

《量子力学》课程教学大纲

一、课程基本信息

英文名称	Quantum Mechanics	课程代码	PHYS3004
课程性质	专业必修课程	授课对象	物理学
学 分	4 学分	学 时	72 学时
主讲教师	周丽萍	修订日期	2021.9
指定教材	曾谨言,《量子力学教程》,科学出版社,2000年		

二、课程目标

(一) 总体目标:

本课程的知识目标:了解量子力学的实验基础和发展史、应用和前沿,及其对现代科学技术的支撑作用;系统掌握量子力学的基本概念、基本原理及处理量子系统实际问题的计算方法。能力目标:掌握微观体系的物理研究方法和前沿进展,提高解决交叉学科领域量子问题的能力,锤炼科学思维能力和科研创新能力。素质目标:掌握辩证唯物主义基本原理,建立科学的世界观和方法论;富有科学精神,勇于在物理学前沿及交叉领域探索、创新与攀登。

(二) 课程目标:

课程目标 1:了解量子力学的发展简史,量子力学理论发展中的著名物理实验及其地位和作用;了解量子力学的诠释及适用范围;了解量子力学实验和理论研究的前沿进展和应用前景;使学生认识到量子力学理论在现代科学研究领域的重要性,掌握辩证唯物主义基本原理,建立科学的世界观和方法论。

课程目标 2:掌握量子力学基本原理和基本计算方法,学会运用量子力学理论对一维定态若干问题,以及中心力场氢原子等问题的分析和处理;训练学生运用理论公式求解并分析量子系统的能力,培养和提高学生的抽象思维能力和解决交叉学科领域量子问题的能力。

课程目标 3:掌握定态微扰论的近似计算方法,掌握利用含时微扰理论处理近代物理实验量子跃迁等的方法,掌握自旋及全同粒子体系的处理方法;培养和提高学生对非精确求解、自旋纠缠态等复杂系统的求解能力,掌握对近似解的误差分析和数据处理等基本技能,锤炼科学思维能力和科研创新能力。

(三) 课程目标与毕业要求、课程内容的对应关系

表 1: 课程目标与课程内容、毕业要求的对应关系表

课程目标	对应课程内容	对应毕业要求
课程目标 1	第一章 波函数和薛定谔方程 第四章 中心力场 第六章 自旋与全同粒子 第七章 微扰论与量子跃迁	毕业要求 3: 了解物理学前沿和发展动态, 新技术中的物理思想, 熟悉物理学新发现、新理论、新技术对社会的影响。 毕业要求 8: 具有自主学习和终身学习意识和社会适应能力。
课程目标 2	第一章 波函数和薛定谔方程 第二章 一维势场中的粒子 第三章 力学量用算符表示 第四章 中心力场 第五章 量子力学矩阵表示	毕业要求 2: 掌握数学、物理相关的基础知识、基本物理实验方法和实验技能, 具有运用物理学理论和方法解决问题、解释或理解物理规律。 毕业要求 8: 具有自主学习和终身学习意识和社会适应能力。
课程目标 3	第五章 量子力学矩阵表示 第六章 自旋与全同粒子 第七章 微扰论与量子跃迁	毕业要求 2: 掌握数学、物理相关的基础知识、基本物理实验方法和实验技能, 具有运用物理学理论和方法解决问题、解释或理解物理规律。 毕业要求 7: 具有课题调研、设计、数据处理和学术交流能力。 毕业要求 8: 具有自主学习和终身学习意识和社会适应能力。

三、教学内容

第一章 波函数和薛定谔方程

1. 教学目标

本章要求学生掌握量子物理学的百年发展历程。掌握波函数的统计诠释; 不确定度关系; 力学量的平均值与算符的引进; 统计诠释对波函数的要求。薛定谔方程的引进; 定域

概率守恒；能量本征方程；定态和非定态；多粒子体系的薛定谔方程。态叠加原理，测量与波函数的塌缩。使学生认识到量子力学理论在现代科学研究领域的重要性，掌握辩证唯物主义基本原理，建立科学的世界观和方法论。

2. 教学重难点

波粒二象性；波函数的统计诠释；算符概念；薛定谔方程

3. 教学内容

第一节 波函数的统计诠释

一、波粒二象性

教学要点：掌握描述微观粒子运动状态的物理量；掌握波函数的性质，波函数的归一化，掌握波函数的概率解释；理解动量概率分布；初步理解不确定度关系；算符本征函数和本征值。

二、力学量的引进

教学要点：力学量平均值计算方法，力学量算符引进，掌握哈密顿算符的书写。

三、统计诠释对波函数的要求

教学要点：理解统计诠释对波函数提出的单值、有限、连续、平方可积等要求。

第二节 薛定谔方程

一、薛定谔方程的引进和讨论

教学要点：对比薛定谔方程与经典牛顿方程，掌握薛定谔方程的书写；基于薛定谔方程掌握概率流密度矢量，理解定域概率守恒定律。

二、能量本征方程

教学要点：了解能量本征方程，掌握定态概念，了解定态与非定态随时间变化的特点。

三、多粒子体系的薛定谔方程

教学要点：掌握多粒子体系的薛定谔方程的书写。

第三节 量子态叠加原理

一、量子态及其表象

教学要点：初步了解表象概念，了解坐标表象和动量表象及其变换方法。

二、量子态叠加原理

教学要点：了解态叠加原理；了解量子态的测量与波函数塌缩的现象。

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，翻转课堂，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

课后相应习题，补充习题，开放课题讨论“量子力学的测量内涵，塌缩的理解”，完成“观最强朋友圈合影，走进量子力学的黄金时代”小论文。

第二章 一维势场中的粒子

1. 教学目标

本章要求学生掌握一维势场中粒子能量本征态的一般性质；无限深方势阱，离散谱；有限深方势阱；方势垒的反射与透射；方势阱的反射、透射与共振；一维谐振子系统的求解。掌握微观体系的物理研究方法和前沿进展，熟悉物理学新发现、新理论、新技术对社会的影响。

2. 教学重难点

无限深方势与有限深方势的求解，奇偶宇称态的理解，厄密多项式，谐振子解的特点

3. 教学内容

第一节 一维势场中粒子能量本征态的一般性质

教学要点：掌握一维粒子能量本征态的共同特点，掌握宇称概念，理解几个重要定理。

第二节 方势

一、无限深方势与有限深方势

教学要点：掌握无限深方势的求解，了解能量量子化特点；理解有限深方势阱的奇偶宇称态；束缚态和离散谱概念。

二、方势垒的反射与透射

教学要点：了解方势垒的反射与透射；对比方势阱的反射、透射与共振。

第三节 一维谐振子

教学要点：了解一维谐振子的求解过程，掌握厄密多项式，掌握谐振子解的特点。

4. 教学方法

教师讲授，同伴教学，翻转课堂，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

课后相应习题，补充习题，开放课题讨论“势垒贯穿拓展，双势垒周期性势垒问题”，实践教学“连续波实验”。

第三章 力学量用算符表示

1. 教学目标

本章要求学生掌握算符运算规则；厄米算符的定义和特性；量子力学的基本对易式；厄米算符的本征值和本征函数；动量和角动量算符的表达及对易关系；算符的共同本征态，球谐函数；连续谱本征函数的归一化；守恒量与对称性的关系。科学思维方法的训练，掌握数学和物理相关的基础知识，运用物理学理论和方法解释或理解物理规律。

2. 教学重难点

算符概念，对易关系，量子力学本征方程的内涵，不确定度关系，共同本状态

3. 教学内容

第一节 算符的运算规则

教学要点：了解算符的概念和基本的运算规则；重点掌握厄米算符概念；掌握量子力学的基本对易式。

第二节 厄米算符的本征值与本征函数

教学要点：理解量子力学本征方程的内涵；掌握厄米算符本征值、本征函数的特点；掌握几个典型系统的本征方程的求解。

第三节 共同本征函数

一、不确定度关系的严格证明

教学要点：掌握不确定关系的严格证明并会应用。

二、共同本征态，球谐函数

教学要点：掌握角动量算符的对易关系，理解球谐函数的求解过程以及解的特点。

三、对易力学量完全集

教学要点：掌握力学量的完全集概念，了解几个常见量子系统的力学量对易守恒完全集。

第四节 力学量随时间的演化

教学要点：了解量子力学中力学量随时间演化的特点；掌握量子力学中守恒量的定义和特征；理解能级简并与守恒量的关系。

4. 教学方法

教师讲授，同伴教学，翻转课堂，实践教学，指导学生自主学习等

5. 教学评价

课后相应习题，补充习题，开放课题讨论“能量时间不确定关系的数学本质”，创新拓展课题“非平衡状态下所涌现的新奇物理现象”，量子实验课“拉比振荡”。

第四章 中心力场

1. 教学目标

本章要求学生掌握中心力场中粒子运动的一般性质；无限深球方势阱和三维各向同性谐振子；氢原子的求解与讨论。加强科学的方法论和科学思维方法等的训练。

2. 教学重难点

中心力场角动量守恒，两体问题转单体问题的研究方法，能量简并度的讨论

3. 教学内容

第一节 中心力场中粒子运动的一般性质

一、角动量守恒与径向方程

教学要点：掌握中心力场下角动量守恒性质，掌握径向方程的导出和求解。

二、两体问题化为单体问题

教学要点：理解两体问题转单体问题的研究方法；理解质心坐标和相对坐标的引入，掌握方程的转化。

第二节 无限深球方势阱和三维各向同性谐振子

教学要点：了解无限深球方势阱能量本征值和本征函数；掌握利用分离变量法求解三维各向同(异)性谐振子本征能级和本征波函数，会进行能量简并度的讨论。

第三节 氢原子

教学要点：了解氢原子的求解过程，理解能量本征态和本征函数的特点，包括能级简并度和电子在径向、角向概率分布规律。

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等

5. 教学评价

课后相应习题，补充习题，思考题等；开放课题讨论“力学量随时间的演化和对称性的关系讨论”，创新拓展课题“天问一号是否可以靠电磁力加速”。

第五章 量子力学矩阵表示

1. 教学目标

本章要求学生掌握量子态的不同表象以及幺正变换；力学量算符的矩阵表示；量子力学的矩阵表示，包括薛定谔方程、平均值方程和本征方程的矩阵形式；了解 Dirac 符号的使用。增强物理方法的训练，物理认知能力、抽象思维能力等的培养。

2. 教学重难点

量子态在不同表象下的描述，表象变换，无穷维函数空间的概念，Dirac 符号的书写运算。

3. 教学内容

第一节 量子态的不同表象

一、量子态和力学量的矩阵表示

教学要点：了解一个量子态在不同表象下的描述；了解无穷维函数空间的概念，以及在函数空间中量子态的矩阵表示。

二、量子力学的矩阵形式

教学要点：掌握薛定谔方程、平均值方程和本征方程的矩阵形式的导出和求解。

第二节 Dirac 符号

教学要点：掌握左矢右矢、对偶空间的概念；掌握 Dirac 符号的书写，以及基于 Dirac 符号的简单运算。

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

课后相应习题，补充习题，思考题等；创新拓展课题“一维扩展指南针模型”。

第六章 自旋与全同粒子

1. 教学目标

本章要求学生掌握电子自旋态和自旋算符；Pauli 矩阵；全同粒子体系的交换对称性；两个全同粒子组成体系；泡利原理；N 个全同粒子波函数；自旋单态和三重态；自旋纠缠态。培养和提高学生的抽象思维能力和解决前沿交叉学科领域量子问题的能力。

2. 教学重难点

电子自旋概念，全同性原理，自旋纠缠态概念

3. 教学内容

第一节 自旋

一、电子自旋态

教学要点：了解自旋假设的实验基础；理解电子自旋概念；掌握电子自旋态的描述，以及旋量波函数的书写。

二、自旋算符与 Pauli 矩阵

教学要点：掌握 Pauli 矩阵及其性质。

第二节 全同粒子体系

一、全同粒子体系的交换对称性

教学要点：掌握全同粒子概念，以及全同性原理；理解对称波函数和反对称波函数的概念；掌握 Fermi 子和 Bose 子概念。

二、N 个粒子组成的体系

教学要点：掌握两个全同粒子组成体系的波函数书写；掌握 N 个全同 Fermi 子和 Bose 子体系的波函数的书写。

第三节 自旋单态与三重态

教学要点：掌握两个电子自旋单态和三重态；了解自旋纠缠态概念。

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，实践教学，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

课后相应习题，补充习题，思考题等；创新拓展课题“贝尔不等式的实验验证”。

第七章 微扰论与量子跃迁

1. 教学目标

本章要求学生掌握定态微扰理论；量子跃迁；突发微扰和绝热微扰；周期微扰,有限时间内常微扰；能量-时间不确定度关系。培养和提高学生对非精确求解、自旋纠缠态等复杂系统的求解能力，掌握对近似解的误差分析和数据处理等基本技能，锤炼科学思维能力和科研创新能力。

2. 教学重难点

定态微扰理论，量子跃迁

3. 教学内容

第一节 微扰论

教学要点：了解几种近似方法；掌握定态微扰理论，会用微扰方法处理非简并和简并情况下的量子系统。

第二节 量子跃迁

教学要点：了解量子态随时间的演化规律；了解突发微扰和绝热微扰；周期微扰，以及有限时间内常微扰。

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

课后相应习题，补充习题，思考题等；创新拓展课题“一维周期场电子运动的模型和计算”。

四、学时分配

表 2: 各章节的具体内容和学时分配表

章节	章节内容	学时分配
第一章	波函数和薛定谔方程	14 学时
第二章	一维势场中的粒子	14 学时

第三章	力学量用算符表示	12 学时
第四章	中心力场	8 学时
第五章	量子力学矩阵表示	4 学时
第六章	自旋与全同粒子	8 学时
第七章	微扰论与量子跃迁	8 学时
全章节	复习	4 学时

五、教学进度

表 3：教学进度表

周次	日期	章节名称	内容提要	授课时数	作业及要求	备注
1	-	第一章	序言, 波函数的统计诠释; 实物粒子的波动性; 波粒二象性分析; 概率波, 多粒子体系的波函数	4	本章节练习题 1, 5; 补充习题	
2	-	第一章	态叠加原理; 动量分布概率; δ 函数概念及性质; 习题讲解; 傅立叶变换; 不确定性原理和确定度关系	4	本章节思考题; 补充习题	
3	-	第一章	力学量的平均值与算符的引进; 统计诠释对波函数的要求; 薛定谔方程的引进; 定域的概率守恒	4	本章节练习题 1, 2; 补充习题	
4	-	第一章 第二章	能量本征方程; 定态和非定态; 多粒子体系的薛定谔方程; 量子态测量; 一维势场中粒子能量本征方程	4	本章习题 1, 2, 3; 补充题	
5	-	第二章	一维势场的几个重要定理及推论的证明; 无限深方势阱的求解和讨论, 离散谱	4	本章习题 1, 2, 3, 4, 5; 补充习题	
6	-	第二章	有限深方势阱, 束缚态与离散态; 方势垒的反射与	4	本章习题 6, 13, 14;	

			透射;方势阱的反射、透射与共振		补充习题	
7	-	第二章	δ 势阱中的束缚态, δ 势与方势的关系;一维谐振子本征方程的求解;能量本征态的性质讨论	4	本章习题 7, 8, 9, 10 补充习题	
8	-	第三章	算符运算规则;厄米算符;动量和角动量算符;量子力学的基本对易式;厄米算符的平均值定理和推论	4	本章节练习题 1, 3, 4, 5; 本章习题 1, 2 补充习题	
9	-	第三章	厄米算符的本征值和本征函数;几个重要量子系统本征态的求解和讨论;不确定度关系的严格证明	4	本章节思考题;例题; 补充习题	
10	-	第三章	共同本征态, 球谐函数;不确定度关系的应用;对易力学量完全集;连续谱本征函数的归一化	4	本章习题 11, 12, 13, 14, 15, 16; 补充习题	
11	-	第四章	中心力场中粒子运动的一般性质;角动量守恒与径向方程;无限深球方势阱;三维各向同性谐振子	4	本章习题 11, 12 补充习题	
12	-	第四章	两体问题化为单体问题;氢原子能量本征方程的求解;氢原子本征态性质的讨论	4	本章习题 4, 5, 6 补充习题	
13	-	第五章	量子态的不同表象;幺正变换;力学量矩阵表示;量子力学矩阵表示;Dirac 符号	4	本章习题 1, 2, 7, 8 补充习题	
14	-	第六章	守恒量与对称性的关系;全同粒子体系的交换对称性;波函数的交换对称性;两个全同粒子组成体系;泡利原理, N 个全同粒子波函数	4	本章习题 2, 3 补充习题	
15	-	第六章	电子自旋态和自旋算符;PAULI 矩阵;自旋单态和三重态;自旋纠缠态;束缚态微扰论	4	本章节练习题 1, 2, 3 本章习题 1, 2, 3, 4	

					补充习题	
16	-	第七章	束缚态微扰理论; 非简并态微扰; 简并态微扰; 氢原子的 stark 效应	4	本章习题 1, 2, 3, 4, 5 补充习题	
17	-	第七章	量子跃迁; 量子态随时间的演化; 突发微扰和绝热微扰; 周期微扰, 有限时间内常微扰; 能量-时间不确定度关系	4	本章习题 1, 2, 3 补充习题	
18-19			复习 考试	4	全章节	

六、教材及参考书目

1. 《量子力学教程》，曾谨言，科学出版社，2014 年 1 月；
2. 《量子力学概论》(Introduction to Quantum Mechanics)，Griffiths, D.J., 机械工业出版社，2006 年 3 月；
- 3 《量子力学教程》，周世勋，陈灏，高等教育出版社，2009 年 6 月；
4. 《量子力学》，苏汝铿，高等教育出版社，2002 年 12 月。

七、教学方法

1. 充分发挥理论物理课程的育人作用，夯实数理基础，并注重科技前沿内容增添，与时俱进充实授课内容，将量子力学与固体物理、半导体等课程结合，关注交叉前沿的复杂量子模型系统，锤炼科学思维能力和科研创新能力。
2. 板书和 PPT 结合，兼取传统与现代化教学手段的优势；综合采用讲授、讨论、翻转课堂等教学方法和模式。
3. 基于量子计算教学机，补充量子实验教学；结合量子相关大创项目，拓展课内量子理论，通过专题研讨，查阅文献，小组合作撰写论文等训练，培养学生解决复杂问题的能力。
4. 信息化手段应用：信息化教学环境，结合线下课堂教学，使教学形式呈现互动性；例如采用雨课堂发放小测实时掌控教学效果；使用智慧树“知到”，协助课堂翻转、专题研讨等教学活动。

八、考核方式及评定方法

(一) 课程考核与课程目标的对应关系

表 4：课程考核与课程目标的对应关系表

课程目标	考核要点	考核方式
课程目标 1	相关教学内容	过程化考试+平时学习表现
课程目标 2	相关教学内容	过程化考试+平时学习表现
课程目标 3	相关教学内容	过程化考试+平时学习表现

(二) 评定方法

1. 评定方法

多元考核评价：从课堂到课外，从期末到过程化，从课内到项目式等。信息化 APP 导出课前课中课后学习数据+课外专题研讨及小论文+过程化闭卷考试；按权重计算总评成绩。

过程化考试 4-5 次，占 80%，平时成绩（作业、讨论等）20%。

2. 课程目标的考核占比与达成度分析

表 5：课程目标的考核占比与达成度分析表

考核占比 课程目标	平时	过程化考试	总评达成度
课程目标 1	20%	20%	课程目标 1 达成度= $\{0.2 \times$ 平时目标 1 成绩+ $0.8 \times$ 过程 化考试目标 1 成绩 $\} /$ 目标 1 总分。 课程目标 2 达成度= $\{0.2 \times$ 平时目标 2 成绩+ $0.8 \times$ 过程 化考试目标 2 成绩 $\} /$ 目标 2 总分。 课程目标 3 达成度= $\{0.2 \times$ 平时目标 3 成绩+ $0.8 \times$ 过程 化考试目标 3 成绩 $\} /$ 目标 3 总分。 总评达成度= $0.2 \times$ 课程目 标 1 的达成度+ $0.4 \times$ 课程目 标 2 的达成度+ $0.4 \times$ 课程目 标 3 的达成度
课程目标 2	40%	40%	
课程目标 3	40%	40%	

(三) 评分标准

课程 目标	评分标准				
	90-100	80-89	70-79	60-69	<60
	优	良	中	合格	不合格
	A	B	C	D	F
课程 目标 1	完全了解量子力学的发展简史，量子力学的诠释及适用范围，以及量子力学实验和理论研究的前沿进展和应用前景；充分认识到量子力学理论在现代科学研究领域的重要性；具有科学的世界观和方法论。	了解量子力学的发展简史，量子力学的诠释及适用范围，以及量子力学实验和理论研究的前沿进展和应用前景；认识到量子力学理论在现代科学研究领域的重要性；具有科学的世界观和方法论。	较好了解量子力学的发展简史，量子力学的诠释及适用范围，以及量子力学实验和理论研究的前沿进展和应用前景；初步认识到量子力学理论在现代科学研究领域的重要性；具有科学的世界观和方法论。	基本了解量子力学的发展简史，量子力学的诠释及适用范围，以及量子力学实验和理论研究的前沿进展和应用前景；初步认识到量子力学理论在现代科学研究领域的重要性；具有科学的世界观和方法论。	不了解量子力学的发展简史，量子力学的诠释及适用范围，以及量子力学实验和理论研究的前沿进展和应用前景；未能认识到量子力学理论在现代科学研究领域的重要性；没有形成科学的世界观和方法论。
课程 目标 2	完全掌握量子力学基本原理和基本计算方法，具有运用量子力学理论求解并分析量子系统的能力和解决交叉学科领域量子问题的能力；具有很好的抽象思维能力。	掌握量子力学基本原理和基本计算方法，具有运用量子力学理论求解并分析量子系统的能力和解决交叉学科领域量子问题的能力；具有抽象思维能力。	较好掌握量子力学基本原理和基本计算方法，具有运用量子力学理论求解并分析量子系统的能力和解决交叉学科领域量子问题的能力；具有一定的抽象思维能力。	基本掌握量子力学基本原理和基本计算方法，基本具有运用量子力学理论求解并分析量子系统的能力和解决交叉学科领域量子问题的能力；具有一定抽象思维能力。	未掌握量子力学基本原理和基本计算方法，不能运用量子力学理论求解并分析量子系统，不会解决交叉学科领域的量子问题；抽象思维能力差。
课程 目标 3	完全掌握定态微扰论的近似计算方法，含时微扰理论处理近代物理实验量子跃迁等的方法，以及自旋及全同粒子体系的处理方法等；很好的掌握	掌握定态微扰论的近似计算方法，含时微扰理论处理近代物理实验量子跃迁等的方法，以及自旋及全同粒子体系的处理方法等；掌握了对近似解的	较好掌握定态微扰论的近似计算方法，含时微扰理论处理近代物理实验量子跃迁等的方法，以及自旋及全同粒子体系的处理方法等；较	基本掌握定态微扰论的近似计算方法，含时微扰理论处理近代物理实验量子跃迁等的方法，以及自旋及全同粒子体系的处理方法	未能掌握定态微扰论的近似计算方法，含时微扰理论处理近代物理实验量子跃迁等的方法，以及自旋及全同粒子体系的处理方法

课程 目标	评分标准				
	90-100	80-89	70-79	60-69	<60
	优	良	中	合格	不合格
	A	B	C	D	F
	握了对近似解的误差分析和数据处理等基本技能，锤炼出科学思维能力和科研创新能力。	误差分析和数据处理等基本技能，锤炼出科学思维能力和科研创新能力。	好掌握了对近似解的误差分析和数据处理等基本技能，锤炼出科学思维能力和科研创新能力。	等；基本掌握了对近似解的误差分析和数据处理等基本技能，锤炼出一定科学思维能力和科研创新能力。	等；未掌握对近似解的误差分析和数据处理等基本技能，科学思维能力和科研创新能力没有提升。