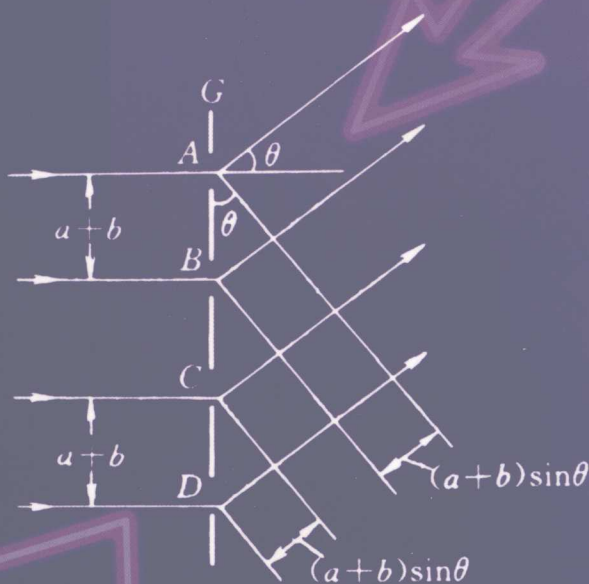


高职高专规划教材

物理学

赵建彬 主编

WULIXUE



高职高专规划教材

物 理 学

主 编 赵建彬
副主编 郝立宁 高景峰
参 编 吕兴行 朵丽花 王淑琴
 巩金海 顾晓红
主 审 郑凌峰



机械工业出版社

本书是高职高专理工科通用物理教材。作者在“以必需够用为度，以应用为目的”的原则指导下，精选和组织了本书内容。本书内容的选择上除了包括经典基本内容外，还注意适时插入了近代和现代物理概念与物理思想。为了培养学生创新意识和治学态度，扩大学生的现代物理知识领域，本书还加入了科学家介绍、现代技术、物理趣闻等内容。书中带“*”的部分为选讲内容。

本书不但可作为高职高专理工科各专业的物理教材，也可作为职业大学、成人和电视大学的物理教材，还可作为高等学校工程本科物理学课程少学时教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学 / 赵建彬主编. —北京: 机械工业出版社,
2004.7

高职高专规划教材
ISBN 7-111-14670-0

I. 物… II. 赵… III. 物理学—高等学校: 技术
学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 066732 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 宋学敏

责任编辑: 王海峰 版式设计: 霍永明 责任校对: 张莉娟

封面设计: 张 静 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版 · 第 1 次印刷

787mm × 1092mm $1/16$ · 19 印张 · 443 千字

定价: 26.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前言

本书是高职高专理工科通用物理教材。作者在参考了高等学校工程专科基础课程委员会修订的“高等学校工程专科物理学课程教学基本要求”，在“以必需够用为度”，以应用为目的的原则指导下，精选和组织了本书内容。其有如下特点：

1. 本书以经典物理学为主要框架，并在每一部分融入近代物理学基本知识，力求使学生在接受经典知识的同时了解近代物理学发展；同时，把经典物理学和近代物理学有机融合起来。

2. 本书着重阐述物理学的基本规律，对重点和难点内容的讲解力求清晰、透彻，并注意到一定的知识覆盖面，加强理论联系实际，强化应用，注意把辩证唯物主义的观点渗透于全书中。

3. 本书充分运用高中物理学已有知识，在此基础上引入专科物理教学内容，另外，在后续专业基础课中详细讲述的内容，本书作为选讲或不再涉及。

4. 本书在保证基本经典内容的基础上，尽力使内容现代化，介绍了很多现代物理学的观点。另外，介绍了一些物理前沿理论，可以提高学生学习物理的兴趣，扩大科学视野以及在各自的专业范围内开阔自己的思路。

5. 为了培养学生创新意识、治学态度，了解当今物理学前沿的发展，以及物理学在现代技术中的应用，本书特在每章后加入了科学家介绍、现代技术、物理趣闻等内容。

6. 由于各学校对本课程的课时安排不同，因此书中带“*”部分为选讲内容，各校各专业可视情况选择。

物理既是高等教育中学生学习后续课程的基础，也是素质教育的重要方面，因此在本书的编排和编写过程中，我们注重素质教育的渗透，注意培养学生创新思维能力，体现对学生科学思想、科学方法和科学精神的培养。通过本书的学习，我们希望能培养学生以科学的眼光看世界，提高学生的科学思维能力，使学生达到高等教育要求的基本水平。

本书由赵建彬任主编，负责本书编写的筹划，赵建彬、

郝立宁制定了本书的基本框架，高景峰完成了本书的统稿工作。其中，赵建彬、郝立宁编写了绪论、第一章、第二章、第四章、第十章、第十一章；高景峰、巩金海编写了第五章、第六章、第七章、第八章、第九章及附录，朵丽花、吕兴行编写了第十二章、第十三章、第十四章、第十五章，王淑琴、顾晓红编写了第三章和阅读材料部分。本书由河北师范大学郑凌峰教授主审。

虽然编者力图在教材编写过程中体现物理课程的改革，但限于认识和知识水平，难免有错误和不足之处，敬请批评指正。

编者

目 录

前言	
绪论	1
第一章 质点力学	4
第一节 位置矢量 位移	4
第二节 速度 加速度	6
第三节 变力的功	10
第四节 势能	13
第五节 能量守恒定律	15
第六节 动量 动量定理	17
第七节 动量守恒定律	19
习题	22
科学家介绍 伽利略	24
第二章 刚体的定轴转动	27
第一节 角速度和角加速度	27
第二节 刚体定轴转动定律	29
第三节 角动量 角动量守恒定律	33
习题	36
科学家介绍 牛顿	38
* 第三章 流体力学	40
第一节 静止流体的压强 帕斯卡定律	40
第二节 理想流体的恒定流动 连续性方程	42
第三节 理想流体的伯努利方程	44
第四节 伯努利方程的应用	46
第五节 粘滞流体的运动	48
习题	53

* 第四章 狭义相对论基础	56
第一节 牛顿的绝对时空观和伽利略变换	56
第二节 狭义相对论的两个假设 洛仑兹变换	59
第三节 相对论时空观	62
第四节 相对论力学简介	64
习题	67
科学家介绍 爱因斯坦	68
物理趣闻 黑洞理论	69
第五章 振动	70
第一节 简谐振动	70
第二节 简谐振动的几个物理量 旋转矢量法	73
第三节 简谐振动的能量	77
第四节 振动的合成	78
第五节 阻尼振动 受迫振动 共振	81
习题	84
第六章 机械波	88
第一节 机械波的产生和传播	88
第二节 平面简谐波的波动方程	90
第三节 波的能量 能流密度	93
第四节 波的干涉	95
第五节 驻波与弦乐器	98
第六节 惠更斯原理 波的衍射	101
第七节 声波	102
第八节 多普勒效应	105
习题	106
物理趣闻 宇宙的起源	108
宇宙的未来	108
当代物理学研究 至大和至小的理论结合	109
第七章 波动光学	111
第一节 光波及其相干性	112
第二节 杨氏双缝干涉 洛埃镜	113
第三节 光程	115
第四节 薄膜干涉	117
第五节 迈克耳逊干涉仪	123
第六节 单缝衍射	124
第七节 夫琅禾费圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	128
第八节 光栅衍射	130
第九节 全息照相原理	133
第十节 光的偏振	135
习题	140
* 第八章 量子物理基础	143

第一节 黑体辐射 普朗克的量子假说	144
第二节 光电效应 爱因斯坦光子理论	148
第三节 氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	151
第四节 实物粒子的波粒二象性	155
第五节 不确定关系	157
第六节 波函数	159
习题	161
科学家介绍 玻尔	162
* 第九章 激光	164
第一节 激光的形成与特性	164
第二节 常用激光器	168
第三节 激光的应用	171
习题	176
第十章 气体分子动理论	177
第一节 平衡状态 理想气体状态方程	178
第二节 理想气体的压强与温度	181
* 第三节 气体分子的速率分布	183
第四节 能量均分定理 理想气体的内能	186
习题	189
科学家介绍 玻耳兹曼	190
第十一章 热力学基础	193
第一节 热力学第一定律	193
第二节 理想气体的等体、等压、等温和绝热过程	196
第三节 循环过程	200
第四节 热力学第二定律	204
* 第五节 热量的传递	206
习题	208
物理与社会 人类环境问题	209
我国能源的利用	211
第十二章 静电场	213
第一节 电场强度	213
第二节 静电场的高斯定理	218
* 第三节 静电场的环路定理 电势	221
第四节 静电场中的导体	226
* 第五节 电容 静电场的能量	229
* 第六节 电容传感器	232
习题	234
物理趣闻 闪电	239
第十三章 磁场	240
第一节 磁感应强度	240
第二节 磁场的高斯定理和环路定理	245

第三节	磁场对运动电荷的作用	248
第四节	磁场对载流导线的作用	251
*第五节	磁介质	252
*第六节	磁性材料及其应用	254
*第七节	超导	255
习题		258
第十四章	电磁感应	263
第一节	电动势	263
第二节	电磁感应现象 楞次定律	265
第三节	法拉第电磁感应定律	266
第四节	自感 互感	268
第五节	磁场的能量	271
习题		272
科学家介绍	法拉第	276
*第十五章	等离子体	279
第一节	等离子体的一般概念	279
第二节	描述等离子体的几个参量	281
第三节	等离子体的主要特性	282
第四节	人工等离子体	284
第五节	等离子体在工程技术中的应用	285
习题		287
现代技术	同步卫星和微小卫星	288
附录		291
附录 A	国际单位制 (SI) 单位	291
附录 B	基本物理常量	292
参考文献		293

一、博大精深的物理学

物理学是自然科学中最基本的学科，它研究物质的基本结构及其运动的最一般规律。物理学的研究领域极其广泛：在空间标度上，它从基本粒子的亚核世界 (10^{-18}m) 到整个宇宙 (10^{27}m)；在时间标度上，从小于 10^{-21}s 的短寿命到宇宙纪元 (10^{17}s)。正如理查德·费曼所说的，“物理学是最基本的包罗万象的一门学科”。

古代物理学研究自然现象，也就是研究整个物质世界的运动规律。公元前，阿基米德就发现了杠杆原理和浮力定律，他生动地描述杠杆的作用：“给我一个支点，就能移动地球”。物理学在 16 世纪开始形成体系，成为一门学科，17 世纪建立了牛顿力学；18 世纪到 19 世纪，形成包括经典统计物理和热力学在内的热学理论，并创立了法拉第 - 麦克斯韦统一的电磁理论；经过物理学家们二百多年的努力，到 19 世纪末已成功地建立了力学、热学、电磁学与光学，这个庞大完整的理论体系，今天称之为**经典物理学**。它准确地给出宏观世界低速运动的规律，几乎能解释当时已经发现的所有现象，甚至宇宙现象。1757 年哈雷彗星在预定的时间回归，1846 年海王星在预言的方位上被发现，都惊人地证明了经典力学的一种决定论的可预测性。这曾使伟大的法国数学家拉普拉斯夸下海口：给定宇宙的初始条件，我们就能预言它的未来。当今日蚀和月蚀的准确预测，宇宙探测器的成功发射与轨道设计，可以说是在较小范围内实现了拉普拉斯的壮语。经典物理学在技术中得到了广泛的成功的应用。

但是，这种传统的思想信念在 20 世纪初遇到了严重的挑战。历史进入 20 世纪时，物理学开始深入扩展到微观高速领域，这时发现牛顿力学在这些领域不再适用。物理学的发展要求对牛顿力学以及长期认为是不言自明的基本概念作出根本性的改革。这种改革终于实现了，那就是相对论和量子力学的建立。爱因斯坦在 1905 年发表了题为《论动体的电动力学》的论文，完整地提出了狭义相对论，揭示了空间和时间的联系，引起了物理学的革命。普朗克于 1900 年首先提出量子概念，经过爱因斯坦、玻尔、德布罗意、玻恩、海森伯、薛定谔等许多物理大师的创新努力，到 20 世纪 30 年代，建成了完整的量子力学理论。

在近代，物理学正是在 20 世纪初出现了伟大的革命性突破，以量子力学和相对论的创立为标志的物理学革命，不仅导致了人类宇宙观的重大转变，诱发或促进了整个自然科学的改观，而且带来了人类社会空前的技术进步，极大地改变了人类的生产方式乃至生活方式。以量子理论和相对论为两大支柱的物理理论称为**近代物理学**。量子理论和相对论并不是对经典理论的简单否定，而是在更高的层次上包含了原有的理论，经典理论是量子理论和相对论在宏观和低速条件下的近似，我们的世界本质上是量子化和具有相对性的，整个物理学的两大部分完整而又和谐。

当代物理学本身已经发展成为一个相当庞大的学科，包含有若干相对独立的分支学科。例如粒子物理、广义相对论、超导、等离子体物理、凝聚态物理、光物理、耗散结构理论、混沌现象理论、非线性结构理论等。应该说，它们是当代科学、技术发展和推动社会进步的重要的基础之一。它们仍在不断地涌现出新思想、新原理、新方法和新技术，成为新的技术和产业部门的源泉和生长点。

在未来，物理学仍将是自然科学的基础。一方面，物理学将继续通过它和其他一切学科的交叉、渗透和相互作用产生出许多新的边缘学科；另一方面，物理学仍会不断地提供新的理论、实验技术和新材料来影响其他学科、技术和社会的进步。

二、物理学与人类文明

早在公元前 4 世纪，《墨经》一书中就记载了力、运动、杠杆平衡、光学、热学等许多物理学成就，汉代张衡制成了浑天仪和地动仪；三国时代马钧制成了指南车和利用惯性原理的抛石机；宋代制成了早期火箭。直到明朝末年，我国在天文、力、热、声、光等方面的研究，均处于领先地位。西方古代科学文化的中心是古希腊，古希腊物理学在公元前 200 年已有许多成就。古代物理学的成就促进了生产力的发展，推动了社会进步。

近代科学是从物理学开始的，被誉为“科学之父”的伽里略从物理学角度支持哥白尼的日心说，他成功地观测到了金星、月球表面的山谷和太阳黑子。物理学的革命从根本上动摇了形而上学的自然观，将人们从中世纪神学桎梏的黑暗中解放出来。物理学的研究对人类思维方式产生了不可估量的影响，它提供了科学的认识论和方法论，物理学的归纳、分析、比较、观察和实验是近代科学研究的基本方法，物理学为现代科学自然观提供了理论基础。

物理学史可以说是造福人类的历史，物理学是几乎所有工程技术的基础，而技术的进步又支持物理学向更深更广的领域推进。经典物理学的建立和完善极大地推动了当时工业技术的发展，蒸汽机的发明和应用，推动了热力学理论的发展，在热力学理论的指导下，各种热机得以研制和开发。人类结束了单纯依靠人力和畜力的局面，掌握了开发自然界能源的能力，由此物理学引起了人类历史上的第一次工业革命。

到了 19 世纪，电学和磁学现象的研究以及麦克斯韦的电磁理论为建立现代的电力工业和通信系统奠定了基础，无线电、电视、雷达的发明极大地改变了人们的生活，人类社会开始了以电气化为标志的第二次工业革命，工业电气化使社会生产力跃上新的台阶。

20 世纪以来，物理学的发展对现代社会的影响和人类对自然规律认识的深化尤为突出，量子力学和相对论为描述自然现象提供了一个全新的框架。现在人们认识到，它们不仅是现代物理学的基础，而且也是化学、生物学等其他学科的基础。此外，量子力学还导致了半导体、光通信等新兴工业的崛起，并为激光技术的发展、新材料发现和研制以及新型能源开发等开辟了新的技术途径；半导体材料、半导体物理和半导体器件研究的进展为计算机革命铺平道路，而计算机革命给人类社会和技术进步所带来的影响是无法估计的。其中激光和半导体晶体管还都是诺贝尔物理学奖项。李政道说：“从 1925 年以后，几乎所有的 20 世纪的物质文明都是从这两个物理基础科学发展衍生的。”

今天和将来的许多新技术都还将来源于物理学的基础研究。而且物理学将会实现物理科学与生命科学的结合,在发展改善人类生存条件和促进社会进步的关键科学技术,如能源科学、环境科学、信息科学和材料科学等方面不断发挥重要的基础作用。

三、物理学研究方法

物理学是一门实验科学,物理学的基本规律均是实验事实的归纳与总结,实验是理论之源,是检验理论的最终标准。自然界中的物理现象涉及很多因素,各种不同的运动形式往往交织在一起,那么实验的研究方法就是运用仪器设备,有选择、有控制地再现物理现象,再进一步达到去粗取精、由表及里地认识现象的本质,提炼出规律性。实验是验证规律、发现规律的重要手段,实验过程可以由任何人重新实现,这也是物理理论令人信服的力量所在。

深入地观察现象,选取形成现象的主要因素细致地进行实验,对观测结果进行分析、综合、归纳出必要的假设,再建立抽象的物理模型,而后运用数学工具形成理论,并在实践中接受检验,进行修正,这种实验显示、逻辑论证和数学分析有机的统一是物理学研究的一个重要方法。实验是理论付诸应用的必由之路,自1901年至今的诺贝尔物理学奖有2/3奖给了实验或与实验有关的项目。

物理学的理论研究总是从物理模型开始,物理模型以客观原型为依据,通过简化,突出反映原型中对所研究问题起决定作用的因素,完全忽略其他因素,这样使问题大大简化,且具有广泛的适用性。我们大家熟悉的物理模型有:质点、刚体、理想气体、点电荷、点光源……。例如,质点就是不考虑物体的形状、大小,而把其看作一个具有质量的几何点,因此,由质点讨论的结果,对于物体的大小和形状无关紧要的情况,都是适用的。另一方面,由于物理模型是以对客观原型的近似描写,所以物理理论总是有一定的适用条件或适用范围,如欧姆定律只适用于导体,并不适用于超导体。

物理学研究的基本方法即从实验出发,由特殊到一般的分析方法和以理论为主由一般到特殊的演绎方法融合交替。在物理学的发展过程中,总是不断根据新的观测事实,或者提出新的模型,或者对原有模型进行修改扩充,甚至会淘汰一些模型。其研究始终贯彻着实事求是的精神。

物理学是人类文化的精彩篇章,今天的物理学决不仅仅是少数物理学家专门研究的一门学问,而是现代文明生活中不可缺少的基础知识,是一切科学技术、社会生产、经济管理的基础。在高等教育中,物理课程的教学目的,就是要使学生获得必要的基础理论知识,通过对学生科学素养的培养,以提高全民族的科技水平,一切有志于提高科学素养和文化层次的人都有必要学习了解物理学。

质点力学

力学在各种自然科学中最富有直观性，而且发展得最早。在力学的发展过程中，经过许多人长时间的努力，在 17 世纪，力学已成为一门理论严密、体系完整的学科。牛顿在前人观察、实验的基础上，总结出了三条运动定律和万有引力定律，奠定了经典力学的基础，不仅适应了 18 世纪工业革命的需要，同时也有力地推动了其他学科的发展，由此逐渐形成了力学的许多分支学科，如流体力学、材料力学、结构力学、水力学等，成为工程技术的重要基础。

自然界中物体多种多样，各物体的运动也不尽相同，为了简化问题，突出运动物体的主要特征，使所讨论的问题具有比较普遍的意义，常把客观物体简化为物理模型来研究。质点是力学中最简单的物理模型，**质点**即具有一定质量而几何尺寸或形状可以忽略不计的物体。简单地说，它是一个具有质量的点。它保留了实际物体的两个主要特征：物体的质量和物体的空间位置。当物体作平动或物体的几何尺寸比观察它运动的范围小许多时，都可把物体看作质点。本章讨论质点力学的基本知识。

第一节 位置矢量 位移

一、位置矢量

为了描述质点的运动，首先要确定质点的位置。如图 1-1 所示，从坐标原点 O 画一个指向 P 点的有向线段 OP ，此有向线段的长度指出 P 点到原点的距离，其箭头指出 P 点所在的方向，这种可以用来确定质点所在位置的矢量，称为**位置矢量**，简称**位矢**。

如图 1-1 中, P 点在直角坐标系中相对原点的位置可由自原点 O 指向 P 点的有向线段来表示, 也可由坐标 x 、 y 和 z 来表示。于是, 位置矢量 $\mathbf{r}$ 就可表示成坐标形式

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

式中, $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 和 $\mathbf{k}$ 分别为沿 x 、 y 和 z 轴的单位矢量。位置矢量 $\mathbf{r}$ 的数值为

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

位矢的方向可用方向余弦来表示, 即

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

式中, α 、 β 和 γ 分别是 $\mathbf{r}$ 与 x 轴、 y 轴和 z 轴之间的夹角, 它们称为方向角, 满足

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

质点运动时, 它的位置矢量 $\mathbf{r}$ 是随时间 t 而变化的, 因此 $\mathbf{r}$ 是时间 t 的函数, 即

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

这个位置矢量 $\mathbf{r}$ 随时间 t 变化的关系式称为质点的运动学方程。

这时, 质点的坐标 x 、 y 和 z 也是时间 t 的函数, 则

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1-3)$$

上式表示质点运动在三个坐标轴上的分运动。由这三式消去 t 即可得质点的轨迹方程。

如果质点在平面上运动, 那么可以确定质点在平面直角坐标系中的位置为 $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$, 相应的运动方程可简化为

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

已学习过的运动学方程有: 匀速直线运动的运动学方程为 $x = vt$; 匀加速直线运动的

运动学方程为 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$; 平抛运动方程为 $\begin{cases} x = v_0t \\ y = \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$ 等, 其中平抛运动方程可表示为

矢量方程

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} = v_0t\mathbf{i} + \frac{1}{2}gt^2\mathbf{j}$$

二、位移矢量

若质点沿曲线从位置 A 移动到位置 B , 如图 1-2 所示, 在时刻 t 通过点 A , 其位矢为 $\mathbf{r}_A$; 经过时间 Δt 后通过点 B , 其位矢为 $\mathbf{r}_B$ 。在时间 Δt 内, 质点位置的变化可用从 A 到 B 的矢量 $\Delta\mathbf{r}$ 来表示, 称为质点的位移矢量, 简称位移。

位移是描述一段时间内质点位置变化的物理量, 它同时指出质点位置变化的距离和方向, 只和始、末两位置有关, 与曲线轨迹无关, 它并不代表质点实际走过的路程。

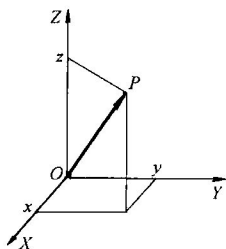


图 1-1 位置矢量

如图 1-2 所示, 从 A 到 B 的位移等于质点在末位置的位矢 $\mathbf{r}_B$ 和在初位置的位矢 $\mathbf{r}_A$ 之差

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (1-5)$$

在平面直角坐标系中, 位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} \quad (1-6)$$

位移的大小和方向分别为

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

$$\theta = \arctan \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

式中, θ 为 $\Delta \mathbf{r}$ 与 OX 轴之间的夹角。

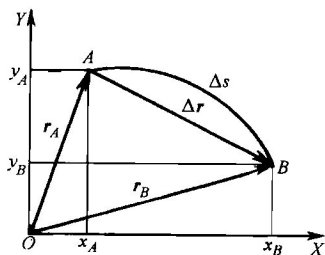


图 1-2 位移矢量

在此需注意物理量位移和路程的区别, 路程是在一段时间内, 质点所经过的轨迹的长度, 路程为标量。质点的位移可出现正、负或零的情况, 但路程必为正值。一般情况下, 路程和位移的大小并不相等。例如一个人沿圆周跑一圈, 他的路程为 $2\pi R$, 而位移为零。

第二节 速度 加速度

一、速度

速度是描述质点位置变化快慢和方向的物理量, 也是描述质点运动状态的一个参量。

1. 平均速度和平均速率

如图 1-3 所示, 设 t 时刻, 质点在 A 处, 经 Δt 运动到点 B , 在这段时间内, 从 A 到 B 的位移是 $\Delta \mathbf{r}$, 经历的路程是 Δs 。

质点的位移与完成这段位移所需的时间之比称为该段时间内的平均速度, 用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示。平均速度只能近似地描述 t 时刻附近质点运动的快慢和方向

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-7)$$

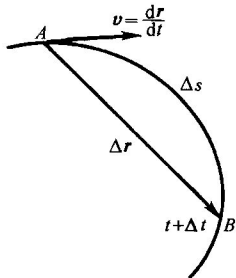


图 1-3 平均速度和速度

质点通过的路程与通过这段路程所需的时间之比, 称为该段时间内的平均速率, 用 $\bar{v}_s$ 表示

$$\bar{v}_s = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-8)$$

平均速率是标量, 恒为正值。一般情况下, 它不等于平均速度的大小。

2. 瞬时速度和瞬时速率

为了确切描述质点在 t 时刻运动的快慢与方向, 可以令 Δt 趋于零, 把 $\Delta t \rightarrow 0$ 的平均速度的极限值称为质点在 t 时刻的瞬时速度, 简称速度, 用 $\mathbf{v}$ 表示

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-9)$$

速度是描述运动质点在某一瞬时位置变化率的物理量, 式 (1-9) 表明, 速度 $\mathbf{v}$ 与 $d\mathbf{r}$ 同方向, 因此速度的方向总是沿轨道曲线的切线指向质点前进的方向。在直角坐标系中,

速度的大小为 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ 。

把 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速率的极限称为质点在 t 时刻的瞬时速率, 简称速率, 用 v 表示, 即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-10)$$

速率是描述质点在某一瞬时运动快慢的物理量, 它恒为正值。

因为当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 质点的位移长度 $|\Delta \mathbf{r}|$ 无限接近于所对应的路程 Δs , 所以

$$\left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt}, \text{ 则 } |\mathbf{v}| = v$$

上式指出, 在任一时刻, 质点速度的大小与速率相等。

上节讨论了直角坐标系中质点的运动学方程是

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

利用速度定义式 (1-9), 得

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} \quad (1-11a)$$

一般用 v_x 和 v_y 表示速度在直角坐标系中的分量, 则

$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt} \quad (1-11b)$$

速度的大小和方向 (用 v 与 x 轴正方向的夹角 α 表示) 分别为

$$\begin{cases} v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\ \tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} \end{cases} \quad (1-11c)$$

二、加速度

速度是个矢量, 它既有大小又有方向, 当质点作曲线运动时, 其方向不断改变, 而运动速度的快慢也可以随时改变, 为了定量描述各个时刻速度矢量的变化情况, 下面引进加速度的概念。

1. 瞬时加速度

如图 1-4 所示, 质点作曲线运动时, 在 t 时刻, 质点位于 A 点, 速度为 $\mathbf{v}_A$, 在 $t + \Delta t$ 时刻位于点 B , 速度为 $\mathbf{v}_B$, 在 Δt 这段时间内质点速度的增量为 $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A$ 。

把 $\Delta \mathbf{v}$ 与 Δt 之比称为质点在这段时间的平均加速度, 用 $\bar{\mathbf{a}}$ 表示: $\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ 。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均加速度的极限 $\frac{d\mathbf{v}}{dt}$, 被称为质点在 t 时刻的瞬时加速度, 简称为加速度, 用符号 $\mathbf{a}$ 表示

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (1-12)$$

加速度是矢量, 其方向是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时速度增量 $\Delta \mathbf{v}$ 极限方向。由图 1-4 可见, 加速度的方向与同一时刻速度的方向一般并不相同。如果质点作变速直线运动, 则加速度 $\mathbf{a}$ 的方向与速度 $\mathbf{v}$ 的方向均在同一直线上; 且当质点作加速运动时, $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{v}$ 同向, 反之, 当质点

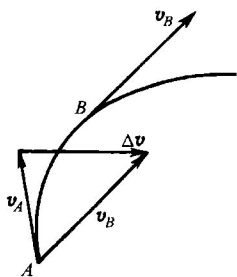


图 1-4 速度的增量 $\Delta \mathbf{v}$

作减速运动时, $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{v}$ 反向。

加速度是描述运动质点速度的大小和方向随时间变化的物理量, 其意义为速度矢量随时间的变化率。若把速度的定义式式 (1-9) 代入式 (1-12) 可得

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-13)$$

即加速度是速度对时间的一阶导数或是位矢对时间的二阶导数。

2. 直角坐标系中的加速度

将式 (1-11a) 和式 (1-11b) 代入加速度定义式 (1-13), 得直角坐标系中加速度的表达式

$$\mathbf{a} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} = \frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j} \quad (1-14)$$

用符号 a_x 和 a_y 表示 x 轴和 y 轴方向的加速度分量, 则

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \end{cases} \quad (1-15)$$

则可求得加速度的大小和方向 (用 $\mathbf{a}$ 与 x 轴正方向的夹角 α 表示)

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (1-16a)$$

$$\tan\alpha = \frac{a_y}{a_x} \quad (1-16b)$$

在国际单位制中, 加速度的单位是 m/s^2 。

3. 圆周运动的加速度

已经知道, 当质点作半径为 R 的匀速圆周运动时, 加速度的大小: $a = v^2/R$, 方向为沿轨道半径指向圆心, 称为向心加速度。它反映了速度方向的变化程度。

当质点作变速圆周运动时, 由于速度的方向和大小都变化, 因此加速度 $\mathbf{a}$ 不再指向圆心, 而是与速度 $\mathbf{v}$ 有一夹角, 如图 1-5 所示。这时加速度矢量可以按质点运动轨道的法线方向和切线方向分解。

如图 1-5 所示, 沿轨道半径指向圆心的加速度分量 a_n 称为法向加速度 (又称向心加速度), 它与匀速圆周运动中的加速度具有相同的物理含义, 反映速度方向随时间变化的程度, a_n 的大小

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (1-17a)$$

沿轨道切线方向上的加速度分量 a_τ 称为切向加速度, 它反映速度的大小即质点速率随时间变化的程度。可以证明, 切向加速度的大小等于质点速率 v 对时间 t 的导数

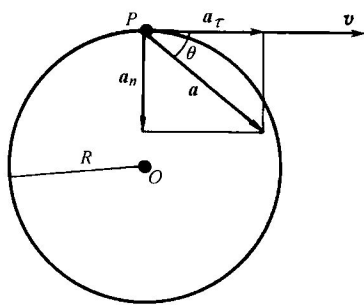


图 1-5 变速圆周运动的加速度