

# 中国应尽早参与国际直线对撞机 大科学合作项目

高 杰

(中国科学院高能物理研究所,北京 100049)

**摘 要:**现在粒子物理正处在酝酿革命性突破的关键时期,国际直线对撞机(ILC)为国际高能物理及加速器物理与技术的主流之一。中国作为经济和科技大国,应该和必须参加,这有利于在重大科学前沿问题上大幅提升中国基础科学的国际地位,有利于解决未来发展中的瓶颈问题,有利于中国高科技产业的发展,有利于中国科技基础平台的建设,有利于人才队伍的建设(引进与培养),有利于提升我国的综合国力。

**关键词:**国际直线对撞机;国际合作;大科学工程

**中图分类号:**G31 **文献标识码:**A

## 1 引言

电弱统一理论标准模型的建立是上个世纪粒子物理研究的一个重大成就。在电弱统一理论中,一切粒子的质量都是由电弱对称性的自发破缺引起的。现在电弱对称破缺的具体机制尚不清楚,因此探索电弱对称破缺机制是当前和今后相当一段时期国际粒子物理研究中的最为人们关注的问题。由于这个探索直接涉及人们对一切物质质量的起源的了解,因而它是物理学中极为深刻和重要的研究。

将在2007年开始运行的欧洲核子研究中心(CERN)的LHC(大型强子对撞机)和正在积极研制的国际直线对撞机(International Linear Collider, ILC)就是为了从实验上研究此问题。这两台高能对撞机将有能力探清自然界的一些非常基本的问题,例如李政道先生提出的“现在知道的宇称、CP等对称性的不守恒是否是由自发破缺机制引起的?”、作为一切粒子质量起源的电弱对称破缺机制究竟是什么?宇宙中的暗物质究竟是什么?将取代标准模型的新物理规律是什么?等等。探清这些极为基本的问题会对粒子物理的发展乃至整个物理学的发展有深远

的影响。世界高能物理学界一致公认,LHC具有高能量,可望在此能区发现新的物理现象,而ILC具有更高的精确度,因此能够更确切地回答新问题,这两台高能对撞机的相互补充将起关键的作用。所以现在粒子物理正处在酝酿革命性突破的关键时期。

## 2 ILC的发展历史和前景

国际上对于直线对撞机的研究到目前为止已开展了近20年。自20世纪80年代末在美国SLAC建成的正负电子对撞机SLC(Stanford Linear Collider, 100GeV)以来,国际上便开展了未来正负电子直线大规模研究,其研究内容主要集中于粒子加速器技术本身。美国SLAC提出了11.4GHz的常温加速结构的直线对撞机NLC(Next Generation Linear Collider),日本的KEK提出了相似的计划JLC(Japan Linear Collider,后改为GLC(Globe Linear Collider)和常温的C-band(6-6GHz Linear Collider),德国的DESY提出了常温3GHz的SBLC(S-Band Linear Collider)和基于超导技术的1.3GHz的直线对撞机TESLA,俄罗斯提出了14GHz的常温直线对撞机VLEPP,欧洲核子中心(CERN)则提出常温双束直线

基金项目:国家杰出青年科学基金(0525525)资助。本文吸收了参加主题为“面对国际直线对撞机(ILC)大科学国际合作项目,中国将如何应对”的香山科学会议第294次学术讨论会的众多科学家的观点。

收稿日期:2006-12-22

作者简介:高杰(1961-),男,中国科学院高能物理研究所,研究员,研究方向:加速器物理与技术。

对撞机 CLIC, 加速结构频率为 30GHz。除了 DESY 的 SBLC 和俄罗斯的 VLEPP 两个计划于 20 世纪 90 年代中停止以外, 另外 5 个计划分别持续了十几年的研究, 直到 2004 年 8 月 20 日在国际未来加速器委员会 (ICFA) 在北京举行的第 32 届国际高能物理大会上宣布了下一代大型直线对撞机的技术方案确定为低温超导加速技术, 并命名为 ILC (International Linear Collider)。目前, 国际上只存在 ILC 和 CLIC 两个计划。由于 CLIC 无论从目前其技术成熟度方面还是其加速技术的通用性方面来看比起 ILC 都不具优势 (除了其设计最高能量比 ILC 高出 5~6 倍外), 因此 ILC 吸引了国际上几乎所有的相关加速器研究中心的关注和合作。亚洲、欧洲及北美洲的主要高能物理实验室于 2005 年 5 月 10 日签署了关于 ILC 的 MoU (Memorandum of Understanding) the Global Design Effort for GDE。

拟议中的直线对撞机是一台超高能量的正负电子对撞机。它由两台大型超导直线加速器组成, 首期目标是分别将正负电子加速到 2 500 亿电子伏特的能量, 质心系能量达到 5 000 亿电子伏特, 将建造在总长约 30 公里的地下隧道里, 涉及大量最先进的加速器技术和探测器技术。

2004 年 8 月, 国际委员会决定未来直线对撞机将采用超导技术后, 亚洲、欧洲及北美洲的主要高能物理实验室于 2005 年 5 月 10 日签署了关于 ILC 的 MoU for GDE, 并成立了由亚洲、欧洲、北美洲科学家组成的和由 Prof. B. Barish 领导的全球性的 ILC 研制团队 ILC GDE。目前, GDE 成员有 70 人左右, 中科院高能物理研究所的高杰研究员是目前中国唯一的国际直线对撞机 ILC GDE 成员和代表亚洲的阻尼环分系统负责人<sup>[3]</sup>。目前国际上各大高能物理实验室和相关大学都在积极参与相关的研究工作, 并且进展迅速, 在一些关键技术上也有所突破, 并且每年都召开多次 ILC 国际会议。按照计划, 2005 年的工作是完成 ILC 的概念设计 (Baseline Configuration Design, BCD); 2006 年完成 ILC 的参考设计 (Reference Design Report, RDR) 以便确定参考造价; 2007 年 2 月在北京的 9th ACFA LC 和 ILC GDE 会议之后的 ICFA 会议上将对外正式宣布 ILC 的参考造价, 2007~2009 年为 ILC 技术设计阶段 (Technical Design Report, TDR) 2010 年进入立项申请阶段。自 2004 年 8 月到目前为止 ILC 国际合作的进度始终

按计划向前推进。

在政府层面上, 国际上成立了 FALC (Funding Agencies for the Large Collider) 并定期举行会议。

### 3 中国加入 ILC 的科技、经济和政治意义

中国高能物理界 (粒子物理, 探测器和加速器) 及中国的工业界如何应对、如何组织、如何主动地抓住这一难得的历史机遇等紧迫的问题, 主题为“面对国际直线对撞机 (ILC) 大科学国际合作项目, 中国将如何应对”的香山科学会议第 294 次学术讨论会于 2006 年 12 月 5~7 日在北京召开。参加会议的科学家对中国参加 ILC 国际合作项目在粒子物理、探测器、加速器方面的研究对我国的科技、经济、政治、社会、国家安全和对解决国家重大战略需求问题的预期贡献等, 形成了共识。① ILC 有潜力回答当代物理学的重大问题, 极具科学价值。② ILC 涉及大量最先进的加速器技术和探测器技术, 中国作为经济、政治和科技大国, 应该和必须参加, 否则中国高能物理界势必偏离国际高能物理主流, 失去历史机遇, 使我们在未来的几十年中处于落后。为此, 中国应该未雨绸缪, 做出有前瞻性的超前部署, 作为有分量的合作伙伴, 在 ILC 国际合作中占有一席之地。③ 为了对未来的 ILC 做出有中国特色的贡献, 我们除了首先在物理上要提出国际认同的好课题外, 还要在加速器技术和探测器技术上围绕物理的需求努力取得更大的进步和成就。④ ILC 加速器、探测器科技含量高, 很多高科技通用技术可应用于我国计划中的重大科研项目, 参与 ILC 国际合作必将提升我国有关高科技工业的技术水平和应用水平。⑤ ILC 的参与可培养一批高水平科研人才、学术带头人和中青年领军人才, 充实具有国际合作能力和创新型科学研究队伍。⑥ 目前物理研究、探测器和加速器研制方面已经累积了一定的经验, 但为了在这一重大国际合作项目中作出重要的实质性贡献, 需要一定强度的专项投入, 做好关键技术的预制研究工作。

与亚洲的周边国家日本、韩国相比, 我们目前的投入明显不足。ILC 没有最低门槛要求, ILC 需要我国的贡献, 我们更需要加入国际重大科学研究, 享用人类通过共同努力而取得的科技成果。尽管 ILC 的建造时间与地点尚未确定, 中国应该尽快有组织地参加它的国际合作研究。

从全面、长远和辨证的观点来看问题, 中国积极地参与作为人类探索自然奥秘的全球性 ILC 国际合

作 将使我国不但在科学本身 ,而且在经济、政治、外交等方面获益。例如 ,它有利于营造一个长期和谐、和平的国际环境 ,有利于缓解和处理在经济领域诸如贸易逆差、技术禁运、人员交往限制以及在政治、军事、外交方面的矛盾和一些突发事件。

在科学技术方面 ,ILC 主要在粒子物理研究、探测器研究和先进超导加速技术三个领域产生重要影响。

#### 1) 粒子物理研究。

电弱统一理论标准模型的建立是 20 世纪粒子物理研究的一个重大成就。在电弱统一理论中 ,一切粒子的质量都是由电弱对称性的自发破缺引起的。现在电弱对称破缺的具体机制尚不清楚 ,因此探索电弱对称破缺机制是当前和今后相当一段时期国际粒子物理研究中的最为人们关注的问题。由于这个探索直接涉及人们对一切物质质量的起源的了解 ,因而它是物理学中极为深刻和重要的研究。

将在 2007 年开始运行的 CERN 的 LHC 和正在积极研制的国际直线对撞机 ILC 就是为了从实验上研究此问题。这两台高能对撞机将有能力探清自然界的一些非常基本的问题 ,例如李政道先生提出的“现在知道的宇称、CP 等对称性的不守恒是否是由自发破缺机制引起的”、作为一切粒子质量起源的电弱对称破缺机制究竟是什么?宇宙中的暗物质究竟是什么?将取代标准模型的新物理规律是什么?等等。探清这些极为基本的问题会对粒子物理的发展乃至整个物理学的发展有深远的影响。LHC 具有高能量 ,可望在此能区发现新的物理现象 ,而 ILC 具有更高的精确度 ,因此能够更确切地回答新问题。所以现在粒子物理正处在酝酿革命性突破的关键时期。

国内外已就这方面的问题作了大量的理论研究 ,指出在 LHC 和 ILC 上通过什么粒子反应过程能探测新物理信号 ,为未来的实验提供指导。国内在 LHC 和 ILC 物理方面的理论研究已开展了多年 ,在寻找各种新粒子和普遍探测现有粒子的有效相互作用以及提出新物理模型等方面都做出了受到国际同行公认和重视的工作 ,论文被大量引用 ,有的成果已被国外实验组采纳作为进行实验分析的依据。国内的理论工作者也为我国参加 LHC 合作的实验组提供了有自己特色的实验研究课题。在物理分析方面 ,国内也掌握了 ILC 的有关软件 ,可以进行蒙特卡罗模拟。

#### 2) 探测器研究。

直线对撞机上需要的探测器其规模和 LHC 上的探测器相当 ,也将采用目前最新的探测器技术和数据获取技术。其与 LHC 上探测器工作在不同的工作环境和服务于不同的物理目标。由于在直线对撞机上的测量精度更高 ,要求对反应产物、特别是强子簇射进行精确测量 ,如要求对强子簇射中各单个粒子 (包括带电和中性粒子)能动量的测量。因此在所采用的探测器技术上有其独特的考虑和设计 ,将涉及到高场强的超导磁铁技术、高精度的半导体探测器和径迹探测器、高精度的量能器等新型的粒子探测技术。

目前国际上已经提出了 3 种探测器的整体设计方案 ,已经进行了大量的模拟研究 ,对探测器中各子系统 ,如径迹探测器、电磁量能器、强子量能器采用的技术方案、选用的参数等进行了仔细的研究 ,并已经作了一定的小模型实物预制研究。中国的物理学家应该尽快地参与这项工作 ,要在探测器的方案的选择和确定 ,探测器的设计上发挥自己的作用 ,有自己的发言权。在具体的探测器的制造上 ,目前设想 ,中国物理学家可以参与 RPC 和 GEM 探测器的研制和建造。北京大学制作的样本探测器作为 CMS 阶段性成果 2004 年 8 月在 CERN 的 40 号楼的大厅中展示了一个月。这套方案目前已经成为端部 RPC 的标准设计方案 ,巴基斯坦、韩国等都采用了这种设计。通过北京正负对撞机北京谱仪 III 上缪子探测器的建造 ,中科院高能所已经基本掌握了 RPC 的制作技术 ,但需要进一步研究如何做出相应的改进 ,来适应用于直线对撞机上的探测器中缪子探测器和强子量能器的技术要求 ;目前中科院高能所和清华大学等单位正在进行 TPC 和 GEM 探测器的研制 ,以用于直线对撞机上的探测器中。

中国的科学家可以在参加直线对撞机上的探测器的研制中 ,学习和掌握高速、大容量的电子学和数据存储技术、高速数据的读出和处理技术等。在加速器和探测器建成后 ,中国的高能物理实验研究人员将参加获取的数据的分析 ,并和理论物理学家一起 ,在物理分析和研究中做出我们的贡献。同时针对直线对撞机上所用探测器的研制 ,可广泛地应用于其它学科的研究和实际应用 ,如 X 射线成像、核医学仪器和装备等 ,并可提升有关工业和应用中关键技术的水平。

### 3 先进超导加速技术。

目前,世界上无论已建、在建或筹建的大型粒子加速器均普遍采用了超导加速技术。例如,已建或在建项目有 CERN 的 LEP 100GeV(100GeV 环形正负电子对撞机(为建造 LHC 现已被拆除),正在建设中的大型强子对撞机,美国 Cornell 大学的 CESR 环形正负电子对撞机,美国 Jlab 重入式超导加速器(ERL 光源),德国 DESY 基于超导直线对撞机技术的硬 X 射线自由电子激光项目(XFEL),日本的 B-Factory 散裂中子源(美国的 SNS,日本的 J-Parc),中国的 BEPC-II、上海国家光源、台湾同步辐射光源等。筹建项目有国际直线对撞机(International Linear Collider,简称 ILC), Muon-Muon 对撞机, Neutrino-Factory 等。显而易见,超导加速技术的应用范围几乎涵盖了整个在各种需求牵引下发展起来的加速器应用领域。

近年来,中国对超导加速技术的掌握有了实质行进展。北京大学自 1988 年起,立足国内发展国产化的超导加速器,取得了国际公认的进展和成绩,并成功申办了 SRF 2007 国际会议。我国在超导加速技术方面的研究取得了令人欣慰的进展。尽管如此,我们应当清醒地看到与超导加速技术发达国家相比,如美国、德国、日本、法国、意大利等,中国在超导加速器的研发与应用方面相对落后,该技术也可能成为我国目前或将来基于先进超导加速技术的大科学项目大型加速器项目实施上的瓶颈,受制于人,对我国极为不利。勿庸讳言,先进超导加速先进技术是加速器技术学科的战略制高点,中国应该顺应世界先进加速器技术发展的大潮抓住 ILC 国际合作机遇,通过 ILC 国际合作这一平台积极努力地加速发展我国相关高技术并建立中国相关的高科技产业为未来 ILC 和中国的相关项目的最终建造提供坚实的工业基础。ILC 加速器技术不但涉及关键的超导加速器制造技术,低温工程、超导材料科学、超导高频微波技术、低电平控制技术、综合超导加速腔制造技术、腔体内表面处理工艺、超导铀材产业化生产、超导磁铁技术等,还涉及大量先进加速器通用技术,通过 ILC 国际合作可使我国加速器通用技术在现有的基础之上有着长足的发展。

### 4 中国科学家应该如何参与 ILC

ILC 国际合作给中国科学家们带来的挑战首先

是科学体制方面的挑战。中国科学界应顺应时代发展的规律,打破大学和科研院所各自为战、自成一体的体制禁锢,组成高度协调一致的中国 ILC 国际合作国家队,做到经费有组织地申请(如科技部 973 计划项目-ILC 国际合作专项经费),有组织地使用,避免无序竞争和重复建设,用有限的资源通过国际合作获得最大的收获。ILC 国际合作将使中国科学界在面对国际大科学合作项目时能迅速有效地在全国范围内进行自组织和合作等方面积累宝贵的经验。中国科学家在参加 ILC 国际合作中可结合自身所在单位、部门的长远发展,利用 ILC 国际合作这一有利平台、窗口和抓手达到在合作中既发展了自己,又在合作中达到双赢目的。

### 5 中国政府应该如何参与 ILC

中国作为 FALC(Funding Agencies for the Large Collider)成员,应积极和充分地利用这一国际组织,在 ILC 还没有正式立项之前就成为 ILC 的主要参加者之一,为中国在今后争取到一个比较好的和公平的合作条件打下基础。由于国内合作跨部门(研究所、大学等),因此,相关政府部门应加强领导,特别是在国内 ILC 合作的核心机构的建立方面起到领导作用。由于 ILC 国际合作进展迅速(2007 年为 ILC 预研启动年),时间紧迫,中国为了在 ILC 国际合作中起到与中国地位相称的作用,必须抓住机遇尽早参加,并应该立即启动相应预研工作。为了使中国科学家尽早加入到 ILC 国际合作当中去,相关政府部门应以 ILC 国际合作专项经费的形式(如 973 计划项目)尽快落实经费支持,并在建造之前,根据 ILC 国际合作进展情况支持 ILC 的预制研究工作 5~8 年。

### 6 中国参加 ILC 国际合作可能面临的风险及其防范

中国在 ILC 建造之前通过国际合作所参与的物理理论与实验、探测器及加速器方面的预研究主要是基于国内的相关科研基础设施开展(当然,这并不排除参与基于国外实验基地的合作研究)。由于在建造之前主要是政府相关部门的对内投资,而且规模有限,特别是支持方向将紧密结合国内即将开展的基于相同通用技术的大科学工程,因此在这一阶段并不存在所谓合作“风险”。在 ILC 立项、建造和实验

(下转第 46 页)

### 参考文献：

[1] 胡树华. 产品创新管理 - 产品开发设计的功能成本分析[M]. 北京 科学出版社 2000 ,10 - 55.

[2] BALA SUBRAHMANYA , M. H. Pattern of technological innovations in small enterprises : comparative perspective of Bangalore (India) and Northeast England (UK) [J]. Technovation 2005 25 (3) 269 - 280.

[3] MOTOKAZU ORIHATA ,CHIHIRO WATANABE. Evolutional dynamics of product innovation :the case of consumer electronics[J]. Technovation ,2000 20 (8) 437 - 449.

[4] 刘希宋 杨东奇. 企业产品创新 (开发) 战略选择的系统研究[M]. 北京 经济科学出版社 2001 23 - 117.

[5] A. Griffin. Evaluating QFD' s use in US firms as a process for developing products[J] . Journal of Product Innovation Management , 1992 , (6) :171 - 187.

[6] 罗彩霞. 论产品开发中的并行设计[J]. 山西科技, 2005 (1) 65 - 66.

[7] ZIRGER J. , HARTLEY. The effect of acceleration techniques on product development time[J] . IEEE Transaction on Engineering Management ,1996 43 (2) :143 - 152.

[8] C. TERWIESCH , C. H. LOCH. Measuring the effectiveness of overlapping development activities[J] . Management Science , 1999 (45) 455 - 465.

[9] 古利平 张宗益. 中国制造业的产业发展和创新模式[J]. 科学学研究 2006 24 (2) 202 - 206.

[10] 张米尔 武春友. 基于产品平台的产品创新模式[J]. 研究与发展管理 2000 12 (6) 9 - 12.

[11] 王端民 孙林岩. 以制造资源的开放使用为基础的产品创新模式研究[J]. 中国机械工程 2001 12 (9) :1060 - 1063.

[12] 张书亭 杨建军. 支持快速产品创新的网络化制造模式[J]. 航空工程与维修 2001 (4) :18 - 20.

[13] 汪碧瀛. 高新技术企业技术创新模式选择模型[J]. 西安电子科技大学学报 (社会科学版) 2005 15 (1) 94 - 98.

[14] GREGORY N. STOCK ,NOEL P. GREIS ,WILLIAM A. FISCHER. Firm size and dynamic technological innovation[J]. Technovation 2002 22 (9) 538 - 549.

[15] B. L. KIRKMAN ,B. GIBSON P. E. TELUK ,S. O. MCPHERSON. Five challenges to virtual team success lessons from sabre, Inc[J]. Academy of Management Executive 2002 16 (3) :67.

[16] 毕克新 朱娟 冯英浚. 中小企业产品创新研究现状和发展趋势分析[J]. 科研管理 2005 26 (2) 7 - 16.

[17] G. AHUJA , C. N. LAMPERT. Entrepreneurship in the large corporation : a longitudinal study of how established firms create breakthrough inventions[J]. Strategic Management Journal 2001 22 (6 - 7) 521 - 543.

[18] C. FREEMAN. Networks of innovators a synthesis of research issues[J]. Research Policy ,1991 20 (5) 499 - 514.

(责任编辑 潘令珊)

(上接第 14 页)

阶段要充分利用我国在立项前几年有计划的预研，在谈判中争取主动，避免由于人员、技术、产业等方面准备不足而导致的大投资，少回报的尴尬局面。

### 7 结语

ILC 作为继 ITER 启动之后人类又一超大规模的国际合作科学探索活动，它不仅仅有重大的科学意义，又有重大的社会意义。由于规模宏大，合作面广，它的实施将对世界政治、经济、科学、军事、文化等方面产生深远影响，对维护世界和平(中国和平崛起的国际环境)也将起到重要的积极作用。总之，ILC

作为国际高能物理及加速器物理与技术的主流之一，中国作为经济和科技大国，应该和必须参加，这有利于在重大科学前沿问题上大幅提升中国基础科学的国际地位，有利于解决未来发展中的瓶颈问题，有利于中国高科技产业的发展，有利于中国科技基础平台的建设，有利于人才队伍的建设(引进与培养)，有利于提升我国的综合国力，否则，我国的高能物理研究置身于主流之外，就难免落后。

(责任编辑 张九庆)