

در بزرگترین آزمایشگاه فیزیک ذرات دنیا چه می‌گذرد؟

عبیده جعفری

مدرسه تابستانی افق‌های نو در فیزیک

۲۸ مرداد ۱۴۰۲



HELMHOLTZ

SPITZENFORSCHUNG FÜR
GROSSE HERAUSFORDERUNGEN



Isfahan University of Technology

مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا: بزرگترین آزمایشگاه فیزیک ذرات



مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا در گذر تاریخ



پایان جنگ جهانی دوم
۱۹۴۵

مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا در گذر تاریخ



پایان جنگ جهانی دوم
۱۹۴۵



صلح زیر چتر علم ...
۱۹۴۹

مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا در گذر تاریخ



۱۹۵۴



۱۹۷۱

سخنرانی هایزنبرگ در افتتاحیه یکی از
نخستین شتابگرهای سرن

مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا در گذر تاریخ



Standard Model Physics at the LHC
14th October 2021 at 16:43 Abideh Jafari

8 / 100



۲۰۲۱

سخنرانی جعفری در پنجاهمین سالگرد
افتتاح همان شتابگر سرن

مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا در گذر تاریخ



۱۹۸۴

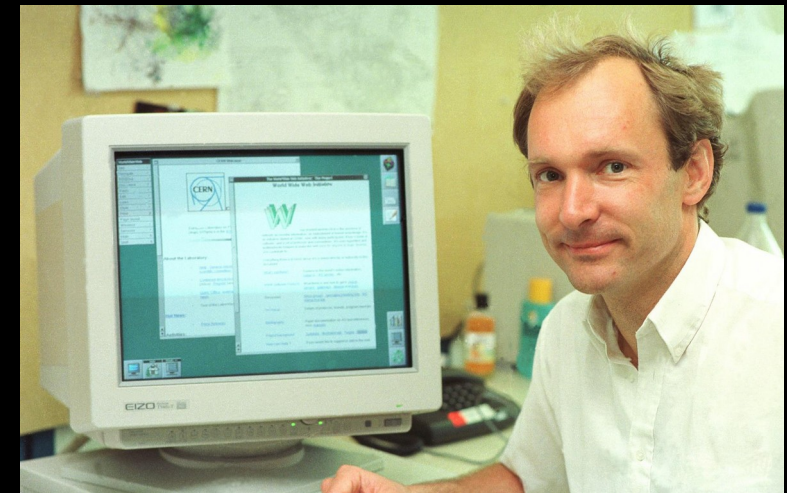
جایزه نوبل برای کشف بوزونهای W و Z

مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا در گذر تاریخ



۱۹۸۴

جایزه نوبل برای کشف بوزونهای W و Z



۱۹۸۹

پیدایش شبکه جهانی
World Wide Web

مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا در گذر تاریخ



۲۰۱۳

جایزه نوبل برای کشف بوزون هیگز

مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا در گذر تاریخ

تا به امروز ۶ جایزه نوبل در فیزیک
و تصویر شفاف‌تری از ذرات بنیادی

Quarks

u up	c charm	t top
d down	s strange	b bottom

Forces

Z Z boson	γ photon
W W boson	g gluon



e electron	μ muon	τ tau
ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino

Leptons

۲۰۱۳

جایزه نوبل برای کشف بوزون هیگز



برخوردهنده بزرگ هادرونی

پرچمدار مهمترین پژوهش‌های فیزیک ذرات



برخورددهنده بزرگ هادرونی

پرچمدار مهمترین پژوهش‌های فیزیک ذرات

دارای ۴ آزمایش اصلی که دوتای آن چندمنظوره‌اند



سال ۲۰۰۱

پیوستن ایران به آزمایش
سی.ام.اس
از طریق آی.پی.ام



سال ۲۰۱۹ دانشگاه صنعتی اصفهان بعنوان اولین دانشگاه ایرانی به آزمایش CMS پیوست



سوالات اساسی



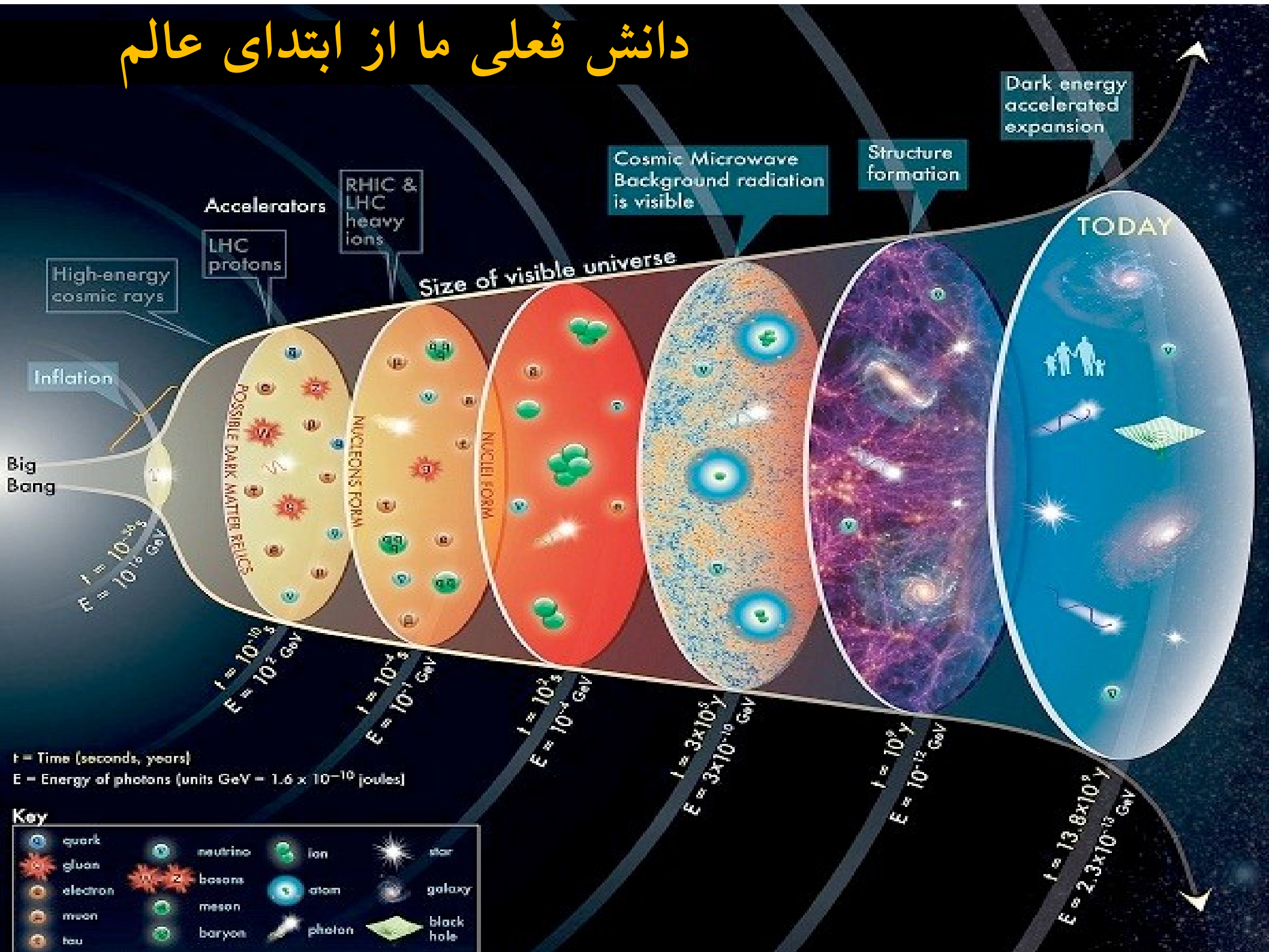
جهان از چه تشکیل شده است؟

چه برهمکنشهایی بین اجزای آن وجود دارد؟



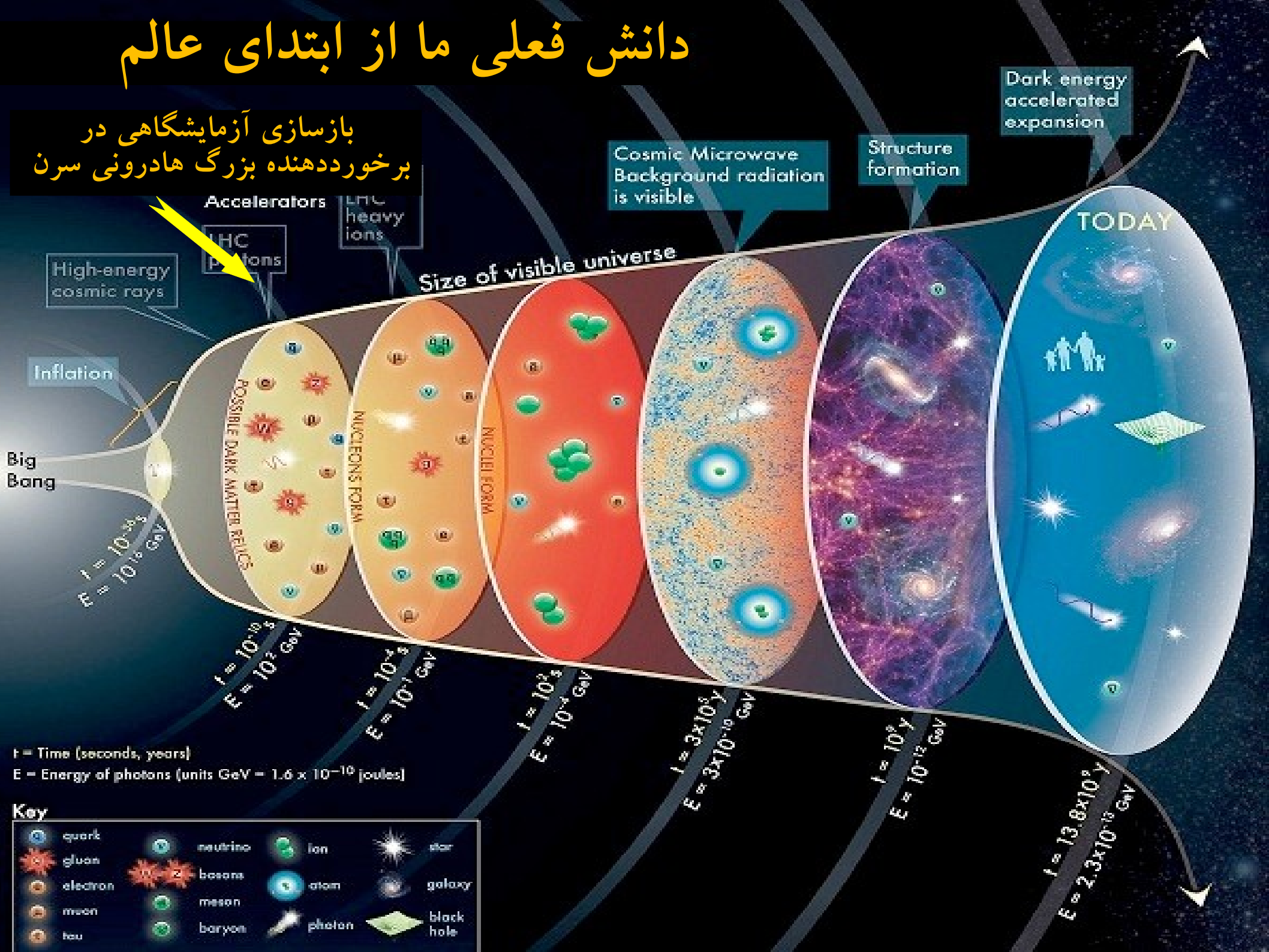
شرایط ابتدایی عالم پس از انفجار بزرگ چگونه بوده است؟

دانش فعلی ما از ابتدای عالم

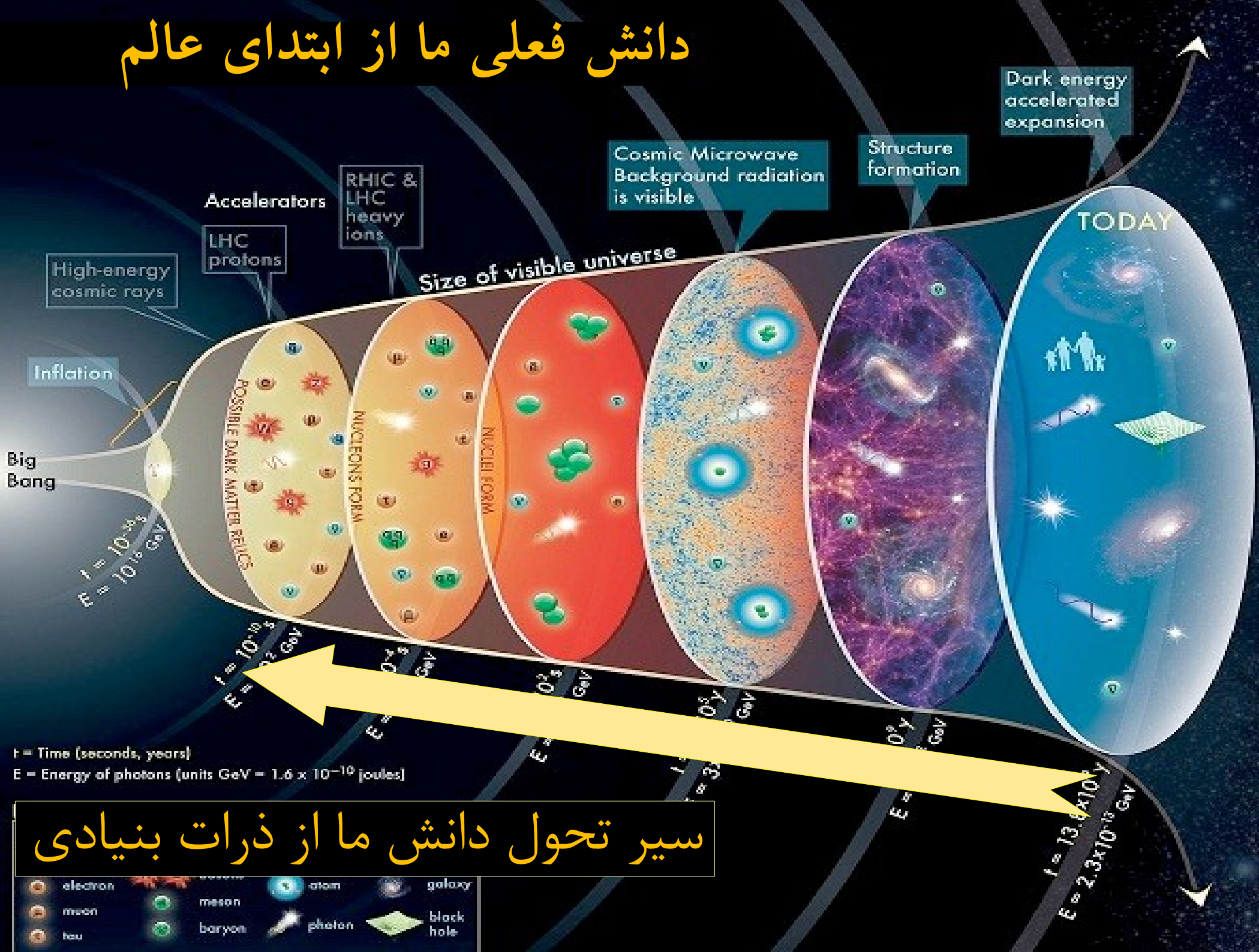


دانش فعلی ما از ابتدای عالم

بازسازی آزمایشگاهی در برخورددهنده بزرگ هادرونی سرن



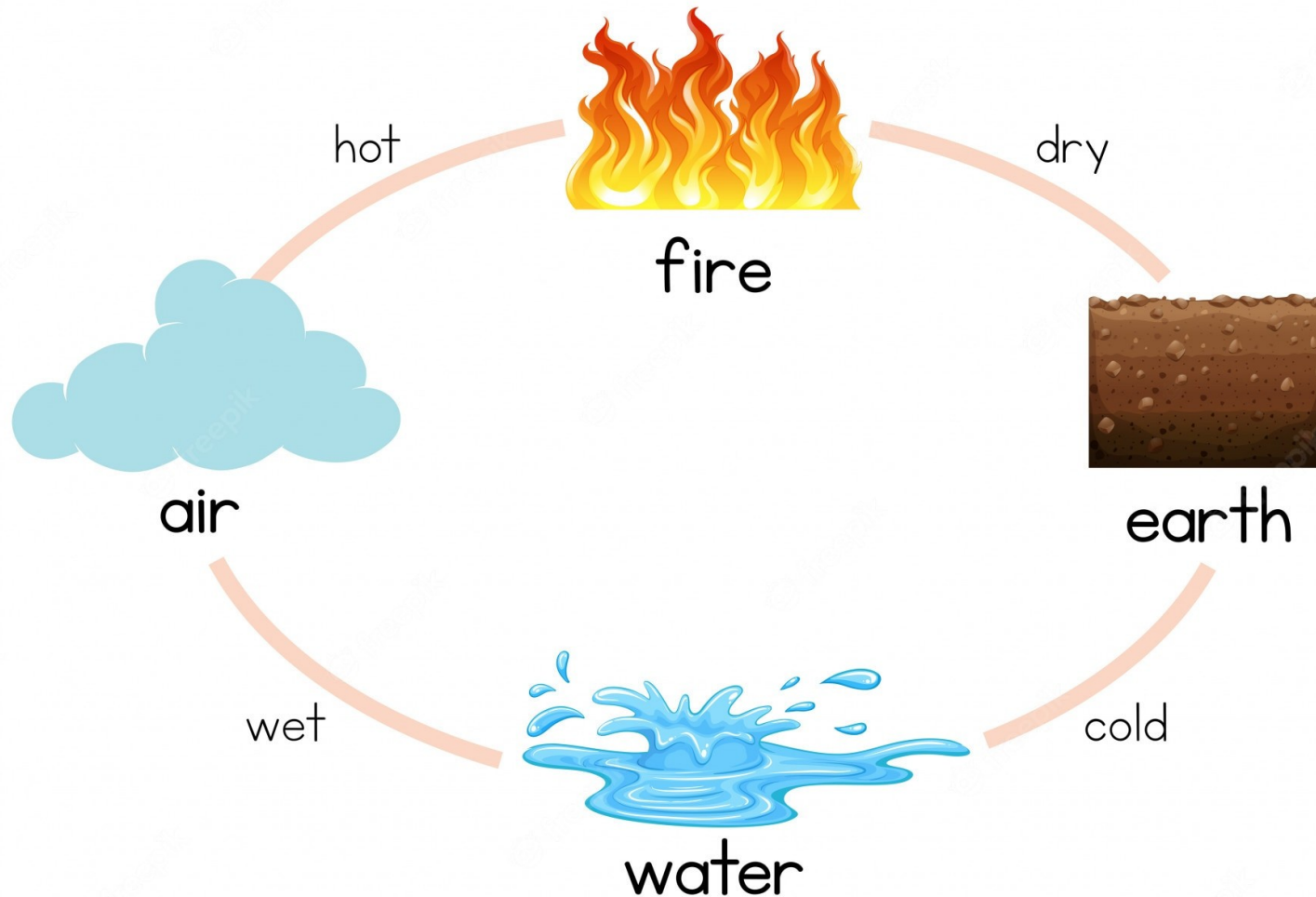
دانش فعلی ما از ابتدای عالم



سیر تحول دانش ما از ذرات بنیادی

در جستجوی یک تصویر واحد و کامل از طبیعت

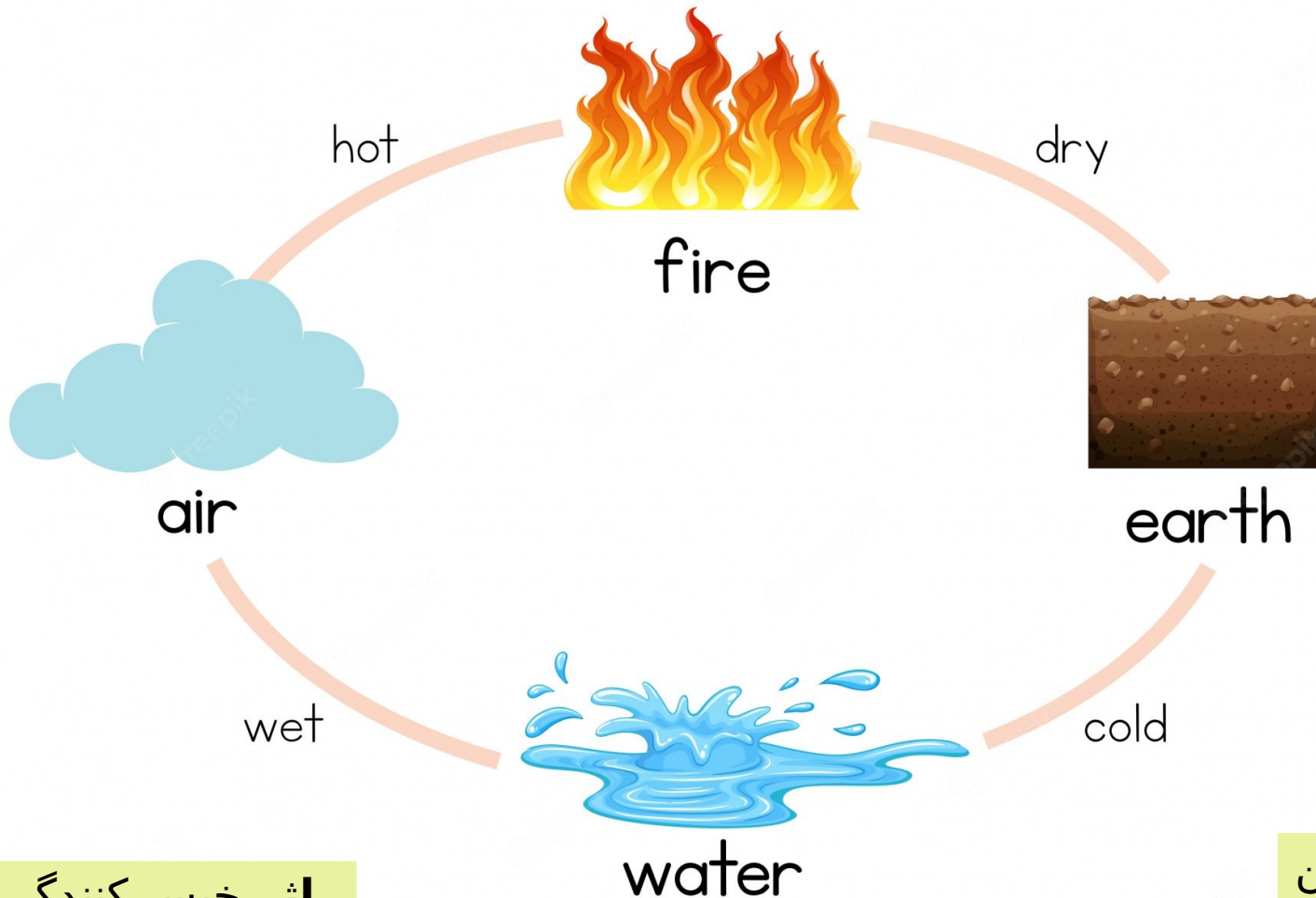
نگاه ارسطویی



در جستجوی یک تصویر واحد و کامل از طبیعت

تعبیر نیروها

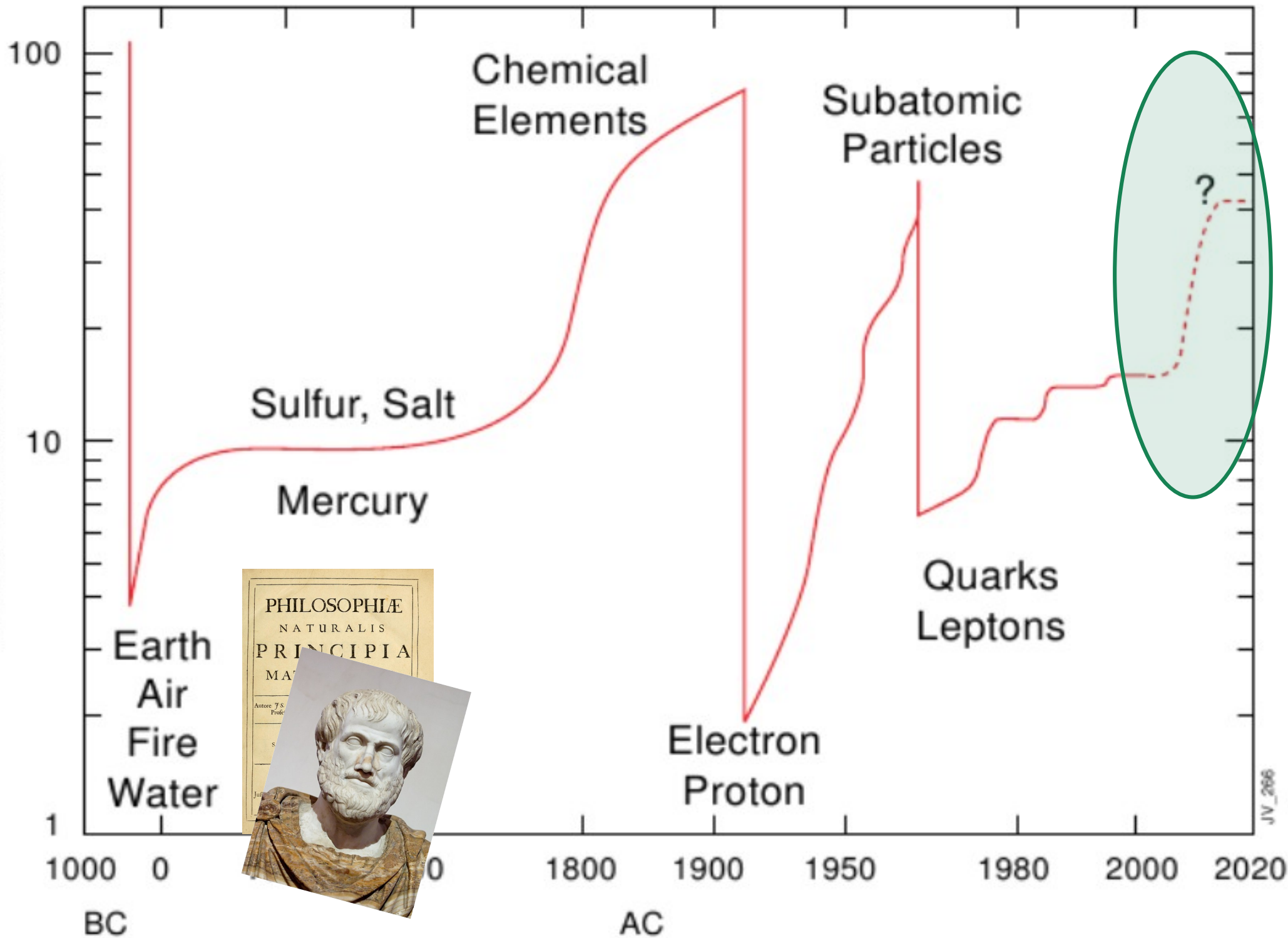
تمایل به بالا



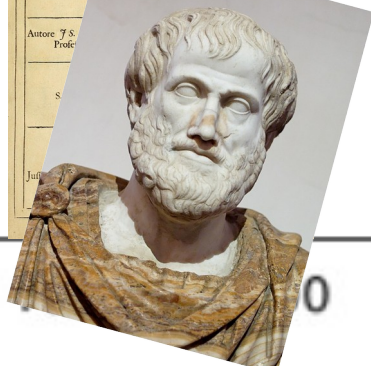
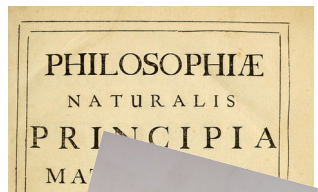
اثر خیس کنندگی

تمایل به پایین

Different Kinds of Basic Matter



Earth
Air
Fire
Water



Chemical
Elements

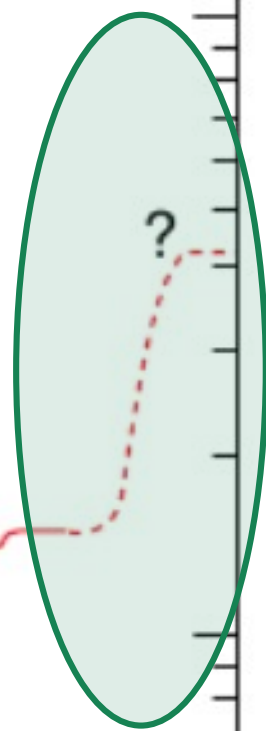
Sulfur, Salt

Mercury

Electron
Proton

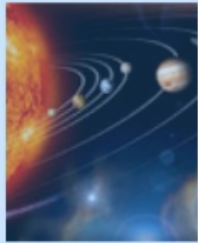
Subatomic
Particles

Quarks
Leptons



در جستجوی یک تصویر واحد و کامل از طبیعت

تعبیر نیروها



Planets
move



Things
fall



Electricity



Magnetism



Light



Radiation
1890s-



Nucleons
1910s-

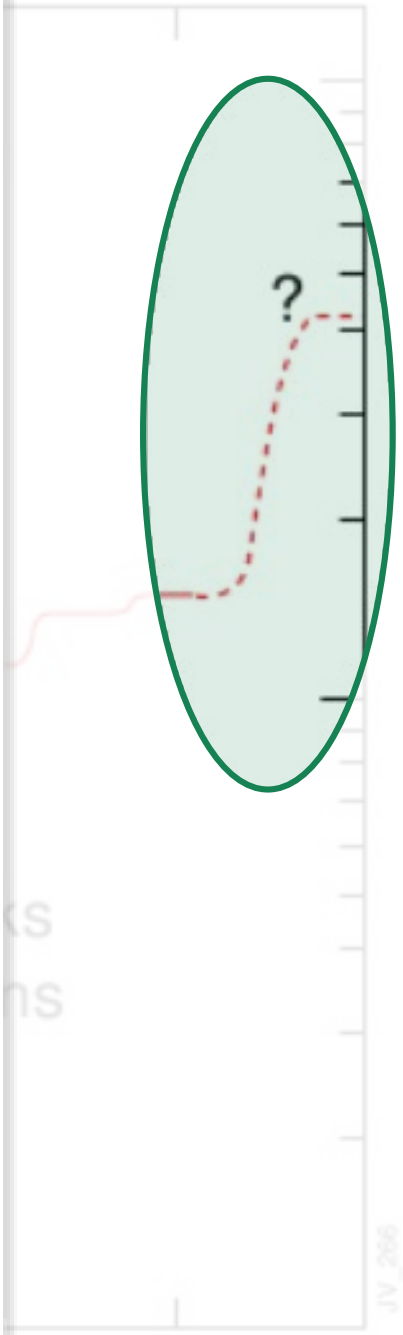
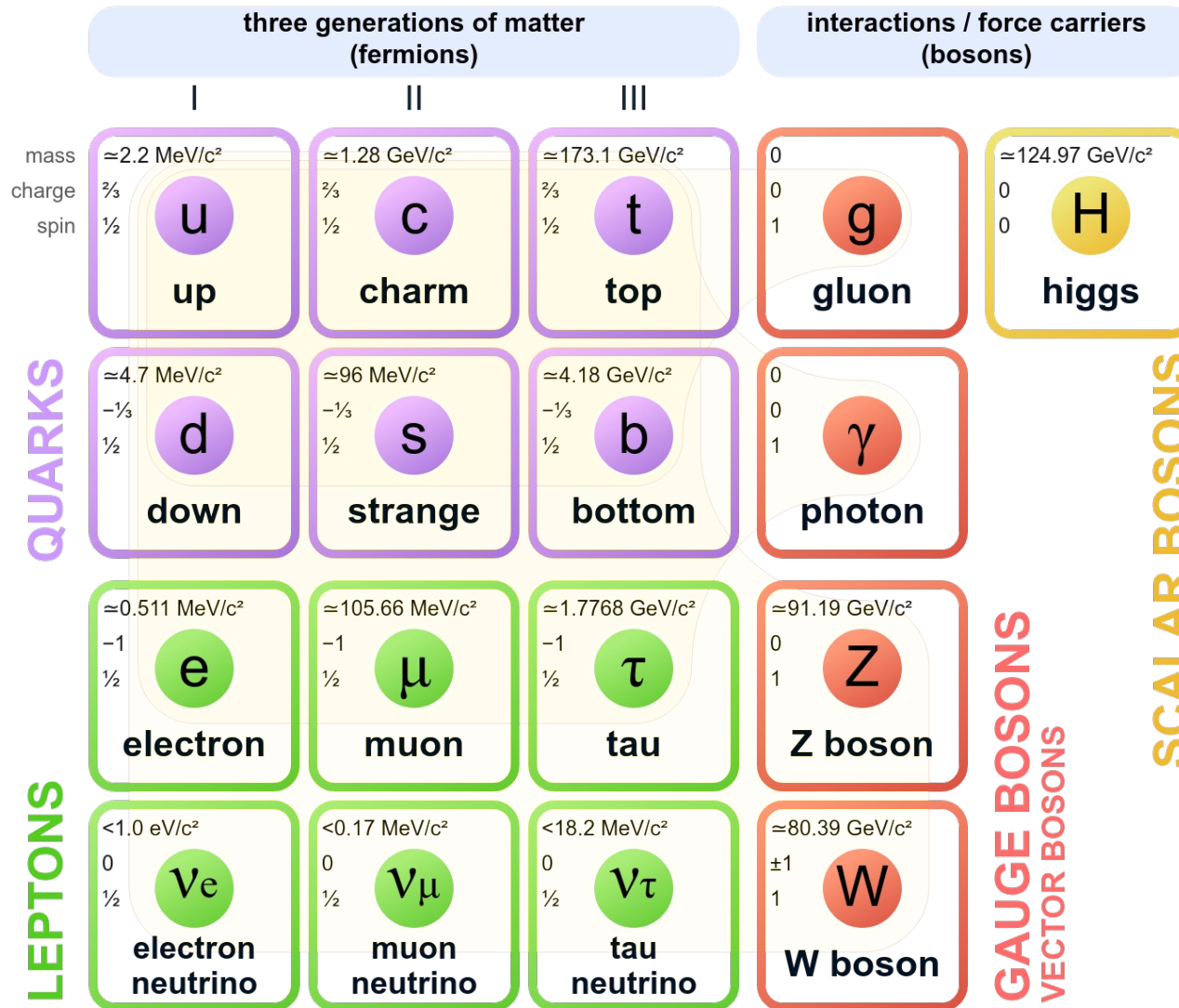
گرانش

برهمکنش الکتروضعیف

برهمکنش قوی (رنگی)

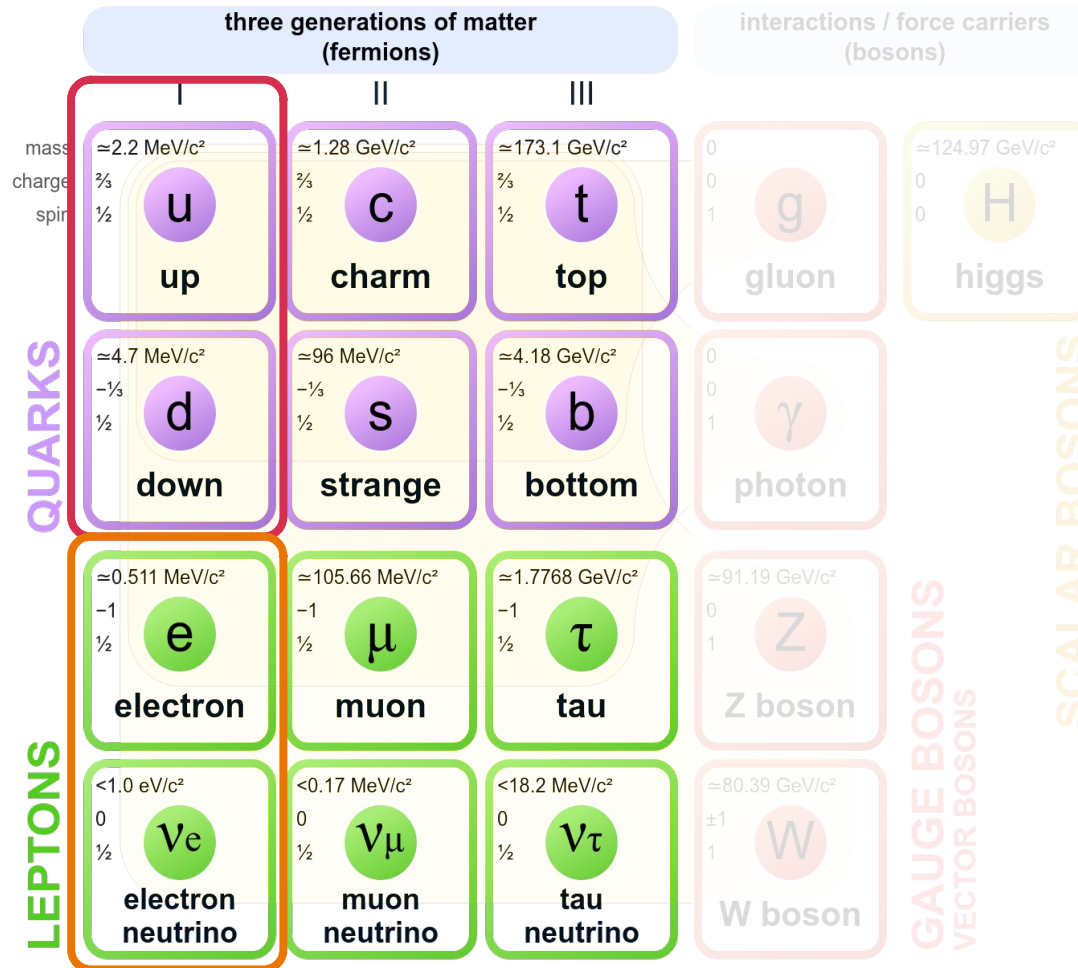
دانش امروز ما از ذرات بنیادی و نیروها

Standard Model of Elementary Particles



بخش مادی مدل استاندارد در یک نگاه

Standard Model of Elementary Particles



سه نسل کوارکی

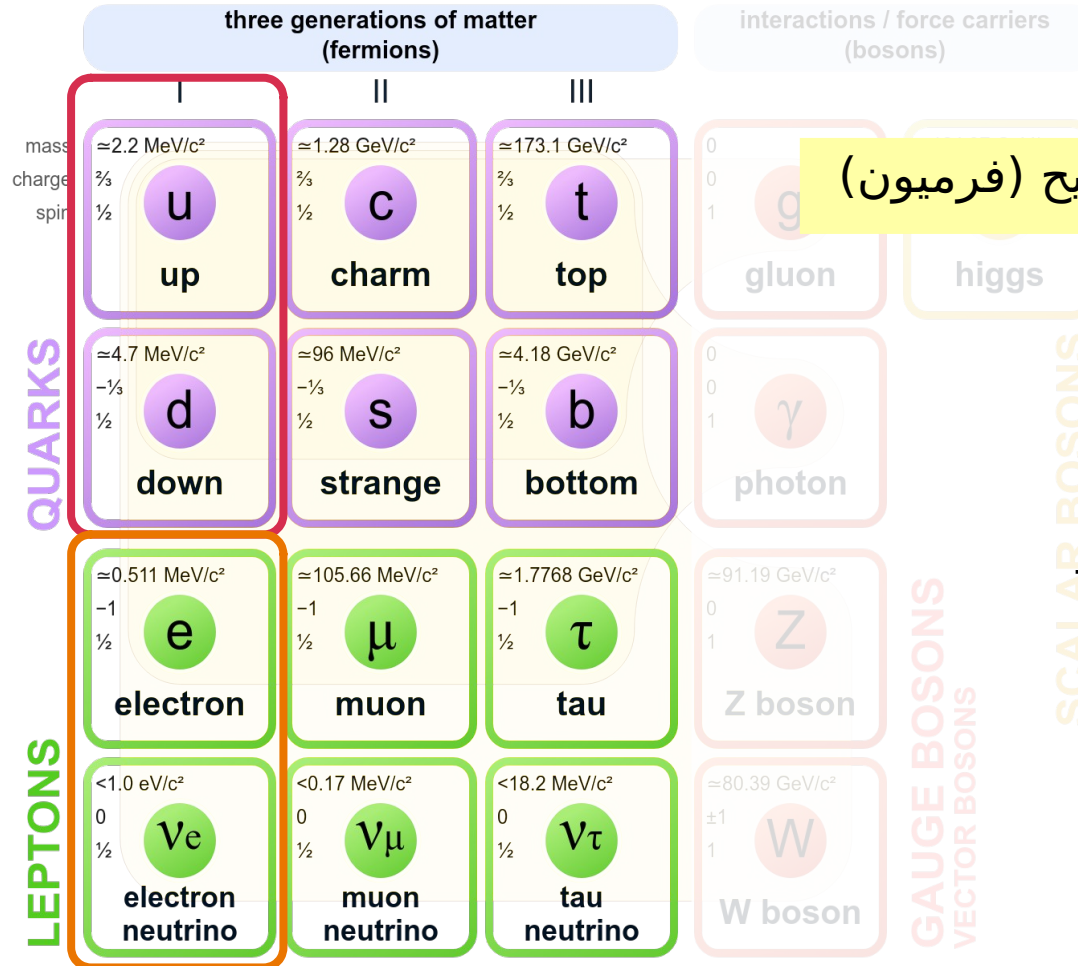
سه نسل لپتونی



نسل بالاتر، جرم بیشتر

بخش مادی مدل استاندارد در یک نگاه

Standard Model of Elementary Particles



همگی اسپین نیمه صحیح (فرمیون)

بار الکتریکی

کوارک های بالا: $+2/3$

کوارک های پایین: $-1/3$

لپتون ها: -1

نوترینوها: صفر



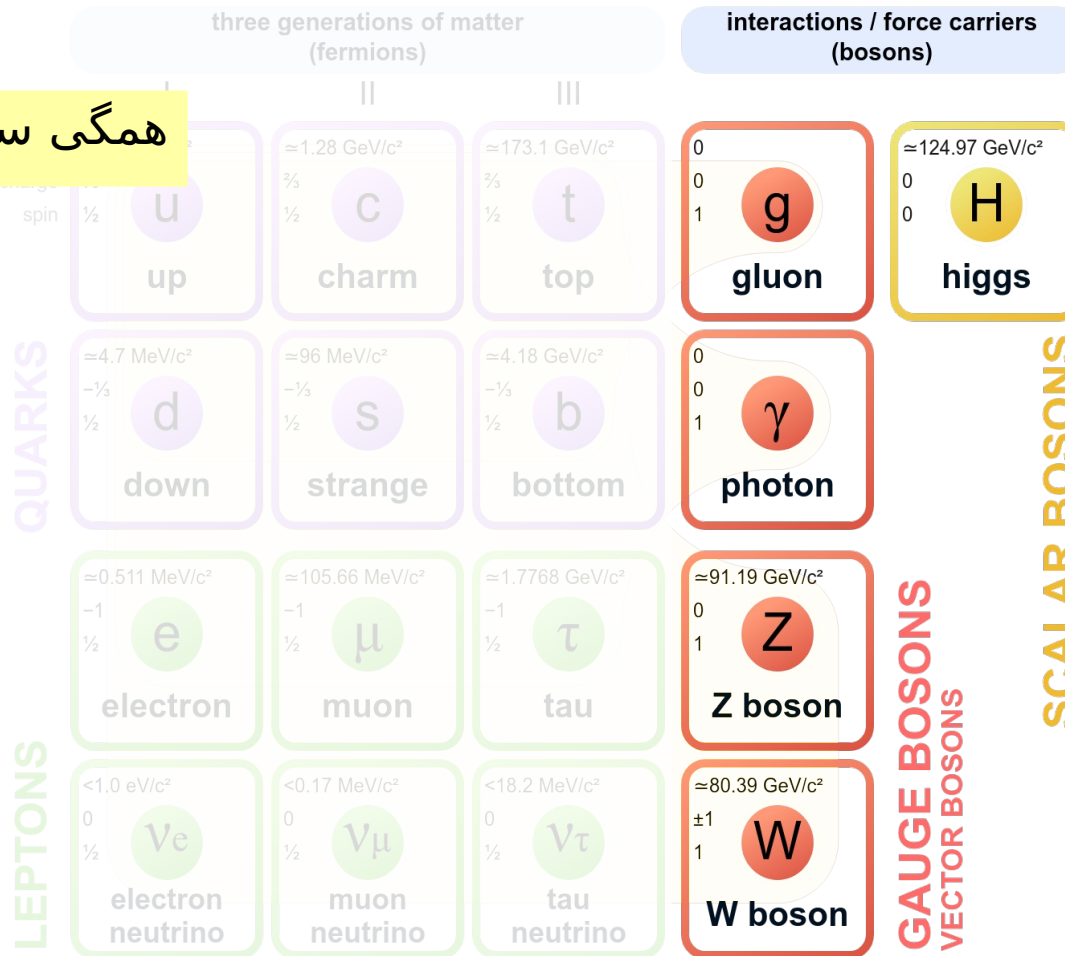
نسل بالاتر، جرم بیشتر

سه نسل کوارکی

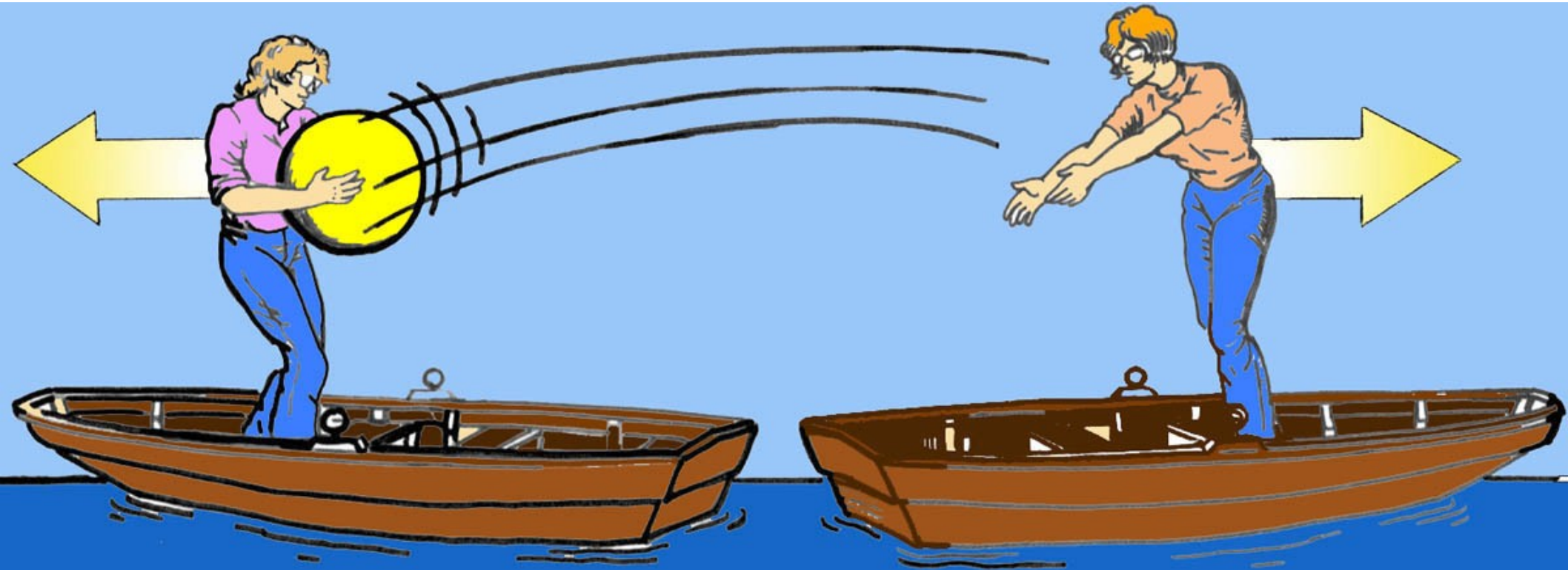
سه نسل لپتونی

Standard Model of Elementary Particles

همگی اسپین صحیح (بوزون)



منظور از حامل نیرو چیست؟



تعبیر ذره‌ای انتقال نیرو

مدخل نظریه میدان‌های کوانتومی!!

Standard Model of Elementary Particles

		three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
		I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$	
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs	
QUARKS	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon		
LEPTONS	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	0	
	-1	-1	-1	0	1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	
		e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	± 1	
0	0	0	0	1	1	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson		

برهمکنش رنگی (قوی) میان کوارکها

Standard Model of Elementary Particles

		three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
		I	II	III		
mass		$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge		$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
		u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
		d down	s strange	b bottom	γ photon	
		e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
		ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

QUARKS (left side label)

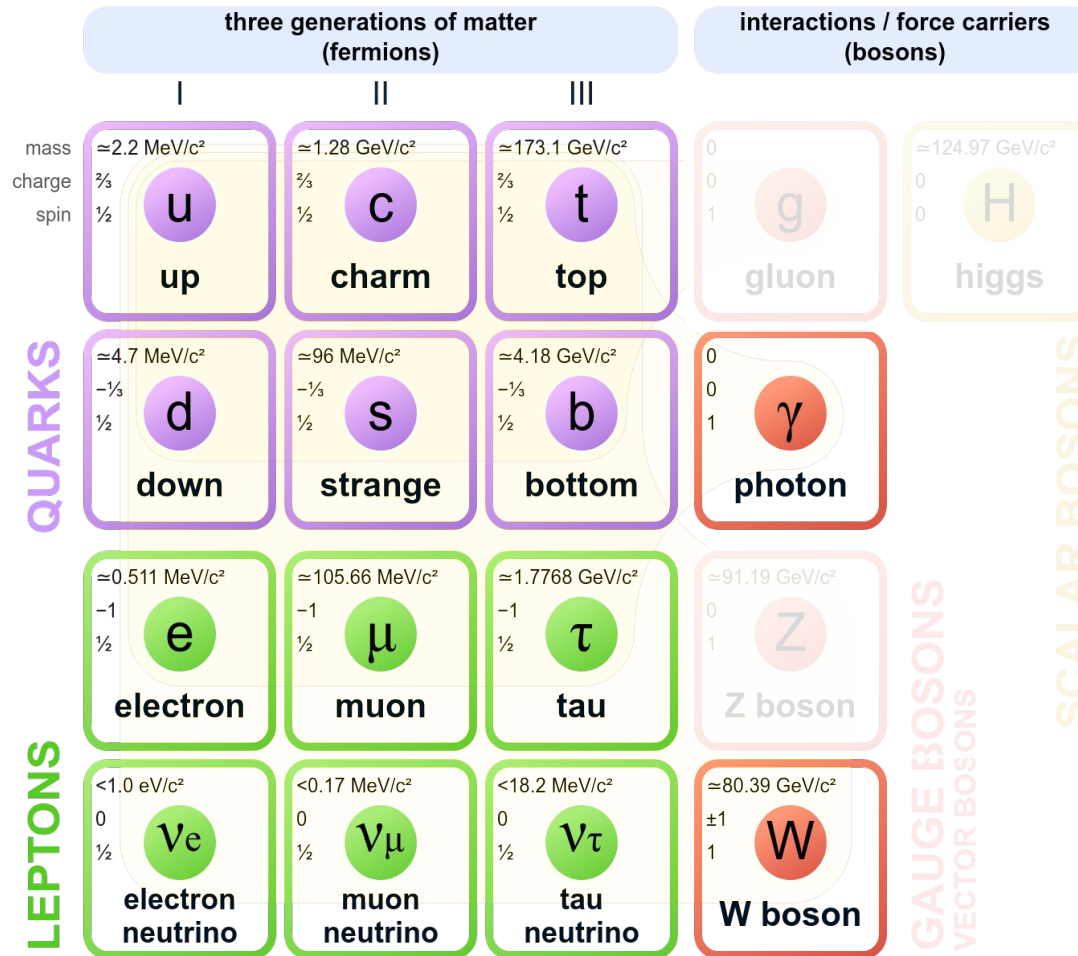
LEPTONS (left side label)

GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS (bottom right label)

SCALAR BOSONS (right side label)

برهمکنش ضعیف میان ذرات با اسپین نیمه صحیح

Standard Model of Elementary Particles



برهمکنش الکترومغناطیسی بین همه ذرات باردار

برهمکنش‌های ذره شگفت‌انگیز

Standard Model of Elementary Particles

		three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
		I	II	III		
mass		$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge		$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
		u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	QUARKS	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
		$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
		d down	s strange	b bottom	γ photon	
		$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
		-1	-1	-1	0	
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
		e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	LEPTONS	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	
		0	0	0	± 1	
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
		ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
						SCALAR BOSONS
						GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS

بوزون هیگز چطور برهمکنش می‌کند؟!!!

برهمکنش‌های ذره شگفت‌انگیز

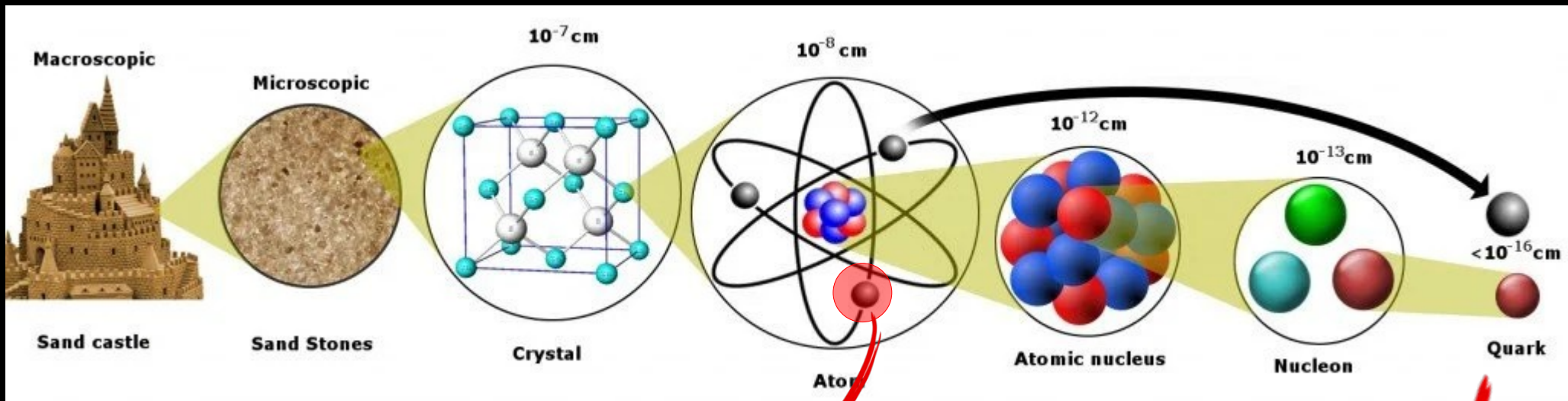
Standard Model of Elementary Particles

		three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
		I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$	
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0	
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0	
	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs	
QUARKS	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0		
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0		
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1		
	d down	s strange	b bottom	γ photon		
LEPTONS	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$		
	-1	-1	-1	0		
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1		
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson		
	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$		
	0	0	0	± 1		
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1		
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson		

GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS

SCALAR BOSONS

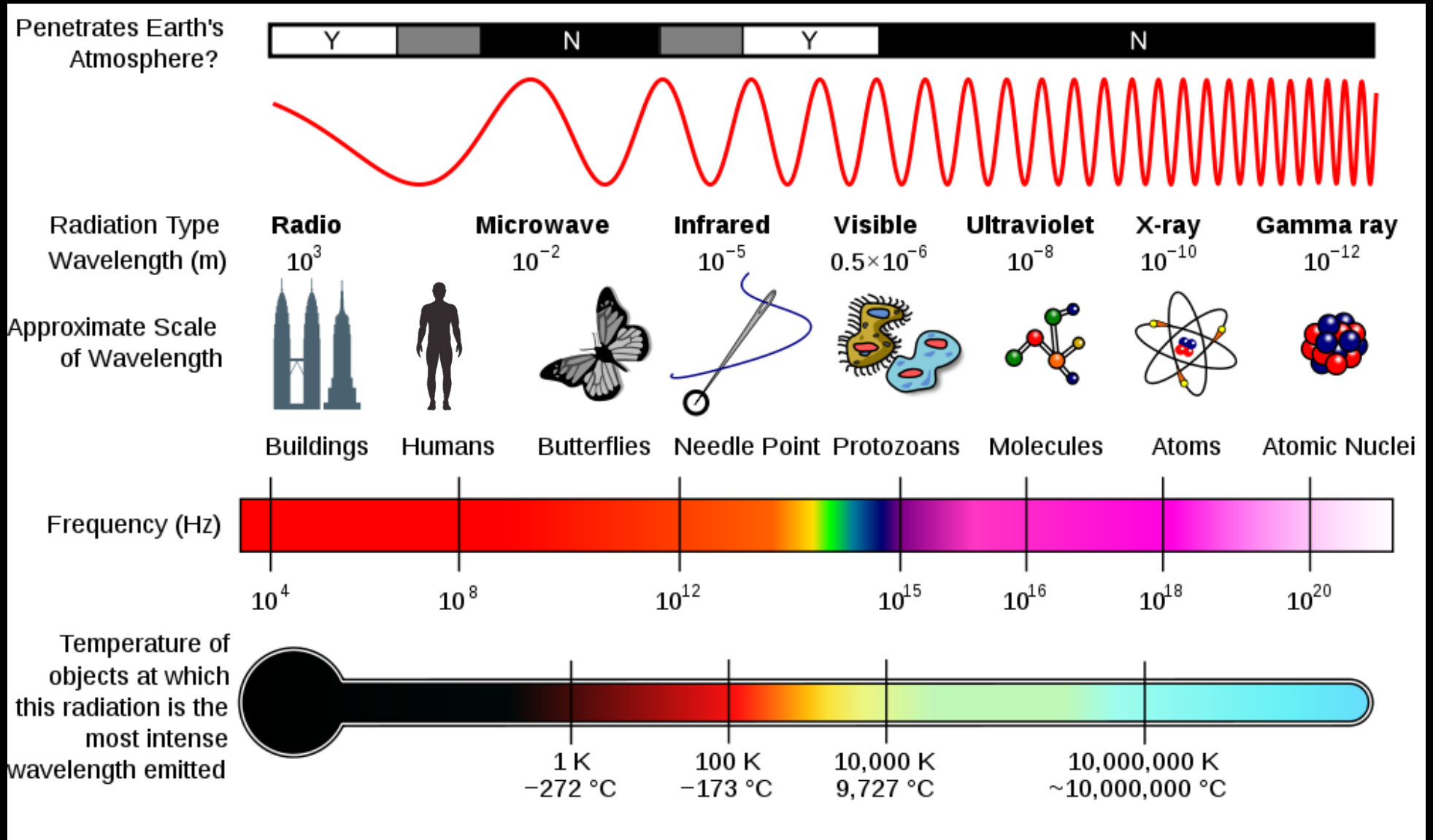
قدرت برهمکنش‌های ذره شگفت‌انگیز با ذرات به جرم آن‌ها بستگی دارد



	three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
QUARKS	$2.2 \text{ MeV}/c^2$ u up	$1.28 \text{ GeV}/c^2$ c charm	$173.1 \text{ GeV}/c^2$ t top	g gluon	H higgs
	$4.7 \text{ MeV}/c^2$ d down	$96 \text{ MeV}/c^2$ s strange	$4.18 \text{ GeV}/c^2$ b bottom	γ photon	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$ e electron	$105.66 \text{ MeV}/c^2$ μ muon	$1.7768 \text{ GeV}/c^2$ τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	$0 \text{ eV}/c^2$ ν_e electron neutrino	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ ν_μ muon neutrino	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ ν_τ tau neutrino	W W boson	
				GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS	SCALAR BOSONS

این تصویر چطور شکل گرفت؟
چطور کامل تر می شود؟

شناخت طبیعت: انرژی و ابعاد



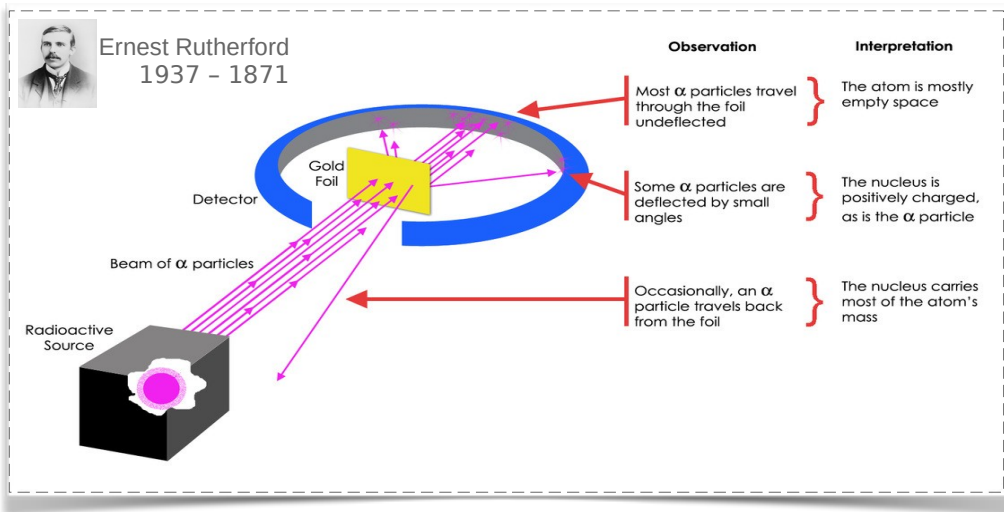
شناخت طبیعت: انرژی و ابعاد

میخواهی ساختار یک ماده رو بشناسی؟

بیش ذرات شتابدار شلیک کن
دسترسی به ابعاد ریز تر با ذره پراکنشی تر!



شتابگرهای ذرات بعنوان ماشین کشف



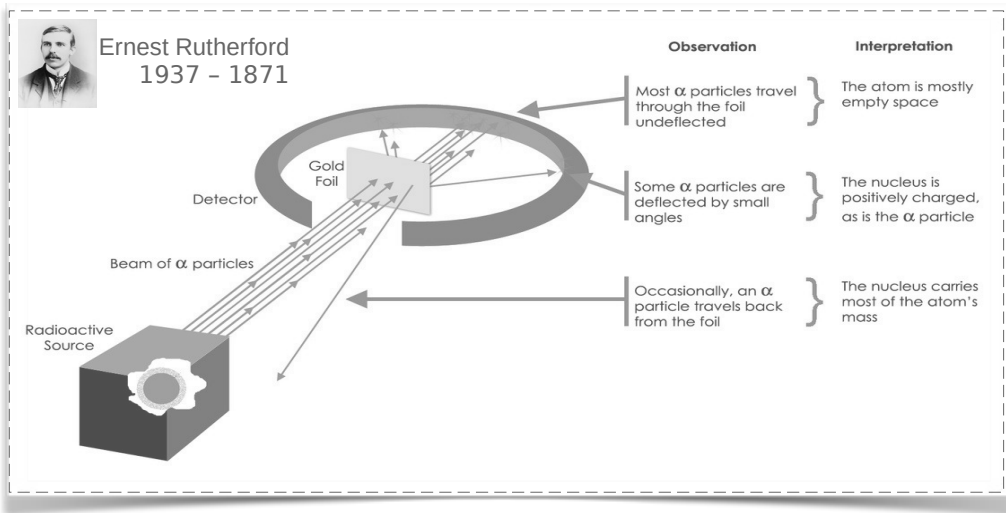
رادرفورد از ذره آلفای شتابدار استفاده کرد

منبع؟ عناصر رادیواکتیو

انرژی: در حد مگاالکترون ولت (غیرقابل تنظیم)

هدف: ثابت (ورقه طلا)

شتابگرهای ذرات بعنوان ماشین کشف



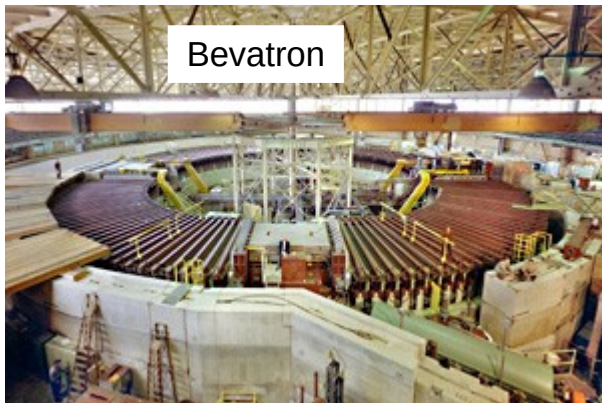
رادرفورد از ذره آلفای شتابدار استفاده کرد

منبع؟ عناصر رادیواکتیو

انرژی: در حد مگاالکترون ولت (غیر قابل تنظیم)

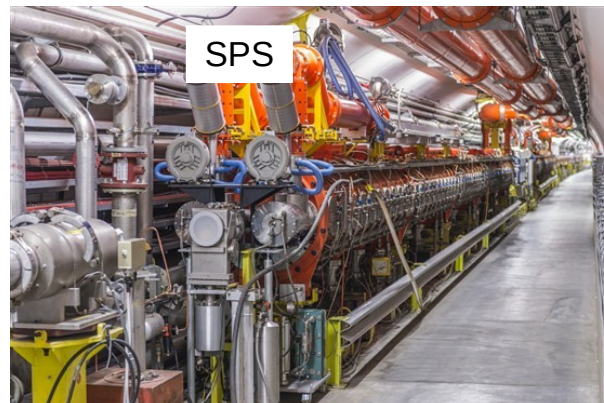
هدف: ثابت (ورقه طلا)

انواع شتابگرها با شتاب دادن الکترون، پروتون و آنتی-پروتون و با انرژی قابل تنظیم
هدف: ثابت یا متحرک



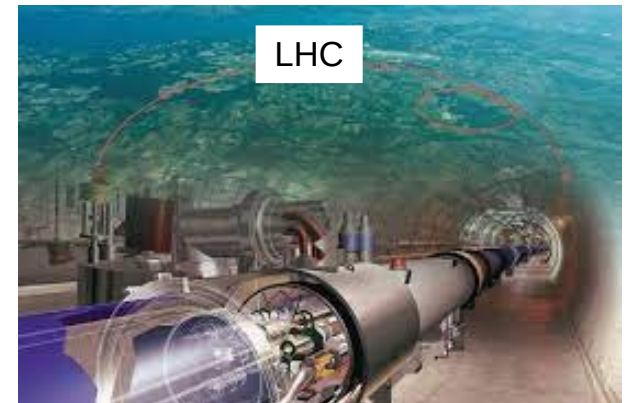
Bevatron

۱۹۵۴ - ۲۰۱۲



SPS

۱۹۷۶ -



LHC

۲۰۱۰ -



و اما شتابگر محبوب ما

برخورددهنده بزرگ هادرونی

که پروتون‌ها را تا سرعتی در حد سرعت نور شتاب میدهد!!



Standard Model of Elementary Particles

	three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

SCALAR BOSONS

**GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS**

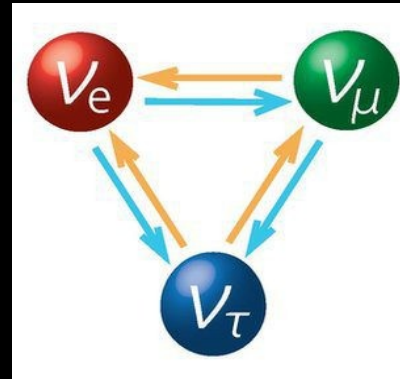
با وجود مدل استاندارد،
چه نیازی به LHC؟! !!

برخی ناکارآمدی‌های مدل استاندارد ذرات

عدم توضیح مشاهدات تجربی



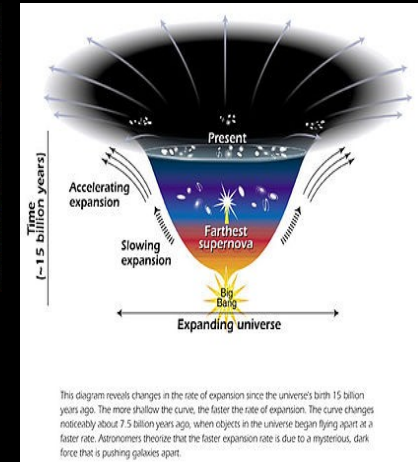
عدم توضیح گرانش



جرم نوترینوها



انرژی و ماده تاریک



عدم پاسخ به بعضی سؤالات تئوری

چرا جرم ذرات این مقداری است که دیده‌ایم؟

چرا نسل‌های مختلفی از فرمیون‌ها داریم؟

چرا محاسبات اختلالی در جرم هیگز واگرایی پیش‌بینی می‌کنند در حالیکه دیده‌ایم این ذره جرم معین دارد؟

و



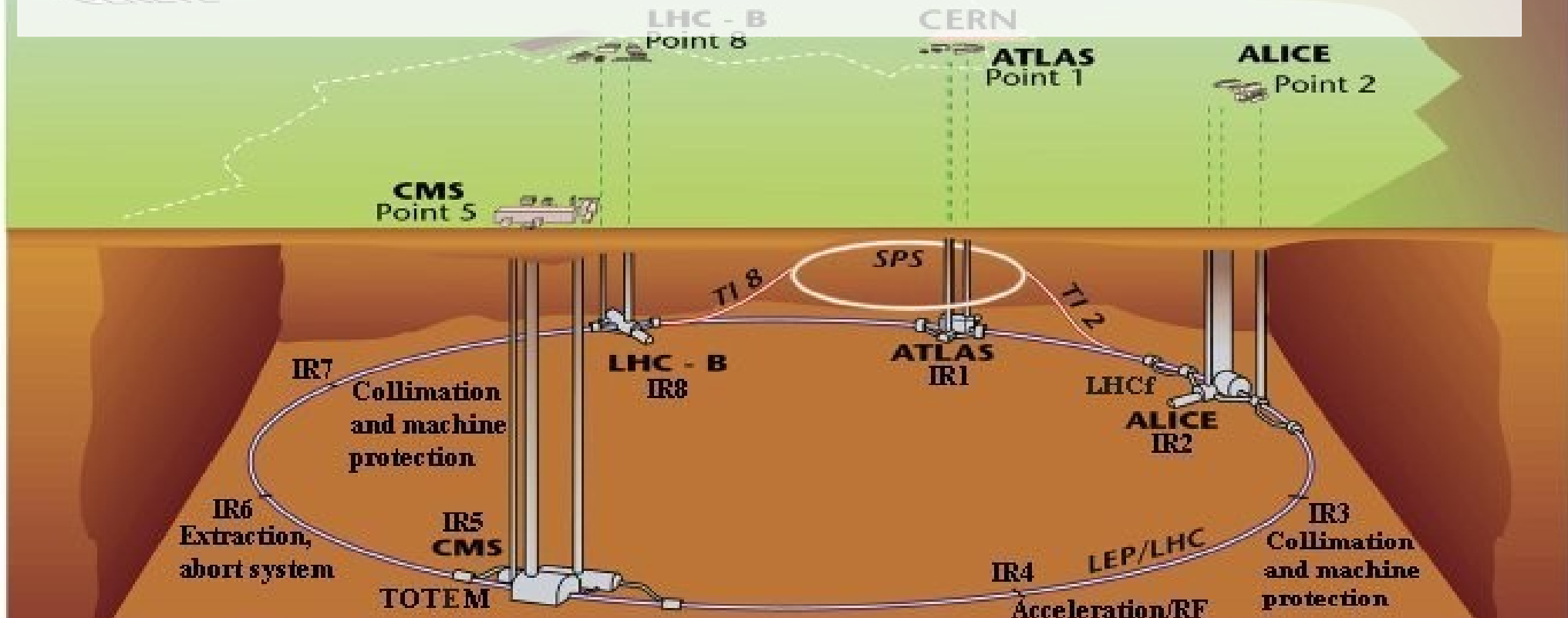
- ◀ انرژی بالا و دستیابی به ذرات سنگین کشف نشده
- ◀ درخشندگی بالا و تولید فراوان داده در واحد زمان
- ◀ آمار کافی برای کشف یا اندازه‌گیری دقیق

عدم پاسخ

Overall view of the LHC experiments.

- ✓ انرژی پرتوهای ورودی: ۴۵۰ گیگاالکترون ولت
- ✓ فرکانس چرخش ذرات در تونل: ۱۱۰۰۰ بار در ثانیه
- ✓ دمای بسیار پایین برای ابررسانایی (1.9 کلوین)
- ✓ انرژی برخورد پروتونها: حدود ۱۴ تراالکترون ولت

- ✓ تونلی به طول ۲۷ کیلومتر
- ✓ تا حدود ۱۰۰ متر زیر زمین
- ✓ میدان مغناطیسی: 8.5 تسلا

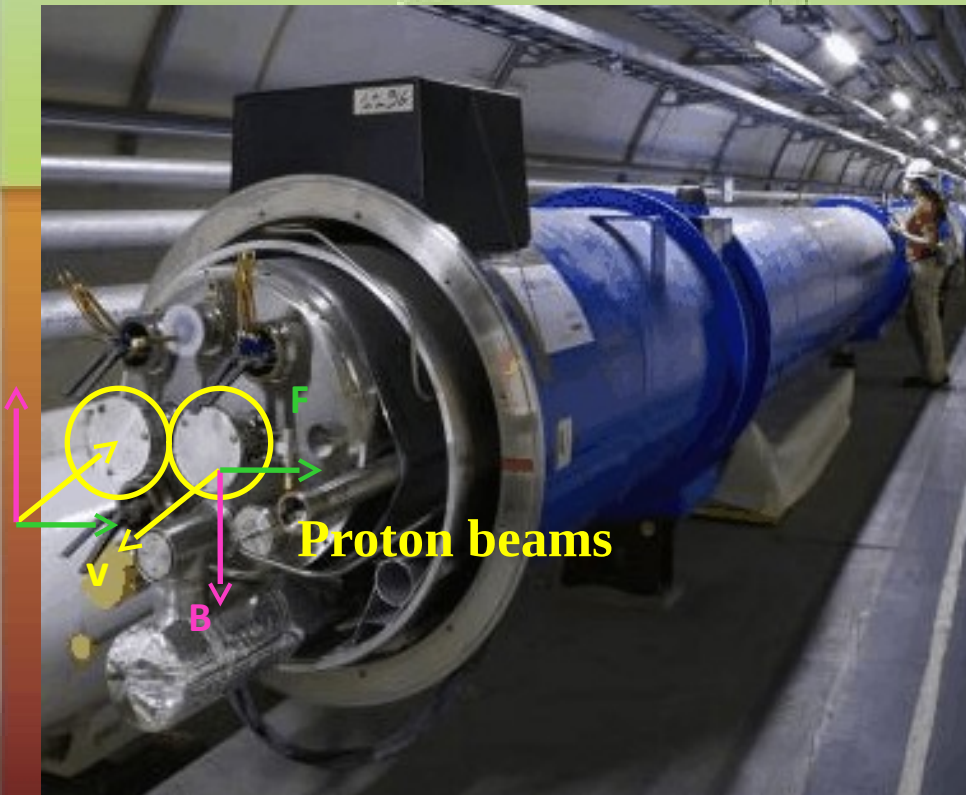


Overall view of the LHC experiments.

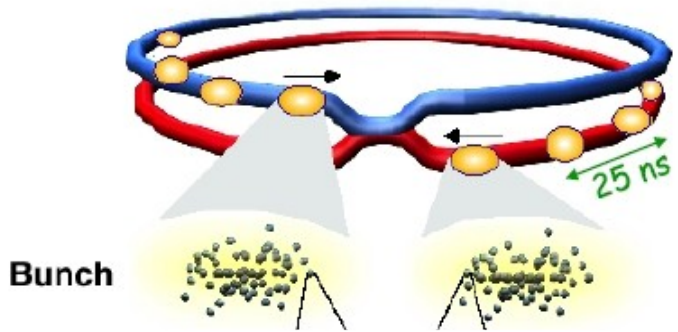
- ✓ انرژی پرتوهای ورودی: ۴۵۰ گیگاالکترون ولت
- ✓ فرکانس چرخش ذرات در تونل: ۱۱۰۰۰ بار در ثانیه
- ✓ دمای بسیار پایین برای ابررسانایی (1.9 کلوین)
- ✓ انرژی برخورد پروتونها: حدود ۱۴ تراالکترون ولت

- ✓ تونلی به طول ۲۷ کیلومتر
- ✓ تا حدود ۱۰۰ متر زیر زمین
- ✓ خلاء بسیار بالا (10^{-9} پاسکال)
- ✓ میدان مغناطیسی: 8.5 تسلا

میدان مغناطیسی دستگاه MRI حدود ۲ تسلاست



انرژی مجموع پروتونها در حلقه LHC



✓ در حلقه LHC حدود ۳۰۰۰ بسته پروتونی قرار میگیرد

✓ هر بسته حدود 10^{11} پروتون دارد

✓ انرژی هر پروتون حدود ۷ تراالکترونولت است

$$3 * 10^3 * 10^{11} * 7 * 10^{12} * 1.6 * 10^{-19} \sim 3 * 10^8 \text{ J}$$

✓ انرژی حدود ۳۰۰ مگاژول

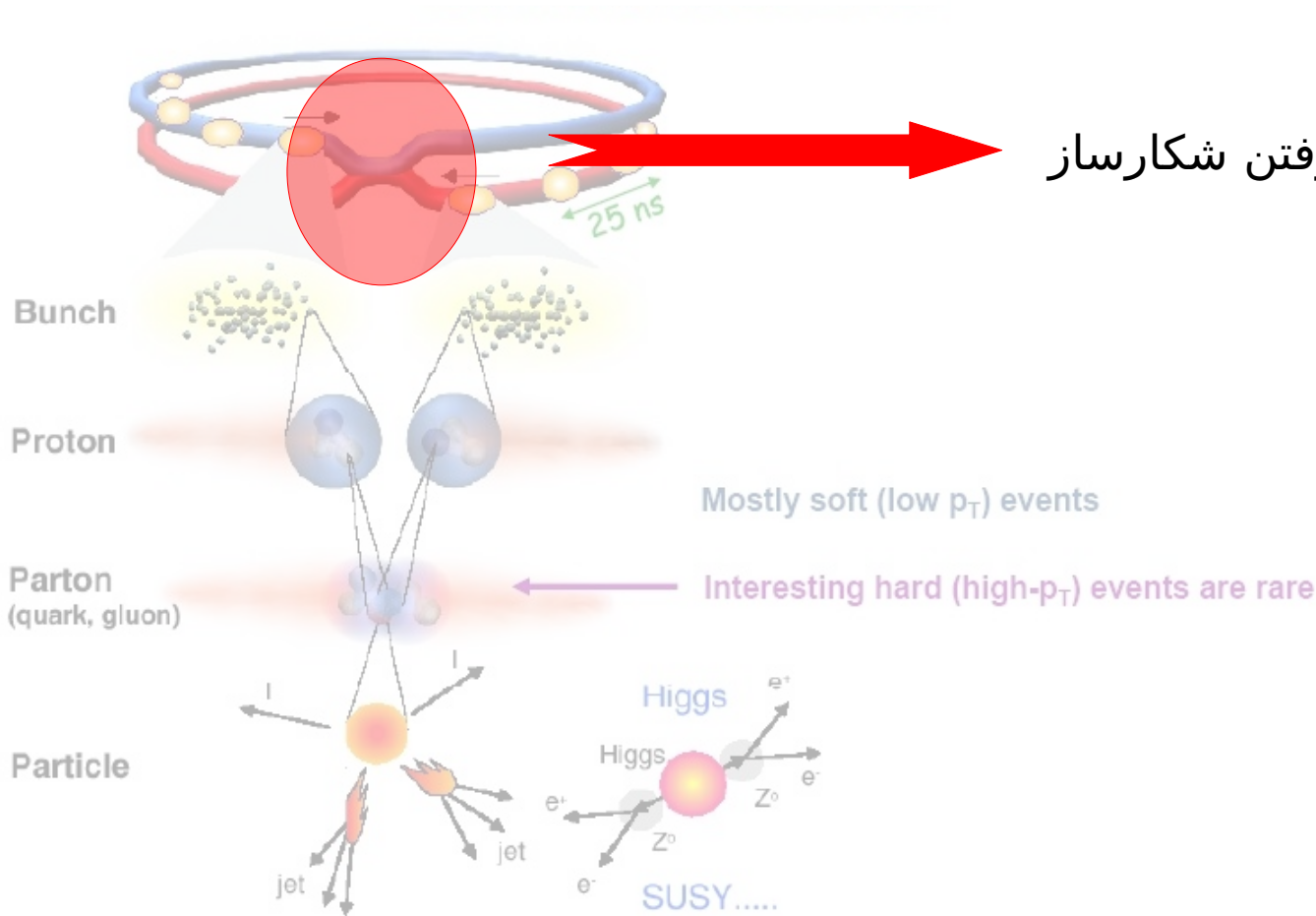
✓ معادل ۱۵۰ کیلوگرم TNT است

✓ میتواند یک تن مس را ذوب کند

✓ ۲۰۰ برابر انرژی شتابگر قبلی یعنی تواترون در فرمی لب امریکا است

چگونگی برخورد پروتونها

محل قرار گرفتن شکارساز



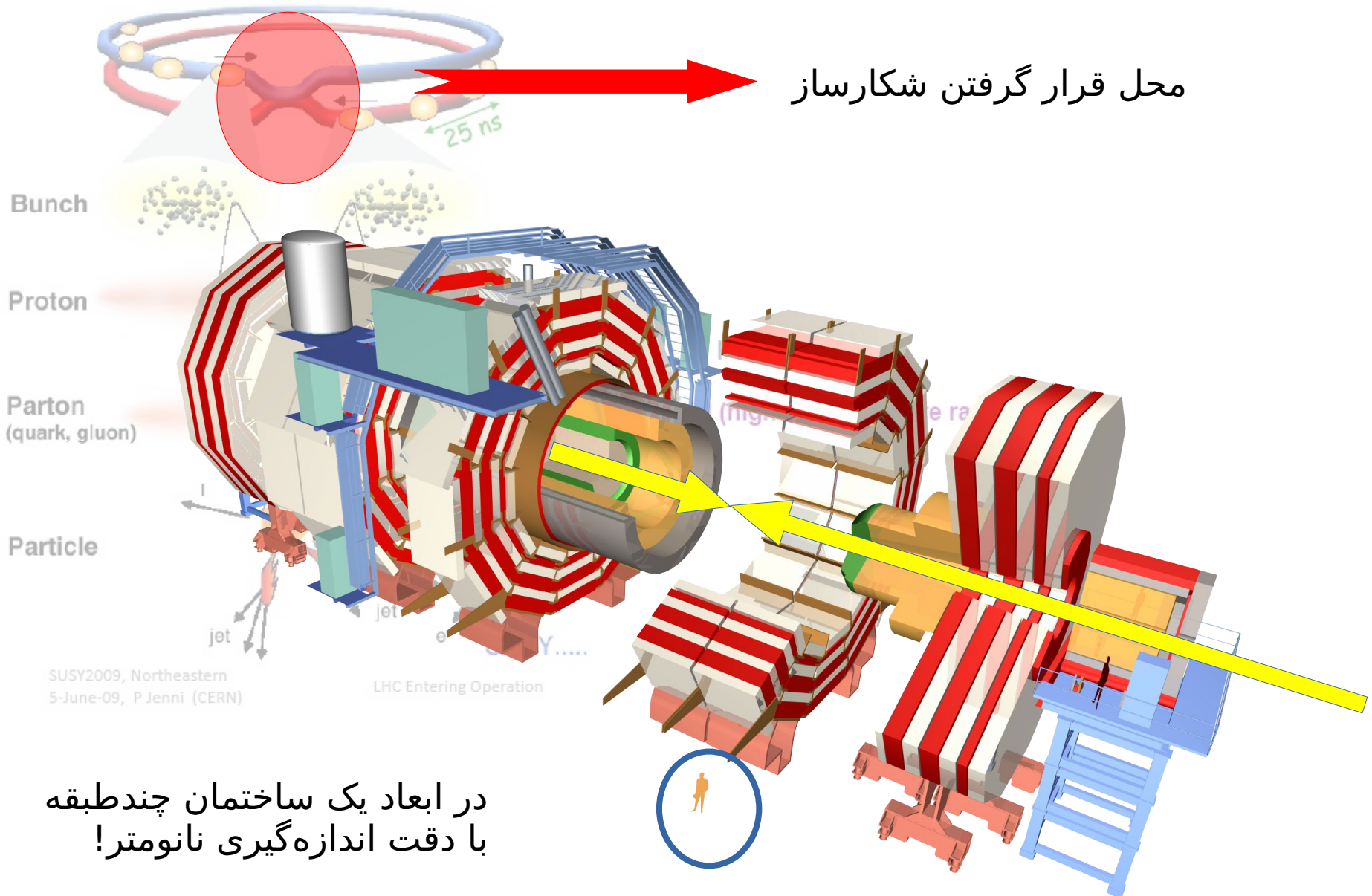
SUSY2009, Northeastern
5-June-09, P Jenni (CERN)

LHC Entering Operation

PAUSE!

چگونگی برخورد پروتونها

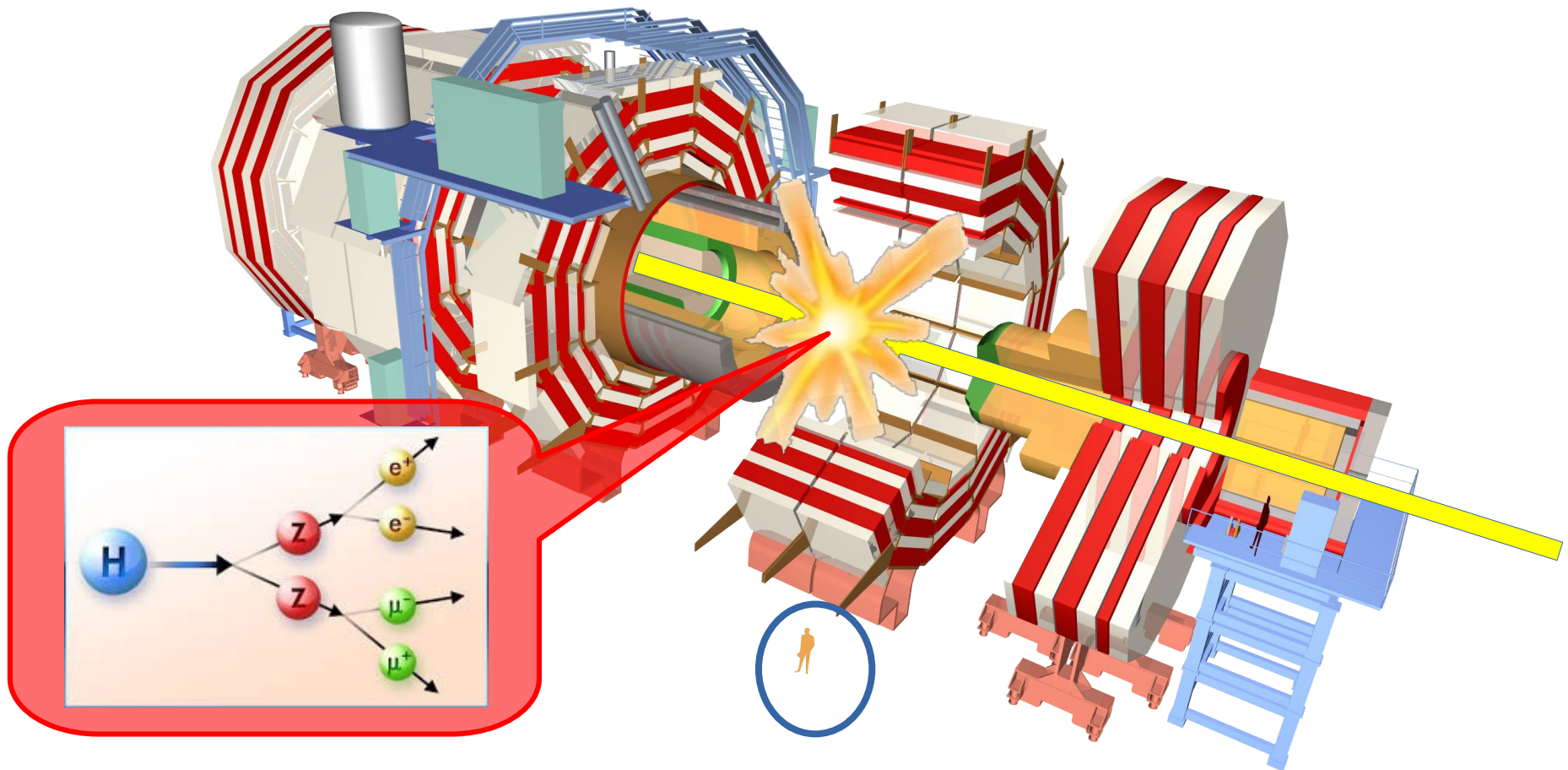
محل قرار گرفتن شکارساز



در ابعاد یک ساختمان چند طبقه
با دقت اندازه گیری نانومتر!

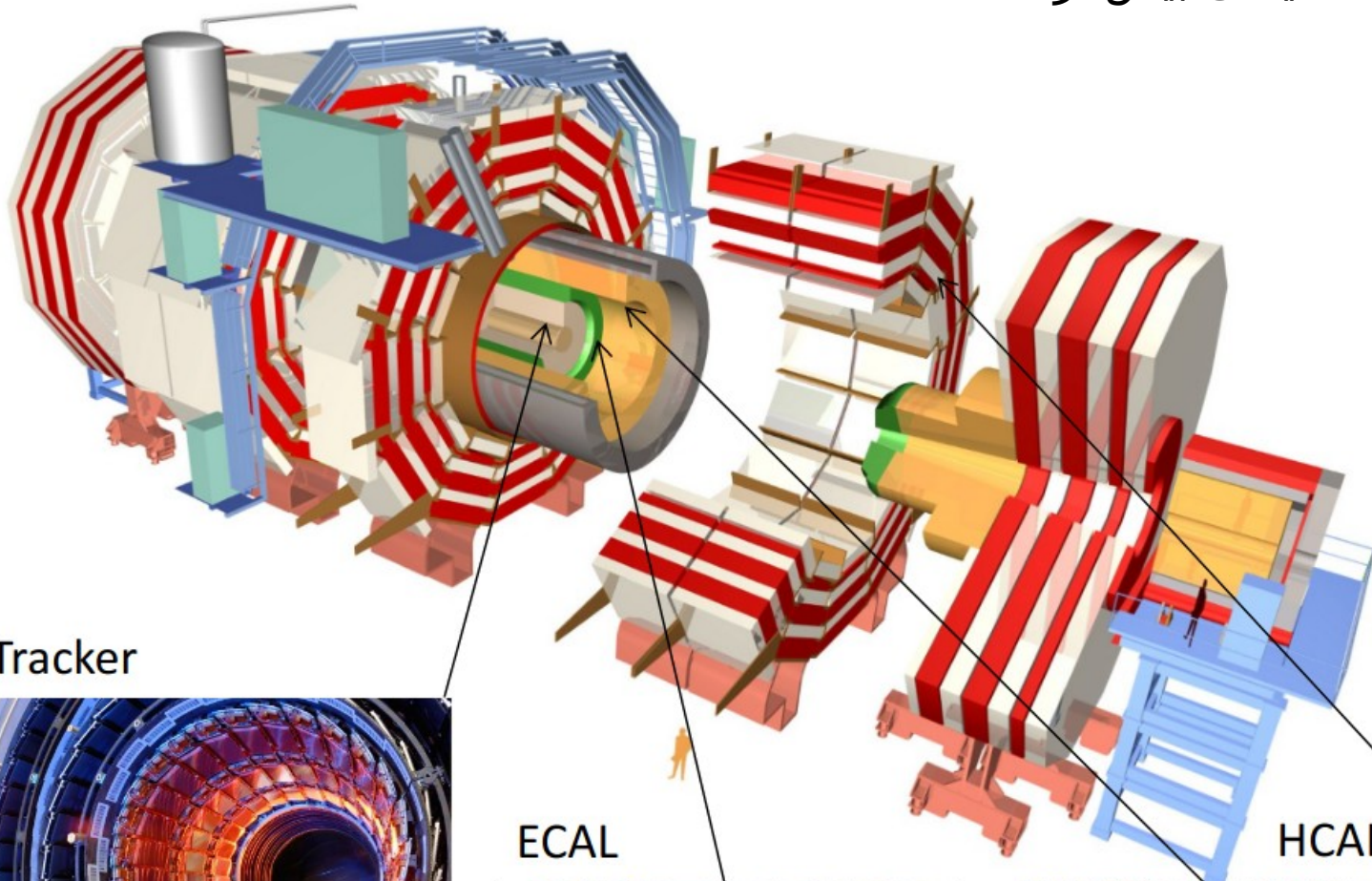
چگونگی برخورد پروتونها

در برخوردها ذرات سنگین و ناپایدار تولید می‌شوند که به ذرات پایدار واپاشی می‌کنند
آشکارساز ذرات پایدار را آشکارسازی می‌کند

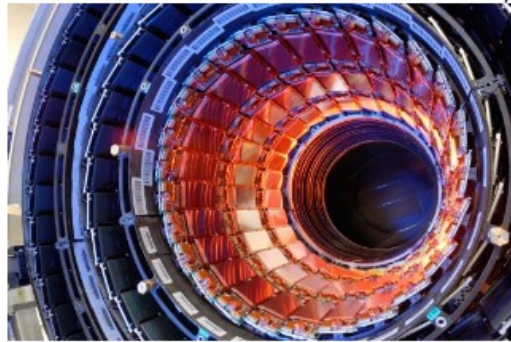


سیملوله فشرده میوئونی

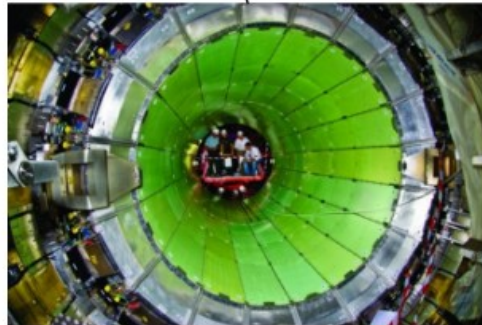
با ۱۲۰۰۰ تن جرم و میدان مغناطیسی بیش از ۴ تسلا



Tracker



ECAL

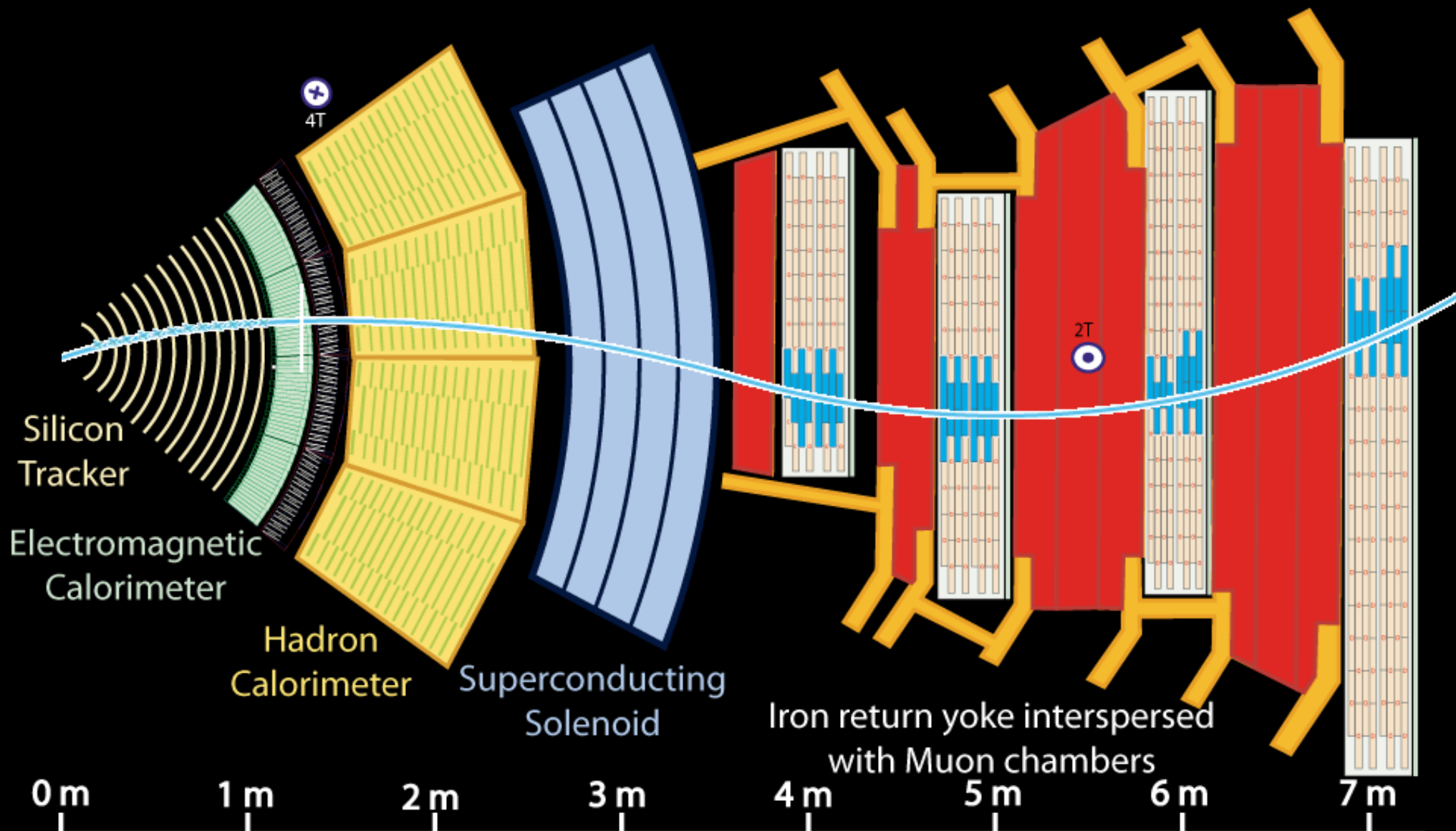


HCAL



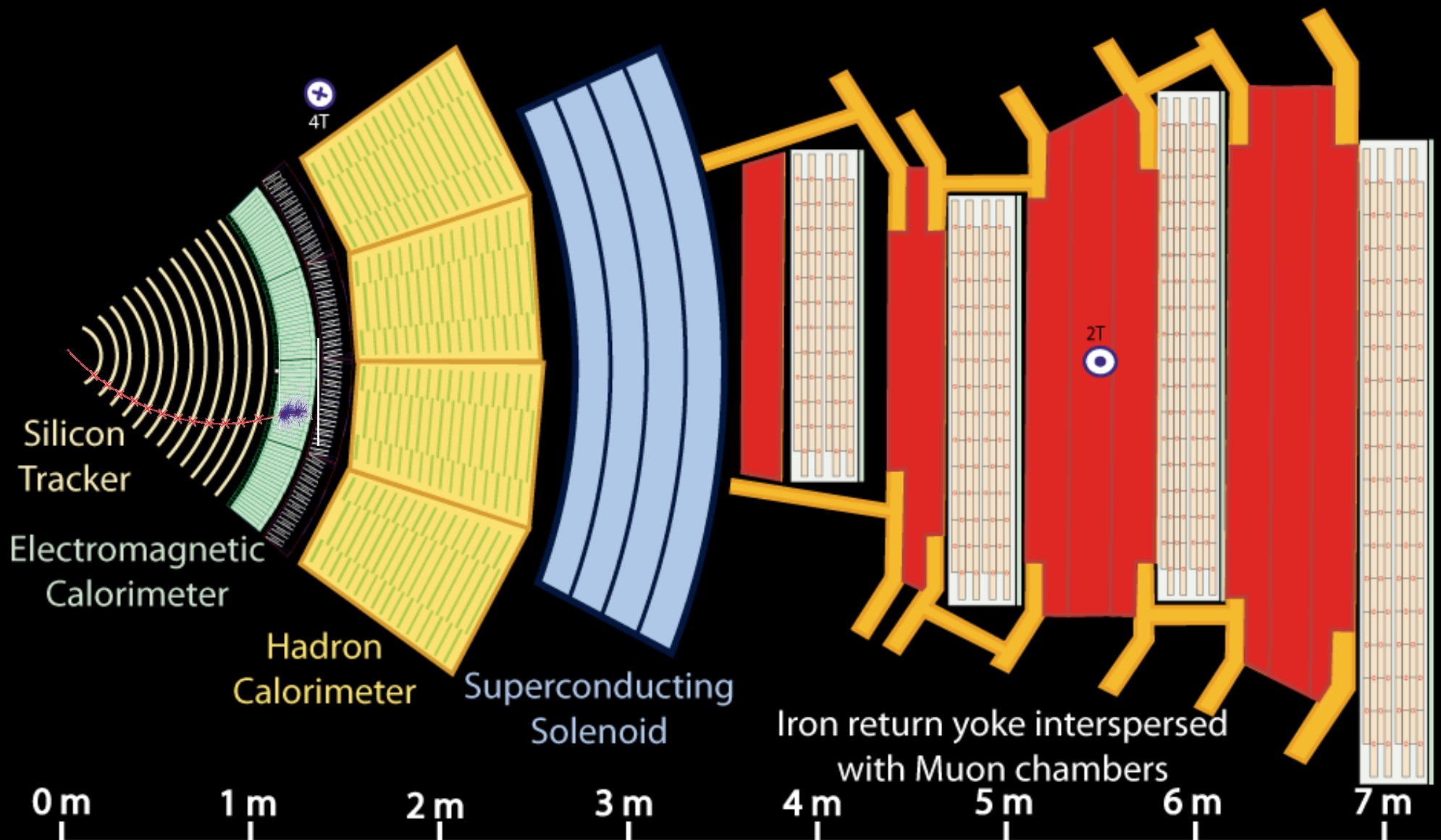
Muon Chambers





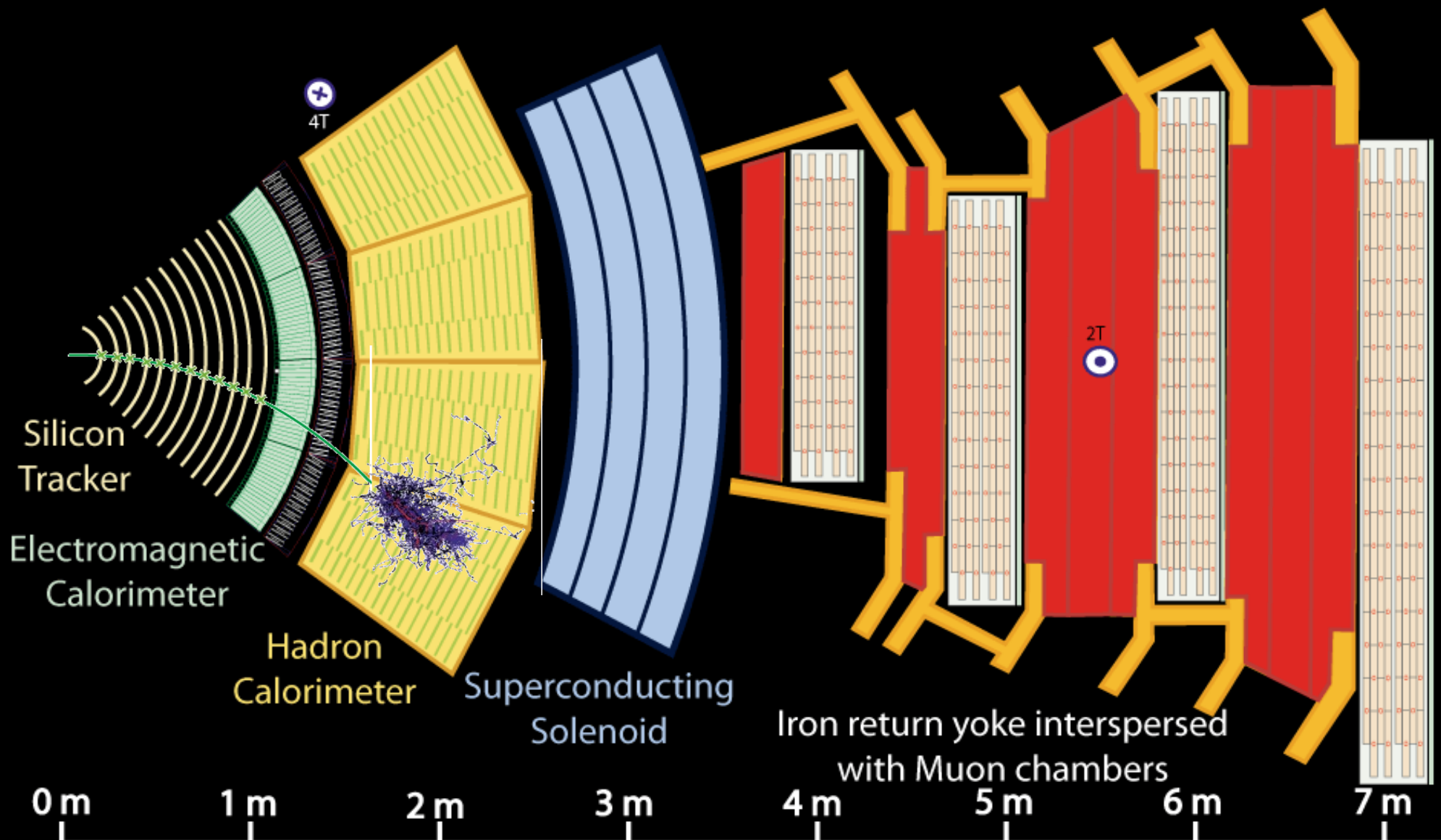
Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

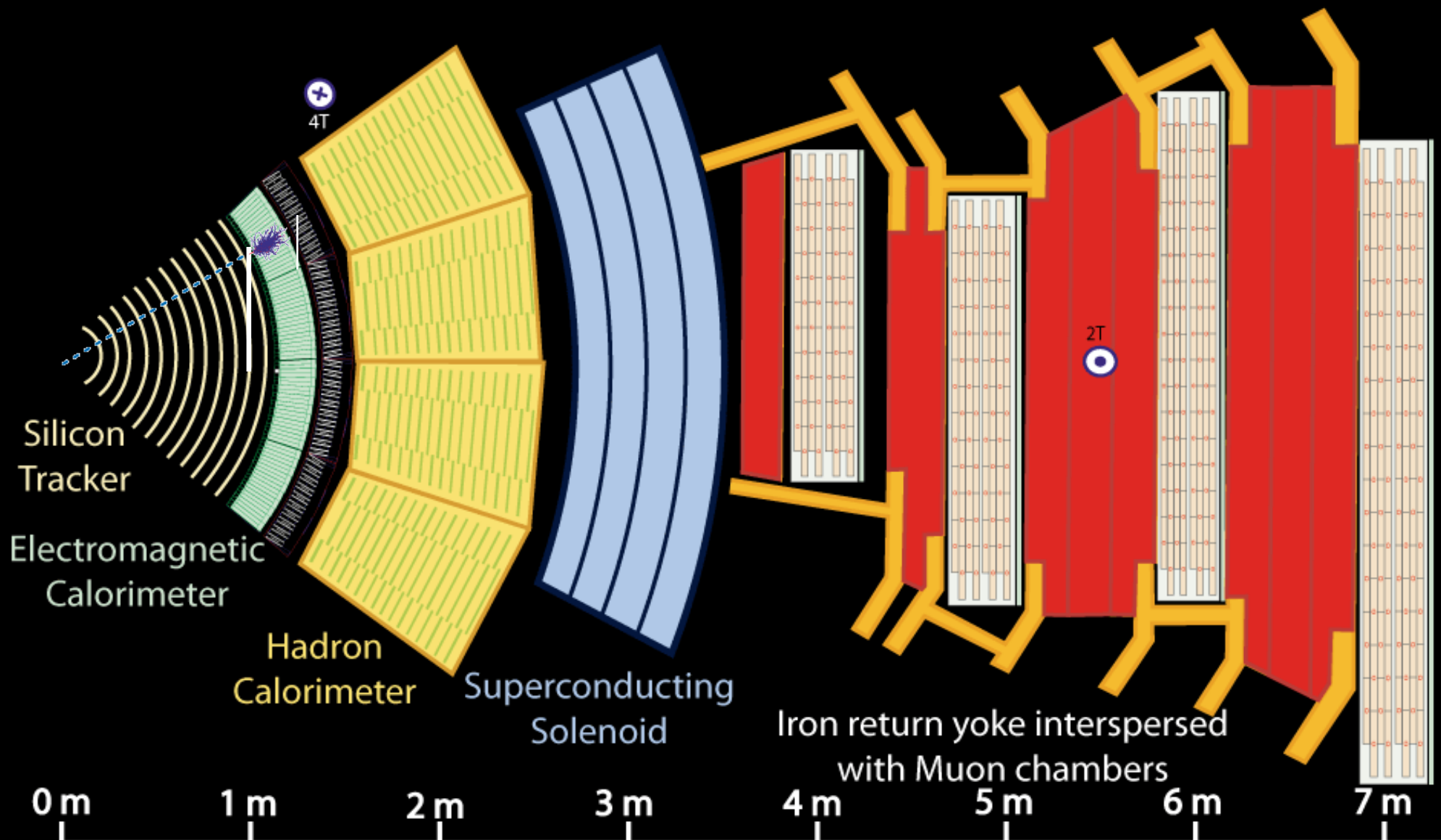
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



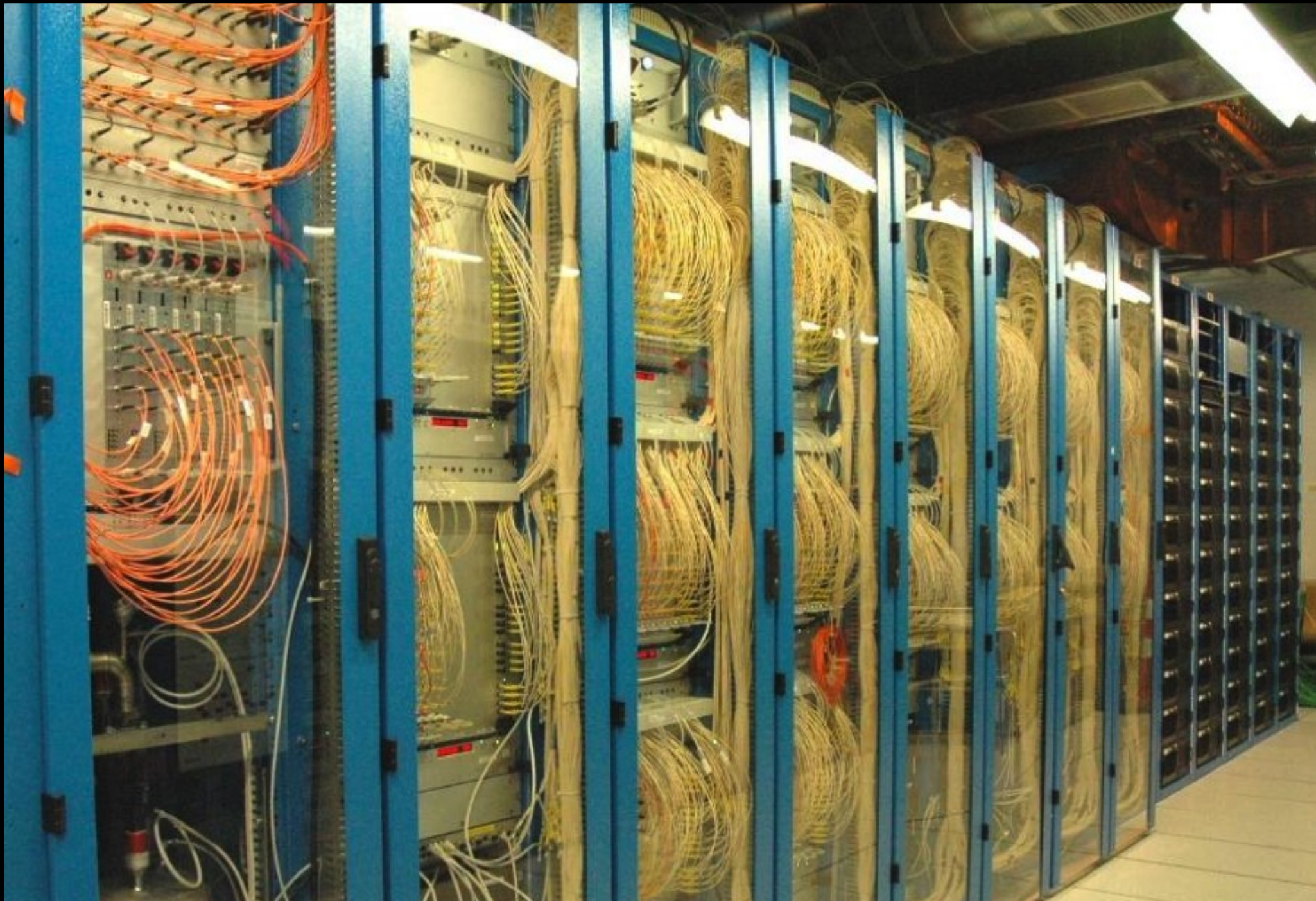
Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon

بازسازی داده آشکارساز بصورت ویرگیهای ذرات



بازسازی داده آشکارساز بصورت ویرگیهای ذرات



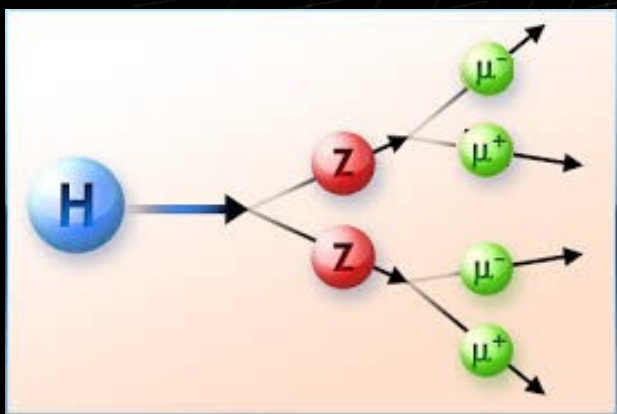
بازسازی داده آشکارساز بصورت ویرگیهای ذرات



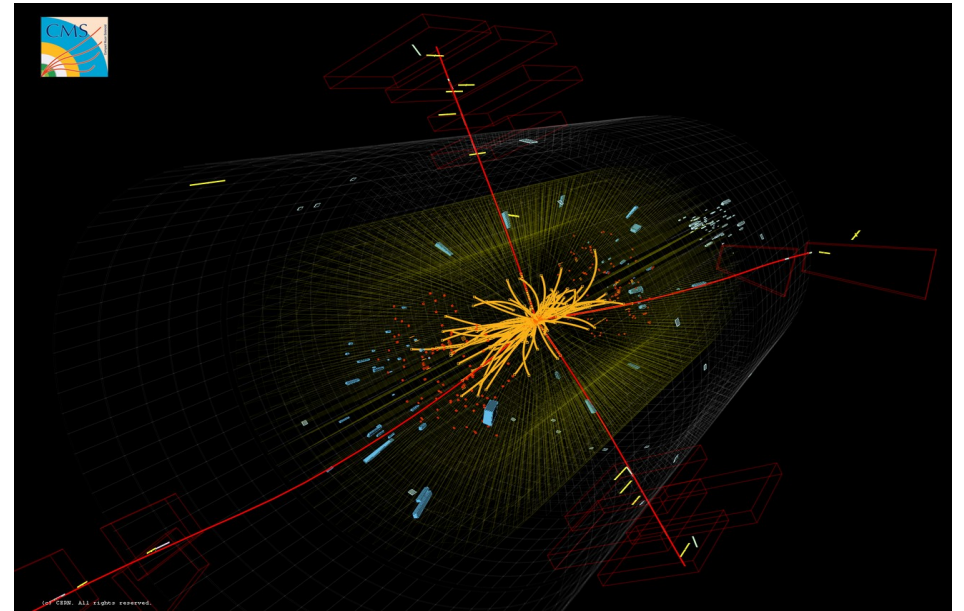
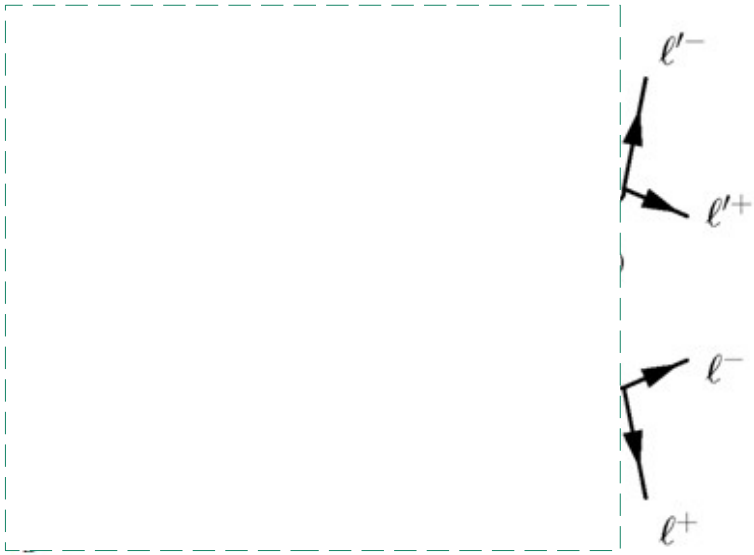
یک رویداد از میان میلیاردها رویداد!



نوع ذرات، انرژی، تکانه و موقعیت مکانی‌شان مشخص میشود



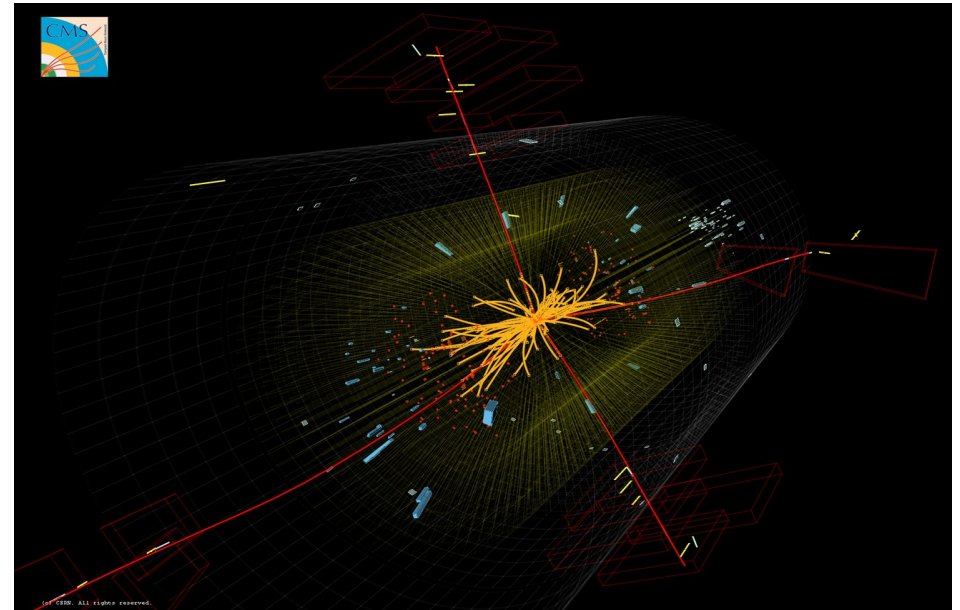
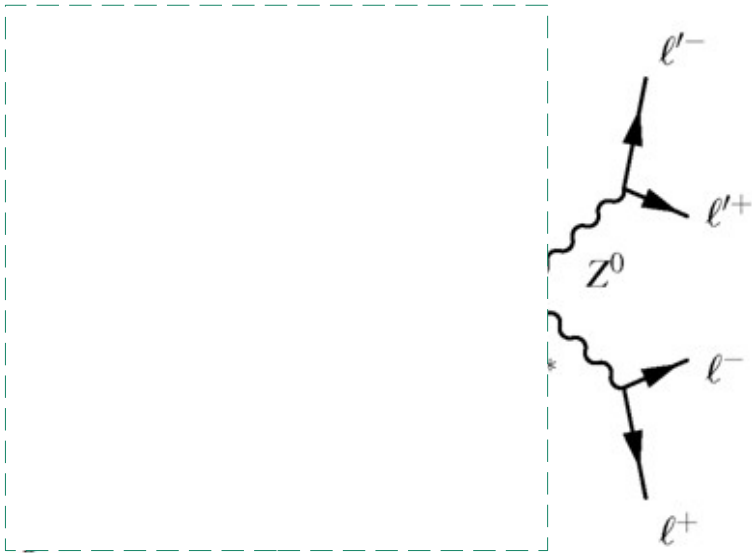
مهندسی معکوس!!!



$$(p_x, p_y, p_z, E)$$

از جمع چهار-بردار محصولات می شود به چهار بردار ذره مادر رسید

مهندسی معکوس!!!



$$(p_x, p_y, p_z, E)$$

از جمع چهار-بردار محصولات می شود به چهار بردار ذره مادر رسید

$$p_{Z0}^4 = p_{lp}^4 + p_{ln}^4$$

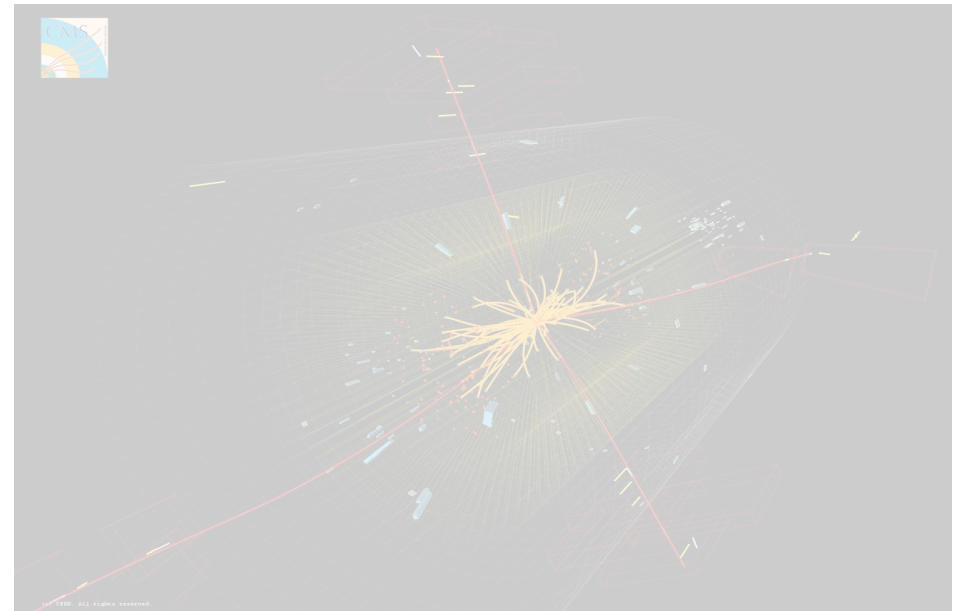
جرم ناوردای ذره مادر را میتوان حساب کرد.

$$m_{Z0}^2 = E_{Z0}^2 - P_{Z0}^2$$

در مثال ما، این جرم حدود ۹۰ گیگاالکترونولت می شود.

احتمالاً دو ذره Z در مسأله داریم

مهندسی معکوس!!!



از جمع چهار-بردار محصولات می شود به چهار بردار ذره مادر رسید (p_x, p_y, p_z, E)

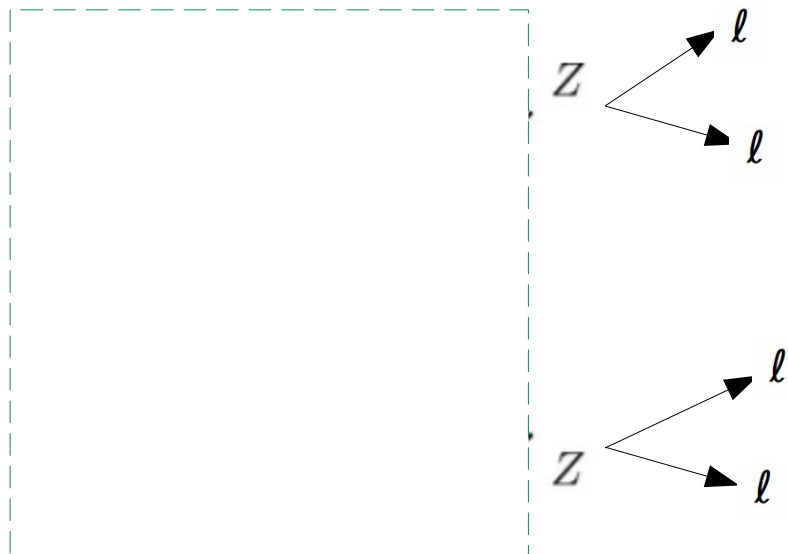
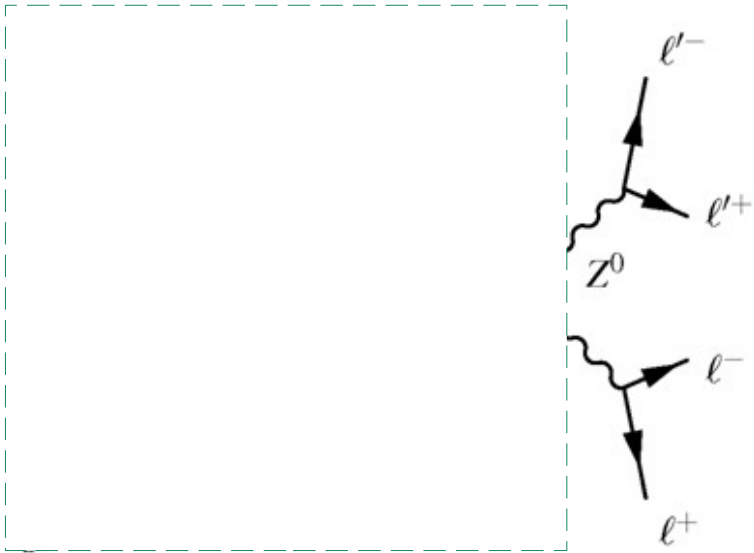
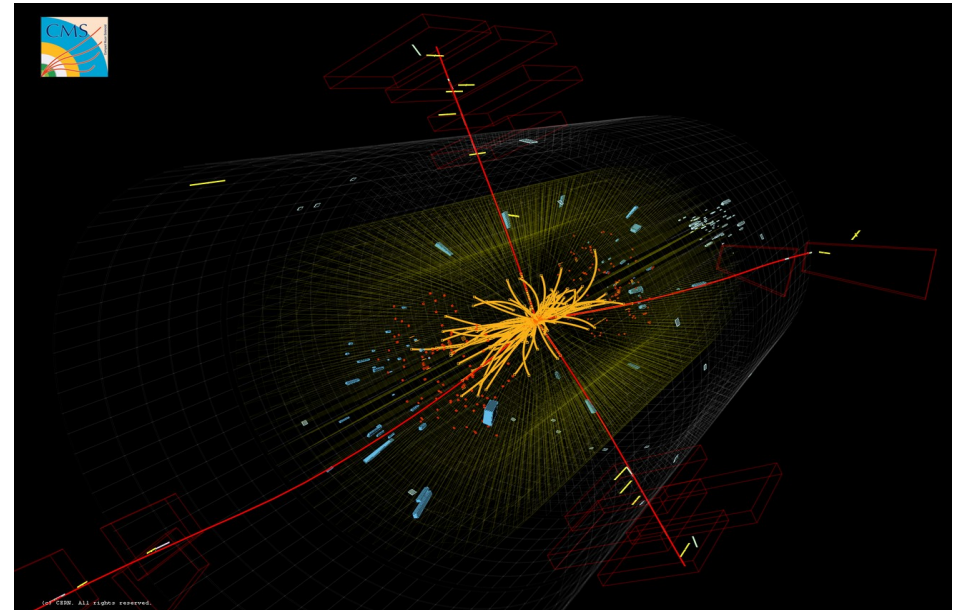
4 4 4

منشاء دو ذره Z چیست؟!

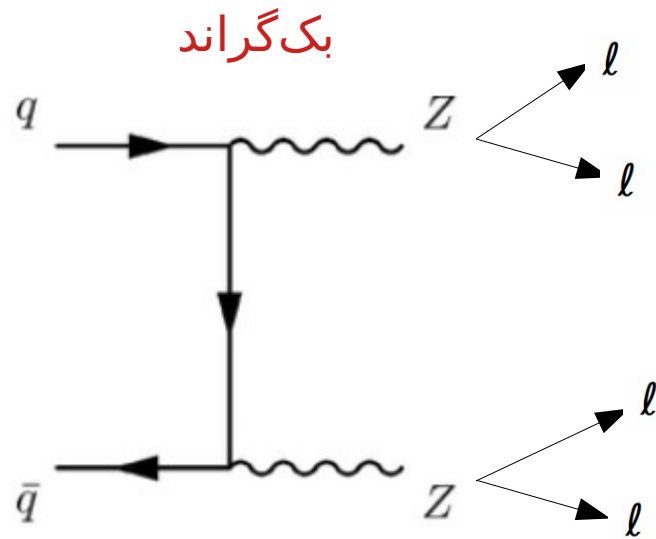
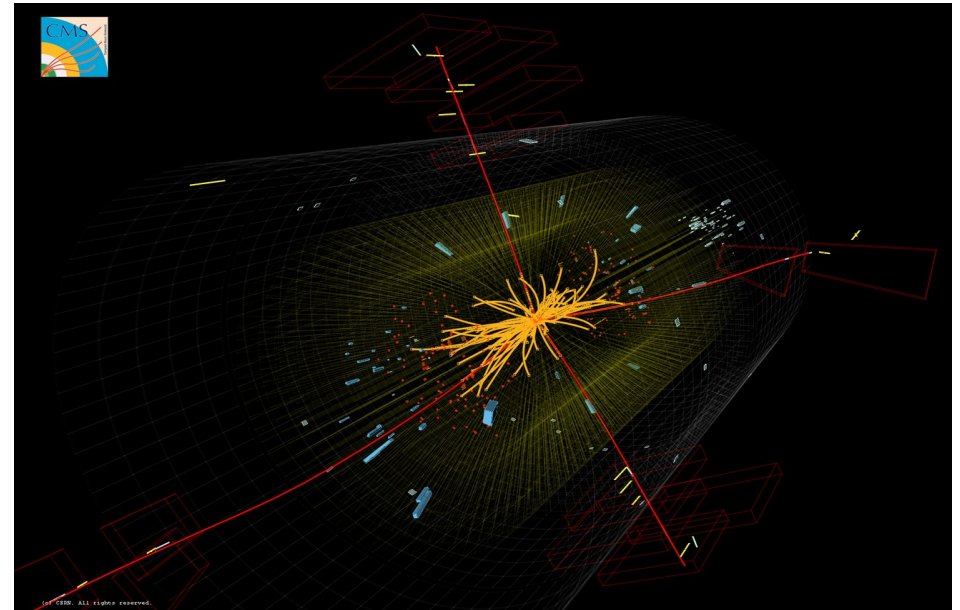
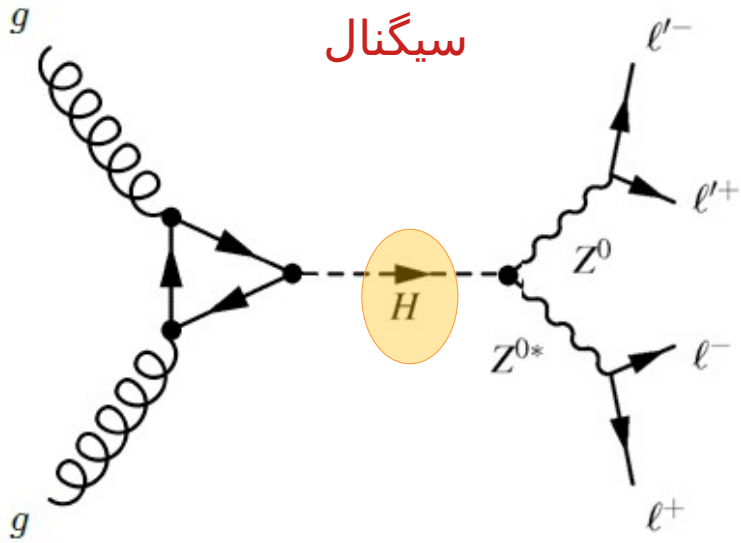
شاید هیگز را پیدا کرده ایم که به دو ذره Z واپاشی می کند!!

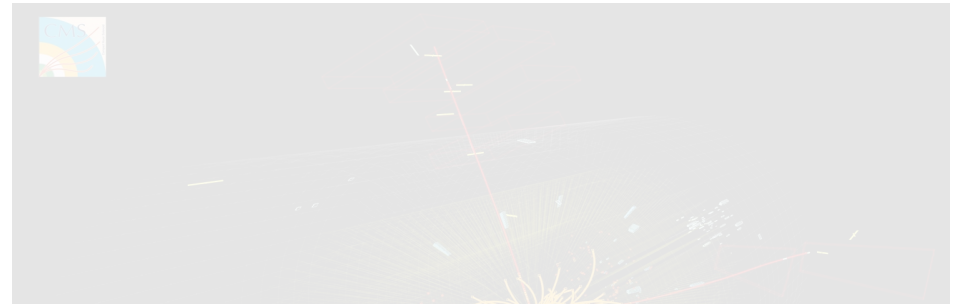
جرم ناوردای ذره مادر را میتوان
در مثال ما، این جرم حدود ۹۰ گی
احتمالاً دو ذره Z در مسأله داریم

مهندسی معکوس!!!



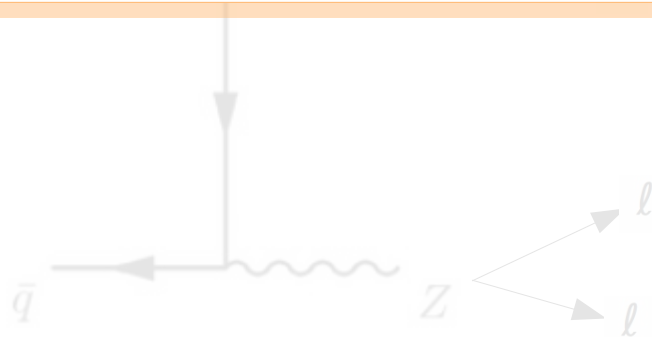
مهندسی معکوس!!!



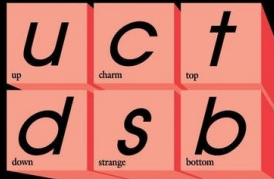


بقیه ماجرا تا کشف هیگز:

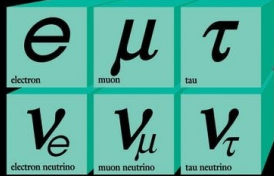
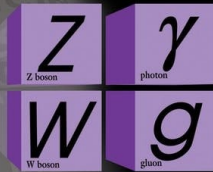
- ☑ بکار بردن الگوریتم‌های پیچیده (مثل یادگیری ماشین) برای تفکیک سیگنال و بکگراند
- ☑ بکار بردن متدهای آماری پیشرفته برای تعیین قدرت سیگنال و ادعای کشف



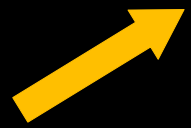
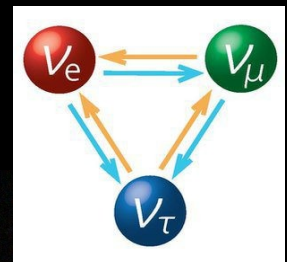
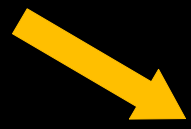
Quarks



Forces



Leptons



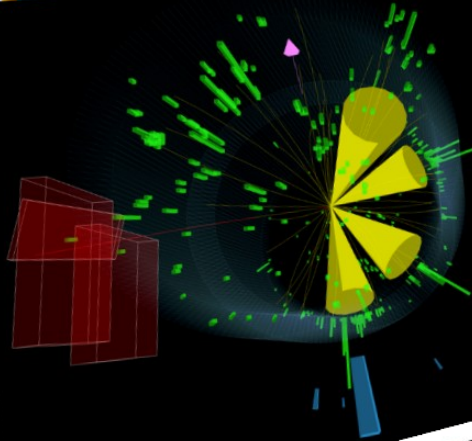
CMS measures the mass of the top quark with unparalleled accuracy

Precise knowledge of the top-quark mass is of paramount importance to understand our world at the smallest scale

19 APRIL, 2022 | By CMS collaboration



CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2016-Aug-17 08:01:23.065024 GMT
Run / Event / LS: 278969 / 229126383 / 184



The classical signature of a top quark pair produced in LHC collisions is four jets (yellow lines) and a neutrino (pink arrow). The jets are detected by calorimeters (red boxes), and missing energy from a neutrino (pink arrow) is detected by the CMS experiment.

اندازه‌گیری دقیق



جستجو و کشف

CMS OBSERVES FOUR-TOP QUARK PRODUCTION

24 MAR 2023

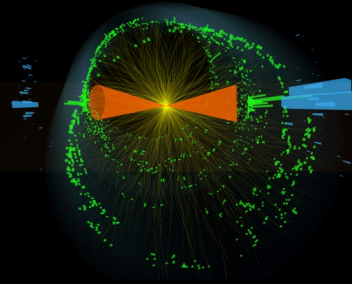
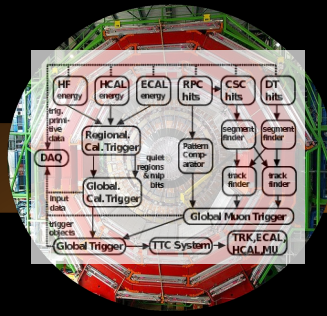
CMS observed the simultaneous production of four top quarks, one of the rarest physics

زنجیره تولید داده و آنالیز در یک نگاه

انتخاب برخط
جهت ذخیره‌سازی

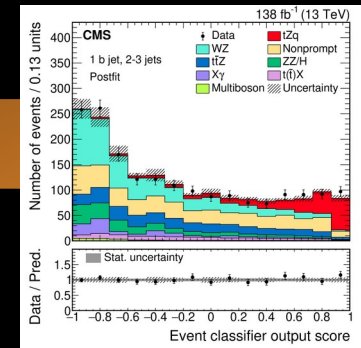


برخورد
پروتونها



شناسایی ذرات
در آشکارساز

جداسازی سیگنال
و بکگراند



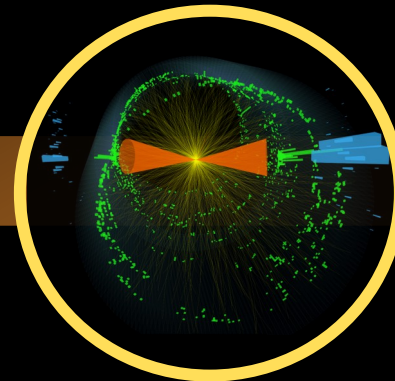
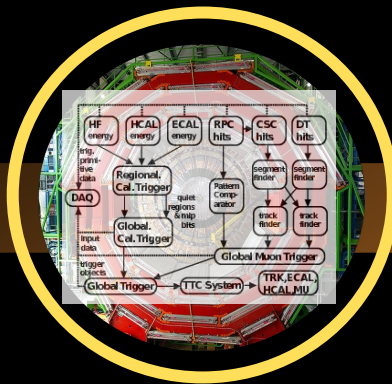
زنجیره تولید داده و آنالیز در یک نگاه

یادگیری ماشین و هوش مصنوعی

انتخاب برخط
جهت ذخیره‌سازی

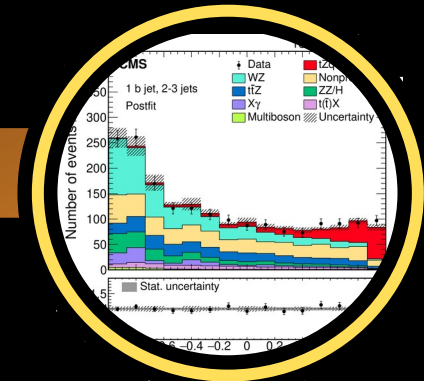


برخورد
پروتونها



شناسایی ذرات
در آشکارساز

جداسازی سیگنال
و بکگراند



زنجیره تولید داده و آنالیز در یک نگاه

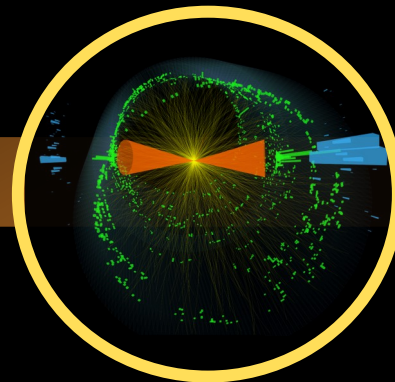
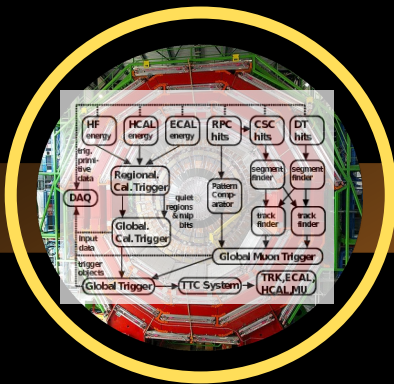
یادگیری ماشین و هوش مصنوعی

انتخاب برخط
جهت ذخیره‌سازی

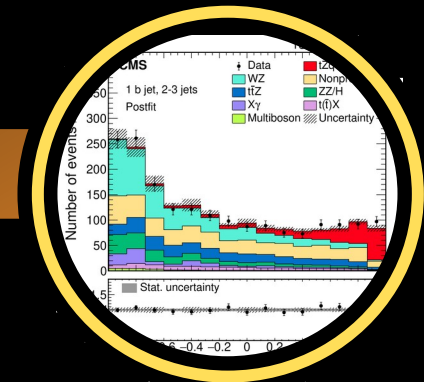
جداسازی سیگنال
و بک‌گراند



برخورد
پروتونها



شناسایی ذرات
در آشکارساز



محاسبات کوانتومی بعنوان ابزار آینده

دانشکده فیزیک

دانشکده برق و کامپیوتر



دکتر محمد صدقی



دکتر اصغر غلامی



دکتر حامد بخشیان



دکتر عبیده جعفری



دلارام طهماسبی



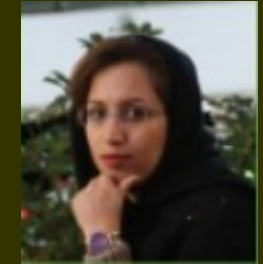
محمد سیچانی



فایزه کگونانی



وحيد صديق زاده



دکتر الهام خزاعی



مهدی حاج مقصود



صالح ذریه



مهتاب جلالوندی



دکتر مریم زینلی
دانشگاه صنعتی شریف