

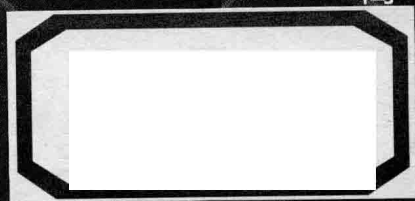
高等学校教材

模块化大学物理

主 编 杨光参 董林荣

高等教育出版社

高 等 学 校 教 材



模块化大学物理

主 编 杨光参 董林荣

参 编 叶建柱 蔡建秋 冉诗勇 王艳伟 等



RFID

高等教育出版社·北京

内容简介

本书以教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010 年版)为依据,采用模块化的体系编写,涵盖了基本要求的核心内容。在内容选取上,压缩经典,注重近代,突出基础,不固守知识的系统性,不追求理论的严密论证,力求理论联系实际,以学以致用为目的。每章都配备本章提要和思考题,便于学生阅读和加深对知识的理解。适当降低例题和习题的难度,以满足高等教育大众化的需要。课后习题形式多样,包含填空、选择和计算等形式,有利于学生对基本知识的掌握和基本概念的理解。

本书分基础篇和提高篇,共 15 章。基础篇 8 章,涉及力学、电学、热学、振动和波动、波动光学及微观物理基础等大学物理的基本知识,是各专业学生必学的内容,完成这部分的教学需要约 50 课时。提高篇 7 章,是跟学生专业知识联系较强的内容和一些近代物理学知识,教师可视学生的专业特点和实际课时量进行选择教学。由于每一章的知识都是相对独立的,前一章的知识不会影响后一章的教学。

本书可作为高等院校非物理类专业本科少学时的大学物理教材和参考书,也可以供其他相关专业选用和广大读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

模块化大学物理 / 杨光参, 董林荣主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2016.12
ISBN 978-7-04-044744-6

I . ①模… II . ①杨… ②董… III . ①物理学 - 高等学校 - 教材 IV . ① O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 020950 号

模块化大学物理
MOKUAIHUA DAXUE WULI

策划编辑 王 硕	责任编辑 程福平	封面设计 张 志	版式设计 张 志
插图绘制 杜晓丹	责任校对 吕红颖	责任印制 刘思涵	

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 唐山市润丰印务有限公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 26.75
字 数 430 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2016年12月第1版
印 次 2016年12月第1次印刷
定 价 79.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 44744-00

大学物理课程是高等学校理工科各专业的一门重要基础课程。该课程所包含的基本概念、基本理论和基本方法是理工科学生科学素质的重要组成部分。为适应新世纪大学物理教学发展的趋势和高等教育大众化的新形势,我们结合多年的教学实践经验,编写了这套大学物理教程。

本书以教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)为依据,借鉴国内外现有大学物理优秀教材的优点,力求知识体系完整,内容精练且理论联系实际,同时体现学科发展的现状和互联网时代的特点。本教程针对目前我国一般院校大学物理教学课时普遍减少的现状,同时又要兼顾理工类不同专业的知识需求,采用模块化的体系编写。

本书分基础模块和提高模块两大部分。基础模块包括:质点运动学、质点动力学、热学基础、静电场、恒定磁场与电磁感应、振动与波动、波动光学、微观物理基础。提高模块包括:刚体力学、热学过程、电磁介质与电磁波理论、光栅衍射、狭义相对论、激光基础、量子力学初步。基础模块是为保证大学物理知识体系完整性而选择的基本内容,通常是所有专业必选模块。提高模块是针对不同专业特点的自选模块,譬如土木类专业选刚体力学模块、化学类专业选热学过程模块等,以满足不同专业学生在少课时情况下学到专门知识,为他们进一步的专业学科学习打下基础。本书在加强对学生分析和解决问题能力培养的同时,引导学生形成正确的科学观念,掌握科学方法,养成科学精神。大学物理课程更重要的任务是通过基本物理知识的传授,使学生受到科学思维的训练,激发学生的学习兴趣和研究欲望。

本书由杨光参、董林荣主编。叶建柱编写第1、第2章,董林荣、段延敏编写第3、第10章,蔡建秋、季永运、高国良编写第4、第5、第11章,于永丽编写第6章,冉诗勇编写第7、第12章,杨光参、王艳伟编写第8、第13、第15章,何林李编写第9章,朱海永编写第14章。全书由杨光参和董林荣负责

统稿和定稿，王振国负责全书的插图。在本书的编写过程中，郑亦庄、董长昆、李士本、柯见洪及金清理老师审阅了部分内容，并对内容的调整和增补提出了宝贵的意见。温州大学软物质科学和工程研究所的研究生曹博智、罗朝旭、芦洁坪、陈洋、夏文彦、郭子龙及王茹霞等做了大量文字和图片编辑工作，在此一并致谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中疏漏和错误在所难免，敬请读者批评指正，以进一步完善本书。

编者

2015年11月

目 录

基础篇

第 1 章	质点运动学	003
1.1	运动的相对性 参考系	004
1.2	质点运动的描述	004
1.3	运动学的两类问题	009
1.4	圆周运动	011
第 2 章	质点动力学	023
2.1	牛顿运动定律	024
2.2	动量 动量定理	027
2.3	角动量 角动量定理	033
2.4	动能 动能定理	038
2.5	保守力和势能	042
第 3 章	热学基础	057
3.1	理想气体物态方程	058
3.2	理想气体分子热运动的统计规律	059
3.3	理想气体压强 温度的微观意义	063
3.4	能量均分定理 理想气体的内能	067
3.5	热力学第零定律 温度的概念	069

3.6 功、热量和内能 热力学第一定律	073
---------------------	-----

3.7 热力学第二定律 可逆和不可逆过程	077
----------------------	-----

第4章 静电场	087
---------	-----

4.1 库仑定律 电场强度	088
---------------	-----

4.2 高斯定理	094
----------	-----

4.3 电势	101
--------	-----

4.4 静电场中的导体	107
-------------	-----

第5章 恒定磁场与电磁感应	121
---------------	-----

5.1 磁感应强度	122
-----------	-----

5.2 恒定磁场的两个基本定理	127
-----------------	-----

5.3 两种形式的磁力	132
-------------	-----

5.4 电磁感应定律	138
------------	-----

5.5 动生电动势和感生电动势	142
-----------------	-----

第6章 机械振动与机械波	167
--------------	-----

6.1 简谐振动	168
----------	-----

6.2 阻尼振动 受迫振动 共振	180
------------------	-----

6.3 机械波	184
---------	-----

第 7 章	波动光学·····	209
7.1	光的干涉·····	210
7.2	杨氏双缝干涉·····	212
7.3	薄膜干涉·····	216
7.4	光的衍射·····	222
7.5	光的偏振·····	228
第 8 章	微观物理基础·····	241
8.1	氢原子光谱和玻尔理论·····	242
8.2	光电效应与爱因斯坦光量子理论·····	248
提高篇		
第 9 章	刚体力学·····	261
9.1	刚体运动学·····	262
9.2	刚体定轴转动定律·····	265
9.3	刚体的动能与势能·····	274
9.4	刚体的角动量定理及角动量守恒定律·····	278
第 10 章	热学过程·····	289
10.1	理想气体的等体过程和等压过程 摩尔热容·····	290

10.2	理想气体的等温过程和绝热过程	293
10.3	循环过程 卡诺循环	296
10.4	气体的输运过程	301
10.5	自然过程 熵增加原理	306
第 11 章	电磁介质与电磁波理论	325
11.1	电介质	326
11.2	电容器 电场的能量	329
11.3	磁介质	334
11.4	自感和互感	341
11.5	电磁场的基本概念与规律	348
第 12 章	光栅衍射	363
第 13 章	相对论简介	371
13.1	狭义相对论的基本假设	372
13.2	同时的相对性与时间延缓	372
13.3	尺缩效应	376
13.4	相对论动量和能量	377

第 14 章	激光基础	391
14.1	激光原理	392
14.2	激光频率变换	396
第 15 章	量子力学初步	403
15.1	德布罗意波与电子衍射实验	404
15.2	不确定关系	405
15.3	薛定谔方程	407
15.4	薛定谔方程的应用——势阱和势垒	409



同学，你坐过过山车吗？你在享受它的刺激同时，感受到它与你在平直地面上运动有什么不同吗？



第1章 质点运动学

力学是物理学最早发展的，也是最基础的部分，它研究物体作机械运动的规律以及物体运动与物体间相互作用的关系。机械运动就是物体或物体各部分之间的相对位置随时间改变的运动形式，研究描述机械运动的内容称为运动学，研究机械运动规律与物体间相互作用关系的内容称为动力学。

物理学研究通常是通过科学抽象把复杂事物转化为简单的理想模型开始的，力学中最简单的理想模型就是质点。作机械运动的物体如果可以看成一个有一定质量的点，这个点就叫质点。物体作平动时，物体上所有点的运动情况是一样的，这时我们可以取物体上任意一点作为物体的代表，质量全部集中于此点，这个点就是质点；有时候物体虽然不作平动，但对于我们所研究的运动来说，物体的大小和形状可以忽略，物体就可以看成一个点，质量全部集中于此点，这个点就是质点。本章将首先研究质点的运动规律，称为质点运动学；第2章研究运动规律与力的关系，称为质点动力学。很多情况下，物体是可以看成质点的，并且当物体不能看成质点时还可以看成是由很多（或无数个）质点组成的，因此从质点入手研究物体机械运动的意义就不言而喻了。

1.1 运动的相对性 参考系

描述物体的运动总是相对于其他物体而言的，所以在确定物体的空间位置以及描述位置变化时，必须选取某一其他物体作为参考物并认为其静止，所研究物体相对于它静止或运动。

被选作参考的物体或物体系，我们称之为参考系。运动学中参考系原则上可任选，不同参考系中物体的运动形式（如轨迹、速度等）可以不同，这就是运动的相对性。参考系有一些惯用的选法。通常，研究地面上的物体运动，我们会选取地球表面为参考系，称为地面参考系或实验室参考系；研究人造地球卫星的运动时我们通常选取地心为参考系，称为地心参考系（地球-恒星参考系）；研究行星运动时，可选择以太阳为参考系，称为太阳参考系（太阳-恒星参考系）。

为了定量地描写质点的位置以及位置随时间的变化，还需要在参考系上建立一个坐标系，就是固联在参考系上的一组有刻度的射线、曲线或角度。坐标系是参考系的数学抽象。从物理表达来说，参考系是必需的，坐标系并不是必需的。参考系选定后，物体的运动形式就确定了，但是坐标系还可任选。在同一参考系中选用不同的坐标系描述同一运动，物体的运动形式是确定的，但其运动形式的数学表述却可以不同。常用的坐标系有直角坐标系和极坐标系等。

下面的讨论我们首先给出的是不依赖坐标系的描述，然后再结合某种常用的坐标系来具体化。矢量这一数学工具的引入，使得力学规律的表达简明并且不依赖于坐标系的选择。因此，在表达式中出现的是矢量的物理量就必须表述成矢量，本书中以黑体字母表示（手写时可以以字母上方加箭头表示）。

1.2 质点运动的描述

1.2.1 质点位置的确定——位置矢量

位置矢量又简称“位矢”“径矢”，是用来确定某时刻质点位置的矢量。当我们选定参考系上某一点为参考点，由参考点出发引向质点所在位置作一矢量，此矢量的矢端就表示此时质点的位置。

如图 1.1 所示，曲线表示质点的运动轨迹， $P(t)$ 表示质点某时刻的位置， O 点表示参考点，则图中 $\mathbf{r}(t)$ 就是从参考点指向质点所在位置的位置矢量。在国际单位制（SI）中，位置矢量的单位为米（m）。

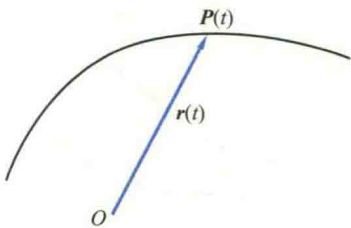


图 1.1 位置矢量

位置矢量与质点某时刻的位置一一对应，所以它能够确定质点的位置。运动中的质点，位置矢量也随时间变化，是时间的函数，称为运动函数。所以

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \tag{1.1}$$

就是质点的运动学方程。知道了运动学方程，我们就能知道任意时刻质点的位置。

1.2.2 质点位置的变化——位移

质点在一段时间（ Δt ）内位置的改变（ $\Delta \mathbf{r}$ ）叫做它在这段时间内的位移。位移是矢量，是从质点在某段时间的初位置出发引向质点在这段时间的末位置所作的矢量，如图 1.2 所示，位移也是位矢的增量。所以，

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \begin{cases} \text{大小: } |\Delta \mathbf{r}| = P_1 P_2 \\ \text{方向: } P_1 \rightarrow P_2 \end{cases} \tag{1.2}$$

要注意位移的矢量性，注意与路程的区别，从 P_1 点到 P_2 点的路程是指 P_1 到 P_2 之间的轨迹长度，路程是一个标量。路程一般用 Δs 表示。一般情况下，路程与位移的大小不一定相等，在时间无限小的情况下，才可以认为路程与位移的大小相等。

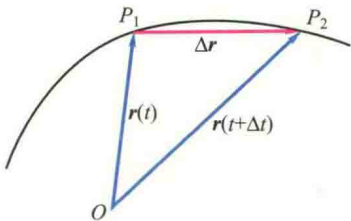


图 1.2 位移

以上我们非常简洁地用一矢量描述质点的位置，其矢量差描述位置的变化。现在，我们把它们结合到直角坐标系中去。如图 1.3 所示，以参考点 O 点为原点建立直角坐标系，坐标轴 x 、 y 、 z 分别附有单位矢量 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 。在直角坐标系里，用坐标 (x, y, z) 可以确定质点位置，位置矢量与直角坐标 (x, y, z) 的关系为

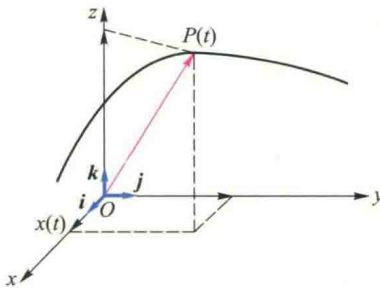


图 1.3 直角坐标系中位置矢量

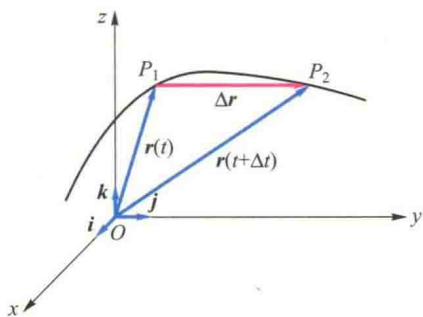


图 1.4 直角坐标系中位移

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(x, y, z) = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1.3)$$

位置矢量大小为 $r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

方向由三个方向角 α, β, γ 决定:

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

三个方向角只有两个是独立的, 它们有以下关系:

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

至于位移 (见图 1.4):

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) = (x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j} + z_2\mathbf{k}) - (x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k}) \\ &= (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1.4)$$

如果质点作一维直线运动, 则我们可以把坐标轴取在这条直线上, 并用正负来表示方向, “+”号 (或缺省) 表示与坐标轴正方向相同, “-”号表示与坐标轴正方向相反, 不用矢量表示.

1.2.3 质点运动的快慢——速度

速度定义为位矢对时间的变化率, 即

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.5)$$

从定义可以看出, 速度是矢量, 其大小就等于位移大小与时间的比值, 方向与位移方向相同.

注意, 这样定义的速度是一定时间间隔内的平均速度.

如果用路程与时间的比值定义, 得到的是速率, 即

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1.6)$$

当然, 这也是一定时间间隔 Δt 内的平均速率. 从定义可以看出, 速率与速度不同, 速率是标量.

由于一定时间间隔 Δt 内的路程与位移大小不一定相等, 所以平均速率的值与平均速度的大小不一定相等.

为了详细了解物体在各个时刻的运动快慢，我们利用上述平均速度的定义，将时间间隔取为无穷小，就可以得到物体在各个时刻的速度，称为**瞬时速度**，即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

于是

$$v = \frac{dr}{dt} \quad (1.7)$$

对于瞬时速度的这个定义式，物理上仍然可以理解为位移与时间的比值，但是位移与时间都是无穷小量。

从数学上来说，这个式子表明，瞬时速度是位矢对时间的一阶导数。所以，从计算来说，只要知道了质点的位矢随时间变化的关系式，通过求导就可以得到质点速度的表达式。

瞬时速度的大小： $v = |v| = \left| \frac{dr}{dt} \right| \neq \frac{dr}{dt}$

瞬时速度方向：沿轨迹切线指向物体运动的方向（见图 1.5）。

由于在 dt 的时间间隔内，位移大小与路程长短可看成相等，所以瞬时速度的大小与瞬时速率是相等的（区别于平均速度大小与平均速率）。结合直角坐标系，由式（1.3）得

$$v(t) = v_x i + v_y j + v_z k = \frac{dx}{dt} i + \frac{dy}{dt} j + \frac{dz}{dt} k \quad (1.8)$$

其中沿三个坐标轴方向的分速度：

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

1.2.4 质点速度变化的快慢——加速度

加速度定义为速度对时间的变化率，即

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.9)$$

其大小就等于速度增量的大小与时间的比值，方向与速度增量的方向相同，如图 1.6 所示。这样定义的加速度是一定时间间隔内的**平均加速度**。

为了详细了解物体在各个时刻的速度变化快慢，我们利用上述平均加速

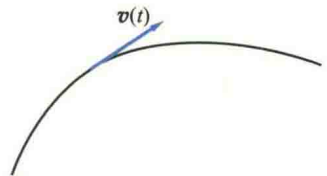


图 1.5 瞬时速度方向