

教学大纲（教学计划）

掌握和理解量子力学的基本概念，新的数学方法（微积分、微分方程、线性代数、数理方程、复变等等）和能解决一些简单的量子力学问题。

第一章：定性了解经典困难的实例：微观粒子的波 - 粒二象性；

第二章，第三章：要全面掌握：波函数与波动方程，一维定态问题，波函数的统计诠释，态叠加原理，薛定谔方程和定态；知 $t = 0$ 的波函数，给出 t 时刻的波函数，概率通量矢，反射份额，透射份额，完全透射。

第四章：算符运算规则，厄密算符定义，厄密算符的本征方程，观测值的可能值，概率幅。

力学量完全集（包括 \hat{H} 的，即为运动常数的完全集）。共同本征态 Y_{lm} 的性质（ $Y_{lm}^* = (-1)^m Y_{lm}$ ，宇称 $(-1)^l$ ）。

力学量平均值随时间变化，运动常数，维力定律。

第五章：变量可分离型的三维定态问题

有心势下，**Schödinger equation** 解在 $r \rightarrow 0$ 的渐近行为。氢原子波函数，能量本征值的推导和结论要全面掌握。

三维各向同性谐振子在直角坐标和球坐标中的解，能级的结果和性质。

Hellmann-Feynman Theorem。

电磁场下的 **Hamiltonian**，规范不变性，概率通量矢。正常塞曼效应及引起的原因。均匀磁场下的带电粒子的能量本征值

磁通量子化的现象。

第六章：量子力学的矩阵形式及表象理论

算符本征方程，薛定谔方程和平均值的矩阵表示；求力学量在某表象中的矩阵表示；利用算符矩阵表示求本征值和本征函数。表象变换。**Schödinger Picture** 和 **Heisenberg Picture**

第七章：量子力学的算符代数方法-因子化方法

哈密顿量的本征值和本征矢；因子化方法的一些例子；形状不变伴势和谱的对称性

第八章：自旋

自旋引入的实验证据。电子自旋算符，本征值及表示。泡利算符性质，泡利矩阵。

自旋存在下的波函数和算符的表示。 (\hat{l}, j^2, j_r) 的共同本征态的矩阵形式。

自旋为 1/2 的两粒子总自旋波函数，Bell 不等式。

碱金属的双线结构及反常塞曼效应的现象及形成原因。

全同粒子的波函数结构，泡利原理

第九章：量子力学中束缚态的近似方法

定态微扰论：非简并定态微扰论，能级的一级，二级修正，波函数的一级修正。碱金属光谱的双线结构和反常塞曼效应。简并定态微扰论：能级的一级修正，二级修正及零级波函数。

变分法：用 Ritz 变分法求基态能级上限及近似波函数；

哈特里自洽场方法

达尔戈诺-刘易斯方法

双原子分子，玻恩-奥本海默近似等。

第十章：含时间的微扰论-量子跃迁

量子跃迁：一级近似下的跃迁概率和跃迁率。常微扰，周期性微扰，Fermi's Golden Rule 的表示式及物理含义。

磁共振；绝热近似；贝利(Berry) 相位。

第十一章：量子散射的近似方法

一般描述：定态散射波函数的形式，散射振幅和散射截面；

玻恩近似；卢森堡散射

有心势中的分波法和相移

共振散射

全同粒子的散射。

第十二章：量子力学的经典极限和 WKB 近似

量子力学的经典极限；WKB 近似

教学进度表

第一章 绪论：经典物理学的困难

§ 1.1 辐射的微粒性

(1) 黑体辐射

(2) 固体低温比热

(3) 光电效应

(4) 康普顿散射

第一讲

§ 1.2 原子结构的稳定性

(1) 原子行星模型

(2) 元素的线光谱，即有标志频率

.....

§ 1.3 物质粒子的波动性

(1) 德布罗意假设

(2) 物质粒子波动性的实验证据

第二讲

第二章 波函数与波动方程	
§ 2.1 波一粒两象性	
§ 2.2 波函数的玻恩 (Max Born, 1926 年) 概率诠释—概率波
§ 2.3 波函数的性质, 态叠加原理	
(1) 波函数的性质	
(2) 位置和位能的平均值	第三讲
(3) 动量平均值
(4) 态叠加原理	
§ 2.4 含时间的薛定谔方程	
(1) Schödinger equation 的建立	第四讲
(2) 对 Schödinger equation 的讨论
§ 2.5 不含时间的薛定谔方程, 定态问题	
(1) 含时间的薛定谔方程	第五讲
(2) 定态
§ 2.6 测不准关系	
(1) 一些例子	
(2) 一些实验	
(3) 测不准关系是波一粒两象性的必然结果	
第三章 一维定态问题	第六讲
§ 3.1 一般性质	
(1) 定理	
(2) 不同的分立能级的波函数是正交的	
(3) 振荡定理	
(4) 在无穷大位势处的边条件
§ 3.2 阶梯位势	
(1) $E < V_0$	
(2) $E > V_0$	
§ 3.3 位垒穿透	
(1) $E < V_0$	
(2) $E > V_0$	第七讲
§ 3.4 方位阱穿透	
§ 3.5 一维无限深方位阱	
(1) 量本征值和本征函数	
(2) 结果讨论
§ 3.6 宇称, 一维有限深方势阱, 双 δ 位势	

- (1) 宇称
- (2) 有限对称方位阱
- (3) 求粒子在双 δ 位阱中运动

第八讲

.....

§ 3.7 束缚能级与反射振幅极点的关系

- (1) 半壁 δ 位阱的散射
- (2) 有限深方位阱

§ 3.8 一维谐振子的代数解法

- (1) 能量本征值
- (2) 能量本征函数
- (3) 讨论和结论

第九讲

.....

§ 3.9 相干态

- (1) 湮灭算符 \hat{a} 的本征态
- (2) 相干态的性质

第十讲

第二章, 第三章 波函数, 波动方程,
一维定态问题小结

第一章 量子力学中的力学量

§ 4.1 表示力学量算符的性质

- (1) 一般运算规则
- (2) 算符的对易性
- (3) 算符的厄密性

.....

§ 4.2 厄密算符的本征值和本征函数

- (1) 算符的本征方程

第十一讲

.....

- (2) 算符的本征值和本征方程性质

§ 4.3 连续谱本征函数“归一化”

- (1) 连续谱本征函数“归一化”
- (2) δ 函数
- (3) 本征函数的封闭性

第十二讲

.....

§ 4.4 算符的共同本征函数

- (1) 算符“涨落”之间的关系
- (2) 算符的共同本征函数组
- (0) 角动量的共同本征函数组—球谐函数

第十三讲

.....

- (4) 力学量的完全集

§ 4.5 力学量平均值随时间的变化, 运动常数 (守恒量), 恩费斯脱理 (Ehrenfest Theorem)

- (1) 力学量的平均值, 随时间变化; 运动常数
- (2) Vivial Theorem 维里定理
- (3) 能量—时间测不准关系
- (4) 恩费斯脱定理 (Ehrenfest Theorem)

期中考查

第二章 变量可分离型的三维定态问题

§ 5.1 有心力

- (1) 不显含时间的 **Schrödinger** 方程解在 $r \rightarrow 0$ 的渐近行为
- (2) 三维自由粒子运动 第十四讲
-
- (3) 球方势阱 第十五讲
- (4) 氢原子
- (5) 类氢离子

§ 5.2 Hellmann—Feynman 定理 (海尔曼—费曼定理) 第十六讲

.....

§ 5.3 三维各向同性谐振子

- (1) 三维各向同性谐振子
- (2) 讨论

§ 5.4 带电粒子在外电磁场中的薛定谔方程, 恒定匀场中带电粒子运动

- (1) 带电粒子在外电磁场中的 **Schrödinger equation**
- (2) 正常塞曼效应 (Normal Zeeman Effect)
- (3) 带电粒子在均匀强磁场中的运动 第十七讲
- (4) 磁通量的量子化

.....

第三章 量子力学的矩阵形式及表示理论

§ 6.1 量子体系状态的表示

§ 6.2 Dirac 符号介绍

第十八讲

- (1) 量子态、Ket 矢, Bra 矢 (Bracket)
- (2) 标积

.....

- (3) 算符及其表示
- (4) 不可约张量算符的矩阵元计算简介
- (5) 投影算符

§ 6.3 表象变换, 么正变换 第十九讲

- (1) 同一状态在不同表象中的表示间的关系
- (2) 两表象的基矢之间关系
- (3) 力学量在不同表象中的矩阵表示之间的关系

	
(4) 幺正变换		
§ 6.4 平均值, 本征方程和 Schrodinger equation 的矩阵形式		
(1) 平均值		
(2) 本征方程		第二十讲
(3) Schrödinger equation		
	
§ 6.5 量子态的不同描述		
(1) Schrödinger Picture		
(2) Heisenberg Picture		
第七章 自旋		
§ 7.1 电子自旋存在的实验事实		第二十一讲
(1) Stern-Gerlach 实验		
(2) 电子自旋存在的其他证据		
	
§ 7.2 自旋—微观客体的一个动力学变量		
(1) 电子的自旋算符和它的矩阵表示		第二十二讲
(2) 考虑自旋后, 状态和力学量的描述		
	
(3) 考虑自旋后, 电子在中心势场中的薛定谔方程		
§ 7.3 碱金属的双线结构		
(1) 总角动量		
(2) 碱金属的双线结构		第二十三讲
§ 7.4 两自旋为1/2的粒子的自旋波函数		
(1) (S_{1z}, S_{2z}) 表象中两自旋为1/2的粒子的自旋波函数		
(2) (\hat{S}^2, \hat{S}_z) 表象中两自旋为1/2的粒子的自旋波函数		
(3) Bell 基		
	
§ 7.5 Einstein-Podolsky-Rosen 佯谬和 Bell 不等式		
(1) Einstein-Podolsky-Rosen 佯谬		
(2) Bell Inequalities		第二十四讲
§ 7.6 全同粒子交换不变性—波函数具有确定的交换对称性		
(1) 交换不变性		
(2) 全同粒子的波函数结构, 泡利原理		
	
(3) 全同粒子的交换不变性的后果		
第八章 量子力学中束缚态的近似方法		第二十五讲
§ 8.1 定态微扰论		
(1) 非简并能级的微扰论		
	

