2020年度国家自然科学奖提名公示信息

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 低维体系自旋输运的理论研究 |
| 提名人/单位 | 王恩哥/北京大学；邢定钰/南京大学；向涛/中国科学院物理研究所 |
| 提名意见 | 自旋电子学是近二十年以来兴起的一门物理学中的子学科，该子学科研究低维体系自旋及其相关特性，期望利用电子自旋的优异特性来制备电子器件，为突破现代信息技术瓶颈问题提供可行的方案。项目组是国际上最早从事低维体系自旋输运的研究团队之一，并作出了重要原创性成果。发表与自旋输运及其相关论文190多篇，其中PRL 27篇，PRB 118篇。8篇代表性论文被SCI他引697次。主要科学发现成果如下：1、项目组推导出低维体系自旋轨道耦合的二次量子化哈密顿量；首次预言和命名自旋Nernst效应；基于自旋轨道耦合，提出关于自旋极化流、自旋积累、以及操控量子点中自旋的有效可行方法并设计多种器件；进而引发很多他人后续工作的出现。2、项目组预言自旋流在其周围空间引发电场，并给出相应引发电场的公式，这类似于电学中毕奥-萨伐尔定律和安培定律；项目组给出合适的自旋流定义；解决了自旋电子学领域的基本问题，对自旋电子学领域的发展具有重要意义。3、相对应于(电荷)超导，项目组提出自旋超导态的概念，并建立自旋超导完整理论体系，预言自旋超导态有电迈斯纳效应、自旋流约瑟夫森效应，对超导家族的发展具有重要意义。至今，项目组的自旋超导态已初步被实验证实。4、首次给出含有自旋轨道耦合、螺旋结构的DNA分子哈密顿量，并完美解说了他人在实验上观测到的所有自旋输运现象，对有机自旋电子学领域的发展具有重要意义。5、全面研究拓扑体系自旋输运及其相关问题，发现自旋退相干对量子自旋霍尔效应有强烈影响，从而解说了实验结果；此外，也澄清和理解无序引起的拓扑安德森绝缘态。至今，项目组预言的几个效应(如自旋Nernst效应等)已被他人在实验上明确证实；项目组给出的几个哈密顿量已被大量后续工作所采用；项目组提出的角自旋流已被后续工作采纳；项目组获得的一些理论和观点已被许多后续他人工作用来解释相关实验和计算结果。项目组的这些成果对自旋电子学领域的兴起和发展起关键作用。鉴于项目组的突出优异成果，我们郑重提名他们申请国家自然科学二等奖。 |
| 项目简介 | 低维体系量子输运(尤其自旋输运)是凝聚态物理中的研究热点。该领域的巨磁阻现象、量子霍尔效应、拓扑绝缘体等许多重要发现先后获得了诺贝尔物理学奖。另外，电子具有电荷和自旋自由度，但传统的半导体电子器件是基于电子的电荷，而一直忽略自旋。当前，随着科技的迅猛发展，集成电路的尺寸极限问题日益尖锐。而低维体系凭借其独特的体系特性；特别是利用自旋自由度的退相干时间长，能耗低等优异特性，有望为突破现代信息技术瓶颈提供可行的方案。因此，对低维体系自旋输运现象进行深入研究、发展有效自旋调控手段是这一领域的重点。本项目组一直从事低维体系的量子输运(尤其自旋输运)前沿理论研究，并作出了重要原创性成果。项目组是国际上最早从事低维体系自旋输运的研究团队之一。项目组给出了合适的自旋流定义，预言了自旋流引发电场、持续自旋流、自旋超导态、自旋Nernst效应等等新现象，对自旋电子学领域的兴起和发展起关键作用。本项目在与自旋输运及其相关方面共发表190多篇学术论文，其中PRL 27篇，PRB 118篇。8篇代表性论文被SCI他引697次。主要科学发现及成果影响情况如下：**（一）、**推导出在低维体系中自旋轨道耦合的二次量子化哈密顿量，提出自旋轨道耦合引起两个作用：引起一个与自旋有关的相位，引起不同能级之间的自旋翻转跃迁；该哈密顿量已被大量后续他人工作所采用来研究由自旋轨道耦合所引起的各种新现象。本项目组也预言和命名了自旋Nernst效应，并提出产生自旋极化和调控自旋输运的一系列新方案。至今，自旋Nernst效应已被好几个实验组独立观测到。本项目组的工作引发和推动了很多后续成果的出现。**（二）、**本项目组预言了持续自旋流和自旋流引发电场，给出合适的自旋流定义，解决了自旋电子学领域的一个基本问题，对自旋电子学领域的发展具有重要意义。至今，持续自旋流的预言已引发很多后续研究，自旋流引发电场得到人们广泛认可，自旋流定义被他人采用。**（三）、**项目组率先提出自旋超导态的概念，建立自旋超导理论，预言电迈斯纳效应、自旋流约瑟夫森效应等，丰富超导和自旋电子学领域的内容，对超导家族的发展具有重要意义。至今自旋超导态已被实验初步证实。**（四）、**给出螺旋有机分子包含自旋轨道耦合、螺旋结构的哈密顿量，完美解说了其在实验上观测到的所有自旋输运现象，对有机自旋电子学领域的发展具有重要意义。至今，这工作被写入9篇综述文章中，提出的哈密顿量已被很多他人后续工作采用，项目组预言的左右手螺旋分子的自旋过滤方向相反，被后续他人实验证实。**（五）、**研究退相干及无序对量子自旋霍尔效应的影响，发现普通退相干对量子自旋霍尔效应几乎没有影响，但自旋退相干急剧影响量子自旋霍尔效应，破坏纵向电导的量子化。并引入一个新的物理量，即自旋霍尔电阻；该量具有不受各种退相干和无序影响的优异特性。理解和澄清由无序引起的“拓扑安德森绝缘态”。这些研究不仅解释了Science杂志中发表的实验结果，也被更多后续实验及计算工作者认可，用来解释一些计算结果和实验现象。另外，拓扑安德森绝缘态被Science杂志上的实验文章证实。 |
| 主要完成人（完成单位） | 主要完成人：孙庆丰（中国科学院物理研究所）；谢心澄（北京大学）；江华（中国科学院物理研究所） |
| 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（ 年 月 日） | 通讯作者（含共同） | 第一作者（含共同） | 国内作者 | 他引总次数 | 检索数据库 | 论文署名单位是否包含国外单位 |
| 1 | Quantum transport theory for nanostructures with Rashba spin-orbital interaction/Physical Review B/Qing-feng Sun, Jian Wang, Hong Guo | 2005年71卷165310页 | 2005年4月14日 | 孙庆丰 | 孙庆丰 | 孙庆丰，王健 | 255 | SCI | 是 |
| 2 | Spin Nernst effect and Nernst effect in two-dimensional electron systems/ Physical Review B/ Shu-guang Cheng, Yanxia Xing, Qing-feng Sun, X.C. Xie | 2008年78卷045302页 | 2008年7月2日 | 孙庆丰 | 成淑光 | 成淑光，邢燕霞，孙庆丰，谢心澄 | 43 | SCI | 是 |
| 3 | Persistent Spin Current in a Mesoscopic Hybrid Ring with Spin-Orbit Coupling/ Physical Review Letters/ Qing-feng Sun, X.C. Xie, Jian Wang | 2007年98卷196801页 | 2007年5月7日 | 王健 | 孙庆丰 | 孙庆丰，谢心澄，王健 | 54 | SCI | 是 |
| 4 | Definition of the spin current: The angular spin current and its physical consequences/ Physical Review B/ Qing-feng Sun, X.C. Xie | 2005年72卷245305页 | 2005年12月2日 | 孙庆丰 | 孙庆丰 | 孙庆丰，谢心澄 | 90 | SCI | 是 |
| 5 | Spin superconductor in ferromagnetic graphene/ Physical Review B/ Qing-feng Sun, Zhao-tan Jiang, Yue Yu, X.C. Xie | 2011年84卷214501页 | 2011年12月2日 | 孙庆丰 | 孙庆丰 | 孙庆丰，江兆潭，虞跃，谢心澄 | 13 | SCI | 否 |
| 6 | Spin-Selective Transport of Electrons in DNA Double Helix/ Physical Review Letters/Ai-Min Guo, Qing-feng Sun | 2012年108卷218102页 | 2012年5月25日 | 孙庆丰 | 郭爱敏 | 郭爱敏，孙庆丰 | 105 | SCI | 否 |
| 7 | Topological Insulator: A New Quantized Spin Hall Resistance Robust to Dephasing/Physical Review Letters/Hua Jiang, Shuguang Cheng, Qing-feng Sun, X.C. Xie | 2009年103卷036803页 | 2009年7月15日 | 孙庆丰 | 江华 | 江华，成淑光，孙庆丰，谢心澄 | 43 | SCI | 是 |
| 8 | Numerical study of the topological Anderson insulator in HgTe/CdTe quantum wells/Physical Review B/Hua Jiang, Lei Wang, Qing-feng Sun, X.C. Xie | 2009年80卷165316页 | 2009年10月14日 | 谢心澄 | 江华 | 江华，王磊，孙庆丰，谢心澄 | 94 | SCI | 是 |
| 合 计 | 697 |  |  |