

《理论力学（英文）》课程教学大纲

一、课程基本信息

英文名称	Theoretical Mechanics	课程代码	PHYS3108
课程性质	专业必修课程	授课对象	物理学、物理学（师范）
学 分	3 学分	学 时	54 学时
主讲教师	徐惠中	修订日期	2021 年 9 月
指定教材	G. R. Fowles & G. L. Cassiday. Analytical Mechanics (7ed), Brooks/Cole, 2005.		

二、课程目标

（一）总体目标：

通过本课程的学习,使学生掌握质点、质点系和刚体的牛顿力学和分析力学的基本理论;在教学中通过对牛顿力学、分析力学、刚体转动和振动系统等问题的深入讨论,强化学生对理论力学基本概念和基本原理的理解;使学生体会物理学思想及科学方法,更好地理解科学本质,培养分析和解决现实生活中力学问题的能力,也为后续学习量子力学、固体物理等专业课程打下坚实基础。

（二）课程目标：

课程目标 1: 了解理论力学的发展史及其与当代物理学其他学科的关系。对相关的重要物理学家,如哥白尼、伽利略、第谷、开普勒、牛顿、欧拉、拉格朗日、哈密顿等人所作的贡献予以介绍。帮助学生体会物理学家的物理思想和科学精神,建立科学的世界观和方法论。

课程目标 2: 熟练运用高等数学和矢量分析等数学工具,掌握牛顿力学和分析力学的基本原理,加深对宏观机械运动规律的系统认识,提高抽象思维与逻辑推理能力,培养学生对生产、生活中力学问题的求解能力。

课程目标 3: 讲解数值计算方法在解决具体力学问题中的应用,提高学生编程和分析数据的能力,培养学生科学探究的兴趣。同时通过全过程的英文教学,提高学生运用英文阅读专业资料、交流和写作的能力,为今后独立钻研创造条件。

（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 数学知识准备 第二章 质点牛顿力学 第三章 分析力学 第四章 有心力问题 第五章 非惯性参照系力学 第六章 质点系力学 第七章 刚体力学 第八章 振动系统动力学	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 数学知识准备 第二章 质点牛顿力学 第三章 分析力学 第四章 有心力问题 第五章 非惯性参照系力学 第六章 质点系力学 第七章 刚体力学 第八章 振动系统动力学	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。
课程目标 3	第一章 数学知识准备 第二章 质点牛顿力学 第三章 分析力学 第四章 有心力问题 第五章 非惯性参照系力学 第六章 质点系力学 第七章 刚体力学 第八章 振动系统动力学	毕业要求 5: 熟练掌握一门外语(英语), 具有应用英语阅读、写作、交流和沟通能力。 毕业要求 7: 具有课题调研、设计、数据处理和学术交流能力。

三、教学内容

第一章 数学知识准备

1. 教学目标

掌握矢量分析的数学基本知识，包括矢量积、坐标变换、矢量的微分、以及不同类型坐标系下速度和加速度的表达式。

2. 教学重难点

柱坐标系和球坐标系中速度和加速度公式的推导及其物理意义。

3. 教学内容

3.1 介绍

课程介绍；教材和参考书介绍、课程大纲；课程考核方式、课程描述及教学目的介绍；介绍理论力学的发展历程、课程可能遇到的难点等。

3.2 矢量分析

复习向量概念，向量运算，特别是标量积和向量积及其几何解释；向量演算介绍；举例练习。

3.3 坐标系的变换

坐标系变换的概念介绍；一般坐标变换矩阵的推导；讨论坐标变换矩阵的性质；举例练习。

3.4 运动学

运动学、位矢、速度、加速度、轨道介绍；机械运动中的参照系和坐标系介绍；位矢、速度、加速度的笛卡尔坐标公式推导；举例练习。

3.5 自然坐标系

自然坐标系介绍；自然坐标系公式的推导；运动学中的叠加原理介绍；定轴旋转的角速度和加速度介绍；举例练习。

3.6 极坐标系和球坐标系

极坐标系和柱坐标系下速度和加速度的推导；球坐标系下速度和加速度的推导；举例练习。

4. 教学方法

教师讲授、师生讨论等。

5. 教学评价

课后习题。

第二章 质点牛顿力学

1. 教学目标

通过教学使学生掌握如何描述质点的运动以及质点运动所遵循的规律，运用这些理论解决实际问题。

掌握牛顿运动定律，质点运动微分方程，质点动力学基本定理与守恒定律。

2. 教学重难点

合理选取坐标系,建立运动微分方程并求解;势能的概念以及三个基本定理与守恒定律。

3. 教学内容

3.1 牛顿定律

牛顿三大定律介绍,惯性,动量;由牛顿第二定律推导动量和角动量守恒定律;举例练习。

3.2 保守力

功和动能的概念介绍;动能定理的推导;保守力和势能概念介绍;保守力不同条件的推导;由牛顿第二定律推导机械能守恒定律;举例练习。

3.3 运动方程

运动方程的概念介绍;恒力运动方程解的推导,包括抛物运动;时变力作用下运动方程解的推导;举例练习。

3.4 与速度相关的力

速度相关力运动方程解的推导,包括空气阻力问题、带空气阻力的抛物运动、带电粒子在磁场中的运动;举例练习。

3.5 与位置相关的力

位置相关力下运动方程解的推导,尤其是一维情况;经典的禁区、转折点概念介绍;举例练习,包括谐振子和钟摆。

4. 教学方法

教师讲授、师生讨论等。

5. 教学评价

课后习题、数值计算报告等。

第三章 分析力学

1. 教学目标

掌握分析力学中的基本概念、虚功原理、拉格朗日方程、哈密顿函数和正则方程。

2. 教学重难点

约束、自由度、广义坐标;虚位移原理;拉格朗日方程;哈密顿函数。以拉格朗日方程为重点讲深讲透,并适当举一些例题以加深理解。

3. 教学内容

3.1 分析力学概论

分析力学的发展历程、优点介绍;约束的概念及其类型介绍,包括完整约束;广义坐标、广义速度、自由度介绍;举例。

3.2 广义力、势能和动能

广义坐标中广义力的推导；广义力与势能关系的推导；广义坐标中动能的推导；举例练习。

3.3 虚功原理

虚位移和理想约束介绍；虚功原理的推导；利用虚功原理求解平衡问题举例。

3.4 拉格朗日方程

由牛顿第二定律推导拉格朗日方程；保守系统的拉格朗日函数介绍；广义动量和循环坐标介绍；拉格朗日力学与牛顿力学的比较。

3.5 求解拉格朗日方程举例

有心力问题、谐振子、阿特伍德机等。

3.6 哈密顿方程

哈密顿函数和勒让德变换介绍；从拉格朗日方程推导哈密顿正则方程；哈密顿方程的积分或守恒量介绍。

3.7 求解哈密顿方程举例

4. 教学方法

教师讲授、师生讨论等。

5. 教学评价

课后习题、数值计算报告等。

第四章 有心力问题

1. 教学目标

掌握有心力和有心运动的概念，有心运动的基本特征；比内公式，平方反比引力场中质点运动的轨迹。

2. 教学重难点

推导描述有心运动轨迹的比内公式；以平方反比引力场为例求解比内公式，得到质点运动的极坐标方程，解释圆锥曲线的意义，分析轨道参数与运动学量间的关系。

3. 教学内容

3.1 有心力场中的运动

引入有心力，证明角动量守恒；证明有心力是保守力和能量守恒；极坐标运动方程的推导；举例。

3.2 开普勒三定律

开普勒三定律介绍；证明开普勒三定律；由运动方程推导轨道方程；从几何角度推导平方反比定律下的轨道解，包括椭圆、双曲线和抛物线轨道；举例练习。

3.3 有效势能方法

有效势能方法介绍；由有效势能推导运动方程的通解；举例。

3.4 平方反比力

从有效势能法推导平方反比引力下的轨道解；从能量角度获取轨道，包括椭圆、双曲线和抛物线轨道；平方反比排斥力下的轨道解。

4. 教学方法

教师讲授、师生讨论等。

5. 教学评价

课后习题、数值计算报告等。

第五章 非惯性参照系力学

1. 教学目标

掌握平动参照系和转动参照系的基本概念、非惯性系质点动力学。

2. 教学重难点

搞清绝对运动、相对运动与牵连运动的关系，特别要掌握加速度的关系，弄清科氏加速度出现的原因及其实质；熟悉相对运动微分方程，确切掌握惯性力的概念，了解它们与一般作用力有何不同。

3. 教学内容

3.1 平动参照系

惯性和非惯性参照系介绍；相对性原理和伽利略变换介绍；平动参照系中惯性力的概念介绍；举例练习。

3.2 转动参照系

从转动参照系推导速度的变换关系；从转动参照系推导出加速度的变换关系；解释转动参照系中的各项术语，尤其是科里奥利力；举例练习。

4. 教学方法

教师讲授、师生讨论等。

5. 教学评价

课后习题、数值计算报告等。

第六章 质点系力学

1. 教学目标

掌握质点系的基本概念；质点系的动量定理、质心运动定理、动量守恒定律；质点系的动量矩定理以及动量矩守恒定律；质点系的动能定理以及机械能守恒定律。

2. 教学重难点

确切掌握三个定理的内容及三个守恒定律的条件；深入理解质心概念，质心坐标系在质点系力学中的重要地位。

3. 教学内容

3.1 质点系的质心和动量

质心概念介绍；计算质心的例子；质点系的动量方程及守恒定律的推导；举例练习。

3.2 质点系的角动量

质心坐标系中质点系角动量的推导；质点系角动量方程及守恒定律的推导；举例练习。

3.3 质点系的动能

质心坐标系中质点系动能的推导；质点系机械能方程及守恒定律的推导；举例练习。

3.4 二体问题和碰撞

二体问题介绍；二体运动方程的推导，引入约化质量；碰撞分类；举例练习。

3.5 质心坐标和实验室坐标

质心坐标与实验室坐标关系的推导；举例。

3.6 变质量物体运动和维里定理

变质量物体运动方程的推导，包括火箭运动；维里定理的推导；举例练习。

4. 教学方法

教师讲授、师生讨论等。

5. 教学评价

课后习题、数值计算报告等。

第七章 刚体力学

1. 教学目标

掌握刚体力学中的基本概念；刚体的动量，角动量和动能；刚体的动力学方程；刚体的定轴转动、平面平行运动和定点运动。

2. 教学重难点

刚体的自由度和运动的分析及角速度矢量；惯量主轴与主惯量及刚体角动量与转动动能的表达；刚体平面平行运动的运动学和动力学。

3. 教学内容

3.1 刚体介绍

刚体概念介绍，不同运动类型的自由度；一些典型刚体的质心计算；角速度回顾。

3.2 欧拉角

三个欧拉角介绍；欧拉运动方程的推导。

3.3 运动方程和平衡方程

刚体一般运动方程的推导；介绍刚体的转动动能和总能量；刚体平衡方程的推导；举例练习。

3.4 定轴转动

定轴转动的力方程和力矩方程的推导；定轴转动的转动动能和角动量公式的推导；举例练习。

3.5 转动惯量

定轴转动惯量介绍；一些典型刚体的转动惯量计算；证明计算惯性矩的两个定理；举例练习。

3.6 平面运动

平面运动及力、力矩方程介绍；转动瞬心的概念介绍；平面运动中的纯滚动和滑动问题；举例。

3.7 惯量张量

转动惯量张量介绍；刚体转动动能和角动量通式的推导；主轴、惯性椭球、回转半径、动平衡的概念介绍；举例练习。

3.8 定点转动

定点转动介绍；欧拉动力学方程的推导；从拉格朗日方程推导欧拉动力学方程；举例，包括对称陀螺。

4. 教学方法

教师讲授、师生讨论等。

5. 教学评价

课后习题、数值计算报告等。

第八章 振动系统动力学

1. 教学目标

掌握单自由度和多自由度系统在平衡附近的振动方程和求解方法；理解简正坐标和特征频率；理解现实生活中振动系统的动力学行为。

2. 教学重难点

小振动系统中的简正坐标、特征频率；弦振动和梁振动的波动方程推导。

3. 教学内容

3.1 振动

自由、阻尼、强迫谐波振动综述；非线性振动介绍；举例。

3.2 振动系统的动力学

稳定、不稳定平衡介绍；求解一个两个耦合的振子；引入简正坐标；举例练习。

3.3 小振动的一般理论

小振动下平衡附近势能的推导；由拉格朗日方程推导小振动运动方程；小振动久期方程的推导，引入特征频率；用简正坐标表达动能和势能；举例练习。

3.4 连续系统的振动

推导弦振动和梁振动的波动方程；举例练习。

4. 教学方法

教师讲授、师生讨论等。

5. 教学评价

课后习题、数值计算报告等。

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	数学知识准备	6 学时
第二章	质点牛顿力学	6 学时
第三章	分析力学	9 学时
第四章	有心力问题	3 学时
第五章	非惯性参照系力学	3 学时
第六章	质点系力学	6 学时
第七章	刚体力学	12 学时
第八章	振动系统动力学	3 学时

五、教学进度

表 3：教学进度表

周次	章节名称	内容提要	授课 课时数	作业及要求	备注
----	------	------	-----------	-------	----

1	第一章	数学知识准备	3	课后习题：1. 9、1. 17、 1. 24、1. 29	
2	第一章	数学知识准备	3	掌握向量的标量积、矢量积、微分运算，坐标系的旋转，以及质点运动的速度和加速度在常用坐标系中的分量表示	
3	第二章	质点牛顿力学	3	课后习题：2. 15、2. 16、 4. 19、4. 20、4. 21	
4	第二章	质点牛顿力学	3	数值计算题：C3. 4 掌握牛顿运动定律、质点运动微分方程、质点动力学基本定理与守恒定律	
5	第三章	分析力学	3	课后习题：10. 10、10. 11、 10. 12、10. 20、10. 29	
6	第三章	分析力学	3	数值计算题：C10. 1	
7	第三章	分析力学	3	掌握分析力学的基本概念，并运用拉格朗日方程或哈密顿方程求解质点动力学问题	
8	第四章	有心力问题	3	课后习题：6. 14、6. 21 数值计算题：C6. 2 掌握有心运动的基本特征，学会推导质点有心运动的轨迹方程	
9		期中考试	3		
10	第五章	非惯性参照系力学	3	课后习题：5. 15、5. 16、 5. 18 数值计算题：C5. 2 掌握平动和转动参照系中相对速度和相对加速度的关系，理解惯性力的实质	

11	第六章	质点系力学	3	课后习题：7.18、7.29	
12	第六章	质点系力学	3	数值计算题：C7.3 掌握质点系运动中的守恒定律，深入理解质心的概念	
13	第七章	刚体力学	3	课后习题：8.6、8.19、9.17、9.22	
14	第七章	刚体力学	3	数值计算题：C8.1、C9.1	
15	第七章	刚体力学	3	掌握刚体的自由度、惯量张量、惯量主轴和角速度矢量的表达。学会求解刚体平面平行运动和定点运动的动力学。	
16	第七章	刚体力学	3		
17	第八章	振动系统动力学	3	课后习题：11.5、11.22、11.27 数值计算题：C11.1 掌握质点系统在平衡位置附近微小振动的方程、简正模和简正频率。理解连续介质系统振动方程的推导和应用	
18		学生上台展示数值计算作业报告、总复习	3		

六、教材及参考书目

1. G. R. Fowles & G. L. Cassiday. Analytical Mechanics (7ed), Brooks/Cole, 2005.
2. 周衍柏. 理论力学 (第三版), 北京: 高等教育出版社, 2009.
3. H. Goldstein, et al. Classical Mechanics (3ed), Higher Education Press, 2005.
4. L. D. Landau & E. M. Lifshitz. Mechanics, World Book Inc., 1999.
5. L. N. Hand & J. D. Finch. Analytical Mechanics, Cambridge University Press, 1998.

七、教学方法

采用板书、PPT 和演示小实验三者结合的方式，兼取传统与现代化教学手段的优势。板书有助于学生理解公式推导的每一步细节；PPT 有助于展示理论力学发展史等背景知识以及阐述对三维空间想象力要求较高的物理概念；演示小实验有助于最直观地提出力学问题，激发学生的学习兴趣。教学中采用讲授为主、学生讨论、汇报为辅的模式。

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	平时+期中考试+期末考试
课程目标 2	相关教学内容	平时+期中考试+期末考试
课程目标 3	相关教学内容	平时+期中考试+期末考试

（二）评定方法

1. 评定方法

平时成绩（出勤 5%、作业 20%、数值计算报告 10%）35%，期中考试（闭卷）成绩 30%，期末考试（闭卷）成绩 35%。

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	期中考试	期末考试	总评达成度
课程目标 1	20%	20%	20%	课程目标 1 达成度= $\{0.35 \times \text{平时目标 1 成绩} + 0.3 \times \text{期中考试目标 1 成绩} + 0.35 \times \text{期末考试目标 1 成绩}\} /$

课程目标 2	50%	50%	50%	目标 1 总分。 课程目标 2 达成度=$\{0.35 \times \text{平时目标 2 成绩} + 0.3 \times \text{期中考试目标 2 成绩} + 0.35 \times \text{期末考试目标 2 成绩}\} / \text{目标 2 总分}$。 课程目标 3 达成度=$\{0.35 \times \text{平时目标 3 成绩} + 0.3 \times \text{期中考试目标 3 成绩} + 0.35 \times \text{期末考试目标 3 成绩}\} / \text{目标 3 总分}$。
课程目标 3	30%	30%	30%	总评达成度=$0.2 \times \text{课程目标 1 的达成度} + 0.5 \times \text{课程目标 2 的达成度} + 0.3 \times \text{课程目标 3 的达成度}$

(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	完全了解了理论力学的发展史及其与当代物理学其他学科的关系。很好地理解了相关物理学家的物理思想和科学精神。很好地形成了科学的世界观和方法论。	了解了理论力学的发展史及其与当代物理学其他学科的关系。理解了相关物理学家的物理思想和科学精神。形成了科学的世界观和方法论。	较好了解了理论力学的发展史及其与当代物理学其他学科的关系。较好理解了相关物理学家的物理思想和科学精神。较好形成了科学的世界观和方法论。	基本了解了理论力学的发展史及其与当代物理学其他学科的关系。基本理解了相关物理学家的物理思想和科学精神。基本形成了科学的世界观和方法论。	没有了解理论力学的发展史及其与当代物理学其他学科的关系。没有理解相关物理学家的物理思想和科学精神。没有形成科学的世界观和方法论。
课程 目标 2	很好地运用高等数学和矢量分析等数学工具, 完全掌握牛顿力学和	能运用高等数学和矢量分析等数学工具, 掌握牛顿力学和分析力学的基本	较好运用高等数学和矢量分析等数学工具, 较好掌握牛顿力学和	基本能运用高等数学和矢量分析等数学工具, 基本掌握牛顿力学和分析力	不能运用高等数学和矢量分析等数学工具, 没有掌握牛顿力学和分

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
	分析力学的基本原理，对生产、生活中力学问题具备很强的求解能力。	原理，对生产、生活中力学问题具备求解能力。	分析力学的基本原理，对生产、生活中力学问题具备较好的求解能力。	学的基本原理，对生产、生活中力学问题具备基本的求解能力。	析力学的基本原理，对生产、生活中力学问题不具备求解能力。
课程 目标 3	具备很好的数值计算解决力学问题的能力。具备很好的专业英文读写能力。	具备数值计算解决力学问题的能力。具备专业英文读写能力。	具备较好的数值计算解决力学问题的能力。具备较好的专业英文读写能力。	基本具备数值计算解决力学问题的能力。基本具备专业英文读写能力。	不具备数值计算解决力学问题的能力。不具备专业英文读写能力。