



简明物理学

(上册)

刘克哲 刘建强

高等教育出版社

04/482-1

简明物理学

(上册)

刘克哲 刘建强

JIANMING WULIXUE

高等教育出版社·北京

内容提要

本书根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科大学物理课程教学基本要求》(2010年版),从学科自身的发展、要求和特点出发,将近代物理的基本内容融合到教材中,使物理学近代发展的新成果与物理学基本原理有机地结合起来。为适应教学改革的深入进行,本书在适当降低课程的难度和适当压缩课程的学时方面,做了有益的尝试,全书共计15章,分上、下两册出版。

本书可供综合性大学、师范大学和工科院校的理、工科非物理类专业90学时左右基础物理学课程作教材使用,也可供其他高等学校的相应专业选用,并可供中学物理教师进修、自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

简明物理学.上册/刘克哲,刘建强主编.--北京:
高等教育出版社,2014.9

ISBN 978-7-04-040653-5

I. ①简… II. ①刘…②刘… 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 159367 号

策划编辑 郭亚嫫
插图绘制 尹文军

责任编辑 郭亚嫫
责任校对 刘娟娟

封面设计 张楠
责任印制 毛斯璐

版式设计 余杨

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 国防工业出版社印刷厂
开本 787mm×960mm 1/16
印张 17.25
字数 310千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版次 2014年9月第1版
印次 2014年9月第1次印刷
定价 27.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 40653-00

前 言

随着教学改革的不深入,在非物理专业的基础物理教学和教材建设方面,都取得一些阶段性的收获和成果,这是我们大家的共同财富,应该不断积累并汲取。特别是在教材建设方面,把这些收获和成果体现到新编的教材中,教材的质量才能不断地提高。

进入 21 世纪以来,一个严峻的问题越来越突出地摆在了大家的面前,这就是学生毕业后的就业问题。这个问题乍看只是一个与学生利益有关的问题,而实际上,它不仅是一个与学生切身利益有关的问题,而且是一个关系到高等教育改革的多方面的大问题。可以毫不夸张地说,这是一个与高等教育密切相关的社会问题。

我们认为,对于配合解决这个大问题,作为一门基础课的任课教师是可以有所作为的。

譬如,我们感到高校的专业设置必须改革。现在的专业口径太窄,不利于学生对口就业,用人单位也不容易选择他们认为的合适人才。这样就会造成用人单位招不到人,同时会有相当多学生找不到工作的怪现象。专业设置应该逐渐向大专业、宽口径过渡。实际上多年前有不少学校就在做这方面的试点。

如果进行了这样的改革,就一定会出现这样的情形,即进入我们专业的学生的数理基础会出现参差不齐的现象,这对于我们任课教师的教学会带来一定的困难,为配合改革的进行,教材和课程的起点就得放低些,教材和课程的深度就得放浅些,教材和课程的内容就得减少些,学时数就得适当压缩些。

再譬如,我们感到学生的基础应该适当加宽,以提高学生对工作的适应能力和应对能力。有不少高校已经在进行这方面的工作。理工科的学生学点文,文科的学生学点理工,理工科的学生学点经济学,学点管理科学等,都是很好的做法。

如果进行了这样的改革,就一定会出现这样的情形,即多门基础课同时进入教学计划。这对于我们担任物理课的教师来说,应该适当压缩自己课程的内容

和学时,以配合这种改革。对于教材的编写,同样要这样做。

所以,我们现在正在进行的,放低教材和课程的起点,降低教材和课程的难度,减少教材和课程的内容,压缩教材和课程的学时,它的意义已经超出了教材和课程本身方面,它是为改善学生就业状况,深入进行高等教育改革的一个环节,是一项带有全局性的工作。

同时,正像我们上面所说,历史的经验和收获必须汲取。所以本教材的编写还贯彻了以下原则:

1. 本书是根据物理学学科自身的系统性和特殊性取材编写的。通过本教材的学习,可以使学生较为全面地认识和理解物理学的基本知识、基本概念、基本规律和 basic 研究方法;

2. 非物理类专业的基础物理不仅应该包含经典物理学,而且还应该适当反映近代物理学的基本内容;

3. 应将物理科学发展的新成果有机地融合到物理学原理中,这是教材内容现代化的一个重要方面。这样做不仅开阔了学生的眼界,而且提高了学生的学习积极性;

4. 教材应保证教师好教、学生易学。

我们就是抱有这些想法编写本书的。

在本书的编写过程中,得到了山东大学何希庆教授、张承璐教授、高等教育出版社刘伟先生和郭亚嫫编辑等的帮助,在此谨致以衷心的感谢。

由于我们水平所限,书中难免存在不当之处和错误,希望读者给予批评指正。

刘克哲 刘建强

2012年6月16日

目 录

绪论	1
第一章 质点运动	4
§ 1-1 质点和参考系	4
一、质点	4
二、参考系	5
§ 1-2 描述质点运动的物理量	5
一、时刻和时间	5
二、位置矢量	6
三、位移和路程	6
四、速度和速率	8
五、加速度	10
§ 1-3 描述质点运动的坐标系	11
一、直角坐标系	11
二、平面极坐标系	16
* 三、自然坐标系	20
§ 1-4 牛顿运动定律	22
一、牛顿第一定律	22
二、牛顿第二定律	23
三、牛顿第三定律	25
§ 1-5 力学中常见的力	25
一、万有引力	25
二、弹性力	27
三、摩擦力	30
* § 1-6 惯性系和非惯性系	32
习题	34
第二章 力学中的守恒定律	38
§ 2-1 机械能守恒定律	38
一、功和功率	38

二、动能和动能定理	41
三、势能	44
四、机械能守恒定律	48
§ 2-2 动量守恒定律	52
一、动量和动量定理	52
二、动量守恒定律	55
三、碰撞	58
* 四、运载火箭的运动	61
§ 2-3 角动量守恒定律	63
一、力矩	63
二、角动量和角动量定理	65
三、角动量守恒定律	67
习题	70
第三章 刚体和理想流体	75
§ 3-1 刚体的运动	75
一、平动和转动	75
二、刚体的定轴转动	76
§ 3-2 刚体动力学	77
一、刚体的转动动能	77
二、刚体的转动惯量	78
三、力矩作的功	81
四、动能定理	82
五、转动定理	83
§ 3-3 定轴转动刚体的角动量守恒定律	84
一、刚体对转轴的角动量	84
二、刚体对转轴的角动量定理	85
三、刚体对转轴的角动量守恒定律	85
§ 3-4 固体的形变和弹性	87
* 一、固体在外力作用下的一般情形	87
二、固体的弹性形变	88
§ 3-5 理想流体及其运动规律	89
一、流体的压强	90
二、关于理想流体的几个概念	91
三、理想流体的连续性方程	93

四、伯努利方程	94
* § 3-6 黏性流体的运动	98
一、流体的黏性	98
二、黏性流体的运动规律	100
三、湍流和雷诺数	101
四、斯托克斯黏性公式	102
习题	102
第四章 振动和波动	106
§ 4-1 简谐振动	106
一、简谐振动的基本特点和普遍性定义	106
二、描述简谐振动的特征量	108
三、简谐振动的矢量图解法	109
* 四、简谐振动的能量	110
§ 4-2 简谐振动的合成	113
一、同一直线上两个同频率简谐振动的合成	113
* 二、同一直线上两个频率相近的简谐振动的合成	115
* 三、两个互相垂直的简谐振动的合成	118
§ 4-3 阻尼振动、受迫振动和共振	120
一、阻尼振动	120
二、受迫振动	122
三、共振	123
§ 4-4 关于波动的基本概念	124
一、波的产生和传播	124
二、横波和纵波	125
三、波线和波面	126
四、波速、波长以及波的周期和频率	126
五、波动所遵从的基本原理	127
§ 4-5 简谐波	129
一、平面简谐波的表示	129
* 二、波的能量	131
* 三、波的能流和能流密度	133
§ 4-6 波的干涉	134
一、波的干涉现象和规律	134
* 二、驻波	136

* § 4-7 多普勒效应	140
习题	143
第五章 狭义相对论	147
§ 5-1 狭义相对论的基本原理	147
一、伽利略变换与经典时空观念	147
二、狭义相对论产生的背景和条件	148
三、狭义相对论的基本原理	149
§ 5-2 狭义相对论的时空观	152
一、同时性的相对性	152
二、时间延缓效应	152
三、长度收缩效应	153
四、速度变换法则	155
§ 5-3 狭义相对论动力学	156
一、质速关系和相对论动力学基本方程式	156
二、质能关系	157
三、能量-动量关系	159
习题	160
第六章 气体、固体和液体的基本性质	162
§ 6-1 气体动理论和理想气体模型	162
一、气体的分子状况	162
二、理想气体模型	164
三、理想气体状态的描述	165
§ 6-2 理想气体的压强和温度	167
一、理想气体的压强公式	167
二、热力学第零定律	169
三、温度的微观解释	170
§ 6-3 理想气体的内能	171
一、分子运动自由度	172
二、能量均分定理	173
三、理想气体的内能	174
§ 6-4 麦克斯韦速率分布律	175
一、麦克斯韦速率分布律	175
二、用速率分布函数求分子速率的统计平均值	177
* § 6-5 气体内的输运过程	178

一、气体分子的碰撞频率和平均自由程	178
二、黏性	180
三、热传导和扩散	183
§ 6-6 固体的性质及晶体结构的一些概念	184
一、固体的一般性质	184
二、关于晶体结构的一些概念	186
§ 6-7 晶体中粒子的相互作用	187
一、晶体的结合	188
* 二、结合力的共同特征	190
* § 6-8 非晶态和准晶态	191
一、非晶态固体及其应用	191
二、准晶态简介	193
§ 6-9 液体和液晶的微观结构	194
一、液体的微观结构	194
* 二、液晶的类型和结构	195
§ 6-10 液体的表面性质	196
一、表面张力	196
二、弯曲液面下的附加压强	198
三、与固体接触处液面的性质	199
四、毛细现象	200
习题	202
第七章 电荷和静电场	206
§ 7-1 电荷和库仑定律	206
一、电荷	206
二、库仑定律	207
§ 7-2 电场和电场强度	210
一、电场	210
二、电场强度	210
三、电场强度的计算	211
§ 7-3 高斯定理	216
一、电场线	216
二、电通量	216
三、高斯定理	219
§ 7-4 电势及其与电场强度的关系	221

一、静电场属于保守场	222
二、电势能、电势差和电势	223
三、电势的计算	225
四、等势面	226
* 五、电势与电场强度的关系	227
§ 7-5 静电场中的金属导体	230
一、金属导体的静电平衡	230
二、导体表面的电荷和电场	231
三、导体空腔	233
四、导体静电平衡性质的应用	233
§ 7-6 电容和电容器	236
一、孤立导体的电容	236
二、电容器	237
三、电容的计算	238
四、电容器的连接	239
§ 7-7 静电场中的电介质	240
一、电介质的极化	240
二、极化强度矢量	241
三、极化强度与极化电荷的关系	241
四、极化电荷对电场的影响	243
五、电介质存在时的高斯定理	245
§ 7-8 静电场的能量	247
习题	250
习题答案	255

绪论

物理学是一门基础学科,它的研究对象是包括机械运动、热运动、电磁运动、原子、原子核和粒子运动在内的物质运动最基本形态,以及它们之间的相互转化。物理学的研究目的在于认识这些运动形态的基本性质和相互转化规律,揭示物质不同层次的内部结构。从事不同专业工作的读者,总可以在以下几方面达成共识。

首先,物理学所研究的物质最基本运动形态,普遍地存在于物质的复杂运动形态之中。所以,了解物质运动最基本形态的规律,是深刻认识复杂运动的起点和基础;物理学所研究的粒子,构成了一切人造的和天然的物质,包括各种微观粒子、原子、分子、无机物、矿物、星云、天体、宇宙,地球、陆地、大气、海洋,有机物、蛋白质、基因和生命等,而这些,分别是物理学自身和其他各门自然学科的研究对象。物理学也因此而成为自然科学和工程技术中众多学科或部门的理论基础。

由于物理学规律的普遍性和基本性,致使物理学与其他自然学科越来越广泛、越来越密切地结合,从而在物理学与其他自然学科之间形成了一系列派生分支学科和交叉学科,如空间物理、大气物理、气象物理、海洋物理、地球物理、生物物理、计算物理、物理化学、量子生物学、量子化学和量子电子学等。近代物理学的研究之深入和渗透之广泛,已经达到了这样的程度,以至它对整个自然科学领域、一切工程技术部门和人类文明生活的发展,产生了并将继续产生不可估量的巨大影响。

因此,我们可以毫不夸张地说,物理学是整个自然科学的基础。

第二,物理学的发展与社会生产力的提高是相辅相成、互为源泉的。物理学既是伴随人类的生存、生产活动一起发展起来的,同时也是科学技术和社会发展的巨大推动力。

物理学作为一门独立的学科始于17世纪初至17世纪80年代。伽利略(G. Galilei, 1564—1642)、开普勒(J. Kepler, 1571—1630)等人对天体运动的长期观测和分析,经牛顿(I. Newton, 1643—1727)的总结和数学成果的应用,导致了经典力学体系的建立。到18世纪60年代,力学和热力学的发展及其与生产的结合,使蒸汽机得到改进和推广,引起了人类历史上第一次产业革命。到19

世纪中、后叶,法拉第(M. Faraday, 1791—1867)、楞次(Э. Х. Ленц, 1804—1865)、麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)以及赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)等人在电磁学方面的研究成果,导致了电力的应用,各种电机、电器的成功研制,无线电通讯的实现,这些都成为第二次产业革命的标志。

进入20世纪以来,普朗克(M. Planck, 1858—1947)、爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)、海森伯(W. K. Heisenberg, 1901—1976)、薛定谔(E. Schrodinger, 1887—1961)和狄拉克(P. A. M. Dirac, 1902—1984)等人在相对论和量子力学等方面的研究成果,使人类的认识从宏观世界进入到了微观世界,从低速运动扩展到了高速运动,并产生了一系列重大突破。人类不仅释放并获得了核能,解释了原子结构、元素周期性和化学键等重大课题,并且对固体和液体内部微观粒子的运动规律作了成功的描述,成为材料科学的理论依据,促使新材料、新器件、新能源、新的通信和控制手段竞相涌现。电子计算机的广泛应用,从根本上改变了生产活动和科学研究的面貌。这些,都为人类社会又一次产业革命,提供了物质基础。

最后,物理学对自然现象和分析方法、定量描述分法,以及较为系统和完整的物理学理论体系的建立过程,对自然科学中其他学科也都起到借鉴作用。从事不同专业工作的读者都可以从中受到启迪,以便在自己的专业领域里进行创造性的工作。

物理学是一门理论与实验密切结合的学科,它的每一个原理和定律,都是在对大量实验事实和所测得的数据进行分析、处理和总结之后提出的。所谓物理现象的规律性就是由这些原理、定律和定理来反映的,而物理学原理、定律和定理则表征了相应物理现象中若干物理量之间的关系。所以,对于一个现象或一个过程,物理学常常根据实验、观测去寻找或定义一定的物理量,再通过实验、观测去确定这些物理量之间的联系。有些比较复杂的现象或过程,常常为分析的方便,将主要矛盾突出,将次要矛盾忽略,而代之以一个理想化的模型,从中得出现象或过程的规律。然后,将所得规律再回到实验中去,与实验结果相比较,观察其正确程度,并进行必要的修正。诸如质点、刚体、完全弹性碰撞、理想流体、理想气体、简谐振动、简谐波、点电荷、可逆过程和黑体等,都是为此目的而引入的理想化模型。实践表明,这是一种科学的、成功的研究方法。

引入或定义一个物理量,必须做到两点,一是规定一种测量这个物理量的方法或标准,二是给它规定一种量度的单位。目前国际上已选定了七个物理量作为基本量,规定了它们的测量方法和单位,在此基础上建立了国际单位制(SI)。物理学中其他量的单位都是基本单位的导出单位。

从数学角度说,在基础物理课程中的物理量大致可分为两类,一类是标量,

另一类是矢量。标量物理量可以分成两种,一种只具有正值,如质量、速率、动能、温度和频率等。另一种则既有正值,也有负值,如电流、电动势、功和电荷量等。标量物理量的计算遵从代数运算定则。矢量物理量不仅有大小的不同,还有方向的差异,如力、位移、电场强度和能流密度等。矢量物理量的计算遵从平行四边形定则。当某矢量物理量只具有正、反两个方向时,可以把它看作为标量,并可用代数法则进行运算。但在一般情况下,必须注意矢量物理量的方向性。

鉴于物理学的自身特点,学习物理学必须正确理解物理学的基本概念、基本规律和基本研究方法,掌握现象和过程的物理图像,弄清定律和定理的基本内容、成立条件、适用范围和应用方法。通过物理课程的学习,可以在实验研究能力、分析计算能力和抽象思维能力等方面得到严格训练,从而提高提出问题、分析问题和解决问题的本领。

我们的课程就从讨论简单的机械运动开始,然后由简单到复杂,逐步对振动和波动、分子物理学、电磁学、光学、量子力学以及原子、原子核和粒子物理学等进行讨论和学习。

第一章

质点运动

力学是以机械运动规律及其应用为研究对象的。所谓机械运动,是一个物体相对另一个物体的位置,或一个物体内部的一部分相对其他部分的位置随时间的变化。宇宙中天体的运行,导弹弹道的计算,人造地球卫星轨道的设计,以及气泡室中显示粒子径迹的分析等,都属于力学的范围。而质点运动则是机械运动中最简单、最基本的情形。

为描述质点运动,本章定义了表征质点运动的物理量,如位置矢量、位移、速度和加速度等,还需要选择参考系,然后讨论建立坐标系的问题。

现在我们进一步要问,质点运动是如何发生、如何变化以及遵从着哪些规律?回答是:质点运动变化的原因在于物体之间的相互作用;牛顿运动定律概括和总结了质点运动发生和变化的基本规律。这是本章的另一部分主要内容。

尽管牛顿运动定律揭示了质点运动的基本规律,但是,近代物理学告诉我们,牛顿运动定律只适用于描述宏观物体的低速运动。因为微观物体的运动遵从量子力学的规律;而当物体的运动速率接近光速时,应由狭义相对论的规律来描述。这些将在以后分别加以讨论。

§ 1-1 质点和参考系

一、质点

力学中的质点,是没有体积和形状,只具有一定质量的理想物体。质点是力学中一个十分重要的概念。我们知道,任何实际物体,大至宇宙中的天体,小至分子、原子、原子核以及其他微观粒子,都具有一定的体积和形状。如果在所研究的问题中,物体的体积和形状是无关紧要的,我们就可以把它看作质点。例如,地球相对于太阳的运动,由于地球既公转又自转,地球上各点相对于太阳的运动是各不相同的。但是,考虑到地球到太阳的距离约为地球直径的一万多倍,以致在研究地球公转时可以忽略地球的大小和形状对这种运动的影响,认为地球上各点的运动情形基本相同。这时可以把地球看成为一个质点。

另外,对于同一个物体,由于研究的问题不同,有时可以把它看作一个质点,有时则不能。不过,在不能将物体看作一个质点的时候,却总可以把这个物体看作是由许多质点组成的,对其中的每一个质点都可以运用质点运动的结论,叠加起来就可以得到整个物体的运动规律。可见,质点力学是整个力学的基础。

二、参考系

在力学范围内所说的运动,是指物体位置的变更。宇宙中的一切物体都处于永恒的运动之中,绝对静止的物体是不存在的。显然,一个物体的位置及其变更,总是相对于其他物体而言的,否则就无从谈起,这便是机械运动的相对性。因此,为了描述一个物体的运动情形,必须选择另一个运动物体或几个相互间保持静止的物体群作为参考物。只有先确定了参考物,才能明确地表示被研究物体的运动情形。研究物体运动时被选作参考物的物体或物体群,称为参考系。例如,研究地球相对于太阳的运动,常选择太阳作参考系;研究人造地球卫星的运动,常选择地球作参考系;研究河水的流动,常选择地面作参考系等。

在描述质点如何运动的问题中,也仅仅在这样的中,参考系原则上是可以任意选择的。对于同一个物体的同一个运动,选择不同的参考系,对运动的描述是不同的。例如,人造地球卫星的运动,若以地球为参考系,运动轨道是圆或椭圆;若以太阳为参考系,运动轨道是以地球公转轨道为轴线的螺旋线。那么,在研究物体运动时,究竟应该选择哪个物体或物体群作为参考系呢?这要根据问题的性质、计算和处理上的方便来决定。在上述人造地球卫星的例子中,显然选择地球中心作参考系比选择太阳作参考系要方便得多,结论也要简洁得多。在题意和问题性质允许的情况下,可选择使问题的处理尽量简化的参考系。

为了把运动物体在每一时刻相对于参考系的位置定量地表示出来,就要在参考系上建立适当的坐标系,坐标系的原点可取在参考系的一个固定点上。常用的坐标系是直角坐标系,另外还有平面极坐标系、自然坐标系等,后面我们将分别加以讨论。

§1-2 描述质点运动的物理量

一、时刻和时间

“时间”这个词在我们生活中随时都能遇到。在物理学中,它代表一个重要的物理量,是国际单位制(SI)中的七个基本物理量之一。但是,在生活的习语中,时刻和时间间隔(简称时间)这两个概念常被混淆了。例如,有人问:“飞机什么时间起飞?”又问:“飞机从上海到北京飞行多少时间?”在这两句话中,“时间”的涵义是完全不同的。前一句话中的“时间”,指的是物理学中“时刻”的概

念,表示飞机起飞那一瞬间时钟的读数。而后一句话中的“时间”,指的是物理学中“时间间隔”的概念,表示飞机从上海起飞那一瞬间时钟的读数与飞机连续飞行到达北京机场着陆那一瞬间时钟读数之间的间隔。

在一定坐标系中考察质点运动时,质点的位置是与时刻相对应的,质点运动所经过的路程是与时间间隔相对应的。时间是标量,单位是s(秒)。

二、位置矢量

图1-1中的点 P 代表我们所讨论的质点,点 O 代表参考系上的一个固定点,以后建立坐标系时坐标原点就取在这里。点 P 在任意时刻的位置,可用从点 O 到点 P 所引的有向线段 $\overrightarrow{OP}$ 来表示, $\overrightarrow{OP}$ 可用一个矢量 $\mathbf{r}$ 来代表,这个矢量 $\mathbf{r}$ 就称为质点 P 的位置矢量,简称位矢。位置矢量既然是矢量,就一定包含了质点位置的两方面的信息,一是质点 P 相对参考系固定点 O 的方位,二是质点 P 相对参考系固定点 O 的距离大小。这正是矢量所具有的两个基本特征。以后我们都用黑体字母代表矢量。

质点在运动,位置在变化,表示质点位置的位置矢量 $\mathbf{r}$ 必定随时间在改变。也就是说,位置矢量 $\mathbf{r}$ 是时间 t 的函数,即

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

上式称为质点运动的轨道参量方程,也就是质点的运动学方程,它不仅给出了质点运动的轨迹,也给出了质点在任意时刻所处的位置。

三、位移和路程

设质点沿图1-2所示的任意曲线 L 在运动。质点在 t 时刻处于点 A ,其位置矢量为 $\mathbf{r}_A$,经过 Δt 时间,质点到达点 B ,位置矢量为 $\mathbf{r}_B$ 。在此过程中,质点位置的变更可以用从点 A 到点 B 的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 来表示,或写成 $\Delta \mathbf{r}$,这称为质点由点 A 到点 B 的位移。位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是矢量,它既表示质点位置变更的大小(点 A 与点 B 之间的距离),又表示这种变更的方向(点 B 相对于点 A 的方位)。由图1-2可以看出

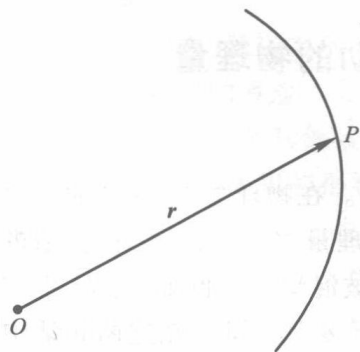


图 1-1

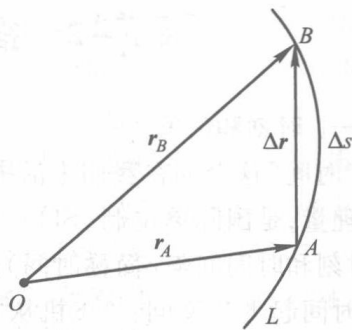


图 1-2