

大学文科物理

胡承正 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

04
550



大学文科物理

胡承正 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学文科物理/胡承正编著. —武汉: 武汉大学出版社, 2016. 8
ISBN 978-7-307-18356-8

I. 大… II. 胡… III. 物理学—高等学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 181752 号

责任编辑:任仕元 责任校对:李孟潇 版式设计:马 佳

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 武汉中科兴业印务有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 19.75 字数: 397 千字 插页: 1

版次: 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-18356-8 定价: 40.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

物理学是一门重要的自然科学，它加深了人类对自然界的认识，推动了人类社会的发展，对技术进步和人类文明产生了重大影响。它广泛地应用于工程技术和生产诸多部门。学习和了解物理学知识，不仅对理工科学生是必须的，而且对文科学生也是应该的。编写《大学文科物理》这本书的目的正是为了培养文科学生的科学素质，使之能更好地适应当今科学技术和经济、社会发展的需要。本书可作为大专院校文科类学生物理课程的教材，也可作为非物理类理工科学生物理课程的辅助用书，同时还可作为一般读者了解物理学基础知识、发展简史及其应用的参考读物。

全书共 11 章，包括：1. 力学概论；2. 热学简介；3. 电磁学基础；4. 光学初步；5. 相对论浅说；6. 量子力学入门；7. 新材料掠影；8. 信息与信息化社会；9. 能源漫谈；10. 微观世界；11. 万有引力与天体。

(1) 本书在编写中始终注意不把它写成本理工科物理教材的简单压缩，而是一本兼有物理知识和人文精神的文科用书。

(2) 本书在讲解基本理论的同时，注意介绍物理学的新发展和它在高新技术中的应用，以及与国民经济和人民生活密切相关的课题，如新材料、信息技术、能源科学等。

(3) 考虑到文科学生的特点，本书尽量避免繁复的数学推导，而将侧重点放在物理概念、物理规律及其内涵上。

(4) 为了增强可读性，本书在讲授物理知识的同时，还添加了各相关学科发展史简介，并穿插有在这方面作过重大贡献的科学家的生平事迹。

(5) 为了检测学生的学习效果，在各章后面都附有一定量的思考题以供选用。

物理学在自然科学中的重要地位以及在技术进步中的巨大作用都是毋庸置疑的，但要想学好它却并非易事。为了帮助学生理解物理学知识，激发学生学习物理学的兴趣，本书力求深入浅出、通俗易懂，注意其知识性、趣味性和可读性。当然，最重要的还是学习者的主动性和自觉性。其实，任何一种知识，不经过自己认真学习、独立思考、消理解，都不会有真切的感受，更谈不上掌握应用。

本书的出版是与武汉大学出版社、武汉大学物理科学与技术学院的支持分不开的。在此，作者对为本书能得以出版作过帮助的领导和同仁致以衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不当或疏漏之处，恳请读者批评指正。

胡承正

2016年8月于武昌珞珈山

目 录

第 1 章 力学概论	1
1.1 力学简史	1
1.2 物体的运动	5
1.3 物体的平衡	9
1.4 牛顿三定律	13
1.5 动量和动量矩	14
1.6 功和能	15
1.7 简单机械	18
1.8 振动和波	19
1.9 声现象	23
思考题 1	25
第 2 章 热学简介	30
2.1 从热学到热力学与统计物理学	30
2.2 热平衡与温度	34
2.3 热力学三定律	36
2.4 热机	39
2.5 熵	45
2.6 理想气体	47
2.7 物态的变化与相变	49
2.8 玻尔兹曼统计与麦克斯韦速率分布律	51
思考题 2	55
第 3 章 电磁学基础	58
3.1 电磁学的发展进程	58
3.2 静电场	62
3.3 稳恒电流	67
3.4 静磁场	71

3.5 电磁感应	75
3.6 交变电流	78
3.7 电磁波	83
3.8 电磁学的应用	85
思考题 3	90
第 4 章 光学初步	93
4.1 几何光学	93
4.2 波动光学	99
4.3 光的本性	108
4.4 人眼的光学功能与常见的光学仪器	111
4.5 激光及其应用	115
思考题 4	119
第 5 章 相对论浅说	122
5.1 迈克耳逊-莫雷实验	122
5.2 狭义相对论	126
5.3 相对论的时空观	129
5.4 相对论中的质量、能量与动量	130
5.5 广义相对论	132
5.6 相对论创始人爱因斯坦	134
思考题 5	135
第 6 章 量子力学入门	137
6.1 量子史话	137
6.2 经典物理学的困境	141
6.3 旧量子论	142
6.4 量子力学的建立	145
6.5 量子力学的应用	149
6.6 量子力学的进展	153
思考题 6	156
第 7 章 新材料掠影	157
7.1 半导体	157
7.2 超导体	162

7.3 纳米材料	171
7.4 液晶与非晶态固体	176
7.5 高性能陶瓷与新型金属	181
思考题 7	182
第 8 章 信息与信息化社会	184
8.1 信息技术的发展史	184
8.2 信息与信息的度量	185
8.3 信息社会	188
8.4 信息的传递	192
8.5 信息的获取与存储	195
思考题 8	201
第 9 章 能源漫谈	203
9.1 能源的利用	203
9.2 核能	205
9.3 太阳能	213
9.4 其他新能源	215
9.5 能源与可持续发展	218
思考题 9	221
第 10 章 微观世界	223
10.1 微观世界探索的进展	223
10.2 原子的基本性质	229
10.3 玻尔的原子理论	234
10.4 原子的壳层结构和元素周期表	238
10.5 原子核	241
10.6 基本粒子	246
思考题 10	248
第 11 章 万有引力与天体	250
11.1 天文学简述	250
11.2 万有引力	258
11.3 太阳系	260
11.4 恒星世界	268

11.5 宇宙空间	277
11.6 人类航空航天之路	283
思考题 11	289
附录 A 常用物理和天体物理常数	291
附录 B 常用物理单位	293
附录 C 矢量运算	297
附录 D 太阳系行星的一些性质	300
附录 E 25 颗亮星表	301
附录 F 中国古代物理学	304
主要参考书目	308

第1章 力学概论

1.1 力学简史

实验是物理学的基础，在实验中经常需要对各种物理量进行测量。对一个物理量测量的结果一般包括所得到的数值和所用的单位。为了国际贸易、工业和科学技术交往的需要，1875年17国外长在巴黎签署了米制公约。公约规定：长度单位为米，质量单位为千克(公斤)，时间单位为秒，这种单位制叫做米·千克·秒制(MKS制)。

时间、长度和质量(重量)是物理学计量中最基本的单位^①。远在公元前7至公元前6世纪，古巴比伦人就将1星期定义为7天，将昼、夜各自划分为12小时，并学会了采用六十进位法。他们把圆分为360度，1度分为60弧分，1弧分分为60弧秒。同样地，他们把1小时分为60分钟，1分钟分为60秒钟。古埃及人则学会了用天平(beam-balance)称药品和贵重物品。

古代记时多采用日影测时，埃及有“日晷碑”，中国有圭臬。用太阳光下的影子测时受天气的影响。为了弥补这一缺陷，又有了水钟和沙漏等。摆钟的出现得益于伽利略发现的摆的等时性规律。1656年，荷兰科学家惠更斯根据这一规律制成了一座摆钟。从此以后，摆钟便逐步取代日晷、水钟等成了计时的工具。摆钟一般都比较笨重。为了能制造小型钟表，人们用摆轮游丝装置取代了单摆。用这种装置制作的最先是怀表。怀表做工精细，价格贵，且携带不便。19世纪初，开始了手表的研制。19世纪末，实用的手表便能成批生产。为了手表能走时精准，人们在水表的转轴上安上了宝石轴承。比如，常见的“17钻”手表，它的转轴上就安了17颗人造宝石。为了手表能抗震耐磨，又出现了全钢防震表。这些表都是用发条做动力，到一定时间需要上紧发条，属于机械表。1955年，人们对机械表进行了一次

^① 随着电磁学、热力学、光辐射学和微观物理的发展，基本单位由3个扩大到7个，又增添了温度单位、电流强度单位、物质质量的单位和发光强度单位。在此基础上发展起来的单位制叫做国际单位制，用符号SI表示。国际单位制中的单位可分为：基本单位、导出单位和辅助单位(或组合单位)。详见附录。

改革,用电池代替发条,这便是电手表。随后,在电手表的基础上,增添了一些电子元件,这便是电子表。不过,这些表仍然使用摆轮游丝来计量时间。人们常说,时间就是金钱,时间就是生命。1970年4月11日,“阿波罗13号”进行第三次登月飞行。当飞船离地球33万千米的4月13日晚,有个油箱突然爆炸,危及宇航员生命安全。美国宇航局的科学家们当即运用计算机快速计算飞行轨道,确定4月14日凌晨宇航员开动发动机35秒钟,让飞船绕过月球返回地球。这35秒钟可与宇航员生死攸关:一旦错过,飞船将偏离预定轨道而一去不复返。可喜的是,宇航员赢得了生的机会。4月16日午夜,科学家又发出指令,要宇航员再次按时开动发动机,这次若弄错时间,则飞船只能在地球大气层边缘擦过,而永远消失在太空中。宇航员沉着冷静,再次赢得了生的机会。在科学家和宇航员共同努力下,飞船终于安全返回了地球。为了制造更精确的钟表,人们在发现石英晶体的压电效应和逆压电效应后^①,便开始利用石英晶体来做钟表的“摆”,这就有了石英钟和石英电子表。这种石英钟表走1年误差在3秒之内。原子中电子的跃迁规律被发现后,科学家们又造出了原子钟。用原子钟来计时可以做到丝毫不差。比如,铯原子钟运行30万年误差不超过1秒钟。正因为如此,1967年国际计量大会决定,采用铯原子钟导出的时间作为时间的计量标准,这就是“原子时”。大会还规定,秒是铯-133原子基态两个超精细能级间跃迁所对应的辐射,在9 192 631 770个周期内持续的时间。

古代测量长度所用的尺子就是人体的某部分,比如手,还比如脚^②。无疑,这种尺子具有很大的随意性。随着生产的发展,人员的交往密切了,人们需要一个共同的标准来测量长度。中国隋朝有个叫刘焯的天文学家提出,用不变的天文学常数或测地学常数来定义长度单位。后来各国都进行了经纬线的测量。1791年,法国科学院建议采用子午线作长度单位。他们将通过巴黎子午圈的四千万分之一长度作单位,并取名为米(metre)。1799年,法国人制造了一根长1米的白金(铂)尺子,作为法国国家长度单位。金属铂虽然贵重,但存在热胀冷缩等缺点。后来人们改用铂铱合金制作标准尺,这种标准尺称为米原器。铂铱合金制作的尺子具有耐腐蚀、刚性强、尺寸稳定等优点,被1889年第一届国际计量大会确定为国际长度基准。大会规定,1米就是米原器在0℃时两端刻线间的距离。为了保证米原器的精确度,它被安放在恒温、洁净的地方。米原器的精度可达0.1微米。随着科学技术的进步,20世纪50年代,加工精度也提高到0.1微米。显然,用米原器作国际长度基准已不再适用。于是,1960年第11届国际计量大会决定废除米原器,并采用 Kr^{86}

① 压电效应是当晶体受到外加应力作用时,晶体会极化产生电场现象。逆压电效应指与压电效应相反的效应,即晶体表面受到外加电场作用时会产生应力和应变的现象。

② 众所周知,在英语中脚和英尺对应同一个单词,foot。

(氪同位素)灯在规定条件下发出的橙黄色光在真空中的波长作为长度基准。用 Kr^{86} 发出的橙黄色光当尺子, 精度可达到 0.001 微米。激光出现后, 由于激光颜色单纯、波长稳定, 用它当尺子估计要比氪同位素灯精准 100 万倍左右。随后各种激光尺相继出现, 它们成了长度测量中的标准尺。有鉴于此, 1983 年第 17 届国际计量大会对米作了最新定义: 一个标准米等于光在真空中 $1/299\,792\,458$ 秒内所走过的路程的长度。

物体的质量(或重量)是由天平称量的。天平两边各有一个盘, 左盘放待测物体, 右盘放砝码。天平平衡时, 砝码的质量(或重量)即物体的质量(或重量)。可见天平的砝码就是计量质量的标准。1889 年第一届国际计量大会确定以国际千克原器为质量单位, 国际千克原器用铂铱合金制成, 至今保存在国际计量局。

古希腊人虽然在数学、逻辑学、形而上学、文学和艺术等方面成就卓越, 但他们在物理科学上收获却并不多。这是因为他们太热衷于观察、思辨而轻视实验, 比如著名古希腊学者苏格拉底、柏拉图、亚里士多德等人。直到阿基米德才开始了对力学这门学科的真正研究。阿基米德的名言“给我一个可依靠的支点, 我就可以把地球挪动”, 以及阿基米德洗澡时, 突然想到了检验亥尼洛国王的王冠是否由纯金制成的办法, 这都是人们耳熟能详的。阿基米德的《浮体》一书则是一部论述流体静力学的专著。有名的阿基米德浮力定律: 浸没在水中物体重量的减少等于物体排开水的重量, 便刊载在这本书中。

当专制制度横行的时候, 思想受到禁锢, 即使偶尔有点零星火花也会立即遭到强力扑灭。中世纪的欧洲便是明证, 那时在科技界亚里士多德的著作拥有至高无上的权威, 人们都深信无疑, 而不敢怀有半点他想。久受钳制的思想开始解放, 发生在 16 世纪的文艺复兴时期。这个时期天文学上推翻了托勒密体系建立了哥白尼体系, 一个全新的宇宙体系。物理学上开始了摒弃经院哲学的思辨方法而代之以实验的语言来研究自然。力学上, 自阿基米德时代以后就几乎停滞了的静力学, 首先在比利时人史特芬推动下发展完善起来。史特芬当时是一个颇具独立思想、极少个人崇拜的科学家。他准确测定了使一个置于斜面上的物体平衡时所需的力; 研究了滑轮组的平衡; 学会了用平行四边形法则进行力的合成和分解。可以说, 史特芬实际上已掌握了研究物体平衡的静力学的要点。

动力学的创建无疑应当归功于伽利略。伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)出生于意大利比萨, 17 岁考入比萨大学, 1589—1592 年受聘于比萨大学任数学讲座教授。这段时间由于他在科学上所持的新观点而遭受敌视和排斥, 1593—1610 年改到威尼斯的帕多瓦大学任教授。伽利略热心宣传哥白尼学说引起教会的不满, 1616 年受到宗教裁判所的谴责和警告。不过, 他并未停止他的研究。1632 年伽利略出版了轰动一时的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》, 尖锐批判了旧宇宙体系, 从而招致他再次受到宗教裁判所审判, 并被判终身监禁。1937 年伽利

略双目失明后才被准许有稍多一点的自由。直至 300 多年后,即 1979 年 11 月 20 日,教皇约翰·保罗才公开宣布为伽利略平反。

伽利略在物理学的发展史上占有重要地位。他是经典力学的先驱,是近代实验物理学的奠基人。相传伽利略在比萨大学任教期间,曾登上比萨斜塔抛下不同重量的铁球,证明了自由下落的这些铁球会同时落地。这就是著名的自由落体实验,这一实验推翻了古希腊学者亚里士多德“物体下落速度和重量成比例”的断言,纠正了这个持续了 1900 年之久的错误。1609 年,伽利略利用自制的天文望远镜,观察到月球表面的凹凸不平,并亲手绘制了第一幅月面图。1610 年 1 月 7 日,伽利略发现了木星的四颗卫星,为哥白尼学说找到了确凿的证据。另外,伽利略解释了自由落体运动和抛体运动,提出了伽利略相对性原理,并初步发现了惯性定律。

伽利略所创立的采用数学作为描述物理现象的主要手段,实验作为检验理论的最重要依据的方法,开辟了科学研究的新道路。伽利略在探索真理过程中所表现出来的勇气和牺牲精神使他成为科学工作者的典范。爱因斯坦在《物理学的进化》一书中曾这样评价伽利略:“伽利略的发现以及他所用的科学推理方法是人类思想史上最伟大的成绩之一,而且标志着物理学的真正开端。”

在伟人伽利略去世的同一年诞生了另一位伟人牛顿。牛顿(Isaac Newton, 1642—1727) 出生在英国林肯郡的伍尔索普,1660 年进入剑桥大学三一学院学习,1664 年牛顿有机会参加一个著名的卢卡锡数学讲座,认识了主持人巴罗教授,在他的引导下走上了研究自然科学的道路。1669 年牛顿接替巴罗教授担任卢卡锡数学讲座教授,1672 年成为英国皇家学会会员,1696 年任皇家造币局监督,1699 年升为造币局局长,1703 年当选为英国皇家学会主席,1705 年被英国女皇授予爵士称号。

从中学开始,人们就听说牛顿这个名字;而有关万有引力定律发现经过的苹果落地的故事,更是脍炙人口、广为流传。牛顿是他那个时代的智力巨人,在众多领域都作出了巨大贡献,牛顿的物理思想和物理方法对物理学的发展影响深远。在物理学上,牛顿在伽利略等前人工作的基础上,提出了三条运动基本定律,称为牛顿定律,创立了经典力学,即牛顿力学;在天文学方面,牛顿制作了反射望远镜,解释了潮汐的成因,特别是发现了万有引力定律,创立了科学的天文学;在数学上,牛顿论证了“牛顿二项式定理”,并和莱布尼兹几乎同时发明了微积分。此外,在光学上,牛顿提出了光的“微粒说”,应用三棱镜分解,发现白色日光由不同颜色的光构成。

1687 年,牛顿的代表作《自然哲学的数学原理》出版,这是一部划时代的巨著。《原理》一书一经问世,立即产生了巨大的影响,它标志一个新时代和新科学文明的到来。法国物理学家拉普拉斯曾如此评价:“《原理》将成为一座永垂不朽的深邃智慧的纪念碑,它向我们揭示了最伟大的宇宙定律。”《自然哲学的数学原理》由一个序言、一个导论、三篇正文和一个总释组成。牛顿在这部巨著中提出了力学三大

定律和万有引力定律，对宏观物体的运动给出了精确的描写，总结了他的物理发现，概括了他的自然哲学观和科学方法。牛顿的四条“哲学的推理法则”：简单性规则、因果性规则、普遍性规则、正确性规则和公理化方法、归纳-演绎法、分析-综合法、数学-物理方法、实验-抽象方法构成了一个完整的科学方法论体系，它长期被后世科学家奉为楷模，对后来的自然哲学和科学的发展产生了极为深远的影响。

1727年，85岁高龄的牛顿与世长辞，留在他墓碑上碑文的最后一句话是：“让人类为曾经生存过这样伟大的一位给各种族增光的人而高兴吧！”

牛顿创立经典力学后，由于数学的迅速发展，数学被更广泛、更深入地引入物理学中。当时一些伟大的科学家相信利用若干被称为“原理”的定律可以处理全部的力学（静力学和动力学）问题。这些科学家对这些原理的发展作出了重大的贡献，以致人们可以用一种新的观点来研究力学问题。这种力学现在被称为分析力学。

分析力学是经典力学理论的发展与完善，它的建立经历了三次大的飞跃。第一次飞跃表现为牛顿力学的对象从质点发展到刚体和流体，特别是欧拉（Leonhard Euler，1707—1783，瑞士数学家和物理学家）提出的运动学和动力学方程。第二次飞跃表现为拉格朗日理论的建立。1788年，拉格朗日（Joseph-Louis Lagrange，1736—1813，法国数学家、物理学家）将伯努利提出的虚功原理和达朗贝尔提出的达朗贝尔原理结合在一起，建立了拉格朗日方程，从而奠定了分析力学的基础。第三次飞跃表现为哈密顿理论的建立。哈密顿（William Rowan Hamilton，1805—1865，爱尔兰皇家科学院院长，美国科学院外国院士）作为公设所提出的哈密顿原理是分析力学达到顶峰的标志，使分析力学发展成一个完整的体系。而哈密顿正则方程、哈密顿量则是现代物理学中极为重要的概念。

1.2 物体的运动

1.2.1 机械运动

力学研究的具体对象称为物体，该物体外的其他物体统称外界。天上飞的飞机，地上跑的火车、汽车，水中开的轮船，随时都在将乘客带至四面八方。这些运动物体的一个共同点就是从地球的某处移到了另一处。物理上把物体的位置从某一处变到另一处，称为机械运动，简称运动。机械运动是自然界最简单、最普遍的一种运动形式，而力学则是研究机械运动的学科。

物体的运动总是相对另一物体而言的，对于不同的参照物体，物体运动不一定相同。比如，坐在运动火车车厢座位上的乘客相对火车是静止的，但相对地面观察

者则是在随火车一起运动。这种用作物体运动参照物的物体(比如火车或地面)称为**参考系**。为了精确描写物体的运动,通常在参考系中选择某一适当的坐标系,称为**参考坐标系**,简称**坐标系**。运动物体在某时刻 t 的位置与原点的距离叫做该时刻的**位矢**(位置矢量)。物体的位矢是一个同时具有大小和方向的物理量。这样的量称为**矢量**①,用加黑的斜体或白斜体上加箭头表示。位矢通常是时间的函数,即与 t 有关,记为 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ 。物体位置的变化除了可以用它的位矢的改变来表示外,还可以用它走过的路程来表示。路程是指物体运动轨迹上的一段长度。路程是一个标量,常用字母 s 或 l 表示。

力学研究中对物体通常采用两种理想模型②,即**质点**和**刚体**。质点是指只有质量而无大小和形状的物体(即数学上的几何点),刚体是指其上任意两点距离始终不变的物体。实际物体严格地说来当然既不是质点也不是刚体,但只要物体本身的大小与它运动所涉及的空间大小相比可以忽略,则物体便可以视为质点;反之,如果物体本身形状大小的变化可以忽略,则物体便可以视为刚体。比如,地球本身的大小与日地间距离相比非常小,所以研究地球绕日运动,我们可以把地球当作质点处理,而地球大小形状随时间的变化非常小,所以研究地球自转时,我们又可以把地球当作刚体处理。(以下讨论,除特别声明外,物体一般就是指质点。)

1.2.2 速度与加速度

物体的运动有快慢之分,有方向之别,描写物体运动快慢和方向的物理量便是**速度**。速度是矢量,通常记为 $\mathbf{v}$,在国际单位(SI)中,它的单位是米/秒(m/s 或 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

设物体在时刻 t_1 的位置矢量(位矢)为 $\mathbf{r}_1$, t_2 时刻的位矢为 $\mathbf{r}_2$,那么物体在这段时间间隔 $\Delta t = t_2 - t_1$ 内,位矢的变化为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \quad (1.2.1)$$

这个物理量叫做**位移**。位移也是一个矢量,它表示物体位置变化的情况,即位置变化的多少和位置变化的方向,可以用一根由初位置指向末位置的有向线段表示。在直角坐标系中表示式为

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} + \Delta z \mathbf{k} \quad (1.2.2)$$

式中, $\Delta x = x_2 - x_1$, $\Delta y = y_2 - y_1$, $\Delta z = z_2 - z_1$,而 $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$, $\mathbf{k}$ 则分别表示三个坐标轴

① 只具有大小的量称为标量,如温度、时间等。

② 科学研究中,由于实际对象往往并不简单且与外界的联系又很复杂,因此常常会根据研究的具体内容和目的提出各种理想模型。比如,为了研究物体的机械运动而提出的理想模型——质点和刚体;为了研究气体的性质而提出的理想气体模型;为了研究热现象过程而提出的理想模型——准静态过程;为了研究热辐射而提出的理想模型——黑体辐射。

上的单位矢量。

Δt 时间内, 位移的变化率称为这段时间内物体运动的**平均速度**, 记为

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.2.3)$$

平均速度只能衡量物体在该时间段运动的平均快慢与方向的最终变化, 而不能表明每个时刻物体运动的快慢与方向(图 1.1)。平均速度虽然只是物体运动快慢的粗略描述, 但在日常生活中却是十分有用的。通常说的汽车、火车、飞机等的速度都是指的平均速度。当然, 这里的平均速度只考虑了它们的大小, 而忽略了它们的方向, 严格地说, 它们应该是平均速率。

为了精确描述物体运动快慢与运动方向, 力学中引入了**瞬时速度的概念**。瞬时速度是运动物体在某一时刻, 或者运动物体通过其运动轨迹上某一位置时的速度。瞬时速度又简称**速度**。为了得到运动物体的瞬时速度, 必须将 Δt 逐渐减小, 以至无限接近于零, 这时的极限值即是该时刻物体运动的瞬时速度, 在数学上称为位移对时间的(一次)微商(或导数), 记为

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \dot{\mathbf{r}} \quad (1.2.4)$$

这种运算方法叫做**求导**。它在直角坐标系中的分量表示为

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k} \\ v_x &= \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \end{aligned} \quad (1.2.5)$$

速度的大小称为**速率**, 记为

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} \quad (1.2.6)$$

式中 ds 是物体在 dt 时间内走过的路程。

类似地, 设物体在时刻 t_1 的速度为 $\mathbf{v}_1$, 在时刻 t_2 的速度为 $\mathbf{v}_2$, 那么在时间间隔 $\Delta t = t_2 - t_1$ 内, 物体速度的改变 $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1$ 。在 Δt 时间内, 速度的变化率称为该时间内物体的**平均加速度**, 如图 1.2 所示。

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \quad (1.2.7)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 它的极限值即是该时刻物体的瞬时加速度, 简称**加速度**, 在数学上表现为位移对时间的二次微商, 记为

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \dot{\mathbf{v}} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = \ddot{\mathbf{r}} \quad (1.2.8)$$

加速度也是一个矢量, 它的单位在 SI 中是米/秒²(m/s^2 或 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)。

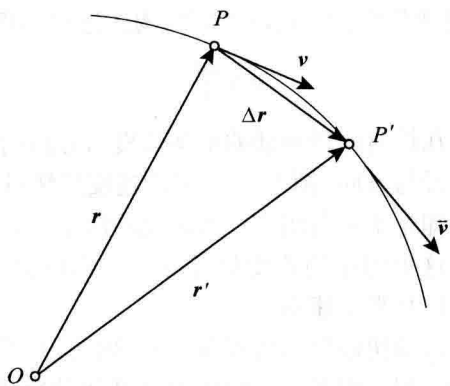


图 1.1 速度示意图

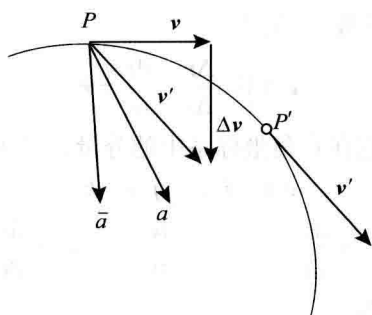


图 1.2 加速度示意图

1.2.3 直线运动与曲线运动

如果物体运动的轨迹是一条直线，则叫做**直线运动**；否则，叫做**曲线运动**。速率保持不变的直线运动叫做**匀速直线运动**。加速度保持不变的直线运动叫做**匀加速直线运动**。

轨迹不是一直线的运动为曲线运动，圆运动是一种典型的曲线运动。如果物体运动的轨迹是一个圆周，则叫做**圆(周)运动**。速率保持不变的圆运动叫做**匀速圆周运动**。描写圆运动的物理量，除了上面提到的线量外，还可以用角量(角位移、角速度、角加速度等)描写。若时刻 t_1 ，物体极角为 θ_1 ，时刻 t_2 ，物体极角为 θ_2 ，则物体的角位移

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

某时刻 t ，角位移的变化率叫做该时刻的**角速度**，角速度的变化率叫做**角加速度**，