

2020 年 6 月 24 日

# Collier help

ymy

2020 年 6 月 24 日

COLLIER is a fortran 单圈-标量和张量的数值积分程序库。这些积分出现在微扰的相对论性量子场论中。它具有以下 features:

- 多粒子复杂度 scalar and tensor integrals
- ultraviolet divergences 的维数正规化
- soft infrared divergences 的维数正规化 (对于非阿贝尔场, 也支持 mass regularization)
- 对于共线质量奇点的维数正规化或者质量正规化
- 对于不稳定粒子, complex 内线质量完全支持 (外动量和 virtualities 认作是实数)
- 数值危险区域 (小 Gram 或者其他运动学行列式), 使用专用的展开处理。
- 所有基本模块都有两种平行的实现方式, 可以用作内部交叉检验
- 缓存系统-用来加速计算

代码提供了量子场论中任意张量和标量积分的数值结果。对于张量积分, 不管协变分解中的系数还是张量元本身都将给出。Collier 支持 complex 质量, 在计算不稳定粒子时会需要。采用维数正规化处理紫外和红外奇点。对于 soft 和共线奇点, 有可选用的质量正规化方案。

## 1 introduction

multi-leg one-loop amplitudes 振幅求值的巨大进步，来自于两方面：

1. 传统费曼图方法的系统改进
2. 基于推广的么正性关系的新理论技术

在第二种方法中，单圈振幅被直接表示成标量积分的组合。这种向固定标量积分基的直接约化，会引发相空间特定区域的数值问题。一般可以通过采用四次精度的数值计算克服。

相反，费曼图方法，包括最近的递归方法依赖于张量积分。此方法允许分解方法自适应于相空间的不同区域，在相当大的程度上，通过最优选择避免数值不稳定性。Collier 库提供了计算标量和张量积分的全面工具。在两种互补的方法中都能应用。

将张量积分约化到一小族基本积分的方法，可以追溯到 Brown and Feynman, Melrose, and Passarino and Veltman。又经过了数十年的发展，文献 [43, 50] 展示的完整方法，是 Collier 代码的基础。作为张量分解基础的标量积分首次由 t' Hooft and Veltman 进行了系统研究。已经存在数个计算单圈标量和张量积分的库，比如：

- FF, LoopTools,
- QCDLoop, OneLoop,
- GoLem95C, PJFRY, Package-X

这里介绍的 Collier 库，提供完全的张量积分集合，处理带有复数质量的过程，并且没有先验的粒子数限制。

Collier 已在用于多个前沿课题的计算。

文章结构：

- Section 2: Collier 相关约定
- Section 3: 计算张量积分的方法轮廓
- Section 4: Collier 库的内部结构
- Section 5: 用法

- Section 6: 总结
- Appendix A: 定义单圈积分的运动学输入细节

## 2 Convention

一致性地使用 Refs. [50, 59] 中的约定。约化张量积分的方法在 Refs. [43, 50] 中有描述, 已经实现 4-点函数的结果可以在 Ref. [59] 中找到。标量 1-, 2-, 3-点函数的结果基于 Refs. [45, 52]

$D$  维空间中, 单圈  $N$  点张量积分的一般形式为:

$$T^{N, \mu_1, \dots, \mu_P}(p_1, \dots, p_{N-1}, m_0, \dots, m_{N-1}) = \frac{(2\pi\mu)^{4-D}}{i\pi^2} \int d^D q \frac{q^{\mu_1} \dots q^{\mu_P}}{N_0 N_1 \dots N_{N-1}} \quad (1)$$