

2025 年度甘肃省科学技术奖公示内容

- 一、项目名称（限 30 字）：非淬火效应所致的粲偶素反常现象
- 二、申报奖种：自然科学奖
- 三、主要完成单位及排序：兰州大学、中国科学院近代物理研究所
- 四、完成人排序及对项目的主要贡献

排序	姓名	完成人单位	对本项目主要贡献
1	刘翔	兰州大学	提出类粲偶素 X(3915)为 $\chi_{c0}(2P)$ 态的论断。通过引入耦合道效应，解决 X(3915)与 Z(3930)过小质量劈裂问题，得到了 LHCb 实验的证实。提出初始单 π 出射机制，重现类粲偶素 $Z_c(3900)$ 的实验结果。提出 Y(4220)是由粲偶素家族中长期丢失的 $\psi(4S)$ 态所致，并指出类似现象将存在于 $e^+e^- \rightarrow \psi(2S)\pi^+\pi^-$ 反应中。受非淬火图像的启发，提出基于粲偶素重散射到双粲偶素的新动力学机制，很好地解释了双 J/ψ 不变质量谱线形，并预言了一类全重味增长结构的存在。
2	陈殿勇	东南大学	发展了强子圈机制以唯象地描述重夸克偶素衰变过程中的非淬火效应。在强子圈机制基础上发展出初态单 π 出射机制，并研究了 $Y(4260) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$ 衰变过程，为 $Z_c(3900)$ 结构提供了一种新的理论解释。将 BESIII 实验在 $e^+e^- \rightarrow \chi_{c0}\omega$ 过程中发现的 Y(4220)与 $\psi(4S)$ 相联系，精确计算了 $\psi(4S) \rightarrow \chi_{c0}\omega$ 过程的分支比，同时预言了 $\psi(4S) \rightarrow \eta J/\psi$ 过程的分支比。提出了产生全粲味增长结构的新的动力学机制，很好地描述了实验测得的双 J/ψ 不变质量分布的形状，预言了在双Y不变质量谱上可能的全底味增长结构。
3	孙志峰	兰州大学	2010年，日本的Belle实验发现了X(3915)粒子。结合定性的质量谱分析，我们提出了X(3915)的粲偶素解释，即X(3915)可为粲偶素家族中的 $\chi_{c0}(2P)$ 态，它具有明确的 $J^{PC} = 0^{++}$ 的自旋宇称量子数。我们开展的 $\chi_{c0}(2P)$ 态的两体强衰变行为的研究可以很好地重现X(3915)的实验宽度，从而进一步支持这一论断。该工作发表在了物理学顶级期刊《Physical Review Letters》。随后，美国的BaBar实验证实了我们之前对X(3915)的自旋宇称量子数的预言。
4	罗肆强	兰州大学	本人对本项目的贡献主要体现在 $\chi_{cJ}(2P)$ 中非淬火效应的研究上。本人参与设计了非淬火图像下

			$\chi_{cJ}(2P)$ 的研究方案，通过在 $\chi_{cJ}(2P)$ 中引入耦合道效应，计算了其质量谱，解释了X(3915)和Z(3930)之间过小的质量差，该研究对理解X(3915)的性质以及后续P波粲偶素的研究提供了理论依据。
5	段鸣晓	贵州师范大学	对 2P 态粲偶素中非淬火现象的研究是我对本项目的主要学术贡献。我们注意到非淬火效应在 2P 态粲偶素家族中会有显著的影响，并首先对 $\chi_{c0}(2P)$ 和 $\chi_{c2}(2P)$ 态中非淬火效应的大小做出了准确估计。我们的研究结果不仅成功理解了 X(3915)粒子、完全澄清了关于 2P 态粲偶素谱学存在多年的争议，而且为后续对 P 波粲偶素中耦合道现的研究打开了局面。
6	王俊璋	重庆大学	2020年，LHCb合作组在双 J/ψ 不变质量谱上发现了几个奇异增长结构，我们受到非淬火图像的启发，提出了一个新的动力学机制。该机制中，除了直接通过单部分子和双分子散射产生 J/ψ 对的贡献外，还可以通过强子对撞机上直接产生的不同的粲偶素对组合来散射到两个 J/ψ 末态。该机制很好地描述了双 J/ψ 不变质量分布的线形，同时我们预言了在双Y(1S)不变质量谱上可能产生的全底味增长结构。

五、项目简介（限 500 字）：

本项目属物理学领域的粒子物理研究方向。

强子谱研究涉及粒子物理学精度前沿。项目组成员历时十年，紧密结合不断国际粒子物理实验中涌现的类粲偶素及其相关新奇现象，通过发展和构建非淬火效应的唯象理论，揭示若干类粲偶素与粲偶素的关联性，打破粲偶素谱学研究的长期沉寂局面，获得了一批创新成果：

- 1）在国际上率先提出类粲偶素X(3915)为粲偶素中的 P 波态“ $\chi_{c0}(2P)$ ”的理论解释，并发展了非淬火夸克模型，阐明了形成粲偶素 2P 态（ $\chi_{c0}(2P)$ 和 $\chi_{c2}(2P)$ ）能级近乎简并现象的内在机制，为最终 LHCb 实验组确认X(3915)为粲偶素 $\chi_{c0}(2P)$ 扫清了障碍。
- 2）基于强子圈机制提出初始单 π 辐射（ISPE）机制，并成功复现了类粲偶素Z_c(3900)的实验结果，ISPE 机制被称为“最早将 Cusp 效应应用到重味奇特态研究中的具体模型”；通过强子圈机制，阐明 BESIII 实验在 $e^+e^- \rightarrow \chi_{c0}\omega$ 反应中发现的未知窄共振结构是由粲偶素家族中长期丢失的 $\psi(4S)$ 态所致。
- 3）受非淬火图像的启发，提出了一种基于粲偶素重散射到双 J/ψ 的新机制，成功解释了 LHCb 实验组在双 J/ψ 不变质量谱上发现的全粲的X(6900)增长结构以及 CMS 实验组后续相关的高精度实验结果，为全重味强子间的相互作用研究提供了新思路。

本项目 5 篇代表作发表在 Physical Review Letters 和 Physical Review D 等重要物理学学术期刊，他引次数为 259。本项目涉及研究成果是在包括国家杰出青年基金在内的人才项目/基金支持下取得的，申请人刘翔也于 2025 年获聘“长江学者特聘教授”。

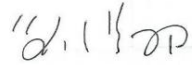
六、所列知识产权目录

论文专著目录（技术发明奖无需填写论文专著目录）

七、非连续申报证明

非连续申报证明

项目名称	非淬火效应所致的粲偶素反常现象
主要完成人	刘翔、陈殿勇、孙志峰、罗肆强、段鸣晓、王俊璋
主要完成单位	兰州大学、中国科学院近代物理研究所
自查情况说明	
项目组自查情况	本项目申报 2025 年度甘肃省自然科学奖，主要技术内容申报过 2022 年度省自然科学奖但未获奖,上次申报信息如下: 申报年度: 2022 年 项目名称: 非淬火效应所致的粲偶素反常现象 主要完成人: 刘翔、陈殿勇、孙志峰、段鸣晓 主要完成单位: 兰州大学、中国科学院近代物理研究所 项目简介: 本项目属物理学领域的粒子物理研究方向。 强子谱研究涉及粒子物理学精度前沿。项目组成员历时十年,紧密结合不断国际粒子物理实验中涌现的类粲偶素及其相关新奇现象,通过发展和构建非淬火效应的唯象理论,揭示若干类粲偶素与粲偶素的关联性,打破粲偶素谱学研究的长期沉寂局面,获得了一批创新成果: 1) 针对 Belle 实验发现的名为 X(3915)的类粲偶素态,提出 X(3915)为粲偶素$\chi_{c0}(2P)$态的论断,通过引入耦合道机制解决 X(3915)与作为粲偶素$\chi_{c2}(2P)$态的Z(3930)的过小质量劈裂这一关键问题,终获 LHCb 实验证实。 2)通过强子圈机制精确预言粲偶素$\chi_{c1}(1P)$态的辐射衰变过程$\chi_{c1}(1P) \rightarrow \gamma + V$的衰变分支比,并获 BESIII 实验证实。在强子圈机制的基础上提出初始单π辐射 (ISPE) 机制,并成功复现了类粲偶素Z_c(3900)的实验结果,ISPE 机制被称为“最早将 Cusp 效应应用到重味奇特态研究中的具体模型”。 3) 阐明 BESIII 实验在$e^+e^- \rightarrow \chi_{c0}\omega$反应中发现的质量约为 4.2 GeV 的窄共振结构是由粲偶素家族中长期丢失的$\psi(4S)$态所致,并指出$\psi(4S)$态所导致的这一窄共振结构现象也将存在于$e^+e^- \rightarrow \psi(2S)\pi^+\pi^-$反应中,早于 BESIII 实验对这一现象

	的发现。 本项目 5 篇代表作发表在 Physical Review Letters 和 Physical Review D 等重要物理学学术期刊，被引用 184 次。本项目涉及研究成果是在包括国家杰出青年基金在内的人才项目/基金支持下取得的。 此次申报较 2022 年度新增的研究成果情况： 此次申报较 2022 年度新增代表作为“Producing full charm structures in the J/ψ-pair invariant mass spectrum”。该成果中，我们受非湮灭图像的启发，提出了一种基于粲偶素重散射到双 J/ψ 的新机制，成功解释了 LHCb 实验组在双 J/ψ 不变质量谱上发现的全粲的 $X(6900)$ 增长结构以及 CMS 实验组后续相关的高精度实验结果，为全重味强子间的相互作用研究提供了新思路。该成果发表于重要物理学学术期刊 Physical Review D。 无重复申报情况，符合申报要求。 特此承诺。 第一完成人（签名）：  2025 年 6 月 12 日
第一完成单位自查情况	本项目申报 2025 年度甘肃省自然科学奖，主要技术内容申报过 2022 年度省自然科学奖，此次申报较 2022 年度新增了研究成果和应用情况，无重复申报情况，符合申报要求。 特此说明。 第一完成单位（盖章）  2025 年 6 月 12 日

八、知情同意书

知情同意证明

项目名称	非淬火效应所致的粲偶素反常现象			
主要完成人	刘翔、陈殿勇、孙志峰、罗肆强、段鸣晓、王俊璋			
论文名称	全部作者		未列入主要完成人的论文作者	签名
X(3915) and X(4350) as New Members in the P-Wave Charmonium Family	1	刘翔		刘翔
	2		罗志刚	罗志刚
	3	孙志峰		孙志峰
	4			
	5			
	6			
	7			
补充说明				
承诺：上述论文用于申报 2025 年度甘肃省自然科学奖，已征得未列入项目主要完成人的所有作者知情同意。				
第一完成人（签名）： 刘翔				
2025 年 6 月 11 日				

知情同意证明

项目名称	非淬火效应所致的粲偶素反常现象			
主要完成人	刘翔、陈殿勇、孙志峰、罗肆强、段鸣晓、王俊璋			
论文名称	全部作者		未列入主要完成人的论文作者	签名
Possibility of charmoniumlike state $X(3915)$ as $\chi_{c0}(2P)$ state	1	段鸣晓		段鸣晓
	2	罗肆强		罗肆强
	3	刘翔		刘翔
	4		Takayuki Matsuki	
	5			
	6			
	7			
补充说明				
承诺：上述论文用于申报 2025 年度甘肃省自然科学奖，已征得未列入项目主要完成人的所有作者知情同意。 第一完成人（签名）： 刘翔 2025 年 6 月 11 日				

知情同意证明

项目名称	非淬火效应所致的粲偶素反常现象			
主要完成人	刘翔、陈殿勇、孙志峰、罗肆强、段鸣晓、王俊璋			
论文名称	全部作者		未列入主要完成人的论文作者	签名
Reproducing the $Z_c(3900)$ structure through the initial-single-pion-emission mechanism	1	陈殿勇		陈殿勇
	2	刘翔		刘翔
	3		Takayuki Matsuki	
	4			
	5			
	6			
	7			
补充说明				
承诺：上述论文用于申报 2025 年度甘肃省自然科学奖，已征得未列入项目主要完成人的所有作者知情同意。				
第一完成人（签名）：刘翔				
2025年 6 月 11 日				

知情同意证明

项目名称	非淬火效应所致的粲偶素反常现象			
主要完成人	刘翔、陈殿勇、孙志峰、罗肆强、段鸣晓、王俊璋			
论文名称	全部作者		未列入主要完成人的论文作者	签名
Observation of $e^+e^- \rightarrow \chi_{c0}\omega$ and missing higher charmonium $\psi(4S)$	1	陈殿勇		陈殿勇
	2	刘翔		刘翔
	3		Takayuki Matsuki	
	4			
	5			
	6			
	7			
补充说明				
承诺：上述论文用于申报 2025 年度甘肃省自然科学奖，已征得未列入项目主要完成人的所有作者知情同意。 第一完成人（签名）： 刘翔 2025 年 6 月 11 日				

知情同意证明

项目名称	非淬火效应所致的粲偶素反常现象			
主要完成人	刘翔、陈殿勇、孙志峰、罗肆强、段鸣晓、王俊璋			
论文名称	全部作者		未列入主要完成人的论文作者	签名
Producing fully charm structures in the J/ψ -pair invariant mass spectrum	1	王俊璋		王俊璋
	2	陈殿勇		陈殿勇
	3	刘翔		刘翔
	4		Takayuki Matsuki	
	5			
	6			
	7			
补充说明				
承诺：上述论文用于申报 2025 年度甘肃省自然科学奖，已征得未列入项目主要完成人的所有作者知情同意。				
第一完成人（签名）：刘翔				
2025 年 6 月 11 日				