



2020年基础类学科虚拟仿真实验教学项目 建设与申报在线研讨会

主办单位：虚拟仿真实验教学创新联盟基础类学科领域工作委员会

承办单位：中国科学技术大学物理学院

协办单位：北京润尼尔网络科技有限公司

2020年7月22日-23日

光学扳手虚拟仿真实验介绍及项目 建设体会

张 沛

大学物理国家级实验教学示范中心

2020年7月22日

自我介绍

学习经历

1999-2003, 中国科学技术大学物理系, 本科

2003-2008, 中国科学技术大学物理系, 博士研究生

工作经历

2008年至今, 西安交通大学理学院, 讲师-副教授-教授

2017年起, 担任陕西省量子光学与光电量子器件重点实验室副主任

2018年起, 担任物理实验教学中心主任

研究方向

光的轨道角动量调控和高维量子信息

汇报提纲



背景介绍



实验目的



实验内容



心得体会

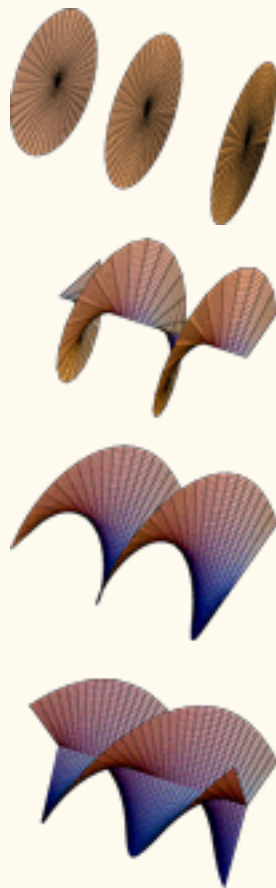
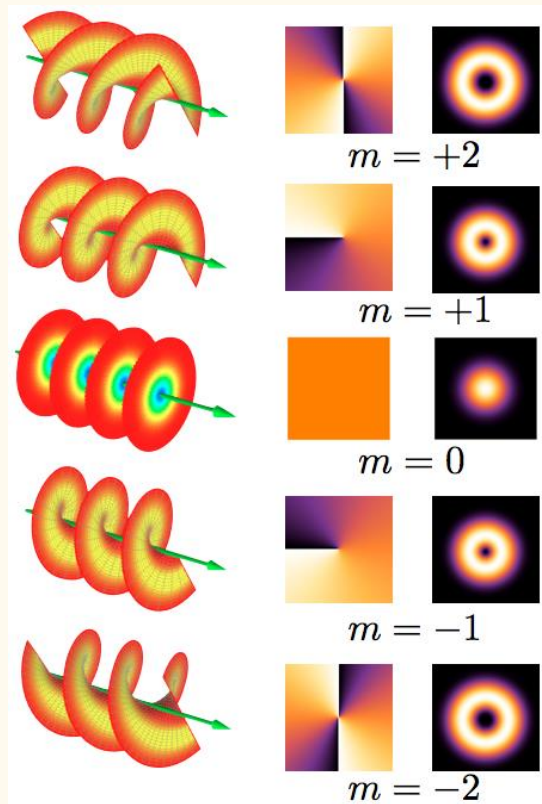
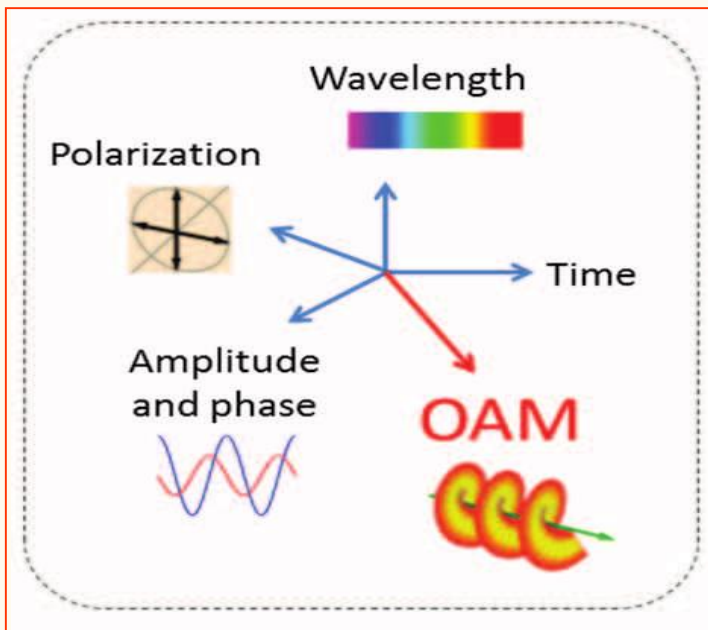


目 录
CONTENTS



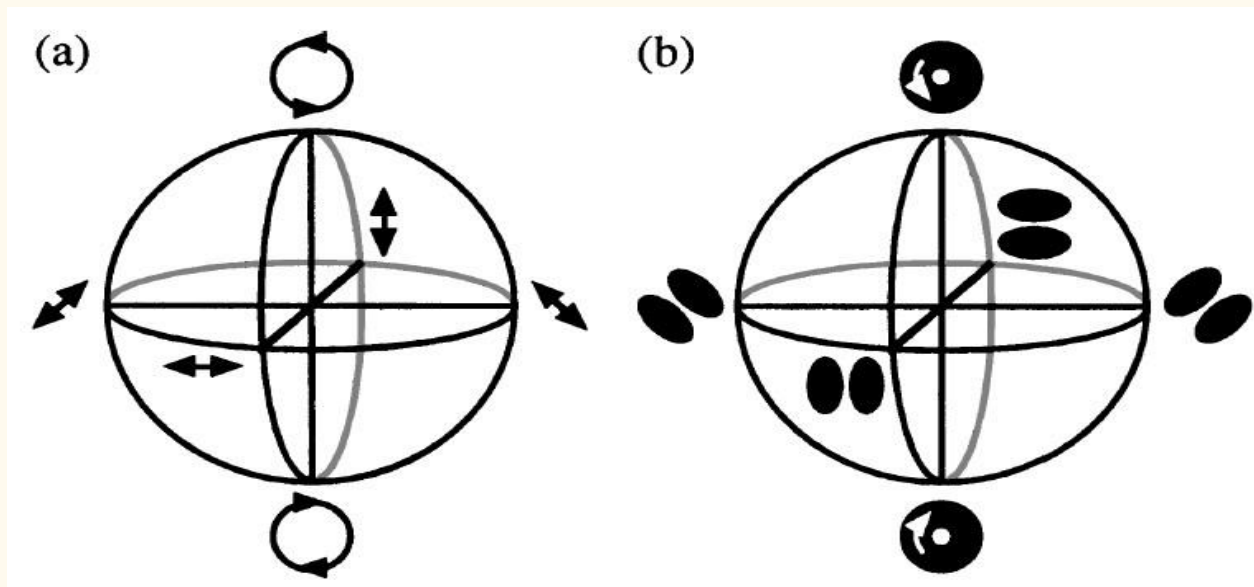
一、背景介绍

光学扳手—光的轨道角动量探秘



光的轨道角动量是近20年来光学领域的前沿方向

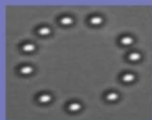
轨道角动量 (OAM) 和自旋角动量 (SAM)



自旋角动量 (偏振) **Poincare sphere**

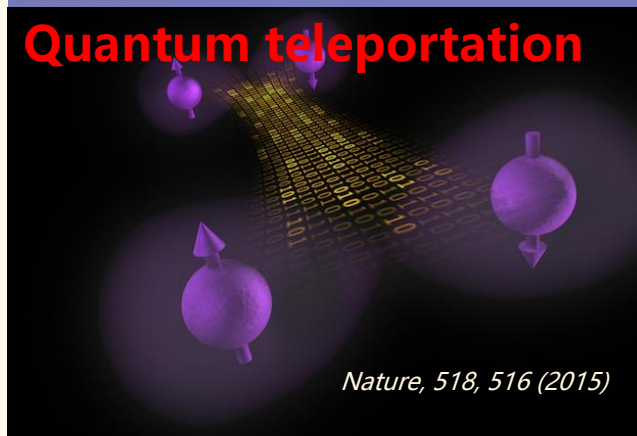
一阶轨道角动量 **Bloch sphere**

Optical Tweezers



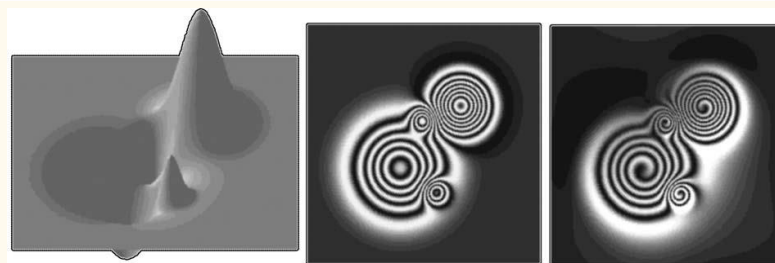
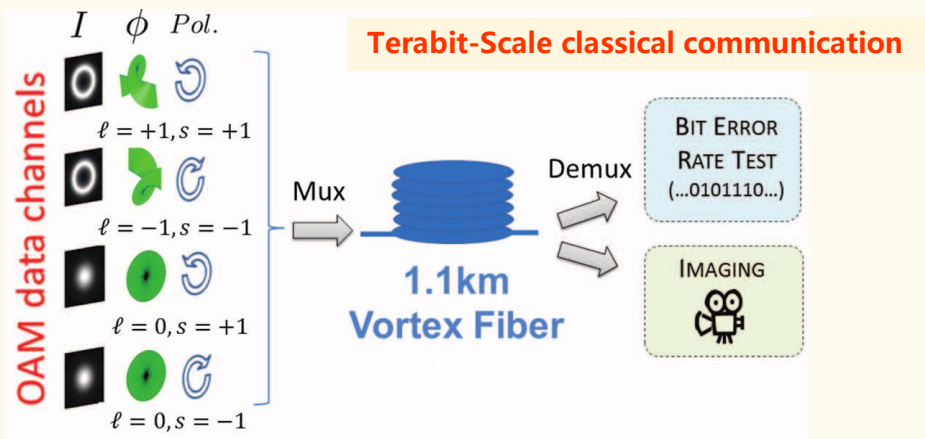
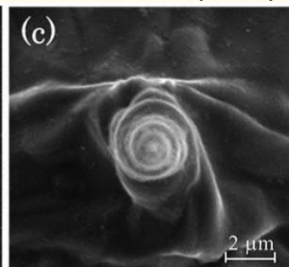
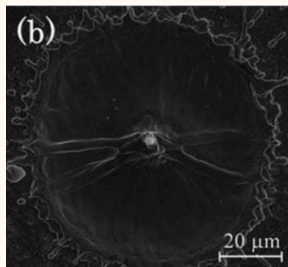
Nature Photonics 5, 343 (2011)

Quantum teleportation



Nature, 518, 516 (2015)

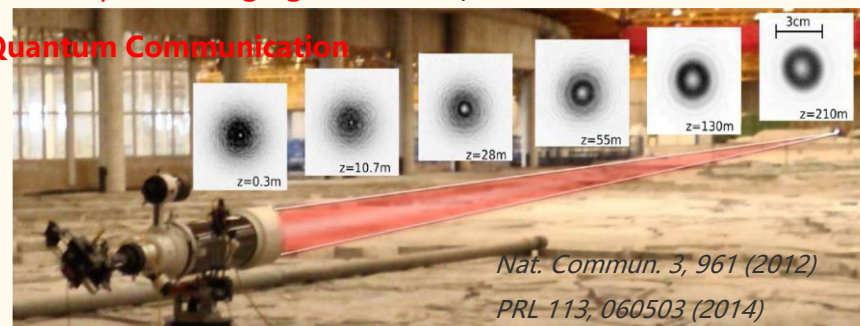
Twist materials PRL 110, 143603 (2013)



Optical imaging

Optics Letters 30, 1953 (2005)

Quantum Communication



Nat. Commun. 3, 961 (2012)

PRL 113, 060503 (2014)

The Nobel Prize in Physics 2018



III, Niklas Elmehed, © Nobel Media

Arthur Ashkin

Prize share: 1/2



III, Niklas Elmehed, © Nobel Media

Gérard Mourou

Prize share: 1/4

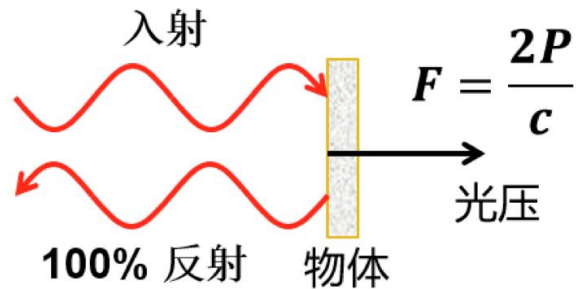


III, Niklas Elmehed, © Nobel Media

Donna Strickland

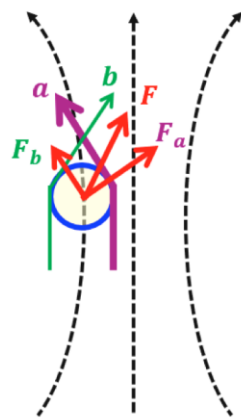
Prize share: 1/4

2018年诺贝尔物理学奖授予光镊技术



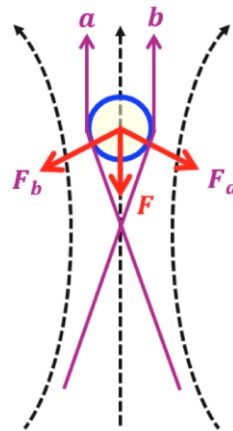
光的力学效应

高斯光束沿 z 方向传播



a) 粒子位于高斯光束边缘处

高斯光束沿 z 方向传播



b) 粒子位于高斯光束光轴处

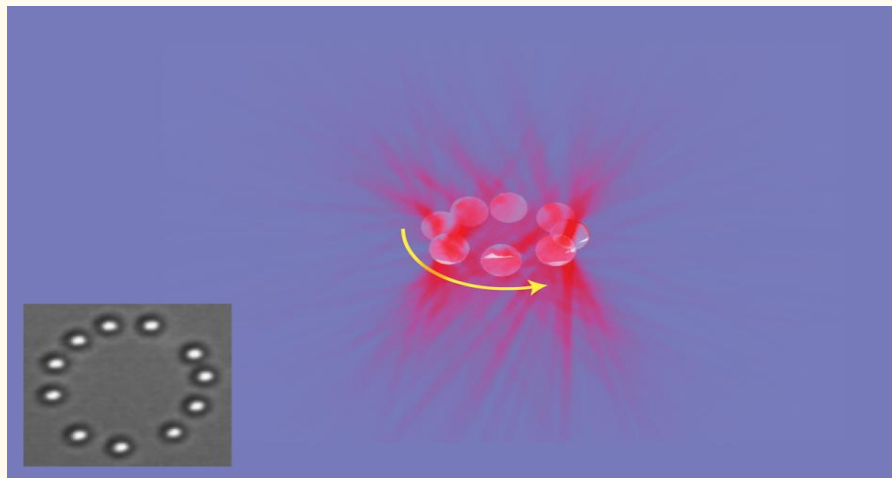
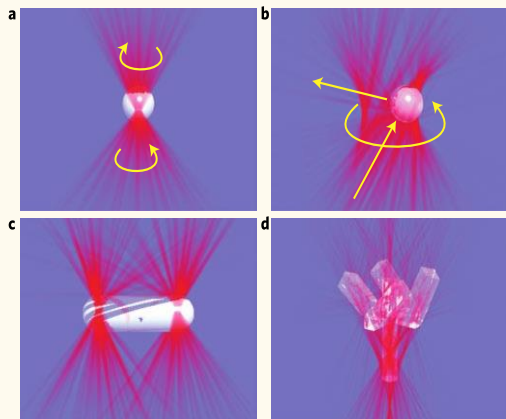
光镊示意图

光镊与光学扳手

nature
photonics

Tweezers with a twist

Miles Padgett* and Richard Bowman



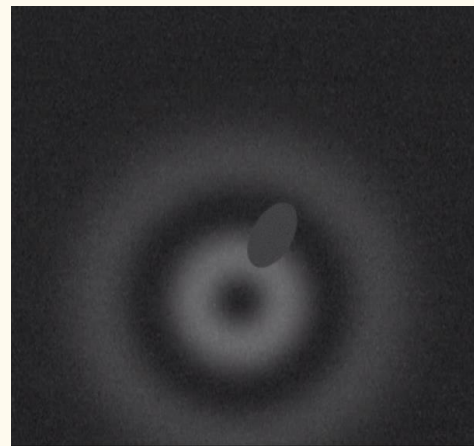
Nature photonics 5, 343 (2011)



光镊技术 + 光的轨道角动量 = 光学扳手



自旋
角动量
引起微粒的
自转



轨道
角动量
引起微粒的
公转



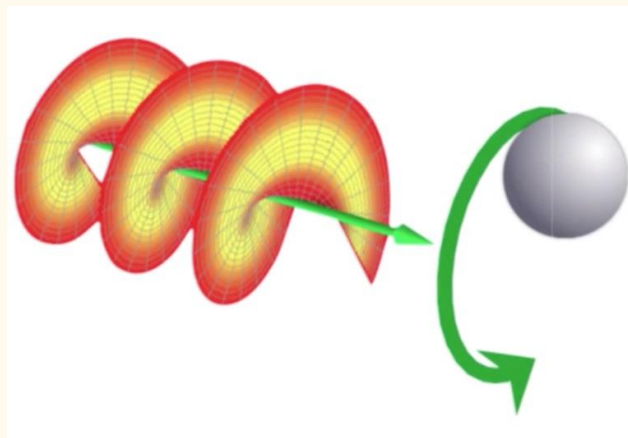
二、实验目的

核心知识点

- ✓ 认识光的角动量：自旋角动量和轨道角动量
- ✓ 认识激光的两种横向模式（LG模式和HG模式）
- ✓ 掌握激光横向模式的产生、操控和检测手段
- ✓ 通过光镊实验直观观察光的角动量与粒子之间的动量交换（光学扳手）

实验方法和技巧

- 掌握复杂光学系统的调节
- 了解干涉法测量波前相位
- 了解空间光调制器的使用
- 了解光镊系统

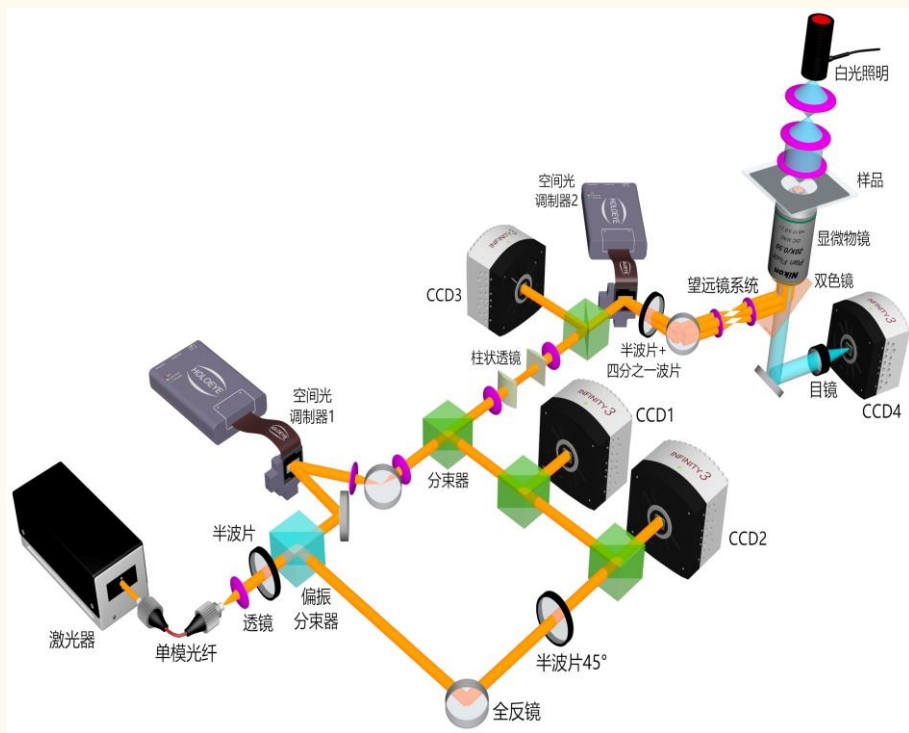


- 光学领域的科技前沿知识；
- 在光学、生物、生命、医学、纳米材料等领域具有重要的应用；
- 实际实验系统极为复杂、精密，调试系统耗时久；
- 整套实验系统价格昂贵，实验环境要求高，不便于开展大面积教学。

通过虚拟仿真技术，可以有效降低实验复杂度、环境要求和实验成本，便于大面积教学和研究生培养。同时保留核心知识点，还原真实实验关键过程，实现实验所设定的目标，让学生通过直观的实验现象理解抽象的概念，掌握光的轨道角动量基本知识和光镊技术。锻炼学生勇于创新，敢于挑战，仰望星空，脚踏实地的科研品质。



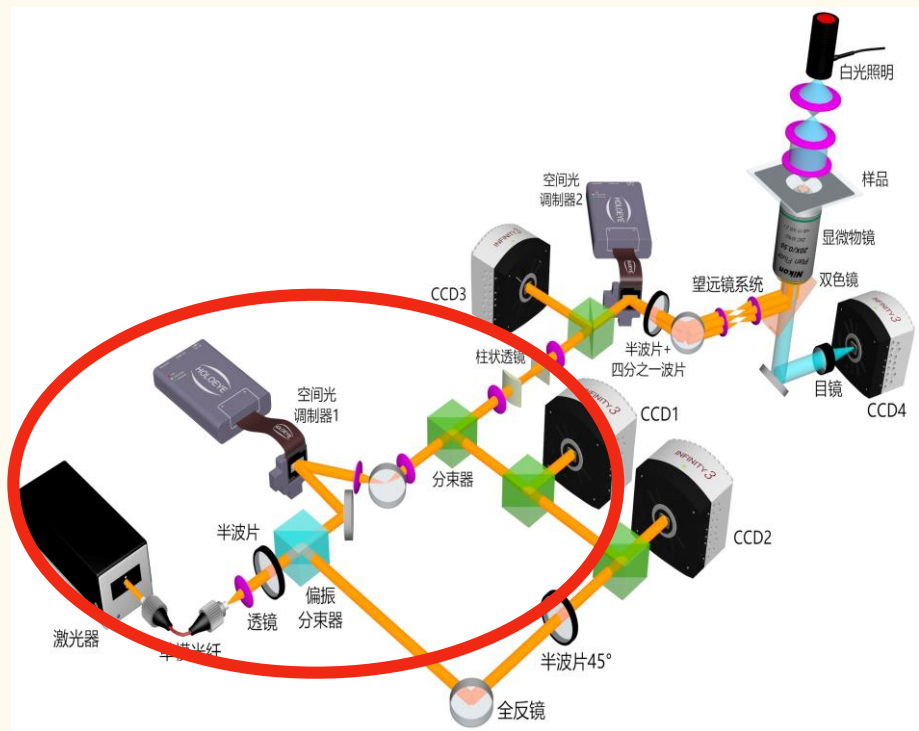
三、实验内容



实验光路图及装置

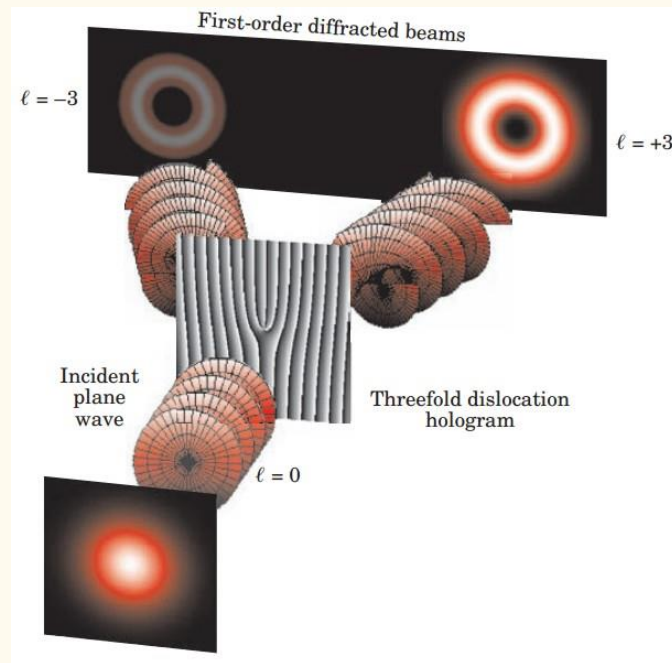
包含8个知识点：

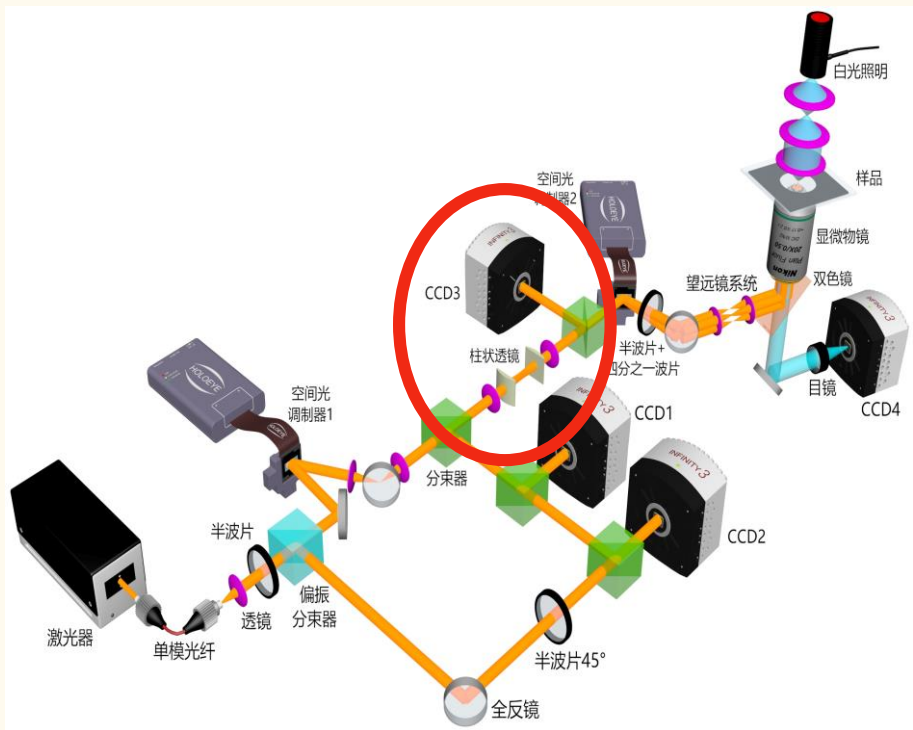
- (1) 利用空间光调制器产生LG光和HG光；
- (2) 计算全息光栅的原理及产生；
- (3) 利用柱状透镜实现LG光和HG光的相互转换；
- (4) LG光的振幅和横向相位测量；
- (5) 光镊的基本原理及实验实现；
- (6) 光的自旋角动量对微粒旋转的影响；
- (7) 光的轨道角动量对微粒旋转的影响；
- (8) 光的自旋角动量和轨道角动量对微粒旋转的共同影响。



实验光路图及装置

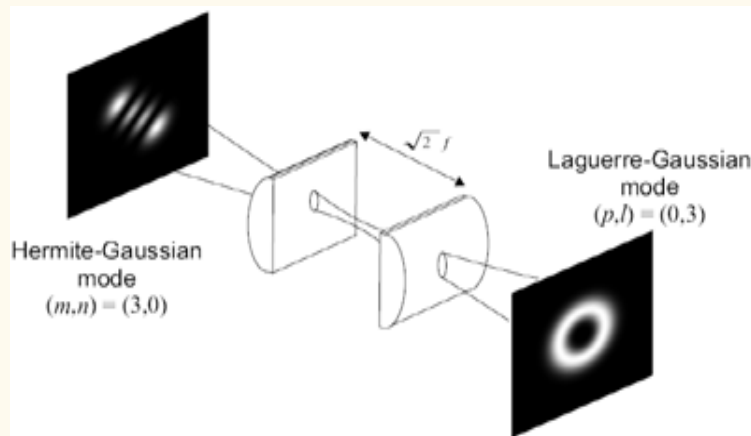
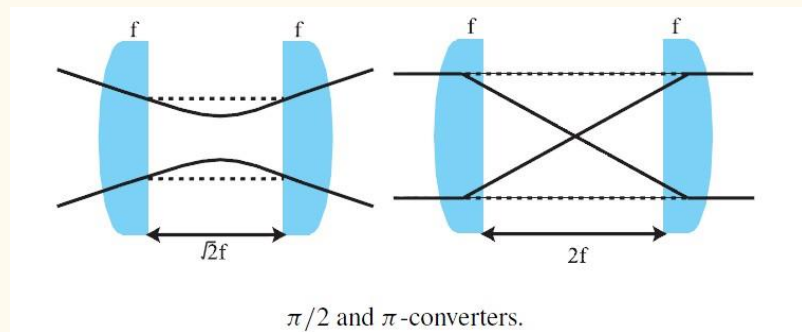
- (1) 利用空间光调制器产生LG光和HG光
- (2) 计算全息光栅的原理及产生

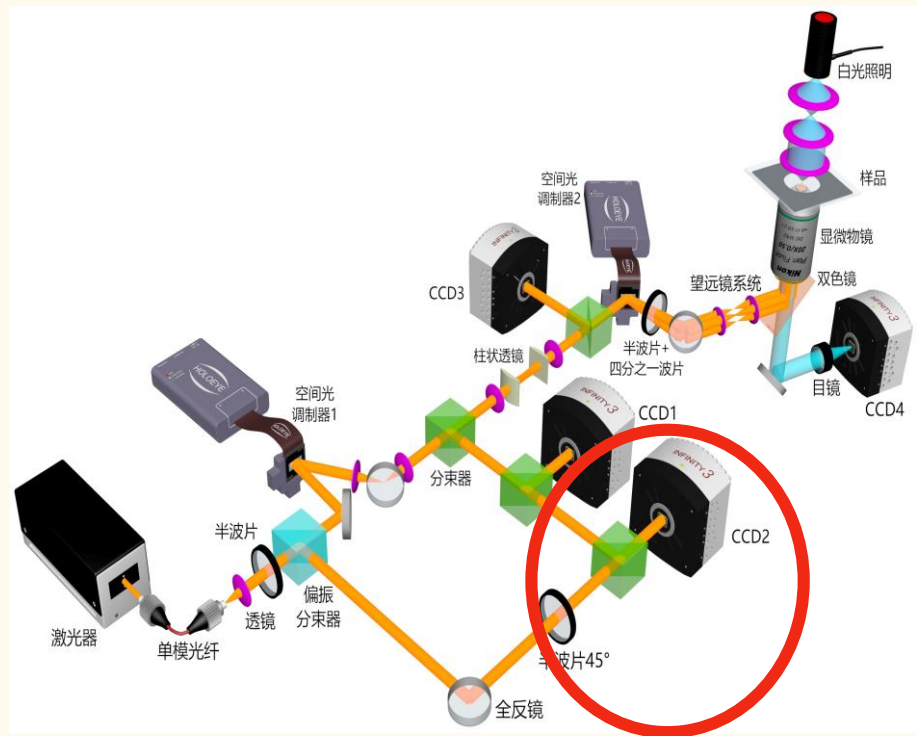




实验光路图及装置

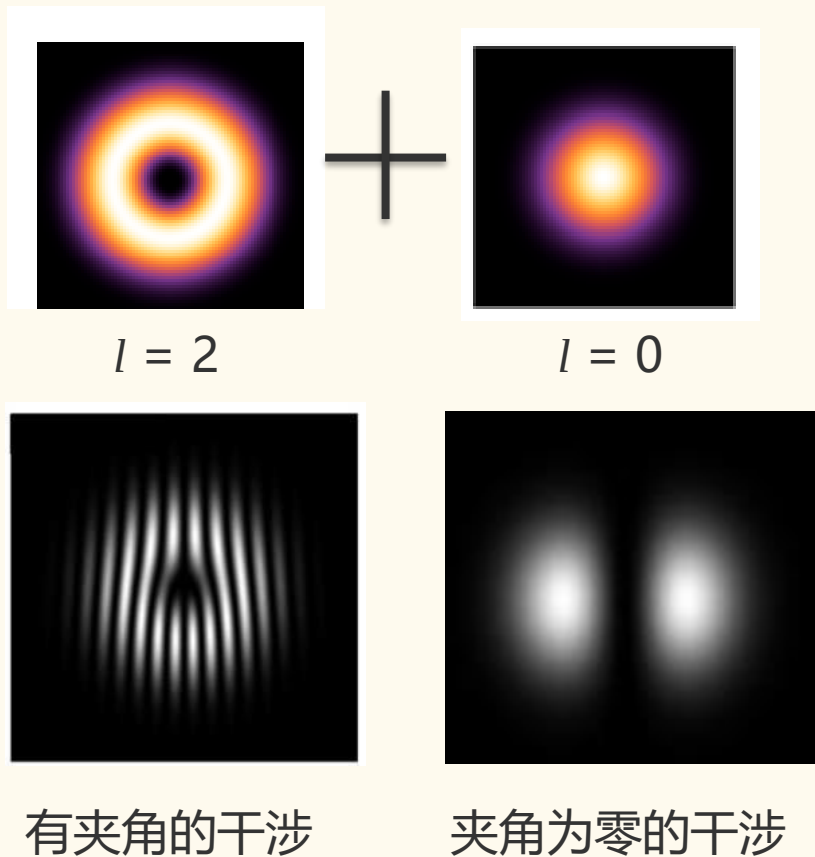
(3) 利用柱状透镜实现LG光和HG光的相互转换



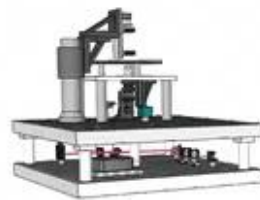
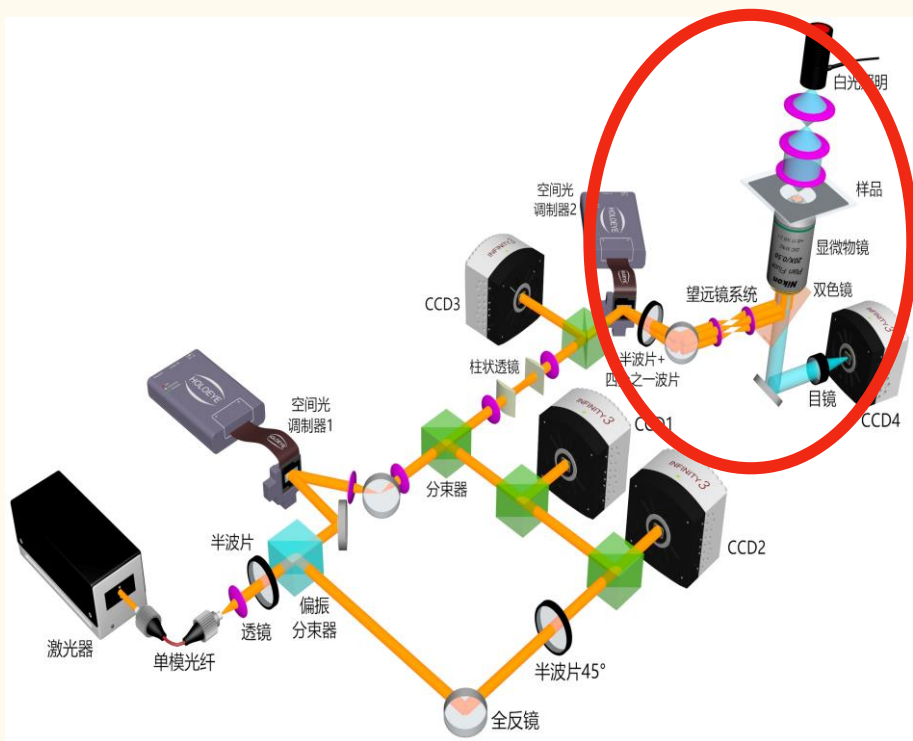


实验光路图及装置

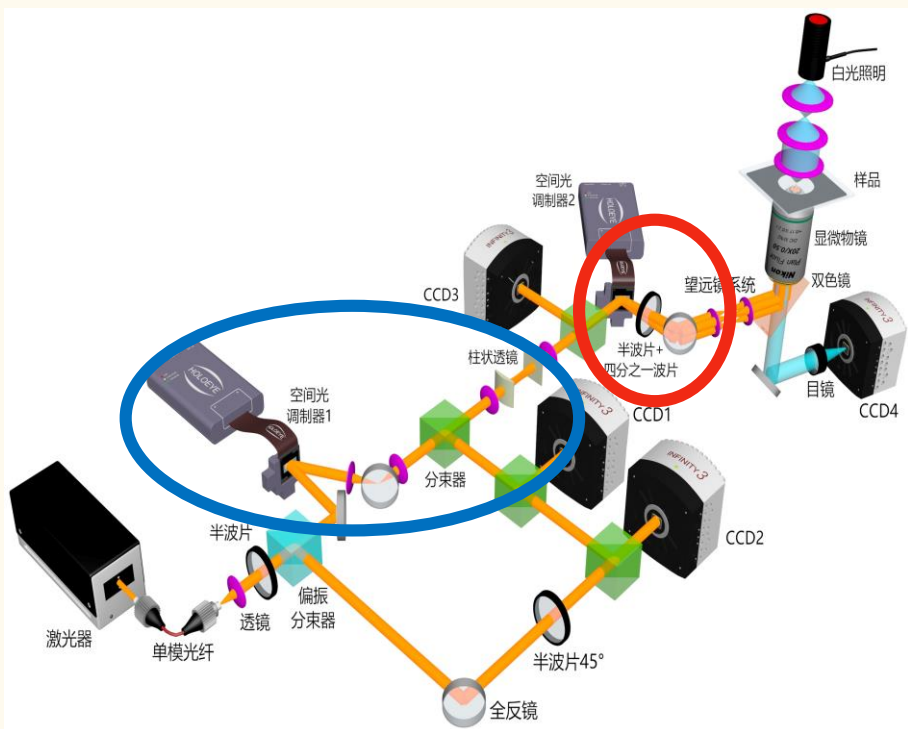
(4) LG光的振幅和横向相位测量



(5) 光镊的基本原理及实验实现

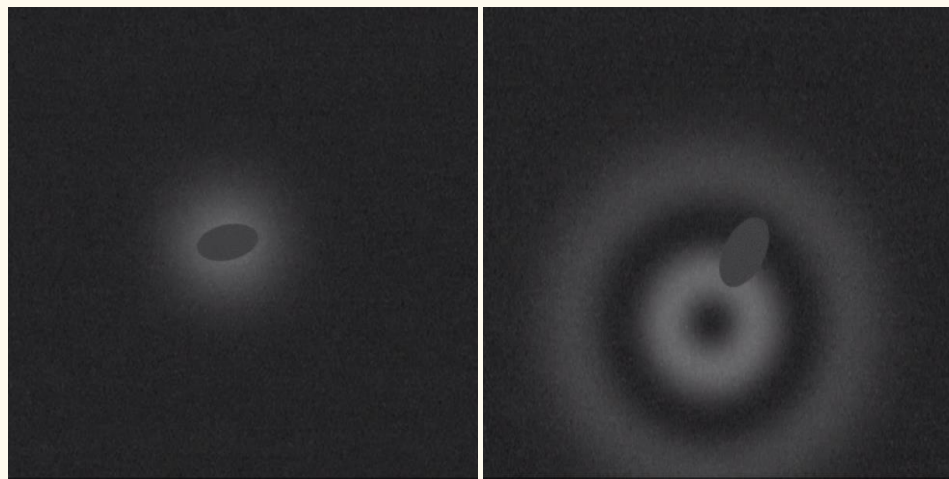


实验光路图及装置



实验光路图及装置

- (6) 光的自旋角动量对微粒旋转的影响;
- (7) 光的轨道角动量对微粒旋转的影响;
- (8) 光的自旋角动量和轨道角动量对微粒旋转的共同影响。





所有仪器和镜片均可自由调节。正确的操作得到正确的结果，错误的操作得到正确的错误结果，最大化还原真实实验关键过程。



参数设置

156.24

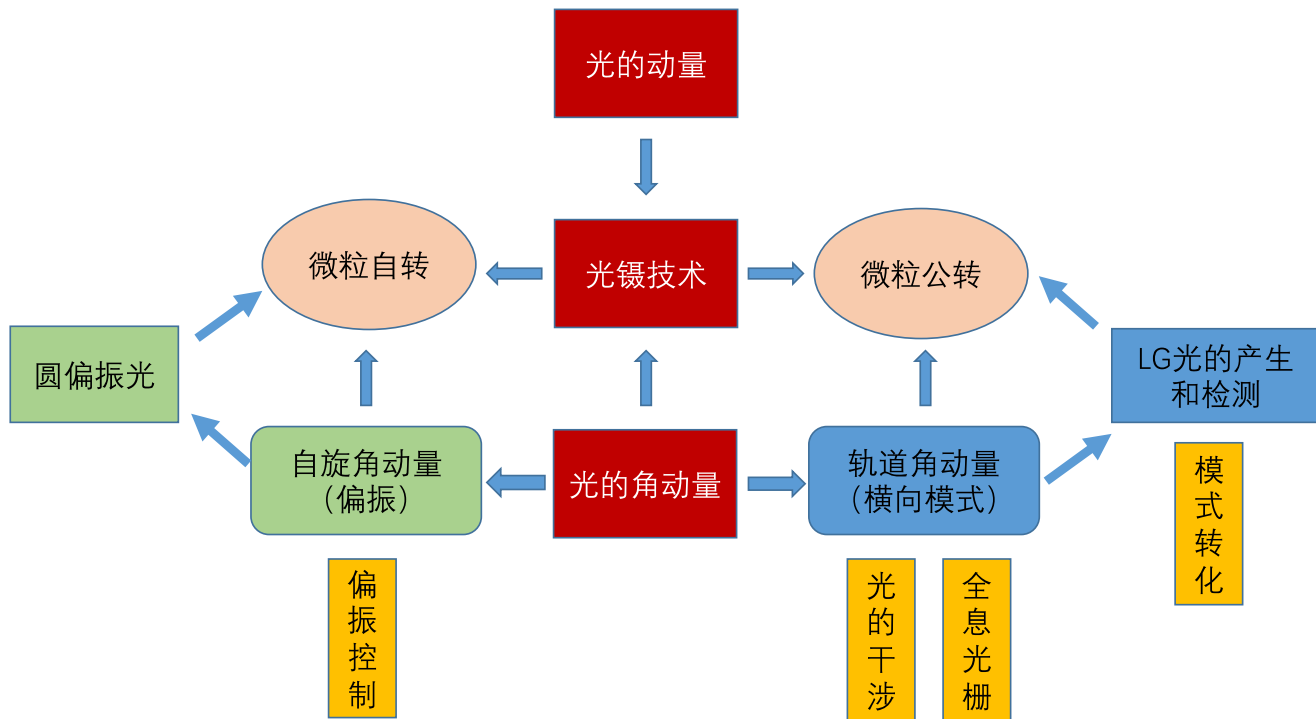


提示信息

半波

数据记录

实验内容总结



求真致用、知行合一、虚实结合



四、心得体会

1. 选题



一流课程的“两性一度”标准

◆ **高阶性：**知识能力素质有机融合，培养学生解决复杂问题的综合能力和高级思维

高级思维

光的力学效应-->光的动量-->光的角动量
-->自旋角动量-->轨道角动量

解决复杂问题的综合能力

光镊原理——诺贝尔奖技术

模式操控——光场调控技术

综合实验——光学和微纳操控

1. 选题



◆ **创新性：**课程内容反映前沿和时代性，教学形式体现先进性和互动性，学习结果具有探究性和个性化

光镊——2018年诺贝尔奖

光的轨道角动量——光学领域研究前沿

光学扳手——全新的概念和技术

虚拟仿真技术

一流课程的“两性一度”标准

体会：科研教学相结合，相得益彰

1. 选 题



一流课程的“两性一度”标准

◆ **挑战度**：课程又一定难度，需要跳一跳才能够得着，老师备课和学生课下有较高要求

- ✓ 前沿科学，理论有一定的深度；
- ✓ 前沿技术，实验有一定的难度；
- ✓ 需要老师和学生进行文献调研，才能完全掌握实验内容；
- ✓ 开放性的虚拟仿真实验设计：光学元件自由摆放，做到“正确的操作得到正确的实验结果，错误的操作得到正确的错误结果”。

1. 选 题

教育部司局函件

教高司函〔2019〕33号

教育部高等教育司关于开展 2019 年度国家虚拟仿真实验教学项目认定工作的通知

各省、自治区、直辖市教育厅（教委），新疆生产建设兵团教育局，有关部门（单位）教育司（局），部属各高等学校、部省合建各高等学校：

根据《教育部办公厅关于 2017-2020 年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知》（教高函〔2017〕4 号）和《教育部关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设的通知》（教高函〔2018〕5 号）的精神，经研究，决定启动 2019 年度国家虚拟仿真实验教学项目认定工作。现将具体事项通知如下：

一、认定范围与数量

2019 年度开展认定的学科专业范围为法学类、马克思主义理论类、教育学类、体育学类、文学类、历史学类、物理学类、化学类、电气类、土木类、矿业类、航空航天类、兵器类、农业工程类、林业工程类、建筑类、植物类、动物

◆ 文件第四条“申报要求”：8 个要求

3. 申报项目应是面向实验教学培养目标，针对实物实验安全性差、难以实现、成本高昂、时空限制等方面原因不便开展的实验教学任务。项目应实现实验核心要素，项目的仿真度应着力于还原真实实验的教学要求、实验原理、操作环境及互动感受。

4. 申报项目应支撑学生综合能力培养，纳入本专业教学计划，且满足 2 个课时的实验教学需求，学生实际参与的交互性实验操作步骤须不少于 10 步，原则上不少于两个学期的实际教学应用。

2. 组 织

队伍全面，分工合理

- **懂学术：**保证知识点的先进性和准确性
- **懂教学：**保证实验内容设计的合理性
- **懂技术：**理论模拟、视频制作、与公司沟通等
- **懂网络：**实验的网络对接，学生在做实验时客户端插件环境的安装
- **懂管理：**分工合理明确，协调好各项工作顺利推进

3. 实 施

保障有力，政策倾斜

- **政策保障：**学校和学院政策倾斜（绩效、教改项目立项等）
- **组织保障：**学校从主管部门，到学院，有专门领导负责，组织评审论证
- **机制保障：**适当的奖励机制会激发教师的动力
- **后勤保障：**多部门协调（教务处、实践中心、网信中心等）
- **经费保障：**项目设计、软件开发、视频制作、交流论证等

感谢各位专家和老师的聆听