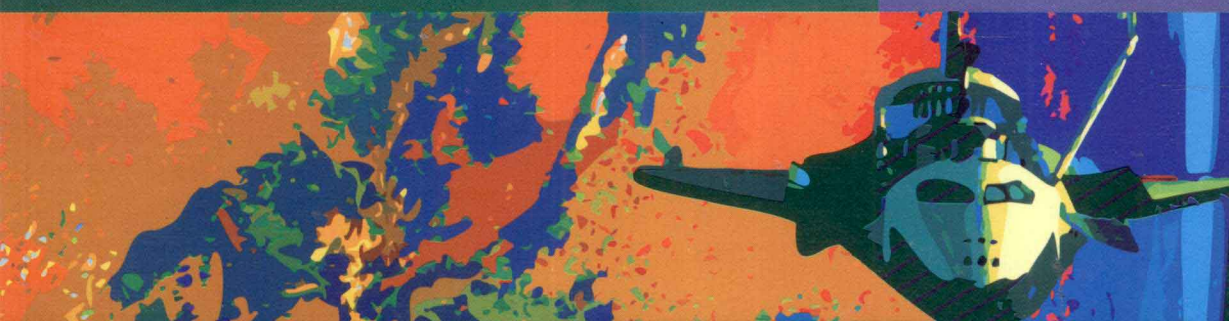




普通高等教育“十二五”规划教材
面向21世纪物理学课程与教学改革系列教材

大学物理 (上册)



郭凤岐 姜大华 张琳 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材
面向 21 世纪物理学课程与教学改革系列教材

大学物理(上册)

郭凤岐 姜大华 张琳 主编

科学出版社

北 京

版权所有，侵权必究

举报电话：010-64030229；010-64034315；13501151303

内 容 简 介

本书是高校“十二五”规划教材，是为了顺应逐年发展的高等教育形势、针对广大进入高等教育阶段的学生编写的。按照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编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)要求，本教材包含了所有规定的A类核心内容，同时为了拓宽学生思路，也编写了少量的B类扩展内容。本教材试图解决普遍存在的大学物理“学时少、内容多、难度大”的问题，在整体上建立物理学的基本框架，对经典物理内容进行精炼和深化，对近代物理内容进行精选和简化，使学生在获得具体知识的同时，保持对物理学的概括了解和兴趣。本书言简意赅，深入浅出，通俗易懂；同时重视概念，强调思路，简化数学过程。

本教材分为上、下两册，上册包括力学，狭义相对论，机械振动和机械波，热学；下册包括电磁学，光学，量子物理。本教材可以作为高等学校理工科非物理专业的教材，同时可供广大独立学院、二级学院本科学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理.上册/郭凤岐,姜大华,张琳主编.—北京:科学出版社,2011.12
普通高等教育“十二五”规划教材 面向21世纪物理学课程与教学改革系列教材

ISBN 978-7-03-032881-6

I. 大… II. ①郭… ②姜… ③张… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第243474号

责任编辑：李磊东 / 责任校对：董艳辉

责任印制：彭 超 / 封面设计：苏 波

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>

京山德兴印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本：787×1092 1/16

2012年1月第 一 版 印张：19

2012年1月第一次印刷 字数：431 000

定价：33.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

进入 21 世纪以来,我国的高等教育已经从精英教育逐渐扩大到大众教育,各类不同层次的高校应运而生.可是当时的多数教材仍然是按照精英教育的统一要求来编写的.为了适应独立学院的需要,2004 年,华中科技大学武昌分校正式出版了《大学物理》和《大学物理学习指导》,较好地适应了我校起步阶段物理教学的需要.

随着高等教育事业的迅速发展,武昌分校也与时俱进,逐渐成长壮大起来,而针对较低起点的原教材,越来越不能满足水平逐年提高的大学生的学习要求.在“国家中长期教育和发展规划纲要(2010~2020 年)”中,明确要求高等教育要将提高教育质量作为核心任务,强调教育改革的必要性和长期性,强调培养学生的探索精神和创新意识,教育部由此出台了新一轮的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010 年版).大学物理作为高等学校理工科各专业的一门重要的通识性必修课程,它在学生的知识、能力和科学素质培养中起其他课程不可替代的作用.我们根据教育部对高等教育的指示精神和学校一贯奉行的“向高水平高等学校看齐”的办学宗旨,认识到原教材已经完成了它的历史使命,而需要一个程度相对更高一些的教材,以适应新的形势和任务.为此,我们根据教育部《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010 年版),结合教研室老师多年来的教学经验和独立学院的特点,重新编写了物理教材.编写中我们主要注意了以下几点:

(1) 按照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编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010 年版).本教材包含了所有规定的 A 类核心内容,同时为了拓宽学生思路,也编写了少量的 B 类扩展内容.

(2) 考虑到独立学院学生的水平和能力,编写中采用“减少些严密性,增加些可接受性”的原则.在公式的推导和证明中,尽量做到浅显易懂,采用“由特殊到一般,由点到面,对比类推”的方法,让学生能够课上听懂、课后看懂.

(3) 对一些较深、较难懂的内容,我们在编写中,注意分为不同层次,由易到难,循序渐进,尽量遵循认知规律,既便于老师讲解,也便于学生自学.这类内容中有一些用 * 号注明,是否讲解则由教师根据学生的情况和教学的学时数取舍.

(4) 为了减轻学生负担,本书没有配套学习指导书.考虑到物理课学时数较少,单独的习题课课时就更少的实际情况,我们适当地增加例题的数量.一是尽量增加不同的题型,二是增加同一题的不同解法.解题过程尽量简明扼要,突出物理概念,详细讲述关键的步骤,授人以渔而避免做数学游戏,希望以此来弥补习题课的不足.

(5) 编写小字内容.大学物理中有些是较深的内容,这些内容点到为止,仅用以开拓学生眼界而不增加学生负担;有些内容是反映科学家的思想方法,有助于学生不仅从科学

的角度,还能从人文的角度了解物理学的重大变革,以及物理学家的科学信念与物理学发展的密切关系,尽量使学生接触到科学世界观和方法论,从而启迪学生的创新精神.

本书分上、下两册,上册研究实物粒子的运动,包括实物粒子的有序运动(力学)和无序运动(热学)两部分.下册研究波动,分为三部分,第一部分(电磁学)研究电磁波的稳恒态(静电场和稳恒磁场)和似稳态(电磁感应),第二部分(光学)研究电磁波和光波.第三部分(量子物理)则研究物质的波粒二象性及建立在此基础上的量子物理学.

本书由华中科技大学武昌分校物理教研室的老师集体编写,上册由郭凤岐(第一、二、四、五、六、七、八、十章),彭玉平(第三章),刘卫平(第九章)负责编写;下册由姜大华(第十一、十二、十三、十五、十七、十八、十九章),李庆荣(第十四章),朱小飞(第十六章),郭凤岐(第二十、二十一章)负责编写;姜大华和郭凤岐老师共同编写了第二十二章.张琳老师负责全书的审阅.

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者不吝批评指正.

编 者

2011年9月

目 录

第一篇 力 学

第一章 质点运动学(Kinematics of Particles)	3
§ 1-1 参照系 质点	3
一、参照系 坐标系	3
二、质点	3
§ 1-2 位置矢量 位移	4
一、位置矢量 运动方程	4
二、位移 路程	5
§ 1-3 速度 加速度	5
一、速度 速率	5
二、加速度	7
§ 1-4 质点运动学的两类问题	11
一、第一类问题	11
二、第二类问题	12
* 三、匀变速曲线运动	13
四、直线运动的标量表示	15
§ 1-5 圆周运动	17
一、圆周运动中的切向和法向加速度	17
二、圆周运动的角量描述	21
三、角量与线量的关系	22
§ 1-6 相对运动	25
思考题 1	27
练习题 1	28
第二章 牛顿运动定律(Newton's Laws of Motion)	31
§ 2-1 牛顿运动定律	31
一、第一定律	31

二、第二定律	31
三、第三定律	32
§ 2-2 几种常见的力	32
一、万有引力或重力	33
二、弹性力	34
三、摩擦力	35
四、黏滯力	35
§ 2-3 牛顿定律的应用	35
§ 2-4 惯性系与非惯性系	47
一、惯性系与非惯性系	47
二、力学的相对性原理	48
三、非惯性系 惯性力	49
思考题 2	50
练习题 2	51
第三章 动量与角动量(Momentum & Angular Momentum)	51
§ 3-1 动量 冲量 质点的动量定理	54
一、动量	54
二、冲量	54
三、质点的动量定理	55
§ 3-2 质点系的动量定理 动量守恒定律	57
一、质点系的动量定理	57
二、动量守恒定律	59
* 三、火箭飞行原理	61
* 四、质心运动定律	63
§ 3-3 质点的角动量 力矩	66
一、角动量	66
二、力矩	68
§ 3-4 质点的角动量定理 角动量守恒定律	68
一、质点的角动量定理	68
二、质点的角动量守恒定律	69
三、有心力问题	70
思考题 3	71
练习题 3	72

第四章 功和能(Work and Energy)	74
§ 4-1 功 质点的动能定理	74
一、功	74
二、质点的动能定理	77
§ 4-2 保守力的功 势能	80
一、保守力的功	80
二、势能	81
* 三、保守力和非保守力的判断	83
§ 4-3 功能原理 机械能守恒定律	84
一、质点系的动能定理	84
二、质点系的功能原理	85
* 三、一对作用力和反作用力的功	87
四、机械能守恒定律	88
§ 4-4 守恒定律的综合应用	91
一、守恒定律的综合应用	91
* 二、守恒定律与对称性	96
思考题 4	99
练习题 4	100
第五章 刚体的定轴转动(Rotation of Rigid Body about a Fixed Axis)	103
§ 5-1 刚体运动的描述	103
一、刚体的基本运动	103
二、刚体定轴转动的描述	103
§ 5-2 刚体的定轴转动定律	107
一、力矩	107
二、转动定律	109
三、转动惯量	110
§ 5-3 刚体定轴转动的动能定理	115
一、力矩的功	115
二、刚体的转动动能和重力势能	116
三、刚体定轴转动的动能定理	117
四、机械能守恒定律	118
§ 5-4 刚体定轴转动的角动量定理和角动量守恒定律	120
一、刚体定轴转动的角动量定理	120

二、刚体的角动量守恒定律	121
* § 5-5 进动	128
思考题 5	129
练习题 5	130
第六章 狭义相对论(Special Relativity)	133
§ 6-1 经典力学的绝对时空观	133
一、力学的相对性原理	133
二、伽利略变换	133
三、绝对时空观	134
§ 6-2 迈克耳孙-莫雷实验	135
§ 6-3 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	137
一、狭义相对论的基本原理	137
二、洛伦兹变换	138
§ 6-4 狭义相对论时空观	141
一、“同时”的相对性	141
二、长度收缩	143
三、时间延缓	145
* 四、因果关系的绝对性	147
§ 6-5 狭义相对论动力学	149
一、质速关系	149
二、相对论动力学基本方程	150
三、相对论动能	150
四、静能、总能和质能关系	151
五、相对论能量和动量的关系	152
* § 6-6 广义相对论简介	154
一、广义相对论的基本原理	154
二、广义相对论时空特性的几个实例	155
思考题 6	157
练习题 6	158

第二篇 机械振动与机械波

第七章 机械振动(Mechanical Vibration)	161
§ 7-1 简谐振动的描述	161

一、简谐振动的运动方程	161
二、描述简谐振动的三个特征量	162
三、振动曲线	165
四、旋转矢量表示法	165
§ 7-2 简谐运动的动力学特征	168
一、简谐运动的动力学方程	168
二、单摆——准弹性力	169
三、简谐运动的能量	171
§ 7-3 简谐振动的合成	175
一、两个同方向、同频率的简谐振动的合成	175
二、两个同方向、不同频率的简谐振动的合成	177
三、两个相互垂直的简谐振动的合成	178
* § 7-4 振动的分解 振动频谱	181
* § 7-5 阻尼振动 受迫振动 共振	182
一、阻尼振动	182
二、受迫振动	183
三、共振	184
思考题 7	185
练习题 7	186
第八章 机械波 (Mechanical Wave)	189
§ 8-1 机械波的基本概念	189
一、机械波的产生和传播	189
二、横波与纵波	190
三、波前、波面与波线	190
四、描述波的物理量	191
§ 8-2 平面简谐波的波函数	192
一、波函数	192
二、波函数的物理意义	193
三、平面波的波动方程	198
§ 8-3 波的能量	199
一、波的能量密度	199
二、波的能流密度	201
* 三、声波 声强	201

§ 8-4 惠更斯原理 波的衍射	202
一、惠更斯原理	202
二、波的衍射	203
§ 8-5 波的干涉	203
一、波的叠加原理	203
二、波的干涉	204
* § 8-6 驻波	207
一、驻波现象	207
二、驻波特点	208
三、驻波波函数	208
四、半波损	209
* § 8-7 多普勒效应	211
一、多普勒效应	211
二、激波	214
思考题 8	215
练习题 8	216

第三篇 热 学

第九章 气体动理论(Gas Kinetics)	221
§ 9-1 物质的微观模型	221
一、热学基础知识概述	221
二、分子热运动的基本概念	223
§ 9-2 理想气体的状态方程	225
一、气体的实验定律	225
二、理想气体模型	225
三、理想气体的状态方程	226
§ 9-3 理想气体的压强和温度公式	228
一、理想气体的统计假设	228
二、理想气体的压强公式	229
三、理想气体的温度公式	231
§ 9-4 能量均分定理	232
一、自由度	232
二、能量均分定理	233
三、理想气体的内能	234

§ 9-5 麦克斯韦速率分布定律	236
一、速率分布概念	236
二、速率分布函数	238
三、麦克斯韦速率分布函数	238
四、三个统计速率	239
§ 9-6 分子的平均碰撞频率和平均自由程	241
思考题 9	243
练习题 9	244
第十章 热力学基础(Thermodynamics)	247
§ 10-1 功 热量 内能 热力学第一定律	247
一、功 热量 内能	247
二、热力学第一定律	248
§ 10-2 准静态过程	249
一、准静态过程	249
二、准静态过程的功	250
§ 10-3 理想气体的等容过程和等压过程 摩尔热容	252
一、等容过程 气体的定容摩尔热容	252
二、等压过程 气体的定压摩尔热容	252
§ 10-4 等温过程和绝热过程	256
一、等温过程	256
二、绝热过程	257
§ 10-5 循环过程 卡诺循环	258
一、循环过程	258
二、卡诺循环	263
§ 10-6 热力学第二定律	265
一、热力学第二定律的两种表述	265
二、可逆过程和不可逆过程 热力学过程的不可逆性	266
三、两种表述的等价性	268
§ 10-7 热力学第二定律的统计意义	269
一、热力学第二定律的统计意义	269
二、热力学概率与玻耳兹曼熵	271
* § 10-8 克劳修斯熵	272
一、熵的定义	272

二、理想气体的熵函数	273
三、熵增加原理	274
* § 10-9 熵增加原理的实例	275
一、功变热过程	275
二、热传导过程	275
三、理想气体的自由膨胀过程	276
* § 10-10 熵与能量的退化	276
思考题 10	277
练习题 10	278
 附录 A 矢量	 281
附录 B 国际单位制的基本单位和导出单位	288
附录 C 一些基本物理常量	291

第一篇

力学 (Mechanics)

物理学是探讨物质结构和运动基本规律的学科. 物质运动的形式是多种多样的, 其中最简单、最基本的运动是机械运动 (mechanical motion), 即一个物体相对另一个物体位置的变动, 或物体自身的某些部分相对于其他部分位置的变动, 如天体的运行、地壳的振动、大陆板块的漂移、车辆的奔驰、机器的运转、组成宏观物体的分子、原子的运动以及原子中电子质子的运动等, 宇宙中的一切无不处在机械运动之中.

研究机械运动的学科称为力学, 力学又可分为运动学 (kinematics)、动力学 (dynamics) 和静力学 (statics) (本书不考虑). 运动学研究的是如何描述物体的运动, 它不涉及引起运动变化的原因. 动力学研究的是物体的运动与物体间相互作用的内在联系.

力学 (或者说整个物理学) 作为一门科学理论始于 17 世纪伽利略 (Galileo Galilei) 对惯性运动的描述, 到了 17 世纪末, 牛顿 (Isaac Newton) 在前人研究成果的基础上, 提出了著名的牛顿运动三定律和万有引力定律, 奠定了经典力学的基础. 在 18~19 世纪的两百年里, 牛顿力学取得了巨大的成就, 对科学技术的发展起到了很大的推动作用. 到了 19 世纪末, 随着电磁学的发展, 牛顿力学中的绝对时空观在解释电磁现象 (如光速与光源运动的关系) 方面遇到了根本困难, 由此而诞生了相对论力学.

本篇主要讲述经典力学的基础, 首先介绍了牛顿运动三定律, 然后分别从动量与冲量、角动量与角冲量、功和能三个方面进行了研究, 得到了动量、角动量、机械能守恒定律, 它们是经典力学的基础. 在此基础上进一步研究了刚体的定轴转动. 最后对狭义相对论作了简单的介绍.

第一章

质点运动学

(Kinematics of Particles)

本章研究如何描述一个物体的运动情况和物体的运动学规律,不涉及引发物体运动状态改变的原因. 首先介绍位矢、速度和加速度等描述质点运动的物理量,然后重点研究了一种重要的曲线运动——圆周运动,最后对相对运动作了简单介绍.

§ 1-1 参照系 质点

一、参照系 坐标系

宇宙间任何物体都在不停息地运动着. 地球以 30 km/s 的速度绕着太阳运转,太阳又以 250 km/s 的速度绕着银河系的中心运转,而银河系又相对河外星系在运动,因此,在宇宙间找不到一个绝对静止的物体,这就称为**运动的绝对性**.

另一方面,物体的位置和位置的变化又是相对的. 例如,描述一个物体位置时常用的词如上、下、左、右、前、后等都是相对另一个物体的. 因此,要判断一个物体是否运动、如何运动都要选定另一个物体作参考,选择不同的物体作参考,同一个物体的运动往往是不同的. 这就称为**运动描述的相对性**. 被选择作为参考的物体称为**参照系**(frame of reference),我们假定它是静止不动的.

选定参照系后,为了能对物体的运动作定量的描述,还必须在参照系上建立**坐标系**(coordinate system). 同一个参照系可以建立不同的坐标系,如直角坐标系、球坐标系等. 参照系选定后,无论选哪种坐标系,物体的运动规律不会改变,只是坐标系选得合适,可使计算简化.

坐标系是参照系的数学抽象. 一旦建立了坐标系,实际上就意味着参照系也已选定. 往后就不再把它们加以区别.

二、质点

任何物体都有形状大小. 物体运动时,物体上各点的运动情况各不相同,运动中物体的形状大小也可能改变. 因此要详尽地描述物体的运动几乎是不可能的. 为此我们需要建立各种**理想模型**来简化问题.

如果在研究的问题中物体的形状大小是次要因素,我们就可以忽略物体的形状大小,而把物体视为一个具有一定质量的几何点,称为**质点**(particle). 这个理想模型突出了物体的共性: 质量和位置;忽略了个性: 形状大小. 一般来说,当物体的线度远远小于它的运动轨迹时,就可以把它视为质点. 例如,一列运行在北京和广州之间的火车就可以完全忽略它的长度,把它视为质点. 刚体作平动时也可视为质点(见第五章). 把物体视为质点意

味着忽略了物体的转动,从而大大简化了实际问题.

一个物体能否简化成质点不能绝对化,要具体问题具体分析.例如,我们研究地球绕太阳的公转时,可以把地球视为质点,若要研究地球的自转,则不能视为质点,而要采取其他模型,如刚体.

§ 1-2 位置矢量 位移

一、位置矢量 运动方程

每个质点在每一瞬间都有一个确定的位置,设某时刻质点位于 P 点. 为了描述它的位置,我们首先选定参照系,在参照系上取一固定点 O ,从 O 点做一指向质点的矢量 $\mathbf{r} = \overrightarrow{OP}$,用来表示 P 点与 O 点的距离和方位,见图 1-1. 显然, P 点的位置确定了,矢量 $\mathbf{r}$ 也就确定了. 反之,矢量 $\mathbf{r}$ 确定了, P 点的位置也就确定了. 所以我们可以用矢量 $\mathbf{r}$ 描述质点的位置,称它为**位置矢量**(position vector),简称**位矢**.

然后我们建立直角坐标系,坐标原点取在 O 点,则位置矢量可以表示为

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

式中 x, y, z 称为质点在直角坐标系里的坐标. 若 $\mathbf{r}$ 矢量与 x, y, z 轴的夹角分别为 α, β, γ , 则有

$$\begin{cases} x = r \cos \alpha \\ y = r \cos \beta \\ z = r \cos \gamma \end{cases}$$

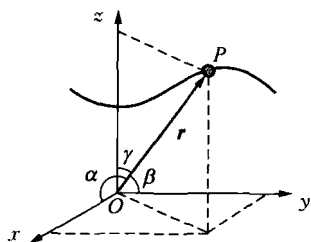


图 1-1 位矢

位置矢量的模可表示为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

当质点运动时,它的位矢的大小和方向都在随时间改变,即位矢是时间的函数

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-2a)$$

上式称为质点的**运动方程**(equation of motion)或**运动函数**. 相应地,质点的三个坐标也是时间的函数

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1-2b)$$

它是运动方程的标量形式.

如果质点在 xy 平面上运动,则有

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j}$$

其标量形式为

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases}$$