

细调节问题给予必要的澄清。这是一个十分流行的论点，这个问题本身是一个相当哲学化的问题，而且需要引入很强的人为假定，在行内一直存在很多争议。其中一个首要假定就是：假设标准模型之外一定要存在新物理，而且此新物理以紫外动量截断的方式进入希格斯质量圈图修正。众人皆知，标准模型是一个可重整化理论，其所有圈图发散（包括二次发散）通过重整化被严格消除，二次发散在一个可重整化的理论中不具备任何可观测效应；因此自然性（Naturalness）论点必须人为假定存在标准模型以外的新物理，而且此新物理以紫外动量截断的方式进入希格斯质量的微扰圈图修正；否则，标准模型自身根本不存在自然性问题，这是高能界行内众所周知的事实。由于量子引力在普朗克能标不能被忽略，而且广义相对论（Einstein-Hilbert 作用量）不可重整，人们通常猜测量子引力效应将作为新物理在普朗克能标给标准模型提供紫外截断；但是目前尚无成功的量子引力理论，而且已经知道普通的微扰量子引力场论不可能成为普朗克能标的终极量子引力理论。因此，自然性论点只能人为假定量子引力效应仍然以普通场论中二次发散的简单方式进入微扰圈图计算，同时假定普通场论的微扰圈图展开在紫外截断附近还依然有效。但是，由于根本不存在完备的量子引力理论对此给出可靠预言，人们对普朗克尺度附近的紫外行为知之甚少，并无准确把握。因此，上述任何一个人为假设都可能不成立，一旦如此就会导致自然性论点失效。事实上，自 2010 年以来 LHC（7 ~ 8 TeV）的实验数据对这个自然性论点并未提供任何支持，反而加强了高能界对此论点可靠性的严重质疑；由于 LHC 运行迄今没

有找到自然性论点期望的任何新粒子，国际上对直线对撞机 ILC（500 GeV）项目的物理潜力逐渐失去兴趣和信心。最近 CERN 的著名理论家阿尔塔莱利（G. Altarelli）教授就在其综述报告中对希格斯自然性问题进行了系统分析和质疑（参见：arXiv:1407.2122, *The Higgs and the Excessive Success of the Standard Model*），值得读者们认真学习和参考。因此，对于高能物理研究人员重要的是保持开放的头脑和心态，不带偏见和迷信，不盲目随波逐流，能够独立和深入思考物理本质，客观地对探索新物理进行系统分析与规划。

未来高能环形对撞机（包括希格斯工厂和高能强子对撞机）的计划是目前国际高能界普遍关注的重大前沿课题，已被列入 ICFA（国际未来加速器委员会）的正式支持项目。目前 CERN 和中国均在积极组织环形对撞机的预研，引起国际上广泛关注和积极支持，也包括美国高能界；继 2014 年 2 月 CERN 在日内瓦举办 FCC Kickoff Meeting 之后，美国斯坦福直线加速器中心（SLAC）和费米国家实验室（Fermilab）已先后举办国际研讨会认真讨论环形对撞机项目；虽然美国政府自从终止 SSC 以来对基础研究的财政预算持续削减，从而无法支持建造这样的高能对撞机，不过美国高能界仍拥有很强大的高能物理队伍，他们的积极参与对于 CERN 和中国，以及国际高能物理发展都大有裨益。所以 P5 报告中强调高能物理研究与发展规划的全球性是完全正确的。这个环形对撞机项目对于中国高能界和 CERN 的未来发展均是一个重大机遇和挑战，值得国内外高能物理同仁们积极研讨、精诚团结和相互支持。



美国粒子物理 P5 报告的一些评论

杨海军

（上海交通大学 200240）

美国粒子物理 P5 报告综合了全球同行广泛的意见和二十多位世界著名专家的评审意见，在全球化的大背景以及有限的资源配置下构筑美国粒子物理中长期的战略计划，使得美国在粒子物理的最前沿能继续保持领先的地位和促进新的重大发现。报告中建议优先获得资助的前沿研究课题对中国粒子物理学界未来的发展规划极具参考价值。例如希格斯物理，研究与中微子质量相关的物理，寻找暗物质，了解宇宙的加速机制：暗能量和暴涨，以及探索其他未知的物理现

象和原理等一系列 21 世纪极具挑战性的前沿研究课题。

迄今为止，粒子物理标准模型取得了巨大的成功，准确地描述了几乎所有粒子物理实验观测结果。2012 年希格斯粒子的发现为标准模型的完备奠定了最后的基石。然而标准模型无法解释宇宙中存在大量暗物质和暗能量的事实，这预示着有超出粒子物理标准模型的新物理或未知物理现象存在，这将是未来几十年物理学和宇宙学需要破解的最重大的科学难题。

美国粒子物理战略计划暨有关讨论

对照国内现有和正在规划的研究项目中，中微子物理和暗物质寻找方面有很好的布局，集中资源和力量攻克当今粒子物理前沿研究的焦点问题，如大亚湾实验和江门中微子实验，四川锦屏极深地下暗物质实验，等等，重大的发现有可能在这两个方向取得突破。

美国粒子物理 P5 报告把最近发现的希格斯粒子作为探索未知物理的新工具，着重强调美国优先资助欧洲核子研究中心（CERN）大型强子对撞机 LHC 的升级和在希格斯性质的精确测量和新物理的探索中起领导作用。尽管美国本土所有的大型高能对撞机装置在 2011 年底前都已经关闭，但仍然希望在这个领域起主导作用，因此美国大约投入 1200 ~ 1400 研究人员参与 LHC 的 ATLAS 和 CMS 大型国际合作实验，超过两大实验组总人数的 20%。相比中国组在 ATLAS 和 CMS 实验组的投入，总人数仅为 40 人左右，为美国参与人数的 1/30，投入到 LHC 国际合作的经费也相当有限，甚至于最近几年通过“千人计划”、“百人计划”等人才计划引进的十多位从事 LHC 实验研究的优秀人才都无法从 LHC 国际合作经费中获得相应的资助。国内高能物理学界和基金资助机构如果真切希望在高能对撞机物理前沿科学领域有长足发展，甚至希望未来在中国本土承建超大型高能对撞机项目如“希格斯粒子工厂（CEPC）”等，就应当考虑大幅度地提高与 CERN 等世界顶级的高能物理研究中心合作的广度和深度，大力支持和参与 LHC 实验探测器的升级，长期持续地派遣更多的优秀人才到 CERN 参与最前沿的研究课题中，学习、掌握和积累相应的关键核心技术，锻炼和培养一支具有国际竞争力的研究队伍。

从另一层面来解读美国粒子物理 P5 报告，在可预见的未来 10 ~ 15 年，美国高能物理学界并没有在本土建造大型高能对撞机的计划，但建议适度参与未来国际高能对撞机的研究项目，如日本主导的国际直线对撞机（ILC），并且在设计方案和关键核心技术

上要起到领导或发挥关键作用。报告中专门提到假如 ILC 项目由于种种原因最终无法落实和建造，相应的 ILC 研究将终止，但这些研究资源将可能用于先进加速器和探测器的技术研发上。CERN 的旗舰项目 LHC 计划有两轮的对撞机和探测器升级，LHC 将持续运行到 2030 年前后，在未来的 15 年内，不管从研究经费还是人力资源方面 CERN 都很难启动另一个超大型的研究项目。日本希望建造 ILC，但建设费用高达 80 亿美元，目前只愿意承担 50% 的建设费用，另外 50% 费用由国际合作成员单位贡献，这在大型基础研究国际合作中将面临难以逾越的合作经费困难。

根据当今高能物理学界的国际大形势，不难发现，今后 10 ~ 15 年为中国高能物理的快速崛起提供了一个非常难得的“战略机遇期”。结合 2013 年 7 月 17 日，习近平总书记视察中国科学院高能物理研究所时提出的“四个率先”，即“率先实现科学技术跨越发展，率先建成国家创新人才高地，率先建成国家高水平科技智库，率先建设国际一流科研机构”，考虑国家当前的综合实力和基础科学研究的强力支持，中国高能物理学界不失时机地提出和规划世界领先的大型环形正负电子对撞机装置（CEPC），以及未来建造超级质子对撞机研究高能量前沿物理。2014 年 7 月 22 日，《自然》杂志专门发表了题为 *China plans super colliders* 的新闻报道，强调如果中国建成超级对撞机将超越 CERN 的 LHC 成为世界上最大的粒子对撞机，使得中国在高能物理尖端领域处于世界前列（引领者）。

CEPC 瞄准的是未来粒子物理关注的核心问题，它将极大提升我国粒子物理乃至整个基础物理学的科研水平，并催生大量原创性的高新技术。我们殷切希望通过 20 年左右坚持不懈的努力使中国以 CEPC 大科学装置为核心建成国际一流的高能物理研究中心，为实现科技强国的“中国梦”提供强有力的支撑。

译后记

李学潜

（南开大学物理学院 300071）

现在发表的这份文件是美国粒子物理学界对未来 10 至 20 年的规划——P5 文件的缩写版，也是对美国能源部和自然科学基金会投资和项目拨款的建议

指南。

这份文件充分体现了美国粒子物理学界对将来发展的理念。它的关键在于，首先，所有研究是以“发