

独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

大学应用物理学

(上册)

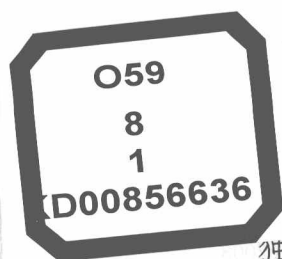
主编 戴剑锋 赵海军 王 青 李维学



5636



科学出版社



独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

大学应用物理学

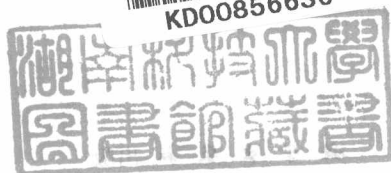
(上册)

主编 戴剑锋 赵海军
王 青 李维学

湖南科技大学图书馆



KD00856636



科学出版社

北 京

内 容 简 介

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物理基础课程教学指导分委会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求(2008版)》和国内工科物理教材改革动态,并结合编者多年在独立学院的教学经验编写而成. 特别强调物理知识在工程技术中的应用. 全书共分为两册,上册包括机械运动、气体动理论与真空技术、热力学基础和波动光学,下册包括静电场、稳恒磁场、电磁感应及电磁场理论、量子物理基础和工程技术应用专题.

本书可作为独立学院各工科专业的大学物理课教材,还可作为一般读者了解物理知识与工程技术的参考读物.

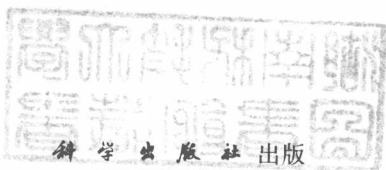
图书在版编目(CIP)数据

大学应用物理学. 上册/戴剑锋等主编. —北京:科学出版社,2011
独立学院应用型创新人才培养系列规划教材
ISBN 978-7-03-029846-1

I. ①大… II. ①戴… III. ①应用物理学-高等学校-教材 IV. ①O59

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 259324 号

责任编辑:滕亚帆 唐保军 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室



北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年12月第一版 开本:B5(720×1000)

2010年12月第一次印刷 印张:32 3/4

印数:1—4 000 字数:660 000

定价:58.00元(上、下册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

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物理基础课程教学指导分委会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求（2008版）》和国内工科物理教材改革动态，面向独立学院应用型本科人才培养规划，并结合编者多年在独立学院教学的经验编写而成。编写过程中参考了国内同类的大学物理优秀教材，特别强调物理知识在工程技术中的应用，从而使内容体系安排更趋合理，富于启发性和实用性。

本书在编写中力求物理概念阐述清楚，简洁得当；内容条理清晰，层次分明；深入浅出，通俗易懂；加强基础物理知识，拓宽近代物理应用；用物理学原理分析工程实际问题，强调物理知识在工程技术中的应用。本书涵盖了《理工科类大学物理课程教学基本要求（2008版）》中所列A类内容，适当引入B类内容的介绍，删减了部分中学物理所学过的内容。力求基于物理概念和情景建立物理定律和公式，避免了复杂的数学推导。注重培养学生理解问题、分析问题和解决问题的能力，每章均精选了适量的例题和习题。

全书分为上、下两册，上册包括机械运动、气体动理论与真空技术、热力学基础和波动光学，下册包括静电场、稳恒磁场、电磁感应及电磁场理论、量子物理基础和工程技术应用专题。本书由戴剑锋、赵海军、王青、邓丽娟、李维学、潘多荣、李宁、王平霞、刘娟、徐莺歌和许幸芬老师共同完成。全书由戴剑锋教授负责统稿和定稿。

在本书的编写过程中，得到了兰州理工大学技术工程学院的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2010年8月

目 录

前言

绪论	1
第 1 章 机械运动	7
1.1 质点运动学	7
1.1.1 描述质点运动的基本物理概念和物理量	7
1.1.2 几种典型的质点运动	15
1.2 质点动力学	28
1.2.1 牛顿运动定律	28
1.2.2 冲量和动量	36
1.2.3 功和能	42
1.3 刚体力学	54
1.3.1 刚体定轴转动运动学	54
1.3.2 定轴转动定律	59
1.3.3 刚体定轴转动中的功和能	66
1.3.4 冲量矩和角动量	70
1.4 相对论基础	77
1.4.1 伽利略变换与经典力学时空观	78
1.4.2 狭义相对论的基本假设 洛伦兹变换	82
1.4.3 狭义相对论的时空观	88
1.4.4 狭义相对论动力学	93
1.4.5 广义相对论简介	99
1.5 机械振动	102
1.5.1 简谐振动	102
1.5.2 简谐振动的合成	113
1.5.3 阻尼振动 受迫振动 共振	119
1.6 机械波	127
1.6.1 机械波的产生和传播	127

1.6.2 平面简谐波的波动方程	131
1.6.3 波的能量	136
1.6.4 声波 超声波 次声波	140
1.6.5 惠更斯原理 波的反射与折射	142
1.6.6 波的叠加 波的干涉 驻波	145
习题	154
第2章 气体动理论与真空技术	166
2.1 平衡状态 理想气体状态方程	166
2.1.1 宏观描述与微观描述	166
2.1.2 理想气体状态方程	169
2.1.3 理想气体分子模型与压强公式	170
2.1.4 气体分子的平均平动动能与温度关系	174
2.1.5 能量按自由度均分原理 理想气体内能	175
2.2 气体分子速率分布率	180
2.2.1 麦克斯韦分子速率分布定律	181
2.2.2 气体分子速率的三种统计平均值	182
2.3 真空技术及其应用	184
2.3.1 真空的特点	184
2.3.2 真空的获得	185
2.3.3 真空技术应用	186
习题	194
第3章 热力学基础	196
3.1 热力学第一定律	196
3.1.1 热力学过程	196
3.1.2 功 热量 内能	197
3.1.3 热力学第一定律	199
3.1.4 热力学第一定律对于理想气体的等值过程的应用	200
3.1.5 气体的摩尔热容	203
3.1.6 绝热过程	208
3.2 循环过程	212
3.2.1 循环过程	212

3.2.2 卡诺循环	215
3.2.3 制冷机的应用	218
3.2.4 低温技术	222
3.3 热力学第二定律	224
3.3.1 热力学第二定律	224
3.3.2 可逆过程和不可逆过程	226
3.3.3 卡诺定理	227
3.3.4 热力学第二定律的统计意义	227
习题	228
第4章 波动光学	230
4.1 光的相干性 分波面法干涉	230
4.1.1 光的相干性	230
4.1.2 杨氏双缝干涉	232
4.1.3 菲涅耳双镜实验	235
4.1.4 洛埃镜	236
4.2 光程 光程差	237
4.2.1 光程和光程差	237
4.2.2 薄透镜的等光程性	238
4.3 分振幅法干涉	240
4.3.1 薄膜干涉的光程差计算	240
4.3.2 等倾干涉	242
4.3.3 增透膜和增反膜	243
4.3.4 劈尖干涉	247
4.3.5 牛顿环	250
4.4 迈克耳孙干涉仪	252
4.5 光的衍射现象 单缝夫琅禾费衍射	254
4.5.1 光的衍射现象	254
4.5.2 惠更斯-菲涅耳原理	254
4.5.3 衍射现象的分类	256
4.5.4 单缝夫琅禾费衍射	257
4.6 圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨率	261

4.6.1	圆孔的夫琅禾费衍射	261
4.6.2	光学仪器的分辨本领	262
4.6.3	人眼的分辨本领	263
4.6.4	望远镜分辨本领	264
4.6.5	显微镜的分辨本领	265
4.7	光栅衍射	266
4.7.1	光栅	266
4.7.2	光栅衍射	266
4.7.3	光栅衍射的缺级现象	268
4.7.4	光栅光谱	269
4.8	光的偏振	271
4.8.1	自然光 线偏振光 部分偏振光	271
4.8.2	偏振片、起偏与检偏	273
4.8.3	马吕斯定律	275
4.8.4	布儒斯特定律	277
习题		279

绪 论

一、物理学的研究对象

物理学是研究物质的基本结构和基本运动规律的一门学科。物质最普遍的运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内的运动等,对应的物理学分支是力学和声学、热学、电磁学和光学、原子和原子核物理等。

由于机械运动便于直接观察,声音与听觉有关,光现象与视觉有关,热现象也与人的感觉有关,所以力学、声学、光学、热学发展得较早,电磁学与直接感觉联系得较少,直到 19 世纪才成为物理学的独立分支。从发展时间上看,力学、声学、热学、电磁学和光学的基本理论在 20 世纪之前(约在 1900 年之前)建立,统称为**经典物理学**。自 20 世纪以后发展起来的相对论和量子力学等称为**近代物理学**。近代物理学主要研究高速(与真空中的光速相近)运动现象和原子内部等微观领域所遵循的运动规律。相对论和量子力学是近代物理学的两个最重要的分支,也是近代物理学的基石。

二、物理学与工程技术

物理学是自然科学的基础,也是工程技术的主要源泉。工程技术广泛地应用着物理学中的有关知识。物理学中的每一个重大发现几乎都会导致生产技术上的许多重大突破,人们常说的几次工业革命均与物理学密切相关。在 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。19 世纪,电磁理论的建立,使人们制造出了发电机、电动机、电话、电报等电器设备,引起了工业电气化,使人类进入了应用电能的时代,这就是第二次工业革命。电磁波的发现和半导体材料的研制成功,诞生了电子技术这门应用学科,从而使广播、电视、雷达、通信、计算机等事业异军突起。近代物理学的发展,为半导体、原子能、激光、量子器件的发现奠定了基础。人类进入了以航天技术、微电子技术、光电子技术、生物技术、计算机及信息技术等高新技术为主要内容的新时代。物理学是当代工程技术的重大支柱,是许多工程技术如机械制造、土木建筑、采矿、水利、勘探、电工、无线电、材料、计算机、航空和火箭等技术的理论基础。

大学工科物理包括经典物理学、近代物理学中的相对论和量子力学基础等内容。工科大学生通过学习能对物质最普遍的运动形式及其规律有较系统的认识,树

立辩证唯物主义世界观,掌握物理学中的基本概念和规律以及研究问题的方法,在科学实验能力、计算能力和抽象思维能力等方面受到严格的训练,培养用物理原理分析工程技术问题的能力,为将来工作打下坚实的基础。

三、国际单位制和量纲

在确定各物理量的单位时,先选定少数几个物理量作为**基本量**,并人为地规定它们的单位,这样的单位称为**基本单位**。其他的物理量都可以根据一定的代数式从基本量导出,这些物理量称为**导出量**。导出量的单位都是基本单位的组合,称为**导出单位**。基本单位和由它们组成的导出单位构成一套单位制。由于基本单位的选择不同,就组成了不同的单位制。

1960年第11届国际计量大会通过并建议世界各国采用的单位制称为国际单位制,简称国际制,国际代号为SI。国际单位制也是我国政府规定的我国实行的计量制度。

在国际单位制中,规定了七个基本量的基本单位,它们是:米(m)、千克(kg)、秒(s)、安[培](A)、开[尔文](K)、摩[尔](mol)和坎[德拉](cd)。

“秒”(s)是国际单位制时间单位。1s的定义是:铯的一种同位素 ^{133}Cs 原子发出的一个特征频率光波周期的9192631770倍。

“米”(m)是国际单位制长度单位。1983年国际上规定:1m是光在真空中1/299792458s所经过的距离。

“千克”(kg)是国际单位制质量单位。现在仍用“千克标准原器”的质量来规定。千克标准原器是用铂铱合金制造的一个金属圆柱体,保存在巴黎度量衡局的地窖中。它的质量规定为1kg。为了比较方便起见,许多国家都有它的精确复制品。

“安培”(A)是国际单位制电流单位。安培是一恒定电流,若保持在处于真空中相距1m的两无限长而圆截面可忽略的平行直导线内,则在此两导线之间产生的力在每米长度上等于 $2 \times 10^{-7}\text{N}$ 。

“开尔文”(K)是国际单位制热力学温度的单位。热力学温度单位开尔文是水的三相点热力学温度的1/273.16。

“摩尔”(mol)是国际单位制物质的量的单位。摩尔是一系统的物质的量,该系统中所含的基本单元数与0.012kg碳-12的原子数目相等。在使用摩尔时,基本单元应予指明,可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子,或是这些粒子的特定组合。

“坎德拉”(cd)是国际单位制发光强度的单位。坎德拉是一光源在给定方向的发光强度,该光源发出频率为 $540 \times 10^{12}\text{Hz}$ 的单色辐射,且在次方向辐射强度为1/683W每球面度。

另外,国际单位制还规定了两个辅助单位,它们是:平面角(rad)和立体角(sr)。

“弧度”(rad)是圆内两条半径之间的[平面]角,这两条半径在圆周上截取的弧

长与半径相等。

“球面度”(sr)是一立体角,其顶点位于球心,而它在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形面积。

有了基本单位,就可以由它们构成导出量的单位。如速度的单位由速度定义式推导,即为长度单位与时间单位的比值,读作米每秒,符号是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。加速度的单位由加速度定义式推导,即为速度的单位与时间单位的比值,读作米每二次方秒,符号是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。属于这种形式的单位称为**组合单位**。

由于 SI 是一贯单位制,每一个量只有一个单位,由具有专门名称和符号的 SI 导出单位来表示其他导出单位,往往更为方便、明确。例如,力的单位由牛顿第二定律 $F=ma$ 推导出来,为 $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,这样书写繁琐,把它称为牛(顿),符号是 N, $1\text{N}=1\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

其他没有专门名称的就统称为组合形式的 SI 导出单位。为了学习方便,我们将本书用到的组合形式的导出单位均在有关部分的正文中列出,供查阅。至于其他的导出单位,需要时可查阅有关国家标准。

在实际工作中,为了方便起见,常常使用词头。词头与所紧接的单位一起组成一个新单位,这些单位称为十进倍数(或分数)单位,目的是使物理量的数值处于 0.1~1000 以内。如 23000N 应写成 $2.3 \times 10^4 \text{N}$,也就是说,这个量可表示为处于 0.1~1000 的数值乘以 10 为底的指数幂形式,指数的数目称为数量级, $2.3 \times 10^4 \text{N}$ 中的数量级为 10^4 。同时,也可直接用词头符号来表示数量级,即 23kN。同样, $4.2 \times 10^{-8} \text{s}$ 可写成 42ns。但需要注意的是,不能把它写成毫微秒($\text{m}\mu\text{s}$),这是因为,词头不能单独使用,也不能重叠使用。词头的名称和符号如表 0-1 所示。

表 0-1 国际单位制常用词头

因 数	词头名称		符 号
	英 文	中 文	
10^{24}	yotta	尧[它]	Y
10^{21}	zetta	泽[它]	Z
10^{18}	exa	艾[可萨]	E
10^{15}	peta	拍[它]	P
10^{12}	tera	太[拉]	T
10^9	giga	吉[咖]	G
10^6	mega	兆	M
10^3	kilo	千	k
10^2	hecto	百	h
10^1	deca	十	da
10^{-1}	deci	分	d

续表

因 数	词头名称		符 号
	英 文	中 文	
10^{-2}	centi	厘	c
10^{-3}	milli	毫	m
10^{-6}	micro	微	μ
10^{-9}	nano	纳[诺]	n
10^{-12}	pico	皮[可]	p
10^{-16}	femto	飞[母托]	f
10^{-18}	atto	阿[托]	a
10^{-21}	zepto	仄[普托]	z
10^{-24}	yocto	幺[科托]	y

在物理学研究和工程技术中,经常需要量度或估计物理量的大小.但是,由于受测试技术的限制,有些物理量(如原子、分子的直径)只能测出其大致范围,对它们用数量级来估算即可,如原子直径的数量级为 10^{-10} m. 另外,在某些研究中,准确值对问题的研究影响并不大,而仅需了解其数量级就可以了.例如,常温下教室里的空气分子数目是多少? 实际上只要知道其数量级为 10^{22} 就可以了.

本书若无特别指明,物理量的单位均为国际单位制.

为了定性地表示导出量和基本量之间的联系,常不考虑数字因素而将一个导出量用若干基本量的乘方之积表示出来. 这样的表示式称为该物理量的量纲或量纲式. 表示为

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} \Theta^{\delta} I^{\eta} N^{\epsilon} J^{\eta}$$

此式就称为该物理量 Q 对选定基本量的量纲积或量纲,以 $\dim Q$ 表示. 式中 $L, M, T, \dots$ 表示基本量的量纲符号,SI 有七个基本量,它们的量纲符号见表 0-2; $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ 称为量纲指数,它可以为正,也可以为负,还可以为零. 例如,以 L, M, T 分别表示基本量长度、质量和时间的量纲,则速度、加速度、力和动量的量纲可以分别表示如下:

$$\dim v = L \cdot T^{-1}$$

$$\dim a = L \cdot T^{-2}$$

$$\dim F = M \cdot L \cdot T^{-2}$$

$$\dim p = M \cdot L \cdot T^{-1}$$

注意:这些量纲是它们的国际单位制表示式. 对于不同的单位制,如果基本量的选择不同,则同一物理量的量纲也不同.

表 0-2 基本量的量纲符号

量的名称	长度	质量	时间	电流	热力学温度	物质的量	发光强度
单位符号	m	kg	s	A	K	mol	cd
量纲符号	L	M	T	I	Θ	N	J

若有一个物理量其所有量纲指数均等于零,则称其为无量纲的量,有时也称为量纲为 1 的量,例如,相对密度就是一个无量纲的量.无量纲的量可用纯数表示.

量纲和量纲分析在物理学中很重要.只有量纲相同的量才能相加、相减和用等号相连接.也就是说,能够相加减和列入同一方程(等式)中的每一项,应是具有相同量纲的物理量(同类量).这就要求:凡是根据物理学基本定律推导出来的方程,其中每一项的量纲必须一致,这一结论称为物理方程的量纲一致性原理.所以用量纲可以检验计算或应用结果的正误.例如,得出了一个力结果是 $F=mv$,左边的量纲为 $M \cdot L \cdot T^{-2}$,右边的量纲为 $M \cdot L \cdot T^{-1}$,两者不相符合,所以可以判定这一结果一定是错误的.

另外,从研究一个过程中各个物理量的量纲及其之间的关系,可以推导出必须加于这些物理量的某些限制,得出变量之间必须遵守的关系式,从而进一步确定关系式的一般函数形式.这是量纲分析的一个主要用途.

下面,我们以单摆为例,初步介绍一下量纲分析的应用.

根据实验结果,经分析,单摆的周期 T 可能与摆球的质量 m 、摆长 l 、摆角 θ 、重力加速度 g 有关,于是有如下的函数关系:

$$T = f(m, l, g, \theta) \quad (0-1)$$

根据量纲一致性原理,由于上述这些量的量纲不同,它们不能相加、减.因而,一般可假设上述函数关系具有这几个量幂次的乘积形式,写作

$$\dim T = \dim(m^\alpha l^\beta g^\gamma \theta^\delta) \quad (0-2)$$

式中, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 为待定指数,把各量的量纲用力学的基本量纲 L, M, T 表示,并且 θ 为无量纲数,则上式的量纲关系式为

$$\dim T = (L^0 M T^0)^\alpha (L M^0 T^0)^\beta (L^0 M^0 T^{-2})^\gamma (L^0 M^0 T^0)^\delta = L^{\beta+\gamma} M^\alpha T^{-2\gamma} \quad (0-3)$$

上式左边的周期 T ,其量纲是时间,故 $\dim T = T$,于是,按量纲一致性原理,为了使上式两边的量纲相等,其中同一基本量纲的指数应相等,从而有

$$L: \beta + \gamma = 0$$

$$M: \alpha = 0$$

$$T: -2\gamma = 1$$

联立求解得

$$\alpha = 0, \quad \beta = \frac{1}{2}, \quad \gamma = -\frac{1}{2}$$

把它们代入式(0-2),得单摆的周期为

$$T = \theta^{\delta} \sqrt{\frac{l}{g}}$$

式中,无量纲系数 θ^{δ} 是摆角 θ 的函数,它无法用量纲分析方法求出,可借用实验或其他方法确定.

注意:在观察和分析一个物理现象时,应尽可能地列举出与该现象有关的主要变量,否则将直接影响分析结果的真实性的.这是首要的、也是较困难的一步,往往取决于人们的实验或理论水平以及对所研究现象的分析能力.

第1章 机械运动

在物质的多种多样的运动形式中,最简单而又最基本的运动是一个物体相对另一个物体位置的变化,这种运动称为**机械运动**.行星绕太阳的转动,宇宙飞船的航行,机器的运转,水、空气的流动等,都是机械运动.本章主要介绍质点运动学、质点动力学、刚体力学、机械振动和机械波.

1.1 质点运动学

本节主要研究物体的位置随时间变化的规律——运动学.首先阐述描述机械运动的基本概念(如参考系、坐标系、质点、时间和时刻)和描写质点运动的基本物理量(如位置矢量、位移、速度、加速度等);其次,讨论几种常见的平面曲线运动中(直线运动、抛体运动、圆周运动)基本物理量之间的关系及其规律.

1.1.1 描述质点运动的基本物理概念和物理量

1. 参考系和坐标系

为了描述物体的运动,必须选择另一物体作为参考标准,这个被选作标准的物体称为**参考系**.

同一个运动在不同的参考系下描述,其描述结果是不同的.例如,在匀速前进的车厢中的自由落体,相对于车厢是直线运动,相对于地面却是抛物线运动,相对于太阳或其他天体,运动情况的描述更为复杂.物体的运动形式随参考系不同而描述结果不同的性质称为**运动的相对性**.

在运动学中参考系的选取是任意的.一个物体对一个参考系是静止的,但总能找到一个参考系,此物体对该参考系是运动的.另外,物体是由分子、原子等粒子组成,这些粒子不停地运动着,从这个角度说,自然界中所有的物体都在不停地运动,绝对静止的物体是不存在的,这就是运动的绝对性.

参考系的选择主要取决于所研究的具体问题和问题的性质.例如,要研究物体在地面上的运动,最好选择地球作为参考系.研究星际火箭的运动时,火箭刚发射,主要研究它相对于地面的运动,所以把地面选作参考系,但是当火箭进入绕太阳运行的轨道时,就可选太阳为参考系.在运动学中,如果不特别说明,一般都是选择地球作为参考系.

为了定量描述质点的位置及其运动,必须在参考系上建立一个坐标系,通常采取直角坐标系.常用的坐标系还有极坐标系、球面坐标系、柱面坐标系、自然坐标系等.

2. 质点

任何物体都有一定的大小和形状.一般来说,物体在运动时,内部各点的位置变化是各不相同的.因此要精确描述物体的运动,并不是一件简单的事,为使问题简化,可以采取抽象的方法:当物体的线度和形状在所研究的现象中不起作用,或所起的作用忽略不计时,可以近似地把物体看作一个只有质量而没有大小和形状的理想物体,称为质点.

一个物体是否可以抽象为质点,应根据问题的性质而定.例如,研究地球绕太阳的公转时,由于地球的直径比地球公转轨道的直径要小得多,因此地球上的各点相对于太阳的运动可视为是相同的,就可以忽略地球的线度和形状,把地球当作一个质点.但是研究地球的自转时,如果把地球看作一个质点,显然就没有实际意义了.

为了研究物体的运动,需要对复杂的物体运动进行科学合理的抽象,提出物理模型,以便突出主要矛盾,化繁为简,以利于解决问题.这种抽象方法是很有实际意义的.质点就是一个物体的理想模型.今后学到的刚体、理想气体、理想流体等均是物体的理想模型.

因为一般物体可以看作由无数个质点组成.从质点运动的分析入手,采用叠加的方法就有可能了解整个物体的运动规律.所以研究质点的运动规律,是研究一般物体运动的基础.

3. 时间和时刻

任何物体的运动都是在时间和空间中进行的.运动不能脱离空间,也不能脱离时间.时间本身具有单方向性的特点.“光阴一去不复返”这句话,正是说明了时间的单方向性.

在运动学中除时间外,还经常用到时刻的概念.在一定的参考系中考察质点的运动时,时刻 t 与运动质点在空间某确定位置相对应,时间是时间间隔 $\Delta t = t_2 - t_1$ 的简称,是两个时刻之间的间隔,它与运动质点在空间中的一段位移或一段路程相对应.在时间轴上与一点相对应的是时刻,与轴上的一个区间 $t_2 - t_1$ 相对应的是时间.例如,图 1-1 中,与 B、C、D 等点对应的时刻分别为第 1 秒末、第 2 秒末、第 3 秒末.而 CE 段表示第 2 秒末到第 4 秒末的时间间隔.

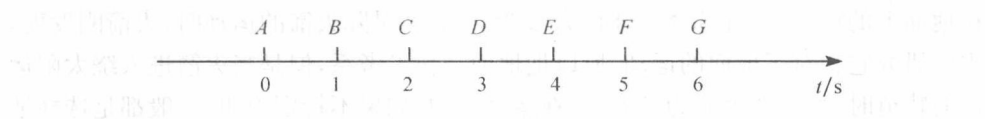


图 1-1 表示时间和时刻区别的时间轴

又如“第4秒初”和“第3秒末”表述的含义相同,都表示 $t=3\text{s}$ 这一时刻(D 点),而“第3秒钟内”则表示第3秒末($t=3$)时刻与第2秒末($t=2$)时刻之间的间隔(CD 段)。

4. 位置矢量

在直角坐标系中,一个质点在空间 P 点的位置可以用由原点 O 指向 P 点的有向线段 r 来表示(图 1-2),即

$$r = xi + yj + zk \quad (1-1)$$

矢量 r 称为质点在空间 P 点的位置矢量,简称位矢。相应地坐标 x, y, z 是位置矢量 r 沿坐标轴的三个分量。 i, j, k 分别表示在三个坐标轴上的单位矢量。

位置矢量 r 的大小为

$$r = |r| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-2)$$

位置矢量 r 的方向用它的三个方向余弦表示

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (1-3)$$

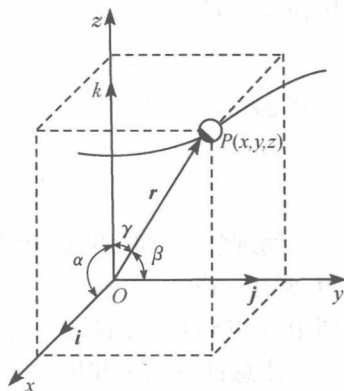


图 1-2 位置矢量

质点运动时,坐标和位置矢量都是时间的函数。位置矢量 r 随时间的变化关系式称为运动方程,其矢量形式为

$$r = r(t) \quad (1-4)$$

在直角坐标系中,运动方程可表示为如下的标量形式

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1-5)$$

知道了运动方程,质点的整个运动情况就很清楚了。所以运动学的主要任务之一就是找出各种具体运动所遵循的运动方程。

质点在空间所经历的路径称为轨道。质点的运动轨道为直线时,称为直线运动;轨道为曲线时,称为曲线运动。由式(1-5)消去参数 t 后即得轨道方程。例如,一个质点在 xOy 平面上运动,质点的运动方程为 $x = R\cos\omega t, y = R\sin\omega t$ (式中 R 和 ω 均为常数),则该质点的轨道方程为 $x^2 + y^2 = R^2$ 。

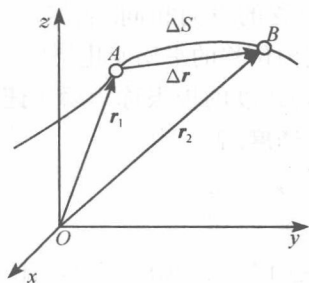


图 1-3 位移

5. 位移

设质点由图 1-3 的 A 点沿曲线运动到 B 点。 A, B 点的位置矢量分别为 r_1 和 r_2 。用位移来描述质点从 A