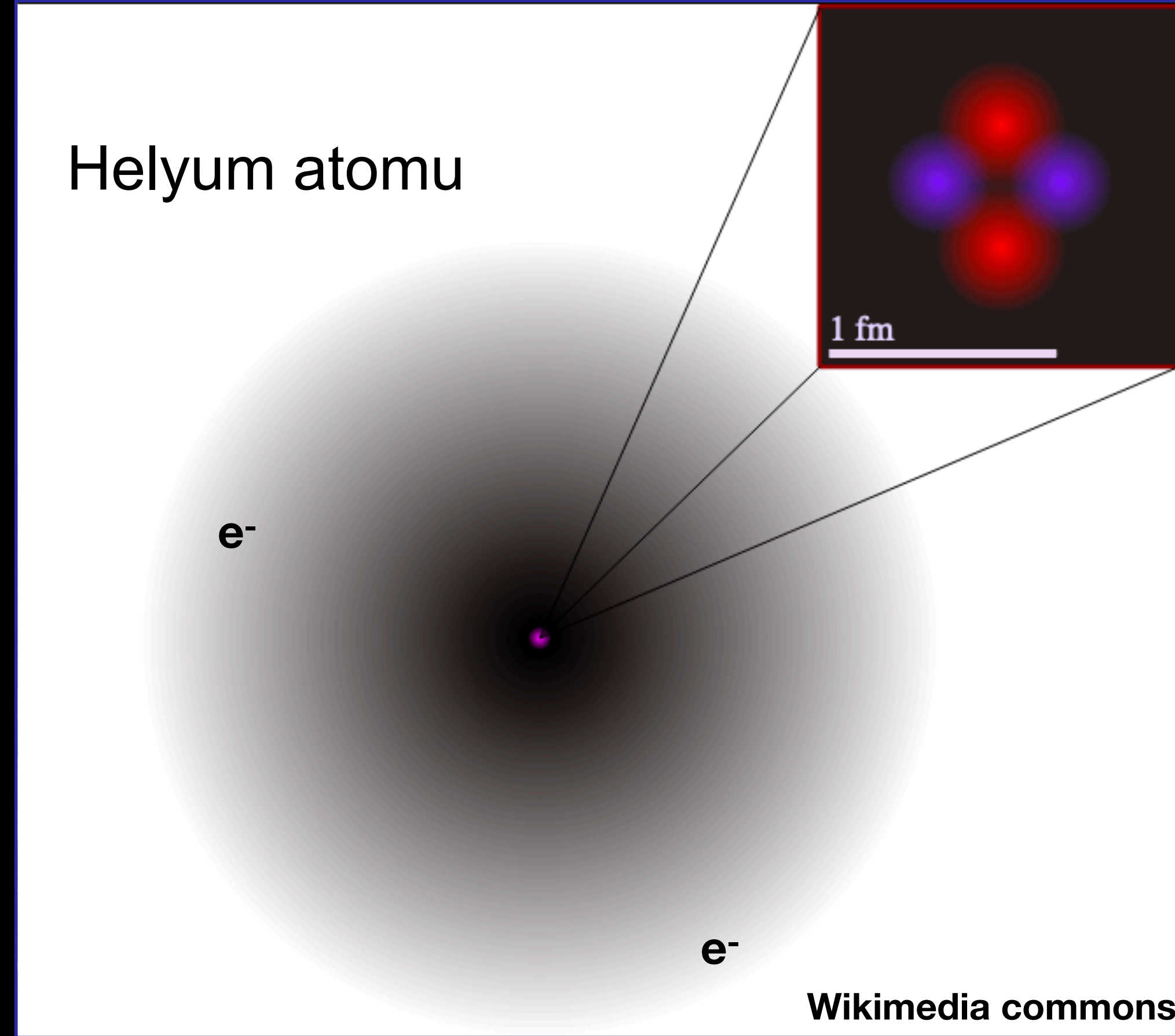
*CMS Deneyi,
Ulusal Tayvan Üniversitesi*

Ofis: CERN EP-UCM
Bat 42 2-031 E03300
CH 1211 Cenevre, İsviçre

<https://cern.ch/efe>

efe@cern.ch

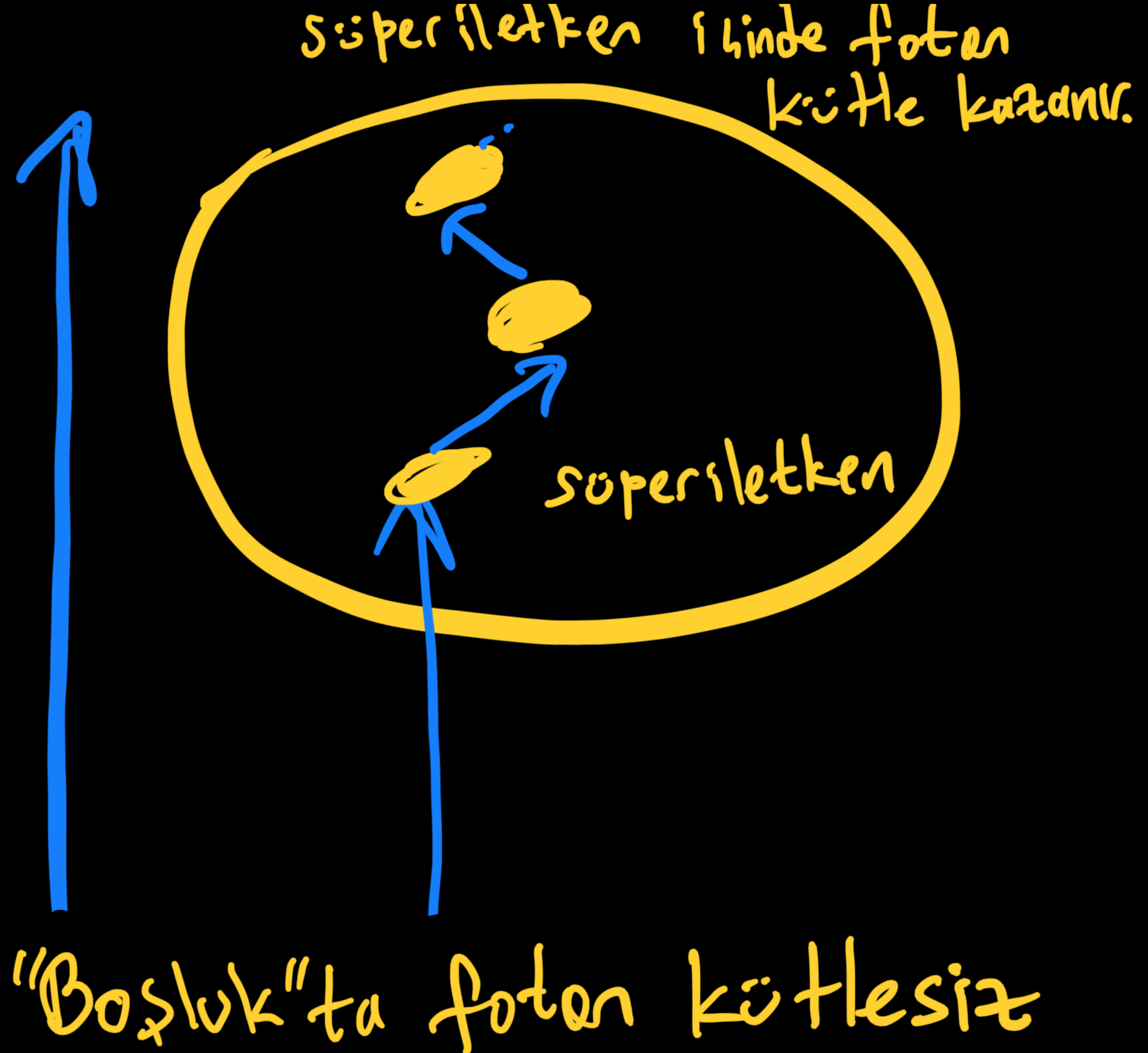
Higgs alanı var olabilmemiz için gerekli bir koşul



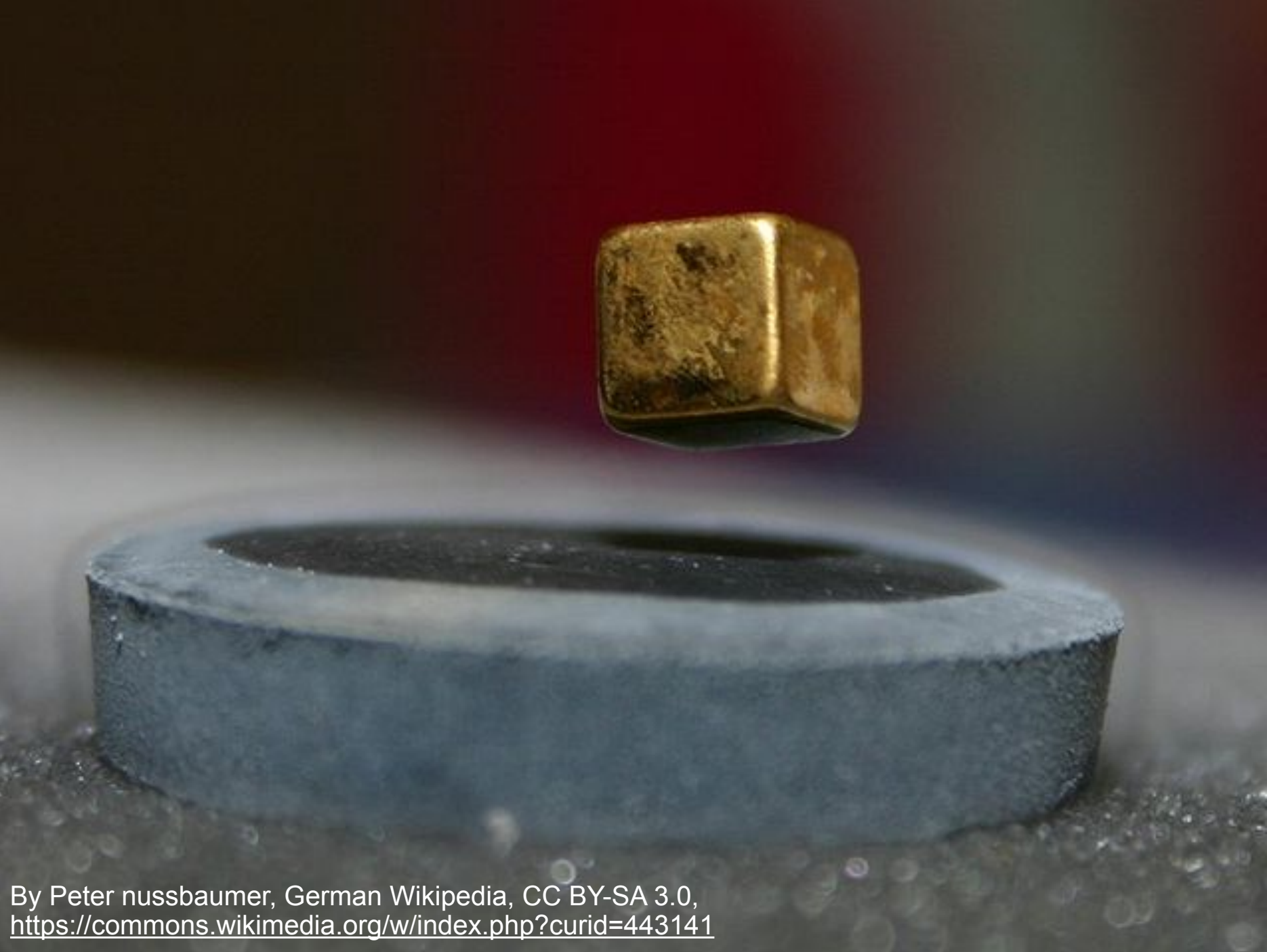
- Eğer elektronlar kütesiz olsaydı, atom çekirdeklerine bağlanamazlardı \rightarrow atomlar, ve moleküller olamazdı \rightarrow bitkiler, hayvanlar, insanlar, Dünya, Güneş, ... var olamazdı!
- Elektron (e^-) bir temel parçacık (\Rightarrow bir büyüklüğü yok) \rightarrow o zaman nasıl kütlesi var?

Işık Nasıl Kütle Kazanır?

- Kütle bir parçacığın bir 'ortamda' hız değişimine ne kadar direnç gösterdiğinin ölçüsü.
- Uzay gerçek anlamda boş olsaydı, elektronlar (ve bütün diğer temel parçacıklar) kütleless olurdu.
- Foton (ışık parçacığı) süperiletkenlerde (dolaylı bir şekilde) kütle kazanır.
 - Ör: 'Uçan' trenlerin arkasındaki presip.



Fotonlar Nasıl Kütle Kazanır?



By Peter nussbaumer, German Wikipedia, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=443141>

*Mıknatıs süperiletkenin
üzerinde havada duruyor.*

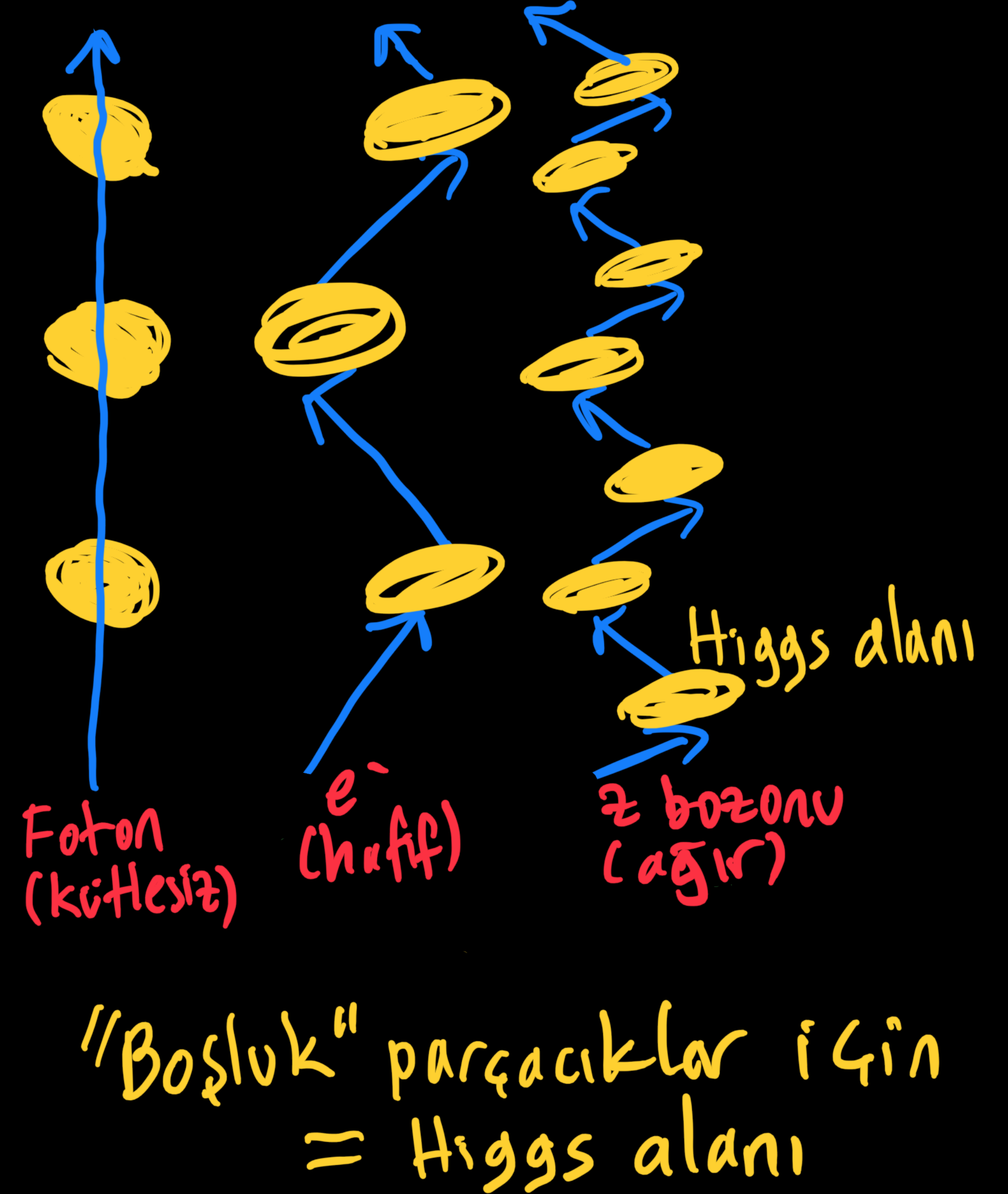


**Alex Needham (own photography) on
en.wikipedia, Public domain, via Wikimedia Commons**

*Shangay magnetic levitation (maglev) treni. Süperiletkenler
trenleri havada tutabiliyorlar!*

Temel Parçacıklar Nasıl Kütle Kazanır?

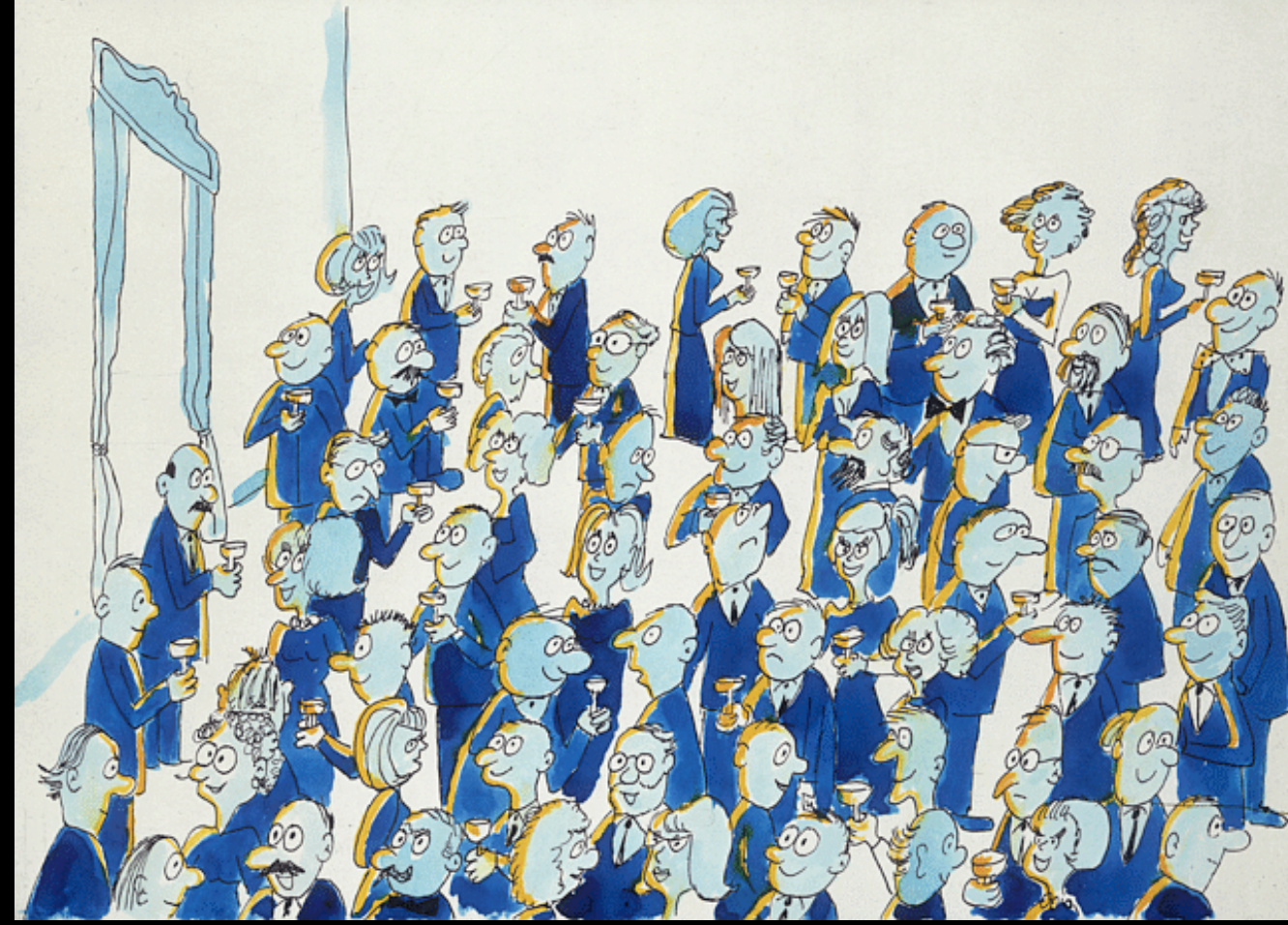
- Fotonların süperiletkenlerde kütle kazanma mekanizmasından esinlenerek Peter Higgs ve diğerleri Higgs mekanizmasını 1964 yılında ortaya attı → temel parçacıklar bütün evreni kaplayan Higgs alanıyla etkileşerek kütle kazanır (foton hariç).
- Parçacık fiziği teorisinde bozonlar ve diğer temel parçacıklar başta kütesizdir → simetrik durum
- Ama Higgs alanı olduğunda, bu simetri 'kırılır' ve değişik temel parçacıklar değişik kütleler kazanırlar.



Higgs mekanizması ve bozonu

Higgs mekanizması:
Parçacıklar nasıl kütle kazanır

Ya da ünlü birinin kalabalıktan geçişi:
Higgs alanı \leftrightarrow Diğer insanlar
Temel parçacık \leftrightarrow Ünlü



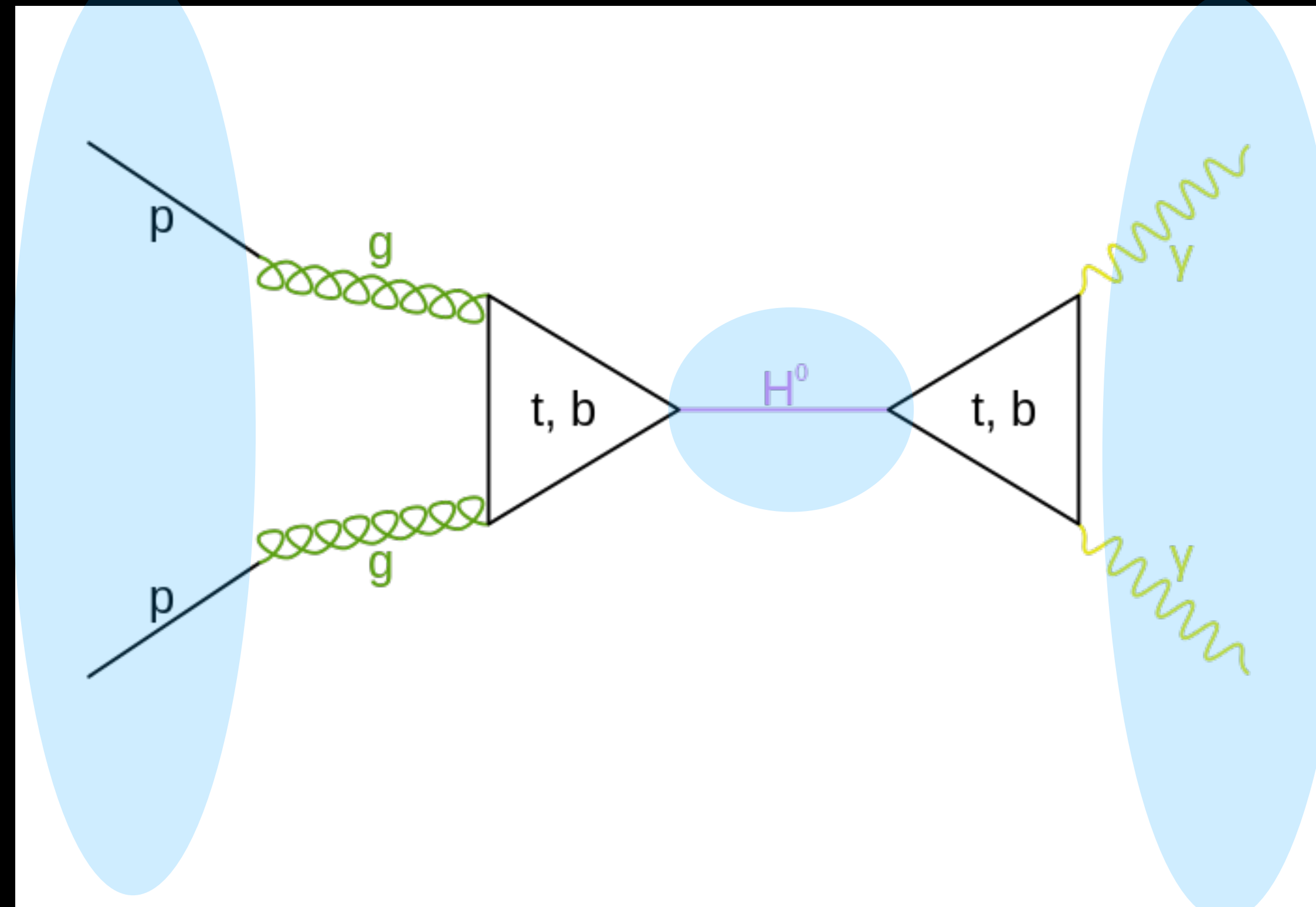
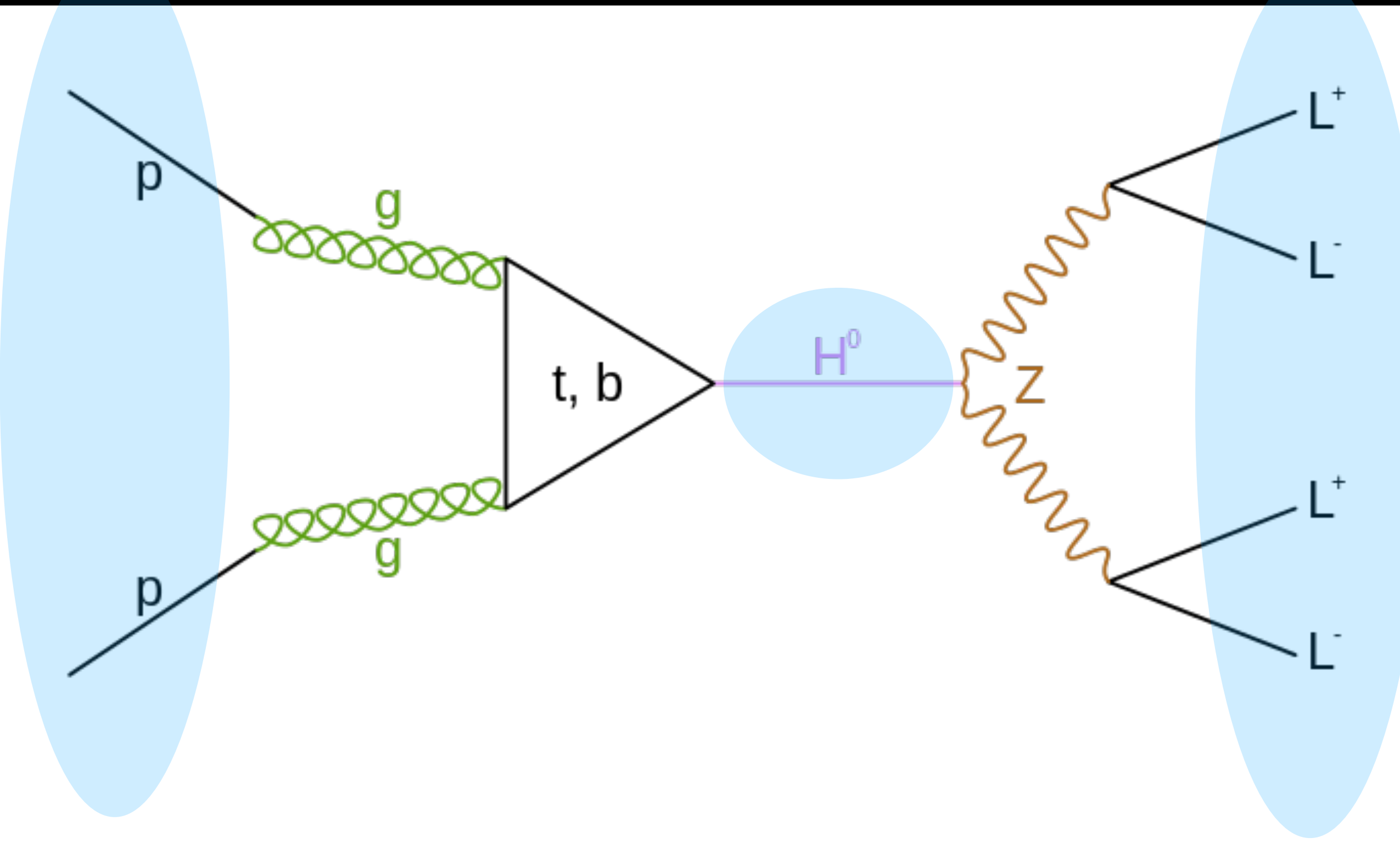
Higgs bozonu:
Higgs parçacığı

Ya da kalabalıkta dedikodunun Yarattığı gruplaşma

Higgs alanı \leftrightarrow Diğer insanlar
LHC \leftrightarrow dedikodu
Higgs parçacığı \leftrightarrow Gruplaşmış insanlar.



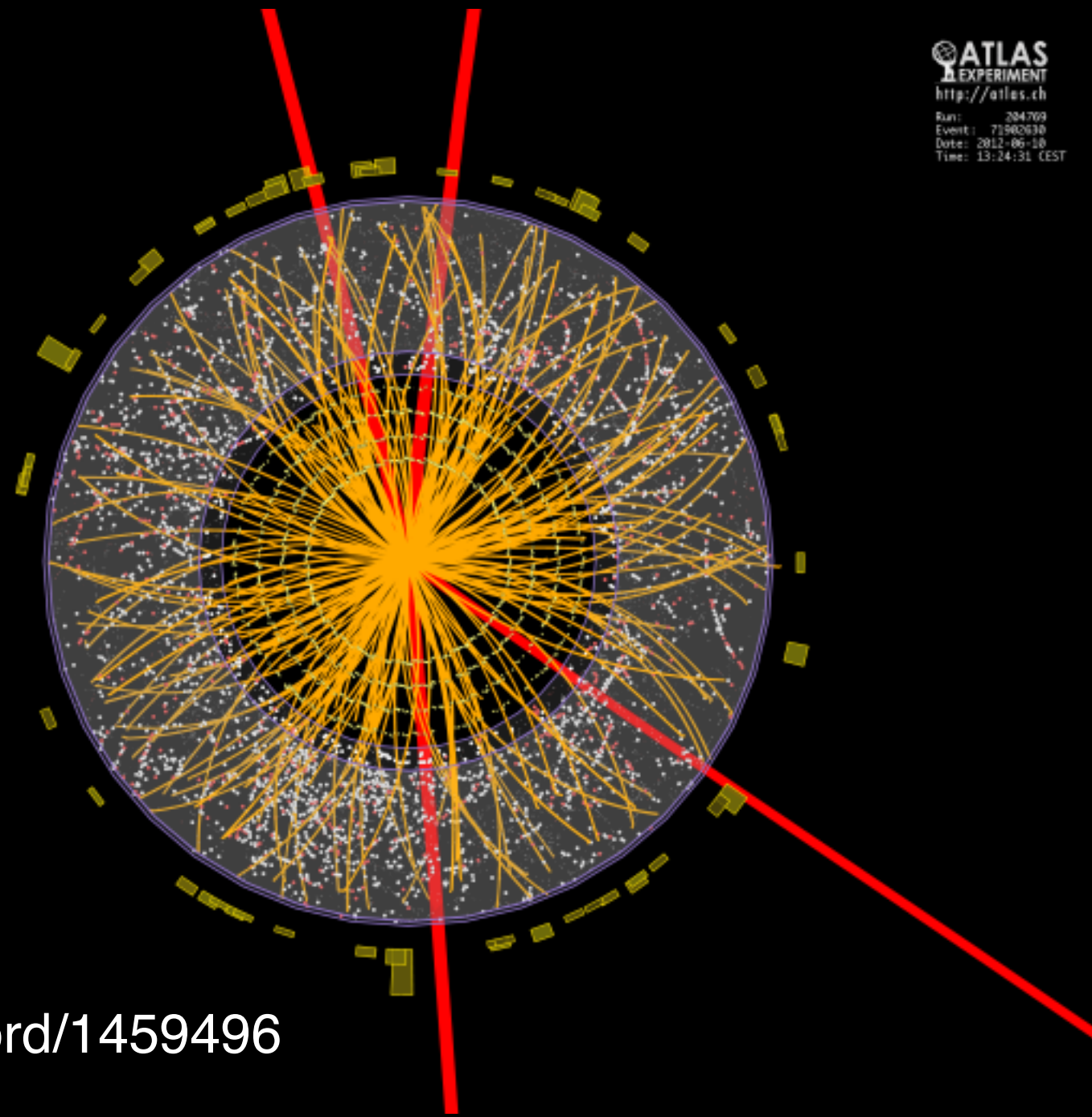
Higgs Bozonu'nu gözlemek



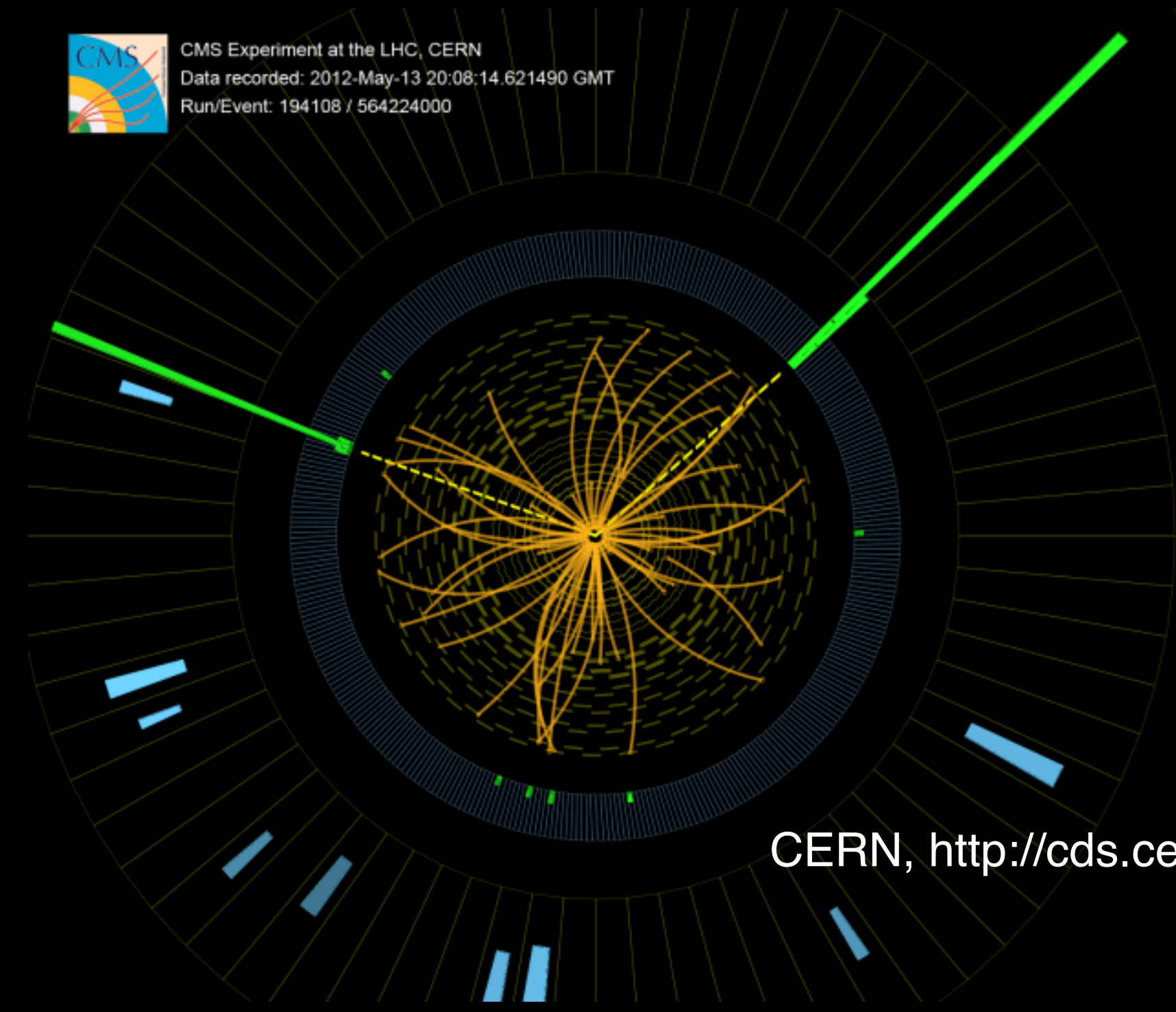
Parcly Taxel, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

Higgs Bozonu'nun bulunuşu

- 2012 yılında, CERN LHC'deki ATLAS ve CMS deneyleriyle, ortaya atılışından 48 yıl sonra Higgs bozonunu (125 GeV kütleli) gözlemeyi başardık.
- 2013'te Higgs ve Englert Fizik Nobel Ödülünü aldılar.

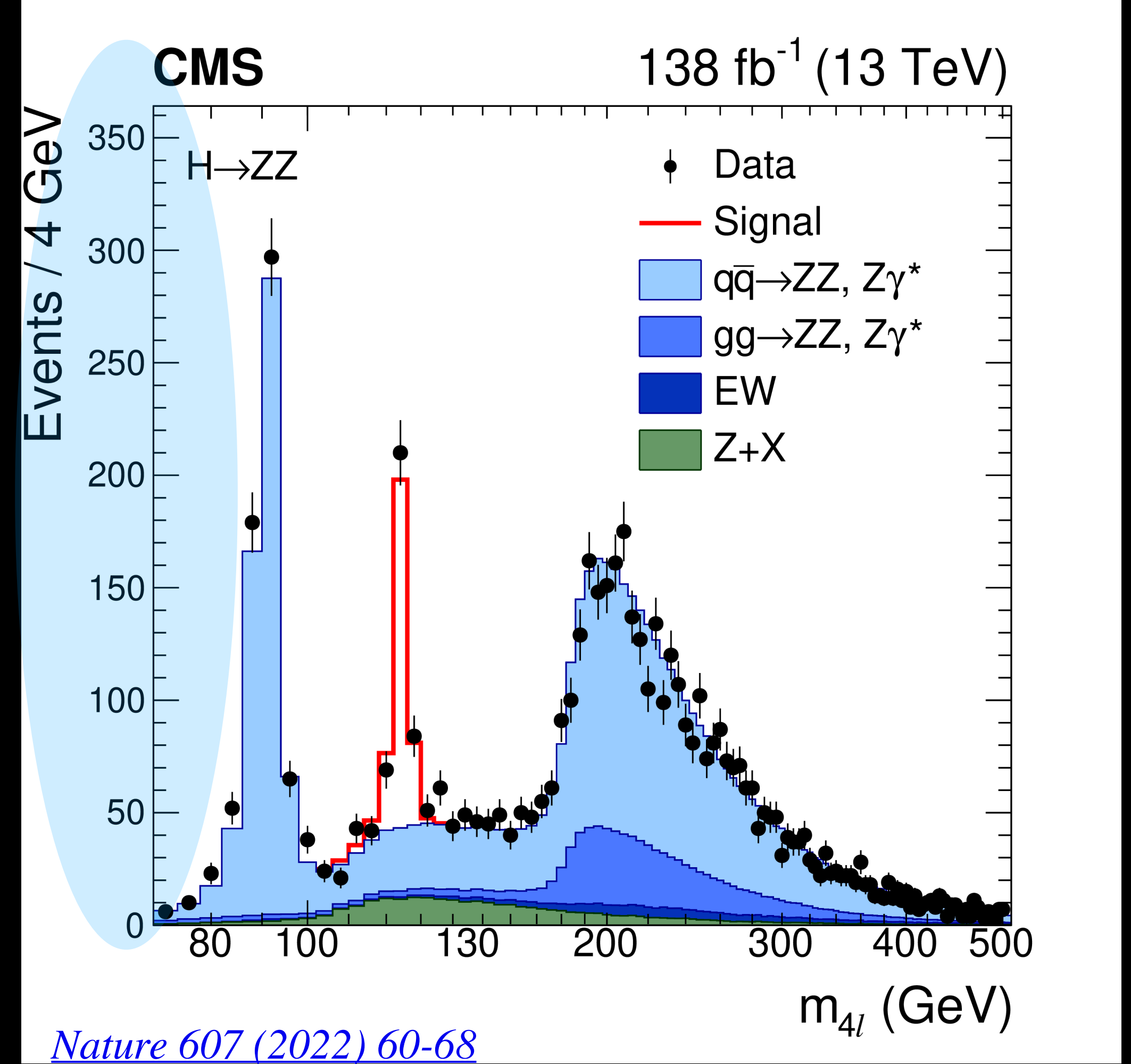
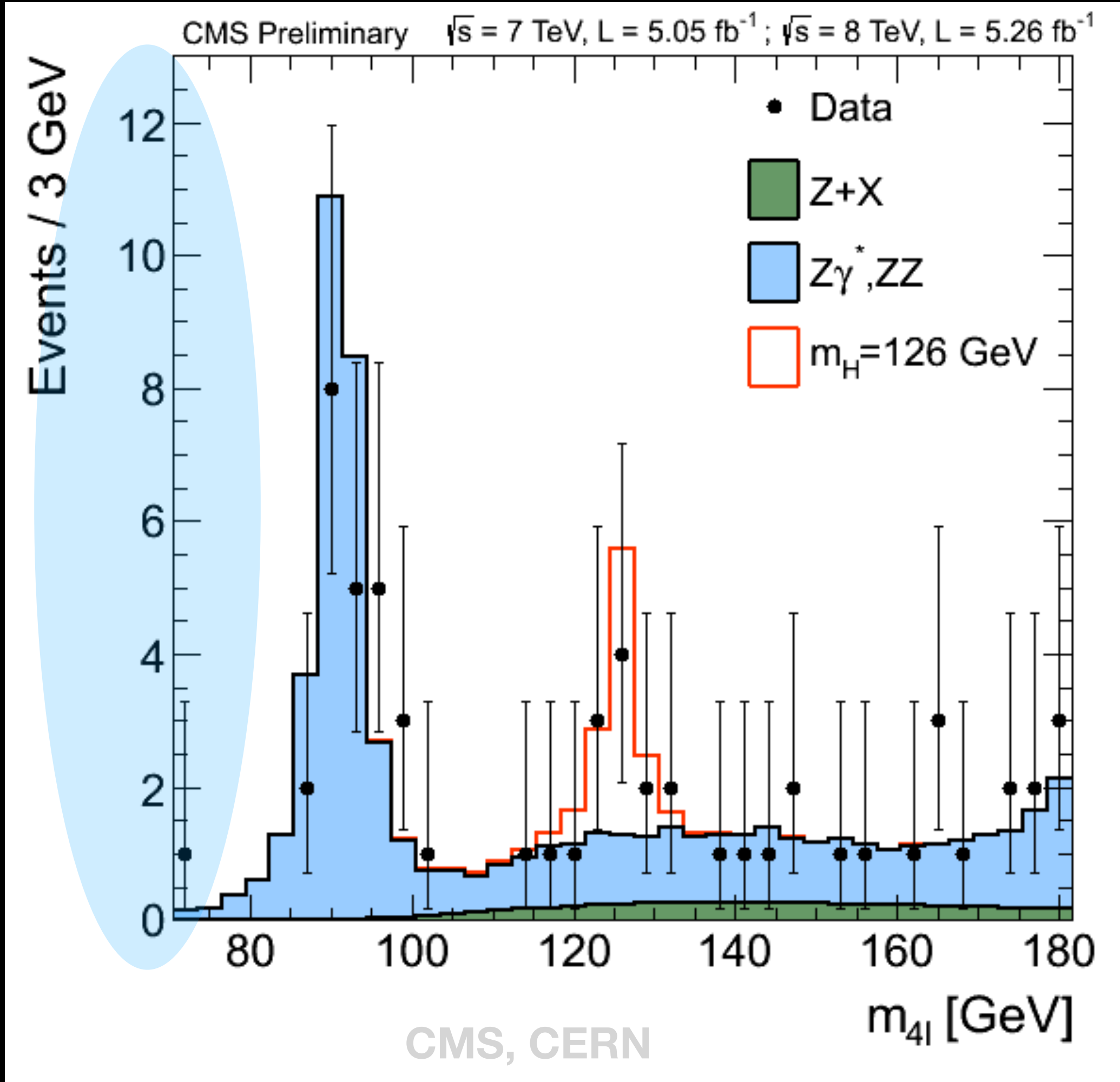


$$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$$



$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

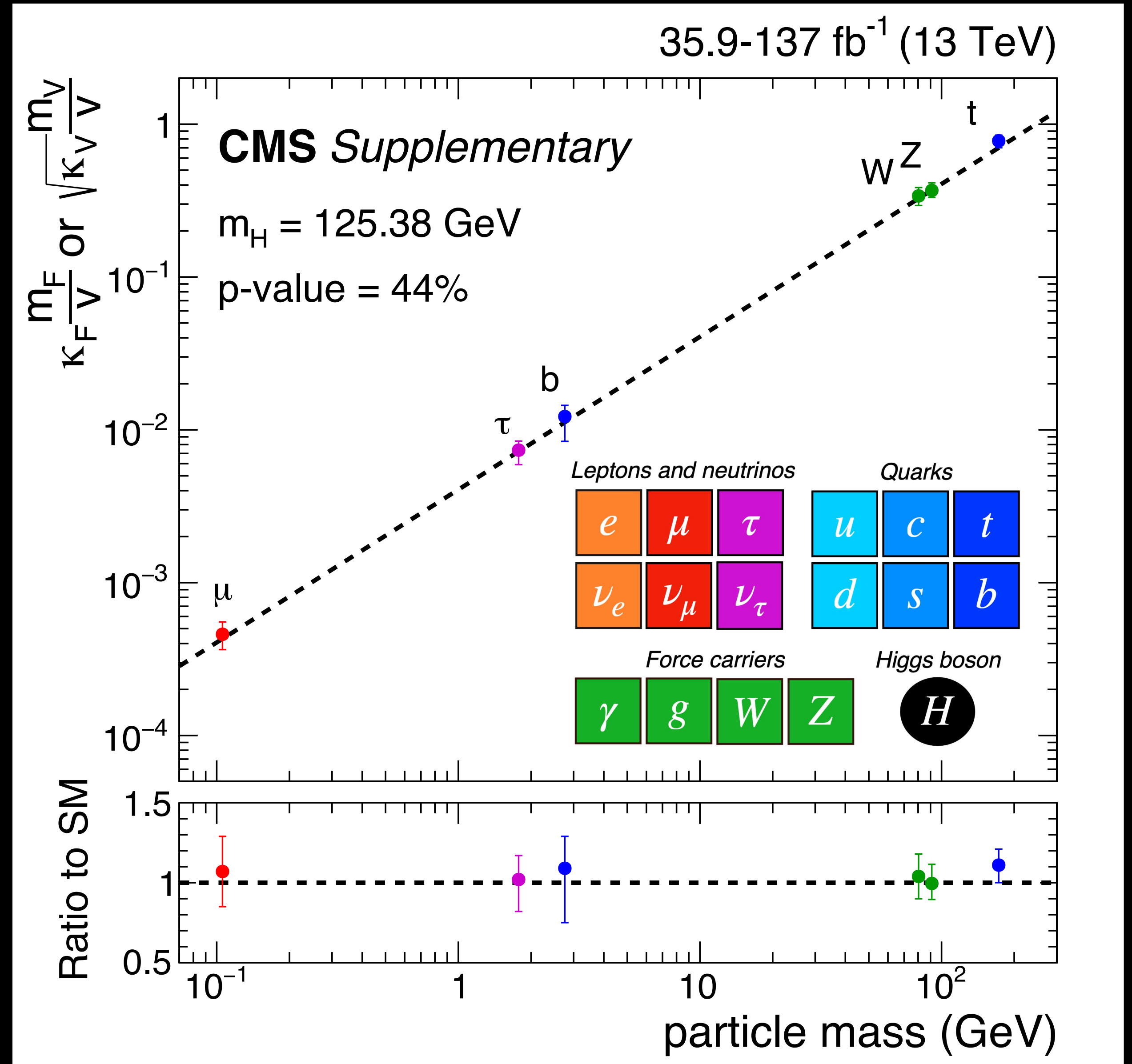
Higgs Bozonu'nun bulunuşu



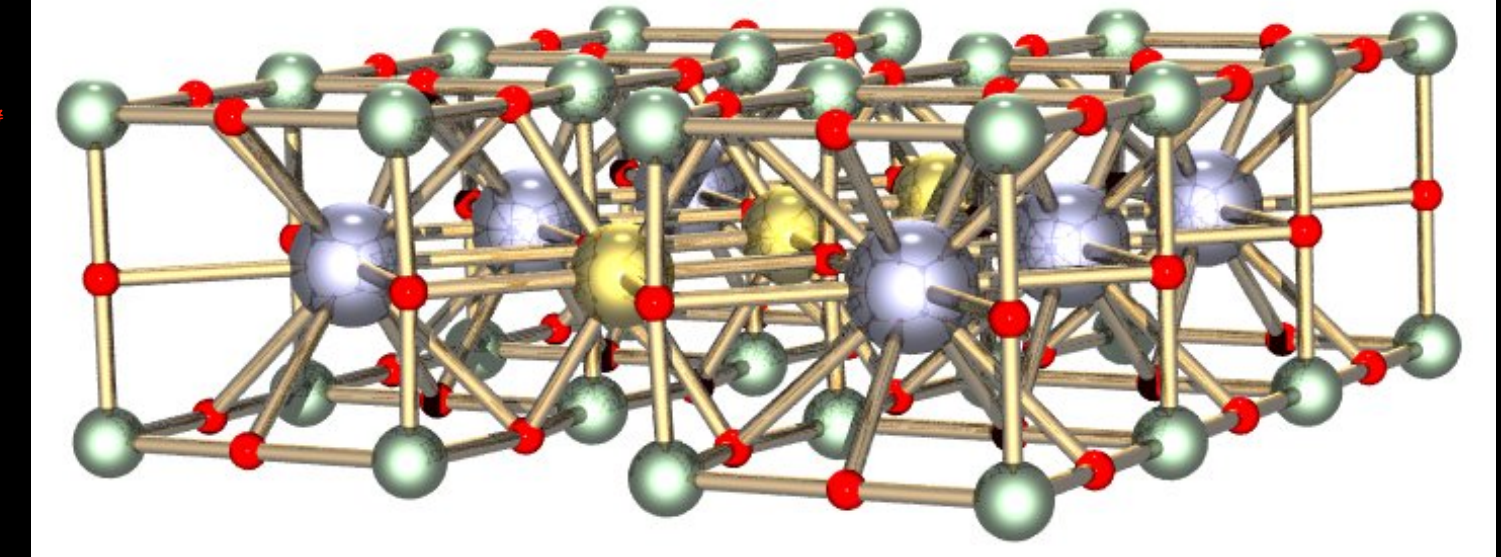
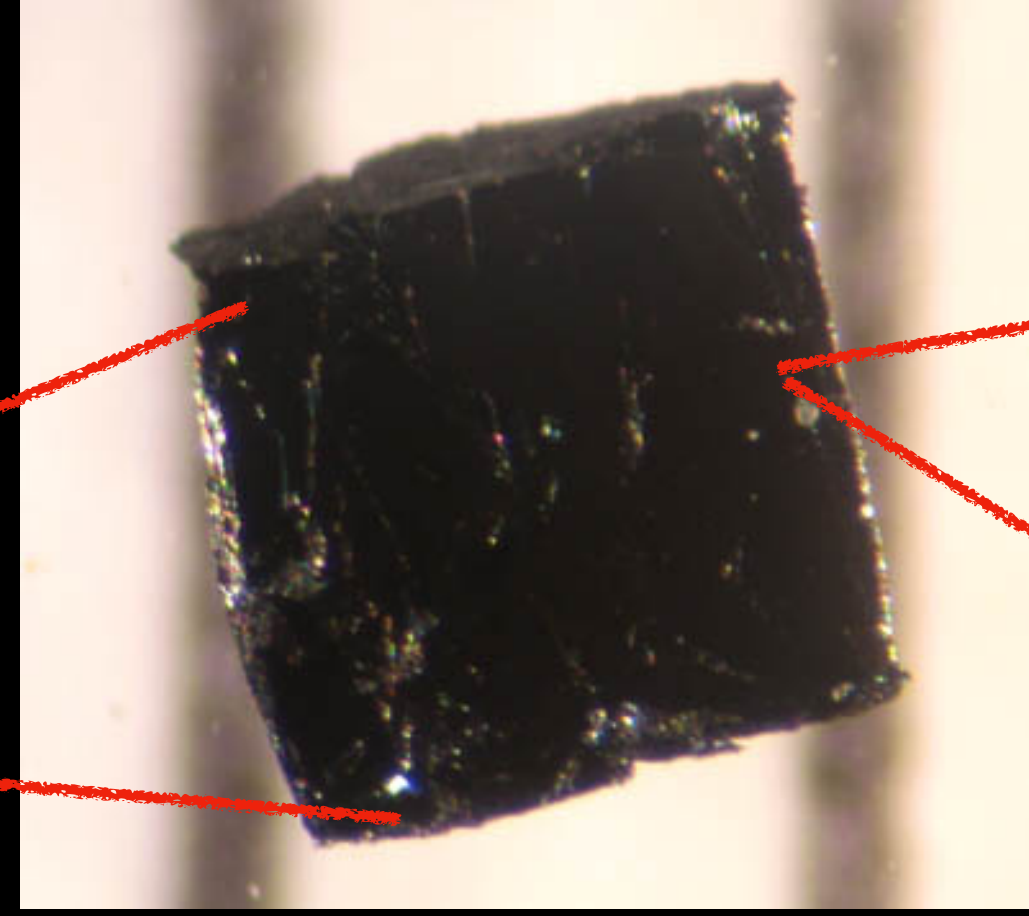
Değişik enerjilerde ve kanallarda hem CMS hem ATLAS'ta sinyal gözükmeğe devam etti ve veri arttıkça sinyal de güçlendi.

Higgs Bozonu'nun ölçümleri ve 'anlamı'

- Şu ana kadar deneysel olarak W ve Z bozonu ve t , b , τ , μ parçacıklarının nasıl kütle kazanmış olduklarını gösterdik.
- Higgs bozonunun gözlenmiş olması ve SM'e uyumu bize süperiletkenimsi bir 'boşluk' içinde olduğumuza işaret ediyor!



Yeni Fizik?



- Higgs alanı süperiletken madde gibi davranıyor. ==> « Yapısı » en az süperiletken maddeler kadar karmaşık olabilir!

Higgs alanı

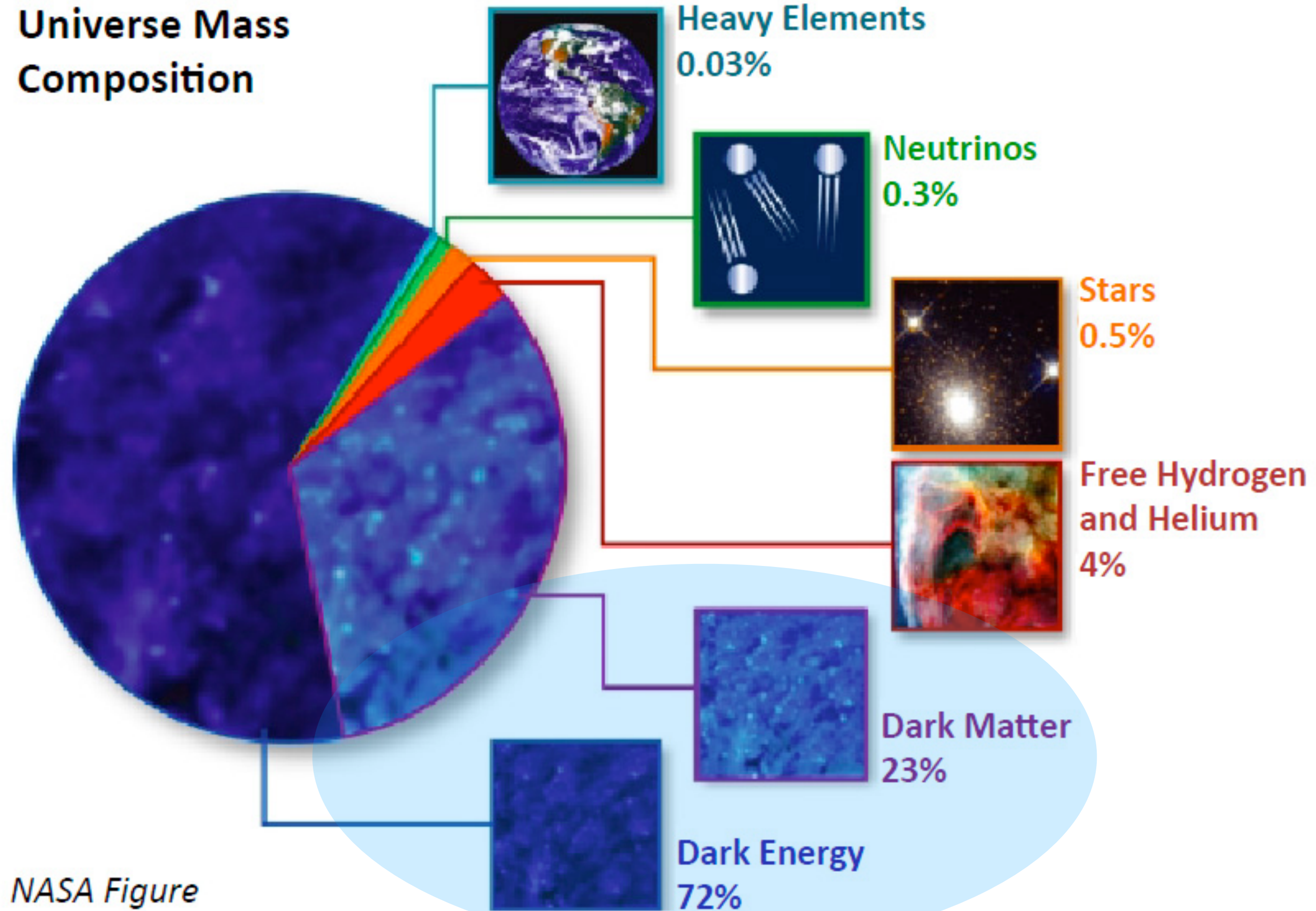
?

?

Yeni Fizik?

Standart kozmoloji modeline göre

Universe Mass
Composition



NASA Figure

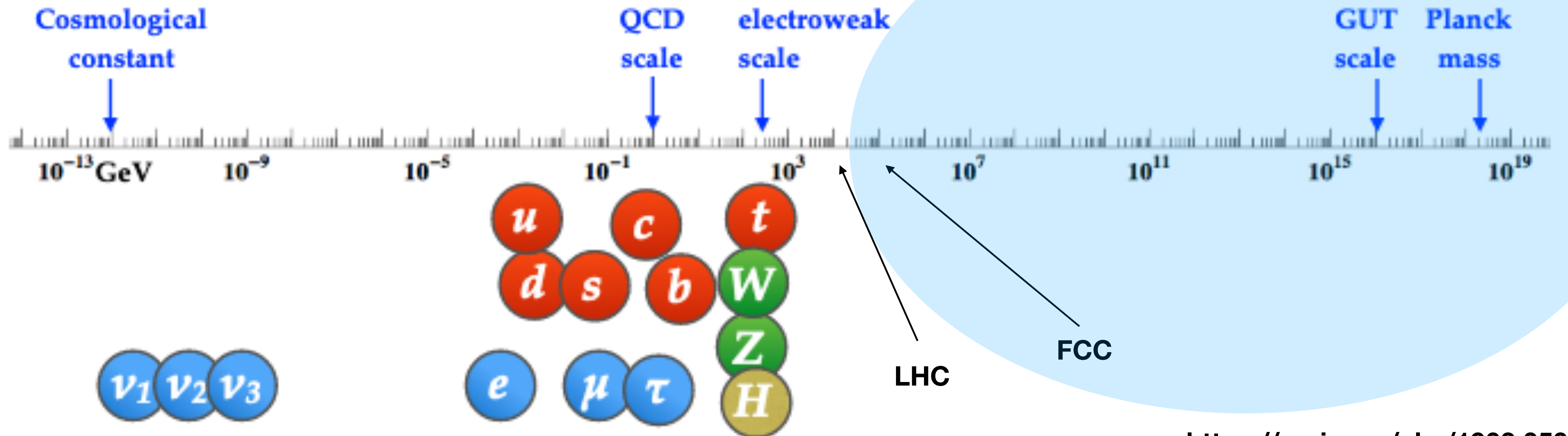
LHC, Higgs bozonu, ve yeni fizik modelleri

- Higgs'i LHC'de bulmak çok büyük bir başarı oldu. Ve şu anda Higgs bozonunun özelliklerinin hassas ölçümleri çok önemli.
- Diğer bir büyük ilerleme de ancak LHC'yle elde edebildiğimiz yüksek enerjilerdeki süreçlerin ayrıntılı incelenmesi oldu. Bu sayede bir sürü doğada karşılığı olmalayan yeni fizik modelini elemiş olduk \rightarrow LHC parçacık fiziğindeki bu yıllar süren sorunun sonunun başlangıcını getirmiş oldu.

Yeni Fizik (Standart modeli de kapsayan yeni fizik teorisi)

- Higgs bozonu'nu nasıl bulabileceğimizi Standart Model yardımıyla önceki deneyler göstermişti —> Higgs'i hangi enerji seviyesinde ve nasıl arayacağımızı biliyorduk.
- Şu anda yeni fiziğin nerede olabileceğini söyleyen deneysel bir ipucu veya sağlam bir hipotezimiz yok. (En büyük eksiklerden biri standart model'in kütleçekim hakkında bir şey diyememesi.)
- LHC'nin enerji seviyesi yeni fizik için yeterli olmayabilir (olsa bile Higgs alanını çok daha iyi anlamak için yeterli olmayabilir). —>

Yeni Fizik



<https://arxiv.org/abs/1903.05062>

~2060 FCC-hh
~2041 FCC-ee

Future Circular Collider

Circumference: 80 - 100 km
Energy: 100 TeV (pp)
>350 GeV (e⁺e⁻)

2010-...~2038

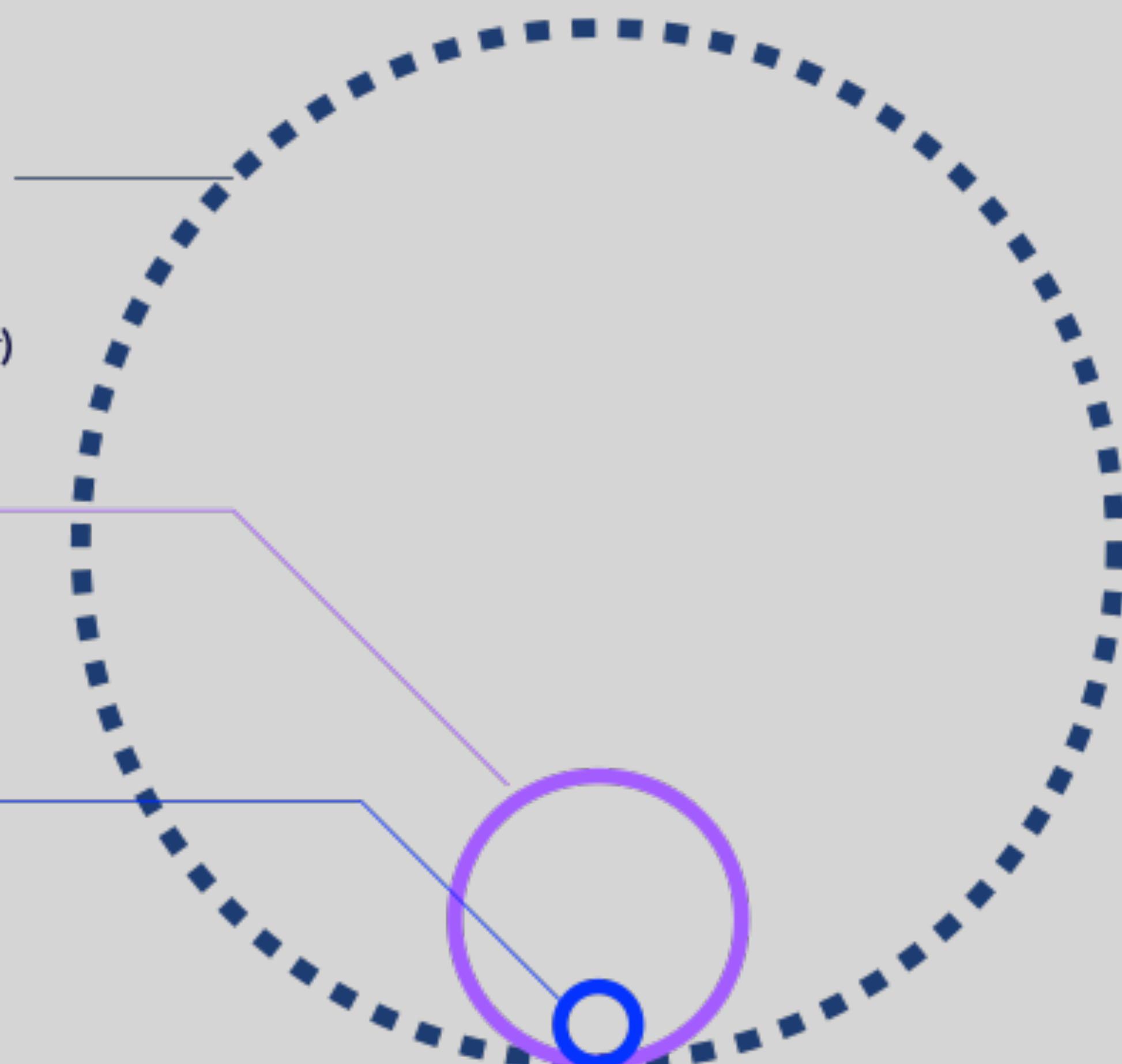
Large Hardon Collider

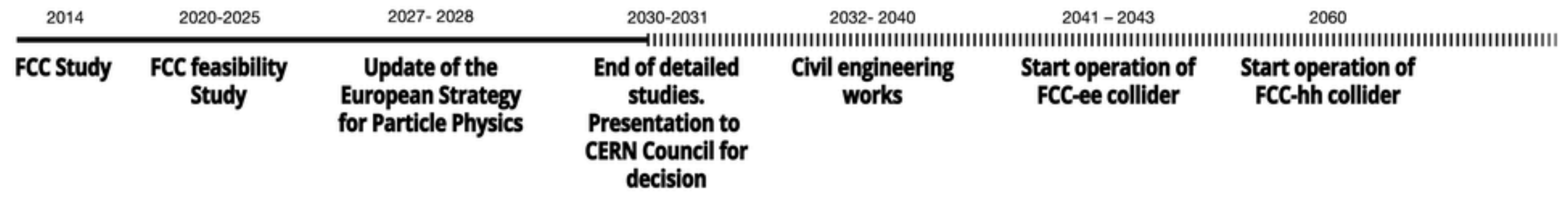
Circumference: 27 km
Energy: 14 TeV (pp)
209 GeV (e⁺e⁻)

1983-2011

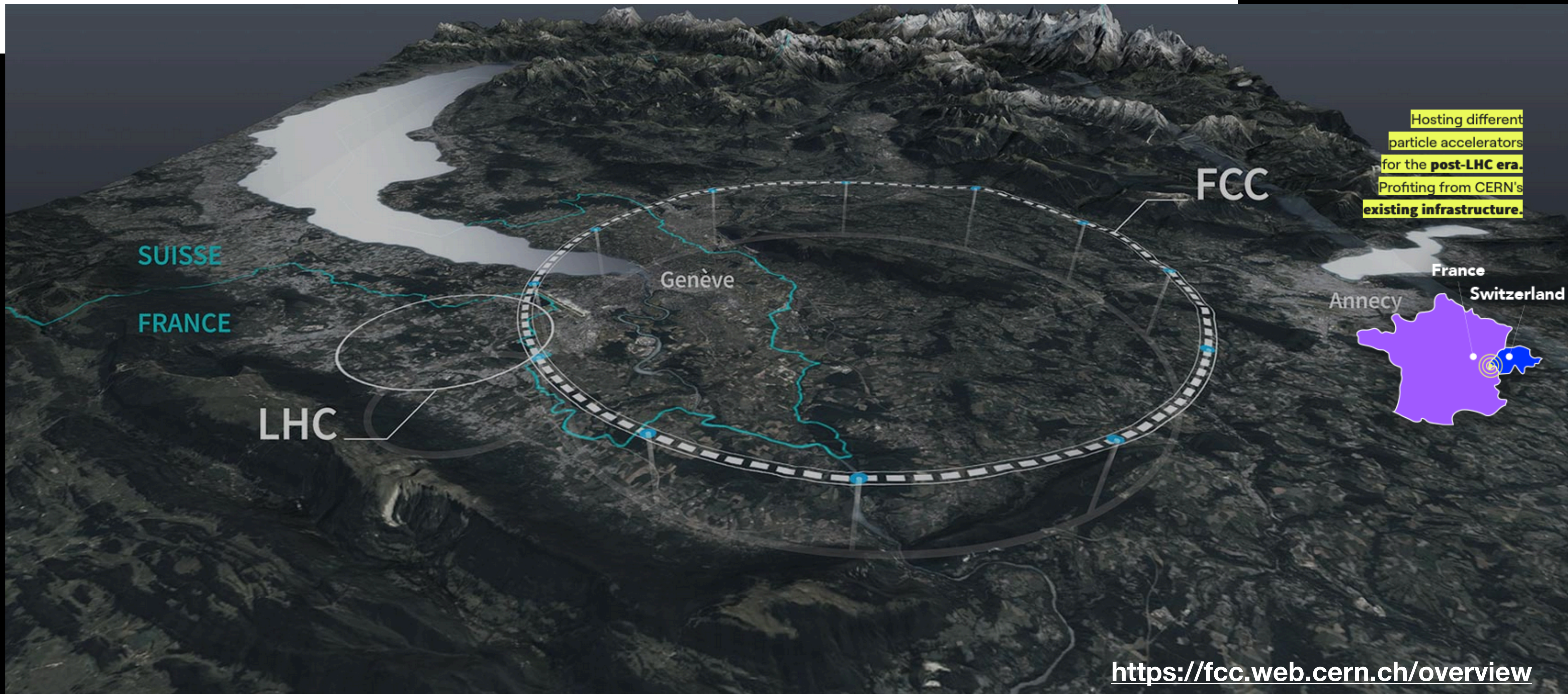
Tevatron (closed)

Circumference: 6.2 km
Energy: 2 TeV





FCC timeline (Image: CERN)



Ekstralar

Temel Parçacık fiziği -> Standart Model

mass →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
QUARKS					
	≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS					
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
					GAUGE BOSONS

Image: Wikimedia commons

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i \bar{\Psi} \not{D} \Psi + h.c. + \bar{\Psi}_i y_{ij} \Psi_j \phi + h.c. + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

- Temel parçacıkları ve bunların elektromanyetik, zayıf nükleer, ve güçlü kuvvetle etkileşmesini betimleyen *kuantum alan teorisi* (i.e. kütleçekim hariç doğadaki bütün kuvvetler tek bir matematiksel yapıda açıklanır).
- 20. yy'ın ikinci yarısında dünya çapında bir işbirliğiyle geliştirildi.
- 70'li yıllarda kuarkların keşfiyle **teori** tamamlandı.
- Öngördüğü bütün parçacıklar (çoğunlukla hızlandırıcılarda) keşfedildi. Ör: **üst (top) kuark [1995]**, **tau nötrino [2000]**, ve son olarak da **Higgs bozonu [2012]**.

Alanlar, dalgalar ve parçacıklar

Kuantum alan teorisi \rightarrow
parçacıklar alan içinde
dalgalarla betimleniyor.



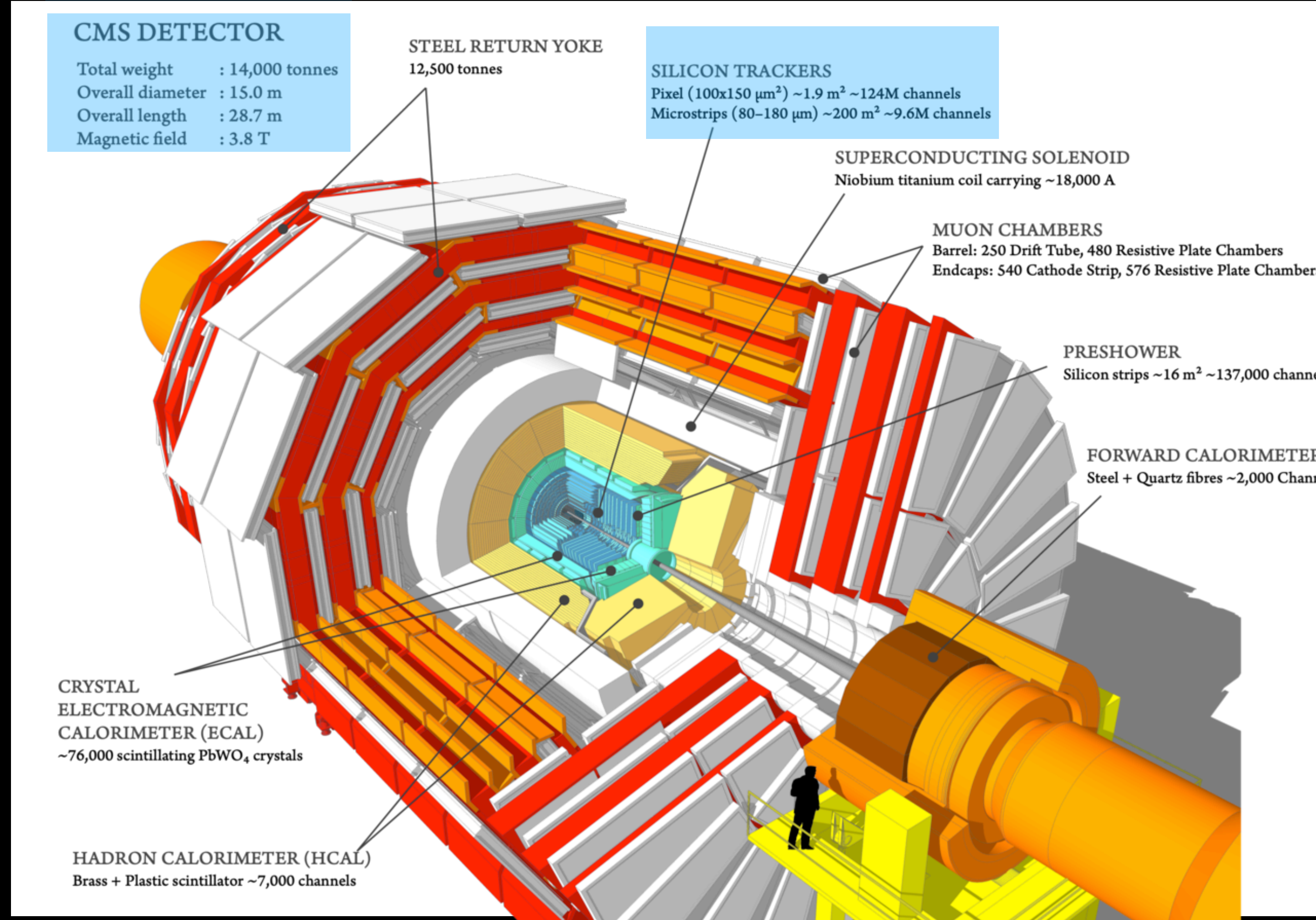
Higgs alanı \leftrightarrow su
Higgs parçacığı \leftrightarrow Gruplaşmış
Su = dalga.

Simetri kırılımı örneği



- Boşlukta, her renkteki (dalğaboyudaki) ışık aynı hızda gider —> simetrik bir durum.
- Ama bir ortama girdiğinde bu simetri kırılır —> Değişik dalğaboylarındaki (renkteki ışık) farklı hızlara sahip olurlar.

Örnek detektör: CMS deneyi



By Tai Sakuma - <https://cds.cern.ch/record/2665537/>, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=77147104>

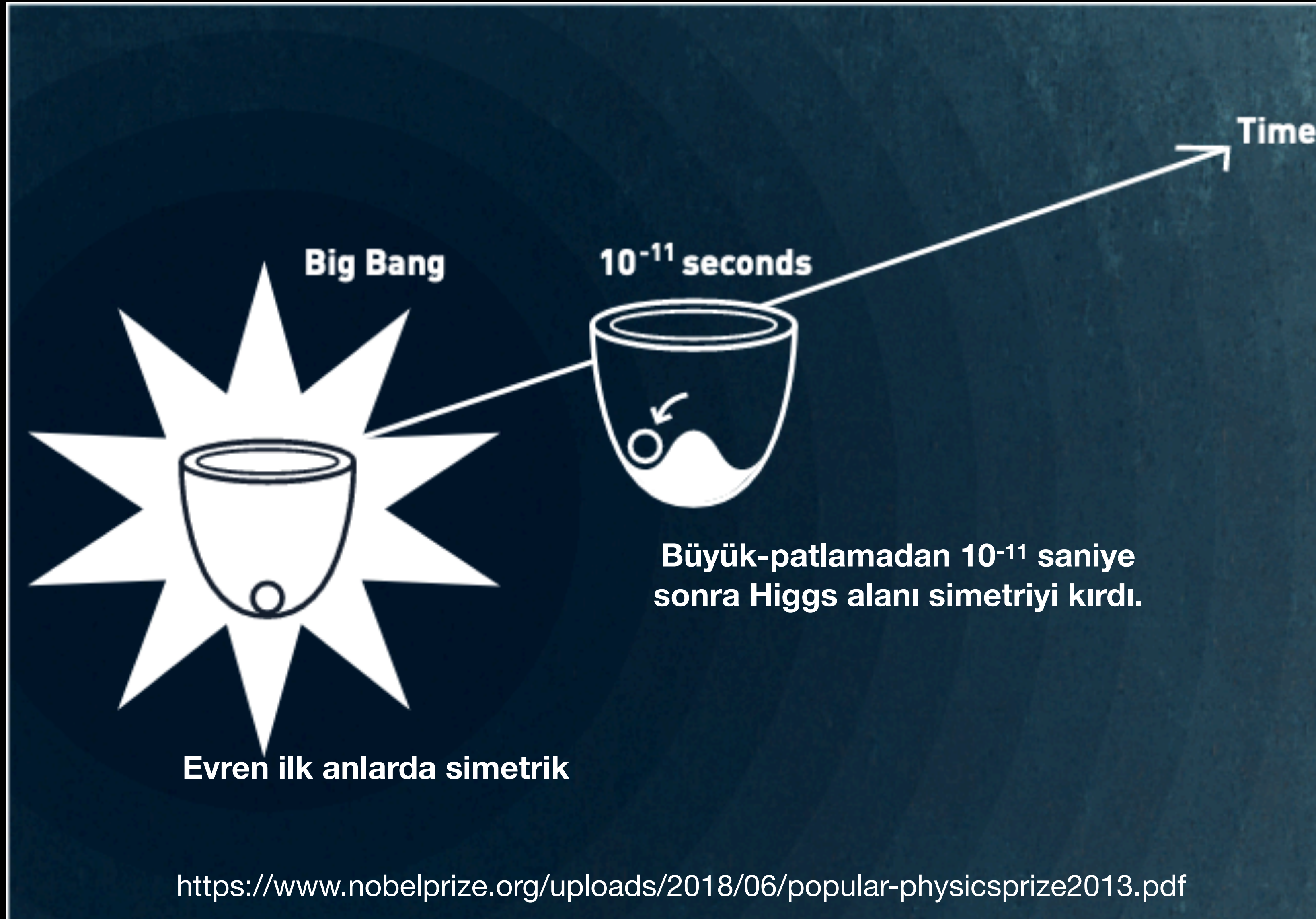
<https://cms.cern/collaboration>

> 50 ülkeden > 3000 fizikçi, mühendis, bilgisayar bilimcisi, teknisyen ve öğrencinin ortak çalışması.

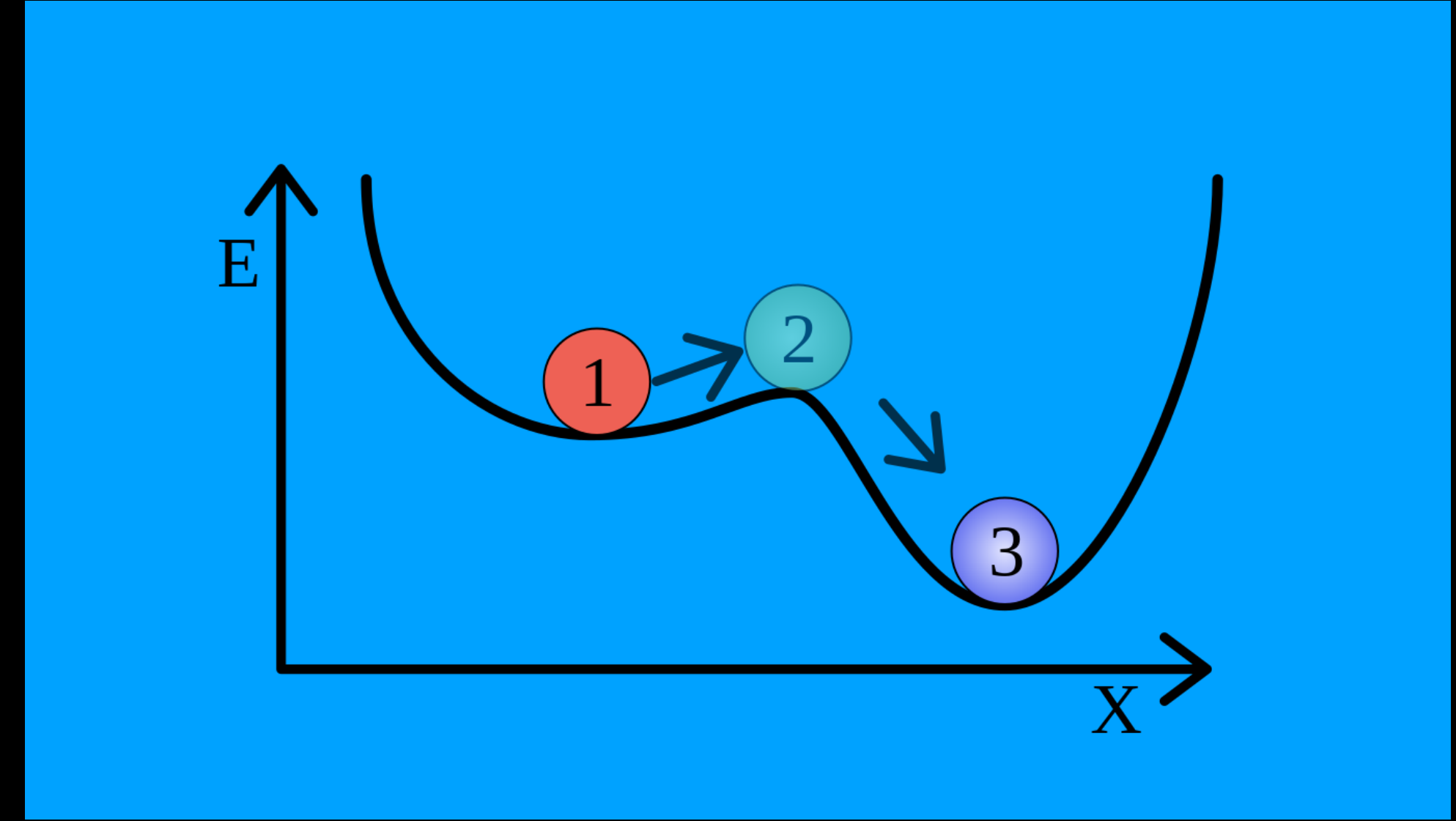
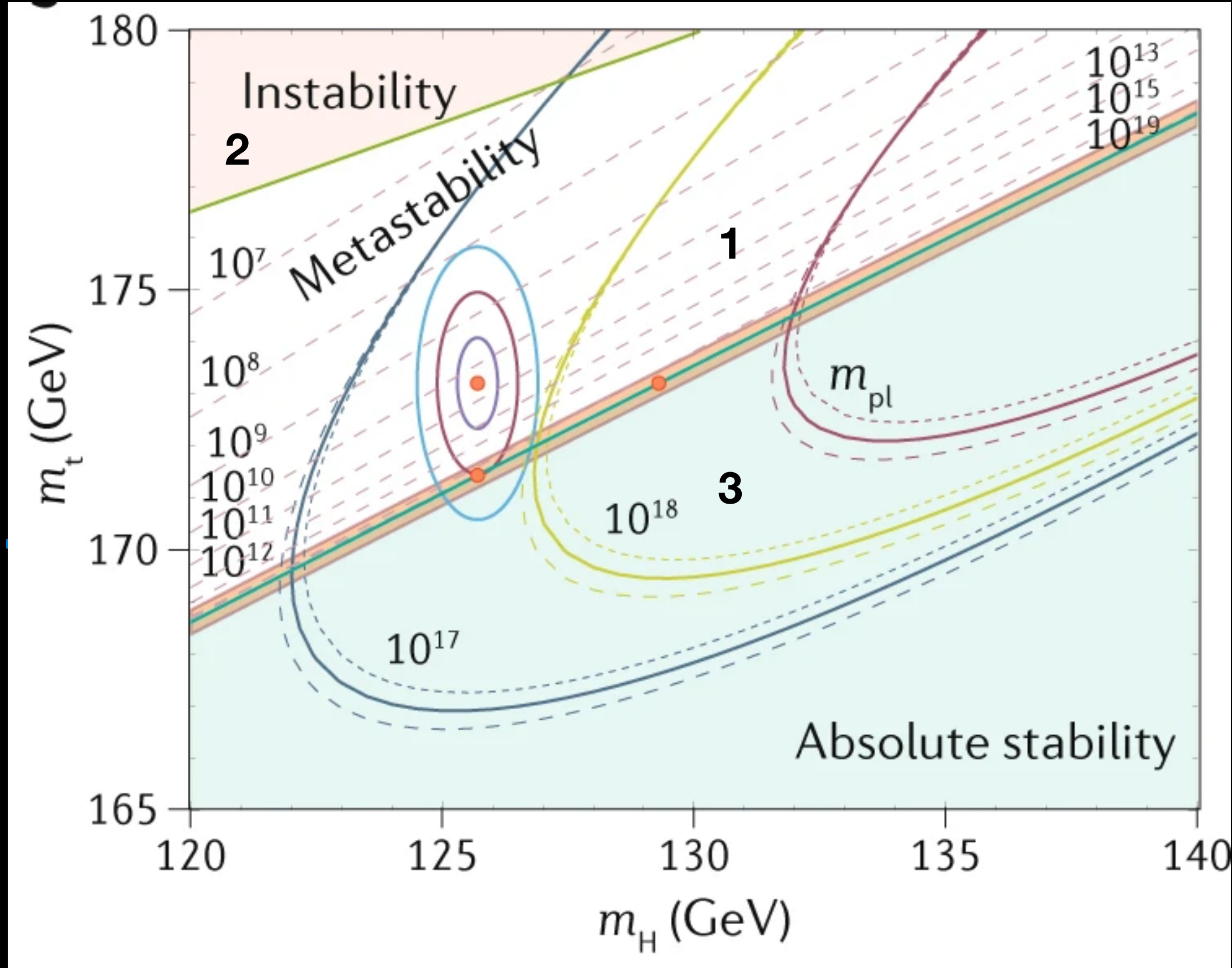
Maddenin faz deęiřimi



Maddenin —> Evren'in faz deęiřimi

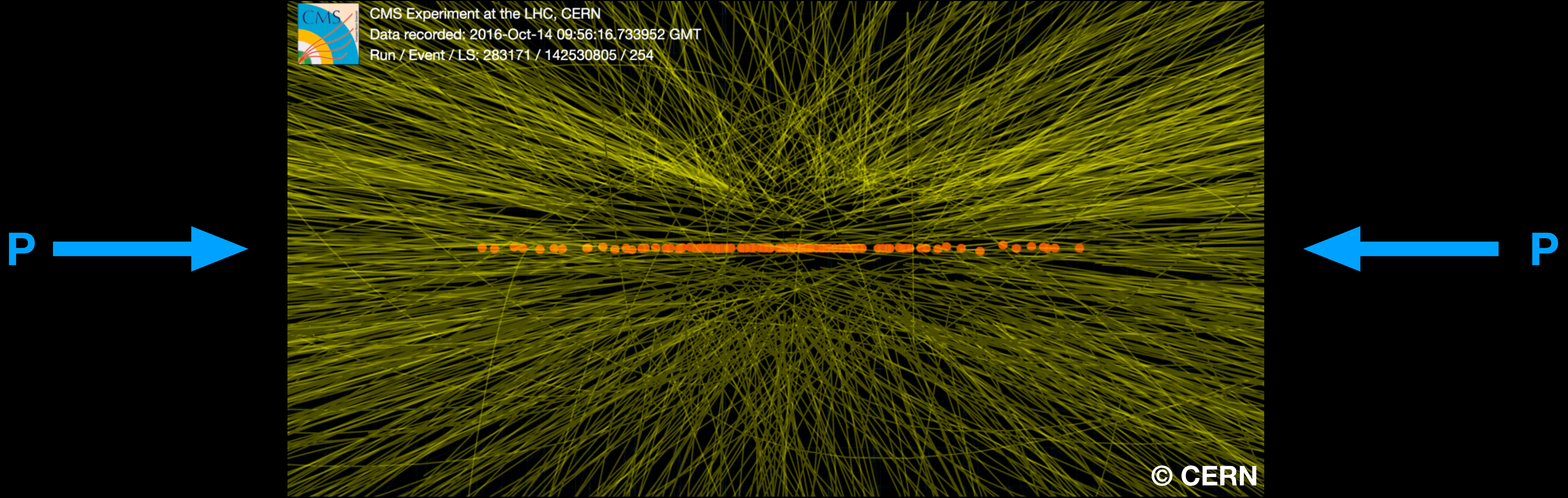


Higgs bozonu ve Top kuark



- Top kuark ve Higgs bozonunun ölçülen kütleleri
 - Standart model tutarlı bir teori ve Planck ölçeğine kadar tutarlı olabilir.
 - Vakum (boşluk) meta-dengede olabilir → çok uzun bir zaman sonra boşluk değişik bir yapıya geçebilir.

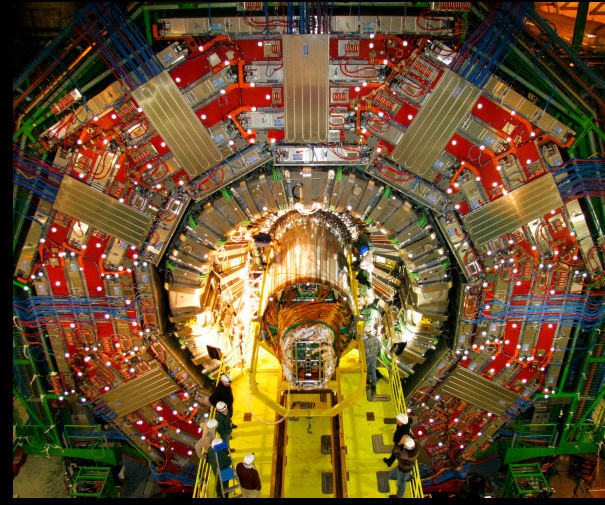
Çarpışmanın sonucunda oluşan parçacıkların izleri



- Her çarpışma ortalama 20 proton-proton çarpışması → her bir çarpışma bir çok parçacığın ortaya çıkmasına neden oluyor
 - $E=mc^2$
- Bu parçacıkları belirlemek/kaydetmek için LHCdeki deneyler ~100 milyon sensör kullanıyor.
- Enteresan olaylar (ör: Higgs bozonu) çok nadir olduğu için olabildiğince daha çok proton çarpışması yaptırmamız gerekiyor.

Veri toplama ve analizi

Detektör:
500 ~terabayt/
saniye veri.

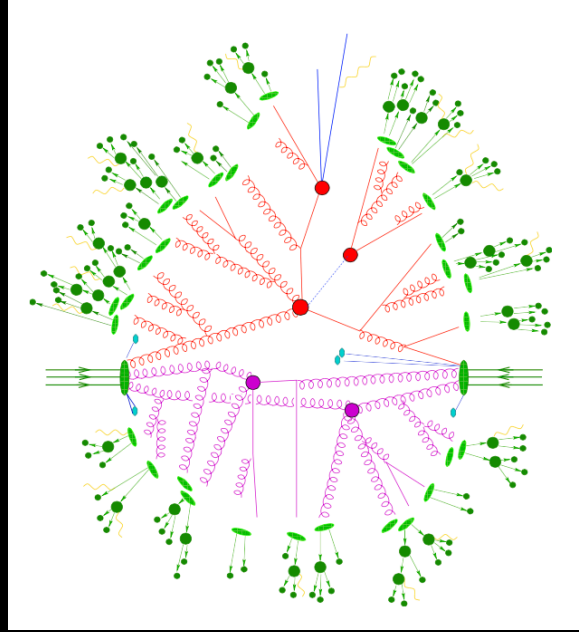


© 2013 CERN, for the benefit of the CMS Collaboration

40 milyon çarpışma/saniye
(25 nano-saniye):
Veri depolama sınırlı →
Sadece enteresan
olabilecek veriyi kaydet:
Gerçek zamanlı veri işleme
(~ 10 mikro-saniye) →
1000 çarpışma/saniye.

Yılda LHC deneyi
başına: 50 petabayt/yıl
fizik verisi.
(CERN'ün 2020ye kadar
topladığı veri miktarı
~340 petabayt)

Gleisberg et al. JHEP02 (2004) 056



MC simülasyon verisi

Veri analizi

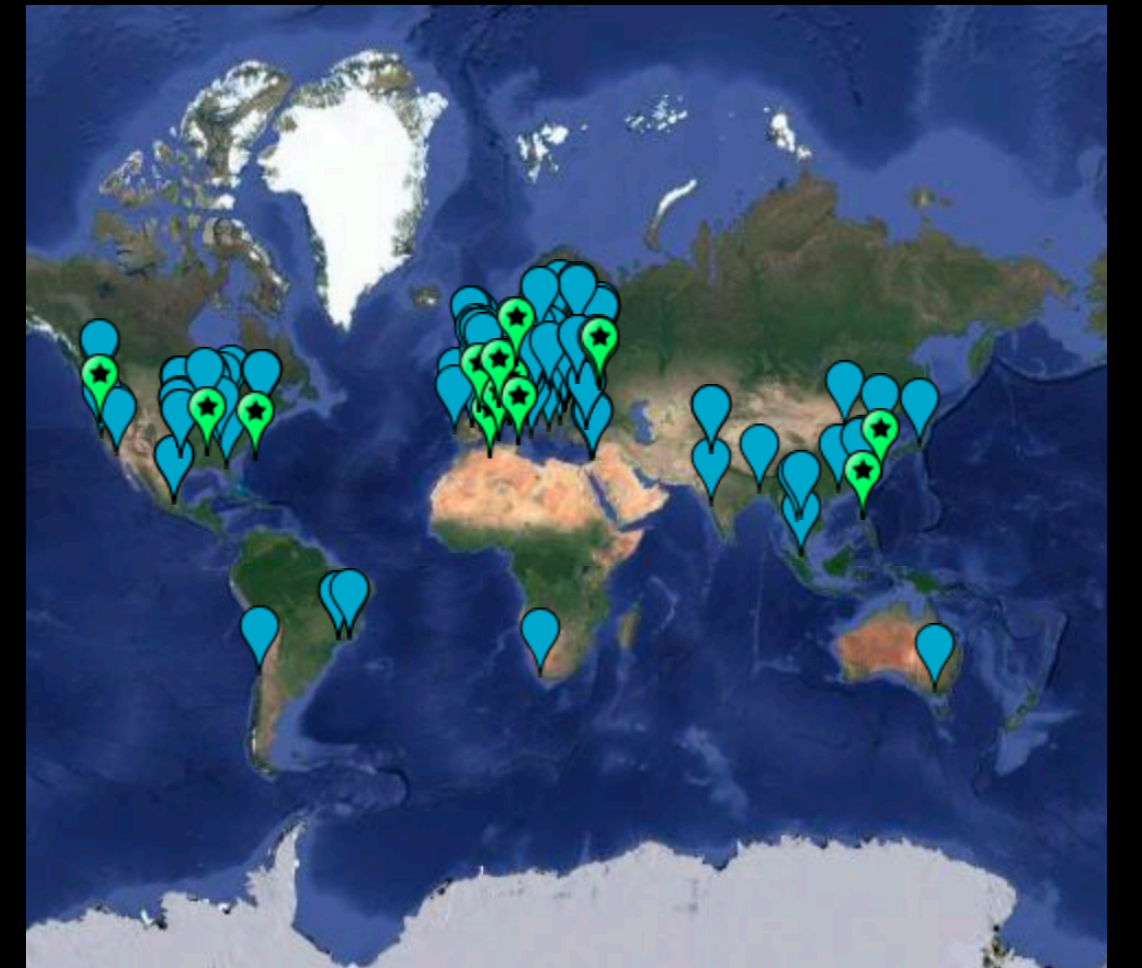
Worldwide
LHC Computing Grid

[https://wlcg-
public.web.cern.ch/](https://wlcg-public.web.cern.ch/)

(LHC deneyleri distributed computing kaynaklarına
dayanıyor. Cloud sistemlerinin öncüsü oldu.)

Veri alımından bilimsel sonuca ulaşmak: birkaç aydan bir kaç yıla kadar sürer.

HL-LHC [> 2029] fizik verisi ~1000 petabayt/yıl.



<https://wlcg-public.web.cern.ch/resources>

Google My Maps

Veriyi basitleştir (verinin boyutunu azalt) ve simülasyonlarla karşılaştır

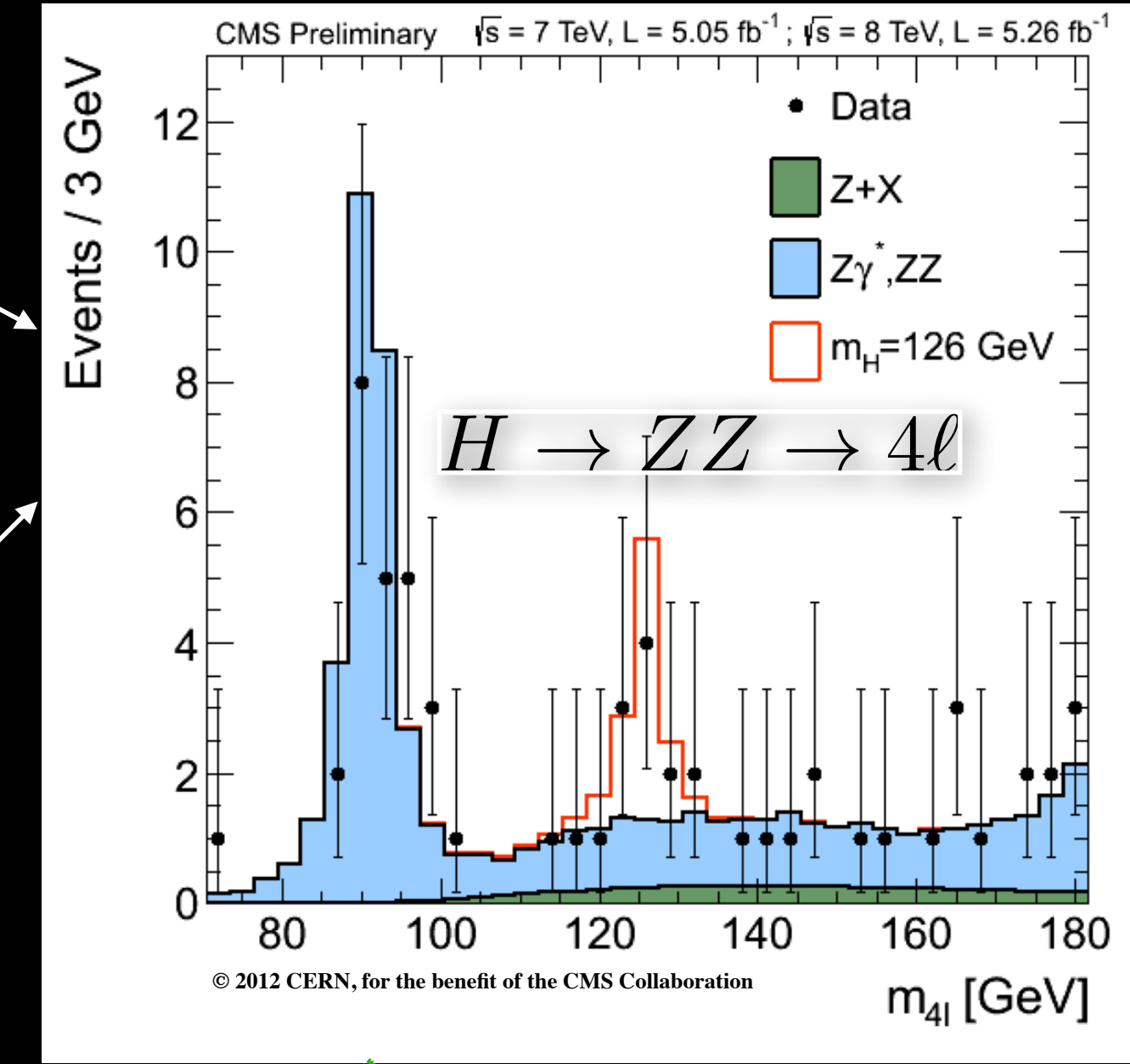
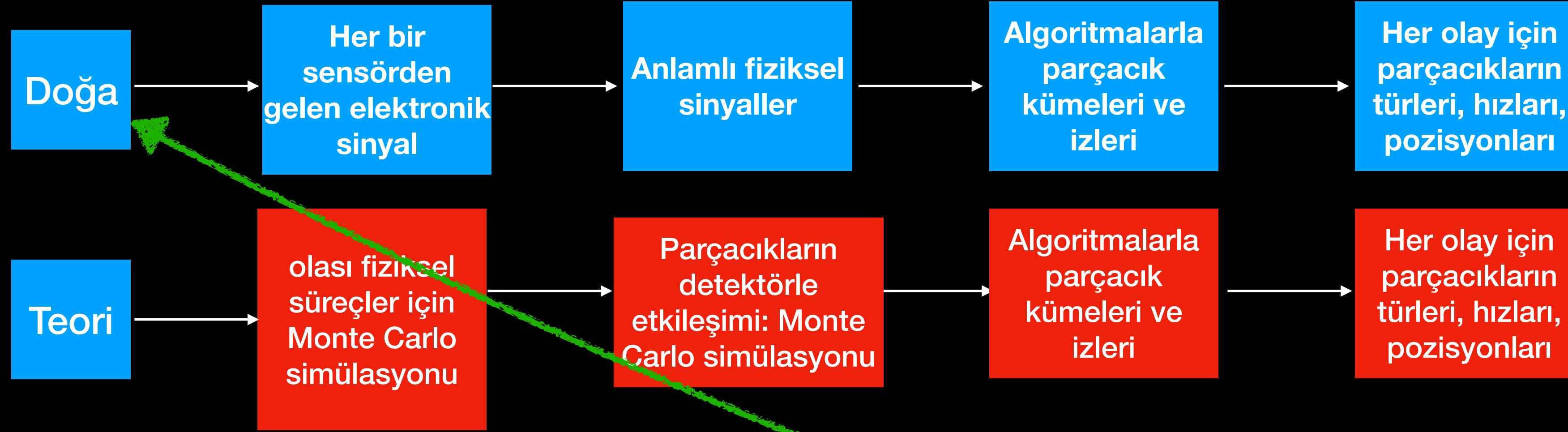
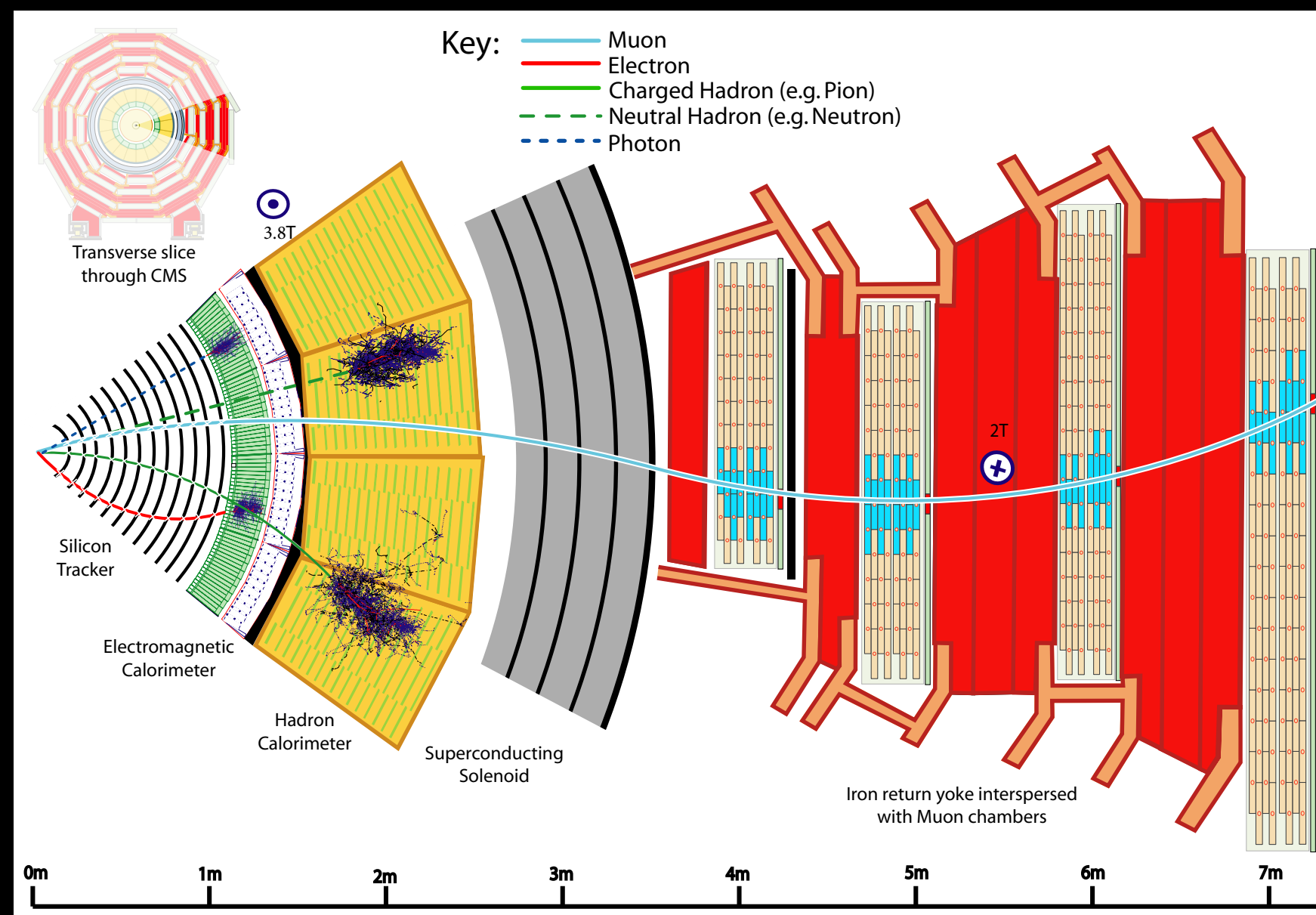


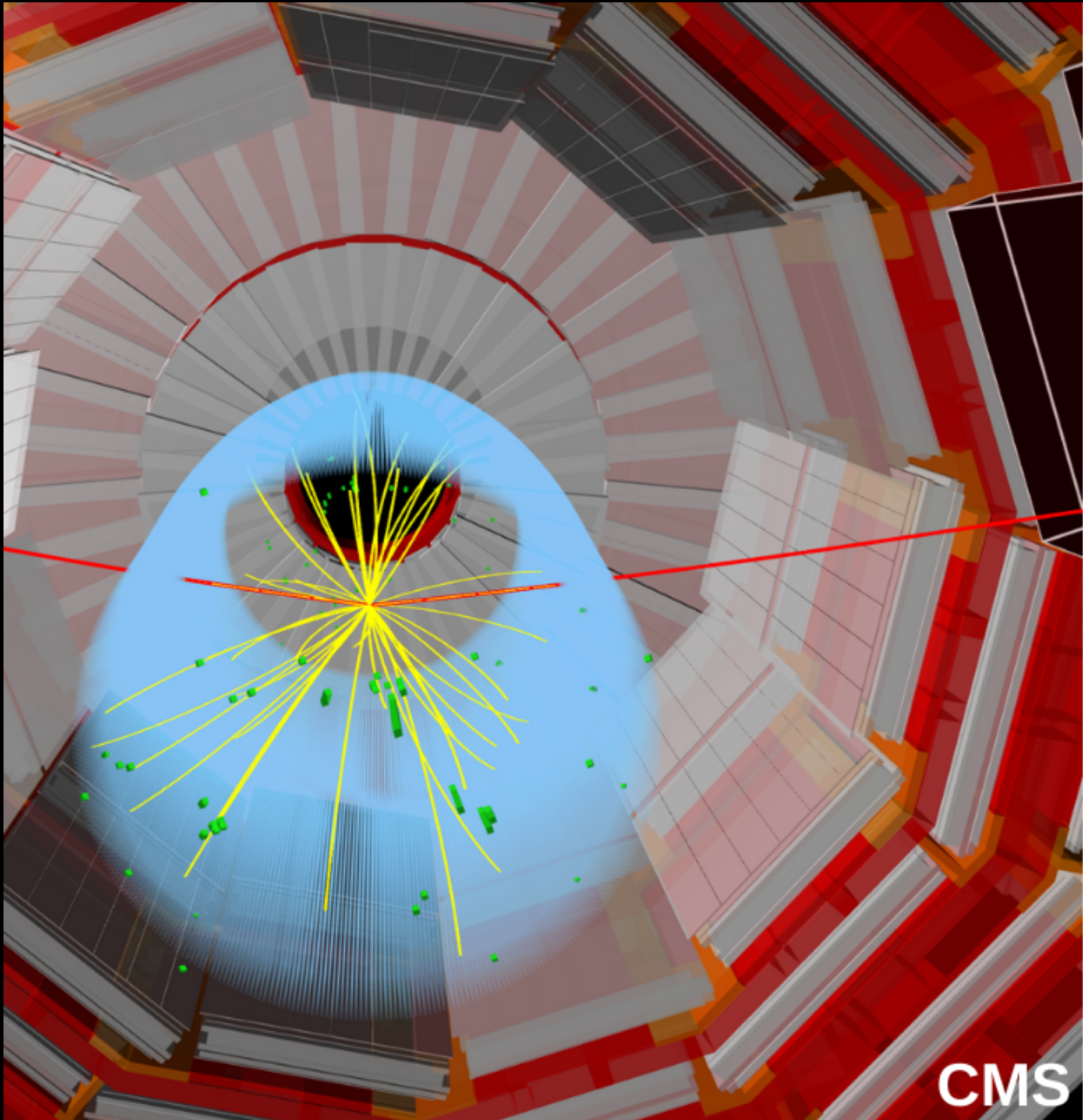
Image credit: © 2012 CERN, for the benefit of the CMS Collaboration



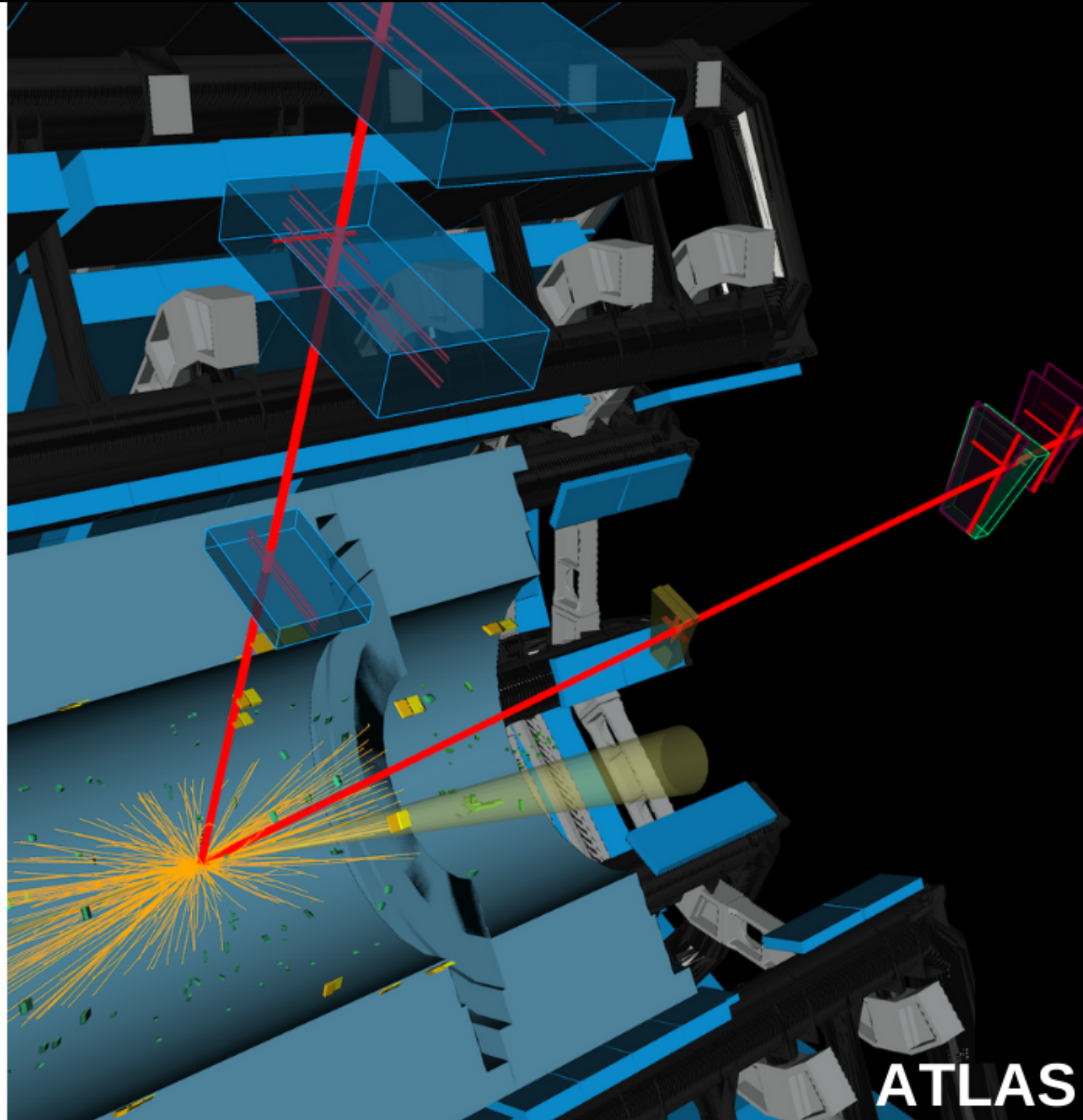
© 2016 CERN, for the benefit of the CMS Collaboration

Analiz, tartışma, ...

Higgs bozonu



CMS



ATLAS

© 2020-2022 CERN

$$H \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

Decays of a 125 GeV Standard-Model Higgs boson

