

فیزیک ذرات در مرز انرژی‌های بالا

عبیده جعفری

مدرسه تابستانی افق‌های نو در فیزیک

۱۹ شهریور ۱۴۰۳



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



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



برخورددهنده 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



سؤالات اساسی



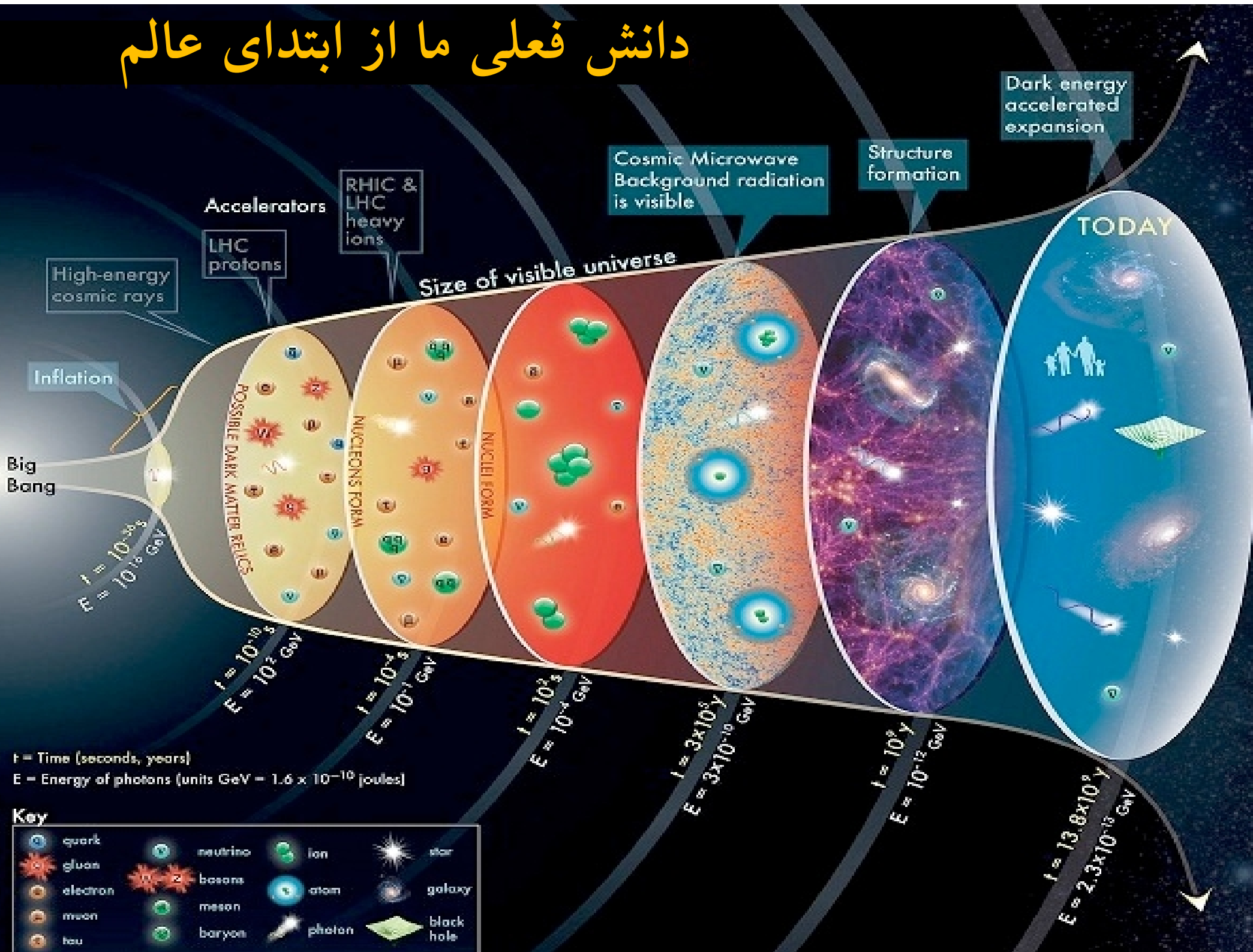
جهان از چه تشکیل شده است؟

چه برهمکنشهایی بین اجزای آن وجود دارد؟



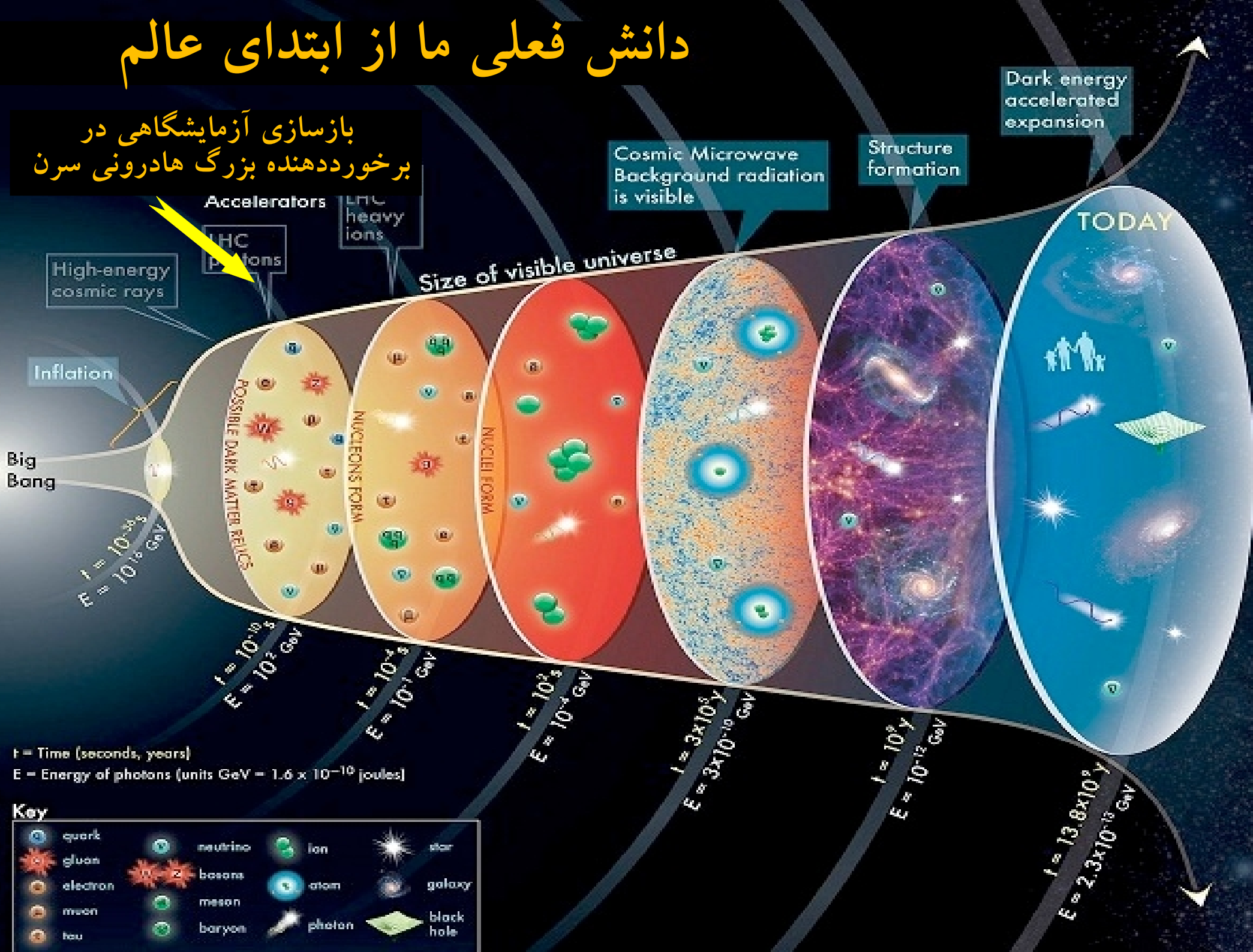
شرایط ابتدایی عالم پس از انفجار بزرگ چگونه بوده است؟

دانش فعلی ما از ابتدای عالم

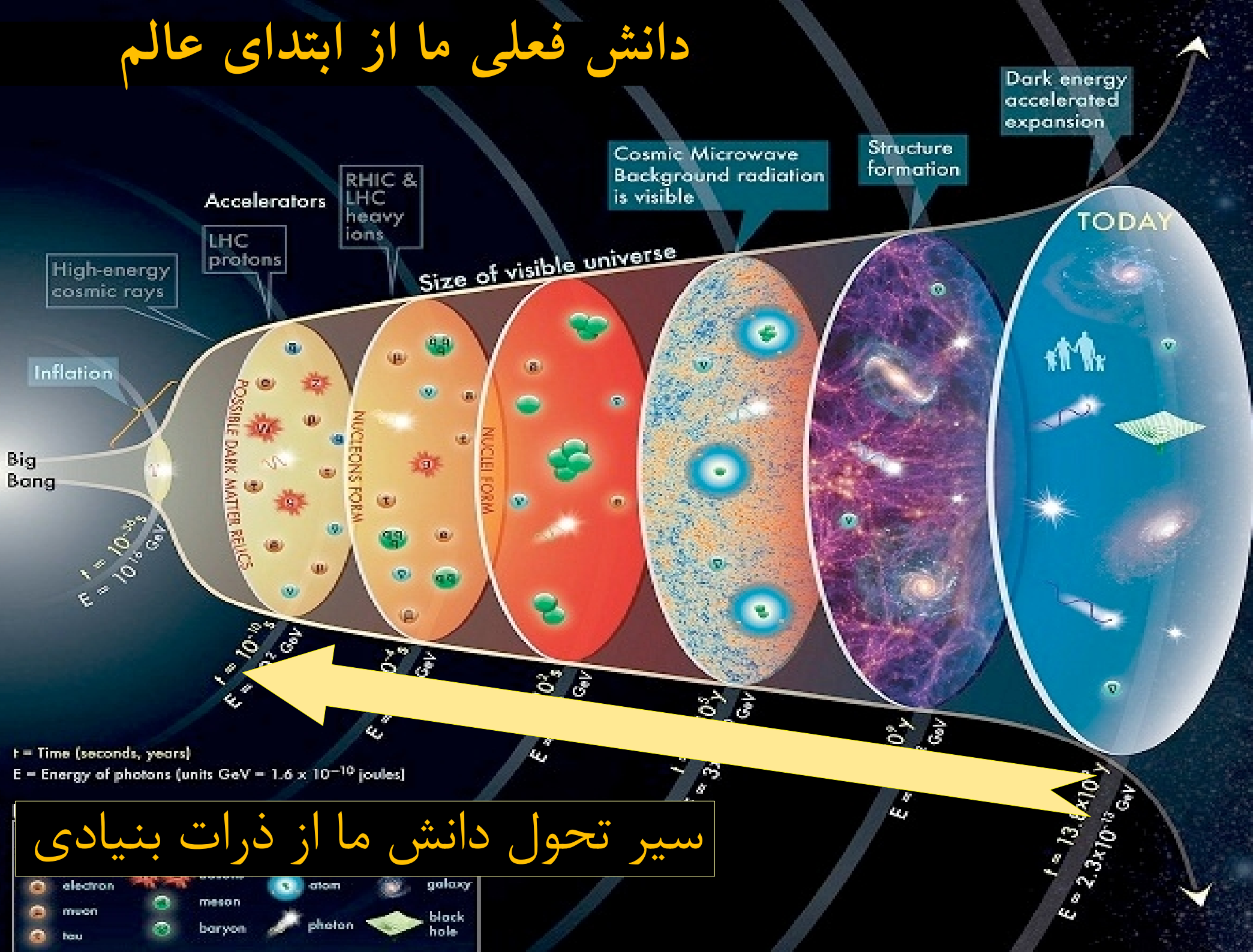


دانش فعلی ما از ابتدای عالم

بازسازی آزمایشگاهی در
برخورددهنده بزرگ هادرونی سرن



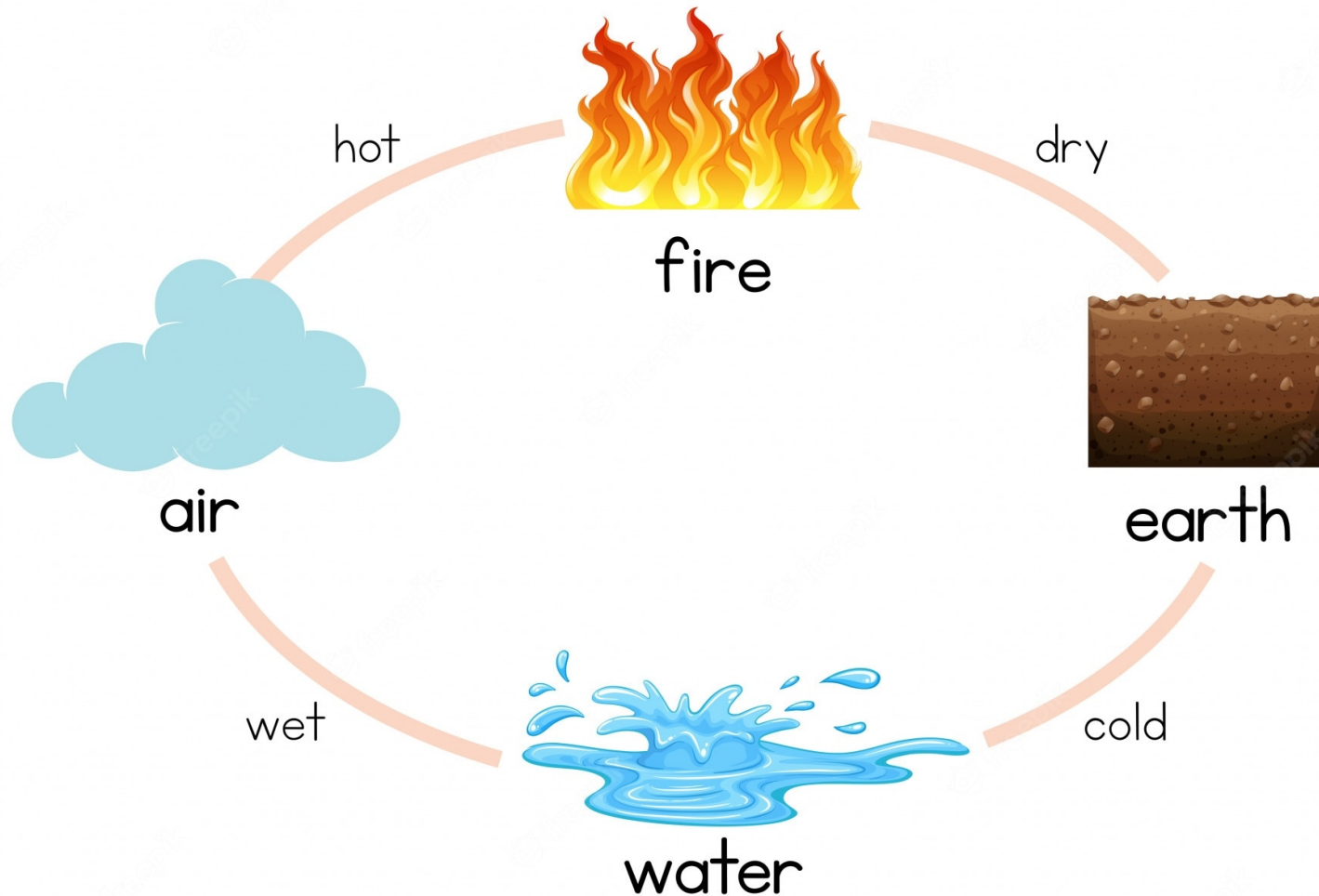
دانش فعلی ما از ابتدای عالم



سیر تحول دانش ما از ذرات بنیادی

در جستجوی یک تصویر واحد و کامل از طبیعت

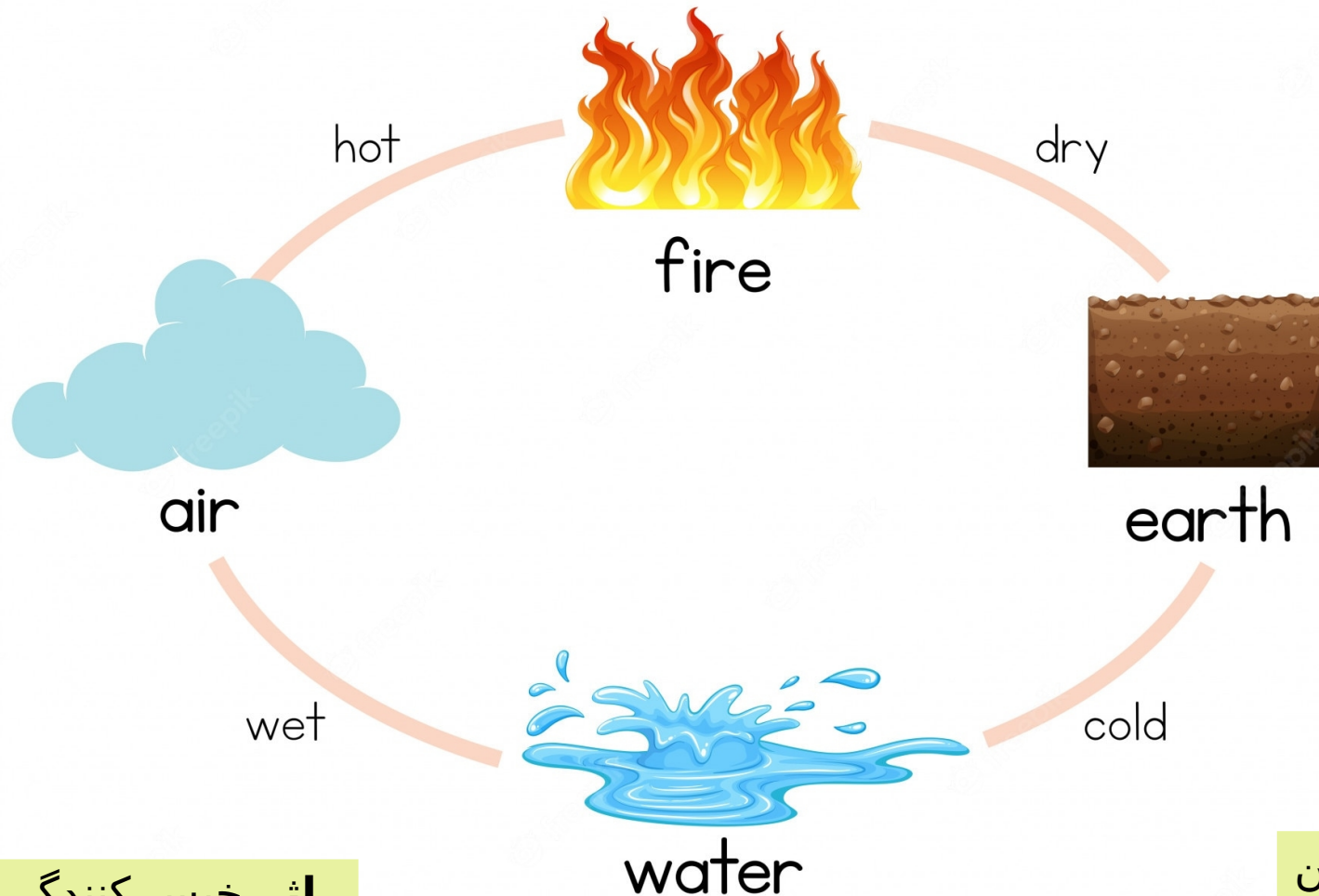
نگاه ارسطویی



در جستجوی یک تصویر واحد و کامل از طبیعت

تعبیر نیروها

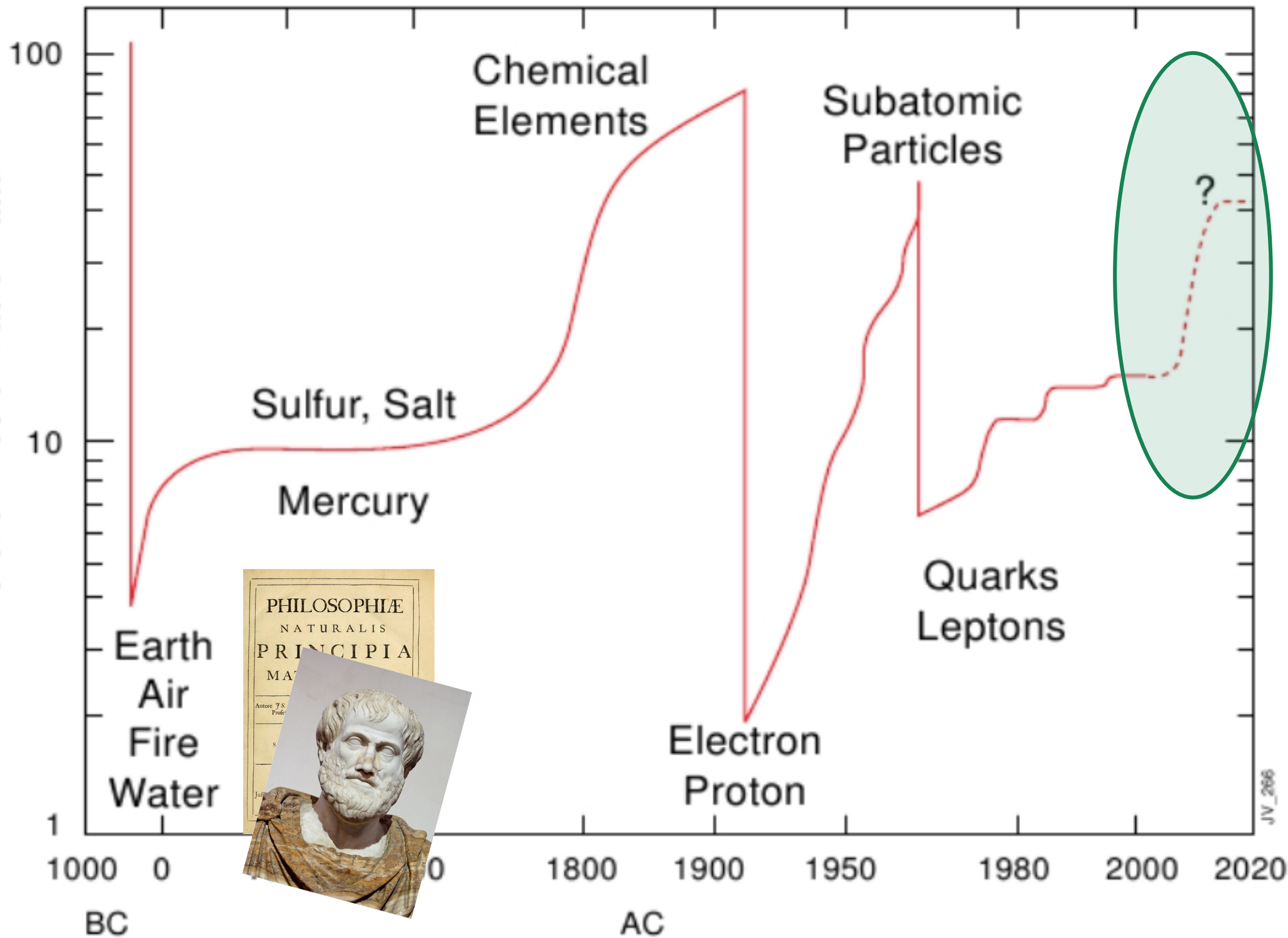
تمایل به بالا



اثر خیس کنندگی

تمایل به پایین

Different Kinds of Basic Matter



در جستجوی یک تصویر واحد و کامل از طبیعت

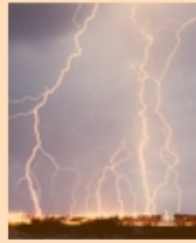
تعبیر نیروها



Planets
move



Things
fall



Electricity



Magnetism



Light



Radiation
1890s-



Nucleons
1910s-

گرانش

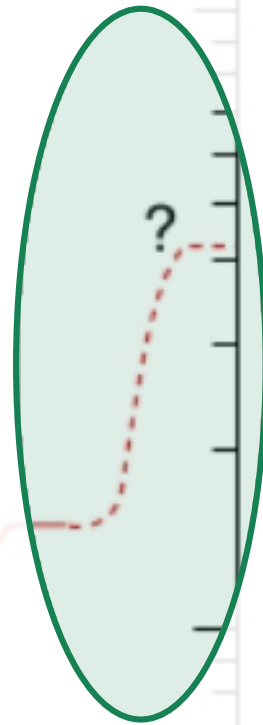
برهمکنش الکتروضعیف

برهمکنش قوی (رنگی)

دانش امروز ما از ذرات بنیادی و نیروها

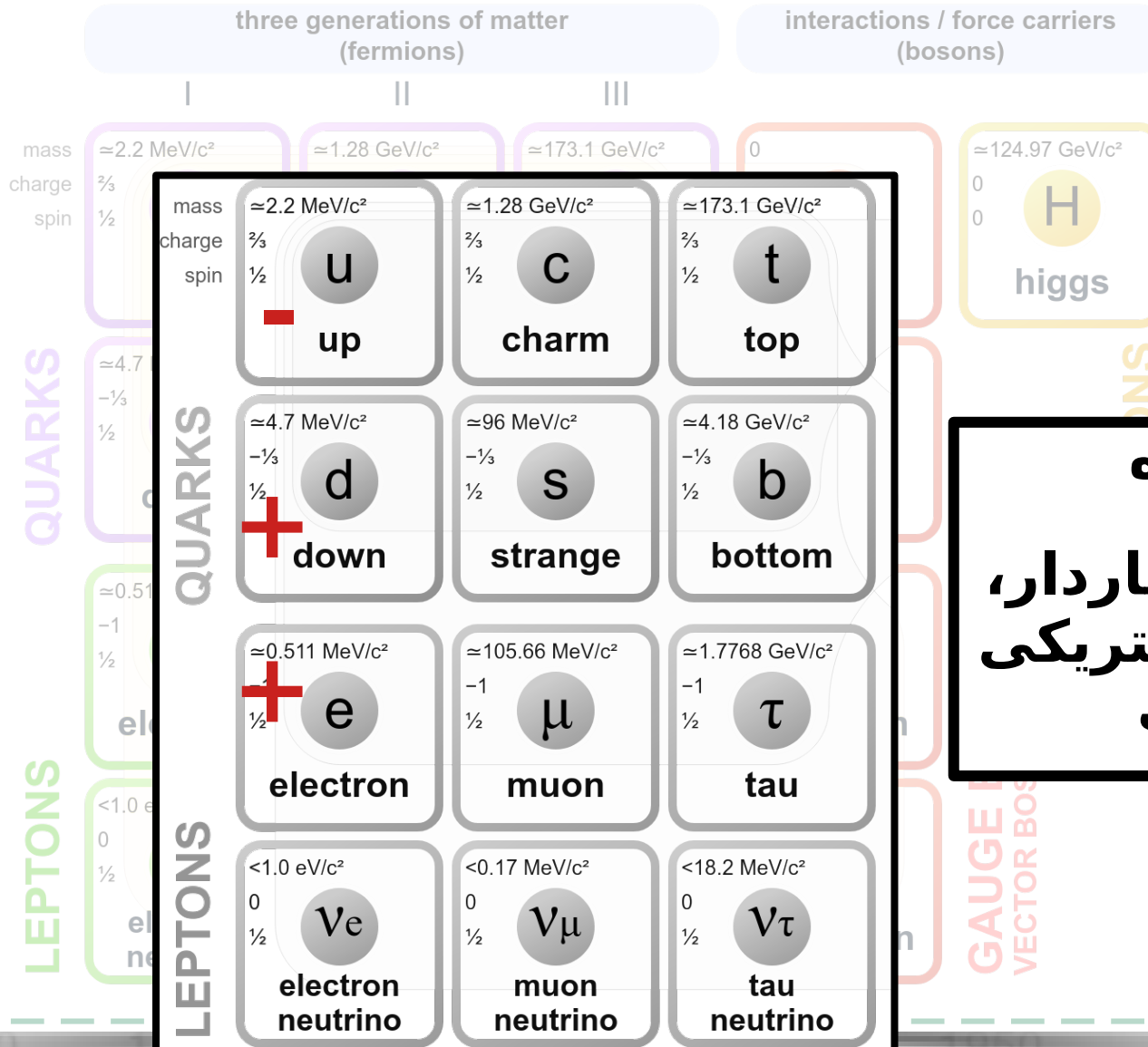
Standard Model of Elementary Particles

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	
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	

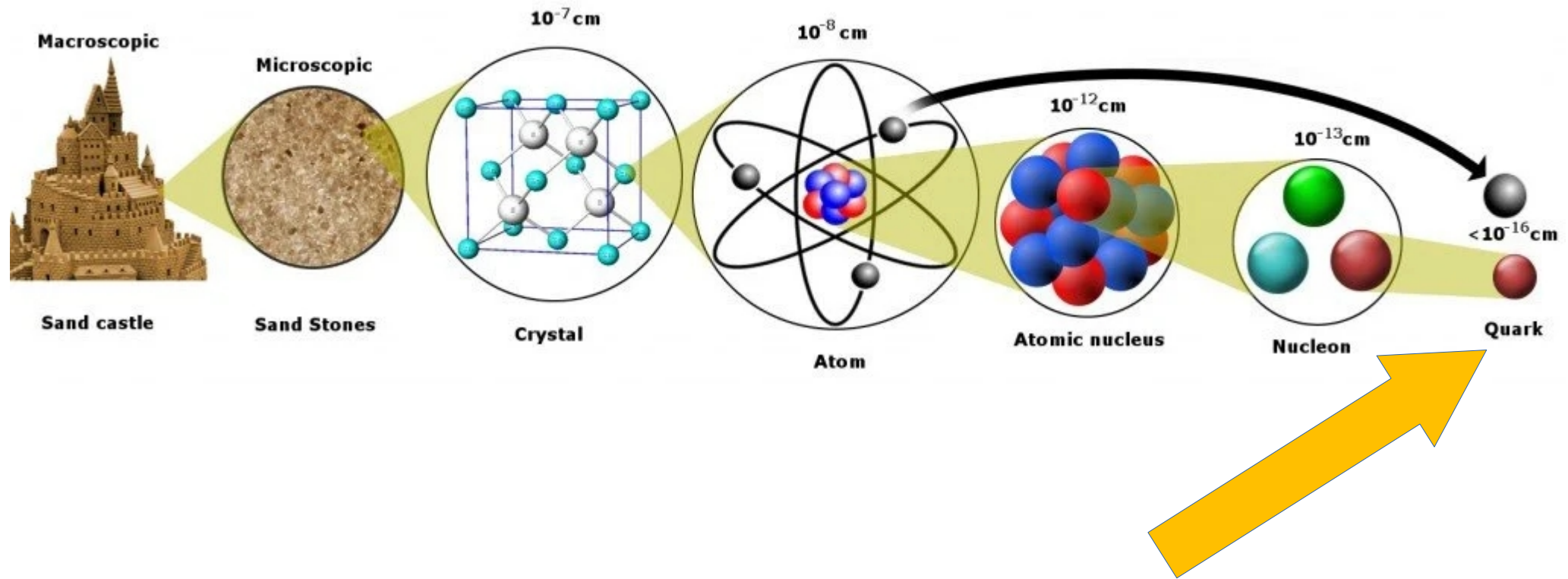


دانش امروز ما از ذرات بنیادی و نیروها

Standard Model of Elementary Particles

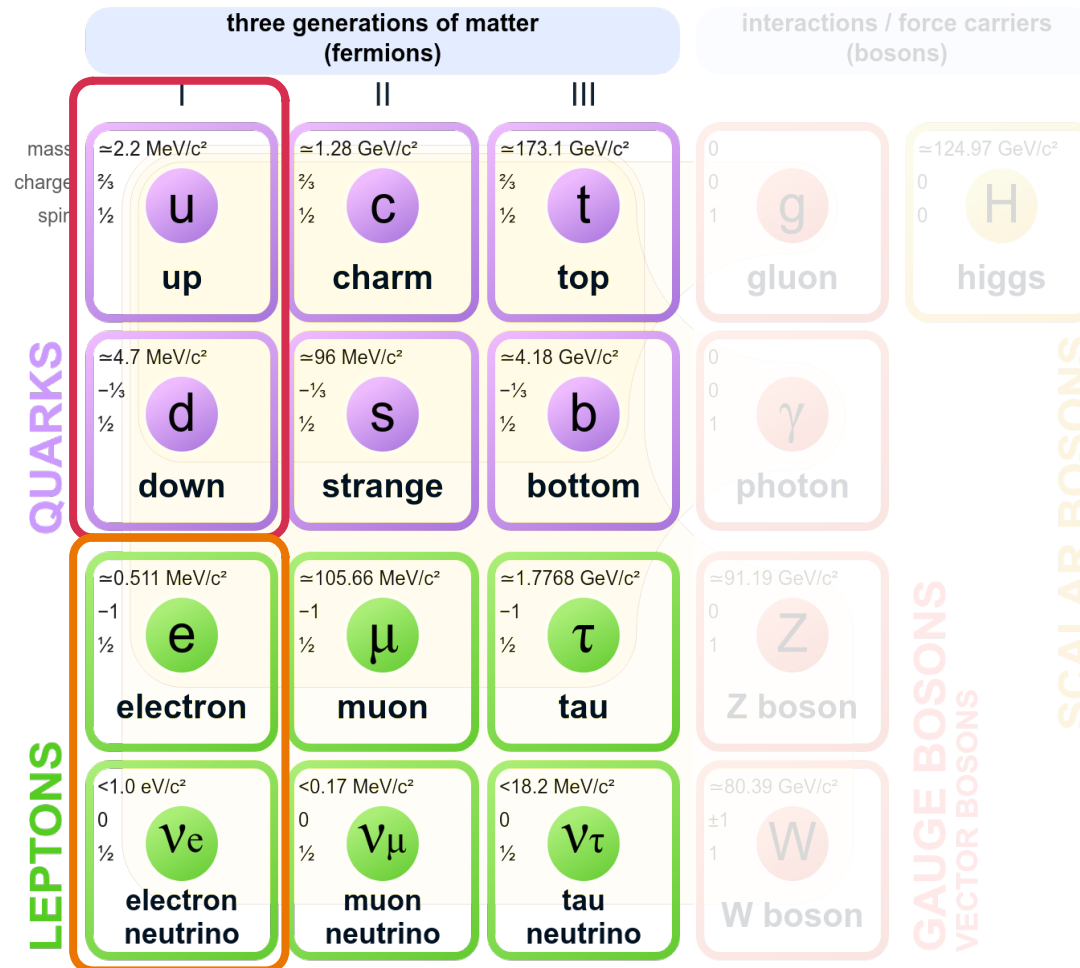


پادماده
برای ذرات باردار،
فقط بار الکتریکی
مخالف



بخش مادی مدل استاندارد در یک نگاه

Standard Model of Elementary Particles



نسل بالاتر، جرم بیشتر

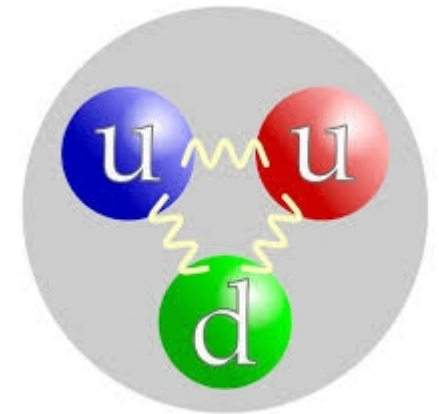
سه نسل کوارکی

سه نسل لپتونی

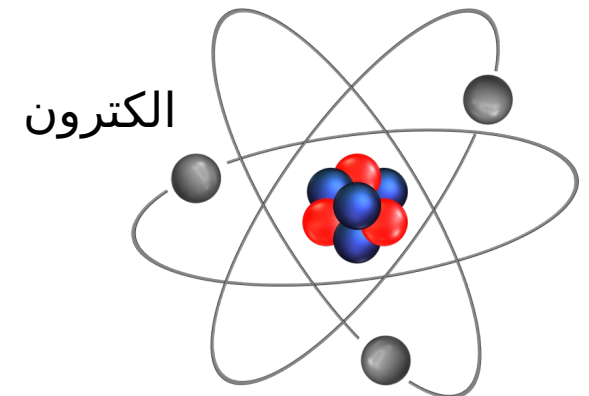
بخش مادی مدل استاندارد در یک نگاه

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	
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	



پروتون: اولین نسل
کوارکها، ذره پایدار



الکترون



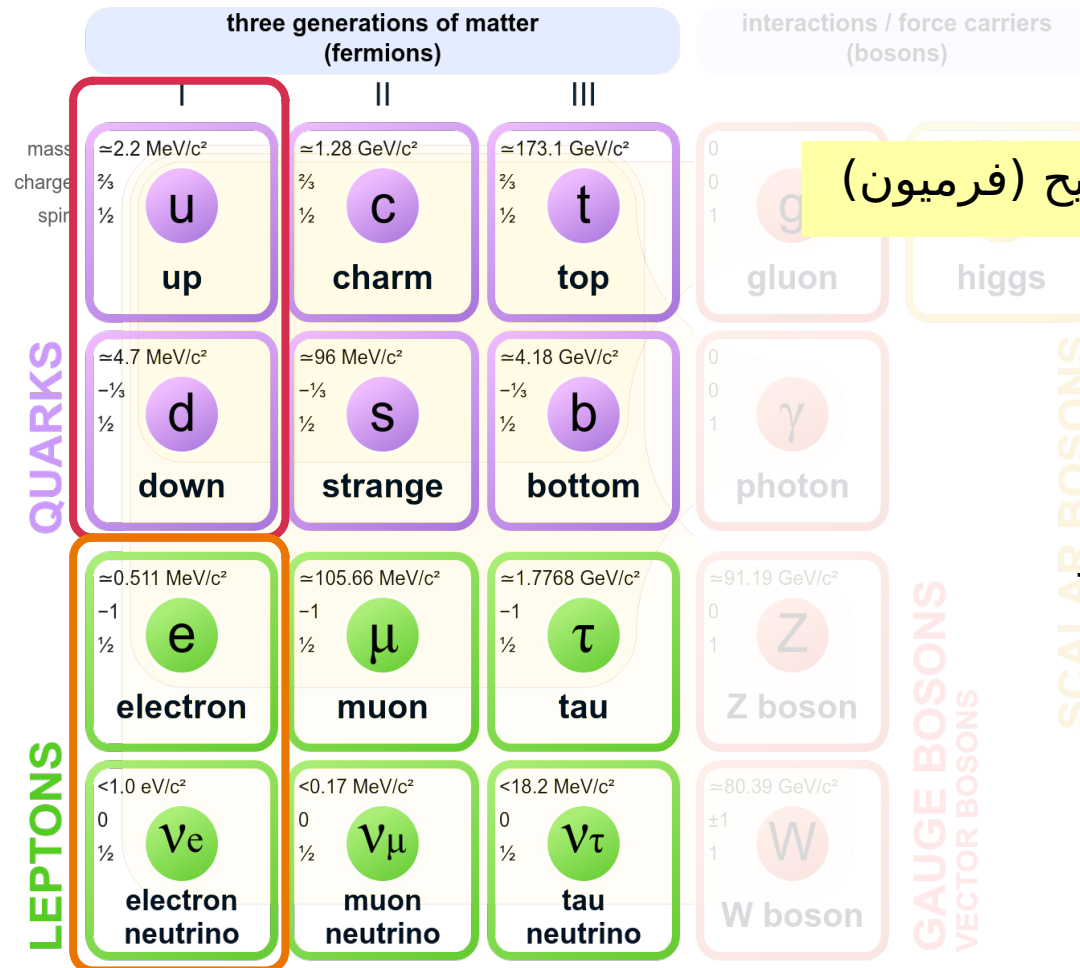
نسل بالاتر، جرم بیشتر

سه نسل کوارکی

سه نسل لپتونی

بخش مادی مدل استاندارد در یک نگاه

Standard Model of Elementary Particles



همگی اسپین نیمه صحیح (فرمیون)

بار الکتریکی

کوارک های بالا: $+\frac{2}{3}$

کوارک های پایین: $-\frac{1}{3}$

لپتون ها: -1

نوترینوها: صفر



نسل بالاتر، جرم بیشتر

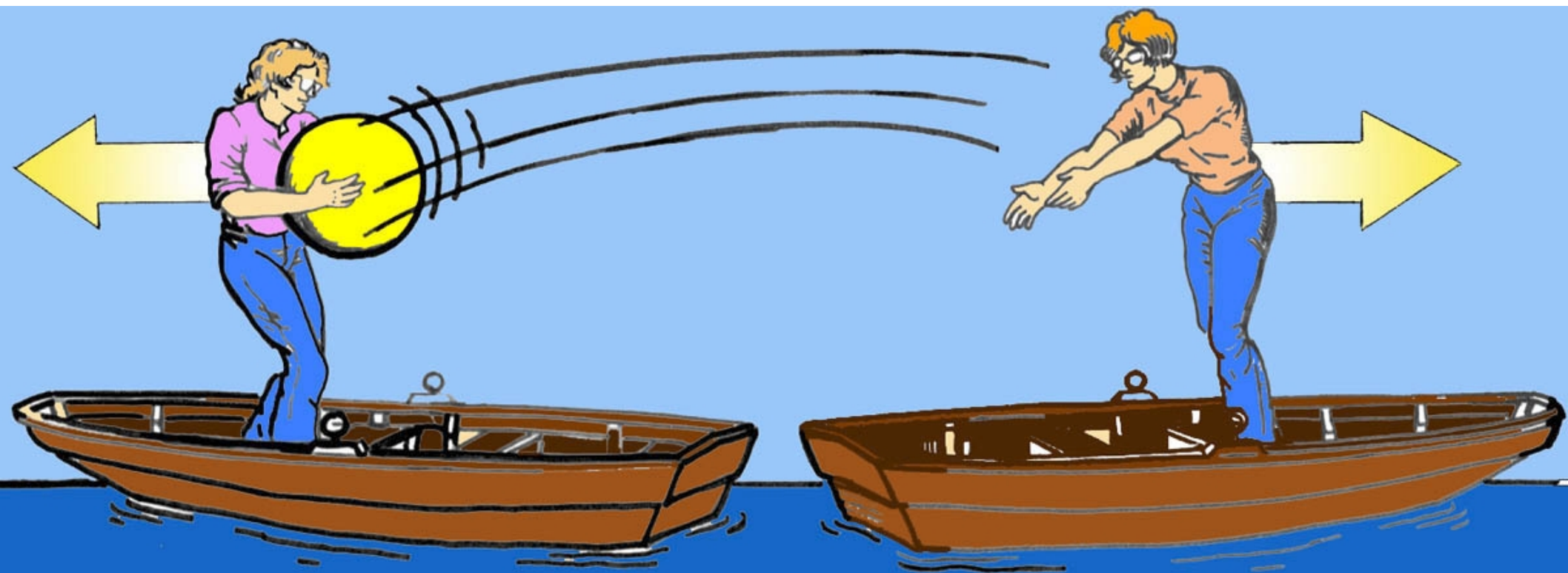
سه نسل کوارکی

سه نسل لپتونی

Standard Model of Elementary Particles



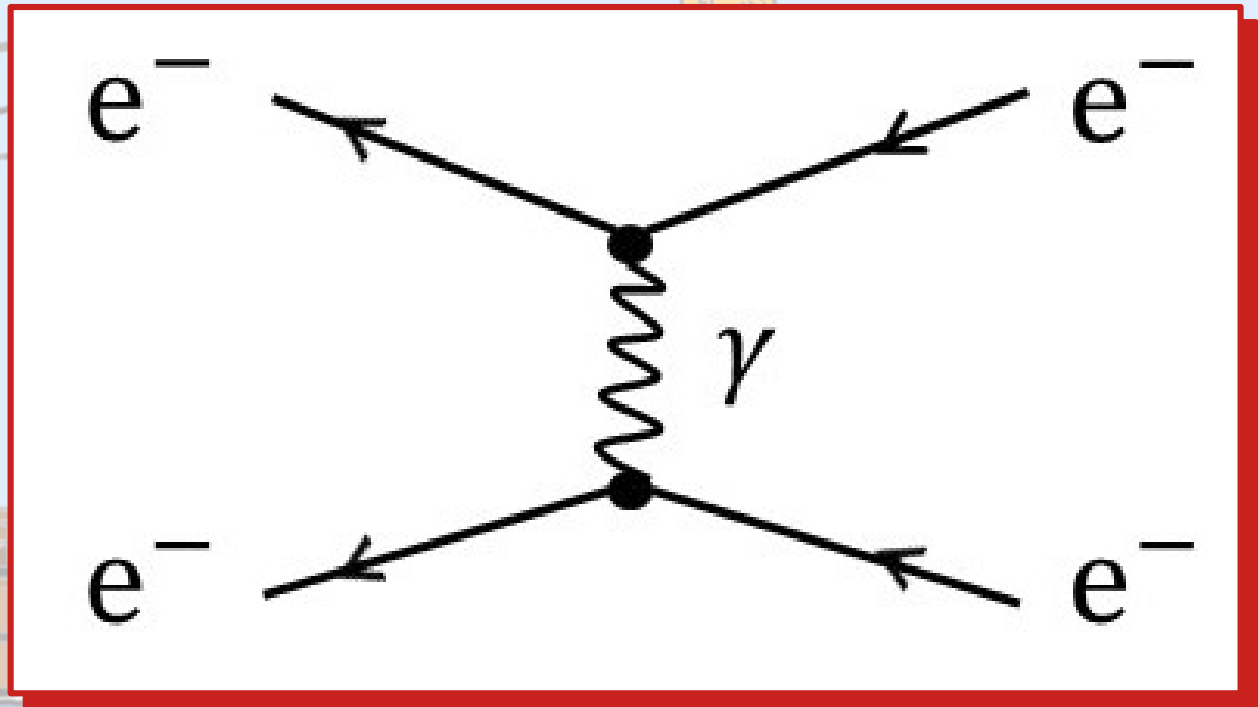
منظور از حامل نیرو چیست؟



تعبیر ذره‌ای انتقال نیرو

مدخل نظریه میدان‌های کوانتومی!!

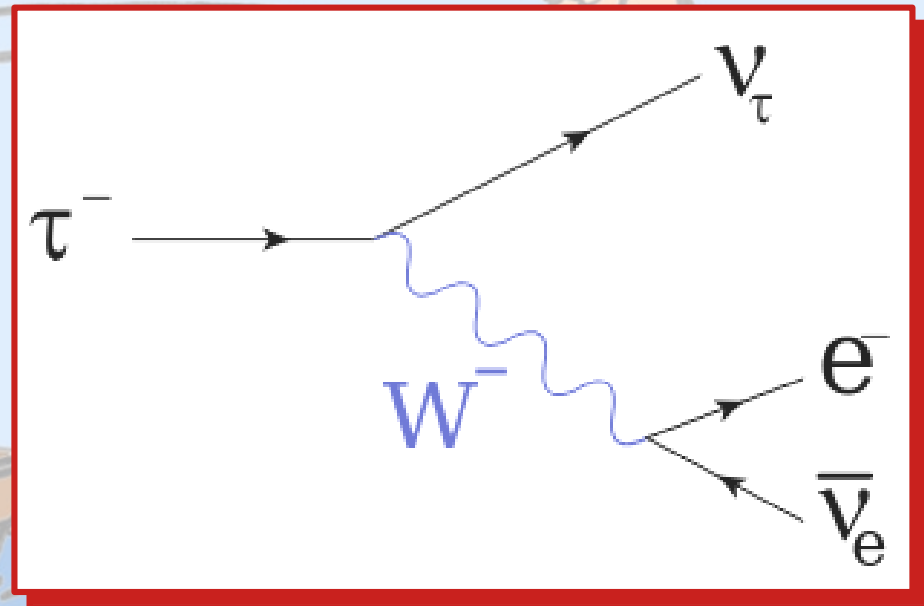
منظور از حامل نیرو چیست؟



تعبیر ذره‌ای انتقال نیرو

مدخل نظریه میدان‌های کوانتومی!!

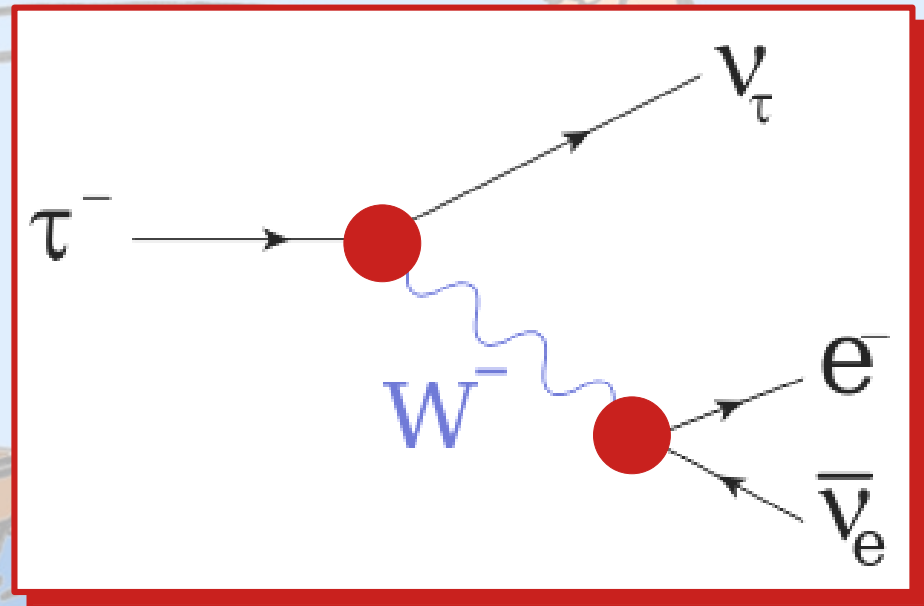
طرح فاینمن برای واپاشی



ذره سنگین به ذرات سبکتر واپاشی می‌کند

$$\tau \rightarrow \nu_\tau e^- \bar{\nu}_e$$

طرح فاینمن برای واپاشی



شرط واپاشی وجود راس برهمکنش است

$$\tau \rightarrow \nu_\tau e^- \bar{\nu}_e$$

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	
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	

برهمکنش رنگی (قوی) میان کوارکها

Standard Model of Elementary Particles

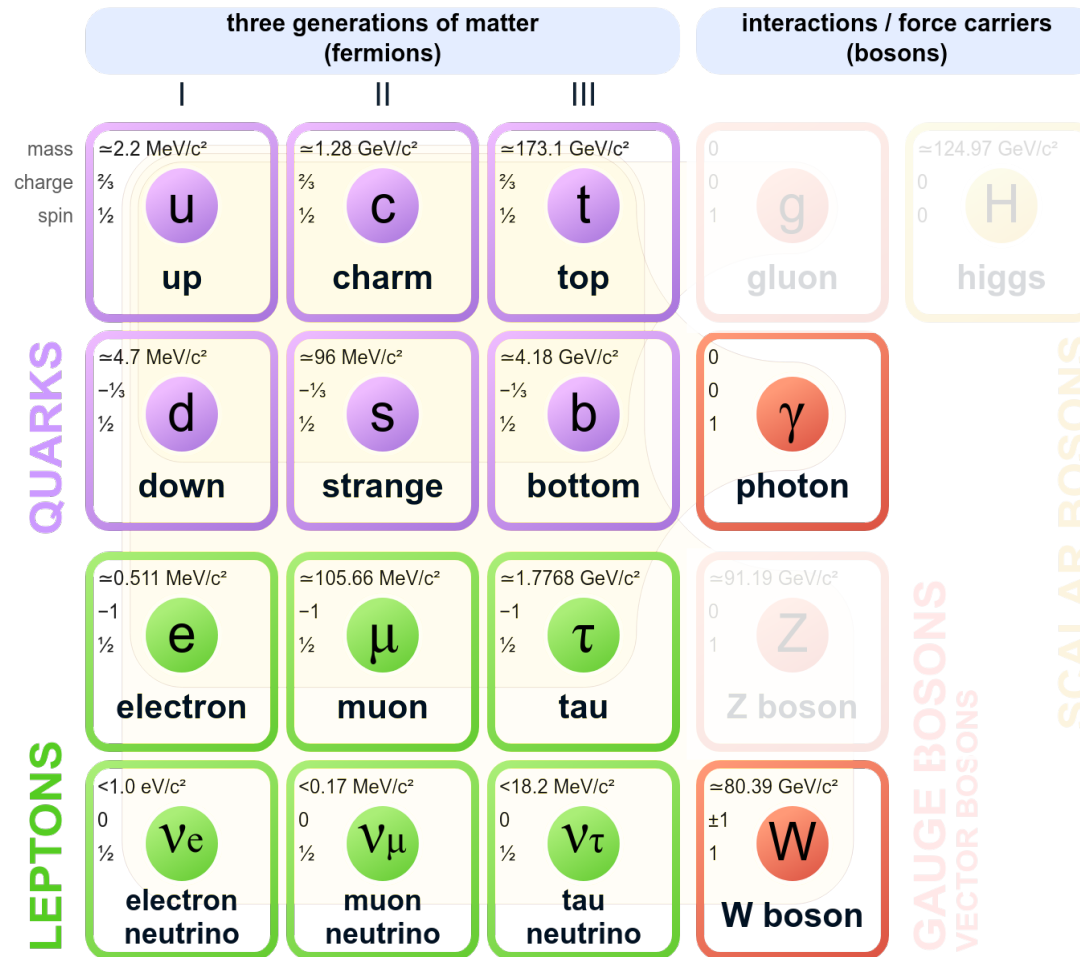
three generations of matter (fermions)				interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	 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	
LEPTONS	 ν_e electron neutrino	 ν_μ muon neutrino	 ν_τ tau neutrino	 W W 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	

SCALAR BOSONS

GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS

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

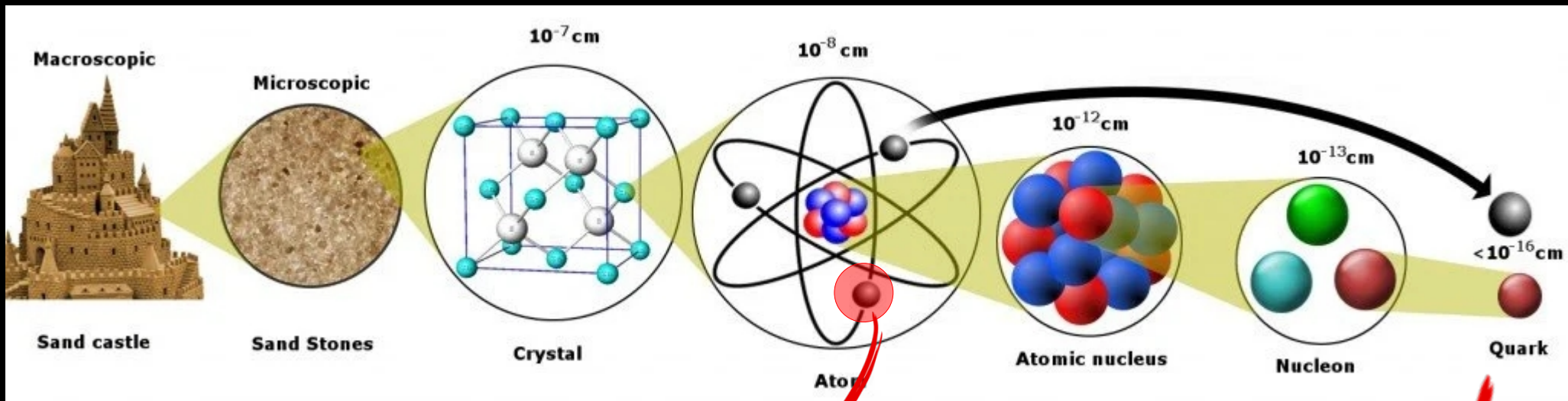
بوزون هیگز چطور برهمکنش می‌کند؟!!!

برهمکنش‌های ذره شگفت‌انگیز

Standard Model of Elementary Particles

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

قدرت برهمکنش هیگز با ذرات به جرم آن‌ها بستگی دارد



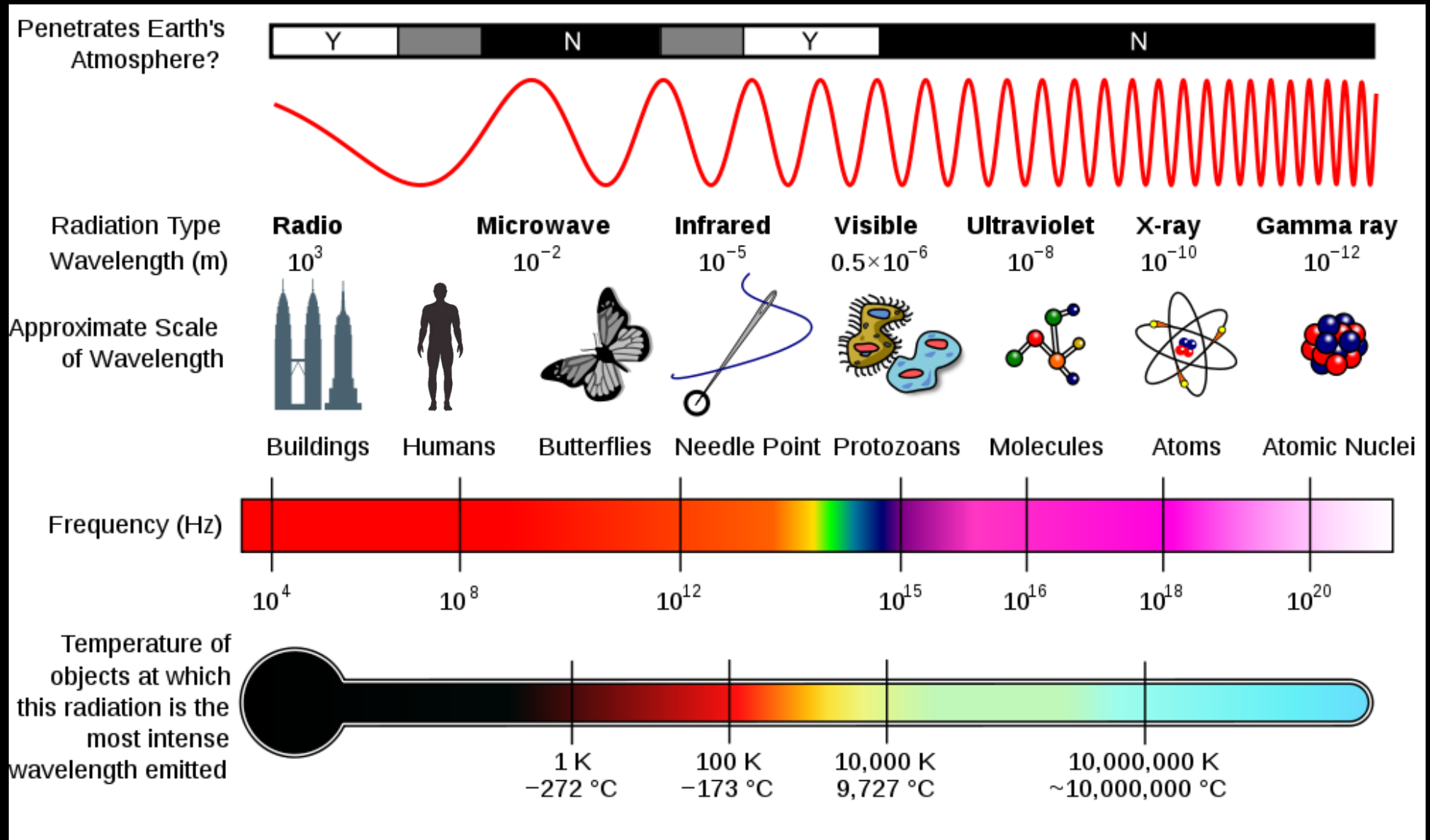
three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
QUARKS	$\frac{2}{3}$ GeV/c ² u up	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² c charm	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² t top	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² g gluon
	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² d down	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² s strange	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² b bottom	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² γ photon
	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² e electron	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² μ muon	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² τ tau	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² Z Z boson
LEPTONS	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² ν_e electron neutrino	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² ν_μ muon neutrino	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² ν_τ tau neutrino	$\frac{1}{3}$ GeV/c ² W W boson
				$\frac{1}{3}$ GeV/c ² H higgs

SCALAR BOSONS

**GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS**

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

شناخت طبیعت: انرژی و ابعاد



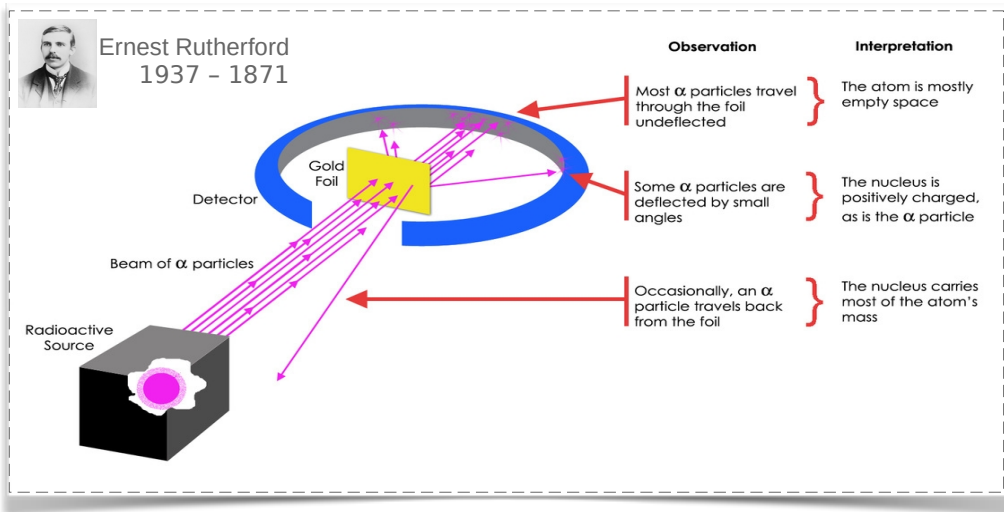
شناخت طبیعت: انرژی و ابعاد

میخواهی ساختار یک ماده رو بشناسی؟

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



شتابگرهای ذرات بعنوان ماشین کشف



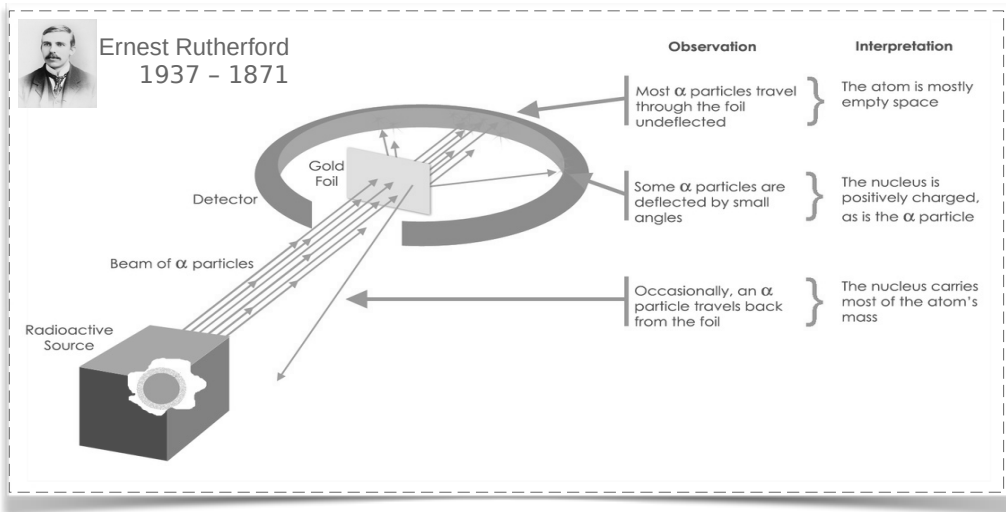
رادرفورد از ذره آلفای شتابدار استفاده کرد

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

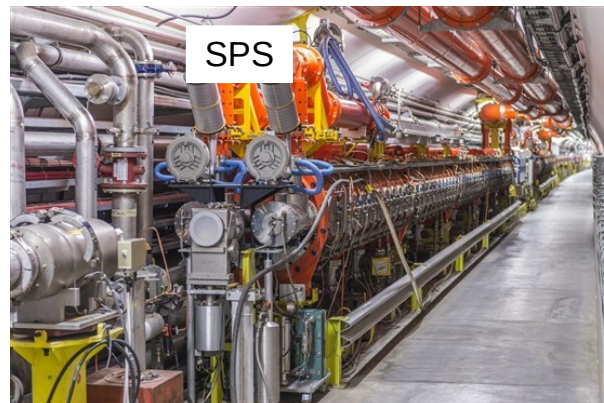
انرژی: در حد مگاالکترون ولت (غیر قابل تنظیم)

هدف: ثابت (ورقه طلا)

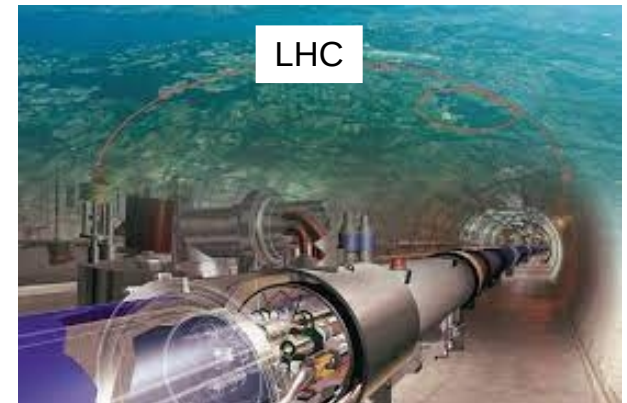
انواع شتابگرها با شتاب دادن الکترون، پروتون و آنتی-پروتون و با انرژی قابل تنظیم
هدف: ثابت یا متحرک



۱۹۵۴ - ۲۰۱۲



۱۹۷۶ -



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	 up	 charm	 top	 gluon	 higgs
	 down	 strange	 bottom	 photon	
	 electron	 muon	 tau	 Z boson	
LEPTONS	 electron neutrino	 muon neutrino	 tau neutrino	 W boson	
	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	± 1	
	0	0	0	1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$		

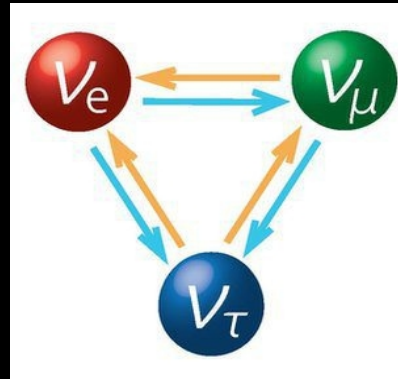
با وجود مدل استاندارد،
چه نیازی به LHC !!؟

برخی ناکارآمدی‌های مدل استاندارد ذرات

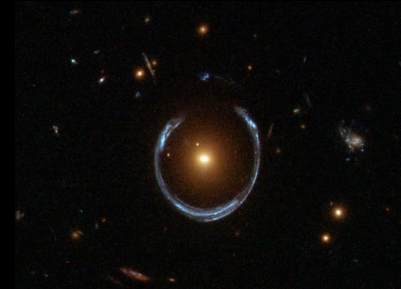
عدم توضیح مشاهدات تجربی



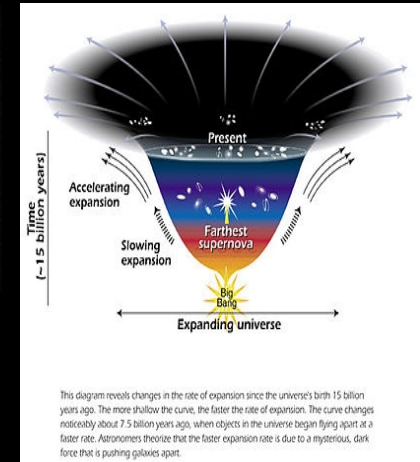
عدم توضیح گرانش



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



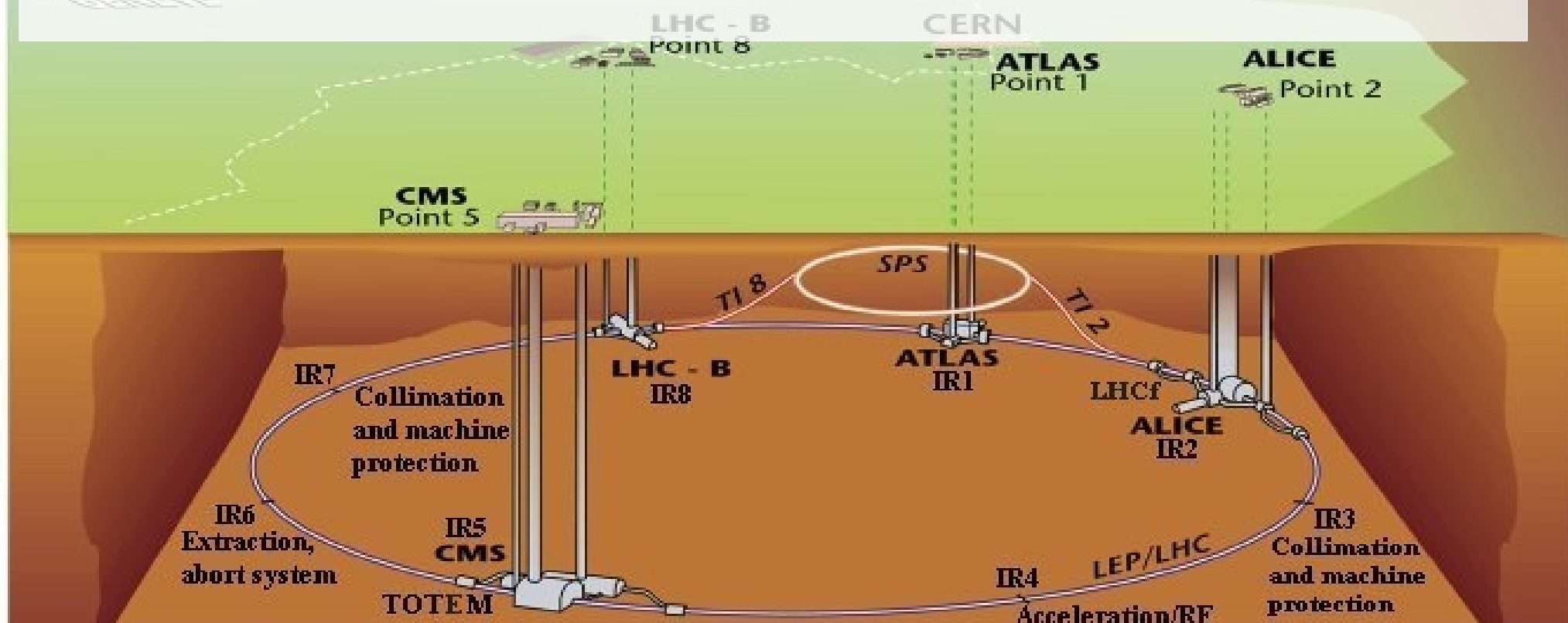
◀ انرژی بالا و دستیابی به ذرات سنگین کشف نشده

◀ درخشندگی بالا و تولید فراوان داده در واحد زمان

◀ آمار کافی برای کشف یا اندازه‌گیری دقیق

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 گیگاالکترونولت
- ✓ فرکانس چرخش ذرات در تونل: ۱۱۰۰۰ بار در ثانیه
- ✓ دمای بسیار پایین برای ابررسانایی (1.9 کلوین)
- ✓ انرژی برخورد پروتونها: حدود ۱۴ تراالکترونولت

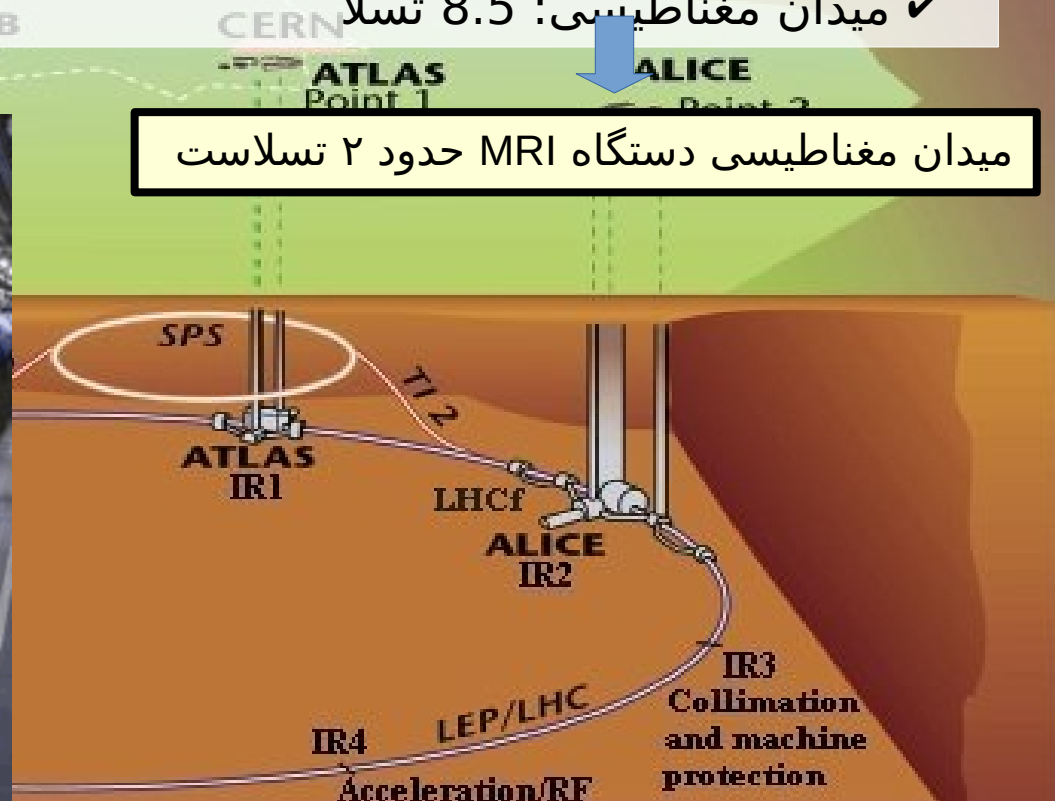
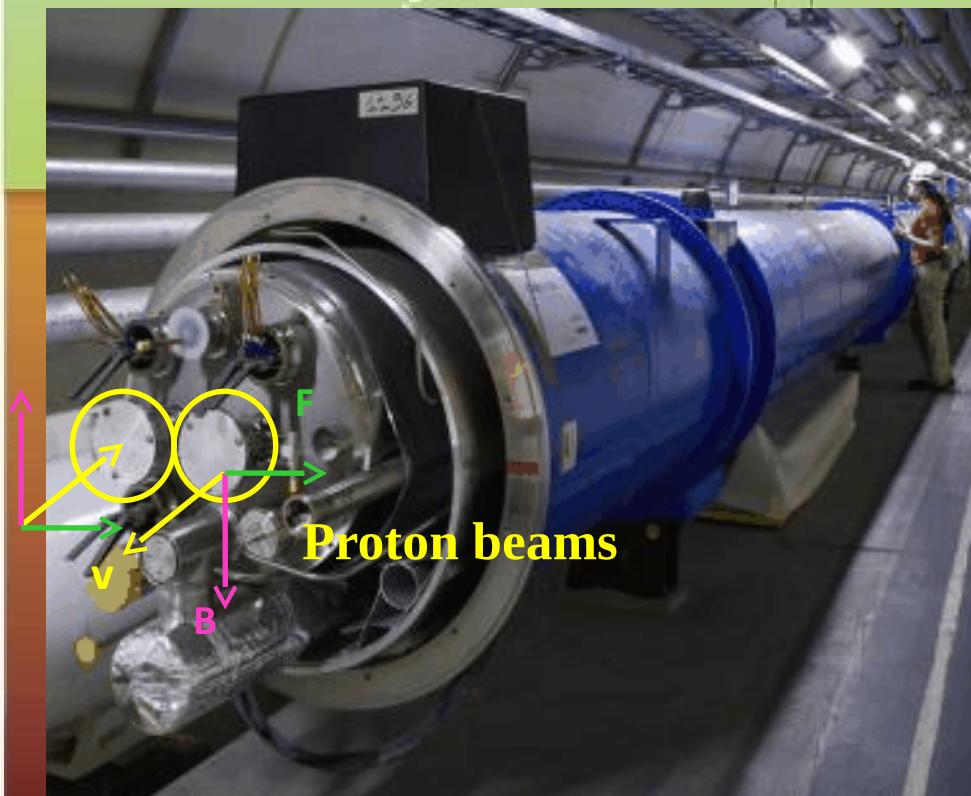
✓ تونلی به طول ۲۷ کیلومتر

✓ تا حدود ۱۰۰ متر زیر زمین

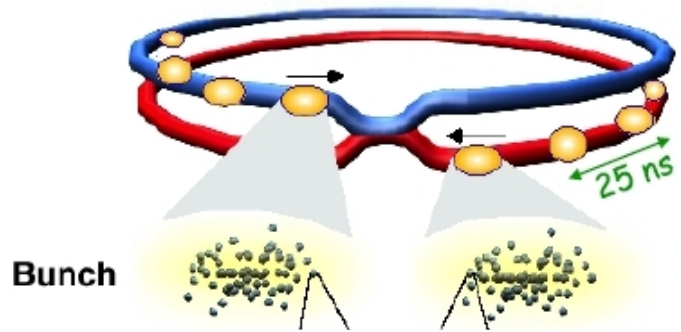
✓ خلاء بسیار بالا (10^{-9} پاسکال)

✓ 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

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

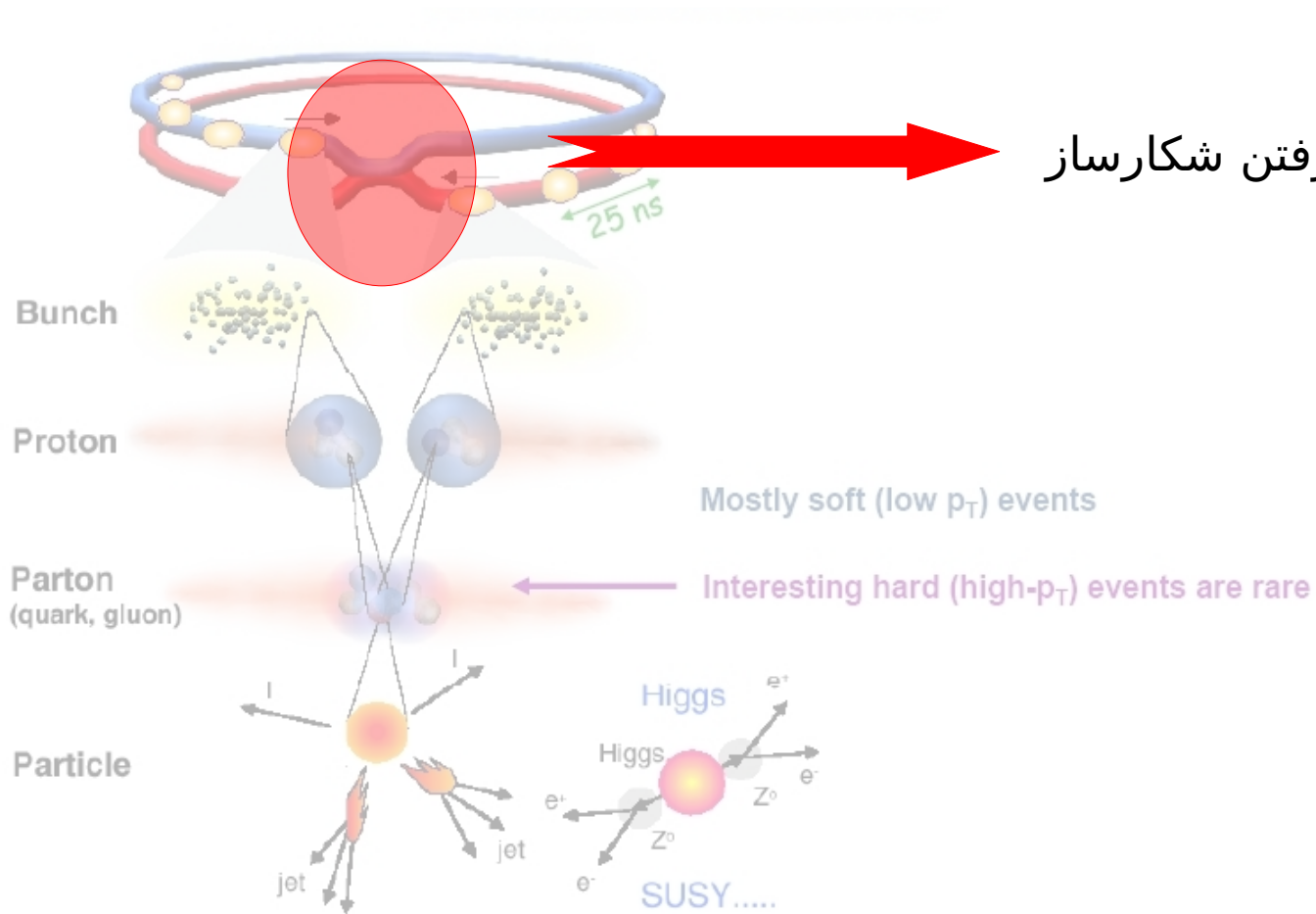
✓ انرژی حدود ۳۰۰ مگاژول

✓ 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



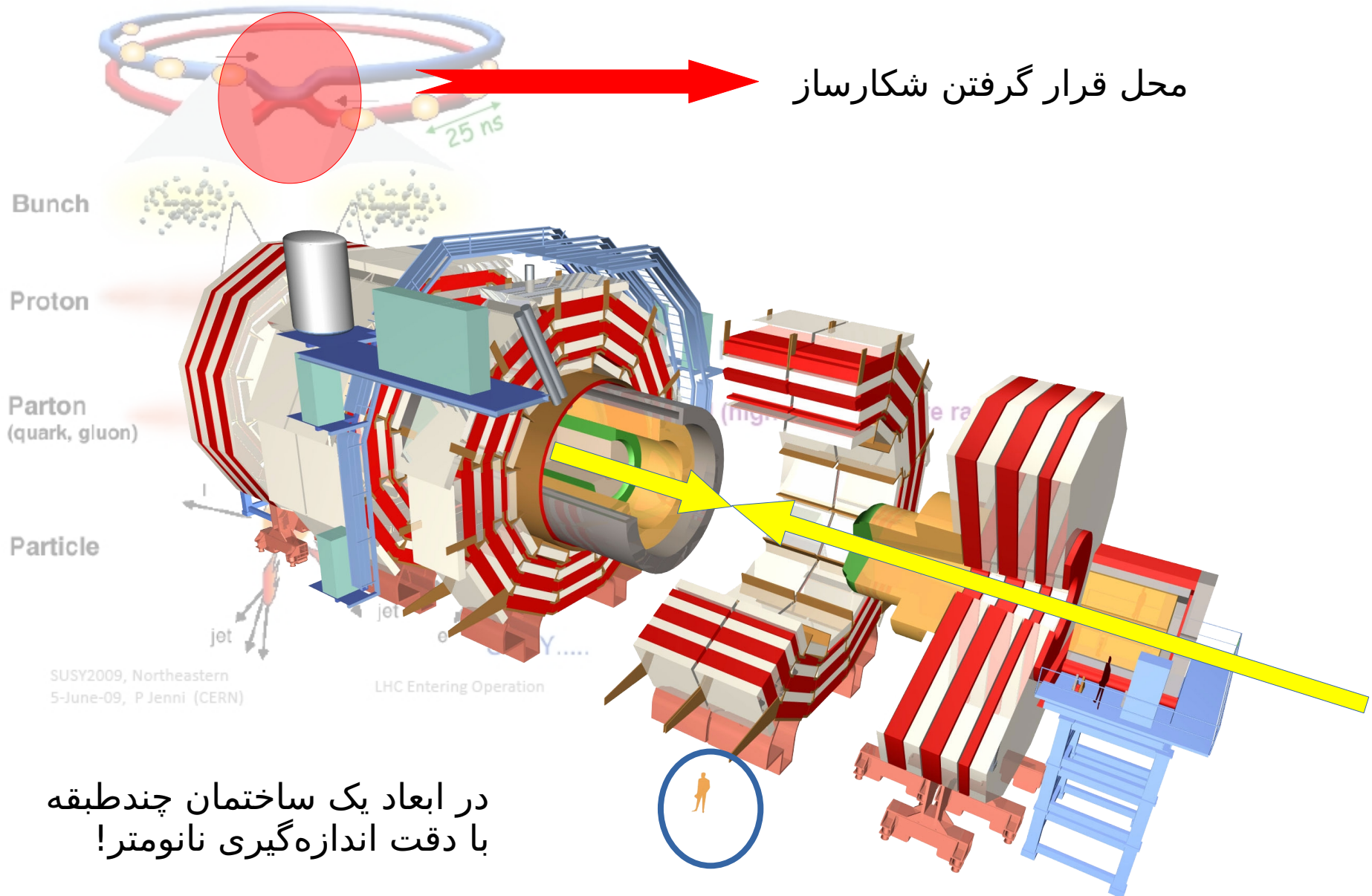
SUSY2009, Northeastern
5-June-09, P Jenni (CERN)

LHC Entering Operation

PAUSE!

چگونگی برخورد پروتونها

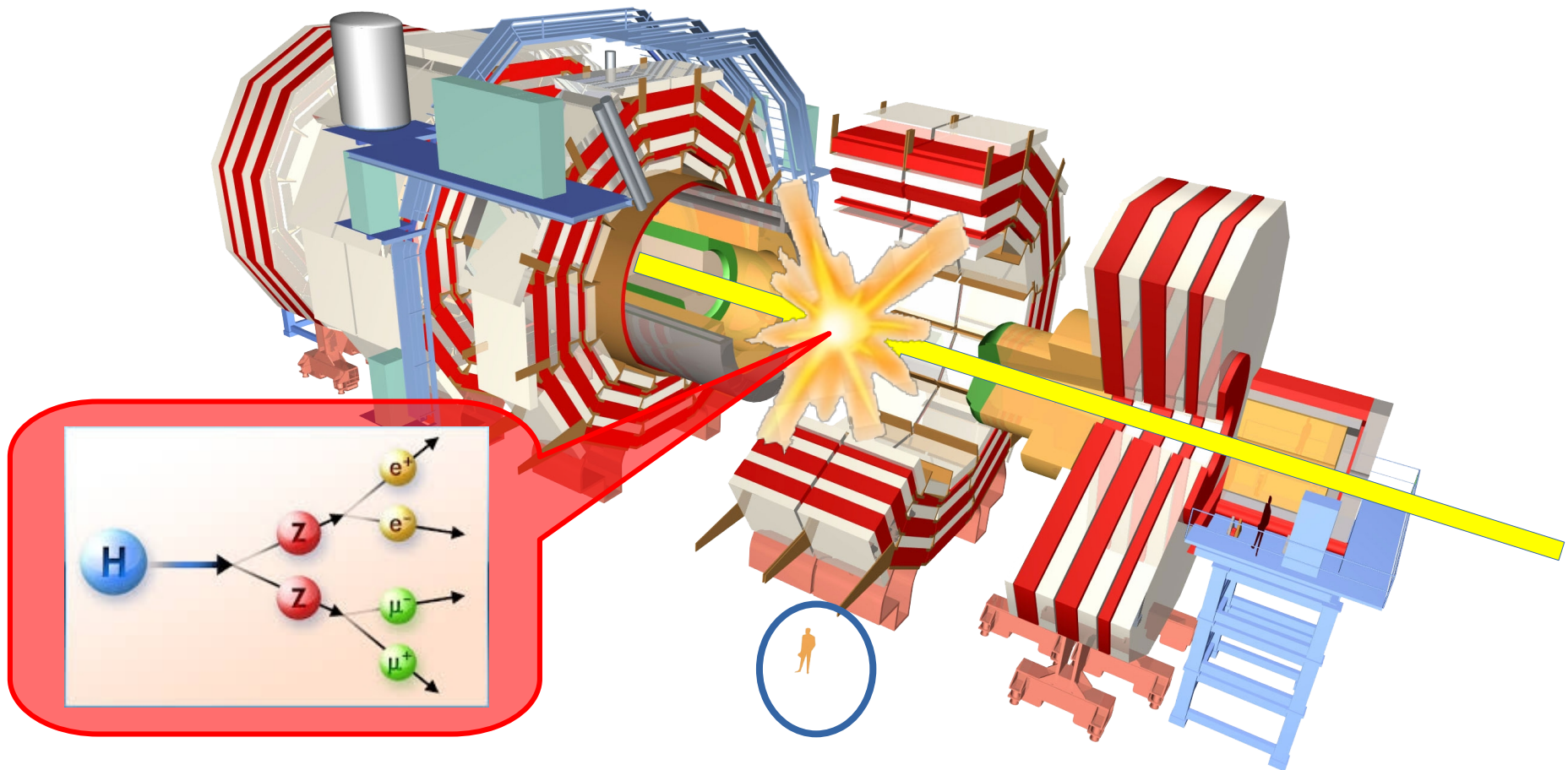
محل قرار گرفتن شکارساز



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

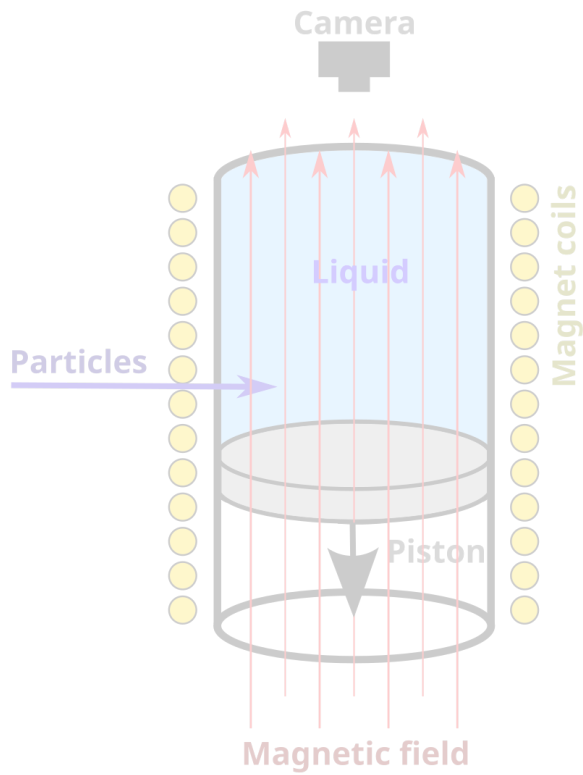
محصول برخورد پروتونها

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



آشکارسازی

اغلب بر پایه یونیزاسیون!



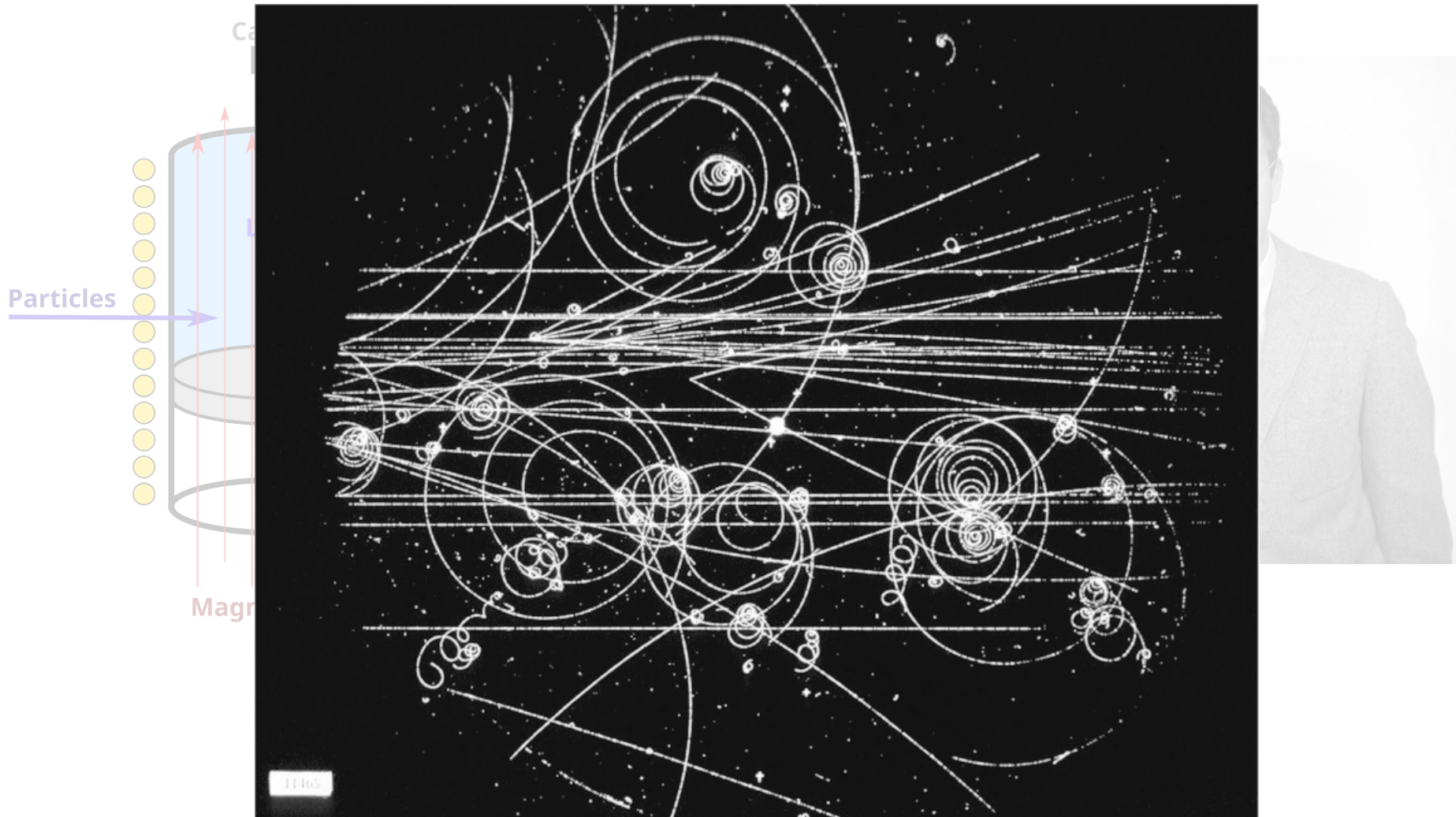
اتاقک حباب



دونالد آرتور گلایزر

آشکارسازی

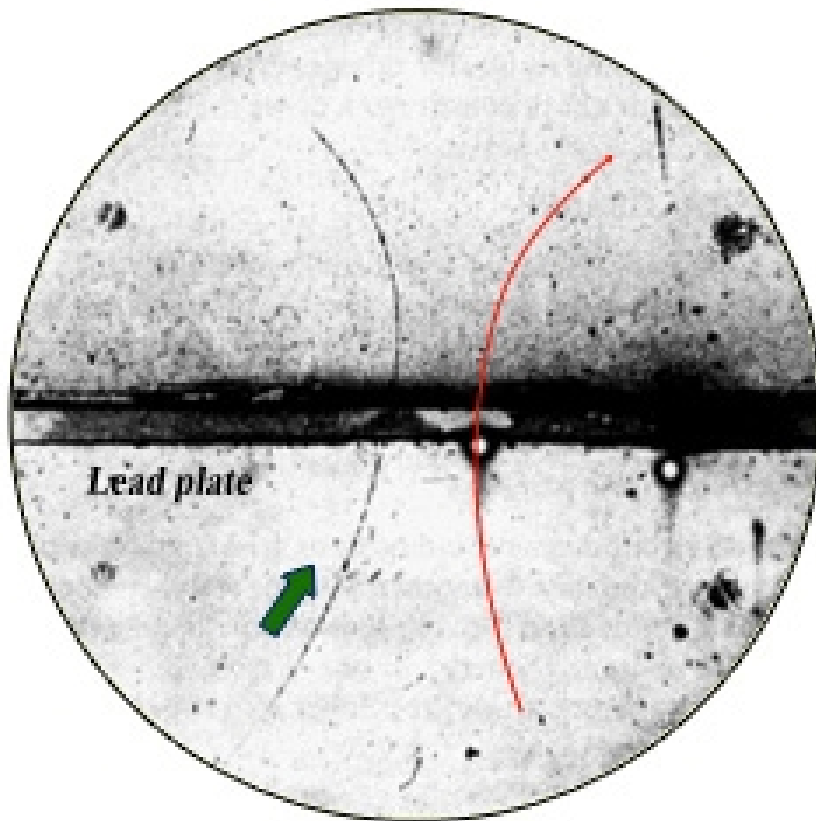
اغلب بر پایه یونیزاسیون!



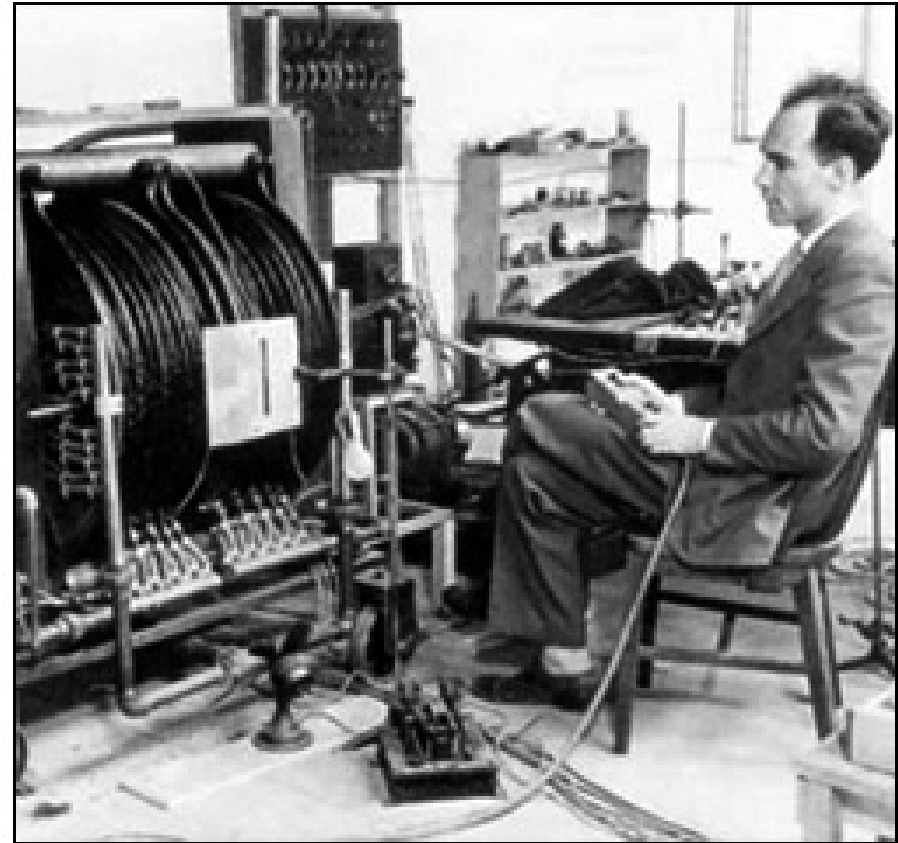
تصویر واقعی!

آشکارسازی

اغلب بر پایه یونیزاسیون!



Cloud (Wilson) chamber

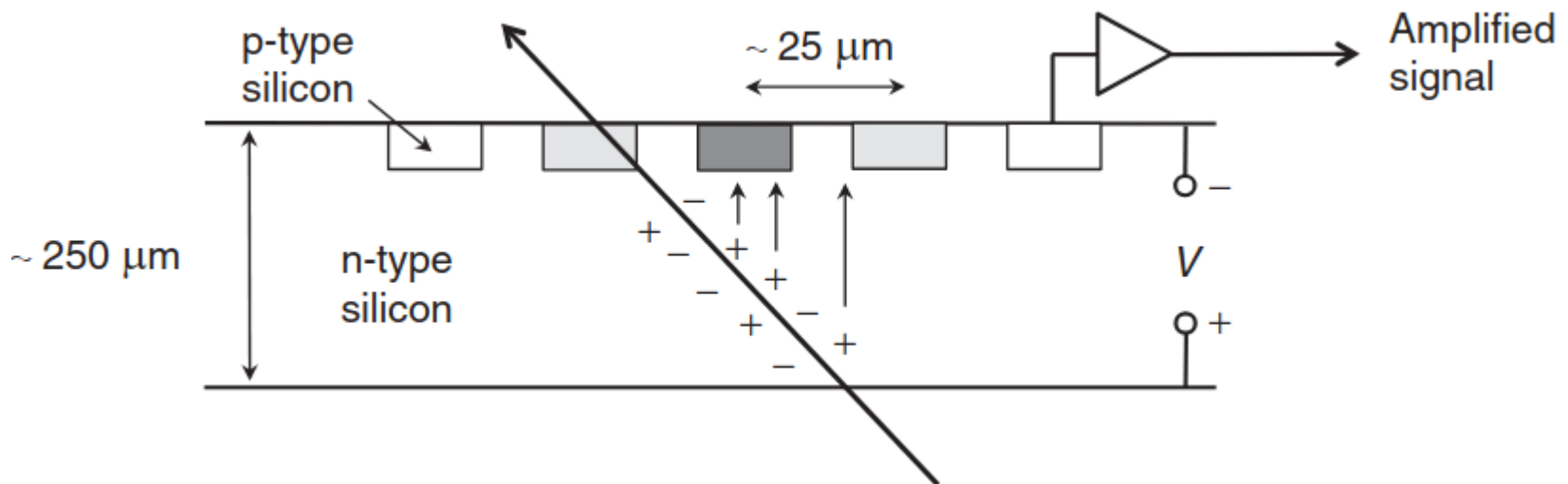


Carl Anderson

کشف پوزیترون و جایزه نوبل!

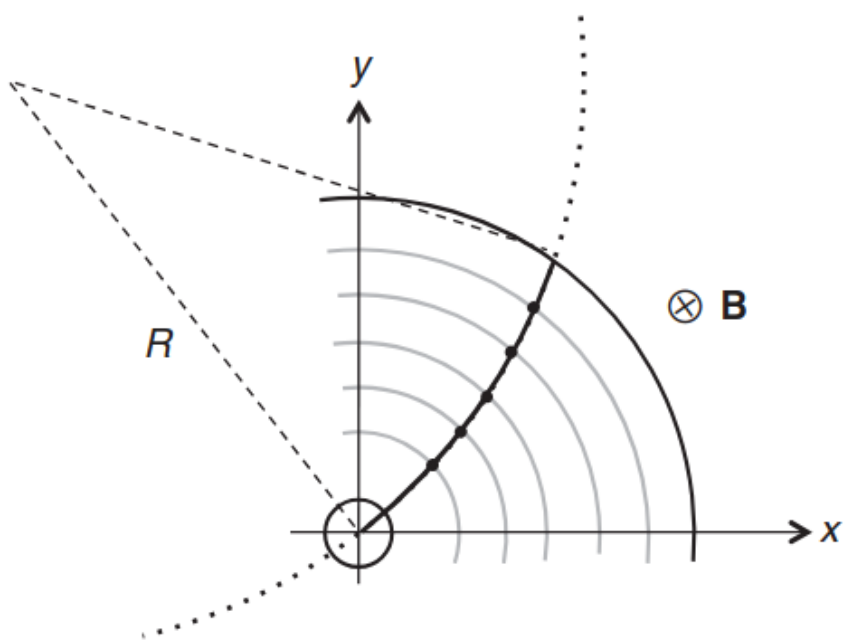
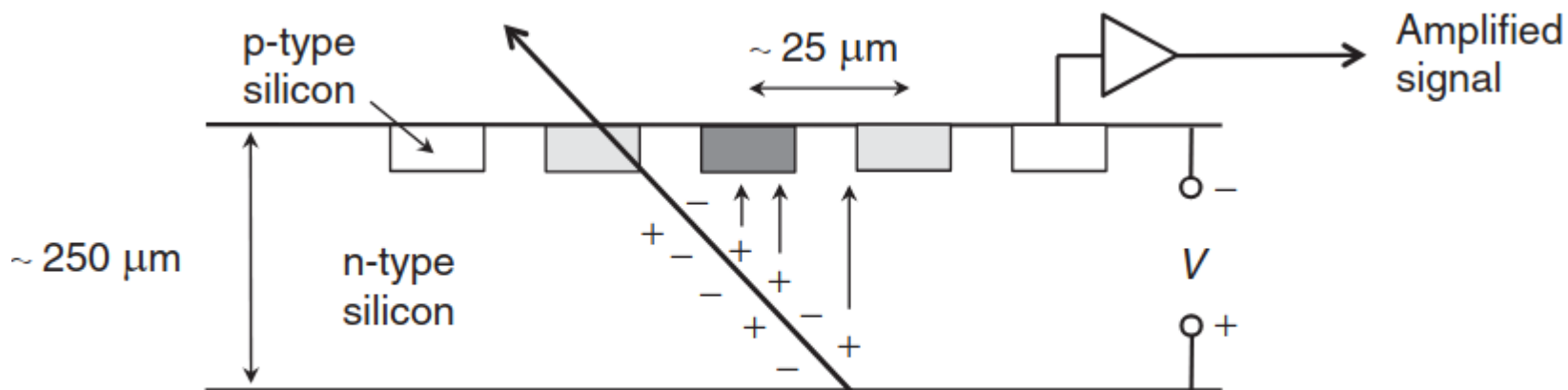
تکنیک‌های آشکارسازی: مسیرهای سیلیکونی

تعیین مسیر ذره باردار و انرژی (تکانه) آن



تکنیک‌های آشکارسازی: مسیرهای سیلیکونی

تعیین مسیر ذره باردار و انرژی (تکانه) آن

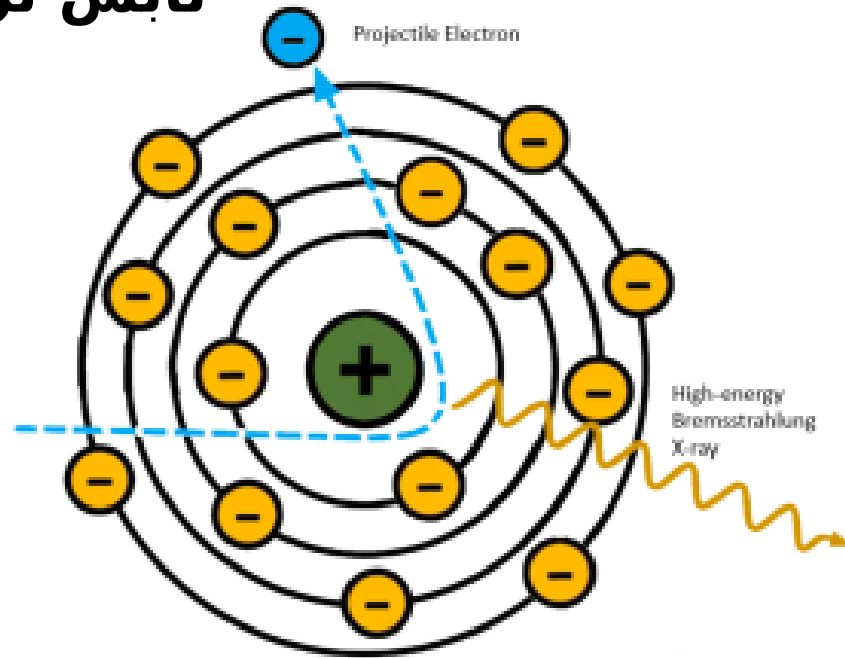


دقت بالا

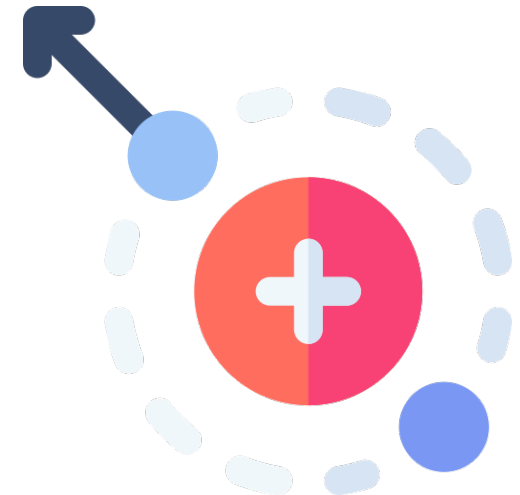
$$p = eb/R$$

آشکارسازی فقط برپایه یونیزاسیون؟

تابش ترمزی



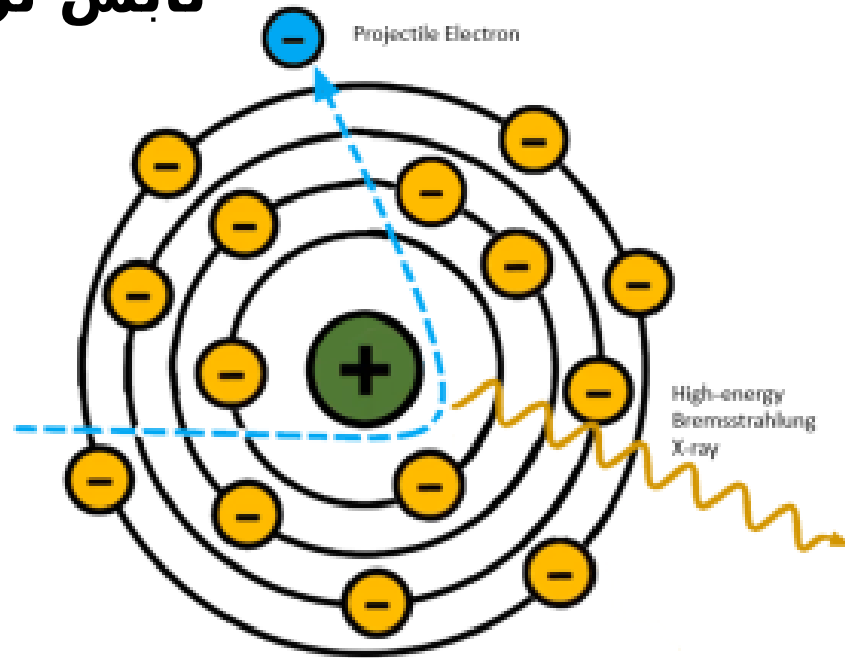
انرژی بالا



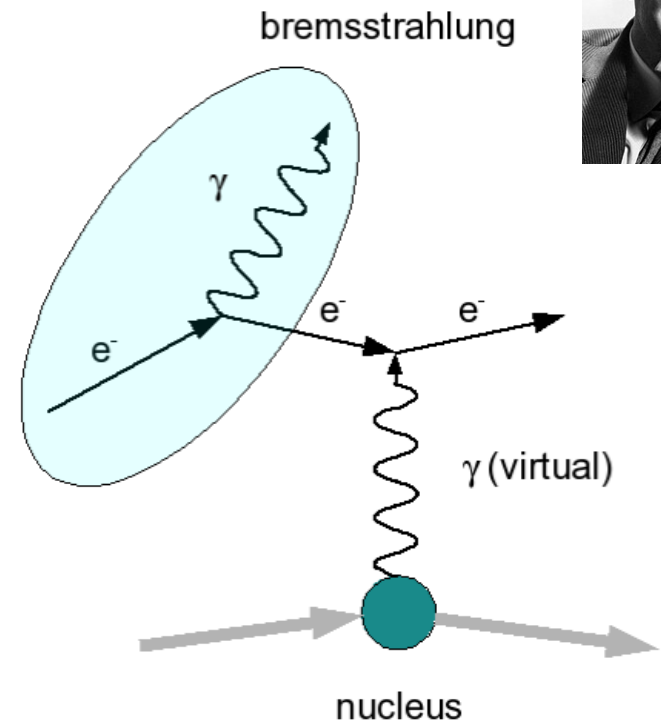
انرژی پایین

آشکارسازی فقط برپایه یونیزاسیون؟

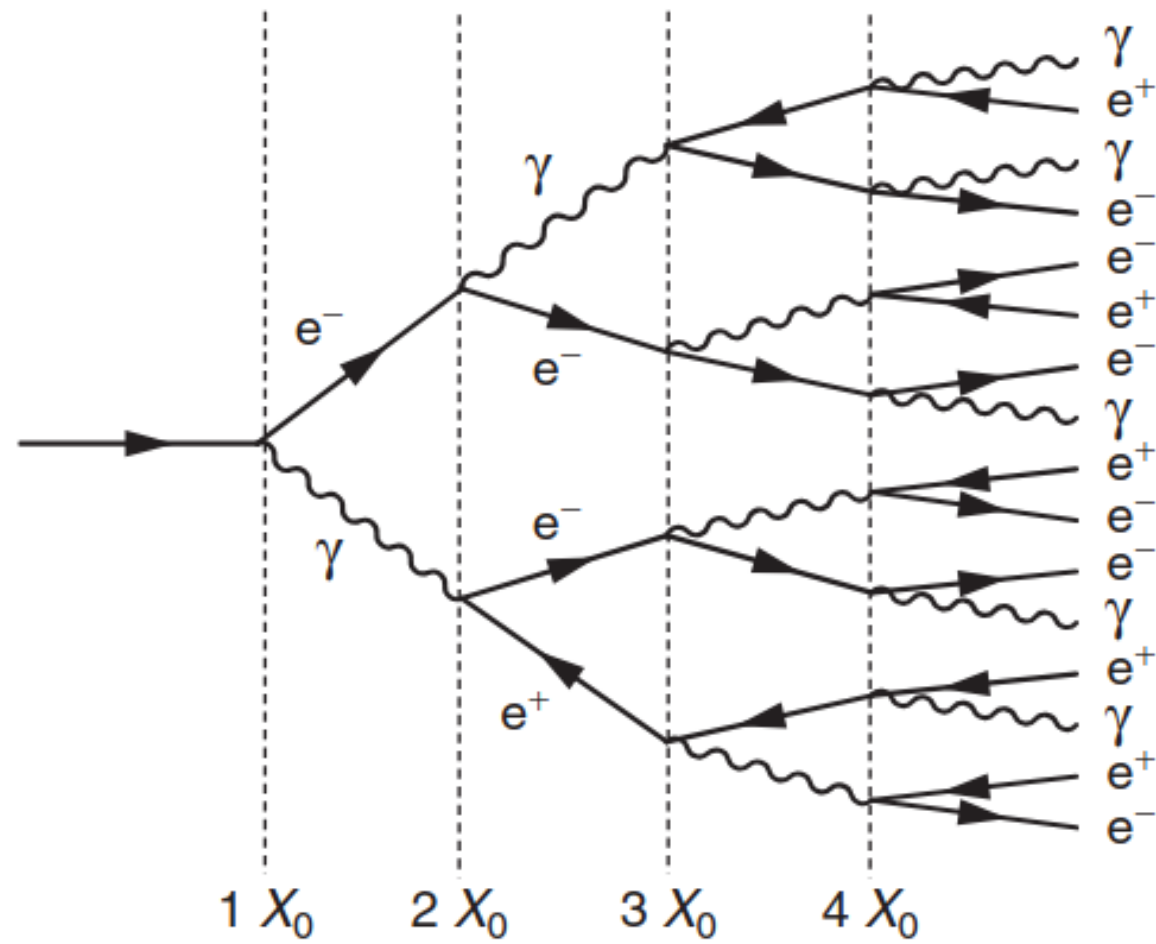
تابش ترمزی



انرژی بالا



آبشار یا دوش ذرات بر اثر تابش ترمزی

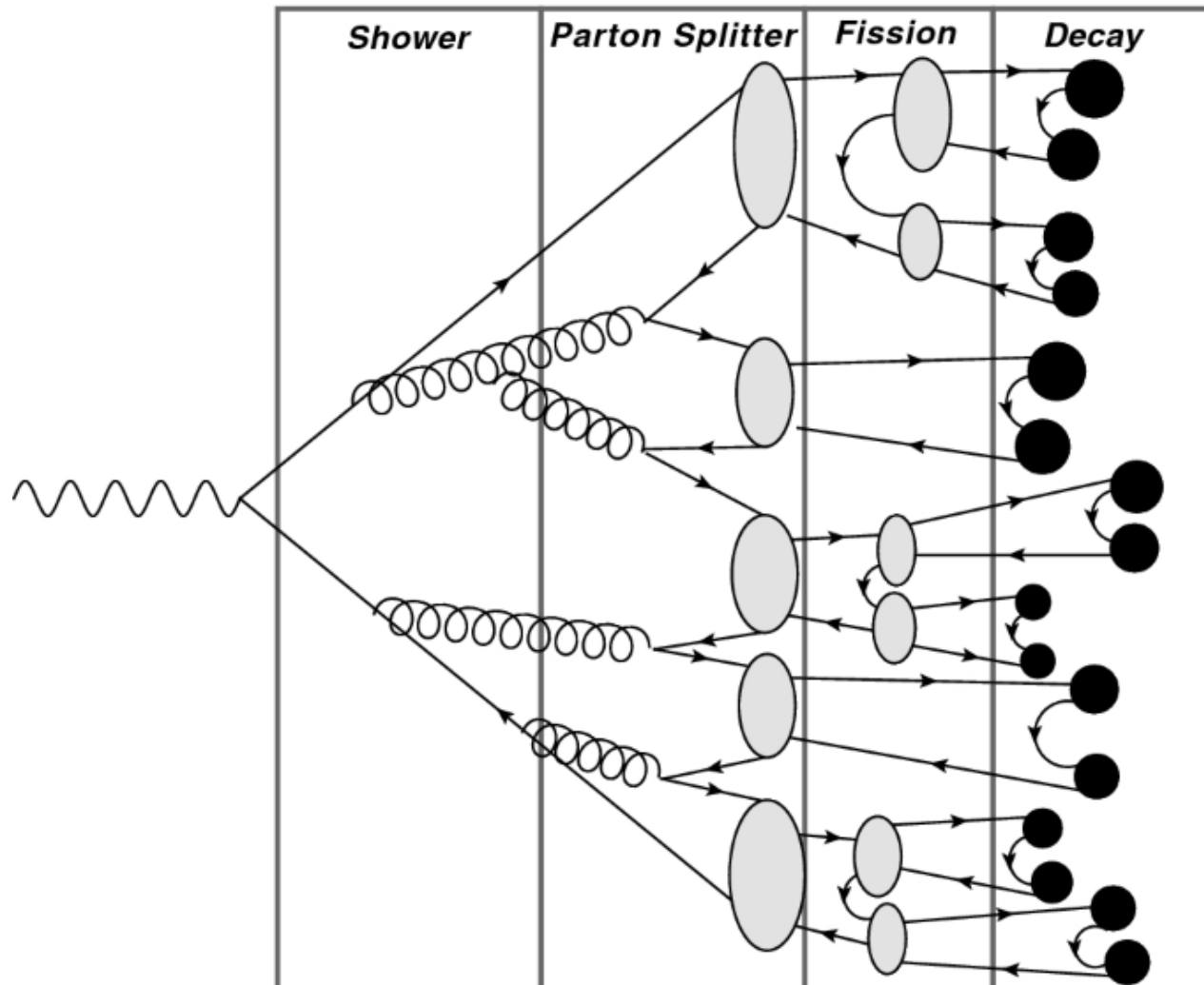


آشکارسازی آبشار یا دوش ذرات بر اثر تابش ترمزی



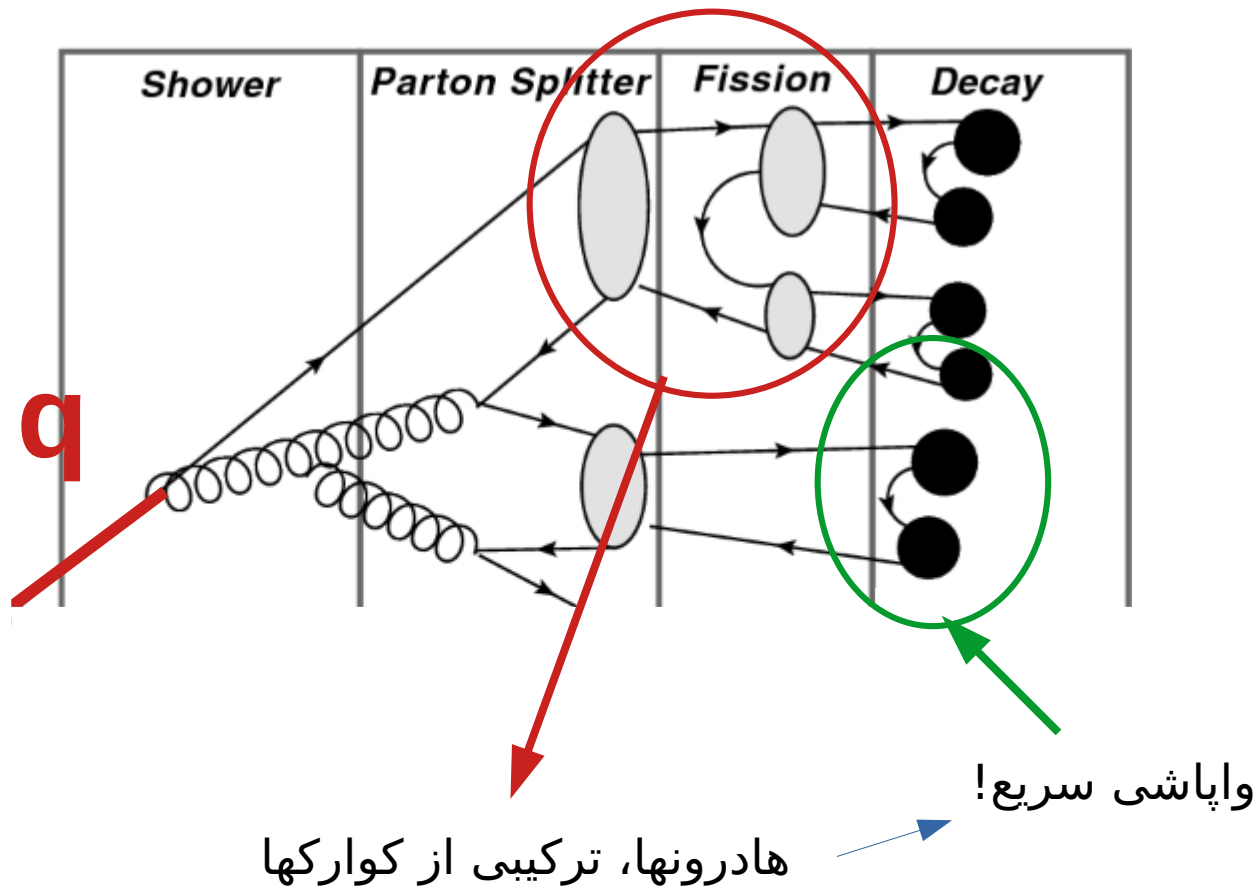
$22\text{ mm} \times 22\text{ mm} \times 23\text{ cm}$

آشکارسازی کوارکها؟!!

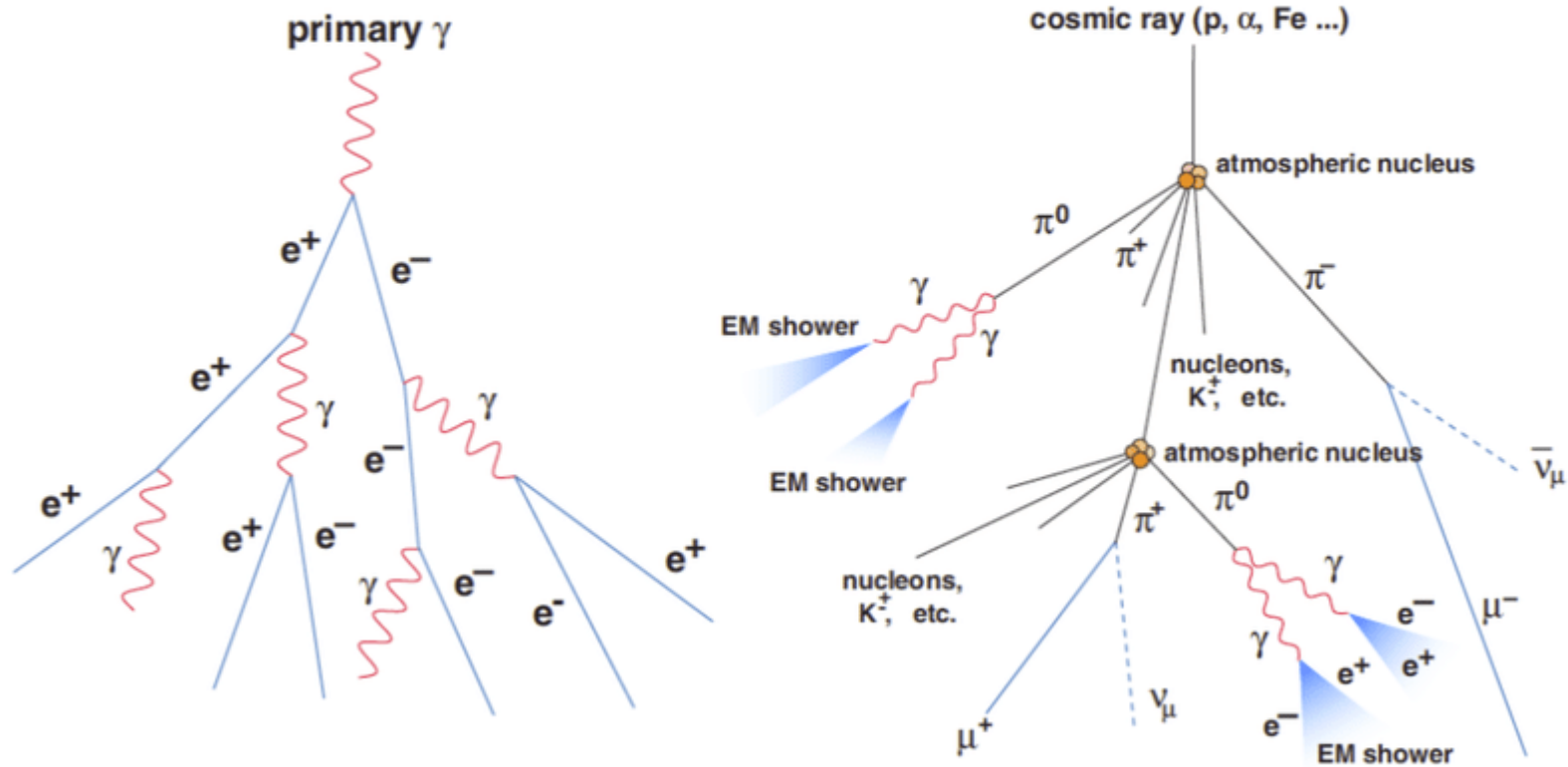


کوارک تنها نمی ماند!

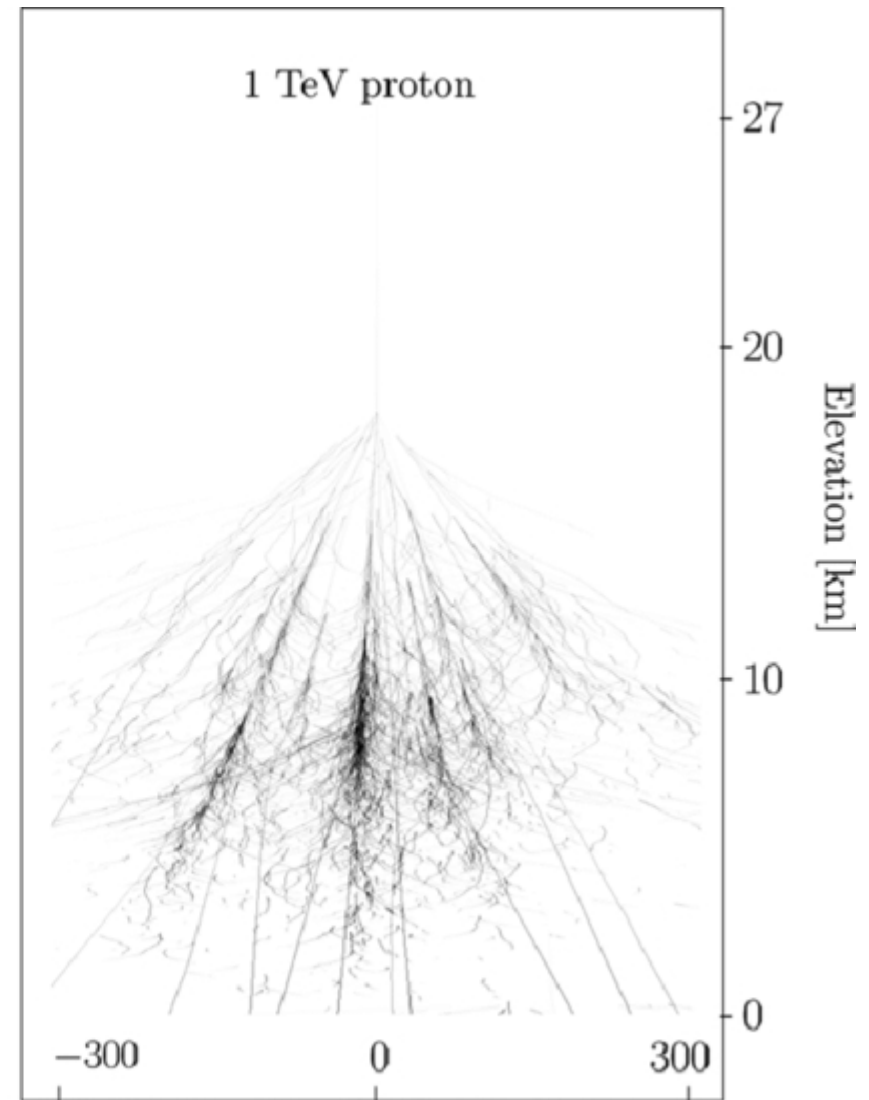
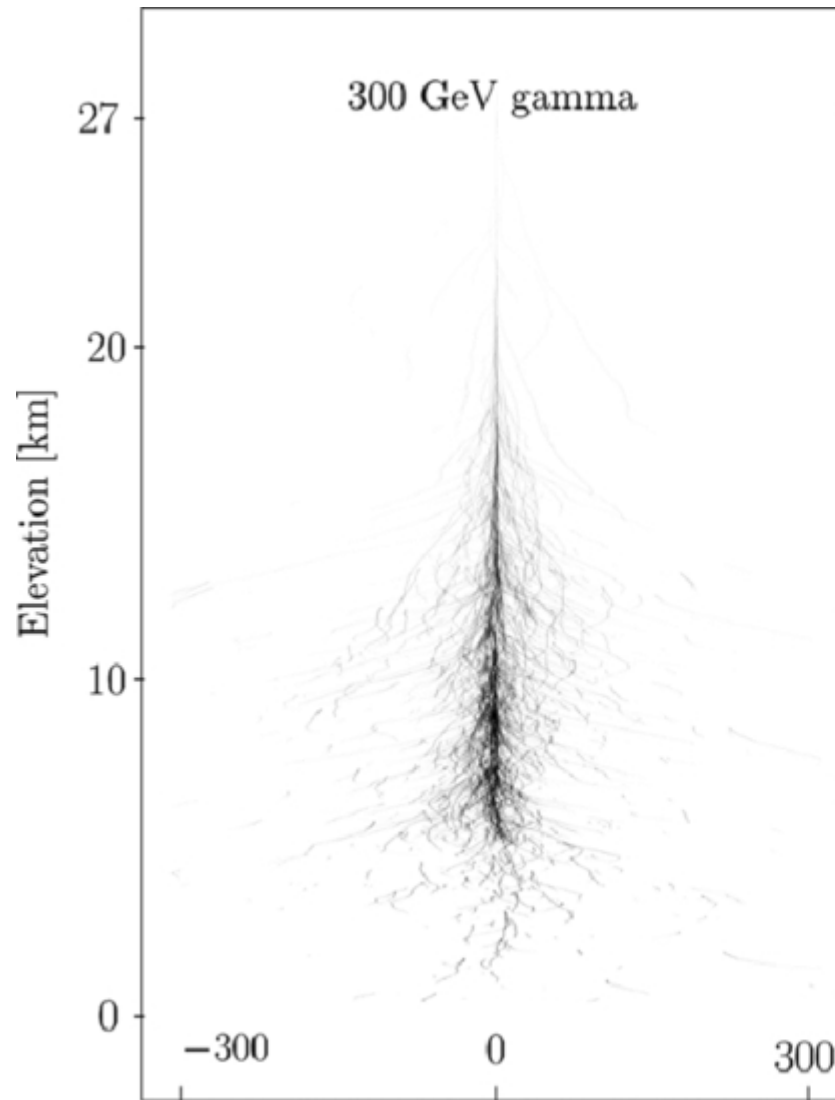
آشکارسازی کوارکها؟!!



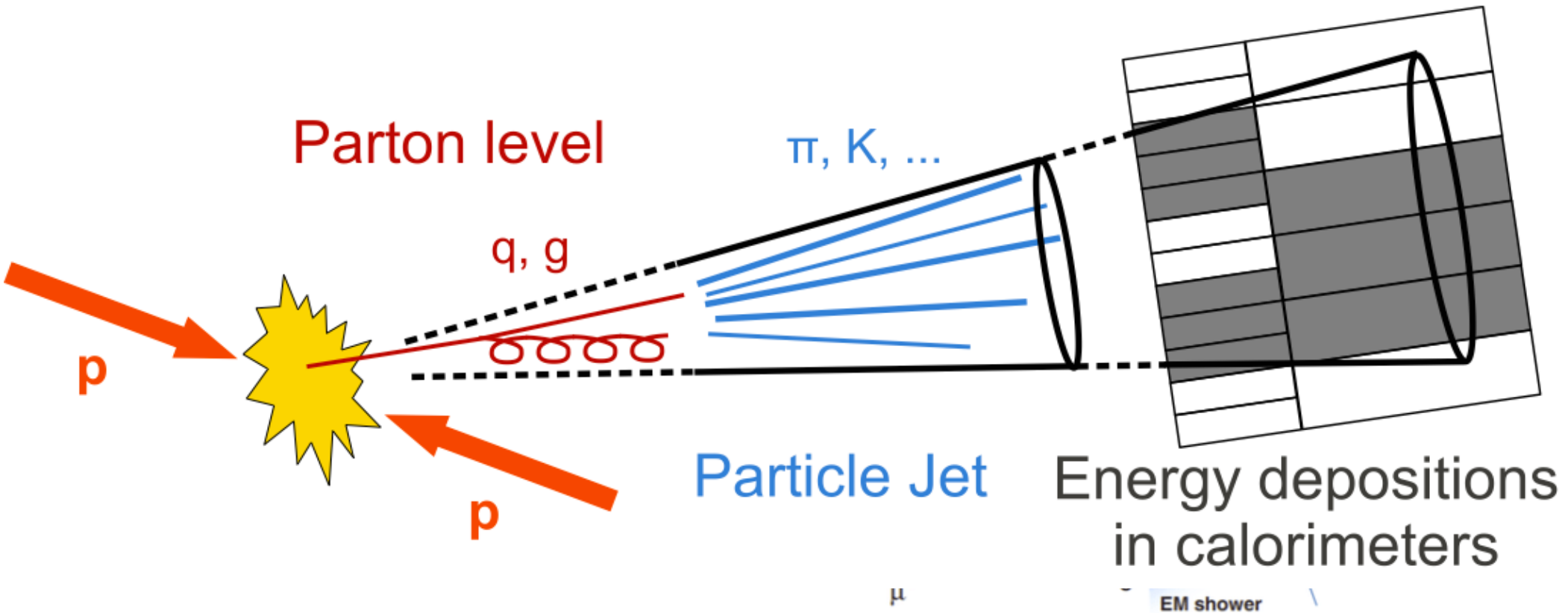
آشکارسازی کوارکها؟!



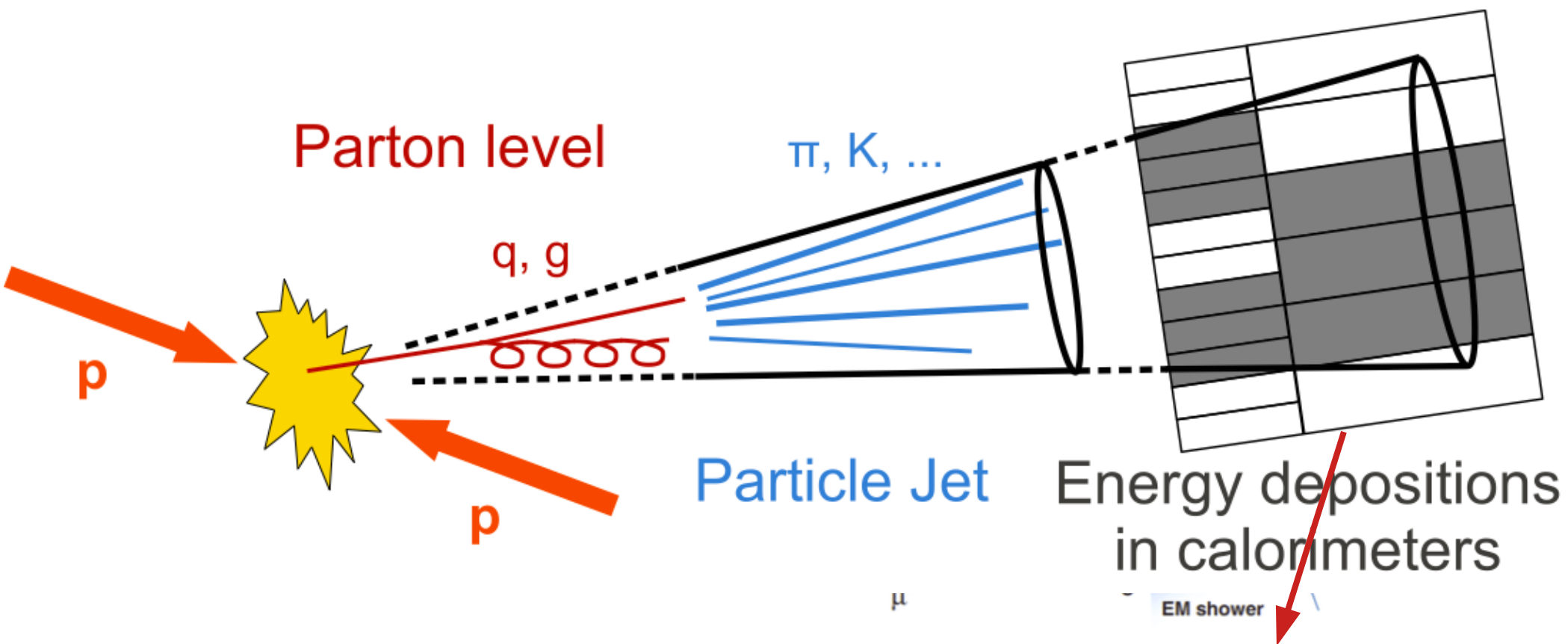
آشکارسازی کوارکها؟!!



آشکارسازی کوارکها؟!!

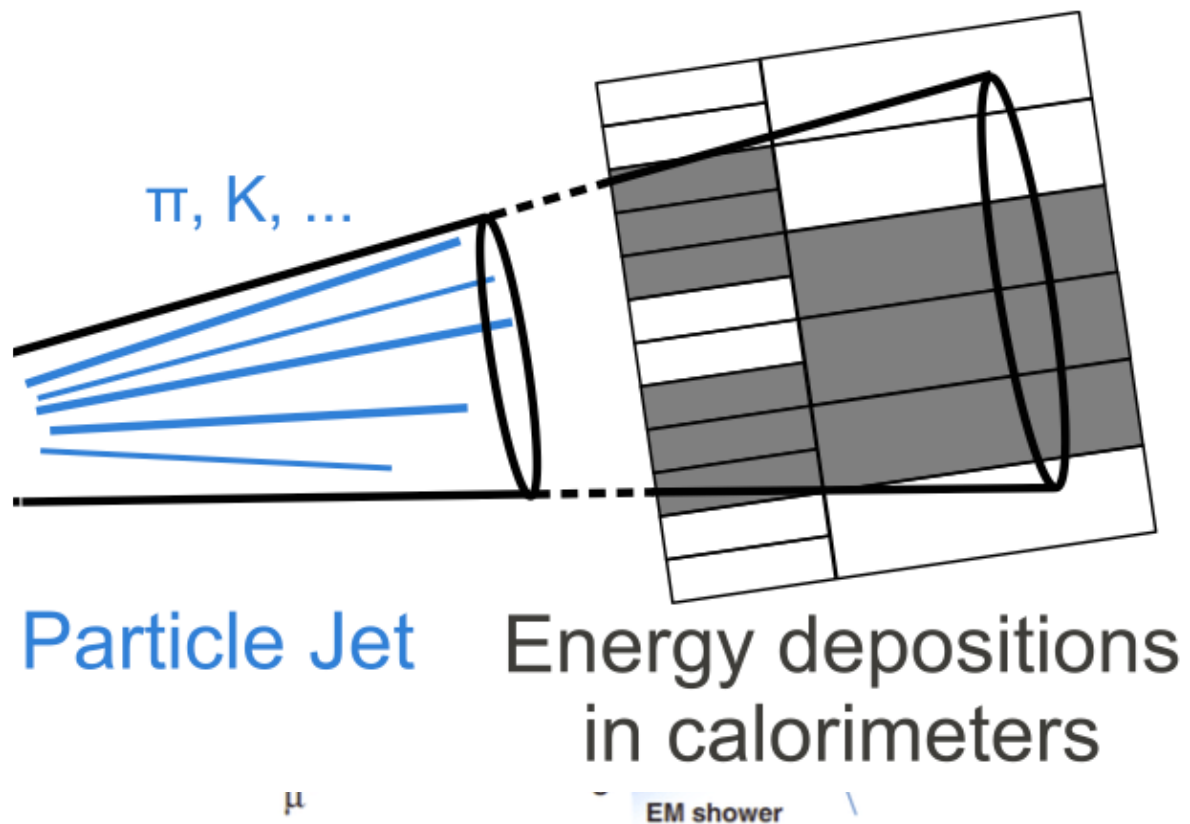


آشکارسازی کوارکها؟!!

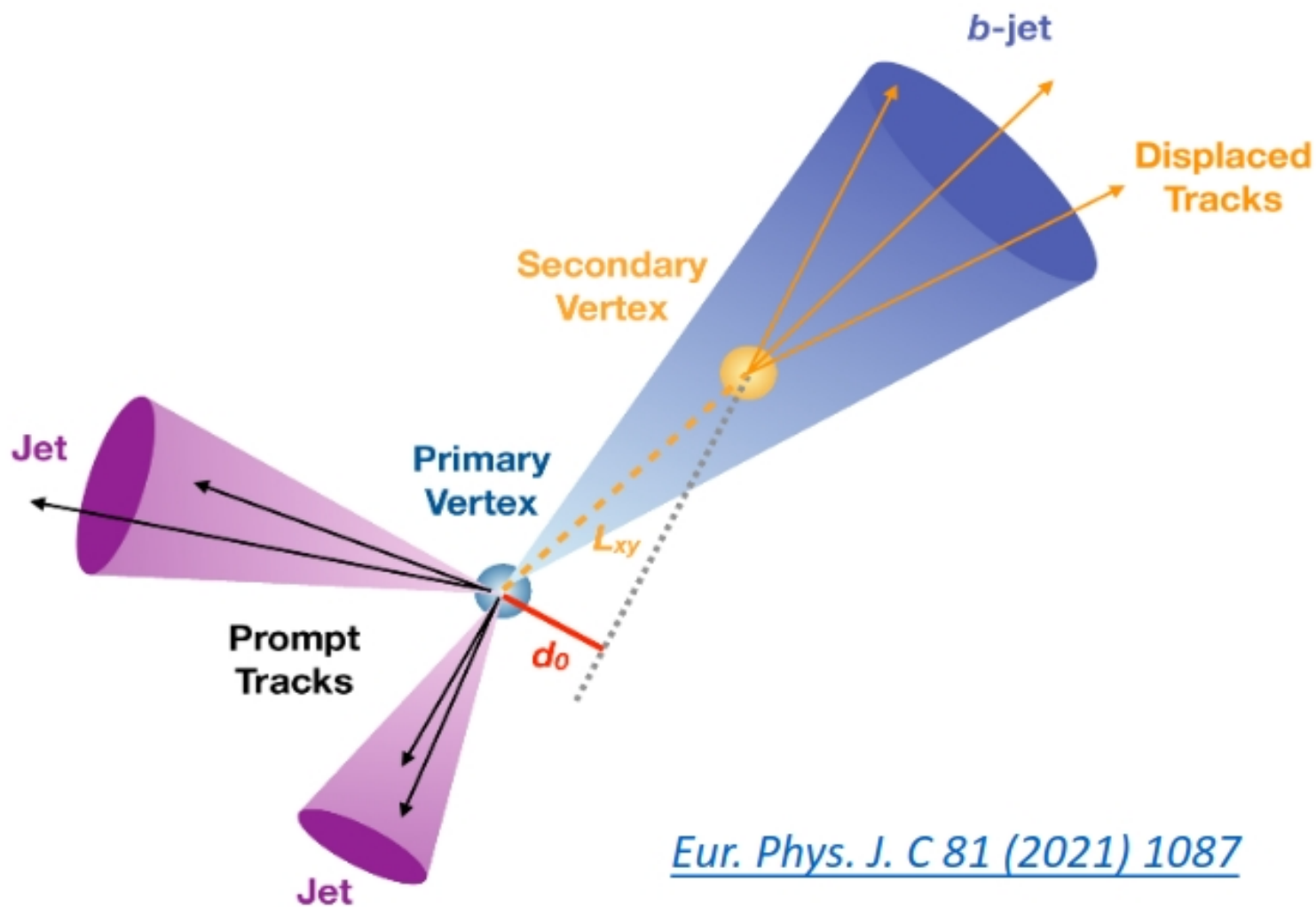


ابعاد قطعات آشکارسازی هادرونی بسیار بزرگ است
(در حد چند متر)

سؤال مهم: کدام کوارک؟

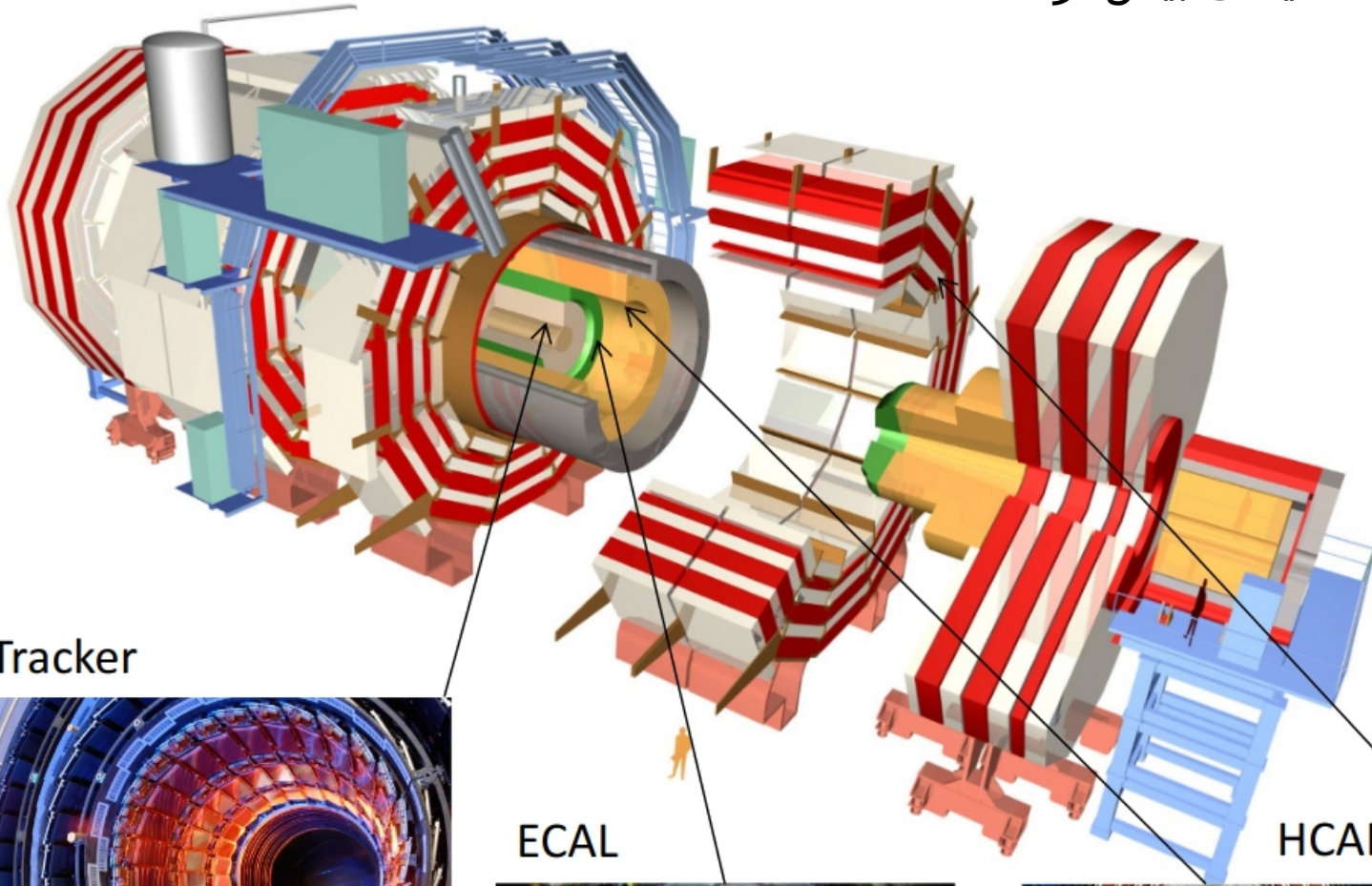


سؤال مهم: کدام کوارک؟

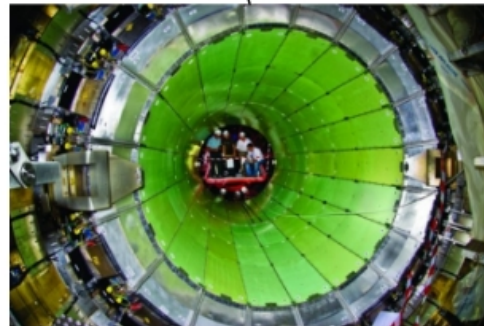
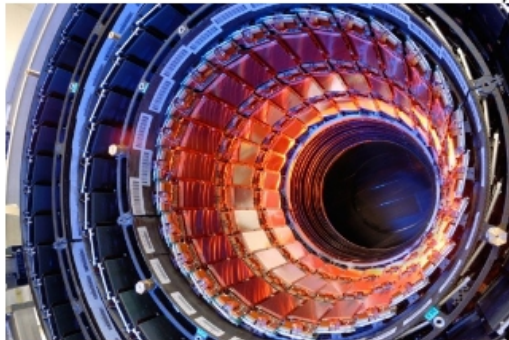


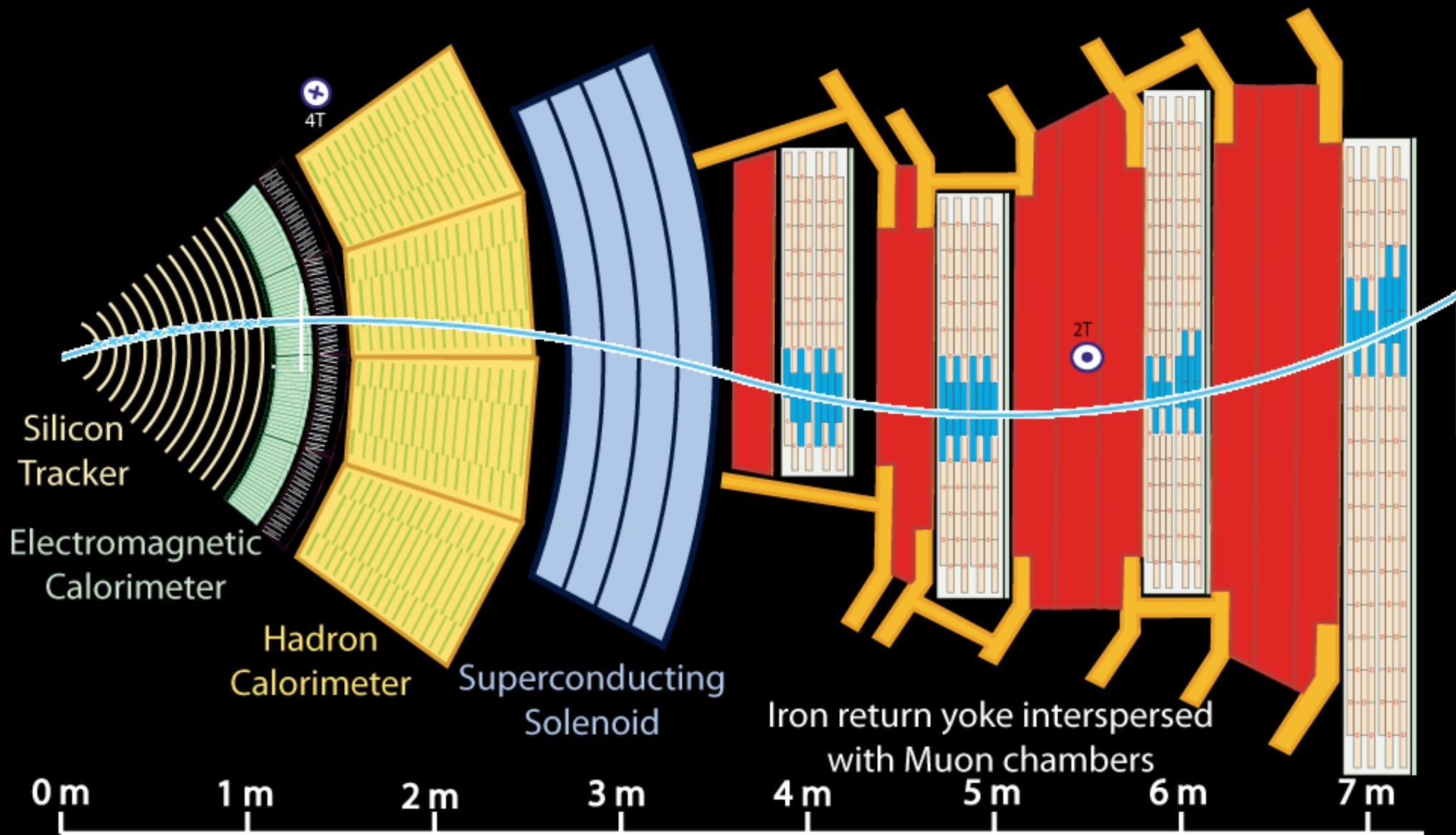
سیملوله فشرده میوتونی

با ۱۲۰۰۰ تن جرم و میدان مغناطیسی بیش از ۴ تسلا



Muon Chambers





Key:

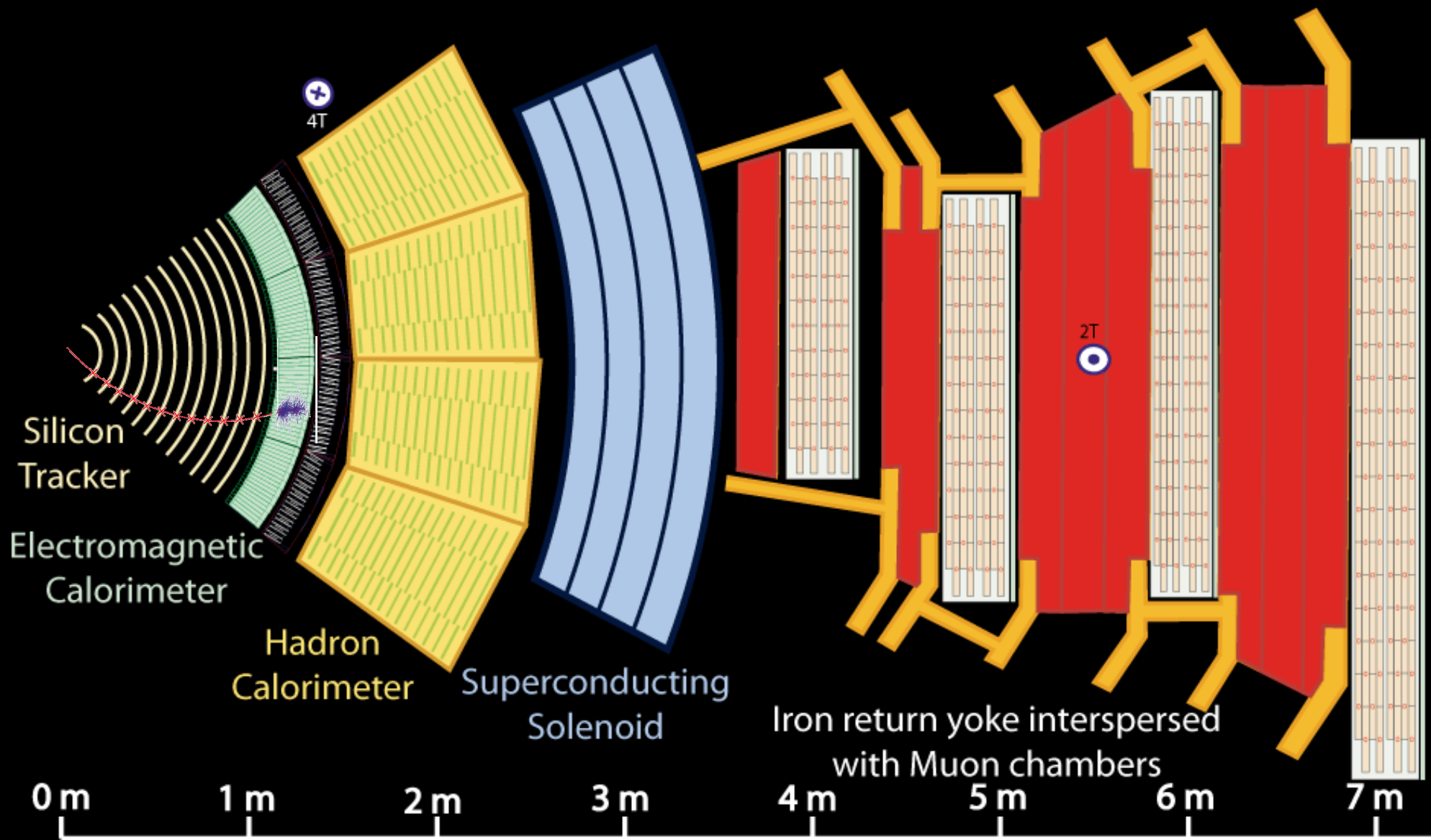
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

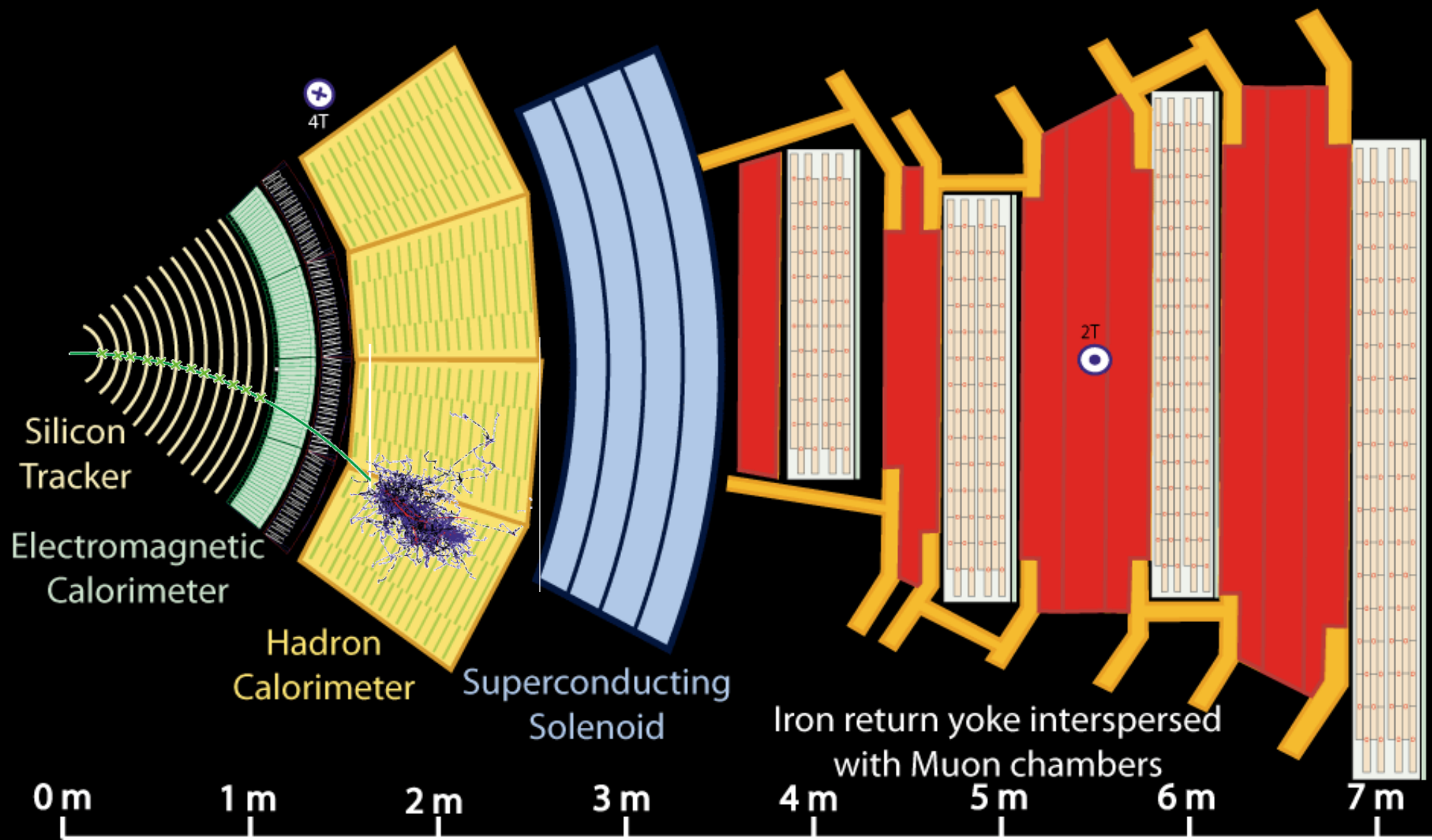
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



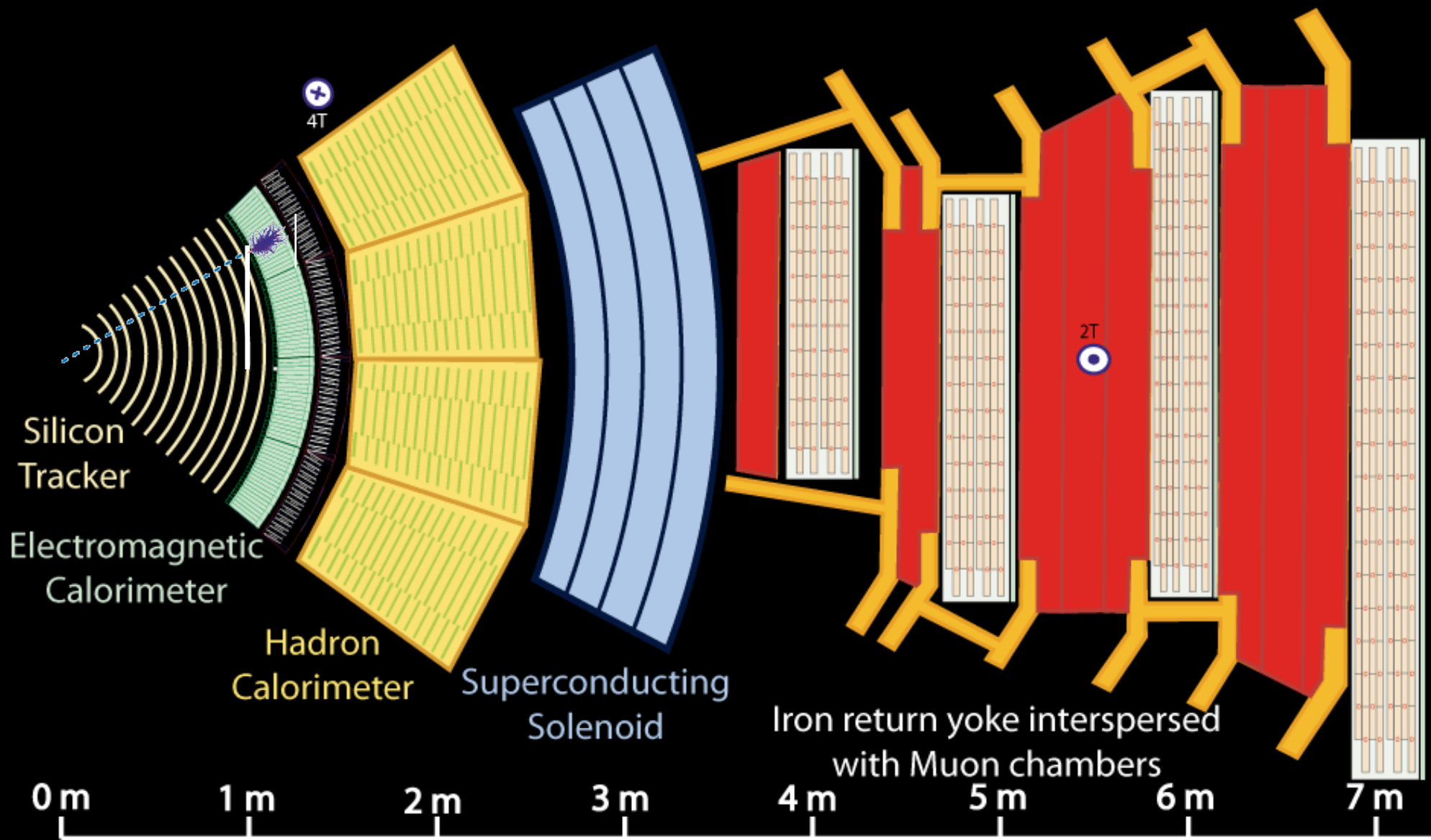
Key:

- 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)

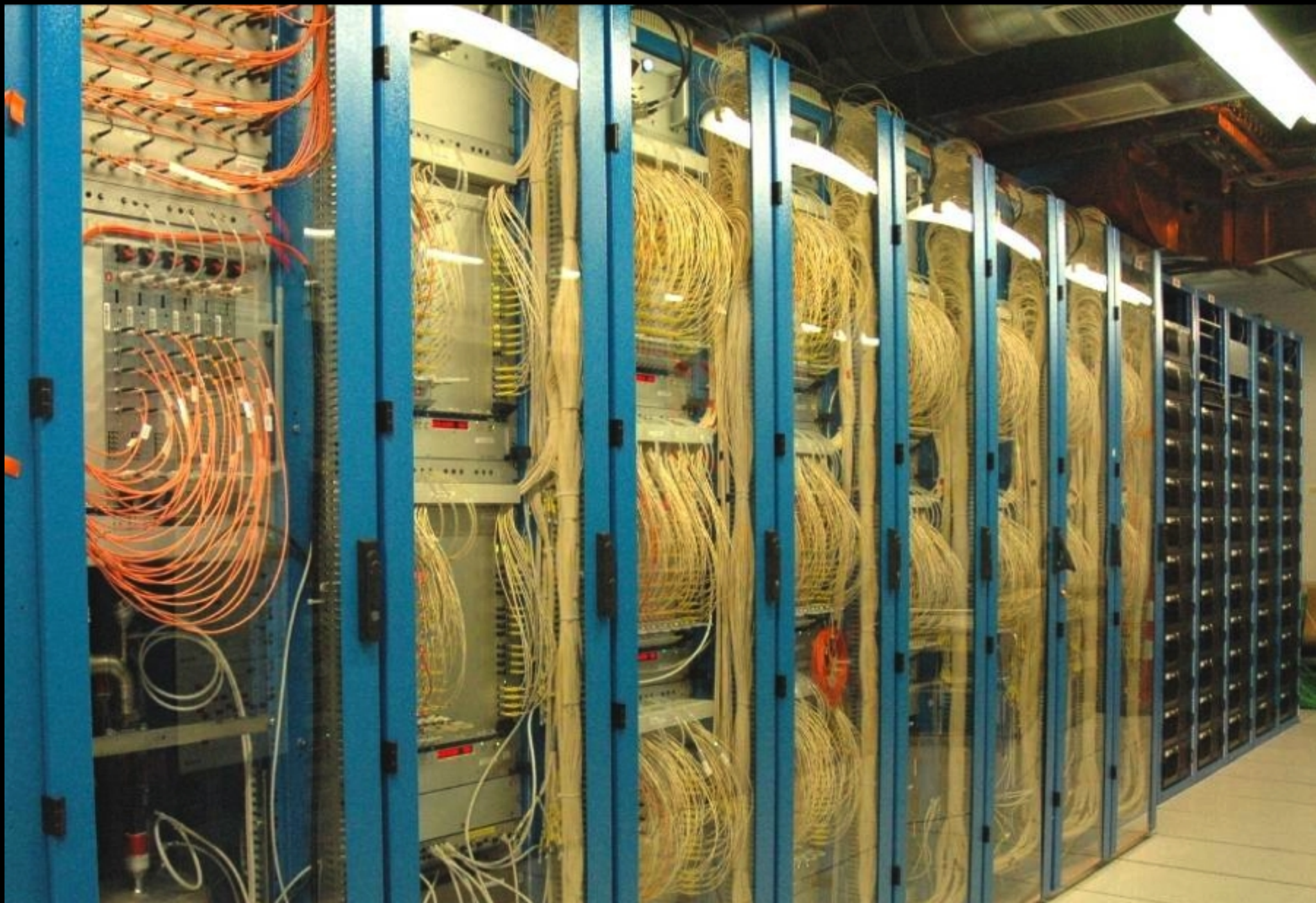
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon

بازسازی داده آشکارساز بصورت ویرگیهای ذرات



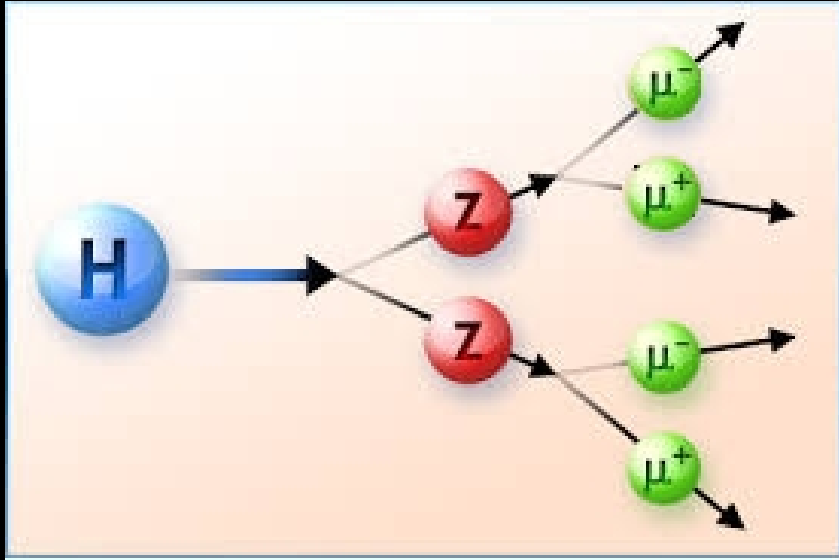
بازسازی داده آشکارساز بصورت ویرگیهای ذرات



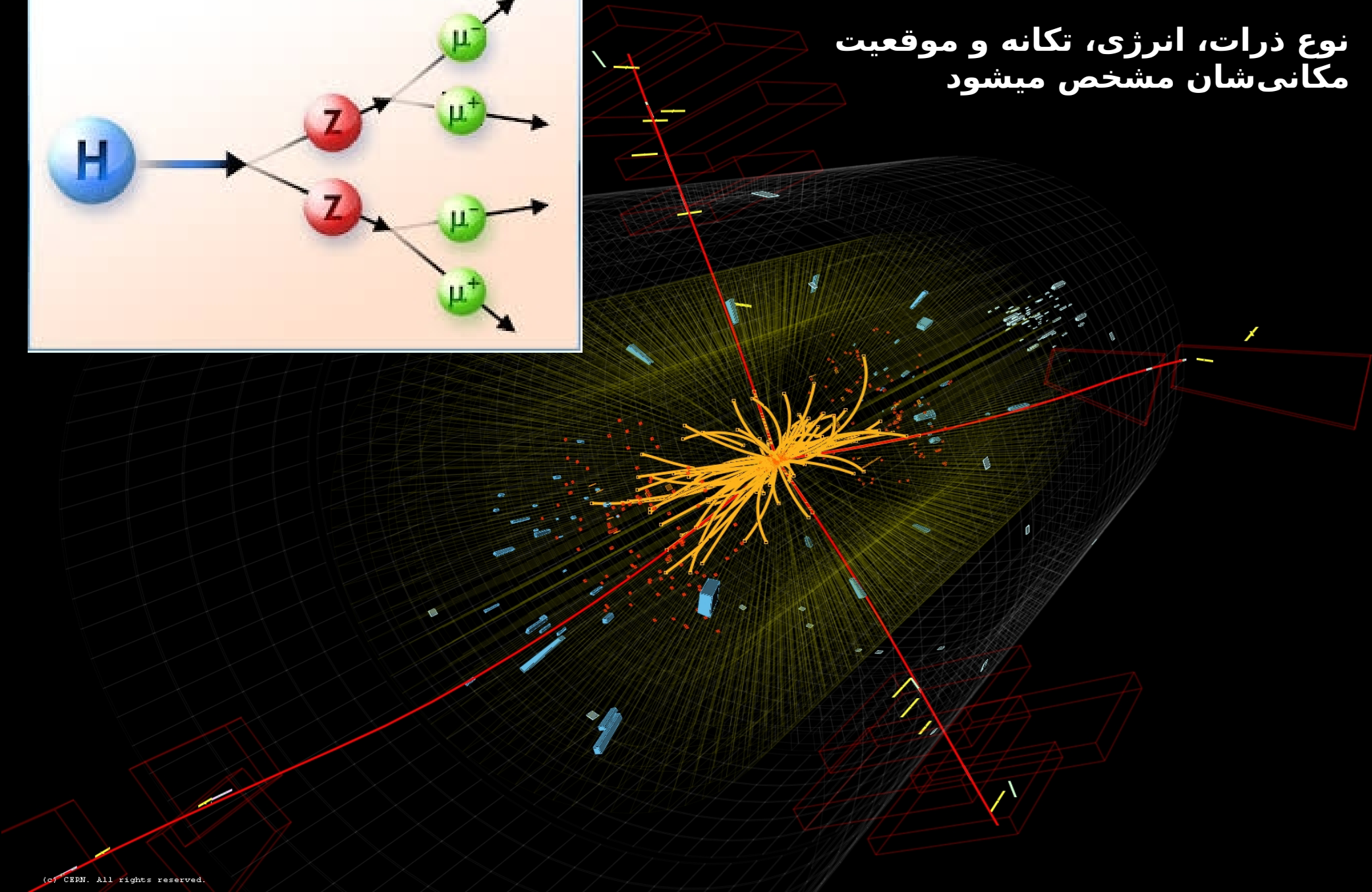
بازسازی داده آشکارساز بصورت ویژگیهای ذرات



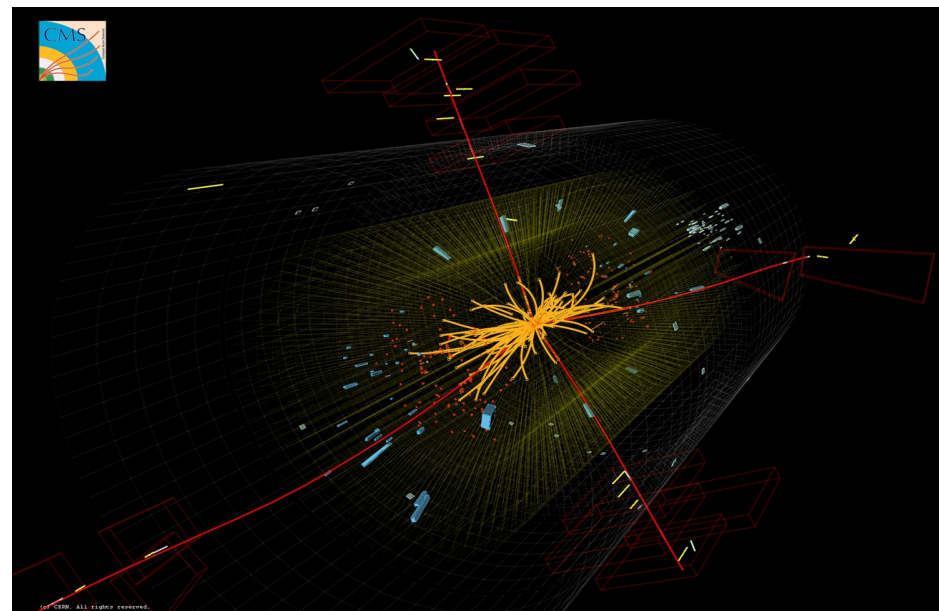
یک رویداد از میان میلیاردها رویداد!



نوع ذرات، انرژی، تکانه و موقعیت
مکانی‌شان مشخص میشود



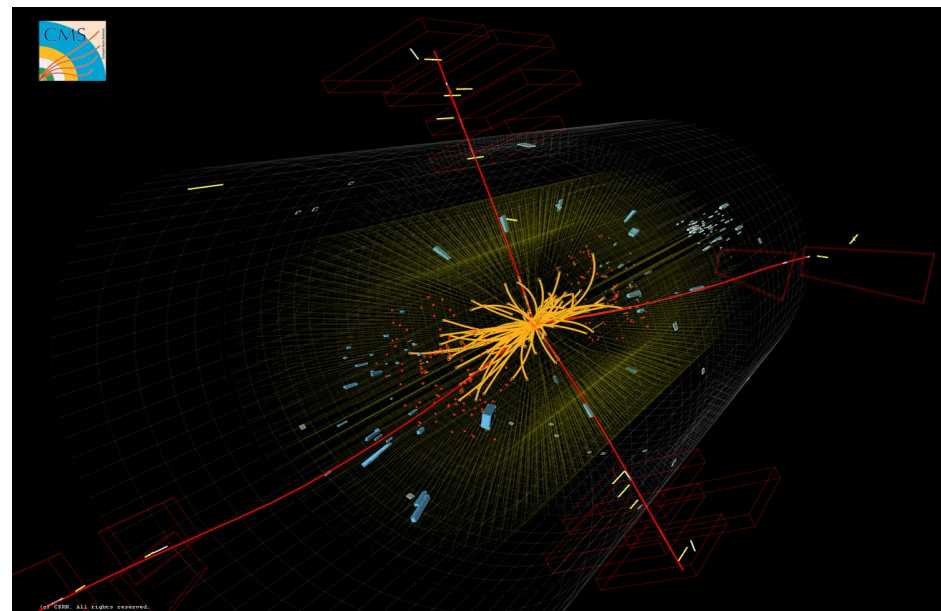
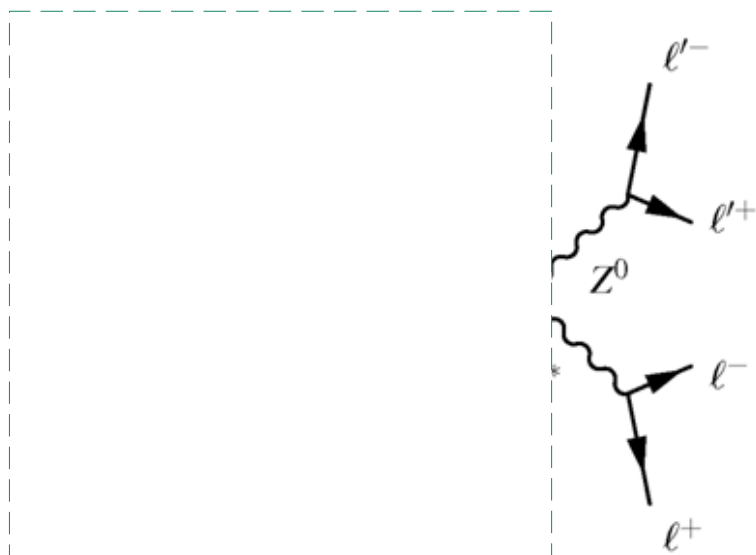
مهندسی معکوس!!!



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

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

مهندسی معکوس!!!



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

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

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

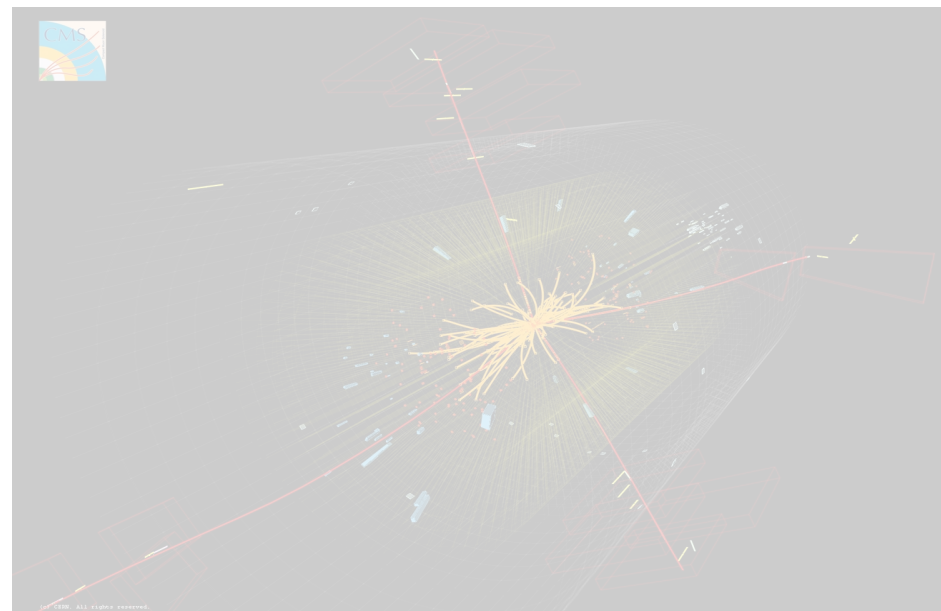
جرم ناوردای ذره مادر را میتوان حساب کرد.

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

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)

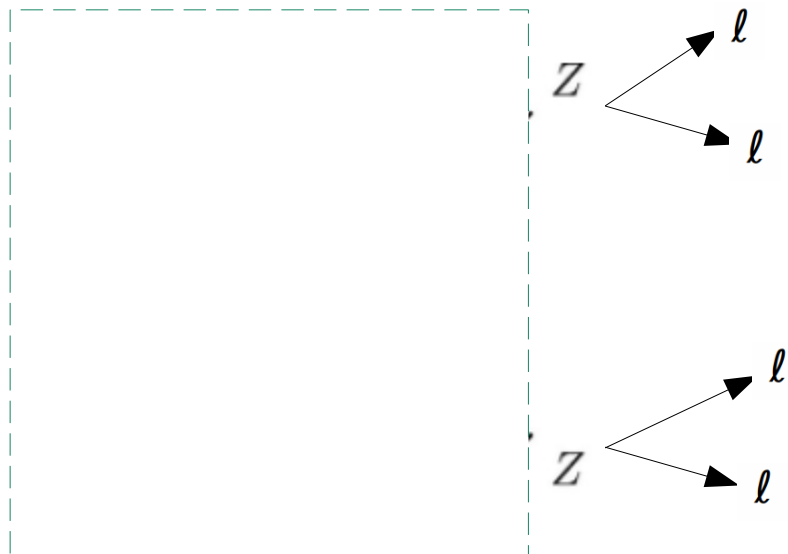
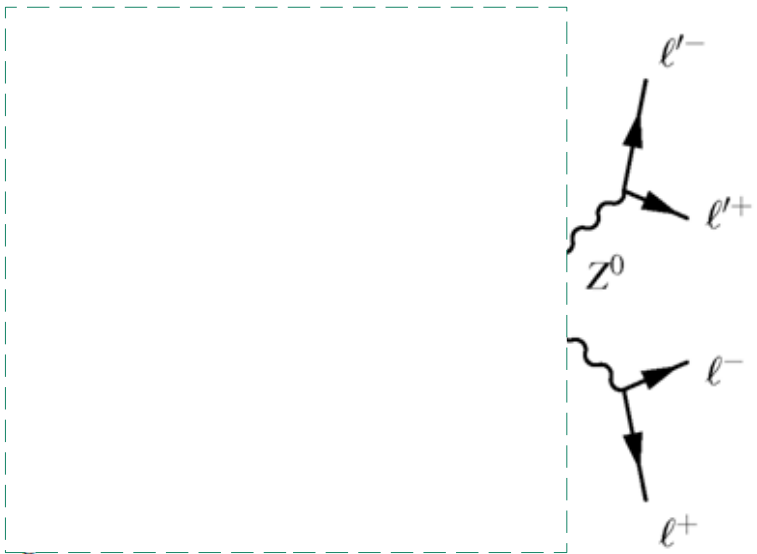
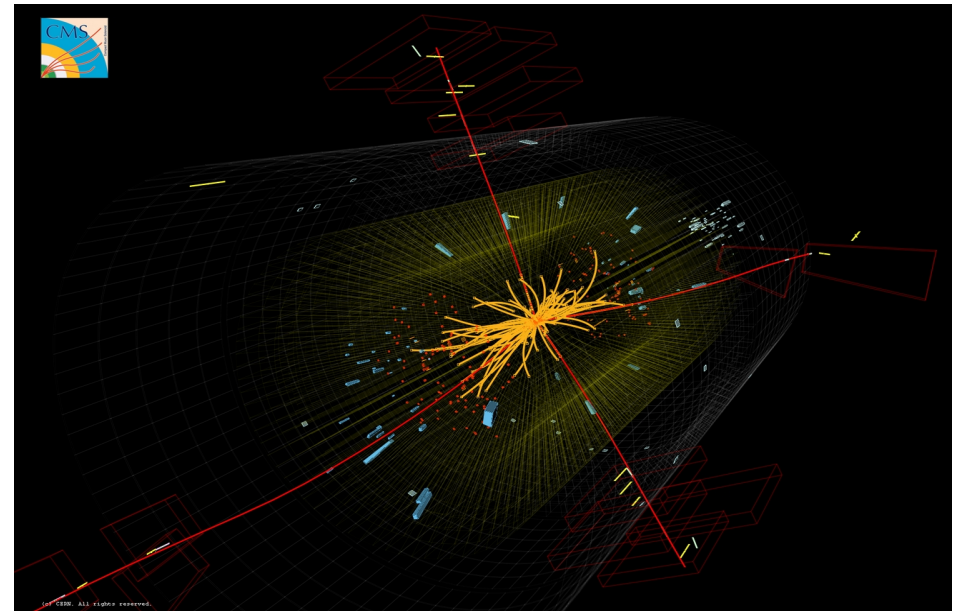
$$p_{Z0} = p_p + p_{\bar{p}}$$

منشاء دو ذره Z چیست؟!

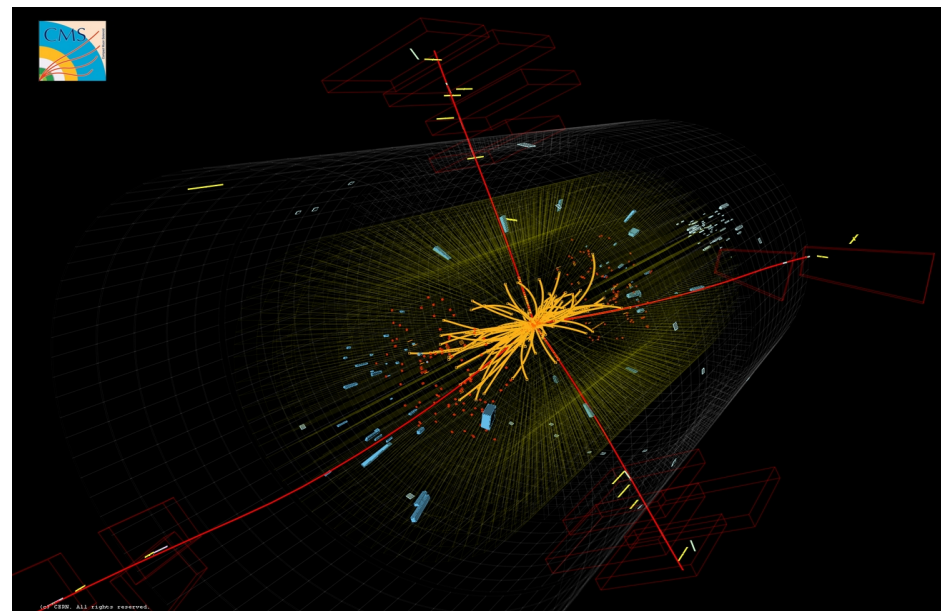
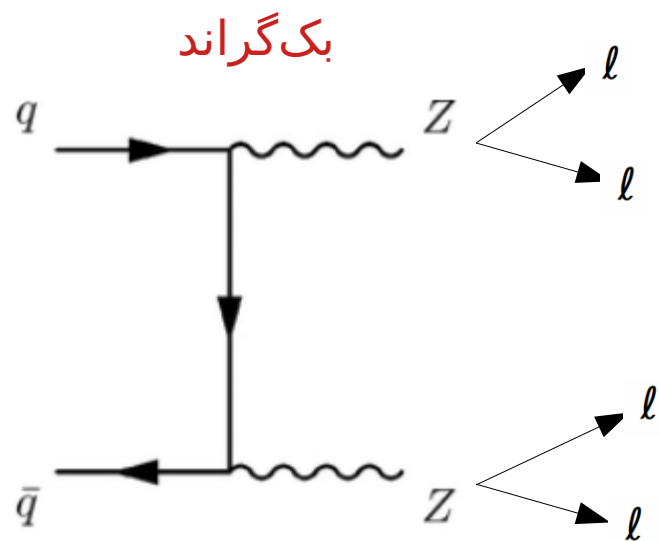
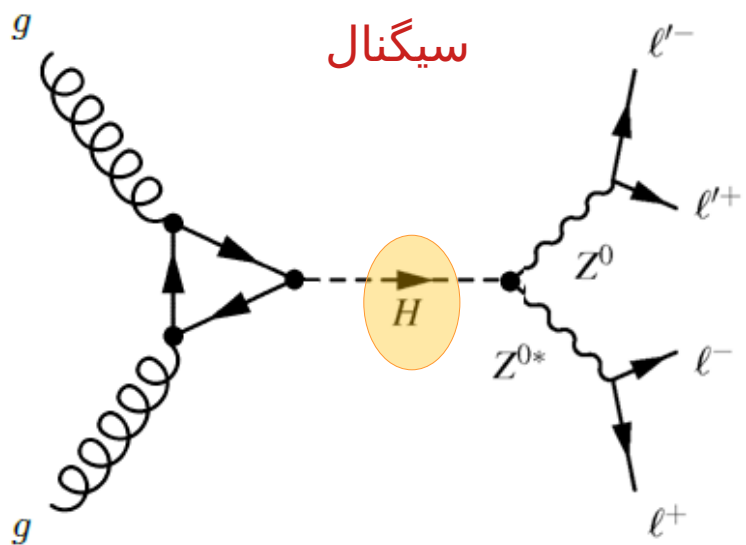
شاید هیگز را پیدا کرده ایم که به دو ذره Z واپاشی می کند!!

جرم ناوردای ذره مادر را میتوان
 در مثال ما، این جرم حدود ۹۰ گیگا
 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

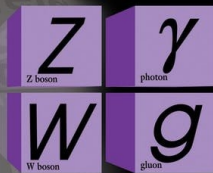


Quarks

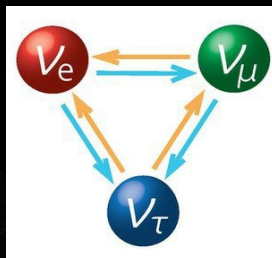


Leptons

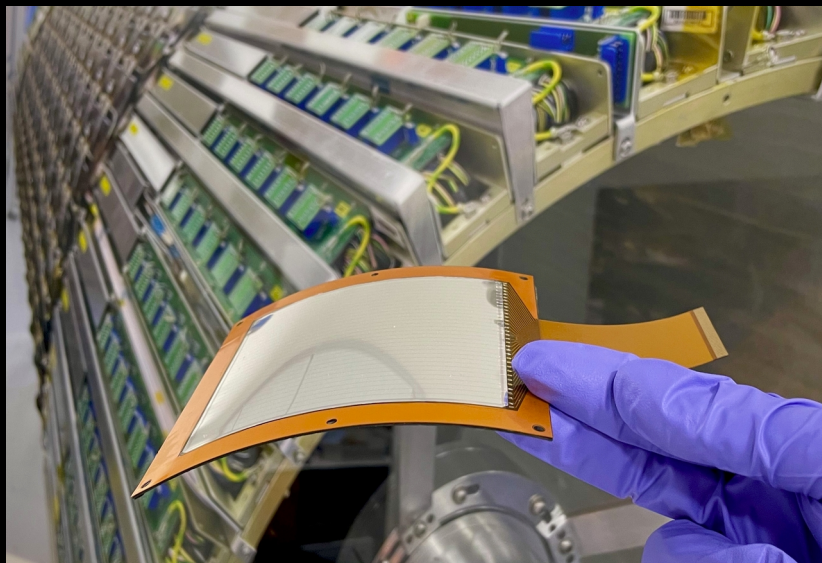
Forces



اندازه‌گیری دقیق



جستجو و کشف

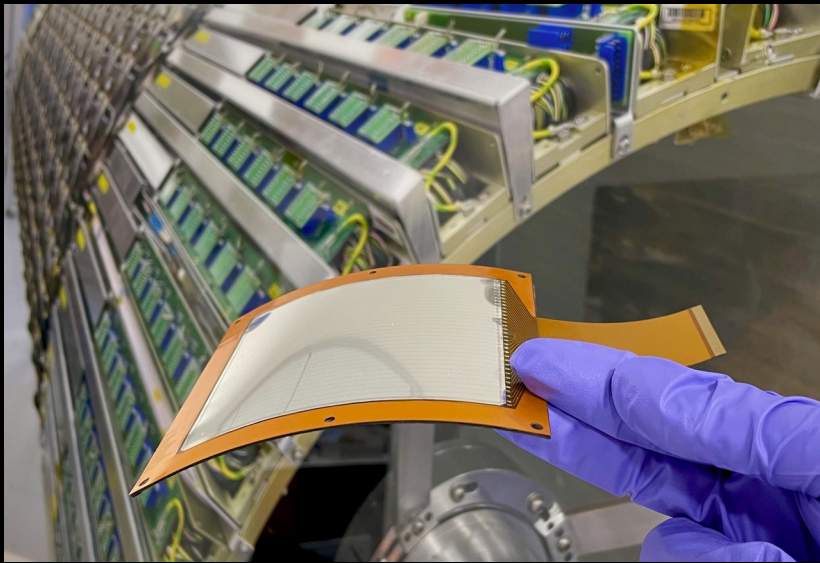


توسعه آشکارسازها

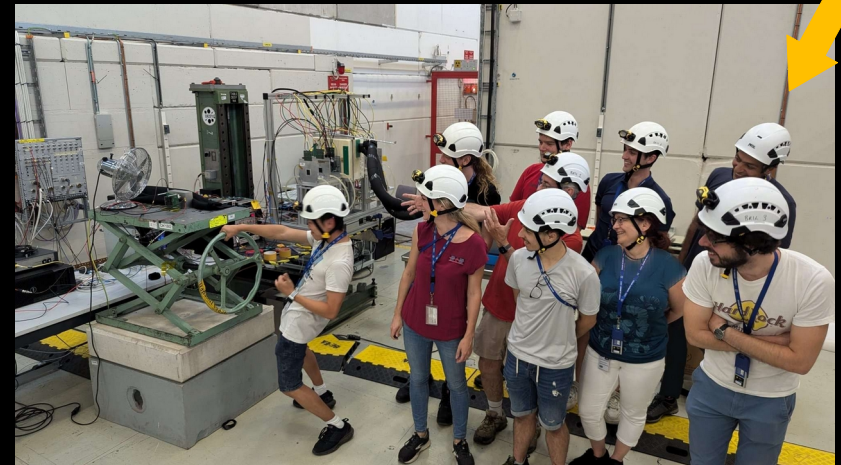
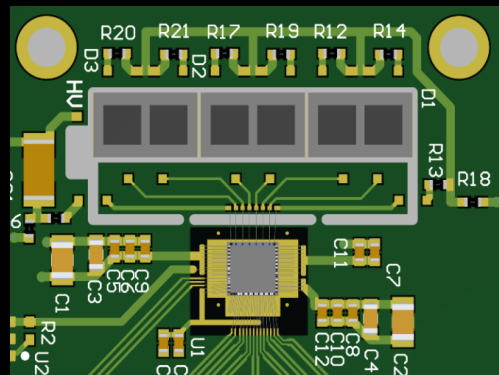


توسعه الگوریتمها





توسعه آشکارسازها

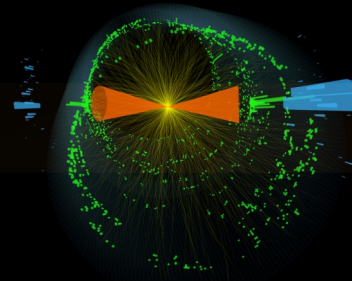
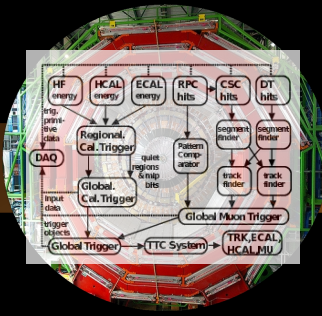


زنجیره تولید داده و آنالیز در یک نگاه

انتخاب برخط
جهت ذخیره سازی

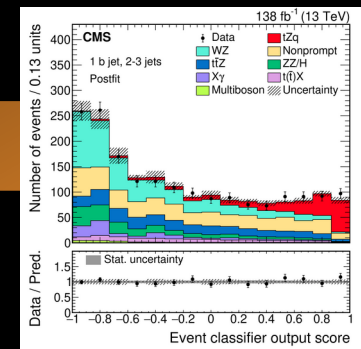


برخورد
پروتونها



شناسایی ذرات
در آشکارساز

جداسازی سیگنال
و بکگراند



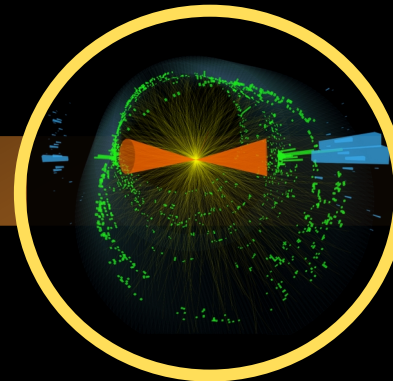
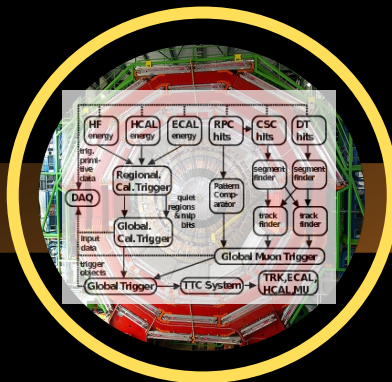
زنجیره تولید داده و آنالیز در یک نگاه

یادگیری ماشین و هوش مصنوعی

انتخاب برخط
جهت ذخیره سازی

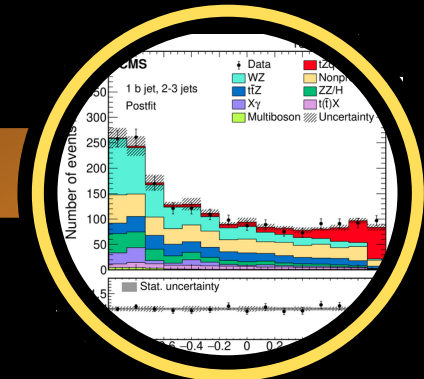


برخورد
پروتونها



شناسایی ذرات
در آشکارساز

جداسازی سیگنال
و بکگراند



زنجیره تولید داده و آنالیز در یک نگاه

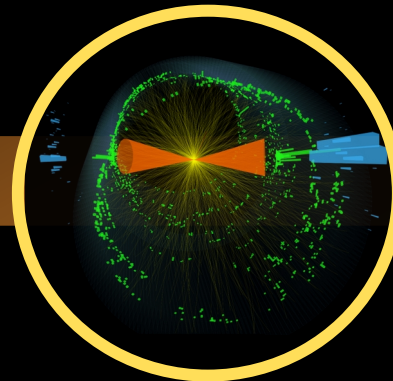
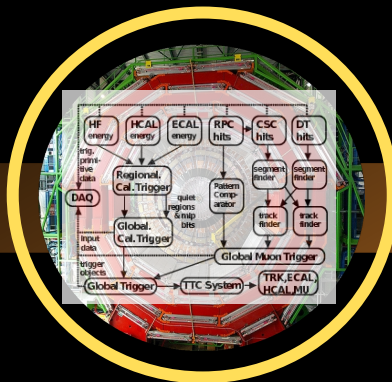
یادگیری ماشین و هوش مصنوعی

انتخاب برخط
جهت ذخیره سازی

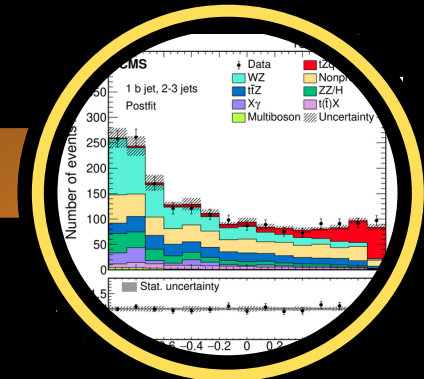
جداسازی سیگنال
و بکگراند



برخورد
پروتونها



شناسایی ذرات
در آشکارساز



محاسبات کوانتومی بعنوان ابزار آینده

دانشکده فیزیک



دکتر حامد بخشیان



دکتر عبیده جعفری

دانشکده برق و کامپیوتر



دکتر محمد صدقی



دکتر اصغر غلامی



عظیمه قاسمی



معصومه میری



فایزه کگونانی



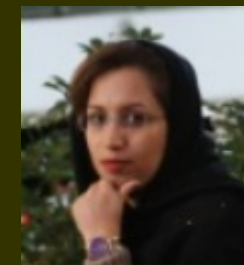
هوشیار جعفری



زهره بهاریون



وحید صدیقزاده



دکتر الهام خزاعی



پریچهر کنگازیان



مهدی حاج مقصود⁹³