# LHC上高精度现象学的研究

1. **导师及课题组介绍**
2. 导师介绍链接：

<http://tpd.ihep.cas.cn/kydw/ryjj/202401/t20240123_768818.html>

<https://phyliuzl.github.io>

1. 课题组介绍

本人于2023年12月回国加入中科院高能所理论室任特聘青年研究员。目前课题组处于起步阶段，尚无研究生与博士后。本人的研究兴趣为量子场论与对撞机现象学。如果你对理论物理，特别是粒子物理理论感兴趣，并想体验前沿课题的研究过程，欢迎你的加入！

1. **科创计划项目简介**
2. 项目简介

粒子物理理论的目的在于揭示亚原子水平上物质的组成和相互作用的基本规律。探究微观粒子在接近光速运动时的相互作用，需要结合场论、量子力学与狭义相对论，即量子场论。量子场论发展的过程中众多理论被提出，除了标准模型中的量子色动力学和电弱规范理论，还有超出标准模型的超对称和额外维等理论。这些理论具有对称性与自然性，简洁而优美。但一个理论在自然界中是否真实存在，需要高能物理实验来提供证据。在过去的半个多世纪，多种夸克和规范玻色子的存在被高能粒子对撞机实验测量所证实。2012年，位于欧洲核子中心（CERN）的大型强子对撞机（LHC）上首次发现了希格斯玻色子，为证实粒子物理标准模型的存在填补了最后一块拼图。

然而粒子物理的探索并没有止步于此。随着LHC上实验数据的积累，高能物理学家正在提高标准模型中各种参数的测量精度，包括各种粒子的质量、衰变宽度、相互作用的耦合常数等。若所测得的结果与标准模型的理论预言有偏离，则暗示新物理的存在。因此，理论学家的一个重要任务是最大程度的降低理论预言的误差，使理论预言与实验测量结果的对比变得清晰。

高能粒子散射几率可以通过计算散射振幅来得到，因此散射振幅的微扰计算是提高理论预言精度的重要途径。散射振幅的微扰展开可以用费曼图简洁有效的表示，而微扰展开的高阶贡献会包含数目庞大的费曼图，所对应的高圈费曼积分的计算也极具挑战。得益于数学物理的应用，过去10多年中发展出了多种费曼积分的解析计算方法。通过复杂而精湛的计算，所得的结果不仅能提高理论预言的精度，还可以帮助物理学家们重新审视散射振幅中暗藏的优美的数学结构。

强子对撞过程中强相互作用占据主导地位，而强相互作用由量子色动力学（QCD）来描述。LHC上QCD过程相关的观测量通常涉及多个物理标度，如粒子的横动量、喷注的质量和半径等。当能标之间存在很强的等级差时，对耦合常数做微扰展开得到的固定阶理论预言并不可靠，因为辐射修正中的软/共线辐射带来的大对数项会破坏微扰收敛性。解决此问题可以利用因子化，将软辐射、共线辐射与硬散射核的贡献分离开。因子化后每部分的只依赖于某一种特定的标度，其中的大对数项可通过求解重整化群方程重求和到耦合常数的所有阶。重求和后的理论预言具有良好的微扰收敛性，可以与实验的测量结果进行比对。

本项目重点关注LHC上希格斯玻色子和顶夸克的产生过程，利用软共线有效理论进行因子化和大对数项重求和。利用现代散射振幅计算技术，对因子化中的软辐射修正和共线辐射修正的高阶效应进行研究。

1. 使用的实验方法、仪器设备、数据软件等

微扰量子场论的计算会涉及大量的Feynman图以及复杂的积分，需要使用数学软件Mathematica。另外，大多数软件包需要在Linux操作系统安装使用。课题组可以提供性能强大的服务器进行运算。

1. 对学生专业知识背景等方面的要求

学生需熟练掌握本科阶段量子力学和电动力学中的内容，并对粒子物理和量子场论有基本了解。熟悉Linux操作系统。有良好的英语阅读和写作能力。

1. 项目预期目标、成果和收获

通过一段时间的科研训练，使学生能熟悉量子色动力学中的知识，计算对撞机上高能粒子的散射截面。利用有效理论，对LHC上包含多标度过程的观测量进行因子化，运用散射振幅的红外发散结构构建重整化群方程并求解。利用现代圈图计算方法，计算低能矩阵元的高阶辐射效应。若取得创新性成果，可投稿至国际高能物理刊物。

1. **其他说明**

无