

## 研究生课程教学大纲 (Syllabus)

课程代码 Course Code	PHY6007	*学时 Teaching Hours	64	*学分 Credits	4
*课程名称 Course Name	高等量子力学				
*授课语言 Instruction Language	中文				
*开课院系 School	物理与天文学院				
先修课程 Prerequisite					
授课教师 Instructors	姓名 Name	职称 Title	单位 Department	联系方式 E-mail	
	许霄琰	副教授	物理与天文学院	xiaoyanxu@sjtu.edu.cn	
*课程简介 (中文) Course Description	量子力学是物理学的基础理论，用于描述自然界在原子和亚原子粒子尺度上的物理性质。量子力学是所有量子物理学科的基础，包括量子化学、量子场论、量子材料、量子技术和量子信息科学等。高等量子力学与量子力学并无本质区别，它更加注重在量子力学基本概念的基础上建立量子力学与其他量子物理学科之间的桥梁。本课程的内容包括量子力学基本概念、量子动力学、对称性及角动量理论、微扰论、复合量子体系与量子纠缠、二次量子化、散射理论以及相对论量子力学等。通过本课程的学习，学生可以更深入地理解量子力学基本概念，并学会运用这些基本概念分析和理解量子物理学中的基本现象，掌握解决量子物理问题的基本方法。				
*课程简介 (English) Course Description	Quantum mechanics is the fundamental theory of physics used to describe the physical properties of nature at the scale of atoms and subatomic particles. It serves as the foundation for all disciplines of quantum physics, including quantum chemistry, quantum field theory, quantum materials, quantum technologies, and quantum information science. Advanced quantum mechanics does not have an essential difference from quantum mechanics; it emphasizes establishing a bridge between quantum mechanics and other disciplines of quantum physics based on the fundamental concepts of quantum mechanics. The contents of this course include the basic concepts of quantum mechanics, quantum dynamics, symmetry and angular momentum theory, perturbation theory, composite quantum systems and quantum entanglement, second quantization, scattering theory, and relativistic quantum mechanics. Through this course, students can gain a deeper understanding of the basic concepts of quantum mechanics and learn to apply these concepts to analyze and understand the fundamental phenomena in quantum physics, as well as master the basic methods for solving quantum physics problems.				

	周次 Week	教学内容 Content	授课学时 Hours	教学方式 Format	授课教师 Instructor
*教学安排 Schedules	1.5	1. 基本概念 1.1 Warmup: 自旋与量子比特 1.2 量子力学基本假设 1.3 希尔伯特空间 1.3.1 向量空间 1.3.1.1 向量空间的基本性质 1.3.1.2 向量空间的基组 1.3.2 内积 1.3.3 范数、完备性 1.3.4 对偶空间 1.3.5 正交基组 1.4 算符 1.4.1 算符的矩阵表示 1.4.2 算符的转置、复共轭和厄密伴随 1.4.3 算符举例 1.4.4 本征态和本征值 1.4.5 么正变换 1.4.6 厄密算符的对角化 1.4.7 同时对角化 1.4.8 自旋-1/2 系统 1.4.8.1 自旋-1/2 系统的基组、算符与测量 1.4.8.2 回看 SG 实验 1.4.9 不确定关系 1.4.10 位置和动量 1.4.10.1 具有连续本征值的观测量 1.4.10.2 位置算符 1.4.10.3 动量算符 1.4.10.4 箱归一化 1.4.10.5 d 维空间的位置和动量 1.5 纯态、混态和密度矩阵 1.6 冯诺伊曼和任意熵	6	板书	许霄琰
	1.5	2 量子动力学 2.1 时间演化和薛定谔方程 2.2 经典力学时间演化 2.3 海森堡绘景 2.4 相互作用绘景 2.5 密度矩阵的时间演化 2.6 测量和退相干 2.7 路径积分量子力学 2.7.1 传播子 2.7.2 路径积分 2.7.3 稳相近似 2.8 电磁场中的量子粒子运动 2.8.1 常数势场	6	板书	许霄琰

		2.8.2 电磁场 2.8.3 Aharonov-Bohm 效应 2.8.4 磁单极子 2.8.5 带电粒子在磁单极子产生的磁场中的运动 2.8.6 带电粒子在均匀磁场中的运动			
	2.5	3. 对称性 3.1 Wigner 定理 3.2 群的定义 3.3 群的线性表示和投影表示 3.4 连续对称性和守恒律 3.4.1 空间平移 3.4.2 时间平移 3.4.3 转动 3.4.3.1 角动量是转动的产生子 3.4.3.2 角动量代数 3.4.3.3 $SO(3)$ vs $SU(2)$ 3.4.3.4 中心势场中的单粒子问题 3.4.3.5 角动量相加 3.5 离散对称性 3.5.1 宇称 3.5.1.1 波函数的宇称 3.5.1.2 动量本征态和角动量本征态的宇称 3.5.1.3 宇称选择定则 3.5.2 时间反演 3.5.2.1 时间反演和自旋 3.5.2.2 无自旋粒子 3.5.2.3 时间反演对称不对应守恒律 3.5.2.4 半整数自旋体系的 Kramer's 定理 3.5.3 晶格平移 3.6 张量算符 3.6.1 球张量算符 3.6.2 张量算符的乘积 3.6.3 球张量算符矩阵元的性质 3.6.4 Wigner-Eckart 定理	10	板书	许霄琰
	1.5	4 单体问题的代数解法 4.1 类氢原子 4.1.1 量级分析 4.1.2 径向波函数 4.1.3 库仑势中的 $SO(4)$ 对称性 4.2 简谐振子 4.2.1 一维简谐振子 4.2.1.1 哈密顿量 4.2.1.2 玻色子概念 4.2.1.3 产生和湮灭算符	6	板书	许霄琰

		4.2.1.4 玻色子占据数表象 4.2.1.5 Fock 空间的构造 4.2.1.6 矩阵表示 4.2.1.7 能谱 4.2.1.8 波函数 4.2.1.9 不确定关系 4.2.2 相干态 4.2.2.1 定义 4.2.2.2 Fock 态表象 4.2.2.3 时间演化 4.2.2.4 U(1)对称性 4.2.2.5 坐标表象 4.2.2.6 BCH 公式 4.2.2.7 位移算符 4.2.2.8 超完备性 4.2.3 三维谐振子 4.2.3.1 哈密顿量 4.2.3.2 能级和简并 4.2.3.3 角动量算符 4.2.3.4 Fock 态表象 4.2.3.5 角动量表象 4.2.3.6 U(3)对称性			
	2	5 复合量子体系 5.1 复合量子系统假设 5.2 量子纠缠 5.2.1 双量子比特体系 5.2.1.1 双量子比特态 5.2.1.2 双量子比特算符 5.2.1.3 双量子比特模型 5.2.1.4 自旋单态 5.2.1.5 纠缠熵 5.2.1.6 互信息 5.2.1.7 EPR 对和 Bell 不等式 5.2.2 量子多体态 5.2.2.1 张量网络和量子线路 5.2.2.2 量子退相干 5.2.2.3 量子达尔文主义 5.2.2.4 量子纠错	8	板书	许霄琰
	2.5	6 全同粒子 6.1 置换对称性 6.2 两电子系统 6.3 多电子系统 6.3.1 多电子系统的哈密顿量 6.3.2 变分原理 6.3.3 Hartree-Fock 近似 6.3.4 均匀电子气 6.4 密度泛函理论 6.4.1 密度泛函理论的雏形： Thomas-Fermi 模型 6.4.2 Hohenberg-Kohn 定理 6.4.3 粒子数密度的 $v$ -表示和 N-	10	板书	许霄琰

		<p>表示问题</p> <p>6.4.4 Levy 约束搜索方法</p> <p>6.4.5 Kohn-Sham 方程</p> <p>6.5 二次量子化</p> <p>6.5.1 一次量子化和二次量子化</p> <p>6.5.1.1 一次量子化态</p> <p>6.5.1.2 二次量子化态</p> <p>6.5.1.3 Fock 态的表示</p> <p>6.6 产生和湮灭算符</p> <p>6.6.1 态的产生和湮灭</p> <p>6.6.2 玻色子的产生和湮灭算符</p> <p>6.6.3 费米子的产生和湮灭算符</p> <p>6.6.4 产生和湮灭算符的表象变换规律</p> <p>6.6.5 单体算符的表示</p> <p>6.6.6 两体及以上多体算符的表示</p> <p>6.7 运动方程</p> <p>6.8 理想气体</p> <p>6.8.1 巨正则系综</p> <p>6.8.2 理想费米气体</p> <p>6.9 平均场近似</p> <p>6.9.1 稀薄玻色气体的 BEC</p> <p>6.9.2 Hartree-Fock 近似</p>			
1.5	想	<p>7 微扰论</p> <p>7.1 不含时微扰</p> <p>7.1.1 微扰论的一般想法</p> <p>7.1.2 非简并微扰论</p> <p>7.1.2.1 Hellmann-Feynman 定理</p> <p>7.1.2.2 能量的微扰修正</p> <p>7.1.2.3 态的微扰修正</p> <p>7.1.2.4 非简并微扰的物理图像</p> <p>7.1.3 简并微扰论</p> <p>7.1.3.1 简并微扰论的一般思想</p> <p>7.1.3.2 推广的 Hellmann-Feynman 定理</p> <p>7.1.3.3 有效哈密顿量</p> <p>7.2 含时微扰</p> <p>7.2.1 含时微扰论</p> <p>7.2.1.1 Dyson 级数</p> <p>7.2.1.2 格林函数</p> <p>7.2.1.3 费曼图</p> <p>7.2.2 能级跃迁</p> <p>7.2.2.1 跃迁概率</p> <p>7.2.2.2 Fermi 黄金规则</p> <p>7.2.2.3 绝热过程</p>	6	板书	许霄琰

	1.5	8 散射理论 8.1 散射算符 8.1.1 散射算符的微扰处理 8.2 S 矩阵 8.2.1 I epsilon prescription 8.2.2 S 矩阵的展开 8.2.3 散射振幅 8.3 散射截面和散射实验 8.3.1 光学定理 8.4 分波展开	6	板书	许霄琰
	1.5	9 相对论量子力学 9.1 简介 9.2 Klein-Gordon 方程和 Klein-Gordon 场 9.2.1 Klein-Gordon 方程 9.2.2 负能量的一种解释 9.3 Dirac 方程 9.3.1 旋量的 Lorentz 变换 9.3.2 自由粒子的 Dirac 方程 9.3.3 反粒子和电荷共轭	6	板书	许霄琰
<b>*考核方式</b> Grading Policy	课堂测验和作业(50%)+笔试(50%)				
<b>*教材或参考资料</b> Textbooks & References	[1] Modern Quantum Mechanics, J. Sakurai and J. Napolitano, Cambridge University Press, 3rd edition, 2020 [2] Quantum Mechanics: Fundamentals, K. Gottfried, Springer, 2nd edition, 2004 [3] Quantum Theory I, Senthil Todadri, MIT course 8.321, Fall 2017 [4] Graduate Quantum Mechanics I, Yi-Zhuang You, UCSD Physics 212a, Fall 2021 [5] Graduate Quantum Mechanics II, Yi-Zhuang You, UCSD Physics 212b, Winter 2020 [6] Advanced Quantum Mechanics, John McGreevy, UCSD Physics 212C, Spring 2020				
备注 Notes					

备注说明:

1. 带\*内容为必填项;
2. 课程简介字数为 300-500 字; 教学内容、进度安排等以表述清楚教学安排为宜, 字数不限。