



普通高等教育“十二五”规划教材

应用物理学

主 编 钱显毅 钱显忠 钱爱玲



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

应用物理学

主 编 钱显毅 钱显忠 钱爱玲



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

“应用物理学”是普通高等学校理、工、农、医等各专业重要基础课程。本书共有14章,简明扼要地介绍了物理学的主要内容,突出了物理学新知识的工程应用,能培养读者的创新能力和工程实践能力。本书知识覆盖面广,符合教育部《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》的精神和“卓越工程师教育培养计划”的具体要求。

本书可作为普通高等学校的教材或参考书,也可供相关工程技术人员参考,特别适合卓越工程师培养之用。

图书在版编目(CIP)数据

应用物理学 / 钱显毅, 钱显忠, 钱爱玲主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 11
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-0392-2

I. ①应… II. ①钱… ②钱… ③钱… III. ①应用物理学—高等学校—教材 IV. ①059

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第285654号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 应用物理学
作 者	主编 钱显毅 钱显忠 钱爱玲
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 21印张 498千字
版 次	2012年11月第1版 2012年11月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	42.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

为了贯彻落实教育部《国家中长期教育改革和规划纲要》和《国家中长期人才发展规划纲要》的重大改革,根据教育部2011年5月发布的《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》,本着教材必须符合教育的规律,具有科学性、先进性、适用性,进一步完善具有中国特色的普通高等教育本科教材体系的精神和“卓越工程师教育培养计划”的具体要求,编写了本书。

本书具有以下特色:

(1) 符合教育部《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》的精神,具有时代性、先进性、创新性,为培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才和卓越工程师打下良好的数理基础。

(2) 特色鲜明、实用性强、方便读者自学。每章节后都安排有相关阅读材料,方便学生自学;将每个知识点紧密结合到相关学科、产业的应用,如第10章电磁感应、电磁场与电磁波在其后有相关的阅读材料如变压器、微波炉、电动机工作原理等,可以提高学生学习兴趣,适合不同基础的学生自学。

(3) 重点突出、简明清晰、结论表述准确。对物理定律、定理不求严格证明过程,但求结论表达清晰准确,有利于帮助学生建立数理模型、培养学生的形象思维能力和解决实际工程问题的能力。

(4) 难易适中,适用面广,符合因材施教。适用不同的读者学习和参考,也有利于普通高校教学之用。

(5) 系统性强,强化应用、培养动手能力。本书编写过程中,在确保物理知识的系统性的基础上,还调研并参考了相关行业专家的意见,因此特别适用于卓越工程师的培养,有利于培养实用型人才。

(6) 使用方便,易于操练,便于考试考查。本书在每一章后面都附有选择题、填空题和计算题(包括思考题、设计创新题),便考试考查;每一章习

题可单独作为考试考查试卷，也可以从中选择部分作为期中、期末考试考查试卷。

本书共 14 章，第 1~5 章由俞伟钧编写，第 6~8 章由葛汶鑫编写，第 9~11 章由金伟龙编写，第 12~14 章及每章后参考文献由钱显毅、钱显忠、钱爱玲共同编写。全书由钱显毅统稿。

由于时间仓促，本书中的错误或不妥之处，恳请读者指正。

编 者

2012 年 6 月

目 录

前言

绪论	1
第 1 章 质点的运动规律	5
1.1 质点运动学基本概念	5
1.2 质点的位移和速度	9
1.3 质点的加速度	13
1.4 运动描述的相对性	20
习题	22
第 2 章 做功、能量、机械能守恒定律及动量和动量定理	26
2.1 功和动能定理	26
2.2 保守力和系统的势能	30
2.3 系统的功能定理 机械能守恒定律 能量守恒定律	32
2.4 冲量和动量 质点的动量定理	35
2.5 系统的动量定理 动量守恒定律	38
2.6 碰撞	40
习题	43
第 3 章 刚体的定轴转动及其应用	46
3.1 定轴转动的描述	46
3.2 定轴转动定律	48
3.3 定轴转动动能定理	55
3.4 纯滚动	58
3.5 陀螺	62
习题	66
第 4 章 流体力学基础及应用	71
4.1 流体动力学的基本概念	71
4.2 伯努利方程及其应用	73
4.3 流体的黏滞性	78
习题	81

第 5 章 气体动理学理论	84
5.1 理想气体的压强和温度	84
5.2 能均分定理 理想气体的热力学能	89
5.3 麦克斯韦速率分布律	91
5.4 玻耳兹曼分布律	93
习题	104
第 6 章 热量的传递	108
6.1 热传导以及傅里叶定律	108
6.2 对流以及牛顿冷却定律	110
6.3 热阻	111
习题	117
第 7 章 热力学定律	119
7.1 热力学基本概念 热力学第一定律	119
7.2 理想气体的几个过程 理想气体的绝热方程	122
7.3 热机循环 汽油机工作原理	125
7.4 制冷循环	128
7.5 热力学第二定律	130
习题	139
第 8 章 静电场	145
8.1 电场强度	145
8.2 静电场中的高斯定理	153
8.3 静电场的环路定理 电势	158
8.4 静电场中的导体	166
8.5 静电场中的介质	171
8.6 静电场的能量	174
习题	187
第 9 章 稳恒磁场	192
9.1 磁感强度 磁场的基本性质	193
9.2 磁场的高斯定理和安培环路定理	196
9.3 磁场对运动电荷的作用	203
9.4 磁介质	206
习题	213
第 10 章 电磁感应、电磁场与电磁波	217
10.1 电源的电动势	217
10.2 法拉第电磁感应定律 楞次定律	218
10.3 动生电动势和感生电动势	222

10.4 自感现象、互感现象和磁场的能量	225
习题	238
第 11 章 振动与波动	239
11.1 简谐振动	239
11.2 简谐振动的特征量	241
11.3 机械波的产生和传播	245
11.4 平面简谐波的波动方程	247
习题	256
第 12 章 声波与光波	259
12.1 声强和声强级	259
12.2 声波的反射、透射和吸收	263
12.3 噪声及其控制	265
12.4 超声波及其应用	266
12.5 次声波及其应用	267
12.6 光的电磁特性	268
12.7 相干光	271
12.8 光的波动(光的干涉)的观测	272
习题	279
第 13 章 激光与应用	283
13.1 激光的产生和特性	283
13.2 常用激光器	286
13.3 激光的应用	288
习题	306
第 14 章 传感器的基础及应用	308
14.1 传感器概述	308
14.2 电阻式传感器	310
14.3 电容式、电感式、压电式传感器	312
习题	319
附录	320
附录 1 基本物理常量	320
附录 2 常用物理量的代号和国际制导出单位	321
附录 3 我国选定的非国际单位制单位	322
附录 4 20℃时物质的密度	322
附录 5 物质中的声速	323
附录 6 矢量简介	324
参考文献	328

绪 论

什么是应用物理学？我国著名物理学家钱学森在《现代自然科学中的基础学科》中指出：“从严密的综合科学体系讲，最基础的是两门学问：一门是物理，研究物质运动基本规律的学问；一门是数学，指导我们推理、演算的学问。”

物理学是研究宇宙物质存在的各种主要的基本形式，以及它们的性质、运动和内部结构；从而认识物质内部结构，认识物体相互作用、运动和转化的基本规律。

早在公元前，阿基米德就发现了杠杆原理和浮力定律。物理学在 16 世纪成为一门专门的科学，17 世纪建立了牛顿力学；18、19 世纪形成了热力学理论并创立了法拉第——麦克斯韦统一的电磁理论；20 世纪，物理学突破了认识物质的经典模式，进入了相对论和量子理论时代，物理学大体上可分为上述两大部分：20 世纪前的物理理论属于经典物理学或传统物理学；20 世纪发展起来的以相对论和量子力学为支柱的物理理论归为近代物理学。

1. 物理学的研究对象及方法

物理学是一门研究物质结构与运动形态规律的基础学科。

自然界是由物质组成的，一切物质都处在永恒的运动中。物理学所研究的就是物质的最基本、最普遍的运动形式及规律，包括机械运动、电磁运动及基本粒子的运动等。这些运动是其他更高级、更复杂（如生物、化学等）的运动形式的基础。因此，物理学所研究的范围非常广泛：就空间而言，从 10^{-15}m （质子半径）到 10^{26}m （可探测类星体最远的距离）的尺度均属其研究范围；就时间而言，从 10^{-34}s （ Z^0 粒子和 W^+ 粒子的寿命）到 10^{39}s （质子的寿命）也均在其研究范围之内。

2. 物理学——一门实验科学

物理学是通过对实验对象的观察、实验、概括及假说等方法来形成理论，并通过实践来检验其是否正确而建立和发展起来的一门科学。

观察是指在不改变自然现象本来面目的情况下，从多个方面去对自然现象进行分析、研究，以求得对问题的正确认识的方法。观察是科学研究的一种手段，特别是研究一些由人工而不能控制的方法来获得现象重演的情况，则显得更为重要。

实验是指在人工控制的前提下，将自然界中所发生的现象重现，以便对自然现象进行反复的观察及研究，实验也是科学研究的一种手段。

概括是根据所研究问题的内容和性质的不同，突出主要因素，忽略次要因素，从而建立一个与实际情况相差不大的理想模型来进行分析研究。

假说是指在一定的观察、实验的基础上对自然现象的本质提出说明方案，其正确与否尚需进一步的实验、观察来验证。

3. 物理学的地位和作用

自然科学主要是指物理学、化学、天文学等学科。这些学科除了一些自身的规律性外，在很大程度上是用应用物理学的理论及方法来解决它们各自的问题，其前沿分支多半与物理学的发展相联系。如量子化学、量子生物学等，无不包含着物理学的成就。可见，物理学是自然科学的基础。

此外，海洋学、气象学、现代医学、考古学以及历史、艺术等都要用到物理学的研究理论和方法。因此，物理学也是人文科学的基础。

物理学对工程技术的影响及作用十分深远。工程技术是应用自然科学的理论来解决生产生活中实际问题的学问，物理学不但是自然科学的基础，而且其理论的建立和发展对工程技术的影响也是不言而喻的。这一点，只要回顾一下物理学的发展史和随之而来的工业革命就更加清楚了。

物理学的发展经历了三次重大变革。第一次是 17、18 世纪，由于牛顿力学及热力学理论的建立，极大地推动了机械力学用于蒸汽机制造业的发展与革新，导致了第一次工业革命的诞生。第二次是 19 世纪，由于法拉第—麦克斯韦电磁理论的建立和发展，推动了电机及其他用电设备的制造，使电能广泛地应用于工农业生产、日常生活与文娱娱乐中，促进了第二次工业革命的到来。第三次是 20 世纪初，以相对论中量子力学为代表的近代

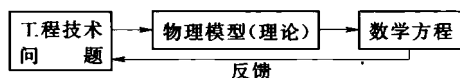


图 0-1 工程技术问题、物理模型与数学方程的关系

物理的建立和发展，使人们对微观世界的认识日益深化，进而导致了核能的利用，半导体、激光器、高温超导材料等的出现及应用，促进了许多新兴学科的发展。信息论、控制论、系统论及计算机等的诞生和应用也都与物理学有

密切关系。

一般说来，工程技术问题的提出和解决可用如图 0-1 方框表示。

从图中可知，物理模型（理论）对解决工程技术问题的重要作用。工程技术依赖着物理学的发展和理论。企业的生存与发展在很大程度上依赖于新产品的开发。应用物理学就是将物理学的基本原理用于实际中，解决实际问题。

表 0-1 是物理学的原理从发现到首次应用的时间间隔。

表 0-1 物理学原理从发现到首次应用的时间间隔

产 品	电动机	真空管	无线电	X 光	雷达	核裂变	晶体管	激光
物理学原理的发现年份	1821	1882	1887	1895	1935	1939	1948	1958
首次应用年份	1886	1915	1922	1913	1940	1942	1951	1960
时间间隔（年）	65	33	35	18	5	3	3	2

可以看出，从物理学原理的发现到应用的时间间隔越来越短，说明依赖程度越来越大。

4. 学习《应用物理学》的几点建议

《应用物理学》是高等院校理、工、农、医、电子、信息、计算机等专业的重要基础理论课和应用课。学好《应用物理学》不仅对以后学习后继课程十分必要，而且对以后学

习其他新科学、新技术、新材料、新工艺都是很有帮助的。《应用物理学》课程与《物理学》既有联系，又有区别。因此建议在学习《应用物理学》时应注意以下几点：

- (1) 要注意对物理学思想和方法的学习。
- (2) 要注意对能力的培养。
- (3) 要注意宏观体系与微观体系的联系与区别。
- (4) 要注意对应用部分的理解和阅读部分的学习。

【阅读参考资料】

现代自然科学中的基础学科

钱学森

现代自然科学，不是单单研究一个个事物，一个个现象，而是研究事物、现象的变化发展过程，研究事物相互之间的关系。这就使自然科学发展成为严密的综合起来的体系。这是现代自然科学的重要特点。

工程技术的科学叫做应用科学，是应用自然科学中基础学科的理论来解决生产斗争中出现的学问。当然，基础学科中也有好多道理是从生产实践中总结提高而来的；而且没有工农业生产，基础学科研究也无法搞下去。所以基础学科为之基础是就其在现代自然科学体系中的位置而言的。我们一般提六门基础学科：天文、地学、生物、数学、物理、化学。这六门是不是都是一样的基础呢？也不是。从严密的综合科学体系讲，最基础的是两门学问：一门是物理，研究物质运动基本规律的学问；一门是数学，指导我们推理、演算的学问。

先说化学。化学是研究分子变化的。20世纪30年代后出现了量子化学，用量子力学的原理来解决化学问题，使化学变成应用物理的一门学问。近年来，由于电子计算机的运用，又出现了计算化学。从前人们认为化学就是用些瓶瓶罐罐做试验。现在由于掌握了物质世界里头的原子的运动规律，就可以靠电子计算机去计算。有朝一日化学研究会主要靠电子计算机计算，而且可以“设计”出我们要的分子，“设计”出造这种分子或化合物的化学过程。到那时做化学试验只是为了验证一下计算的结果而已。

天文学也是物理。现在的天文学，不是光研究太阳、月亮、星星在天上的位置和运行规律，还要研究星星里头的变化，研究宇宙的演化。比如研究太阳内部、恒星内部。人去不了，怎么研究？一是研究可见光，把可见的星光分成光谱，把不同频段的光摄下来进行研究。再就是研究看不见的频段，如波长比较长的红外线、无线电波，波长很短的紫外线、X光，波长更短的 γ 射线等。这么一研究，就发现天上可是热闹——到处有星的爆发，一颗星爆发像氢弹爆炸一样。一个爆发的过程是一两个月、几个月。中国古书上有所谓客星，实际上就是星的爆发。爆发时亮了，就看得见，天上来了“客人”；过一段时间爆发过程结束，看不见了，就以为是“客人”走了。天上还有一些更怪的现象。如中子星，它是由中子组成的密度非常大的星，一颗芝麻点大小的中子星物质就有几百万吨重，而且转得很快，转时发出的X光强度不一样，变化周期不到一秒。还有一种星，名叫“黑洞”，其实不是洞，是光出不来的星。这种星密度更高，引力场特别强，强到光线被吸

住射不出来，只有当其他物质被吸引掉进去时才发光，发射出 X 线。不但恒星会爆发，而且由亿万颗恒星组成的星系。像我们所在的银河星系，中心也会爆发，还会爆发得更强烈。一颗恒星爆发起来产生的能量等于十万亿个氢弹爆炸的能量，而一个星系爆发起来的能量等于亿个恒星爆发的能量。要了解这些天文现象没有物理学是不行的。

地学也是靠物理。地学家们讲，研究地学有三个时代。第一个时代是 18 世纪末到 20 世纪初，研究地质年代时引入了生物观念（化石观念），用生物的化石来断定地质年代，称为生物学地球观。第二个时代是 20 世纪初，开始研究地球上地壳和海洋的化学成分的变化，矿物元素的分布，借此来推论地球在地质年代中的演化，称为化学地球观。现在是第三个时代，地学上最大的发展是所谓板块理论，发现地球的外壳（包括大陆和海洋）是一块块拼起来的，像七巧板似的。块与块之间有相互作用。这主要是根据海底岩石的地磁走向推论出来的。有了这种理论就可以解释火山带、地震带的形成了。这些理论，加上研究地球深处的情况，都要靠物理学，所以称为物理学地球观。

生物学的发展，现在达到了研究分子的水平，这也要归结到物理学上面。分子生物学，不是过去那样研究细胞核、细胞膜、细胞质，而是一直研究到分子，把生命现象看作是分子的运动，分子的组合和变化过程。最近生物学上有一个轰动世界的发现，就是把影响遗传的信息，挂在一种叫去氧核糖核酸的高分子化合物的某一段上传下去。这就是把这种高分子人为地变化一下，把一个高分子的某一段遗传信息切下来，接到另一个上面，改变遗传的某一特性，创造新的物种，这样，就有可能打破植物动物的界限，把植物的某一特性接到动物上面。这样，不但能使细胞内部发生变化，而且使细菌发生变化，如把胰岛素的遗传信息切下来，接到容易繁殖的大肠杆菌上面去，使产生出来的新的大肠杆菌能制造大量胰岛素。这项技术叫做遗传工程，可以用它建立一门新的工业。

所以，天文、地学、生物、化学四门基础学科，用现代科学技术体系的观点来看，都可以归结到物理和数学。根本的基础学科，就是研究物质运动基本规律的物理，加上作科学技术工具的数学。数学不只是演算，也包括逻辑的推理。靠六门基础学科的现代工程技术，也靠物理和数学这两门基础作为支柱。所以，物理和数学也可以称为现代自然科学体系的基础。当然，说物理和数学是基础，并不是说物理和数学可以代替其他学科，在此之上还有天文学、地学、生物学和化学这些基础学科，以及各种分支学科，如力学等；再在上面是工程技术学科，如工程结构、电力技术、电子技术、农业技术等。这就是现代自然科学体系的构成。

第1章 质点的运动规律

自然界中的物质都处于不停的运动和变化中。物质的运动形式是多种多样的，最为简单的是物质的机械运动，牛顿力学（经典力学）就是研究物质机械运动的学科。

考虑到物体的实际形状和大小时，对物体运动的描述将是相当复杂的，因为我们需要同时考虑物体的大小和形状的变化，还要考虑物体的整体平移和整体转动。物理学中一个非常重要的方法就是对于实际系统，需要找出问题的主要方面，把实际问题进行简化，建立一定的理想模型，在理想模型的基础上研究问题，这是物理学研究问题的基本方法，即所谓的从复杂到简单的方法。

物体上所有的点的运动都是相同的，我们就可以用其中的一个点的运动来替代对物体的整体运动的描述，这就是质点这个理想模型的物理基础。研究物体的运动时，可以把物体看成是所有质量都集中在一个几何点上。而对真实的物体，可以通过数学上的无穷切割方法，把它分成无穷多个小的质量元，每一个质量元可以看成是一个质点，则一个真实的物体可以看成是无穷多个质点组成的质点系。因此，真实物体的运动可以看成是该质点系的运动。这种方法即所谓的从简单到复杂的方法。

对于质点的运动问题，通常可以分成两个方面：一是单纯地描述质点随着时间的变化而在空间的运动情况，主要讨论如质点在空间的位置，运动轨道，运动速度，加速度等的描述，称为运动学；二是考虑物体间的相互作用，以及由此引起物体运动状态变化的规律，称为动力学。

本章我们将首先讨论对物体运动的基本描述，引入描述物质运动的基本物理思想和方法，讨论质点的运动学问题。

1.1 质点运动学基本概念

1.1.1 参考系

在地面上，我们看到的空间是静止的，大部分物体也是静止不动的，只有部分物体在运动，比如在高速公路上飞驰的汽车。这样的观测事实是建立在我们与地面相对静止的这个基础上的。也就是说，我们看到的所谓的静止的物体是相对地面没有运动，而所谓的物体是相对于地面有运动。但当我们处于相对地面有运动的汽车上时，原来相对于地面没有运动的那些物体看来就处于运动中。这时，汽车相对于我们来讲就处于静止状态。这就是说，在自然界里物质的运动是永恒的，而静止是相对的。

在错综复杂的运动中，要观察物体的运动，我们只能先选择一个或一些相对静止的物体作为参考系。要研究该物体相对于这些物体的运动这些被作为参考的物体称为参考系。要研究高速公路上的汽车的运动，可以选择高速公路作为参考系。要研究火箭的运动，可

以选择地面作为参考系，而要研究地球卫星的运动，我们通常选择地心为参考系。如果研究对象是太阳系中运动的飞船，可以选择太阳为参考系。在运动学中，原则上讲，参考系可任选，但要以描述起来方便为原则。不同参考系中，对同一物体运动的描述（如轨迹，速度等）是不同的，这就是运动描述的相对性。比如，在相对于地面匀速直线运动的车厢里，有一个自由落体的物体，若以车厢为参考系，物体的运动是直线运动。如果以地面为参考系，物体的运动就是曲线运动。而如果以在空中做高难度飞行特技表演的飞机上发动机的某个高速旋转的机械部件为参考系，该物体运动的描述将极其复杂。所以，要方便地描述尽量简单。这正是建立在物体运动是相对的这个事实的基础上的。

人们常用的参考系包括：太阳参考系（太阳—恒星参考系），地心参考系（地球—行星参考系），地面参考系（或实验室参考系）和质点参考系。

1.1.2 坐标系

要定量地描述物体相对于参考系的运动规律，还需要在参考系上选择一个相对于该参考系静止的坐标系。坐标系实际上是参考系的数学抽象（两者相对静止），即由固结在参考系上的一组有刻度的射线，曲线或角度来表示。原则上说，在同一个参考系上，坐标系可以任意选择，但我们应以描述起来方便和数学规律简单为原则。在同一参考系中，用不同的坐标系描述同一物体运动的运动时，其数学表述是不同的，这与坐标系的选择有关。亦即相当选择不同坐标系时，同一物体运动规律描述的数学形式的复杂程度是不同的。应该选择合适的坐标系以便能得到相对简单的物体运动规律。常用的坐标系有直角坐标系，平面坐标系，球坐标系，柱坐标系和自然坐标系等。直角坐标系最为简单，它由三条相互垂直的坐标轴（ x 轴， y 轴和 z 轴）构成。对于运动学问题，根据问题的不同，我们可以选择不同的坐标系。

1.1.3 空间和时间

物质的运动发生在空间和时间中，要在参考系中定量地描述物质的运动就需要测量空间的间隔和时间的间隔。因此研究物质的运动，必然要涉及空间和时间两个概念。空间和时间也是物理学研究的对象。人们对时间和空间的认识是从对周围物质世界和物质运动的知觉开始的，空间所反映的是物理事件发生的顺序性和持续性。牛顿认为，空间和时间是独立于物质和物质运动的客观存在。随着科学的进步，人们的时空观经历了从牛顿的绝对时空观到爱因斯坦的相对论时空观的转变，从时空的有限与无限的哲学思辨到可以用科学的手段来探索时空的阶段。从现今人们对空间（和时间）的认识来讲，空间（和时间）同物质及物质的运动是密切相关的。我们不能想象离开了物质的空间（和时间）的存在。

目前人们使用的时间单位是1967年10月第13届国际计量大会上关于秒的定义：“1秒（s）是铯—133原子基态的两个超精细能级在零磁场中跃迁所对应的辐射的9192631770个周期的持续时间。”而长度单位是1983年10月第17届国际计量大会上关于米的定义：“1米（m）是光在真空中（ $1/299792485$ ）s时间间隔内所经路径的长度。”

目前，人们可量度的空间范围可从宇宙范围的尺度 10^{27} m到微观粒子的尺度 10^{-28} m，从宇宙的年龄 10^{18} s到微观粒子的最短寿命 10^{-24} s。根据已知的物理理论，极端的空间和时间间隔为普朗克长度（ 10^{-35} m）和普朗克时间（ 10^{-43} s）。也就是说，小于普朗克时空

间隔时，空间和时间的概念就不再适用了。

1.1.4 质点

一般来说，在讨论实际物体的运动时，物体的大小和形状都要考虑。因为物体内部的各个部分的运动情况往往不同，即物体各部分之间还有相对运动，比如物体运动过程的形变等。但在物体的一些运动过程中，比如木块沿斜面的下滑过程，木块各部分的运动情况是完全一致的。这时我们就可以把木块看成是质点，木块的运动就可以用质点的运动来替代。

在很多情况下，比如高速公路上运动的汽车，汽车各个部分的运动是不同的，车轮的转动，发动机零件的高速运转等运动各不相同。但是，如果我们只对汽车的整体运动感兴趣的话，汽车各部分的运动就与考虑的问题无关，因此我们仍可以把汽车看成是一个质点。另外，从运动学角度来看，如果物体的大小和它的运动范围相比很小时，也可以不考虑物体的大小和形状对运动问题的影响。比如，当只研究地球绕太阳的公转规律时，因为地球的线度与地球公转轨道相比还不到万分之一，尽管地球上各点的运动各不相同，我们仍可以不考虑地球的自转，且可以把地球看成是质点。但是，即使对同一研究对象，能否把它看成质点，要根据研究的问题来决定。比如，同样对于地球，当我们要研究地球表面的潮汐运动规律时，就必须考虑太阳和月亮对地球表面不同地方海水的引力作用规律，这时，就不能把地球看成质点。

总之，当物体的大小、形状可忽略（如只研究地球公转）时，或运动过程中，物体各部分运动相同（如物体平动）时，我们可以把物体抽象成一个“点”，该“点”具有与物体相同的质量。这样的“点”称为质点。在质点的基础上，当我们需要考虑真实物体的运动（比如物体的形变，转动等）问题时，就可以把真实物体看成是由无穷多质点构成的集合。用对该集合运动的描述来替代相应物体的运动。

1.1.5 质点的位置坐标和位置矢量

在运动学中，要描述一个质点的运动，首先要确定质点在任意时刻的空间位置。确定质点的空间位置通常有两种办法。对某个参考系，首先选定一个坐标系。我们可以用质点的位置坐标和位置矢量来描述质点的空间位置。位置坐标是中学物理中常用的用坐标来描述质点空间位置的方法。位置矢量是用矢量来描述质点的空间位置的方法，该矢量由坐标原点指向质点的位置，以 $\mathbf{r}$ 表示，简称位矢，如图 1-1 所示。

在国际单位制中，位矢大小的单位为米（m），与长度单位相同。

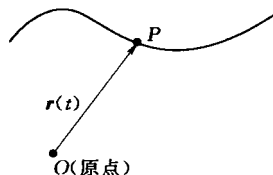


图 1-1 位矢

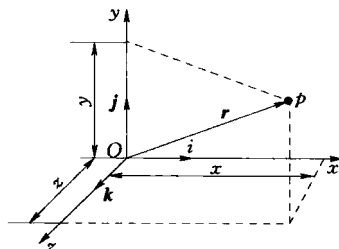


图 1-2 质点的位矢

1. 直线坐标系

在直角坐标系中, 质点的位置矢量如图 1-2 所示。

$$\mathbf{r} = \overrightarrow{OP} \quad (1-1)$$

用分量形式可表示为

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

式中: $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$, $\mathbf{k}$ 分别为沿 x , y , z 轴正方向的单位矢量。

位矢的大小为

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

位矢的方向可以由三个方向余弦来表示

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

式中: α , β , γ 分别是位置矢量与 x , y , z 轴的夹角。

方向余弦满足以下关系:

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

其中只有两个是独立的。

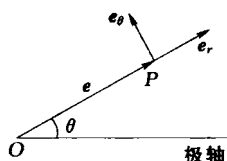


图 1-3 质点的坐标

2. 平面极坐标系

质点的平面运动可以用极坐标系来描述。质点的坐标为 r 和 θ , 如图 1-3 所示。位置矢量可表示为

$$\mathbf{r} = r\mathbf{e}_r \quad (1-3)$$

式中: $\mathbf{e}_r$ 为径向单位矢量; 图中 $\mathbf{e}_\theta$ 为横向单位矢量。

随着质点的运动, 质点在不同位置的 $\mathbf{e}_r$ 和 $\mathbf{e}_\theta$ 的大小虽然不变 (永远等于 1), 但是它们的方向均可能不同, 与质点的 θ 坐标有关。

1.1.6 运动方程与轨迹

当质点运动时, 质点的位置与运动时间 (t) 有关, 位置矢量满足一定的函数关系:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-4)$$

式 (1-4) 称为质点运动方程, 它包含了质点运动的所有信息。

1. 直角坐标系中

因为

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

运动方程可以写成如下三个分量方程:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1-5)$$

比如, 一个质点的运动方程可以写为

$$\begin{cases} x = r\cos\omega t \\ y = r\sin\omega t \end{cases}$$

如果从中消去时间参量, 可以得到质点运动时的空间坐标间的关系为

$$x^2 + y^2 = r^2$$

这就是质点运动的轨道方程。

2. 平面极坐标系中

$$\mathbf{r}(t) = r(t)\mathbf{e}_r(t)$$

运动方程可以写成如下两个分量方程：

$$\begin{cases} r = r(t) \\ \theta = \theta(t) \end{cases} \quad (1-6)$$

掌握了运动方程，就能够确定任意时刻质点的位置，从而完全确定质点的运动。

需要说明的是，运动方程之所以可以在具体坐标系写成分量形式，实际上是建立在运动的可叠加性基础上的。例如平抛物体时，物体的运动可以分解为在水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的匀加速直线运动。

1.2 质点的位移和速度

1.2.1 质点的位移

设质点沿如图 1-4 所示的轨道运动。在 Δt 时间内，质点从 A 运动到 B，则 $\overline{AB}$ 即定义为在 Δt 时间内质点的位移。由图可知位移与初、末时刻位置矢量的关系为

$$\Delta \mathbf{r} = \overline{AB} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (1-7)$$

位移 $\Delta \mathbf{r}$ 表示质点在 t 时刻和 $t + \Delta t$ 时刻位置间的距离和 Δt 时间内的运动方向，反映了 Δt 时间内质点的位置改变，亦即 Δt 时间内质点的位置矢量的增量。

在直角坐标系中

$$\mathbf{r}_A = x_A \mathbf{i} + y_A \mathbf{j} + z_A \mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_B = x_B \mathbf{i} + y_B \mathbf{j} + z_B \mathbf{k}$$

则

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= (x_B - x_A) \mathbf{i} + (y_B - y_A) \mathbf{j} + (z_B - z_A) \mathbf{k} \\ &= \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} + \Delta z \mathbf{k} \end{aligned}$$

位移的性质如下。

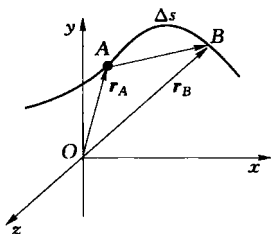


图 1-4 质点的位移

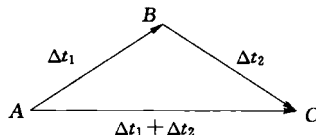


图 1-5 质点的矢量叠加

(1) 矢量性。如图 1-5 所示。即在 $\Delta t_1 + \Delta t_2$ 时间内质点总位移满足矢量叠加性质，即

$$\mathbf{AC} = \mathbf{AB} + \mathbf{BC}$$

(2) 位移与路程 Δs 的不同：①位移为矢量，路程（图 1-4 中 A, B 间的轨道曲线长度）为标量；②两者的大小一般不同，即