# 探索高能量物质世界的奥密

张华桥，高能物理研究所

zhanghq@ihep.ac.cn

https://people.ucas.edu.cn/~zhanghq

2025 年 11 月 30 日

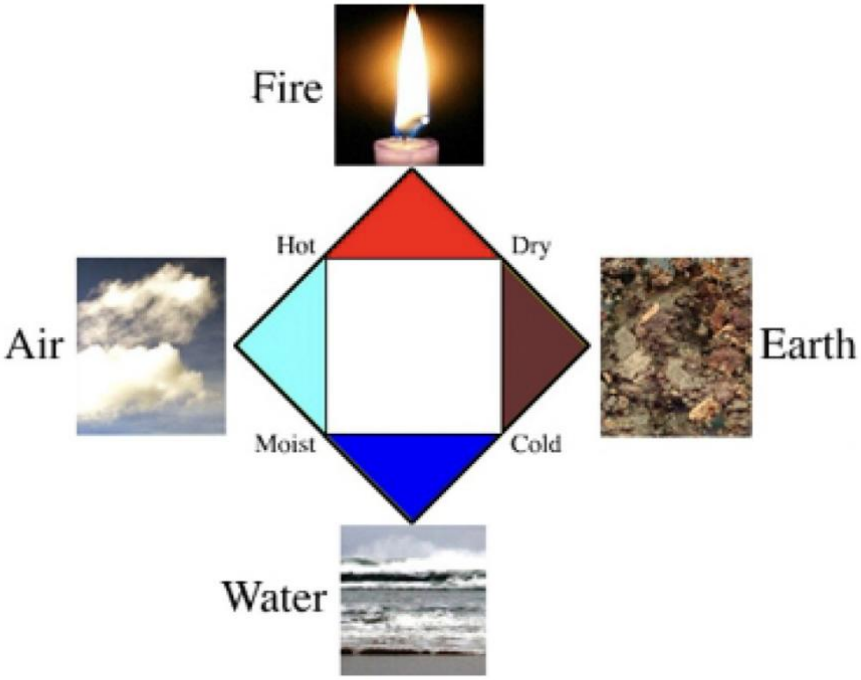
国科物语 宗旨：搭建青年教师和本科生交流平台，为本科生提供物理专业信息！

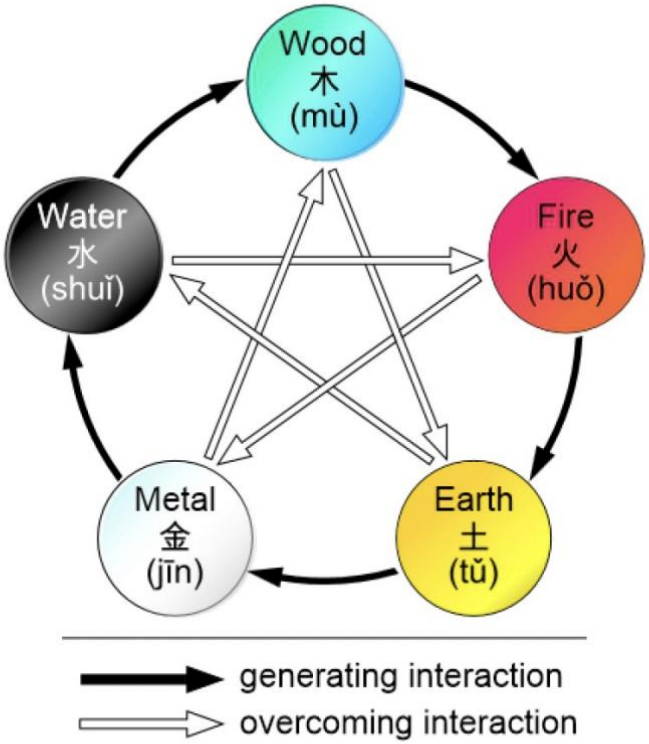
# 问题的提出

What's the world made of ?

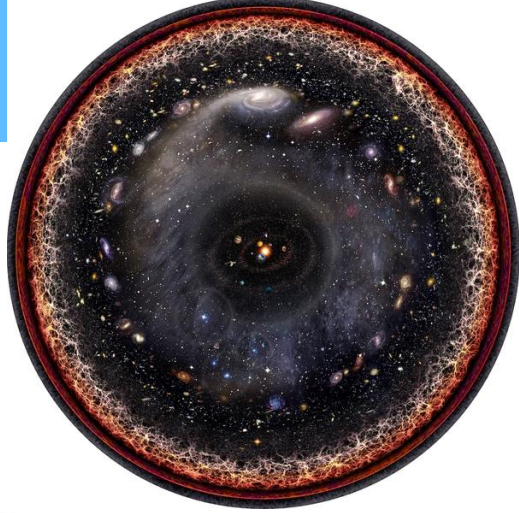
How does the world work?

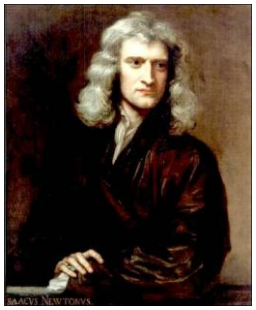
# ～3000年前


Fire
Air
Earth
Water
Hot
Dry
Moist
Cold


Wood
木
(mù)
Fire
火
(huǒ)
Earth
土
(tǔ)
Metal
金
(jīn)
Water
水
(shuǐ)
generating interaction
overcoming interaction

# 近代



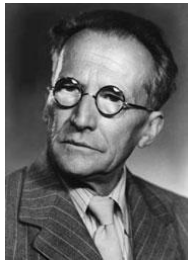


经典力学(1687))

微观

宇观

高速

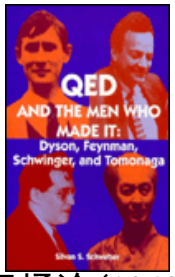


量子力学(1905)

狭义相对论(1905)

广义相对论(1915)

宇宙学、天文学



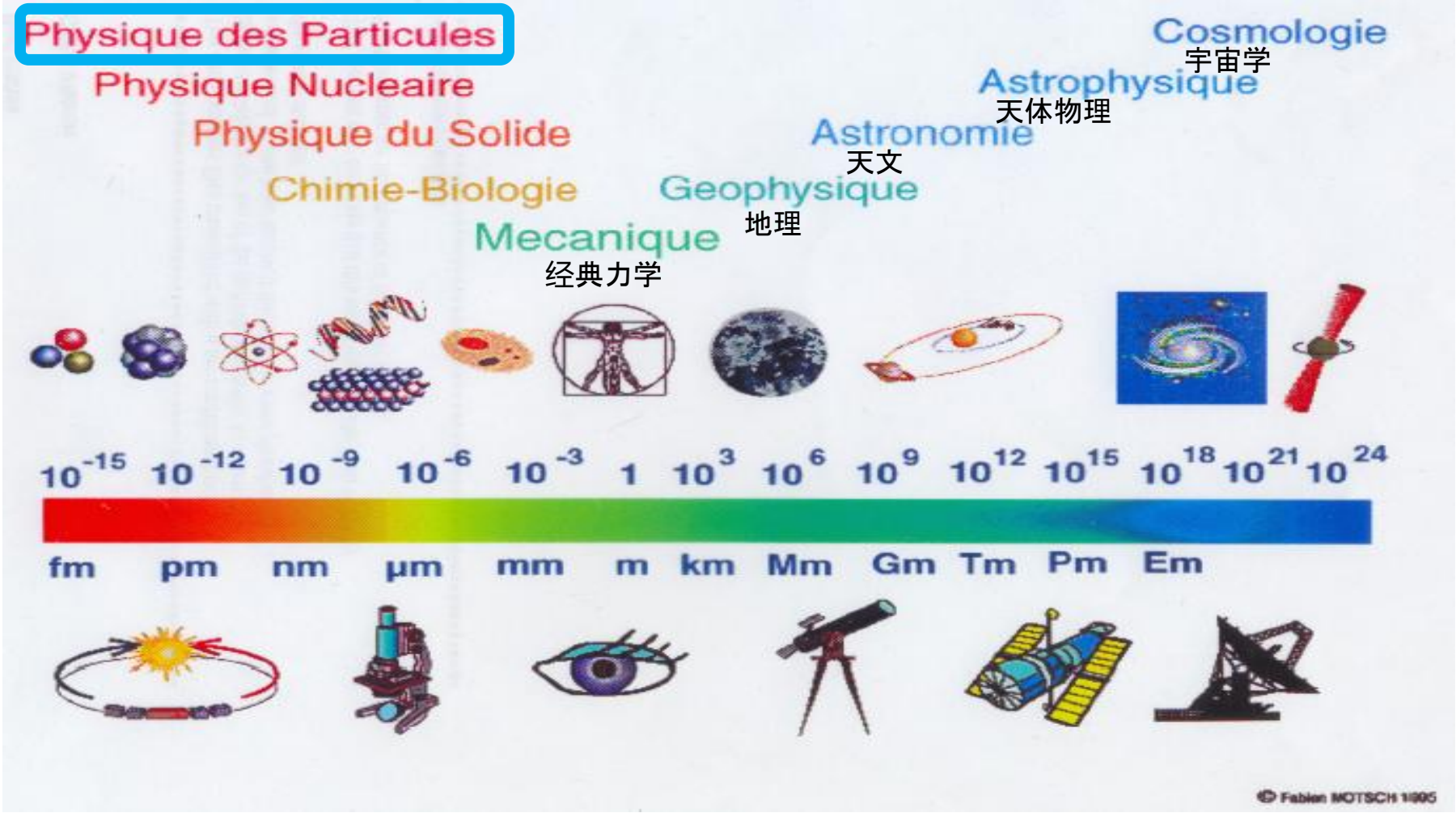

量子场论(1940's)

粒子物理学(标准模型)

? 大统一理论

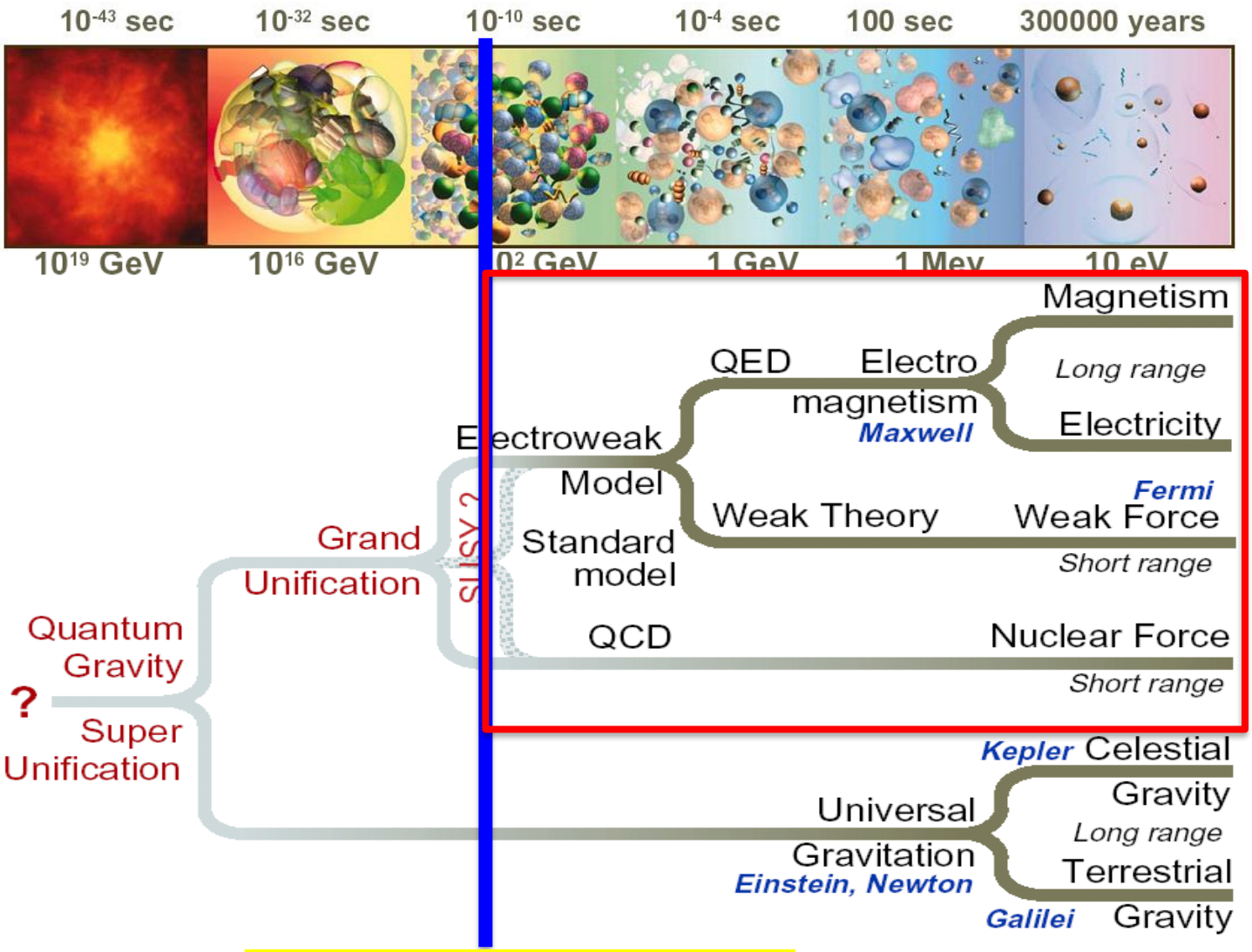
# 我们研究的物质范畴

上知天文，下知地理




**40 orders of magnitude**

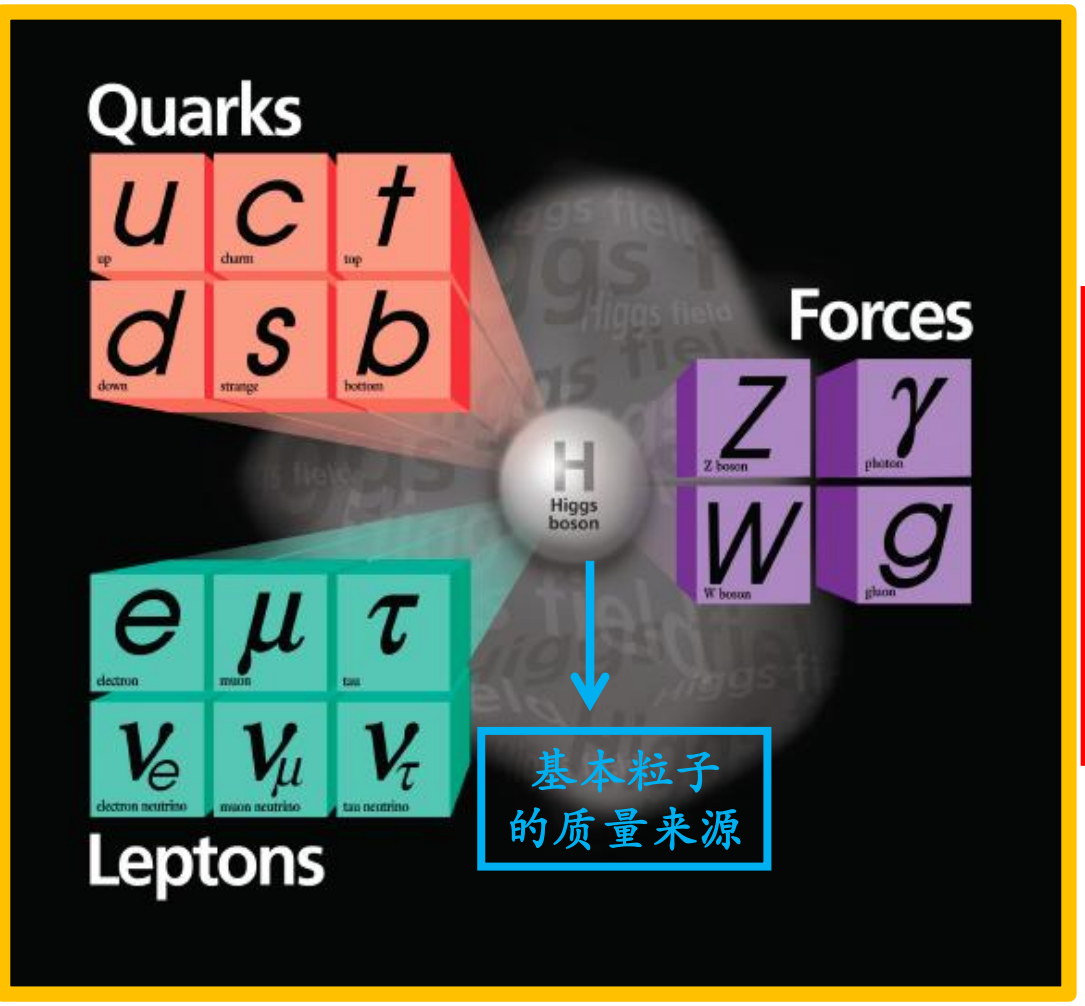
# 高能物理:探索极大与极小的结合




大型强子对撞机(LHC)能量

# 目前我们所知道的

## ✦构成物质的基本单元:




粒子物理标准模型
电磁、弱、强相互作用

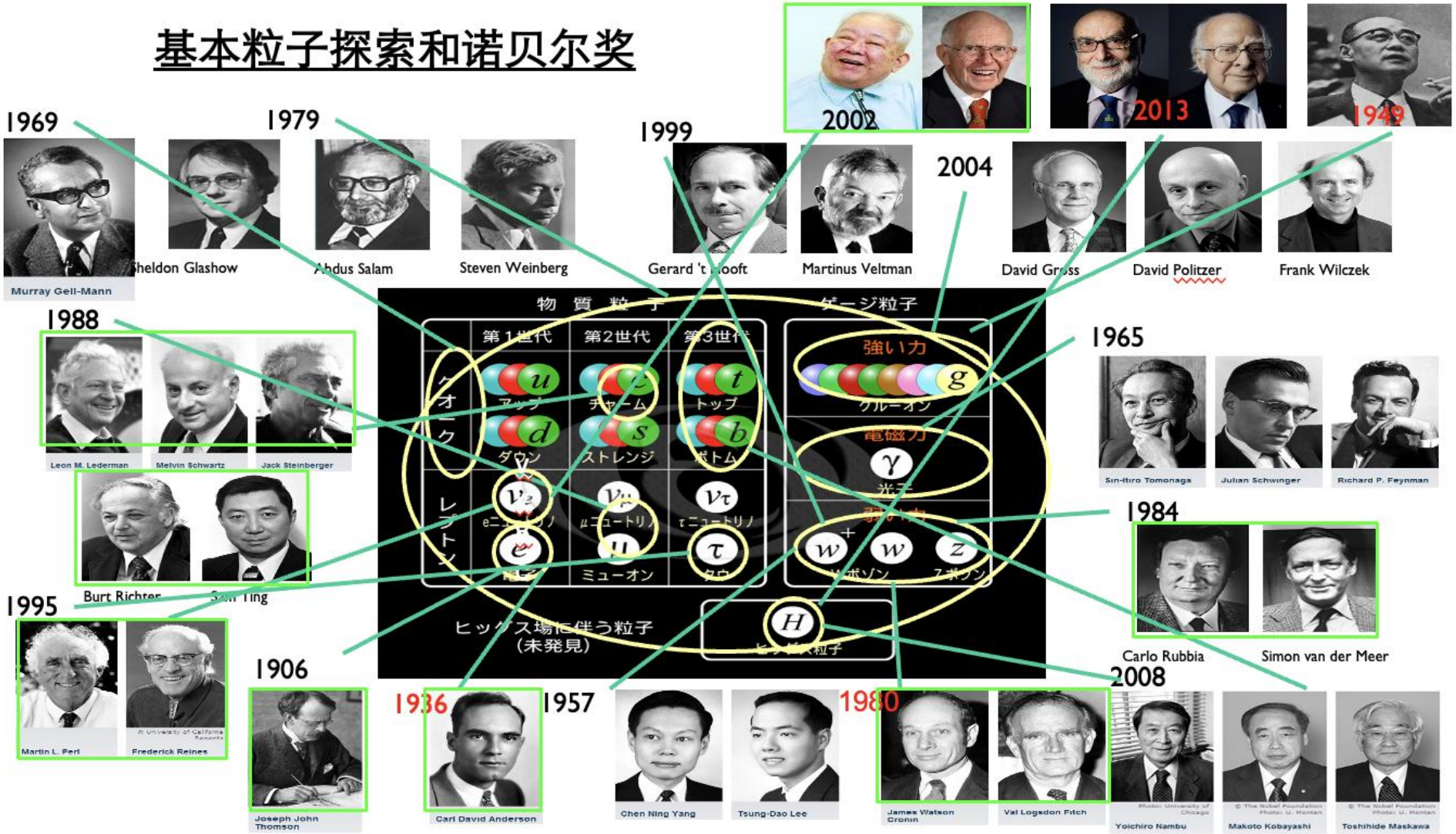
电磁相互作用：量子电动力学

强相互作用:量子色动力学

弱相互作用：量子味动力学

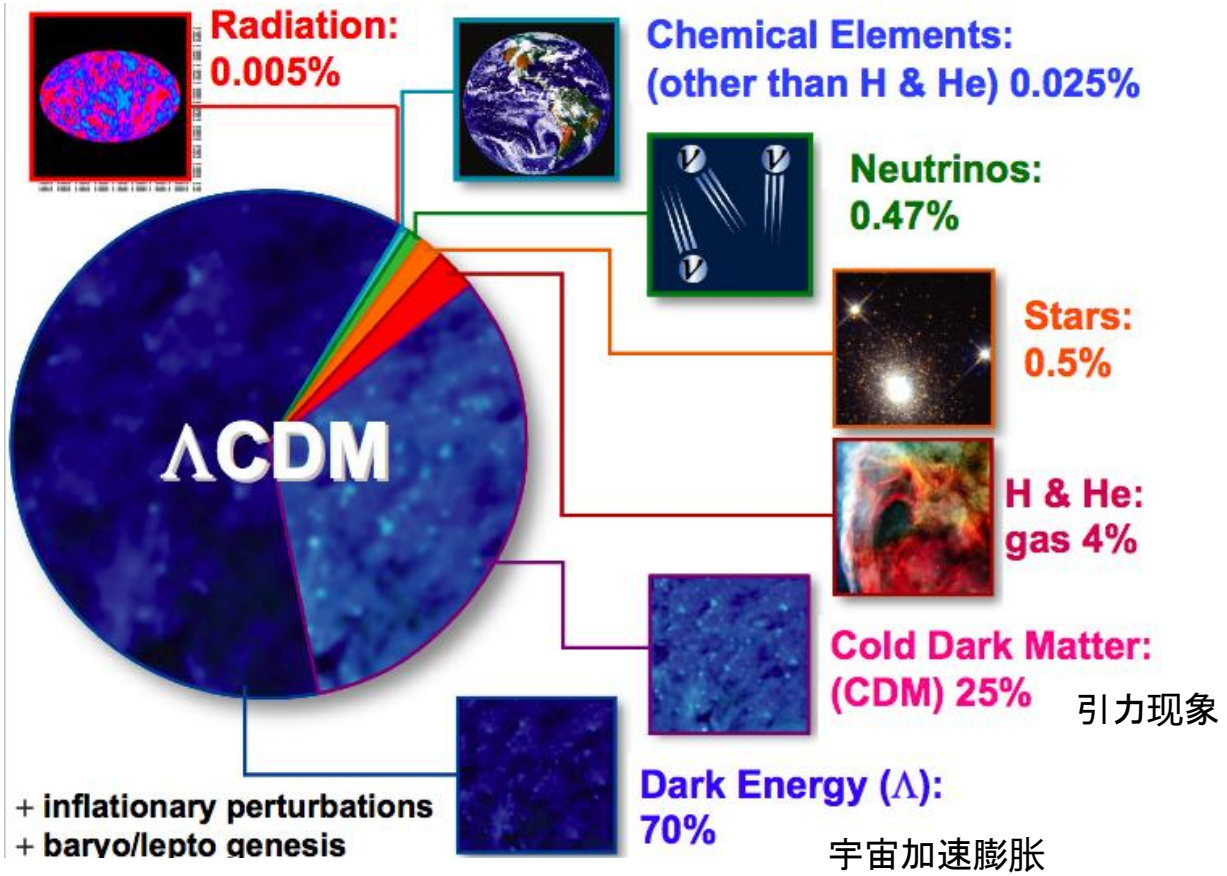
引力：量子引力

# 基本粒子探索和诺贝尔奖

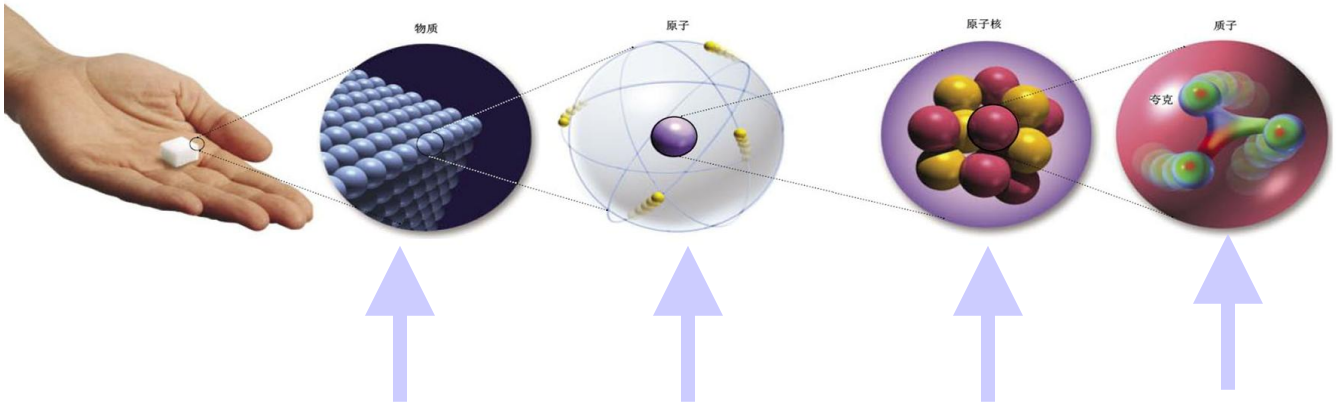


# 目前我们知道我们所不知道的...

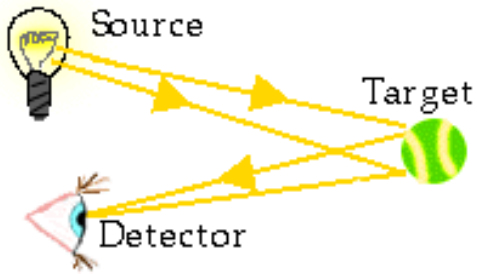
Λ为宇宙学常数，解释暗能量的项
CDM = 冷暗物质
ΛCDM为尝试解释宇宙微波背景辐射、宇宙大尺度结构以及宇宙加速膨胀的超新星观测的最简单的模型

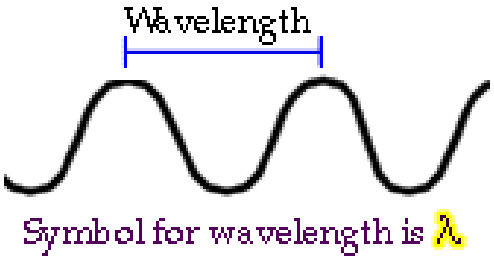


# 我们的研究逻辑




## 但是，怎么观察极小的现象？




$$d \sim \frac{\hbar c}{E}$$

LHC～TeV

$10^{-19}$m

# 我们的研究方法

碰撞两个粒子，看产生的碎片和其他奇妙的事物

# 近年来高能量前沿的主要粒子对撞机

Z粒子等
精确测量

顶夸克

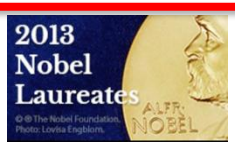
上帝粒子

欧洲 LEP

美国 Tevatron

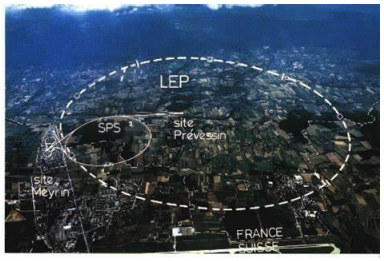
欧洲 LHC

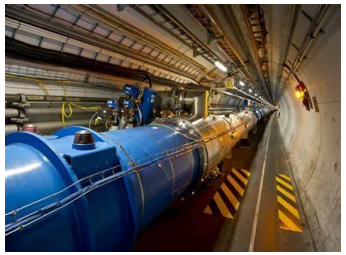
未来对撞机（中国/欧洲/日本）

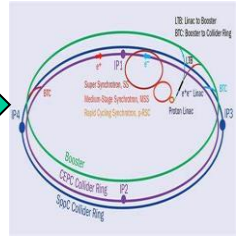



希格斯粒子精确测量

1980 2000 2020 2040

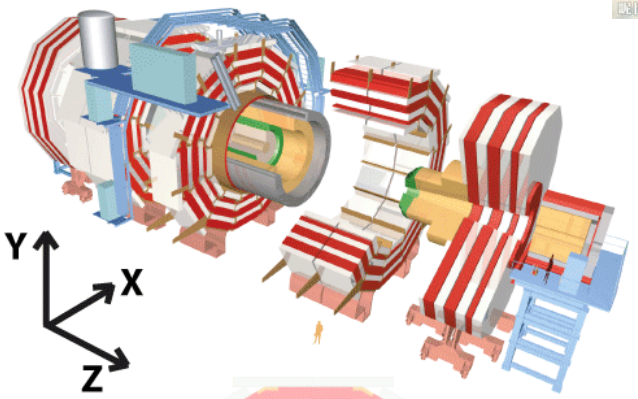


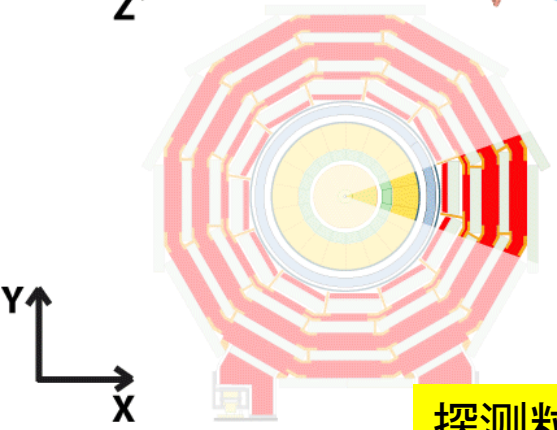


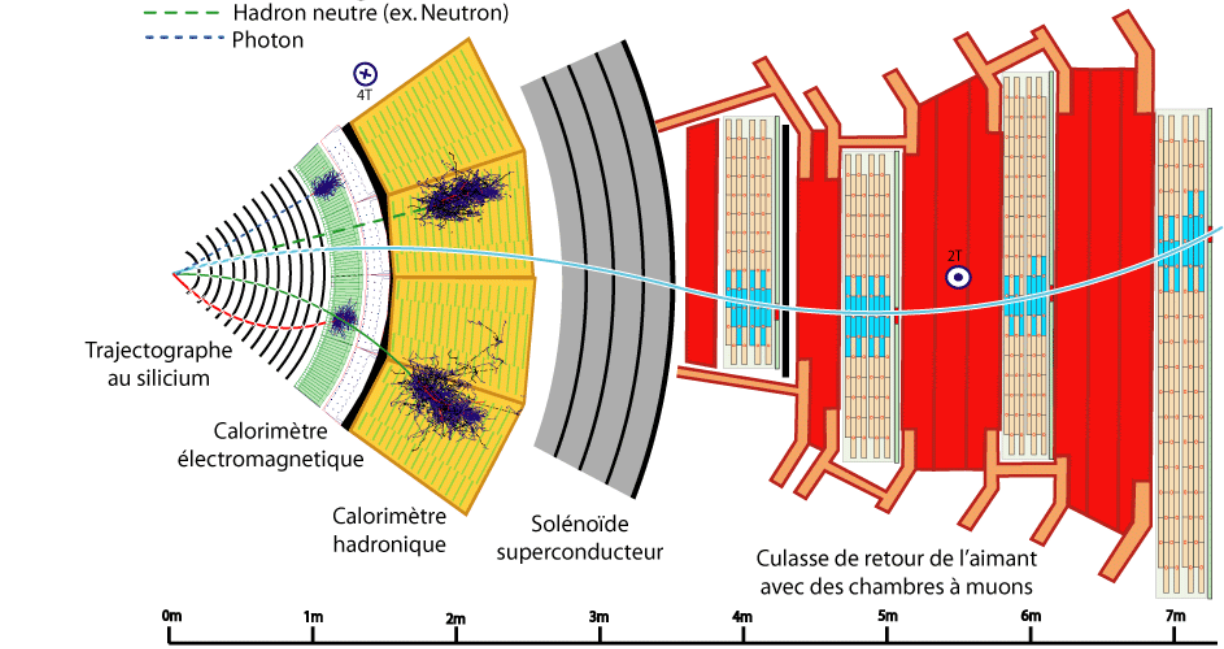


# 典型的高能粒子物理探测器

探测粒子：光子
探测能量：～几个eV



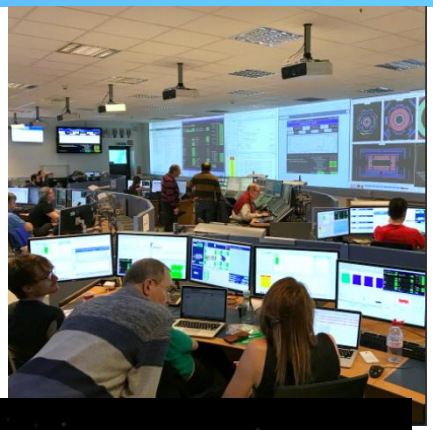



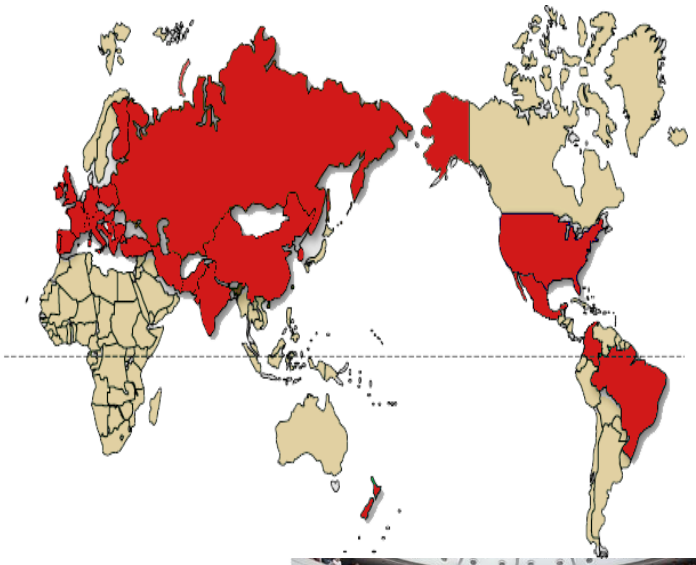




探测粒子：光子，电子，谬子，强子，介子等多种粒子
探测能量：GeV 到 TeV

# 我们的工作方式

世界各地的近万科学家在日内瓦郊区建立运行实验装置，并在世界各地进行相关的物理研究





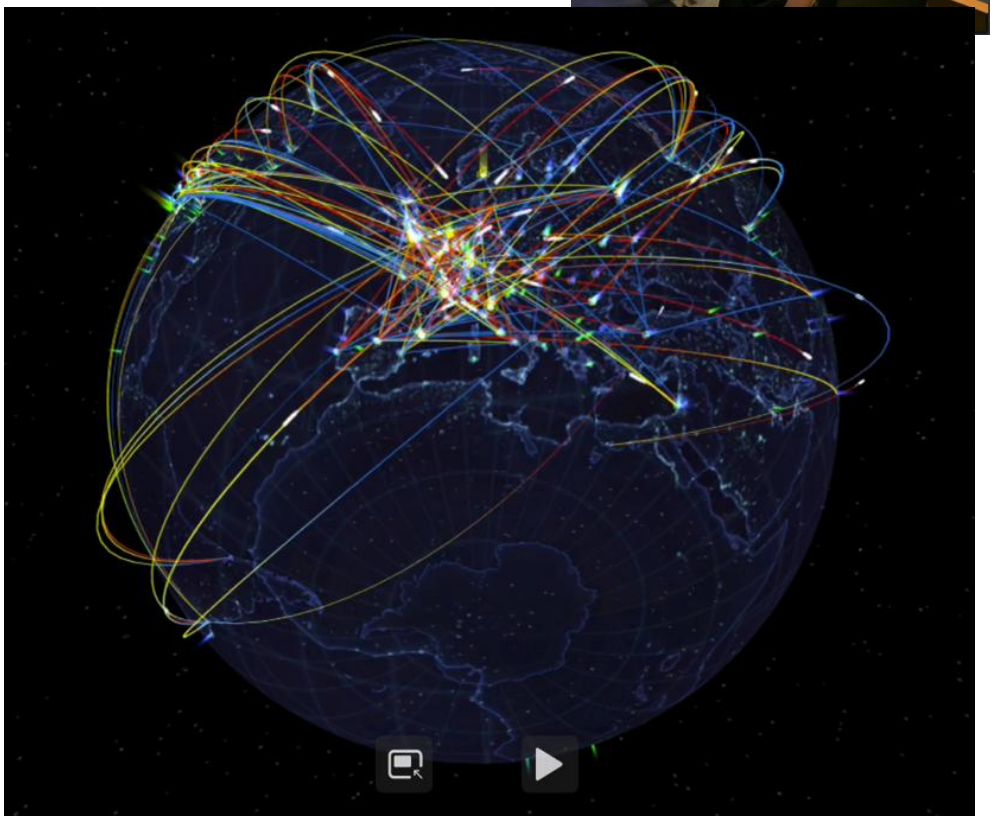
**CMS members**

216 Full Members

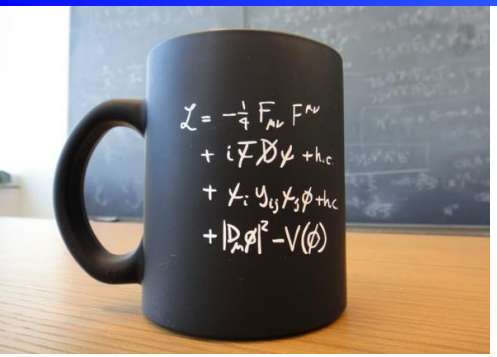
28 Associate Members

10 Cooperating Members

| 2070 | 1194 | 1354 | 985 | 251 | 110 |
|---|---|---|---|---|---|
| Phd Physicists (401 women 1669 men) | Physics Doctoral Students (327 women 867 men) | Non Doctoral Students (371 women 983 men) | Engineers (148 women 837 men) | Technicians (22 women 229 men) | Administratives (70 women 40 men) |



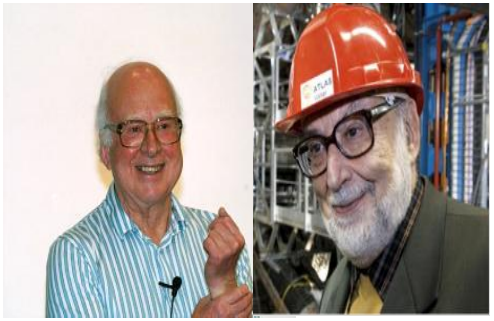
# 研究问题1: 基本粒子的质量起源是什么



## 希格斯粒子:基本粒子的质量起源

与玻色子耦合

- Higgs 机制
- 2012年发现希格斯时发现



2013年诺贝尔奖

Highlights of the Year

December 17, 2018 • *Physics* 11, 129

*Physics* picks its favorite stories from 2018.

与费米子耦合

- **第五种力**
- **～2018观测到三种**(第三代)

与自己自耦合

- **第六种力**
- 需LHC取数到2035年

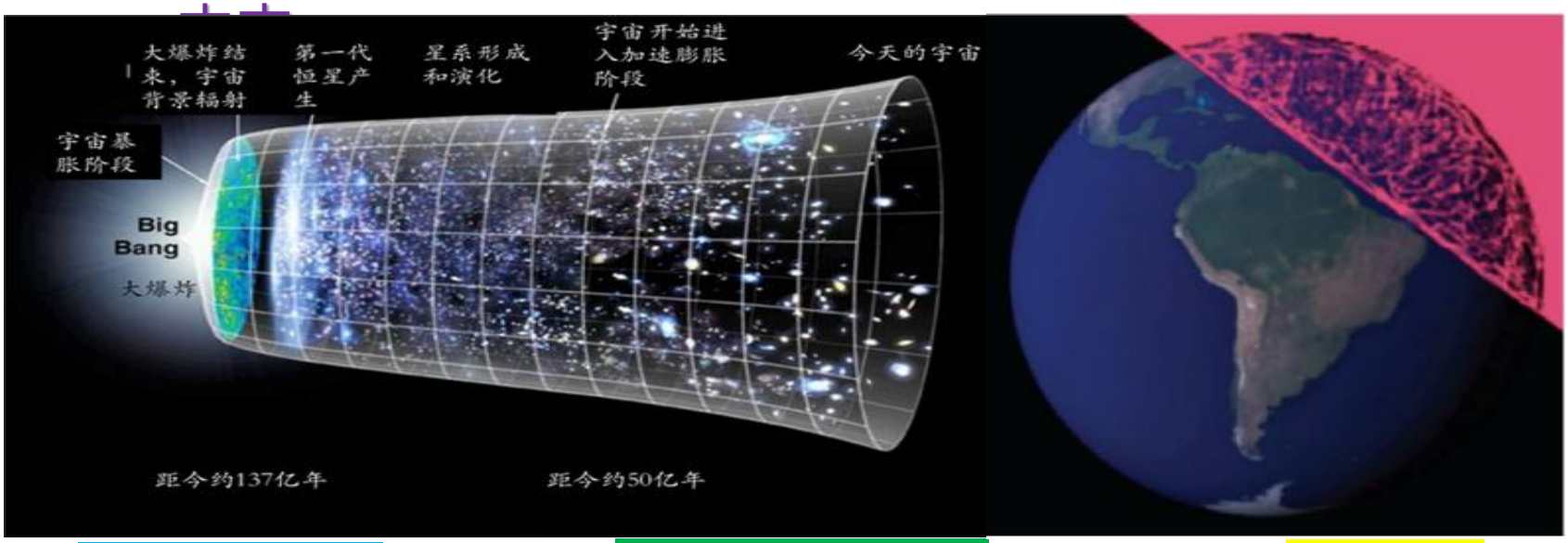
**宇宙早期是否存在相变**

希格斯玻色子的质量，宽度，CP等性质测量

**LHC质子-质子对撞决定了精确测量极限**

# 研究问题2: 宇宙的过去，现在，将来可能是什么样

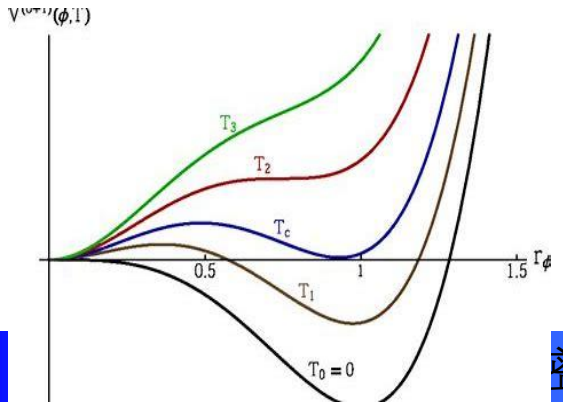
- 精确研究希格斯粒子相互作用,了解宇宙的过去，现在

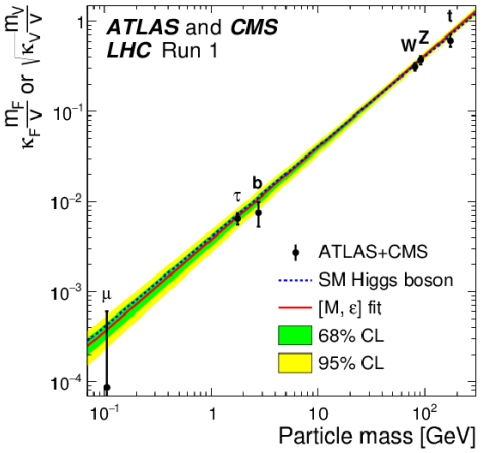


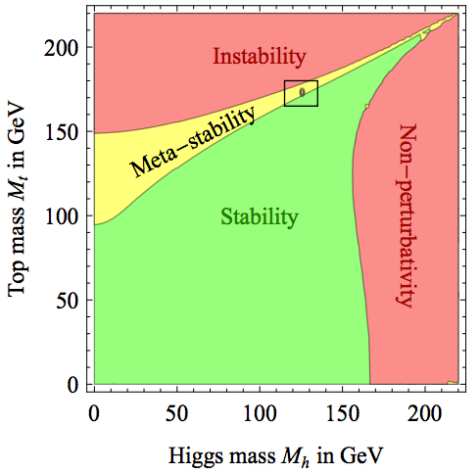

早期宇宙是否存在电弱相变

原子半径大小;基本粒子质量来源

真空是否稳定

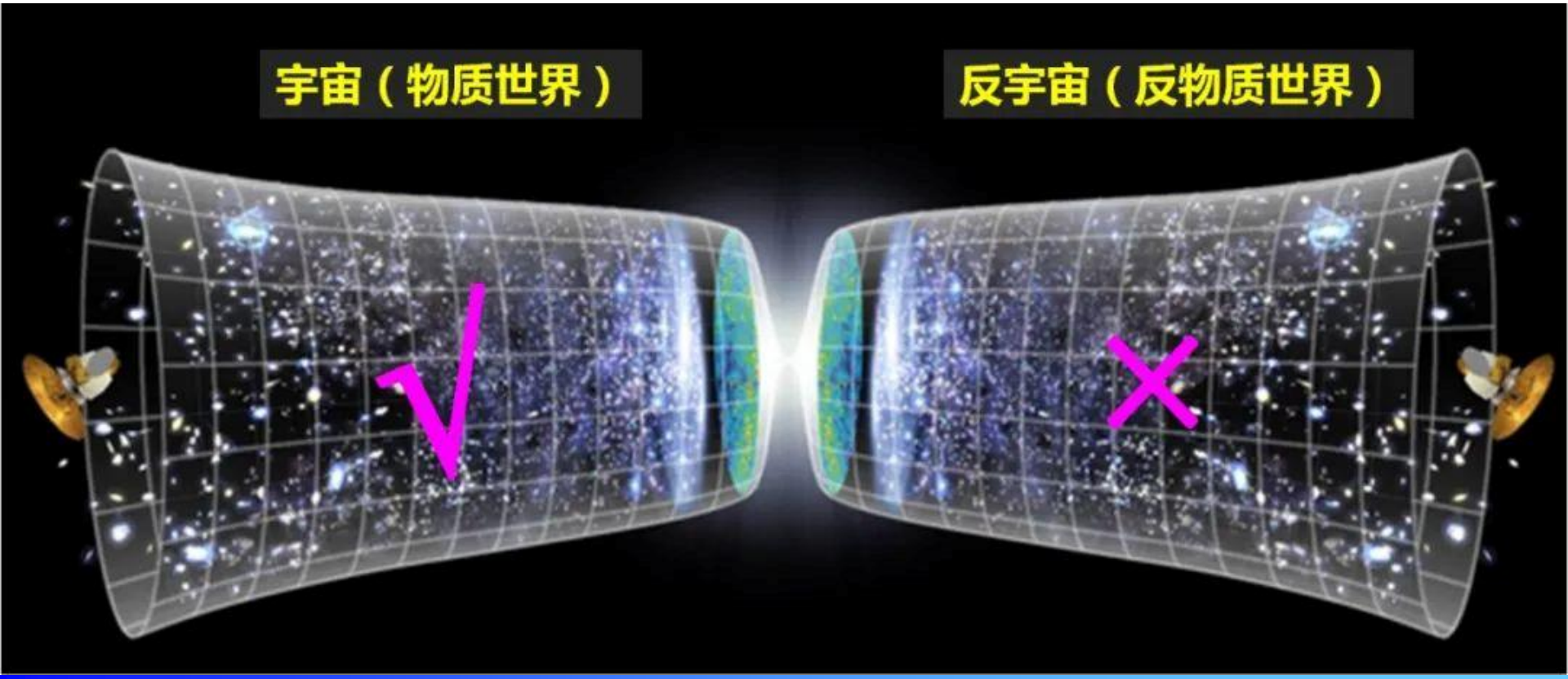


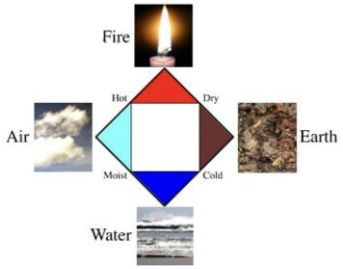
# 研究问题3：我们（正物质世界）为什么存在

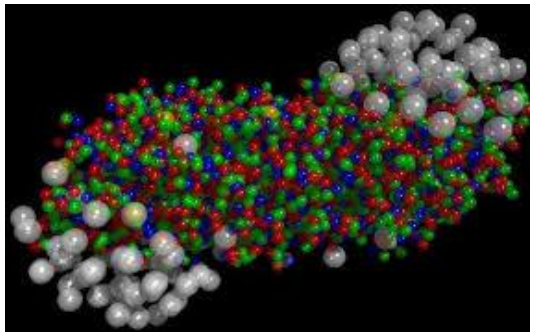
- 高能物理实验中正反物质（几乎）都是成对产生，成对湮灭
- 为什么我们所处的宇宙无论什么地方都是正物质主导？
- 一定有正反物质不对称物理过程的起源

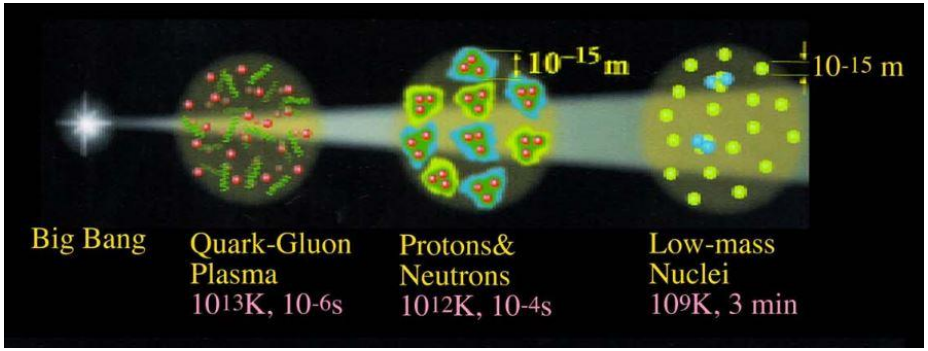


# 研究问题4：是否有新的物质形态

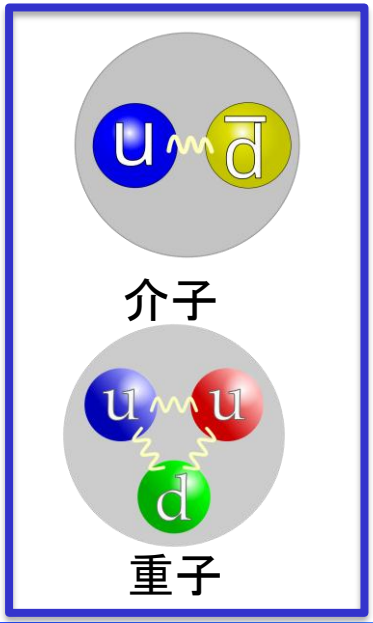
- 气体，液体，固体，等离子体,夸克胶子等离子体？



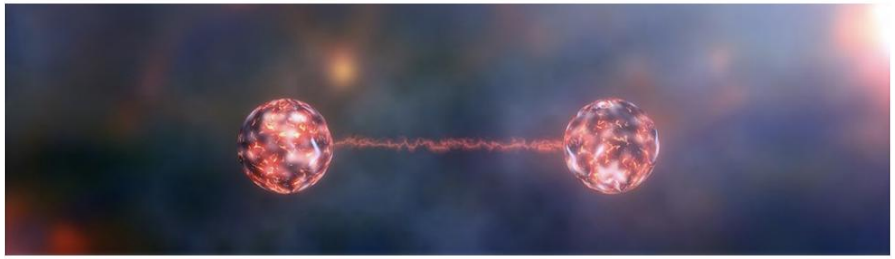





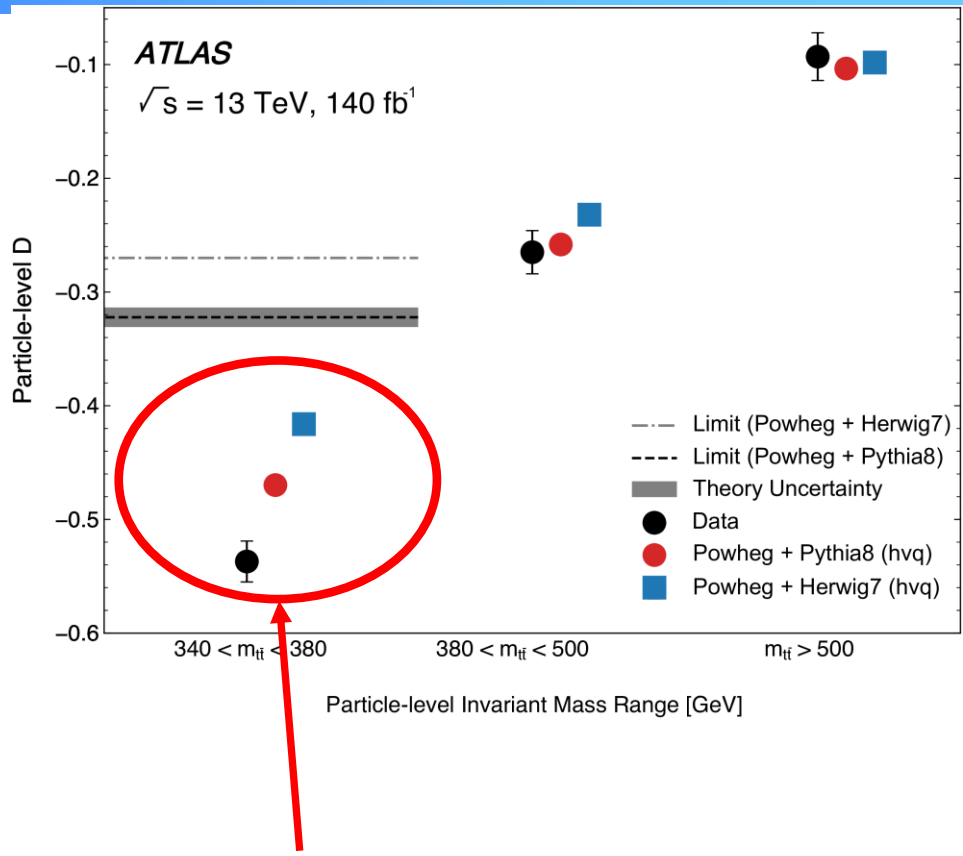

- 多夸克态态（1，2，3，4，5夸克？）

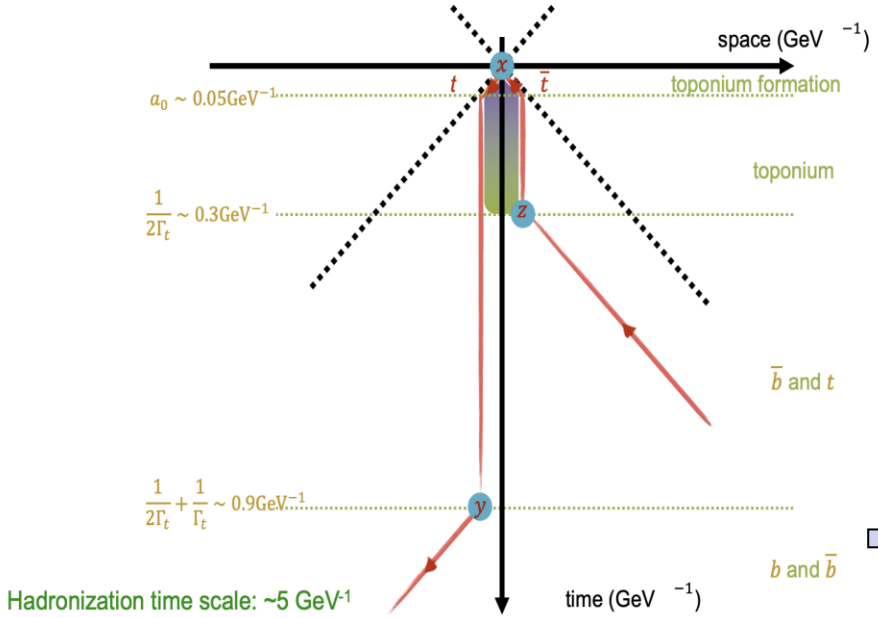


# 研究问题5:量子物理的边界在哪里？高能量下的量子纠缠



$$|\psi\rangle = |a_1\rangle_A \otimes |b_1\rangle_B + |a_2\rangle_A \otimes |b_2\rangle_B$$

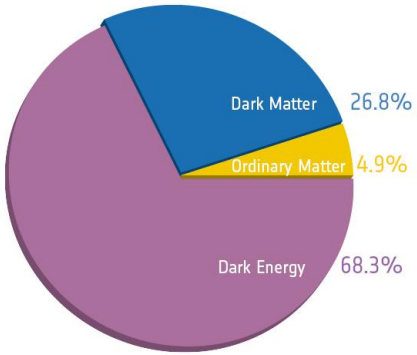


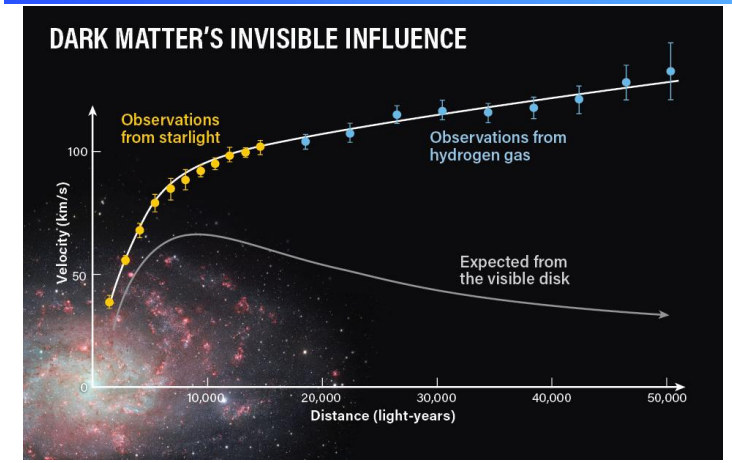



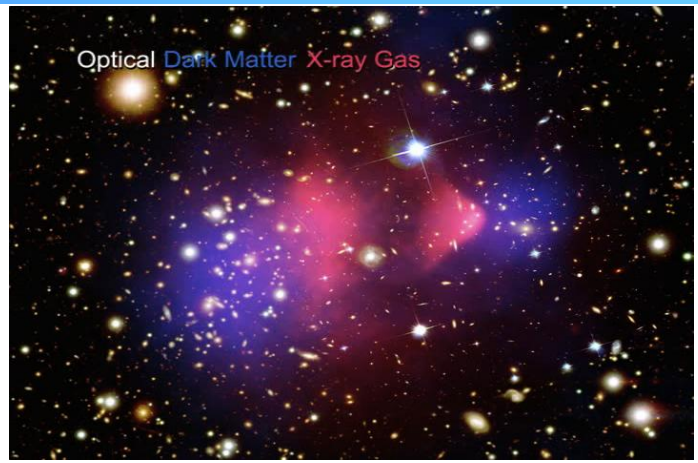

观测到350GeV左右的量子纠缠

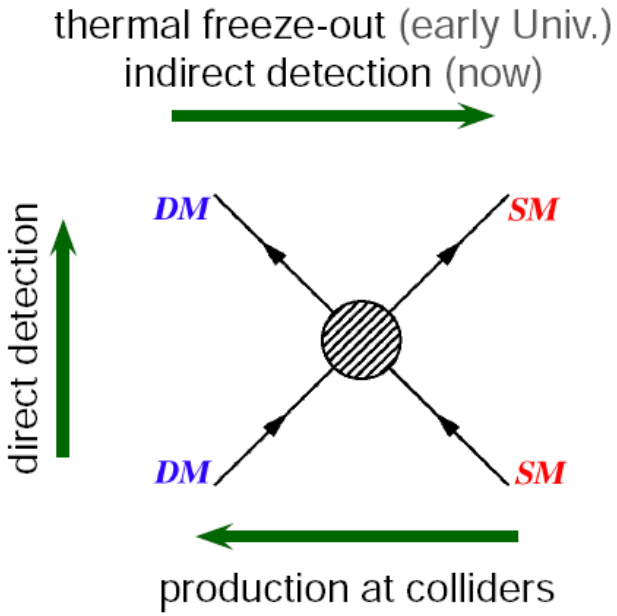
量子纠缠的顶夸克可能形成了超短寿命的束缚态

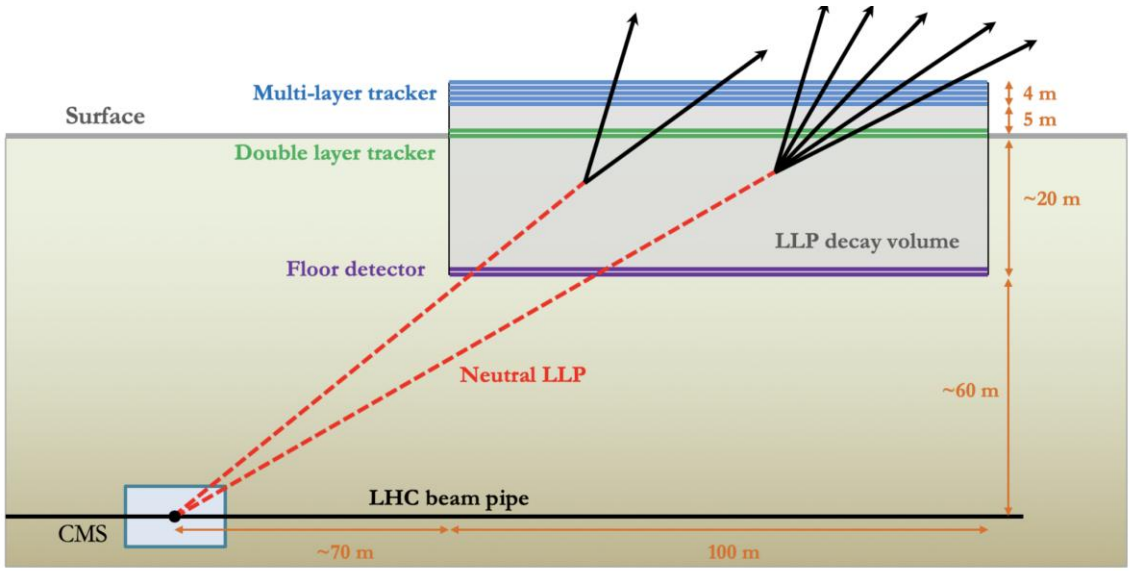
# 研究问题6：暗物质是什么



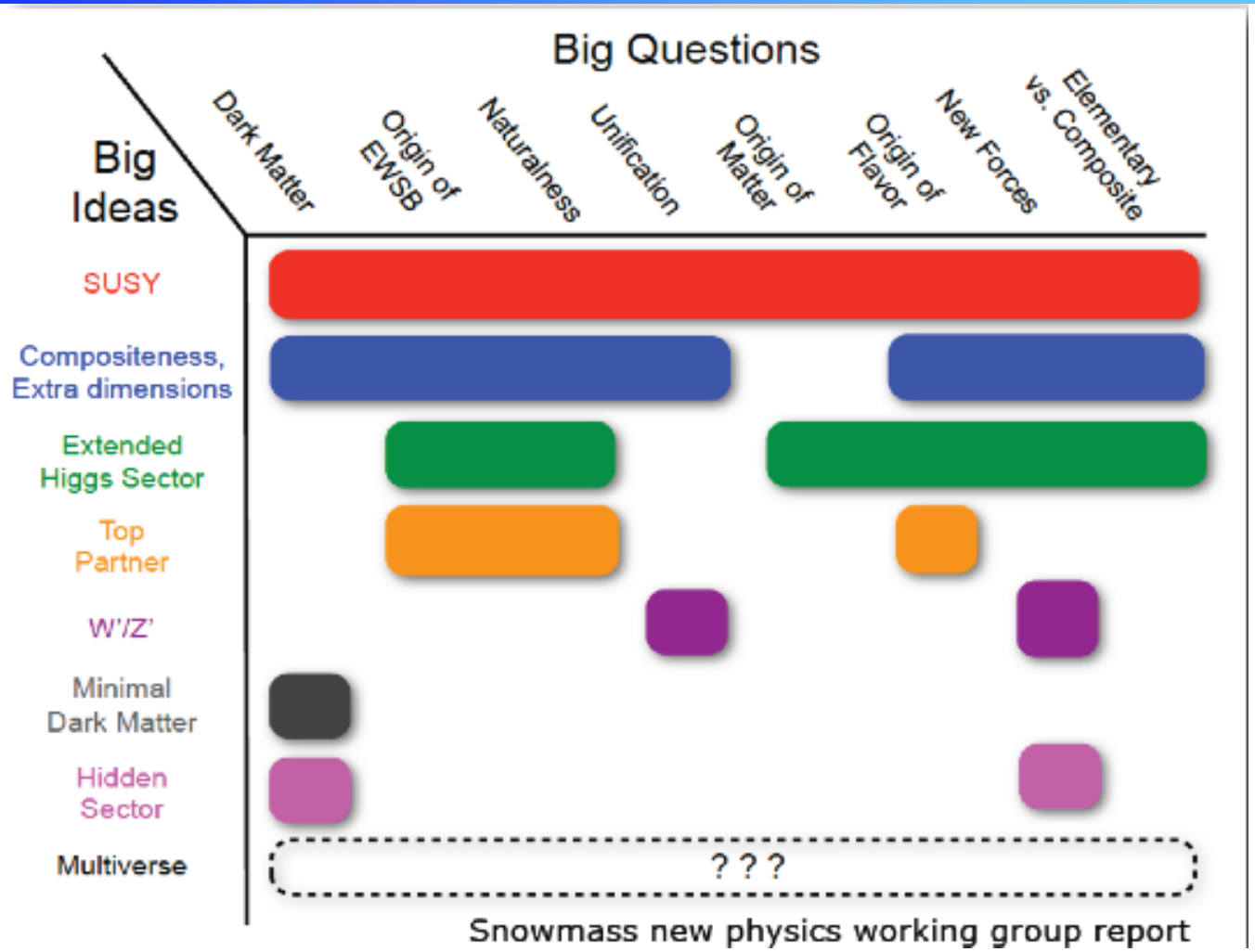



# 高能量前沿可能的新物理机会




目前，LHC提供人类能够产生的最高质心能量

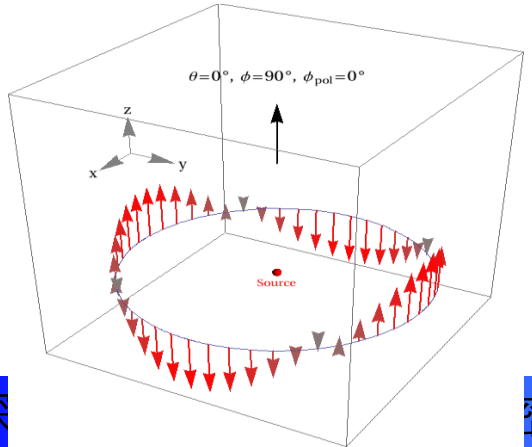
**先进探测器系统是捕获这些可能的新物理信号的关键**

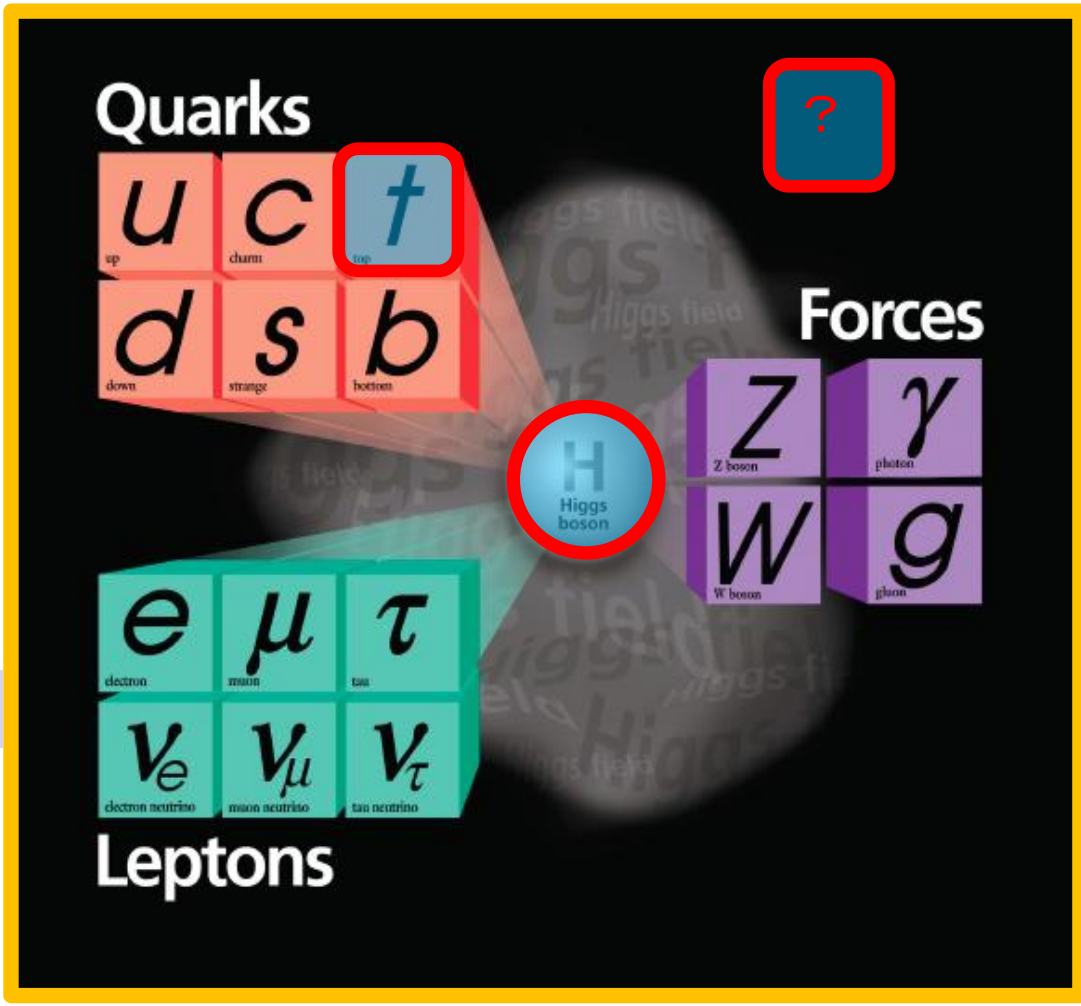
# 本人工作

- 希格斯粒子，顶夸克
  - 性质，相互作用
- 新物理
  - 夸克是否有结构
  - 暗物质粒子候选者

量能器研制：
* 5维硅量能器（LHC）
* 立体声晶体量能器（CEPC）
* 使用穆斯堡尔效应探测引力波

2025 Science Bulletin editor's choice



脚踏实地，仰望天空
科学思想+技术平台

# THANK YOU