

自旋-轨道光学拉比振荡

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25010.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

暨南大学科研团队揭示自旋-轨道光学拉比振荡现象，为结构光场多维调控提供新的物理原理。作者研究无发散结构光场与人工晶体相互作用，在高阶光学体系下构建赝自旋-1/2模型，揭示光场结构依赖的自旋-轨道耦合，分别在强、弱耦合条件下实现自旋-轨道拉比振荡。此外，通过外场调控等效磁场，实现拓扑荷可调的角动量光场。研究成果有望在经典和量子光学中找到应用。

该研究成果以Spin-orbit Rabi oscillations in optically synthesized magnetic fields为题在线发表在Light: Science Applications。本文第一作者为暨南大学理工学院博士研究生刘国华，通讯作者为李真研究员和付神贺教授。

拉比振荡描述的是一个二能级系统在外场驱动下，量子态以特定频率在两能级间发生周期性振荡的现象，其振荡频率称为拉比频率。拉比振荡是光与原子系统相互作用的基本物理效应，已在诸多量子系统中得到广泛研究与应用。例如，拉比振荡效应已在核磁共振技术、量子信息处理技术等领域找到重要的应用。目前，拉比振荡的概念已逐步扩展到经典物理系统，包括声学、光学等，为操控声波、光学等提供新的技术原理。在现有研究工作中，拉比振荡只涉及两种独立的振荡形式：即自旋态振荡和轨道态振荡。拉比振荡能否同时融合自旋和轨道两种本征模式，形成自旋-轨道拉比振荡模式？

针对这一基本物理问题，暨南大学付神贺、李真、陈振强带领的科研团队通过类比量子力学自旋1/2系统（如图1左侧），研究无衍射结构光场与人工晶体相互作用过程，创造性地构建高阶光学体系的赝自旋1/2系统（如图1右侧），并导出相应的等效磁场模型。在等效磁场的作用下，高阶赝自旋态（结构光场模式）在两能级间发生周期性振荡，首次实现自旋-轨道耦合的拉比振荡模式。

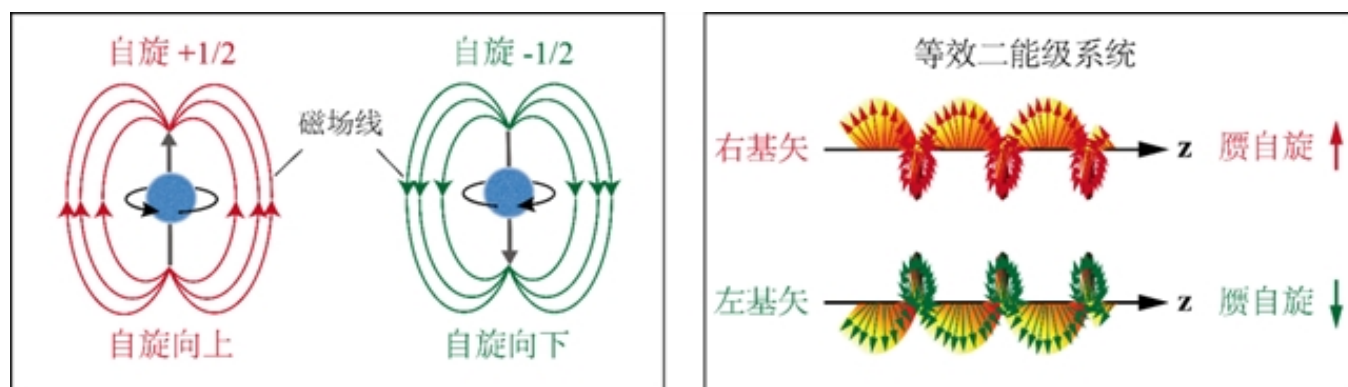


图1：自旋1/2系统的类比。左：电子自旋向上、向下两种量子态构成二能级系统，在外磁场作用下量子态发生周期演化；右：左、右旋圆偏振涡旋光场构成二能级系统，在合成磁场作用下发生耦合，结构光场模式发生周期转化。

在本文中，作者定义光场的两个本征左右旋基矢（基矢为圆偏振涡旋光场）为赝自旋向上和赝自旋向下，从而构建高阶光学体系下的赝自旋1/2模型，通过研究无衍射结构光场与人工晶体相互作用，导出等效泡利方程及磁场模型。通过调控等效磁场的强度及方向，实现对光场态矢量的任意调控。图2显示了光场态矢量 S 与等效磁场的关系，在磁场 B 的作用下，态矢量在高阶庞加莱球上周期演化。值得一提，等效磁场的方向受到晶体极性的控制，如图2a和2b所示，即改变晶体的极性，态矢量将沿着相反的方向发生拉比振荡。

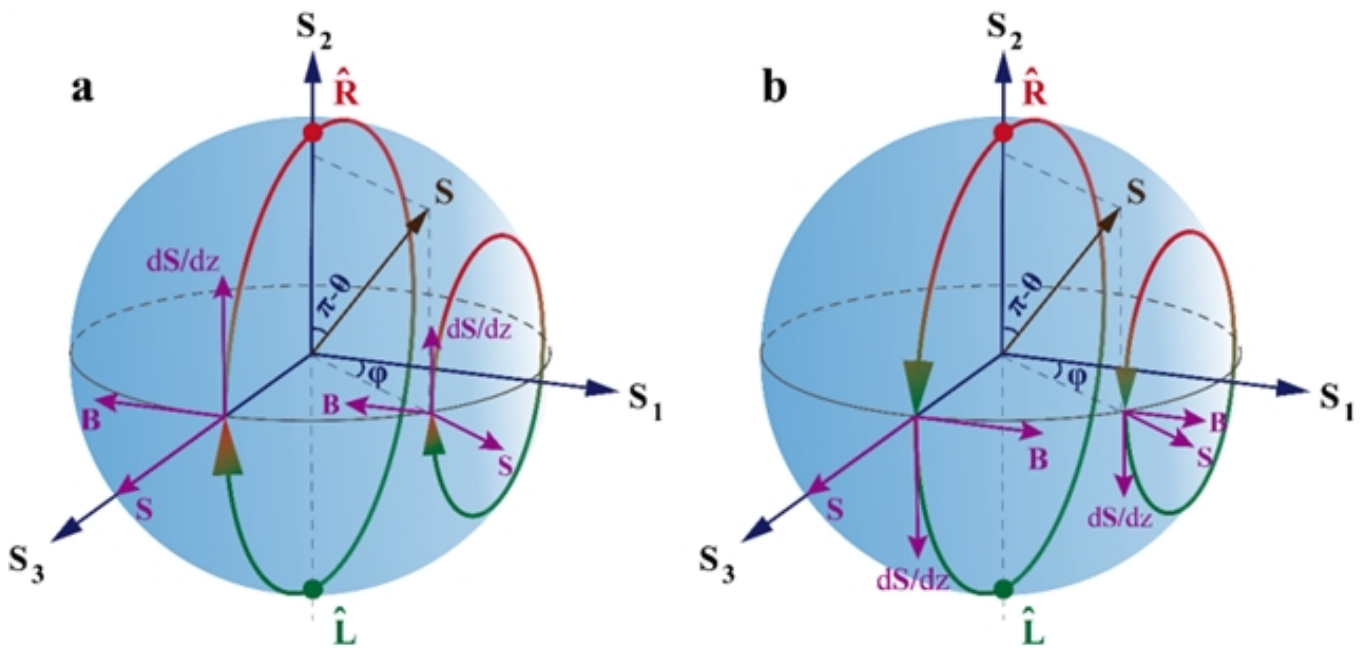


图2：结构光场态矢量在等效磁场驱动下的拉比振荡：(a) 正极性；(b) 负极性

同时，论文作者提出一种增强自旋-轨道耦合效应的新物理机制。前期研究结果表明，物质结构将决定光场自旋-轨道耦合强度。论文作者提出通过改变光场空间尺寸来增强自旋-轨道耦合强度，为调控自旋-轨道耦合提供新的物理原理。图3显示磁场强度与结构光场空间尺寸之间的依赖关系，揭示了耦合强度与光场尺寸（ r_0 ）成反比的关系。基于此，论文作者将耦合强度以 $r_0 = \lambda$ 为界限（虚线），其中 λ 为光波长，划分为强耦合和弱耦合区域。

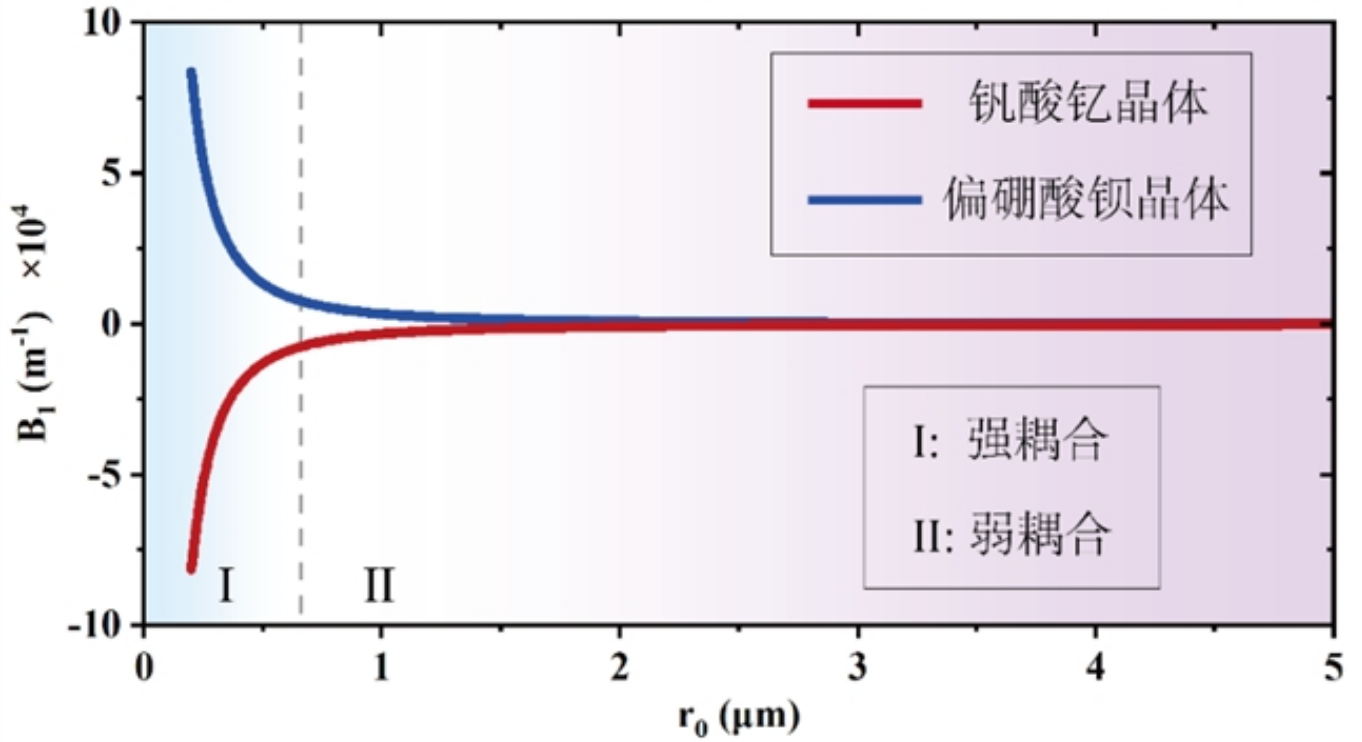


图3：磁矢量强度与结构光场尺寸之间的关系

此外，论文作者进一步利用电光晶体（铌酸锂晶体），构建受外电场支配的等效磁场，为调控拉比振荡模式提供新的自由度。在该工作模式下，作者可以实现拉比振荡模式从共振向非共振状态的切换，如图4a所示。特别地，通过在铌酸锂晶体上施加连续变化的电压，即等效磁场连续变化，光场态矢量将随着等效磁场的改变而改变，形成连续演化的轨迹，如图4b所示。等效磁场的连续变化将导致结构光场拓扑荷在 l 和 $-l$ 之间跳变，为结构光场多维调控提供一种可行、高效的方案。

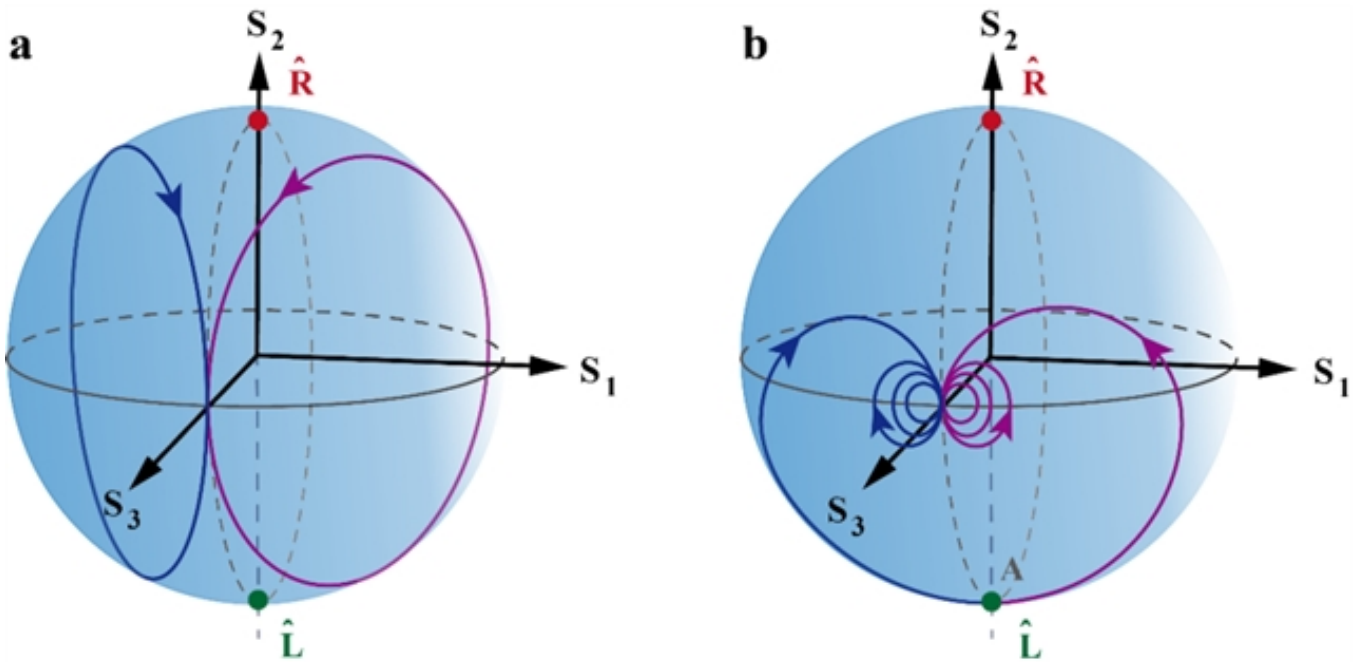


图4 (a)外电场驱动下拉比振荡模式的切换；(b) 结构光场态矢量随着等效磁场的演化轨迹。

总结与展望

该研究基于结构光场与人工晶体相互作用，构建出等效泡利方程与磁场模型，为探索光场自旋-轨道耦合提供新的理论框架。本论文以拉比振荡为重点研究对象，首次揭示了自旋-轨道光学拉比振荡，为结构光场多维调控提供新的物理原理。此外，由于所提出的模型与量子力学的泡利方程在数学形式上具有一致性，本论文研究成果将自旋电子学和高阶光学两个不同的研究领域联系起来，为高阶结构光场调控开辟了新的自由度。研究结果有望在经典光学和量子光学中找到潜在的应用。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-023-01238-8>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：李真等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发