

2021 年度海南省科学技术奖提名公示内容

项目名称：量子态的局域等价性与量子相干性等量子资源的量化研究

提名者：海南师范大学

提名意见：

量子信息是集数学、物理、信息等多学科为一体的新型交叉学科，是世界科技的前沿热点，有非常广泛的应用。近年来，量子科技发展突飞猛进，成为新一轮科技革命和产业变革的前沿领域。量子科技强大优越性的一个重要原因是使用了诸如量子纠缠、量子相干等量子关联作为资源来实现不同的量子任务。量子纠缠态的一个重要性质是如果两个量子纠缠态能够通过局域酉算子相互转化，它们就能实现相同的量子任务。量子相干性在量子热力学、量子精密测量、量子生物学等很多方面有重要应用。

本项目重点研究了量子态的局域等价性与量子相干性等量子资源的量化问题。关于量子态的局域等价性研究，他们得到了两体、多体量子纯态、混合态等不同形式的量子态局域等价的充分必要条件等研究成果以专著的形式在国内出版。量子资源的量化尤其是量子相干性的量化，提出了辅助量子相干、正则量子相干、辅助 l_1 范数量子相干等定义，在世界范围内引起高度关注。该项目得到4个国家自然科学基金支持，发表2区top论文4篇，完成人中有海南515第3层次人才等。本项目对量子信息中的局域等价性与量子相干性等量子资源的量化进行地研究不仅提高了我们对量子理论的理解，也是诸如量子长距离通信、量子传感与测量等量子科技进一步发展的关键。

特推荐本项目参与2021年度海南省科学技术奖——省自然科学奖二等奖的评选。

项目简介：

量子信息是集多学科为一体的新型交叉学科，是世界科技的前沿热点，有非常广泛的应用。它具有鲜明的引领性，正带动很多不同领域与量子理论交叉研究，如量子生物学，量子化学、量子测量学等。量子信息的发展将推动自然科学理论的重大进步和新的科技革命。

本项目重点研究了量子信息中的量子态的局域等价性与量子相干性等量子资源的量化问题。关于量子态的局域等价性研究得到了两体、多体量子纯态、混合态等不同形式的量子态局域等价的充分必要条件等。量子资源的量化尤其是量子相干性的量化，他们提出了辅助量子相干、正则量子相干、辅助 l_1 范数量子相干等相干定义。具

体的科学发现点有三部分。一、量子态的局域酉等价性研究。1、对一般的两体混合态，我们依靠不变量理论、超行列式，我们给出一个构造不依赖于量子态的数学表达的不变量的方法。这些不变量对多体态局域酉等价是必要条件。2、我们借助于量子态的 Bloch 表示，给出了两体、多体 qubit 量子态局域酉等价的条件。3、我们依靠矩阵的重排及部分转置运算，给出多体量子态局域酉等价、SLOCC 等价需要满足的充分必要条件等。二、量子相干性的量化研究。1、我们研究了辅助量子相干和正则辅助量子相干的关系，给出了两者相等的充分必要条件。2、我们首次定义了辅助 l_1 范数量子相干，并给出了辅助 l_1 范数量子相干的解析上界以及达到该上界的充分必要条件。三、量子资源的量化研究。1、我们基于相对熵考虑了两体量子态的包括量子纠缠、量子失谐、量子非定域性等在内的各种量子资源的统一量化问题。2、我们研究了与冯诺依曼测量对应的矩阵的性质，我们给出了一个两体系统中的量子关联等于零的必要条件。3、我们研究了一般两体系统中的最大纠缠态和完全纠缠分数，给出了一个量子态是最大纠缠纯态和混合态的充分必要条件等。

这些结果得到英国、印度、波兰、日本等国际同行与清华大学、中国科学院等国内同行的引用与认可。在项目期内我们获得 4 项国家自然科学基金和 1 项海南省自然科学基金的资助。发表相关文献 30 余篇，代表性论文中 4 篇发表在 2 区 Top 期刊上。

近年来，量子科技发展突飞猛进，成为新一轮科技革命和产业变革的前沿领域。加快发展量子科技，对促进高质量发展、保障国家安全具有非常重要的作用。本项目利用数学、物理、信息等学科的分支理论对上述问题中进行的研究不仅提高了我们对量子理论的理解，也是诸如量子长距离通信、量子因特网、量子传感与测量等量子科技进一步发展的关键。

代表性论文专著目录：

- 1、量子态的局域酉等价（专著）/吉林大学出版社/张廷桂
- 2、Criterion for SLOCC equivalence of multipartite quantum states / J. Phys. A: Math. Theor. 49,405301(2016)/张廷桂，赵明镜，黄晓芬
- 3、 l_1 -norm coherence of assistance /Physical Review A 100,012315(2019)/赵明镜，马腾，全仨，范桁，Pereira Rajesh
- 4、Coherence of assistance and regularized coherence of assistance / Physical Review A

96,062332(2017)/赵明镜, 马腾, 费少明

5、Uniform quantification of correlations for bipartite systems / Physical Review A

95,042316(2017)/张廷桂, 杨红, 李先清, 费少明

6、von Neumann measurement-related matrices and the nullity condition for quantum correlation /Science China: Physics, Mechanics & Astronomy, 59(12), 120313(2016)/

赵明镜, 马腾, 张廷桂, 费少明

7、Maximally entangled states and fully entangled fraction/Physical Review A

91,012310(2015)/赵明镜

8、A note on local unitary equivalence of isotropic-like states/Chinese Physics B 24(12),

120305(2015)/张廷桂, 华波波, 李明、赵明镜、杨红

主要完成人:

第一完成人: 张廷桂, 海南师范大学副教授, 海南省 515 第 3 层次人才。

第二完成人: 赵明镜, 北京信息科技大学副教授。

第三完成人: 黄晓芬, 海南师范大学副教授。

第四完成人: 费少明, 首都师范大学研究员。

主要完成单位:

第一完成单位: 海南师范大学。海南师范大学是重要科学发现量子态的局域等价性与量子资源的量化研究的主要思想提出与完成单位。该单位为项目的具体实施、项目成员工作提供了各种软硬件条件。

第二完成单位: 北京信息科技大学。北京信息科技大学是重要科学发现点量子相干性的量化研究与量子资源的量化研究的主要完成单位。

第三完成单位: 首都师范大学。首都师范大学是主要参与单位, 在量子非局域性、量子资源的量化等重要科学贡献中起到指导作用。