



重离子碰撞中整体极化的实验研究

陈金辉

Experimental Studies of Global Polarization in Heavy-ion Collisions

CHEN Jinhui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.41.2023CNPC41>

引用格式:

陈金辉. 重离子碰撞中整体极化的实验研究[J]. *原子核物理评论*, 2024, 41(1):20–25. doi: 10.11804/NuclPhysRev.41.2023CNPC41

CHEN Jinhui. Experimental Studies of Global Polarization in Heavy-ion Collisions[J]. *Nuclear Physics Review*, 2024, 41(1):20–25. doi: 10.11804/NuclPhysRev.41.2023CNPC41

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于中能重离子碰撞研究高密对称能

Probing High-density Symmetry Energy Using Heavy-ion Collisions at Intermediate Energies
原子核物理评论. 2020, 37(2): 136–150 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.37.2019068>

强磁场与涡旋场中的夸克胶子物质

Quark Gluon Matter in Strong Magnetic and Vortical Fields
原子核物理评论. 2020, 37(3): 414–425 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.37.2019CNPC29>

RHIC-STAR重离子碰撞实验中可鉴别粒子的集体流研究

Collective Flow of Identified Particles in Heavy Ion Collisions at RHIC-STAR
原子核物理评论. 2020, 37(3): 668–673 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.37.2019CNPC72>

重离子碰撞中阈能附近超子产生机制

Hyperon Dynamics and Production in Heavy-ion Collisions Near Threshold Energy
原子核物理评论. 2022, 39(1): 1–15 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.39.2021075>

天体物理、引力波及重离子碰撞中的物质

MAGIC: Matter in Astrophysics, Gravitational Waves, and Ion Collisions
原子核物理评论. 2020, 37(3): 272–282 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.37.2019CNPC75>

相对论重离子碰撞中的软探针和硬探针

Soft and Hard Probes of Relativistic Heavy-Ion Collisions
原子核物理评论. 2020, 37(3): 317–328 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.37.2019CNPC39>

文章编号: 1007-4627(2024)01-0020-06

重离子碰撞中整体极化的实验研究

陈金辉

(复旦大学现代物理研究所&核物理与离子束应用教育部重点实验室, 上海 200438)

摘要: 非对心的相对论重离子碰撞在反应区域产生了巨大的轨道角动量, 该轨道角动量能够以流体涡旋的形式传递到反应过程产生的夸克-胶子等离子体中 (Quark-Gluon Plasma, QGP), QGP 中的夸克和胶子通过自旋-轨道相互作用将沿着系统轨道角动量方向极化, 即“QGP 的整体极化”效应。经过近二十年的探索, 重离子碰撞中 Λ 超子和 ϕ 、 K^{*0} 矢量介子的整体极化的实验数据证实了 QGP 整体极化的新现象, 这引起了研究人员的广泛关注, 成为高能核物理前沿新的热点研究方向。本文简略描述重离子碰撞中整体极化的实验测量, 聚焦在 Λ 超子的整体极化和 ϕ 、 K^{*0} 矢量介子的自旋排列, 并讨论实验数据给出的物理信息。

关键词: 重离子碰撞; QGP 的整体极化; 超子极化; 矢量介子自旋排列

中图分类号: O571.53 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.41.2023CNPC41

0 引言

自旋是基本粒子的内禀角动量, 它是一种相对论的量子效应。粒子自旋角动量的大小是量子化的。自旋在物理世界具有丰富的表现形式, 例如本文讨论的夸克胶子等离子体 QGP 的整体极化效应。2005 年, 理论物理学家梁作堂和王新年将非对心重离子碰撞中产生的轨道角动量和基本粒子的自旋极化关联起来, 给出了由此导致的超子自旋极化和矢量介子自旋排列的预言^[1-2], 开启了自旋自由度研究 QGP 物质的先河。他们的理论预言也推动了实验研究: 位于美国布鲁克海文国家实验室的相对论重离子对撞机 (Relativistic Heavy-Ion Collider, RHIC) 的螺旋径迹探测器实验组 (Solenoid Tracker at RHIC, STAR) 在 2005—2008 年完成了每核子对质心系能量为 200 GeV 金核-金核对撞实验中的 Λ 超子和 ϕ 、 K^{*0} 矢量介子的整体极化测量^[3-4], 受限于当时较大的统计误差, 实验中没有观测到 QGP 整体极化信号^[3-4]。此后 STAR 实验组在 2010 年开展了为期多年的束流能量扫描实验, 研究人员利用获取的高统计的实验数据, 在实验上观测到了 QGP 中 Λ 超子和 ϕ 介子明显的整体极化信号^[5-6], 证实了 QGP 的整体极化新现象。在此过程中, 理论研究和实验测量通过协同努力, 取得了丰硕的成果^[7-13], 引起了领域内对重离子碰撞中自旋物理的关注。

相对论重离子碰撞指的是用两个被加速到接近光速

的原子核进行对撞, 从而在实验室形成一个解禁闭的 QGP。在 QGP 的演化过程中, 出现了许多独特的物理现象^[14-17], 这包括 QGP 整体极化效应。重离子碰撞实验的测量结果证实了 QGP 的整体极化效应的存在, 这成为近几年高能核物理领域最重要的突破之一。QGP 整体极化效应对相对论量子尺度下流体涡旋度、强相互作用力局域涨落等物理的研究产生了深远的物理意义, 使 QCD 介质极化、手征涡旋效应和强相互作用力局域涨落成为当前高能核物理的一个重要前沿方向^[18-23]。

1 QGP 整体极化的实验测量

QGP 整体极化效应具有多个实验可观测量, 例如高快度区间强子动量谱的前后不对称性, QGP 中热光子、双轻子、超子和矢量介子相对于反应系统轨道角动量的极化。在这观测量中, 考虑到相对论重离子碰撞实验探测器的性能特点, 其中快度区间全方位角覆盖的主要是带电粒子径迹探测器, 所以超子极化和矢量介子自旋排列被广泛研究。

1.1 超子整体极化的测量

超子是不稳定粒子, 通过宇称破缺的弱相互作用过程衰变, 从其末态衰变产物的角分布可以确定超子的自旋极化。例如以 Λ 超子的衰变道 $\Lambda \rightarrow p\pi^-$ 为例, 在 Λ 粒子的静止系中, 衰变质子的角分布表示为

收稿日期: 2023-07-30; 修改日期: 2024-02-21

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2022YFA1604900); 国家自然科学基金资助项目 (12025501)

作者简介: 陈金辉 (1979-), 男, 广东汕头人, 研究员, 博士, 从事粒子物理与核物理研究; E-mail: chenjinhui@fudan.edu.cn

$$\frac{dN}{d\Omega} \propto 1 + \alpha_{\Lambda} P_{\Lambda} \cos\theta^*, \quad (1)$$

其中： $\alpha_{\Lambda}=0.732$ 是弱衰变常数，表征宇称破坏的程度； θ^* 是 Λ 粒子静止系中质子动量与超子极化方向的夹角（实验上通过整个碰撞中带电粒子出射动量方向的合集构建事件平面，其法线方向指向系统轨道角动量方向，即为整体极化的方向）； P_{Λ} 是超子的极化度。因此，实验上通过测量超子衰变质子的角分布即可获得超子的整体极化 P_{Λ} 。注意式(1)给出的是理想方位角分布，在实验测量中需要考虑探测器的探测效率和有限接收度（例如粒子的快度、动量等）带来的影响。

图 1 给出了不同能量下非对心核-核碰撞中 Λ 和 $\bar{\Lambda}$ 整体极化测量结果，包括 STAR 实验组测量了每核子对在质心系下能量为 3~200 GeV 的金核-金核碰撞中 Λ 和 $\bar{\Lambda}$ 超子的整体极化^[5, 10]，HADES (High-Acceptance DiElectron Spectrometer) 实验组测量了 2.4 GeV 金核-金核碰撞和 2.55 GeV 银核-银核碰撞中的 Λ 超子极化^[11]，ALICE (A Large Ion Collider Experiment) 实验组测量了 2.76 和 5.02 TeV 铅核-铅核碰撞中的 Λ 和 $\bar{\Lambda}$ 超子的整体极化^[8]。

从图 1 可以看出以下显著特征：

1) STAR 实验组在 62.4 GeV 以下观测到了明显的超子整体极化信号，实验数据表明超子极化随着碰撞系统能量的降低而增大，在碰撞能量为 3 GeV 时极化达到了 $P_{\Lambda} = 4.91\% \pm 0.81\%(\text{stat.}) \pm 0.15\%(\text{syst.})$ ^[10]。

2) HADES 实验组在更低能量下测得的 Λ 整体极化并没有如预期的降低趋势，达到了半中心金核-金核碰撞 $P_{\Lambda} = 6.8\% \pm 1.3\%(\text{stat.}) \pm 2.1\%(\text{syst.})$ ^[11]，银核-银核半中心碰撞 $P_{\Lambda} = 6.2\% \pm 0.4\%(\text{stat.}) \pm 0.6\%(\text{syst.})$ ^[11]。

3) ALICE 实验组在更高能区没有观测到整体极化信号，对铅核-铅核 2.76 和 5.02 TeV 2 个能区的 Λ 和 $\bar{\Lambda}$ 超子极化的平均值为 $\langle P_{\Lambda} \rangle = 0.01\% \pm 0.06\%(\text{stat.}) \pm$

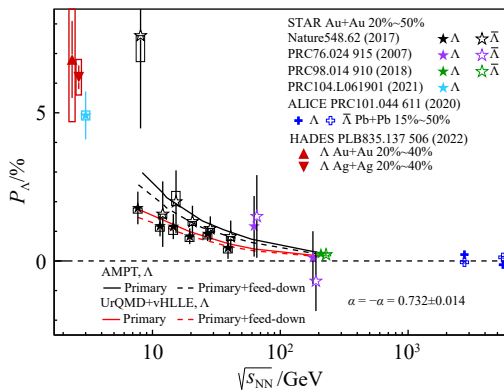


图 1 不同能量下非对心核-核碰撞中 Λ ， $\bar{\Lambda}$ 超子的整体极化测量结果，其中实验数据出自参考文献^[3, 5, 7-11]，理论计算出自文献^[24-25]

0.03%(syst.)^[8]。尽管测量精度达到了 0.1% 左右，但是在对撞机能区没有观测到超子极化信号。

理论上，目前多个模型能够描述 7.7 GeV 以上超子整体极化随能量增大而逐渐减小的趋势^[26-28]。例如基于量子输运模型的研究显示，非对心碰撞形成的涡旋场存在四极矩结构，从而导致极化在空间不同区域符号不同，高能下整体极化在全空间大部分抵消，而低能下极化的空间分布出现不对称，从而导致显著的整体极化。有些理论预言极化不能随着能量降低而一直上升，考虑到涡旋场随系统能量的依赖行为，预期在碰撞能量 3 GeV 左右达到峰值^[28]，但目前 HADES 实验在 3 GeV 以下能区的实验测量得到 Λ 超子的极化相对高能数据是上升的，尽管实验精度有限，这还是成为当前讨论的一个热点。

理论也预言夸克物质中可以产生超强磁场。尤其是核碎片产生的超强磁场能够达到 10^{18} 高斯，超过了宇宙中已知的所有中子星的磁场强度。而磁场对超子的整体极化会产生影响，由于 Λ ， $\bar{\Lambda}$ 的磁矩相反会导致它们的极化出现差异^[5]。图 1 中也展示了 7.7 GeV 以上 $\bar{\Lambda}$ 整体极化与 Λ 测量结果的比较。可以看到，目前 Λ ， $\bar{\Lambda}$ 整体极化的测量误差较大，在当前测量精度下没有观测到显著差异，正在进行的 STAR 第二期能量扫描的科学研究将有望通过更高精度的实验测量给出明确结论。

另一方面，重离子碰撞中由于集体效应产生的局域涡旋是否能够导致超子极化也是近期研究的焦点之一。此前，STAR 实验组在金核-金核碰撞中观测到了由于系统椭圆流对应的超子局域极化^[29]，近期，STAR 实验组在高统计量的铕核-铕核，钕核-钕核碰撞中研究了 Λ 超子相对于碰撞系统椭圆流和三角流的关联^[30]。结果如图 2 所示， Λ 超子局域极化相对于二阶事件平面的方位角呈现明显的正弦结构，这种方位角的依赖来自于

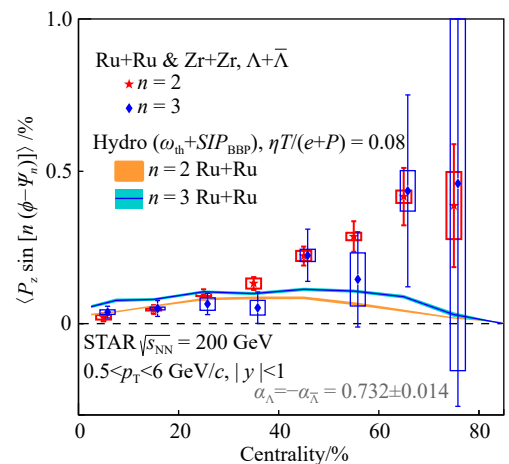


图 2 STAR 同质异位素实验中 Λ 超子局域极化的测量^[30]

碰撞系统非均匀膨胀引起的沿着碰撞束流方向的局域涡旋的四级结构，实验数据的显著性比相同碰撞能量下的金核-金核碰撞的测量结果更强。同时，STAR 实验组也观测到显著的相对于三阶事件平面的 Λ 超子局域极化，该新的测量结果可能来自于碰撞核子密度涨落产生的三角流造成的精细涡旋结构^[30]。

1.2 矢量介子整体极化的测量

矢量介子的寿命很短，通过宇称守恒的强相互作用过程进行衰变，其整体极化效应通过测量矢量介子的自旋密度矩阵实现。对于自旋为 1 的粒子，自旋密度矩阵 ρ 是一个 3×3 的单位矩阵。在没有极化的情况下，该单位矩阵的对角元的秩都为 $1/3$ 。对角元的秩偏离 $1/3$ 则意味着出现一定的自旋排列，即存在极化。需要指出，实验上无法同时测量自旋密度矩阵中的 $\rho_{-1,-1}$ 和 $\rho_{1,1}$ 基元，而只能测量 ρ_{00} ^[6]。与 Λ 超子的自旋极化测量方法类似，实验上也是通过测量衰变粒子在母粒子静止系下的角分布来提取自旋排列信号 ρ_{00} ：

$$\frac{dN}{d\cos\theta^*} \propto (1 - \rho_{00}) + (3\rho_{00} - 1)\cos^2\theta^* \quad (2)$$

类似于式(1)，这里的 θ^* 也是在母粒子静止系中衰变粒子动量方向和系统轨道角动量之间的夹角；不同的是，式(2)是 $\cos\theta^*$ 的平方分布，所以不用严格区分轨道角动量的法线方向或者其反方向，因此，矢量介子的极化方向能够采用二阶事件平面构建技术来实现，该方法相比超子极化测量构建一阶事件平面具有更高的分辨率^[4]。

STAR 实验组在 2008 年测量了每核子对质心系能量为 200 GeV 的金核-金核碰撞中的 ϕ 和 K^{*0} 介子的自旋排列， ρ_{00} 的测量结果接近 $1/3$ ，因此实验上没有观测到自旋排列信号^[4]。随后，STAR 完成了第一期束流能量扫描和同期高统计量的 200 GeV 数据的分析，经过探测器接受度修正、粒子探测效率修正和事件平面分辨率修正之后，STAR 获得了矢量介子自旋排列随着系统的碰撞能量、碰撞中心度和粒子横动量等参数的测量结果^[6]。

图 3 展示了金核-金核半中心碰撞 (20%~60%) 中 ϕ 介子和 K^{*0} 介子的自旋排列随介子的横动量分布的测量

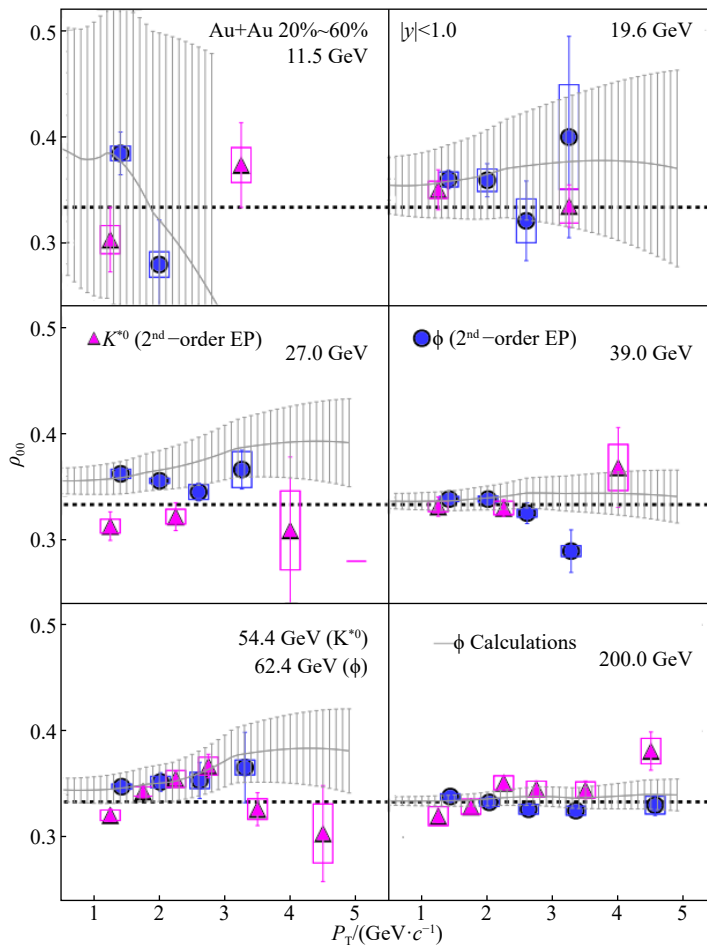


图 3 STAR 第一期束流能量扫描实验中和高统计量的 200 GeV 金核-金核碰撞中 ϕ 介子和 K^{*0} 介子的 ρ_{00} 随其横向动量的分布^[6] (在线彩图)

其中数据点纵坐标的线和方块分别是统计误差和系统误差，灰色线是强作用力场理论计算的 ϕ 介子自旋排列^[31]。

结果 [6]。图 3 显示： ϕ 介子的 ρ_{00} 在低横动量区间大于 1/3，而在高横动量区间基本在 2 个标准偏差内等于 1/3； K^{*0} 介子的 ρ_{00} 在测量的横动量区间都基本等于 1/3。该测量结果表明， ϕ 介子出现了整体极化行为，其信号强度随着束流能量减小而增强，这一现象与 Λ 超子的束流能量结果趋势一致 [5]。图中也展示了在 QGP 中引入强相互作用力的局域涨落和关联的计算结果 [31]，该理论能够定性描述实验结果。

图 4 是对图 3 的测量结果的横动量分布进行积分。从图 4 可以获得如下信息：在束流能量 62.4 GeV 及其以下， ϕ 介子展示出显著的自旋排列行为，其 ρ_{00} 显著大于 1/3。对 62.4 GeV 及其以下能量的数据加权求平均得到 $\rho_{00} = 0.3512 \pm 0.0017(\text{stat.}) \pm 0.0017(\text{syst.})$ [6]。合并考虑统计误差和系统误差，STAR 实验组的测量指出， ϕ 介子的自旋排列大于 1/3，其显著性超过 7.4 个标准偏差。图 4 中 K^{*0} 介子的 ρ_{00} 接近 1/3，对 54.4 GeV 及其以下能量的数据加权求平均得到 $\rho_{00} = 0.3356 \pm 0.0034(\text{stat.}) \pm 0.0043(\text{syst.})$ [6]， K^{*0} 介子没有自旋排列行为。结合更高能区的测量结果，大型强子对撞机能区在和 STAR 相近的对撞中心度和矢量介子横动量区间，ALICE 的测量结果符合 STAR 200 GeV 的结果，其 ρ_{00} 趋近 1/3，但误差较大 [12]。

STAR 实验组发现，与超子整体极化测量结果相比， ϕ 介子的自旋排列信号的强度远高于理论预期 [1, 2]。而新的理论倡导介子场局域关联和涨落机制引起的 ϕ 介子自旋排列定性地解释了 STAR 实验数据 [31]。值得指出的是，文献 [31] 也考虑了 QGP 的温度随束流能量改变

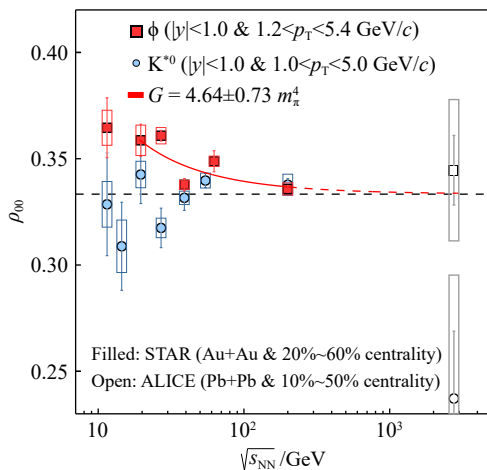


图 4 重离子碰撞中矢量介子 ϕ 和 K^{*0} 整体极化的测量结果 [6] (在线彩图)

图中实心数据点来自 STAR 实验组的测量，空心点是 ALICE 实验数据中和 STAR 的动量区间，中心度区间最接近的测量 [12]。红色实心线是 ϕ 介子场局域涨落理论对 STAR 数据的拟合并外延到高能区 [31]。

而变化的因素。在该理论框架下， ϕ 和 K^{*0} 由于价夸克不同，前者感受到奇异-反奇异夸克对的短程关联，而后者感受到(反)奇异-轻夸克的长程关联，从而定性解释了实验上 ϕ 和 K^{*0} 测量结果的差异 [32]。研究人员发现， ϕ 和 K^{*0} 介子的自旋极化差异可能也和它们在致密的强相互作用物质中不同的截面相关 [33-34]。需要指出的是，关于有效介子场及其涨落引起矢量介子极化的理论还在发展中，还需要更多的实验数据验证。

2 结论与展望

重离子碰撞中超子极化和矢量介子自旋排列实验数据证实了 QGP 的整体极化效应，极大地丰富了人们对强相互作用的认知。实验与理论的发展也提出了一系列新的问题：例如正反 Λ 超子极化的差异问题 [35]，整体极化的快度依赖问题 [36]，不同味道的矢量介子整体极化的差别 [13] 等，这些问题随着研究方向的深入将持续发展。

STAR 实验组第二期能量扫描实验已于 2019-2021 年顺利完成取数，采集的数据量比第一期能量扫描的数据量提高了一个数量级以上。同时新建造的事件平面探测器显著提高了实验上确定轨道角动量方向的能力，这将极大提高整体极化测量的精度，有望明确回答正反粒子整体极化的差异，检验是否存在磁场对极化的影响。我们知道，重离子碰撞中的强磁场信号一直都是研究的热点前沿之一，STAR 实验组近期在正反粒子直接流劈裂探测 QGP 中的强磁场响应获得较好信号 [17]，后续的精密测量将和超子极化相互促进。另一方面，STAR 实验组的时间投影室内径系统升级将覆盖范围从 $|\eta| < 1$ 扩展到 $|\eta| < 1.5$ [37]，前向探测器升级的完成将进一步扩展至 $(2.5 < \eta < 4)$ ，使得前向快度区的超子极化测量成为可能。目前不同理论模型中超子极化的快度依赖并不一致 [36]，因此在大快度区的测量将为不同理论模型提供第一手数据。

整体极化的碰撞系统性依赖也是研究的一个方向。STAR 实验组于 2018 年获取了高统计的同质异位素钕核-钕核和钍核-钍核碰撞事例。理论认为同质异位素碰撞产生的磁场存在 10% 的差异，而这两类碰撞系统的原子核数即系统体积是相同的，在这两类系统中开展超子整体极化的测量，能够研究磁场对整体极化的影响，并且可以和超子、反超子的极化差异进行交叉验证。而通过和相同能量下金核-金核碰撞中超子整体极化相比较，可以给出整体极化对碰撞系统的依赖。

对于矢量介子自旋排列的研究，新的实验测量包括 ρ 介子、 J/Ψ 介子将能够对于矢量介子整体极化和强

相互作用力局域涨落的联系提供更加严格的限制。实验上 STAR 实验组正在有序推进这方面的测量, 而 ALICE 实验组也在近期测量了快度 $2.5 < y < 4$ 区间 J/Ψ 粒子的整体极化, 得到了 3.9 置信区间的信号^[13], 接下来在中间快度区间的实验测量和理论研究将令人期待。

重离子碰撞中对 Λ 超子, ϕ 和 K^*0 介子整体自旋极化的系统实验测量为研究 QGP 性质开启了一个新的研究方向。这些丰富的实验数据对已有整体极化理论模型进行了检验, 同时也提出了一些新的挑战, 将推动对整体极化和涡旋效应物理机制的深入研究。 Λ 超子的整体极化随着束流能量降低而逐渐上升, 符合重离子碰撞中形成的流体的涡旋效应。 ϕ 和 K^*0 介子的整体极化测量, 尤其是 ϕ 介子的极化强度明显超出传统理论预期, 该实验结果推动了理论的发展, 新的介子极化理论考虑了强相互作用中介子场的作用, 尤其是场的局域涨落能够定性描述实验数据。重离子碰撞实验的进展和相应的理论研究有望帮助人们定量研究强相互作用力的局域涨落强度, 这可能是强相互作用机制研究的新方向。

参考文献:

- [1] LIANG Z T, WANG X N. *Phys Rev Lett*, 2005, 94: 102301; Erratum: 96: 039901(E).
- [2] LIANG Z T, WANG X N. *Phys. Lett. B*, 2005, 629: 20.
- [3] ABELEV B I, AGGARWAL M M, AHAMMED Z, et al (STAR). *Phys Rev C*, 2007, 76: 024915; Erratum: 95 039906(E).
- [4] ABELEV B, AGGARWAL M M, AHAMMED Z, et al (STAR). *Phys Rev C*, 2008, 77: 061902(R).
- [5] ADAMCZYK L, ADKINS J K, AGAKISHIEV G, et al (STAR). *Nature*, 2017, 548: 62.
- [6] ABDALLAH M, ABOONA B E, ADAM J, et al (STAR). *Nature*, 2023, 614: 244.
- [7] ADAM J, ADAMCZYK L, ADAMS J R, et al (STAR). *Phys Rev C*, 2018, 98: 014910.
- [8] ACHARYA S, ADAMOVA D, ADHYA S P, et al (ALICE). *Phys Rev C*, 2020, 101: 044611; 105 029902(E). Erratum: 105, 029902.
- [9] ADAM J, ADAMCZYK L, ADAMS J R, et al (STAR). *Phys Rev Lett*, 2021, 126: 162301.
- [10] ADAM J, ADAMOVA D, ADLER A, et al (HADES). *Phys Rev C*, 2021, 104: L061901.
- [11] YASSINE R, ADAMCZEWSKI-MUSCH J, ASAL C, et al (HADES). *Phys Lett B*, 2022, 835: 137506.
- [12] ACHARYA S, ADAMOVA D, ADLER A, et al (ALICE). *Phys Rev Lett*, 2020, 125: 012301.
- [13] ACHARYA S, ADAMOVA D, ADLER A, et al (ALICE). *Phys Rev Lett*, 2023, 131: 042303.
- [14] ABDALLAH M, ABOONA B E, ADAM J, et al (STAR). *Phys Rev C*, 2022, 105: 014901.
- [15] ABELEV B I, AGGARWAL M M, AHAMMED Z, et al (STAR). *Science*, 2010, 328: 58.
- [16] CHEN J H, KEANE D, MA Y G, et al. *Phys Rept*, 2018, 760: 1.
- [17] ABDULHAMID M I, et al (STAR). *Phys Rev X*, 2024, arXiv: 2304.03430.
- [18] GAO J H, MA G L, PU S, et al. *Nucl Sci Tech*, 2020, 31: 90.
- [19] BECATTINI F, LISA M. *Ann Rev Nucl Part Sci*, 2020, 70: 395.
- [20] CHEN J H, LIANG Z T, MA Y G. *Science Bulletin*, 2023, 68: 874.
- [21] WANG X N. *Nucl Sci Tech*, 2023, 34: 15.
- [22] SUN X, ZHOU C S, CHEN J H, et al. *Acta Physics Sinica*, 2023, 72: 072401.
- [23] SHENG X L, LIANG Z T, WANG Q. *Acta Physics Sinica*, 2023, 72: 072502.
- [24] LI H, PANG L G, WANG Q, et al. *Phys Rev C*, 2017, 96: 054908.
- [25] KARPENKO I, BECATTINI F. *Eur Phys J C*, 2017, 77: 213.
- [26] PANG L G, PETERSEN H, WANG Q, et al. *Phys Rev Lett*, 2016, 117: 192301.
- [27] SUN Y, KO C M. *Phys Rev C*, 2017, 96: 024906.
- [28] GUO Y, LIAO J, WANG E, et al. *Phys Rev C*, 2021, 104: L041902.
- [29] ADAM J, ADAMCZYK L, ADAMS J R, et al (STAR). *Phys Rev Lett*, 2019, 123: 132301.
- [30] ABDULHAMID M I, ABOONA B E, ADAM J, et al (STAR). *Phys Rev Lett*, 2023, 131: 202301.
- [31] SHENG X L, OLIVA L, LIANG Z T, et al. *Phys Rev Lett*, 2023, 131: 042304.
- [32] SHENG X L, WANG Q, WANG X N. *Phys Rev D*, 2020, 102: 056013.
- [33] SHEN D Y, CHEN J H, LIN Z W. *Chin Phys C*, 2021, 45: 054002.
- [34] LI Z Y, CHA W M, TANG Z B. *Phys Rev C*, 2022, 106: 064908.
- [35] ABDULHAMID M I, ABOONA B E, ADAM J, et al (STAR). *Phys Rev C*, 2023, 108: 014910.
- [36] LIANG Z T, SONG J, UPSAL I. *Chin Phys C*, 2021, 45: 014102.
- [37] YANG C, CHEN J H, MA Y G, et al. *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2019, 49: 102008. (in Chinese)
(杨驰, 陈金辉, 马余刚, 等. *中国科学: 物理学 力学 天文学*, 2019, 49: 102008.)

Experimental Studies of Global Polarization in Heavy-ion Collisions

CHEN Jinhui¹⁾

*(Institute of modern physics & Key Laboratory of Nuclear Physics and Ion-beam Application (MOE),
Fudan University, Shanghai 200433, China)*

Abstract: The huge orbital angular momentum generated by non-central relativistic heavy-ion collisions in the reaction zone can be transferred to the quark-gluon plasma (QGP) in the form of fluid vortices. Partons in the QGP will be polarized along the angular momentum through the spin-orbit interaction, the so-called “Global Polarization”. After nearly two decades of exploration, experimental data on the global polarization of Λ hyperons and ϕ , K^{*0} vector mesons in heavy-ion collisions have confirmed a new phenomenon of QGP global polarization, which has attracted widespread attention from researchers and become a new hot direction in the forefront of high-energy nuclear physics. This paper briefly describe the experimental measurements of global polarization in heavy-ion collisions, focusing on the global polarization of Λ hyperons and the spin alignment of ϕ , K^{*0} mesons, followed by a brief discussion of the physics information provided by the experimental data.

Key words: heavy-ion collision; QGP global polarization; hyperon polarization; vector meson spin alignment

Received date: 30 Jul. 2023; **Revised date:** 21 Feb. 2024

Foundation item: National Key Research and Development Program of China (2022FYA1604900); National Natural Science Foundation of China (12025501)

1) E-mail: chenjinhui@fudan.edu.cn