

项目名称：非淬火效应所致的粲偶素反常现象

一、项目简介：

本项目属物理学领域的粒子物理研究方向。

强子谱的研究涉及粒子物理学精度前沿，是深入理解强相互作用非微扰问题的有效途径。从 2003 年起，不断涌现的类粲偶素及其相关新奇现象为强子谱研究提供了新天地。如何揭示这些类粲偶素与粲偶素的关联性成了必须直面的课题。这不仅是构建粲偶素家族的重要环节，而且有助于提升人类对微观物质世界的认识水平。

项目组成员历时十年，紧密结合国际粒子物理实验，通过发展和构建非淬火效应的唯象理论，揭示了若干类粲偶素与粲偶素的关联性，打破了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，提出了 $X(3915)$ 为粲偶素 $\chi_{c0}(2P)$ 态的论断，通过引入耦合道机制解决了 $X(3915)$ 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了粲偶素 $\chi_{c1}(1P)$ 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) 阐明了 BESIII 实验在 $e^+e^- \rightarrow \chi_{c0}\omega$ 反应中发现的质量约为 4.2GeV 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 268 次。项目第一完成人刘翔先后入选“国家万人计划青年拔尖人才”和科技部“中青年科技创新领军人才”，并在 2012 年和 2018 年分别获得国家自然科学基金委优秀青年基金和国家杰出青年基金资助。本项目涉及的研究成果正是在这些人才项目/基金的支持下取得的。刘翔还获得了第十五届“中国

青年科技奖”和“教育部自然科学一等奖”（这些奖项涉及成果与本项目无重复）。本项目也注重公众科普活动的开展，为此，刘翔入选了“金城首席科普专家”。

二、申报奖种：

甘肃省自然科学奖特等奖

三、完成人情况及对项目主要贡献

序号	姓名	完成人单位	对本项目主要贡献
1	刘翔	兰州大学	<p>提出类粲偶素 X(3915)为 χ_{c0} (2P)态的论断。通过引入耦合道效应，成功解决了 X(3915)与 Z(3930)的过小质量劈裂问题。我们的结论得到了 LHCb 实验的证实。将强子圈机制应用于辐射衰变过程 χ_{c1} (1P)$\rightarrow\gamma+V$，精确得到了其衰变分支比。在强子圈机制的基础上，提出初始单 π 出射机制，重现了类粲偶素 Z_c (3900)的实验结果。</p> <p>提出 Y(4220)是由粲偶素家族中长期丢失的 ψ(4S)态所致，并指出类似现象也将存在于 $e^+e^-\rightarrow\psi(2S)\pi^+\pi^-$反应中。这一工作早于 BESIII 实验对该现象的发现。</p>
2	陈殿勇	中国科学院近代物理研究所	<p>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灭效应。利用该机制解释了 χ_{c1} (1P)$\rightarrow\gamma V$过程的微扰QCD计算结果与CLEO-c实验结果的巨大差异。</p> <p>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。</p> <p>针对BESIII实验在$e^+e^-\rightarrow\chi_{c0}\omega$过程中发现的Y(4220)，将该共振结构与我们预言的ψ(4S)联系起来，精确计算了ψ(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。</p>

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(Phys. Rev. D86 (2012) 072002)。
4	段鸣晓	兰州大学	对2P态粲偶素中非淬灭现象的研究是我对本项目的主要学术贡献。我们注意到非淬灭效应在2P态粲偶素家族中会有显著的影响，并首先对 $\chi_{c0}(2P)$ 和 $\chi_{c2}(2P)$ 态中非淬灭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。

四、主要完成单位及排序

兰州大学（1） 中国科学院近代物理研究所（2）

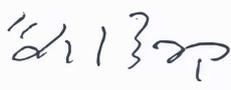
五、所列知识产权目录

论文专著

序号	论文专著名称	刊名	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间	通讯作者	全部作者	他引总次数
1	X(3915) and X(4350) as New Members in the P-Wave Charmonium Family	Physical Review Letters	2010年104卷122001页	201003	刘翔	刘翔; 罗志刚; 孙志峰	108

2	Possibility of charmoniumlike state X(3915) as $\chi_{c0}(2P)$ state	Physical Review D	2020年 101 卷 054029 页	202003	刘翔	刘翔; 段鸣晓; 罗肆强; Takayuki Matsuki	2
3	Long-distant contribution and χ_{c1} radiative decays to light vector meson	The European Physical Journal C	2010年 70 卷 177-182 页	201010	刘翔	陈殿勇; 董宇兵 ; 刘翔	8
4	Reproducing the $Z_c(3900)$ structure through the initial-single-pion-emission mechanism	Physical Review D	2013年 88 卷 036008 页	201308	刘翔	刘翔; 陈殿勇; Takayuki Matsuki	58
5	Observation of $e^+e^- \rightarrow \chi_{c0}\omega$ and missing higher charmonium $\psi(4S)$	Physical Review D	2015年 91 卷 094023 页	201505	刘翔	刘翔; 陈殿勇; Takayuki Matsuki	8
合 计							184
补充说明							

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
项目完成人	刘翔（兰州大学） 陈殿勇（中国科学院近代物理研究所） 孙志峰（兰州大学） 段鸣晓（兰州大学）
项目完成单位	兰州大学 中国科学院近代物理研究所
说明：根据《关于 2022 年度甘肃省科学技术奖提名工作的通知》（甘科奖函[2022]3 号）文件精神，被提名项目申报过以往年度奖励但未获奖的，再次申报时应提供上次申报信息，包括申报年度、项目名称、主要完成人、主要完成单位、项目简介等。	
自查情况	
项目组 自查结果	此次申报 2022 年度甘肃省科学技术奖的项目，无重复申报情况，符合申报要求。 特此承诺。 第一完成人签字：  2022 年 9 月 22 日
第一完成单位 自查结果	该项目申报 2022 年度甘肃省科学技术奖，无重复申报情况，符合申报要求。 特此承诺。  2022 年 9 月 22 日 (第一完成单位盖章)

知情同意报奖证明(论文/专著)

项目名称	非淬火效应所致的粲偶素反常现象
完成人	刘翔 (1) 陈殿勇 (2) 孙志峰 (3) 段鸣晓 (4)
完成单位	兰州大学 中国科学院近代物理研究所
提名单位	兰州大学

提示：本次报奖的成果如获奖，不能再申报各种同级或以下级别科技奖励，否则视为重复报奖

本次报奖所用知识产权 (论文/专著) 名称	期刊名 /发表年月	成果主要完成人	未列入项目完成人的 成果作者签字
X (3915) and X (4350) as New Members in the P-Wave Charmonium Family	Physical Review Letters 2010.03	刘翔; 罗志刚; 孙志峰	罗志刚
Possibility of charmoniumlike state X(3915) as $\chi_{c0}(2P)$ state	Physical Review D 2020. 03	刘翔; 段鸣晓; 罗肆强; Takayuki Matsuki	罗肆强 { Takayuki Matsuki (已故)
Long-distant contribution and χ_{c1} radiative decays to light vector meson	The European Physical Journal C 2010. 10	陈殿勇; 董宇兵; 刘翔	董宇兵
Reproducing the $Z_c(3900)$ structure through the initial-single-pion-emission mechanism	Physical Review D 2013. 08	刘翔; 陈殿勇; Takayuki Matsuki	Takayuki Matsuki (已故)
Observation of $e^+e^- \rightarrow \chi_{c0(0)}$ and missing higher charmonium $\psi(4S)$	Physical Review D 2015. 05	刘翔; 陈殿勇; Takayuki Matsuki	Takayuki Matsuki (已故)

声明：本项目参与申报 2022 年度甘肃省自然科学奖评审，我作为成果的作者，知悉此事，同意使用该成果（论文/专著）报奖，同意本人不作为项目完成人报奖。

备注：纸质版——论文提交首页，专著提交封面、版权页。