

《理论力学》课程教学大纲

一、课程基本信息

英文名称	Classical Mechanics	课程代码	PHYS3013
课程性质	专业必修课程	授课对象	物理学
学 分	3 学分	学 时	54 学时
主讲教师	许彬	修订日期	2021. 9
指定教材	周衍柏,《理论力学教程》第四版, 高等教育出版社, 2018 年		

二、课程目标

(一) 总体目标:

本课程的知识目标: 了解理论力学的发展史、相关物理定律和适用范围, 及其在现代物理理论中的作用和地位; 系统掌握理论力学的基本概念、基本原理及处理质点、质点组、刚体等系统的方法。能力目标: 掌握宏观机械运动的基本规律, 提高解决多自由度力学体系的运动问题的能力, 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; 学习借助严密的数学工具, 进行由表及里、由现象到本质的推理过程。

(二) 课程目标:

课程目标 1: 了解理论力学的发展简史, 力学理论发展中的著名科学家及其发现; 了解经典力学的适用范围; 使学生认识到经典力学在解决工程技术问题, 在人造地球卫星、火箭和宇宙航行等先进科技发展中的重要作用, 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: 掌握牛顿力学的内容, 能用牛顿力学解决简单的物理问题; 学会运用牛顿运动学、动力学和守恒定律分析和处理质点、质点组、刚体等不同力学系统的具体问题; 训练学生运用物理定律和数学公式分析并求解力学系统的能力, 培养和提高学生的抽象思维能力和解决静力学和动力学问题的能力。

课程目标 3: 掌握分析力学处理力学问题的方法, 重点掌握约束的概念和分类、广义坐标、虚功原理和拉格朗日方程, 特别是保守系的拉格朗日方程; 掌握哈密顿力学的基本概念包括哈密顿正则方程、泊松括号、最小作用量原理和正则变换; 初步了解力学理论的发展进程, 及其作为统计物理、量子力学、场论等课程的基础, 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 质点力学 第二章 质点系力学 第四章 分析力学一（拉格朗日力学） 第五章 分析力学二（哈密顿力学）	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 质点力学 第二章 质点系力学 第三章 刚体力学	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。
课程目标 3	第四章 分析力学一（拉格朗日力学） 第五章 分析力学二（哈密顿力学）	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 质点力学

1. 教学目标

本章要求学生了解理论力学的发展简史，力学理论发展中的著名科学家及其发现；掌握处理质点运动的数学方法；能合理的选择坐标系；掌握建立和求解质点动力学微分方程的方法，具备分析问题，建立坐标，求解方程，分析结果的能力；掌握动量定理，动量矩定理，机械能，保守力和势能等重要概念；使学生认识到经典力学在解决工程技术问题，在人造地球卫星、火箭和宇宙航行等先进科技发展中的重要作用，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

曲线坐标系和自然坐标系；非惯性系；动量定理；动量矩定理；动能定理；有心力

3. 教学内容

第一节 运动的描述方法

教学要点：理解参考系和坐标系的概念；理解质点、位移、速度和加速度的概念；。

第二节 速度、加速度的分量表达式

教学要点：掌握直角坐标系和极坐标系中的位移、速度和加速度的表达式；掌握自然坐标系下的速度和加速度表达式。

第三节 平动参考系

教学要点：掌握平动参考系下绝对速度、相对速度与牵连速度之间的关系；掌握平动参考系下绝对加速度、相对加速度与牵连加速度之间的关系。

第四节 质点运动定律

教学要点：理解力学相对性原理；掌握牛顿运动定律；理解惯性系和非惯性系。

第五节 质点运动微分方程

教学要点：掌握直角坐标系、极坐标系和自然坐标系下的牛顿运动微分方程；理解约束、主动力、被动力的概念；掌握一般的求解运动微分方程的方法。

第六节 非惯性系动力学

教学要点：掌握惯性力的概念；能够在匀加速度的非惯性系中求解运动方程。

第七节 功与能

教学要点：掌握功和功率，机械能、动能和势能，保守力、非保守力和耗散力的概念；掌握一个力为保守力的充要条件。

第八节 质点动力学的基本定理与基本守恒定律

教学要点：掌握动量定理与动量守恒定律；理解力矩与动量矩(角动量)的概念；掌握动量矩定理与动量矩守恒定律；掌握动能定理与机械能守恒定律；理解势能曲线

第九节 有心力

教学要点：理解什么是有心力；推导并掌握比奈公式；能够求解比奈公式并理解三种轨道和能量之间的关系；理解开普勒三定律；能够推导第一、第二和第三宇宙速度；了解圆轨道的稳定性；了解平方反比斥力下的散射问题，了解散射截面的概念。

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“从开普勒定律到牛顿定律”。

第二章 质点系力学

1. 教学目标

本章要求学生学会分析内力和外力，掌握质心的计算方法，特别是连续体的质心计算；掌握质点组动力学的基本定理，明确质心在质点组力学中的作用和地位；掌握动量矩定理在质点组力学中的重要性；掌握计算动量矩和力矩的方法；能应用这些方法解决理论问题。

2. 教学重难点

质点组的内力和外力，质心；科尼希定理，对质心的动能定理；两体问题，折合质量，及变质量问题

3. 教学内容

第一节 质点系

教学要点：理解质点和质点系的区别；理解质点系的内力和外力的概念；掌握质心的概念；能够求解简单物体的质心。

第二节 动量定理与动量守恒定律

教学要点：掌握质点系的动量定理、质心定理和动量守恒定律；能够应用这些定律解决简单问题。

第三节 动量矩定理与动量矩守恒定律

教学要点：推导并掌握质点系对定点和对质心的动量矩定理；掌握动量矩守恒定律；能够应用这些定律解决简单问题。

第四节 动能定理与机械能守恒定律

教学要点：推导并掌握质点系的动能定理；理解保守力做功与机械能守恒之间的关系；掌握柯尼希定理。

第五节 两体问题

教学要点：掌握两体问题的求解方法，掌握质心系下行星对太阳的相对运动方程以及折合质量的概念；了解基于两体运动对开普勒第三定律的修正；掌握对心碰撞问题的求解。

第六节 质心坐标系与实验室坐标系

教学要点：以 α 粒子散射为例，理解质心坐标系与实验室坐标系；理解散射过程中的能量传递。

第七节 变质量物体的运动

教学要点：掌握变质量物体的运动方程；能够求解简单的变质量问题。

第八节 位力定理

教学要点：了解位力定理。

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，开放课题讨论“从两体到三体”。

第三章 刚体力学

1. 教学目标

本章要求学生学会描述刚体运动的自由度，独立角量，欧拉角；掌握刚体运动的微分方程，刚体平衡方程及相应的解题能力，掌握转动惯量，惯量张量，惯量主轴的概念和计算。重点掌握刚体的平面平行运动和定轴转动，掌握刚体活动坐标系的方法。训练科学思维，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

描述刚体的独立变量，欧拉角；角速度矢量；转动惯量；平面平行运动；定轴转动

3. 教学内容

第一节 刚体运动的分析

教学要点：理解刚体运动的分类和相应的自由度。

第二节 角速度矢量

教学要点：理解有限转动和无限小转动作为矢量的区别；理解角速度和角加速度矢量。

第三节 欧拉角

教学要点：了解欧拉角的概念；理解欧拉运动学方程。

第四节 刚体运动方程与平衡方程

教学要点：掌握力系的简化，理解力的可传性原理、力偶、简化中心、主矩等概念。

第五节 转动惯量

教学要点：掌握转动惯量的概念；掌握平行轴定理；能够求解典型刚体的转动惯量；了解惯量张量的概念。

第六节 刚体的平动与绕固定轴的转动

教学要点：掌握刚体的平动和定轴转动，能够求解简单问题；。

第七节 刚体的平面平行运动

教学要点：掌握平面平行运动中基点的概念，能够求解做平面平行运动刚体任一点的速度和加速度；掌握转动瞬心的概念，理解空间极迹和本体极迹；重点掌握无滚动摩擦运动。

第八节 刚体绕固定点的转动

教学要点：理解定点转动和定轴转动的区别，理解转动瞬轴的概念；能够求解做定点转动刚体上任一点的速度和加速度；理解欧拉动力学方程。

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，开放课题讨论“为什么旋转的陀螺可以不倒？”。

第四章 分析力学一（拉格朗日力学）

1. 教学目标

本章要求学生明确约束的分类，广义坐标，广义力的概念；掌握解决平衡问题的虚功原理；掌握拉格朗日方程，能应用这个方程解决物理问题；比较拉格朗日方程和牛顿方程的优点和缺点；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

广义坐标；虚功原理；达朗伯原理，广义力，拉格朗日方程

3. 教学内容

第一节 约束与广义坐标

教学要点：掌握约束的概念和分类；掌握自由度的概念，理解广义坐标。

第二节 虚功原理

教学要点：理解实位移和虚位移的区别；掌握虚功原理的推导过程，能够应用虚功原理解决平衡问题；了解拉格朗日未定乘数法解决约束力问题。

第三节 拉格朗日方程

教学要点：理解达朗贝尔原理和拉格朗日方程的推导过程；能够应用保守系的拉格朗日方程以及循环积分解决动力学问题。

第四节 小振动

教学要点：掌握利用拉格朗日方程求解多自由度小振动系统的过程，理解简正坐标的概念。

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“有了牛顿力学为什么还需要分析力学？”。

第五章 分析力学二（哈密顿力学）

1. 教学目标

本章要求学生掌握哈密顿函数，哈密顿正则方程，正则变量、泊松括号和泊松定理等概念；了解哈密顿原理的重要性和正则变换；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

勒让德变换；哈密顿正则方程；泊松括号；哈密顿原理；正则变换

3. 教学内容

第一节 哈密顿正则方程

教学要点：掌握勒让德变换的数学形式；掌握哈密顿量的概念和正则方程的推导过程；能够应用正则方程求解动力学问题。

第二节 泊松括号与泊松定理

教学要点：掌握泊松括号的定义和性质，掌握泊松定理。

第三节 哈密顿原理

教学要点：了解变分法和哈密顿原理，了解从哈密顿原理到正则方程的推导过程。

第四节 正则变换

教学要点：了解正则变换的目的和条件；理解四种形式的正则变换；理解母函数的概念；能够利用正则变换求解简单问题。

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。

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	质点力学	10 学时

第二章	质点组力学	8 学时
第三章	刚体力学	10 学时
第四章	分析力学一（拉格朗日力学）	10 学时
第五章	分析力学二（哈密顿力学）	8 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	绪论：理论力学的研究内容、分类、研究方法和发展史；经典力学的适用范围；运动的描述方法：参照系和坐标系，质点运动学方程	3	本章节练习题 2, 3, 4, 6； 补充习题	
2	-	第一章	曲线坐标系和自然坐标系中的速度，加速度； 牛顿定律；运动的相对性原理；质点动力学方程； 平动参照系	3	本章节练习题 10, 11, 15, 16, 19, 24, 31； 补充习题	
3	-	第一章	非惯性系，惯性力；动量定理；动量矩定理； 动能定理，机械能，保守力和势能	3	本章节练习题 26, 32, 35, 36, 38； 补充习题	
4	-	第一章	有心力，平方反比力，行星轨道运动	3	本章习题 44, 45, 48； 补充题	
5	-	第二章	质点组的内力和外力，质心； 动量定理，质心运动定理， 动量守恒定律	3	本章习题 1, 3, 4, 5； 补充习题	

6	-	第二章	动量矩定理，动量矩守恒定理；动能定理，机械能守恒定律，科尼希定理，对质心的动能定理	3	本章习题 12， 13，14； 补充习题	
7	-	第二章	两体问题，折合质量，及变质量问题	3	本章习题 16， 17，18； 补充习题	
8	-	第三章	描述刚体的独立变量，欧拉角，刚体运动的分类	3	本章节练习题 1，2，5； 补充习题	
9	-	第三章	角速度矢量；刚体的动能，动量矩，转动惯量，惯量张量，惯量主轴	3	本章节练习题 6，8，11； 补充习题	
10	-	第三章	刚体的平动，定轴转动	3	本章习题 18， 20； 补充习题	
11	-	第三章 第四章	定点转动；约束的分类，广义坐标	3	本章习题 31， 32； 补充习题	
12	-	第四章	虚功原理；达朗伯原理，广义力，拉格朗日方程	3	本章习题 1， 2，3； 补充习题	
13	-	第四章	保守力体系的拉格朗日方程，拉格朗日函数，能量积分和循环积分	3	本章习题 6， 8，9； 补充习题	
14	-	第四章	拉格朗日方程的应用，小振动	3	本章习题 2, 3 补充习题	
15	-	第五章	哈密顿函数，勒让德变换；哈密顿正则方程，正则变量	3	本章习题 20， 21，23； 补充习题	

16	-	第五章	哈密顿方程的应用和系统的哈密顿量；泊松括号	3	本章习题 25, 26; 补充习题	
17	-	第五章	哈密顿原理；正则变换	3	本章习题 30, 31; 补充习题	

六、教材及参考书目

1. 《Classical Mechanics》，Goldstein, Pool & Safko, Pearson, 2001 Third Edition;
2. 《力学》（上，下），梁昆淼，高等教育出版社，1981；
3. 《力学与理论力学》，秦敢、向守平，科学出版社，2017 第二版；
4. 《Classical Mechanics》，Kibble & Berkshire, 世界图书出版社，2004 Fifth Edition。

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，并注重科学史内容增添，充实授课内容，结合理论力学与统计力学、量子力学的关系，关注物理学科的发展过程和内在规律，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. 注重师生的教学互动。在讲解中，通过提问的方式，引导学生的注意力，启发学生的学习兴趣和思考能力。将抽象理论具体化，通过合适的物理问题加以讲解。
4. 注重解题能力的训练。通过课上例题讲解、完成作业、作业题课上讲解、习题课等多种形式，培养学生应用所学知识的解题能力。鼓励学生之间在课后自愿形成学习小组，通过讨论的形式解决课上和作业中的疑难问题，加深对所学内容的理解。

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	考试+平时学习表现

课程目标 2	相关教学内容	考试+平时学习表现
课程目标 3	相关教学内容	考试+平时学习表现

（二）评定方法

1. 评定方法

平时作业+闭卷考试；按权重计算总评成绩。

平时成绩（作业、出勤等）20%，期中成绩 30%，期末成绩 50%。

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	考试	总评达成度
课程目标 1	20%	20%	课程目标 1 达成度= $\{0.2 \times \text{平时目标 1 成绩} + 0.3 \times \text{期中考试目标 1 成绩} + 0.5 \times \text{期末考试目标 1 成绩}\} / \text{目标 1 总分}$ 。
课程目标 2	40%	40%	
课程目标 3	40%	40%	课程目标 2 达成度=$\{0.2 \times \text{平时目标 1 成绩} + 0.3 \times \text{期中考试目标 1 成绩} + 0.5 \times \text{期末考试目标 1 成绩}\} / \text{目标 2 总分}$。 课程目标 3 达成度=$\{0.2 \times \text{平时目标 1 成绩} + 0.3 \times \text{期中考试目标 1 成绩} + 0.5 \times \text{期末考试目标 1 成绩}\} / \text{目标 3 总分}$。 总评达成度=$0.2 \times \text{课程目标 1 的达成度} + 0.4 \times \text{课程目标 2 的达成度} + 0.4 \times \text{课程目标 3 的达成度}$

（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	完全了解理论力学的发展简史，经典力学的适用范围；充分认识到经典力学在解决工程技术问题，在人造地球卫星、火箭和宇宙航行等先进科技发展中的重要作用，充分掌握辩证唯物主义基本原理，建立科学的世界观和方法论。	了解理论力学的发展简史，经典力学的适用范围；认识到经典力学在解决工程技术问题，在人造地球卫星、火箭和宇宙航行等先进科技发展中的重要作用，掌握辩证唯物主义基本原理，建立科学的世界观和方法论。	较好了解理论力学的发展简史，经典力学的适用范围；较好认识到经典力学在解决工程技术问题，在人造地球卫星、火箭和宇宙航行等先进科技发展中的重要作用，较好掌握辩证唯物主义基本原理，建立科学的世界观和方法论。	基本了解理论力学的发展简史，经典力学的适用范围；初步认识到经典力学在解决工程技术问题，在人造地球卫星、火箭和宇宙航行等先进科技发展中的重要作用，初步掌握辩证唯物主义基本原理，建立科学的世界观和方法论。	不了解理论力学的发展简史，经典力学的适用范围；未能认识到经典力学在解决工程技术问题，在人造地球卫星、火箭和宇宙航行等先进科技发展中的重要作用，未能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	完全掌握牛顿力学的内容和解决简单的物理问题；能够很好的运用牛顿运动学、动力学和守恒定律分析和处理质点、质点组、刚体等不同力学系统的具体问题；具有很好的抽象思维能力和解决静力学和动力学问题的能力。	掌握牛顿力学的内容和解决简单的物理问题；能够运用牛顿运动学、动力学和守恒定律分析和处理质点、质点组、刚体等不同力学系统的具体问题；具有抽象思维能力和解决静力学和动力学问题的能力。	较好掌握牛顿力学的内容和解决简单的物理问题；能够较好的运用牛顿运动学、动力学和守恒定律分析和处理质点、质点组、刚体等不同力学系统的具体问题；具有一定的抽象思维能力和解决静力学和动力学问题的能力。	基本掌握牛顿力学的内容和解决简单的物理问题；基本能够运用牛顿运动学、动力学和守恒定律分析和处理质点、质点组、刚体等不同力学系统的具体问题；具有一定的抽象思维能力和解决静力学和动力学问题的能力。	未掌握牛顿力学的内容和解决简单的物理问题；不能运用牛顿运动学、动力学和守恒定律分析和处理质点、质点组、刚体等不同力学系统的具体问题；不具有抽象思维能力和解决静力学和动力学问题的能力。
课程 目标 3	完全掌握分析力学处理力学问题的方法，包括约束的概念和分类、广义坐	掌握分析力学处理力学问题的方法，包括约束的概念和分类、广义坐标、虚	较好掌握分析力学处理力学问题的方法，包括约束的概念和分类、广	基本掌握分析力学处理力学问题的方法，包括约束的概念和分	未能掌握分析力学处理力学问题的方法，包括约束的概念和分

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
	标、虚功原理和拉格朗日方程，特别是保守系的拉格朗日方程；完全掌握哈密顿力学的基本概念包括哈密顿正则方程、泊松括号、最小作用量原理和正则变换；完全了解了力学理论的发展进程，锤炼出了科学思维能力和科研创新能力。	功原理和拉格朗日方程，特别是保守系的拉格朗日方程；掌握哈密顿力学的基本概念包括哈密顿正则方程、泊松括号、最小作用量原理和正则变换；了解了力学理论的发展进程，锤炼出了科学思维能力和科研创新能力。	义坐标、虚功原理和拉格朗日方程，特别是保守系的拉格朗日方程；较好掌握哈密顿力学的基本概念包括哈密顿正则方程、泊松括号、最小作用量原理和正则变换；较好了解了力学理论的发展进程，锤炼出了一定的科学思维能力和科研创新能力。	类、广义坐标、虚功原理和拉格朗日方程，特别是保守系的拉格朗日方程；基本掌握哈密顿力学的基本概念包括哈密顿正则方程、泊松括号、最小作用量原理和正则变换；基本了解了力学理论的发展进程，锤炼出了一定的科学思维能力和科研创新能力。	类、广义坐标、虚功原理和拉格朗日方程，特别是保守系的拉格朗日方程；未能掌握哈密顿力学的基本概念包括哈密顿正则方程、泊松括号、最小作用量原理和正则变换；未能了解了力学理论的发展进程，未能锤炼出科学思维能力和科研创新能力。