

普通高等教育规划教材

普通物理学

主编 石鹏 胡楚勒



大连理工大学出版社



P
ONG
WU
LI
XUE

责任编辑◎陈祝爽
封面设计◎季 强

ISBN 978-7-5611-4137-3



9 787561 141373 >

定价：40.00元

普通物理学

主 编 石 鹏 胡楚勒

副主编 王贵文 田惠忱

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学/石鹏,胡楚勒主编. —大连:大连理工大学出版社,2008.5

ISBN 978-7-5611-4137-3

I. 普… II. ①石… ②胡… III. 普通物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 067628 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail: dulp@dulp.cn URL: <http://www.dulp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:22.25 字数:503 千字
印数:1~3100

2008 年 5 月第 1 版

2008 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑:陈祝爽

责任校对:姜丽丽

封面设计:季 强

ISBN 978-7-5611-4137-3

定 价:40.00 元

前 言

这套“普通物理学”，是我们多年从事普通物理教学的结晶，为提高教学质量、达到学以致用目的，我们对现行的普通物理教学进行了尝试性的改革，本书是以历年来高等教育出版社出版的“普通物理学”通用教材为基础编写而成。它适合非物理理科专业的普通物理教学。多年来，在我院担任普通物理课教学的许多同志，曾努力结合教学实践，对普通物理学教材作出了改进。实践表明，本教材对教学质量的提高是有重要作用的。这套教材的编写是我们多年教学经验的一点总结。

普通物理学是一门很成熟的课程，通行的优秀教材有很多，而且很久以来也已形成了传统的格式，框架结构已相对稳定，改革的余地似乎不多。但是教学是创造性的工作，每一位教师的讲课都反映了他本人对所教内容的体会、理解，有他自己的讲授方法，会给听课的学生以不同的感受。教材的编写，集中地体现了这些方面不同的风格。正如在绘画、音乐等艺术创作中，同一题材在不同作者手里总是反映出不同的个性特点一样。近几年来，各类物理教材的出版，比过去繁荣得多，这不仅给教师提供了更多的选择余地，而且也加强了教学经验的交流，有力地促进了教学的改进和教学质量的提高。我们这套教材在本校和大连理工大学出版社的支持下出版，我们认为这也是一个学习交流的机会，使我们能把仅在自己学校里实践过的经验，拿到同行教师们和广大读者中来，争取得到大家的帮助、指正，使它们逐步改进和完善。

总的来说，我们在编写过程中力求做到：

1. 重点放在基本概念和基本原理的清楚阐述上。在阐述方法方面，力求由物及理，揭示明确的物理图像（不回避使用学生已学过的数学工具，但在运用新的数学工具时，要特别注意不掩盖物理内容的实质），引导学生注意建立这些原理的实践基础，提高运用它们解决物理问题的兴趣和能力，而不停留在仅仅钻研原理本身。

2. 基本保持传统框架，适当注意理论与实践的结合，注意横向联系。物理学的发展和学科之间的沟通与渗透，为普通物理学教学提供了大量新题材和新问题。适当地反映这些情况，使学生能在更广泛的意义上理解物理学的基本内容，是当前物理学教学发展的趋势和要求。在考虑内容更新的同时，也要注意普通物理学课程在物理学教学全局中的位置，注意与其他课程有恰当的分工和衔接。

3. 注意启发学生的思考，使他们对一些问题萌生进一步的兴趣，而不满足于接受现成的知识。

4. 适合不同方面的需要。本教材除了可以作为非物理理科专业的普通物理学课程教材之外,也可以给教师、学生和其他读者作参考书。

当然,就这几方面,我们也深感不容易做好,希望与读者共同切磋,力求共同改进。

本套教材的编写分工如下:力学篇:第1章、第2章:胡楚勒;第3章至第5章(包括习题答案):田惠忱;电磁学篇:第6章至第8章(包括习题答案):石鹏;第9章至第11章:王贵文。最后由石鹏、胡楚勒共同负责全书的修改和定稿工作。

编写适合教学改革需要的教材是一种探索,加之编者水平有限,难免有不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

这套教材是从集体教学经验中产生的。但各章由不同的作者分头编写,独立成书,因而也反映了各自的教学特点,没有企求整齐划一,让各部分教材保持了各自的特点。

此教材的出版得到校内许多同志的大力支持、帮助,谨在此表示衷心的感谢。

普通物理编写组

2008年5月

目 录

力学篇	1
物理学研究对象	1
物理学研究方法	1
努力学好物理学	3
第1章 运动的描述	5
1.1 参照系 坐标系 质点	5
1.2 位置矢量 位移	6
1.3 速度	8
1.4 加速度	12
1.5 直线运动	14
1.6 运动叠加原理 抛体运动	18
1.7 圆周运动	21
1.8 相对运动	26
习 题	28
第2章 质点动力学	32
2.1 牛顿运动定律	32
2.2 力学的单位制和量纲	42
2.3 惯性系和非惯性系	44
2.4 冲量 动量 动量定理	48
2.5 动量守恒定律	53
2.6 功 动能 动能定理	56
2.7 势能 机械能守恒定律	63
2.8 能量转化和守恒定律	71
2.9 碰撞	72
2.10 牛顿力学的适用范围	74
习 题	74
第3章 刚体力学	82
3.1 刚体的定轴转动	82
3.2 转动动能 转动惯量	84

3.3 力矩 转动定律	87
3.4 力矩的功 刚体定轴转动中的动能定理	92
3.5 动量矩和冲量矩 动量矩守恒定律	95
习 题	99
第4章 机械振动	104
4.1 振动的一般概念	104
4.2 简谐振动	105
4.3 无阻尼自由振动 谐振子	112
4.4 阻尼振动 受迫振动 共振	115
4.5 同方向的简谐振动的合成	118
习 题	119
第5章 机械波	124
5.1 机械波的形成和传播 简谐波	124
5.2 波的传播速度 波长 波的周期和频率	125
5.3 波动方程	129
5.4 波的能量 能流密度 波的吸收	134
5.5 惠更斯原理	136
5.6 波的叠加原理 波的干涉	137
5.7 驻波	140
5.8 波的绕射和散射	142
习 题	143
电磁学篇	147
第6章 静电场	149
6.1 电荷 电荷守恒定律 库仑定律 静电场	149
6.2 电通量 高斯定理	158
6.3 电场力的功 电势	162
6.4 电场强度与电势梯度的关系	168
思考题	170
习 题	172
第7章 静电场中的导体和电介质	176
7.1 电场中的导体	176
7.2 电场中的电介质 电介质的极化	180
7.3 电容 电容器	185
7.4 电场的能量	191
思考题	193
习 题	197

第 8 章 稳恒电流	204
8.1 稳恒电流 电流密度	204
8.2 一段电路的欧姆定律及其微分形式	206
8.3 电流的功和功率 焦耳—楞次定律及其微分形式	209
8.4 电动势 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律	211
8.5 基尔霍夫定律及其应用	215
思考题	222
习 题	225
第 9 章 稳恒磁场	231
9.1 磁场 磁感应强度	231
9.2 安培环路定理	241
9.3 磁场对载流导线的作用	245
9.4 磁场对运动电荷的作用	251
9.5 回旋加速器 磁聚焦	256
9.6 磁介质	258
思考题	268
习 题	271
第 10 章 电磁感应	280
10.1 电磁感应定律	280
10.2 动生电动势与感生电动势	282
10.3 电子感应加速器 涡电流	288
10.4 自感应与互感应	289
10.5 磁场能量	292
思考题	294
习 题	296
第 11 章 电磁场和电磁波	302
11.1 位移电流 麦克斯韦方程组	302
11.2 电磁波	306
11.3 电磁场的能量与动量	310
思考题	313
习 题	314
习题参考答案	316

力学篇

物理学研究对象

存在于我们周围和我们意志之外的客观实在都是物质。物质有两种不同的形态：一类是实物，另一类是场。实物包括微观粒子和宏观物体，它的范围从基本粒子的亚核世界到整个宇宙。场包括引力场、电磁场和量子场等。

一切物质都在永恒不息地运动着，自然界一切现象就是各种不同物质运动的表现形式。运动是物质的存在形式、物质的固有属性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程，从简单的位置变动起直到思维活动止。各种不同的物质运动形式既服从于普遍规律，也有自己的独特规律。自然科学的各门学科就是按研究不同的物质运动形式而区分的。

物理学所研究的是物质运动最基本最普遍的形式，包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等等。

物理学所研究的运动，普遍地存在于其他高级的、复杂的物质运动形式（例如化学的、生物的等等）之中。因此，物理学所研究的物质运动规律，具有最大的普遍性。例如，宇宙间任何物体，不论其化学性质如何，或有无生命，都遵从物理学中的万有引力定律；一切变化和过程，无论它们是否具有化学的、生物的或其他的特殊性质，都遵从物理学中所确立的能量转化和守恒定律。但必须注意，各种运动形式各有自己的独特规律，不可能也不应该企图单纯地用物理规律来解释物质的一切运动形式。例如，生命现象就不能单用物理过程来说明。

由于物理学所研究的物质运动具有普遍性，所以物理学在自然科学中占有重要地位，成为其他自然科学和工程科学的基础。

物理学研究方法

各门学科的研究方法都离不开人类对客观世界的认识法则，也就是实践—理论—实践的认识法则。

物理学研究方法，当然也遵从上述认识法则，具体地说，物理学的理论，就是通过观察、实验、抽象、假说等研究方法并通过实践的检验而建立起来的。检验真理的惟一标准就是实践。

观察和实验是科学研究的基本方法。观察是对自然界中所发生的某种现象,在不改变自然条件的情况下,按照它原来的样子加以观测研究。例如对天体和大气中的现象,一般是不能用人为方法来改变它的情况的,都要采用观察的方法。

实验是在人工控制的条件下,使现象反复重演,进行观测研究。在实验中,常把复杂的条件加以简化,突出主要因素,排除或降低次要因素的作用,这是一种非常重要的研究方法。例如,在利用单摆测定重力加速度的实验中,决定单摆振动周期的主要因素是摆长和重力加速度。至于摆线的质量和可延伸性,摆锤的大小和质量以及单摆的幅度等,对振动周期虽然也有影响,但都是次要的因素。实验中,我们必须选用适当的摆长,不宜太短,也不宜太长(强化主要因素),用不易伸长的细绳做摆线、用直径较小的球作摆锤、并使摆做小幅度振动(降低次要因素的影响),这样就可以得到较准确的结果。

抽象方法是根据问题的内容和性质,抓住主要因素,撇开次要的、局部的和偶然的因素,建立一个与实际情况差距不大的理想模型进行研究。例如,“质点”和“刚体”都是物体的理想模型。把物体看做“质点”时,“质量”和“点”是主要因素,物体的“形状”和“大小”是可以忽略不计的次要因素。把物体看做“刚体——形状和大小均保持不变的物体”时,物体的“形状”、“大小”和“质量分布”是主要因素,物体的“变形”是可以忽略不计的次要因素。在物理学研究中,这种理想模型是十分重要的,研究物体机械运动的规律时,就是从质点运动的规律入手,再研究刚体运动的规律而逐步深入的。

为了寻找事物的规律,对于现象的本质所提出的一些说明方案或基本论点等,统称为假说。假说是在一定的观察、实验的基础上提出来的。进一步的实验论据便会清洗这些假说,即取消一些或改进一些。在一定范围内经过不断的考验,经证明为正确的假说,最后上升为定律,或是理论的一部分。例如,在一定的实验基础上提出来的物质结构的分子原子假说以及从它所推论出来的结果,因为能够解释物质气液固各态的许多现象,最后就发展成为物质分子运动理论。又如,量子假说的建立和量子理论的演变,最后发展为量子力学理论。在科学认识的发展过程中,假说是很重要的甚至是必不可少的一个阶段。

物理定律一般是指实验定律,是实验事实的总结,说明某些现象之间的相互联系,或说明某些物理量之间的关系,常用文字或数学公式的形式来表述。由于实验条件、实验仪器精确度等的限制,物理定律有其近似性和局限性,但是在一定程度上能够反映客观实在的规律性。

物理学的理论是通过许多不同的而又相互关联的现象的研究,从一些已经建立起来的定律中,经过更为广泛的概括,而得到的系统化的知识。体系完整的理论往往可以从少数几条比较简单的基本原理出发,说明一定范围内的各种现象,并且还能一定程度上预言未知现象的存在,进一步指导新的实践。例如麦克斯韦电磁场理论,不仅能解释各种电现象与磁现象之间的关系,而且预言了电磁波的存在及其传播速度,并终于被实验所证实。

从观察、实践、抽象、假说到理论,物理学的研究并没有结束。理论将继续受到实践的检验。如果在实践中所发现的事实与理论有矛盾,这理论就必须修改,有时甚至要放弃原有的理论,而建立更能反映客观实际的新理论。本世纪以来,近代物理学中的许多重大成就,例如相对论的时空观和物质的波粒二象性的确立、基本粒子及其相互转化的实验和理

论等等都是一些重要的例子。

科学是以问题为基础,是不断成长和完善的;学科是成熟的科学研究产物。

现代科学技术的发展,使科学与生产的关系越来越密切。科学技术作为生产力,越来越显示出其巨大的作用。

物理学的发展已经经历了三次大突破。17、18 世纪,由于牛顿力学的建立和热力学的发展,不仅有力地推动了其他学科的进展,而且适应了研制蒸汽机和发展机械工业的社会需要,引起了第一次工业革命,极大地改变了工业生产的面貌。到了 19 世纪,在法拉第一麦克斯韦电磁理论的推动下,人们成功地制造了电机、电器和各种电讯设备,引起工业电气化,使人类进入应用电能的时代,这就是第二次工业革命。20 世纪以来,由于相对论和量子力学的建立,人们对原子、原子核结构的认识日益深入。在这样的基础上,人们实现了原子核能和人工放射性同位素的利用。而由于量子力学微观理论的成果,又直接促成了半导体、核磁共振、激光等新兴技术的发明。许多边缘学科发展起来了,新兴工业像雨后春笋,现代科学技术正在经历一场伟大的革命,人类进入了原子能、电子计算机、自动化、半导体、激光、空间科学等新技术的时代。近代物理学的各个分科都孕育着新的突破。可以预期,如果在基本粒子领域实现物理学的又一次大突破,能够全面地揭露基本粒子内部的结构和它们相互转化、相互作用的规律的话,将为人类生活和自然科学各领域带来巨大影响。事实证明,自然科学的理论研究一旦获得重大突破,必将为生产和技术带来巨大的进步。当代自然科学正以空前的规模和速度应用于生产,使社会物质生产的各个领域面貌一新。社会生产力这样迅速发展,劳动生产率这样大幅度提高,最主要的是靠科学和技术的力量。

在新世纪开始的今天,全世界范围内正面临着以信息、能源、材料、生物工程和空间技术等为核心的一场新技术革命。在这些高科技领域中必将层出不穷地涌现人们今天尚不知道的一系列新技术和新产品。物理学以其最广泛和最基本的内容正成为各个新兴科学的先导。近代物理在量子论和粒子物理等研究方向上的突破和成熟可能孕育和萌发科学和技术的新芽。建立在物理学等自然科学基础上的高科技在 21 世纪将出现史无前例的辉煌,使人类文明进入更高级的阶段。

物理学是大学理工科各专业的一门重要的基础课。学生应该牢固地掌握物理学的基本理论和基本知识,深刻地理解物理规律的意义,并在实验技能和运算能力以及独立钻研能力等方面,受到严格训练,为今后学习专业知识及近代科学技术打下必要的物理基础。

努力学好物理学

物理学的理论是通过观察、实验、抽象、假设等研究方法并通过实践的检验而建立起来的。实践是检验科学真理的惟一标准。学习物理应遵循实践—理论—再实践的方法,独立思考、自己判断,不必迷信偶像和屈从权威。以实事求是、老老实实的态度对待科学真理是绝对必要的。作为大学理工科的学生,学习物理首先要注重课程内容的内在联系、清晰的条理和严谨的逻辑,扎扎实实地学好基本理论和基本知识。这包括对物理概念、规

律、物理图像等有透彻的理解,对物理学的研究方法、数学描述语言和推演技巧的熟练掌握,因此适当的记忆和习题练习是必要的。但是,掌握现有的书本知识还远远不够。物理学和一切自然科学的发展是永不停息的,纷繁复杂的自然界中人类未知的事物还远远超过已经了解的事物,发现和创新是自然科学的生命和灵魂。科学工作者应当争取有所发现、有所创新,同学们应当通过学习和掌握物理知识的过程来培养自己的创新意识和创造能力。

第 1 章 运动的描述

物质的运动形式是多种多样的,其中最简单、最基本、最常见,也是人们最早认识的是物体之间或同一物体各部分之间相对位置的变动,这类运动形式称为机械运动。行星绕太阳的运动,人造卫星绕地球的转动,飞机的飞行,机器的运转,水、空气等流体的流动等等都是机械运动,它们都遵从一定的客观规律。力学的研究对象就是机械运动所遵循的客观规律及其应用。

描述机械运动,常用位移、速度、加速度等物理量。研究物体在位置变动时的轨道以及研究位移、速度、加速度等物理量随时间而变化的关系,但不涉及引起变化的原因,称为运动学。至于物体间的相互作用对物体运动的影响,则属于动力学的研究范围。本章研究运动的描述。

1.1 参照系 坐标系 质点

1. 运动的绝对性和相对性

众所周知,运动是物质的存在形式,运动是物质的固有属性。从这种意义上讲,运动是绝对的。但本书所讨论的运动,还不是这种哲学意义上的广义运动。即使以机械运动而言,任何物体在任何时刻都在不停地运动着。例如,地球在自转的同时绕太阳公转,太阳又相对于银河系中心以大约 250 km/s 的速率运动,而我们所处的银河系又相对于其他星系大约以 600 km/s 的速率运动。总之,绝对不运动的物体是不存在的。

然而运动又是相对的。因此本书所研究的物体的运动都是在一定的环境和特定的条件下运动。例如,当说一架飞机起飞了,这显然是指飞机相对于地球(即机场)而言的。因此离开特定的环境、条件谈论运动没有任何意义。正如恩格斯所说:“单个物体的运动是不存在的——只有在相对的意义下才可以谈运动。”

2. 参照系和坐标系

我们知道,要描写一个物体的运动,总得选择另一个运动物体或几个虽在运动而相互间却相对静止的物体作为参考,然后研究这个物体相对于这些参考物体是如何运动的。被选作参考的物体称为参照系。

在运动学中,参照系的选择可以是任意的,主要看问题的性质和研究的方便。例如要研究物体在地面上的运动,最方便的是选择地球作为参照系。一个宇宙火箭刚发射时,主

要研究它相对于地面的运动,所以就把地面选作参照系。但是当火箭进入绕太阳运行的轨道时,为研究方便起见,我们就要把太阳选作参照系。

同一物体的运动,由于我们所选参照系的不同,对物体运动的描述也就会不同。例如在匀速前进的车厢中的自由落体,相对于车厢,是做直线运动,而相对于地面,却是做抛物线运动。相对于太阳或其他天体,运动的描述更为复杂。这一事实,称为运动描述的相对性。实际上这个事实本身也正说明了参照系之间存在着相对运动,反映了宇宙间任何物体都处于永恒不息的运动之中。人们也正是从不同运动状态的参照系对同一物体运动的不同描述中进行研究,才能更全面更深刻地认识物体运动的客观规律。

为了从数量上确定物体相对于参照系的位置,需要在参照系上选一个固定的坐标系。一般在参照系上选定一点作为坐标系的原点,取通过原点并附标度的线作为坐标轴。常用的一种坐标系包括一个原点和三条相互垂直的坐标轴(x 轴、 y 轴、 z 轴)。这种坐标系称为直角坐标系或正交坐标系。根据需要,我们也可选用其他的坐标系,例如极坐标系、球面坐标系或圆柱面坐标系等来研究物体的运动。

3. 质点

任何物体都有一定的大小和形状。一般说来,物体运动时,内部各点的位置变化是各不相同的。因此要精确描述一般物体的运动并不是一件简单的事情。为使问题简化,我们可以采用抽象的手法:如果物体的线度和形状在所研究的现象中不起作用,或所起的作用可以忽略不计,我们就可近似地把物体看做是一个没有大小和形状的理想物体,称为质点。

例如,研究地球绕太阳的公转,由于地球的直径较之公转运动的轨道直径要小得多,因此地球的各点相对于太阳的运动基本上可视为是相同的,也就是说,可以忽视地球的线度和形状,把地球当作一个质点。但是研究地球的自转时,如果仍然把地球看做一个质点,显然就没有实际意义了。由此可知,一个物体是否可抽象为一个质点,应根据问题的性质而定。

质点运动是研究物体运动的基础。当我们进一步研究物体的运动时,常把整个物体看做由无数个质点组成的,分析这些质点的运动,就能够弄清楚整个物体的运动。

1.2 位置矢量 位移

1. 位置矢量

为了表示运动质点的位置,首先应该选取一个参照系,然后在参照系上选定坐标系的原点和坐标轴,参看图 1-1。质点 P 在直角坐标系中的位置可由 P 所在点的三个坐标 x 、 y 、 z 来确定,或者用从原点 O 到 P 点的有向线段 $OP(=r)$ 来表示,矢量 r 叫做位置矢量,也叫矢径。相应的,坐标 x 、 y 、 z 也就是矢径 r 的沿坐标轴的三个分量。

矢径 r 的大小由下式决定:

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

矢径的方向余弦是

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

2. 运动方程

质点的机械运动是质点的空间位置随时间而变化的过程。

这时,质点的坐标 x, y, z 和矢径 r 都是时间的函数。表示运动过程的函数式称为运动方程,可以写作

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

或

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

当质点在选定的 x 轴和 y 轴组成的平面内运动时,则运动方程可简化为两个函数式:

$$x = x(t), \quad y = y(t)$$

另一函数式 $z=0$ 通常不再写出。知道了运动方程,就能确定任一时刻质点的位置,从而确定质点的运动。力学的主要任务之一,正是根据各种问题的具体条件,求解质点的运动方程。

运动质点在空间所经过的路径称为轨道。质点的运动轨道为直线时,称为直线运动。质点的运动轨道为曲线时,称为曲线运动。从式(1-1a)中消去 t 以后,可得轨道的方程,而式(1-1a)是轨道的参数方程。

由上可知,运动方程表明 r 与 t 的函数关系,而轨道方程则只是位置坐标 x, y, z 之间的关系式,两者是不同的。例如,设已知某质点的运动方程为

$$x = 5 \sin \frac{\pi}{3} t, \quad y = 5 \cos \frac{\pi}{3} t, \quad z = 0$$

式中 t 以秒计, x, y, z 以厘米计。从 x, y 两式中消去 t 后,得轨道方程:

$$x^2 + y^2 = 25, \quad z = 0$$

以上两式表示质点在 $z=0$ 的平面内,做以原点为中心、半径为 5 厘米的圆周运动。

3. 位移

设曲线 AB 是质点轨道的一部分(如图 1-2 所示),在时刻 t ,质点在 A 点处,而在另一时刻 $t+\Delta t$,质点到达 B 点处。 A, B 两点的位置分别用矢径 $\mathbf{r}_A$ 和 $\mathbf{r}_B$ 来表示。在时间 Δt 内,质点位置的变化可用 A 到 B 的有向线段 $\mathbf{AB}$ 来表示,称为质点的位移。位移 $\mathbf{AB}$ 除了表明 B 点与 A 点的距离外,还表明 B 点相对于 A 点的方位。

位移是矢量,是按三角形法则或平行四边形法则来合成的。譬如说,质点从 A 点移到 B 点,又从 B 点移到 C 点(如图 1-3 所示),那么质点在 C 点处对 A 点的位移显然是 $\mathbf{AC}$ 。 $\mathbf{AC}$ 是三角形 ABC 的一边,也是平行四边形 $ABCD$ 的对角线。位移相加可用矢量式表示如下:

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

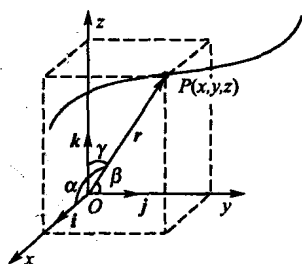


图 1-1 位置矢量