 21世纪高等院校教材

# 大学物理教程

上册

常文利 宋青 主编



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

21 世纪高等院校教材

# 大学物理教程

(上册)

主 编 常文利 宋 青  
副主编 俄 燕 叶丽娜  
参 编 田 苗 万桂新 权伟龙

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书依据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会在2008年4月审订的“理工科类大学物理课程教学基本要求”,结合编者多年的教学实践和教改经验编写而成。在编写上本书没有沿袭传统的思路,而是采用一种新的知识体系:以物质世界的层次和存在形式为主线,按照由经典物理到近代物理、由少体问题到多体问题、由线性系统到复杂系统的思路来介绍大学物理的教学内容。

本书分上、下两册。上册内容包括宏观低速实物质体的运动规律,宏观高速实物质体的运动规律以及振动和经典波三篇内容。下册包括电磁场和相互作用、量子物理基础和多粒子体系的热物理三篇内容。

本书适合普通高等学校工科各专业学生学习使用,也可作为教师或相关人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

大学物理教程.上册/常文利等主编.—北京:科学出版社,2009  
21世纪高等院校教材  
ISBN 978-7-03-026293-6

I. 大… II. 常… III. 物理学-高等学校-教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第239208号

---

责任编辑:胡云志 杨 然 / 责任校对:刘晓梅  
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

深海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010年1月第一次印刷 印张:20

印数:1—4 000 字数:446 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

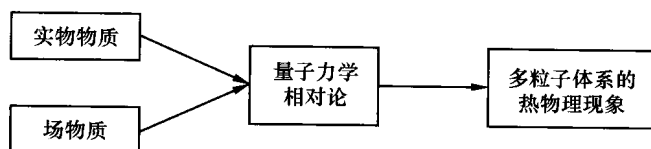
物理学是研究物质结构、物质基本运动形式和物质之间相互作用的自然科学。以物理学基础为内容的大学物理课程,是高等学校理工科各专业学生的一门重要的通识性必修课程。该课程所传授的描述物质世界的基本概念、基本理论、基本方法和基本思维能力是构成学生科学素养的重要组成部分,是一个科学工作者和工程技术人员所必备的基础知识。

我国现有的大学物理课程内容是按照物质的运动形式即力、热、电磁、光、近代物理来组织内容的,这样的框架构建于 20 世纪五六十年代。虽然在当时的背景下,它无疑是成功的、先进的,能适应当时的情况,但当今社会对工程技术人员提出了更高的科学素质要求。为适应形势变化,一些高校尝试重新构建大学物理的教材内容体系。近几年编者在大学物理内容体系构建方面做了有益的探索,在此基础上形成了本教材体系。我们强调以知识体系为载体,强化物理模型、物理思想、物理方法和科学精神的养成教育。例如,引导学生从实际问题中建立合理的物理模型以及物理模型近似估算能力的培养;引导学生不仅关注所学知识点,更要了解知识点的结构体系;培养学生具备由点到面建立起相应内容的框架体系的能力,构建工科学生知识结构的扎实根基及科学方法论基础。

目前高等教育已由精英教育向大众教育转化,学生的知识结构和能力呈现出多层次分布特征。本教材是为了满足兰州交通大学本科生公共课分层次教学改革的需求,实施因材施教,搭建分层次教学平台而编写的。为满足这一需求,并且解决学时少内容多的矛盾,再结合实际教学计划安排的可操作性,搭建了本教材的内容体系。总体思想是体现大学物理课程的基础性、前沿性与时代性。其特点如下:

1. 搭建了不同于传统大学物理的内容框架体系,帮助学生获得较完整、统一的物质世界的图像。

以物质世界的层次和存在形式为主线,按照由经典物理到近代物理的思路,由少体问题到多体问题、由线性系统到复杂系统的思路,把与热现象相关的多粒子体系的理论放在了最后部分。教材体系如下:



2. 以知识点为载体,物理史为引导,注重传授物理学中蕴含的物理精神、物理思想和物理方法。帮助学生理解知识形成有个性特征的体系,以利于创新精神和创造能力的培养,搭建工科学生创新知识体系的重要基础。

3. 以近代物理的思想重新整合了经典物理部分的内容,体现了先进的教学理念。例如,在宏观低速实物物质的运动规律部分,强化了三大守恒定律描述实物物质的平动和转动内容。还将当今科技发展的一些成果以内容叙述、例题和作业形式渗透到教材中,以激发学生学习的兴趣。

4. 每一章节都增加了例题的数量,更有益于学生掌握、理解各章节内容的重点和难点。目前阶段工科学生大学物理计划学时普遍偏少,为满足教学需要,加强教材的例题数量非常必要。

本书中加\*号的章节属于选修内容,不选修这些内容并不影响全书的系统性。

参与本教材编写的有田苗(第1章、第5章)、叶丽娜(第2章、第3章、第4章)、宋青(第6章、第9章、习题答案及附录)、俄燕(第7章、第8章)、常文利(第10章、第11章)、权伟龙(第12章)及万桂新(第13章、第14章),最后由常文利和宋青负责统稿。

本教材编写过程中得到了数理学院及物理系的大力支持,在此表示感谢。感谢物理系张磊、郭鹏两位教师的协助及物理系全体教师的支持。

本教材得到了兰州交通大学“青蓝”人才工程基金资助计划资助(编号:QL-08-18A)。

由于编者水平有限,疏漏和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2009年9月25日

# 目 录

## 前言

## 第一篇 宏观低速实物物质的运动规律

<b>第 1 章 质点运动学</b> .....	3
1.1 质点及其运动的描述 .....	3
1.1.1 参考系与坐标系 .....	3
1.1.2 质点 .....	4
1.1.3 质点的位置矢量和运动方程 .....	4
1.1.4 质点的位移和路程 .....	5
1.1.5 质点的速度和速率 .....	6
1.1.6 质点的加速度 .....	8
1.1.7 直角坐标系中运动学的三类问题 .....	9
1.2 质点平面曲线运动的描述 .....	14
1.2.1 自然坐标系中的速度和加速度 .....	14
1.2.2 圆周运动 .....	16
1.3 相对运动 .....	21
本章提要 .....	23
思考题 .....	26
习题 .....	27
<b>第 2 章 动量与角动量守恒定律</b> .....	30
2.1 牛顿运动定律 .....	30
2.1.1 常见力 .....	30
2.1.2 基本力 .....	33
2.1.3 牛顿运动定律 .....	34
2.1.4 惯性参考系 惯性力 .....	40
2.2 动量定理 .....	43
2.2.1 质点的动量定理 .....	43
2.2.2 质点系的动量定理 .....	47

2.3	动量守恒定律	49
2.4	碰撞	52
2.4.1	完全弹性碰撞	53
2.4.2	完全非弹性碰撞	53
2.4.3	运载火箭的运动	55
2.5	质心 质心运动定理	57
2.5.1	质心	57
2.5.2	质心运动定理	59
2.6	质点的角动量与角动量定理	60
2.6.1	质点的角动量	60
2.6.2	力矩	62
2.6.3	质点的角动量定理	62
2.7	质点的角动量守恒定律	63
	本章提要	66
	思考题	69
	习题	70
<b>第3章</b>	<b>能量 能量守恒定律</b>	<b>74</b>
3.1	功和功率	74
3.1.1	功	74
3.1.2	一对相互作用力的功	76
3.1.3	功率	76
3.2	动能 动能定理	78
3.2.1	质点的动能定理	78
3.2.2	质点系的动能定理	80
3.3	保守力 势能 功能原理	81
3.3.1	保守力的功	81
3.3.2	势能	83
3.3.3	势能曲线	85
3.3.4	功能原理	86
3.4	机械能守恒定律	90
	本章提要	94
	思考题	95
	习题	96

<b>第 4 章 刚体的转动</b> .....	99
4.1 刚体运动的描述 .....	99
4.1.1 刚体的平动和转动 .....	99
4.1.2 刚体的定轴转动 .....	100
4.1.3 描述刚体定轴转动的物理量 .....	101
4.2 刚体的定轴转动定律 .....	102
4.2.1 力对转轴的力矩 .....	102
4.2.2 刚体定轴转动的转动定律 .....	103
4.2.3 转动惯量 .....	104
4.2.4 转动定律的应用举例 .....	109
4.3 力矩的功 刚体定轴转动的动能定理 .....	112
4.3.1 刚体的转动动能 .....	112
4.3.2 刚体的重力势能 .....	113
4.3.3 力矩做的功 .....	114
4.3.4 刚体定轴转动的动能定理 .....	114
4.3.5 刚体定轴转动的机械能守恒定律 .....	115
4.4 刚体定轴转动的角动量守恒定律 .....	118
4.4.1 刚体对定轴的角动量 .....	118
4.4.2 刚体的角动量守恒定律 .....	118
本章提要 .....	125
思考题 .....	127
习题 .....	128

## 第二篇 宏观高速实物物质的运动规律

<b>第 5 章 狭义相对论基础</b> .....	135
5.1 伽利略相对性原理 经典力学时空观 .....	135
5.1.1 伽利略变换 .....	135
5.1.2 经典力学时空观 .....	136
5.2 狭义相对论基本原理 洛伦兹变换 .....	137
5.2.1 狭义相对论的理论与实验基础 .....	137
5.2.2 狭义相对论基本原理 .....	140
5.2.3 洛伦兹变换 .....	141
5.3 狭义相对论的时空观 .....	144



5.3.1 同时性的相对性 .....	144
5.3.2 时间的延缓 .....	146
5.3.3 动杆的收缩(洛伦兹收缩) .....	148
5.4 狭义相对论动力学基础 .....	149
5.4.1 动量守恒定律的洛伦兹变换 质量-速度关系 .....	150
5.4.2 相对论中的质量-能量关系 .....	153
本章提要 .....	157
思考题 .....	159
习题 .....	160

### 第三篇 振动和经典波

<b>第6章 振动学基础</b> .....	165
6.1 简谐振动的运动学描述 .....	165
6.1.1 弹簧振子 .....	165
6.1.2 简谐振动的运动方程 .....	165
6.1.3 简谐振动的相位 .....	166
6.1.4 简谐振动的速度和加速度 .....	167
6.2 简谐振动的动力学定义 .....	168
6.2.1 简谐振动的动力学定义 .....	168
6.2.2 简谐振动的能量 .....	171
6.3 旋转矢量表示法 .....	172
6.4 简谐振动的合成 .....	176
6.4.1 两个同方向同频率的简谐振动的合成 .....	176
6.4.2 两个同方向不同频率简谐振动的合成 .....	179
6.4.3 两个相互垂直的同频率的简谐振动的合成 .....	181
6.4.4 两个相互垂直的不同频率的简谐振动的合成 .....	182
6.5 阻尼振动 .....	183
6.6 受迫振动 .....	185
本章提要 .....	187
思考题 .....	189
习题 .....	190
<b>第7章 波动学基础</b> .....	193
7.1 机械波的产生和传播 .....	193

7.1.1	机械波产生的条件	193
7.1.2	横波与纵波	194
7.1.3	波线和波面	195
7.1.4	简谐波	195
7.1.5	描述波动的物理量	195
*7.1.6	物体的弹性形变与弹性模量	197
7.2	平面简谐波的波函数	199
7.2.1	波函数的建立	199
7.2.2	波函数的物理意义	200
*7.2.3	平面简谐波的微分方程	202
7.3	波的能量	205
7.3.1	平面简谐纵波传播时介质元的能量	205
7.3.2	波的能量密度和能流密度	206
7.3.3	球面波	207
7.3.4	波的吸收	207
*7.3.5	声波简介	208
7.4	惠更斯原理及其应用	210
7.4.1	惠更斯原理	210
7.4.2	惠更斯原理的应用	211
7.5	波的叠加原理 波的干涉	213
7.5.1	波的叠加原理	213
7.5.2	波的干涉	213
7.6	驻波	217
7.6.1	驻波的产生	217
7.6.2	驻波的波函数	218
7.6.3	半波损失	219
7.6.4	弦线上的驻波	220
7.7	多普勒效应	223
	本章提要	227
	思考题	228
	习题	230
<b>第8章</b>	<b>波动光学</b>	<b>233</b>
8.1	光的相干性	233

8.1.1	光源及原子的发光机理	233
8.1.2	光的颜色和光谱	234
8.1.3	光的强度	235
8.1.4	光的干涉现象	236
8.1.5	光程与光程差	238
8.1.6	透镜的等光程性	238
8.2	双缝干涉	239
8.2.1	杨氏双缝干涉	239
8.2.2	其他分波阵面干涉装置	240
8.3	薄膜干涉	243
8.3.1	薄膜的等倾干涉	244
8.3.2	增透膜和增反膜	246
8.3.3	薄膜的等厚干涉	248
8.3.4	迈克耳孙干涉仪	255
8.4	单缝衍射	257
8.4.1	光的衍射现象及分类	257
8.4.2	惠更斯-菲涅耳原理	257
8.4.3	单缝的夫琅禾费衍射	259
8.5	光栅衍射	262
8.5.1	衍射光栅	262
8.5.2	光栅衍射条纹的形成	263
8.5.3	光栅衍射光谱	265
8.6	光学仪器的分辨本领	269
8.6.1	圆孔衍射	269
8.6.2	光学仪器的分辨率	270
8.7	X射线衍射	272
8.8	偏振光与自然光	274
8.8.1	横波的偏振性	274
8.8.2	自然光 偏振光	275
8.8.3	偏振片 起偏与检偏	276
8.9	马吕斯定律	277
8.10	反射和折射时光的偏振	279
8.11	双折射现象	282

---

8.11.1 双折射的寻常光和非常光·····	282
8.11.2 偏振棱镜·····	283
8.11.3 人为双折射现象·····	285
* 8.12 偏振光的干涉·····	286
* 8.13 旋光现象·····	287
本章提要·····	288
思考题·····	293
习题·····	295
<b>习题答案·····</b>	<b>298</b>
<b>附录 1 常用基本物理常量表·····</b>	<b>305</b>
<b>附录 2 国际单位制(SI)·····</b>	<b>306</b>
<b>附录 3 希腊字母表·····</b>	<b>307</b>

**第一篇 宏观低速实物物质的  
运动规律**



# 第 1 章 质点运动学

质点运动学是经典力学中的一部分,它的任务是描述质点的运动以及各运动量之间的关系。本章着重讨论了描述质点运动的位矢、速度、加速度三个物理量的意义和它们的相互关系。在直角坐标系中讨论了运动学的三类基本问题;在自然坐标系中讨论了平面曲线运动的位置、速度、加速度的线量描述方法;在平面极坐标中讨论了圆周运动的角量描述方法,并给出了角量和线量描述的关系。本章最后介绍了相对运动,即不同的参考系描述质点运动时的相互关系。

## 1.1 质点及其运动的描述

### 1.1.1 参考系与坐标系

#### 1. 经典力学中的时间与空间

力学的研究对象是物体的机械运动。所谓机械运动指物体的空间位置随时间的变化。在经典力学的范围内,空间和时间是不依赖于物质的存在和运动的时空背景的,称为绝对的时空观,但空间和时间需要借助物质的存在和运动去度量。

空间可以通过物质的存在反映出它所具有的广延性,它是沿四面八方无限均匀延伸的范围,并认为空间中的直线永远是直的,称为欧几里得空间。空间范围的度量中最基本的是长度的计量,其国际单位为米(m)。1983年10月召开的第17届国际计量大会上米的定义为“米是 $1/299792458$ 秒的时间间隔内光在真空中行程的长度”。

时间可以通过物质的运动反映出它所具有的持续性和顺序性,它是从古到今,从先到后单方向的均匀连续变化,从不逆向。时间间隔的量度需要借助于周期性运动来计量,其国际单位为秒(s)。1967年召开的第13届国际度量衡大会对秒的定义是“铯-133原子基态的两个超精细能级间跃迁对应辐射的 $9192631770$ 个周期的持续时间”。

经典力学的绝对时空观与人们的感觉经验相协调,容易使人接受。但是它毕竟只是时空性质的一种假设。近代物理学表明空间和时间与物质的存在和运动是紧密联系的,绝对时空观只是实际时空性质的一种近似。

## 2. 参考系

物体的运动是绝对的,但是描述物体的运动却是相对的,即在具有不同运动状态的参考对象看来,同一个物体运动状态是不同的。从站在路边的人的角度去看和从骑自行车的人的角度去看,一辆在公路上行驶的汽车的运动状态是不同的。但我们认为,在具有相同运动状态(相对静止)的参考对象看来,一个物体的运动状态是相同的。为了描述物体的运动,我们选择与一个确定的参考对象相对静止的所有物体作为一个系统,称为**参考系**。在一个确定的参考系中,物体的运动状态是可以确定的。

## 3. 坐标系

在选定参考系后,为定量地描述物体的运动,我们取参考系中的任意一点作为坐标原点建立**坐标系**。常用的坐标系有直角坐标系、极坐标系、柱坐标系、球坐标系等,另外还有描述曲线运动的自然坐标系。

### 1.1.2 质点

在研究力学问题时,我们常常需要对研究对象进行模型化,最基本的力学模型是质点。所谓质点指忽略对象的大小和形状,并将全部的质量集中在一个几何点上的模型。

研究对象可看作质点的条件:

(1) 研究对象的尺度在所研究问题中相对很小,可忽略其大小和形状,看作质点。如研究地球围绕太阳公转运动时,由于地球的尺度与公转轨道尺度相比很小,可忽略其大小和形状,看作质点。而在研究地球的自转运动中,不能将地球看作质点。

(2) 研究对象发生平动时,即对象上各点的运动状态完全相同,可看作质点。

### 1.1.3 质点的位置矢量和运动方程

为定量地描述质点的运动,我们在选定的参考系上建立坐标系。则质点的位置就可以用从坐标原点  $O$  到质点所在位置  $P$  的矢量  $r$  来描述,称为位置矢量,简称**位矢**。当质点运动时,位置不断变化,位矢是时间的函数

$$r = r(t) \quad (1-1)$$

该函数描述了质点位置随时间变化的过程,称为**运动方程**。在不同的坐标系中,运动方程有不同的形式。如图 1-1 所示,在直角坐标系中,令  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的单位矢量分别为  $i$ 、 $j$ 、 $k$ ,它们是不随时间变化的常矢量,也就是说在直角坐标系中的任意一点,三个基本单位矢量不变。则运动方程可写为



矢量形式

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-2)$$

分量形式

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1-3)$$

位矢的大小为

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-4)$$

方向为

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (1-5)$$

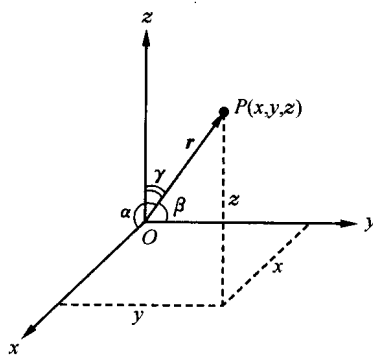


图 1-1 直角坐标系中的位矢

将运动方程分量形式中的  $t$  消去, 可得到质点运动的轨道方程。

例 1-1 求解下列运动方程对应的轨道方程:

(1)  $\mathbf{r}(t) = at\mathbf{i} + (c - bt)\mathbf{j}$ ;

(2)  $\mathbf{r}(t) = R\cos\omega t\mathbf{i} + R\sin\omega t\mathbf{j}$ ;

(3)  $\mathbf{r}(t) = vt\mathbf{i} + \left(h - \frac{1}{2}gt^2\right)\mathbf{j}$ 。

解 (1) 运动方程的分量形式为  $\begin{cases} x = at \\ y = c - bt \end{cases}$ , 将  $t = \frac{x}{a}$  代入消去  $t$  可得轨道方程  $y = c - \frac{b}{a}x$ , 该质点做直线运动。

(2) 运动方程的分量形式为  $\begin{cases} x = R\cos\omega t \\ y = R\sin\omega t \end{cases}$ , 两式平方相加可得轨道方程  $x^2 + y^2 = R^2$ , 该质点做圆周运动。

(3) 运动方程的分量形式为  $\begin{cases} x = vt \\ y = h - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$ , 将  $t = \frac{x}{v}$  代入消去  $t$  可得轨道方程  $y = h - \frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v}\right)^2$ , 该质点的运动轨迹为抛物线。

#### 1.1.4 质点的位移和路程

如图 1-2 所示, 在质点的运动过程中, 某一时刻  $t$  质点位于  $A$  点, 经过  $\Delta t$  时间间隔后位于  $B$  点, 相应的位置矢量由  $\mathbf{r}_A$  变为  $\mathbf{r}_B$ 。定义位移矢量(简称位移)

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (1-6)$$

它表示在  $\Delta t$  时间内质点位矢的变化。在直角坐标系中可写为

$$\Delta\mathbf{r} = (x_B\mathbf{i} + y_B\mathbf{j} + z_B\mathbf{k}) - (x_A\mathbf{i} + y_A\mathbf{j} + z_A\mathbf{k}) = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k} \quad (1-7)$$