



新世纪地方高等院校专业系列教材

普通物理学

主编 黄新民
张晋鲁

南京大学出版社



全国教育科学“十五”规划课题项目

普通物理学

主 编 黄新民 张晋鲁

副主编 宋太平 沐仁旺 潘宏利

编 者 (以姓氏笔画为序)

刘克涛 李 颂 宋太平

沐仁旺 张晋鲁 张国梁

周恒为 侯晨霞 黄新民

翟宝清 潘宏利

南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学/黄新民,张晋鲁主编. —南京: 南京大学出版社, 2005. 6

(新世纪高等师范院校专业系列教材)

ISBN 7-305-04468-7

I. 普... II. ①黄... ②张... III. 普通物理学—师范大学—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 053367 号

丛 书 名 新世纪地方高等院校专业系列教材

书 名 普通物理学

主 编 黄新民 张晋鲁

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮编 210093

电 话 025-83596923 025-83592317 传真 025-83686347

网 址 <http://press.nju.edu.cn>

电子邮件 nupress1@public1.ptt.js.cn

sales@press.nju.edu.cn 销售部

经 销 全国各地新华书店

照 排 南京展望文化发展有限公司

印 刷 南京人民印刷厂

开 本 787×960 1/16 印张 38.25 字数 681 千

版 次 2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

印 数 1—3 000

ISBN 7-305-04468-7/O·345

定 价 46.00 元

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购图书
销售部门联系调换

前 言

物理学是一门自然科学,它是研究宇宙间物质存在的各种基本形式,即它们的性质、运动和转化以及内部结构,从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律的科学。

自然界是由形态不同的物质所组成,物质的固有属性是运动,一切物质都在永恒不停地运动着,宇宙间一切现象都是物质运动的表现。物质的运动形式是多种多样的。物理学研究的最基本最普遍的运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动和分子、原子、原子核及基本粒子的运动等等。这些运动的形式,普遍地存在于如化学运动、生物运动等更高级、更复杂的运动形式之中。从应用观点来看,它几乎为所有领域提供了可用的理论、实验手段和研究方法。以它的普遍性、基本性以及与其他科学的相关性,使它在自然科学中占有独特的地位。实践证明,研究一切现代科学技术都离不开物理学知识,所以物理学是一门重要的基础科学。

物理学的发展与生产技术有着密切的联系。早在17~18世纪,由于牛顿力学和热力学的发展,不仅有力地推动了其他科学的发展,而且适应了蒸汽机的研制和机械工业发展的需要,引起了第一次工业革命,极大地改变了工业生产的面貌。到了19世纪,在热力学研究方面总结了卡诺定理和热力学第二定律,指出了提高热机效率的途径,促进了生产力的发展;法拉第总结了电磁感应定律,麦克斯韦建立了电磁场理论,人们成功地制造了发电机和电动机、电器和电讯设备,引起了第二次工业革命,使人类进入了电气化时代。20世纪以来由于相对论和量子力学的建立,奠定了现代物理学的基础,从而使人们对高速、微观领域的认识日益深入,促进了许多新兴技术的出现和边缘科学的发展,开拓了原子能、电子计算机、自动化、半导体、激光、超导、信息技术、空间科学、新能源、新材料等高新技术领域。现代物理学已成为基础学科中发展最快、影响最大的一门科学,其各个分支都在孕育着新的突破。如超导体的研究、新能源及新材料、生物物理学的发展等,都必将给人类生

活、生产及自然科学的各个领域带来很大影响。

物理学的发展过程,是人类对客观世界不断认识的过程,物理学的理论是由一组概念、定律和定理组成的。定律和定理好比是理论的骨骼,概念、分析和形象化的图形好比是理论的血和肉,概念是具有特殊意义的,它是文字说明、数学表达及实验事实联系起来的链条。物理学的定律都是从生产实践和科学实验中由观察、经验和实验等归纳而总结出来的,但更多的物理定律和理论是建立在大量科学实验的基础上,通过对物理现象的观察、分析、假设、抽象和总结等步骤建立起来的,定理是根据定律用数学知识推导出来的。从科学实验中得到理论,再回到实践中去检验,以上升为公认的理论,由此不但能解释已知的事实,而且还具有预见性。所以生产实践和科学实验是物理学发展的动力和源泉。因而物理学研究方法主要是观察和实验,在观察和实验的基础上,对物理现象进行分析、抽象和概括,从而建立物理定律,形成物理理论,再回到实践中去检验。

纵观物理学的内容,由两大部分组成,一个是以牛顿力学、麦克斯韦电磁学及热力学为基础而构成的经典物理学;一个是以相对论及量子力学为主要基础而构成的近代物理学。近代物理学是更为普遍的理论,它可以把经典物理作为一种特例包括进去。但是,对宏观领域内的绝大多数研究现象来说,经典物理不仅仍然适用,所得的结论的正确程度与近代物理的处理并无差异,而且方法更为简捷方便,所以经典物理并没有丧失其独立存在的价值,而且还在不断地取得新的进展和应用。从教材编排上来讲,以普通物理学教学大纲(非物理专业)为依据,确保作为一门基础课的普通物理学自身的系统性,把重点放在基本概念、基本原理和基本方法的阐述上,充分注意实验事实和方法。对物理概念和物理规律的叙述,力求严密、准确、重点突出,脉络分明,便于形成知识框架;注意启发思维,培养能力。

如何学好大学物理,关键在于方法。通过多年的教学和探讨,我们认为,学习物理知识时,应充分注意物理学自身的特点,物理学既是一门实验科学,又是一门概括性极强的理论科学。无论是研究物理运动还是研究物质的结构,都是以实验事实为依据通过具体的物理量、公式或定律所表述物理过程和现象的内在规律性形成相应的物理概念和物理图像,所以要深刻地掌握所学内容,就必须重视物理现象、物理过程的分析,须弄清所处的条件,明确其作用和联系,在思想上形成正确的物理图像,建立正确的物理概念;掌握每个物理量的物理意义,明确每个公式的适用对象、使用范围、条件,在理解的基础上记忆;弄懂物理定律、定理的确切含义,在此基础上运用分析和综合的方法,弄清物理理论的内容和意义。

本书经主编共同研究,制订编写计划,参编者讨论修改分工编写而成.在编写过程中得到陕西理工学院、伊犁师范学院、南阳师范学院、南通大学、国家级课题“新世纪高等师范院校课程开发与教材建设课题组”和“新世纪高等师范院校教材编写委员会”、南京大学出版社的大力支持和帮助,对此表示衷心的感谢.

由于作者水平所限,在内容的编排和叙述的方法上肯定存在不少不妥之处,恳请专家及读者不吝指正.

编 者

2005 年 5 月

目 录

第一篇 力 学

第 1 章 质点运动学	3
§ 1.1 参照系和坐标系	3
§ 1.2 质点 位矢和位移	4
§ 1.3 速度 加速度	6
§ 1.4 直线运动	9
§ 1.5 曲线运动	12
§ 1.6 相对运动	18
习题	19
第 2 章 牛顿运动定律	22
§ 2.1 牛顿运动定律	22
§ 2.2 力学的单位制和量纲	24
§ 2.3 牛顿定律的应用	26
§ 2.4 圆周运动的向心力	30
§ 2.5 惯性系和非惯性系	33
习题	37
第 3 章 功和能	40
§ 3.1 功和功率	40
§ 3.2 动能定理	43
§ 3.3 势 能	46
§ 3.4 功能原理与机械能守恒定律	53
§ 3.5 行星的运动 宇宙速度	57
习题	61

第4章 动量定理	64
§ 4.1 动量定理	64
§ 4.2 动量守恒定律	70
§ 4.3 火箭的运动	73
§ 4.4 碰 撞	74
习题	78
第5章 刚体力学	81
§ 5.1 刚体的基本运动	81
§ 5.2 质心运动定理	84
§ 5.3 刚体的转动惯量	86
§ 5.4 转动定律	91
§ 5.5 刚体定轴转动的动能定理	95
§ 5.6 动量矩守恒定律	97
习题	101
第6章 狭义相对论基础	104
§ 6.1 相对论的实验基础	104
§ 6.2 相对论的基本原理 洛仑兹变换	108
§ 6.3 相对论的时空理论	113
§ 6.4 相对论力学	118
习题	120

第二篇 振动与波

第7章 振动学基础	125
§ 7.1 简谐振动	125
§ 7.2 初始条件 谐振子的能量	129
§ 7.3 阻尼振动 受迫振动 共振	132
§ 7.4 同方向简谐振动的合成 拍	135
§ 7.5 相互垂直的简谐振动的合成	138
习题	140
第8章 波动学基础	143
§ 8.1 机械波的产生和传播 简谐波	143
§ 8.2 波速 波长 波的周期和频率	145
§ 8.3 波动方程	148

§ 8.4 波的能量和能流	151
§ 8.5 惠更斯原理 波的反射和折射	154
§ 8.6 波的叠加原理 波的干涉	157
§ 8.7 驻波	160
§ 8.8 多普勒效应	162
§ 8.9 声波 超声波 次声波	164
习题	166

第三篇 电 磁 学

第 9 章 静电场的基本规律	171
§ 9.1 电荷 电场	171
§ 9.2 库仑定律	173
§ 9.3 电场强度 场的叠加原理	176
§ 9.4 高斯定理	183
§ 9.5 电场力的功 电势	189
§ 9.6 电场强度与电势的关系	195
习题	198
第 10 章 静电场中的导体和电介质	200
§ 10.1 静电场中的导体	200
§ 10.2 电容 电容器	205
§ 10.3 电介质中的静电场 电位移	212
§ 10.4 电场的能量	218
习题	221
第 11 章 恒定电流和恒定电场	225
§ 11.1 电流密度 电流连续性方程	225
§ 11.2 欧姆定律 焦耳-楞次定律	228
§ 11.3 电动势	234
§ 11.4 基尔霍夫定律及其应用	240
习题	244
第 12 章 真空中的稳恒磁场	246
§ 12.1 磁感应强度 磁场的高斯定理	246
§ 12.2 毕奥-萨伐尔定律	252
§ 12.3 安培环路定理	259

§ 12.4 带电粒子在磁场中的运动	265
§ 12.5 磁场对载流导体的作用	271
§ 12.6 电流单位的定义	274
§ 12.7 磁场力的功	276
习题	277
第 13 章 磁介质中的磁场	280
§ 13.1 磁介质 顺磁质和抗磁质的磁化	280
§ 13.2 磁场强度 磁介质中的安培环路定理	283
§ 13.3 铁磁质	288
习题	293
第 14 章 电磁感应	295
§ 14.1 电磁感应定律	295
§ 14.2 动生电动势	298
§ 14.3 涡旋电场—感生电动势	304
§ 14.4 自感与互感	311
§ 14.5 自感磁能与互感磁能	316
习题	318
第 15 章 麦克斯韦电磁理论	322
§ 15.1 电磁场 麦克斯韦方程组	322
§ 15.2 赫兹实验	328
§ 15.3 电磁波	329

第四篇 热 学

第 16 章 气体分子动理论	335
§ 16.1 气体的状态参量 平衡态	335
§ 16.2 理想气体的压强公式	340
§ 16.3 气体分子的平均动能	342
§ 16.4 能量均分定理	345
§ 16.5 麦克斯韦分子速率分布律	349
§ 16.6 分子平均碰撞次数与平均自由程	355
§ 16.7 气体的迁移现象	357
§ 16.8 真空的获得	361
习题	364

第 17 章 热力学基础	366
§ 17.1 内能 功 热量	366
§ 17.2 热力学第一定律	367
§ 17.3 摩尔热容量	370
§ 17.4 等温过程 绝热过程	373
§ 17.5 循环过程	382
§ 17.6 热力学第二定律	385
§ 17.7 可逆过程和不可逆过程	388
§ 17.8 卡诺循环 卡诺定律	390
§ 17.9 热力学第二定律的统计意义	394
习题	396

第五篇 光 学

第 18 章 光的干涉	401
§ 18.1 光的干涉现象 光的相干性	401
§ 18.2 光程 光程差 薄膜干涉	406
§ 18.3 劈尖干涉 牛顿环	411
§ 18.4 迈克耳逊干涉仪	416
习题	417
第 19 章 光的衍射	419
§ 19.1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	419
§ 19.2 单缝衍射 圆孔衍射	421
§ 19.3 光学仪器的分辨本领	426
§ 19.4 衍射光栅 衍射光谱	427
§ 19.5 伦琴射线衍射 布喇格公式	431
§ 19.6 全息照相原理	433
习题	435
第 20 章 光的偏振	437
§ 20.1 自然光和偏振光	437
§ 20.2 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	439
§ 20.3 反射光和折射光的偏振	442
§ 20.4 双折射现象	444
§ 20.5 椭圆偏振光和圆偏振光 波片	449

§ 20.6 偏振光的干涉 人为双折射现象	451
§ 20.7 旋光现象	453
习题	454
第 21 章 光的色散 吸收和散射	456
§ 21.1 光的色散	456
§ 21.2 光的吸收	461
§ 21.3 光的色散和吸收的解释	465
§ 21.4 光的散射	468
习题	470

第六篇 量子物理

第 22 章 波和粒子	475
§ 22.1 热辐射和基尔霍夫定律	475
§ 22.2 光电效应 爱因斯坦光子理论	483
§ 22.3 康普顿效应	489
§ 22.4 德布罗意波 波粒二象性	493
习题	496
第 23 章 原子结构和运动规律	498
§ 23.1 氢原子光谱的实验规律	498
§ 23.2 玻尔的氢原子理论	501
§ 23.3 电子的椭圆轨道与空间量子化	510
§ 23.4 原子磁矩与史特恩-盖拉赫实验	515
§ 23.5 碱金属原子光谱 电子自旋	519
§ 23.6 多电子原子的结构	531
§ 23.7 元素周期系	536
习题	544
第 24 章 固体物理基础	546
§ 24.1 固体的力学性质	546
§ 24.2 固体的能带理论	549
§ 24.3 导体 绝缘体 半导体	551
§ 24.4 超导电性	554
习题	555

第 25 章 原子核与粒子物理简介	557
§ 25.1 原子核的电荷 质量 大小	557
§ 25.2 放射性衰变规律	561
§ 25.3 原子核反应 原子能	565
§ 25.4 粒子物理简介	575
习题	588
 附录	
常用物理常数	590
 参考文献	592

第1章 质点运动学

经典力学是研究物体的机械运动规律的. 所谓机械运动, 是一个物体相对另一个物体的位置, 或一个物体内部的一部分相对其他部分的位置随时间的变化过程. 描述机械运动常用位移、速度、加速度等物理量. 力学中描述物体怎样运动的内容叫做运动学, 即描述物体的位移、速度、加速度等随时间的变化规律.

§ 1.1 参照系和坐标系

1. 参照系和坐标系

为了描述物体的机械运动, 即它的位置随时间的变化规律, 就必须选择一个物体或几个相互间保持静止或相对静止的物体作为参考. 被选为参考的物体称为参照系. 例如, 确定交通车辆的位置时, 我们用固定在地面上的一些物体, 如路旁的树或房子等作为参照系.

同一物体的运动, 由于选择的参照系不同, 会表现为各种不同的形式. 例如, 在地面上匀速前进的车厢中一个自由下落的石块, 以车厢为参照系, 石块是做直线运动. 如果以地面作参照系, 则石块将做曲线运动. 物体运动的形式随参照系的不同而不同, 这个事实叫运动的相对性. 由于运动的相对性, 当我们描述一个物体的运动时, 就必须指明是相对于什么参照系来说的.

确定了参照系之后, 为了定量地说明一个物体相对于此参照系的空间位置, 就在此参照系上建立固定的坐标系. 一般地选用笛卡儿直角坐标系, 根据需要也可以选用其他坐标系, 如极坐标系、球面坐标系或柱面坐标系等.

2. 时间和时刻

“时间”这个词在我们生活中随时都能遇到. 在物理学中, 它代表一个重要物理量, 是国际单位制(SI)中的七个基本物理量之一. 但是, 在生活的习语中, 时刻和时间这两个概念常被混淆了. “时刻”是指时间流逝中的“一瞬”, 对应于时间轴上一点. 时刻为正或负表明在计时起点以后或以前. 物体在某一位置必与一定时刻相对应. “时间”是指自某一初始时刻至终止时刻所经历的时间间隔, 它对应于时间轴上一个区间, 物体位置变动总在一定时间内发生.

§ 1.2 质点 位矢和位移

1. 质点

我们知道, 任何实际物体, 大至宇宙中的天体, 小至原子核、电子以及其他微观粒子, 都具有一定的体积和形状. 如果在所研究的问题中, 物体的体积和形状是无关紧要的, 我们就可以把它看作质点. 所谓“质点”, 是没有体积和形状, 只具有一定质量的理想模型. 质点是力学中一个十分重要的概念. 一个质点的运动, 即它的位置随时间的变化, 可以用数学函数的形式表示出来. 作为时间函数的三个直角坐标值一般可以表示为

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

这样的一组函数叫做质点的运动函数(或运动方程).

2. 位置矢量

质点的位置可以用矢量的概念更简洁清楚地表示出来. 为了表示质点在时刻 t 的位置 P , 我们从原点向此质点引一有向线段 OP , 并记作矢量 $\mathbf{r}$ 如图 1-1 所示. $\mathbf{r}$ 的方向说明了 P 点相对于坐标轴的方位, r 的大小(即它的模)表明了原点到 P 点的距离. 方位和距离都知道了, P 点的位置也就确定了. 由参照系上的

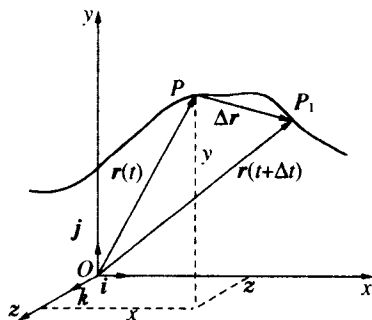


图 1-1 质点的位矢 $\mathbf{r}(t)$ 和位移 $\Delta \mathbf{r}$

参考点 O 引向质点所在位置的矢量 $\mathbf{r}$ 叫做质点的位置矢量, 简称位矢. 质点在运动时, 它的位矢是随时间变化的, 这一变化规律一般可以用函数

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

来表示. 上式就是质点的运动函数的矢量表示式.

在直角坐标系中, 位置矢量 $\mathbf{r}$ 沿三个坐标轴的投影, 即坐标分量 x, y, z . 以 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$, 分别表示沿 x, y, z 轴正方向的单位矢量, 则位矢 $\mathbf{r}$ 和它的三个分量的关系就可以用矢量合成公式

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-3)$$

表示, 式中等号右侧各项分别是位矢 $\mathbf{r}$ 沿各坐标轴的分矢量, 它们的大小分别等于各坐标值的大小, 其方向是各坐标轴的正向或负向, 取决于各坐标值的正或负.

位置矢量 $\mathbf{r}$ 的大小为

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

位置矢量 $\mathbf{r}$ 的方向, 可用方向余弦表示

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \cos \beta = \frac{y}{r}, \cos \gamma = \frac{z}{r}.$$

它们之间有如下的关系为

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1.$$

根据以上的讨论, 我们还可以得到如下的关系

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}. \quad (1-4)$$

式(1-4)表明, 质点的实际运动是各分运动的矢量合成.

3. 位移

经过 Δt 时间, 质点由 P 点移动到 P_1 点, 在这一段时间内它的位置的改变叫做它在这段时间内的位移. 设质点在 t 和 $t + \Delta t$ 时刻分别通过 P 和 P_1 点(图 1-1), 其位矢分别是 $\mathbf{r}(t)$ 和 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$, 则由 P 引到 P_1 的矢量表示位矢的增量, 即

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t).$$

这一位矢的增量就是质点在 t 到 $t + \Delta t$ 这一段时间内的位移.