
研究借助物理自洽性计算圈振幅

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/16166.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！

费曼图是量子场论中普适的计算微扰的方法，运用广泛。费曼图的计算流程具有清晰的物理图像（图1），但计算中间流程繁琐，且易犯错。随着外线数和圈数的增加，费曼图的个数随之呈阶乘数增长，要完成所有费曼图的计算颇为困难，有时即使借助强大的计算机也无法做到。

与这些困难形成对比的是，费曼图最终求和的物理结果往往较为简单。最著名的例子就是描述胶子最大螺旋度破缺（MHV）振幅的Parke-Taylor公式，它给出了给定螺旋度情况下任意数量胶子相互作用在树图阶的简单结果。这些结构很难通过费曼图来直接理解，这启示我们存在一种不同于费曼图的更有效的方法来重新看待场论。

在通常费曼图计算中，经过复杂的计算过程得到结果后，来检查所得的结果是否满足各类物理要求，如果通过，结果就较可靠。这些物理约束包括具有普适的红外发散结构、满足共线极限的因子化性质、通过么正性切割检验，以及满足其他极限行为等。这些约束担任重要的“产品检测员”的角色。

而更好的思路或是反过来，从计算的一开始让这些物理约束登场，邀请它们作为第一线的“产品设计师”，借助这些约束来尝试直接构造最终结果。这样更直接吸收了物理更基本的要求，可以简化中间过程，并保证结果的正确性。这就是bootstrap方法（图2）。

近日，中国科学院理论物理研究所杨刚研究员与研究生郭圆宏、王磊就借助这一思路，发展了计算圈图散射振幅的新方法：从振幅的一般结构出发，避开费曼图，直接借助物理约束得到最终的物理结果。相关研究成果发表在Physical Review Letters (Vol. 127, No. 15, 2021) 上。

具体来说，振幅的物理信息包含在积分基底的“系数”中。一个简单的例子是无质量的单圈振幅。单圈积分的数学性质表明，任意单圈振幅都可以用一组包含box、triangle和bubble的标量积分基底展开（这样做只会丢掉一些所谓有理项，暂且忽略，如图3）。这些积分基底是数学上统一定义的积分，而真正的物理信息则包含在这些积分的系数中。

传统的计算思路是从费曼图出发，而后通过积分约化得到这些系数结果。科研人员借助红外发散、共线极限、虚极点消除及少数简单的么正性约束条件等，直接通过求解线性方程组得到了这类系数，并首次实现了两圈四点形状因子（相当于外线带质量的两圈五点振幅前沿问题）的计算（图4）。这一思路提出了计算上的新途径，并可以帮助理解振幅和形状因子中所发现的最大超越度对应关系等解析结构。

图1.描述正反电子湮灭，产生正反夸克并辐射一个胶子的树图阶费曼图



图2.从一些基本假设条件出发，要求物理结果满足这些条件的自洽性要求，从而直接约束得到最终物理结果，这一思想就是bootstrap，中文有时译为“自举”，取“自己把自己提起”之意，如图所示

$$\text{One-loop amplitude} = \sum d_i \text{ (square loop)} + \sum c_i \text{ (triangle loop)} + \sum b_i \text{ (crossed loop)}$$

待求物理信息

图3.单圈振幅按基底积分展开的例子，真正的物理信息包含在系数中

图4.两圈五点积分的例子和么正性约束

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](http://www.iikx.com)转发