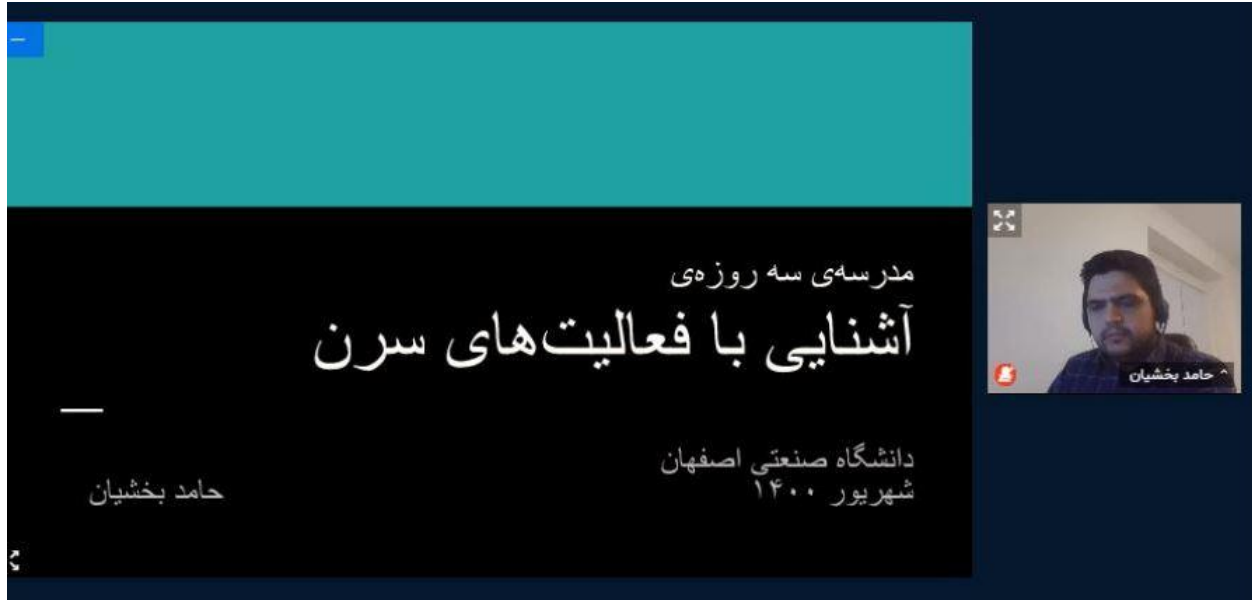


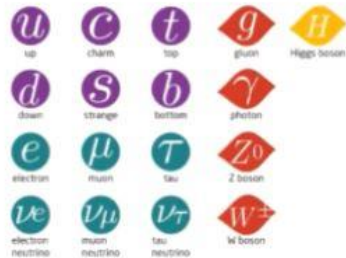
نخستین روز گردهمایی همکاری دانشگاه‌های ایران با سرن در تاریخ ۱۱ سپتامبر ۲۰۲۱، معادل ۲۰ شهریور ۱۴۰۰ در ساعت ۹ صبح به وقت ایران برگزار شد. که در ابتدا با سخنرانی دکتر حامد بخشیان مدت کوتاهی به خوش آمد گویی و مقدمه و مروری بر برنامه پرداخته شد.



در این بخش به کلیات برنامه و نحوه ارتباط و برنامه گردهمایی در روزهای آتی اشاره شد.

در ادامه با سخنرانی دکتر مهدی ترابیان پیرامون ذرات بنیادی و مدل استاندارد در دو بخش ادامه یافت. مباحث پیرامون درک خوب از فیزیک ذرات و به خصوص مدل استاندارد ذرات بنیادی و نظریه میدان کوانتومی که از ابزار اصلی برای پژوهش در ذرات بنیادی است انجام شد. مباحث تخصصی و پرسش و پاسخ ادامه داشت و سخنرانی و بحث پربراری را شاهد بودیم که منتخب تصاویری از این بخش در زیر آورده شده است:

# An Introduction to the Standard Model of Particle Physics



Mahdi Torabian  
*Sharif University of Technology*

2nd IUT CMS meeting, Shahrivar 1400



## Introduction/Outline

◆ An old question and long-standing activity:

What the Universe is made of at the most (or at a more) fundamental level?

Elementary particles and their interaction.

In this brief lecture, we present our knowledge based on many years of experimentation and theoretical speculation.

◆ Outline:

- ◆ Experimental findings
- ◆ Theoretical framework
- ◆ The Standard Model of particle physics
- ◆ Electroweak symmetry breaking and the Higgs mechanism



## Experimental Findings: *Fermions*

*Spin 1/2* matter particles, and their anti-particles, vast range of *masses*

$e$   
electron

$$m = 0.510998928 \pm 0.000000011 \text{ MeV}$$

$\mu$   
muon

$$m = 105.6583715 \pm 0.0000035 \text{ MeV}$$

$\tau$   
tau

$$m = 1776.82 \pm 0.16 \text{ MeV}$$

$\nu_\mu$   
muon  
neutrino

$\nu_e$   
electron  
neutrino

$\nu_\tau$   
tau  
neutrino

$$\Delta m_{21}^2 = (7.50 \pm 0.20) \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$

$$\Delta m_{32}^2 = (2.32^{+0.12}_{-0.08}) \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$

$u$   
up

$$m_u = 2.2^{+0.6}_{-0.4} \text{ MeV}$$

$d$   
down

$$m_d = 4.7^{+0.5}_{-0.4} \text{ MeV}$$

$s$   
strange

$$m_s = 96^{+8}_{-4} \text{ MeV}$$

$c$   
charm

$$m_c = 1.28 \pm 0.03 \text{ GeV}$$

$b$   
bottom

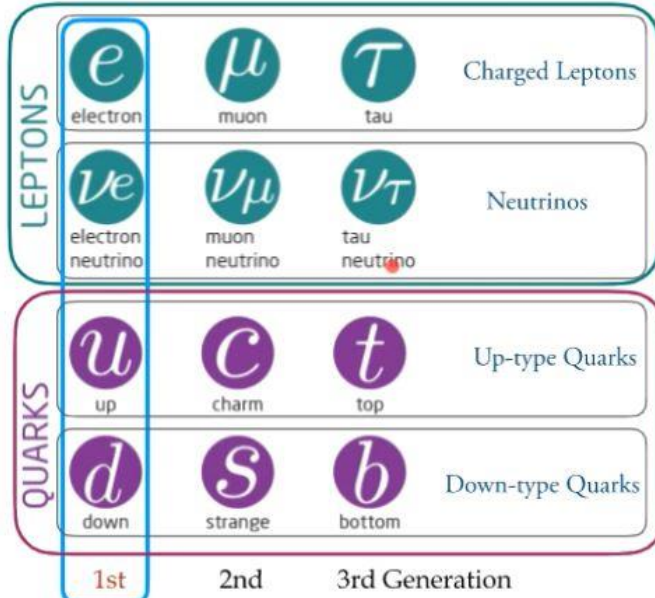
$$m_b = 4.18^{+0.04}_{-0.03} \text{ GeV}$$

$t$   
top

$$m = 173.1 \pm 0.6 \text{ GeV}$$

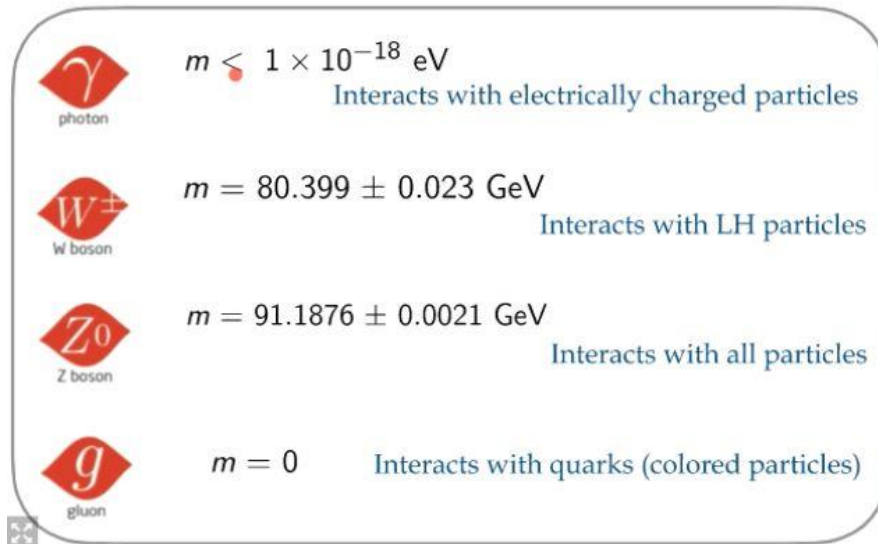


## Experimental Findings: *Fermions*



## Experimental Findings: *Gauge Bosons*

*Spin 1* gauge particles and vast range of *masses* (force carriers)



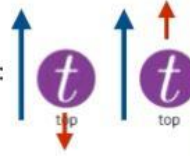
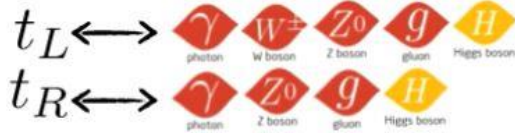
## Experimental Findings

- Measured particle properties:

$$t_{\text{top}} \quad m = 173.1 \pm 0.6 \text{ GeV}$$

$$J = 1/2$$

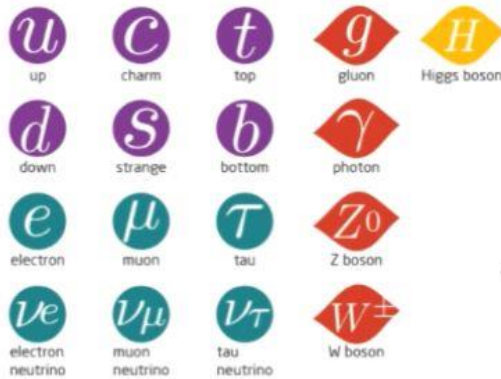
- Spin is a vector quantity (magn., direction). In VHE limit:



- A Dirac top quark is linear combination of both states.
- Neutrinos are left-handed
- Parameters to parametrize the strengths of interactions: quantum numbers  $1/3, \{R, B, G\}, y_i, \text{etc.}$
- There are also anti-particles.

## Experimental Findings

- Experimentally, we know that what the Universe is made of at *some* fundamental level:



+ anti-particles.

- Next question: If there is model to understand and describe elementary particles, their properties and interactions in mathematical terms?

- What is a particle?





## Theoretical Framework: *Quantum Mechanics*

- ◆ A theoretical practical framework for understanding physics at the microscopic scale: **Quantum Mechanics**. A probabilistic understanding of subatomic phenomena.
- ◆ A particle is a *state* in the Hilbert space.
- ◆ However, single particle quantum mechanics is not applicable to particle phenomena: the number/type of particles changes in interactions.



- ◆ Thus we need a more general framework that applies the quantum rules.



## Theoretical Framework: *Quantum Electrodynamics*

- ◆ Electron-Photon  $U(1)$  interaction  
Charged Dirac fermion interacting with massless photon.

$$\begin{aligned} \psi(x) &= \sum_s \int \frac{d^3\mathbf{p}}{(2\pi)^3} [a_{\mathbf{p}}^s(t) u_{\mathbf{p}}^s e^{i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}} + b_{\mathbf{p}}^{s\dagger}(t) v_{\mathbf{p}}^s e^{-i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}}] \\ \bar{\psi}(x) &= \sum_s \int \frac{d^3\mathbf{p}}{(2\pi)^3} [a_{\mathbf{p}}^{s\dagger}(t) \bar{u}_{\mathbf{p}}^s e^{-i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}} + b_{\mathbf{p}}^s(t) \bar{v}_{\mathbf{p}}^s e^{i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}}] \\ A_\mu(x) &= \sum_i \int \frac{d^3\mathbf{p}}{(2\pi)^3} [\epsilon_{\mu,\mathbf{p}}^i a_{\mathbf{p}}^i(t) e^{i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}} + \epsilon_{\mu,\mathbf{p}}^{i*} a_{\mathbf{p}}^{i\dagger}(t) e^{-i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{L} &= -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F_{\mu\nu} + i\gamma_\mu \bar{\psi} \partial_\mu \psi - e\gamma_\mu A_\mu \bar{\psi} \psi - m\bar{\psi} \psi \\ F_{\mu\nu} &= -\frac{1}{4} (\partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu) \end{aligned}$$

- ◆ Abelian  $U(1)$  gauge symmetry
 
$$\begin{aligned} A_\mu &\rightarrow A_\mu + \partial_\mu \alpha \\ \psi &\rightarrow \psi e^{i\alpha} \\ \bar{\psi} &\rightarrow \bar{\psi} e^{-i\alpha} \end{aligned}$$

- ◆ The unique way a charged particle interacts with massless vector particle.



## Theoretical Framework: Quantum Yang-Mills Theory

### ♦ Quark-Gluon $SU(3)$ interactions

Colored Dirac fermions interacting with massless gluon.

$$\begin{aligned}
 t^{r,g,b}(x) &= \sum_s \int \frac{d^3\mathbf{p}}{(2\pi)^3} [a_{s,\mathbf{p}}^{r,g,b}(t) u_{s,\mathbf{p}} e^{i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}} + b_{s,\mathbf{p}}^{r,g,b\dagger}(t) v_{s,\mathbf{p}} e^{-i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}}] \\
 \bar{t}^{r,g,b}(x) &= \sum_s \int \frac{d^3\mathbf{p}}{(2\pi)^3} [a_{s,\mathbf{p}}^{r,g,b\dagger}(t) \bar{u}_{s,\mathbf{p}} e^{-i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}} + b_{s,\mathbf{p}}^{r,g,b}(t) \bar{v}_{s,\mathbf{p}} e^{i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}}] \\
 g_\mu^a(x) &= \sum_i \int \frac{d^3\mathbf{p}}{(2\pi)^3} [\epsilon_{\mu,\mathbf{p}}^i a_{\mathbf{p}}^{a,i}(t) e^{i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}} + \epsilon_{\mu,\mathbf{p}}^{i*} a_{\mathbf{p}}^{a,i\dagger}(t) e^{-i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} &= -\frac{1}{4} G_{\mu\nu}^a G_{\mu\nu}^a + i\bar{\psi}^I \gamma_\mu \partial_\mu \psi^I - g_s (T^a)^{IJ} \bar{\psi}^I \gamma_\mu g_\mu^a \psi^J - m \bar{\psi}^I \psi^I \\
 G_{\mu\nu}^a &= \partial_\mu g_\nu^a - \partial_\nu g_\mu^a + g_s f^{abc} A_\mu^b A_\nu^c
 \end{aligned}$$

### ♦ Non-Abelian $SU(3)$ gauge symmetry

$$\begin{aligned}
 g_\mu^a &\rightarrow g_\mu^a - f^{abc} \alpha^b A_\mu^c \\
 \psi^I &\rightarrow e^{i\alpha^a (T^a)^{IJ}} \psi^J \\
 \bar{\psi}^I &\rightarrow e^{-i\alpha^a (T^a)^{IJ}} \bar{\psi}^J
 \end{aligned}$$



## Theoretical Framework: Quantum Field Theory

Higgs particle:   $J = 0$   
 $m = 125.18 \pm 0.16 \text{ GeV}$

Higgs field:  $h(x) = \int \frac{d^3\mathbf{p}}{(2\pi)^3} [a_{\mathbf{p}}(t) e^{i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}} + a_{\mathbf{p}}(t)^\dagger e^{-i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}}]$

$a_{\mathbf{p}}^\dagger$  Creates a Higgs particle, with momentum  $\mathbf{p}$  and energy  $E_{\mathbf{p}}^2 = |\mathbf{p}|^2 + m^2$

$(\partial_t^2 + E_{\mathbf{p}}^2) a_{\mathbf{p}}(t) = 0$  Equation of motion of a harmonic oscillator

- ♦ A Higgs particle is a *state* in the Hilbert space.  $|\mathbf{p}\rangle$
- ♦ The Higgs particles is infinite-dimensional irreducible representations of the Lorentz group.  $(0, 0)$



## Theoretical Framework: Higgs Mechanism

- Complex Scalar-Photon  $U(1)$  interaction

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F_{\mu\nu} + |\partial_\mu\phi|^2 - ieA_\mu(\phi^*\partial_\mu\phi - \phi\partial_\mu\phi^*) + e^2A_\mu^2|\phi|^2 - V(\phi)$$

- Abelian  $U(1)$  gauge symmetry  $A_\mu \rightarrow A_\mu + \partial_\mu\alpha$      $\phi \rightarrow \phi e^{i\alpha}$      $\bar{\phi} \rightarrow \bar{\phi} e^{-i\alpha}$
- Scalar potential  $V(\phi) = -m^2|\phi|^2 + \lambda|\phi|^4$



- Spontaneous symmetry breaking  $\langle\phi\rangle = v$
- Photons receives a mass in the vacuum  $m_A = ev$



## The Standard Model

- The most general renormalizable invariant Lagrangian

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4}B_{\mu\nu}B^{\mu\nu} - \frac{1}{4}W_{\mu\nu}^iW_i^{\mu\nu} - \frac{1}{4}G_{\mu\nu}^aG_a^{\mu\nu} \\ & + \bar{L}\gamma_\mu(i\partial_\mu + gW + Y_Lg'B)L + \bar{e}_R\gamma_\mu(i\partial_\mu + Y_e g'B)e_R \\ & + \bar{Q}\gamma_\mu(i\partial_\mu + gW + Y_Qg'B + g_s g)Q + \bar{u}_R\gamma_\mu(i\partial_\mu + Y_u g'B + g_s g)u_R + \bar{d}_R\gamma_\mu(i\partial_\mu + Y_d g'B + g_s g)d_R \\ & + y_u Q\bar{u}H + y_d Q\bar{d}\tilde{H} + y_e L\bar{e}\tilde{H} \quad + 2 \text{ families} \\ & + (\partial_\mu H - igWH - iY_H g'BH)^\dagger(\partial_\mu H - igWH - iY_H g'BH) - V(H) \end{aligned}$$

- The Higgs potential  $V(H) = -m^2 H^\dagger H + \lambda(H^\dagger H)^2$
- Besides, there are 19 free parameters. Only 1 mass parameter.
- The *strong* interaction sector is an easy piece.
- The *electroweak* sector is non-trivial, as it is accompanied with a Higgs mechanism.





در ادامه‌ی روز نخست، نوبت به دکتر حامد بخشیان و سخنرانی ایشان با موضوعیت برخورد دهنده‌های ذرات رسید. در این بخش در ابتدا به یگاها در فیزیک ذرات بنیادی اشاره شد که می‌توان به این مورد اشاره کرد که تعریف ابعاد زمان و فاصله به گونه‌ای است که سرعت نور برابر با ۱ باشد. بنابراین با توجه به رابطه نسبیت  $E = mc^2$  جرم به سادگی قابل تبدیل به انرژی است. (توجه کنید که  $c$  را برابر در نظر گرفتیم).

در ادامه به این موضوع پرداخته شد که چرا باید ذرات را شتاب دهیم و به کاربردهای بسیاری که در دنیای کنونی دارند اشاره شد. مواردی مانند: از بین بردن سرطان، تولید ایزوتوپ‌های جدید برای داروهای جدید، استریلیزه کردن و از بین بردن باکتری‌ها و همچنین موارد تشخیصی مانند تشخیص بیماری (راديو گرافي) و تشخیص اشیاء در گمرک اشاره شد.



### چرا باید ذرات را شتاب دهیم

- ذرات پرانرژی کاربردهای بسیاری در دنیای کنونی دارند
  - پزشکی: از بین بردن تومور ها سرطان
  - پزشکی: تولید ایزوتوپ های جدید برای داروهای جدید
  - سطح و لایه نشانی: قرار دادن ذرات جدید در ماده و تغییر خواص آن
  - استریلیزه کردن و از بین بردن باکتریها
  - تشخیص: فرستادن ذرات پرانرژی به یک شیء ناشناس و مطالعهی خواص آن با تحلیل برهم کنش آن ذره
    - رادیوگرافی (پزشکی)
    - گمرک
  - مطالعهی برهم کنش مواد پیچیده با ذرات مختلف برای شناسایی آن‌ها (شیمی، بیولوژی، پزشکی، فیزیک)
  - شناختن اجزاء تشکیل دهندهی عالم و برهم کنش بین آن‌ها: تولید ذرات جدید

در ادامه بحث به گونه‌ای ادامه یافت که به تنوع شتابدهنده‌ها اشاره شد و این موضوع که در فیزیک ذرات، ذرات شتاب داده شده باید به طور کنترل شده‌ای برخورد کنند و اینکه در محل برخورد باید آشکارسازی قرار دهیم تا از محصولات برخورد تصویری تهیه کنند.

## تنوع شتابدهنده ها

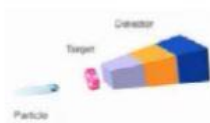
World wide inventory of accelerators, in total 15,000. The data have been collected by W. Scarf and W. Wieszczycka (See U. Amaldi Europhysics News, June 31, 2000)

Category	Number
Ion implanters and surface modifications	7,000
Accelerators in industry	1,500
Accelerators in non-nuclear research	● 1,000
Radiotherapy	5,000
Medical isotopes production	200
Hadron therapy	20
Synchrotron radiation sources	70
Nuclear and particle physics research	110



## شتابدهنده / برخورد دهنده

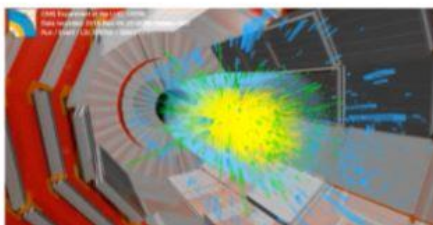
در فیزیک ذرات، ذرات شتاب داده شده باید به طور کنترل شده ای برخورد کنند:



- برخورد دهنده ی های با هدف ثابت (fixed target)

- برخورد دهنده های ذرات

- دو ذره در دو جهت مختلف شتاب داده میشوند و در یک نقطه با هم برخورد میکنند



در اطراف محل برخورد، باید آشکارسازی قرار دهیم

تا از محصولات برخورد تصویری تهیه کند



در ادامه به اولین برخورد دهنده، تاریخچه و همچنین مرور تکنیک های شتابدهی اشاره شد و انواع روش های شتابدهی مورد بحث قرار گرفت که در مجموعه تصاویر زیر مشاهده می کنید:

## اولین برخورد دهنده

	John Douglas Cockcroft	 United Kingdom
	Ernest Thomas Sinton Walton	 Ireland

- کاکرافت و والتون: برخورد دادن پروتون به اتم لیتیوم در دهه‌ی ۱۹۳۰
- جایزه‌ی نوبل سال ۱۹۵۱ به خاطر کشف «تقسیم هسته‌ای»



- گسترش در دهه‌ی ۱۹۶۰ برای شناخت هسته‌ی اتم
- پس از آن برای شناخت ذرات بنیادی



## تاریخچه (و مرور تکنیک های شتابدهی)

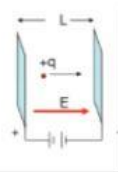
1. ۱۸۹۵: کشف اشعه ایکس
2. ۱۸۹۷: کشف الکترون
3. ۱۹۰۵: نسبیت خاص انیشتین
4. ۱۹۱۱: کشف هسته‌ی اتم
5. ۱۹۲۴: تئوری شتابدهی ذرات به وسیله‌ی ضربات حاصل از  $\Delta V$
6. ۱۹۲۷: اولین شتابگر خطی
7. ۱۹۲۸: پیش بینی وجود ضد ماده (دیراک)
8. ۱۹۳۱: ساخت اولین ژنراتور ولتاژ بالا (ون دگراف)
9. ۱۹۳۲: آزمایش کاکرافت و والتون
10. ۱۹۳۲: شتاب دادن پروتون تا انرژی ۱.۲ MeV
11. ۱۹۳۲: کشف پوزیترون و نوترون
12. ۱۹۴۳: اختراع مفهوم سنکروترون (شتابدهنده‌ی حلقوی)
13. ۱۹۴۷: ساخت اولین شتابدهنده‌ی خطی پروتون
14. ۱۹۴۷: اولین شتابدهنده‌ی خطی الکترون
15. ۱۹۵۰ تا ۱۹۵۲: درک نحوه‌ی متمرکز کردن پرتوها
16. ۱۹۶۰: اولین برخورد دهنده‌ی الکترون-پوزیترون
17. ۱۹۷۲: اولین برخورد دهنده‌ی پروتون (سرن)
18. ۱۹۸۲: اولین برخورد دهنده‌ی پروتون/انٹی پروتون (سرن)



- These accelerators use a static, DC, potential difference between two conductors to impart a kinetic energy

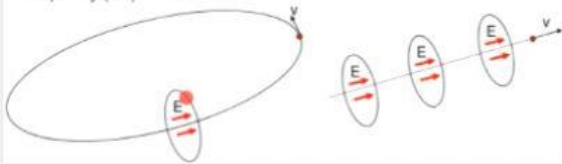
$$\Delta W = qV_0$$

- Earliest particle accelerators were the Cockcroft-Walton generator and the Van de Graaff generator
- Highest voltage achieved is 24 MV
- It is difficult to establish and maintain a static DC field of 20+ MV



## انواع روشهای شتابدهی

Two approaches for accelerating with time-varying fields  
Make an electric field along the direction of particle motion with Radio-Frequency (RF) Cavities



In synchrotrons, the particles are accelerated along a closed, circular orbit and the magnetic field which bends the particles increases with time so that a **constant orbit is maintained during acceleration.**

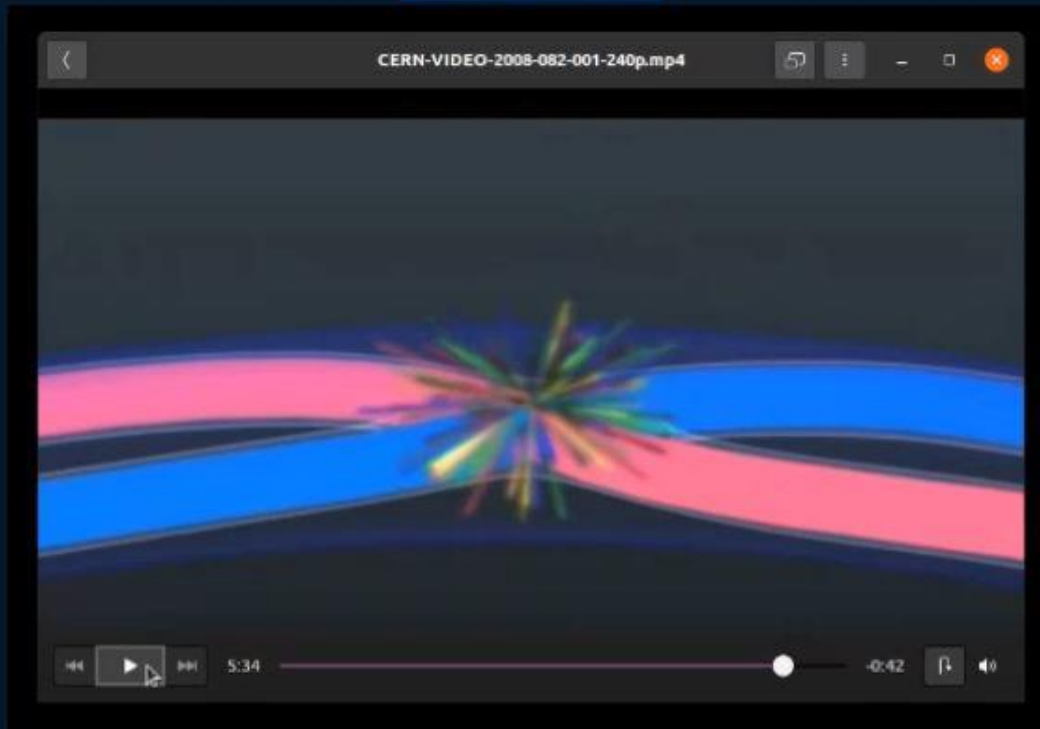


سپس به برخورد دهنده‌ی بزرگ هادرونی (LHC) اشاره شد که به محیط ۲۷ کیلومتر در ۱۰۰ متر زیر زمین با خلا بسیار بالا در حدود  $10^{-9}$  پاسکال که با میدان مغناطیسی ۸/۵ تسلا ذرات (پروتون) را با فرکانس ۱۱ هزار بار در ثانیه به هم برخورد می دهد تا حاصل این برخورد در نهایت توسط دتکور (که CMS یکی از آنها است) مشاهده گردد. اینها در مجموعه تصاویر زیر آورده شده است:



## برخورد دهنده ی بزرگ هادرونی (LHC)

- محیط ۲۷ کیلومتر
- ۱۰۰ متر زیر زمین
- خلا بسیار بالا (۱۰ به توان منفی ۹ پاسکال)
- دمای کارکرد ابرسازا: ۱.۹ کلوین
- انرژی پرتوهای ورودی: ۴۵۰ گیگا الکترون ولت
- فرکانس ذرات: ۱۱ هزار بار در ثانیه
- میدان مغناطیسی: ۸.۵ تسلا



## انرژی ذرات داخل LHC

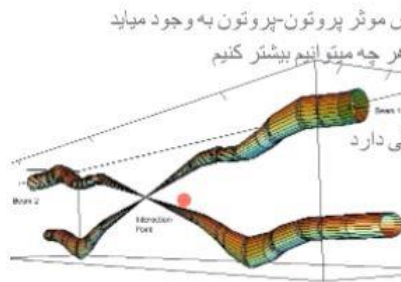


لینک به مگن: اینجا

- هر پروتو میتواند در حدود ۳۰۰۰ بسته در خود جا دهد
- هر بسته پروتون شامل ۱۰۰ میلیارد پروتون می باشد
  - در مجموع  $10^{14}$  پروتون.
  - پداوری: به تعداد عدد اورگاندرو پروتون معادل یک گرم ماده است !!!
- انرژی هر کدام از پروتون ها ۷ ترا الکترون ولت است
- انرژی کل یک پروتو حدود ۳۶۲ مگاژول است !!!
  - معادل ۱۵۰ کیلوگرم تی.ان.تی.
  - انرژی لازم برای ذوب کردن یک تن مس
- کل توان مصرف شده : ۱۲۰ مگاوات



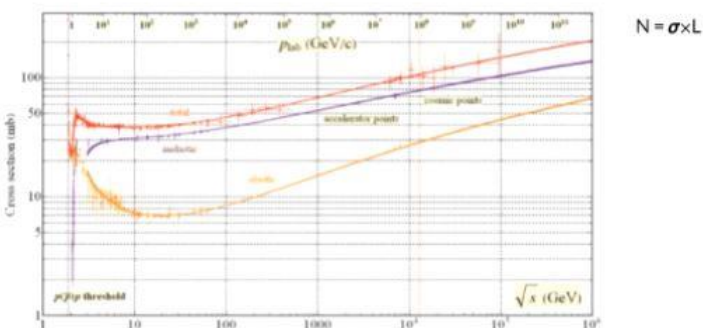
## درخشندگی و تعداد برخوردهای موثر



- هر بار که بسته های پروتون از روی هم رد میشوند، تعدادی بر هم کنش موثر پروتون-پروتون به وجود میاید
- چون ما به دنبال پدیده های نادر (مثل هیگز) هستیم، باید این تعداد را هر چه میتوانیم بیشتر کنیم
  - به تعداد متوسط برخورد pp در هر bunch crossing پابل گفته میشود
  - مقدار آن در LHC در سایتهای مختلف بین ۲۰ تا ۶۰ متغیر بوده است
- این پارامتر به ویژگی های پروتو ها، من جمله به میزان تمرکز آن بستگی دارد
  - هر چه LHC بتواند پروتو ها را متمرکز تر کند، این تعداد بیشتر میشود
- کمیتی که نشان دهنده ی حجم داده ی تولید شده (در واحد زمان است) «درخشندگی» آشکار ساز است
  - بعد درخشندگی یک بر روی سطح است ( $\text{barn}^{-1}$ )
  - ال.ا.ج.سی تا کنون بیش از  $10^{17}$  ( $\text{barn}^{-1}$ ) داده تولید کرده است



## سطح مقطع: در مجموع چند پروتون تا کنون برخورد کرده اند؟؟



در اینجا بخش اول روز نخست به پایان رسیده و بخش دوم روز نخست با سخنرانی دکتر عبدالله محمدی پیرامون آشکارسازی CMS ادامه یافت:

در این بخش سوالات متعددی مطرح شد و پرسشی که کمی بیشتر جلب توجه کرد این بود که چرا از پروتون‌ها برای برخورد با یکدیگر استفاده می‌کنیم و اساسا چه ویژگی دارند که باعث استفاده آنها برای برخورد و تولید ریزذرات و محصولات برخورد می‌شوند؟ که جواب این سوال به این صورت است که پروتون یک سری ویژگی‌های خاصی دارد که الکترون ندارد و آن است که پروتون یک ذره بنیادی نیست و ذره‌ای است که از یک سری ذرات بنیادی تر مثل کوارک‌ها تشکیل شده است و همچنین جرم پروتون هم از الکترون حدود ۲۰۰۰ برابر بیشتر است. همچنین وقتی ذرات درون یک شتابدهنده قرار می‌گیرند بهتر است که تابش کمتری داشته باشند و از آنجایی که جرم با تابش رابطه عکس دارد، از پروتون استفاده می‌کنیم. همه این‌ها به اضافه این دلیل که دسترسی به پروتون بسیار ساده است، به این صورت که طی چند مرحله از گاز هیدروژن الکترون‌ها را جدا کرده و در نهایت پروتون خواهیم داشت.

در این بخش مباحث تخصصی تر و جامع تری ارائه شد که مجموعه تصاویری از آن را در زیر مشاهده می‌کنید:

# Compact Muon Solenoid (CMS)



**Abdollah Mohammadi**

University of Wisconsin-Madison  
September 11<sup>th</sup> 2021

2<sup>nd</sup> Iran-CERN Workshop



Abdollah Mohammadi

## CMS v.s. ATLAS



	ATLAS	CMS
length	≈ 46 m	≈ 22 m
diameter	≈ 25 m	≈ 15 m
weight	≈ 7000 t	≈ 12000 t

Abdollah Mohammadi



Abdollah Mohammadi



## Compact Muon Solenoid (CMS)



V.S.



An onion-like 3D camera



Abdollah Mohammadi

## Camera operation



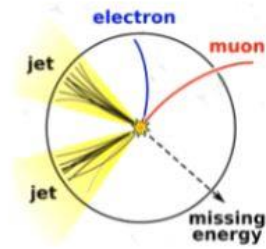
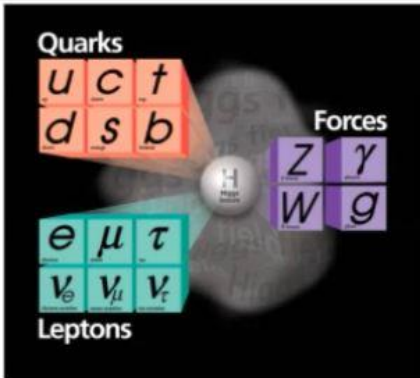
Main goal of the sensors:  
to convert incoming light (photons) into an electrical  
signal that can be viewed, analyzed, or stored.



Abdollah Mohammadi



## Particle detectability in detector



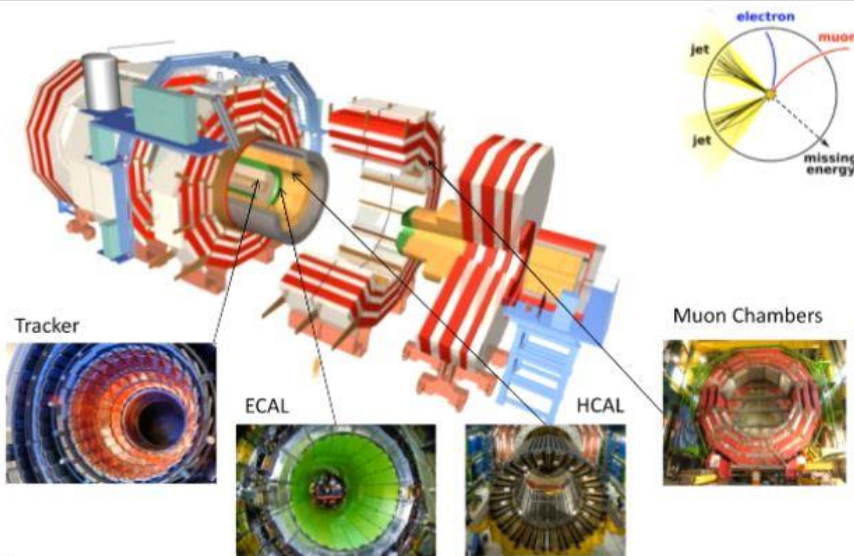
Particle categorization based on detectability:

- Interact with detector materials:  $e$ ,  $\mu$ ,  $\gamma$ ,  $q$  ...
- Escape from detector:  $\nu$
- Decay to either types of particles:  $\tau$ ,  $Z$ ,  $H$ , ...

Abdollah Mohammadi

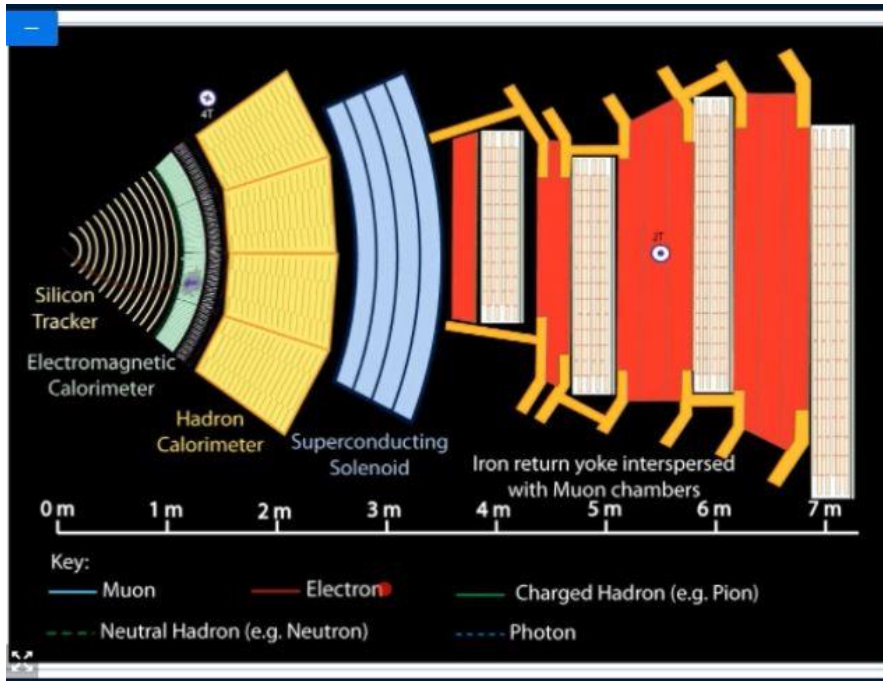


## Compact Muon Solenoid (CMS)

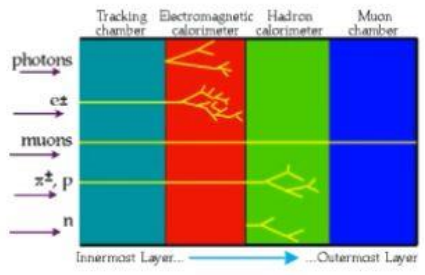


Abdollah Mohammadi





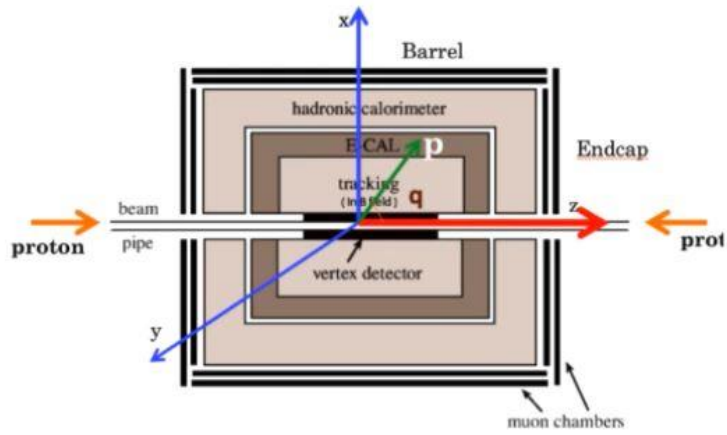
## Summary of particles identification



	Tracking	ECAL	HCAL	Muon Cham.
<b>Leptons</b>				
e±	x	E	x	x
μ±	x	β	√	β
τ±	√x	√	e± h±; 3h±	μ±
νe, νμ, ντ	x	x	x	x
<b>Quarks</b>				
u, d, s	x	√	√	x
c → D	√	√	e± h's	μ±
b → B	√	√	e± h's	μ±
t → BW±	b	√	e± b + 2 jets	μ±
<b>Gauge bosons</b>				
γ	x	x	E	x
g	x	√	√	x
W± → ℓ±ν	x	β	e±	μ±
→ qq'	x	√	√	2 jets
Z0 → ℓ+ℓ-	x	β	e±	μ±
→ qq	(bb)	√	√	2 jets



## Two important variables



$$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2} = |\vec{p}| \sin \theta, \quad \eta = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{E + p_z}{E - p_z} \right) \approx -\ln(\tan(\theta/2))$$

Abdollah Mohammadi



Abdollah Mohammadi ^

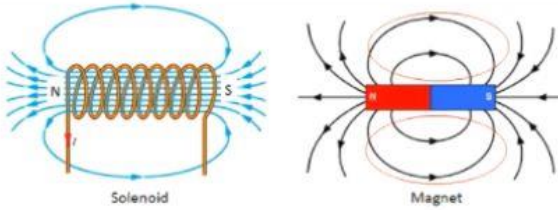
## Solenoid



Abdollah Mohammadi ^



## Magnet



$$B = \mu_0 n I$$

- CMS solenoid is 13m long and 6m in diameter.
- Superconducting niobium-titanium coils
- Carry 20 kA current
- 3.8 T magnetic field that is 100,000 times stronger than the Earth's
- Stored energy of 2.66 GJ, equivalent to about half-a-tonne of TNT



Abdollah Mohammadi



## Tracker



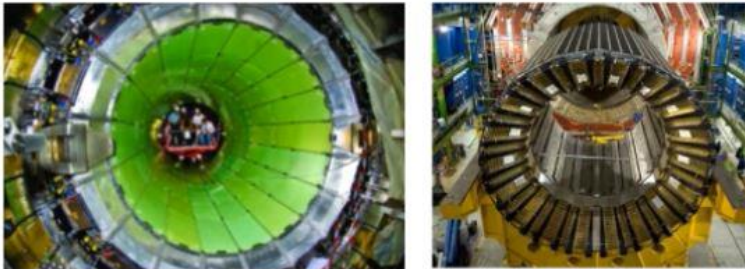
## Technical Info on CMS tracker

- World's largest silicon detector
  - ~ 200 m<sup>2</sup> equipped with 9.3 million microstrip sensors
- Made of silicon
  - In form of Pixel (inner most) and strip (outer most)
- Radiation tolerant
  - Being the inner most layer of detector, it received the highest volume of particles and radiations
- 14 layers in the barrel region and 15 layers in the endcaps
- 124 million pixel at the size of 100 μm × 150 μm
- 9.6 million strip channel at the size of 10 cm × 180 μm silicon strips
- Particles barely deposit any energy in the tracker



Abdollah Mohammadi

## Calorimeters

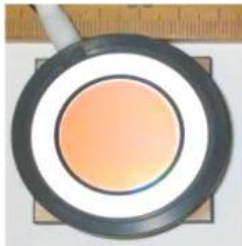


Abdollah Mohammadi

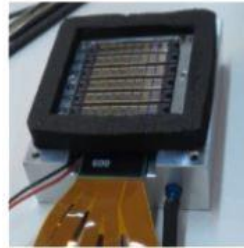


## Phase I upgrade

- Upgrade of various components of the CMS detector has planned in several phases
- Phase I is almost accomplished and Phase II activities are ongoing
- The main goal of phase 1 HCAL upgrade of front-end electronics was the replacement of the **HybridPhotoDiode** with **SiliconPhotoMultiplier**
- SiPMs operate at much lower voltage, they have higher gain, lower noise, and offer a better signal to noise ratio



HPD Array (18 channel)

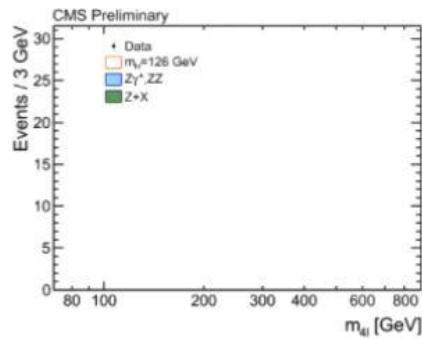
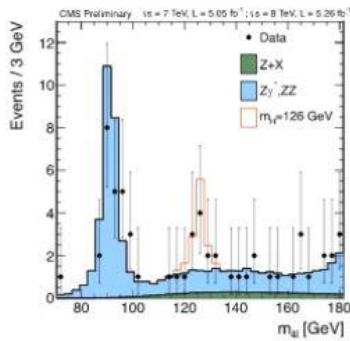


SiPM Array (48 channel)

Abdollah Mohammadi



## The first two discovery channels ( $H \rightarrow ZZ$ )



Abdollah Mohammadi



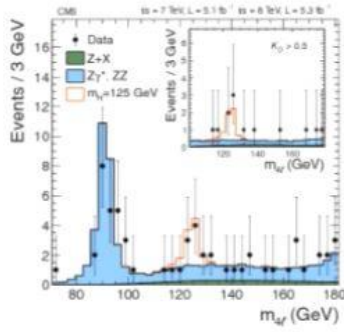
در پایان روز اول دکتر بخشیان مقدمه‌ای بر پروژه و صورت مسئله تمرین بیان کردند.



The slide features the logo of Shahrood University of Technology on the left. The main title is "تمرین: کشف هیگز" (Exercise: Higgs Discovery) with the subtitle "مدرسه ی آشنایی با فعالیت های سرن" (Introduction to the activities of the LHC). The presenter's name "حامد بخشیان" (Hamid Bakhshian) is at the bottom left. The affiliation "دانشگاه صنعتی اصفهان" (Shahrood University of Technology) and date "شهریور ۱۴۰۰" (Shahrivar 1400) are at the bottom right. A video feed of the presenter is in the top right corner.



The slide title is "کشف هیگز توسط آزمایش CMS در سال ۲۰۱۲" (Higgs Discovery by CMS Experiment in 2012). The text describes the discovery: "در سال ۲۰۱۲ هر دو آزمایش CMS و ATLAS یک ذره ی جدید را مشاهده کردند که هم به چهار لپتون و هم به دو فوتون واپاشی میکند" (In 2012, both CMS and ATLAS experiments discovered a new particle that decays into four leptons and two photons). It includes the citation: "نتایج آزمایش CMS در این مقاله منتشر شد: [Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC \[1207.7235\]](#)". A concluding sentence says: "در تمرین این دوره می‌خواهم کسی در مورد این مقاله صحبت کنیم، یکی از نمودار های آن را باز تولید کنیم و نحوه ی نتیجه گیری از آن را مرور کنیم" (In this course exercise, I want someone to talk about this article, we will reproduce one of its diagrams and review the way of conclusion from it). A video feed of the presenter is in the top right corner.



## صورت مسئله ی تمرین: واپاشی چهار لپتونی

رزولوشن اگر نزه ی میانی به بیش از دو نزه هم واپاشی کند دیده میشود

نمودار روبرو: جرم ناوردای چهار لپتون های تولید شده در سال ۲۰۱۱/۲۰۱۲

