



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

C8版

张三慧 编著

大学物理学

上册

(第三版)

清华大学出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

张三慧 编著

C8版

大学物理学

上册

(第三版)

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是张三慧编著的《大学物理学》(第三版)的上册,讲述物理学基础理论的力学和电磁学部分。其中力学部分包括质点力学、刚体的转动;电磁学部分包括静止和运动电荷的电场,运动电荷和电流的磁场,介质中的电场和磁场,电磁感应,电磁波等。书中特别着重于守恒定律的讲解,也特别注意从微观上阐明物理现象及规律的本质。内容的选择上除了包括经典基本内容外,还注意适时插入现代物理概念与物理思想。

本书可作为高等院校的物理教材,也可以作为中学物理教师教学或其他读者自学的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册:C8版/张三慧编著. —3版. —北京:清华大学出版社,2017
ISBN 978-7-302-46761-8

I. ①大… II. ①张… 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(2017)第 048604 号

责任编辑:朱红莲

封面设计:傅瑞学

责任校对:王淑云

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm	印 张:16	字 数:388千字
版 次:1982年1月第1版	2017年5月第3版	印 次:2017年5月第1次印刷
印 数:1~3500		
定 价:35.00元		

产品编号:073945-01

前言

FOREWORD

这部《大学物理学》(第三版)C8版含力学篇、电磁学篇、热学篇、光学篇、相对论篇和量子物理篇,共6篇。

本书内容完全涵盖了2006年我国教育部发布的“非物理类理工学科大学物理课程基本要求”。书中各篇对物理学的基本概念与规律进行了正确明晰的讲解。讲解基本上都是以最基本的规律和概念为基础,推演出相应的概念与规律。笔者认为,在教学上应用这种演绎逻辑更便于学生从整体上理解和掌握物理课程的内容。

力学篇是以牛顿定律为基础展开的。除了直接应用牛顿定律对问题进行动力学分析外,还引入了动量、角动量、能量等概念,并着重讲解相应的守恒定律及其应用。除惯性系外,还介绍了利用非惯性系解题的基本思路,刚体的转动、振动、波动这三章内容都是上述基本概念和定律对于特殊系统的应用。

电磁学篇按照传统讲法,讲述电磁学的基本理论,包括静止和运动电荷的电场,运动电荷和电流的磁场,介质中的电场和磁场,电磁感应,电磁波等。

热学篇的讲述是以微观的分子运动的无规则性这一基本概念为基础的。除了阐明经典力学对分子运动的应用外,特别引入并加强了统计概念和统计规律,包括麦克斯韦速率分布律的讲解。对热力学第一定律也阐述了其微观意义。对热力学第二定律是从宏观热力学过程的方向性讲起,说明方向性的微观根源,并利用热力学概率定义了玻耳兹曼熵,说明了熵增加原理。

光学篇以电磁波和振动的叠加的概念为基础,讲述了光电干涉和衍射的规律。第21章光的偏振讲述了电磁波的横波特征。

以上力学、电磁学、热学、光学各篇的内容基本上都是经典理论,但也在适当地方穿插了量子理论的概念和结论以便相互比较。

相对论篇对狭义相对论的讲解以两条基本假设为基础,从同时性的相对性这一“关键的和革命的”(杨振宁语)概念出发,逐渐展开得出各个重要结论。这种讲解可以比较自然地使学生从物理上而不只是从数学上弄懂狭义相对论的基本结论。

量子物理篇是从波粒二象性出发以定态薛定谔方程为基础讲解的。介绍了原子、分子和固体中电子的运动规律以及核物理的知识。

本书除了6篇基本内容外,还开辟了“今日物理趣闻”栏目,介绍物理学的近代应用与前沿发展,而“科学家介绍”栏目用以提高学生素养,鼓励成才。

本书各章均配有习题,以帮助学生理解和掌握已学的物理概念和定律或扩充一些新的知识。这些题目有易有难,绝大多数是实际现象的分析和计算。题目的数量适当,不以多取胜。也希望学生做题时不要贪多,而要求精,要真正把做过的每一道题从概念原理上搞清楚,并且用尽可能简洁明确的语言、公式、图像表示出来,须知,对一个科技工作者来说,正确地书面表达自己的思维过程与成果也是一项重要的基本功。

本书在保留经典物理精髓的基础上,特别注意加强了现代物理前沿知识和思想的介绍。本书内容取材在注重科学性和系统性的同时,还注重密切联系实际,选用了大量现代科技与我国古代文明的资料,力求达到经典与现代、理论与实际的完美结合。

物理教学除了“授业”外,还有“育人”的任务。为此本书介绍了十几位科学大师的事迹,简要说明了他们的思想境界、治学态度、开创精神和学术成就,以之作为学生为人处事的借鉴。本书的撰写和修订得到了清华大学物理系老师的热情帮助(包括经验与批评),也采纳了其他兄弟院校的老师和同学的建议和意见。此外也从国内外的著名物理教材中吸取了很多新的知识、好的讲法和有价值的素材。这些教材主要有:新概念物理教程(赵凯华等), Feynman Lectures on Physics, Berkeley Physics Course(Purcell E M, Reif F, et al.), The Manchester Physics Series(Mandl F, et al.), Physics(Chianian H C.), Fundamentals of Physics(Resnick R), Physics(Alonso M, et al.)等。

对于所有给予本书帮助的老师和学生以及上述著名教材的作者,本人在此谨致以诚挚的谢意。大连海事大学诸位老师在第三版B版的基础上进行了修改,特在此一并致谢。

目录

CONTENTS

第 1 篇 力 学

第 1 章 质点运动学	3
1.1 参考系	3
1.2 质点的位矢、位移和速度	7
1.3 加速度	10
1.4 匀加速运动	12
1.5 抛体运动	13
1.6 圆周运动	15
1.7 相对运动	19
提要	20
习题	21
科学家介绍 伽利略	23
第 2 章 运动与力	25
2.1 牛顿运动定律	25
2.2 常见的几种力	29
2.3 基本的自然力	32
2.4 应用牛顿定律解题	34
2.5 非惯性系与惯性力	36
提要	40
习题	40
科学家介绍 牛顿	44
第 3 章 动量与角动量	46
3.1 冲量与动量定理	46

3.2 动量守恒定律	48
3.3 火箭飞行原理	51
3.4 质心	52
3.5 质心运动定理	53
3.6 质点的角动量和角动量定理	55
3.7 角动量守恒定律	56
3.8 质点系的角动量定理	58
提要	59
习题	60
科学家介绍 开普勒	62
第4章 功和能	63
4.1 功	63
4.2 动能定理	66
4.3 势能	69
4.4 引力势能	70
4.5 由势能求保守力	72
4.6 机械能守恒定律	73
4.7 守恒定律的意义	76
4.8 碰撞	77
提要	82
习题	83
第5章 刚体的转动	86
5.1 刚体转动的描述	86
5.2 转动定律	87
5.3 转动惯量的计算	89
5.4 转动定律的应用	92
5.5 角动量守恒	95
5.6 转动中的功和能	98
5.7 进动	99
提要	101
习题	102
 今日物理趣闻 A 混沌——决定论的混乱	104
A.1 决定论的可预测性	104
A.2 决定论的不可预测性	104
A.3 对初值的敏感性	106

A.4 几个混沌现象实例	107
--------------------	-----

今日物理趣闻 B 奇妙的对称性	110
------------------------------	-----

B.1 对称美	110
B.2 对称性种种	112
B.3 物理定律的对称性	113
B.4 宇称守恒与不守恒	113
B.5 自然界的不对称现象	115
B.6 关于时间的对称性	116

第2篇 电 磁 学

第6章 静电场	121
6.1 电荷	121
6.2 库仑定律与叠加原理	123
6.3 电场和电场强度	126
6.4 静止的点电荷的电场及其叠加	127
6.5 电场线和电通量	131
6.6 高斯定律	133
6.7 利用高斯定律求静电场的分布	135
提要	139
习题	140

第7章 电势	142
7.1 静电场的保守性	142
7.2 电势差和电势	144
7.3 电势叠加原理	146
7.4 电势梯度	148
7.5 电荷在外电场中的静电势能	150
7.6 静电场的能量	150
提要	151
习题	151

第8章 静电场中的导体	153
8.1 导体的静电平衡条件	153
8.2 静电平衡的导体上的电荷分布	154

8.3 有导体存在时静电场的分析与计算	155
8.4 静电屏蔽	157
提要	158
习题	159
第9章 静电场中的电介质	160
9.1 电介质对电场的影响	160
9.2 电介质的极化	161
9.3 D 的高斯定律	164
9.4 电容器和它的电容	166
9.5 电容器的能量	169
提要	171
习题	171
第10章 磁场和它的源	173
10.1 磁力与电荷的运动	173
10.2 磁场与磁感应强度	174
10.3 毕奥-萨伐尔定律	177
10.4 安培环路定理	179
10.5 利用安培环路定理求磁场的分布	181
10.6 与变化电场相联系的磁场	184
提要	188
习题	189
科学家介绍 麦克斯韦	190
第11章 磁力	193
11.1 带电粒子在磁场中的运动	193
11.2 霍尔效应	195
11.3 载流导线在磁场中受的磁力	196
11.4 载流线圈在均匀磁场中受的磁力矩	197
11.5 平行载流导线间的相互作用力	199
提要	200
习题	201
第12章 磁场中的磁介质	203
12.1 磁介质对磁场的影响	203
12.2 原子的磁矩	204
12.3 磁介质的磁化	207

12.4 H 的环路定理	209
12.5 铁磁质	210
提要	213
第 13 章 电磁感应	214
13.1 法拉第电磁感应定律	214
13.2 电动势	216
13.3 动生电动势	217
13.4 感生电动势和感生电场	220
13.5 互感	222
13.6 自感	223
13.7 磁场的能量	225
13.8 麦克斯韦方程组	226
提要	229
习题	230
科学家介绍 法拉第	232
 日物理趣闻 C 闪电	235
数值表	238
习题答案	240

第

1

篇

力 学

力学是一门古老的学问,其渊源在西方可追溯到公元前4世纪古希腊学者柏拉图认为圆运动是天体的最完美的运动和亚里士多德关于力产生运动的说教,在中国可以追溯到公元前5世纪《墨经》中关于杠杆原理的论述。但力学(以及整个物理学)成为一门科学理论应该说是从17世纪伽利略论述惯性运动开始,继而牛顿提出了后来以他的名字命名的三个运动定律。现在以牛顿定律为基础的力学理论叫牛顿力学或经典力学。它曾经被尊为完美普遍的理论而兴盛了约300年。在20世纪初虽然发现了它的局限性,在高速领域为相对论所取代,在微观领域为量子力学所取代,但在一般的技术领域,包括机械制造、土木建筑,甚至航空航天技术中,经典力学仍保持着充沛的活力而处于基础理论的地位。它的这种实用性是我们学习经典力学的一个重要原因。

由于经典力学是最早形成的物理理论,后来的许多理论,包括相对论和量子力学的形成都受到它的影响。后者的许多概念和思想都是经典力学概念和思想的发展或改造。经典力学在一定意义上是整个物理学的基础,这是我们要学习经典力学的另一个重要原因。

本篇第1章、第2章讲述质点力学基础,即牛顿三定律和直接利用它们对力学问题的动力学分析方法。第4章、第5章引入并着重阐明了动量、角动量和能量诸概念及相应的守恒定律及其应用。刚体的转动、振动和波动各章则是阐述前几章力学定律对于特殊系统的应用。狭义相对论的时空观已是当今物理学的基础概念,它和牛顿力学联系紧密,可以归入经典力学的范畴。

量子力学是一门全新的理论,不可能归入经典力学,也就不包括

在本篇内。尽管如此,在本篇适当的地方,还是插入了一些量子力学概念以便和经典概念加以比较。

经典力学一向被认为是决定论的。但是,在 20 世纪 60 年代,由于电子计算机的应用,发现了经典力学问题实际上大部分虽是决定论的,但是是不可预测的。为了使同学们了解经典力学的这一新发展,本篇在“今日物理趣闻 A 混沌”中简单介绍了这方面的基本知识。

第1章

质点运动学

经典力学是研究物体的机械运动的规律的。为了研究,首先描述。力学中描述物体运动的内容叫做运动学。实际的物体结构复杂,大小各异,为了从最简单的研究开始,引进质点模型,即以具有一定质量的点来代表物体。本章讲解质点运动学。相当一部分概念和公式在中学物理课程中已学习过了,本章将对它们进行更严格、更全面也更系统化的讲解。例如强调了参考系的概念,速度、加速度的定义都用了导数这一数学运算,还普遍加强了矢量概念。又例如圆周运动介绍了切向加速度和法向加速度两个分加速度。最后还介绍了同一物体运动的描述在不同参考系中的变换关系——伽利略变换。

1.1 参考系

现在让我们从一般地描述质点在三维空间中的运动开始。

物体的机械运动是指它的位置随时间的改变。位置总是相对的,这就是说,任何物体的位置总是相对于其他物体或物体系来确定的。这个其他物体或物体系就叫做确定物体位置时用的参考物。例如,确定交通车辆的位置时,我们用固定在地面上的一些物体,如房子或路牌作参考物(图 1.1)。



图 1.1 汽车行进在“珠峰公路”上(新华社)。在路径已经确定的情况下,汽车的位置可由离一个指定的路牌的路径长度确定

经验告诉我们,相对于不同的参考物,同一物体的同一运动,会表现为不同的形式。例如,一个自由下落的石块的运动,站在地面上观察,即以地面为参考物,它是直线运动。如果在近旁驶过的车厢内观察,即以行进的车厢为参考物,则石块将作曲线运动。物体运动的形式随参考物的不同而不同,这个事实叫运动的相对性。由于运动的相对性,当我们描述一个物体的运动时,就必须指明是相对于什么参考物来说的。

确定了参考物之后,为了定量地说明一个质点相对于此参考物的空间位置,就在此参考物上建立固定的坐标系。最常用的坐标系是笛卡儿直角坐标系。这个坐标系以参考物上某一固定点为原点 O ,从此原点沿 3 个相互垂直的方向引 3 条固定在参考物上的直线作为坐标轴,通常分别叫做 x, y, z 轴(图 1.2)。在这样的坐标系中,一个质点在任意时刻的空间位置,如 P 点,就可以用 3 个坐标值 (x, y, z) 来表示。

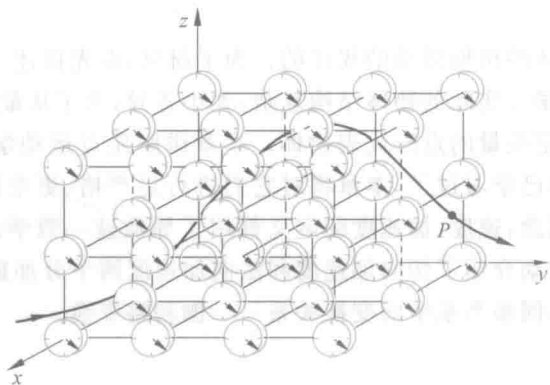


图 1.2 一个坐标系和一套同步的钟构成一个参考系

质点的运动就是它的位置随时间的变化。为了描述质点的运动,需要指出质点到达各个位置 (x, y, z) 的时刻 t 。这时刻 t 是由在坐标系中各处配置的许多同步的钟(如图 1.2,在任意时刻这些钟的指示都一样)给出的^①。质点在运动中到达各处时,都有近旁的钟给出它到达该处的时刻 t 。这样,质点的运动,亦即它的位置随时间的变化,就可以完全确定地描述出来了。

一个固定在参考物上的坐标系和相应的一套同步的钟组成一个参考系。参考系通常以所用的参考物命名。例如,坐标轴固定在地面上(通常一个轴竖直向上)的参考系叫地面参考系(图 1.3 中 $O''x''y''z''$);坐标原点固定在地心而坐标轴指向空间固定方向(以恒星为基准)的参考系叫地心参考系(图 1.3 中 $O'x'y'z'$);原点固定在太阳中心而坐标轴指向空间固定方向(以恒星为基准)的参考系叫太阳参考系(图 1.3 中 $Oxyz$)。常用的固定在实验室的参考系叫实验室参考系。

质点位置的空间坐标值是沿着坐标轴方向从原点开始量起的长度。在国际单位制 SI

① 此处说的“在坐标系中各处配置的许多同步的钟”是一种理论的设计,实际上当然办不到。实际上是用一个钟随同物体一起运动,由它指出物体到达各处的时刻。这只运动的钟事前已和静止在参考系中的一只钟对好,二者同步。这样前者给出的时刻就是本参考系给出的时刻。实际的例子是飞行员的手表就指示他到达空间各处的时刻,这和地面上控制室的钟给出的时刻是一样的。不过,这种实际操作在物体运动速度接近光速时将失效,在这种情况下运动的钟和静止的钟不可能同步,其原因参见本书 22.3 节。

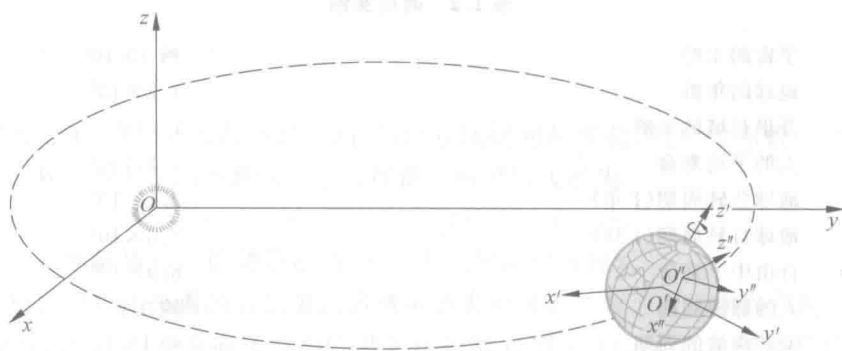


图 1.3 参考系示意图

(其单位也是我国的法定计量单位)中,长度的基本单位是米(符号是 m)。现在国际上采用的米是 1983 年规定的^①: 1 m 是光在真空中在(1/299 792 458)s 内所经过的距离。这一规定的基础是激光技术的完善和相对论理论的确立。表 1.1 列出了一些长度的实例。

表 1.1 长度实例

m

目前可观察到的宇宙的半径	约 1×10^{26}
银河系之间的距离	约 2×10^{22}
我们的银河系的直径	7.6×10^{20}
地球到最近的恒星(半人马座比邻星)的距离	4.0×10^{16}
光在一年内走的距离(1 l. y.)	0.95×10^{16}
地球到太阳的距离	1.5×10^{11}
地球的半径	6.4×10^6
珠穆朗玛峰的高度	8.9×10^3
人的身高	约 1.7
无线电广播电磁波波长	约 3×10^2
说话声波波长	约 4×10^{-1}
人的红血球直径	7.5×10^{-6}
可见光波波长	约 6×10^{-7}
原子半径	约 1×10^{-10}
质子半径	1×10^{-15}
电子半径	$< 1 \times 10^{-18}$
夸克半径	1×10^{-20}
“超弦”(理论假设)	1×10^{-35}

质点到达空间某一位置的时刻以从某一起始时刻到该时刻所经历的时间标记。时间在 SI 中是以秒(符号是 s)为基本单位计量的。以前曾规定平均太阳日的 1/86 400 是 1 s。现在 SI 规定: 1 s 是铯的一种同位素 ^{133}Cs 原子发出的一个特征频率的光波周期的 9 192 631 770 倍。表 1.2 列出了一些时间的实例。

① 关于基本单位的规定,请参见:张钟华.基本物理常量与国际单位制基本单位的重新定义.物理通报,2006,2: 7~10.

表 1.2 时间实例

s

宇宙的年龄	约 4×10^{17}
地球的年龄	1.2×10^{17}
万里长城的年龄	7×10^{10}
人的平均寿命	2.2×10^9
地球公转周期(1年)	3.2×10^7
地球自转周期(1日)	8.6×10^4
自由中子寿命	8.9×10^2
人的脉搏周期	约 0.9
说话声波的周期	约 1×10^{-3}
无线电广播电磁波周期	约 1×10^{-6}
π^+ 粒子的寿命	2.6×10^{-8}
可见光波的周期	约 2×10^{-15}
最短的粒子寿命	约 10^{-25}

在实际工作中,为了方便起见,常用基本单位的倍数或分数作单位来表示物理量的大小。这些单位叫**倍数单位**,它们的名称都是基本单位加上一个表示倍数或分数的词头构成。SI 词头如表 1.3 所示。

表 1.3 SI 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
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^{-15}	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

1.2 质点的位矢、位移和速度

选定了参考系,一个质点的运动,即它的位置随时间的变化,就可以用数学函数的形式表示出来了。作为时间 t 的函数的 3 个坐标值一般可以表示为

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1.1)$$

这样的一组函数叫做质点的**运动函数**(有的书上叫做运动方程)。

质点的位置可以用**矢量**的概念更简洁清楚地表示出来。为了表示质点在时刻 t 的位置 P ,我们从原点向此点引一有向线段 OP ,并记作矢量 $\mathbf{r}$ (图 1.4)。 $\mathbf{r}$ 的方向说明了 P 点相对于坐标轴的方位, $\mathbf{r}$ 的大小(即它的“模”)表明了原点到 P 点的距离。方位和距离都知道了, P 点的位置也就确定了。用来确定质点位置的这一矢量 $\mathbf{r}$ 叫做质点的**位置矢量**,简称**位矢**,也叫**径矢**。质点在运动时,它的位矢是随时间改变的,这一改变一般可以用函数

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1.2)$$

来表示。上式就是质点的运动函数的矢量表示式。

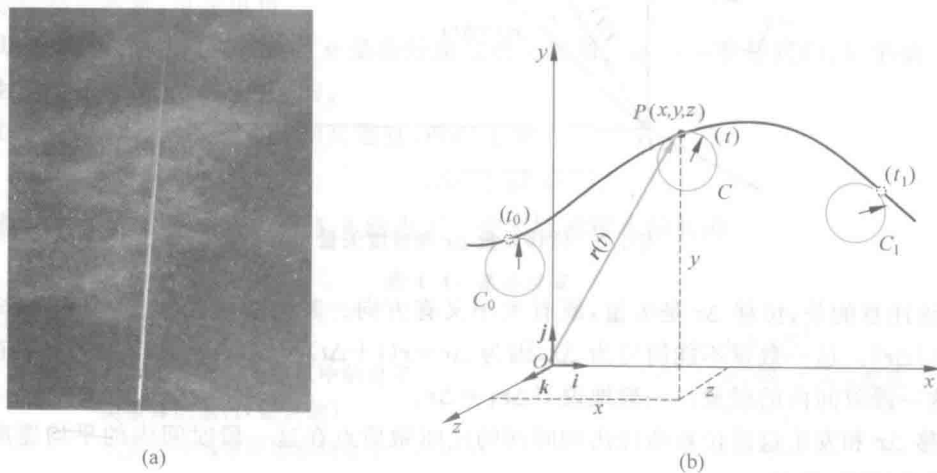


图 1.4 质点的运动

- (a) 飞机穿透云层“实际的”质点运动;
(b) 用位矢 $\mathbf{r}(t)$ 表示质点在时刻 t 的位置

由于空间的几何性质,位置矢量总可以用它的沿 3 个坐标轴的分量之和表示。位置矢量 $\mathbf{r}$ 沿 3 个坐标轴的投影分别是坐标值 x, y, z 。以 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别表示沿 x, y, z 轴正方向的单位矢量(即其大小是一个单位的矢量),则位矢 $\mathbf{r}$ 和它的 3 个分量的关系就可以用矢量合成公式

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1.3)$$

表示。式中等号右侧各项分别是位矢 $\mathbf{r}$ 沿各坐标轴的分矢量,它们的大小分别等于各坐标值的大小,其方向是各坐标轴的正向或负向,取决于各坐标值的正或负。根据式(1.3),式(1.1)和式(1.2)表示的运动函数就有如下的关系:

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1.4)$$