

利用基矢光前量子化方法计算轻介子的结构

蓝江山

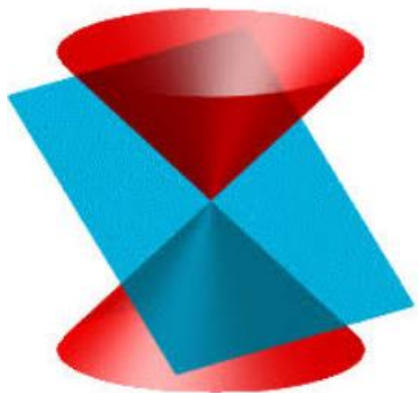
导师：赵行波 研究员

近代物理研究所

中国科学院大学核科学与技术学院

兰州大学

jiangshanlan@impcas.ac.cn



全国核物理大会 2019年10月8-12日 武汉

蓝江山, 1991年10月生, 福建泉州人

学士: 2012年9月-2016年7月 集美大学 应用物理学

硕士: 2016年9月-2019年7月 近代物理研究所 粒子物理与原子核物理

博士: 2019年9月- 近代物理研究所(兰大联培) 粒子物理与原子核物理

我的工作

➤ 闪烁体探测器中光衰减的修正

➤ 胶子凝聚

➤ 通过基矢光前量子化方法计算 π 介子和 K 介子的部分子分布

指导老师

张亚鹏 陈旭荣

朱 伟 陈旭荣

贾少阳 赵行波

两位老先生：朱伟老师和王凡老师



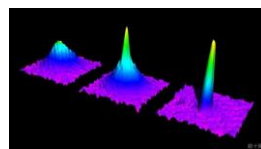
左：朱伟老师（七十多）右：王凡老师（八十多） （2017年12月 南京 摄）
我的启蒙老师，学习榜样

胶子凝聚

胶子是玻色子，应该会有胶子凝聚，用朱老师改进的演化方程，我们确实发现了“**胶子凝聚**”现象。

最主要特征：

当核核碰撞达到“胶子凝聚”条件时，散射截面将会有3~4个量级的增强。



玻色爱因斯坦凝聚

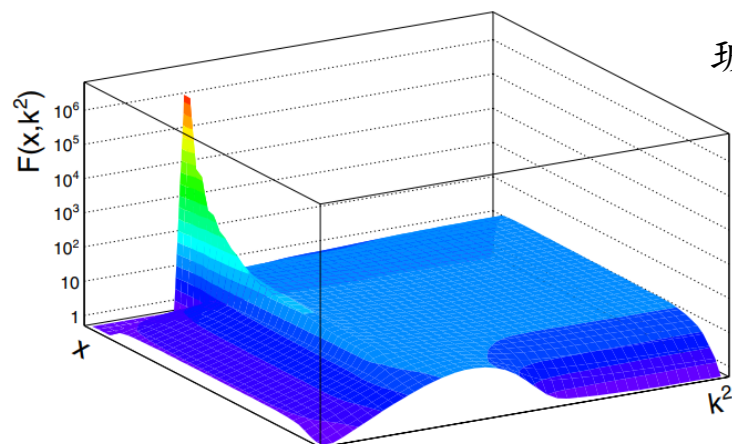
低温
基态



胶子凝聚

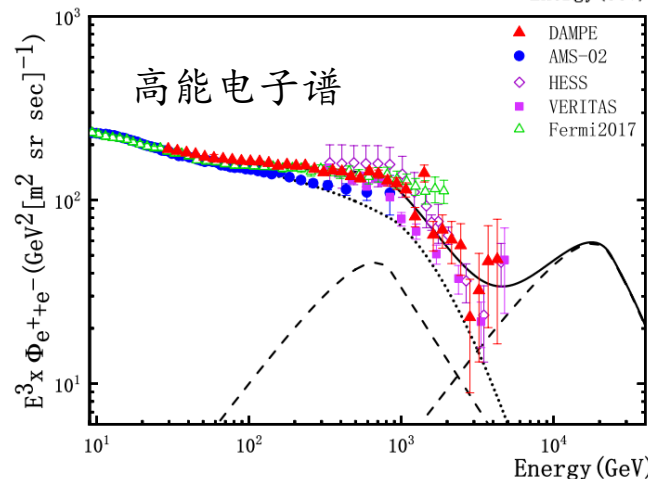
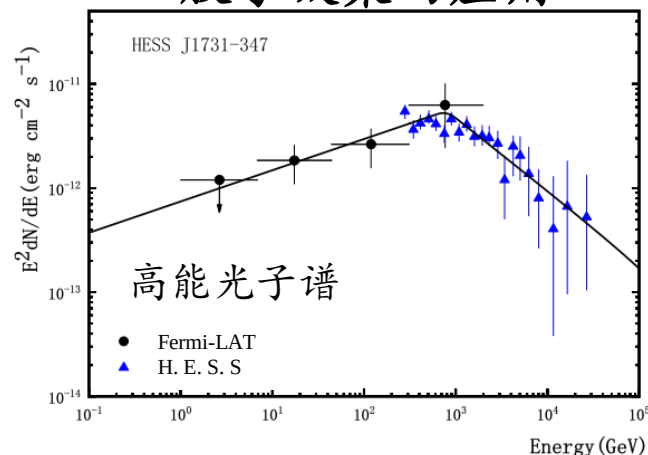
临界 x

某一个动量



胶子饱和 $\xrightarrow[\text{演化}]{\text{ZSR}}$ 胶子凝聚

胶子凝聚的应用



朱及其团队正致力于寻找证据

[朱伟, 蓝江山, Nucl. Phys. B 916 (2017)]

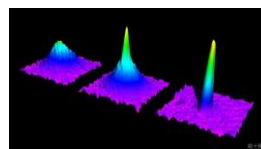
[朱伟, 蓝江山, 阮建红, Int. J. Mod. Phys. E 27 (2018)]

胶子凝聚

胶子是玻色子，应该会有胶子凝聚，用朱老师改进的演化方程，我们确实发现了“**胶子凝聚**”现象。

最主要特征：

当核核碰撞达到“胶子凝聚”条件时，散射截面将会有3~4个量级的增强。



玻色爱因斯坦凝聚

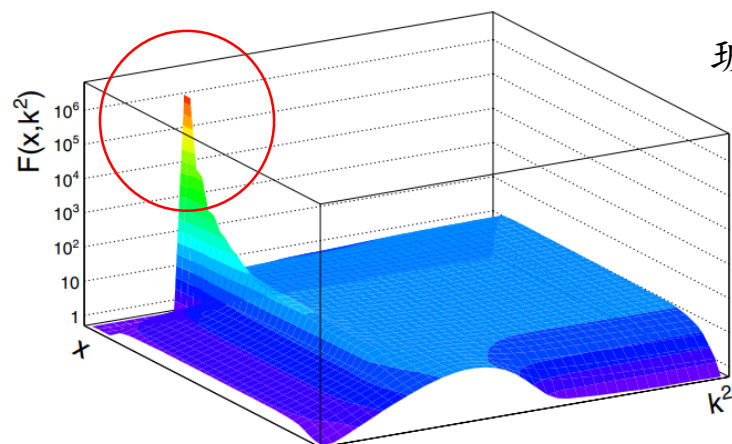
低温
基态



胶子凝聚

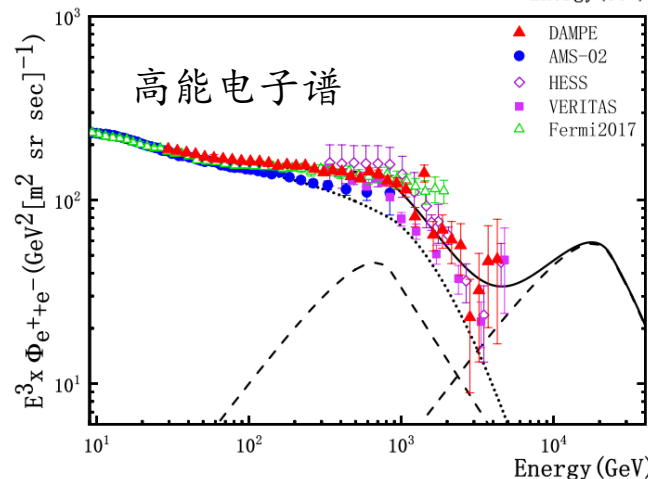
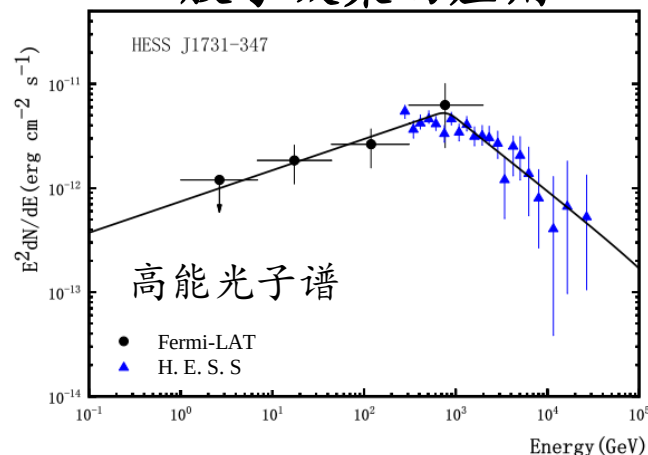
临界 x

某一个动量



胶子饱和 $\xrightarrow[\text{演化}]{\text{ZSR}}$ 胶子凝聚

胶子凝聚的应用



朱及其团队正致力于寻找证据

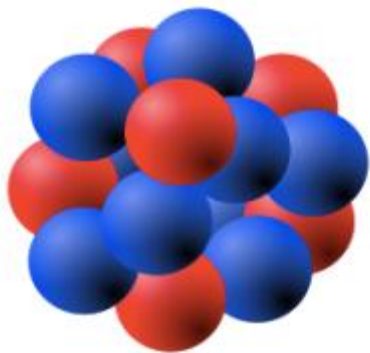
[朱伟, 蓝江山, Nucl. Phys. B 916 (2017)]

[朱伟, 蓝江山, 阮建红, Int. J. Mod. Phys. E 27 (2018)]

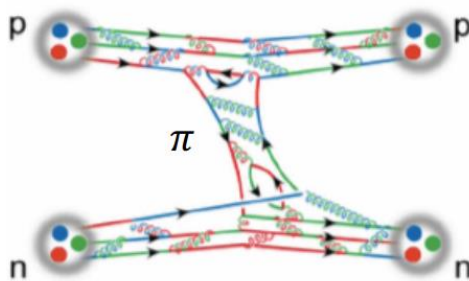
故事二

通过基矢光前量子化方法计算 π 介子和 K 介子的部分子分布

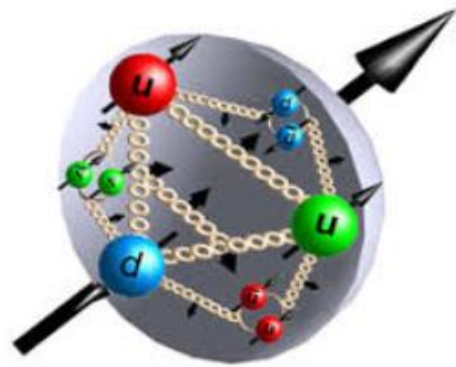
低分辨率探针



原子核由核子组成



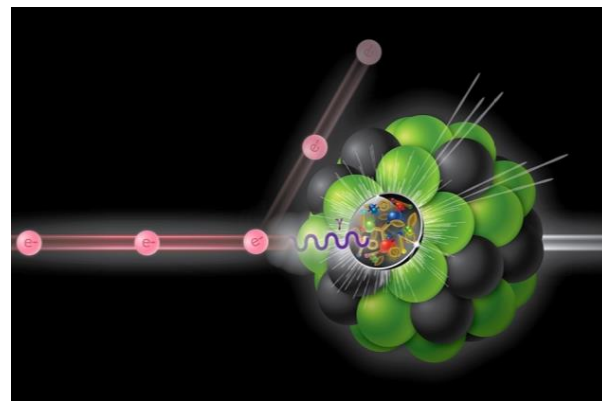
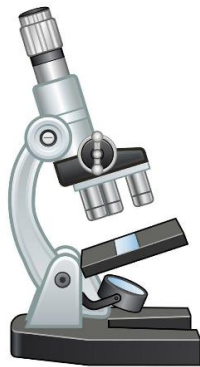
高分辨率探针



核子由部分子(夸克胶子)组成

选择轻介子作为研究对象

- 原子核中核力的传递者之一
- 最轻最常见的介子
- 实验中非常容易产生
- 结构丰富 (夸克胶子)



电子离子对撞机

故事二

通过基矢光前量子化方法计算 π 介子和 K 介子的部分子分布

基矢光前量子化方法(BLFQ)

- 基于光前量子场论理论框架的非微扰方法
- 求解**相对论性**多体束缚态
- 有望从**第一性原理**出发
- 可直接计算反映强子内部结构的可观测量（如部分子分布）



$$f(x) = \frac{1}{4\pi x(1-x)} \sum_{r,s} \int \frac{d\vec{k}^\perp}{(2\pi)^2} \psi_{r,s}^*(x, \vec{k}^\perp) \psi_{r,s}(x, \vec{k}^\perp)$$

部分子分布(PDF): 在强子中, 发现一个携带纵向动量分支比为 x 的部分子的概率密度分布函数。

故事二

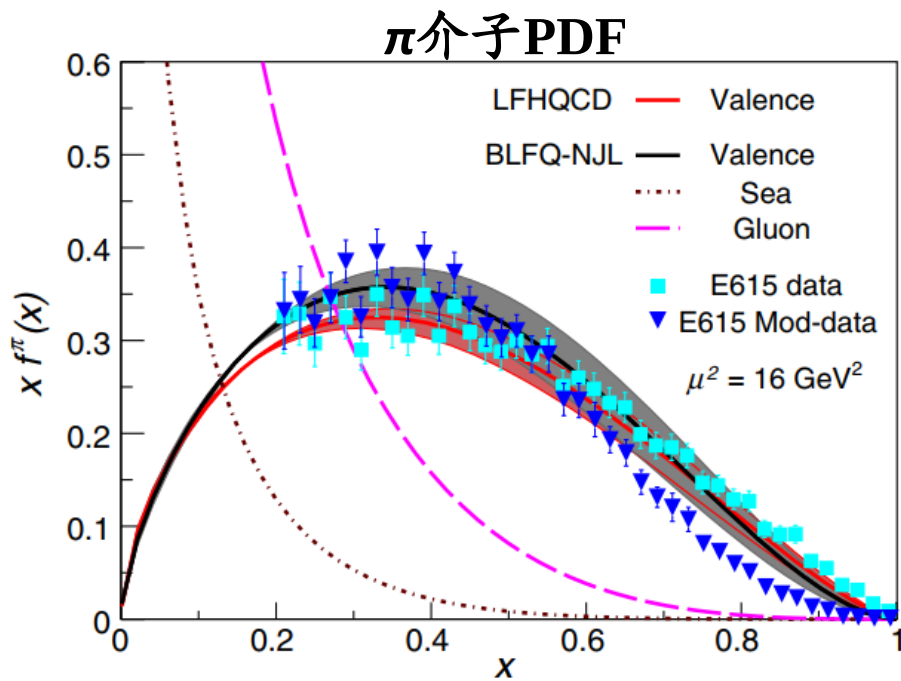
通过基矢光前量子化方法计算 π 介子和 K 介子的部分子分布

[蓝江山, Mondal, 贾少阳, 赵行波, Vary, PRL(2019)]

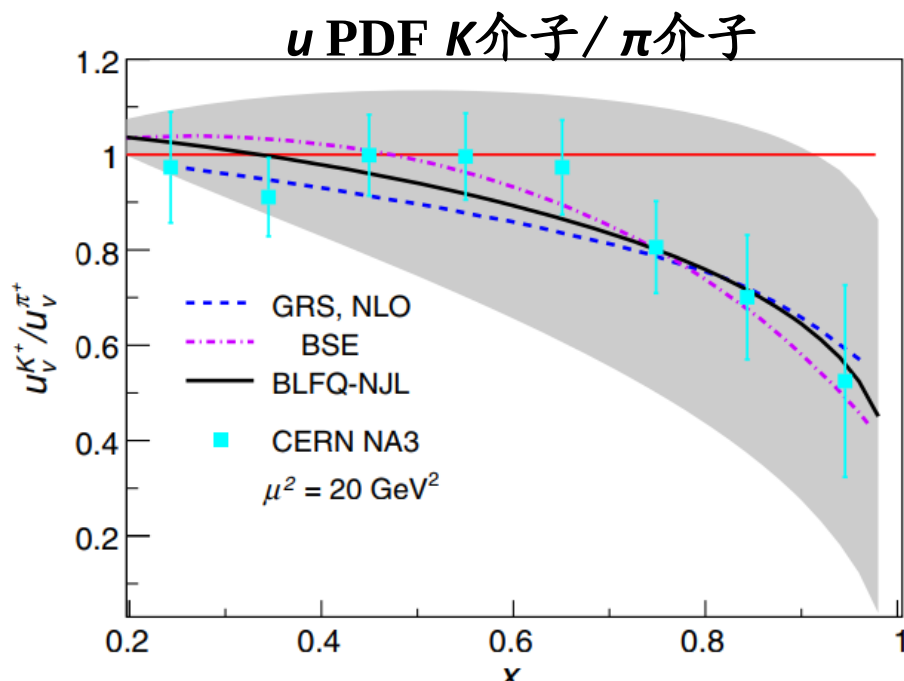
首次用光前哈密顿量方法计算了 π 介子和 K 介子的部分子分布

$$H_{\text{LF}} = \underbrace{\frac{\vec{k}_{\perp}^2 + m_q^2}{x}}_{\text{动能项}} + \underbrace{\frac{\vec{k}_{\perp}^2 + m_{\bar{q}}^2}{x}}_{\text{动能项}} + \underbrace{\kappa^4 x(1-x)}_{\text{横向禁闭}} \vec{r}_{\perp}^2 - \underbrace{\frac{\kappa^4}{(m_q + m_{\bar{q}})^2} \partial_x(x(1-x)) \partial_x}_{\text{纵向禁闭}} + \underbrace{H_{\text{NJL}}^{\text{eff}}}_{\text{NJL 相互作用}}$$

QCD演化后



与实验数据一致



与实验数据一致

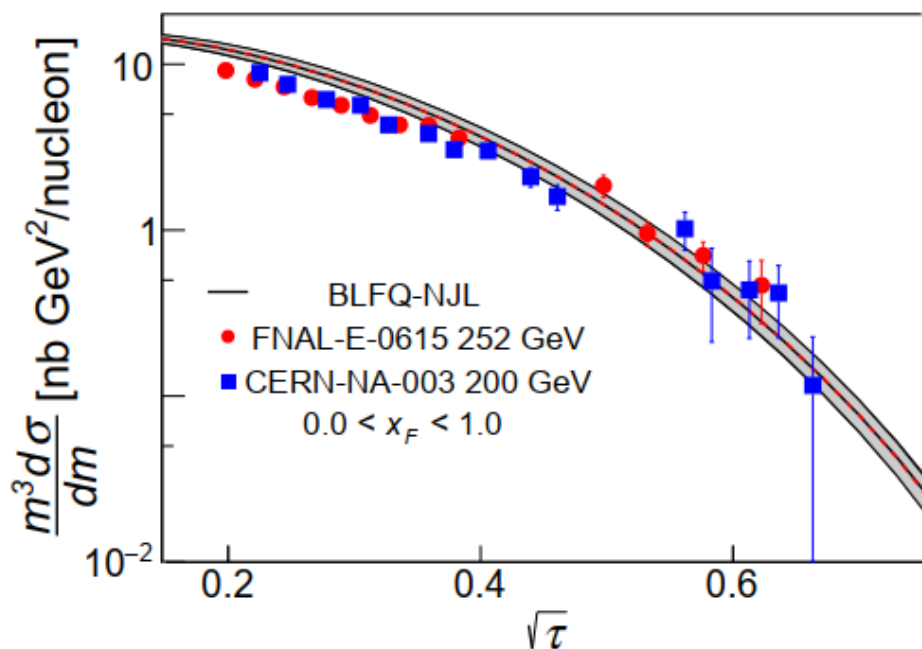
故事二

通过基矢光前量子化方法计算 π 介子和 K 介子的部分子分布

基于 π 的PDF，计算了 π 束流打原子靶的Drell-Yan散射截面

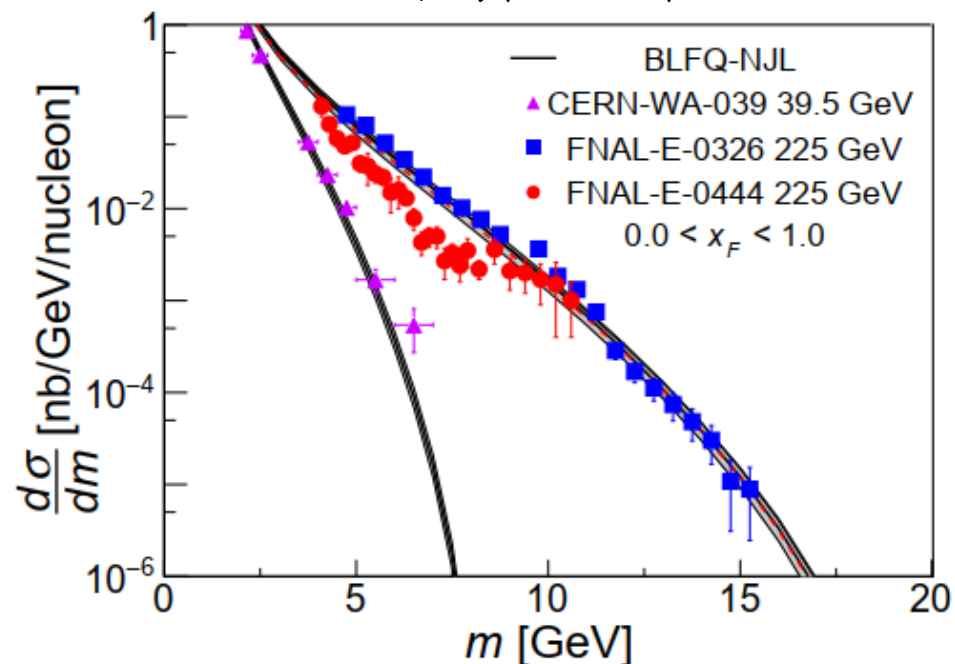
$$\pi^- \text{Nucleus} \rightarrow \mu^+ \mu^- X$$

打钨靶、铂靶



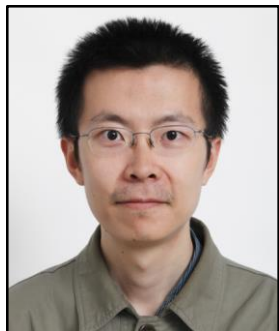
与实验数据一致

打钨靶、碳靶



与实验数据一致

基矢光前量子化团队



赵行波（博后：4名，学生：10名）

James P. Vary（博后：1名，学生：6名）

长远目标：

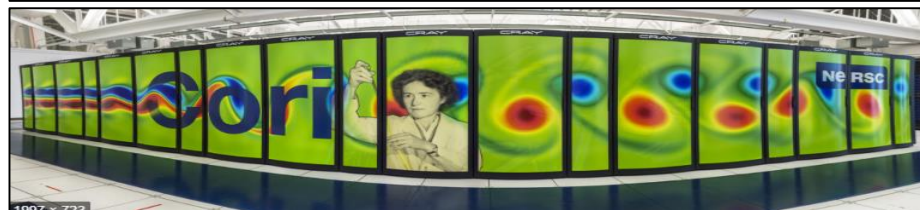
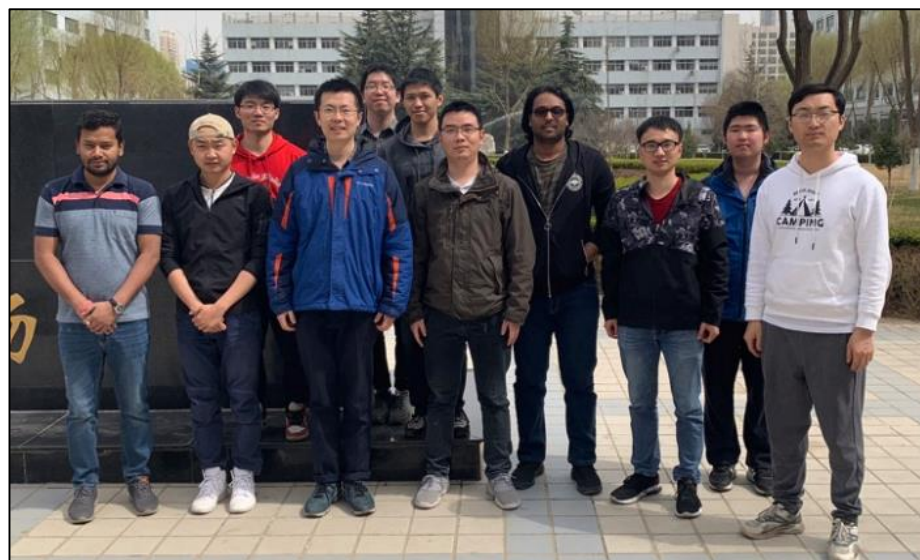
基于第一性原理计算强子结构

当前工作：

介子、核子三维结构

直接计算其衰变常数，形状因子，
(广义)部分子分布函数等等

每年使用 400万+ CPU小时



总结与展望

- 对轻介子进行深入研究

目前：基于领头阶Fock态展开

未来：考虑高阶Fock态展开贡献，直接计算胶子和海夸克分布

- 研究核子的内部结构，对EIC的结果进行预测

目前：基于领头阶Fock态展开： $|\text{proton}\rangle = |uud\rangle$

未来：考虑高阶Fock态展开贡献： $|\text{proton}\rangle = |uud\rangle + |uud\ g\rangle \dots$

- 从第一性原理出发，研究强子的结构

感谢一路以来指导我的老师，帮助我的师长，以及培养我的单位！



教育部 科技部 核学会