



普通高等教育“十一五”规划教材

简明大学物理

(第二版)

张丹海 洪小达 © 主编



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”规划教材

简明大学物理

(第二版)

张丹海 洪小达 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是依据 2006 年国家教育部基础物理课程指导委员会制定的物理教学基本要求编写的工科大学物理教材,主要内容包括力学、热学、电学、磁学、振动和波动、光学和近代物理基础等内容. 本书选材精炼,注重应用,介绍了物理学原理在工程技术中的应用. 为加深读者对书中内容的理解,本书配有适当的练习题,并附习题答案.

本书可作为高等院校工科类专业的物理教材,也可供成人高等学校及高等职业学校的学生、教师使用.

图书在版编目(CIP)数据

简明大学物理/张丹海,洪小达主编. —2 版. —北京:科学出版社,2008
普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-03-020520-9

I. 简… II. ①张…②洪… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 009475 号

责任编辑:昌盛 贾 杨 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

化学工业出版社印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1998 年 1 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2008 年 1 月第 二 版 印张:22 1/4

2008 年 1 月第十一次印刷 字数:415 000

印数:28 001—33 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(化工))

第二版前言

诞生于 20 世纪末的《简明大学物理》，转眼走过了十个春秋。十年来，国家的飞速发展，社会的长足进步，推动着我国的高等教育迈入了大众化阶段。《简明大学物理》已经出版十年，与时俱进，保持活力，面向大众化高等教育，主动适应社会对人才目标的培养要求，是编写《简明大学物理》(第二版)的动因；务真求实，不求高深，力求创新，是编写《简明大学物理》(第二版)的基本宗旨。

《简明大学物理》(第二版)保持了第一版的“保证基础，精选内容”，简要明晰的基本风格。根据近年来教育部基础物理课程指导委员会关于“非物理类理工科大学物理课程教学基本要求”的指导精神，调整了部分结构，重组了部分内容，突出了应用，加重了近代物理内容。与第一版相比，有四分之一的知识内容得到了调整，为适应不同院校、不同类别专业的教学要求，以“核心内容”和“扩展内容”(文中小字部分)对知识内容作了相对性区分；有三分之一的例题、习题进行了更换，力图体现“基本训练、贴近实际、激发兴趣、体现素质”的选题思想。

《简明大学物理》出版十年，重印十次，许多专家学者和广大师生基于对编者的鼓励和厚爱，在给予本书十分肯定的同时，还提出了不少合理的要求和有益的建议。对这些要求和建议，在第二版中编者给予了应有的重视和吸纳。

参加本书第二版编写的有北方工业大学米仪琳、李为人，北京印刷学院李柳青，北京信息职业技术学院洪小达，北京建筑工程学院余丽芳，北京联合大学张丹海、宗广志、钱卉仙、姜黎霞。

为了提高《简明大学物理》的教学效果，同时出版了与本书配套使用的电子教案和习题解答(光盘)，以及与本书内容结构相同的教学用书《大学物理解析》，三者成为具有互补教学关系的“立体教材”。

面向大众化高等教育写书，写出大众化高等教育所需要的教材，这是编者期盼的目标。这些目标虽然限于编者的学识和水平，不敢妄称定能实现，但参与目标的追求也是很有意义的。

书中难免有疏漏之处，欢迎批评指正。

编者

2007 年 9 月

第一版序

物理学是一门重要的基础学科,是整个自然科学的基础.物理学的发展推动了整个自然科学的发展,对人类的物质观、时空观、宇宙观乃至整个人类文化都产生了极其深刻的影响.与此同时,物理学又是技术发展的最主要的源泉.上述结论,不仅已经为过去几百年的历史和当今的现实无可辩驳地证明了,而且必将进一步为未来所证明.

基于对物理学地位和作用的认识,在教学中应该强调物理学的基础性,着重阐明物质的基本结构形态和基本运动规律,并有选择地介绍当代进展,以扩展视野,使课程内容更加丰富.物理教学应该在传授物理知识和研究方法,培养能力和提高素质的同时,宣扬物理学本身一贯具有的崇高理性、崇尚实践、追求真理的精神.

《简明大学物理》是为非物理专业学时较少的“大学物理”课程提供的教材.它继承了我国物理教学的成熟经验,精选内容,加强基础,力图在较少的时间内使学生对物理学的内容和方法、概念和图像、历史和现状有所了解,为尔后的学习打下比较扎实的物理基础.为此,编者进行了一些有益的尝试和探索,相信会受到读者的欢迎,也衷心期待批评和指正.

陈秉乾

1997.4 于北京大学

目 录

第二版前言

第一版序

第一章 质点运动学	1
1-1 参考系和坐标系 质点	1
1-2 位置矢量 位移	2
1-3 速度 加速度	4
1-4 直线运动	8
1-5 抛体运动	10
1-6 圆周运动	12
1-7 相对运动	16
本章要点	18
习题	19
第二章 质点动力学	22
2-1 牛顿运动定律	22
2-2 力学中常见的三种力	26
2-3 牛顿运动定律的应用	27
2-4 动量定理	30
2-5 动量守恒定律	33
2-6 功 动能 动能定理	36
2-7 保守力的功 势能	41
2-8 功能原理 机械能守恒定律	43
*2-9 对称性和守恒定律	46
本章要点	49
习题	51
第三章 刚体力学基础	54
3-1 刚体的基本运动形式	54
3-2 转动定理	55
*3-3 刚体绕定轴转动的动能定理	59
3-4 角动量 角动量守恒定律	61
*3-5 刚体的进动	64

* 3-6 理想流体的性质 伯努利方程	65
本章要点	65
习题	67
第四章 机械振动与机械波	69
4-1 简谐振动的基本概念和规律	69
* 4-2 阻尼振动 受迫振动和共振	76
* 4-3 非线性振动简介	79
* 4-4 简谐振动的合成	80
4-5 机械波的产生及其特征量	83
4-6 平面简谐波	85
4-7 波的传播	90
4-8 波的干涉 驻波	92
4-9 多普勒效应	95
* 4-10 声波 声强级	97
本章要点	99
习题	101
第五章 气体动理论及热力学	105
5-1 平衡态 理想气体状态方程	105
* 5-2 范德瓦耳斯方程	106
5-3 理想气体的压强和温度公式	107
5-4 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	110
5-5 麦克斯韦气体分子速率分布律	113
5-6 分子的平均碰撞次数和平均自由程	118
5-7 热力学第一定律	120
5-8 热力学第一定律对理想气体的应用	122
* 5-9 多方过程	127
5-10 循环过程 卡诺循环	128
5-11 热力学第二定律	133
5-12 熵 熵增加原理	136
本章要点	138
习题	141
第六章 静电场	144
6-1 电荷和电场	144
6-2 电通量 高斯定理	149
6-3 静电场力的功 电势	155

6-4 静电场中的导体和电介质	162
6-5 电容 电容器 静电场的能量	166
6-6 一些静电现象和静电技术的应用	170
本章要点	171
习题	172
第七章 稳恒磁场	177
7-1 基本磁现象	177
7-2 磁场 磁感应强度	178
7-3 磁感应线 磁场中的高斯定理	180
7-4 毕奥-萨伐尔定律	182
7-5 安培环路定理	185
7-6 磁场对运动电荷的作用	189
7-7 磁场对电流的作用	192
7-8 磁场对平面载流线圈的作用	196
*7-9 磁介质中的磁场	199
本章要点	202
习题	203
第八章 电磁感应 电磁场	209
8-1 电磁感应现象 楞次定律	209
8-2 电动势 法拉第电磁感应定律	211
8-3 动生电动势 感生电动势	214
8-4 自感和互感	216
8-5 磁场的能量	219
8-6 位移电流 麦克斯韦方程组	221
*8-7 麦克斯韦方程组的微分形式	224
*8-8 直流电路	226
本章要点	229
习题	230
第九章 光学	233
*9-1 几何光学基本定律	233
*9-2 薄透镜	237
9-3 光的干涉	240
9-4 光的衍射	251
*9-5 晶体的 X 射线衍射 全息照相	259
9-6 光的偏振	261

本章要点.....	269
习题.....	272
第十章 狭义相对论	276
10-1 伽利略变换式 绝对时空观.....	276
10-2 爱因斯坦假设 洛伦兹变换.....	279
10-3 相对论时空观.....	282
10-4 相对论动力学基础.....	285
*10-5 电磁场的相对性.....	287
本章要点.....	289
习题.....	289
第十一章 量子物理基础	291
11-1 黑体辐射 普朗克量子假设.....	291
11-2 光的量子性.....	293
11-3 德布罗意波.....	299
*11-4 氢原子的玻尔理论.....	300
11-5 不确定关系.....	303
11-6 波函数.....	305
11-7 薛定谔方程.....	306
11-8 原子中核外电子的状态.....	312
11-9 激光.....	315
*11-10 固体的能带与量子效应.....	317
本章要点.....	319
习题.....	321
附录一 物理中常用的数学	323
1-1 矢量.....	323
1-2 矢量的加法和减法.....	323
1-3 矢量的乘法.....	324
1-4 矢量的正交分解和合成.....	325
附录二 国际单位制(SI)的基本单位	328
附录三 常用物理常量	329
习题答案	330

第一章 质点运动学

物理学是研究物质结构及其运动的最普遍基本规律的自然科学. 本章讨论物体位置的变化, 即机械运动.

1-1 参考系和坐标系 质点

一、参考系和坐标系

自然界中一切物体都在运动, 大到地球、太阳等天体, 小到分子、原子和各种基本粒子都处在永恒的运动中, 所以物体的运动是普遍的、绝对的. 但是对运动的描述是相对的, 即与参考物有关. 如在匀速行驶的车上物体的落体运动, 在地面上看却是抛物线运动. 所以在描述研究对象的运动时, 首先必须选择另一个或几个保持相对静止的物体作为参考, 被选作参考的物体就称为参考系.

一般的, 参考系的选择具有任意性, 视具体问题的性质和方便而定. 如研究地面附近物体的运动就常以地球为参考系, 若研究地球绕太阳的运动选太阳恒星为参考系.

为了定量地描绘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. 通常使用的是固定在参考系上的直角坐标系, 也可以使用极坐标系、球面坐标系或柱面坐标系等. 长度单位取国际单位制为米(m), 也可以使用厘米(cm)、千米(km)等.

二、质点

当物体的大小和形状可以忽略时, 将物体抽象为具有质量的几何点, 即质点.

例如在研究物体的平动时, 其上各点的运动情况完全相同, 可取物体上的任一点来代表, 将平动的物体看作质点; 研究地球绕太阳的运动, 虽然地球即自转又公转, 各点间的运动也不相同, 但考虑到日地距离是地球直径的一万多倍, 在研究地球公转时可以忽略地球的大小和形状, 把地球看成是一个质点.

一个物体能否看成质点, 应根据具体问题而定. 如研究地球自转及物体的转动、液体的流动等必须考虑研究对象的大小和形状, 不能将物体看成质点, 但可以将其分成质点系, 所以质点运动学是整个运动学的基础.

我们将物体看成质点, 对实际问题进行抽象化处理, 突出事物的本质因素, 忽略其次要因素, 从而使所研究的问题简化, 以便于从理论上去研究它, 这种被抽象

了的模型称为理想模型. 质点是实际物体的一个理想模型, 后面我们还会建立刚体、理想气体、点电荷等理想模型, 建立理想模型的方法在处理实际问题中是很有意义的.

1-2 位置矢量 位移

一、位置矢量和运动方程

在直角坐标系中描述质点的位置我们习惯于用坐标 (x, y, z) 表示, 在物理学中还可以用一个有向线段来表示质点的位置. 这个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, 称为质点的位置矢量, 简称位矢, 记作 $\mathbf{r}$, 显然 $\mathbf{r} = \overrightarrow{OP}$, 而且下式成立:

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-1)$$

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

$\mathbf{r}$ 的大小为

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

$\mathbf{r}$ 的方向余弦为 $\cos\alpha = \frac{x}{r}, \cos\beta = \frac{y}{r}, \cos\gamma = \frac{z}{r}$.

对应于不同时刻, 质点总有一定的位置矢量 $\mathbf{r}$ 与之对应, $\mathbf{r}$ 是 t 的函数, 记作

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

这就是质点的运动方程.

由直角坐标系中, 点的坐标与 $\mathbf{r}$ 的对应关系可以得到

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

或者

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \quad (1-3)$$

这就是质点运动方程的标量形式.

位置矢量有三条基本特性: (1) 矢量性, $\mathbf{r}$ 是矢量, 不仅有大小, 而且有方向; (2) 瞬时性, 位置矢量总是与时刻相对应, 不同时刻质点的位置矢量不同; (3) 相对性, 坐标系的选择不同导致位置矢量也不同, 这表明质点的位置矢量 $\mathbf{r}$ 与坐标系的选择有关 (如图 1-1 所示).

运动质点在空间所经过的路径称为轨道.

轨道是位置矢量的矢端在空间移动的

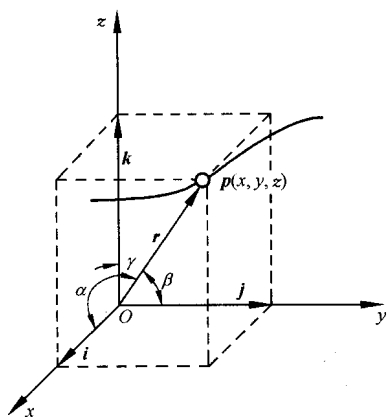


图 1-1 位置矢量

轨迹,在质点的运动方程中消去时刻 t 就可以得到质点的轨道方程. 运动方程是轨道的参数方程.

例如质点的运动方程为

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

其标量形式为

$$x = R\cos\omega t, \quad y = R\sin\omega t, \quad z = 0$$

消去 t 后得到轨道方程

$$x^2 + y^2 = R^2, \quad z = 0$$

这是圆心在坐标原点, 半径为 R , 位于 $z=0$ 平面内的圆.

二、位移

如图 1-2 所示, A, B 分别为 t 与 $t+\Delta t$ 时刻质点的位置, $\widehat{AB}$ 是质点运动轨迹的一部分, $\mathbf{r}_A, \mathbf{r}_B$ 分别为 A, B 二点的位置矢量. 这样, 质点在 Δt 内的位移定义为 $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A$. $\Delta\mathbf{r}$ 是由 A 点(起点)指向 B 点(终点)的有向线段, $\Delta\mathbf{r}$ 是位置矢量 $\mathbf{r}_A$ 的增量, $\Delta\mathbf{r}$ 不仅表示 B 点相对于 A 点的方位, 而且还表示 AB 间的距离.

位移是矢量, 既有大小, 又有方向, 它与质点所经过的路程不同. 路程 Δs 是指质点所经路径的长度, 只有大小, 没有方向, 路程是标量. 位移与路程是两个截然不同的概念. 某人绕 400m 跑道跑一圈, 其位移 $\Delta\mathbf{r}$ 为 0, 而路程 Δs 为 400m. 显然 $\Delta s \neq |\Delta\mathbf{r}|$, 仅当 $|\Delta\mathbf{r}| \rightarrow 0$ 时, 表示 $|\Delta\mathbf{r}|$ 的弦与表示 Δs 的弧趋于一致, 二者的大小才相等, 即 $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}s$, 而且 $\mathrm{d}\mathbf{r}$ 的方向趋近于 A 点的切线方向.

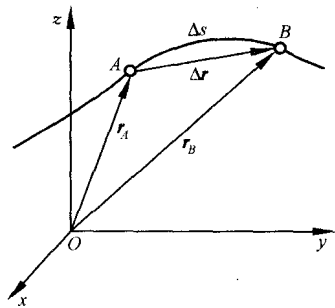


图 1-2 位移

在图 1-2 中, A, B 两点的位置矢量分别为

$$\mathbf{r}_A = x_A\mathbf{i} + y_A\mathbf{j} + z_A\mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_B = x_B\mathbf{i} + y_B\mathbf{j} + z_B\mathbf{k}$$

由此, 质点由 A 运动到 B 的位移矢量 $\Delta\mathbf{r}$ 为

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = (x_B - x_A)\mathbf{i} + (y_B - y_A)\mathbf{j} + (z_B - z_A)\mathbf{k} \quad (1-4)$$

位移的大小为

$$|\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \quad (1-5)$$

其方向可由方向余弦表示

$$\cos\alpha = \frac{x_B - x_A}{|\Delta\mathbf{r}|}, \quad \cos\beta = \frac{y_B - y_A}{|\Delta\mathbf{r}|}, \quad \cos\gamma = \frac{z_B - z_A}{|\Delta\mathbf{r}|} \quad (1-6)$$

1-3 速度 加速度

物理学要研究物体多种运动形式,而描述这些运动形式的各种物理量一般都处在变化之中,因此就需要研究各种物理量对于时间的变化率.本节由最基本的变化率开始.

一、平均速度矢量

研究物体的运动,不仅要研究位置矢量和位移,而且要研究位置移动的快慢和方向.在图 1-2 中,时刻 t 到 $(t+\Delta t)$ 内,质点的位移为 $\Delta \mathbf{r}$,所用时间间隔为 Δt ,那么,我们称 $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 的比值为质点在这段时间内的平均速度矢量,简称为平均速度,即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-7)$$

表明平均速度等于位移矢量对时间的平均变化率.

由于 $\Delta \mathbf{r}$ 与所取时刻 t 及时间间隔 Δt 有关,所以 $\bar{\mathbf{v}}$ 与 t 和 Δt 的选取有关.平均速度 $\bar{\mathbf{v}}$ 并不能精确反映 $t \rightarrow t+\Delta t$ 内质点运动的情况,它只是粗略地反映出在这一时间段内质点运动的平均快慢及总的方向.平均速度的方向与位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同,平均速度的大小等于在 Δt 内每单位时间内平均位移的大小.

所谓平均速率是指质点在 Δt 内所经过的路程 Δs 与所用时间 Δt 的比值,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-8)$$

平均速率是质点在单位时间内通过的平均路程,它是标量.

二、瞬时速度矢量

平均速度不能精确说明质点的运动情况,为了精确说明质点在时刻 t 的运动情况,应该把 Δt 取得尽可能小, Δt 越小,比值 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 就越能精确地表示 t 时刻的运动情况.为此应用极限的概念,在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的极限就是质点在 t 时刻的运动的精确描写,我们称之为瞬时速度矢量,简称速度.即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-9)$$

该式表明瞬时速度就是位置矢量对时间的一阶导数.瞬时速度是矢量,其方向为 $\Delta t \rightarrow 0$ 时位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向,参看图 1-3 中位移 $\Delta \mathbf{r} = \overrightarrow{AB}$ 沿着割线 AB 的方向.当 Δt 逐渐减小而趋于零时, B 点趋于 A 点,相应的割线 AB 趋于 A 点的切线,其方向为质点前进的方向.

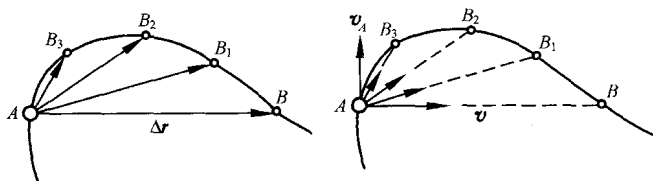


图 1-3 质点在轨道上 A 点处的速度的方向

在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情况下, 质点平均速率的极限就是质点的瞬时速率, 即

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = |\mathbf{v}| \quad (1-10)$$

上式还表明, 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 弦 AB 无限接近弧 $\widehat{AB}$, 即 $|\Delta \mathbf{r}| \rightarrow \Delta s$, 因此, 瞬时速率就是瞬时速度的大小. 瞬时速率是标量, 瞬时速度是矢量, 在国际单位制中速度与速率的单位均为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. 由于

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

所以

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}) \\ &= \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} \\ &= v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-11)$$

其中 v_x, v_y, v_z 分别为 $\mathbf{v}$ 在 x, y, z 方向上投影的大小, 显然

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1-12)$$

速度的大小

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \quad (1-13)$$

其方向可由方向余弦表示

$$\cos\alpha = \frac{v_x}{v}, \quad \cos\beta = \frac{v_y}{v}, \quad \cos\gamma = \frac{v_z}{v} \quad (1-14)$$

三、瞬时加速度矢量

质点运动时, 瞬时速度的大小和方向都会不断变化, 加速度就是描述这种变化的快慢和方向的物理量.

仿照平均速度概念的研究方法, 在图 1-4 中, $\mathbf{v}_A$ 表示质点在 t 时所在 A 点的速度, $\mathbf{v}_B$ 表示质点在 $t + \Delta t$ 时所在 B 点的速度, 参看速度的矢量三角形, 可知速度在 Δt 内的增量即末时刻速度与初时刻速度之差为

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A \quad (1-15)$$

其方向由方向余弦表示

$$\cos\alpha = \frac{a_x}{a}, \quad \cos\beta = \frac{a_y}{a}, \quad \cos\gamma = \frac{a_z}{a} \quad (1-21)$$

由于

$$a = |\mathbf{a}| = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{v}|}{\Delta t}$$

可知加速度的大小等于速度增量的大小对时间的变化率的极限。

例 1-1 已知质点的运动方程为 $\mathbf{r} = 10\mathbf{i} + 15t\mathbf{j} + 5t^2\mathbf{k}$ (单位: m), 求(1)质点的运动轨迹, (2) $t=0, t=1\text{s}$ 时质点的速度矢量和加速度矢量。

解 由于 $x=10$ 为常量, 所以质点在 x 轴上距原点 10m 处的 Oyz 平面上运动。运动方程为

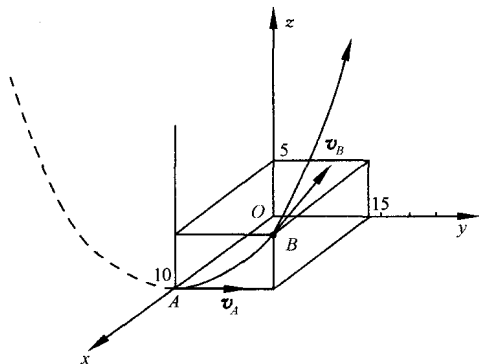
$$\begin{cases} x = 10 \\ y = 15t \\ z = 5t^2 \end{cases}$$

消去 t 得轨迹方程

$$\begin{aligned} x &= 10 \\ z &= \frac{1}{45}y^2 \end{aligned}$$

为 $x=10$ 平面上开口向上的一支抛物线。

$t=0$ 时, 质点位于 A 点, 速度方向沿轨道切向, 即 y 轴正向; $t=1\text{s}$ 时, 质点位于 B 点, 速度方向沿 B 点处轨道的切向。



由(1-11)式, 速度矢量表达式为

$$\mathbf{v} = 15\mathbf{j} + 10t\mathbf{k}$$

v 的大小

$$v = \sqrt{225 + 100t^2}$$

v 的方向余弦

$$\cos\alpha = 0, \quad \cos\beta = \frac{15}{v}, \quad \cos\gamma = \frac{10t}{v}$$

(1) 当 $t=0$ 时, $v=15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\cos\alpha = \cos\gamma = 0, \quad \cos\beta = 1$$

表明质点速度沿 y 轴正方向 ($\alpha=\gamma=90^\circ, \beta=0^\circ$)。

(2) 当 $t=1\text{s}$ 时, $v=18.03\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\cos\alpha = 0, \quad \cos\beta = 0.832, \quad \cos\gamma = 0.555$$

即

$$\alpha = 90^\circ, \quad \beta = 33^\circ 42', \quad \gamma = 56^\circ$$

再求加速度矢量. 由(1-20)式, $a=10k$,

$$a = 10\text{m} \cdot \text{s}^{-2} = \text{恒量}$$

$$\cos\alpha = \cos\beta = 0, \quad \cos\gamma = 1$$

可见质点作 $a=10\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的匀加速运动, 其加速度方向沿 z 轴正方向 ($\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma=0$).

1-4 直线运动

物体轨迹是直线的运动, 称为直线运动. 直线运动可以用一维坐标来描述, 其所涉及的物理量都可以作为标量处理. 设这个一维坐标为 x 轴, O 为原点. 显然质点的位置是时间的函数, 其运动方程为

$$x = x(t)$$

与此相对应的速度、加速度分别为

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

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

其值的正与负表示与 x 轴同方向或反方向, 并不表示运动是加速或是减速, 后者要依据加速度方向与速度方向是否相同来决定.

例 1-2 已知质点作匀加速直线运动, 加速度为 a . 求该质点的运动方程.

解 由加速度定义式(1-19), $a = \frac{dv}{dt} = \text{恒量}$

$$dv = a dt$$

$$v = \int a dt = at + C_1$$

设当 $t=0$ 时, $v=v_0$, 代入上式可得 $C_1=v_0$, 因此

$$v = v_0 + at$$

由速度定义式(1-9)或(1-11)

$$v = v_0 + at = \frac{dx}{dt} \tag{1-22}$$

$$dx = (v_0 + at)dt$$

积分可得

$$x = \int (v_0 + at)dt = \int v_0 dt + \int at dt$$