

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理 (上册)

罗圆圆 主编



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理 (上册)

*D a x u e W u l i*

罗圆圆 主编



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容提要

本书是根据《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2008),在吸取广大教师教学经验并考虑当前多数院校教学实际的基础上编写而成。全书力求加强基础理论,着力培养学生分析问题、解决问题的能力以及独立获取知识的能力。

上册包括力学、电磁学等内容。

本书可作为高等工科院校、综合性大学、高等师范院校非物理类专业及各类成人高校相关专业大学物理课程的教材,也可供其他读者参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理:上册/罗圆圆主编. —北京:高等教育出版社,2010.1

ISBN 978-7-04-028564-2

I. 大… II. 罗… III. 物理学-高等学校-教材  
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 220628 号

策划编辑 马天魁 责任编辑 缪可可 封面设计 张楠 责任绘图 尹莉  
版式设计 马敬茹 责任校对 王效珍 责任印制 韩刚

---

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  
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本 787×960 1/16  
印 张 19  
字 数 350 000

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.landrac.com>  
<http://www.landrac.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 1 月第 1 版  
印 次 2010 年 1 月第 1 次印刷  
定 价 20.70 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 28564-00

# 前 言

物理学是研究物质的基本结构、相互作用和物质最基本最普遍的运动形式及其相互转化规律的学科。物理学研究的对象具有极大的普遍性,研究的内容极其广泛,它是自然科学中最具有活力的带头学科,是整个自然科学和工程技术的基础,也是高新技术发展的源泉和先导。

随着科学技术的发展,不同学科间相互渗透和融合的趋势日益明显,科学技术正在更高层次走向综合化和整体化。近代物理学的概念,研究方法和实验技术在许多自然科学领域和工程技术中得到了广泛的应用,促使新型的交叉学科不断出现,形成了一系列高新技术部门,迅速地影响着人类对自然的基本认识和人类的社会生活。因此,物理学是各类人才所必须具备的基础知识。

大学物理是低年级学生的一门重要基础课,它的作用一方面是为学生打好必要的物理基础;另一方面是使学生初步学习科学的思维方式和研究问题的方法,这些都起着增强学生适应能力、开阔思路、激发探索和创新精神、提高科学素质的重要作用。打好物理基础,不仅对学生在校学习起着十分重要的作用,而且会对学生毕业后的工作和在工作中进一步学习新理论、新知识、新技术,不断更新知识产生深远的影响,本书参照《理工科非物理类大学物理课程教学基本要求》编写的,切实保证了教学基本要求的核心内容,同时也选取了一些拓展的内容作为知识的扩展或延伸,并冠以“\*”号。

我们力求使基本概念、基本规律突出,物理图像清晰,便于教学,有利于学生打下必要的物理基础。同时我们用现代观点审视和取舍传统教学内容,加强了近代物理内容,加强了训练和培养学生的科学思维方式,提高学生分析问题和解决问题的能力以及独立获取知识的能力,注意了联系生活实际、联系工程实际、突出物理思想和方法,使之利于扩大学生知识面,开阔视野,激发创新精神,培养和提高学生的科学素质和能力。

本书对例题和习题进行了精选,并注意了题型的多样化,以及对插图的更新,使之更能与教材内容配合。全书统一采用国际单位制(SI)。

本书分上、下两册,上册内容包括力学、电磁学。下册内容包括热学、振动与波、波动光学,狭义相对论、量子力学。

参加本书编写工作的有:罗圆圆、骆成洪、吴评、辛勇、刘笑兰、卢敏、陈秀洪、龚勇清、易江林、任才贵、邱万英、陆俊发、饶瑞昌、胡跃辉、李萍、王锋,由罗圆圆

任主编。

在本书编写工作中,得到了北方交通大学余守宪教授、林铁生教授,西安交通大学吴百诗教授和东南大学马文蔚教授的大力支持和帮助。林铁生教授为本教材的编写提出了许多宝贵的意见,并认真审阅了全部书稿、给予了许多具体修改建议,为提高本书质量起了极大作用,使编者深受感动。

本书在编写过程中还参考了大量兄弟院校的教材以及其他相关书籍和文献,在此对相关的作者致以深深的感谢。

最后感谢南昌大学和高等教育出版社在本书出版过程中给予的大力支持。

由于编者学识和教学经验有限,书中不当之处和错误在所难免,敬请读者批评指正,不胜感激!

罗圆圆

2009年11月

# 物理量的名称、符号和单位(SI)一览表

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
长度	$l, L$	米	m
面积	$S, A$	平方米	$m^2$
体积, 容积	$V$	立方米	$m^3$
时间	$t$	秒	s
[平面]角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	弧度	rad
立体角	$\Omega$	球面度	sr
角速度	$\omega$	弧度每秒	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
角加速度	$\alpha$	弧度每二次方秒	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$
速度	$v, u, c$	米每秒	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
加速度	$a$	米每二次方秒	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
周期	$T$	秒	s
旋转频率	$n$	每秒	$\text{s}^{-1}$
频率	$\nu, f$	赫[兹]	Hz ( $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ )
角频率	$\omega$	弧度每秒	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
波长	$\lambda$	米	m
波数	$\sigma$	每米	$\text{m}^{-1}$
振幅	$A$	米	m
质量	$m$	千克(公斤)	kg
密度	$\rho$	千克每立方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
面密度	$\rho_s, \rho_A$	千克每平方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
线密度	$\rho_l$	千克每米	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
动量	$p$	} 千克米每秒	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
冲量	$J$		
动量矩, 角动量	$L$	千克二次方米每秒	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
转动惯量	$J$	千克二次方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
力	$F$	牛顿	N

续表

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
力矩	$M$	牛[顿]米	$N \cdot m$
压力,压强	$p$	帕[斯卡]	Pa
相[位]	$\varphi$	弧度	rad
功	$W, A$	} 焦[耳] 电子伏[特]	J eV
能[量]	$E$		
动能	$E_k, T$		
势能	$E_p, V$		
功率	$P$	瓦[特]	W
热力学温度	$T, \Theta$	开[尔文]	K
摄氏温度	$t, \theta$	摄氏度	$^{\circ}C$
热量	$Q$	焦[耳]	J
热导率(导热系数)	$\lambda, \kappa$	瓦[特]每米开[尔文]	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
热容[量]	$C$	焦[耳]每开[尔文]	$J \cdot K^{-1}$
比热[容]	$c$	焦[耳]每千克开[尔文]	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
摩尔质量	$M$	千克每摩尔	$kg \cdot mol^{-1}$
摩尔定压热容	$C_{p,m}$	} 焦[耳]每摩尔开 [尔文]	$J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$
摩尔定容热容	$C_{v,m}$		
内能	$U$	焦[耳]	J
熵	$S$	焦[耳]每开[尔文]	$J \cdot K^{-1}$
平均自由程	$\bar{\lambda}$	米	m
扩散系数	$D$	二次方米每秒	$m^2 \cdot s^{-1}$
电量	$Q, q$	库[仑]	C
电流	$I$	安[培]	A
电荷[体]密度	$\rho$	库[仑]每立方米	$C \cdot m^{-3}$
电荷面密度	$\sigma$	库[仑]每平方米	$C \cdot m^{-2}$
电荷线密度	$\lambda$	库[仑]每米	$C \cdot m^{-1}$
电场强度	$E$	伏[特]每米	$V \cdot m^{-1}$
电势	$V$	} 伏[特]	V
电势差,电压	$U$		
电动势	$\mathcal{E}$		
电位移	$D$	库[仑]每平方米	$C \cdot m^{-2}$

续表

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
电位移通量	$\Psi$	库[仑]	C
电容	$C$	法[拉]	F(1 F=1 C·V <sup>-1</sup> )
电容率(介电常数)	$\epsilon$	法[拉]每米	F·m <sup>-1</sup>
相对电容率 (相对介电常数)	$\epsilon_r$	—	1
电偶极矩	$p, p_e$	库[仑]米	C·m
电流密度	$J, S$	安[培]每平方米	A·m <sup>-2</sup>
磁场强度	$H$	安[培]每米	A·m <sup>-1</sup>
磁感应强度	$B$	特[斯拉]	T(1 T=1 Wb·m <sup>-2</sup> )
磁通量	$\Phi$	韦[伯]	Wb(1 Wb=1 V·s)
自感	$L$	} 亨[利]	H(1 H=1 Wb·A <sup>-1</sup> )
互感	$M$		
磁导率	$\mu$	亨[利]每米	H·m <sup>-1</sup>
相对磁导率	$\mu_r$	—	1
磁矩	$m$	安[培]平方米	A·m <sup>2</sup>
电磁能密度	$w$	焦[耳]每立方米	J·m <sup>-3</sup>
坡印廷矢量	$S$	瓦[特]每平方米	W·m <sup>-2</sup>
[直流]电阻	$R$	欧[姆]	$\Omega$ (1 $\Omega$ =1 V·A <sup>-1</sup> )
电阻率	$\rho$	欧[姆]米	$\Omega$ ·m
光强	$I$	瓦[特]每平方米	W·m <sup>-2</sup>
折射率	$n$	—	1
发光强度	$I$	坎[德拉]	cd
辐[射]出[射]度	$M$	} 瓦[特]每平方米	W·m <sup>-2</sup>
辐[射]照度	$I$		
声强级	$L_I$	分贝 <sup>①</sup>	dB
核的结合能	$E_B$	焦[耳]	J
半衰期	$T_{1/2}$	秒	s

① 分贝是可与 SI 单位并用的我国的法定计量单位。



# 目 录

<b>第一章 质点运动学</b> .....	1
§ 1.1 质点空间位置的描述 .....	1
§ 1.2 位移·速度 .....	5
§ 1.3 加速度 .....	10
§ 1.4 圆周运动 .....	15
§ 1.5 相对运动 .....	21
习题 .....	23
<b>第二章 牛顿运动定律</b> .....	27
§ 2.1 牛顿运动定律 .....	27
§ 2.2 力学中常见的几种力 .....	31
§ 2.3 牛顿运动定律的应用 .....	33
习题 .....	37
<b>第三章 动量守恒</b> .....	41
§ 3.1 冲量 动量定理 .....	41
§ 3.2 质点系动量定理 .....	44
§ 3.3 质点系动量守恒定律 .....	47
* § 3.4 质心 质心运动定理 .....	51
习题 .....	56
<b>第四章 能量守恒</b> .....	59
§ 4.1 功 保守力的功 .....	59
§ 4.2 动能定理 .....	65
§ 4.3 势能 势能曲线 .....	70
§ 4.4 机械能守恒定律 能量守恒定律 .....	75
§ 4.5 碰撞问题 .....	81
习题 .....	84
科学家介绍 牛顿 .....	88
<b>第五章 刚体力学基础</b> .....	91
§ 5.1 刚体的基本运动 .....	91
§ 5.2 力矩 转动定律 .....	95

§ 5.3	刚体定轴转动的动能定理 .....	101
§ 5.4	角动量 角动量守恒定律 .....	105
* § 5.5	旋进 回转效应 .....	113
	习题 .....	115
<b>第六章</b>	<b>真空中的静电场</b> .....	<b>120</b>
§ 6.1	库仑定律 .....	120
§ 6.2	电场强度 .....	124
§ 6.3	电场强度通量 高斯定理 .....	135
§ 6.4	静电场的环路定理 电势 .....	144
§ 6.5	等势面 电势与场强的微分关系 .....	155
	习题 .....	158
<b>第七章</b>	<b>静电场中的导体和电介质</b> .....	<b>164</b>
§ 7.1	静电场中的导体 .....	164
§ 7.2	电容和电容器 .....	170
§ 7.3	静电场中的电介质 电介质的极化 .....	173
§ 7.4	有电介质时的高斯定理 电位移 .....	176
§ 7.5	静电场的能量 .....	179
	习题 .....	181
	科学家介绍 库仑 .....	185
<b>第八章</b>	<b>稳恒磁场</b> .....	<b>187</b>
§ 8.1	磁场 磁感应强度 .....	187
§ 8.2	毕奥-萨伐尔定律 .....	189
§ 8.3	磁场的高斯定理 .....	195
§ 8.4	安培环路定理 .....	197
§ 8.5	磁场对电流的作用 .....	201
§ 8.6	带电粒子在磁场中的运动 .....	209
§ 8.7	磁介质及其磁化特性 .....	217
§ 8.8	有磁介质时的安培环路定理 磁场强度 .....	222
	习题 .....	227
<b>第九章</b>	<b>变化的电磁场</b> .....	<b>235</b>
§ 9.1	电源 电动势 .....	235
§ 9.2	电磁感应的基本规律 .....	237
§ 9.3	动生电动势 .....	241
§ 9.4	感生电动势 感生电场 .....	245
§ 9.5	自感和互感 .....	252

---

§ 9.6 磁场的能量 .....	258
§ 9.7 位移电流 麦克斯韦电磁场方程组 .....	261
§ 9.8 平面电磁波 电磁波的能流密度 .....	266
习题 .....	268
科学家介绍 麦克斯韦 .....	277
习题参考答案 .....	278
附录 I 国际单位制 (SI) .....	285
附录 II 基本物理常量 .....	288

# 第一章

## 质点运动学

力学是研究机械运动规律的学科. 机械运动是指物体在空间的位置随时间变化, 或者一个物体内部各部分之间的相对位置随时间变化, 它是物质运动的最简单、最基本和最普遍的运动形式. 由于物质运动的所有形式中都包含机械运动, 因而力学成为物理学和许多工程技术学科的基础.

本书的力学部分首先讨论质点运动学和动力学, 然后讨论刚体的平动和绕定轴转动的运动学和动力学.

从几何角度研究物体在空间位置随时间变化的规律而不涉及引起这种变化的原因, 力学这一部分内容称为运动学. 本章首先介绍质点、参考系和坐标系的概念, 进而定义描述质点机械运动的物理量——位置矢量、位移、速度和加速度, 并简单介绍相对运动.

### § 1.1 质点空间位置的描述

#### 一、质点

任何物体都有一定形状和大小, 一般物体在运动时, 其上各点的运动状态也各不相同, 例如物体运动时可以旋转或形变, 因此, 要精确地描述实际物体的运动状态不是一件容易的事. 但在一定条件下, 物体上各点运动状态的差异对于所研究的问题影响甚微, 以致可以忽略不计. 我们可以把这样的物体抽象为不计形状和大小, 而仅具有一定质量的几何点, 即质点.

事实上在某些问题中, 我们把研究的物体抽象为质点, 与实际情况相差无几. 当一个物体的线度远小于它运动的空间范围时, 它的转动和形变在所研究的问题中就完全不重要, 可将物体视为质点. 例如, 研究地球绕太阳公转时, 日地之间的

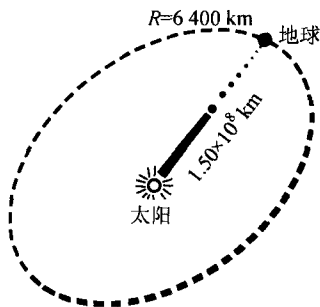


图 1.1

距离(约  $1.5 \times 10^8$  km),远远大于地球的直径,如图 1.1,地球上任意两点的距离与地球到太阳的距离相比是微不足道的,所以在研究地球绕太阳公转中,完全不必考虑地球上各点运动状态的差别,而将地球视为质点.但在研究地球自转或潮汐问题时,就不能把地球视为质点.即使物体很小,如分子、原子等,如果研究问题涉及它的内部结构,也不能把它视为质点.另外,物体做平动时,其上各点运动情况完全相同,可用物体上任一点(一般取物体的质心)的运动表示物体的运动,将平动物体视为质点.由上可见,质点模型是在一定条件下实际物体的抽象,一个物体能否被视为质点是有条件的、相对的,应根据研究问题的性质来决定.

我们将物体视为质点,对实际问题进行抽象化处理,突出问题的本质因素,忽略次要因素,从而使所研究的问题简化,以便从理论上去研究它,找出其遵循的规律.这种被抽象了的模型称为**理想模型**,质点就是实际物体的理想模型,后面我们还会建立刚体、理想流体、点电荷、理想气体等理想模型,建立理想模型在处理实际问题中是很有意义的科学方法.

## 二、参考系和坐标系

自然界中一切物质都处在永恒不息的运动变化之中,大到天体,如地球、太阳、星系等,小到分子、原子、电子等微观粒子.这一切说明,运动作为物质存在的形式,也和物质本身一样是客观存在的.这就是**运动的绝对性或普遍性**.

由于物质运动的绝对性,在描述一个具体物体运动时,必须选定另外一个物体或几个相对静止的物体系作为参考,被选作参考的物体或物体系称为**参考系**,物体的运动就是相对参考系的运动,对于同一个物体的运动,选择不同的参考系,描述的运动图像和结果就不同,例如在匀速行驶的车上的物体的自由落体运动,在车上的观察者看到的是直线运动,而在地面上看是抛物线运动,这就是**运动描述的相对性**.

在运动学中,要描述物体的运动,参考系是必须的,然而参考系的选择,原则上可以是任意的,主要根据问题的性质和研究问题的方便而定.例如研究地面上物体的运动,一般以地面或相对地面静止的物体作参考系时处理问题较为方便;而在描述太阳系中行星运动时,选择太阳作参考系比较方便.

为了定量描述物体相对于参考系的运动,还需要建立固定在参考系中的**坐标系**.因此,坐标系是参考系的数学抽象.常用的是固定在参考系上的直角坐标系,根据问题的需要,也可选用其他坐标系,如极坐标系、球面坐标系或柱面坐标系等.如果已知物体的运动轨迹,选用自然坐标系常常是便利的.

## 三、确定质点空间位置的方法

为了描述质点在空间的运动,首先要确定质点在任一时刻的位置,通常有以

下几种方法.

### 1. 坐标法

在选取的参考系上建立如图 1.2 所示的三维直角坐标系  $Oxyz$ , 设某时刻质点运动到  $P$  点, 这样,  $P$  点在空间的位置就可用直角坐标  $(x, y, z)$  来表示.

如果质点  $P$  沿某一平面运动, 则可在该平面建立二维直角坐标系  $Oxy$ , 质点位置只需两个坐标  $(x, y)$  来确定, 如果质点仅沿某一直线运动, 取该直线为  $Ox$  轴, 质点位置只需一个坐标  $x$  就可确定了.

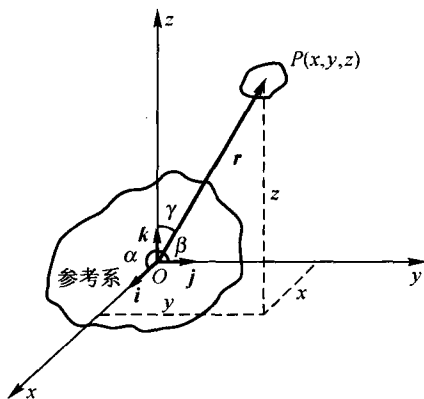


图 1.2

### 2. 位矢法

质点的位置还可以用一个矢量来确定, 由原点  $O$  到质点  $P$  作有向线段  $\overrightarrow{OP}$ , 如图 1.2 所示, 有向线段的长度为质点

到原点的距离, 方向规定为由坐标原点指向质点所在位置  $P$  点,  $\overrightarrow{OP}$  被称质点的位置矢量, 简称位矢, 记为  $\boldsymbol{r}$ , 显然  $\boldsymbol{r} = \overrightarrow{OP}$ , 且有

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \quad (1.1)$$

式中  $\boldsymbol{i}$ 、 $\boldsymbol{j}$ 、 $\boldsymbol{k}$  分别为  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴上的单位矢量.

$\boldsymbol{r}$  的大小为

$$|\boldsymbol{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1.2)$$

$\boldsymbol{r}$  的方向余弦为

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r} \quad (1.3)$$

位置矢量有三个基本特性: (1) 矢量性,  $\boldsymbol{r}$  是矢量, 既有大小, 又有方向; (2) 瞬时性, 质点空间位置随时间变化, 质点不同时刻的位置对应不同时刻的位矢; (3) 相对性, 选择不同的坐标系, 描述质点的位矢也不同, 可见质点的位矢与坐标系的选择有关.

### 3. 自然法

如果质点相对参考系的运动轨迹是已知的, 例如, 火车(视为质点)相对于地面的轨迹(路轨)是已知的, 这种情况下, 采用下述自然法描述其运动状态较方便.

在运动质点的轨迹曲线上任取一点作为坐标原点  $O$  (见图 1.3), 规定从  $O$

点起沿轨迹的某一方向(例如向右)量得轨迹的长度  $s$  取正值,这个方向称为自然坐标的正向,反之为负向, $s$  取负值.

这样,曲线长度  $s$  ( $s$  为标量)可唯一确定质点在空间的位置,并称  $s$  为质点  $P$  的自然坐标.任一时刻,在质点所在处,取两个互相垂直的位置矢量  $e_t$  和  $e_n$ ,  $e_t$  沿轨迹的切线,其指向与自然坐标  $s$  的

正向一致;  $e_n$  沿轨迹法线与  $e_t$  垂直,指向轨迹凹的一侧,  $e_t$  与  $e_n$  的大小恒等于 1,但它们的方向随质点在轨迹上位置变化而变化,  $e_t$  称为切向单位矢量,  $e_n$  称为法向单位矢量.

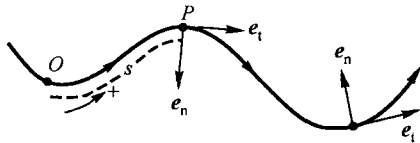


图 1.3

#### 四、质点的运动学方程

当质点相对于参考系运动时,用来确定质点位置的位矢  $r$ ,或直角坐标  $(x, y, z)$ ,或自然坐标  $s$  等都将随时间  $t$  变化,都是  $t$  的单值连续函数,即

$$r = r(t) \quad (1.4)$$

或

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1.5)$$

或

$$s = s(t) \quad (1.6)$$

方程(1.4)式、(1.5)式和(1.6)式详尽地描述了质点相对于参考系的运动情况.它们都包含质点运动的全部信息,被称为质点的运动学方程.已知质点的运动学方程,就能确定任一时刻质点的位置和速度,从而确定质点的运动状态.所以说,运动学方程详尽地描述了质点相对于参考系的运动情况.质点运动学的一个重要任务就是根据具体的已知条件,建立质点的运动学方程.

运动质点在空间所经过的路径称为质点的轨迹,即位矢的矢端在空间移动的曲线,从方程(1.5)中消去时间  $t$ ,可得轨迹方程.

**[例 1.1]** 一质点做半径为  $r$  的匀速率圆周运动,角速度为  $\omega$ ,如图 1.4 所示,试分别写出用直角坐标、位矢、自然坐标表示的质点运动学方程.

**[解]** 以圆心  $O$  为原点建立直角坐标系  $Oxy$ ,取质点经过  $x$  轴上  $O'$  点的时刻为计时起始时刻,即

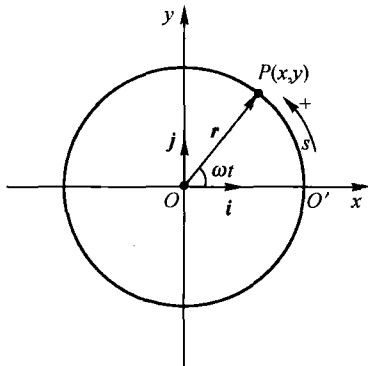


图 1.4

$t=0$ , 设  $t$  时刻质点位于  $P$  点,  $P$  点的直角坐标为  $(x, y)$ , 见图 1.4. 由题设条件, 质点做匀速率圆周运动,  $\angle O'OP = \omega t$ , 用直角坐标表示的质点运动学方程为

$$x = r \cos \omega t$$

$$y = r \sin \omega t$$

从圆心  $O$  向  $P$  点作位矢  $r$ , 用位矢表示的质点运动学方程为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} = r \cos \omega t \mathbf{i} + r \sin \omega t \mathbf{j}$$

取轨迹与  $x$  轴的交点  $O'$  为自然坐标原点, 以逆时针方向为自然坐标的正向, 用自然法表示的质点运动学方程为

$$s = r\omega t$$

可见, 为了正确地写出质点运动学方程, 必须首先选定参考系, 并建立坐标系, 根据题设条件, 找出质点坐标随时间变化的函数关系即可.

## 复习思考题

1.1 有人说人造地球卫星的轨道形状近似圆形, 他是以什么为参考系? 若以日心为参考系, 人造地球卫星的运动轨道又是怎样的?

1.2 什么是质点的运动学方程? 你学过几种形式的质点运动学方程?

1.3 一质点做匀速率圆周运动, 圆半径为  $R$ , 角速度为  $\omega$ , 试分别写出用直角坐标、位矢、自然坐标表示的质点运动学方程, 并写出直角坐标系下质点的轨迹方程.

1.4 质点的轨迹方程与它的运动学方程有何区别?

## § 1.2 位移 速度

### 一、位移

质点运动时, 其位置将随时间变化. 为了描述质点的位置变化, 我们引入一个新的物理量——位移. 如图 1.5 所示, 设曲线  $LM$  是质点运动轨道的一部分, 在时刻  $t$ , 质点位于  $P$  点, 位矢为  $\mathbf{r}(t)$ ; 而经时间  $\Delta t$  后, 质点到达  $Q$  点, 位矢为  $\mathbf{r}(t+\Delta t)$ . 在这  $\Delta t$  时间内, 质点位置的变化可用从起点  $P$  到终点  $Q$  的有向线段  $\overrightarrow{PQ}$  来表示, 称为质点在该  $\Delta t$  时间内的位移.

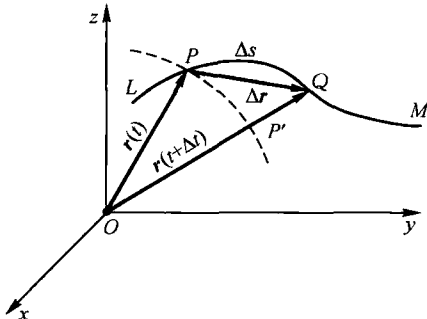


图 1.5

显然, 位移是矢量, 它反映在一段时间内质点始末位置的变化. 以位移  $\Delta \mathbf{r}$



为例,它既有大小,由 $|\Delta r|$ 表示 $PQ$ 间的距离;又有方向,表示 $Q$ 点相对于 $P$ 点的方位.由图 1.5 可知位移 $\Delta r$ 与位矢 $r$ 的关系是

$$\overrightarrow{PQ} = r(t+\Delta t) - r(t) = \Delta r \quad (1.7)$$

即质点在某段时间内的位移等于同一时间内位矢的增量.而路程表示质点在一段时间内实际经过的那段运动轨迹的路径长度,是标量.在图 1.5 中,质点在 $t-t+\Delta t$ 时间内,质点从 $P$ 点运动到 $Q$ 点的过程中走过路程即为弧线 $\widehat{PQ}$ 的长度 $\Delta s$ ,一般 $|\Delta r| \neq \Delta s$ .例如质点沿圆周运动一圈回到原处时,它在这段时间的位移为零,而经过的路程是这个圆的周长.但当 $\Delta t \rightarrow 0$ , $|\Delta r| \rightarrow 0$ 时,则 $|\Delta r| = \Delta s$ ,而 $\Delta r$ 的方向趋近于 $P$ 点的切线方向.

在图 1.5 中 $P$ 、 $Q$ 两点的位置矢量分别为

$$r(t) = x_1 i + y_1 j + z_1 k$$

$$r(t+\Delta t) = x_2 i + y_2 j + z_2 k$$

因此,质点由 $P$ 运动到 $Q$ 的位移 $\Delta r$ 为

$$\Delta r = r(t+\Delta t) - r(t) = (x_2 - x_1) i + (y_2 - y_1) j + (z_2 - z_1) k \quad (1.8)$$

位移的大小为

$$|\Delta r| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (1.9)$$

其方向可由方向余弦表示为

$$\cos \alpha = \frac{x_2 - x_1}{|\Delta r|}, \quad \cos \beta = \frac{y_2 - y_1}{|\Delta r|}, \quad \cos \gamma = \frac{z_2 - z_1}{|\Delta r|} \quad (1.10)$$

## 二、速度

研究质点的运动,不仅需要知道质点的位矢和位移,还有必要知道位置变化的快慢程度和变化的方向,速度就是用来描述质点运动快慢和方向的物理量.

### 1. 平均速度

如图 1.5 所示,设质点沿轨道 $LM$ 做曲线运动,它在 $t$ 到 $t+\Delta t$ 这段时间内的位移是 $\Delta r$ ,那么,位移 $\Delta r$ 与发生这段位移所经历的时间 $\Delta t$ 的比值,称为质点在这段时间内的平均速度,用 $\bar{v}$ 表示.即

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{r(t+\Delta t) - r(t)}{\Delta t}$$

显然,平均速度是矢量,它的方向与位移 $\Delta r$ 的方向相同,而且与所取的时间间隔有关.用 $\bar{v}$ 来描写 $t$ 时刻附近质点运动的快慢和方向只能是近似的,比较粗糙的.因为 $\Delta r$ 与所取时刻 $t$ 及时间间隔 $\Delta t$ 有关, $\bar{v}$ 给出的只是平均变化率.

在描述质点运动时,也常采用“速率”这个物理量.我们把路程 $\Delta s$ 与经历这段路程的时间 $\Delta t$ 的比值 $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ 称为质点在这段时间内的平均速率.平均速率是标