普通高等教育“十五”国家级规划教材

大学物理学

上　册

吴百诗　主　编
罗春荣　马永庚　张孝林　副主编

高等教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内容简介

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材，是吴百诗教授及参编学校数十年来大学物理课程教学经验的总结。全书以大众化教育形势下对人才培养的要求为出发点，针对当前学生的特点编写而成。本书在教学内容上进行了改革，虽然在体系上变化不大，但在内容选取、教学安排、讲法上等有一定的创新。考虑到对工科学生培养的特点，本书十分注意物理学与实际的联系，特别是与工程实际、科技实际的联系，在例题和习题的选取上更是尽可能反映工程实际和科技新成就。

全书分3册出版，上册包括力学和热学，中册包括电磁学，下册包括波动、光学和近代物理。与本书配套有习题解答、电子教案等辅助用书。这套书可供高等学校工科各专业作为大学物理课程的教材或参考书使用，也可供其他专业的社会读者阅读。

图书在版编目（CIP）数据

大学物理学.上册/吴百诗主编.—北京：高等教育出版社，2004.11
ISBN 7-04-015573-7

Ⅰ.大… Ⅱ.吴… Ⅲ.物理学—高等学校—教材
Ⅳ.O4

中国版本图书馆CIP数据核字（2004）第106348号

策划编辑 庞永江 责任编辑 庞永江 封面设计 张申申 责任绘图 朱 静
版式设计 王 莹 责任校对 胡晓琪 责任印制

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×960 1/16		
印 张	22.5	版 次	年 月第1版
字 数	420 000	印 次	年 月第 次印刷
插 页	1	定 价	23.90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：15573-00

序

人类的科学发展史表明,物理学是一切自然科学的基础,它的基本概念和基本规律被广泛应用到所有的自然科学领域。当代高新技术的发展也都起源于对物理规律的探索。我们人类都生活在由物理学基本规律所约束的时空中,物理学的发展对人类的物质观、时空观、世界观,以及对整个人类的文化都产生了极其深刻的影响,因此,物理学是人类现代文明之源。

物理学的每一个新思想、新发现,甚至那些原本看来是“纯”基础的研究成就,都会发展成为高新技术和产业。例如,20世纪30年代末,固体的能带理论的出现使得巴丁、布拉顿和肖克莱在1947年发明了晶体管,1958年基尔比和诺伊斯又发明了锗、硅集成电路。从此,半导体集成电路迅猛发展,出现了一系列新技术、高技术和新产品。以计算机为代表的信息电子产业已成为世界上最大的产业。又例如,在爱因斯坦受激辐射理论的基础上,60年代初诞生了激光器,这又是一个划时代的物理技术应用成果,激光物理的进展为激光在制造工业、通讯工业、国防工业以及医学等领域的发展提供了重要的技术基础。今天,物理学的研究仍在不断更新着人们对客观世界的认识。

“大学物理”课程是一门以研究和阐明物质的基本结构形态、基本运动规律和相互作用关系,为大学生提供全面系统的物理学基础为目标的基础课程。在大学物理课程学习中,不仅要掌握自然界的事实、定律、方程和解题技巧,更重要的是要从整体上认识和掌握物理学。也就是说,通过物理学课程的学习,要认识物理学各个分支之间的关系,认识基本物理规律的普适性和适用范围,认识理论和应用之间的关系,认识物理思想和数学工具,从整体上准确地掌握物理学的基本内容,建立科学的物质观,时空观和世界观。

另外,在物理学课程的学习中,要关注物理学的基本概念、基本规律的产生和发现的历史过程,关注在物理学历史上曾经有过的实验和争论,学会举一反三、触类旁通的方法。如利用已掌握的物理学基本概念去理解和解释新的物理规律,增强学习的创新意识和创新能力的培养。在探讨科学的奥秘过程中,谁最有创新精神,敢于突破旧观念、旧理论的束缚,谁就能率先做出重要贡献。同时,创新也是深化学习的动力。因此,在学习中要勤于思考、善于提问、敢于尝试,多问几个为什么,使自己对物理学的内涵有深刻的理解,为将来做出创新性的工作打下良好的基础。

总之,要学好物理学重要的是以学习物理基础知识为载体,系统掌握物理学

的思维方式和研究方法,而不是死记硬背一些物理公式。因为这些基本知识、物理思想、思维方式和研究方法将会使学生在今后长期的学习工作中,在观察、分析和解决问题时得到重要的借鉴和应用。

吴百诗教授主持编写的这本“十五”国家级规划教材,突出了在物理教育中知识传授和能力培养相结合的特色,集成了数名作者多年来丰富的教改研究和教学实践的经验,在打好学生必备的物理基础、激发学习兴趣、增强科学思考、分析和处理问题的能力、将现代科学技术成就融入基础课程教材等方面都下了很大功夫,为理工科学生全面掌握物理学提供了一个很好的范本。祝愿这本教材在教学实践中得到更加普遍的欢迎和推广,也祝愿读者从中深刻领悟到物理学的“伟大”。

西安交通大学校长
郑南宁　院士

前　言

“大学物理”是理工科低年级学生的一门重要基础理论课，它的作用一方面是为学生打好必要的物理基础，而打好物理基础，不仅对学生在校学习起着十分重要的作用，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；另一方面是使学生初步掌握科学的思维方法和研究问题的方法，这些都起着增强学生适应能力，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。

本书是由西北工业大学、西安电子科技大学和西安交通大学三校物理教师合编的。编者们对编写指导思想的共识是：

⑴ “大学物理”课是一门基础理论课，教材内容的选取应着眼于在大学物理水平上切实为学生打好物理理论基础。

⑵ 编写的教材应在总结我国大学物理长期教学经验的基础上，充分考虑我国目前工科大学物理教学实际（包括学生实际，教学时数实际等），并适当地吸收国外新教材编写的经验，使得教材便于教和学。

⑶ 在处理经典物理和近代物理关系上，编者们认为，经典物理不但是学习工科各专业知识的理论基础，而且也是学习近代科学技术新理论、新知识的理论基础。不仅如此，经典物理当今在科学和技术各领域仍然是应用最广泛的基础理论，而且大学物理中的经典部分对训练和培养大学低年级学生科学思维方法和分析问题、解决问题能力的作用是其它课程所不能代替的，因此在大学物理课程和教材中必要的经典物理内容应予以切实保证。鉴于近半个世纪以来，科学技术以前所未有的速度发展着，新理论、新技术日新月异并向现代高技术中渗透，在这样的情况下，在大学物理课程中加强近代物理内容是十分必要的，问题是加强些什么内容。编者们认为，加强近代物理内容，首先应加强那些学习新理论、新知识所必需的近代物理基础理论，主要是量子物理和统计物理有关的基本概念和基本理论。

⑷ 编者们认为现有的大学物理教材体系是国内外经过长期教学实践形成的，为理工科高级人才打好物理基础是卓有成效的，因此对体系进行大的改革，宜认真总结过去教学实践中的经验，明确现有体系存在什么问题，改什么，怎么改？大的体系改革更应经过仔细论证，通过试点，成功后再根据具体情况（条件）进行推广。

⑸ 考虑到工科大学物理涉及面宽，内容多，而教学学时数少的具体情况，

需要全本请访问 www.ertongbook.com

本书在保证物理基础理论的前提下,尽量在不过多增加教材篇幅和教学负担情况下,采取多种形式向读者介绍新知识,特别是我国当前科研和技术领域的新成就,以扩大读者新知识面,激发学生爱国热情和学习积极性。

(6) 编者们认为,着力于训练和培养学生的科学思维方法、分析问题和解决问题的能力,帮助低年级学生打好物理基础,提高他们独立获取知识的能力是在基础课教学中贯彻加强科学素质培养的一种重要途径。

(7) 本书分上、中、下三册,分别由西北工业大学、西安电子科技大学和西安交通大学编写,参加编写的有罗春荣、郑建邦、王济民、陈长乐 (西北工业大学)、马永康、李存志、白璐 (西安电子科技大学)、张孝林、陈光德、王小力、徐忠锋、吴百诗 (西安交通大学)。各章后注有编写者,吴百诗先生对全书作了仔细地修改。

(8) 全书采用 SI,考虑到改革开放,对外交流日益增多,书中也适当介绍了当前欧、美尚广泛使用的单位以及这些单位与相应 SI单位的换算因子。

(9) 西安电子科技大学理学院院长吴振森教授对本书的形成给予了极大的支持,在此特表谢意。

(10) 西安交通大学刘丹东老师为本书编制了两套应用计算程序,对此编者们表示感谢。

(11) 全书插图由西安交通大学李普选老师精心绘制,对此编者们表示感谢。

(12) 由于编者们的学识和教学经验的限制,书中不当之处和错误在所难免,还请使用本书的师生和同志们指正。

吴百诗

2004年 8月

目　　录

第一篇　力 学 基 础

第 1章　质点运动学 …… 3
§1.1 质点运动的描述 …… 4
§1.2 质点运动学的基本问题 …… 13
§1.3 抛体运动 …… 22
§1.4 自然坐标　自然坐标中的速度和加速度 …… 25
§1.5 相对运动 …… 37
本章小结 …… 42
习题 …… 43

第 2章　质点动力学 …… 53
§2.1 牛顿运动定律及其应用 …… 54
§2.2 惯性系与非惯性系 …… 74
§2.3 功与能 …… 77
§2.4 动量定理与动量守恒定律 …… 100
§2.5 质心运动定理 …… 113
§2.6 对心碰撞 …… 119
§2.7 质点的角动量定理与角动量守恒定律 …… 123
本章小结 …… 127
习题 …… 129

第 3章　刚体力学基础 …… 143
§3.1 刚体运动概述 …… 144
§3.2 刚体定轴转动的运动学规律 …… 147
§3.3 刚体绕定轴转动定律 …… 153
§3.4 刚体绕定轴转动的功能关系 …… 166
§3.5 刚体的角动量定理与角动量守恒定律 …… 175
§3.6 进动 …… 184
本章小结 …… 187
习题 …… 188

第 4章 狭义相对论基础 …… 199
§4.1 伽利略相对性原理和伽利略变换 …… 200
§4.2 狭义相对论的基本假设与洛伦兹变换 …… 204
§4.3 狭义相对论的时空观 …… 208
§4.4 相对论的速度变换 …… 219
§4.5 狭义相对论动力学 …… 223
* §4.6 广义相对论简介 …… 232
本章小结 …… 235
习题 …… 237

第二篇 热 学

第 5章 气体动理论 …… 245
§5.1 统计规律性的基本概念 …… 246
§5.2 系统的状态及其描述 …… 248
§5.3 理想气体的压强和温度 …… 254
§5.4 能量按自由度分配的统计规律 …… 259
§5.5 气体分子数按速率分布的统计规律 …… 265
§5.6 分子数按能量分布的统计规律 …… 273
§5.7 气体分子的平均碰撞频率及平均自由程 …… 276
本章小结 …… 279
习题 …… 280

第 6章 热力学基础 …… 287
§6.1 热力学的基本概念 …… 288
§6.2 热力学第一定律 …… 293
§6.3 绝热过程与多方过程 …… 298
§6.4 循环过程 …… 306
§6.5 热力学第二定律 …… 318
§6.6 熵 …… 324
本章小结 …… 328
习题 …… 329

附录 物理量的量纲和单位 …… 338
习题答案 …… 344

第一篇　力学基础



集中在空间、时间、速度以及加速度概念上伽利略（左）向亚里士多德的挑战.

经典力学（以下简称力学）是物理学的一个成熟的分支学科，它研究宏观物体低速机械运动规律.物体的空间位置随时间变化称为机械运动.人们在日常生活中和大量工程实际中接触到并首先加以研究的都是宏观、低速机械运动问题，它是物质运动中最简单、最基本的一种运动形式，可以说，它存在于物质运动的所有形式中，因此力学理论也就成为物理学的基础理论.

经典力学应用范围十分广泛，几乎涉及工程技术的所有领域，诸如机械、建筑、水利、航空、航天、航海、自动化等等.因此力学理论也是工程技术各领域的基础理论.

学好力学不仅对于理工科学生在校学习后续课程十分重要，而且对今后工作中学习新知识、新技术和新理论也具有十分重要的作用.

从研究内容的不同，力学分为运动学、动力学、静力学三部分.运动学是用几何方法描述物体的运动，而不考虑物体的质量和受力等因素.动力学是研究物体受力和运动状态变化规律.静力学则是研究物体在力的作用下的平衡问题.本课程不研究静力学，研究内容包括质点运动学、质点动力学和刚体力学三部分.狭义相对论已是当今物理学的基础理论，它和牛顿力学联系紧密，因此归入力学篇.

第1章 质点运动学



在国际制单位中,时间的单位是秒(s).历史上曾把地球绕自己轴线转动一周所需的时间作为时间的计量标准,并定义1平均太阳秒为平均太阳日的$(86\,400)^{-1}$.1960年改为以1900年地球连续两次通过春分点所需的时间(即回归年)作为时间的标准,并定义这个时间的$(31\,556\,925.974\,7)^{-1}$为1秒.1967年第十三届国际计量大会决定,以铯-133原子基态两个超精细能级之间跃迁相对应的辐射周期作为时间标准,并定义1秒等于该辐射周期的9 192 631 770倍.图为中国计量科学研究院研制的铯原子束时间频率基准装置,350万年误差不超过1秒.

需要全本请访问 www.ertongbook.com

质点运动学研究物体在运动过程中位置随时间变化的规律.本章首先介绍研究对象的物理模型以及坐标系的选取,然后引入描述质点运动的几个基本物理量,强调其瞬时性、矢量性和相对性,再用这些物理量来描述物体位置随时间而变化的规律.

§1.1 质点运动的描述

1.1.1 质点 参考系 坐标系

1. 质点

宇宙中任何物体都有一定的大小和形状.当物体的线度相对于物体与观测者的距离很小时,物体的大小与形状对物体运动状态的影响可以忽略不计.或者物体虽然不是很小,但是物体的大小与形状在特定的力学系统中不起作用,即物体上各点运动状态相同,物体上任一点的运动都可以代表整个物体的运动.我们就可以忽略物体的大小、形状,把它看成一个有质量的几何点,这个有质量的几何点称为质点.所以质点是从实际问题中抽象出来的一种力学研究对象,质点是一个理想模型.一个物体能否被抽象为质点,取决于所研究问题的性质.例如研究地球的运动,地球一方面绕太阳公转,一方面绕地轴自转.如果只研究地球绕太阳的公转,地球的平均半径(6 370 km)远远小于地球与太阳之间的平均距离(约为 1.5×10^{8} km),地球上各点运动状态的差别完全可以忽略不计,因而可以忽略地球的大小和形状把地球看成质点.但是,如果要研究地球的自转问题,就不能再把地球看作质点了.再如,原子大小的数量级只有 10^{-10} m,但在研究原子结构问题时,却不能把原子视为质点.

当我们研究的实际物体不能视为质点时,可把整个物体看成是由许多质点组成的,例如研究刚体、流体、弹性体的运动时,一般说来不能把整个研究对象看作质点,但可以把它们看作是由大量质点组成的.另外在研究刚体运动时,只要了解某一个或某几个质点的运动,利用高等数学方法,就有可能了解整个刚体的运动规律,因此研究质点的运动规律也是研究一般物体运动规律的基础.

物理学研究自然界物质运动的基本规律和各种物态的基本属性,由于自然界物质的种类繁多,运动错综复杂,相互作用各具特征,几乎任何一个具体问题都会涉及许多因素.因此为了达到对事物本质和规律的认识,必须根据所研究的对象和问题的特点,把次要的非本质的因素撇开、舍弃,有意地提取主要的和本质的因素,经过抽象和概括建立理想化的物理模型.由于研究对象复杂多样,物

理模型种类繁多，各具特色．质点是本课程中最先遇到的理想模型．除质点外，刚体、点电荷、理想气体、绝对黑体等都属于理想模型，它们从不同侧面描述在各种问题中实际研究对象的特征．需要注意的是，任何一个理想模型都有其适用条件，在一定条件下，它能否正确反映客观实际还要通过实践来检验．读者在课程学习过程中，应注意一个理想模型提出的依据，它是如何从实际问题总结抽象出来的，它的适用条件等．不但有助于正确地掌握和运用相关理论，更重要的还可以从中学习到科学的思维方法和研究问题的方法．

2. 参考系与坐标系

世界是物质的，物质是运动的．宇宙中的任何物体都在不停的运动，绝对静止的物体是不存在的．物体的机械运动是指它的位置随时间变化，物体的位置总是相对的，即任何物体的位置总是相对其它物体而言的，因此要确定一个物体的位置必须选定其它物体作为标准，为描述物体的运动而选取的这个其它物体称为参考系．同一个物体的运动，选取的参考系不同，物体的运动形式也就不同．这就是运动描述的相对性．

为了对物体的运动作出定量描述，必须在参考系上建立适当的坐标系．坐标系实质上是参考系的数学抽象．实际中常用的坐标系有直角坐标系、极坐标系、自然坐标系、柱坐标系和球坐标系等．处理问题时，适当选择坐标系可以使运动的描述变得简便，处理问题的过程简化．

处理实际问题时，坐标系的选取是任意的，视实际问题的性质，以方便分析为前提．在大学物理中，最常用的是直角坐标系．在平面问题中，也常用极坐标系．当质点运动的轨道已知时，例如，火车沿铁轨的运动，空中缆车沿索道的运动，游乐场中过山车的离心轨道和滑道等一般采用自然坐标系．当所处理的问题具有球对称性时，选用球坐标系．对于具有轴对称性的问题，选用柱坐标系较为方便．

1.1.2 位置矢量与运动方程

1. 位置矢量

为了确定质点的空间位置，必须先选取一个坐标系，例如建立直角坐标系 $Oxyz$，质点的位置可以用三个坐标 (x, y, z) 来表示．任意一组坐标值，都可以给出质点的一个确定位置．质点的位置也可以用矢量以更简洁的形式确定，假如某时刻质点的位置在 P 点，我们在选定的参考系上选定任一固定点为坐标原点 O，从坐标原点 O 向质点所在处 P 点引一有向线段 $\overrightarrow{OP}$，$\overrightarrow{OP}$ 的大小表明了质点相对参考系中固定点的距离，$\overrightarrow{OP}$ 的方向给出了质点相对于参考系中固定点的空间方位．由任选的参考点引向质点所在处的矢量描述了质点的空间位置，我们称之为

质点的位置矢量简称位矢,用符号 $\boldsymbol{r}$ 表示.

由图 1.1可知,在直角坐标系 Oxyz中,位矢 $\boldsymbol{r}$ 在 Ox轴、Oy轴、Oz轴上的分量分别为 x, y, z若以 $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}$分别表示沿 x, y, z三个坐标轴方向的单位矢量,则位矢可表示为:

$$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}+z\boldsymbol{k} \tag{1.1}$$

位矢 $\boldsymbol{r}$是矢量,它的大小 $|\boldsymbol{r}|$表示质点的位置与参考点的距离,它的方向表示质点相对参考点的方位.

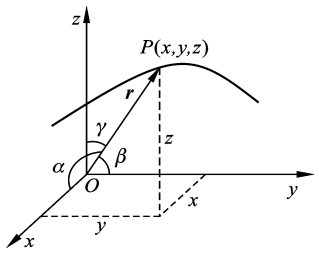


图 1.1

位矢 $\boldsymbol{r}$的大小为 $|\boldsymbol{r}|=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$

位矢 $\boldsymbol{r}$的方向余弦为

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

α、β、γ分别表示位矢 $\boldsymbol{r}$与 x, y, z三个坐标轴的夹角.应该指出的是,质点的位矢与参考点的选择有关.

2. 运动方程

当质点在空间运动时,它的位置是随时间变化的,相应地位矢也随时间变化.质点运动中的每一时刻,都有一位矢与之对应,即位矢 $\boldsymbol{r}$为时间 t的函数,我们将质点的位矢随时间变化的函数关系称为质点的运动方程.

根据式 (1.1)及运动方程的定义可知,运动方程的矢量式为

$$\boldsymbol{r}(t)=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}+z(t)\boldsymbol{k} \tag{1.2a}$$

在直角坐标系中运动方程的分量式为:

$$\begin{aligned} x&=x(t)\\ y&=y(t)\\ z&=z(t) \end{aligned} \tag{1.2b}$$

运动方程的分量式是位矢在坐标轴上的投影,可以看作是质点运动沿坐标轴方向的分运动的表示式.式 (1.2a)表明,质点的实际运动是沿坐标轴方向分运动的矢量合成.

当质点被约束在一个二维平面,例如 Oxy平面内运动时,其运动方程为

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

分量式为

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

当质点被限定在一条直线,例如沿 x轴上运动时,其运动方程为

$$\boldsymbol{r}(t)=x(t)\boldsymbol{i}$$

或

$$x=x(t)$$

很显然,运动方程就是轨迹的参数(以时间 t 为参数)方程,从运动方程中消去时间参数 t 即可得运动的轨迹方程.因此知道了质点的运动方程就可确定质点在任一时刻的位置,同时也就知道了质点运动的轨迹.

例 1.1 已知一质点的运动方程为

$$x=x_0+v_{0x}t \tag{1}$$

$$y=y_0+v_{0y}t+\frac{1}{2}a_yt^2 \tag{2}$$

式中 x_0, y_0, v_{0x}, v_{0y}, a_y 等为常量,求质点的运动轨迹.

解 本题是从已知运动方程求轨迹方程.这只要从式(1)中解出参数 t 并代入式(2)中即得到轨迹方程

$$y(x)=y_0+v_{0y}\frac{x-x_0}{v_{0x}}+\frac{1}{2}a_y\left(\frac{x-x_0}{v_{0x}}\right)^2 \tag{3}$$

这是 $y(x)$ 的二次方程,它就是大家熟悉的抛物线方程.

本题中很容易从式(1)中解出参数 t 并代入式(2)而方便地得轨迹方程.一般情况下并不一定很容易从二维、三维运动方程中消去参数,甚至无法消去参数,这时要求二维轨迹只能以参数为变量逐点求出 x 和 y,然后在坐标纸上画出轨迹,或用计算机编程画出轨迹.

1.1.3 位移与路程

1. 位移

如图 1.2所示,质点作一般曲线运动,在 t 时刻质点位于 A点,位矢为 $\boldsymbol{r}_1$,在 $t+\Delta t$ 时刻运动到 B点,位矢为 $\boldsymbol{r}_2$,显然在时间间隔 Δt 内位矢的大小和方向都发生了变化,我们用由 A指向 B的矢量 $\Delta\boldsymbol{r}$ 表示 Δt 时间间隔内质点位置的变化.由图 1.2可知

$$\boxed{\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1} \tag{1.3}$$

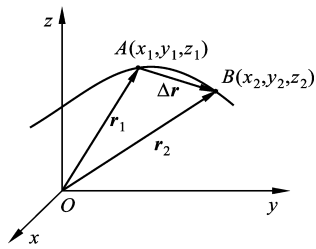


图 1.2

$\Delta\boldsymbol{r}$ 称为质点在 Δt 时间内由 A点到 B点的位移矢量,简称位移.位移等于位置矢量的增量.位移是描述质点位置变化的物理量.它的大小 $|\Delta\boldsymbol{r}|$ 表示质点位置变化的大小,即 A点与 B点的直线距离.其方向由质点的初位置指向末位置.虽然位矢与坐标原点的选取有关,但位移却与坐标原点的选取无关.

由图 1.2可以看出,位移在直角坐标系中的正交分量式为:

$$\begin{aligned}\Delta\boldsymbol{r}&=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1\\&=(x_2\boldsymbol{i}+y_2\boldsymbol{j}+z_2\boldsymbol{k})-(x_1\boldsymbol{i}+y_1\boldsymbol{j}+z_1\boldsymbol{k})\\&=(x_2-x_1)\boldsymbol{i}+(y_2-y_1)\boldsymbol{j}+(z_2-z_1)\boldsymbol{k}\\&=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k}\end{aligned}\tag{1.4}$$

式中 Δx、Δy、Δz分别表示位移矢量 $\Delta\boldsymbol{r}$在三个坐标轴上的分量，$\Delta x\boldsymbol{i}$、$\Delta y\boldsymbol{j}$、$\Delta z\boldsymbol{k}$为位移矢量 $\Delta\boldsymbol{r}$在三个坐标轴上的分矢量.

位移沿坐标轴方向上的分矢量仍然是矢量.在一维运动中，沿坐标轴上的位移分矢量的方向可以用正负号表示.如图 1.3所示，位移 $\Delta x=x_2-x_1$，当 $\Delta x>0$时，位移沿 x轴正向，当 $\Delta x<0$时，位移沿 x轴负向.

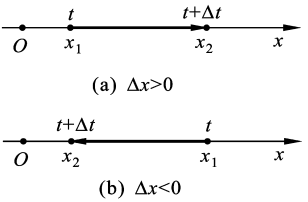


图 1.3

2. 路程

位移表示质点在一段时间内位置变化的总效果，但是一般来说位移并不表示质点沿轨迹运动实际走过的路径.物体运动时沿轨迹实际通过的路径长度称为路程，用 s表示.

路程和位移是两个不同的概念.位移是矢量，路程为标量.位移的大小一般并不等于相应的路程，如图 1.2所示，在时间间隔 Δt内的位移为 $\Delta\boldsymbol{r}=\overline{AB}$，路程为 $\Delta s=\overset{\frown}{AB}$.一般情况下，代表位移大小的弦长 $|\Delta\boldsymbol{r}|$不等于曲线弧长，即 $|\Delta\boldsymbol{r}|\neq\Delta s$只有当 $\Delta t\to 0$的极限情况下，有 $\lim\limits_{\Delta t\to 0}|\Delta\boldsymbol{r}|=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\Delta s$，即 $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}s$，位移的大小与路程二者近似相等.

还需要指出的是，位移的大小 $|\Delta\boldsymbol{r}|$与位矢大小的增量 $|\Delta\boldsymbol{r}|$一般是不相等的，设在时间间隔 Δt内，位矢大小的增量为 $\Delta r=|\boldsymbol{r}_2|-|\boldsymbol{r}_1|$.

对此初学者易弄错.例如一质点以半径 R作匀速圆周运动，以圆心为原点，半个周期内质点位移的大小 $|\Delta\boldsymbol{r}|=2R$，位矢大小的增量 $\Delta r=R-R=0$，路程 $\Delta s=\pi R$.

1.1.4 速度

如果我们仅知道质点在某时刻的位矢，还不能确定质点的运动状态，质点的位矢和速度是描述质点运动状态的两个物理量.本节引入速度的概念，速度是描述质点运动快慢及运动方向的物理量.

(1) 平均速度：质点在 t到 $t+\Delta t$时间内的位移为 $\Delta\boldsymbol{r}$，我们定义位移 $\Delta\boldsymbol{r}$与发生这一位移所需时间 Δt的比值称为质点在 Δt时间间隔内的平均速度，用 $\overline{\boldsymbol{v}}$

表示

$$\bar{v}=\frac{\Delta r}{\Delta t} \tag{1.5}$$

平均速度等于位矢对时间的平均变化率.平均速度是矢量,它的大小 $|\bar{v}|=\left|\frac{\Delta r}{\Delta t}\right|$,其方向与位移 Δr的方向相同.应该注意的是平均速度与时间间隔有关,同一运动,不同时间间隔内的平均速度一般是不相同的.

(2) 瞬时速度

平均速度只能粗略地反映该段时间内质点运动的平均快慢程度和方向,不能反映出运动过程中运动快慢和方向的细节,要精确地描述某一时刻 t质点运动的快慢和方向,必须引入瞬时速度概念.由于平均速度与时间间隔有关,我们先研究一下某时刻 t附近在 $t\sim t+\Delta t$时间间隔内的平均速度.很显然,时间间隔 Δt越短,该时间间隔内的平均速度就越能较精确的反映 t时刻质点运动的快慢与方向.因此,我们定义在 Δt趋近于零时,平均速度矢量的极限为瞬时速度,简称为速度,用 v表示:

$$\boxed{v=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta r}{\Delta t}=\frac{dr}{dt}} \tag{1.6}$$

可见,瞬时速度等于位矢对时间的一阶导数.式 (1.6) 是速度的最一般定义.由式 (1.6) 可知,只要知道质点的运动方程 $r(t)$,就可以知道质点的速度.

速度是个矢量,速度的方向是 $\Delta t\to 0$时 Δr的方向.由图 1.4可见,当 Δt逐渐减小时,B点逐渐向 A点靠近,平均速度的方向,亦即 Δr的方向逐渐向质点轨迹在 A点的切线方向逼近.当 $\Delta t\to 0$,平均速度的方向亦即瞬时速度的方向沿 t时刻质点所在处的轨迹切向并指向质点运动的方向.

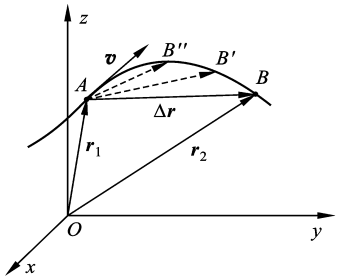


图 1.4

速度的大小 $|v|=\frac{|dr|}{dt}$称为瞬时速率,简称为速率.根据速度和路程的定义,可以得到速率

$$v=|v|=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{|\Delta r|}{\Delta t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{ds}{dt} \tag{1.7}$$

关于速率这个物理量,也可以先定义平均速率,然后取平均速率的极限为瞬时速率.设质点在 t到 $t+\Delta t$时间内走过的路程为 Δs,我们将路程 Δs与走完这段路程所需时间 Δt的比值称为质点在这段时间内的平均速率,用 $\bar{v}$表示,即

需要全本请访问 www.ertongbook.com