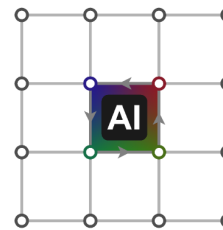


11 OCTOBER 2026

LaMET-Agent

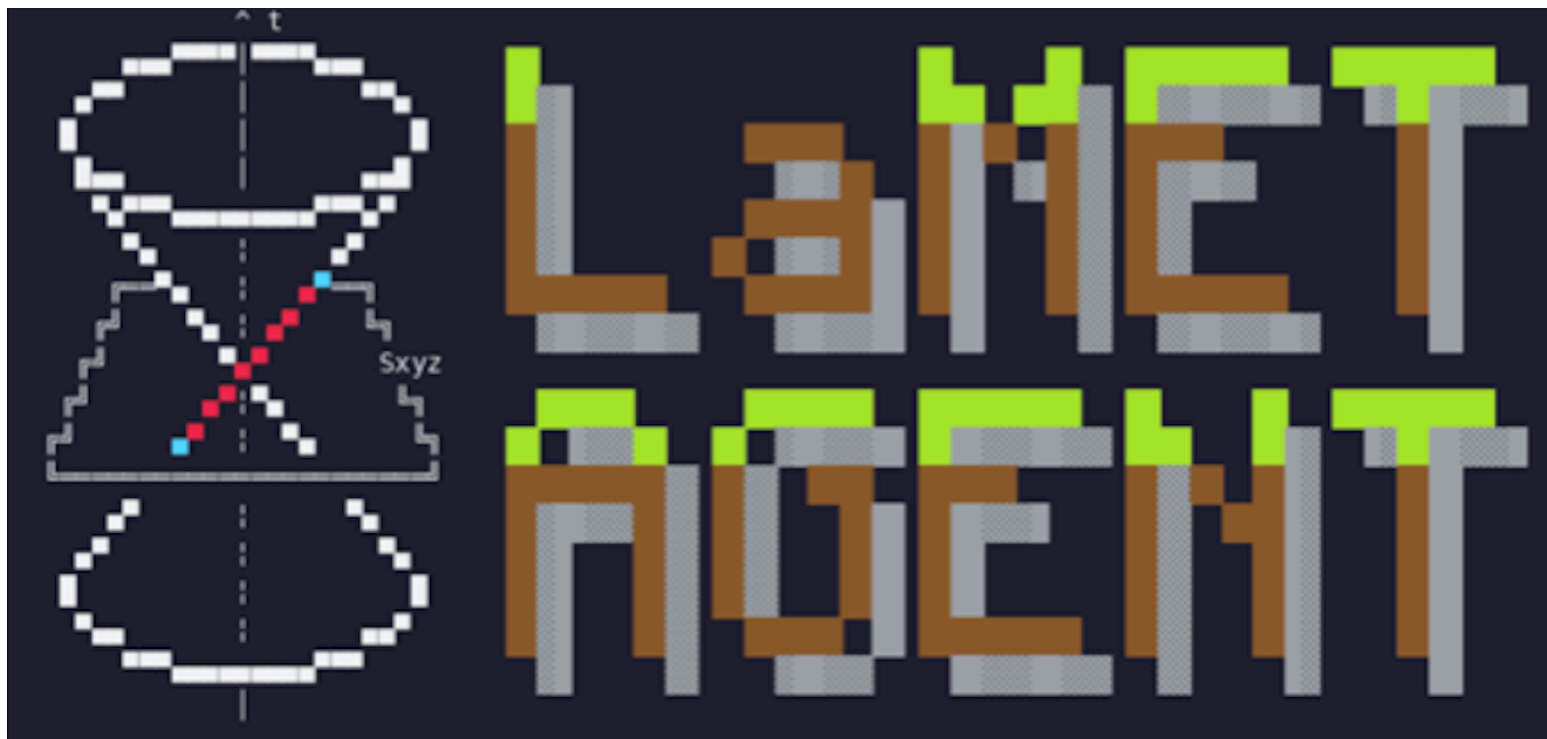


AI4LGT
AI FOR LATTICE GAUGE THEORY

大动量有效理论 (LaMET) 分析的智能体框架

<https://github.com/AI4LGT/lamet-agent>

arXiv: 2609.32225



Connect us:

jinchen@fnal.gov

xj12@iu.edu

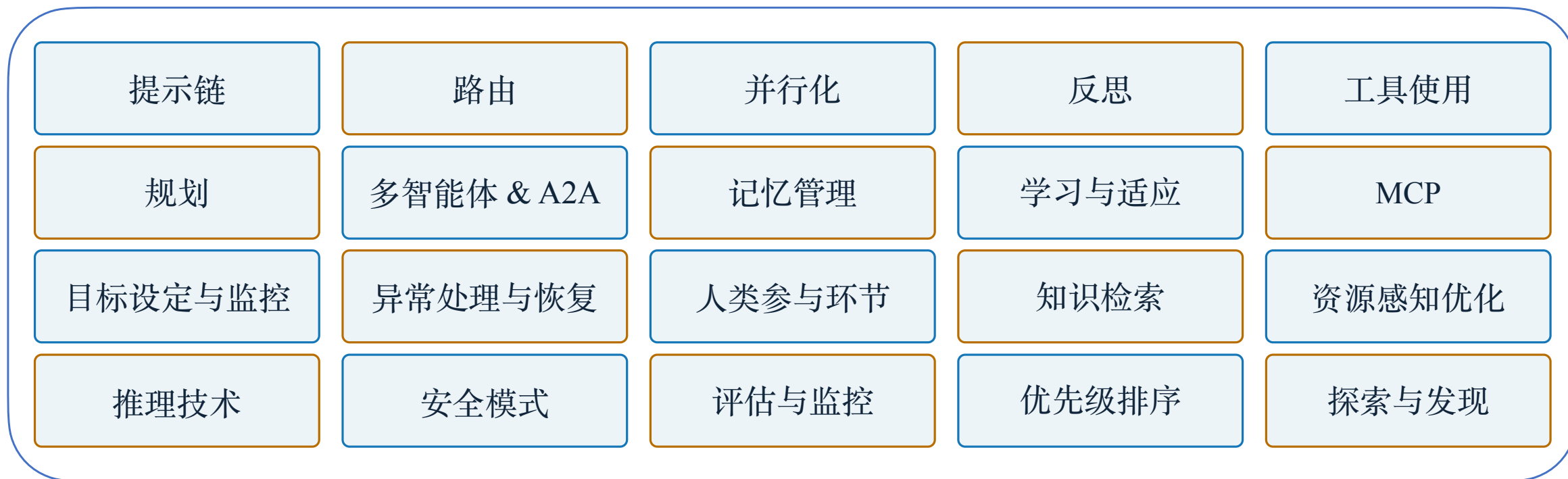
fyao@bnl.gov

zhaodianjun@cuhk.edu.cn

Dian-Jun Zhao in collaboration with Jinchen He, Xiangyu Jiang and Fei Yao

如何设计智能体？

A. Gulli 为Agent设计提供了 21 条原则：



为了更好地为用户服务，领域智能体的设计必须遵循（部分或全部）上述原则。

域内知识 1: LaMET 的用途是什么?

强子内部结构的全貌是什么?

目标物理量

部分子分布函数 (PDF), TMD-PDF, 广义部分子分布 (GPD), 分布振幅 (DA), ...

$$\Phi_{h,h'}^{[\Gamma]}(x, \xi, \mathbf{k}_T, \Delta_T) = \int \frac{dz^-}{4\pi} \frac{d^2 z_T}{(2\pi)^2} e^{ixP^+z^- - i\mathbf{k}_T \mathbf{z}_T} \\ \times \langle h'(p') | \bar{q}(-z/2) \Gamma W q(z/2) | h(p) \rangle \big|_{z^+=0}$$

PDF: $h = h'$, integrate $\mathbf{k}_T$, $\Delta = 0$ GPD: $h = h'$, integrate $\mathbf{k}_T$ TMD-PDF: $h = h'$, $\Delta = 0$ DA: $h = 0$, integrate $\mathbf{k}_T$

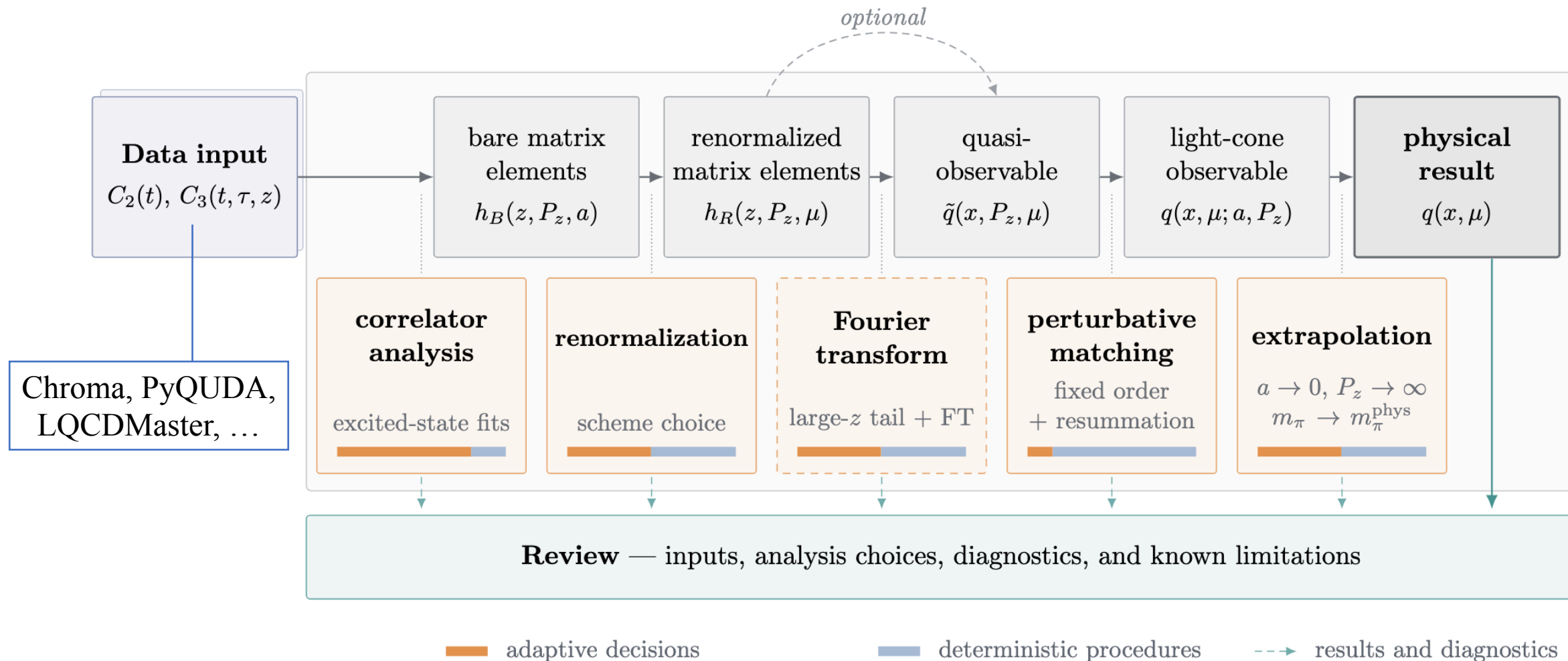
格点困局

Euclidean 格点 QCD 的关联定义在虚时上，只覆盖类空分离；而光锥关联定义在实时或光锥分离上。

LaMET 提案

先在大动量强子态中计算类空关联函数，再通过微扰匹配和幂次修正，将其与光锥分布关联。

域内知识 2: LaMET + LQCD 的具体阶段是什么?



模仿 LQCD 学家对 LaMET 分析的过程，我们给出 LaMET-Agent 1.0。

我们对 LaMET-Agent 1.0 的愿景是什么？

对 LaMET 初学者

1. 实现由果推因的逻辑导向，快速形成生产力；
2. 使用作者提供的 Report 学习 LaMET 的完整方法论；
3. 使用 LLM 提供的 Review 学习其他计算相同可观测量的文献。

对 LaMET 专家

1. 节省您在繁琐的 LQCD 数值分析上的时间和金钱；
2. 采用统一的数据格式和开源的数据分析流优化 LQCD 生态；
3. 以 LaMET-Agent 1.0 作为数值分析最新方法论的最佳训练场。

更广泛的其他领域听众

了解数值分析领域智能体的设计范式。

LaMET-Agent 1.0 中 LLM 与确定性计算的职责边界是什么？

什么总是保持确定性？

所有数值手段都是由作者提供的工具执行的，绝不是由 LLM 执行的！

统计学公式

裸矩阵元比率构造

确定了 Scheme 后的重整化公式

大 Lambda 外推形式与 Fourier 变换操作

固定的匹配核函数

连续、物理点、IMF 外推形式

系统误差引入位置

什么可以开放给 LLM ？

Stages	LLM
Plan Mode	自然语言描述需求
Correlator Analysis	选择拟合窗口
Fourier Transform	选择大-z 尾部窗口
Review	综合报告、文献等

如果用户已经是 LQCD 专家，拟合窗口的选取也可以为您开放。

LaMET-Agent 1.0 支持哪些数值分析？

Stages	已支持的数值分析
关联函数分析 (并行处理样本拟合)	支持 qda_ratio/3pt_aratio/FH/ Lanczos 对有/没有 BMA 的前向/非前向裸矩阵元进行 n-态抽取
重整化	R+E/H+E/R+S/M+S/H+S 方案
Fourier 变换 (并行处理样本拟合)	基于 arXiv:2601.12189 的渐近外推形式，有/没有 BMA ，CG/GI 强子 q/g PDF/DA/GPD
微扰匹配	支持 CG/GI 下超过 50 个匹配核函数
IMF/连续/物理点 外推	$q(x, \mu; a, P_z, m_\pi) = q(x, \mu) + c_a(x)a^2 + c_P(x)\frac{1}{P_z^2} + c_{aP}(x)(aP_z)^2 + c_\pi(x)(m_\pi^2 - m_{\pi,\text{phys}}^2) + \cdots$
Review	LLM 可以根据报告进行总结、诊断（使用文献数据库）和调整清单
系统误差处理	Fourier 变换中的 z_{min} , 微扰匹配中的 μ , 外推中的其他可能形式

LaMET-Agent 1.0 有哪些特色功能?

Plan 模式

```
Planner
What would you like to know or change?
> How will you extract the bare matrix elements from correlators?
Planner
For each correlator-analysis job, the manifest will use the default least-squares method (`lsqfit`) on the real channel. ...
> Is there any other methods to extract the bare matrix elements?
Planner
Yes. The correlator-analysis contract supports two extraction algorithms:
- Nonlinear least-squares (`lsqfit`) - the current method. ...
- Lanczos (`lanczos`) ...
> I want to use the Lanczos method
Planner
Since your goal is bare matrix elements, I infer the Lanczos scope should be three-point matrix extraction (`3pt_matrix`), rather than the spectrum-only option (`2pt_spectrum`). Please confirm. ...
> Yes, 3pt matrix please.
Planner
The `3pt_matrix` scope is confirmed. Lanczos also requires one exported Ritz-state count. The current analysis uses two states for both the two- and three-point sectors, so I suggest carrying that over as 2 Ritz states. Should I use 2?
> Yes
Proposed plan
Use Lanczos Krylov analysis to extract three-point bare matrix elements for both correlator jobs, in the real channel, with two exported Ritz states. ...
✓ Manifest validated
```

Review 阶段

结论

在请求的六项确定性检查下，本流水线在阶段边界上是一致的：0 error、9 warning，warning 全部可解释——6 条为 ratio→hybrid 的重正化方案标签变化（与 external_denominator 的 ratio 分母机制一致），3 条为 100 点 [-2,2]→50 点 [-1,1] 的分布网格变化（与匹配核 [50,100] 一致）；无 info、无 not_checkable。需要强调：这些检查只验证边上的字段保持情况，零发现与可解释的 warning 都不构成物理正确性的证明。

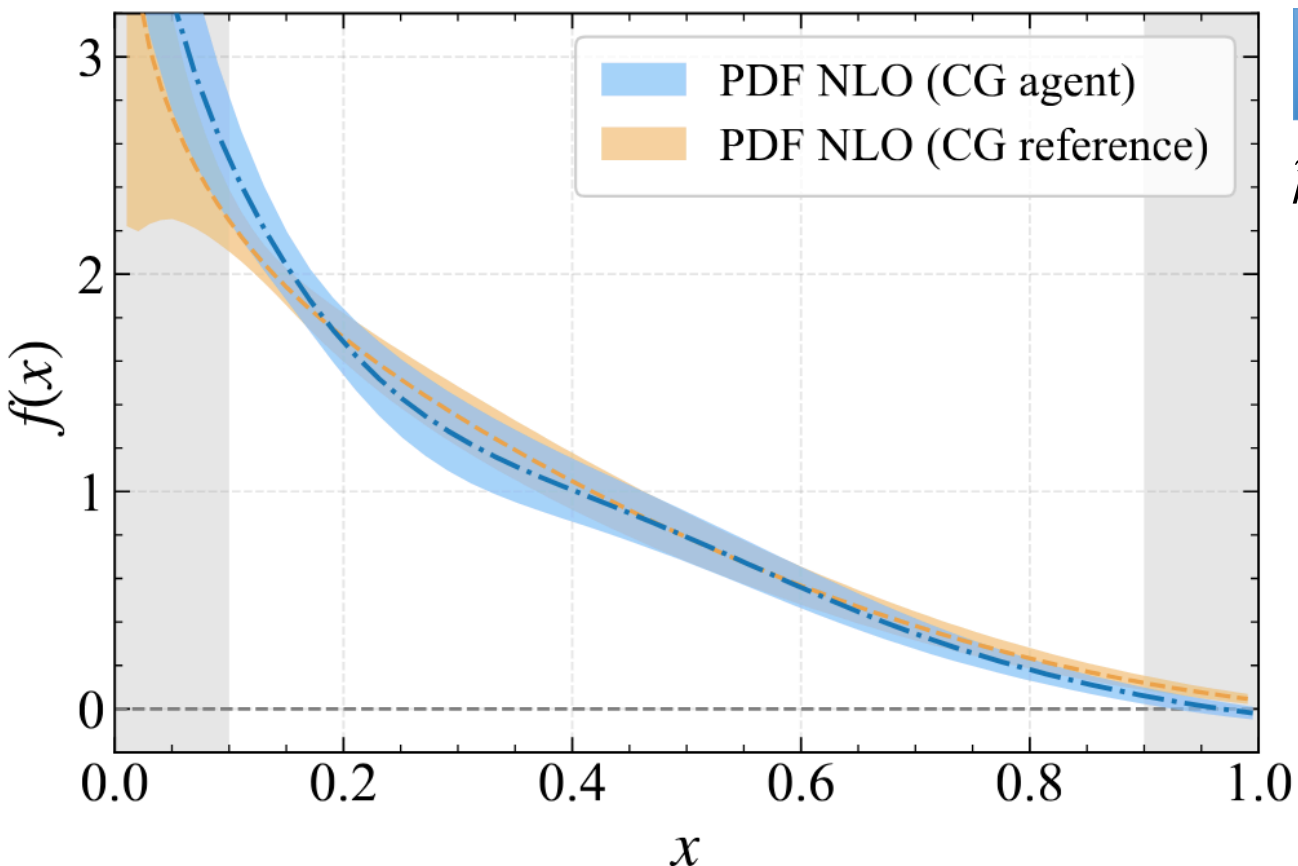
物理上，小分离 z 处矩阵元与比值拟合表现稳健（各动量 $z=0$ 处约 1.14–1.17，随 z 单调衰减），随动量增大统计精度迅速下降；重正化后矩阵元在 $z=0$ 归一为 1，但最大动量 p_4 在大 z (≈ 1.89 fm) 处给出 -15(26)，已无有效信号。NLO ($\mu=2$ GeV, hybrid) 匹配分布在 $x\approx 0$ 附近取峰 ($mt_{p1}\approx 1.842(48)$ 、 $mt_{p2}\approx 3.18(36)$ 、 $mt_{p4}\approx 3.5(1.0)$)，但 p_4 的多个节点误差达 $O(1)$ 甚至未约束，端点区受统计与幂次修正共同主导。所供分布关于 $x=0$ 镜像对称，其与目标价夸克定义的对应关系在现有证据下 not checkable（定义/符号约定 not provided）。

综合而言，这是一套单集合、单格距、NLO、固定标度的探索性结果：内部检查一致，小 z 物理信号可信，但最大动量与大 z 区域不足以支撑定量结论。建议后续补齐连续极限与手征外插、更高阶匹配与（大对数/重整子）重求和、更大动量与更大体积与更高统计，并明确所给分布的定义与对称性约定后再作定量物理解读。

- [Leading power accuracy in lattice calculations of parton distributions](#), arXiv:2305.05212 ([ar5iv text](#), [ar5iv](#)).
- [Lattice QCD Determination of the Bjorken- \$x\$ Dependence of Parton Distribution Functions at Next-to-Next-to-Leading Order](#), arXiv:2112.02208 ([ar5iv text](#), [ar5iv](#)).
- [Pion valence quark distribution at physical pion mass of \$N_f = 2 + 1 + 1\$ lattice QCD](#), arXiv:2404.14525 ([ar5iv text](#), [ar5iv](#)).
- [First direct lattice-QCD calculation of the \$x\$ -dependence of the pion parton distribution function](#), arXiv:1804.01483 ([ar5iv text](#), [ar5iv](#)).

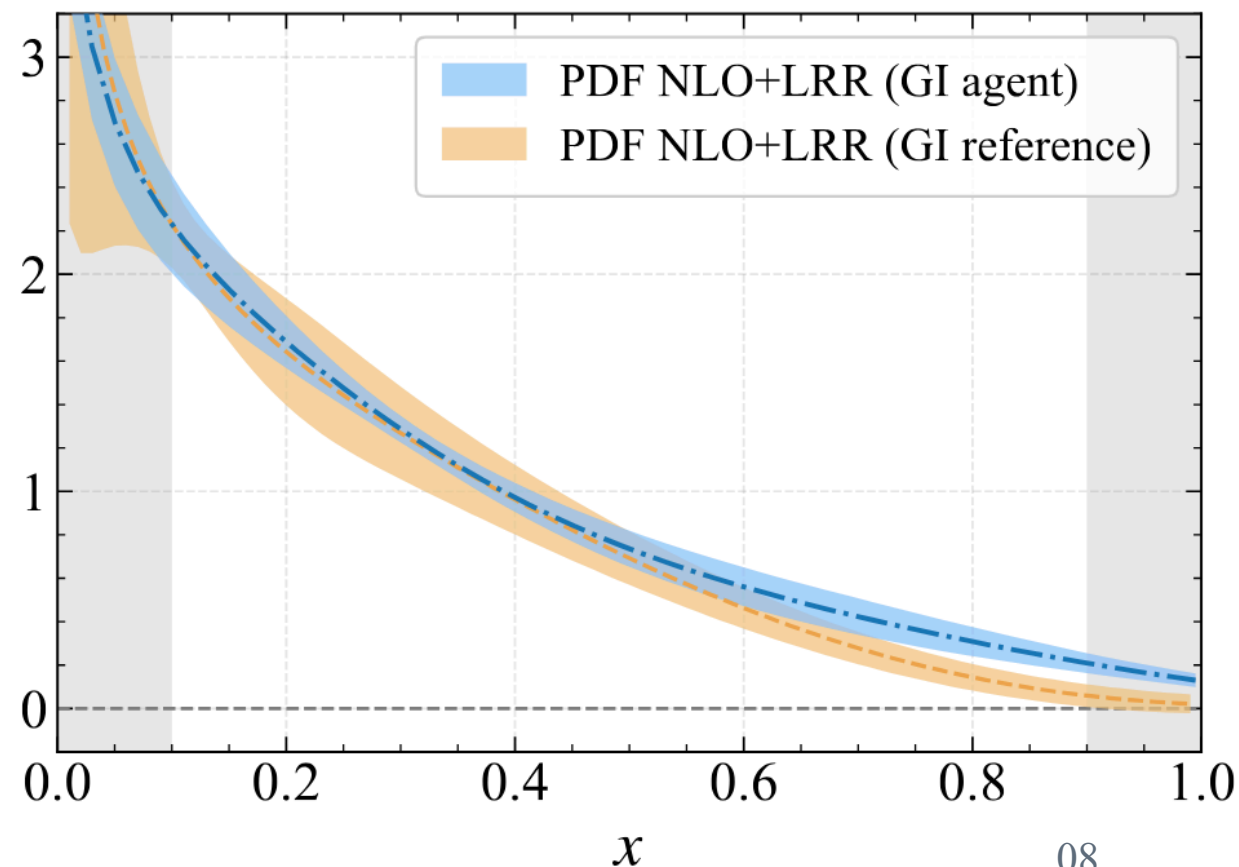
我们已经使用 LaMET-Agent 1.0 做到了什么？

分析并不完全一致，因此结果仅在误差范围内一致。



Coulomb 规范下的 π 夸克价 PDF

$$\tilde{h}_{\text{CG}}(z, P_z) = \frac{1}{2P^t} \langle \pi(P) | \bar{\psi}(z) \gamma^t \psi(0) |_{\vec{\nabla} \cdot \vec{A}=0} | \pi(P) \rangle$$



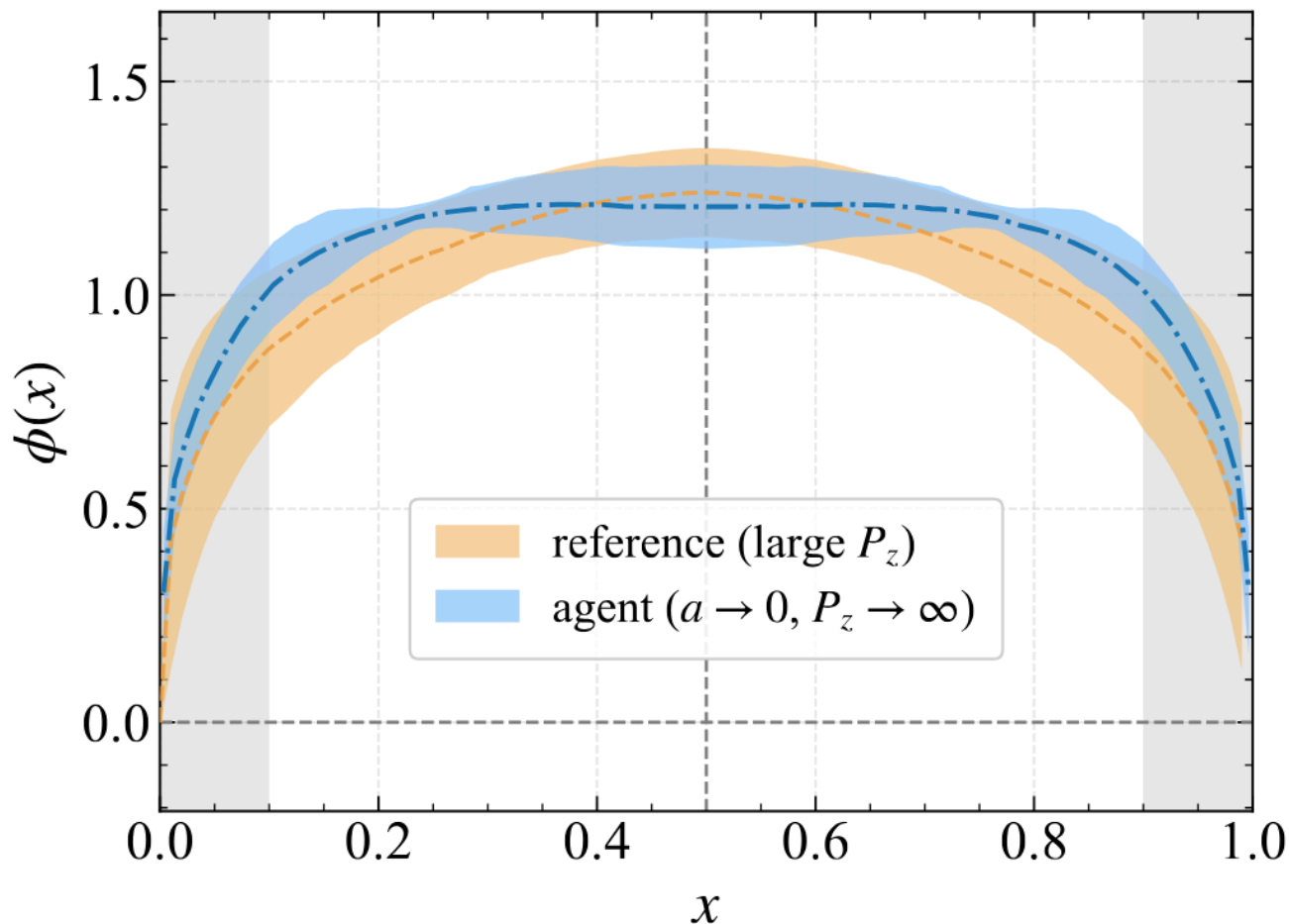
规范不变形式下的 π 夸克价 PDF

$$\tilde{h}_{\text{GI}}(z, P_z) = \frac{1}{2P^t} \langle \pi(P) | \bar{\psi}(z) \gamma^t W(z,0) \psi(0) | \pi(P) \rangle$$

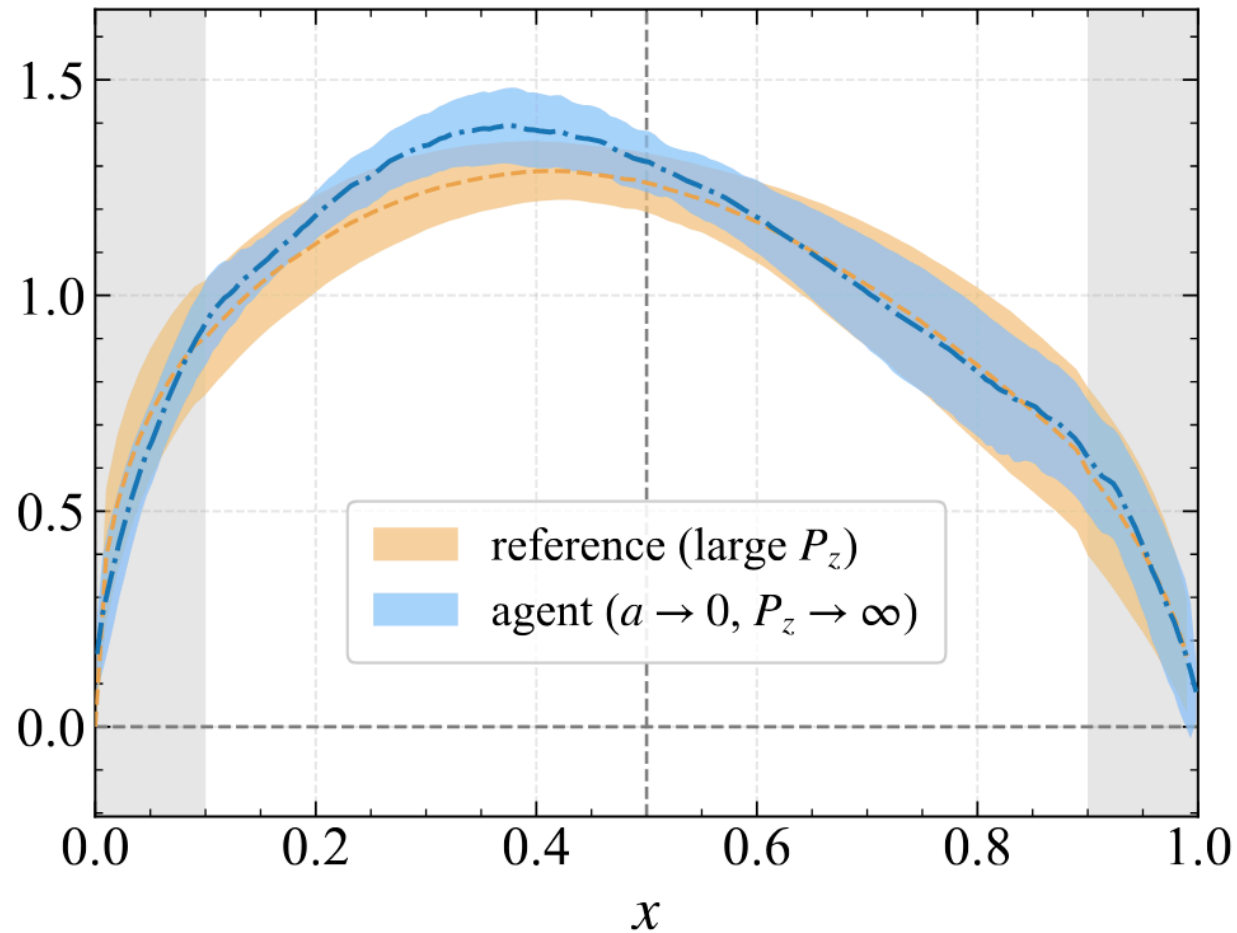
我们已经使用 LaMET-Agent 1.0 做到了什么？

分析并不完全一致，因此结果仅在误差范围内一致。

规范不变形式下的 π 介子 DA



规范不变形式下的 K 介子 DA

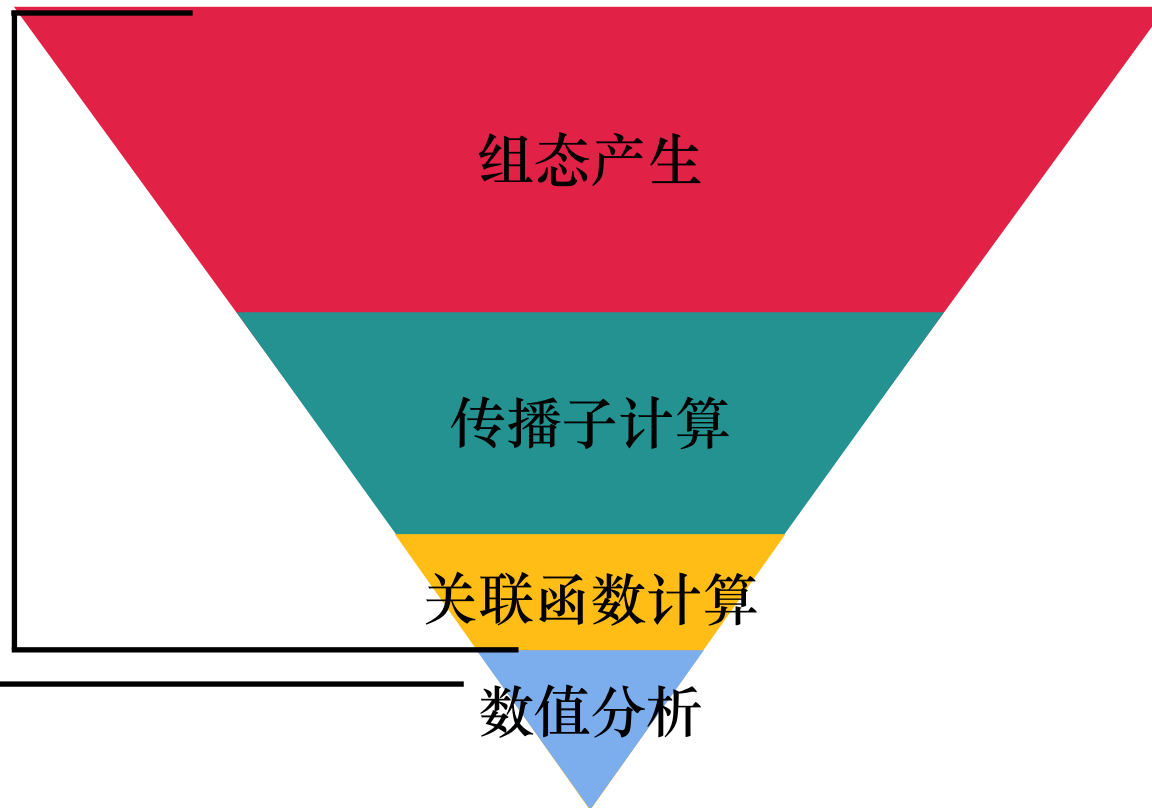
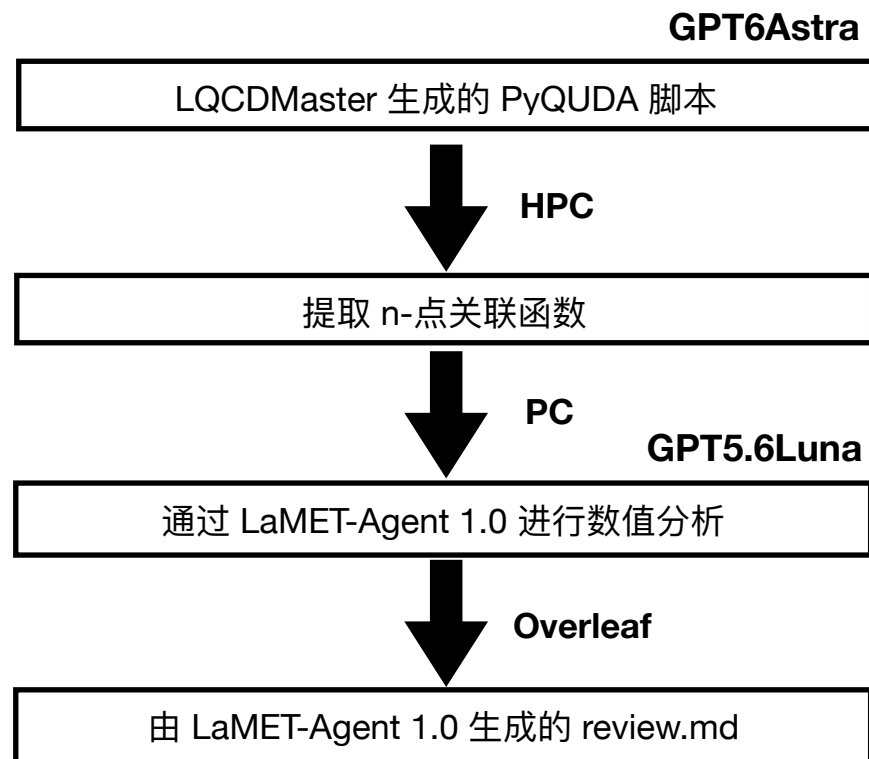


$$\tilde{h}_M^\Gamma(z, P_z) = \langle 0 | \bar{\psi}_1(z) \Gamma W(z, 0) \psi_2(0) | M(P) \rangle$$

HITL 在 2026 年的 LQCD 工作流程中应该如何存在?

<https://github.com/AI4LGT/lamet-agent>

https://github.com/sjtu-sai-agents/LQCD_Master#



通过人工检查每个步骤的结果

LaMET-Agent 1.1 将支持什么？

LaMET-Agent 1.1 beyond LaMET...

类别	LaMET-Agent 2.0
Planning	具有更宽边界的 Plan Mode
可观测量	形状因子 & 矩 (具有更好的显示效果), TMD-PDF, GTMD, Gluon parton
关联函数分析	广义特征值问题 (GVEP), 流-流关联函数, 一些其他方案
重整化	正则化无关的动量减除方案 (RI $\backslash$ ω MOM), Gradient Flow
Fourier 变换	完全可跳过的结构
微扰匹配	补齐 Threshold, LRR, RGR 和它们的组合

LaMET-Agent 1.1 旨在成为第一性原理计算的 LQCD 中数据分析的首选。

AI4LGT 未来会走向何方？

LQCDSkills

https://github.com/AI4LGT/LQCD_Skills

LQCDMaster 的公有 Skills 平台

现已（部分）支持：

1. Distillation/Blending 方案
2. Enhanced 插值算符
3. 胶子流的计算及重整化
4. HISQ 传播子的 Dirac 恢复
5. 动量涂磨方法
6. RI/MOM 重整化计算
7.

LaMET-Agent 1.1

CompressLGT

Stochastic smear with AI

TO BE CONTINUED...

总结与展望

1. 在基础科研的数值分析阶段，更需要的是信源可追溯、代码可审查、验证机制内置的领域智能体。

2. LaMET-Agent 1.0 用清晰的边界实现：LLM 只做物理上合理的选择，所有数值计算交给确定性工具。

3. LaMET-Agent 1.0 已在 PDF, DA, (GPD) 上跑通，并与 LQCDMaster 组成了可复现的完整工作流。

4. LaMET-Agent 1.1 将扩展数值分析维度，旨在与 LQCDSkills, LQCDBenchmark 成为 LQCD 公共设施，完善 LQCD 生态。

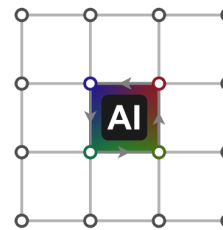
免责声明：我们对基于 LaMET 的 LaMET-Agent 智能体本身负责；用户（数据分析者）应确保输入数据合法合规，并对其产生的数据及数据分析流的编排、执行与结果负责。LaMET-Agent 仅提供辅助，不替代最专业、最前沿的判断。

Important References

- 1.LaMET-Agent 1.0 — <https://github.com/AI4LGT/lamet-agent>
- 2.LQCD-Master — https://github.com/sjtu-sai-agents/LQCD_Master#
- 3.Agentic Design Patterns, Antonio Gulli (2025), Google
- 4.LaMET review — Xiangdong Ji, *Phys.Rev.Lett.* 110 (2013) 262002, X. Ji, Y. Liu, Y.-S. Liu, J.-H. Zhang, Y. Zhao, *Rev. Mod. Phys.* 93, 035005
- 5.CG/GI pion PDF — X. Gao et al., *Phys. Rev. D* 109 (2024) 094506
- 6.GI pion/kaon DA — J. Hua et al., *Phys. Rev. Lett.* 129 (2022) 132001
- 7.TMDPDF — Transverse momentum dependent parton quasidistributions, *Phys. Rev. D* 99, 114006 (2019)
- 8.GTMD — Exploring quark transverse momentum distributions with lattice QCD, *Phys. Rev. D* 83, 094507 (2011)
- 9.GEVP — On the generalized eigenvalue method for energies and matrix elements in lattice field theory, *JHEP* 04, 094
- 10.C-C Correlators — Parton Distribution Functions from Large Momentum Expansion of Current-Current Correlators, (2026), [arXiv:2605.03234 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/2605.03234).
- 11.RI/MOM — A general method for non-perturbative renormalization of lattice operators, *Nucl. Phys. B* 445, 81 (1995), [arXiv:hep-lat/9411010](https://arxiv.org/abs/hep-lat/9411010)
- 12.Jump Fourier Trans. — Direct calculation of parton distributions in momentum space from lattice QCD, (2026), [arXiv:2606.16877 \[hep-lat\]](https://arxiv.org/abs/2606.16877).

11 OCTOBER 2026

LaMET-Agent

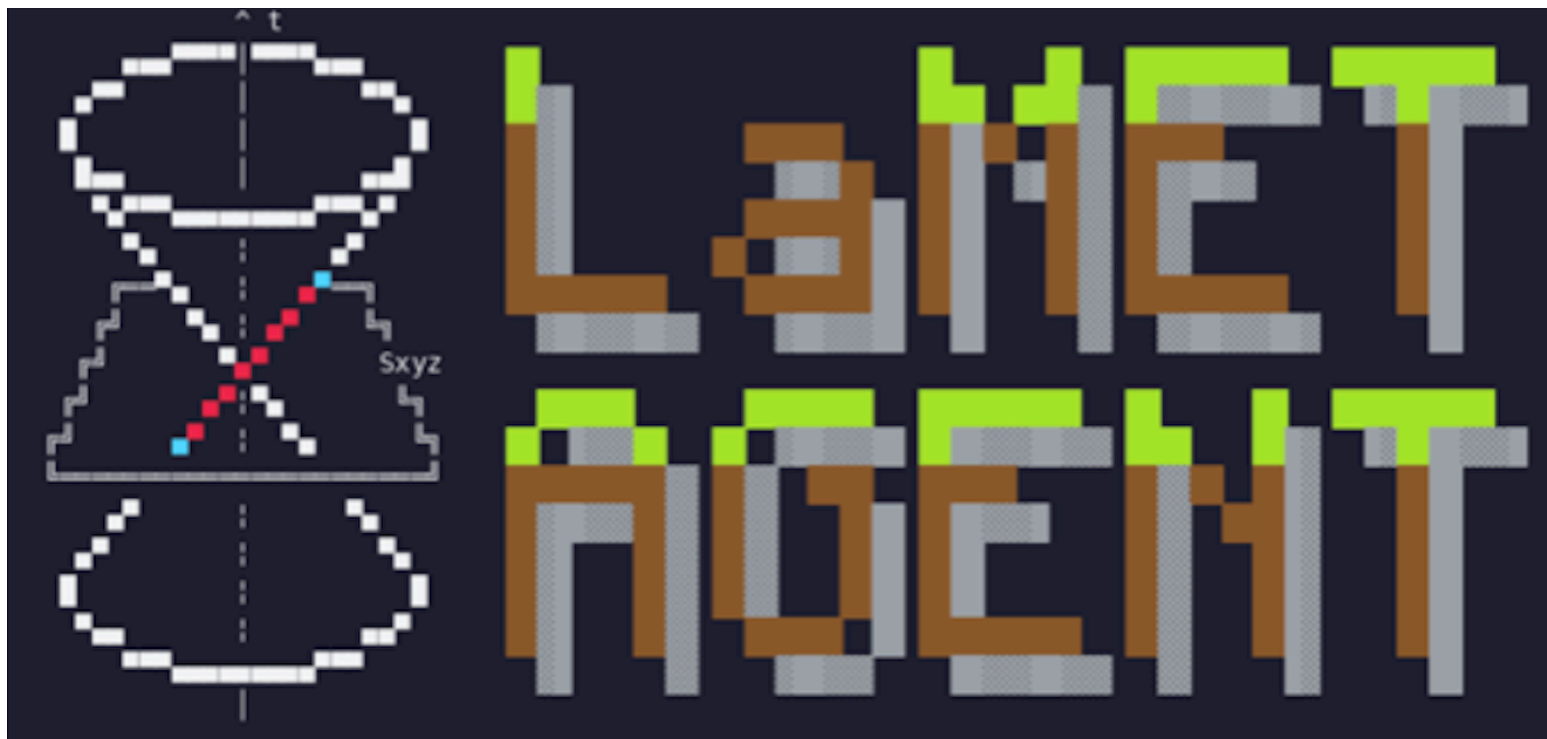


AI4LGT
AI FOR LATTICE GAUGE THEORY

大动量有效理论 (LaMET) 分析的智能体框架

<https://github.com/AI4LGT/lamet-agent>

arXiv: 2609.32225



Connect us:

jinchen@fnal.gov

xj12@iu.edu

fyao@bnl.gov

zhaodianjun@cuhk.edu.cn

Dian-Jun Zhao in collaboration with Jinchen He, Xiangyu Jiang and Fei Yao

Stochastic smear

Stochastic source $Z_3 : \{1, e^{2\pi i/3}, e^{4\pi i/3}\}$, $Z_4 : \{1, i, -1, -i\}$