



高等院校物理系列教材
Textbook Series in Physics for Higher Education

大学物理教程 (上册)

陈信义 主编

>>>>>>>>>>

>>>>>>>>

>>>>>>>>>>>

>>>>>>>>>>

>>>>>>>>>>>

>>>>>>>>>>



清华大学出版社



高等院校物理系列教材
Textbook Series in Physics for Higher Education

大学物理教程 (上册)

陈信义 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本套教程分上下两册,上册包括6章,分别讲述质点力学,刚体的定轴转动,静电场,静电场中的导体和电介质,稳恒电流和稳恒磁场,电磁感应与电磁波等方面的基础知识;下册包括6章,分别讲述气体动理论,热力学,振动与波动,波动光学,狭义相对论,量子物理等方面的基础知识。

本书的内容紧紧围绕大学物理课程的基本要求,难度适中,物理概念清晰,论述深入浅出。书中概念的引入明确而完整,并有少量的技术应用和理论扩展,力求简明而不简单,深入而不深奥。本书可作为一般工程技术类专业和经济管理类专业的大学物理教材。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程(上册)/陈信义主编. —北京:清华大学出版社,2005.8

ISBN 7-302-11138-3

I. 大… II. 陈… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第056113号

出版者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

责任编辑:朱红莲

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:170×240 印张:15 字数:281千字

版 次:2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-11138-3/O·465

印 数:1~5000

定 价:21.00元

前

言

FOREWORD

本套教程分上下两册,共有 12 章。编者的初衷,是为一般工程技术类专业和经济管理类专业的大学本科生提供一套难度合适、深入浅出、篇幅不大、易教易学的大学物理教材。在编写的过程中,编者充分体会到实现这一目标的困难和艰辛。

讲什么,怎样讲,这是编写教材所面临的核心问题。本书内容的选取紧紧围绕大学物理课程的基本要求,并以工程技术,特别是新技术中广泛应用的基本物理原理为依据。全书上册为力学和电磁学,下册为热学、波动与光学和近代物理。在具有整体性和系统性的基础上,章节的编排适当考虑了教学上的方便。例如,振动和波虽属力学,但因它们是波动光学的基础,所以放在波动光学之前介绍。本书不承担介绍物理科学前沿和新技术应用的任务,而把这方面的工作留给相关的专业课程、学术报告和科普书籍去完成。对于超出大学物理课程基本要求的内容和物理原理在技术上的应用,则只是点到为止。

在讲法上避免或简化复杂的数学推导,突出物理本质,建立鲜明的物理图像;概念的引入力求明确和完整;对基本内容中的难点和疑点,均作深入浅出的剖析,并配备了足够数量的具有针对性的例题。

在编写过程中,适量地引用了相关的物理学史资料,其中包括重要的物理实验和有关科学家的思想和贡献。这样可增强物理学理论的真实感和生动感,有助于学生形成科学的学习方法和研究方法,有利于激发学生的学习兴趣和培养学生的创新能力。

本套教程是为 70~100 学时大学物理课程编写的,对于一般程度的工科学生,全书内容可以用 100 学时讲完;如果学时较少,例如 80 学时左右,则可省略带“*”的选学部分不讲。虽然带“*”号部分所占篇幅不大,但在教学中会占用较多学时。经过适当裁减后,这套教程也可用于面向经济管理类专业 70 学时左右的大学物理课程。

参加编写的 5 位教师,都具有多年讲授大学物理和理论物理的教学经验,在编写过程中编者进行了多次认真的讨论,并互相修改书稿。因此,全书体

现了各位编者的教学经验和风格,同时也具有较好的整体性和系统性。

陈信义编写了第 1、9、11、12 章,韩宝亮编写了第 2、3、4、5 章,唐洪学编写了第 6、7、8、10 章,李蕴才和李家强分别参加了第 1、2 章和第 10 章的编写,并参加了讨论和书稿的修改。受清华大学出版社委托,陈信义组织了编写讨论会和互相修改书稿的工作。

编者感谢高炳坤教授审阅了部分书稿,并提出了宝贵的意见。感谢各校关心本套教程的教师与同行,编者真诚地希望听到广大读者的批评和建议。

编 者

2005 年 5 月

目 录

CONTENTS

第 1 章 质点力学	1
1.1 质点运动的描述	1
1.2 几种基本的运动	9
1.3 牛顿运动定律.....	13
1.4 动量定理和动量守恒定律.....	23
1.5 功和能量.....	31
本章提要	39
思考题	41
习题	43
第 2 章 刚体的定轴转动	47
2.1 刚体的定轴转动.....	47
2.2 转动动能和转动惯量.....	49
2.3 力矩 转动定律.....	53
2.4 力矩的功.....	58
2.5 角动量守恒定律.....	62
本章提要	67
思考题	68
习题	69
第 3 章 静电场	74
3.1 电荷 库仑定律.....	74
3.2 电场和电场强度.....	79
3.3 静电场的高斯定理.....	85
3.4 静电场的环路定理和电势.....	92
3.5 等势面和电势梯度.....	99

本章提要	103
思考题	103
习题	105
第4章 静电场中的导体和电介质	110
4.1 静电场中的导体	110
4.2 电容和电容器	117
4.3 静电场中的电介质	120
4.4 有介质时的高斯定理	127
4.5 静电场的能量	130
* 4.6 几种电介质材料的介绍	133
本章提要	135
思考题	136
习题	137
第5章 稳恒电流和稳恒磁场	142
5.1 稳恒电流	142
5.2 毕奥-萨伐尔定律	146
5.3 磁场的高斯定理 安培环路定理	153
5.4 安培力和洛伦兹力	160
5.5 磁场中的磁介质	169
5.6 有磁介质时的安培环路定理	172
* 5.7 铁磁质	174
本章提要	177
思考题	178
习题	180
第6章 电磁感应与电磁波	188
6.1 电源与电动势	188
6.2 法拉第电磁感应定律	189
6.3 动生电动势	193
6.4 感生电动势	196
6.5 互感和自感	201
6.6 位移电流	206
6.7 麦克斯韦方程组及电磁波	209

本章提要·····	212
思考题·····	213
习题·····	213
数值表 ·····	217
习题答案 ·····	219
索引 ·····	228

第 1 章

质点力学

经典力学研究宏观物体的低速机械运动。机械运动是指物体的位置随时间的变化,速度远低于真空中的光速 c 的运动称做低速运动。经典力学也称为牛顿(I. Newton)力学或力学,它是物理学、天文学和许多工程学的基础。

在不涉及转动和形变的许多力学问题中,可以不考虑物体的形状和尺寸大小的影响,而用一个具有一定质量的点,即质点来代表物体。例如在研究地球绕太阳公转时,由于地球的半径比地球与太阳之间的距离小得多,所以地球可以用质点来代表。但是在研究地球的自转或地震现象时,就不能再把地球看成是一个质点了。质点只是一个理想模型,实际上是不存在的。

本章所介绍的质点力学,是牛顿力学的最基础内容,包括质点运动学和质点动力学。质点运动学主要是描述质点的运动状态,而不涉及引起运动和改变运动状态的原因;质点动力学则讨论在力的作用下质点的运动状态是如何变化的。

1.1 质点运动的描述

1.1.1 位矢和位移

质点的运动是指它的位置随时间的变化,而位置总是相对其他参照物体而言的。因此,研究质点的运动时必须选定参照物体,这些被选定的参照物体称为参考系。在运动学问题中,只要描述方便,参考系是可以任意选取的,但参考系不同对运动的描述也就不同。例如在匀速运动的车厢内观察到有一个物体自由下落,但在地面上看,该物体却作平抛运动。这说明,运动具有相对性。

为定量表示质点相对某一参考系的位置,数学上还需要在该参考系中建立坐标系,例如直角坐标系、球坐标系等;坐标系的原点和坐标轴都固定在参考系上。

如图 1.1 所示,在固定于某一参考系上的直角坐标系中,设质点在时刻 t

运动到 P 点。质点的位置可以用 P 点的坐标表示,即

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

式(1.1)称为质点的运动函数。运动质点所经过的路径称为轨道,把式(1.1)中的时间 t 消去所得的曲线方程,就是质点的轨道方程。

质点的位置也可以用从 O 点引向 P 点的矢量 r 表示,矢量 r 称为质点的位置矢量,简称位矢。按照矢量和它的分量之间的关系,有

$$r = x(t)i + y(t)j + z(t)k$$

其中 i, j, k 代表沿三个坐标轴的单位矢量,其方向沿坐标轴的正方向,长度为 1 且不随时间变化。上式可以写成

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

这是运动函数的矢量形式。在质点运动过程中位矢 r 的尖端所形成的曲线就是质点的轨道。

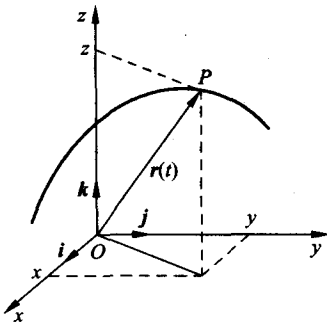


图 1.1 质点的坐标和位矢

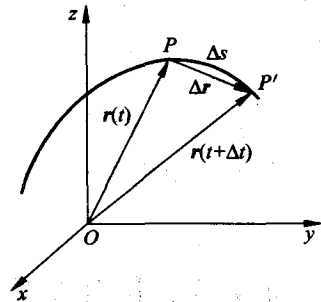


图 1.2 位移和路程

在一段时间内运动质点位矢的增量,叫做质点在这段时间内的位移。如图 1.2 所示,在时刻 t 质点的位矢为 $r(t)$,经过 Δt 时间后位矢变成 $r(t+\Delta t)$,位矢的增量为

$$\Delta r = r(t+\Delta t) - r(t)$$

这就是质点在 Δt 时间内的位移。位移 Δr 是矢量,它的大小为 $|\Delta r| = \overline{PP'}$,方向是由 P 点指向 P' 点。一般地说 $|\Delta r| \neq \Delta r$,因为 $\Delta r = r(t+\Delta t) - r(t)$,它只是位矢大小的增量。

质点沿轨道从 P 点到 P' 点通过的路程记为 Δs ,在一般情况下 $|\Delta r| \neq \Delta s$,但是当 Δt 趋于零时, $|\Delta r|$ 的极限和 Δs 的极限相等,即 $|dr| = ds$ 。位移的 SI 单位(国际单位制单位)是 m。

1.1.2 速度

质点的位移和发生位移的时间间隔之比,称为质点在这段时间内的平均速度,用 \bar{v} 表示。如图 1.3 所示,质点的平均速度为

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1.3)$$

平均速度是矢量,它的大小等于 $|\Delta r|/\Delta t$,方向与位移 Δr 相同。平均速度只能粗略地反映质点在 Δt 时间内运动的快慢和方向。

当 Δt 趋于零时,对平均速度取极限并用 v 表示,有

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1.4)$$

矢量 v 称为质点在时刻 t 的瞬时速度,简称速度,它精确地描述了质点在时刻 t 运动的快慢和方向。当 Δt 趋于零时 P' 点趋于 P 点,因此速度的方向沿质点运动轨道在 P 点的切线并指向运动的前方(图 1.3)。

速度的大小称为速率,用 v 表示,有

$$v = |v| = \left| \frac{dr}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} \quad (1.5)$$

式(1.5)表明,速率等于质点通过的路程对时间的变化率。

速度可以表示成

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j + \frac{dz}{dt}k = v_x i + v_y j + v_z k$$

其中 v_x, v_y, v_z 代表速度沿三个坐标轴的分量,即

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1.6)$$

速率与速度分量的关系为

$$v = |v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1.7)$$

速度和速率的 SI 单位都是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

1.1.3 加速度

质点运动的速度一般是随时间变化的,速度的变化情况用加速度来描述。如图 1.4 所示,质点在时刻 t 的速度为 $v(t)$,经过 Δt 时间后变成 $v(t+\Delta t)$,速度的增量为

$$\Delta v = v(t+\Delta t) - v(t)$$

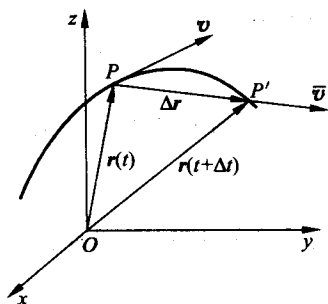


图 1.3 平均速度和瞬时速度

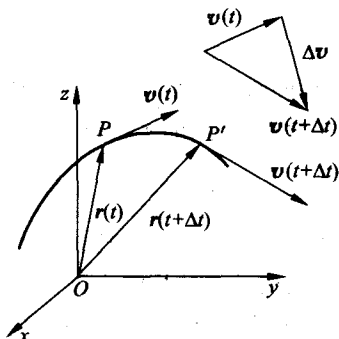


图 1.4 加速度

我们把 $\Delta v / \Delta t$ 定义为质点在这段时间内的平均加速度, 用 \bar{a} 表示, 即

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.8)$$

当 Δt 趋于零时, 平均加速度的极限

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2}$$

称为质点在时刻 t 的瞬时加速度, 简称加速度, 用 a 表示, 有

$$a = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1.9)$$

其分量形式为

$$\begin{aligned} a &= \frac{dv}{dt} = \frac{dv_x}{dt}i + \frac{dv_y}{dt}j + \frac{dv_z}{dt}k \\ &= \frac{d^2 x}{dt^2}i + \frac{d^2 y}{dt^2}j + \frac{d^2 z}{dt^2}k \\ &= a_x i + a_y j + a_z k \end{aligned}$$

其中 a_x, a_y, a_z 分别代表加速度沿三个坐标轴的分量

$$\left. \begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \\ a_y &= \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2} \\ a_z &= \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

加速度的大小为

$$a = |\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1.11)$$

加速度是矢量, 它既能反映速度大小的变化, 又能反映速度方向的变化。它的 SI 单位是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

质点的某一运动状态,是由质点在该状态下的全部物理量的取值给定的。如果给定质点的运动函数式(1.1)或式(1.2),就知道了质点的位置,并可通过对时间求导计算质点的速度和加速度,确定质点的动量和动能等全部物理量的取值。因此,用运动函数(位置)就可以描述质点的运动状态。但是,为了理论处理上的方便,有时也用位置和速度(动量)作为独立变量来描述粒子的状态。

在一般情况下,质点的加速度是随时间变化的。如果知道加速度随时间变化的函数关系 $a=a(t)$,并给定初始时刻质点的速度 $v(0)$,那么就可以通过积分来计算质点在任意时刻的运动速度 $v(t)$,即

$$v(t) = v(0) + \int_0^t a(t) dt \quad (1.12)$$

式(1.12)的分量形式为

$$\left. \begin{aligned} v_x(t) &= v_x(0) + \int_0^t a_x(t) dt \\ v_y(t) &= v_y(0) + \int_0^t a_y(t) dt \\ v_z(t) &= v_z(0) + \int_0^t a_z(t) dt \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

求出速度 $v(t)$ 后,再给定质点初始位矢 $r(0)$,质点在任意时刻的位矢就可按下式计算

$$r(t) = r(0) + \int_0^t v(t) dt \quad (1.14)$$

其分量形式,即质点的坐标为

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= x(0) + \int_0^t v_x(t) dt \\ y(t) &= y(0) + \int_0^t v_y(t) dt \\ z(t) &= z(0) + \int_0^t v_z(t) dt \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

综上所述,由质点的运动函数出发,就可以通过对时间求导计算质点的速度和加速度。但通过对加速度积分求任意时刻质点的速度和位矢时,还必须知道初始时刻质点的速度和位矢。

例 1.1 如图 1.5 所示,在离水面高度为 h 的岸边上,通过定滑轮 A 用绳子拉船靠岸,收绳的速率恒为 v_0 ,求船与岸边距离为 s 时的速度和加速度。

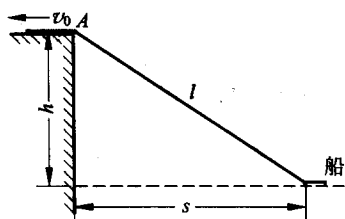


图 1.5 例 1.1 用图

解 设当船与岸边距离为 s 时, 船到定滑轮 A 的绳长为 l , 则收绳的速率为

$$v_0 = -\frac{dl}{dt}$$

负号是为保证收绳的速率取正值。船是沿水面运动的, 因此它的速度为

$$v = \frac{ds}{dt}$$

由图 1.5 可知

$$s = \sqrt{l^2 - h^2}$$

因此, 船的速度为

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{l}{\sqrt{l^2 - h^2}} \frac{dl}{dt} = -\frac{\sqrt{s^2 + h^2}}{s} v_0$$

负号代表船向岸边靠近。船的加速度为

$$a = \frac{dv}{dt} = -\left[\frac{d}{dl} \left(\frac{l}{\sqrt{l^2 - h^2}} \right) v_0 \right] \frac{dl}{dt} = -\frac{h^2 v_0^2}{s^3}$$

负号表示 a 的方向指向岸边, 船向岸边加速运动。

例 1.2 有一质点在 xy 平面上运动, 加速度为

$$\mathbf{a}(t) = At\mathbf{i} + Bt^2\mathbf{j}$$

式中 A 和 B 为常数, \mathbf{i} 和 \mathbf{j} 分别代表 x 轴和 y 轴方向的单位矢量。设初始时刻质点静止, 并处于坐标为 (x_0, y_0) 的位置, 求质点在任意时刻的速度和位矢。

解 把质点的加速度写成分量形式, 即

$$a_x(t) = At, \quad a_y(t) = Bt^2$$

按照式(1.13), 质点在任意时刻 t 的速度分量为

$$v_x(t) = v_x(0) + \int_0^t a_x(t) dt = 0 + A \int_0^t t dt = \frac{1}{2} At^2$$

$$v_y(t) = v_y(0) + \int_0^t a_y(t) dt = 0 + B \int_0^t t^2 dt = \frac{1}{3} Bt^3$$

因此, 质点在任意时刻 t 的速度为

$$\mathbf{v}(t) = \frac{1}{2} At^2 \mathbf{i} + \frac{1}{3} Bt^3 \mathbf{j}$$

质点的坐标可按式(1.15)计算, 即

$$x(t) = x(0) + \int_0^t v_x(t) dt = x_0 + \frac{1}{2} A \int_0^t t^2 dt = x_0 + \frac{1}{6} At^3$$

$$y(t) = y(0) + \int_0^t v_y(t) dt = y_0 + \frac{1}{3} B \int_0^t t^3 dt = y_0 + \frac{1}{12} Bt^4$$

质点在任意时刻 t 的位矢为

$$\mathbf{r}(t) = \left(x_0 + \frac{1}{6}At^3\right)\mathbf{i} + \left(y_0 + \frac{1}{12}Bt^4\right)\mathbf{j}$$

1.1.4 运动的相对性

相对于不同的参考系,同一质点的运动速度和加速度可能不同,这称为运动的相对性。如图 1.6 所示,假设参考系 S' 的坐标轴和参考系 S 的坐标轴始终保持平行,在某一时刻 S' 系的坐标原点 O' 相对 S 系的位矢为 \mathbf{R} ,质点 P 在 S' 系和在 S 系中的位矢分别为 \mathbf{r}' 和 \mathbf{r} ,在参考系 S' 相对参考系 S 静止或低速运动情况下,实验表明,有

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}' + \mathbf{R}$$

把上式两边对时间求导,得

$$\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{d\mathbf{r}'}{dt} + \frac{d\mathbf{R}}{dt}$$

用 \mathbf{v} 和 \mathbf{v}' 分别代表质点在 S 系和 S' 系中的速度,用 \mathbf{u}_0 代表 S' 系相对 S 系的速度,则有

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}' + \mathbf{u}_0 \quad (1.16)$$

式(1.16)称为伽利略(G. Galilei)速度变换。应用式(1.16)时要注意, \mathbf{u}_0 是 S' 系相对 S 系的速度。

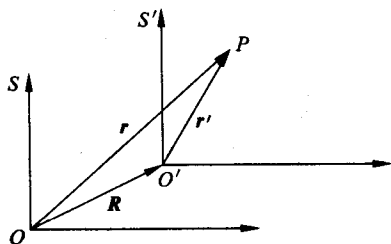


图 1.6 相对运动

把式(1.16)的两边对时间求导,可得加速度的变换关系

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}' + \mathbf{a}_0 \quad (1.17)$$

其中 \mathbf{a} 和 \mathbf{a}' 分别代表质点在 S 系和 S' 系中的加速度,而 \mathbf{a}_0 代表 S' 系相对 S 系的加速度。如果 S' 系相对 S 系作匀速直线运动,即 \mathbf{u}_0 不随时间变化, $\mathbf{a}_0 = 0$,则有

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}'$$

这说明,一个质点在两个相对作匀速直线运动的参考系中的加速度相同。

例 1.3 河水向东流,流速为每小时 10km。船相对河水向北偏西 30° 航行,航速为每小时 20km。此时向西刮风,风速为每小时 10km。求船上烟囱

冒出的烟的飘向和相对船的速度。

解 船上烟囱冒出的烟的飘向,就是风相对船的运动方向。图 1.7 给出了几个速度的关系,其中风相对船的速度就是所求。

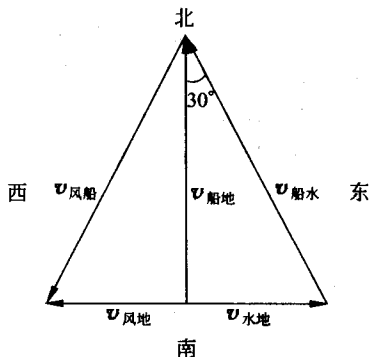


图 1.7 例 1.3 用图

把地当作 S 系,把水当成 S' 系,则由伽利略速度变换(1.16),有

$$v_{船地} = v_{船水} + v_{水地}$$

如图 1.7 所示,可求出船相对地的速度 $v_{船地}$ 的方向由南向北,大小为每小时 $10\sqrt{3}\text{km}$ 。如果把船当成 S' 系,则有

$$v_{风地} = v_{风船} + v_{船地}$$

可得

$$v_{风船} = v_{风地} - v_{船地}$$

因此,风相对船向南偏西 30° 方向运动,速度为每小时 20km 。此即船上的烟囱冒出的烟的飘向和速度。

例 1.4 设有一列火车在水平地面上作加速直线运动,加速度为 a_0 。在某时刻从车厢天花板上掉下一个螺帽。问在火车上静止的人看来螺帽的加速度是多大? 沿什么方向? 在地面上看呢?

解 设在火车上静止的人看来螺帽的加速度为 a' ,由运动的相对性,有

$$g = a' + a_0$$

其中 g 代表螺帽相对地面的加速度,即重力加速度。由此得

$$a' = g - a_0$$

因此, a' 的大小为

$$a' = \sqrt{g^2 + a_0^2}$$

方向沿火车运动的斜后下方。在地面上看,螺帽的加速度就是重力加速度 g 。

1.2 几种基本的运动

1.2.1 匀加速直线运动

加速度的大小和方向都不随时间变化的运动,叫做匀加速运动。设质点沿 x 轴作加速度为 a 的匀加速运动,初始时刻质点的速度为 v_0 ,坐标为 x_0 。按照式(1.12),任意时刻质点的速度为

$$v(t) = v_0 + \int_0^t a dt = v_0 + at$$

或写成

$$v = v_0 + at \quad (1.18)$$

上式为匀加速直线运动的速度公式。

由式(1.15)可知,任意时刻质点的坐标为

$$x(t) = x_0 + \int_0^t v(t) dt = x_0 + \int_0^t (v_0 + at) dt = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

或写成

$$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (1.19)$$

这就是匀加速直线运动的位移公式。

把式 $dv = a dt$ 的两边乘 v , 得

$$v dv = a v dt = a dx$$

做积分

$$\int_{v_0}^v v dv = a \int_{x_0}^x dx$$

可得

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (1.20)$$

式(1.18)、式(1.19)和式(1.20)都是在中学学过的匀加速直线运动的基本公式,这里只是给出了它们的推导过程。

1.2.2 抛体运动

忽略空气对物体的作用,物体被抛出后总是在二维竖直平面内运动。如果抛体运动发生在地球表面附近不太大的范围内,重力加速度 g 可以看成是常数,那么斜抛物体在水平方向作匀速直线运动,在竖直方向作自由竖直上抛运动。

如图 1.8 所示,在直角坐标系中 x 轴和 y 轴分别沿着水平方向和竖直方向。设在 $t=0$ 时刻抛体以初速度 v_0 沿与 x 轴成 θ 角的方向被抛出,初速度