
理论物理所等在量子场论微扰计算中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/14611.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！

量子场论被认为是描述自然的基本理论框架，以此为基础的粒子物理标准模型也得到广泛的实验验证。散射振幅作为量子场论中核心的观测量，搭建起了联系理论与实验的主要桥梁。近年来，散射振幅领域的研究取得重要进展。其发展出新的计算方法从而和高能实验紧密相关，揭示出的物理理论本身的新结构，为理解量子场论、引力和弦论的基本问题提供了新思路。因此，研究散射振幅成为理论物理前沿的重要方向。

在散射振幅以及更一般地对量子场论的研究中，科学家倾向于首先在一个更简单但具有丰富结构的理论中发展新工具、发现新结构，而后将其应用到标准模型等实际理论中。平面极限下的最大超对称规范场论（planar $N=4$ SYM）正是这样一种理论。它具有某些标准模型所没有的共形对称性等更强的对称性，其包括散射振幅在内的物理量拥有更简单的结构，以及与引力、弦论和数学物理等方面的紧密联系。特别地，由于 planar $N=4$ SYM 理论有一种新的隐藏对称性，即对偶超共形对称性（dual conformal invariance, DCI），科学家从对偶空间（动量构成的空间）的视角发掘了该理论的新结构。其中，对偶空间中的超对称 Wilson 圈与振幅的对偶引起关注，在超对称 Wilson 圈的表述下，振幅的对偶超共形对称性变得完全显明，这不仅导致了正 Grassmannian 几何等重要的数学发现，也提供了新的振幅计算方法。

此外，振幅的费曼图表示也广泛应用于各种理论的微扰计算中。由于 $N=4$ SYM 的振幅具有更强的对称性，一个问题是 $N=4$ SYM 是否有更简单的费曼图表示，且单个费曼图的结果也具有一定的对称性？2010年，科学家对于 $N=4$ SYM 的圈图振幅发现了一种新的费曼图展开，使得每一副费曼图的结果都具有诸如对偶共形对称性，有限性与局域性等良好的性质。但是，这些积分是动力学参量的复杂代数函数，直接计算十分困难。尽管物理学家对这些费曼图的积分结果的结构有一定预期，却始终没有得到过它们的具体结果。

近日，中国科学院理论物理研究所研究员何颂、博士生李振杰、硕士生杨清霖与丹麦哥本哈根大学尼尔斯·玻尔研究所博士后张驰在此方向取得成果。科研人员基于一些费曼图也有 Wilson 圈解释这个观察，将许多难以计算的费曼图化为较简单的类似于 Wilson 圈计算中线积分的形式。特别地，科研人员通过该方法计算了图中被称为“双圈手征五边形图”的费曼积分，将两圈积分化为一圈积分的两重线积分的形式，并通过既有算法首次给出了该积分结果的结构。

计算过程中，科研人员通过应用“有理化”的计算思想，完成了含有积分变量平方根的多对数函数的迭代积分，解决了积分结果本身是参量复杂代数函数这一难题。该积分结果可以给出 planar $N=4$ SYM 理论中当外腿为最大螺旋度破坏（MHV）情况下任意粒子数的两圈振幅。该成果为对偶共形不变的费曼积分的计算提供了新结果，并可应用于一类更一般的多腿对偶共形不变的高圈积分计算。该方法对更一般的费曼积分和散射振幅的计算提供了启发，并引发了关于费曼积分数

学结构的系列新研究。

相关研究成果发表在*Physical Review Letters*上。研究工作得到中科院前沿重点研究项目，国家自然科学基金重点项目等的资助。

The equation shows a Feynman diagram on the left, an integral expression in the middle, and another Feynman diagram on the right. The left diagram is a four-point interaction with external lines labeled j, k, i, l and internal lines with wavy segments. The middle expression is $\int \frac{d^2\tau \langle i j k l \rangle}{\langle i X j Y \rangle}$. The right diagram is a hexagonal loop with vertices labeled j, k, l, i and internal lines labeled $x_k, x_{k+1}, x_l, x_{l+1}$, with additional labels $k-1, k+1, l-1, l+1$ and y, x on the left side.

理论物理所等在量子场论微扰计算中取得进展

研究团队单位：理论物理研究所

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](https://www.iikx.com)转发