

工科大学物理基本教材

● 李金钊 等 编

上

● 天津大学出版社



工 科 大 学 物 理

基 本 教 材

上 册

李金昌 主编

天 津 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书为工科院校大学物理基本教材。根据“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的教材建设原则，在内容上做了不少更新，篇幅不足流行教材的三分之二，试用效果良好，学者可得到明晰的物理图象，严密的理论体系及对基本规律深入的掌握。

本书分为上、下两册。上册内容为力学、分子运动论、热力学及电磁学；下册内容为振动、波动、光学及量子物理。

本书可作为工科及理科非物理各专业教材，总学时为120学时左右，符合1986年制订的课程教学基本要求及参考学时范围。

2P30/07

工科大学物理基本教材

(上册)

李金钊 等编

天津大学出版社出版

(天津大学内)

河北省昌黎县印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

开本：850×1168毫米 1/32 印张：12³/₄ 字数：330千

1989年2月第一版 1998年7月第6次印刷

印数：24702—27702

ISBN 7—5618—0030—4

0·3 定价：13.00元

前 言

根据1981年郑州工科教材编委工作会议提出的“打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学”的教材建设原则，我们编写了《工科大学物理基本教材》，以满足教学需要。

编写组在李金镔教授的主持下分成四组：力热组（陈志芳、张洪、辛宗烈）；电磁组（钟纫珠、王学信、刘淑美）；波光组（庞兆芳、李美玲、秦绮雯）和近代组（罗大章、武珊、张庆云、张洪），另有习题和绘图组（王金煜、孙胜兰、王克起、贾洛武、张立升、曹文斗、李增智、周佩瑶、吴亚非等）。1982年完成初稿，经我校及部分兄弟院校连续作为教材使用，提出了不少宝贵意见。1985年初经李金镔、庞兆芳、陈志芳、王学信做了修改。1986年庞兆芳又对全书做了最后修改和统稿工作；陈文润做了文字、符号及插图的统一修改绘制和单位制的标准化工作。

经几年教学实践，证明本书选材符合工科物理教学基本要求。其特点：尽量避免了与中学物理和工科后续课程的不必要重复；力学部分提高了起点，并把相对论放在力学部分讲授；近代物理部分作了适当安排，在深度和广度上更便于教师教学和学生掌握；适用于工科院校，以96~128学时最为适宜。

书中冠有“*”号的章节请使用本书的教师根据专业特点和实际教学情况选择讲授或供学生自学。

编者借此向有关兄弟院校致以谢意，并衷心感谢校内外在教学第一线的老师们提出了宝贵意见和建议。限于编者水平，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

1987年9月27日

常用物理常数

名 称	符号	最佳实验值	一般计算用值
真空中的光速	c	$(2.99792458 \pm 0.000000012) \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$3.00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
标准重力加速度	g_n	$9.80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	$9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
引力常数	G	$(6.6720 \pm 0.0041) \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
真空介电常数 (真空电容率)	ϵ_0	$(8.854187818 \pm 0.000000071) \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$	$8.85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
真空磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1} = 12.5663706144 \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$
阿伏加德罗常数	N_A	$(6.022045 \pm 0.000031) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
摩尔体积 (在 273.15K 及 101.325kPa 下, 理想气体的摩尔 体积为 $V_{m,0}$)	V_m $V_{m,0}$	$(0.02241383 \pm 0.00000070) \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	$22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
摩尔气体常数	R	$(8.31441 \pm 0.00026) \text{ J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$	$8.31 \text{ J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$
玻耳兹曼常数	k	$(1.380662 \pm 0.000044) \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$	$1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
元电荷	e	$(1.6021892 \pm 0.0000046) \times 10^{-19} \text{ C}$	$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
法拉第常数	F	$(9.648456 \pm 0.000027) \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$	$96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
原子质量常数	m_u	$m_u = 1u$	
原子质量单位	u	$(1.6605655 \pm 0.0000086) \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
电子[静止]质量	m_e	$(0.9109534 \pm 0.0000047) \times 10^{-30} \text{ kg}$	$0.911 \times 10^{-30} \text{ kg}$
质子[静止]质量	m_p	$(1.6726485 \pm 0.0000086) \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
中子[静止]质量	m_n	$(1.6749543 \pm 0.0000086) \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
普朗克常数	h	$(6.626176 \pm 0.000036) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	$6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
玻尔半径	a_0	$(0.52917706 \pm 0.00000044) \times 10^{-10} \text{ m}$	$0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$
里德伯常数	R_∞	$(1.097373177 \pm 0.000000083) \times 10^7 \text{ m}^{-1}$	$1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
玻尔磁子	μ_B	$(9.274078 \pm 0.000036) \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$	$9.27 \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$
核磁子	μ_N	$(5.050824 \pm 0.000020) \times 10^{-27} \text{ A} \cdot \text{m}^2$	$5.05 \times 10^{-27} \text{ A} \cdot \text{m}^2$
电子磁矩	μ_e	$(9.284832 \pm 0.000036) \times 10^{-24} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$	$9.28 \times 10^{-24} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
质子磁矩	μ_p	$(1.4106171 \pm 0.0000055) \times 10^{-26} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$	$1.41 \times 10^{-26} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
斯忒藩-玻尔兹 曼常数	σ	$(5.67032 \pm 0.00071) \times 10^{-8} \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)^{-1}$	$5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)^{-1}$

上册目录

常用物理常数

绪论	(1)
----	-----

第一章 质点动力学	(3)
-----------	-----

§1-1 坐标系 运动方程	(4)
---------------	-----

§1-2 瞬时速度	(8)
-----------	-----

§1-3 瞬时加速度	(11)
------------	------

§1-4 牛顿运动定律	(20)
-------------	------

§1-5 变力做功 动能定理	(27)
----------------	------

§1-6 保守力做功与势能的关系	(31)
------------------	------

§1-7 功能原理 机械能守恒定律	(35)
-------------------	------

§1-8 能量守恒和转换定律	(40)
----------------	------

§1-9 动量原理 动量守恒	(42)
----------------	------

§1-10 碰撞	(48)
----------	------

思考题	(55)
-----	------

习题	(57)
----	------

第二章 刚体的定轴转动	(69)
-------------	------

§2-1 刚体运动学	(69)
------------	------

§2-2 力矩 转动定律	(74)
--------------	------

§2-3 角动量原理 角动量守恒	(84)
------------------	------

§2-4 力矩做功 转动动能定理	(88)
------------------	------

*§2-5 滚动	(93)
----------	------

*§2-6 进动	(98)
----------	------

思考题.....	(100)
习题.....	(101)
第三章 狭义相对论基础.....	(106)
§3-1 牛顿力学的时空观念.....	(106)
§3-2 狭义相对论的两个基本假设.....	(111)
§3-3 洛伦兹变换.....	(112)
§3-4 狭义相对论时空观的几个重要结论.....	(120)
§3-5 相对论力学.....	(128)
附录.....	(139)
思考题.....	(142)
习题.....	(143)
第四章 分子运动论.....	(145)
§4-1 分子力与热运动.....	(145)
§4-2 理想气体压强公式.....	(148)
§4-3 温度 能量按自由度均分原理.....	(155)
§4-4 气体分子的麦克斯韦速率分布和玻耳兹曼能量 分布.....	(159)
§4-5 分子的平均碰撞频率和平均自由程.....	(166)
§4-6 气体内部的迁移现象.....	(168)
§4-7 真实气体 范德瓦耳斯方程.....	(172)
思考题.....	(175)
习题.....	(177)
第五章 热力学.....	(180)
§5-1 热力学第一定律 理想气体的等值过程.....	(181)
§5-2 绝热过程.....	(193)
§5-3 卡诺循环.....	(197)

§5-4 热力学第二定律.....	(204)
§5-5 卡诺定理.....	(209)
*§5-6 熵及熵增原理.....	(212)
思考题.....	(215)
习题.....	(215)
第六章 真空中的静电场	(218)
§6-1 电荷 库仑定律.....	(218)
§6-2 电场与电场强度.....	(221)
§6-3 电力线与电通量.....	(230)
§6-4 高斯定律及其应用.....	(234)
§6-5 电场力作的功 电势能、电势、电势差.....	(242)
§6-6 等势面 场强与电势的关系.....	(251)
思考题.....	(258)
习题.....	(259)
第七章 静电场中的导体和电介质.....	(264)
§7-1 静电场中的导体.....	(264)
§7-2 电介质.....	(271)
§7-3 电介质中的场强 有电介质时的高斯定律.....	(276)
§7-4 电容 电容器.....	(284)
§7-5 电场的能量.....	(291)
思考题.....	(294)
习题.....	(296)
第八章 电流与磁场.....	(302)
§8-1 稳恒电流.....	(302)
§8-2 磁场 磁场的高斯定律.....	(304)
§8-3 毕奥—萨伐尔—拉普拉斯定律.....	(306)

§8-4 安培环路定律·····	(311)
§8-5 运动电荷的磁场·····	(317)
§8-6 磁场对载流导线的作用力·····	(318)
§8-7 磁场对运动电荷的作用力 霍耳效应·····	(321)
思考题·····	(327)
习题·····	(328)
第九章 物质的磁性和磁介质中的磁场·····	(333)
§9-1 物质的磁性·····	(333)
§9-2 磁化强度矢量·····	(336)
§9-3 磁介质中的安培环路定律·····	(338)
§9-4 M 、 B 、 H 三个磁矢量的关系·····	(340)
§9-5 铁磁质·····	(341)
思考题·····	(348)
习题·····	(348)
第十章 电磁场的普遍规律·····	(351)
§10-1 电源的电动势·····	(351)
§10-2 电磁感应 涡旋电场·····	(353)
§10-3 自感与互感 磁场能量·····	(361)
§10-4 电流连续性方程 位移电流·····	(368)
§10-5 麦克斯韦方程组的积分形式·····	(374)
思考题·····	(376)
习题·····	(376)
习题答案·····	(383)

绪 论

物理学教材的体系，半个多世纪来未见有根本性变化。各国出版的教科书，基本上还是力学、分子物理及热力学、电磁学、波动物理与光学、原子物理等内容。由于量子物理的发展，各书都不同程度地对量子物理做了简要介绍。本教材仍沿袭这个体系，但要特别强调，现代物理学的发展已明显反映出：物质是以“粒子”和“场”为其存在形式，两者又是相互联系不可分割的。所以，物质运动的基本规律就是“粒子”的运动规律（牛顿力学和相对论力学）及“场”的运动规律（波动过程）。这两种运动规律是相互联系的。“场”中粒子的振动，必然引起“场”中波的传播，所以可以说“振动”（或扰动）是两者的结合点。

本世纪二十年代，物理学家不自觉地运用辩证思维，认为“粒子”和“波”是统一的；“粒子”具有“波”性；“波”具有“粒子”性。路易·布罗德意(Louis de Broglie)大胆提出假设，认为具有动量为 p 的“粒子”有着确定的波长

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

式中 h 为普朗克 (Planck, 1858~1947) 常数。方程即含有反映“粒子”的量 (p)，又含有反映“波”的量 (λ)。它给出了“粒子”性和“波”性的联系。薛定谔 (Schrödinger, 1887~1961) 进一步发展了这一观点，在波动方程中引入“粒子”的力学量

$$\Psi(x, t) = Ae^{\frac{i}{\hbar}(Et - px)}$$

式中 Ψ 称为波函数， A 为振幅， E 与 p 分别为“粒子”的能量与动量。物理理论的发展，使我们对物质世界及其运动规律有

了更为深刻、和谐的认识，也有助于学者对辩证唯物主义世界观的建立。

有鉴于此，本书体系上虽未能作较大变革，但建议教者与学者在教学过程中，以“粒子”的运动规律，“场”的运动规律及两者的相互作用与统一作为指导思想，将全部教学内容系统化，并注意每一章节都是上述理论的组成部分。物理学是一部系统性强，内在联系密切，科学思想明确的完美的学科。本教材的上册以“粒子”的运动规律及“场”的基本性质为主要内容；下册讲述“波动”及“波与粒子的统一”——二象性理论与规律。

由于物理学是研究物质世界基本规律的科学，所以它是各门新兴技术学科发展的重要支柱，如核能与新能源的开发，新型材料，激光与射线技术，生物物理，天体物理，信息与计算科学以及近代测试技术等等。所以说物理学是工程科学的重要基础。只有掌握较深厚的基础理论，才有可能在工程技术上发挥开拓，创造性才能。预祝同志们学好物理学，为祖国社会主义“四化”建设做出贡献。

第一章 质点动力学

物理学以研究物质的运动、相互作用及结构为主要内容。机械运动是物质运动最基本、最简单的运动形态。所以，物理学首先讨论物质机械运动规律，作为本门学科的理论基础。为了探讨机械运动的本质，通常将物体简化为质点模型，研究质点的运动规律，即质点动力学。质点动力学不仅是机械运动的基本规律，也是研究物质运动的重要基础。

人类从长期实践活动中观察到，世界上所有物质都在不停地运动，不存在任何绝对静止的东西。例如，画在图1-1上地球表面

o 点的物体在绕地轴转动；地球还以每秒约 30 km 的速度绕太阳公转；太阳带着包括地球在内的整个太阳系，还以每秒约 200 km 的速度绕银河中心运动。所

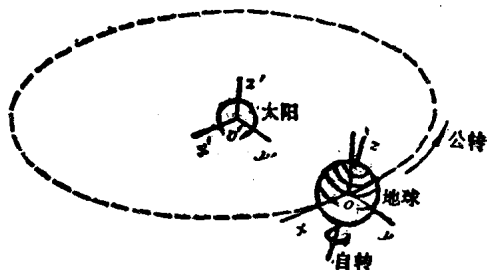


图 1-1

以，实际上任何物体都在迅速运动着。另外，物体内部的分子、电子，甚至核内粒子也在时刻不停地运动着。可见，运动是物质的存在形式，是物质的固有属性；运动与物质是不可分割的，没有不运动的物质，也没有离开物质的运动；运动是绝对的，静止是相对的。

质点运动学主要研究物体之间相对位置随时间的变化关系；动力学则是研究物体间的相互作用，以及由此而引起的物体运动状态变化的规律。任何物体都具有大小和形状，在物体大小比所

研究物体运动空间小得多的情况下，可以把物体模型化，看成没有大小和形状，只有一定质量的点，即质点。如研究行星的公转运动，就可以忽略其大小和形状，视行星为质点，且认为其内部各点运动状态相同。由于物体实际上是由无数个质点组成，而且当所研究的运动物体又不能视为质点时，分析这些质点的运动，就可弄清楚整个物体的运动。所以，研究质点的运动是研究物体运动的基础。

§ 1-1 坐标系 运动方程

由图1-1可知，对于一个物体运动的描述，说明它是静止还是运动，以及怎样运动，必须要指出该物体是对哪一个物体而言，也就是物体的运动具有**相对性**。这个供对照的物体称做**参照系**。上面所说的物体，选地面为参照系，则静止不动；选太阳为参照系，则做复合高速运动。由于我们生活在地球上，在一般科学技术中通常习惯选地球作为参照系，而不再特别明确指出。譬如说飞机航速为每小时飞行800km，是相对于地球的地面而言。为了定量地描写物体对参照系的相对运动，在参照系上固定一个坐标系，则物体相对参照系的位置完全可以由坐标确定。一般对三维空间运动，常用直角坐标系 (x, y, z) 、球坐标系 (r, θ, φ) 或柱坐标系 (r, θ, z) 。对二维平面运动，常用二维直角坐标系 (x, y) 或极坐标系 (r, θ) 。究竟选用什么坐标系，应以研究问题最为简捷为准。运动物体在坐标系中的位置，在不同时刻有不同的坐标，因此运动有**瞬时性**，或者说质点坐标是时间 t 的函数。例如，有初速度 v_0 的匀加速直线运动，用一维坐标系，其坐标可表示为

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (1-1-1)$$

式中 x_0 为 $t = 0$ 时刻的坐标； a 为加速度。对三维空间运动，用

三维直角坐标系，其坐标可以写为

$$x = f_1(t), \quad y = f_2(t), \quad z = f_3(t) \quad (1-1-2)$$

这些坐标为时间 t 的函数表达式称为**运动方程**，或运动方程分量式。有了运动方程，质点 P 在某一时刻 t 的空间位置就唯一确定。从坐标轴的原点 O 向 P 点作一矢量 $\mathbf{r}$ ，矢量大小和方向也就唯一确定。这个矢量称为**位置矢量**或**矢径**。位置矢量可以写成

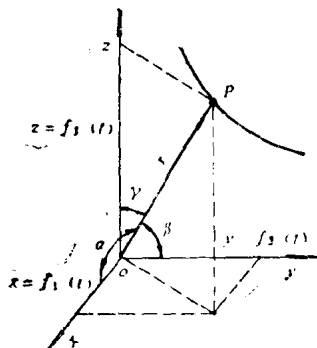
$$\mathbf{r}(t) = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} = f_1(t)\mathbf{i} + f_2(t)\mathbf{j} + f_3(t)\mathbf{k} \quad (1-1-3)$$

式中 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别为 x 、 y 、 z 轴的单位矢量。这个矢量表达式又叫做**运动方程矢量式**。矢径的大小为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-1-4)$$

方向可由 $\mathbf{r}$ 与 x 、 y 、 z 轴的夹角 α 、 β 、 γ 的余弦

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \\ \cos \gamma &= \frac{z}{r} \end{aligned} \quad (1-1-5)$$



求出，如图1-2所示。质点运动的瞬时位置可用一个矢量表示，说明运动

图 1-2

具有**矢量性**。运动方程的矢量式充分反映了运动的**相对性**、**瞬时性**和**矢量性**。

这里要特别指出，对于同一个质点运动的描述，例如斜抛运动，由于坐标系不同，即使是同一参照系，其运动方程的形式也是不同的，从下面例1可以看出。此外，运动方程所描述的质点在 t 秒瞬时的位置，实际指的是 t 秒末那一个瞬时位置，例如 $t = 3$ 秒，指的是3秒末时的质点位置。

〔例1〕 设有一质点被从地面斜抛于空中，已知初速为 v_0 ，初速与地面夹角为 θ ，忽略空气阻力，重力加速度为 g ，试分别列出对应图1-3上的不同二维平面直角坐标系的运动方程。这两个

坐标系都选地面为参照系。

解：I、先看用坐标系 xoy 的描述

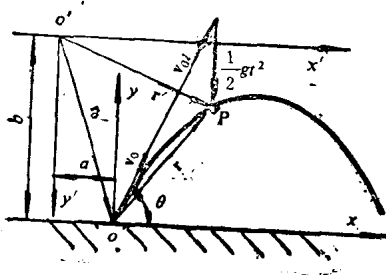


图 1-3

因为物体在 x 轴方向不受外力，其加速度为零，所以是匀速运动；在 y 轴方向的地面附近质点受恒定重力，是匀加速运动，其加速度矢量 g 指向 y 轴负方向，即 $g = -g\mathbf{j}$ 。斜抛运动可看成是水平匀速运动和垂直匀加速运动两个独立的直线运动叠加。

这就是运动的叠加原理或称做运动的独立作用原理。

质点初始位置在 $t = 0$ 时， $x_0 = 0$ ， $y_0 = 0$ 。初始速度 v_0 在 x 轴上的分量大小为 $v_0 \cos \theta$ ，指向 x 轴正向，即 $v_{0x} = v_0 \cos \theta \mathbf{i}$ ；在 y 轴上的分量大小为 $v_0 \sin \theta$ ，指向 y 轴正向，即 $v_{0y} = v_0 \sin \theta \mathbf{j}$ 。

由式(1-1-1)知，运动方程可写为

$$x = v_0 \cos \theta \cdot t$$

$$y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

其矢量式为

$$\begin{aligned} \mathbf{r} &= v_0 \cos \theta \cdot t \mathbf{i} + (v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2) \mathbf{j} \\ &= (v_0 \cos \theta \mathbf{i} + v_0 \sin \theta \mathbf{j}) t + \frac{1}{2} (-g \mathbf{j}) t^2 \\ &= \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned}$$

由矢量式可以看出，斜抛运动的质点在时刻 t 的位置矢量 $\mathbf{r}$ 可由矢量 $\mathbf{v}_0 t$ 和 $\frac{1}{2} g t^2$ 用矢量合成方法合成。斜抛运动也可看成斜向 $\mathbf{v}_0$ 方向的匀速运动和重力方向的垂直自由落体运动两个独立直线

运动叠加而成（见图1-3）。

II、再看用 $x'o'y'$ 坐标系的描述

质点运动情况不变，只是坐标系改变。 $t = 0$ 时，初始位置 $x'_0 = a$, $y'_0 = b$ 。初始速度 $v'_{0x} = v_0 \cos \theta$, $v'_{0y} = -v_0 \sin \theta$ ，加速度 $\mathbf{g} = g\mathbf{j}'$ 。

由式 (1-1-1) 知，运动方程可写为

$$\begin{aligned}x' &= a + v_0 \cos \theta \cdot t \\y' &= b - v_0 \sin \theta \cdot t + \frac{1}{2} g t^2\end{aligned}$$

其矢量式为

$$\begin{aligned}\mathbf{r}' &= (a + v_0 \cos \theta \cdot t) \mathbf{i}' + (b - v_0 \sin \theta \cdot t + \frac{1}{2} g t^2) \mathbf{j}' \\&= (a \mathbf{i}' + b \mathbf{j}') + (v_0 \cos \theta \mathbf{j}' - v_0 \sin \theta \mathbf{j}') t + \frac{1}{2} g \mathbf{j}' t^2 \\&= \mathbf{r}'_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} g t^2\end{aligned}$$

此处 $\mathbf{r}'_0$ 为初始位置矢量。任时刻 t 的位置矢量 $\mathbf{r}'$ 可看成由 $\mathbf{r}_0$ 、 $\mathbf{v}_0 t$ 和 $\frac{1}{2} g t^2$ 三个矢量叠加而成，如图1-3所示。可见，运动方程因坐标系原点和坐标轴的方向不同而异。

由此题还可看出，当 $\theta = \frac{\pi}{2}$ ，斜抛运动就变成竖直上抛运动。

上述运动方程实质上已包括了上抛和过顶点后自由下落的运动全过程了。如抛出点在高于地面 h 处， $x_0 y$ 坐标系原点仍可取在抛出点，这时运动方程与题中 I 的解相同。如果 $\theta = 0$ ，则斜抛运动就变成平抛运动，方程就变成平抛运动的运动方程了。

通过以上讨论可知，各种形式的匀加速运动都可归结为一个匀加速运动方程的矢量式

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{a} t^2 \quad (1-1-6)$$

来描述。当 $\mathbf{v}_0$ 与 $\mathbf{a}$ 同向（或反向），就是匀加速直线运动（或匀减速直线运动），如抛物运动的竖直下抛运动（或竖直上抛运动）即是。当 $\mathbf{v}_0$ 与 $\mathbf{a}$ 不共线，则是抛物线运动。 $\mathbf{r}_0$ 是否为零，由所取的坐标系而定。由此可见，位置矢量依赖于所取坐标系而变，而位移矢量则与坐标系的选择无关。这就是应用矢量的优点①。

以上得出的各种形式的匀加速运动方程是利用已知的匀加速直线运动公式（1-1-1）和运动的叠加原理建立的，以后还要讨论用其它方法求运动方程。学会正确建立运动方程的分量式和矢量式具有重要意义。因为有了运动方程就可确定任何时刻的质点运动状态，不但可以确定其位置，而且可以由此算出质点运动的速度和加速度。

§ 1-2 瞬时速度

如图1-4所示。设质点沿曲线运动，由P点经 Δt 时间运动到Q点。其位置矢量由 $\mathbf{r}(t)$ 变到 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$ ，位置矢量的增量 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)$ 叫位移。显然位移也是一个矢量，它的

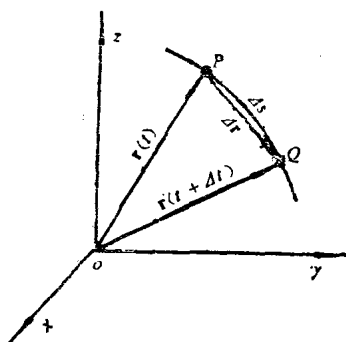


图 1-4

方向由P点指向Q点，它的大小为割线 $\overline{PQ}$ 的长度，与实际质点运动的路程弧长 $\widehat{PQ}$ 不同。曲线运动时质点在 Δt 时间内，从P点到Q点的平均速度定义为 $\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 。平均速度是矢量，其方向就是位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向，大小为 $|\bar{\mathbf{v}}| = \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = \frac{\overline{PQ}}{\Delta t}$ 。我们把实际

①这种经过坐标变换后形式不变的性质，物理上称为对称性。