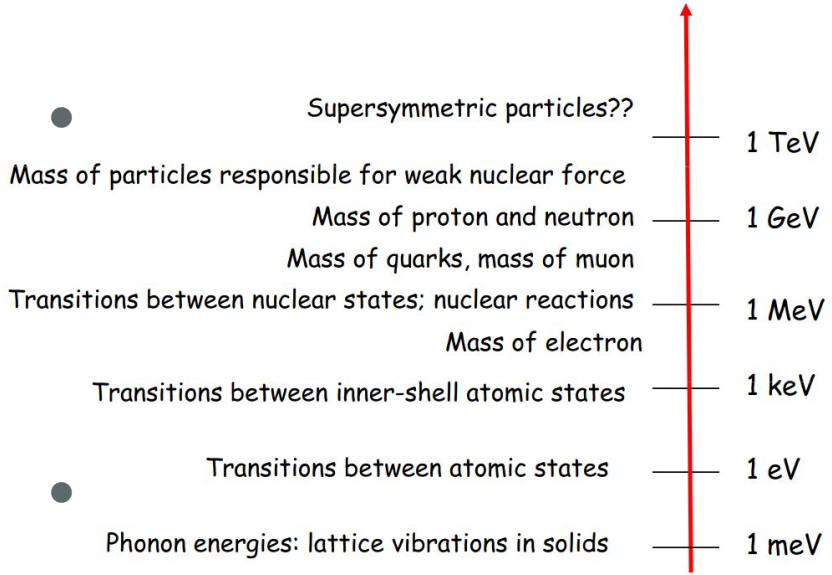
برخورد دهنده‌های ذرات

حامد بخشیان

مدرسه‌ی سه روزه‌ی آشنائی با سرن
شهریور ۱۴۰۰

یکاها در فیزیک ذرات بنیادی

- ابعاد زمان و فاصله را به طوری تعریف میکنیم که سرعت نور برابر با ۱ باشد
- انرژی و جرم
  - الکترون-ولت: افزایش انرژی الکترون در اختلاف پتانسیل یک ولت
  - معادل ۱.۶ در ده به توان -۱۹ ژول
  - جرم هم بنا بر رابطه ی $E=mc^2$ به سادگی قابل تبدیل به انرژی است (دقت کنید که $c=1$ است)
    - جرم الکترون: ۰.۵ مگا الکترون-ولت (MeV)
    - جرم پروتون: ۱ گیگا الترون-ولت (GeV)
- سطح مقطع
  - بارن (barn): معادل ۱۰ به توان -۲۸ متر مربع
  - این یکا برای اندازه گیری سطح مقطع برخوردها کاربرد دارد



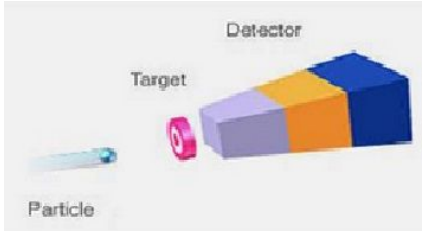
چرا باید ذرات را شتاب بدهیم

- 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
  - مطالعه ی 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**

تنوع شتابدهنده ها

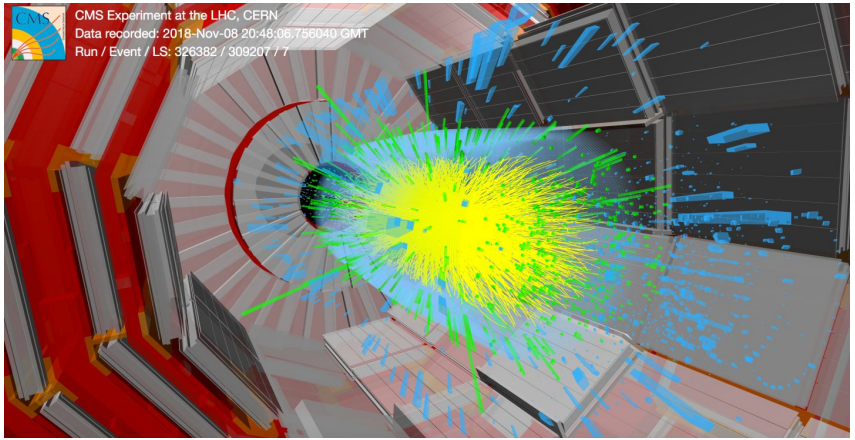
World wide inventory of accelerators, in total 15,000. The data have been collected by W. Scarf and W. Wiesczycka (See U. Amaldi Europhysics News, June 31, 2000)	
Category	Number
Ion implanters and surface modifications	7,000
Accelerators in industry	1,500
Accelerators in non-nuclear research	1,000
Radiotherapy	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

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
  - جایزه ی نوبل سال ۱۹۵۱ به خاطر کشف «تقسیم هسته ای»

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + \mathrm{p} \rightarrow 2\,^{4}_{2}\mathrm{He} + 17.2\ \mathrm{MeV}$$

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

ذرات بنیادی: تبدیل انرژی به ماده

- نسبیت خاص و رابطه ی مشهور E=mc2: ابتدای قرن ۲۰
  - می‌توانیم انرژی را به ذراتی که به صورت طبیعی وجود ندارند تبدیل کنیم و خواص آن‌ها را مطالعه نمائیم
- می‌توانیم از برخورد ذرات سبک ذرات سنگین تولید کنیم. مثلا

$$e^- + e^+ \rightarrow B^+ B^-$$

	Rest Mass Energy [MeV]	Kinetic Energy [MeV]
e^+, e^-	0.511	5290
B^+, B^-	5279	11.5

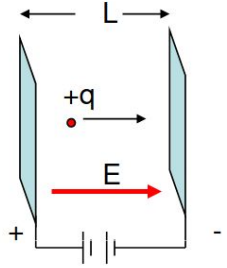
تاریخچه (و مرور تکنیک های شتابدهی)

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 DeltaV
6. ۱۹۲۷: اولین شتابگر خطی
7. ۱۹۲۸: پیش بینی وجود ضدماده (دیراک)
8. ۱۹۳۱: ساخت اولین ژنراتور ولتاژبالا (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 (شتابدهنده ی حلقوی)
13. ۱۹۴۷: ساخت اولین شتابدهنده ی خطی پروتون
14. ۱۹۴۷: اولین شتابدهنده ی خطی الکترون
15. ۱۹۵۰ تا ۱۹۵۲: درک نحوه ی متمرکز کردن پرتوها
16. ۱۹۶۰: اولین برخورد دهنده ی الکترون-پوزیترون
17. ۱۹۷۲: اولین برخورد دهنده ی پروتون (سرن)
18. ۱۹۸۲: اولین برخورد دهنده‌ی پروتون/انتی پروتون (سرن)

انواع روشهای شتابدهی

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

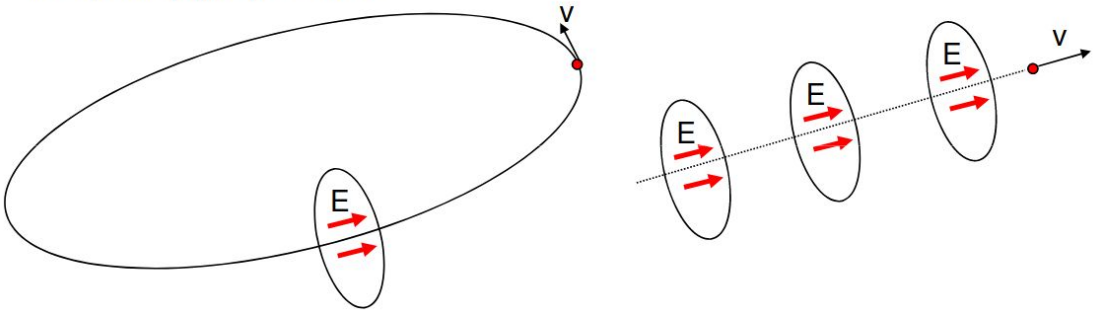
$$\Delta W = qV_0$$



- 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

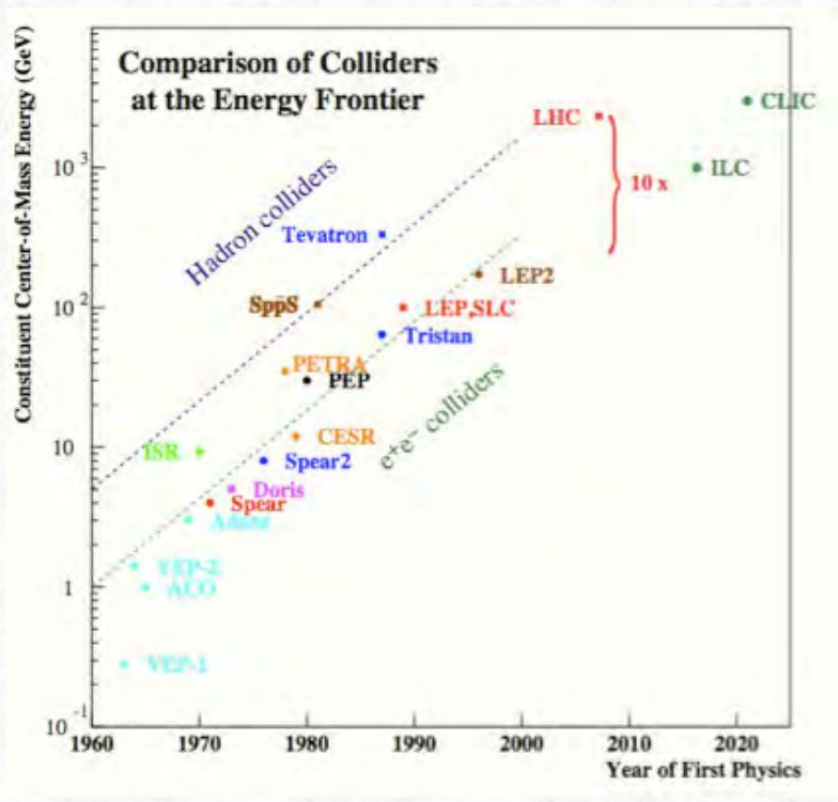
Two approaches for accelerating with time-varying fields

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.

انرژی برخورد دهنده ها



Accelerator	type, laboratory	energy √s	years of operation
LEP-I	e^+e^- collider, CERN	91 GeV	1989 - 1994
LEP-II	e^+e^- collider, CERN	209 GeV	1995 - 2000
HERA-I	ep collider, DESY	27 + 800 GeV	1992 - 2000
HERA-II	ep collider, DESY	27 + 920 GeV	2002 - 2007
TeVatron Run I	ppbar collider, Fermilab	1.8 TeV	1987 - 1996
TeVatron Run II	ppbar collider, Fermilab	1.96 TeV	2002 - 2011
LHC, Run 1	pp collider, CERN	7 TeV	2010- 2012
LHC, Run 2	pp collider, CERN	13 - 14 TeV	2015- .....

برخورد دهنده ی بزرگ هادرونی (LHC)

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

فيلم LHC

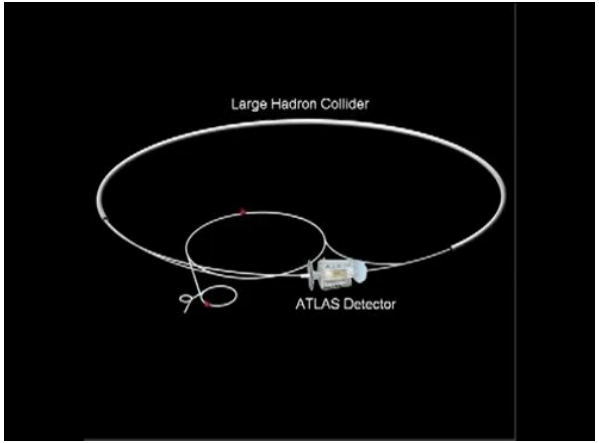
https://videos.cern.ch/record/1125472

انرژی ذرات داخل LHC

- هر پرتو میتواند در حدود ۳۰۰۰ بسته در خود جا دهد
- هر بسته پروتون شامل ۱۰۰ میلیارد پروتون می‌باشد
  - در مجموع $۱۰^{۱۴}$ پروتون.

یاداوری: به تعداد عدد آووگادرو پروتون معادل یک گرم ماده است !!!

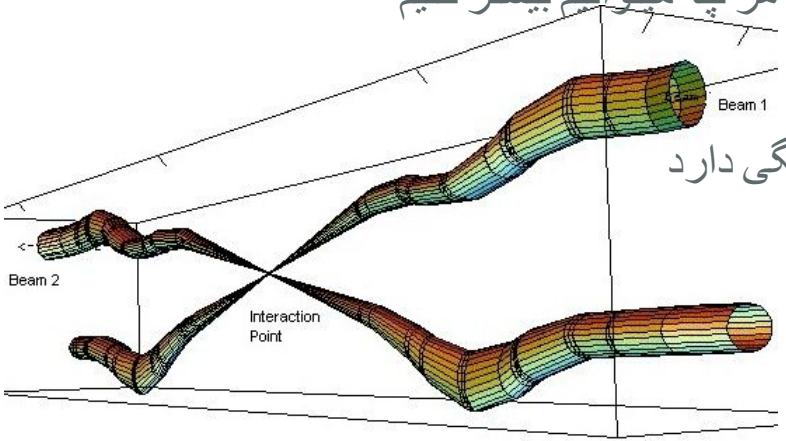
- انرژی هر کدام از پروتون ها ۷ ترا الکترون ولت است
- انرژی کل یک پرتو حدود ۳۶۲ مگاژول است!!!
  - معادل ۱۵۰ کیلوگرم تی.ان.تی
  - انرژی لازم برای ذوب کردن یک تن مس
- کل توان مصرف شده : ۱۲۰ مگاوات



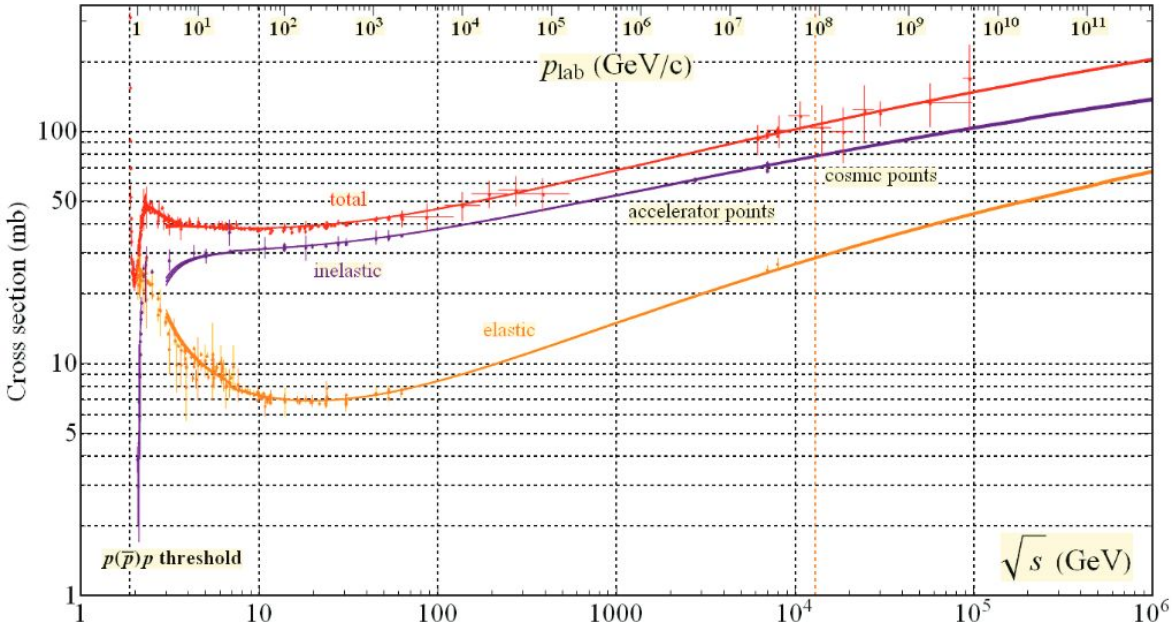
لینک به عکس:اینجا

درخشندگی و تعداد برخوردهای موثر

- هربار که بسته های پروتون از روی هم رد میشوند، تعدادی برهم 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 پایل آپ گفته میشود
  - مقدار آن در LHC در سالهای مختلف بین ۲۰ تا ۶۰ متغیر بوده است
- این پارامتر به ویژگی‌های پرتوها، من جمله به میزان تمرکز آن بستگی دارد
  - هر چه LHC بتواند پرتوها را متمرکز تر کند، این تعداد بیشتر میشود
- کمیتی که نشان دهنده ی حجم داده ی تولید شده (در واحد زمان است) «درخشندگی» آشکارساز است
  - بعد درخشندگی یک بر روی سطح است ($barn^{-1}$)
  - ال.اچ.سی تا کنون بیش از $۱۰^{۱۷}$ ($barn^{-1}$) داده تولید کرده است



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



$N = \sigma \times L$

این برخوردها به چه محصولاتی منجر شده‌اند؟