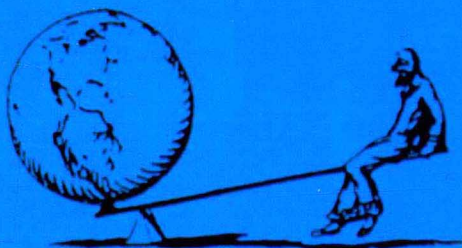
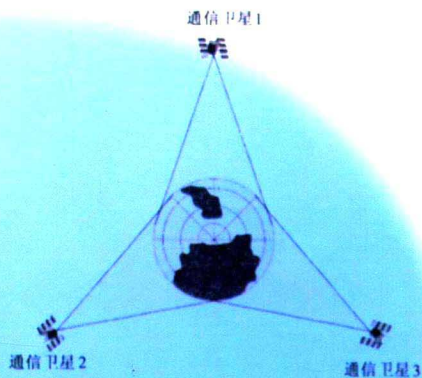





全国高等农林院校“十二五”规划教材

大学基础物理

张文辉 主编



 中国农业出版社

全国高等农林院校“十二五”规划教材

大学基础物理

张文辉 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学基础物理 / 张文辉主编. —北京: 中国农业出版社, 2014. 12

全国高等农林院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-109-19754-1

I. ①大… II. ①张… 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 (2014) 第 260637 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 薛波

文字编辑 卫洁

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 12.25

字数: 288 千字

定价: 26.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是依据2010年教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委会发布的“理工科类大学物理课程教学基本要求”编写的。全书内容包括绪论,运动和力、守恒定律、刚体的转动、热学基础、静电场、恒定磁场、电磁感应、振动、波动、波动光学等10章内容。每章之后有本章的习题,书末备有习题参考答案。

本书可作为工科类专业大学物理教材,也可作为其他专业高等院校师生的教学或自学参考书。

主 编 张文辉

副主编 林 坚 谢 知 冯 利 许雪娥

编 者 (按姓名笔画排序)

冯 利 许雪娥 张 洪 张文辉

陈丽敏 林 坚 谢 知



前言

本书是依据 2010 年教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委会发布的“理工科类大学物理课程教学基本要求”（以下简称“基本要求”）编写的。它有如下特点：

1. 按“基本要求”精选和组织内容。教材力求突出主干，精选枝节。对物理概念和物理规律的阐述力求做到准确、简洁，便于学生阅读和理解。

2. 贯彻与学生认知能力相适应的原则，教材的深浅程度力求适中，并注意由易到难，由简到繁。

3. 教材在有关内容中采用了模型法、对比法、综合分析法等。此类方法，有利于学生对物理规律的理解，也有利于培养学生的科学思维能力和创造性能力。

本书采用以国际单位制（SI）为基础的我国法定计量单位；物理学名词按 1996 年全国自然科学名词审定委员会公布的“物理学名词”表述；按国家标准（GB）的规定表示物理量的符号和单位的符号。

本书由张文辉主编，林坚、谢知、冯利、许雪娥为副主编，张洪、陈丽敏为参编人员。各编者分工如下：张文辉编写第一、二、三、四、五、六、七、九、十章，林坚编写绪论，谢知编写第八章的第 1 节，冯利编写第八章的第 2 节，许雪娥编写第八章的第 3 节，张洪编写第八章的第 4 节，陈丽敏编写习题答案。

由于编者水平有限，书中一定存在不少错误和不妥之处，敬请使用本书的教师和读者批评指正。

编者

2014 年 9 月



目 录

前言	
绪论	1
第一章 运动和力	5
§ 1-1 位置矢量 运动方程	5
§ 1-2 速度和加速度	7
§ 1-3 圆周运动	13
§ 1-4 牛顿运动定律	16
习题	23
第二章 守恒定律	25
§ 2-1 变力的功 动能定理	25
§ 2-2 保守力与非保守力 势能	29
§ 2-3 功能原理 机械能守恒定律	33
§ 2-4 动量定理	35
§ 2-5 动量守恒定律	37
习题	39
第三章 刚体的转动	41
§ 3-1 刚体定轴转动的动能定理和转动定律	41
§ 3-2 定轴转动的动量矩定理和动量矩守恒定律	48
习题	51
第四章 热学基础	54
§ 4-1 平衡态 理想气体状态方程	54
§ 4-2 理想气体的压强公式 温度的微观本质	55
§ 4-3 热力学第一定律	59

§ 4-4 理想气体的几个典型过程	62
§ 4-5 循环过程 热机	66
§ 4-6 热力学第二定律的表述 卡诺定理	70
§ 4-7 熵 熵增加原理	72
习题	75
第五章 静电场	78
§ 5-1 库仑定律	78
§ 5-2 电场强度	79
§ 5-3 高斯定理	84
§ 5-4 静电场的环路定理 电势	90
§ 5-5 静电场中的导体	96
§ 5-6 电容及电容器	98
§ 5-7 静电场中的电介质	99
§ 5-8 静电场的能量	100
习题	102
第六章 恒定磁场	104
§ 6-1 磁感应强度	104
§ 6-2 磁场的高斯定理和安培环路定理	107
§ 6-3 磁场对运动电荷的作用	111
§ 6-4 磁场对载流导线的作用	112
§ 6-5 磁介质	114
习题	116
第七章 电磁感应	119
§ 7-1 电源 电动势	119
§ 7-2 电磁感应定律	120
§ 7-3 动生电动势和感生电动势	122
§ 7-4 自感 互感	124
§ 7-5 磁场的能量和能量密度	126
习题	127
第八章 振动	129
§ 8-1 简谐运动 振幅 周期和频率 相位	129
§ 8-2 旋转矢量	132
§ 8-3 简谐运动的能量	133
§ 8-4 简谐运动的合成	135
习题	136

第九章 波动	138
§ 9-1 机械波	138
§ 9-2 平面简谐波的波函数	140
§ 9-3 惠更斯原理 波的干涉	143
§ 9-4 驻波	146
习题	147
第十章 波动光学	149
§ 10-1 相干光	149
§ 10-2 杨氏双缝干涉实验 光程	151
§ 10-3 薄膜干涉	155
§ 10-4 劈尖 牛顿环	158
§ 10-5 惠更斯-菲涅耳原理 单缝衍射	162
§ 10-6 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	166
§ 10-7 衍射光栅	167
§ 10-8 光的偏振性 马吕斯定律	170
§ 10-9 反射光和折射光的偏振	173
习题	174
习题参考答案	176
附录	182
附录 I 矢量的标积和矢积	182
附录 II 常用基本物理常量	184
附录 III 地球和太阳的一些常用数据	184
参考文献	185

绪 论

一、微观、宏观、宇观

物理学是研究物质的基本结构、相互作用和运动形式的基本规律的科学。物理学的研究目的在于认识物质运动的普遍规律和揭示物质各层次的内部结构。

物理科学涉及范围极广。它既研究人们身旁发生的物理现象，也研究宇宙中天体的运动及构造，还研究微观领域中物质的结构和运动规律。

宏观物体，形式多样，五光十色。它们都是由各种分子和原子组成。各种不同元素的原子又都由质子、中子和电子组成。而质子和中子还有内部结构，它们由更基本的粒子——夸克组成。按照现在的粒子物理标准模型，目前，还没有发现具有内部结构的粒子约有三大类共 62 种。包括构成物质基本“砖石”的 18 种夸克和电子、 μ 子、中微子等 6 种轻子及其反粒子共 48 种；传递各种相互作用的粒子如光子、胶子等 13 种，以及一种理论上预言的特殊粒子——希格斯粒子。除了希格斯粒子和引力子外，其余都已被实验所证实。这些粒子是最“基本”的吗？还有没有新的层次？大千世界就是由这些“基本粒子”构成的吗？……科学家们正进一步努力探索着。

从整个宇宙来看，我们的太阳系只是这宇宙中的沧海一粟。太阳系是银河系的一小点。银河系之外，还有河外星系。银河系只是宇宙的极小部分。宇宙有多大？宇宙的历史有多长？这既是科学家感兴趣的问题，也是哲学家热衷的课题。对天体及其运动规律的研究似乎是天文学家的事情。然而，对于天体（主要是行星）的运动规律的研究曾总结出万有引力定律，大大促进了物理学的发展。直到今天，天文学和物理学仍然是既合作又互相促进的兄弟学科。从遥远的天体传来的信息（星光或无线电波）表明，天体也是由在地球上发现的同样的原子和基本粒子构成的；在地球上发现的物理规律又有助于我们理解来自天体的信号。

现在，关于宇宙起源、演化的理论——“大爆炸宇宙模型”已被普遍接受。根据这一模型，宇宙大约在 140 亿年前的一次大爆炸中创生，时空和物质也由此创生。随着宇宙的不断膨胀，宇宙从早期高温高密度的一片混沌中一步步演化发展出复杂、有序、多样化的结构：从微粒子、原子核、原子、分子，乃至构成生物体细胞的生物大分子；从星云、星系、乃至太阳、地球、人类，等等。按照这一模型，宇宙的演化所经历的几个主要阶段列在表 1 中。

表 1 宇宙的演化所经历的几个主要阶段

时间/s	阶 段
0	大爆炸开始
10^{-6}	粒子处于热力学平衡
1	平衡中止
10^3	氦形成，开始形成化学元素

(续)

时间/s	阶 段
10^{12}	复合
$10^{12} \sim 10^{16}$	星系形成
2×10^{17}	太阳系形成
4×10^{17}	今天

据估计, 宇宙半径的数量级为 10^{27} m。表 2 中列出客观世界各种实物的尺寸的数量级。

表 2 客观世界的空间尺度

空间尺度/m	实 物
.....
10^{27}	宇宙半径
10^{24}	地球到最近的河外星系的距离
10^{21}	地球到银河系中心的距离
10^{18}	地球到最近的恒星的距离
10^{15}	冥王星的轨道半径
10^{12}	地球到太阳的距离
10^8	地球到月球的距离
10^6	人造卫星的高度
1	一个孩子的高度
10^{-3}	一颗细沙粒
10^{-6}	病毒
10^{-11}	玻尔半径
10^{-15}	原子核半径
.....

从宏观到微观, 从宏观到宇观, 我们对物理世界的认识已达到如此细微和遥远。从表 3 可以看到这么广大范围内各种实物的质量的数量级。

表 3 客观世界各种实物的质量的数量级

质量/kg	物 体
.....
10^{44}	银河系
10^{30}	太阳
10^{24}	地球
10^{22}	月球
10^7	一艘巨轮
10^0	一个人
10^{-4}	一枚邮票
10^{-27}	一个质子
10^{-30}	一个电子
.....

宏观物体由大量的分子、原子等微观粒子组成。不同物体的微观构成及环境的差异，表现出宏观特性迥然不同。就物质形态而言，可分为固态、液态、气态、等离子态等。固态和液态现在常统称为凝聚态。

固态物体中的分子、原子或离子有相对固定的位置，因而整个物体由固定的形状，其中有一定规律排列者称为晶体；没有一定规律排列者称为非晶体。

液态物质中的分子没有固定的位置，可以相对移动。所以液体没有一定的形状。但液体分子之间的距离仍较近，分子间的作用力使得液体总是凝聚在一起，形成一定的表面。

气态物质，分子间的距离很大，分子间的作用力极弱，分子可以自由行动，因此气体总是充满整个容器。

在一定条件下，中性原子将全部离解为正、负离子，物质的此种形态称为等离子态。例如在太阳和恒星的内部，温度达到几百万甚至几千万开尔文，其中的物质就处于等离子体状态。极高的温度，给不间断的热核反应创造了极好的条件。太阳及其他恒星正是依靠连续的热核反应维持极高的温度，向外辐射能量。

有趣的是，还存在着质子态和中子态的物体。晚期的恒星在耗掉大量能量之后，星体的巨大质量引起的万有引力把全部核子（中子和质子）集中在一起，相当于一个巨大的原子核。星体被压缩成密度极大的天体，原子的构造被破坏，众多的电子包围着这种天体，天文学家称为白矮星。质量更大的晚期恒星的巨大压力甚至可将电子压入原子核，与核中质子结合成中子，整个星体主要由中子构成，称为中子星。

上面只给出自然界中的无生命物质图景的基本轮廓。应该指出，不要把上述图景看成是静止的。无论是深入到原子内部，还是大到宇宙中的天体，所有物体都处在不停息的运动中。

二、基本作用

通常把物体之间的相互作用称为力。现在，人们认识了自然界中的基本作用力共四种，它们是：引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用、弱相互作用。

万有引力和电磁力在 20 世纪以前已被认识，强力和弱力则是在研究原子核和基本粒子过程中认识的。这四种相互作用的相对强度（以强相互作用的强度为 1）和作用范围的比较如表 4 所示。

表 4 四种相互作用的相对强度

力的种类	强相互作用	电磁相互作用	弱相互作用	引力相互作用
相对强度	1	10^{-2}	10^{-12}	10^{-40}
作用范围/m	10^{-15}	长	$<10^{-17}$	长

强相互作用是发生在核子（中子、质子）之间，使原子核结合在一起的力。它不像万有引力和电磁作用那样与距离平方成反比。当两个核子的距离大于 10^{-14} m 时，它们之间的强相互作用微弱的可以忽略不计；而当它们的距离小于 10^{-14} m 时，相互吸引的强相互作用骤然增大；然而，当两个核子靠得更近些，达到 2×10^{-16} m 时，核子之间的作用又变成巨大的斥力。参与强相互作用的基本粒子，称为强子。一切强子都参与弱相互作用，此外，参与

弱作用的有电子、中微子等轻子。弱相互作用的范围更小，小于 10^{-17} m，万有引力在四种作用中最弱，只在研究天体运动时，由于其质量巨大，万有引力才起主要作用。有电荷和磁矩的粒子之间都有电磁作用。电磁作用在宏观领域和微观领域都起重要作用。

爱因斯坦 (A. Einstein, 1879—1955) 生前追求统一场论，他试图建立一个包括引力场和电磁场的统一场理论。而建立四个基本作用之间的统一的理论是物理学界追求的目标。爱因斯坦奋斗 30 年，未能成功。他带着热切的希望和必定成功的信念离开人世。1961 年美国物理学家格拉肖 (S. L. Glashow, 1932—) 首先提出弱相互作用和电磁相互作用统一的基本模型，1967 年美国物理学家温伯格 (S. Weinberg, 1933—) 和巴基斯坦物理学家萨拉姆 (A. Salam, 1926—1996) 独立地对比模型进行了发展和完善，随后，该理论得到实验证实。物理学向统一场论迈出了坚实的一步。

三、物理学的不断进步

历史表明，物理学的重大突破都会带来社会的进步，深刻地影响着人类的生产和生活，可以说物理学成为人类社会文明的重要源泉。历史上的三次技术革命都与物理学的重大突破密切相关。以蒸汽机的广泛应用为主要标志的第一次技术革命，是牛顿力学和热力学发展的结果；以电力的广泛应用和无线电通信的实现为主要标志的第二次技术革命，是电磁学发展的结果；20 世纪 40 年代以来，以原子能、激光、半导体和计算机技术为标志的第三次技术革命，是以相对论和量子力学两大理论为基础的物理理论发展的结果。物理学的这些成就，首先应归功于实验。实验是科学知识的源泉，又是科学理论的唯一鉴定者。当新发现的实验事实无情地违背旧有的理论时，就导致新理论的诞生。这种情况，在物理学的发展过程中屡见不鲜。

物理理论大体分为两大部分：20 世纪以前物理学的成就称为经典物理学，它包括经典力学（牛顿力学）、经典统计力学、经典电磁理论等。从 20 世纪初以来物理学发生的革命性的成就归功为近代物理学，它的主要支柱是相对论和量子理论。理论是实验事实的升华，它作为一种观念指导人们科学的思考；它又提供了研究科学，推动技术进步和处理实际问题的有效方法。

回顾历史，我们对那些为物理学发展贡献毕生精力乃至生命，做出伟大成就的物理学家怀着深深的敬意。他们中有坚持真理、为科学献身的布鲁诺 (G. Bruno, 1600 年被烧死于火刑柱上)、伽利略 (Galileo, 1564—1642)；有经典理论的奠基人牛顿 (I. Newton, 1642—1727) 和麦克斯韦 (J. C. Maxwell, 1831—1879)；有相对论的大师爱因斯坦 (1897—1955) 和量子理论的启蒙者普朗克 (M. V. Planck, 1858—1947)；有近几十年在近代物理的研究和实验中，因有重大发现、成绩卓越获得诺贝尔物理学奖的华裔物理学家杨政宁、李政道、丁肇中、崔琦、朱棣文……一代接一代，许许多多物理学家的辛勤劳动，创造了人类的共同财富——物理学，为现代物质文明建立了重要的理论基础。

1 第一章

运 动 和 力

一个物体相对另一个物体的位置变化，或者同一个物体的某一部分相对于其他部分的位置变化，称为机械运动。机械运动是物质运动中最简单和最基本的运动形式。力学就是研究机械运动规律及其应用的科学。

力学通常分为运动学、动力学和静力学。研究物体位置随时间变化的规律，但不涉及引起变化的原因，称为运动学。研究物体间的相互作用，以及这种相互作用所引起的物体运动状态变化的规律，称为动力学。研究物体相互作用的平衡问题，称为静力学。静力学可以看成是动力学的特殊情况。

由于机械运动是最简单、最基本的运动形式，所以在比较高级、比较复杂的各种物质运动形式（例如分子热运动、电磁运动、化学运动和生物运动等）中都包含机械运动这种最基本的运动形式。它们既和机械运动有区别，又能在一定条件下和机械运动相互转化。在研究运动性质时，应当从这种最简单、最基本的运动形式开始，先理解了这些最简单、最基本的运动形式，然后才能对更高级、更复杂的运动形式有所阐明。因此，力学是物理学的基础，也是其他许多学科和工程技术的基础。

本章的主要内容是位置矢量、运动方程、位移、速度、加速度和牛顿运动定律。

§ 1-1 位置矢量 运动方程

一、质点

任何实际物体都有一定的大小和形状。由于物体运动时，内部各点的位置变化一般是各不相同的，因此要精确地描写实际物体的一般运动并不是简单的事。但是我们发现，在许多情况下，由于物体的大小和形状与所研究的问题无关或关系很小，因而，当研究物体运动时，如果物体的大小和形状可以忽略，就可以把物体当作一个有一定质量的点，这样的点称为质点。质点保留了运动物体的质量和物体的空间位置两个重要方面。在以下情况中可以把物体当作质点看待。

(1) 物体做平动。这时物体内的各点具有形状相同的轨道、相同的速度和加速度。因而只要研究其中一点的轨道、速度和加速度，就足以认识平动物体运动的全貌。据此，可以把平动物体简化为质点。

(2) 物体的几何尺寸比它的运动的范围小得多，其形状大小可以忽略。这时也可以把该物体当作质点。例如，在研究地球绕太阳公转时，由于地球到太阳的距离（约 1.5×10^8 km）约为地球直径（ 1.274×10^4 km）的一万多倍，地球上各点相对于太阳的运动可以看作是相同的，因此在研究地球公转时可以把地球当作质点。

质点只是理想模型的一个例子，以后还要讲到刚体、理想气体、点电荷、弹簧振子等模型，其道理都是一样的。

二、参考系

宇宙间任何物体都在永恒不停地运动着，绝对静止的物体是没有的。大到星系，小到原子、电子，无一不在运动。自然界的一切物质都处于永恒的运动之中，这就是通常所说的运动的绝对性。

在这样错综复杂的运动中，要描述一个物体的机械运动，总得选择另一个物体或几个彼此相对静止的物体作参考（“作参考”意味着在所讨论的问题中被当作静止的），然后研究这个物体相对于参考物体是如何运动的。为描述运动而选的参考物体或物体组，称为参考系。

对同一物体的运动，选择的参考系不同，观测的结果也不同。例如，在地面上站着的人，以地球为参考系，看下落的雨点是竖直的；但在行驶的火车里的乘客，以火车车厢为参考系；看到下落的雨点是向后倾斜的，而且落得较快。对同一物体运动具有不同描述的事实，称为运动描述的相对性。因此，我们研究物体运动时，必须首先明确物体的运动是相对于什么参考系描述的。参考系的选择是任意的，究竟应该选择哪一个物体作参考系，要看问题的性质和是否便于描述而定。在研究地球运动时，多以太阳为参考系，研究地面上的物体运动时，如不特别指明，通常都是以地球为参考系。

三、位置矢量

参考系选定后，为了定量描述质点在参考系中的位置和位置随时间的变化，常将一坐标系和参考系固结起来。常用的坐标系有直角坐标系、柱面坐标系、球面坐标系等，下面介绍直角坐标系。

如图 1-1 所示的直角坐标系中，质点 P 的位置可由坐标原点 O 画一个指向质点 P 的有向线段 \vec{OP} 表示。此有向线段的长度指出质点 P 到坐标原点 O 的距离，其箭头指出质点 P 所在的方位。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，用符号 \mathbf{r} 表示。

由图 1-1 可见，位矢 \mathbf{r} 在坐标轴 Ox 、 Oy 和 Oz 上的投影（即质点的坐标）分别为 x 、 y 和 z 。质点 P 在直角坐标系 $Oxyz$ 中的位置，既可用位矢 \mathbf{r} 来表示，也可用 x 、 y 和 z 来表示。位矢 \mathbf{r} 亦可写成

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

在上式中， \mathbf{i} 、 \mathbf{j} 和 \mathbf{k} 分别是沿 Ox 轴、 Oy 轴和 Oz 轴的单位矢量。矢量 \mathbf{r} 的大小为

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

位矢 \mathbf{r} 的方向余弦由下式确定：

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

在上式中， α 、 β 和 γ 分别是 \mathbf{r} 与 Ox 轴、 Oy 轴和 Oz 轴之间的夹角。

如果质点在平面上运动，那么在该平面上取平面直角坐标系 Oxy ，质点的位置矢量可

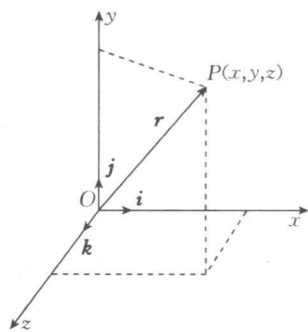


图 1-1 位置矢量

表示为

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

如果质点沿一直线运动, 那么在该直线上设 Ox 轴, 质点的位置矢量可表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} \quad (1-1c)$$

四、运动方程

当质点运动时, 质点的位置坐标是随时间变化的, 是时间的函数。即

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1-2a)$$

位置矢量 \mathbf{r} 也是时间的函数, 即

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-2b)$$

位置矢量 \mathbf{r} 随时间变化的关系式称为**质点的运动方程**。知道了质点的运动方程就可以求出质点在任一时刻的坐标或位置矢量, 也就可以确定质点的运动。由各个时刻的坐标值可以画出质点的运动路线。质点在空间的运动路线通常称为**质点运动的轨道**。式 (1-2a) 就是质点运动轨道的参数方程。在下两节中, 我们将看到, 知道了质点的运动方程, 质点在任意时刻的速度和加速度即可求得。因此求出各种具体运动所遵守的运动方程, 是运动学的一个重要任务。

§ 1-2 速度和加速度

一、位移

一质点在平面上做曲线运动, 如图 1-2 所示。在时刻 t , 质点位于点 P_1 , 在时刻 $t + \Delta t$, 质点运动到点 P_2 。曲线表示质点从点 P_1 运动到点 P_2 的轨道。质点在点 P_1 和点 P_2 的位矢分别为 \mathbf{r}_1 和 \mathbf{r}_2 。显然, 在一般情况下, 位矢的长度和方向都发生了变化。为了反应质点的位置变化, 我们把从点 P_1 到点 P_2 的有向线段 $\overrightarrow{P_1P_2}$, 称为质点在时间 Δt 内的**位移矢量**, 简称**位移**。由图 1-2 可见, 位移 $\overrightarrow{P_1P_2}$ 和位矢 \mathbf{r}_1 和 \mathbf{r}_2 之间的关系为

$$\mathbf{r}_2 = \mathbf{r}_1 + \overrightarrow{P_1P_2}$$

或
$$\overrightarrow{P_1P_2} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = \Delta\mathbf{r} \quad (1-3a)$$

上式表明, 质点在时间 Δt 内的位移 $\overrightarrow{P_1P_2}$, 等于在该时间内位置矢量的增量 $\Delta\mathbf{r}$ 。

由式 (1-1b), 可将位置矢量 \mathbf{r}_1 和 \mathbf{r}_2 分别写成

$$\mathbf{r}_1 = x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j}$$

$$\mathbf{r}_2 = x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j}$$

将以上两式代入式 (1-3a), 可得

$$\Delta\mathbf{r} = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} \quad (1-3b)$$

上式表明, 质点在平面上运动时, 它的位移等于它在 Ox 轴和 Oy 轴上位移的矢量和。由式 (1-3b), 可以求出位移 $\Delta\mathbf{r}$ 的大小为

$$|\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

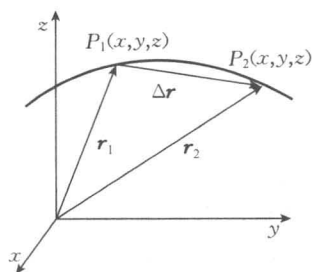


图 1-2 位移矢量

二、路程

一质点在平面上做曲线运动，如图 1-2 所示，在时刻 t ，质点在点 P_1 ，沿轨道曲线运动，在时刻 $t+\Delta t$ ，质点到达点 P_2 。我们把质点从点 P_1 运动到点 P_2 的轨道曲线的长度 Δs ，称为质点在时间 Δt 内的路程。路程是恒为正值标量。随着时间的增加，路程也增加，即路程是正的增函数。

应当指出，位移和路程是两个不同的物理量。位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是矢量，路程 Δs 是标量。在一般情况下，位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 和路程 Δs 并不相等，只有在时间 Δt 趋近于零时，即在时间 dt 内，位移是无限小量 ds 时，才有

$$ds = |d\mathbf{r}| \quad (1-4)$$

即使在直线运动中，位移和路程也是不同的两个概念。例如一质点从点 P_1 运动到点 P_2 又折回点 P_1 ，在此过程中，路程等于 P_1 、 P_2 之间距离的 2 倍，而位移为零。

三、速度

研究质点运动时，不仅要知道质点的位移，还要知道在多长时间一段内产生了这一位移，亦即要知道运动的快慢和方向。速度就是描述质点运动状态的物理量，它说明质点位置变化的快慢和方向。

一质点在平面上做曲线运动，如图 1-2 所示。在时刻 t ，质点在点 P_1 ，其位置矢量为 \mathbf{r}_1 。在时刻 $t+\Delta t$ ，质点处在点 P_2 ，其位置矢量为 \mathbf{r}_2 。在时间 Δt 内，质点的位移为 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ ，我们把质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与所经历的时间 Δt 之比，称为质点在时间 Δt 内的平均速度，用符号 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示：

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-5)$$

应该指出，由于 $\Delta \mathbf{r}$ 是矢量， $\frac{1}{\Delta t}$ 是标量，因此平均速度 $\bar{\mathbf{v}}$ 是矢量，而且平均速度 $\bar{\mathbf{v}}$ 的方向和位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同。

显然，用平均速度描写物体的运动，是比较粗糙的，因为平均速度所反映的只是在一段时间内的平均变化。

如果我们需要精确地知道质点在某时刻 t （某一位置）的运动情况，应使时间间隔尽量减少而趋近于零，用平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的极限来描述。我们把当时间 Δt 趋近于零时平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的极限，称为质点在某时刻或某位置的瞬时速度，简称速度，用符号 \mathbf{v} 表示：

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-6)$$

速度的方向就是当时间 Δt 趋近于零时，平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 或位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向。如图 1-3 所示，位移 $\Delta \mathbf{r} = \overrightarrow{P_1 P_2}$ 沿着轨道的割线 $P_1 P_2$ 的方向。当 Δt 趋近于零时，点 P_2 逐渐趋近于点 P_1 ，相应的割线 $P_1 P_2$ 逐渐趋近于点 P_1 处的切线。因此质点的速度的方向，沿着轨道上

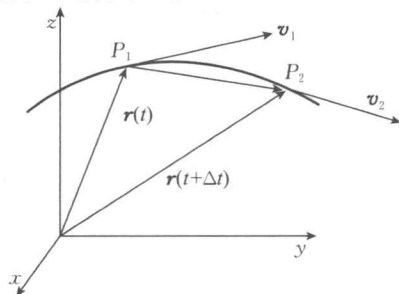


图 1-3 质点速度的方向