

# 上帝粒子希格斯

对称性、自发破缺、质量、希格斯玻色子、标准模型



邢志忠

2014 · 5 · 17

公共科学日

# 1915年，诺特发现守恒律与对称性的内在关联

Emmy Noether

1915年证明

1918年发表

动量

能量

电荷

...

...

诺特小姐是自女子高等教育有史以来所造就的最具创造力的数学天才

——爱因斯坦



# 1918年，外尔发现电荷守恒源自电磁规范对称

Hermann Weyl



$$\Psi \rightarrow \Psi e^{i\theta(x)}$$



**神奇后果：**

**传递电磁力的光子没有质量！**

# 光子与爱因斯坦跳槽的故事

光电效应：光子1905（爱因斯坦1921获诺奖）

1913年，Planck 与 Nernst 拜访身在苏黎世的爱因斯坦，开出一人计划的条件，请他去柏林工作....



我  
爱  
情  
工  
作  
两  
不  
误

我  
跟  
着  
表  
弟  
去  
上  
班

# 杨振宁：我的学习与研究经历 《物理》 2012

我在芝加哥找的第三个题目是关于泡利的有名的综述报告中关于电磁学之规范不变性。我对此很妙的不变性非常感兴趣，想把它推广。为什么当时我的同时代的研究生们没有也这么想呢？

电磁规范不变性



强核力规范不变性



Yang-Mills Theory

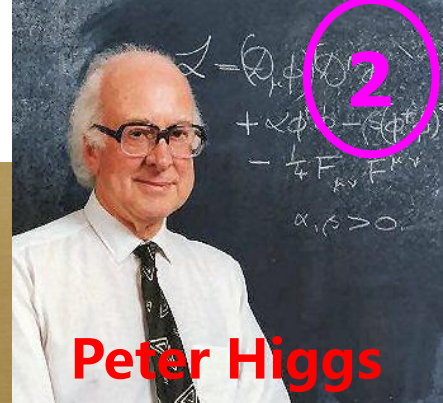
# 发表才是硬道理

有了这项突破，我们循着麦克斯韦理论的发展方法，很快就写下了很漂亮的规范场方程式。可是新问题出现了：这些方程式似乎显示要有带电荷而质量为零的粒子，这是没有见过的粒子，也是理论上讲不通的。这个问题给我们带来了大半年的复杂而未能解决问题的计算，中间还有一段泡利为难我的故事。最后我们决定虽然此问题没有解决，但整个想法太漂亮，应该发表，于是1954年6月写了一篇文章寄给Phys. Rev.，幸而立刻被接受了，于10月初发表。

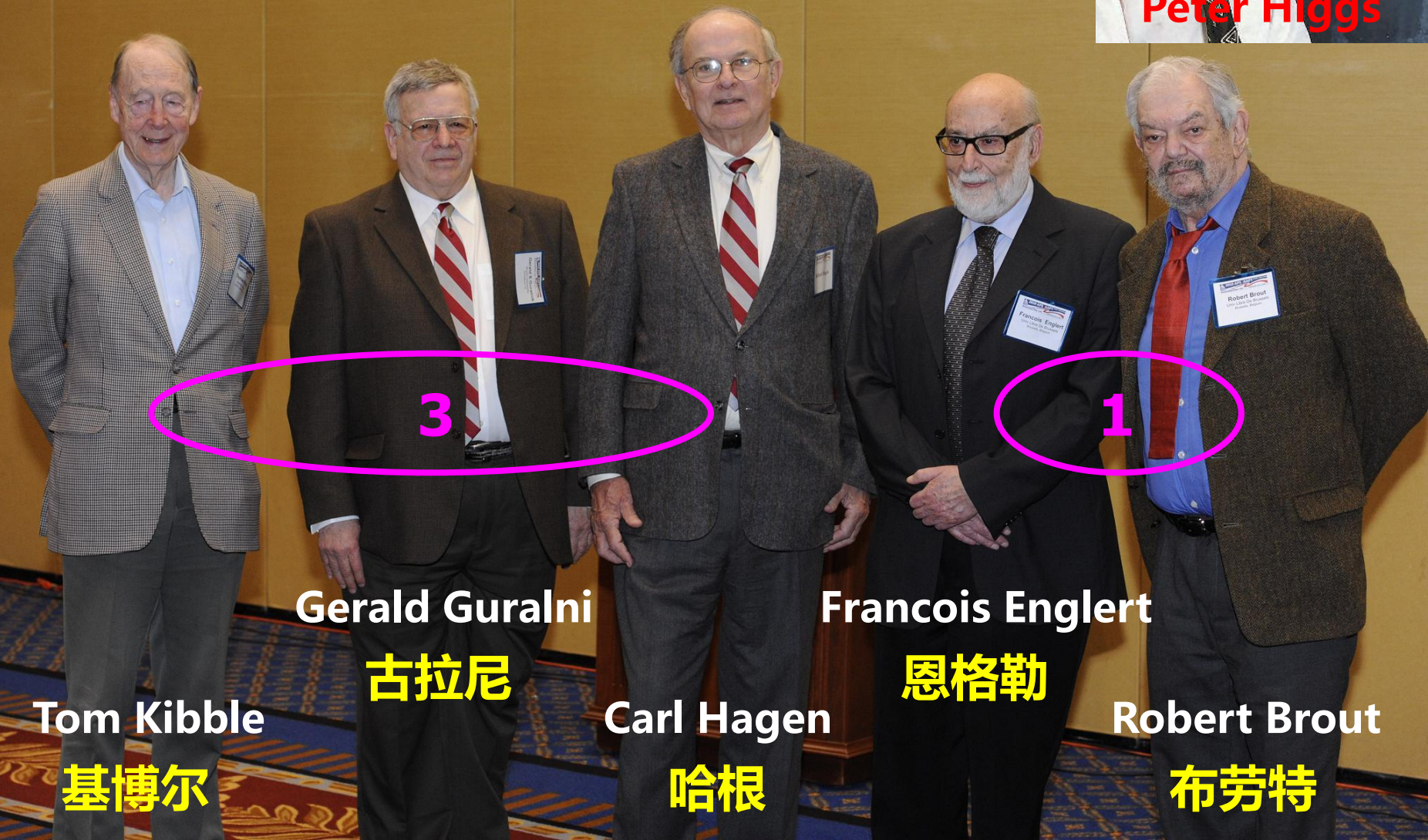
这篇文章是我一生最重要的工作，虽然未竟全功，但是决定当时发表是极正确的。我从而认识到：物理中的难题，往往不能求一举完全解决。



# 1964: 布劳特-恩格勒-希格斯机制



1964年，三组物理学家差不多同时发现了一个机制



Tom Kibble  
基博尔

Gerald Guralni  
古拉尼

Carl Hagen  
哈根

Francois Englert  
恩格勒

Robert Brout  
布劳特

作者	期刊	投稿时间	发表时间
恩格勒、布劳特	《物理评论快报》1964 年第13卷第321页	1964年6月 26日	1964年8月 31日
希格斯	《物理快报》1964年第 12卷第132页	1964年7月 27日	1964年9月 15日
希格斯	《物理评论快报》1964 年第13卷第508页	1964年8月 31日	1964年10月 19日
古拉尔尼克、哈 根、基布尔	《物理评论快报》1964 年第13卷第585页	1964年10月 12日	1964年11月 16日

## 我们向希格斯老师学习什么？

- ★ 一生在一个领域只发表**10**篇论文，论文平均引用率**700**次。
- ★ 其余时间专心教书，好像也不带学生，然后耐心等待获奖。



太不公平了!



# 真空：系统能量最低的状态

定域规范对称性 (杨-米尔斯场论)：所有粒子都无质量

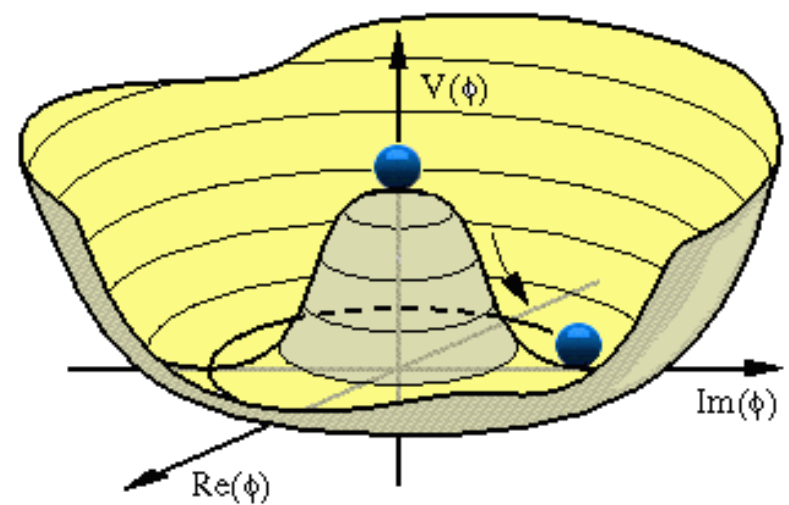
戈德斯通定理：连续对称性自发破缺产生零质量玻色子

希格斯机制：前者“吃掉”后者，形成有质量的玻色子

$$y = |x|^2$$
$$y = (|x| - a)^2$$



取**真空**确定点，则**对称性自发破缺**。沿着**最小势能谷**的量子激发对应**零质量的粒子**；沿着**谷壁**的量子激发对应**希格斯粒子**。



# 希格斯机制：给政治家一个说法

David Miller的获奖作品

Margaret Thatcher



希格斯场  
在整个宇  
宙空间均  
匀分布



基本粒子撒切尔夫人与希格斯场  
发生作用而获得了质量

# 希格斯玻色子

如果你看到了希格斯粒子，也许更容易相信希格斯场的确存在。

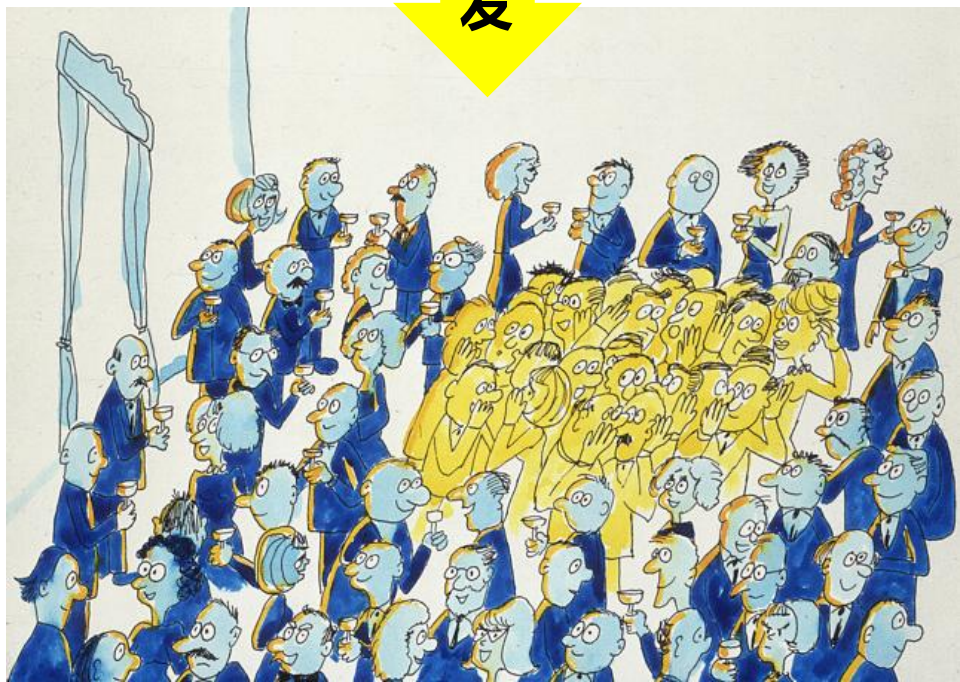
希格斯在整个宇宙空间均匀分布

量子激发



我可没有喝到香槟

David Miller



# 希格斯机制 = 温伯格的马桶？

VOLUME 19, NUMBER 21

PHYSICAL REVIEW LETTERS

20 NOVEMBER 1967

## A MODEL OF LEPTONS\*

Steven Weinberg†

Laboratory for Nuclear Science and Physics Department,  
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts  
(Received 17 October 1967)

四年零引用

电磁力与弱核力的统一

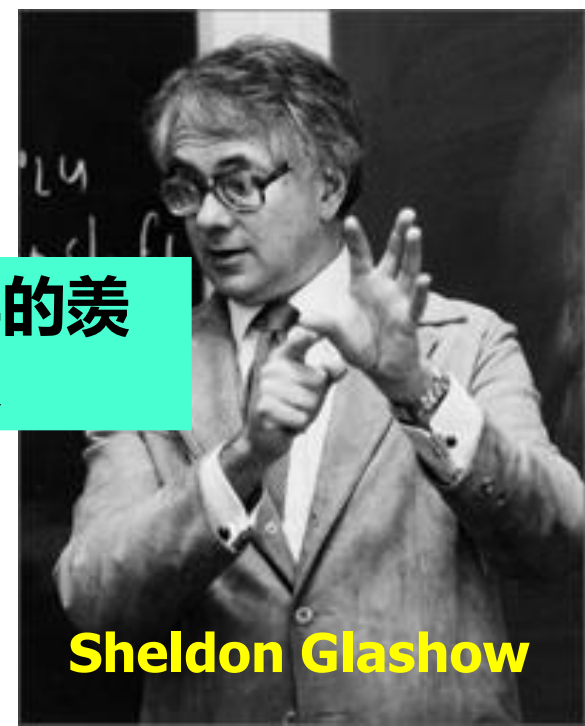
Higgs mechanism  
is  
Weinberg's toilet!



Steven Weinberg



同班同学的羡慕嫉妒恨



Sheldon Glashow

# “I can do that” ——空中飞人的喜与悲



巨蟹座

导师：Martinus Veltman

1971

学生：Gerard 't Hooft

规范理论可重整性的证明



巨蟹座

# W/Z玻色子1983

1967年建立的弱电统一模型预言了传递弱核力的W与Z玻色子的存在, 1983年在CERN发现了这两类粒子。



Sheldon Lee Glashow



Abdus Salam



Steven Weinberg

理论家



1979年诺奖



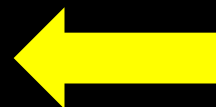
实验家

Carlo Rubbia



工程师

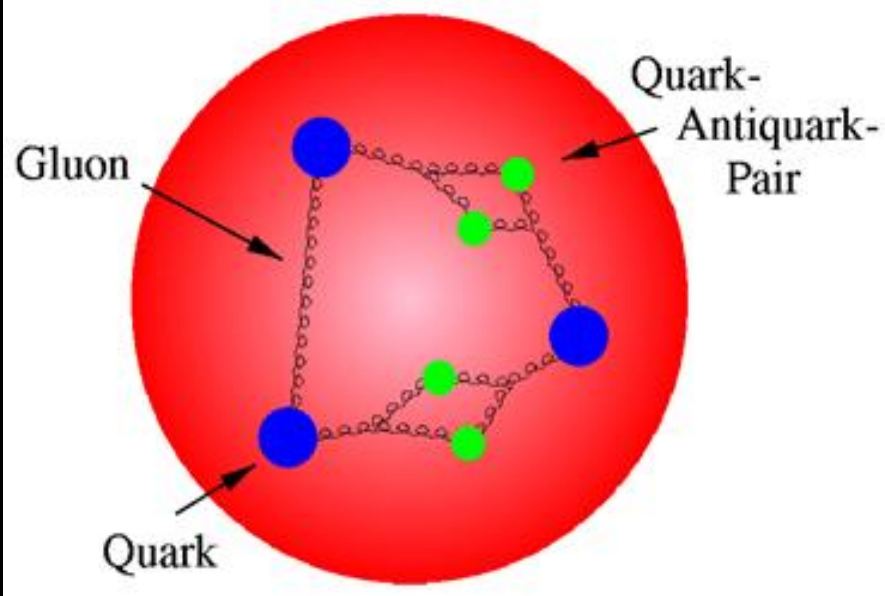
Simon van der Meer



1984年诺奖

# 胶子1979

1962年Gell-Mann提出了胶子的概念, 1979年 Soeding, Wiik, Wolf 和吴秀兰发现三胶子喷柱。



# 色禁闭



1972~1973年Fritzsch和Gell-Mann提出了量子色动力学的基本理论, 1973年Gross, Wilczek和Politzer证明了强核力的渐近自由性质。

# 渐近自由

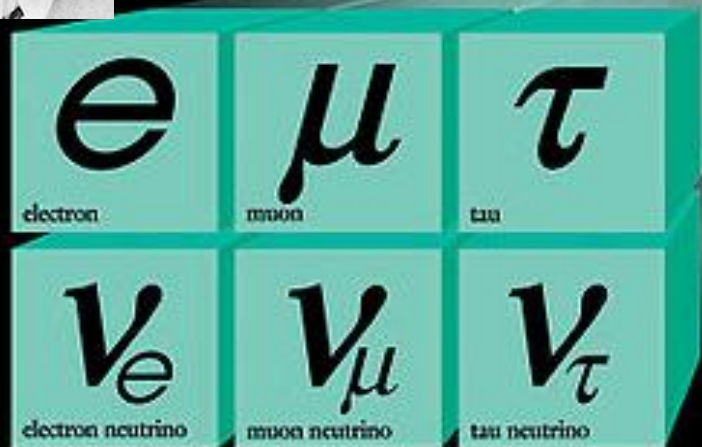
Harald Fritzsch

Murray Gell-Mann

# Quarks 夸克



构成物质基本组分的自旋为二分之一的粒子叫做费米子

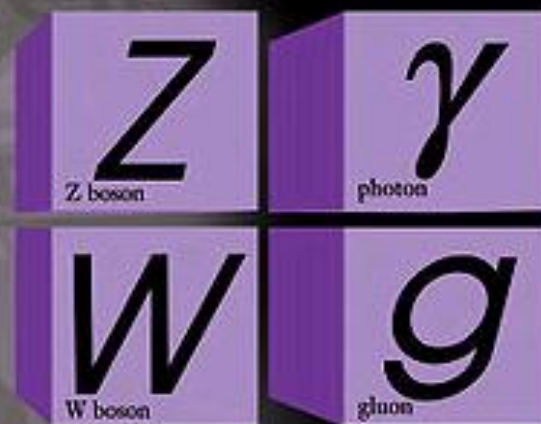


# Leptons 轻子

# 基本粒子的标准模型

[电磁力 + 弱作用 + 强作用]

## Forces



自旋为零

传递相互作用力的自旋为整数的基本粒子叫做玻色子



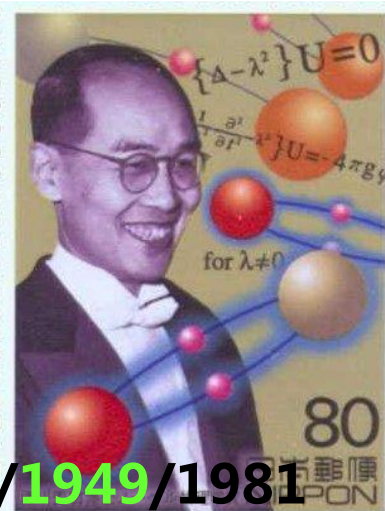
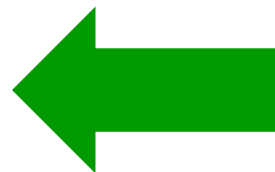


# 自然界的四种力：第五种力？

	强度	范围	传播子	质量
强核力	1	$10^{-15}$ m	胶子/ $\pi$ 介子	$\sim 10^2$ MeV
电磁力	1 / 137	$\infty$	光子	= 0
弱核力	$10^{-6}$	$10^{-18}$ m	W/Z/H?	$\sim 10^2$ GeV
引力	$6 \times 10^{-39}$	$\infty$	引力子	= 0

力的传播子质量  $M$  与力的作用范围  $R$  之间的关系:

$$M \simeq \frac{200 \text{ MeV} \times 10^{-15} \text{ m}}{R}$$



汤川秀树(Hideki Yukawa): 一炮而红的诺奖得主 1907/1935/1949/1981

# 大型强子对撞机

-----能量前沿是发现新物理的平台

-----发表一篇文章共有三千人署名

LHC  
Let's have coffee!

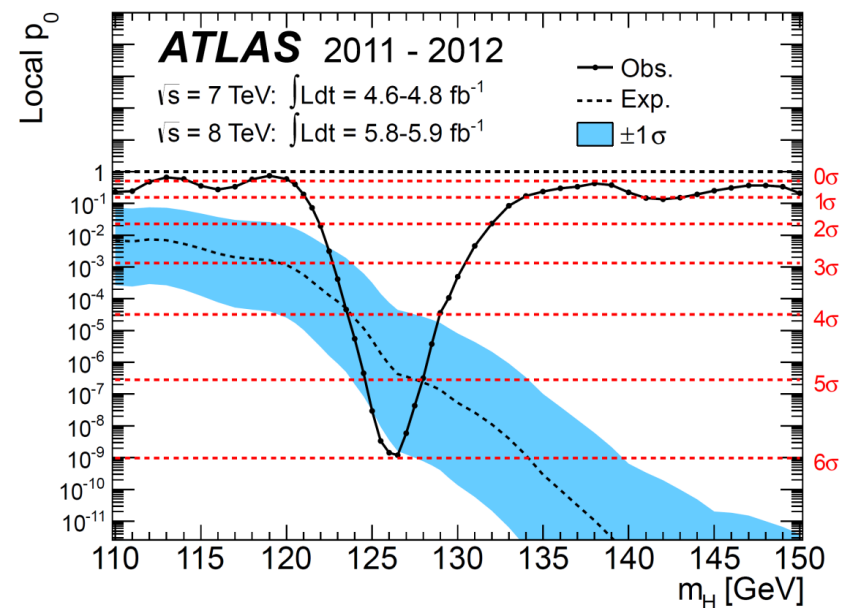
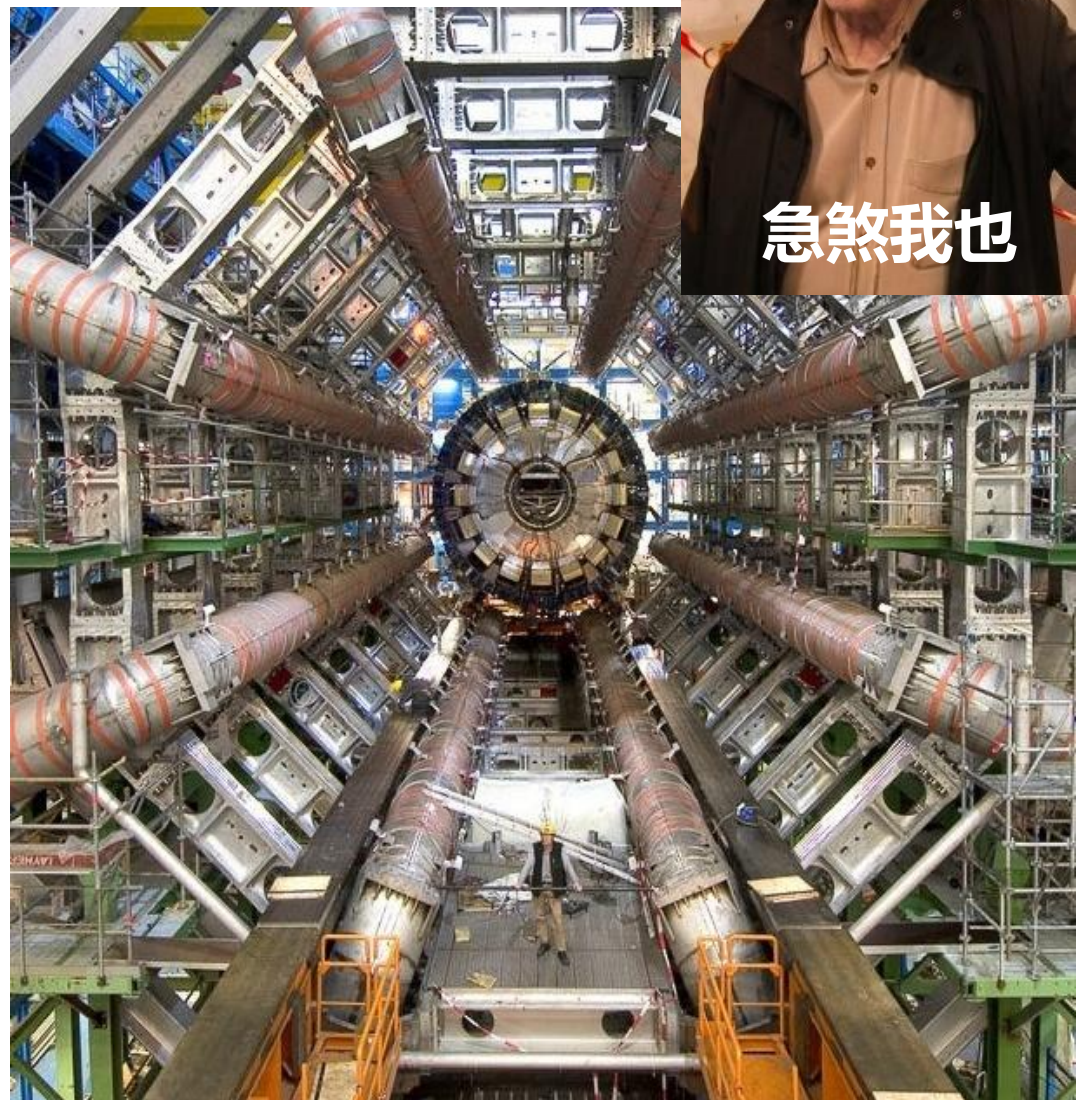
## Big Science

质量起源问题  
暗物质  
超对称  
额外维  
宇宙早期状态

# 揭开神秘面纱的时刻: 2012.7.4



急煞我也



**114 GeV...141 GeV  $\rightarrow$  125 GeV**

# 获奖人果然是.... Englert 和 Higgs !



**希格斯:** 亲, 我打算把奖金分十份存银行! **恩格勒:** 啊啊啊!

# 前后呼应: Brout 与 Englert 友谊地久天长



1928  
1956  
1959  
1961  
2011

神马都是浮云: 诺奖与一生的友情相比, 又算得了什么?

