



武汉大学·普通高等教育“十一五”规划教材

21世纪高等学校教材

大学基础物理

第一册

(第二版)

主 编 徐斌富

副主编 邹 勇 潘传芳 章可钦



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等教育·武汉大学“十一五”规划教材
21 世纪高等学校教材

大学基础物理

第一册

(第二版)

主 编 徐斌富

副主编 邹 勇 潘传芳 章可钦

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

《大学基础物理》是武汉大学·普通高等教育“十一五”规划教材、21世纪高等学校基础课程教材之一。本套教材共分三册。本书是《大学基础物理》第一册，讲述力学和热学的基本概念和规律，内容包括质点力学、刚体力学、流体力学、机械振动、机械波、气体动理论和热力学的基础知识，最后一章主要是以力学和热学的基本规律为基础，简要地介绍了混沌现象、超声检测技术、能源技术与热力学等现代科学与高新技术内容，用以拓展学生的物理知识面。

本书可作为高等学校大学物理课程的教材，也可以作为中学物理教师教学和其他读者自学的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理. 第1册/徐斌富主编. —2版—北京：科学出版社，2008
武汉大学·普通高等教育“十一五”规划教材
21世纪高等学校教材
ISBN 978-7-03-022208-4

I. 大… II. 徐… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第079121号

责任编辑：张颖兵 吉正霞 / 责任校对：梅莹

责任印制：董艳辉 / 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>

武汉市新华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

*

2007年1月第 一 版

2008年7月第 二 版 开本：B5 (720×1000)

2008年7月第三次印刷 印张：21 1/4

印数：12 001—22 000 字数：405 000

定价：29.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

武汉大学·普通高等教育“十一五”规划教材
21 世纪高等学校教材

《大学基础物理》编写组

主 编 徐斌富

主 审 张哲华

(以下按姓氏笔画排序)

副主编 邹 勇 章可钦 潘传芳

编写者 尹 玲 刘大鹏 刘莲君

孙幼林 邹 勇 沈黄晋

徐斌富 章可钦 潘传芳

第二版前言

《大学基础物理》是 21 世纪高等学校基础课程教材之一,是一套力求与教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会关于《非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求》(正式报告稿 2004 年 12 月 3 日)相适应的大学物理课程新教材,为武汉大学“十一五”规划教材,第一版使用对象主要是武汉大学理科(非物理专业)、工科和医科等专业本科生。

为适应新世纪的教学要求,打造品牌教材,并全面推向社会,本套教材编写组集思广益,广开言路,全面收集教师、学生和读者的反馈意见和各种信息,在保持第一版编写风格的前提下,于 2008 年对全书进行了第二版的编写和修订工作,修订的第二版具有如下几个特点:

第一,结构更加合理,更符合理科(非物理专业)、工科和医科等专业本科生的教学实际和大学物理教学、教改走向。

第二,对部分章节的内容进行了增删、修改、润色,将节后的基础习题移至章后与综合习题编排在一起,并统称为习题。

第三,对少量编写、编辑、校对差错,进行了认真校正。

担任本套教材各册编写的人员(见第一版前言)各自负责其编写、修订工作。

本套教材为武汉大学教学改革的成果,第二版被遴选为科学出版社普通高等教育“十一五”规划教材,在此向关心本套教材的各位同仁表示谢意,同时欢迎读者继续对本套教材提出批评和建议。

编 者

2008 年 5 月于武昌珞珈山

第一版前言

《大学基础物理》是 21 世纪高等学校基础课程教材之一. 这是一套力求与教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会关于《非物理类理工学科学物理课程教学基本要求》(正式报告稿 2004 年 12 月 3 日)(以下简称《基本要求》)相适应的大学物理课程新教材, 是编者在总结多年教材改革和教学实践的基础上, 汲取了当前国内外优秀教学改革成果而编写的. 下面对本教材作几点说明.

1. 课程内容现代化更突出

现代高新科技的发展突飞猛进, 高等院校正在培养的是 21 世纪的科技人才, 在新教材中加强介绍科学前沿和技术应用发展中的基础性物理原理, 使课程内容现代化是非常必要的. 在编写本教材时, 我们作了一点尝试, 除了在第三册中大篇幅地介绍近代物理基础理论外, 还在每章中尽可能引入一点对当前新技术领域中的基础性物理原理的介绍. 另外在每册的最后一章, 专题讨论与本册相关的现代科学与高新技术物理基础知识, 使课程内容现代化更突出.

2. 科学思维与创新能力的培养更明显

本套教材的教学目标定位在对学生进行科学素质教育、人才的“创新、创造、创业”教育和物理基础理论及其在现代高新技术应用上的教育, 培养学生独立获取知识的能力、科学思维能力和解决问题的能力. 如何在教材中实现上述目标, 是编者的一个重大课题. 在编写本教材时, 我们也作了一点尝试, 除了常规地设计例题、基础习题、思考题和综合习题外, 还开设了《思考与探索》这一新栏目, 使科学思维与创新能力的培养更明显.

3. 分层次组织教学更方便

为了适合高等学校不同层次、不同类型的各专业学生对大学物理课程的教学要求, 本教材内容在编排上分为三个层次, 即大学物理核心内容、扩展内容(其章节用 * 标注)和较深入内容(其章节用 ** 标注), 以适应分类或分层次组织教学. 本套教材核心内容按《基本要求》的 126 学时编写, 扩展内容和较深入内容可根据不同层次、不同类型的各专业的要求选讲. 在课后作业题的编排上, 以学生为本, 分层次指导的特点也是很明显的. 对基础较差的学生可多布置一些基础习题; 对基础较好的学生可多布置一些思考题和综合习题; 对物理特别感兴趣的学生, 除了多布置

一些思考题和综合习题之外,还可以引导他进入《思考与探索》这一新栏目参与研讨.

担任本套教材各册编写与审稿的人员如下:

第一册主编:徐斌富 邹 勇 潘传芳 章可钦

第二册主编:徐斌富 章可钦 邹 勇 潘传芳

第三册主编:徐斌富 潘传芳 章可钦 邹 勇

全书主审:张哲华

第一册编写人员:

邹勇(第1、2、3、4章;第10章 § 10.1)

潘传芳(第5章)

刘大鹏(第6、7章;第10章 § 10.2)

尹玲(第8、9章;第10章 § 10.3)

第二册编写人员:

孙幼林(第11、12章;第19章 § 19.1)

章可钦(第13、14、15、16章;第19章 § 19.2)

沈黄晋(第17、18章;第19章 § 19.3)

第三册编写人员:

潘传芳(第20、21、22、23章;第31章 § 31.1)

徐斌富(第24、25、26、27、28章;第31章 § 31.2、§ 31.3)

刘莲君(第29、30章)

张哲华教授对本套教材的编写提出了指导性的意见,梁荫中教授和刘莲君教授对本套教材的编写给予了许多有益的帮助,本套教材在编写过程中得到了武汉大学教务部、武汉大学物理科学与技术学院领导的关心和大力支持,在此一并表示衷心的感谢.

由于编写时间较紧,书中疏漏和不足之处在所难免,我们真诚希望读者批评指正.

编 者

2006年9月

目 录

第 1 章 质点运动学	1
1.1 质点运动的描述	1
1.1.1 参考系 坐标系 质点	1
1.1.2 位置矢量 运动表达式	2
1.1.3 位移 速度	3
1.1.4 加速度	5
1.1.5 两类基本问题	6
1.2 圆周运动的角量表示 角量与线量的关系	9
1.2.1 切向加速度和法向加速度	9
1.2.2 圆周运动的角量表示	11
1.2.3 角量与线量的关系	13
1.3 相对运动	14
思考题	16
习题	17
思考与探索	19
第 2 章 牛顿运动定律	20
2.1 牛顿运动定律	20
2.1.1 牛顿第一定律	20
2.1.2 牛顿第二定律	22
2.1.3 牛顿第三定律	23
2.2 物理量的单位和量纲	24
2.2.1 国际单位制	24
2.2.2 量纲	25
2.3 常见力与基本力	25
2.3.1 基本力	26
2.3.2 常见力	27
2.4 牛顿运动定律的应用	29
2.4.1 第一类典型问题(积分类型)	29
2.4.2 第二类典型问题(求导类型)	34
*2.5 非惯性系 惯性力	35

2.5.1 非惯性系·····	35
2.5.2 平动惯性力和离心惯性力·····	36
**2.5.3 科里奥利力·····	37
思考题·····	40
习题·····	41
思考与探索·····	45
第3章 运动的守恒定律 ·····	47
3.1 动量 动量定理 动量守恒定律·····	47
3.1.1 冲量 动量 质点动量定理·····	47
3.1.2 质点系动量定理·····	50
3.1.3 动量守恒定律·····	52
3.2 质心 质心运动定理·····	54
3.2.1 质心·····	54
3.2.2 质心运动定理·····	56
3.3 角动量 角动量定理 角动量守恒定律·····	57
3.3.1 质点的角动量·····	57
3.3.2 质点角动量定理及角动量守恒定律·····	59
3.3.3 质点系角动量定理及角动量守恒定律·····	60
3.4 功 质点动能定理·····	62
3.4.1 功·····	62
3.4.2 功率·····	63
3.4.3 质点动能定理·····	64
3.5 保守力 势能·····	66
3.5.1 保守力与非保守力 势能·····	67
3.5.2 常见保守力的功及其势能形式·····	67
3.5.3 势能曲线·····	70
3.6 功能原理 机械能守恒定律·····	71
3.6.1 质点系动能定理·····	71
3.6.2 功能原理·····	71
3.6.3 机械能守恒定律·····	72
3.7 碰撞·····	74
3.7.1 恢复系数·····	74
3.7.2 完全弹性碰撞·····	75
3.7.3 完全非弹性碰撞·····	76
3.8 能量守恒定律 *对称性与守恒定律·····	77

3.8.1 能量守恒定律	77
*3.8.2 对称性与守恒定律	78
思考题	81
习题	82
思考与探索	87
第4章 刚体力学	88
4.1 刚体的基本运动	88
4.1.1 平动	88
4.1.2 转动	89
4.2 刚体定轴转动的描述	89
4.2.1 刚体转动的角速度及角加速度	89
4.2.2 匀变速转动的公式	90
4.3 力矩 转动定律 转动惯量	90
4.3.1 力矩	90
4.3.2 转动定律	91
4.3.3 转动惯量	93
**4.3.4 平行轴定理 正交轴定理	95
4.4 刚体的角动量 角动量定理 角动量守恒定律	99
4.4.1 刚体的角动量	99
4.4.2 刚体定轴转动角动量定理	100
4.4.3 刚体定轴转动角动量守恒定律	102
4.5 刚体定轴转动动能定理	104
4.5.1 力矩的功	104
4.5.2 转动动能	105
4.5.3 刚体定轴转动动能定理	106
**4.6 刚体的平面平行运动	108
4.6.1 刚体平面平行运动的描述	108
4.6.2 转动瞬心 纯滚动	109
4.6.3 刚体平面平行运动的动力学方程	110
*4.7 进动	113
4.7.1 回转现象	113
4.7.2 进动角速度	114
4.7.3 回转效应的应用	115
思考题	115
习题	116

思考与探索	123
* 第5章 流体力学基础	124
5.1 流体静力学	124
5.1.1 流体的压强	124
5.1.2 重力场中静止流体内的压强分布	125
5.2 理想流体的稳定流动	126
5.2.1 理想流体	126
5.2.2 稳定流动	126
5.2.3 连续性方程	127
5.3 伯努利方程及其应用	128
5.3.1 伯努利方程	128
5.3.2 伯努利方程的应用	130
**5.4 实际流体的流动规律	132
5.4.1 层流的流动规律	132
5.4.2 湍流与雷诺数	137
5.4.3 流体对固体的作用力	138
思考题	138
习题	139
思考与探索	141
第6章 机械振动	142
6.1 简谐振动	142
6.1.1 简谐振动表达式	142
6.1.2 描述简谐振动的物理量	144
6.1.3 简谐振动的旋转矢量表示法	147
6.1.4 单摆和复摆	151
6.1.5 简谐振动的能量	153
6.2 简谐振动的合成	155
6.2.1 两个同方向同频率的简谐振动的合成	155
6.2.2 两个同方向不同频率的简谐振动的合成 拍	158
**6.2.3 谐振分析和频谱	160
6.2.4 两个相互垂直的同频率简谐振动的合成	161
*6.2.5 两个相互垂直的不同频率简谐振动的合成	163
*6.3 阻尼振动 受迫振动 共振	164
6.3.1 阻尼振动	165
6.3.2 受迫振动	167

6.3.3 共振	168
*6.4 非线性振动	169
6.4.1 非线性振动方程	170
6.4.2 非线性振动方程的求解	171
思考题	173
习题	174
思考与探索	178
第7章 机械波	179
7.1 机械波的产生和传播	179
7.1.1 机械波的基本概念	179
7.1.2 描述机械波的物理量	181
7.2 平面简谐波表达式	185
7.2.1 平面简谐波表达式	185
7.2.2 平面简谐波表达式的物理意义	186
7.2.3 波动方程	190
7.3 平面简谐波的能量	192
7.3.1 波的能量	192
7.3.2 波的能量密度	193
7.3.3 波的能流密度	194
**7.3.4 波的吸收	195
7.4 惠更斯原理 波的衍射、反射和折射	196
7.4.1 惠更斯原理	196
7.4.2 惠更斯原理的应用	197
7.5 波的叠加	199
7.5.1 波的叠加原理	199
7.5.2 波的干涉	200
7.5.3 驻波	203
**7.5.4 波包 群速度	208
7.6 多普勒效应	210
7.6.1 机械波的多普勒效应	210
**7.6.2 冲击波	213
*7.7 声波	214
7.7.1 声波的一般性质	214
7.7.2 声强级	216
7.7.3 次声 超声 噪声	218

思考题	222
习题	223
思考与探索	226
第8章 气体动理论	227
8.1 热力学系统的平衡态	227
8.1.1 平衡态	227
8.1.2 状态参量	228
8.1.3 温度	229
8.2 理想气体状态方程	230
8.3 物质的微观模型	232
8.3.1 物质的微观模型	232
8.3.2 大量粒子系统的统计规律性及统计方法	234
8.4 理想气体的压强	235
8.4.1 理想气体的微观模型	235
8.4.2 理想气体的压强公式	236
8.5 气体分子热运动的速率及能量的统计分布律	238
8.5.1 速率分布函数	238
8.5.2 麦克斯韦速率分布律	239
**8.5.3 玻尔兹曼能量分布律	242
8.6 理想气体的温度	244
8.6.1 理想气体温度公式	244
8.6.2 温度的微观统计意义	244
8.6.3 理想气体状态方程推导	244
8.7 能量均分定理 理想气体的内能	245
8.7.1 分子的自由度	245
8.7.2 分子能量按自由度均分定理	246
8.7.3 理想气体的内能	247
8.8 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	248
8.8.1 平均碰撞频率和平均自由程	248
8.8.2 影响平均碰撞频率和平均自由程的因素	249
*8.9 气体的输运现象	250
8.9.1 黏滞现象	250
8.9.2 热传导现象	251
8.9.3 扩散现象	252
*8.10 真实气体 范德瓦耳斯方程	254

8.10.1 真实气体的等温线	254
8.10.2 由分子体积引起的修正	255
8.10.3 由分子力引起的修正	256
思考题	258
习题	259
思考与探索	260
第9章 热力学基本定律	261
9.1 热力学第一定律	261
9.1.1 热力学中的基本概念	261
9.1.2 热力学第一定律	265
9.2 热力学第一定律对理想气体的应用	266
9.2.1 等容过程 摩尔定容热容	266
9.2.2 等压过程 摩尔定压热容	267
9.2.3 等温过程	269
9.2.4 绝热过程	270
*9.2.5 多方过程	272
9.2.6 循环过程 卡诺循环	273
9.3 热力学第二定律	279
9.3.1 热力学第二定律的表述	280
9.3.2 可逆过程与不可逆过程	281
**9.3.3 卡诺定理	283
9.4 熵 熵增加原理	284
9.4.1 克劳修斯等式和不等式	284
9.4.2 熵和熵变	286
9.4.3 熵增加原理	289
9.4.4 热力学第二定律的熵表述	290
9.4.5 熵与热力学概率	291
**9.5 热力学第三定律	293
9.5.1 能斯特定理	293
9.5.2 热力学第三定律	294
思考题	294
习题	295
思考与探索	298
第10章 现代科学与高新技术物理基础(1)	299
10.1 混沌现象	299

10.1.1 混沌的概念	299
10.1.2 蝴蝶效应	300
10.1.3 貌似随机的混沌	303
10.2 超声检测技术	303
10.2.1 超声检测的基本物理原理	303
10.2.2 超声检测的典型应用	305
10.2.3 超声检测仪器	307
10.3 能源技术与热力学	309
10.3.1 能源 能量传递	309
10.3.2 能量转换的基本原理	311
10.3.3 热力学定律对节能技术的指导意义	313
习题参考答案	315
附录	321

第1章 质点运动学

运动学的任务是描述物体在空间的位置随时间的变化,不涉及物体间相互作用与运动的关系.我们知道,所有的物质都处于永恒的运动之中,物质的运动形式是多种多样的,机械运动是其中最简单、最基本的运动.

本章主要内容:位置矢量、运动表达式、位移、速度和加速度、切向加速度和法向加速度、相对运动等.

1.1 质点运动的描述

一个物体相对于另一个物体的位置,或一个物体的某些部分相对于其他部分的位置,随着时间而变化的过程,叫做**机械运动**.为了研究物体的机械运动,首先需要对复杂的物体运动进行科学合理的抽象,提出物理模型,还要给出能反映物体位置变化及位置变化快慢程度的物理量.

1.1.1 参考系 坐标系 质点

研究物体的机械运动规律,首先要确定如何描述物体的运动.物体的运动的描述,起源于人们对运动物体的观察、归纳和综合,从而抽象出必要的概念,再建立必要的基本运动学量(物理量)来实现的.下面介绍参考系、坐标系和质点的概念.

1. 参考系

在自然界中,绝对静止的物体是找不到的.大到星系,小到原子、电子等微观粒子,无一不在运动.静止在地面上的物体(例如建筑物、树木等)似乎是不动的,但是由于地球有公转和自转,因此地面上的物体自然也跟着地球一起在运动.总之,自然界中所有的物质都处于永恒的运动之中,运动和物质是不可分割的,运动是物质的存在形式,是物质的固有属性.这就是**运动的绝对性**.

然而,对物体运动的描述是相对的.例如,在行进的火车中,坐在车厢中的乘客看到窗外的树木、房屋都在向后倒退;可是,站在地面(即地球)上的人却看到这些树木、房屋都是静止的.由此可知,物体运动的状况因观察者不同而不同.这就是**运动描述的相对性**.通常,可选择观察者本身或者与观察者保持相对静止的另一物体(如上述的车厢、地球等)作为参考标准,来描述物体的运动.这个被选作参考标准

的物体,就称为**参考系**.不同的参考系对同一物体运动状况的描述是不同的.因此,在讲述物体运动状况时,必须指明是对什么参考系而言的.在讨论地面上物体的运动时,通常选地球作为参考系.从运动的描述来说,参考系的选择可以是任意的,主要看问题的性质和研究的方便而定.例如,研究宇宙飞船的运动,当运载火箭刚发射时,一般选地球作为参考系;当宇宙飞船绕太阳飞行时,常选太阳作为参考系.

2. 坐标系

为了从数量上确定物体相对于参考系的位置,需要在参考系上选用一个固定的**坐标系**.根据问题的需要,可以选取直角坐标系、极坐标系、柱坐标系、球坐标系和自然坐标系等.究竟应当选用哪种坐标系,坐标原点设在何处,坐标轴的取向如何,应以问题的处理最简化为准.

3. 质点

物体的运动一般而言是很复杂的.物体都有形状和大小,物体上各点的运动也不完全一样,物体本身的形状和大小也可以不断变化.因此,要详细描写物体的运动是不容易的.例如,在太阳系中,行星除绕太阳公转外,还绕自身的轴线自转;从枪口射出的子弹,它在空间向前飞行的同时,还绕自身的轴转动;由多个原子组成的分子,除了分子的平动、转动外,分子内各原子还在作振动.

但是,在研究某些运动时,根据问题的性质或运动的情况,在一定的近似下,可以忽略物体的形状和大小,这时就可以把物体看作是一个有一定质量的点,这样的点模型物体就称为**质点**.例如,研究地球绕太阳公转时,虽然地球的尺寸很大(半径约为 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$),但比起地球到太阳的距离(约为 $1.50 \times 10^8 \text{ km}$)来说小得多,地球上各点相对于太阳的运动就可近似看作相同,这时就可以忽略地球的大小和形状,把地球当作一个质点;但是在研究地球的自转时,则不能把地球看作一个质点.由此看来,一个物体能否抽象为一个质点,应根据问题的具体情况而定.

质点是一个理想化的模型,它体现了物理学中化繁为简、突出问题的主要方面的研究方法,在实践上和理论上都是有重要意义的.当我们所研究的物体不能被看作质点时,可把整个物体看成由许多质点组成,弄清楚这些质点的运动,就可以弄清楚整个物体的运动.因此,研究质点的运动是研究物体运动的基础.

1.1.2 位置矢量 运动表达式

1. 位置矢量

在坐标系中,质点的位置常用**位置矢量**(简称**位矢**)表示.位矢是从原点指向质点所在位置的有向线段,用矢量 $\boldsymbol{r}(t)$ 表示.从图 1.1 中可以看出,位矢 $\boldsymbol{r}$ 在直角坐标系 $Oxyz$ 的三个坐标轴上的投影分别为 x 、 y 和 z .所以,质点 P 在直角坐标系 $Oxyz$ 中的位置,既可以用位矢 $\boldsymbol{r}$ 来表示,也可以用坐标 x 、 y 和 z 来表示.引入沿着 x 、 y 、 z 三轴正方向的单位矢量 $\boldsymbol{i}$ 、 $\boldsymbol{j}$ 、 $\boldsymbol{k}$ 后,那么位矢 $\boldsymbol{r}$ 在直角坐标系 $Oxyz$ 中可