

博士学位论文

重超对称粒子在黑格斯产生
过程中的残留效应

高广平

导师 杨金民研究员

中国科学院理论物理研究所

二零零五年 五月

摘 要

十多年来, 粒子加速器上的对撞实验进一步在辐射修正的水平上验证并确立了粒子物理标准模型 (SM) 的成功地位, 只是其预言的黑格斯玻色子依然缺位。将来的加速器为粒子对撞提供了更多的物理可能性, 但同时也提出了巨大的挑战, 它要求理论给出更为精确的预言值。精确的理论预言不仅可以提高检验标准模型的精度水平, 还有助于研究可能新物理的间接效应。

如果一个轻黑格斯玻色子除外的所有超对称粒子的质量都太重而不可能在将来的强子对撞机上产生, 这时就需要寻求其它的途径来探索超对称信号存在的间接证据。黑格斯玻色子产生相关过程中的超对称粒子虚修正效应提供了可能性。本论文中, 我们主要做了如下几个工作:

- 强子对撞机上 $pp/p\bar{p} \rightarrow bh + X$ 过程中黑格斯产生的超对称效应是不容忽视的, 其部分子过程 $bg \rightarrow bh$ 是中性黑格斯的一个重要产生道, 并且 *bottom* 夸克的 *Yukawa* 对超对称量子修正比较敏感。首先我们在最小超对称标准模型下计算了其过程 $bg \rightarrow bh$ 的单圈 SUSY-QCD 修正, 结果表明在某些超对称参数空间产生截面相当大。同时我们也研究了超对称粒子大质量渐近下的 SUSY-QCD 残留效应。这种低能超对称效应主要残留在黑格斯部分, 尤其是当 *CP*- 偶黑格斯玻色子质量较轻且 $\tan\beta$ 值较大时, 残留效应十分显著。比如当 $M_A = 200 \text{ GeV}$, $\tan\beta = 50$ 时, 相对截面比可达到 70%。
- 此外, 我们还研究了强子对撞机上 *bottom* 夸克对末态相关的轻黑格斯玻色子产生过程的超对称 QCD 辐射修正效应。结果发现, 即使过程相关的超对称粒子 (胶微子和标夸克) 大于 TeV 标度而不能直接产生, 它们对过程依然有显著的虚修正效应。尤其是对应于大的 $\tan\beta$ 值, 比如取 $\tan\beta = 30$, 这种残留效应可以为截面带来超过 40% 的修正。显然这样大的修正结果在将来的强子对撞机上是可观测的。
- 我们在最小超对称标准模型的框架内计算了荷电黑格斯玻色子 $gb \rightarrow tH^-$ 产生截面的单圈超对称 QCD 修正。结果发现: 若胶子质量和超对称软破缺参数 μ 或 A_t 、 A_b 同量级且趋于很大, 就会出现超对称 QCD 的残留效应。大

的 $\tan\beta$ 值可以抬高残留效应的贡献, 对应于 $\tan\beta = 30$ 的截面修正几乎达到 60%。因此大 $\tan\beta$ 值情况下, 较大的修正结果可能在 Tevatron 和 LHC 上观测到。超对称粒子残留的根本原因在于圈图中的某些耦合顶点正比于超对称质量参数。

这些黑格斯玻色子产生过程的超对称低能残留效应如此显著, 在将来的对撞机上完全有可能被探测到。超对称低能残留效应的研究与探测对于超对称信号的实验检验有重要指导意义。尤其是面对超对称粒子的质量都太重 (TeV 标度), 在将来的强子对撞机上直接产生根本不现实的情况。

关键字: 新物理, 强子对撞机, 最小超对称标准模型, 超对称 QCD, 残留效应, 黑格斯部分

致谢

丰富多彩的求学生涯即将结束了，心里实在舍不得离开理论所这片充满了关爱的乐土，更舍不得所里朝夕相处的老师和同学们。离别之际，谨致以我最崇高的谢意！

本论文是在导师杨金民教授的悉心指导下完成的。首先非常感谢我的导师杨金民教授数年来给予我的教诲、关心与帮助，他不仅以他那严谨的治学态度、缜密的思维能力、浑厚的理论素养深刻地影响着我的学业，更以他那博大的胸怀潜移默化地影响我如何学会去宽容别人，微笑着面对生活。让我感到几年来不仅积累了丰富的学识，更在如何做人上让我学到了很多，我将随身携带着它们，勇敢的踏上新的人生之路。

感谢戴元本教授、黄朝商教授、吴岳良教授、张肇西教授、刘纯教授、马建平教授、李小源教授、陈裕启教授。高能所的杜东生教授、邢志忠教授、吕才典教授。北大的赵光达教授、李重生教授、赵志咏教授。清华的邝宇平教授。众多老师精采的授课或学术报告以及组织的学术会议，使我开阔了视野，增长了知识。

感谢牟克雄老师，郭玲老师，安惠敏老师和杨镜波老师及理论物理所的所有工作人员对我学习、生活和工作上的支持与帮助。

感谢河南师范大学的鲁公儒教授，万陵德教授，王学雷教授，杨亚东教授，北方工业大学的熊兆华博士等老师对我学习工作的指导与鼓励，以及生活上的关心与照顾。

感谢师兄弟，曹俊杰，柳国丽，王飞，王雯宇；还有已经毕业和尚未毕业的众多同学，足球队的兄弟们。工作中和他们充满激情而广泛的讨论以及生活中的相互帮住使我终生难忘。我想没有必要在这里列一个长长的致谢名单，相信把同学们放在我的心里才是大家所期望的。

最后，感谢我的父母家人。亲情正是在平凡中流露着伟大，多年来父母为了我的执着而默默地付出、承受着。今后我将竭尽所能来补偿这份一辈子也还不清的深情。永远爱你们！