

【基础科研】高能物理的絕唱（一）

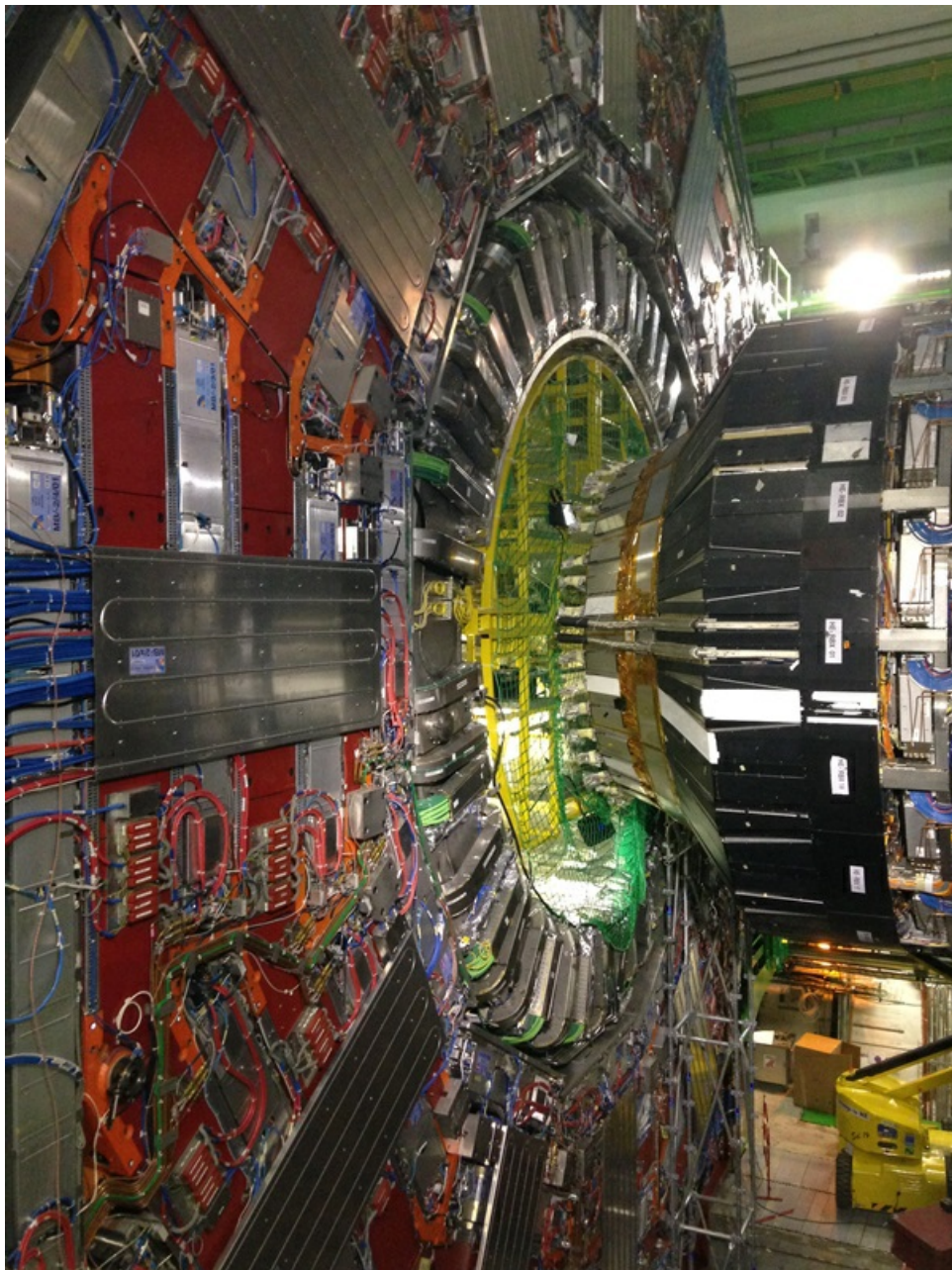
2015-01-10 21:59:00

原文网址：<http://blog.udn.com/MengyuanWang/108908690>

现代高能物理始于1940年代的量子场论（Quantum Field Theory），最初的应用是以量子电动力学（Quantum Electro-Dynamics，QED）来解释电磁力。在1950年代，加速器的技术突飞猛进，数以百计的高能粒子被发现；物理学家在整理这些粒子的时候，注意到各种对称性（Symmetry），其中最深奥困难也最重要的是规范对称性（Gauge Symmetry）。其实QED本身就是一个规范场论，但是它只是规范场论中最简单的一种，叫可交换规范场论（Abelian Gauge Theory）。1954年，杨振寧和他的学生Robert Mills解决了非交换规范场论（Non-Abelian Gauge Theory）的难题，高能物理理论界随即注意到用非交换规范场论来解释弱作用力和强作用力（宇宙中只有四种作用力：电磁力、弱作用力、强作用力和重力）的可能，但是具体的细节还不清楚。1961年，当时在哈佛大学物理系的Sheldon Glashow领悟到电磁力和弱作用力如何混合起来的机制。1967年，Abdus Salam和Steven Weinberg把1964年定型的Higgs Mechanism加入Glashow机制，确立了完整的电弱理论。在1973-1974年间，有关强作用力的基本难题也被一一突破，从此高能物理界有了一套完整的理论体系来描述除了重力以外的所有作用力，它被称为标准模型（Standard Model）。

在其后40多年里，标准模型的成功超出了任何物理学家的意料之外。所有量化的实验和观测都符合标准模型的预测；然而标准模型却又很明显地不是一个完整的理论。姑且不论它所需的几十个特定参数值，首先它先天上就不包含重力。超弦原本的动机便是要把重力统一起来，在浪费了三十年却只得到一坨污烂之后，不肯把灵魂卖给超弦的物理学家已经理解到，即使是圈量子重力论（Loop Quantum Gravity）这类还没有像超弦一样被证明是完全没有预测能力的重力理论，它的预测也必然会比现代加速器的能阶（Energy Level）高出十几个数量级（Order of Magnitude），因此它的可预测性仍然是几百年内都无法用实验来检验的。所以在最近几年，大家（亦即还在做科学而不是只做论文的高能物理学家）的共识是重力太难了，还是先摆在一边吧。既然必须接受欠缺重力的事实，标准模型里的参数值也当然是目前不可能解释的了。

但是即使不管重力和参数值，标准模型还是有其他的毛病。其中最重要的有三项：1）它不包含暗物质（暗能量显然是和重力有关的，所以目前管不到）；2）它不能解释为什么宇宙里的物质和反物质没有对消尽净；3）它不含有能驱动宇宙暴胀（Cosmic Inflation）的暴胀子（Inflaton）。现在理论学家（Theorists）实在是想不出什么好主意了（否则也不会让超弦骗走这么多人），真正的希望还是要靠实验。而实验要探索更高的能阶有两个办法，一个是靠精密测量很小的修正值；另一个则是建造更大型的加速器，以蛮力来产生更高能的粒子。前者一般比较便宜，但是往往只能探测参数空间（Parameter Space）里的小小一隅；真正要产生详尽的资料，最理想的还是更大的加速器，而现在最大最先进的加速器就是欧洲核子研究机构（Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire，CERN）位于日内瓦的大型强子对撞机（Large Hadron Collider，LHC）。



The Compact Muon Solenoid (紧凑型 μ 介子螺线管, CMS) 是LHC的两个主要实验腔之一, 成放倒的圆柱体, 直径15公尺, 长21.6公尺, 重14000吨, 它与另一个实验腔ATLAS同是人类所建最先进复杂的机械。

LHC自1998年至2008年, 共花费了十年才建成, 总预算是75亿欧元(约90亿美元)。由于选错了焊接工艺, 2008年九月开机后9天, 超导电磁铁的电路就烧坏了。其后用了一年多才修好, 但是只能以原设计能量(14TeV)的一半(即7TeV)运行。不过还好Higgs粒子质量(125GeV)不太高, 在2013年LHC就有了足够的实验资料来证实这个发现, Peter Higgs和同僚随即获颁当年的诺贝尔物理奖。可是Higgs粒子是标准模型的(最后)一部分, 当初计划LHC时, 发现Higgs粒子是最起码的标的。真正的目的是要发现标准模型以外的粒子, 尤其是超对称粒子(Supersymmetric Particles)。超对称(Supersymmetry)是超弦所做的几十个假设里, 最重要也是最基本的一个, 甚至连超弦名字里的“超”都是由超对称而来的(Super-String其实是Supersymmetric String的简称)。原本1970年代发明超对称是为了解释标准模型所需的几十个特定参数值间的一些关系, 不过后来大家发现即使是最简单的超对称模型都需要另外几百个新的参数, 于是有些人(包括我)就不再相信超对称, 而Witten和他的信徒(把超弦比为宗教并不是我的发明, 超弦界自己在20年前就戏称Witten为Pope, 教宗)则加倍下注, 搞出了更复杂、最终有 10^{500} 个自由度的超弦。在1990年代, 做超弦的个个都说最轻的超对称粒子会马上被Tevatron(位于芝加哥附近的Fermi Lab内的上一代加速器, 最高总能量在2011年停机前达到了2TeV)发现, 所以LHC只是用来研究更重的那几百个超对称粒子的。结果此后每年

Tevatron和后来的LHC的能量和亮度（Luminosity，即对撞实验的数量）提高一步，做超弦的就把最轻的超对称粒子的质量往上调高一步，以解释为什么没有观察到超对称。到2013年LHC做完7TeV能阶的实验后，超对称理论的原始参数空间已经有99.9%被否定了。

LHC在过去两年关机，以便完全重建超导电磁铁的电路。在未来几周内将重新启动，预计今年夏天可以达到接近原设计值的13TeV能阶。如果没有意外，到年底将会把超对称理论的原始参数空间再压缩两个位数，也就是否决掉99.999%。当然，做超弦的在过去20年已经自打嘴巴几百次，再胡扯出几千篇神话、重写一次历史也只是他们的专业。高能物理眼前真正的危机是LHC很可能无法超越标准模型。下一代的加速器目前台面上的估价是200亿美元，实际上大家都知道会超过500亿。更糟糕的是LHC至少还保证有Higgs粒子来当安慰奖，下一代的加速器却很可能什么都找不到。高能物理界在2014年开始游说中共政府，希望忽悠李克强来当凯子；考虑李克强的智商，忽悠成功的机率很小。如果到年底LHC还没有发现新粒子（当然，发现超对称粒子的机率是 $100\%-99.9\%=0.1\%$ ，所以希望只能寄托在其他的新粒子上），那么我们这代人到死大概都不会再有更高阶的加速器（不含能阶略低于LHC，用来精密测量Higgs粒子的电子/正子直线对撞机）出现。前面提到除了加速器以外，精密测量也有可能突破标准模型；可是我的猜测是只有暗物质比较可能会如此被发现，而且机率不超过25%，这还包含了暗物质是一种微中子（Neutrino，大陆翻译为“中微子”，标准模型只包含三种微中子，若有第四种则将超越标准模型）或轴子（Axion，不是标准模型的一部分）的可能，而新的微中子或轴子虽然超越标准模型，却并不解释更高能阶的物理。所以总结来说，2015年很有可能是高能物理对我们这代人的绝唱。

3 条留言

zxuan

2015-10-17 00:00:00

目前中国高能物理学界主要游说政府的是Higgs工厂，规模可能和LHC在一个量级吧，但是决策者的疑虑主要在于国内是否能完成这一项目。而国内要完成这一项目必须要有CERN的大力帮助。就我个人浅薄的理解，就是中国的学界和政府说给我钱吧，我能拉来欧洲人合作。同时又和CERN说，加入我们的合作组吧，我能搞来钱。但我还是支持这样的忽悠的，毕竟中国在基础科研上落后太多，通过这样一个世界级别的超大加速器来积累技术，训练人才，和锻炼超大型科研设施的运作经验，也是非常有益的。在非加速器高能物理领域，越来越变烧钱的游戏，涉及的技术少，主要瓶颈都在探测器材料成本上。无论是否将来能做出重大物理突破，砸钱建出来上上新闻也好，有助于扭转中国的山寨、缺乏创新的一贯形象。

“

Higgs工厂是真正的物理，只不过意义不大，属于整理细节的性质。

加速器有一些先进的技术，但是收获和成本不成比例。如果中共政府愿意投资，必须了解这主要只是资助基础科研，而且是基础科研里面和现实社会经济完全无关的一类，如同纯数学一样。我想100多亿美金是个大数目，或许用在其他方面（如数学？）会更有效益。

高能物理虽然有光辉的历史，但是已经走到人类经济和技术能支持的极限。政策似乎应该往前看，而不纯是缅怀过去的荣耀。

canada_goose

2015-11-19 00:00:00

如果申研之前能读到这篇文章就好了。唉。。

“ 我在念研三那年，在哈佛物理系馆遇到一个刚被接受的新生，他说他也进了医学院，他父母很高兴，但是他自己还是想念物理。

我花了半小时开导他，他临走的时候感激涕零。不过我忘了跟他要电话，以便向他的父母讨赏金。

你现在念什么？

canada_goose

2015-11-20 00:00:00

我现在念到物理研三，理清现实后和系里申请退了。打算等明年春节后在加拿大找IT工作随便研究无人机控制。做点对人类有意义的事。

“ 人生的机遇很难说，个人祇能尽力去把握随机而来的运气；祝你好运。

[返回索引页](#)