从66亿数据中捞针：反超氢-4核的发现

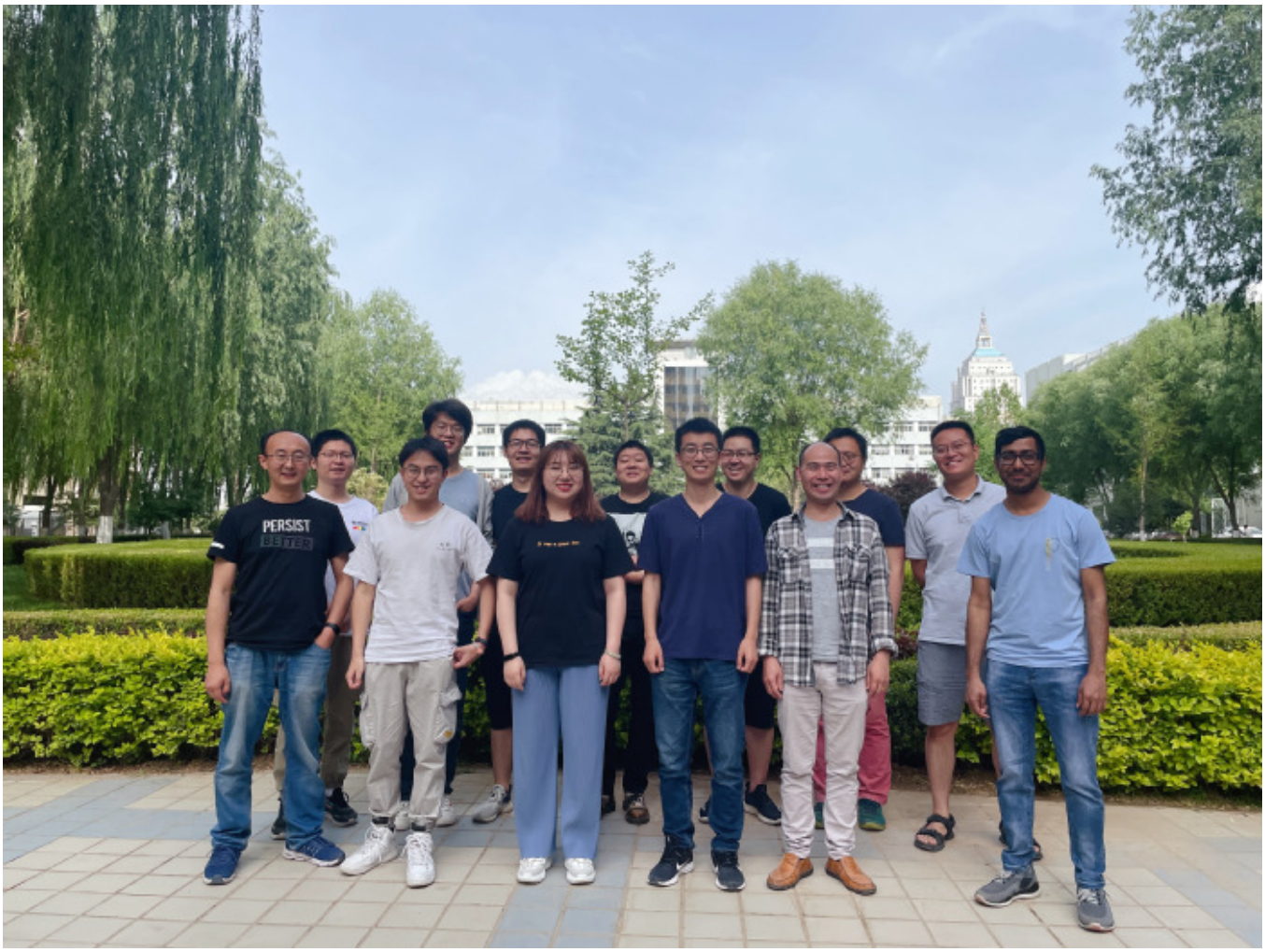
作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/29516.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！

从66亿数据中捞针：反超氢-4核的发现
。想象一下，有一种工作，它要求科学家们在庞大的66亿数据中，如同大海捞针般寻找并识别出仅仅约16个极其微弱的信号，这项工作就是寻找反物质超核。

今年8月21日，仇浩研究员团队主导完成的国际合作实验研究成果在《自然》杂志上发表。团队在相对论重离子碰撞实验中观测到一种新的反物质超核——反超氢-4，这是迄今实验上发现的最重的反物质超核。



核物质相结构研究团队。受访者供图。

追梦宇宙大爆炸

在探讨这一发现之前，有必要先了解什么是反物质。

根据现有的物理学理论，每一种粒子都有其对应的反粒子，它们具有相同的质量但相反的电荷。例如，电子的反粒子是正电子，质子的反粒子是反质子。当物质和反物质相遇时，它们会相互湮灭，释放出巨大的能量。

宇宙诞生之初，理论上应该存在等量的正物质和反物质。然而，目前我们能观测到的宇宙几乎完全由正物质构成。这一明显的正反物质不对称现象一直是物理学中的一个重大谜题。

为了解开这个谜团，科学家们提出了多种假设和理论。而在实验上，解开这个谜团的一个重要思路，就是在实验室中制造反物质并研究它们的性质。

仇浩，中国科学院近代物理研究所研究员，核物质相结构室主任。早在孩童时期，仇浩就通过《

十万个为什么》等课外读物对物理和天文产生了浓厚的兴趣。尽管被西安交通大学经济类专业录取，但他最终决定追求初心，费尽周折转入物理专业，全身心投入到物理学的学习和研究中。

“物理学是一门最基本的学科，它用优美的形式描述了自然界一些最基本的规律，构成了化学、生物等学科的基础。能从事感兴趣的专业是非常幸运的事。”

毕业后，仇浩被保送至近代物理研究所，并在导师徐瑚珊的建议下，于2008年赴美国螺旋管径迹谱仪（STAR）实验国际合作组学习。这个大型实验组由十几个国家的数百名科学家组成，大家根据自己的兴趣选择不同课题，利用美国相对论重离子对撞机开展高能核物理实验。

“相对论重离子对撞机的最高对撞能量达200GeV，能把原子核加速到接近光速。”这种实验条件能产生几万亿度高温的核物质，模拟宇宙大爆炸早期的状态。2010年和2011年，STAR实验合作组分别宣布发现反超氚和反氦-4，当时还是博士生的仇浩在这两项物理分析工作中做出了重要贡献。

“反物质核的研究难点，在于它们的产额非常低，而本底非常高。每增加一个反重子，反物质核的产额会降低近千倍。因此在上世纪70年代发现反氚和反氦-3后，几十年后才发现了新的、更重的反物质核。”

4年的艰难探索

2019年，仇浩回到近代物理所，加入新成立的夸克物质中心。在研究室的一次组会上，他从其他同事的课题汇报中，敏锐地发现了一个有趣的现象：超氢-4的信号强度比预期的要大上四五倍。这个意外发现引发了他的好奇，并开始思考，反物质超氢-4的信号是否也可能由于某种机制而同样增大了四五倍呢？经过初步计算，他惊喜地发现，如果确实是这样，那么利用STAR实验现有的数据，就有可能发现反超氢-4这一新的反物质核。

于是，他毫不犹豫地开始了这项研究。但是起初的兴奋，却换来了一无所获。

“这个发现并不容易。我们花了一年多时间，几乎什么都没发现，大家都有些灰心。但仇老师一直没有放弃，告诉我们还是很有希望的，带领我们去分析原因，尝试不同解决办法。”团队成员、博士生吴俊霖告诉记者。

2020年，在最初的研究阶段，团队面临了巨大的挑战。由于包含不稳定的反超子，反超氢-4的寿命非常短，飞行仅仅几个厘米后就会发生衰变，需要通过探测器看到的两个衰变子体进行重构，反推反超氢-4的存在。从每个事例几千个末态粒子中挑出两个来组合，会产生巨量的组合本底。因此团队首先使用了包含高精度硅像素探测器的数据。然而，这种方式虽然能够更精确地找到衰变顶点，有助于压低本底，但却存在着信号损失过多的问题，这导致团队在最初的数据分析中一无所获。

在一年多的努力无果之后，团队又从头开始，尝试使用没有硅像素探测器的数据。经过一段时间的努力，终于看到了一个微弱的信号。

“使用不变质量图来识别信号，本底就像一个平缓的山岭，信号则是一个小小的、比较窄的山峰。想办法把平的东西往下压，把窄的东西变大，这样就能看见更多的信号。”仇浩表示。

在看到一丝希望之后，团队继续改进，努力压低本底，进一步提高信号显著度。其中每一项改进应用到几十亿事例的庞大数据集上，都可能耗费一个月的时间。有些尝试提高了信号显著度，还有一些则没有带来明显的改进。在此过程中，团队成员相互支持鼓励，在面对困难时共同寻找解决方案，终于通过尝试新的算法取得了突破。

“我们最终采用了重建效率更高的一种算法——卡尔曼滤波算法进行衰变顶点重建。经过无数次的尝试和调整，我们在2021年8月看到了令人振奋的结果，清晰地捕捉到了反超氢-4的信号。”路坦兴奋地说。

这一关键的改进起到了立竿见影的效果，团队最终成功在66亿次重离子碰撞事件的实验数据中，找到了十几个反超氢-4的显著信号。反超氢-4由一个反质子、两个反中子和一个反超子组成，是目前实验上观测到的最重的反物质超核。

然而，发现新的反物质核的信号，只是一个美好的开始。新的反物质超核的性质如何？在重离子碰撞中会产生多少？这些问题需要通过严谨的测量来回答。反超核的重建效率需要细致的计算和修正，虽然过程十分繁琐，但只有经过反复、多角度的检查复核，才能得到正确的测量结果。

又经过近两年的努力，团队完成了正/反超氚、正/反超氢-4的寿命测量，以及多种核的产额比测量。在测量精度范围内，反超核与其对应的正物质超核的寿命没有明显差异，再次验证了正反物质性质的对称性。

解开反物质世界奥秘的一小步

2024年8月21日，反超氢-4研究成果发表在《自然》杂志上。团队的科研成果赢得了认可，也引发了媒体和公众的讨论。

研究反物质有什么用？这可能是很多公众的疑问。“研究反物质可以帮助我们理解物质世界为什么存在，拓展知识边界本身也是一种‘有用’。”仇浩告诉记者，反物质的研究还能推动该领域的技术发展，提高人类制造、探测、利用反物质的能力，为未来发现更多未知的反物质奠定基础。随着科技的发展，人类甚至有可能把反物质当作能量的载体，就如一些科幻作品中描述的那样，通过正反物质湮灭的能量进行宇宙航行。

“实际上，我们的夸克物质中心才成立5年，但近代物理所一直给予了我们大力的支持。”仇浩感慨地说，“在回国前，我很难想象回国仅仅5年后，我能组建一个30多人的研究团队。正是有了这样强有力的支持，才能集合团队的力量，发现反超氢-4。”

“未来，随着强流重离子加速器装置的建成，我们团队将在我们国家自己的装置上研究超核，寻找新的超核。超核所携带的信息，将有助于人们深入理解中子星的内部结构和性质。同时，我们参与研制的无中微子双贝塔衰变实验，也有可能通过中微子引发的轻子数破缺，解释宇宙正反物质不对称这一重要的科学问题。”仇浩表示。

对于仇浩和他的团队来说，反超氢-4核的发现只是他们科研旅程中的一个小故事。他们深知，这只是解开反物质世界奥秘的一小步。未来，他们将探索更多未知的粒子和现象，更加深入地理解

宇宙如何演化，我们从何而来。

相关论文链接：

https://www.nature.com/articles/s41586-024-07823-0
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转发