中国科学家在探索超越标准模型之外的新物理领域取得进展

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/24055.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！

中国科学家在探索超越标准模型之外的新物理领域取得进展。天高地迥，觉宇宙之无穷。这句王勃在《滕王阁序》中的名句，恰如其分地描绘了人类对无穷宇宙的敬畏和向往。自旋，这是基本粒子中最基本的属性之一。那么，一个在地球表面的小小自旋，比如说极化的3He，是否可能由于一种超越了标准模型的新型相互作用，而感知到太阳等天体的存在呢？近日，中国工程物理研究院核物理与化学研究所中子极化团队通过分析极化3He+129Xe的实验数据对这一问题进行了研究。在天文学距离的力程范围（～1012 m），对三种标准模型外的新相互作用给出了最新的探测精度。对于标量-赝标（SP）型相互作用，新限制首次超越了此前最为严格的天文学-实验室联合限制，提高了～70倍；对于矢量-轴矢（VA）型相互作用，将已有限制的精度提高了12个数量级；对于轴矢-轴矢（AA）型相互作用，给出了天文学距离下的首个限制。相关研究成果于2023年8月29日在线发表在期刊Physical Review Letters上。

除了研究中子极化技术以外，绵阳中子极化团队（3He创新团队）长期致力于研发基于极化中子和极化3He的精密测量方法，探索超越标准模型的与自旋相关新相互作用。这些新相互作用的传播子可能是轴子（axion）和类轴子粒子（axion-like particles）。上世纪70年代，为了解决强相互作用中的CP（电荷共轭-宇称）问题，Peccei和Quinn提出了一个包含新U(1)对称性并自发破缺的理论；Weinberg和Wilczek发现该理论可能会导致新的标量粒子——轴子的产生。此后的很多理论，包括超对称自发破缺和弦论在内，都预言了存在与轴子具有相似性质的轻质量、弱耦合粒子--类轴子粒子。它们也被认为是冷暗物质的可能候选者。因此，研究轴子和类轴子粒子是当代物理学和天文学若干最重要问题的交点而成为近年来的热点（图1）。

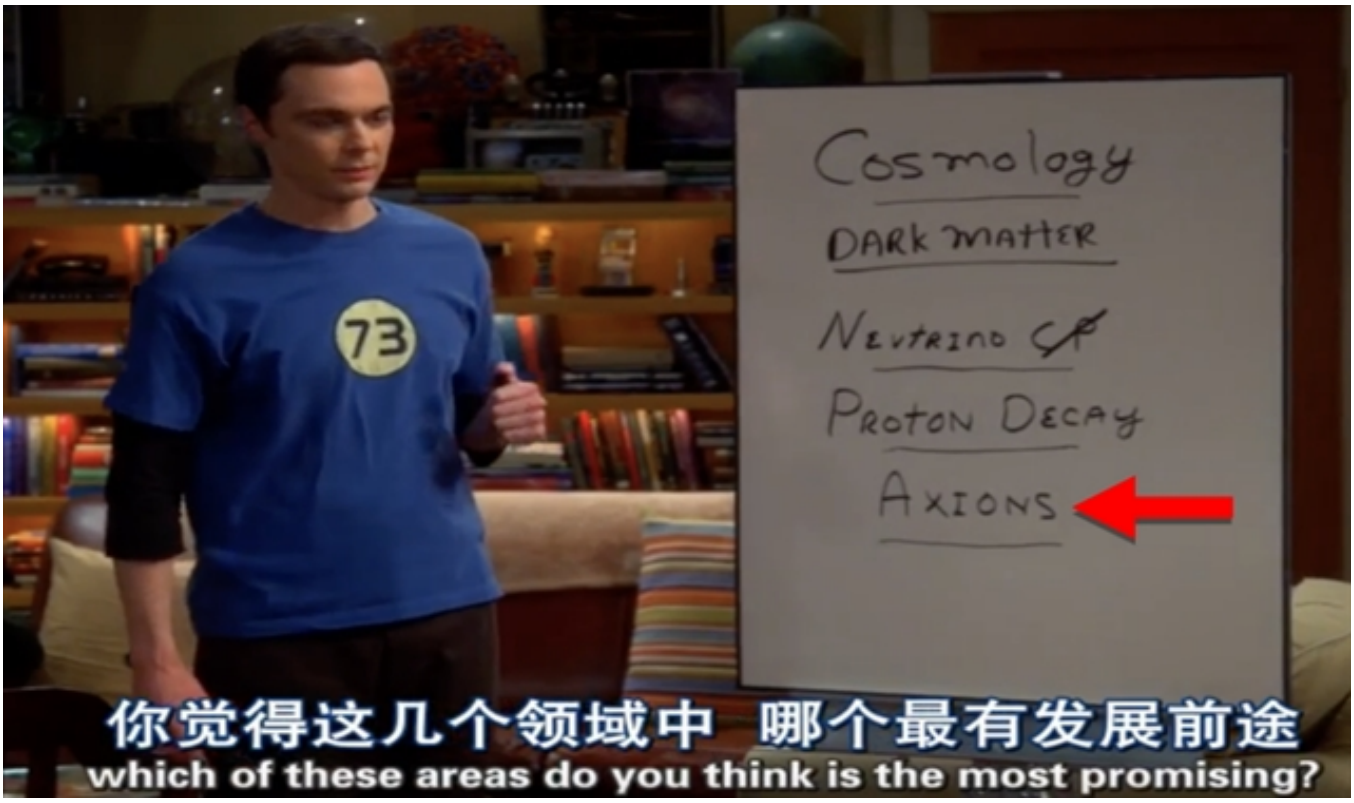


图1:（生活大爆炸第7季21集剧照）近年来轴子成为前沿和热点的研究领域。

新粒子可能在标准模型粒子之间传递自旋相关的新相互作用，因此，探索这种新相互作用为寻找这些粒子提供了一个可能的途径。根据现有理论，Peccei-Quinn对称破缺的能量尺度可能任意高，这意味着类轴子粒子可以具有任意轻的质量和任意弱的耦合。因此，它们可能传递的新相互作用的力程可从纳米尺度直至天文学距离。近年来，已有许多实验对这些自旋相关的新相互作用在微米到千米尺度范围内给出了严格的限制。然而，在天文学尺度上，以SP型相互作用为例，只有通过天文观测对PP型的限制和实验室测量对SS型的限制而间接得出对SP型的联合限制，而没有一个单独的实验对SP型相互作用进行限制。

如果这种新相互作用存在，像太阳这样的天体将对地球表面实验室里的极化3He的进动频率产生影响。这种影响在实验室坐标系中表现为一个按地球自转频率变化的有效磁场，而这种有效磁场可以通过量子精密测量的方法以极高的精度确定。中子极化研究团队巧妙地将太阳（～1030 kg）和月亮（～1022kg）视为巨大的非极化质量源，利用地球实验室中的3He+129Xe共磁力计测量新相互作用产生的等效磁场，从而限制这两个质量源与共磁力计中的极化中子间的自旋相关新相互作用。地球上极化的3He将感受到由新相互作用导致的随地球自转变化的射频场。因此，在实验室坐标系中，可以通过极化3He+129Xe的共磁力计从噪声背景中提取出新相互作用所产生的微小信号。这种共磁力计的工作原理也是量子陀螺仪的基础。研究团队利用已有的3He+129Xe共磁力计测量由洛伦兹破缺导致的宇宙背景场数据[Phys. Rev. Lett. 112(11):110801, (2014).]进行了分析，确定了新相互作用产生的等效磁场在95%置信水平下的上限为0.023 fT。基于这个结果，研究团队提出了天文学尺度下SP型，VA型和AA型相互作用的最新限制。如图2所示，对于SP型相互作用，首次突破了先前最严格的天文学和实验室联合限制；对于VA型相互作用的限制精度提高了12个数量级；对于AA型相互作用，首次在天文学距离下提出了限制。更为重要的是，这种新方法为探索天文尺度下的自旋相关新相互作用开创了全新的可能性。该工作在2023年2月15日发布于预印本网站arXiv[arXiv:2302.09096]，引起了国内外科学界的关注。此后，若

干类似的研究迅速涌现。

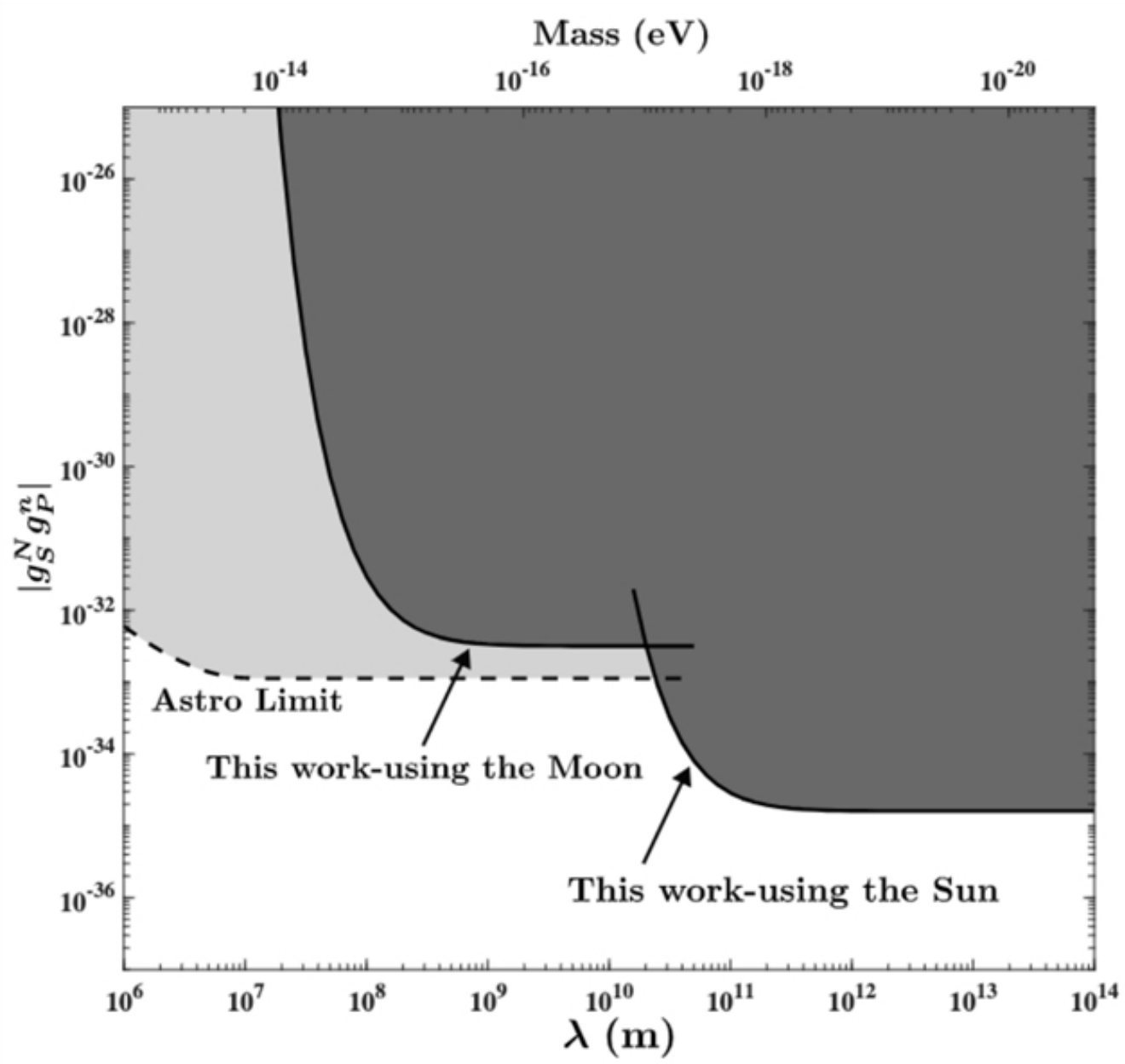
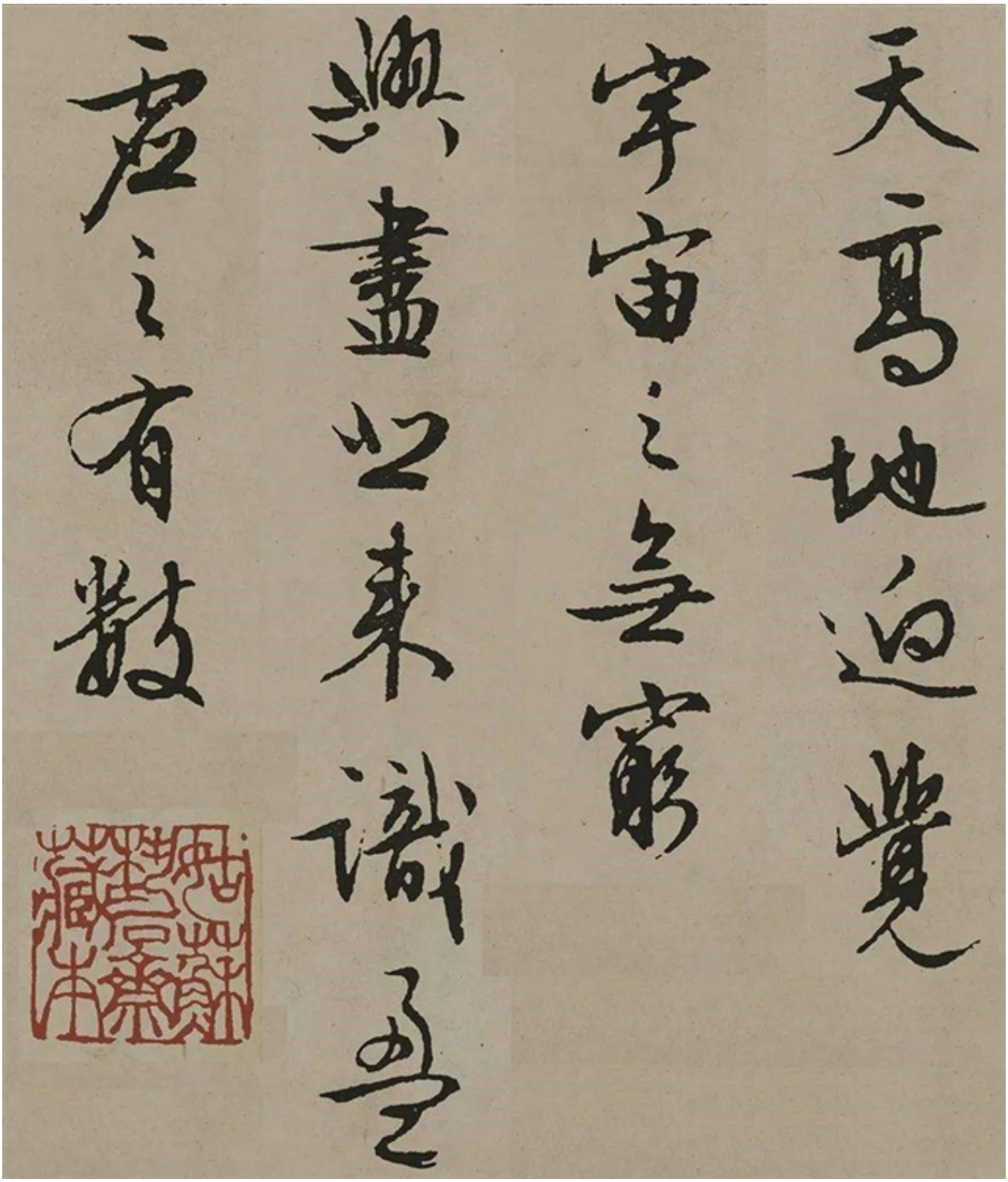


图2: SP型相互作用强度gNSgnP，图中实线为极化团队工作的主要结果之一，天文学-实验室联合限制如左图虚线所示，现有结果超越天文学-实验室联合结果～70倍。

这项研究再次见证了中国绵阳研究堆中子极化团队在创新前沿领域的重要突破。This is a clever approach，the paper is well written是PRL的审稿人对该工作的原创性和质量所给出的十分慷慨的评价。之前，该团队已经利用中子极化技术和精密测量方法，在探索标准模型之外的新物理领域取得了多项关键性进展。相关成果已经发表在《物理评论快报》上，包括[Phys. Rev. Lett. 129, 051802 (2022)]、[Phys. Rev. Lett. 115, 182001 (2015)]和[Phys. Rev. Lett. 110, 082003 (2013)]等文章。这些重要的成就是该团队多年来在中子极化技术和惰性气体原子核极化技术方面的研究成果。极化惰性气体在中子散射、医学成像、惯性导航、弱磁检测、新物理探测等领域都有重要的应用。共磁力计，即混合两种极化惰性气体磁强计，能够抑制由主磁场涨落而导致的系统误差，因此时具

有极高的灵敏度，这使其在探测自旋相关的新相互作用方面具有极大的应用潜力。此外，对于磁强计的关键部件——惰性气体特种玻璃气室，该团队在制造、退火、清洗和充装方面已经积累了丰富的技术经验。



（明）文徵明行书《滕王阁序》

然而，也正如篇首所引《滕王阁序》的后半句，兴尽悲来，识盈虚之有数。在这个无尽的宇宙中，我们所理解和知晓的可能仅仅是冰山一角。尽管面临这种无穷的可能性，人类从未停止探索，科研人员的征途亦如星辰大海，永无止境。

该论文的第一作者为博士研究生吴良勇，第二作者为团队新进入职的张开元博士，通讯作者为中子极化创新团队负责人闫海洋研究员。该研究受到国家自然科学基金（U2230207和U2030209）和科技部重点研发计划（2020YFA0406001和2020YFA0406002）的支持。（来源：科学网）

相关论文信息：https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.091002

作者：闫海洋等 来源：《物理评论快报》

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转发