

致理书院暑期基础学科交叉实践课程项目申请表

姓名	陈文兰	性别	女	院系	物理系
主要科研方向 和成果	<p>基于冷原子平台的量子模拟和量子计算</p> <p>发表过 3 篇 Science 正刊文章、5 篇 PRL</p> <p>主要学术贡献：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、实验上首次实现单光子三极管， Science 341, 768 2、发现了纠缠态波函数雕刻法， PRL 115, 250502 3、首次观测到真空感应透明现象， Science 333, 1266 4、实现了激光冷却至玻色爱因斯坦凝聚， Science 358, 1078 				
课程题目	量子计算概论与实验初探				
教学团队介绍 (请附上团队每位老师照片)	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div> <p>陈文兰，清华大学物理系副教授。博士毕业于美国麻省理工学院，师从中性原子量子计算专家 Vladan Vuletic 教授和 2001 年诺贝尔物理奖得主 Wolfgang Ketterle 教授。2019 年初通过国家级人才计划引进到清华搭建新型量子模拟和量子计算研究平台。主要研究兴趣为利用冷原子实验平台，研究和实现量子计算、量子模拟、量子纠缠网络等相关量子调控技术。曾入选福布斯中国 50 位科技女性，担任美国物理学会 PRX Quantum 期刊创刊编委。</p> </div> </div>				
课程对学生的先修要求	<p>先修课：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1, 量子力学 2, 电子工艺实习 				

课程设计	<p>教学资源或设备：量子模拟实验平台和对应的洁净级实验室。超窄线宽激光器。时序控制程序和相关硬件。相关控制原理图设计和制造工艺。</p> <p>目标和特色：通过这门课的学习，同学们可以掌握一些基本的量子计算的概念和做实验的技巧，对量子计算有初步的了解。同学们可以通过自己设计和搭建实验观测到一些量子现象，在实验过程中更深刻的理解量子力学的世界，观测到在我们所生活的经典世界中不太容易看到的东西。</p>
------	--

课程方案	<p>总体设计： 让学生们进入量子模拟实验室，熟悉电子学、逻辑运算学在现代物理实验中的应用方式，并且尝试自己制造相关元器件解决某个特定问题。</p> <p>课程大纲</p> <p>1, 对量子力学和量子计算的基本概念进行介绍和讲解。其中内容包括：量子干涉、量子比特、不确定性原理、贝尔不等式、量子门、量子不可克隆原理、量子测量、量子纠缠、量子算法等。结合前沿研究和进展，着重于某些特定方面，方便之后的实验实践工作。</p> <p>1), 课程简介、双缝实验</p> <p>2), 量子比特和不确定性原理：量子比特，量子比特的几何解释，不确定性原理</p> <p>3), 量子力学原理、两比特、量子纠缠：多能级系统，bra-ket 标记法，两比特，量子纠缠</p> <p>4), Bell 态和 EPR 悖论：local realism, Bell 态, CHSH 不等式, EPR 悖论</p> <p>5), 量子门：量子系统的时间演化，么正变换，单比特门，两比特门和张量乘法</p> <p>6), 量子传输：量子不可克隆原理，量子传输</p> <p>7), 量子线路：n 比特系统，通用量子门，可逆经典/量子计算</p> <p>8), 早期量子算法：Hadamard 变换，傅立叶采样，Simon's 算法，双缝实验</p> <p>9), 量子傅立叶变换：单位矩阵的 n 次方根，量子傅立叶变换</p> <p>10), 量子质因数分解算法：周期求解，shor's 质因数分解算法，QFT 线路</p> <p>11), 量子搜索算法：Grover's 算法及其实验实现，量子计算的限制</p> <p>12), 观测量和薛定谔方程</p> <p>13), 量子比特的实现：连续量子态，一维自由粒子的薛定谔方程，盒子里的粒子，量子比特的实现</p> <p>14), 量子算法的复杂度理论：量子计算的限制，绝热量子计算</p> <p>15), 自旋：自旋量子比特，Bloch 球，Stern-Gerlach，泡利自旋矩阵</p> <p>16), 自旋的操控：Larmor 进动，自旋共振，经典操控</p> <p>2, 在学习相关理论之后，进行组队选择某个特定课题进行实验的实践和尝试，可选实验项目举例如下（不仅限于以下内容）。也可以根据自己的想法提出实验方案，在实验条件和设备允许的情况下，进行开放探索。</p> <p>1), Mach-Zehnder 量子干涉仪的搭建和拓展应用。基于 Mach-Zehnder 干涉仪为基础，尝试构建线性光学量子计算的简易应用平台。例如单光子干涉、Hong-Ou-Mendal 现象、后向选择性纠缠制备等。需要同学们尝试自己制作用于光子探测的雪崩式光电二极管。</p> <p>2), 设计并制作模拟电路，用电路装置去尝试量子模拟能带结构、高能规范场、量子拓扑材料等。并且测量对应的量子物理现象。</p> <p>3), 设计中性原子量子计算机的重排算法，在专业研究人员辅助下可在实验系统上进行实践工作。</p>
------	--

4), 复杂光学光路的建立和调整。尝试在高年级同学指导下进行前沿量子物理的研究实践, 加入主实验系统的测量和整备工作。

5), 对于量子模拟实验体系的初步认知。包括数字电路、逻辑控制、时序控制, PID 控制等相关内容进行选择性的学习。尝试自己从草图进行设计控制电路。

教学安排

时间为三周, 每周上课三次, 每次课三课时。

第一次至第六次课: 对于量子力学的基本内容进行理论学习和研讨工作。

第七次至第九次课: 量子物理实验的实践

实验平台介绍

实验室依托于清华大学物理系和低维量子物理国家重点实验室开展工作。目前具有超冷原子实验平台四套, 激光近二十台, 可以将碱金属原子冷却到 1 纳开尔文并且形成玻色爱因斯坦凝聚, 同时可以开展线性光学、量子干涉、单光子测量、模拟电路的设计和调试等实验工作。