**2022年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容**

**一、项目名称：**

弯曲时空中电磁相互作用的拓扑和动力学性质

**二、提名者及提名意见**

提名者：陕西省物理学会

提名意见：

时空的非平庸几何和代数性质是目前基础物理学的研究前沿。特别是近来引力波的观测不仅证明了广义相对论的正确性，而且极大地刺激了对时空物理性质的研究。在未来相当长一段时间内，对时空的几何和代数结构的非平庸动力学性质的研究将一直是基础物理学领域的研究热点、重点和难点。本项目主要集中于研究时空非平庸代数结构拓扑性质和动力学特性，提出了利用Aharonov-Bohm和Aharonov-Casher效应，以及永恒电流探索时空代数结构的方法，为实验研究奠定了理论基础。

该成果在理论上有创新，有重要的学术价值和科学意义。推荐材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件，提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

**三、项目简介**

时空的非平庸几何性质能够导致非平庸的动力学是现代物理学的一项重大发现。由爱因斯坦建立的引力模型——广义相对论——是这一发现的典型代表。现代物理学的另一支柱由波尔、海森堡、薛定谔等人建立的量子力学，其中物理量的代数性质——即算符的非对易性——是基本原理。广义相对论极大地推动了对时空几何结构的研究。另一方面，引力量子化的困难和引力波的发现也推动并加快了研究时空代数性质的步伐。因此，对时空的几何和代数结构的非平庸动力学性质开展研究，具有重要的理论和现实意义。基于以上考虑本项目组成员从2006年开始一直持续开展研究工作。此次申报的成果是在国家自然科学基金项目《CP混合型Higgs粒子与轻子相互作用中味对称破缺的唯象研究》（11705113）、《利用自旋关联效应探测Higgs粒子的CP性质》（11647018）的资助下完成的。下面分四个方面介绍此次申报的成果。

**1，主要研究内容**

本成果的主要研究内容分为两方面：

1.1）研究非对易空间中电荷和自旋自由度在外电磁场中运动的拓扑性质。以Aharonov-Bohm效应和Aharonov-Casher效应为重点，研究具有洛伦兹协变形式且保持通常电磁相互作用中U(1)规范不变性的AB和AC相位，进而解决由U(1)规范不变性的破缺而导致的歧义性问题。提出了在实验上测量时空非队易参数的理论方案（代表论文[1]、[4]），以及保证Aharonov-Casher效应中规范对称性的理论模型（代表论文[2]）。

1.2）研究弯曲时空中电荷和自旋自由度在外电磁场中运动的动力学特性。电荷和自旋是基本粒子的两个基本属性，其动力学性质分别直接体现了弯曲时空中的电磁规范对称性和洛伦兹对称性。本项目通过永恒电流（代表论文[3]）、含时Aharonov-Bohm相位（代表论文[1],[4]）、荷质比（代表论文[5]）研究了电荷和自旋自由度在外电磁场中运动时的物理性质，并提出了实验上探测时空非平庸性质的理论方案。

**2，科学发现点：**

本成果主要有二个科学发现点：

2.1）研究发现对于含时Aharonov-Bohm效应，由于时空非对易性导致洛伦兹对称性破缺，进而贡献出额外的相位移动，该相位移动可以用来测量时空非对易参数。对于Aharonov-Casher相位，我们发现由于通常电磁U(1)对称性破缺而导致的歧义性问题可以利用在2+1维时空上与自旋相关U(1)对称性来解决，并提出了完整的理论模型。这些科学发现点包括在代表论文[1、4]和[2]中。

2.2）研究发现，不论是电荷自由度还是自旋自由度，弯曲时空中的电磁相互作用的离散对称性都发生了破缺，例如在变换Q→－Q，ms→－ms下体系的哈密顿量并不是不变的。基于这些认识，我们发现可以利用反转磁场（B→－B）[1，3，4]、在体系边缘电荷的积累量来对时空的弯曲性质进行精确的测量。另外，我们发现荷质比也可以用来进行精确测量[5]。

**3，科学价值：**

本成果的主要科学价值在于提出了若干通过实验探索时空物理性质的理论方案，解决了这些理论方案中存在的科学问题，，在此基础上丰富和完备了利用原子系统探索时空基本物理性质的方法，为研究时空物理性质奠定了理论基础。

1. **客观评价**

本项目的研究工作，得到了国际和国内同行的认可。项目负责人马凯于2016年、2017年分别访问了韩国高等研究院和比利时法语鲁汶大学，开展了相关工作的学术交流。

4.1）项目研究成果[1]研究了含时Aharonov-Bohm几何相位在非对易时空中的性质，给出了洛伦兹对称性破缺的相位的影响。我们还对相位进行了分类，指出了利用冷原子系统来减小动量依赖相位的方案，并研究了实验测量对外磁场和磁通量的依赖性。项目研究成果[2]给出了在非对易时空中遵守通常电磁动力学规范对称性和极化自旋电磁动力学规范对称性的Aharonov-Casher（AC）几何相位，解决了以往在非对易空间中定义AC相位的歧义性问题。在这些成果已被Universidade Federal de Juiz de Fora 的Alexei A. Deriglazov 等人，Technical University of the North 的Miguel E. Rodriguez R 以及北京化工大学荆坚教授、贵州大学隆正文教授引用。

4.2）项目研究成果[3,4,5]研究了非平庸时空对带电流和自旋流的影响，给出了电荷与外电磁场相互作用，以及自旋轨道耦合的一般形式。特别是对于自旋流，时空的非平庸扭曲可以产生一个自旋流，该自旋流进而导致自旋态在样品边界上的不平衡积累。这些成果被印度统计研究所的Debashree Chowdhury, B. Basu引用研究了非立方体晶格势中自旋的动力学性质，还被Universidade Federal da Paraiba的R. L. L. Vitoria和K. Bakke，以及UMR Universite de Lorraine的Sebastien Fumeron 等人引用。

1. **代表性论文专著目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序 号 | 论文 专著 名称 | 刊名 | 作者 | 年卷页码 (xx年xx卷 xx页) | 发表 时间 | 通讯 作者 | 第一作者 | 国内作者 | SCI 他引 次数 | 他引 总次 数 | 知识 产权 是否 归 国内 所有 |
| **1** | Time-dependent Aharonov-Bohm effect on the noncommutative space | Phys. Lett. B | Kai Ma, Jian-Hua Wang, Huan-Xiong Yang | 2016年 759卷306页 | 2016年 06月 02日 | 马凯 | 马凯 | 马凯，王剑 华，杨焕雄 | **13** | **13** | **是** |
| **2** | Seiberg-Witten map and quantum phase effects for neutral Dirac particle on noncommutative plane | Phys. Lett. B | Kai Ma, Jian-Hua Wang, Huan-Xiong Yang | 2016年 756卷221页 | 2016年 03月 07日 | 马凯 | 马凯 | 马凯，王剑 华，杨焕雄 | **5** | **5** | **是** |
| **3** | Probing Noncommutativities of Phase Space by Using Persistent Charged Current and Its Asymmetry | Phys. Rev. D | Kai Ma, Ya-Jie Ren, Ya- Hui Wang | 2018年97卷 115011页 | 2017年 03月 30日 | 马凯 | 马凯 | 马凯、任亚杰、王亚辉 | **9** | **9** | **是** |
| **4** | Probing noncommutative effects of phase space in the time-dependent Aharonov-Bohm effect | **Annals of Phys.** | **Kai Ma, Jian-Hua Wang** | **2017年 383卷120-129页** | **2017年05月18日** | **马凯** | **马凯** | **马凯、王剑华** | **5** | **5** | **是** |
| **5** | Constrains of Charge-to-Mass Ratios on Noncommutative Phase Space | Adv. High Energy Phys. | **Kai Ma** | **2017年2017卷1945156页** | **2017年05月16日** | **马凯** | **马凯** | **马凯** | **5** | **5** | **是** |
| **合计** | | | | | | | | | **37** | **37** | **是** |

**六、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第1完成人 | | | | 马 凯 | | | 性别 | | | 男 | | | 民族 | | | 汉族 | | |
|
| 出生地 | | | | 陕西榆林 | | | 出生日期 | | | 1987年10月 | | | 党派 | | | 中国共产党 | | |
|
| 身份证号 | | | | 612723198710011631 | | | | | | 是否是院士 | | | 否 | | | | | |
|
| 工作单位 | | | | 陕西理工大学 | | | | | | 联系电话 | | | 18691667953 | | | | | |
|
| 通讯地址 | | | | 陕西省汉中市东一环路1号 | | | | | | 邮政编码 | | | 723001 | | | | | |
|
| 家庭住址 | | | | 陕西省汉中市汉台区七里街道前景路南侧丰辉龙亭园小区 | | | | | | 住宅电话 | | | 18691667953 | | | | | |
|
| 电子邮箱 | | | | makai@snut.edu.cn | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 毕业学校 | | | | 日本综合研究大学院大学（高能加速器研究机构） | | | 文化程度 | | | 研究生 | | | 学位 | | | 博士 | | |
|
| 行政职务 | | | | 无 | | | 技术职称 | | | 副教授 | | | 毕业时间 | | | 2015年09月 | | |
|
| 专业专长 | | | | 粒子与原子核物理学 | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 曾获奖励及荣誉  称号情况 | | | | 1．2017年陕西省百人计划入选者  2．2012年国家建设高水平公派研究生项目获得者  3．2015年新疆维吾尔族自治区科学技术进步二等奖  4．2014年汉中市科学技术一等奖  5．2013年陕西省科学技术三等奖  6．2016年汉中市青年科学技术奖 | | | | | | | | | | | | | | |
|
|
|
| 参加本项目的起止时间 | | | | 2015年10月至2018年12月 | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 创造性  贡献 | | | | 主持完成了国家自然科学基金项目《CP混合型Higgs粒子与轻子相互作用中味对称破缺的唯象研究》（11705113）和《利用自旋关联效应探测Higgs粒子的CP性质》（11647018），主导完成了代表论文1-5的研究工作。 | | | | | | | | | | | | | | |
| 声 明 | | | | 本人严格按照《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，对推荐书及其附件进行了审阅，确认全部内容和材料属实，并符合相关保密规定。如有不符，本人愿意承担相关后果并接受相应的处理。  本人签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_    年 月 日 | | | | | | | | | | | | | | |
| 第2完成人 | | | | 王亚辉 | 性别 | | | 男 | | | 民族 | | | 汉族 | | | | |
|
| 出生地 | | | | 陕西宝鸡 | 出生日期 | | | 1978年10月 | | | 党派 | | | 中国共产党 | | | | |
|
| 身份证号 | | | | 612301197810290776 | | | | 是否是院士 | | | 否 | | | | | | | |
|
| 工作单位 | | | | 陕西理工大学 | | | | 联系电话 | | | 09162641630 | | | | | | | |
|
| 通讯地址 | | | | 陕西理工大学 | | | | 邮政编码 | | | 723000 | | | | | | | |
|
| 家庭住址 | | | | 陕西理工大学 | | | | 住宅电话 | | | 13992666862 | | | | | | | |
|
| 电子邮箱 | | | | 13098201240@163.com | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 毕业学校 | | | | 陕西理工学院 | 文化程度 | | | 大学 | | | 学位 | | | 学士 | | | | |
|
| 行政职务 | | | | 物理系党支部书记 | 技术职称 | | | 副教授 | | | 毕业时间 | | | 2002年07月 | | | | |
|
| 专业专长 | | | | 量子力学 | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 曾获奖励及荣誉  称号情况 | | | | 1．《宇宙弦对自旋霍尔效应的影响及双Kahler场暴胀的宇宙学特性》获得2013年汉中市科学技术一等奖。  2．2005年获得第五届全国多媒体课件大赛高教组三等奖。 | | | | | | | | | | | | | | |
|
|
|
| 参加本项目的起止时间 | | | | 2015年10月至2018年12月 | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 创造性  贡献 | | | | 参与完成了国家自然科学基金项目《CP混合型Higgs粒子与轻子相互作用中味对称破缺的唯象研究》（11705113），以及代表论文[3]的研究工作。 | | | | | | | | | | | | | | |
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
| 声 明 | | | | 本人严格按照《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，对推荐书及其附件进行了审阅，确认全部内容和材料属实，并符合相关保密规定。如有不符，本人愿意承担相关后果并接受相应的处理。  本人签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  年 月 日 | | | | | | | | | | | | | | |
| 第3完成人 | | 任亚杰 | | | | 性别 | | | 男 | | | 民族 | | | 汉族 | |
|
| 出生地 | | 陕西汉中 | | | | 出生日期 | | | 1964年08月 | | | 党派 | | | 中国共产党 | |
|
| 身份证号 | | 612301196408180611 | | | | | | | 是否是院士 | | | 否 | | | | |
|
| 工作单位 | | 陕西理工大学 | | | | | | | 联系电话 | | | 09162641930 | | | | |
|
| 通讯地址 | | 陕西理工大学 | | | | | | | 邮政编码 | | | 723000 | | | | |
|
| 家庭住址 | | 陕西理工大学 | | | | | | | 住宅电话 | | | 13571665892 | | | | |
|
| 电子邮箱 | | 499898917@163.com | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 毕业学校 | | 陕西理工学院 | | | | 文化程度 | | | 研究生 | | | 学位 | | | 硕士 | |
|
| 行政职务 | | 无 | | | | 技术职称 | | | 教授 | | | 毕业时间 | | | 1993年06月 | |
|
| 专业专长 | | 热力学与统计物理 | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 曾获奖励及荣誉  称号情况 | | 1．陕西省教学名师 | | | | | | | | | | | | | | |
|
|
|
| 参加本项目的起止时间 | | 2015年10月至2018年12月 | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 创造性  贡献 | | 参与完成了代表论文[3]的研究工作。 | | | | | | | | | | | | | | |
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
| 声 明 | | 本人严格按照《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，对推荐书及其附件进行了审阅，确认全部内容和材料属实，并符合相关保密规定。如有不符，本人愿意承担相关后果并接受相应的处理。  本人签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  年 月 日 | | | | | | | | | | | | | | |
|
|
|
|
| 第4完成人 | | 王剑华 | | | | 性别 | | | 男 | | | 民族 | | | 汉族 | |
|
| 出生地 | | 陕西汉中 | | | | 出生日期 | | | 1959年12月 | | | 党派 | | | 中国共产党 | |
|
| 身份证号 | | 612301195912160615 | | | | | | | 是否是院士 | | | 否 | | | | |
|
| 工作单位 | | 陕西理工大学 | | | | | | | 联系电话 | | | 09162641630 | | | | |
|
| 通讯地址 | | 陕西理工大学 | | | | | | | 邮政编码 | | | 723001 | | | | |
|
| 家庭住址 | | 陕西理工大学 | | | | | | | 住宅电话 | | | 09162820728 | | | | |
|
| 电子邮箱 | | 1015484927@qq.com | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 毕业学校 | | 陕西师范大学 | | | | 文化程度 | | | 大学 | | | 学位 | | | 学士 | |
|
| 行政职务 | | 无 | | | | 技术职称 | | | 教授 | | | 毕业时间 | | | 1982年07月 | |
|
| 曾获奖励及荣誉  称号情况 | | 1．《宇宙弦对自旋霍尔效应的影响及双Kahler场暴胀的宇宙学特性》获得2013年汉中市科学技术一等奖。  2．2010年被评为陕西理工学院教学名师。  3．从2006年到2013年，共获得陕西理工学院科研成果特别奖16项。 | | | | | | | | | | | | | | |
|
|
|
| 参加本项目的起止时间 | | 2015年10月至2018年12月 | | | | | | | | | | | | | | |
|
| 创造性  贡献 | | 参与完成了代表论文[1，2，4]的研究工作。 | | | | | | | | | | | | | | |
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
| 声 明 | | 本人严格按照《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，对推荐书及其附件进行了审阅，确认全部内容和材料属实，并符合相关保密规定。如有不符，本人愿意承担相关后果并接受相应的处理。  本人签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  年 月 日 | | | | | | | | | | | | | | |

1. **主要完成单位情况**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第1完成单位 | 陕西理工大学 | | | | |
|
| 单位性质 | 高等院校 | | | | |
|
| 联系人 | 赵璇 | 联系电话 | 09162641943 | 传真 | 09162641851 |
|
| 电子信箱 | 26951086@qq.com | | | | |
|
| 通讯地址 | 陕西省汉中市朝阳路 | | | 邮政编码 | 723000 |
|
|
| 主要贡献 | 陕西理工大学作为项目依托单位在该项目策划与立项中给予了大量的支持与帮助。学院制定了较为完整的科研政策，保证了项目得以顺利完成。在项目的实施中能积极解决项目组成员遇到的困难，协调职能部门的关系，提供了开展项目研究的技术、仪器设备和人员条件，保证了项目组成员有较为充足的精力投入和研究学习。在项目研究的关键阶段，聘请校外专家进行指导和检查，督促项目取得预期的成果。  为了使项目顺利完成，学校为项目组配备了三名具有研究生学历的青年教师参加工作，一方面协助教授们工作，另一方面也使他们在项目的研究过程中得到了很好的锻炼和提高，为学校的人才培养提供了成功的经验。学院在课题组人员的出国学术访问中提供了高效的帮助。  学院能积极开展项目进展年度检查，督促项目组按计划开展研究工作，指导项目的扩展与延伸研究，对项目进行了科学、合理的组织与管理，这些都是项目得以顺利结题的重要保证。 | | | | |
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
| 声 明 | 本单位严格按照《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，认真组织了推荐材料的填写和准备，确认全部内容和材料属实，并符合相关保密规定。如有不符，本单位愿意承担相关后果并接受相应的处理。    单位负责人（签字或者盖章） 单位（公章）    年 月 日 年 月 日 | | | | |

**八、完成人合作关系说明**

1.马凯/1、王亚辉/2、任亚杰/3、合作发表论文3.

2.马凯/1，王剑华/4合作发表论文1，2，4。