

《原子物理学》课程教学大纲

一、课程基本信息

| | | | |
|------|--------------------------------|------|------------|
| 英文名称 | Atomic Physics | 课程代码 | PHYS2067 |
| 课程性质 | 大类基础课程 | 授课对象 | 物理学（师范） |
| 学 分 | 2 学分 | 学 时 | 36 学时 |
| 主讲教师 | 董裕力 | 修订日期 | 2022 年 3 月 |
| 指定教材 | 杨福家,《原子物理学》(第四版),高等教育出版社,2008. | | |

二、课程目标

(一) 总体目标:

本课程是物理师范教育专业的一门专业基础课,属普通物理课程。本课程以物质结构的第一个微观层次(原子)为研究对象,是联接经典物理和近代物理的一门承上启下的课程。在理论方法上,该课程揭露经典理论在原子这一微观层次遭遇到的困难,并且为了解决这些困难而引入量子力学,学生将在本课程中较为系统地学习到量子力学的基本概念、基本原理和方法。通过本课程的学习,学生将系统性地了解和掌握原子物理学的发展历史,获得有关原子的电子结构、性质及其与外场相互作用的系统性知识,为以后从事相关的教学工作和科学研究打下良好的基础。

教学过程中,通过引导学生以原子结构为中心,理解近现代物理学重要实验的物理思想,了解原子层次的物质结构与运动规律,建立微观世界中的物理图景,树立创新思维,掌握处理微观世界物理问题的基本方法。该课程作一门专业基础课程,一方面,有助于学生从经典物理学自然过渡到量子力学,能够很好地利用所学知识解释微观世界中的物理现象,形成良好的物理学科学思想与科学思维,为随后在量子力学的学习中打好坚实的基础;另一方面,课程科学性强、知识点丰富、人文精神底蕴深厚,是开展“课程思政”的载体建设的良好载体。授课过程中,通过深入挖掘“原子物理学”中物理模型、经典实验以及科学家典故,能够使学生牢固树立正确的人生观、世界观和价值观,有助于培养其攻坚克难、勇攀高峰的科学家精神和胸怀祖国、情系人民的情怀与品质,从而自然地发挥思政教育资源与功能。

(二) 课程目标:

课程目标 1: 使学生初步了解并掌握原子的结构和运动规律,了解物质世界的原子特性,原子层次的基本相互作用,诸如电子的运动规律、原子的量子理论、电子的量子角动量和量子磁矩、原子辐射规律和原子光谱、X 射线产生机制、原子核的组成以及核衰变、核反应等,为今后继续学习量子力学、固体物理学、近代物理实验等课程打下坚实基础。

课程目标 2: 在学习原子物理学的过程中引导学生联系前期课程知识点,并且进一步学

会近代物理的研究方法，提高其分析问题和解决问题的能力。了解原子物理的实验方法及具体应用，提高学生科学研究的素质。引导学生适当自学，养成良好的自学习惯和能力，通过一些小课题的布置，培养学生的自学能力。通过探究式教学，锻炼学生的科学探究和创新能力。

课程目标 3: 通过重大科学发现过程的讲授和科学家生平事迹的介绍，特别是部分中国科学家的事迹，使学生树立辩证唯物主义世界观，培养学生爱国情怀。介绍原子物理学的前沿知识，使学生了解并适当涉及一些课外的学科前沿，扩大视野，引导学生勇于思考、乐于探索发现，培养良好的科学素质。

(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（及对应关系说明） | |
|--------|--|---|---|
| 课程目标 1 | 第 0 章 绪论 第一章 原子的位形 第二章 原子的量子态 第三章 量子力学导论 第四章 原子的精细结构 第五章 多电子原子 第六章 X 射线 第七章 原子核物理概论 | 3-1 理解物理知识体系与结构、基本原理 3-2 掌握物理学发展的过程与研究方法 | 系统掌握原子物理学的基础知识，掌握原子物理学基础的研究方法。理解微观世界中抽象的物理图像，理解并掌握原子的结构和运动规律，理解微观领域物理量的量子化规律，逐步理解微观领域的研究方法。 |
| 课程目标 2 | 第 0 章 绪论 第一章 原子的位形 第二章 原子的量子态 第三章 量子力学导论 第四章 原子的精细结构 第五章 多电子原子 第六章 X 射线 第七章 原子核物理概论 | 6-2 重视物理教学的教育功能，结合具体的物理内容进行爱国主义、辩证唯物主义 | 在掌握力学的基础知识和研究方法的基础上，根据实际的物理问题，或者实验中观测到的物理现象，构建正确的物理模型，并通过掌握的数学工具解决原子物理中的问题，培养学生良好的科学素养。 |
| 课程目标 3 | 第一章 原子的位形 第三章 量子力学导论 第六章 X 射线 第七章 原子核物理概论 | | 将科研前沿引入课堂，使学生了解原子物理、量子力学和量子多体理论的研究现状和发展前景，使学生具备更丰富的知识储备；介绍原子物理学的发展历史，介绍中国科学 |

| | | | |
|--|--|----|---|
| | | 教育 | 家在该领域的贡献，特别是两弹一星元勋王淦昌院士等人的事迹，激发学生爱国热情，以及树立辩证唯物主义。 |
|--|--|----|---|

三、课程教学内容

第 0 章 绪论

1. 教学目标

了解课程的研究领域，介绍原子物理发展历史，并介绍显微镜等相关前沿知识。

2. 教学重难点

电子显微镜的工作原理。

3. 教学内容

物理学史，原子物理学发展史的介绍，该学科与其他学科之间的联系。了解目前人类掌握的对微观世界观测技术。

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论等

5. 教学评价

课后相应习题、补充习题

第一章 原子的位形

1. 教学目标

了解电子发现的过程，原子模型的构建，熟悉原子内部尺寸大小的量级，掌握卢瑟福提出的原子核式结构模型，熟练掌握卢瑟福散射公式。

思政元素：授课过程中将玻尔模型的提出过程放在了当时关于原子结构“百花齐放、百家争鸣”式的大背景中，以汤姆逊、卢瑟福、玻尔、索末菲等物理学家从理论与实验方面研究原子结构的时间主线进行教学，穿插介绍原子结构研究的历史背景，引导学生身临其境了解物理学家在解决问题时的心路历程、实践经验及辩证唯物主义的思维方式，培养学生审慎严谨、信实创新的科学态度。

2. 教学重难点

卢瑟福散射公式的理解和应用

3. 教学内容

3.1 背景知识

电子发现的历史，电子的电荷和质量

3.2 卢瑟福模型的提出

通过 α 粒子大角度散射实验，引入卢瑟福提出的原子核式结构模型

3.3 卢瑟福公式

库仑散射公式的推导，卢瑟福公式的推导以及实验验证

3.4 行星模型的意义及困难

原子核式模型的意义和不足之处

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论等

5. 教学评价

课后相应习题、补充习题

第二章 原子的量子态

1. 教学目标

了解量子理论建立的物理学史，掌握原子的玻尔模型，熟悉光谱理论。

思政元素：以氢原子能级跃迁为例，只有坚定信心朝着一个方向持续不断地努力（吸收能量），才能在某一时刻从人生低谷的“基态”跃迁到达更高的平台（获得确定的能量，实现基态向激发态的跃迁）。讲授玻尔模型所解决的原子结构关键科学问题和采用的开创性方法；从玻尔理论产生的背景以及玻尔的科学家精神入手，引导学生掌握该模型的科学内涵，领悟科学探究方法，学会自主探究学习。

2. 教学重难点

光谱理论的经验公式，弗兰克-赫兹实验的物理解释

3. 教学内容

3.1 背景知识

量子假设的两个根据：黑体辐射和光电效应；光谱介绍

3.2 玻尔模型

玻尔提出的三个假设，构建的玻尔模型

3.3 实验验证

氢光谱、类氢光谱；弗兰克-赫兹实验

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论等

5. 教学评价

课后相应习题、补充习题

第三章 量子力学导论

1. 教学目标

掌握德布罗意关系；掌握不确定关系的物理意义和应用；初步了解薛定谔方程。

思政元素：通过介绍德布罗意，普朗克等科学家开创性的发现，让学生了解科学观念的颠覆和新开创性思想的建立需要非常大的勇气，也说明科学发展中革新的不易。

2. 教学重难点

波函数的统计解释，薛定谔方程的推导和其在氢原子模型中的应用

3. 教学内容

3.1 波粒二象性

光的波粒二象性；德布罗意的推广得到的德布罗意关系；实验验证

3.2 不确定关系

不确定关系的两种表述和导出；应用举例

3.3 薛定谔方程

波函数的引入和统计解释；薛定谔方程的建立和应用

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论等

5. 教学评价

课后相应习题、补充习题

第四章 原子的精细结构

1. 教学目标

正确理解自旋概念，掌握自旋-轨道耦合关系，利用电子自旋解释碱金属双线、塞曼效

应等实验现象。

思政元素：乌伦贝克与古兹密特提出电子的自旋概念，论文被洛伦兹在经典理论框架下给予否定。随后这一理论被斯特恩-盖拉赫实验证实，解决了反常塞曼效应和原子的精细结构。启发学生科学不能迷信权威，需要怀疑和批判精神、独立思考的能力，这是科学不断前进的动力。

2. 教学重难点

自旋-轨道耦合方式，朗德 g 因子的计算，原子精细结构的定量计算

3. 教学内容

3.1 原子中电子轨道运动的磁矩

经典表示，量子表示，角动量取向量子化

3.2 电子自旋的假设

斯特恩-盖拉赫实验的实验现象；电子自旋假设的提出，对斯特恩-盖拉赫实验的解释

3.3 原子能级的精细结构

碱金属双线，塞曼效应，塞曼谱线的偏振特性

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论等

5. 教学评价

课后相应习题、补充习题

第五章 多电子原子

1. 教学目标

掌握氦原子光谱和能级；掌握电子组态，及其到原子态的转化；熟练掌握电子的 L-S 耦合，泡利不相容原理；电子填充壳层的次序，原子基态的表征。

思政元素：从门捷列夫提出元素周期表，到泡利不相容原理的提出，从物理的角度解释了元素的周期性质，体现学科融合，培养学生打破固有思维，勇于创新的精神。

2. 教学重难点

角动量耦合法则，L-S 耦合的计算

3. 教学内容

3.1 氦的光谱和能级

氦光谱的单重态和三重态结构

3.2 两个电子的耦合

电子组态, L-S 耦合和 j-j 耦合, 选择定则, 从电子组态到原子态

3.3 泡利不相容原理

历史回顾, 不相容原理的叙述和应用

3.4 元素周期表

元素性质的周期性, 壳层中电子的数目和填充次序, 原子基态

4. 教学方法

教师讲授, 师生讨论等

5. 教学评价

课后相应习题、补充习题

第六章 X 射线

1. 教学目标

了解 X 射线的发现过程, 以及其应用; 掌握 X 射线的产生机制; 掌握康普顿散射公式
思政元素: 介绍我国科学家吴有训在发现和研究康普顿效应中做出的杰出贡献, 培养学生不断探索、坚持真理精神, 培养学生创新品格, 提升文化自信。

2. 教学重难点

X 射线发射谱的两种特征, 连续谱和特征辐射的理解

3. 教学内容

3.1 X 射线的发现及其波动性

X 射线的发现, X 射线管结构, X 射线的波动性

3.2 X 射线产生机制和吸收

X 射线发射谱, 连续谱和特征辐射的物理解释, 特征辐射的标记方法, X 射线的吸收

3.3 康普顿散射

康普顿散射的量子解释, 康普顿散射公式

4. 教学方法

教师讲授, 师生讨论等

5. 教学评价

课后相应习题、补充习题

第七章 原子核物理概论

1. 教学目标

了解原子核的组成，核素图；了解原子核的几个基态特性，了解 α 衰变， β 衰变和 γ 衰变

思政元素：结合原子核章节的知识点，讲好我国“两弹一星”科学家的感人故事，使同学们深深牢记邓稼先、钱学森、郭永怀等科学家的名字，向他们学习，从而端正价值取向，培养集体主义精神，拥有爱国情怀。

2. 教学重难点

放射性衰变的指数衰变律，中微子理论

3. 教学内容

3.1 原子核物理基本概念

原子核的物理学史及其组成，核的几个基本特征

3.2 放射性衰变

指数衰减律，平均寿命， α 衰变， β 衰变和 γ 衰变

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论等

5. 教学评价

课后相应习题、补充习题

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 0 章 | 绪论 | 2 学时 |
| 第一章 | 原子的位形 | 4 学时 |
| 第二章 | 原子的量子态 | 4 学时 |
| 第三章 | 量子力学导论 | 6 学时 |
| 第四章 | 原子的精细结构 | 6 学时 |
| 第五章 | 多电子原子 | 6 学时 |

| | | |
|-----|---------|------|
| 第六章 | X 射线 | 6 学时 |
| 第七章 | 原子核物理概论 | 2 学时 |

五、教学进度表

表 3：教学进度表

| 周次 | 章节名称 | 内容提要 | 授课时数 | 作业及要求 | 备注 |
|----|------|-----------------------------|------|--|----|
| 1 | 第〇章 | 原子物理学史 前沿知识介绍 | 2 | 了解学科概况 | |
| 2 | 第一章 | 原子核式结构 | 2 | 课后习题：1、2、4、 6、8、9、10，补充习题 掌握卢瑟福散射公式 | |
| 3 | 第一章 | 卢瑟福散射公式 | 2 | | |
| 4 | 第二章 | 量子假设提出背景 黑体辐射，光电效应，光谱 | 2 | 课后习题：2、3、4、 5、6、9、10、12、14， 补充习题 掌握光电效应方程，里 德伯公式，原子能级计 算 | |
| 5 | 第二章 | 玻尔模型 弗兰克-赫兹实验 | 2 | | |
| 6 | 第三章 | 波粒二象性 德布罗意关系 | 2 | 课后习题：1、2、3、 4、6、7、8、10、12、 15，补充习题 掌握德布罗意公式，不 确定关系，波函数统计 解释，薛定谔方程求解 | |
| 7 | 第三章 | 波函数及其统计解释 平均值与算符 | 2 | | |
| 8 | 第三章 | 薛定谔方程推导 薛定谔方程求解 氢原子求解 | 2 | | |
| 9 | 第四章 | 电子磁矩 施特恩-盖拉赫实验 | 2 | | |

| | | | | |
|----|-----|--------------------------|---|---|
| 10 | 第四章 | 电子自旋 碱金属双线 | 2 | 课后习题：1、2、4、5、6、7、8、10、11、12，补充习题 |
| 11 | 第四章 | 塞曼效应 | 2 | 掌握电子在梯度变化磁场中偏转的计算，电子自旋引起的精细结构计算 |
| 12 | 第五章 | 氦的光谱 电子组态 | 2 | 课后习题：1、2、3、5、7、8、10、11、12，补充习题 |
| 13 | 第五章 | 两个电子的耦合 泡利不相容原理 | 2 | 掌握电子L-S耦合，电子组态到基态的表述，壳层电子填充规律 |
| 14 | 第五章 | 元素周期表 | 2 | |
| 15 | 第六章 | X射线发现 X射线管结构 | 2 | 课后习题：1、2、5、6、7、8、9，补充习题 |
| 16 | 第六章 | X射线产生机制 | 2 | 掌握 K_{α} -X射线经验公式，掌握康普顿散射公式 |
| 17 | 第六章 | 康普顿散射 | 2 | |
| 18 | 第七章 | 原子核基本特征 指数衰变率 三种衰变 | 2 | 课后习题：1、2、4、5，补充习题 掌握结合能和比结合能，半衰期、平均寿命的计算 |

六、教材及参考书目

教材：

杨福家，《原子物理学》（第四版），高等教育出版社，2008.

参考书目：

1. 威切特. 量子物理学. 科学出版社, 1979.
2. 凯格纳克. 近代原子物理学, 科学出版社, 1980.
3. 卡普路斯. 原子与分子. 科学出版社, 1986.
4. 韦斯科夫. 二十世纪物理学. 科学出版社, 1979.

5. 费米夫人. 原子在我家中. 科学出版社, 1979.
6. 戈革. 尼尔斯·玻尔. 上海人民出版社, 1985.
7. 王福山. 近代物理学史研究 (一) (1983), (二) (1986). 复旦大学出版社.
8. 朱林繁, 彭新华. 原子物理学, 中国科学技术大学出版社, 2017.

七、教学方法

本课程综合运用自学指导式、启发式、探究式、讨论式、自主合作式等多种教学方法进行教学。使学生掌握科学的学习方法, 真正达到从学会到会学。课堂讲授与讨论相结合、课堂练习与课后作业相结合、理论分析与演示实验相结合。对于重点、难点可通过分散、讨论、演示实验、多媒体资料、撰写小论文等多种方式的综合运用予以解决。在讲授过程中, 可按“提出问题, 突出主干, 理顺思路, 启发引导, 总结规律, 举一反三”的原则安排内容, 主要采用启发式教学, 注意激发学生的学习兴趣。例如, 原子位形这部分内容, 以科学史上对原子结构的各种模型提出为线索, 激发学生对物理理论研究过程中的逐步更新修正有更为深刻的了解。在量子力学导论部分, 利用多媒体手段, 再引入最新的科研动态, 以更为生动有趣的形式展示给学生, 扩大学生的视野, 使学生的知识不仅仅局限在教材里面, 激发学生对新的课题、新的研究方向产生更浓厚的兴趣, 从而培养学生有较强的独立思考能力和创造能力, 较快进入科学发展的前沿, 养成辩证唯物主义的世界观和方法论。

八、考核及成绩评定方式

(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 | 期中、期末考试+平时学习表现 |
| 课程目标 2 | 相关教学内容 | 期中、期末考试+平时学习表现 |
| 课程目标 3 | 相关教学内容 | 期中、期末考试+平时学习表现 |

(二) 评定方法

平时成绩 (作业、讨论等) 20%, 期中考试, 占 30%, 期末考试, 占 50%。

(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 | 完全掌握该课程的基础知识，完全理解原子的结构、基本相互作用和运动规律，灵活运用所学知识解决问题。 | 熟练掌握该课程的基础知识，完全理解原子的结构、基本相互作用和运动规律，可以灵活运用所学知识解决问题。 | 基本掌握该课程的基础知识，基本理解原子的结构、基本相互作用和运动规律，可以运用所学知识解决问题。 | 基本掌握该课程的基础知识，了解原子的结构、基本相互作用和运动规律，一定程度上可以运用所学知识解决问题。 | 该课程的基础知识掌握不透彻，没有理解原子的结构、基本相互作用和运动规律，运用所学知识解决问题能力较弱。 |
| 课程 目标 2 | 在掌握基本原理的基础上，进一步构建正确的物理模型，并能够灵活应用各种数学工具处理实际问题。熟悉各个原子物理实验揭示的物理本质。 | 在掌握基本原理的基础上，可以进一步构建正确的物理模型，并能够灵活应用各种数学工具处理实际问题。基本熟悉各个原子物理实验揭示的物理本质。 | 在掌握基本原理的基础上，可以构建正确的物理模型，并能够较好的应用各种数学工具处理实际问题。基本熟悉各个原子物理实验揭示的物理本质。 | 在掌握基本原理的基础上，可以构建正确的物理模型，并能够恰当地应用各种数学工具处理实际问题。基本了解各个原子物理实验揭示的物理本质。 | 在掌握基本原理的基础上，构建正确的物理模型，并能够恰当地应用各种数学工具处理实际问题的能量较弱。基本了解各个原子物理实验揭示的物理本质。 |
| 课程 目标 3 | 熟悉原子物理学发展史，熟悉我国在相关领域取得的成就，具备较好的探索精神和科学素养。 | 熟悉原子物理学发展史，了解我国在相关领域取得的成就，具备良好的探索精神和科学素养。 | 了解原子物理学发展史，了解我国在相关领域取得的成就，具备一定的探索精神和科学素养。 | 基本了解原子物理学发展史，基本了解我国在相关领域取得的成就，具备一定的探索精神和科学素养。 | 基本了解原子物理学发展史，以及我国在相关领域取得的成就，探索精神和科学素养有所欠缺。 |