

《量子信息基础》2024 春夏教学大纲

时间：每周四 13:25-15:50，地点：玉泉校区教 7-204

授课老师：金潮渊；课程助教：曾皓洋，丁舒宁

课程代码：85120220

课程中文名称：量子信息基础

课程英文名称：Introduction to Quantum Information

学分：3.0

周学时：3.0

面向对象：本科生

预修课程要求：高等数学，线性代数，大学物理

一、课程介绍

（一）中文简介：

- 量子力学作为现代物理学的两大核心理论之一，成功描述了微观物理体系的演化规律，奠定了现代信息科学特别是微电子学和光电子学的物理理论基础。量子概念的引入深刻地揭示了一系列与宏观体系截然不同的物理机制，在近年来逐渐发展出了包含量子通信、量子计算、量子测量等量子信息科学的全新研究领域和方向。
- 本课程针对新工科建设的需求，突出量子概念和教学实例，淡化量子课程中的理论性要求较高的部分。适当采用 Matlab 编写的数值工具代替部分繁琐的公式推导。采用双语教学，选用英文教材，并辅以中文翻译版教材和讲义。
- 教学上本课程共 48 个学时，16 周课程，每周 3 个学时。课程的内容覆盖了信息电子领域与第一次和第二次量子革命相关的主要知识点。保留了量子力学教学中量子史话和波动方程等基础内容，扩充了学习量子信息科学所必备算符与矩阵、量子信息论、量子通信、量子计算、量子测量等内容。

（二）英文简介

- The introduction of quantum concepts has profoundly revealed a series of distinct physical mechanisms from macro systems. In recent years, it has gradually developed new research fields and directions including quantum communication, quantum computation, quantum simulation, quantum metrology, etc.
- According to the needs of constructing “New Engineering”, this course selects the teaching materials of quantum information engineering appropriately, highlights the concept of quantum information, and desalinates the parts of higher theoretical requirements. The numerical tools of MATLAB are used to replace some complicated derivation. Bilingual teaching is adopted based on the 64-hour module used in the spring and summer of 2020.

- This module is 48 hours taught in 16 weeks and 3 hours per week. It retains the classical contents such as the history of quantum information, wave-based quantum mechanics, and expands the contents of quantum information theory, operator and matrix representation, quantum communication, quantum computation and quantum metrology.

二、教学目标

（一）学习目标

- 优化原量子信息课程的内容，增加同信息论、量子力学等前置课程的衔接和引导。
- 加强学生使用数值工具解决量子信息科学问题的能力。
- 培养学生对量子信息科学基本原理和概念的理解和掌握。
- 增强学生对量子信息技术的兴趣，培养学生对领域前沿的了解。

（二）可测量结果

- 巩固量子力学的基本物理原理，能用自己的语言解释量子化概念。
- 熟练掌握波动方程，理解波函数、态函数的物理意义，能够使用数值工具解决以量子态为基础的实际问题。
- 掌握量子叠加态、量子相干态、量子纠缠态、纯态和混态等概念。
- 理解力学量算符及其特点，掌握力学量算符的对易关系和测不准关系。
- 了解简谐振子的算符表示，及其和光量子与超导量子计算的内在联系。
- 理解量子测量和不可克隆原理，及其在量子密码学中的应用。了解量子密钥分发和量子隐形传态技术。
- 掌握量子比特和量子寄存器的概念，理解量子比特门和量子逻辑回路。
- 了解量子信息的前沿概念，如线性光学量子计算和超导量子计算等。

注：以上结果可以通过课程作业、论文报告、课堂提问、课后讨论以及笔试等环节测量。

三、课程要求

（一）授课方式与要求

（1）讲授

课程的教学内容主要通过教师课堂讲授为主，结合启发与讨论完成。讲授的主要内容有量子力学和量子信息的基础部分，突出讲解重点和难点。

（2）数值计算程序

提供 Matlab 编写的量子计算程序，引导学生熟悉和掌握波动方程的数值计算和分析，理解量子叠加态的物理意义。

（3）多媒体辅助教学

采用多媒体辅助教学手段，结合传统教学方法，解决好教学内容多、信息量大与学时少

的矛盾；利用课程网络教学平台建立教学互动，指导和丰富学生课外学习。

（4）文献阅读

指导学生自主学习量子信息的优秀参考书、专著和文献，提高中外科学文献的检索和阅读能力；设计感兴趣的前沿问题，引导学生自发查找资料，研究问题的解决方法，使学生在研究问题中加深对概念与原理的理解。

（5）习题与论文

课后设置少量习题、数值计算报告、前沿阅读论文等作业，帮助学生回顾和巩固所学章节的基本概念与原理。部分课堂时间将安排习题讲解和答疑。

（二）考试评分与建议

平时作业成绩 20%，论文报告 10%，课堂表现 10%，出勤状况 10%，期中考试 25%，期末考试 25%。

四、教学安排

1.量子史话

- 1.1 从经典物理到旧量子论
- 1.2 从波粒二象性到现代量子力学

2.量子信息物理基础

- 2.1 波动方程及其物理意义
- 2.2 电子波函数和量子态
- 2.3 矩阵表示和数值求解

3.算符和矩阵

- 3.1 算符和可观测量
- 3.2 矢量和狄拉克符号
- 3.3 对易关系和不确定性原理
- 3.4 简谐振子模型和光子

4.量子信息论

- 4.1 量子统计和微观态
- 4.2 香农熵和冯诺依曼熵
- 4.3 量子信道和信道增强

5.量子通信

- 5.1 贝尔不等式和不可克隆原理
- 5.2 量子密码学
- 5.3 量子隐形传态

5.4 连续变量量子通信

6.量子计算

6.1 量子比特和量子逻辑门

6.2 量子算法

6.3 量子计算语言

6.4 量子计算机的物理实现

7.量子测量

7.1 量子纠缠和高精密测量

7.2 压缩态和亚散粒噪声测量

7.3 关联光学和量子成像

7.4 量子雷达

附：时间表

章节	内容	参考学时
1	绪论	4
2	量子信息物理基础	6
3	算符和矩阵	8
4	量子信息论	6
5	量子通信	8
6	量子计算	8
7	量子测量	8

五、参考教材及相关资料

（一）基础教材（请在学在浙大或者钉钉群中下载电子版）

- 英文版教材 David J.Griffiths, and Darrell F. Schroeter, Introduction to Quantum Mechanics (3rdEdition), Cambridge University Press (2018)。
- 中文版教材《量子力学概论，第二版》格里菲斯著，机械工业出版社。

（二）参考教材（请在学在浙大或者钉钉群中下载电子版）

- M.A. Nielsen, and I.L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press (2016).
- Pieter Kok, and Brendon W. Lovett, Introduction to Optical Quantum Information Processing,

Cambridge University Press (2010).

- Mark Fox, Quntum Optics – An Introduction, Oxford University Press (2006).

六、课程教学网站：

将主要通过“学在浙大”提供必要的课件和文字材料链接。

实验室主页将提供课程资料的更新：

<http://www.uphotonics.com/kechengziliao/liangzixinxijichu/>

课程视频同步上传到 b 站：

<https://www.bilibili.com/video/av414571130>