理论物理所等在量子场论和弦论中散射振幅研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/5692.html

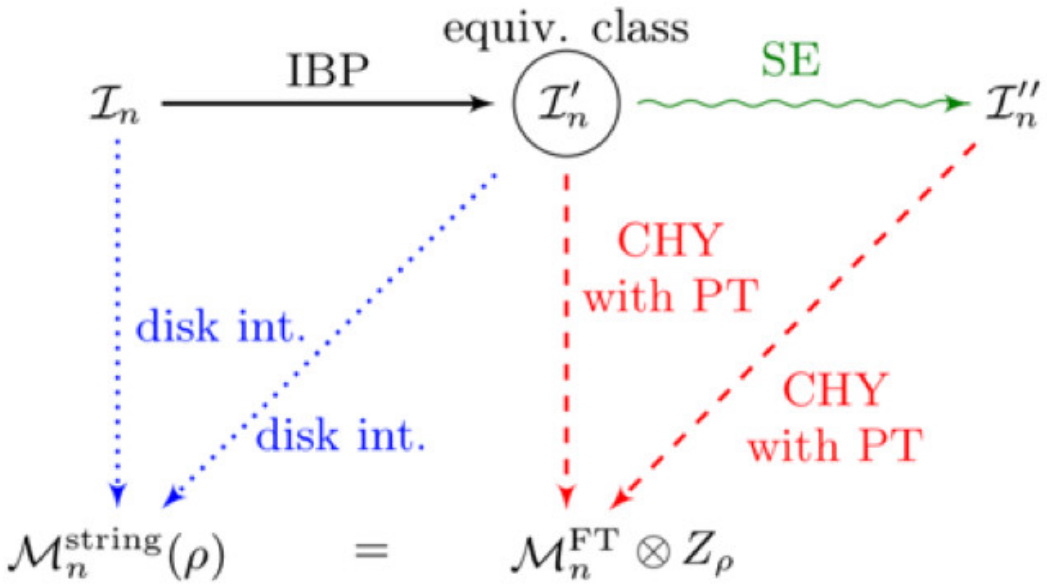
本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

理论物理所等在量子场论和弦论中散射振幅研究中取得进展。量子场论是目前公认的描述微观物理世界的理论框架。以量子场论为基础的粒子物理标准模型通过了大量精确的实验检验，而联系理论和实验的主要桥梁就是散射振幅。作为量子场论中的核心概念，对散射振幅的计算和理解一直是场论的主要研究方向之一。近十多年来，散射振幅的研究获得了惊人的进展，不仅发展了新的计算方法，而且揭示了振幅具有令人意想不到的简单性和新结构。这不仅和高能实验紧密相关，也为深刻理解量子场论、引力和弦论的基本问题提供了可能的新思路，已成为理论物理前沿一个高速发展的重要方向。 以散射振幅为代表的一系列新进展明确地告诉我们：即使在微扰论低阶，量子场论仍然有非常丰富的、难以用费曼图理解的物理和数学结构，特别是和引力、弦论等理论之间的联系;对它们更深刻的理解需要突破传统方法的框架。例如近年来一个重要发现是引力和规范场论之间所谓的“ 平方关系 ”(double copy)，即引力振幅可以表达为规范场振幅的“ 平方 ”。这一关系首先在树图水平由Kawai、Lewellen、Tye在1986年前发现;2008年Bern 等人将这一关系推广到圈图水平;更有意思的是，弦论振幅也可以由平方关系从场论振幅得到。近年来，平方关系及其对引力、弦论的应用成了散射振幅研究中一个热门方向。

一个重要的问题是，如何建立一个新的理论框架来理解散射振幅这些新的结构。Witten在2003年提出了扭量弦论对四维超对称场论回答了这一问题，也启发了近十多年振幅方向的高速发展。2013年，Cachazo、何颂和袁野提出的CHY体系大大推广了Witten的结果：任意时空维度无质量粒子的树图散射都可以通过“ 散射方程 ”进行普适的描述;利用散射方程写下的极其简单的CHY积分公式可以得到引力、规范场、有效场论等大量理论的全部树图振幅的表达式，这从费曼图出发几乎是无法想象的。更重要的是，CHY公式使规范场和引力的对称性得以显示，也非常漂亮地解释了平方关系并发现了更多理论之间的关系。尽管对CHY体系及其应用的研究受到了大量的关注，这一体系的基本起源，特别是和弦论之间的关系仍然是个未解决的问题。

最近，中国科学院理论物理研究所研究员何颂、博士生张勇以及Uppsala大学的博士后滕飞在这一方向取得新进展。如上所述，近年的研究发现弦论树图振幅也满足和场论振幅的“ 平方关系 ”，但对这一现象还没有一般的理解。他们的结果首次将任意弦论树图振幅表达为普适的弦论积分和一个由CHY公式定义的场论振幅的“ 乘积 ”;这不仅是对弦论平方关系的一般理解，也对理解CHY体系和弦论之间的深刻联系迈出了重要的一步。相关成果发表于《物理评论快报》。

该研究得到千人计划(青年项目)、中科院前沿重点研究项目、国家自然科学基金委理论物理专款“ 彭桓武理论物理创新研究中心 ”，以及Knut and Alice Wallenberg 基金会的支持。



图：任意弦论树图振幅的被积函数(图中的I_n)都可以用分部积分(integration by parts，简称为IBP)约化方法化成一种标准形式(图中I_n ’)，该形式既可以直接做弦论积分得到弦论振幅，又可以通过做CHY积分得到一个场论的振幅。最终弦论积分由一个普适的积分与上述的由CHY公式定义的场论振幅相乘得到。标准形式可以在CHY公式的框架下进一步化简，得到场论振幅非常简单的CHY表示。例如对所谓杂化弦振幅，该结果首次得到了一个新的场论中任意振幅的CHY表达式，其中包含了引力耦合规范场(Einstein-Yang-Mills), 共形引力(conformal gravity)等理论的全部树图振幅。

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发