

大学物理

江西高校出版社

大学物理

(上册·修订版)

主 编 罗圆圆
副主编 吴 评
 罗自树
 骆成洪
 陈早生
主 审 余守宪

江西高校出版社

内容提要

《大学物理》是根据高等学校大学物理课程教学基本要求,吸取了国内外同类教材的优点,在总结编者长期教学经验的基础上编写的.全书分上、下两册.上册包括力学、狭义相对论力学基础、电磁学;下册包括机械振动和电磁振荡、机械波基础、波动光学、量子力学基础、统计物理基础、热力学基础及现代工程技术中的物理基础专题.

本书可作高等工业院校各专业的大学物理课程教材,也可作综合性大学和高等师范院校非物理类专业、各类成人高校、职工大学物理课程的教材或教学参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理(修订版)·上册/罗圆圆主编. —南昌:江西高校出版社, 2007.1
ISBN 978-7-81033-803-5

I. 大… II. 罗… III. 物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006) 第 164594 号

江西高校出版社出版发行

(江西省南昌市洪都北大道 96 号)

邮编:330046 电话:(0791)8512093,8504319

江西太元科技有限公司照排部照排

江西教育印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

2007 年 1 月第 5 版 2007 年 12 月第 5 版第 11 次印刷

787mm×960mm 1/16 24.125 印张 450 千字

ISBN 978-7-81033-803-5

定价:27.80 元

(江西高校版图书如有印刷、装订错误,请随时向承印厂调换)

修订版前言

本教材自 1998 年面世以来,已出第四版,广大读者反映良好。本教材获江西省普通高等学校第一届优秀教材一等奖。

根据教学形势的发展,我们对原来的《大学物理》进行了必要的修订。修订中注意了保持原有的风格和特点,包括基本概念、基本规律突出,物理图像清晰,便于教,便于学,以及注重培养和提高读者的科学素质和能力。在此基础上,对教学内容作了部分调整,并在不过多增加教学负担的情况下,多介绍一些新知识,扩大读者视野,提高读者综合科学素质。具体做法如下:

(1)改选了部分内容和习题,使本教材的内容体系更加“工程化”、“现代化”。

(2)增加了“现代工程技术的物理基础专题选讲”部分。

(3)增写了部分科学家简介及部分阅读材料。

参加本教材修订的单位和人员有:南昌大学罗圆圆、刘三秋、骆成洪、吴评、廖清华、辛勇、刘笑兰;南昌航空工业学院罗自树、龚勇清;江西理工大学张流生;华东交通大学陈早生、黄世益、任才贵、邱万英;东华理工学院陆俊发、饶瑞昌;景德镇陶瓷学院胡跃辉;江西农业大学李萍;南昌工程学院王锋。

在本教材修订工作中,得到了北方交通大学余守宪教授、林铁生教授以及西安交通大学吴百诗教授、湖北工学院廖耀发教授的大力支持和帮助。林铁生教授为本教材的修订提出了许多宝贵的意见,并认真地审阅了全部书稿,提出了许多具体修改意见,为提高本教材质量起了极大作用。另外还得到各参编学校的领导及老师的大力支持,在此一并致谢。

由于编写水平和教学经验有限,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!

编者

2006 年 12 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	Ω	球面度	sr
角速度	ω	弧度每秒	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
角加速度	β	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
转速	n	每秒	s^{-1}
频率	ν, f	赫[兹]	Hz(1Hz = 1s^{-1})
角频率	ω	弧度每秒	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
波长	λ	米	m
波数	$\sigma, \bar{\nu}$	每米	m^{-1}
振幅	A	米	m
质量	m	千克(公斤)	kg
密度	ρ	千克每立方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
面密度	ρ_s, ρ_A	千克每平方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
线密度	ρ_l	千克每米	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
动量	P, p	千克米每秒	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
冲量	I		
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	I, J	千克二次方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
力	F, f	牛顿	N
力矩	M	牛[顿]米	$\text{N} \cdot \text{m}$
压力, 压强	p	帕[斯卡]	Pa

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
相[位]	φ	弧度	rad
功	W, A	} 焦[耳] 电子伏[特]	J eV
能[量]	E, W		
动能	E_k, T		
势能	E_p, V		
功率	P	瓦[特]	W
热力学温度	$T, \textcircled{H}$	开[尔文]	K
摄氏温度	t, θ	摄氏度	℃
热量	Q	焦[耳]	J
热导率(导热系数)	k, λ	瓦[特]每米开[尔文]	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
热容[量]	C	焦[耳]每开[尔文]	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
比热[容]	c	焦[耳]每千克开[尔文]	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
摩尔质量	M	千克每摩尔	$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
定压摩尔热容	C_p	} 焦[耳]每摩尔开 [尔文]	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
定体摩尔热容	C_v		
内能	U, E	焦[耳]	J
熵	S	焦[耳]每开[尔文]	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
平均自由程	$\bar{\lambda}$	米	m
扩散系数	D	二次方米每秒	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
电量	Q, q	库[仑]	C
电流	I, i	安[培]	A
电荷密度	ρ	库[仑]每立方米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-3}$
电荷面密度	σ	库[仑]每平方米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$
电荷线密度	λ	库[仑]每米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$
电场强度	E	伏[特]每米	$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$
电势	U, V	} 伏[特]	V
电势差, 电压	$U_{12}, U_1 - U_2$		
电动势	$\mathcal{E}$		
电位移	D	库[仑]每平方米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
电位移通量	Ψ, Φ_e	库[仑]	C
电容	C	法[拉]	F(1F=1C·V ⁻¹)
电容率(介电常数)	ϵ	法[拉]每米	F·m ⁻¹
相对电容率 (相对介电常数)	ϵ_r	无量纲	
电[偶极]矩	p, p_e	库[仑]米	C·m
电流密度	j, δ	安[培]每平方米	A·m ⁻²
磁场强度	H	安[培]每米	A·m ⁻¹
磁感应强度	B	特[斯拉]	T(1T=1Wb·m ⁻²)
磁通量	Φ	韦[伯]	Wb(1Wb=1V·s)
自感	L	亨[利]	H(1H=1Wb·A ⁻¹)
互感	M		
磁导率	μ	亨[利]每米	H·m ⁻¹
磁矩	m, p_m	安[培]平方米	A·m ²
电磁能密度	w	焦[耳]每立方米	J·m ⁻³
坡印廷矢量	S	瓦[特]每平方米	W·m ⁻²
[直流]电阻	R	欧[姆]	Ω (1 Ω =1V·A ⁻¹)
电阻率	ρ	欧[姆]米	$\Omega\cdot m$
光强	I	瓦[特]每平方米	W·m ⁻²
相对磁导率	μ_r	无量纲	
折射率	n	无量纲	
发光强度	I	坎[德拉]	cd
辐[射]出[射]度	M	瓦[特]每平方米	W·m ⁻²
辐[射]照度	I		
声强级	L_I	分贝	dB
核的结合能	E_B	焦[耳]	J
半衰期	τ	秒	s

目 录

修订版前言	(1)
物理量的名称、符号和单位(SI)一览表	(1)
第一章 机械运动的描述	(1)
§ 1.1 机械运动的基本特征及其描述方法	(1)
§ 1.2 位置矢量 质点的运动学方程	(3)
§ 1.3 位移 速度	(6)
§ 1.4 加速度	(13)
§ 1.5 圆周运动的角量描述	(21)
§ 1.6 相对运动	(25)
§ 1.7 刚体的基本运动	(26)
习 题	(30)
第二章 动量守恒	(35)
§ 2.1 惯性	(35)
§ 2.2 动量守恒定律	(37)
§ 2.3 力 冲量 动量定理	(42)
§ 2.4 牛顿运动定律及其应用	(51)
§ 2.5 非惯性系 惯性力	(59)
* § 2.6 质心 质心运动定理	(64)
习 题	(69)
第三章 角动量守恒	(76)
§ 3.1 质点的角动量守恒定律	(76)
§ 3.2 质点系的角动量守恒定律	(82)
§ 3.3 定轴转动刚体的角动量 转动惯量	(85)
§ 3.4 刚体定轴转动的角动量守恒定律	(90)
* § 3.5 旋进 回转效应	(96)
习 题	(98)

第四章 能量守恒	(103)
§ 4.1 功 保守力的功 力矩的功	(103)
§ 4.2 动能定理	(110)
§ 4.3 势能 * 势能曲线	(117)
§ 4.4 机械能守恒定律 能量守恒定律	(123)
§ 4.5 碰撞问题	(129)
§ 4.6 对称性与守恒定律	(132)
习 题	(136)
第五章 狭义相对论力学基础	(145)
§ 5.1 力学相对性原理 伽利略变换	(145)
§ 5.2 狭义相对论基本原理 洛仑兹坐标变换式	(148)
§ 5.3 狭义相对论的时空观	(155)
§ 5.4 狭义相对论质点动力学	(161)
* § 5.5 广义相对论简介	(167)
习 题	(172)
第六章 真空中的静电场	(175)
§ 6.1 库仑定律	(175)
§ 6.2 电场强度	(179)
§ 6.3 电通量 高斯定理	(190)
§ 6.4 静电场的环路定理 电势	(200)
§ 6.5 等势面 * 电势与场强的微分关系	(211)
习 题	(215)
第七章 静电场中的导体和电介质	(221)
§ 7.1 静电场中的导体	(221)
§ 7.2 电容和电容器	(227)
§ 7.3 静电场中的电介质 电介质的极化	(230)
§ 7.4 有介质时的高斯定理 电位移矢量 $\mathbf{D}$	(234)
§ 7.5 静电场的能量	(236)
习 题	(239)
第八章 稳恒磁场	(247)

§ 8.1 电流	(247)
§ 8.2 磁场 磁感应强度	(251)
§ 8.3 毕奥—萨伐尔定律及其应用	(254)
§ 8.4 磁场的高斯定理和安培环路定理	(260)
§ 8.5 磁场对电流的作用	(266)
§ 8.6 带电粒子在磁场中的运动	(274)
§ 8.7 磁介质及其磁化特性	(283)
§ 8.8 有磁介质时的安培环路定理 磁场强度	(289)
习 题	(294)
 第九章 变化的电磁场	 (304)
§ 9.1 电源 电动势	(304)
§ 9.2 电磁感应的基本规律	(306)
§ 9.3 动生电动势	(310)
§ 9.4 感生电动势 感生电场	(315)
§ 9.5 自感和互感	(323)
§ 9.6 磁场的能量	(329)
§ 9.7 位移电流 麦克斯韦电磁场方程组	(332)
§ 9.8 平面电磁波 电磁波的能流密度	(338)
习 题	(340)
 附录 I 矢量简介	 (352)
附录 II 国际单位制(SI)	(363)
附录 III 基本物理常量	(364)
习题参考答案	(366)
参考书目	(373)

机械运动,是指物体在空间的位置随时间变化,是物质运动的最简单、最基本和最普遍的运动形式。

力学的研究对象是机械运动.力学是一门研究机械运动的规律及其应用的学科。

以牛顿运动定律为基础的力学理论称为牛顿力学,又称经典力学.经典力学有着严谨的理论体系和完备的研究方法;它提出的许多物理概念和物理原理有着广泛的适用性.这就使得力学成为物理学和许多工程技术的理论基础。

力学首先讨论机械运动的描述方法,然后从现代物理的认识角度讨论表征机械运动的三个基本量——动量、角动量和动能,以及对应的三个普适的守恒定律——动量守恒定律、角动量守恒定律和能量守恒定律,最后介绍狭义相对论力学基础。

第一章 机械运动的描述

机械运动的描述就是从几何角度研究物体在空间位置随时间的变化规律,而不涉及引起这种变化的原因.力学的这一部分称为运动学.本章首先讨论机械运动的基本特征及其描述方法,引入参考系、坐标系、质点和刚体的概念,进而定义描述机械运动的物理量——位矢、位移、速度和加速度;在此基础上,讨论质点和刚体的简单的运动学问题。

§1.1 机械运动的基本特征及其描述方法

描写任何事物,都必须抓住其基本特征,描写机械运动亦不例外.那末,机械运动的基本特征是什么呢?那就是:运动的绝对性和运动描述的相对性,运动的瞬时性和运动的矢量性。

下面阐述运动的这些基本特征及其相应的描述方法。

一 运动的绝对性和描述的相对性

自然界的一切物质都处在永恒不息的运动变化之中,即使从简单的机械运动来看也是如此.宇宙在膨胀,星系在远离地球而去,地球有自转和公转,……所有这一切说明,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.这便是所谓运动的绝对性和普遍性。

由于运动的绝对性,在描写一个具体物体的运动时,必须先选定另一个物体作为参考,而运动的描写就是相对于这个参考物体而言的.同一物体的运动,可以选作参考的物体很多,于是用不同的物体作参考来描写同一物体的运动,所获得的图象和结果就不同.这个事实就称为**运动描述的相对性**,简称**运动的相对性**.例如,在车床上车削一个圆柱体工件时,车刀刀刃的运动,以车床作基准时是直线运动,以旋转的工件作基准时就是螺旋线运动了.

二 参考系和坐标系

描写一个物体的运动时,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于参考系的运动.因此,我们在讨论任何力学问题时,都必须明确指出所选定的参考系.

在运动学中,参考系的选择,原则上可以是任意的,主要依问题的特点和研究的方便而定.例如,研究地面上物体的运动,一般是以地面和相对于地面静止的物体作参考系较方便;在描述太阳系中行星的运动时,自然是选太阳作参考系方便.

为了从数量上精确地描述物体的运动,必须在参考系上选择适当的坐标系.因此,坐标系是参考系的数学抽象.

常用的坐标系是直角坐标系.根据问题的需要,我们也可以选用其他的坐标系,如极坐标系,自然坐标系等.假如知道了物体的运动轨道,选用自然坐标系常常是便利的.

三 运动的瞬时性和矢量性

一般说来,物体的运动情况是随时间不断变化的,这就是**运动的瞬时性**.因此,描述运动的物理量,如速度、加速度等都是以时间为自变量的函数.

运动的矢量性有两层意思:一是运动的方向性,因此描述物体运动的许多物理量必须用矢量来表示;二是运动可以叠加,而且符合矢量的加法法则.运动叠加原理就是矢量叠加性的具体体现.

四 质点

任何物体都有一定的形状和大小,而且一般说来,物体在运动时,其上各点的运动状态也各不相同;在运动中,物体同时还可旋转和变形,因此,要精确地描写实际物体的运动也不是一件容易的事.根据人们认识事物的一般方法,首先总是从最简单的情况出发,然后由简单到复杂,由局部到全面,逐步地深化.研究物体的运动也不例外.在一定的条件下,为了使问题简化,我们可以假设所

研究的对象是一个可以不计其形状和大小且具有一定质量的点,这样的理想模型称为质点.

质点模型是在一定条件下实际物体的抽象.一个物体是否可以视为质点,是有条件的、相对的,应根据所研究的问题的性质来决定.

如果一个物体的尺度与它运动的空间范围相比很小,它的转动和形变在所研究的问题中完全不重要时,可将它视为质点.例如,研究地球绕太阳公转时,日地之间的距离($1.50 \times 10^8 \text{ km}$)远大于地球的直径,如图 1.1,地球上各点之间的距离与它们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可将地球视为质点.而在研究地球的自转和潮汐问题时,就不能把地球看成质点.即使物体很小,像微粒、分子、原子等,如果问题涉及到它们的转动和内部结构,也不能把它们视为质点.

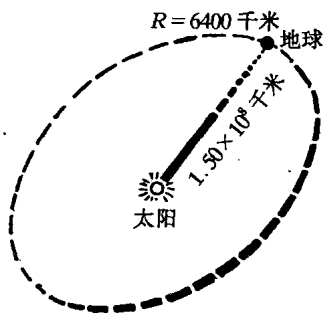


图 1.1

综上所述,质点乃是力学中关于物体的一个简化的理想模型,是对实际物体的有条件的抽象.在物理学的研究中,乃至一切自然科学的研究中,为了简化问题,常把复杂的具体的研究对象加以去粗取精、去伪存真的科学的改造,而代之以理想模型,以便抓住主要矛盾,忽略次要因素,找出其中的规律,然后再进一步研究较复杂的实际问题,这是一个卓有成效的重要的科学研究方法.

质点的运动是机械运动中最简单最基本的运动形式.一个实际物体可以看成是由许多质点组成的,因此,分析质点的运动是研究实际物体复杂运动的基础.

复习思考题

- 1.1 机械运动的基本特征是什么?为此必须采用哪些相应的描述方法?
- 1.2 考察一名长跑运动员的运动,在什么情况下可将他视为质点?又在什么情况下不可将他视为质点?
- 1.3 说人造地球卫星的轨道形状近似圆形,是以什么为参考系?若以日心参考系,人造地球卫星的运动轨道又是怎样的?

§1.2 位置矢量 质点的运动学方程

为了具体描写一个质点的运动,我们引入位置矢量、坐标、位移、速度和加

速度这四个物理量。

一 位置矢量 坐标

为了描写质点在空间的运动,首先要确定质点在任一时刻的位置.为此,应先选取一个参考系,并在其上建立一个坐标系.比如图 1.2 的三维直角坐标系 $oxyz$.

设某时刻质点运动到 P 点,这样,质点在坐标系中的位置可以由原点 O 向 P 点作一矢量 $\vec{r} = \vec{OP}$ 来表示,矢量 $\vec{r}$ 的大小和方向完全确定了质点相对于参考系的位置,称为位置矢量,简称位矢.当然,质点在 P 点的位置还可由 P 点的坐标 (x, y, z) 来确定.

由图 1.2 可知,质点在 P 点的直角坐标 (x, y, z) 也就是位矢 $\vec{r}$ 沿坐标轴 x, y, z 的投影.若用 i, j, k 分别表示沿这三个坐标轴正方向的单位矢量,则可将位矢 $\vec{r}$ 表示为

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

用 $|\vec{r}|$ 表示 $\vec{r}$ 的大小,即质点 P 离原点 O 的距离,则有

$$|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1.1a)$$

质点 P 相对于原点 O 的方位,即位矢 $\vec{r}$ 的方向可由三个方向余弦来确定

$$\cos\alpha = \frac{x}{|\vec{r}|}, \quad \cos\beta = \frac{y}{|\vec{r}|}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{|\vec{r}|} \quad (1.1b)$$

位矢 $\vec{r}$ 和坐标 (x, y, z) 都可用来描写运动质点的空间位置.当然,对于质点的一个确定位置,位矢 $\vec{r}$ 的大小和方位以及坐标的取值,都依赖于坐标系的选取,这反映了运动描述的相对性的特征.

二 自然坐标系

用坐标法确定质点的位置,当然不限于直角坐标系.根据问题的不同特点,也可以选用其他的坐标系.例如,质点作平面曲线运动时,也可选用平面极坐标系;如果已知质点运动的轨道,还可采用一种“自然坐标系”.以后将会看到,在自然坐标系下表述质点的速度和加速度特别方便和直观.

建立自然坐标系的方法如下:在已知的轨道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)量得的曲线长度 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

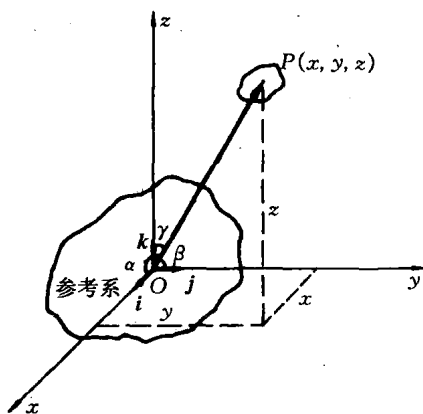


图 1.2

可唯一地确定质点在轨道上的位置,并称 s 为质点 P 的自然坐标.任一时刻,在质点所在处,取两个互相垂直的单位矢量 τ 和 n , τ 沿轨道切线,其指向与自然坐标 s 的正向一致; n 沿轨道法线,指向轨道的凹侧, τ 和 n 的大小恒等于 1,但它们的方向随质点在轨道上运动而改变. τ 称为切向单位矢量, n 称为法向单位矢量.

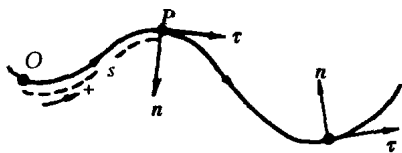


图 1.3

三 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 、直角坐标 (x, y, z) 以及自然坐标 s 等都将随时间 t 变化,都是 t 的单值连续函数,即

$$r = r(t). \quad (1.2)$$

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1.3)$$

以及

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

方程式(1.2), (1.3), (1.4) 详尽地描述了质点相对于参考系的运动情况,它们都包含有质点如何运动的全部信息,并称为质点的运动学方程.知道了运动学方程,就能确定任一时刻质点的位置和速度,从而确定了质点的运动状态.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要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.从方程(1.3)中消去时间 t ,可得到轨迹方程.

[例 1.1] 身高 l 的人夜间在一条笔直的马路上匀速行走,速率为 v_0 ,路灯距地面高度为 h ,如图 1.4 所示.求人影中头顶的运动学方程.

[解] 选地面为参考系,沿马路建立一维坐标 ax ,如图 1.4 所示.设 $t = 0$ 时人通过坐标原点 O ,任一时刻 t ,人行至 A 点, $OA = x_1 = v_0 t$,此时人头的影子位于 B 点的 x 处,则由几何关系可得

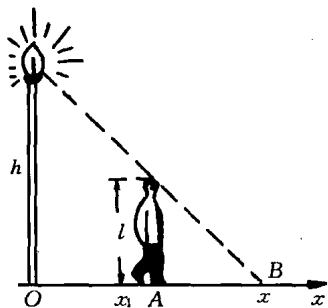


图 1.4

$$\frac{x}{h} = \frac{x - v_0 t}{l}$$

解上式,得

$$x = \frac{hv_0}{h-l}t$$

此即为人影中头顶的运动学方程. 可见,人影中头顶仍作匀速运动,但速率大于 v_0 .

[例 1.2] 一直尺 AB 的两端被限制在两条互相垂直的固定导槽上移动,如图 1.5 所示. 已知尺的倾角 φ 随时间变化,试证:尺上任一点 M 的轨迹为椭圆.

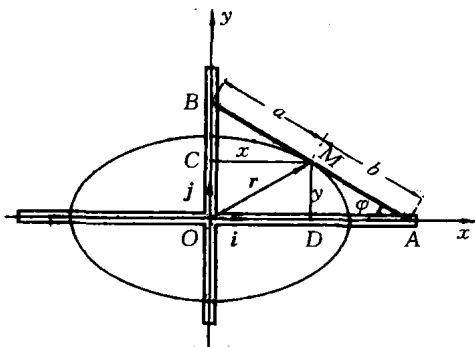


图 1.5

[解] 沿固定导槽作直角坐标系

oxy , 如图. 设 $AM = b$, $BM = a$, 则 M 点的运动学方程为

$$x = a \cos \varphi$$

$$y = b \sin \varphi$$

为求 M 点的轨迹, 从上述运动学方程中消去 φ , 从而消去时间参数 t , 可得

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

此为一椭圆的方程, 即尺上任一点 M 的轨迹是一椭圆, 椭圆的中心在坐标原点, 半轴长度分别为 a 、 b . 常见的椭圆规就是按照上述原理制成的.

复习思考题

1.4 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?

1.5 一质点作匀速圆周运动, 圆半径为 r , 角速度为 ω , 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.

1.6 质点的轨迹方程与它的运动学方程有何区别?

§ 1.3 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

一个新的物理量——位移矢量. 如图 1.6 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 Δt 后, 质点到达 Q 点, 位矢为 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$. 在这 Δt 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 Δt 时间内的位移.

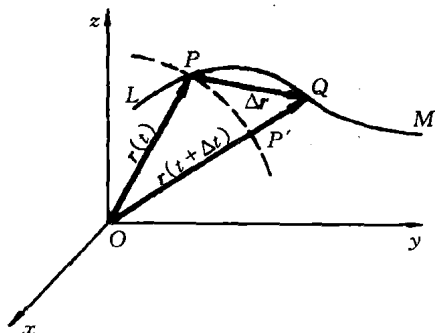


图 1.6

位移是矢量. 由图 1.6 可知, 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与位矢 $\mathbf{r}$ 的关系是

$$\overrightarrow{PQ} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) = \Delta \mathbf{r} \quad (1.5)$$

即质点在某段时间内的位移等于同一时间内位矢的增量.

显然, 位移与位矢是两个不同的概念. 位矢确定质点的空间位置, 而位移描述的是质点位置的变化. 对于相对静止的不同坐标系来说, 位矢与坐标原点的位置有关, 而位移只取决于质点的起点和终点的位置, 与坐标原点的位置无关.

另外, 还应注意位移和路程的区别. 首先, 位移是矢量, 它反映在一段时间内质点始末位置的变化, 并未给出质点是沿什么路径由起点运动到终点的; 而路程表示质点在一段时间内实际经过的那段运动轨道的长度, 是标量. 在图 1.6 中, 质点在 Δt 时间内从 P 点运动到 Q 点的过程中走过的路程即为弧线 PQ 的长度.

其次, 质点在某段有限时间 Δt 内的位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 一般也不等于这段时间内经过的路程. 这一点也是很显然的, 例如质点沿圆周运动一圈回到原处时, 它在这段时间内的位移为零, 而经过的路程却是这个圆的圆周长.

还要指出的是, 位移 $\Delta \mathbf{r}$ (即位矢增量) 的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 与位矢大小的增量 Δr 的区别. 在图 1.6 中, $|\Delta \mathbf{r}| = \overline{PQ}$, 而 $\Delta r = |\mathbf{r}(t + \Delta t)| - |\mathbf{r}(t)| = \overline{P'Q}$. 一般说来, $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta r$. 顺便指出, 对于大小和方向都随时间变化的任一矢量来说, 比如速度 $\mathbf{v}$ 和加速度 $\mathbf{a}$ 等, 这一结论也是正确的, 即某段时间 Δt 内矢量增量的大小 $|\Delta \mathbf{A}|$ 与同一时间内该矢量大小的增量 ΔA , 一般是不相等的.

二 速度

研究质点的运动, 不仅要知道质点空间位置的变化, 即不仅要知道质点的位移, 还有必要知道位置变化的快慢程度和变化方向. 速度就是用来描述质点运动的快慢和方向的物理量.