



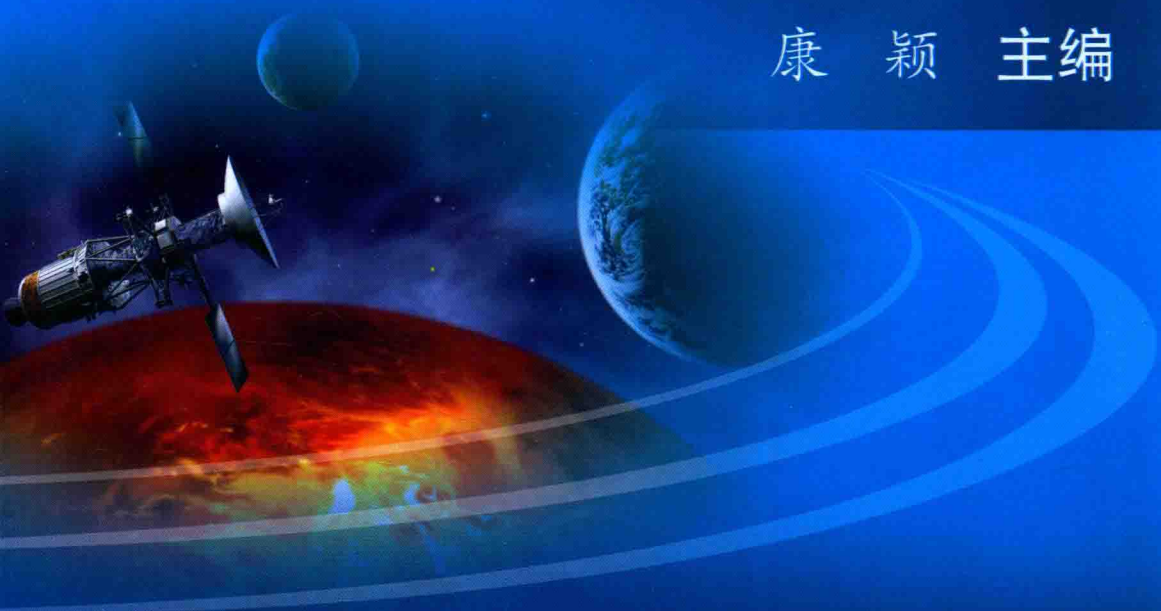
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

- 国家精品课程配套教材
- 首届国家教学名师主编

大学物理 (上册)

(第三版)

康颖 主编



 科学出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

大学物理(上册)

(第三版)

主 编 康 颖

副主编 刘协权 陈 聪

赵选科 白宏刚

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是教育部“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,也是国家精品课程配套教材,是由首届国家级教学名师和诸多具有丰富教学经验的老师,在军队级教学成果一等奖教材的基础上,依据教育部物理基础课程教学指导分委员会新颁发的《理工科类大学物理课程教学基本要求》,考虑国内外物理教材改革动向,结合我国当前大学物理教学实际,多次修订和改编而成。

全书分上下两册。上册包括力学、振动与波动、热学和电学,下册包括磁学、光学、近代物理,以及供选讲的现代技术的物理基础专题。另有陀螺与惯性导航、混沌简介、熵与信息、超导、液晶、核磁共振、次声武器、电磁炮等小篇幅阅读材料供学生选读,有利于开拓视野,联系实际,激发学习的积极性,提高科学素质,培养创新精神。书后还附有物理学名词中英文对照表,便于师生查阅。全书配制了电子教案、学习指导与题解、题库等资源,以备选用。

本书可作为高等学校工科各专业、理科非物理类专业、军队院校合训和非合训各专业的本科教材,也可作为教师和工程技术人员的参考书,或供自学者使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理. 上册/康颖主编. —3版. —北京:科学出版社,2015.12

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-03-046363-0

I. ①大… II. ①康… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 270047 号

责任编辑:罗吉昌盛/责任校对:张凤琴

责任印制:霍兵/封面设计:迷底书装

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>

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年10月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2010年1月第 二 版 印张:23 1/4 插页:1

2015年12月第 三 版 字数:469 000

2015年12月第十八次印刷 印数:78 701—87 700

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书的初版是康颖教授主编的军队院校工科本科通用教材《大学物理》，自1997年出版以来，已被全军院校和部分地方高校用作工科本科教材，并且荣获了2001年军队级教学成果一等奖。为了适应21世纪大学物理教学形势的发展和满足广大师生的需求，考虑当前国内外物理教材改革的动向以及我国当前物理课程教学实际，根据教育部物理基础课程教学指导分委员会新颁发的《理工科类大学物理课程教学基本要求》，从2005年到2015年，对初版做了三次修订和改编，在保证基本理论体系的系统性、完整性、科学性的基础上，注意了和中学物理的衔接，适当地提高了起点；重视基础理论的同时，加强了物理规律的实际应用，以及对学生探索精神和创新意识的培养。该教材语言流畅、层次分明、易教易学、深受欢迎，先后被评选为教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材、教育部“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本书是第三次修订后的版本，总体思路是保留原有的风格和特色，立足于稳中求新。

1. 体系未作大的调整，仍然沿用国内外经过长期教学实践形成的体系，分上下两册出版。上册主要内容包括力学、振动与波动、热学和电学；下册主要内容包括磁学、光学、近代物理和现代技术的物理基础专题。阐述中突出基本物理概念、思想、原理和方法，并且始终注意由浅入深，利于教学和自学。

2. 修改调整了部分章节的内容和小篇幅阅读材料，调整更新了现代技术的物理基础部分专题。小篇幅阅读材料或在所学知识的基础上作适当拓展，或介绍物理学前沿的有关内容和某些新技术的原理，或联系工程实际和军事应用等。上册有对称性与守恒定律、混沌简介、熵与信息、次声武器等6篇阅读材料。下册有超导电性、全息照相、核磁共振、电磁炮、粒子束武器等8篇阅读材料。原有的现代技术的物理基础专题调整和更新为激光技术、红外技术、传感器技术、纳米技术和新能源技术。这些内容留有思维空间，易于激发学习兴趣，培养探索精神和创新意识。

3. 更新了部分例题和习题。例题求解过程注重启发和引导，培养学生科学思维能力和解决问题的能力。

4. 增设了二维码，学生可以自主扫描，观察一些与物理知识有关的自然现象、演示实验和视频等内容，或自己分析，或与同学讨论，有利于提高学生的自学能力和学习效率。

5. 全书采用全国自然科学名词审定委员会公布并更新的物理学名词，书后附

有物理学词汇的中英文对照表,便于师生查阅。

本书仍由首届国家级教学名师康颖教授主编,诸多有丰富教学经验和丰硕科研成果的老师参加了修订。修订上册各章内容的有康颖、李定国、陈聪、赵选科、李宏昌、白宏刚、刘协权、刘进;修订下册各章内容的有康颖、朱霞、陈俊斌、李正群、梁裕民、刘家福、李华、马轩文;修订阅读材料和现代技术的物理基础专题的有康颖、周骏、武文远、张灵振、徐军、杨华、郑春华、郑宇。刘进、康颖在绘制和修改插图方面做了大量细致的工作,康颖对全书进行了修改和统稿,最后定稿。

本书的审稿人员为:原国家教委工科物理课程教学指导委员会副主任委员、西安交通大学吴百诗教授,原教育部物理基础课程教学指导分委员会主任委员、清华大学李师群教授,教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会主任委员、国家级教学名师、同济大学顾牡教授,海军工程大学陈浩教授,国防科技大学杨丽佳教授,他们提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢!

在本书的编写过程中,得到许多老师的支持和帮助,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请读者不吝指正。

编 者

2015年9月27日

第一版序

20 世纪后半叶,物理学在此前建立起来的狭义相对论、量子力学、量子电动力学、统计物理和许多重要物理实验的基础上,以前所未有的速度发展着.物理学的许多分支学科,如原子分子物理、核物理、粒子物理、固体物理以及等离子体物理等都得到了极大的发展.

20 世纪后半叶,科学发展的一个重要特征是学科间相互渗透和交叉综合.物理学和其他学科相互渗透、交叉和综合,结果产生了一系列交叉学科和边缘学科,如化学物理、生物物理、大气物理、海洋物理以及地球物理等.物理学的新概念、新理论和新的实验方法向其他学科转移促成该学科的发展.

20 世纪后半叶,新技术特别是高新技术发展之快也是前所未有的.高新技术包含的科学知识密集、综合性极高,如航天技术、信息技术、生物技术、激光技术等都涉及数学、物理学、化学、材料科学、电子学、计算机等.但可以说,高新技术无一例外地与物理学的基本概念、基本理论和基本实验方法密切相关,其发展在很大程度上依赖于物理学的发展与进步.

现代军事科学技术处于科学技术发展的最前沿.可以说,现代化战争在相当大程度上是高新技术的较量!现代军事科学技术离不开物理学的新成就,如核技术、红外技术、激光技术、超声技术等都与物理学原理和物理实验技术密切相关.

可以说,物理学和它的主要分支学科的发展和成就决定了 20 世纪后半半个世纪科学技术的整个发展进程.

这一切都表明,物理学是自然科学的基础,是产生新技术的源泉.物理学不但在过去曾处于主导地位,而且可以预言,在 21 世纪,物理学仍将处于主导地位,并且它的作用将会更加突出.

物理学和科学技术关系如此密切,以致一个高级科学工作者、一个高级工程技术工作者、一个高级军事科技人才,其物理基础的厚薄、掌握的好坏,将是衡量其科学素质高低的重要标准之一.

大学物理课是一门重要的基础课.高等学校理工科专业开设大学物理课,其作用一方面在于较系统地为学生打好必要的物理基础,另一方面使学生初步学习科学的思想方法和研究问题的方法,这些都起着增强适应能力、开阔思路、激发探索和创新精神,提高人才科学素质的重要作用.学好大学物理,不仅对学生在校学习十分重要,而且对学生毕业后的工作和在工作中进一步学习新理论、新知识、新技术,不断更新知识,都将产生深远的影响.

大学物理课是在低年级开设的课程,它在使学生树立正确的学习态度,掌握科学的学习方法,培养独立获取知识的能力,以尽快适应大学学习规律等方面的作用也是十分重要的。

大学物理课在培养学生辩证唯物世界观、科学的时空观等方面也起着一定的作用。

在学习大学物理课时,不仅要掌握基本物理定理、定律等的内容和它们的适用条件,而且要注意学习如何运用定理、定律分析解决问题的思路和方法;不仅要孤立地掌握好一个一个定理、定律,而且要熟悉各章各节和各定理定律之间的关系,从整体上理解和掌握物理学。

康颖教授主编的这部《大学物理》教材,总结了教师们多年来从事大学物理课教学的经验,并汲取了国内外一些物理教材的优点,其主要特点有:

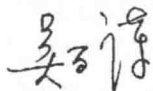
1. 参照教育部非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会 2004 年重新制订的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》精选了内容;编写中注意了和中学物理的衔接,适当地提高了起点,全书从系统设置、内容安排到教学要求切合我国当前大学物理教学实际。

2. 这套教材编写中注重物理概念的阐述,定理、定律等表述准确、清楚、简洁,注重理论联系实际,文字流畅,易读、易学。

3. 这套教材加强了现代技术的物理基础内容,特别是联系军事科学技术的物理基础。教材第 21 章中介绍了涉及红外、激光、纳米、新能源、空间技术等广泛领域的现代科技知识,每一部分除简要介绍相应的物理基础理论外,对实际应用都有较详尽的介绍。另外,新编了陀螺与惯性导航、混沌、熵与信息、核磁共振、液晶、电磁炮、次声武器等阅读材料。这些内容的引入对激发学生学习物理的兴趣,开拓学生视野,提高学生科学素质来说显然是很有益的。

4. 精选了例题、习题。例题求解过程注意引导、培养学生科学思维方法和分析问题解决问题的能力;习题与理论配合较好,有难有易,数量适中。

综上所述,我认为这套教材是一部注重改革、富有新意、利于教学使用的好教材。



西安交通大学

2005 年 3 月 10 日

目 录

前言

第一版序

第 1 章 质点运动的描述	1
1.1 参考系 坐标系 质点	1
1.2 位置 位移 速度 加速度	2
1.3 直角坐标描述	6
1.4 自然坐标描述	13
1.5 角量描述	17
1.6 参考系的变换	20
内容提要	23
习题	24
第 2 章 牛顿运动定律	27
2.1 牛顿运动定律	27
2.2 力学中常见的几种力	30
2.3 牛顿运动定律的应用	32
2.4 物理量的单位和量纲	38
* 2.5 非惯性系 惯性力	39
* 2.6 动力学方程的数值求解	43
内容提要	46
习题	47
第 3 章 功和能	50
3.1 功 动能定理	50
3.2 保守力 势能	56
3.3 功能原理 机械能守恒定律	60
3.4 宇宙速度	64
内容提要	67
习题	68
第 4 章 冲量和动量	71
4.1 冲量 动量定理	71
4.2 动量守恒定律	76

4.3 碰撞	78
* 4.4 质心 质心运动定理	83
4.5 质量流动与火箭飞行原理	86
内容提要	90
习题	91
阅读材料 1 对称性与守恒定律	93
第 5 章 刚体的定轴转动	97
5.1 刚体的运动	97
5.2 刚体定轴转动定律	99
5.3 定轴转动中的功能关系	107
5.4 角动量与角动量守恒定律	111
* 5.5 回转仪 进动	119
内容提要	121
习题	122
阅读材料 2 陀螺与惯性导航	126
第 6 章 机械振动	129
6.1 简谐运动	129
6.2 微振动的简谐近似	135
6.3 简谐运动的旋转矢量表示法	137
6.4 简谐运动的能量	141
6.5 振动方向相互平行的简谐运动的合成	144
6.6 振动方向相互垂直的简谐运动的合成	147
* 6.7 阻尼振动 受迫振动 共振	150
内容提要	155
习题	156
阅读材料 3 混沌简介	159
第 7 章 机械波	164
7.1 机械波的一般概念	164
7.2 平面简谐波的波函数	168
7.3 波的能量	175
7.4 惠更斯原理	178
7.5 波的干涉	180
7.6 驻波	184
* 7.7 声波	190
7.8 多普勒效应	192

内容提要	195
习题	197
阅读材料 4 次声武器	200
第 8 章 气体动理论	203
8.1 物质结构的微观模型 平衡态	203
8.2 理想气体的压强和温度	206
8.3 能量按自由度均分定理 内能	212
8.4 麦克斯韦速率分布律	216
* 8.5 玻尔兹曼分布律	221
8.6 分子碰撞 平均自由程	223
* 8.7 气体内的输运过程	225
* 8.8 实际气体的范德瓦耳斯方程	228
内容提要	231
习题	232
第 9 章 热力学基础	235
9.1 热力学第一定律	235
9.2 热力学第一定律对理想气体的应用	239
9.3 绝热过程和多方过程	243
9.4 循环过程 卡诺循环	248
9.5 热力学第二定律	254
9.6 熵 熵增加原理	257
内容提要	264
习题	265
阅读材料 5 熵与信息	268
第 10 章 真空中的静电场	272
10.1 电荷 库仑定律	272
10.2 电场 电场强度	275
10.3 电通量 高斯定理	281
10.4 静电场的环路定理	288
10.5 电势能 电势	290
10.6 电场强度与电势的微分关系	296
内容提要	299
习题	301
第 11 章 静电场中的导体与电介质	306
11.1 静电场中的导体	306

11.2 电容 电容器·····	312
11.3 静电场中的电介质·····	316
11.4 有电介质时的高斯定理·····	322
11.5 静电场的能量·····	326
11.6 静电的应用·····	332
内容提要·····	335
习题·····	336
阅读材料 6 静电防护·····	339
习题参考答案·····	343
附录·····	352
附录 I 物理量的名称、符号和单位(SI)一览表·····	352
附录 II 基本物理常量表·····	354
附录 III 有关地球和太阳的一些常用数据表·····	354
附录 IV 物理学词汇中英文对照表·····	355

第 1 章 质点运动的描述

在物质多种多样的运动形式中,最简单而又最基本的运动是物体之间或物体各部分之间相对位置的变化,称为机械运动.行星的运动、机器的运转、水的流动等都是机械运动.力学就是研究物体机械运动规律的学科.在物质运动的所有形式中几乎都包含机械运动,因此,力学成为物理学和许多工程技术学科的基础.

研究力学,我们采取由表及里、从现象到本质的步骤.先描述物体的位置如何随时间变化,这部分内容称为运动学.然后进一步研究物体间的相互作用及其对运动状态的影响,这部分内容称为动力学.本章研究质点运动学.

1.1 参考系 坐标系 质点

1.1.1 参考系与坐标系

一棵树对地面来说是静止的,对前进着的车辆来说它在向后运动.在匀速前进的车厢中,自由下落的小球对车厢来说是沿直线运动的,对地面来说它的运动轨道却是曲线.因此要描述物体的运动,首先必须指明是相对哪一个物体才有意义.被事先选定的标准物体称为**参考系**.以参考系为标准,就是将参考系当作是“静止”的,来研究物体相对于参考系的运动.例如我们可以将飞行中的飞机当作是“静止”的,研究乘客相对于飞机的运动.这里,飞机就是研究乘客运动的参考系.参考系的选择可以是任意的,主要看问题的性质和研究起来是否方便.讨论地面上物体的运动时,通常选地球为参考系.若要研究宇宙飞船的运动,当运载火箭刚发射时,一般选地球为参考系;当飞船绕太阳运行时,则可选太阳为参考系.事实上,地球以大约 $3.0 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度绕太阳运动,而太阳在银河系中也以约 $3.0 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度运动着.因此,运动本身是绝对的,而对运动的描述是相对的.

要定量描述物体的运动,还要在参考系上建立**坐标系**.坐标系是固连在参考系上的,实际上它就是参考系抽象而成的数学框架.直角坐标系是常用的坐标系,根据问题的不同特点,也可选用其他坐标系,如柱坐标系、球坐标系等,选取适当的坐标系可以给问题的处理带来方便.

任何物体的运动都是在时间和空间中进行的,运动不能脱离空间,也不能脱离时间,因此要定量描述物体的运动还应当建立时间的“坐标轴”.时间轴上的坐标表示时刻,它与物体的某一运动状态相对应;两个时刻之间的间隔表示时间,它与物

体运动的某一过程相对应.

1.1.2 质点

有了时空坐标,就可以定量描述物体的运动了.但是,任何物体都有形状、大小和内部结构,它的运动可能是平动、转动、形变或更复杂的运动.例如从枪口射出的子弹,似乎在空中只向前飞行,实际上子弹还在绕自身的轴线旋转,而且,其轴线的取向也在不断变化.如果不分主次地考虑重力、空气阻力、风速等所有因素的影响,那就连弹道曲线也难以得到.倘若忽略次要因素,把子弹的运动简化为只在重力作用下的一个点的运动,就容易得到其主要的运动规律.尽管结果是近似的,但可以在此基础上进行修正,逐步逼近实际结果.突出主要因素,选取适当的模型代替实际物体,这不仅对于学习物理学,而且在许多科学研究中,都是极为重要的方法.

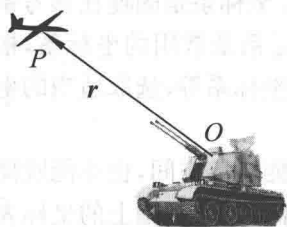
质点就是一个理想化的模型,这个模型是把物体看成一个具有质量的几何点.一个物体能否被视为质点是有条件的、相对的.当物体上各点运动状态的差异在所研究的问题中可以忽略时,就能把它视为质点.如研究地球绕太阳公转时,由于地球至太阳的平均距离约为地球半径的 10^4 倍,地球上各点相对太阳的运动可以认为是相同的,因此可以把地球视为质点.但在研究地球自转时,就不能把它当作质点了.当物体不能视为质点时,可以把整个物体看成是由许多质点组成的,在解决质点运动问题的基础上来研究复杂物体的运动.

1.2 位置 位移 速度 加速度

描述质点的运动,就是描述其空间位置随时间变化的各种情况.通常用位置、位移、速度和加速度等物理量来描述.

1.2.1 位置矢量

要描述一个质点的运动,首要问题是如何确定质点相对于参考系的位置.如示意图 1.1,要确定飞机在某一时刻相对防空炮的位置,最简单的做法是选炮身(参考系)上的一点作为坐标原点 O ,从 O 点指向飞机(质点)所在位置的有向线段 $\vec{OP}$ 就能唯一确定飞机的位置.将 $\vec{OP}$ 记为 $\vec{r}$,其大小表明飞机到原点的距离,其指向表明飞机相对原点的方位.称 $\vec{r}$ 为位置矢量,简称位矢,也称径矢.



质点运动时,其位置随时间变化,即

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad (1.1)$$

式(1.1)称为该质点的运动方程.

事实上,运动方程就是质点在任意时刻位置的表

图 1.1

达式. 进一步的研究将表明, 它包含有质点运动的全部信息. 知道运动方程, 即可确定质点在任意时刻的位置、速度和加速度等. 因此, 正确确定运动方程是研究质点运动十分重要的一步.

1.2.2 位移矢量

质点运动时, 其位置要发生变化. 设质点在时刻 t 和 $t + \Delta t$ 分别通过 P 点和 Q 点, 其位置矢量由 $\mathbf{r}_1$ 变为 $\mathbf{r}_2$, 如图 1.2 所示. 我们用初位置 P 指向末位置 Q 的有向线段 $\Delta \mathbf{r}$ 表示在该段时间内质点位置的变化, 称为位移矢量, 简称位移. 显然, 位移与原点的选取无关. 由矢量加法规则, 有

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \quad (1.2)$$

式(1.2)表明, 质点在某一时间内的位移等于该时间内位矢的增量.

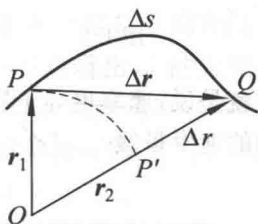


图 1.2

位移和路程是两个不同的概念. 在一般情况下, 需要注意以下两点:

(1) $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta s$. 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是矢量, 其大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 仅由该时间内质点始末位置间的直线距离确定, 而路程 Δs 是标量, 等于实际路径的总长度. 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 两者大小相等.

例如, 一个绕圆周运动 1 周的质点, 其位移等于零. 这表明: 尽管其运动路程等于圆周长, 但这段时间内位置变动的实际效果却为零.

(2) $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta r$. 因为 $|\Delta \mathbf{r}| = |\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|$, 是位矢增量的大小, 而 $\Delta r = |\mathbf{r}_2| - |\mathbf{r}_1|$, 是位矢大小的增量.

1.2.3 速度矢量

质点运动时, 其位置随时间变化的快慢和方向与两个因素有关, 一个是位移 $\Delta \mathbf{r}$, 另一个是完成该位移所用的时间 Δt . 比值 $\Delta \mathbf{r} / \Delta t$ 表示位矢对时间的平均变化率, 定义为质点在该段时间内的平均速度, 用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示, 即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.3)$$

平均速度 $\bar{\mathbf{v}}$ 的方向与位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同. 它只能粗略地描述 Δt 时间内质点位置随时间变化的情况.

为了精确描述质点运动的快慢和方向, 可取 $\Delta t \rightarrow 0$ 时式(1.3)的极限, 即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.4)$$

$\mathbf{v}$ 称为瞬时速度, 简称速度. 式(1.4)表明, 速度等于位矢对时间的一阶导数.

速度 $\boldsymbol{v}$ 的方向就是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的极限方向. 如图 1.3 所示, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, Q 点向 P 点无限趋近, 因此质点在时刻 t 的速度方向沿轨道上质点所在位置的切线, 并指向质点前进的一方.

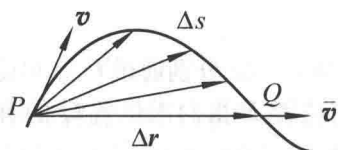


图 1.3

速度 $\boldsymbol{v}$ 的大小称为速率. 用 v 表示, 即

$$v = |\boldsymbol{v}| = \left| \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \right| \quad (1.5a)$$

显然, 速率是标量. 由于 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 位移的量值 $|\boldsymbol{dr}|$ 与路程 ds 趋于相等, 因此有

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.5b)$$

这就是说, 速率也等于质点所经过的路程对时间的变化率. 表 1.1 列出了某些运动的速度量级.

表 1.1 某些运动的速度量级 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

大陆漂移	$\sim 10^{-9}$
头发生长	$\sim 3 \times 10^{-9}$
步枪子弹离开枪口时	$\sim 7 \times 10^2$
喷气式飞机	$\sim 2.5 \times 10^2$
人造地球卫星	$\sim 7.9 \times 10^3$
地球公转	3×10^4
太阳在银河系中运动	3×10^5
电子绕核运动	$\sim 2.2 \times 10^8$
北京正负电子对撞机中电子	99.999998%光速
光在真空中	3.0×10^8

1.2.4 加速度矢量

质点运动时, 其速度随时间变化的快慢和方向用加速度矢量描述. 设质点在时刻 t 和 $t + \Delta t$ 通过 P 点和 Q 点的速度分别为 $\boldsymbol{v}_1$ 和 $\boldsymbol{v}_2$, 如图 1.4 所示. 在 Δt 时间内, 质点速度的增量为

$$\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}(t + \Delta t) - \boldsymbol{v}(t) = \boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1$$

比值 $\Delta \boldsymbol{v} / \Delta t$ 表示速度对时间的平均变化率, 定义为质点在该段时间内的平均加速度, 用 $\bar{\boldsymbol{a}}$ 表示. 即

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} \quad (1.6)$$

平均加速度与速度增量 $\Delta \boldsymbol{v}$ 方向相同. 它只能粗略地描述 Δt 时间内质点的速度随时间变化的情况.

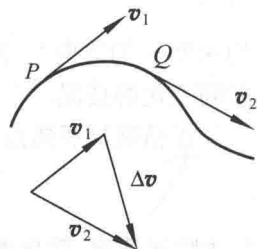


图 1.4

为了精确描述质点速度的变化,可取 $\Delta t \rightarrow 0$ 时式(1.6)的极限,即

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1.7)$$

a 称为**瞬时加速度**,简称**加速度**. 式(1.7)表明,加速度等于速度对时间的一阶导数,也等于位矢对时间的二阶导数.

需要指出:

(1) 加速度是速度矢量对时间的变化率. 因此,不论是速度的大小发生变化还是速度的方向发生变化,都有加速度.

(2) 加速度是矢量,其方向是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 Δv 的极限方向,不一定是 v 的方向.

在曲线运动中, a 的方向一般不是 v 的方向. 由图 1.5 不难看出, a 的方向总是指向曲线凹的一侧. 当 a 与 v 成锐角时,速率增大;当 a 与 v 成钝角时,速率减小;当 a 与 v 垂直时,速率不变. 在直线运动中, a 与 v 都只有两种可能的方向,当 a 与 v 方向相同时,速率增大;当 a 与 v 方向相反时,速率减小.

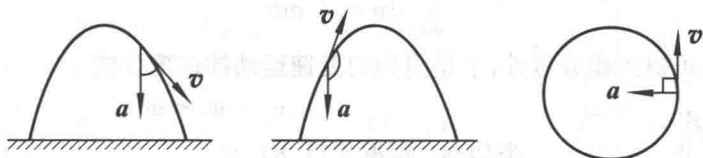


图 1.5

a 等于常矢量的运动称为**匀变速运动**. 例如在仅考虑重力作用的抛体运动中,质点的加速度就是重力加速度,其大小和方向始终不变,因此是匀变速运动.

由于质点在某时刻的运动状态取决于该时刻质点的位置、运动快慢及方向,因此在质点运动学中,位置和速度是描述质点运动状态的物理量,而加速度则是反映质点运动状态变化的物理量. 表 1.2 列出了某些运动的加速度量级.

表 1.2 某些运动的加速度量级 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

太阳绕银河系中心转动的加速度	$\sim 3 \times 10^{-10}$
地球公转加速度	6×10^{-3}
月球表面的落体加速度	1.7
地球表面的重力加速度	9.8
使人昏晕的加速度	$\sim 7 \times 10$
火箭升空的加速度	$\sim 50 \sim 100$
步枪子弹在枪膛中的加速度	$\sim 5 \times 10^5$
质子在加速器中的加速度	$\sim 10^{13} \sim 10^{14}$

1.2.5 运动学的两类问题

把运动方程、速度和加速度的定义式写在一起,即

$$\begin{cases} \mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \\ \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \\ \mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} \end{cases} \quad (1.8)$$

容易看出,运动学的问题大体上可分为两类.第一类问题是已知质点的运动方程,求质点在任意时刻的速度和加速度,从而得知质点运动的全部情况,这类问题用求导法解决.第二类问题是已知质点运动的加速度(或速度)以及初始状态,求质点的运动方程.这类问题是第一类问题的逆运算,用积分法求解.

加速度 $\mathbf{a}$ 为常矢量的匀变速运动是第二类问题的特例. 设 $t = 0$ 时质点的位矢和速度分别为 $\mathbf{r}_0$ 和 $\mathbf{v}_0$, 在任意时刻 t , 其位矢和速度分别为 $\mathbf{r}$ 和 $\mathbf{v}$. 根据式(1.8), 有

$$d\mathbf{v} = \mathbf{a}dt$$

对等式两边积分,并代入初始速度 $\mathbf{v}_0$, 即

$$\int_{\mathbf{v}_0}^{\mathbf{v}} d\mathbf{v} = \int_0^t \mathbf{a}dt$$

$\mathbf{a}$ 为常矢量,可提到积分号外,于是得到匀变速运动的速度公式

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t \quad (1.9a)$$

类似地,根据式(1.8),有

$$d\mathbf{r} = \mathbf{v}dt$$

对等式两边积分,并代入初始位矢 $\mathbf{r}_0$ 和式(1.9a),即

$$\int_{\mathbf{r}_0}^{\mathbf{r}} d\mathbf{r} = \int_0^t \mathbf{v}dt = \int_0^t (\mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t)dt$$

从而得到匀变速运动的位移公式

$$\mathbf{r} - \mathbf{r}_0 = \mathbf{v}_0t + \frac{1}{2}\mathbf{a}t^2 \quad (1.9b)$$

在我们熟悉的理想的抛体运动中,质点的加速度恒等于重力加速度 $\mathbf{g}$, 因此只要将式(1.9)中的 $\mathbf{a}$ 换成 $\mathbf{g}$, 即得抛体运动的速度公式和位移公式. 无论是竖直上抛、平抛,还是斜抛,上述公式都适用.

图 1.6 描述了一个斜抛运动,其物理意义可以这样理解:在 $0 \sim t$ 时间内,质点从 O 点到 P 点的位移 $\Delta\mathbf{r}$ 等于 $\mathbf{v}_0t$ 与 $\mathbf{g}t^2/2$ 两个位移之和,这正是式(1.9b). 这里把斜抛运动看成是沿着初始速度 $\mathbf{v}_0$ 方向的匀速直线运动和自由落体运动叠加而成.

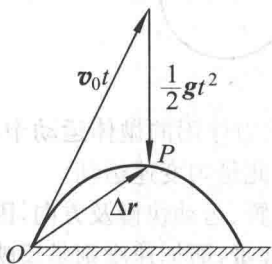


图 1.6

1.3 直角坐标描述

上一节介绍了如何用矢量描述质点的运动. 在讨论位置、位移、速度、加速度的