



清华大学物理系的粒子物理研究

王青*

清华大学物理系, 北京 100084

*E-mail: wangq@mail.tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2011-01-20; 接受日期: 2011-02-21

摘要 介绍清华物理系粒子物理研究与教学的历史、主要的研究成果及目前和未来的研究发展方向. 科研成果包括5个方面: 非阿贝尔规范理论中的螺旋振幅方法; 重夸克偶素; 超出标准模型的新物理; 中微子和低能强子有效理论.

关键词 粒子物理, 标准模型, 新物理

PACS: 01.40.Fk, 01.70.+w, 11.10.-z, 12.38.-t, 12.60.-i

粒子物理主要研究人类所能认识到的物质最深层次的结构、最基本的相互作用和运动规律、时空的性质及宇宙起源等问题, 在这个方向上所揭示的物理现象和物理规律会引发人类对自然认识方面深刻的革命. 作为人类知识创造和主要传播者的高等学校, 开展粒子物理的科研和教学工作可以激发学生探索自然的兴趣, 培养他们认识自然的能力, 提高高校的科研和教学水平.

1 粒子物理研究与人才培养

清华大学物理系的粒子物理学科主要是从物理系复系以后开始建立和运行的. 在此之前, 有一些零星工作, 如徐璋本先生早年曾撰写过粒子物理及统一的论文, 张礼先生很多年在很困难的条件下坚持以因材施教的方法培养学生开展一些粒子物理方面的学习和研究工作. 1982年清华物理系复系时成立了理论物理教研组, 粒子物理在清华一直是理论物理

的核心研究方向. 理论物理学科是20世纪80年代初清华在全国首批获得的硕士点和博士点之一. 到1999年物理系的理论物理教研组与核物理教研组合并成立了高能物理核物理研究所. 粒子物理与核物理学科于2001年被批准为国家重点学科. 2004年清华成立了跨院系的粒子物理研究机构——清华大学高能物理研究中心. 2005年, 邝宇平院士作为召集人发起在国内成立了 TeV 物理中国工作组, 聚集了国内在超出标准模型的新物理方向工作的几乎所有研究人员, 定期开展交流和合作, 促进提出新的有重要意义的理论想法, 为中国参加 LHC 的实验组提供新的有意义的自主研究课题, 争取在 LHC 上实现中国科学家的新想法, 在国际高能物理界产生影响. 目前物理系粒子物理学科有4位在职成员: 邝宇平院士、王青教授、毕楷杰和张斌副教授, 担负着对粒子物理学科的人才培养和科学研究工作. 复系后的20多年, 到2010年粒子物理学科已培养出48位硕士、19位博士和6位博士后. 目前开设的主要研究生课程包括:

引用格式: 王青. 清华大学物理系的粒子物理研究. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2011, 41: 512-514

Wang Q. Research and teaching for Particle Physics at Department of Physics in Tsinghua University (in Chinese). Sci Sin Phys Mech Astron, 2011, 41: 512-514, doi: 10.1360/132011-84

粒子物理, 量子场论, 规范场, 粒子理论专题 I 和 II.

2 主要研究成果简介

2.1 非阿贝尔规范理论中的螺旋度振幅方法研究

在 20 世纪 80 年代, 由清华物理系博士生张达华与指导教师张礼和徐湛合作提出了一套利用旋量内积来表达无质量规范场的极化矢量的方法, 被国外同行称为 Chinese magic, 以此为基础涉及规范场的散射过程的截面可以在振幅层次进行计算和化简, 避免了直接计算截面求平方时产生的极大计算量, 为在对撞机上计算强作用背景提供了十分有效的方法. 这项工作作为清华粒子物理学科 1985 年毕业的首位博士张达华的题为《无质量非阿贝尔规范理论中的多重韧致辐射和螺旋度振幅方法》的博士论文发^[1]. 这个方法近年来不断得到业界持续的关注和发展, 人们后来不断发现了很多多点规范场螺旋度振幅的不同性质、递推关系和严格表达式.

2.2 重夸克偶素研究

邝宇平等人在 20 世纪 80 年代首次建立和发展了重夸克偶素强子跃迁的系统理论方法, 后指导学生首次给出有耦合道效应的强子跃迁理论, 提出有 QCD 意义的重夸克势模型. 2002 年邝宇平计算了在 BES 和 CLEO-c 上寻找 h_c 粒子和 $\psi(3770)$ 的 $\pi\pi$ 跃迁过程, 被后来 2005 年 BES 和 CLEO-c 的实验结果及 2009 年 BESIII 更精确的 h_c 粒子产生的结果所证实, 否定了 Voloshin、Shifman 等人的理论及其对邝宇平-颜茂茂理论预言的长达 19 年的异议和争论. 这些工作前期获得中国物理学会 1989 年首届吴有训物理奖及国家教委科技进步(1987 年二等和 1994 年一等)奖. 邝宇平等的理论所作的 20 多个预言已有 16 个被后来国际大实验室陆续做出的实验证实, 此理论已成为当前处理重夸克偶素强子跃迁问题最成功的理论. 2005 年, 国际重夸克偶素物理工作组邀请邝宇平撰写重夸克偶素的强子跃迁问题的系统总结并发表在 CERN 的黄皮书上, 此文和他 2006 年写的综述文章成为这一方面的代表性文章^[2].

2.3 超出标准模型的新物理研究

在 20 世纪 90 年代, 由清华大学物理系博士生何红建与指导教师邝宇平和中国科学院理论物理研究

所的李小源纠正前人错误, 首次严格证明了广泛用于探索各类电弱对称性破缺机制和简化理论计算的说明破缺的规范粒子纵向与它所对应的 goldstone 粒子相互等价的等价定理, 并推广到更广泛的有效拉氏量的等价定理, 使等价定理可以真正应用于对超出标准模型的新物理的探索. 这项工作作为清华粒子物理学科 1992 年毕业的博士何红建的题为《电弱理论矢量玻色子纵向散射中的等价定理》的博士论文后来发表在 *Phys Rev Lett* 上^[3]. 它是清华在文化革命后在 *Phys Rev Lett* 上发表的第二篇论文, 也是解放后清华博士生在这个杂志上发表的第一篇论文. 这些工作获 1999 年教育部科技进步二等奖, 论文被国际同行大量引用. 在此基础上一系列后继工作包括: 全面分析高能对撞机上测量电弱有效拉氏量系数的 20 多种实验的探测灵敏度; 通过 TeV 能区对撞机上顶夸克的产生探测并区分不同电弱破缺模型的办法; 电弱精确实验对模型参量的限制等. 目前, 邝宇平、张斌及其合作者已经与我国参加 LHC 上 CMS 和 ATLAS 实验组的人员密切合作, 为他们提出测量 Higgs 玻色子的反常规范耦合及检验最小 Higgsless 模型等国外尚未想到的有意义的自主研究课题, 并已经载入 CMS 内部报告, 准备在 LHC 上进行实验. 在新物理唯象领域的其他方面, 毕楷杰及其合作者研究了 R 宇称破坏的超对称模型现象学; 发展了 Wedgebox 技术, 通过重 neutralino 对的衰变来发现重超对称 Higgs 玻色子; 王青及其学生讨论了各种可能的含 Z' 或 W' 粒子电弱手征拉氏量; 邝宇平等人提出宇称自发破缺和电弱对称性破缺相互关联的新物理模型等等.

2.4 中微子研究

2006 年, 物理系的张斌与清华长江讲座教授-美国威斯康星大学的韩涛合作提出在对撞机上探测破坏轻子数守恒的过程来研究 Majorana 中微子^[4], 此论文被 Thomson Reuters Essential Science Indicators 评为在“NEUTRINO MASS CONSTRAINTS”领域引用最多的文章, 引发了国际上很多同行后继开展进一步的研究工作, ScienceWatch.com 网站还刊登了专访.

2.5 低能强子有效理论研究

从 2000~2010 年, 清华大学物理系的王青和其学生一起建立了从量子色动力学出发系统地推导和计

算赝标介子低能有效拉氏量的理论体系, 发展了相应的计算方法和计算机上进行解析推导演绎的程序. 通过 10 年的努力, 已经能够给出赝标介子有效拉氏量的 p^2 , p^4 和 p^6 阶的所有正常项和反常项上百个系数的数值^[5], 将它们与已知的实验结果相比较基本一致. 这些在标准模型中的强作用低能赝标介子系统建立的理论体系被分别推广到包含 η' 介子和矢量介子的情形. 另外在强作用中发展出的从基本理论研究低能有效理论的方法也被王青和其学生应用去研究一类新物理模型-顶夸克辅助的人工色理论的低能有效理论.

3 研究方向及未来发展

目前的科学研究在唯象方面主要是高能对撞机物理, 在理论方面包括粒子物理的标准模型及超出标准模型的新物理两个主要研究领域. 在粒子物理的标准模型领域主要包括低能强子物理和重夸克偶素物理, 在超出标准模型的新物理领域包括模型无关和模型相关的新物理理论研究. 另外在纯理论的量子场论方面, 针对量子场论中的一些基本问题, 例如非微扰效应等, 也开展研究; 还计划在实验数据分析方面适时开展研究.

参考文献

- 1 Xu Z, Zhang D H, Chang L. Helicity amplitudes for multiple Bremsstrahlung in massless nonabelian gauge theory. 1. New Definition of Polarization Vector and Formulation of Amplitudes in Grassmann Algebra. TUTP-84/3-TSINGHUA, Beijing: Tsinghua University, 1984; Xu Z, Zhang D H, Chang L. Helicity amplitudes for multiple bremsstrahlung in massless non-abelian gauge theories. Nucl Phys B, 1987, 291: 392
- 2 Kuang Y P. QCD multipole expansion and hadronic transitions in heavy quarkonium systems. Front Phys China, 2006, 1: 19
- 3 He H J, Kuang Y P, Li X Y. On the precise formulation of the equivalence theorem. Phys Rev Lett, 1992, 69: 2619
- 4 Han T, Zhang B. Signatures for majorana neutrinos at hadron colliders. Phys Rev Lett, 2006, 97: 171804
- 5 Jiang S Z, Zhang Y, Li C, et al. Computation of the p^6 order chiral Lagrangian coefficients. Phys Rev D, 2010, 81: 014001; Jiang S Z, Wang Q. Computation of the coefficients for p^6 order anomalous chiral Lagrangian. Phys Rev D, 2010, 81: 094037

Research and teaching for Particle Physics at Department of Physics in Tsinghua University

WANG Qing*

Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

We present an introduction on the history, present status and future development of the Particle Physics research and teaching at Department of Physics in Tsinghua University. The research achievements of Tsinghua particle physics group include: helicity amplitudes in non-abelian gauge field; heavy quarkonium; new physics beyond standard model; neutrino and effective field theory for low energy hadrons.

particle physics, standard model, new physics

PACS: 01.40.Fk, 01.70.+w, 11.10.-z, 12.38.-t, 12.60.-i

doi: 10.1360/132011-84