

---

# 探索强子物理：三大方法揭示奇特强子态

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/31279.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！*

## 探索强子物理：三大方法揭示奇特强子态

。在神秘莫测的微观物理世界里，强相互作用作为自然界四大基本相互作用之一，一直以来都吸引着无数科学家的目光。其中，夸克和胶子是构成物质的基本单元，它们之间的相互作用被称为强相互作用。这种作用力极其强大，以至于在极小的空间尺度内，夸克和胶子被紧紧束缚在一起，形成了我们熟知的强子，如质子和中子。

然而，强相互作用也展现出令人费解的特性：在低能状态下，它变得异常强大，使得传统的微扰理论无法适用；同时，夸克和胶子在低能状态下被“囚禁”在强子内部，无法直接观测，这导致了理论和实验自由度之间的不匹配。因此，强相互作用的研究一直是物理学领域的重大挑战之一。

近日，兰州大学稀有同位素前沿科学中心的青年研究员刘明珠及其合作者，为理解奇特强子态的内部构型及强子-强子相互作用提供了新的视角和方法。相关论文发表于《物理学报告》。



刘明珠（左一）和学生讨论工作。受访者供图。

## 强相互作用：微观世界的基石

强相互作用，这一自然界的基本相互作用，其基本自由度是夸克和胶子。夸克，这些微小而神奇的粒子，通过强相互作用紧密结合在一起，形成了我们熟知的质子和中子等强子。然而，强相互作用的基本理论——量子色动力学（QCD）却具有两个令人困惑的特性：渐近自由和色禁闭。

渐近自由意味着在极高能量状态下，强相互作用变得较弱，使得科学家们可以利用微扰理论进行精确计算。然而，在低能状态下，强相互作用却变得异常强烈，使得微扰理论不再适用。而色禁闭则进一步加剧了这一难题，它表明在低能状态下，强相互作用的自由度是强子，而非夸克和胶子。这种理论和实验自由度之间的不匹配，使得在低能区进行强相互作用的理论和实验研究变得极为困难。

“因此强相互作用研究因此成为全球大科学装置的主要研究目标，被列入国家自然科学基金委“十四五”规划的第15个优先研究方向。”刘明珠告诉《中国科学报》，在这个充满挑战和机遇的领域里，强子作为研究低能强相互作用的重要载体，一直备受关注。

1964年，美国物理学家默里·盖尔曼和乔治·茨威格分别独立提出了夸克模型，成功解释了当时

---

实验上发现的所有强子。根据夸克模型，强子可以分为由正反夸克组成的介子或由三个夸克组成的重子。这一理论取得了巨大的成功，盖尔曼也因此获得了1969年的诺贝尔物理学奖。

然而，科学的探索永无止境。自2003年以来，实验物理学家们陆续发现了一系列不同于传统介子或重子的新强子态，如X(3872)、Zc(3900)、Pc(4312)、X(6900)等。这些新强子态的发现，无疑对传统夸克模型提出了严峻挑战。它们大多数位于一对传统强子的质量阈值附近，因此被科学家们视为强子分子态的可能候选者。最常见的强子分子态是原子核及超核，它们通常由核子（质子、中子）及超子（如 超子）在核力作用下形成弱束缚体系。

面对这些新奇的现象，兰州大学稀有同位素前沿科学中心的青年研究员刘明珠及其合作者，决定迎难而上，深入探索这些奇特强子态的内部构型和强子-强子相互作用。他们深知，这一研究领域不仅对于揭示物质的基本结构至关重要，还能推动强相互作用理论的发展，甚至可能发现新的物质形态，极大扩张我们熟悉的物质世界的版图。

三种研究奇特强子分子态构型及对应的强子-强子相互作用的系统方法。受访者供图。

### 三大创新方法：揭秘奇特强子态

在研究过程中，刘明珠团队面临了诸多挑战，其中理论精度对于理解相关的唯象学现象及作出理论预言至关重要，但强子-强子相互作用的复杂性给理论计算带来了诸多不确定性。

为了攻克这一难题，团队采取了双管齐下的策略：一方面，他们利用介子交换模型和有效场论这两种唯象学模型，建立两者之间的关联；另一方面，通过对称性的约束来减少计算中形状因子参数的不确定性，从而提升模型的预言能力。

“在多强子分子态的多体计算方面，团队起初并无相关经验。”刘明珠表示，他们并未因此退缩，而是积极寻求国际合作的机会。通过与日本学者Emiko Hiyama的携手合作，团队不仅掌握了核多体中的计算方法，还进一步将此方法拓展应用于三体 and 四体分子态的研究。这一国际合作不仅拓宽了团队的研究领域与视野，更显著提升了研究的质量和 international 影响力。

为了更系统地检验两体非微扰强相互作用及相关新强子分子态的构型，团队创新性地提出了三种检验方法。首先，他们关注于多重态强子分子态，这是强子分子态层次上的一种精细结构。通过检验强子分子态候选者是否存在由对称性关联的伙伴态，团队能够验证其分子态构型。这种方法基于有效场论，是一种模型无关的检验新强子态构型的方式，能够极大减小理论不确定度，为揭

---

示奇特强子态的内部构型提供了有力工具。

其次，团队还研究了三体强子分子态。他们通过检验相关三体强子分子态的存在与否，来进一步检验强子-强子相互作用及相应的分子态构型。这种方法基于强子分子态候选者谱学确定的强子-强子相互作用，预言相关的三体分子态是一种具有新构型的分子态。这些三体分子态的存在不仅丰富了强子分子态层次物质的构成，还有助于检验两体相互作用及强子分子态候选者的分子态属性。

最后，团队还引入了动量关联函数这一崭新的研究手段。他们利用在强子对撞过程中产生的粒子对之间的动量关联函数，直接研究强子-强子相互作用，从而检验其可能对应的分子态构型。作为一种新的物理可观测量，动量关联函数极大地丰富了研究强相互作用的手段和方法，为揭示奇特强子态的分子态构型提供了新的视角。通过这些创新性的方法和国际合作，团队在强子物理领域取得了显著的进展。

未来展望：持续探索强子物理的奥秘

在研究过程中，刘明珠团队深刻体会到了科研的艰辛与不易。“除了理论计算的不确定性外，我们还需要持续关注实验上的新发现，及时调整研究方向和策略。”然而，正是这些挑战和困难，锻炼了他们的科研能力和团队协作精神，也让他们更加坚定了探索未知、追求真理的信念。

面对未来，研究团队表示，随着大型对撞机上积累的大量数据以及探测器效率的提升，强子物理将进入高精度时代。他们将持续关注通过其它对称性及动力学引起的精细结构，并计算其他物理可观测量如衰变宽度、在粒子产生中的产率、不变质量谱的线型以及CP破坏和角观测量等，为实验及格点QCD提供更多有效的帮助，推动强子物理研究迈向新的高度。

刘明珠说：“未来，我们将继续与国际上的同行保持密切联系与合作，共同探索强子物理的奥秘。”

相关论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.physrep.2024.12.001>

作者：叶满山 来源：中国科学报

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](https://www.iikx.com)转发