

基本粒子的质量起源

北京大学物理学院

高原宁

yuanning.gao@pku.edu.cn

博雅大讲堂 第193期



华中师范大学

粒子物理学试图解答古老的问题

- 组成世界的基本粒子是什么
- 基本粒子间的相互作用规律是什么



伟大的成就
精彩的故事

...

基本粒子探索 和诺贝尔奖

1969



Murray Gell-Mann

1979



Sheldon Glashow



Abdus Salam



Steven Weinberg

1988



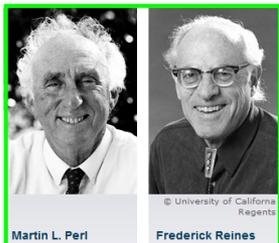
Leon M. Lederman Melvin Schwartz Jack Steinberger

1976



Burt Richter Sam Ting

1995



Martin L. Perl Frederick Reines

2018-12-20



Joseph John Thomson

1906



Carl David Anderson

1936



Chen Ning Yang

1957

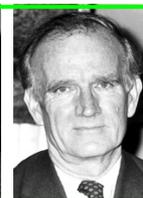


Tsung-Dao Lee

1980



James Watson Cronin



Val Logsdon Fitch

2008



Yoichiro Nambu



Makoto Kobayashi



Toshihide Maskawa

1965



Sin-Itiro Tomonaga



Julian Schwinger



Richard P. Feynman

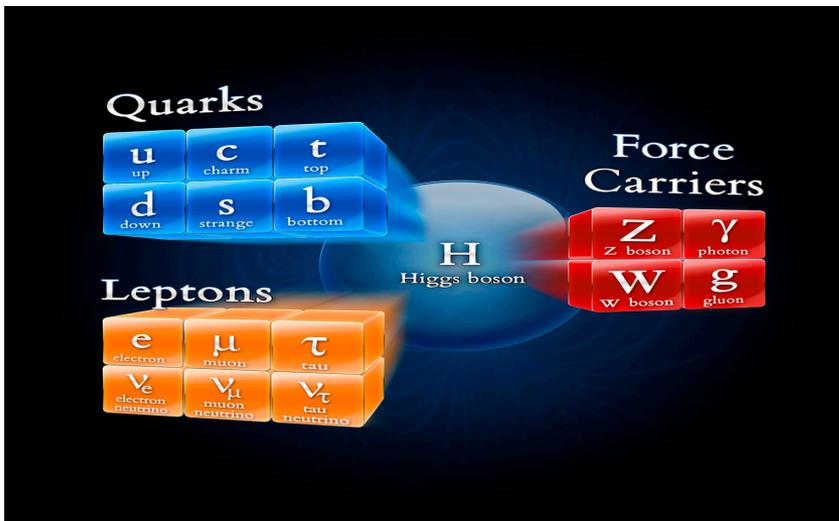
1984



Carlo Rubbia



Simon van der Meer



Takaaki Kajita Arthur B. McDonald

2015



Raymond Davis Jr. Masatoshi Koshiha

2002



Francois Englert Peter W. Higgs

2013



Hideki Yukawa

1949

1999



Gerard 't Hooft



Martinus Veltman

2004



David Gross



David Politzer



Frank Wilczek

今天的故事

- 什么是质量
- 粒子和场
- 希格斯机制
- CEPC-来自中国的梦想

质量 (mass)

- 惯性质量

$$\vec{F} = m_I \vec{a}$$

- 质能关系

$$E^2 = m_I^2 c^4 + p^2 c^2$$

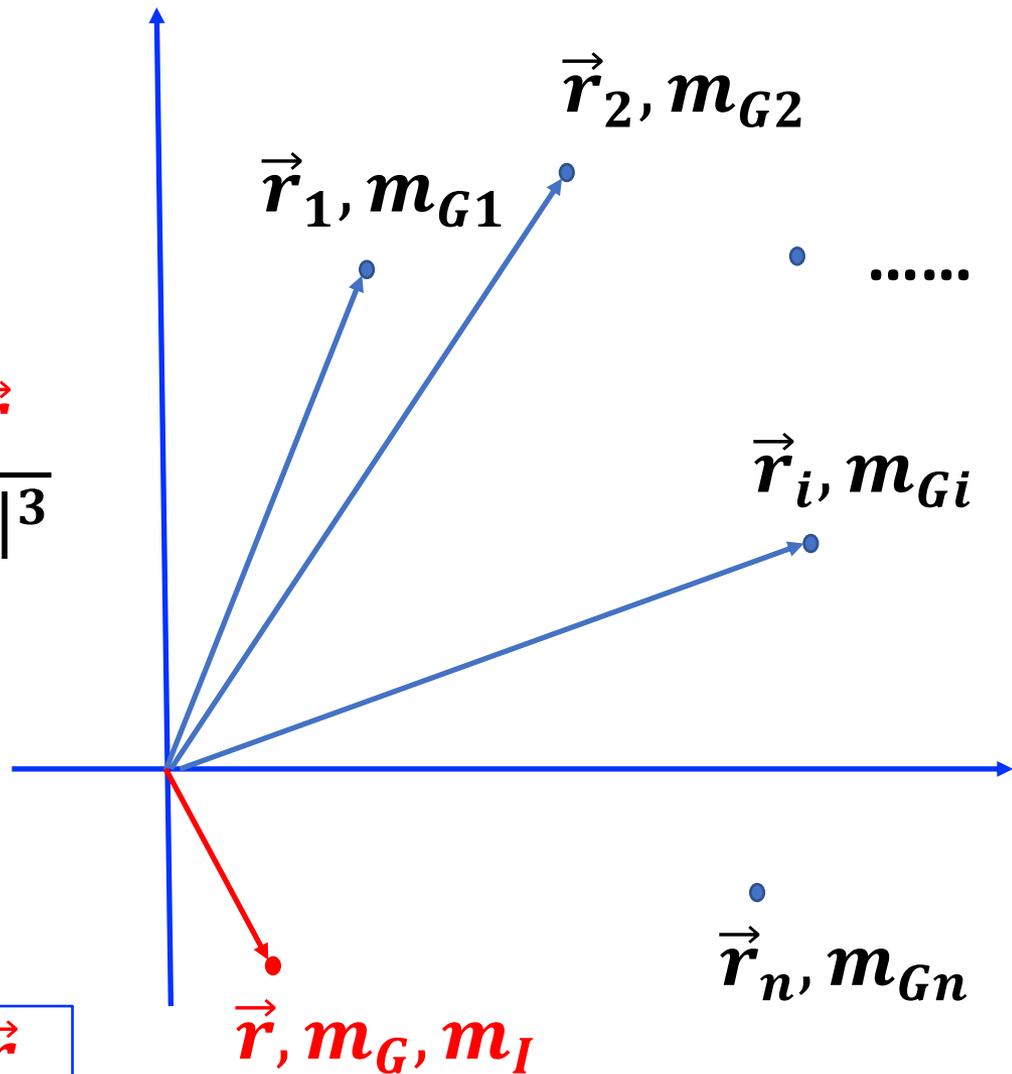
- 引力质量

$$f = G \frac{m_{G1} m_{G2}}{r^2}$$

质量与时空

$$\vec{f} = G \sum_i m_G m_{Gi} \frac{\vec{r}_i - \vec{r}}{|\vec{r}_i - \vec{r}|^3}$$
$$= m_I \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$$

$$m_I = m_G$$

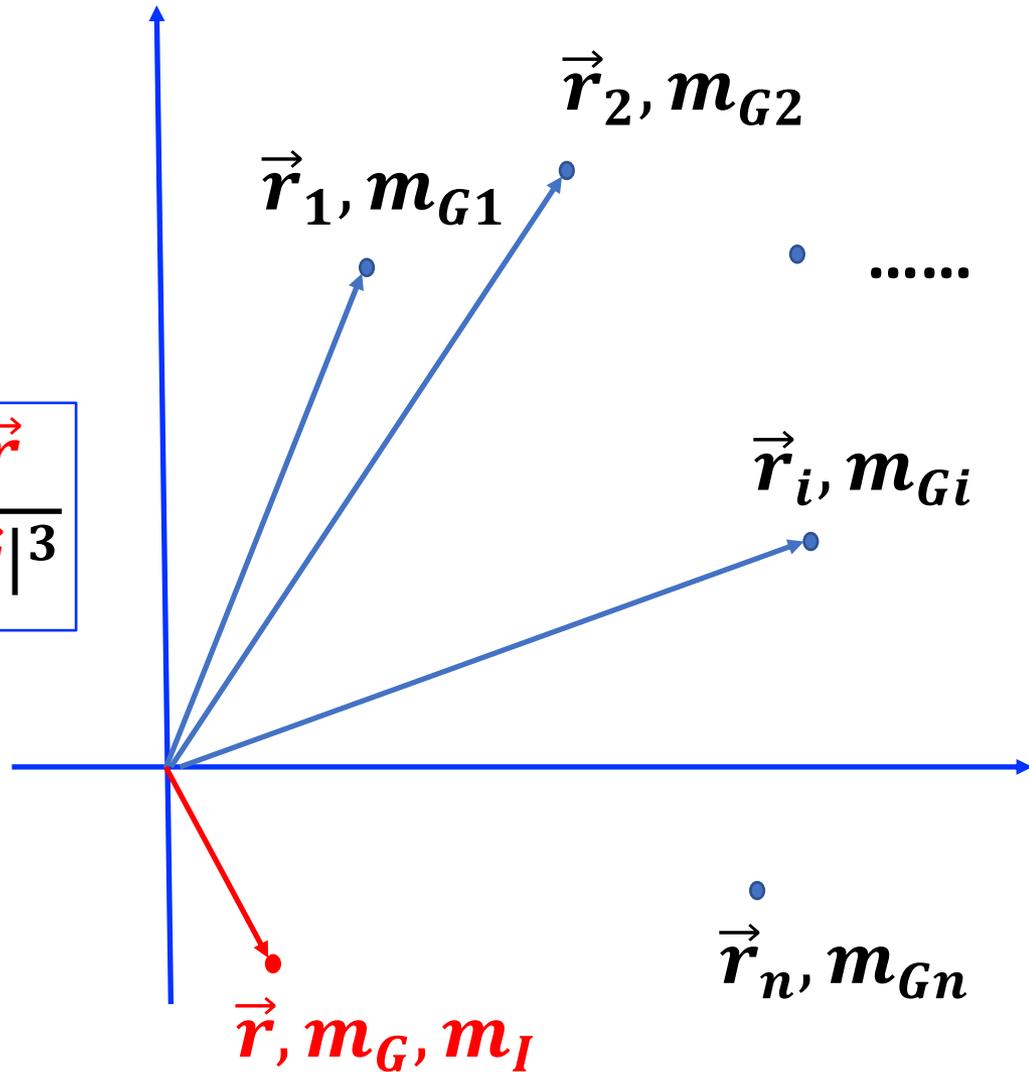


$$\frac{d^2 \vec{r}(t)}{dt^2} = G \sum_i m_{Gi} \frac{\vec{r}_i - \vec{r}}{|\vec{r}_i - \vec{r}|^3}$$

质量与时空

$$\frac{d^2 \vec{r}(t)}{dt^2} = G \sum_i m_{Gi} \frac{\vec{r}_i - \vec{r}}{|\vec{r}_i - \vec{r}|^3}$$

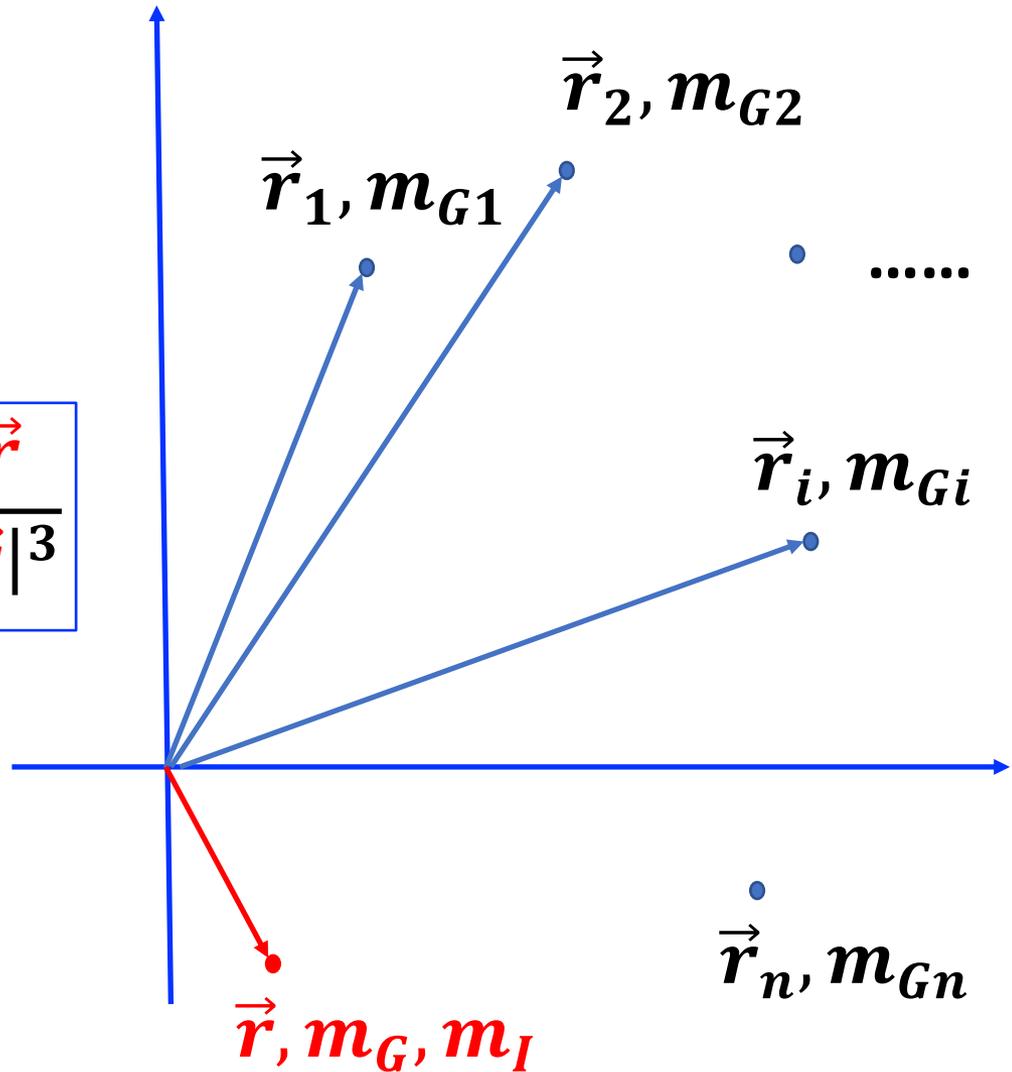
物质与时空的深刻联系！



质量与时空

$$\frac{d^2 \vec{r}(t)}{dt^2} = G \sum_i m_{Gi} \frac{\vec{r}_i - \vec{r}}{|\vec{r}_i - \vec{r}|^3}$$

物质与时空的深刻联系！



余下的时间不再涉及引力问题，只讨论惯性质量

质量的度量



- 国际单位制 (SI)

$$h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{Js}$$

粒子的质量单位

- 描述微观客体质量时常用 eV/c^2

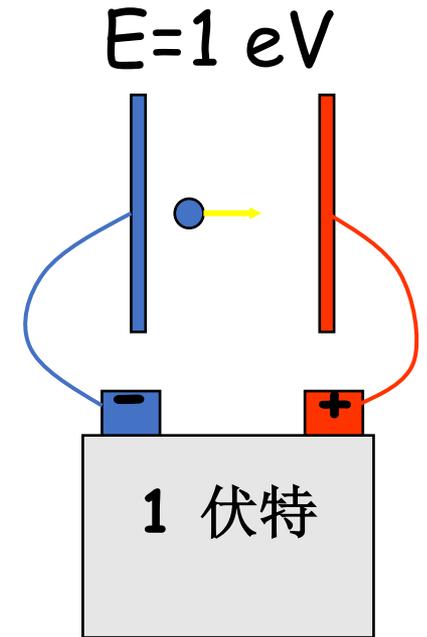
$$1 \text{ eV}/c^2 = 1.78 \times 10^{-36} \text{ kg}$$

$$1 \text{ MeV}/c^2 = 10^6 \text{ eV}/c^2$$

$$1 \text{ GeV}/c^2 = 10^9 \text{ eV}/c^2$$

- 例如 $m_e = 0.511 \text{ MeV}/c^2$ (电子质量)

$$m_p = 0.938 \text{ GeV}/c^2 \quad (\text{质子质量})$$



质子和中子的质量

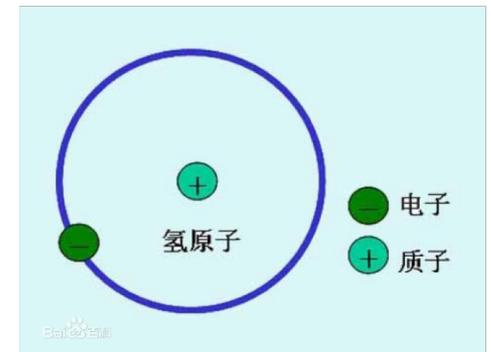


$$m_p = 938.2720813 \pm 0.0000058 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_n = 939.5654133 \pm 0.0000058 \text{ MeV}/c^2$$

$$\frac{m_n - m_p}{m_p} \approx 0.0014$$

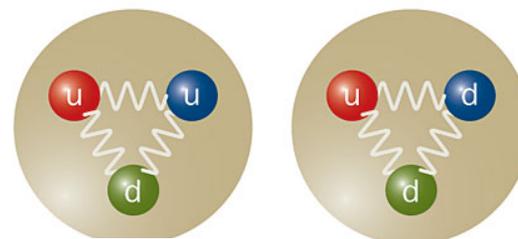
质子是稳定的 \rightarrow 氢原子是稳定的



基本粒子也有质量

质量是什么？

基本粒子为什么有质量？



质子

中子

FERMIONS				matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2			
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge	
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3	
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3	
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	C charm	1.3	2/3	
μ muon	0.106	-1	S strange	0.1	-1/3	
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3	
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3	

20世纪物理学的两个最伟大的成就：

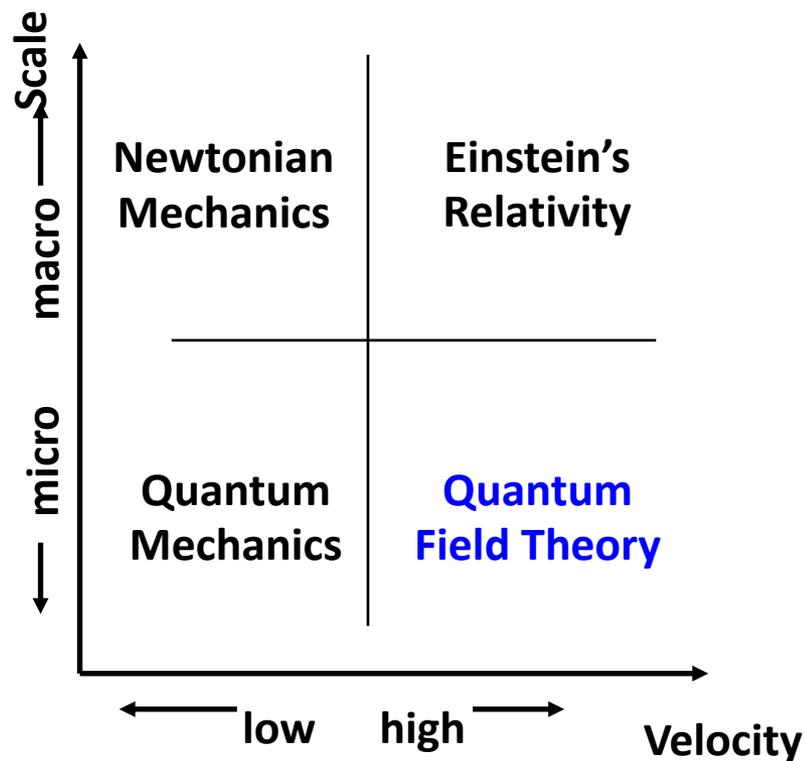
- 相对论（狭义相对论和广义相对论）

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

- 量子力学（波粒二像性）

$$E = h\nu$$

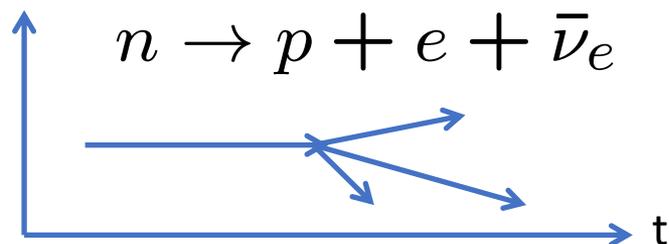
$$p = h/\lambda$$



粒子运动的特性：微观、高速、产生和湮灭

量子场论：从一个例子谈起…

- 如何理解下面的衰变过程(*)

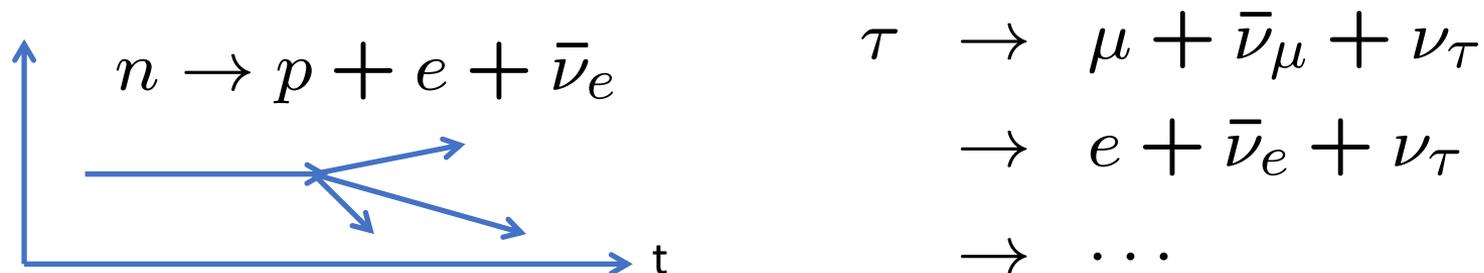


$$\begin{aligned} \tau &\rightarrow \mu + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau \\ &\rightarrow e + \bar{\nu}_e + \nu_\tau \\ &\rightarrow \dots \end{aligned}$$

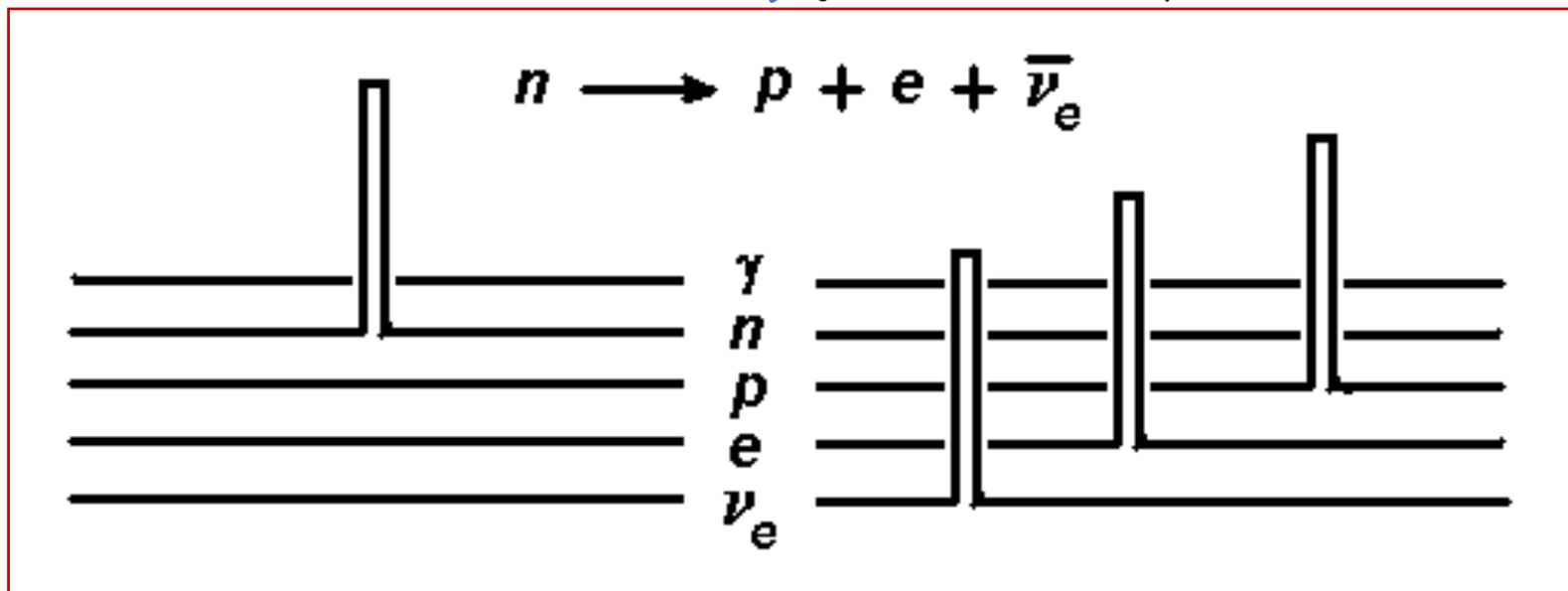
(×) 选自：高崇寿、曾谨言著 《粒子物理和核物理讲座》

量子场论：从一个例子谈起...

- 如何理解下面的衰变过程(*)



$$\begin{aligned} \tau &\rightarrow \mu + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau \\ &\rightarrow e + \bar{\nu}_e + \nu_\tau \\ &\rightarrow \dots \end{aligned}$$



(X) 选自：高崇寿、曾谨言著《粒子物理和核物理讲座》

量子场论的基本概念：

- 每种粒子对应一种场，场没有不可入性，对应各种不同粒子的场在空间中相互重叠地充满全空间。
- 场的能量最低状态称为基态。场的激发状态表现为出现相应的粒子，场的不同激发状态表现为粒子的数目和运动状态不同。场处于基态时由于不能释放出能量，不能输出信号，从而不表现出直接的物理效应，亦即不表现为出现粒子。因此场和粒子之间，场是更基本的，粒子只是场处于激发状态的表现。
- 所有的场都处于基态时为物理真空。由此可见，真空并不是“真”的“空”无一物。真空态时，全空间充满各种场，只是由于所有场都处于能量最低状态而不可能表现出任何释放出能量从而给出信号的物理效应。

量子场论的基本概念：

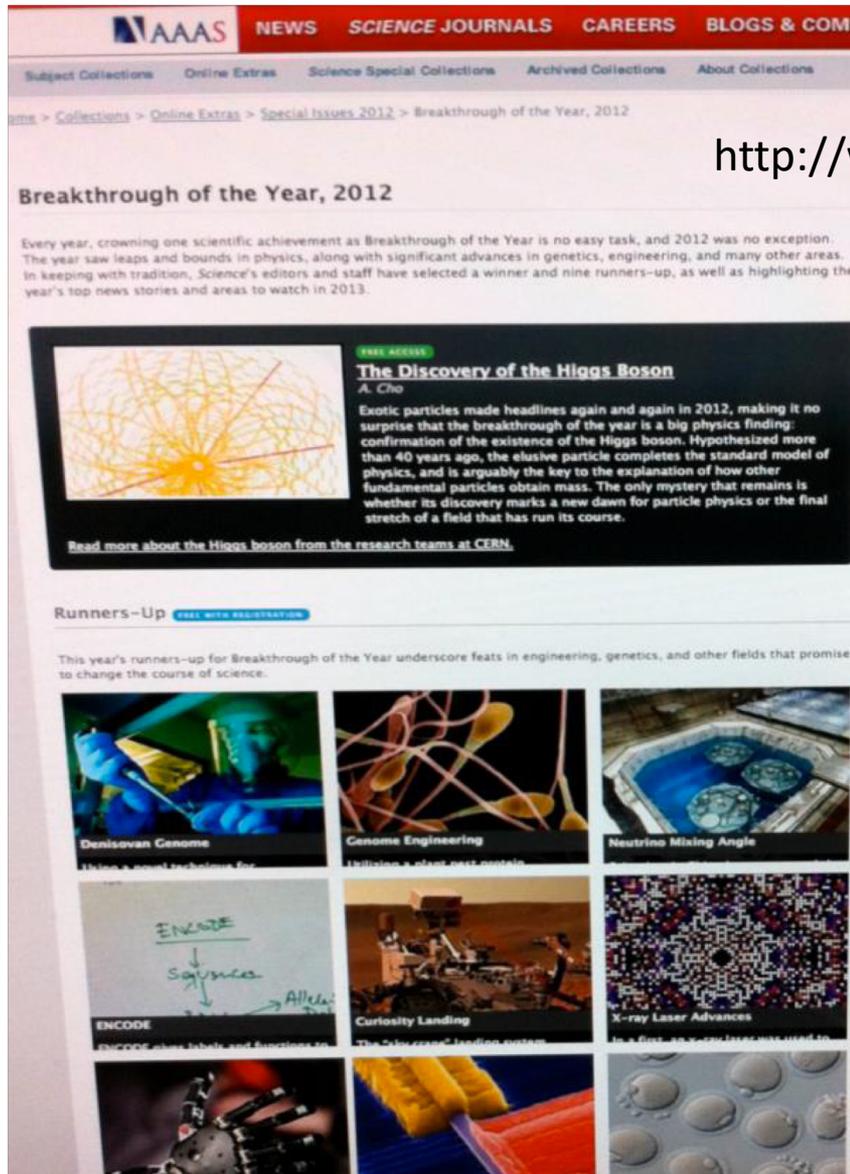
- 每种粒子对应一种场，场没有不可入性，对应各种不同粒子的场在空间中相互重叠地充满全空间。
- 场的能量最低状态称为基态。场的激发状态表现为出现相应的粒子，场的基态和激发态不同。场处于基态时不能输出信号，从而不表现为粒子。因此场和粒子的区别只是场处于激发状态的表现。

真空真的不空！
- 所有的场都处于基态时为物理真空。由此可见，真空并不是“真”的“空”无一物。真空态时，全空间充满各种场，只是由于所有场都处于能量最低状态而不可能表现出任何释放出能量从而给出信号的物理效应。



一个注定不平凡的年份...

《科学》 评选出2012年十大科学突破



<http://www.sciencemag.org/site/special/btoy2012/>

欧洲核子研究中心
大型强子对撞机上
发现Higgs粒子

大亚湾中微子实验
发现新的中微子振荡
 θ_{13}

Higgs机制

- 1964年，Peter Higgs, Robert Brout, François Englert, Gerald Guralnik, Carl Hagen, Thomas Kibble 等6位科学家提出了后来被称为“Higgs机制”的理论设想

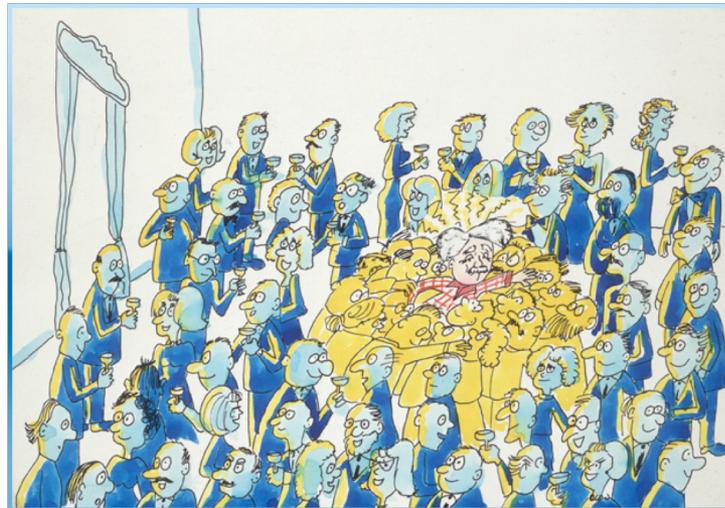
空间充满了Higgs场



Higgs机制

- 1964年，Peter Higgs, Robert Brout, François Englert, Gerald Guralnik, Carl Hagen, Thomas Kibble 等6位科学家提出了后来被称为“Higgs机制”的理论设想

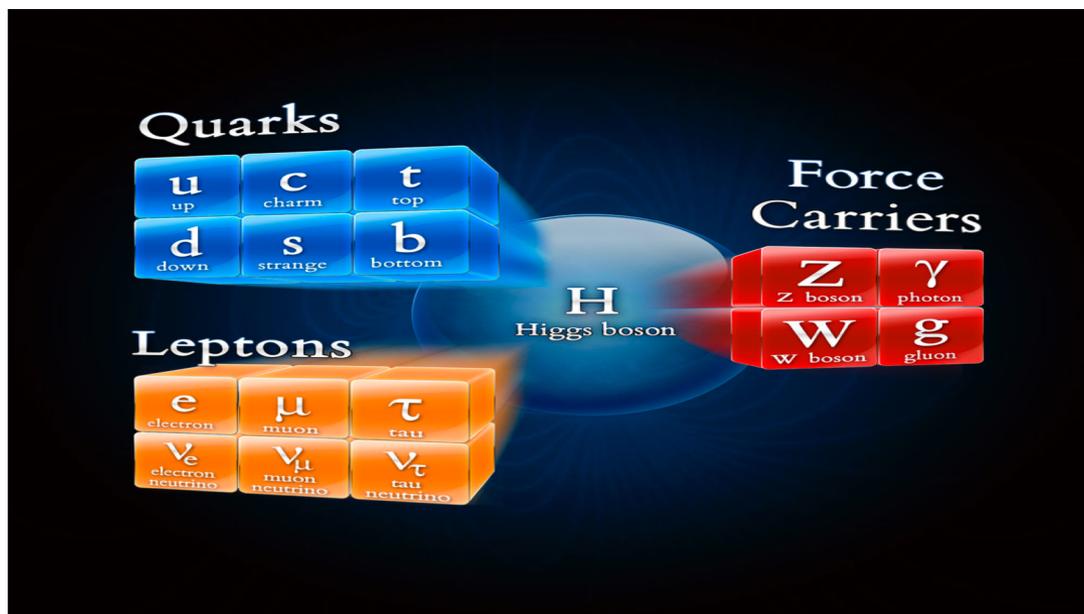
其它粒子在空间运动时与Higgs场发生相互作用，Higgs场“凝聚”在其周围“产生”质量



Higgs机制

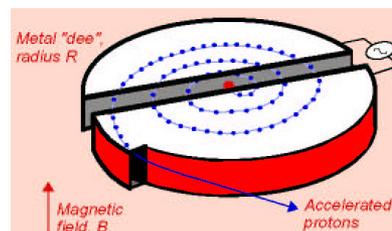
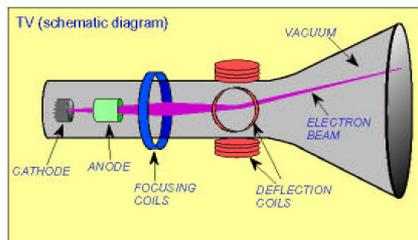
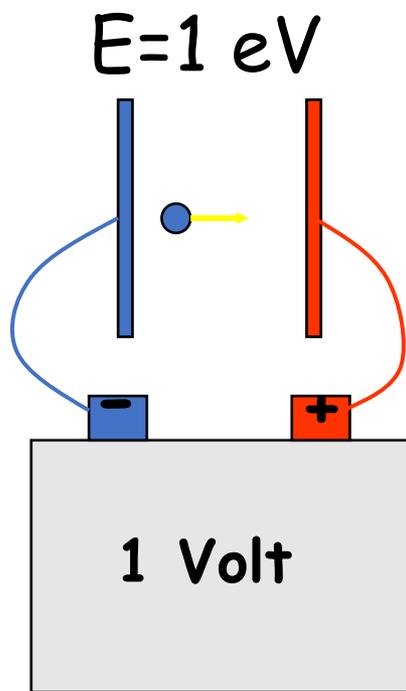
- 1964年，Peter Higgs, Robert Brout, François Englert, Gerald Guralnik, Carl Hagen, Thomas Kibble 等6位科学家提出了后来被称为“Higgs机制”的理论设想

Higgs机制解释了基本粒子的质量起源问题，同时预言了一个新的粒子：**Higgs粒子**



寻找Higgs粒子

- Higgs粒子是非稳定粒子，需要在高能加速器中**制造出来**！

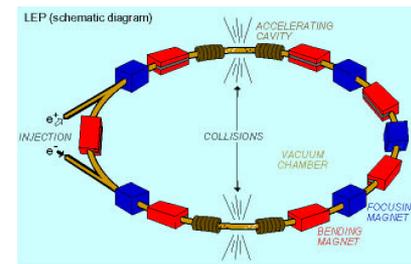


$$m = E/c^2$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

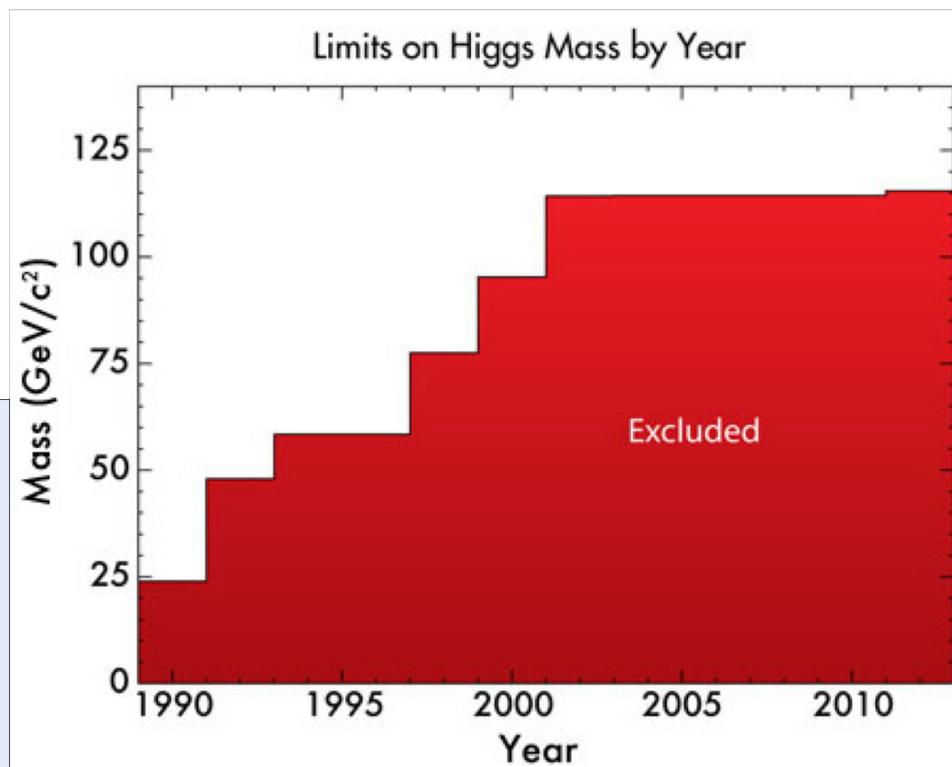
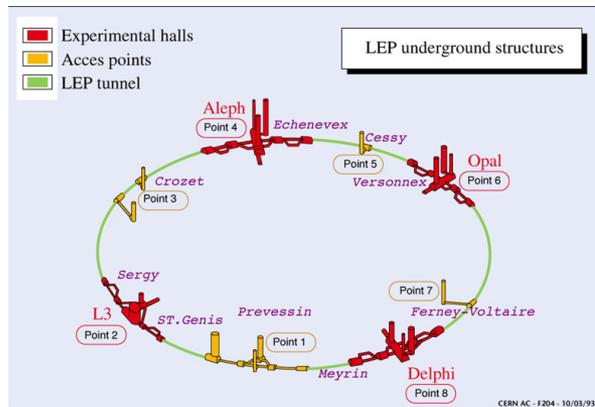
$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

$$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$$



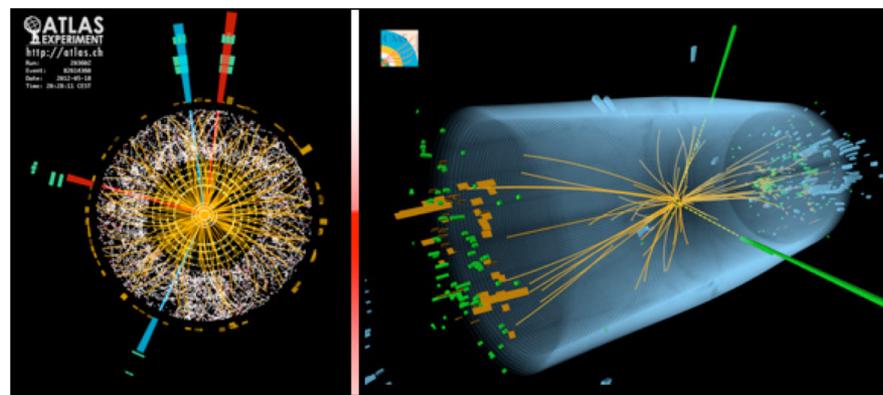
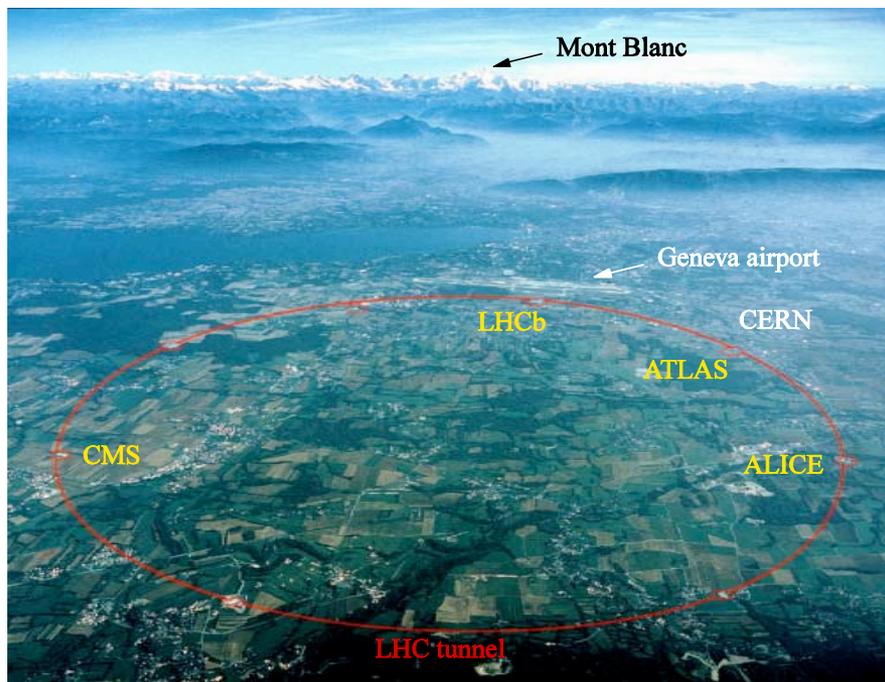
寻找Higgs粒子

- 人类为寻找Higgs粒子做出了巨大的努力，征途漫漫…



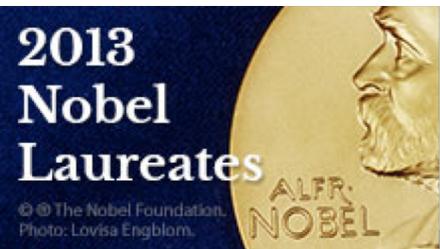
寻找Higgs粒子

- 2012年7月4日，这一刻终于到来了！在欧洲核子研究中心大型强子对撞机上的两个实验组ATLAS和CMS宣布发现Higgs粒子



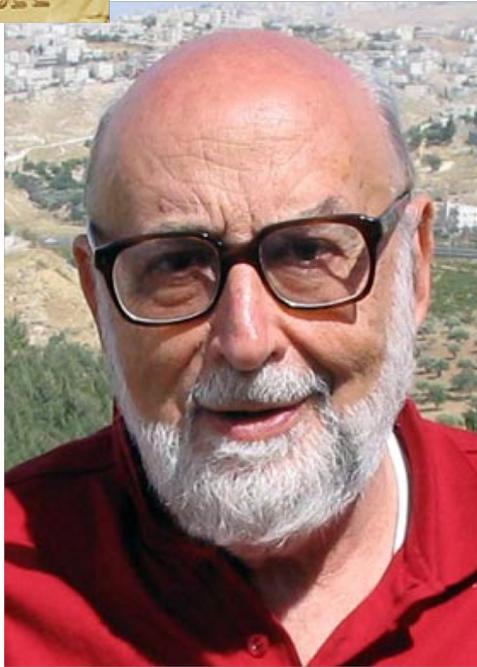
$$m_H \approx 125 \text{ GeV}/c^2$$



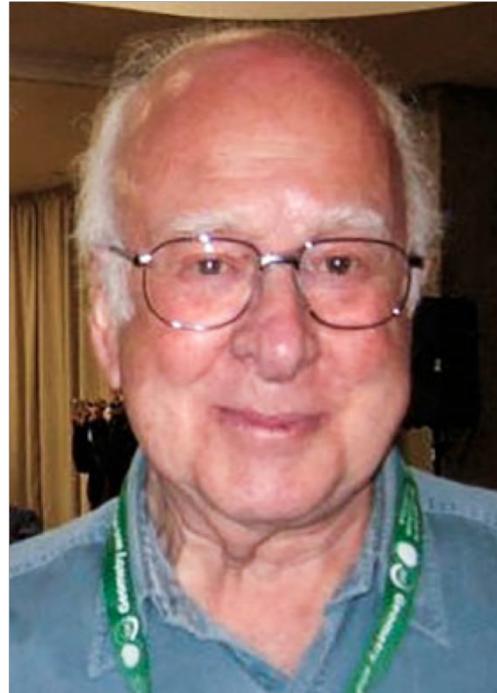


The Nobel Prize in Physics 2013

François Englert, Peter Higgs



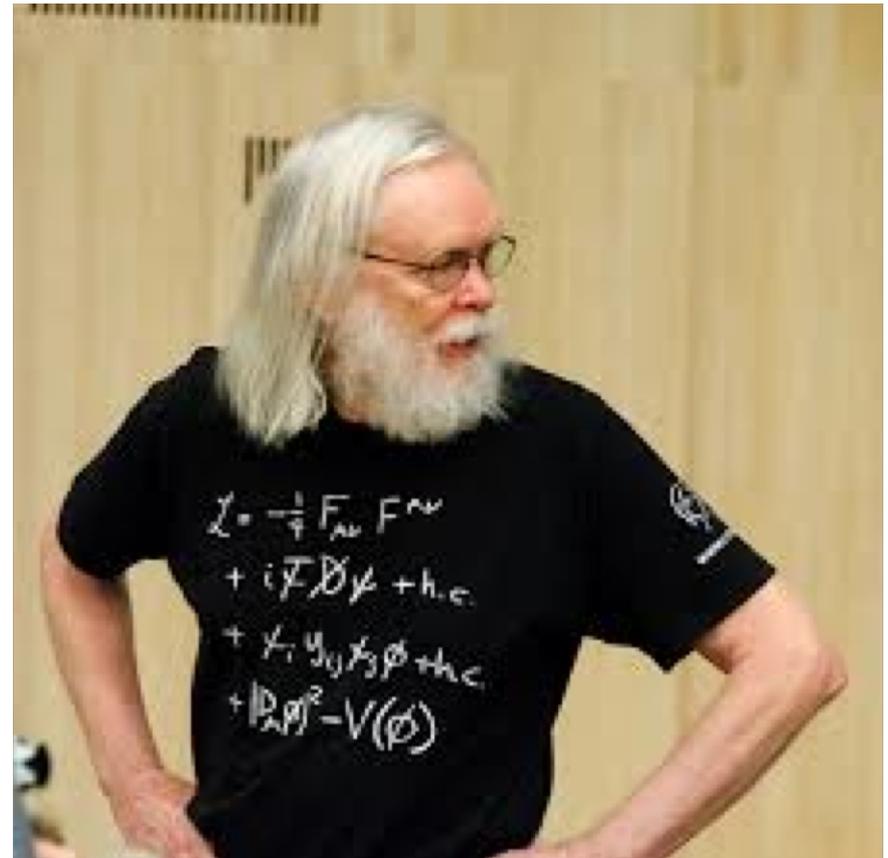
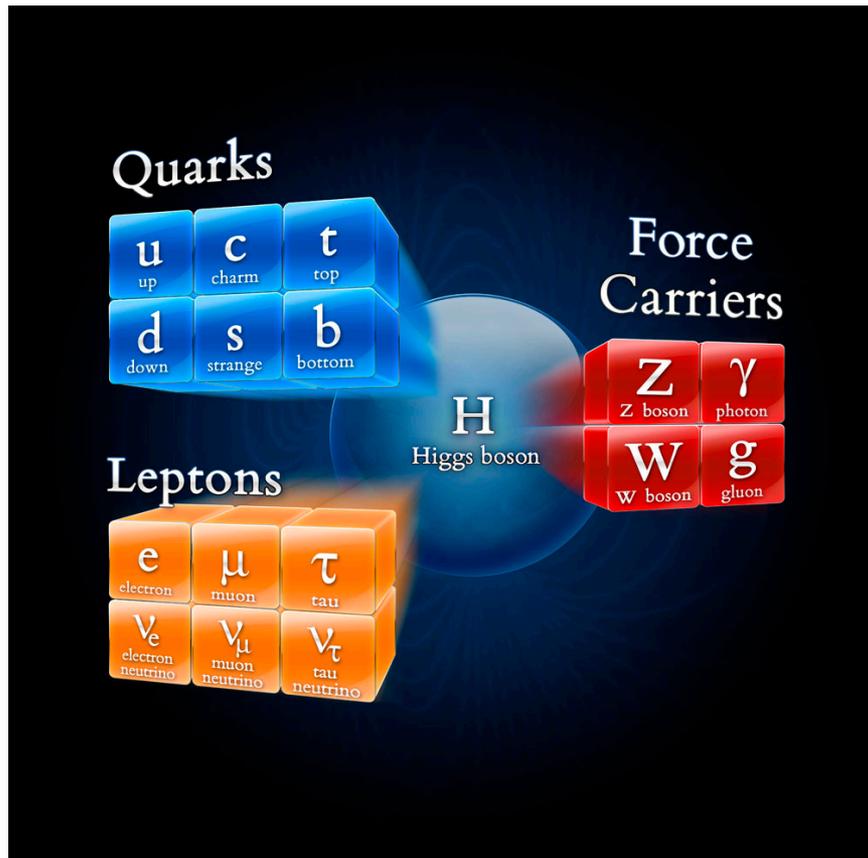
François Englert



Peter W. Higgs

The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs *“for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN’s Large Hadron Collider”*

标准模型理论-教授版



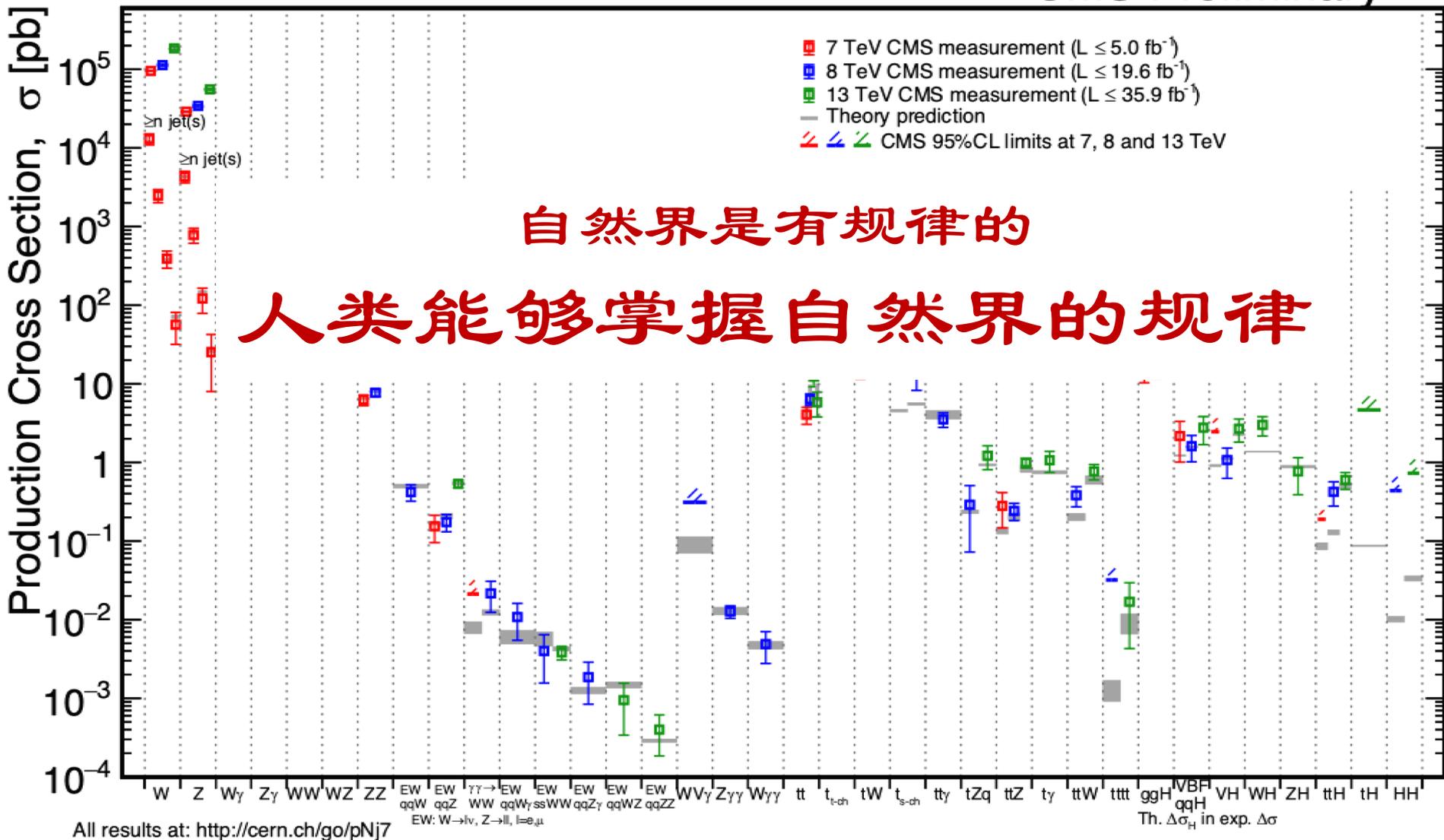
标准模型是人类最伟大的科学成就（之一）！

标准模型理论-学生版

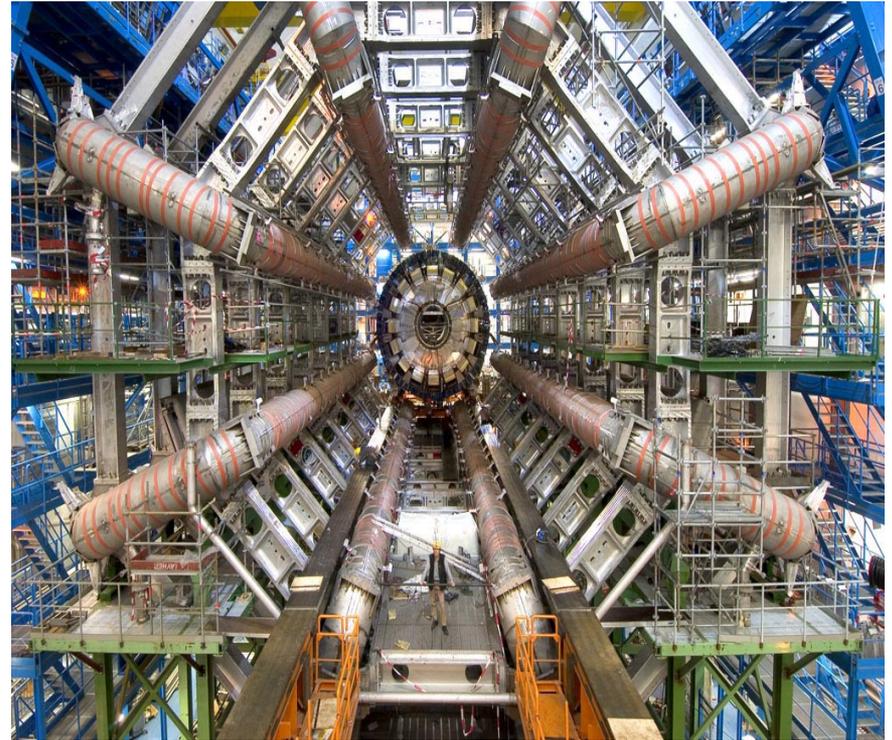
$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}ig_w^2(\bar{q}_i^+ \gamma^\mu q_j^+)g_\mu^+ + G^+ \partial_\nu \phi^+ - G^+ \partial_\nu \phi^+ - \frac{1}{2}g_w^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \\ & M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}\partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \\ & \frac{1}{2}m_\Lambda^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \\ & \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2}(H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) + \frac{2M^2}{g^2} \alpha_h \\ & W_\nu^+ W_\nu^- - Z_\nu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\nu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\nu^+) \\ & W_\nu^- \partial_\nu W_\nu^+) - ig_s w [\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\mu^- - W_\mu^- \\ & W_\mu \partial_\nu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+) \\ & \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- W_\mu^+ W_\mu^- + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\mu^+ \\ & g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\mu W_\nu^+ W_\nu^- \\ & W_\nu^+ W_\nu^-) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-] - g\alpha [\\ & \frac{1}{8}g^2 \alpha_h [H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \\ & g M W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2} \\ & W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0)] + \frac{1}{2}g [W_\mu^+ (H \\ & \phi^+ \partial_\mu H)] + \frac{1}{2}g \frac{1}{c_w} (Z_\mu^0 (H \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H \\ & ig_s w M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - ig \frac{1}{2} \\ & ig_s w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \frac{1}{4}g^2 W_\mu^+ H^2 \\ & \frac{1}{4}g^2 \frac{1}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 [H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \\ & W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2}ig^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \\ & W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) \\ & g^1 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - \bar{e}^\lambda (\gamma^\mu \partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu} \\ & d_j^\lambda (\gamma^\mu \partial + m_d^\lambda) d_j^\lambda + ig_s w A_\mu [-(e^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \\ & \frac{ig}{4c_w} Z_\mu^0 [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - \\ & 1 - \gamma^5) u_j^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 - \gamma^5) d_j^\lambda)] + \frac{1}{2} \\ & (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \\ & \gamma^5) u_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} \frac{m_\Lambda^2}{M} [-\phi^+ (\partial^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \end{aligned}$$



标准模型是人类最伟大的科学成就（之一）！



Higgs粒子的发现是一个重大历史事件



- 标准模型的完成
- 上万名科学家和工程师三十年的努力

- 成千上万的媒体报道
- 国际合作，文化，管理
- **World-Wide-Web**

.....这是全人类努力的结果，也是全人类的成功。

没有加速器、探测器、网格计算等诸多方面的卓越表现，不可能实现如此重大的发现。

这是一个里程碑，也是新的开始。这一发现对未来影响深远.....



Rolf-Dieter Heuer
Director General of CERN

.....这是全人类努力的结果，也是全人类的成功。

没有加速器、探测器、网格计算等诸多方面的卓越表现，不可能实现如此重大的发现。

这是一个里程碑，也是新的开始。这一发现对未来影响深远.....

What next?



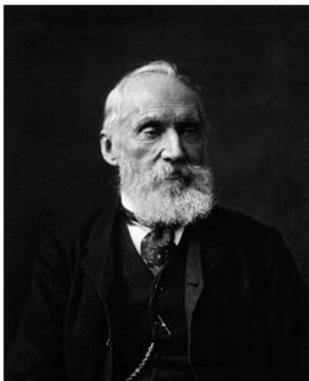
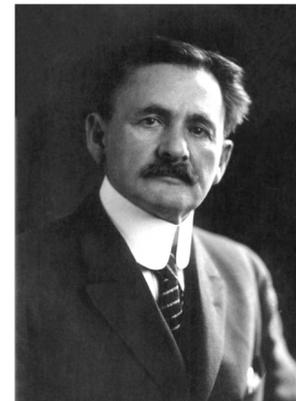
Rolf-Dieter Heuer
Director General of CERN

Historically they were all wrong...

"So many centuries after the Creation, it is unlikely that anyone could find hitherto unknown lands of any value"

– Spanish Royal Commission, rejecting Christopher Columbus proposal to sail west, 1492

"The more important fundamental laws and facts of physical science have all been discovered" – Albert Michelson, 1894



"There is nothing new to be discovered in physics now. All that remains is more and more precise measurement"

– Lord Kelvin, 1900

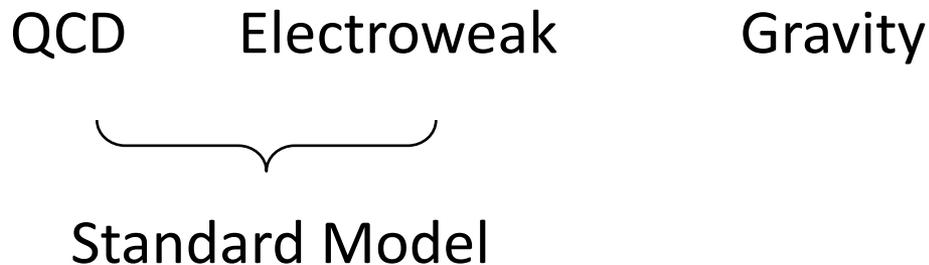
起初神创造天地。

地是空虚混沌。渊面黑暗。神的灵运行在水面上。

神说，要有光，就有了光。
神看光是好的，就把光暗分开了。
神称光为昼，称暗为夜。有晚上，
有早晨，这是头一日。

神说，诸水之间要有空气，将水分上下。
神就造出空气，将空气以下的水，空气以上的水分开了。事就这样成了。
神称空气为天。有晚上，有早晨，是第二日。
.....

粒子物理之“三”



粒子物理之“道”？

道生一，一生二，二生三，
三生万物。

Time : 19: 30–21: 30, Feb.23, 2014
时间: 2014年2月23日 19: 30–21: 30
Venue: Reception Hall, Main Building, Tsinghua Univ.
地点: 清华大学主楼接待厅(二楼)

AFTER THE HIGGS DISCOVERY:
WHERE IS FUNDAMENTAL PHYSICS GOING

希格斯粒子发现之后:
基础物理学向何处发展

和世界一流物理学家对话

FACE TO FACE DIALOGUE WITH WORLD LEADING PHYSICISTS



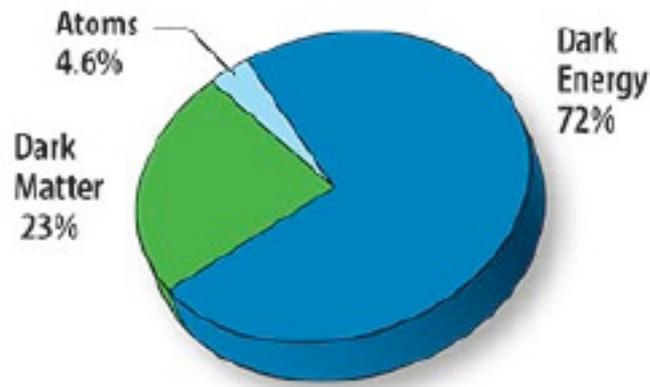
Moderator: Shing-Tung Yau (Harvard Univ. & Tsinghua Univ., USA, Fields Medalist)
主持人: 丘成桐(美国哈佛大学 & 清华大学, 菲尔兹奖获得者)



后标准模型时代的粒子物理



- Higgs粒子的性质，更多的Higgs粒子？
- 反物质世界哪去了？
- 作用力可以统一吗？
- 暗物质、暗能量
- ...



Higgs粒子质量与精细调节

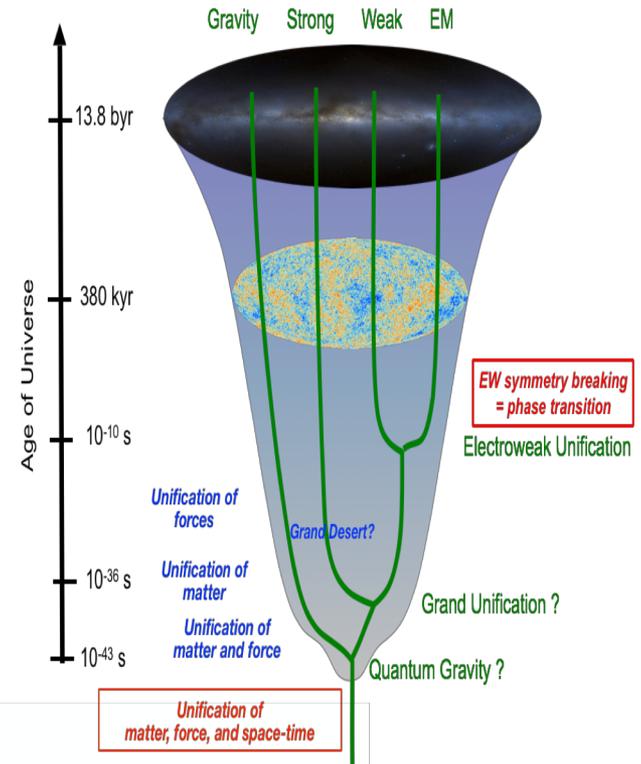
已知的理论极限 $\sim 10^{19}$ GeV

$$\begin{aligned} m_H^2 &= 36,127,890,984,789,307,394,520,932,878,928,933,023 && \text{裸质量} \\ &\quad - 36,127,890,984,789,307,394,520,932,878,928,917,398 && \text{真空修正} \\ &= (125 \text{ GeV})^2 ! ? \end{aligned}$$



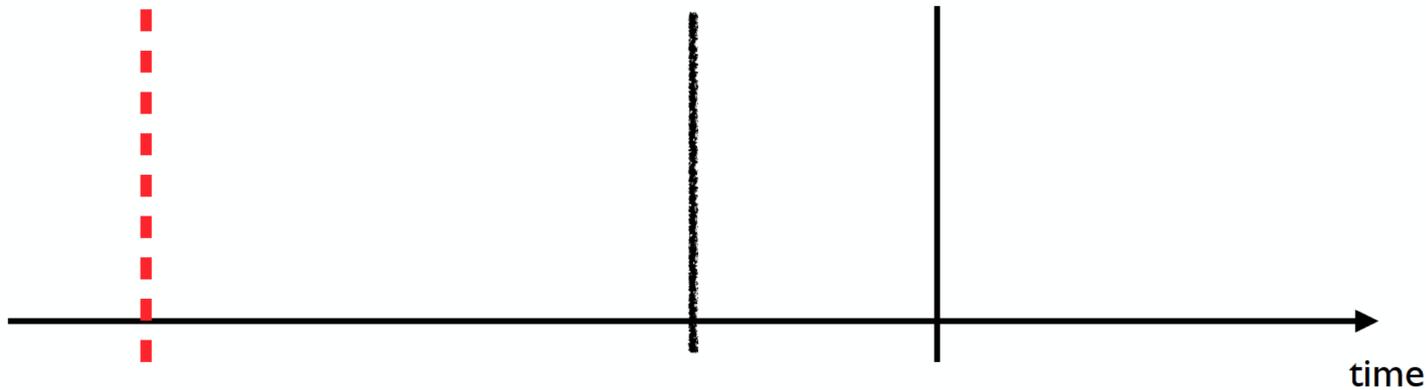
$$4 \text{ mm}^2 / 20 \text{ cm}^2 \sim 10^{-3}$$

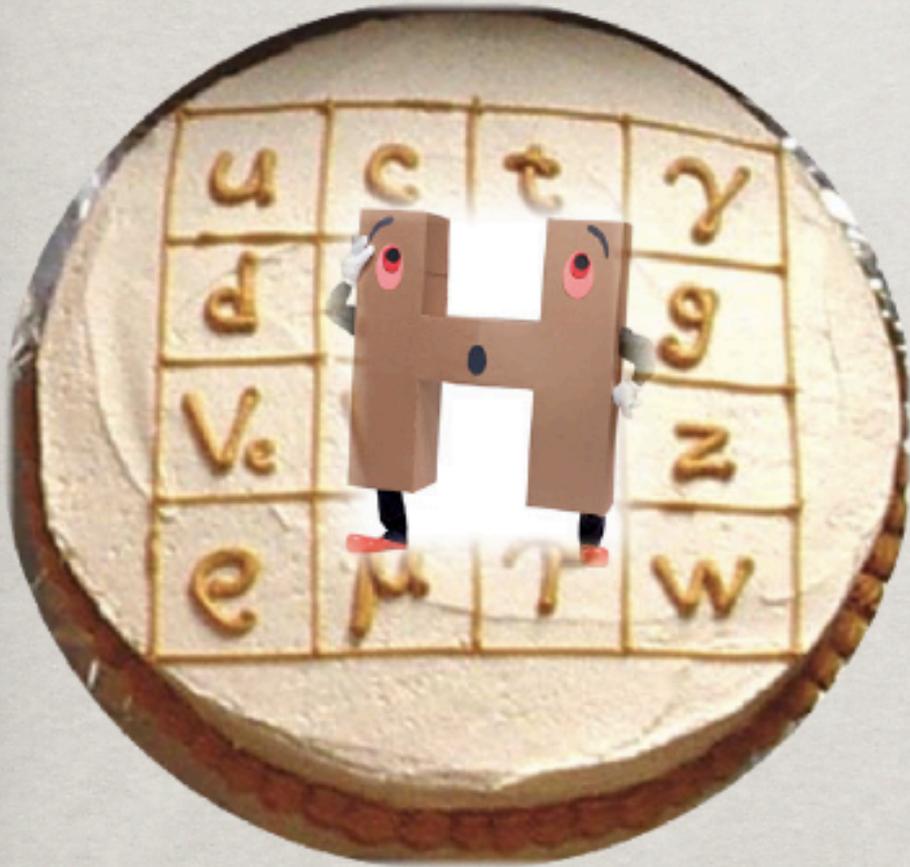
Higgs与宇宙演化



$T \approx 10^2 \text{ GeV}$
EW SB

$T \approx 10^2 \text{ MeV} - \text{MeV}$ $T \approx \text{eV}$
proton, ... nuclei atoms, CMB..

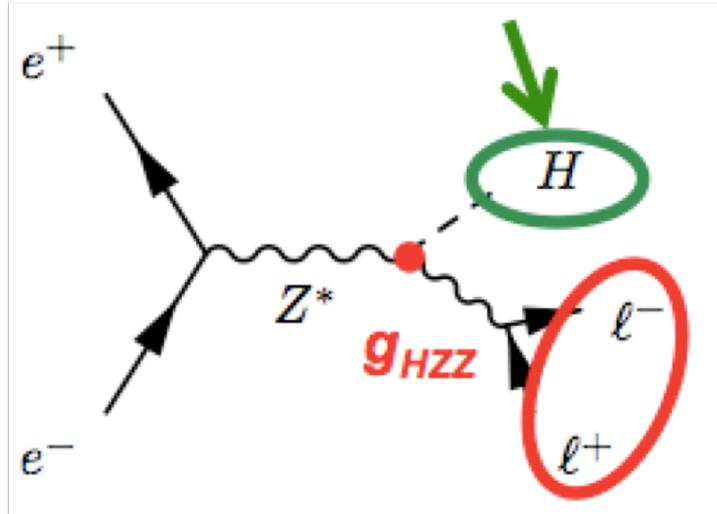




Or



需要继续研究Higgs性质



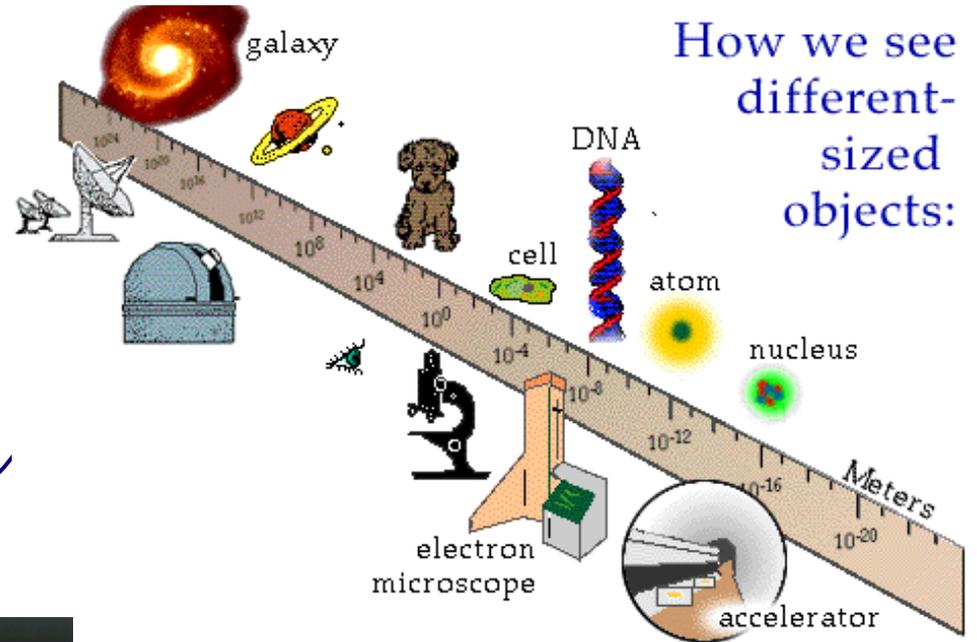
能量： $120 + 120 = 240 \text{ GeV}$

亮度： $> 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} \rightarrow 10^6 \text{ Higgs in 5 years}$

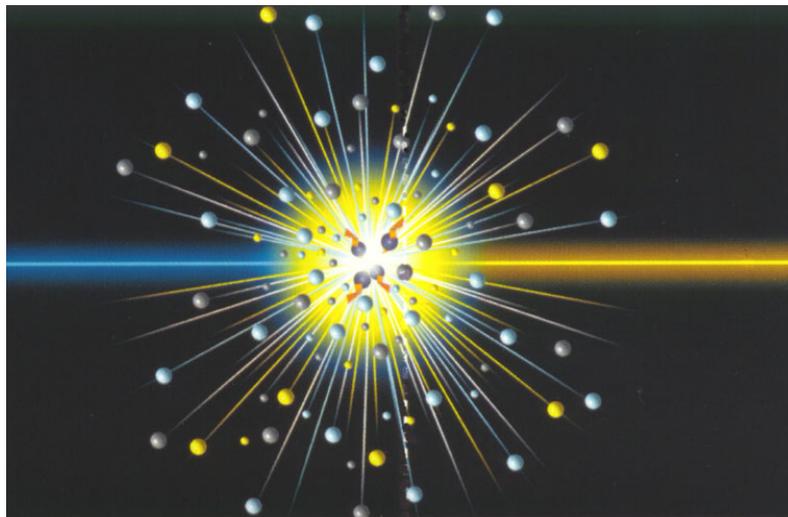
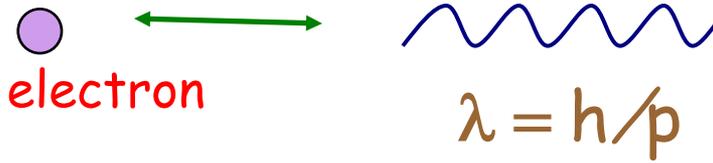
等等！为什么要高能加速器？



How we see
different-
sized
objects:



•量子原理

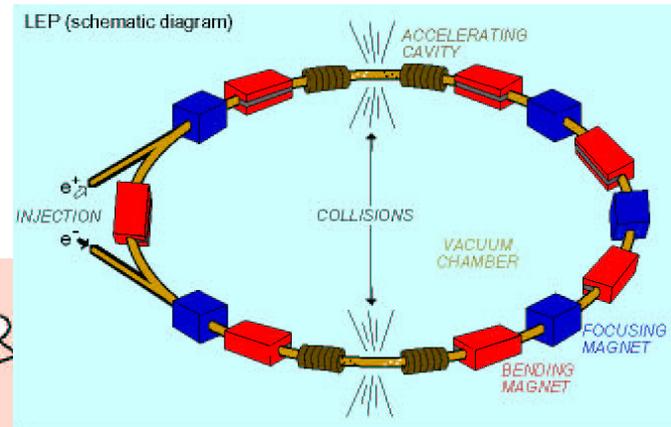
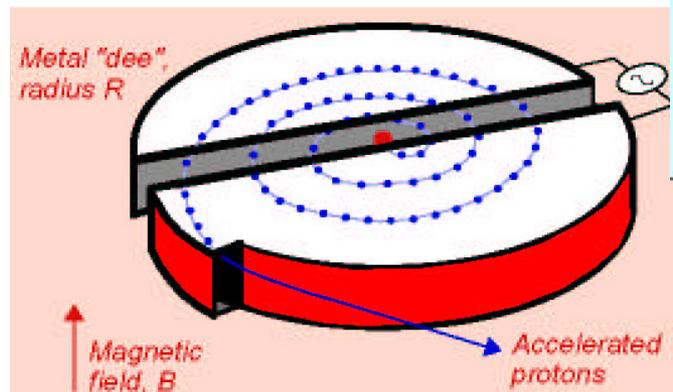
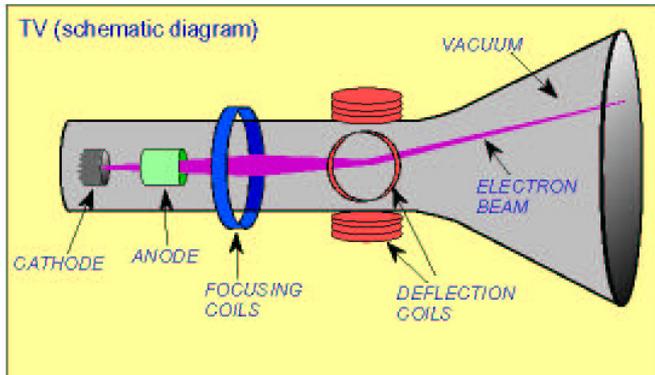
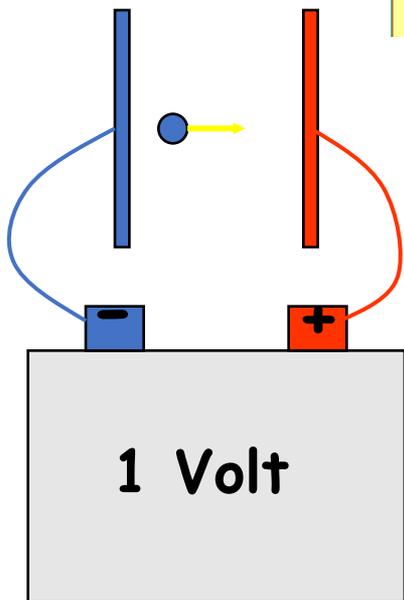


•相对论质能关系

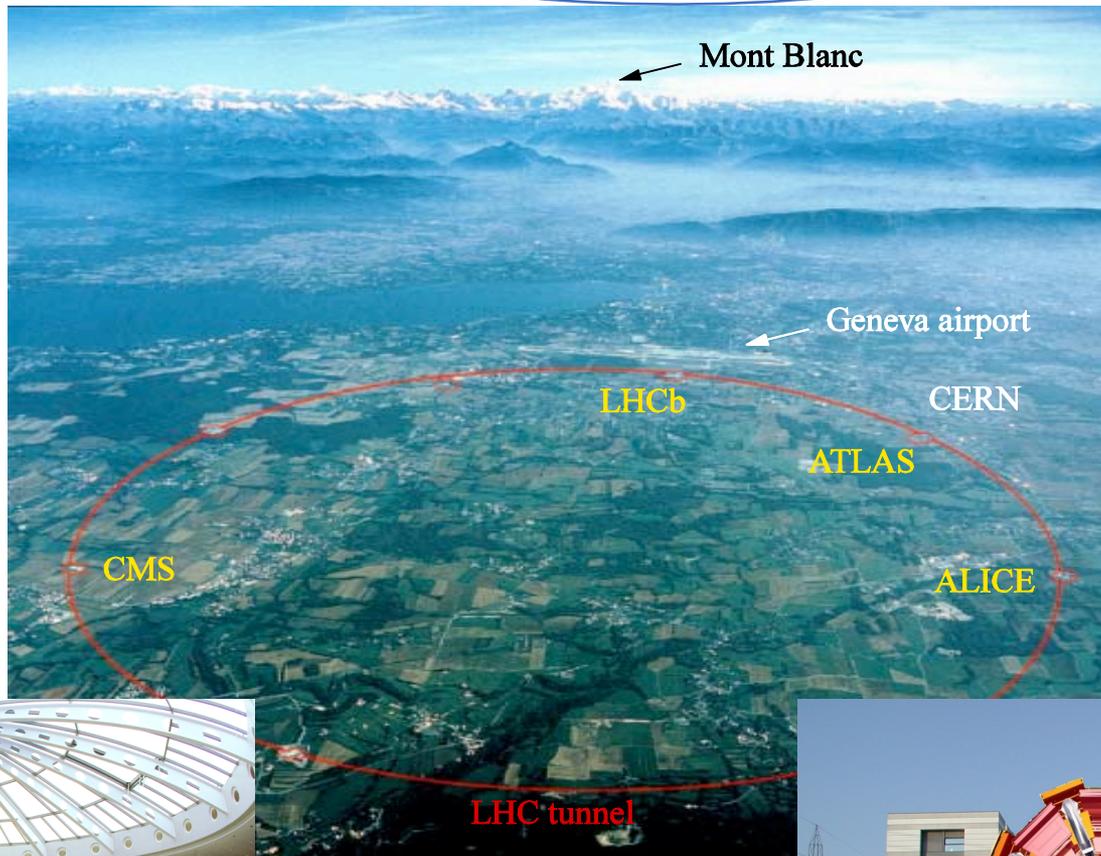
$$E = Mc^2$$



$$E = 1 \text{ eV}$$



... and why "big"?





•影响加速器能量的主要因素

- 加速能力： 例如， 40MeV/m (TESLA)

- 能损： 在半径 R 上以能量 E 运动的带电粒子的瞬时辐射功率 ($v \sim c$)

$$P \propto \frac{1}{R^2} \left(\frac{E}{m} \right)^4$$

—正负电子对撞机的主要限制因素！

—增大 R ， 导致大加速器；

—超高能时 ($\sim \text{TeV}$)， 采用直线加速器 ($R \rightarrow \infty$)

- 束缚磁场强度： 8 Tesla (LHC)
20 Tesla (future)

直线或环形

- Higher energy
- Higher precision

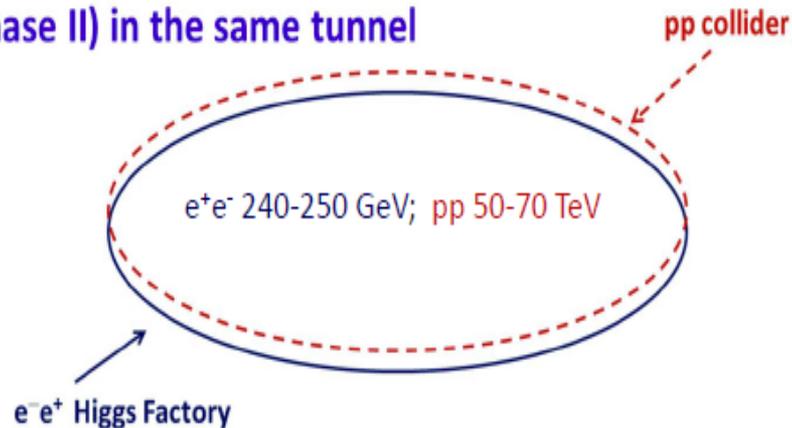
Linear colliders : ILC



→ Larger accelerators

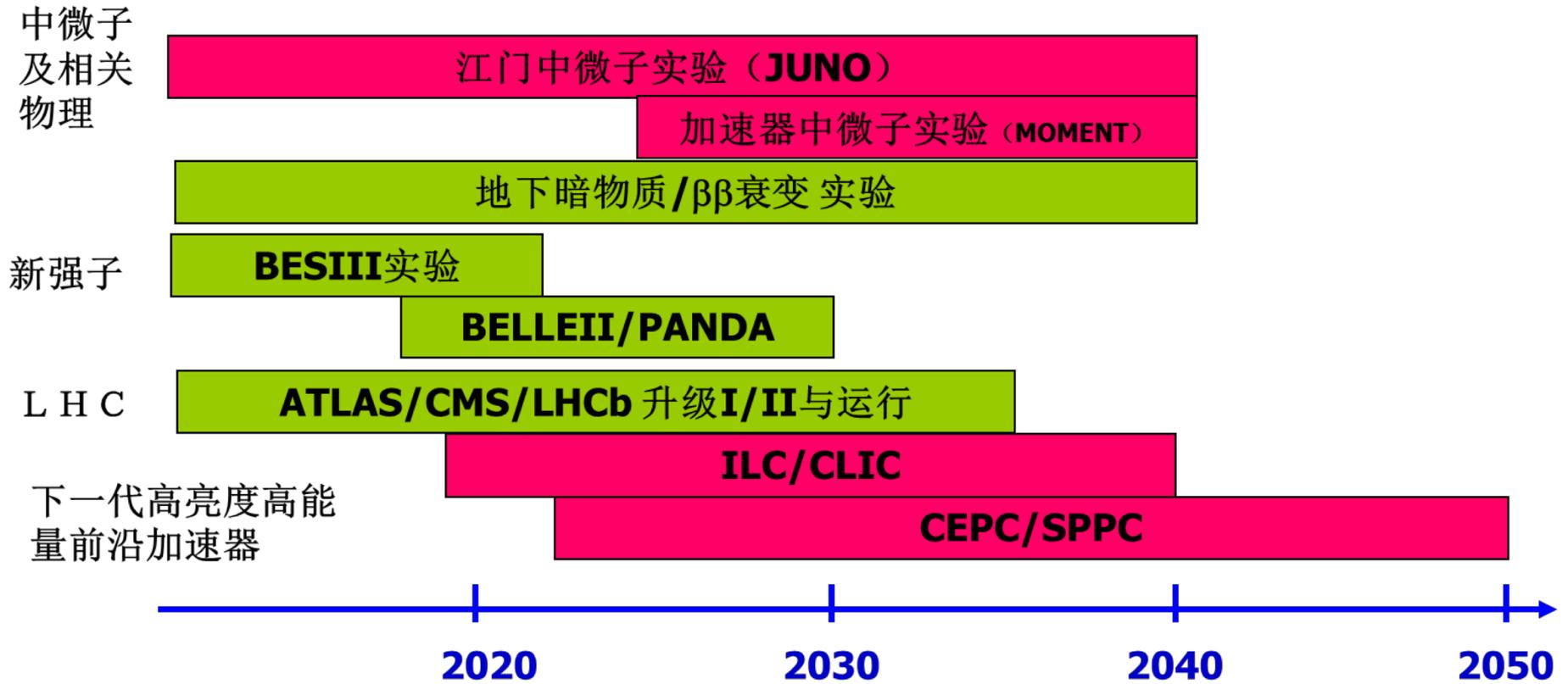
Circular Colliders

- Circular Higgs factory (phase I) + super pp collider (phase II) in the same tunnel



Precision @ e+e- collider
Energy @ pp collider

高能物理的中国梦





环行正负电子对撞机

(CEBC-SPPC) 项目启动会

2013. 9. 13—14. 北京



CEPC = Circular Electron-Positron Collider

SppC = Super Proton-Proton Collider

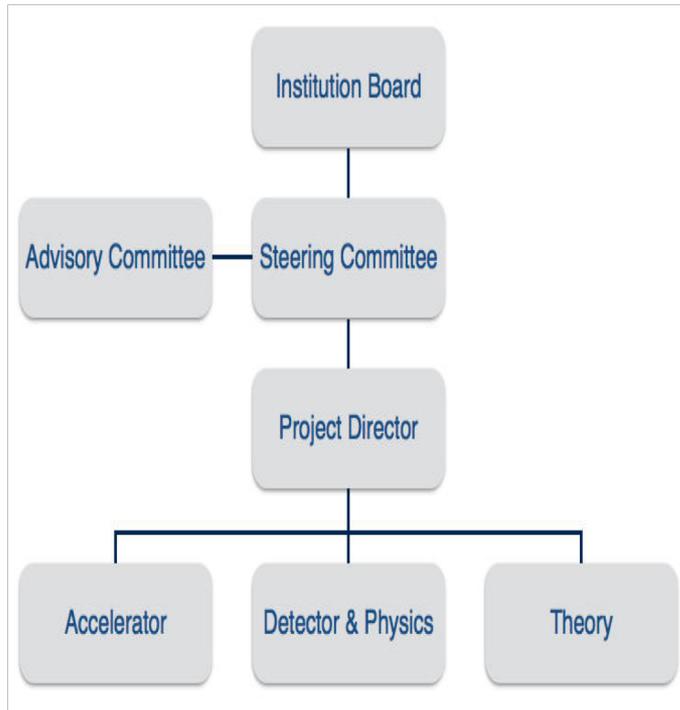
BEPC = Beijing Electron-Positron Collider

CEPC = Circular Electron-Positron Collider

SppC = Super Proton-Proton Collider



CEPC+SppC 组织



Institution Board		Yuanning Gao(Tsinghua Univ,Chair) Jie Gao(IHEP, Deputy)
Steering Committee		Yifang Wang(IHEP, Chair) Hongjian He(Tsinghua Univ.) Xinchou Lou (IHEP) Shan Jin(IHEP) Qing Qin(IHEP) Haijun Yang(SJTU) Meng Wang(SDU) Nu Xu(CCNU) Yajun Mao(PKU) Jie Gao(IHEP) Yuanning Gao(Tsinghua Univ.) Jianbei Liu(USTC) Qinghong Cao(PKU)
Project Director		Xinchou Lou(IHEP) Qing Qin(IHEP, Deputy) Nu Xu(CCNU, Deputy)
Working Groups	Theory	Hongjian He (Tsinghua Univ.) Jianping Ma (ITP) Xiaogang He (SJTU)
	Accelerator	Jie Gao (IHEP) JingYu Tang (IHEP) Yunlong Chi (IHEP)
	Physics & Detector	Joao Barreiro Guimaraes Costa (IHEP) Yuanning Gao (Tsinghua Univ.) Shan Jin (IHEP)

2015年完成初步概念设计报告 (PreCDR)

IHEP-TH-2015-01

IHEP-CEPC-DR-2015-01

IHEP-AC-2015-01

Can be downloaded from

<http://cepc.ihep.ac.cn/preCDR/volume.html>

CEPC-SPPC

Preliminary Conceptual Design Report

Volume I - Physics & Detector

403 pages, 480 authors

The CEPC-SPPC Study Group

2018-12-20

March 2015

CEPC-SPPC

Preliminary Conceptual Design Report

Volume II - Accelerator

328 pages, 300 authors

The CEPC-SPPC Study Group

March 2015

Onsite field survey Sept. 4-5, 14

位于洋河左岸，青龙-乐亭公路边，表层为第四系冲洪积砾砂土及砂砾石，下部基岩为太古代片麻岩。

位于谢家沟以北约400m，距抚宁-聂口公路320m，京哈高速以北280m，表层少量残坡积，下部基岩为侏罗纪下花园组长石岩屑砂岩及粉砂岩、泥岩互层，估计30~50m以下为太古代片麻岩。

IP1: 陆庄村西北约1km，英山河村南约800m，东部约700m有陆庄-王营县道，基岩为太古代片麻岩，表层全、强风化，局部有少量侏罗纪下花园组长石岩屑砂岩与泥岩。位于高能所5千亩地范围内。

位于赵家庄和崔铁营村之间洋河河道，河道下部为第四系冲洪积砂砾石，估计厚度15~20m，下部基岩为太古代片麻岩，本处估计覆盖层为全线路最深处，因此拟在此处布置一个钻孔。竖井位于洋河，需调整位置，周围村庄较多。

大新村北约900m，沿沟屯村西南约1200m，距津秦客运专线约450m。该处基岩裸露，岩性为侏罗纪张家口组角砾凝灰岩、熔结凝灰岩及流纹岩。基本为农田，附近有一砖厂。^{56.27}

位于寒江峪村东北约1km，交通不便，基岩为太古代片麻岩，表层全、强风化。

大黄金山村西约600m，距榆林甸-沿海公路约430m，距小黄金山村-曹西庄村村道约680m，交通不便。地表少量薄层残坡积覆盖，下部基岩为太古代片麻岩和片岩。

龙虎庄村南约300m，102国道北380m，基岩为太古代片麻岩，表层全、强风化。基本为农田，附近有少量房屋建筑。

IP2: 政庄北，距津秦客运专线约1km，有村道相通。东部黄土覆盖，估计厚度小于10m，西部为中生代斑状二长花岗岩。周围民宅较多。

位于抚宁西部兔儿山中，山区交通不便，距津秦客运专线约600m，岩性为中生代斑状二长花岗岩、花岗岩。

位于滑石后水库大坝西南约1200m，距坟坨-滑石后村道约760m，山区交通不便，岩性为中生代斑状二长花岗岩、花岗岩。

滑石后水库

基本地质图的比例尺是1:50,000

F. Yan

IP4: 刘各庄村西，距湾子-曹东庄公路约930m，有村道相通，东部有洋河灌溉引水渠，该点地表覆盖黄土夹碎石，估计厚度2m左右，下部基岩为太古代片麻岩和片岩。拟在此处布置一个钻孔。基本为农田。

苏官营村西北约950m，苏家沟村东北约750m，交通不便。地表少量薄层残坡积覆盖，下部基岩为太古代片麻岩和片岩。

白家拨子村西，102国道北约220m。地表少量薄层残坡积覆盖，下部基岩为太古代片麻岩和片岩。目前竖井位置有民宅。

IP3: 位于小所各村南约900m，小所各南山北，距京秦铁路660m，场址南部为一小水库，水库北部为溢洪道。该处地表仅覆盖薄层残坡积，下部基岩为太古代片麻岩和片岩。周围基本为农田，调整洞线时应注意尽量避开铁路、水库溢洪道等。

五各庄村-滑石后水库之间，五各庄村-滑石后水库村道南约280m。表层为含砾黄土状土，厚度估计小于5m，下部基岩为中生代斑状二长花岗岩。附近有炉料加工厂及核电厂拟选场址。

CEPC Facilities & Tunnels

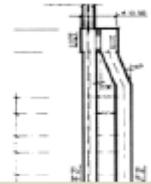
建筑物总体布局说明 (续)

基本布局考虑

- 根据地形，隧道埋设深度25-75m，整体坡度1-3‰？
- 在高频段平行于主隧道设置辅助隧道，用于放置功率源、低温冷箱、水冷等；并作为本地站节点。
- 在对撞区设辅助隧道，作为运输通道以及增强器、sppc的避让通道。在合适的位置设置本站。

环区域地下建筑物

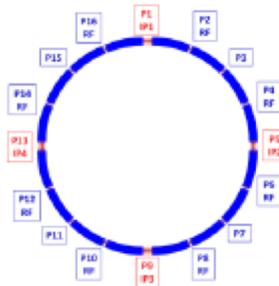
- 主环隧道
 - 长度：700*4+176*12+3043*16=53600m
 - 截面：直径 6.5 m (8 m?)



地下隧道建设 - 施工方法，防、排水，通风，辐射防护，电子仪器厅，....
 地面设施 - 实验厅，供电，制冷，消防，交通，竖井，access points,
 其他 - 节能减排，工期，整体造价

同频段：(0)

- 加速器：电源厅、功率源厅、低温厅、本地站（束测、真空、控制等）、装配测试厅
- 通用设施：泵站、变电站、空调机房
- 其余直线段：(4)
 - 通风口，运输、人员、管线通道？
 - 电源厅？



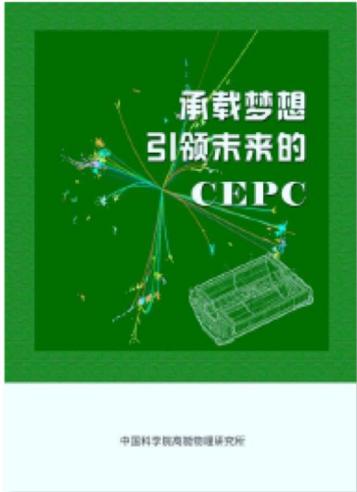
- 面积：500*21m (局部9m)
- 功率源、磁铁电源、本地站、配电、水冷站、空调机房
- 输运线隧道
 - 截面：φ 3.5m (3*3m)
 - 坡度7‰? 则水平长度约570m (按高差40m)；或台阶式，减少长度；或在高差少的位置，缩短输运线长度。
- 输运设备楼及竖井
 - 面积：60*20m
 - 磁铁电源、本地站、配电、水冷站、空调机房

works closely with accelerator group and engineering company Huanghe

基本粒子的质量起源

Outreach & education

CEPC Outreach



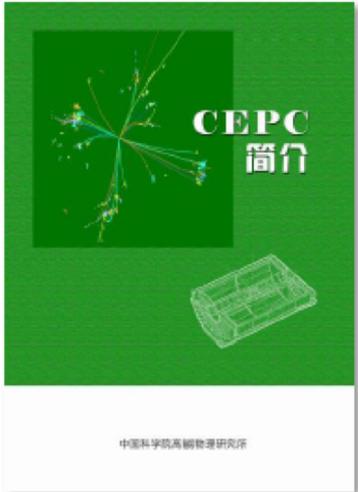
承载梦想
引领未来的
CEPC

中国科学院高能物理研究所

~ 30000字

CEPC建议
引起巨大国际反响

~10000字



CEPC
简介

中国科学院高能物理研究所

~ 6700字

CEPC
大事记



SSC
美国科学家
心中永远的痛

中国科学院高能物理研究所

~ 27000字

高能物理的
社会效益

进行中



SSC
历史与经验
简要回顾

中国科学院高能物理研究所

~ 5600字

未来的
希格斯工厂

进行中

March 11, 2015

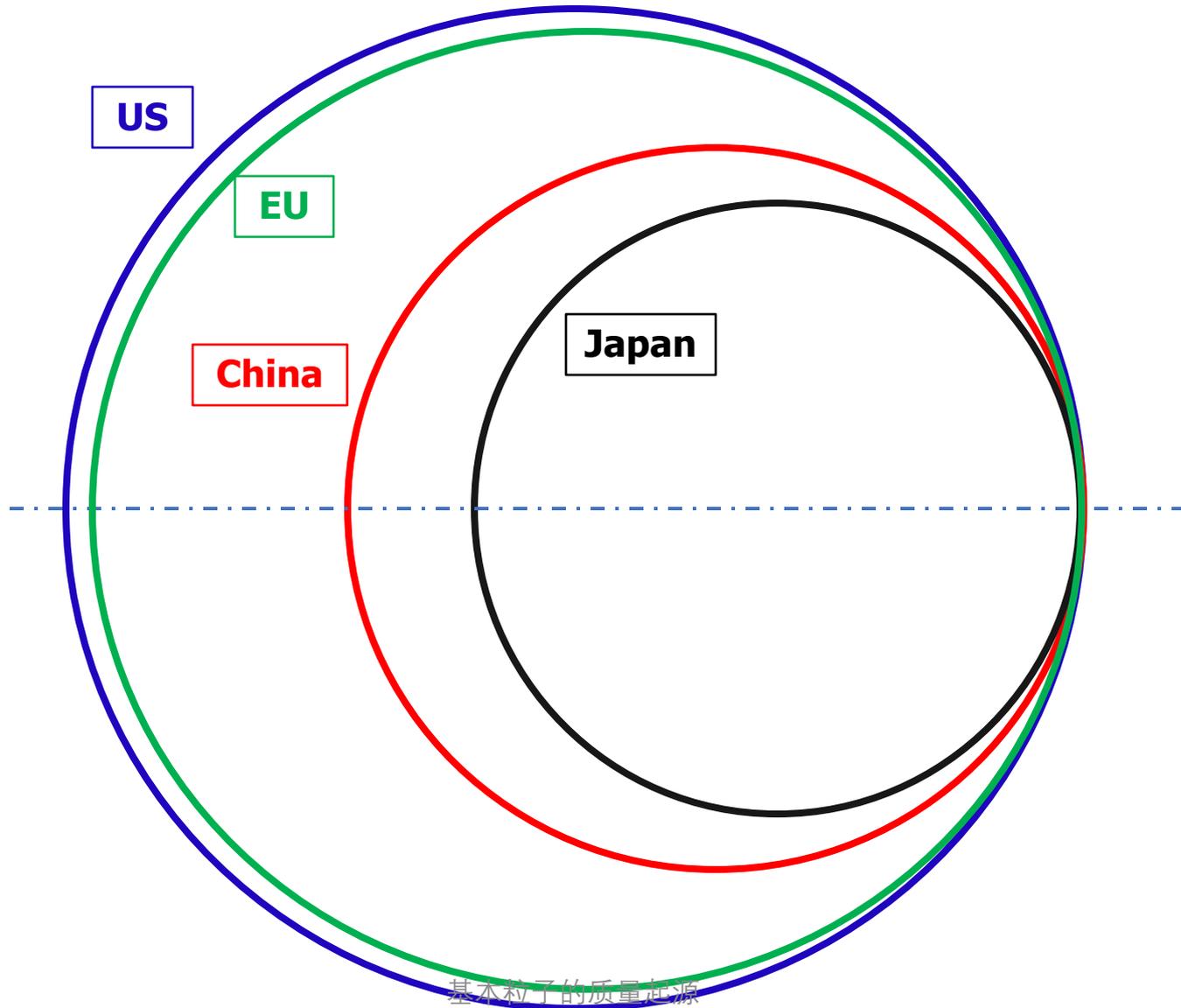
Y. Y. Zhong

32

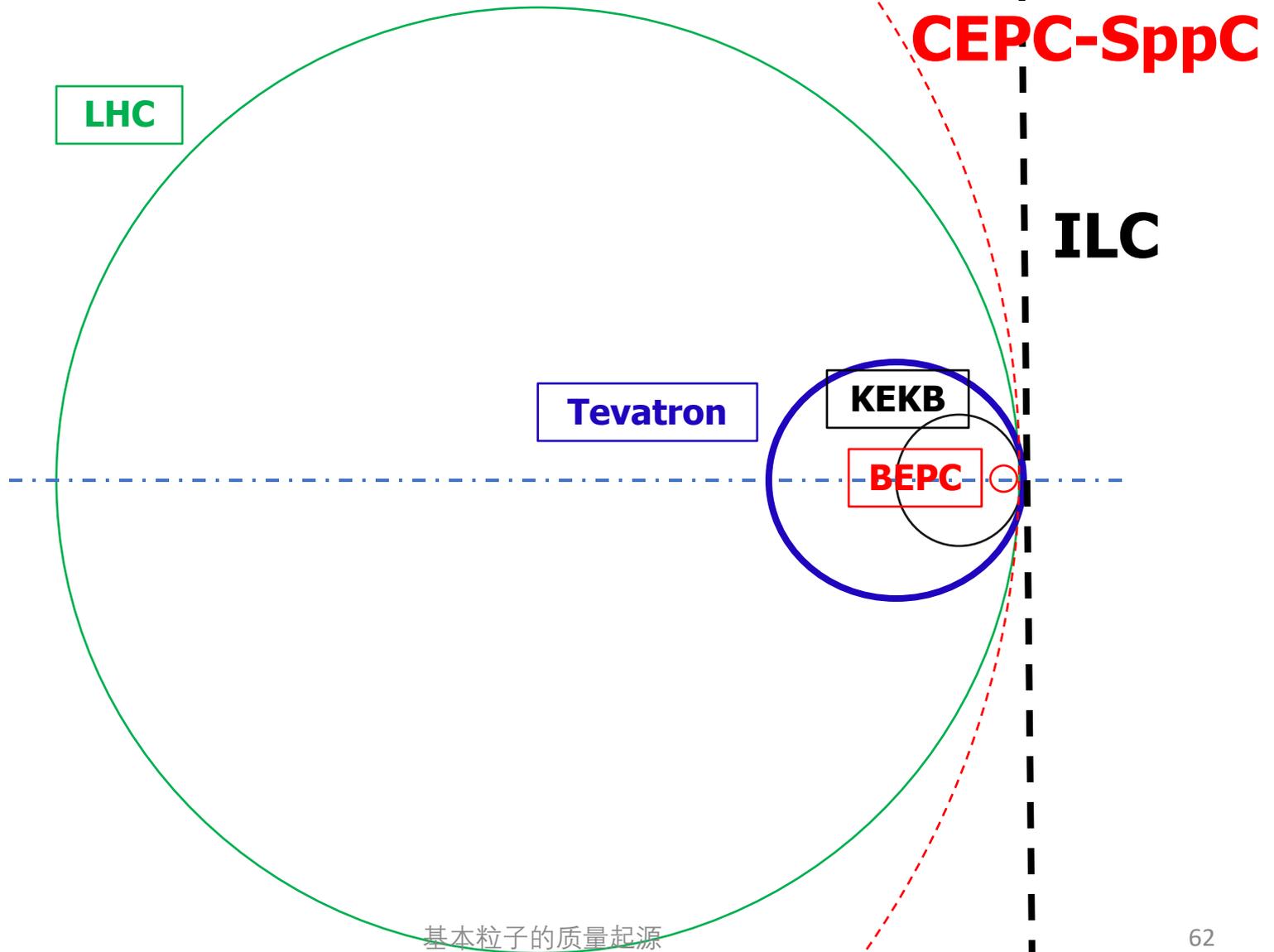
CEPC+SppC

- CEPC+SppC was proposed in Sep. 2012
- Such a machine fits our strategic needs:
 - **Science (great & definite physics)**
 - **Timing (after BEPCII)**
 - **Technological feasibility (experience at BEPC & LEP)**
 - **Manpower reality (our hands are free after ~2020)**
- **Economical scale:**
 - **BEPC cost/4 y/GDP of China in 1984 ~ 0.0001**
 - **SSC cost/10y/GDP of US in 1992 ~ 0.0001**
 - **LEP cost/8y/GDP of EU in 1984 ~ 0.0002**
 - **LHC cost/10y/GDP of EU in 2004 ~ 0.0003**
 - **ILC cost/8y/GDP of Japan in 2018 ~ 0.0002**
 - **CEPC cost/6y/GDP of China in 2020 ~ 0.00005**
 - **SPPC cost/6y/GDP of China in 2036 ~ 0.0001**

World Economic Power



World HEP Accelerators





关于建造大对撞机的论战

—— 比是否建造更重要的是如何决策？！

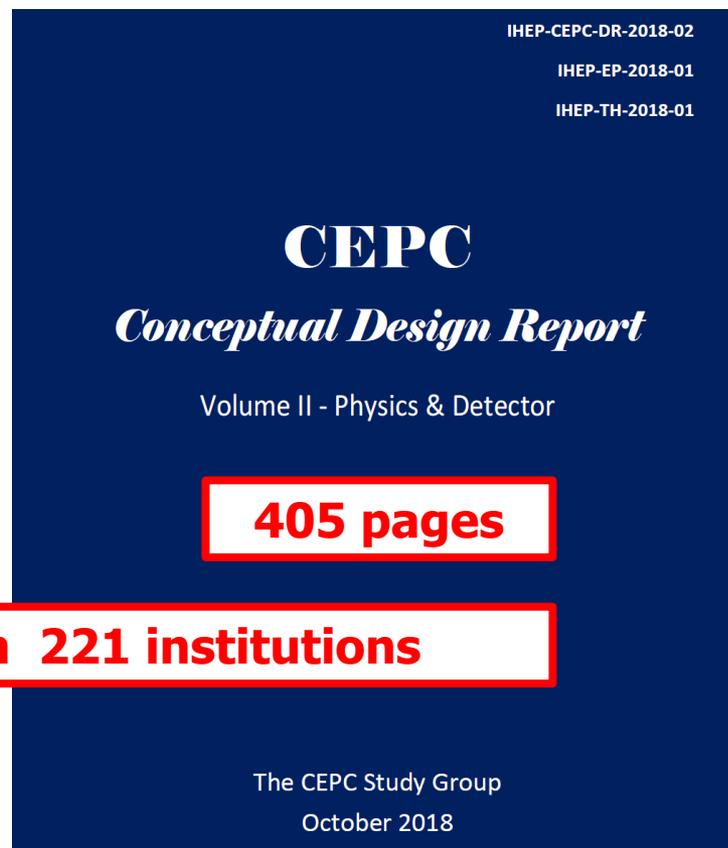
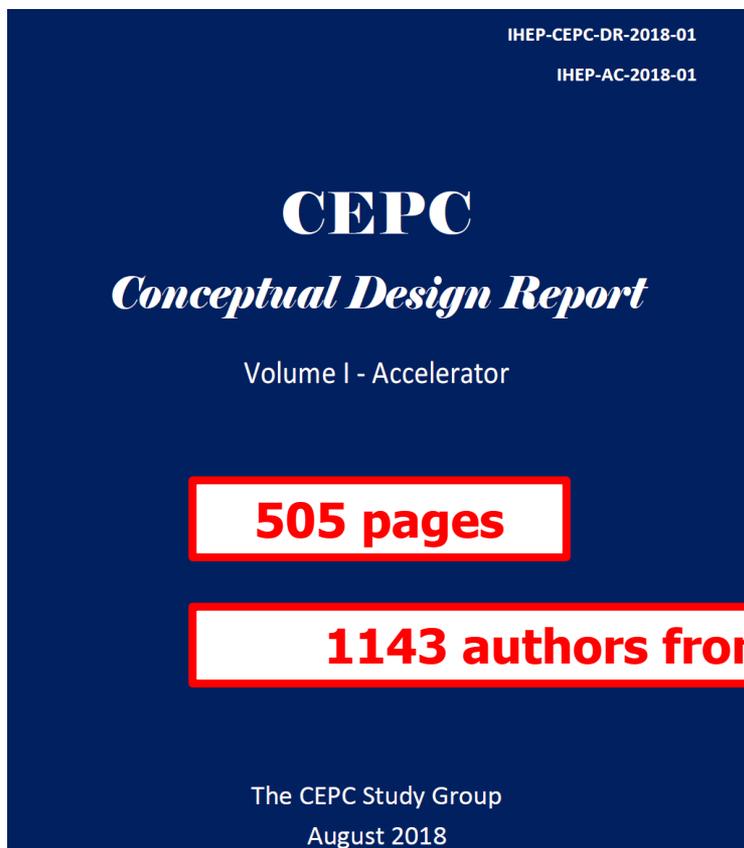
是否建造CEPC将是一个政治决策，中国科学界与国际高能界需要为决策提供科学依据，通过开展全面深入的预研究（~五年）：

- 科学目标
- 技术可行性、成熟度、国产化水平
- 基建的规划
- 工程造价
- 国际合作
- 对环境和社会的影响
- 未来的发展
- ...

CEPC的决策过程对未来有重大影响

2018年完成概念设计报告 (CDR)

<http://cepc.ihep.ac.cn/>



Australia	3
Belgium	3
Canada	3
Denmark	1
France	18
Germany	11
Indian	1
Israel	4
Italy	95
Japan	6
Korea	9
Mexico	1
Morocco	1
Netherlands	1
Pakistan	2
Russia	11
Serbia	6
South Africa	2
Spain	5
Sweden	2
Switzerland	9
UK	16
US	118

2018年11月14日CEPC概念设计报告发布



*We choose to go to the moon. We choose to go to the moon in this decade and do the other things, **not because they are easy, but because they are hard**, because that goal will serve to organize and measure the best of our energies and skills, because that challenge is one that we are willing to accept, one we are unwilling to postpone, and one which we intend to win, and the others, too.*

J.F.Kennedy, 1961

选择CEPC-SppC作为中国高能物理的未来计划，不是因为它简单，而是因为它困难，因为这个目标将有益于组织和分配我们的优势能力和技能，因为这个挑战是我们乐于接受的，因为这个挑战是我们不愿推迟的，因为这个挑战是我们打算赢得的。

CEPC承载着中国高能界的梦想



东亚百年来，除了日本，在人类文明发展的舞台缺席已久。中国恢复了，若仅是恢复到生产基地或自给自足的内需经济是不够的。中国在近代科学

文明跃升的关键时代竟曾缺席，复兴的中国岂不应以人类文明下一阶段的领航者期许自我。而我们所讨论的超大型对撞机议题，具有指标性意义，中国应当大气的扛起来，创造下一世代国际化大型尖端科学技术研究新典范，现在正是时候。

--- 侯唯恕（台湾大学教授）



与人们常有的误解不同，科幻小说并不是在预测未来，它只是把未来的各种可能性排列出来，…

但有一点可以确定：从长远的时间尺度来看，在这无数可能的未来中，不管地球达到了怎样的繁荣，那些没有
太空航行
的未来都是暗淡的。

刘慈欣



与人们常有的误解不同，科幻小说并不是在预测未来，它只是把未来的各种可能性排列出来，…

但有一点可以确定：从长远的时间尺度来看，在这无数可能的未来中，不管地球达到了怎样的繁荣，那些没有

太空航行 + **对撞机**
的未来都是暗淡的。

刘慈欣