

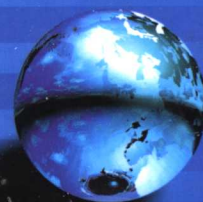
高等学校教材

PuTong

WULIXUE

普通物理学

主编 岳优兰 张新海



郑州大学出版社

高等学校教材

普通物理学

主 编 岳优兰 张新海

郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学/岳优兰,张新海主编. —郑州:郑州大学出版社,2003.2

ISBN 7-81048-690-X

I. 普… II. ①岳…②张… III. 普通物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第007280号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路40号

全国新华书店经销

郑州市毛庄印刷厂印制

开本:787 mm × 1 092 mm

印张:23.25

字数:537千字

版次:2003年2月第1版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-6966070

1/16

印次:2004年8月第2次印刷

书号:ISBN 7-81048-690-X/O·16

定价:35.80元

本书如有印装质量问题,由承印厂负责调换

《普通物理学》编者名单

主 编	岳优兰	张新海
副主编	尚晓星	许安涛
编 委	岳优兰	张新海
	尚晓星	许安涛

内容提要

《普通物理学》是作者按照国家教委制定的《高等学校工程专科物理课程教学基本要求》,总结长期教学经验,精心编写而成的大学物理教材。全书共分 19 章,分属力学、热学、电磁学、光学、近代物理与新技术等五大部分。其中力、热、电、光四大部分分别从基本概念与基本规律入手,通过相关的物理实验以及所附的例题讲解,将抽象的物理学知识定性、定量化描述;较好地培养了学生的科学思维能力与分析物理现象、解决物理学实际问题的技能。其他部分包含激光、近代物理及半导体三章内容,以了解这些领域为主要目的,并进一步提高学生的认识高度与深度。

本书不仅可作为高等学校高职高专各专业的物理教材,也可作为高等学校工程本科各专业压缩学时后的物理课程用书,还可用做各类成人高校物理课程教材和参考书。

前 言

本教材按国家教委 1990 年制定的《高等学校工程专科物理课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)精选和组织内容。在“以应用为目的、以必须够用为度”的原则指导下,该教材运用现代教育思想,着重基本概念与基本规律的阐述;以物理实验为基础,力求强化理论联系实际,用辩证唯物主义的观点和方法培养学生的科学思维能力。

长期的教学实践经验,使我们体会到阐明《基本要求》对学生掌握好学习重点是有益的,因而将教学内容分为以下三级:掌握、理解、了解。

1. 掌握的内容(属较高要求):该内容要求学生学习后能准确完整地理解有关物理概念和规律的表达及其所依据的现象和实验,并且能以这些概念为中心熟练地分析和解决一些问题。

2. 理解的内容(属一般要求):该内容要求学生学习后能依据这些概念和规律进行简单的分析和判断,能应用所学的公式进行计算。

3. 了解的内容(属较低要求):该内容要求学生学习后知道其所涉及的物理现象、概念和规律,能识别其主要特征、方法和结论或进行代入公式的简单计算。

《基本要求》的详细内容分列在各章之首;并为了方便学生的课前预习,每节内容前面均排出“预习要点”。希望以此培养学生良好的学习方法,提高课堂教学的实际效果。

全书内容简明、概念清晰,有关内容采用了模型法、对比法、综合分析法等,易教易学。每章后面适当选编了一些阅读材料,以增强物理学习的趣味性并提高学生学习物理的积极性。

本书系河南省教育科学规划课题“工科新高职物理教学改革”(2000 - KJGHA - 119 号)的一部分,受到课题专家组郑州工程学院李鸿寅教授,郑州大学张逸民教授、关智武教授,郑州轻工业学院缪兴中教授,华北水利水电学院孙长庚副教授等五位专家的肯定和鼓励。专家们提出了不少意见和建议。根据专家们的意见,我们作了相应的修改,在此一并表示诚挚的谢意。

本书由以下人员编写:岳优兰(第一~三章),张新海(第四、五章,第十三~十六章),许安涛(第六、七章,第十七~十九章,附录),尚晓星(第八~十二章)。全书由岳优兰统稿、定稿。

编者期待本书为培养应用型高级技术人才作出一定的贡献,并诚恳地希望读者不吝赐教,以便今后不断完善。

编者

2002 年 10 月

目 录

第一章 质点运动学	1
第一节 描述质点运动的物理量	1
第二节 直线运动	5
第三节 曲线运动	8
第四节 相对运动	13
思考题	15
习题	16
第二章 质点动力学	19
第一节 牛顿运动定律及其应用	19
第二节 力学单位制 量纲	24
第三节 惯性参照系和非惯性参照系	25
第四节 功 动能定理	27
第五节 功能原理 机械能守恒定律	32
第六节 动量 动量守恒	34
第七节 碰撞	37
思考题	39
习题	40
第三章 刚体力学	44
第一节 刚体运动学	44
第二节 质心运动定理	48
第三节 转动惯量	50
第四节 转动定律	54
第五节 刚体定轴转动的动能定理	57
第六节 角动量 角动量守恒定律	59
思考题	62
习题	63
第四章 机械振动	67
第一节 简谐振动及运动方程	67
第二节 描述简谐振动特征的物理量	70
第三节 简谐振动的几何描述	72
第四节 单摆和复摆	74
第五节 简谐振动的能量	76
第六节 简谐振动的合成	78

* 第七节 阻尼振动 受迫振动 共振	81
思考题	83
习题	84
第五章 机械波	87
第一节 波的基本概念	87
第二节 平面简谐波的表达式	91
第三节 波的能量	94
第四节 惠更斯原理 波的衍射	96
第五节 波的叠加 波的干涉	97
* 第六节 驻波	99
第七节 多普勒效应	101
第八节 声波 超声波 次声波	103
思考题	105
习题	106
第六章 气体分子运动论	108
第一节 理想气体的压强公式 温度	108
第二节 气体分子速率分布规律	114
第三节 能量均分定理 理想气体的内能	117
第四节 气体分子的平均自由程	120
* 第五节 气体内的迁移现象	122
思考题	125
习题	126
第七章 热力学基础	129
第一节 热力学第一定律及应用	129
第二节 绝热过程	134
第三节 循环过程 热机效率	136
第四节 卡诺定理	139
第五节 热力学第二定律	140
* 第六节 熵 熵增加原理	142
思考题	146
习题	147
第八章 真空中的静电场	150
第一节 真空中的库仑定律	150
第二节 电场与电场强度	152
第三节 电场中的高斯定理	157
第四节 电势	162
第五节 电场强度与电势的关系	166

思考题	169
习题	169
第九章 静电场中的导体与电介质	171
第一节 静电场中的导体	171
第二节 静电场中的电介质	174
第三节 电位移矢量和介质中的高斯定理	176
第四节 电容和电容器	180
第五节 静电场的能量	183
思考题	185
习题	186
第十章 稳恒电流的磁场	189
第一节 磁感应强度	189
第二节 毕奥—萨伐尔定律	193
第三节 安培环路定理	197
第四节 带电粒子在磁场中的运动	201
第五节 磁场对电流的作用	205
* 第六节 霍耳效应	208
思考题	210
习题	211
第十一章 磁介质	214
第一节 磁介质及其磁化	214
第二节 磁介质中的安培环路定理	218
第三节 铁磁质	221
思考题	223
习题	224
第十二章 电磁感应 电磁波	225
第一节 电磁感应的基本定律	225
第二节 动生电动势和感生电动势	226
第三节 自感和互感	230
第四节 磁场的能量	233
第五节 麦克斯韦方程组	235
第六节 电磁振荡 电磁波	239
思考题	245
习题	245
第十三章 光的干涉	249
第一节 光波的相干条件	249
第二节 杨氏双缝实验	250
第三节 光程 薄膜干涉	254

第四节	迈克耳孙干涉仪·····	260
思考题	·····	261
习题	·····	262
第十四章	光的衍射 ·····	263
第一节	光的衍射现象·····	263
第二节	单缝 圆孔的夫琅和费衍射·····	265
第三节	衍射光栅·····	269
第四节	衍射现象的应用·····	273
思考题	·····	276
习题	·····	276
第十五章	光的偏振 ·····	278
第一节	自然光与偏振光 马吕斯定律·····	278
第二节	反射光与折射光的偏振·····	280
第三节	双折射现象 晶体偏振器·····	283
第四节	偏振光的干涉·····	288
* 第五节	旋光现象·····	290
思考题	·····	291
习题	·····	292
第十六章	光的粒子性 ·····	294
第一节	黑体辐射·····	294
第二节	光电效应·····	295
第三节	光子 爱因斯坦方程·····	297
* 第四节	康普顿散射·····	300
思考题	·····	303
习题	·····	304
第十七章	激光 ·····	305
第一节	激光的形成·····	305
第二节	激光的纵模和横模·····	309
第三节	激光的特性及应用·····	311
第四节	激光器简介·····	312
思考题	·····	314
习题	·····	314
第十八章	狭义相对论基础 ·····	321
第一节	伽利略变换和经典力学的时空观·····	321
第二节	狭义相对论的实验基础·····	322
第三节	相对论基本假设 洛仑兹变换·····	324
第四节	相对论的动力学基础·····	331
思考题	·····	335

习题.....	336
第十九章 半导体与超导体	337
第一节 半导体的能带和导电原理.....	337
第二节 PN 结	339
第三节 半导体器件.....	341
第四节 超导电性简介.....	344
思考题.....	345
附录 I 矢量	346
附录 II 国际单位制	351
附录 III 常用物理常数	354
习题答案	355

注:加“*”者为选讲内容。

第一章 质点运动学

【基本要求】

1. 理解质点、参照系、惯性系等概念。
2. 掌握位置矢量、速度、加速度等描述质点运动和运动变化的物理量。
3. 掌握用运动学方程求位移、速度、加速度的方法(限二维)。
4. 了解相对运动。

在物质的多种多样的运动形式中,最简单而又最基本的运动是物体位置的变化,这种运动称为机械运动。行星绕太阳的转动,宇宙飞船的航行,机器的运转,水、空气的流动等等,都是机械运动。本章主要研究物体的位置随时间变化的规律——运动学。

第一节 描述质点运动的物理量

【预习要点】

1. 坐标系、质点、位置矢量的定义。
2. 运动方程、速度、加速度的定义以及运动方程与速度、加速度的关系。

参考系 自然界中所有的物体都在不停地运动,绝对静止的物体是不存在的,这就是运动的绝对性。但是对于运动的描述却是相对的。为了描述物体的运动,必须选择另一物体作为参考标准,这个被选作标准的物体叫做参考系。

在运动学中参考系的选取是任意的。同一个运动选择不同的参考系,其描述结果是不同的。例如:在匀速前进的车厢中的自由落体,相对于车厢是直线运动,相对于地面却是抛物线运动,相对于太阳或其他天体,运动的描述更为复杂。物体的运动形式随参考系的不同而不同,这个事实叫运动的相对性。

参考系的选择主要是看问题的性质和研究的具体问题。例如:要研究物体在地面上的运动,最方便的是选择地球作为参考系;一个星际火箭刚发射时,主要研究它相对于地面的运动,所以把地面选作参考系,但是当火箭进入绕太阳运行的轨道时,就可选太阳为参考系。在运动学中,如果不特别说明,一般都是选择地球作为参考系。

质点 任何物体都有一定的大小和形状。一般来说,物体在运动时,内部各点的位置变化是各不相同的。因此要精确描述物体的运动,并不是一件简单的事,为使问题简化,可以采取抽象的方法:当物体的线度和形状在所研究的现象中不起作用,或所起的作用忽略不计,可以近似地把物体看做一个只有质量而没有大小和形状的理想物体,称为质点。

例如,研究地球绕太阳的公转时,由于地球的直径较公转运动的轨道直径要小得多,因此地球的各点相对于太阳的运动基本上可视为是相同的,也就可以忽略地球的线度和形状,把地球当做一个质点。但是研究地球的自转时,如果把地球看做一个质点,显然就没有实际意义了。由此可见,一个物体是否可以抽象为质点,应根据问题的性质而定。

质点运动学是研究物体运动的基础。当进一步研究物体的运动时,常把整个物体看做由无数个质点组成。分析这些点的运动,就可以弄清整个物体的运动。

坐标系与位置矢量 为了定量描述质点的位置及其运动,必须在参考系上建立一个坐标系,通常采取直角坐标系(图 1-1)。一个质点 P ,它的位置在直角坐标系中可以由原点 O 指向 P 点的有向线段 r 来表示,即

$$\vec{r} = \overrightarrow{OP}$$

矢量 r 叫做位置矢量,简称位矢。相应地坐标 x, y, z 也就是位矢 r 沿坐标轴的三个分量。位矢 r 和它的三个分量 x, y, z 的关系为

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

r 的大小为

$$r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

位置矢量 r 的方向余弦为

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \cos\beta = \frac{y}{r}, \cos\gamma = \frac{z}{r}$$

式(1-1)中 $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 分别表示在三个坐标轴上的单位矢量。常用的坐标系还有极坐标系、球面坐标系、柱面坐标系、自然坐标系等。

时间和时刻 任何物体的运动都是在时间和空间中进行的。运动不能脱离空间,也不能脱离时间。时间本身具有单方向性的特点。“光阴一去不复返”这句话,正是说明了时间的单方向性。

在运动学中除时间外,还经常用到时刻的概念。在一定的参照系中考察质点的运动时,与质点所在某一位置相对应的是时刻,与质点所走过的一段路程或位移相对应的是一段的时间。

运动方程 质点运动时,决定其位置的坐标和位置矢量都是时间 t 的函数。表示运动过程的函数式称为运动方程,可以写为

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad (1-2)$$

在直角坐标系中,运动方程可表示为

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

知道了运动方程,质点的整个运动情况就很清楚了。所以运动学的主要任务之一就是找出各种具体运动所遵循的运动方程。

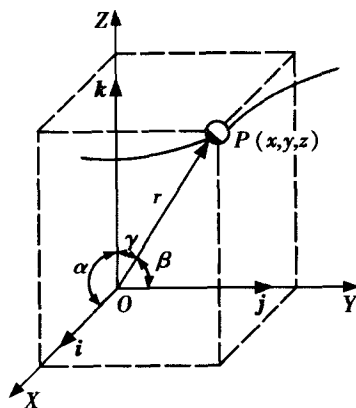


图 1-1 位置矢量

质点在空间所经历的路径称为**轨道**。质点的运动轨道为直线时,称为**直线运动**;其轨道为曲线时,称为**曲线运动**。由式(1-3)消去 t 后即可得轨道方程。

如果质点在 XOY 平面上运动,则运动方程式(1-3)变为

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

从两式消去 t 得轨道方程

$$y = y(x) \quad (1-5)$$

位移 设曲线 AB 是质点轨道上的一部分(图1-2),经过一段时间 Δt ,质点由 A 点运动到 B 点。 A 、 B 两点的位矢分别用 r_1 和 r_2 表示,质点的位置变化可用从 A 点到 B 点的有向线段 Δr 表示, Δr 称为质点的位移,即

$$\Delta r = r_2 - r_1 \quad (1-6a)$$

若质点是在 XOY 平面内运动,则位移 Δr 可以具体表示为

$$\begin{aligned} \Delta r &= (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} \\ &= \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} \end{aligned} \quad (1-6b)$$

位移的大小为

$$|\Delta r| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad (1-7)$$

位移 Δr 与 x 轴正方向的夹角 θ 由下式决定:

$$\tan\theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (1-8)$$

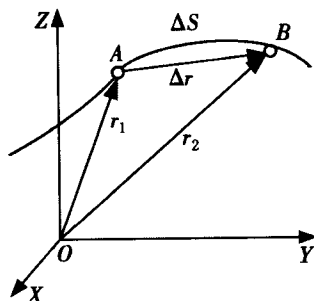


图 1-2 位移矢量

速度 速度是描述质点运动快慢和运动方向的物理量。设质点 t 时刻处于 A 点,在 $t + \Delta t$ 时刻处于 B 点,即在 Δt 时间内,质点的位移是 Δr (图1-3),定义质点的位移 Δr 与发生这段位移所用时间 Δt 的比值叫做这段时间内的**平均速度**。即

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1-9)$$

平均速度的方向与位移的方向相同,平均速度的大小等于在相应时间 Δt 内单位时间的位移。

显然,平均速度只能描述一段时间内位移的平均变化情况。为了精确地表示质点在某一时刻的运动情况,必须用**瞬时速度**来描述:质点在某一时刻或某一位置的瞬时速度,等于 Δt 趋近于零时平均速度的极限。其定义式为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1-10)$$

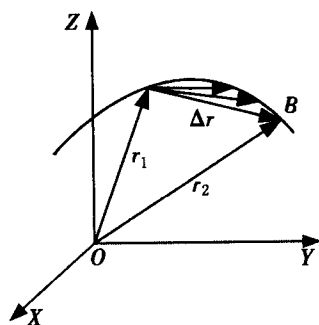


图 1-3 质点的速度

速度的方向就是 Δt 趋于零时 Δr 的方向,也就是质点运动轨道在 A 点的切线方向,并指向质点运动的方向。

速度的大小叫**速率**,用 v 表示。即

$$v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \right| \quad (1-11)$$

若用 Δs 表示 Δt 时间内质点轨迹所经历的路程, 定义 Δs 与 Δt 的比值叫平均速率。即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-12)$$

平均速率和速度的值一般不相等, 只有当 Δt 趋于零时, Δs 趋于 Δr , 平均速率与速度的大小才相等。

若质点在 XOY 平面内运动, 速度可具体表示为

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} \quad (1-13)$$

上式中, $v_x = \frac{dx}{dt}$ 、 $v_y = \frac{dy}{dt}$ 分别表示速度 $\mathbf{v}$ 在 x 、 y 轴上的分量。速度的大小为

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (1-14)$$

速度方向与 x 轴正方向的夹角 α 为

$$\alpha = \arctan \frac{v_y}{v_x} \quad (1-15)$$

在国际单位制(SI)中, 速度的单位是米/秒 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

加速度 加速度是描述质点速度变化快慢程度的物理量。

速度是个矢量, 不论它的大小变化, 还是方向变化, 都会引起加速度发生变化。为了研究质点速度的变化情况, 就必须引入加速度的概念。

设质点在 t 时刻位于 A 点, 速度为 $\mathbf{v}_A$, 在 $t + \Delta t$ 时刻位于 B 点, 速度为 $\mathbf{v}_B$, 若用 $\Delta \mathbf{v}$ 表示在时间 Δt 内质点速度的增量(图 1-4), 根据矢量运算法则有

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A \quad (1-16)$$

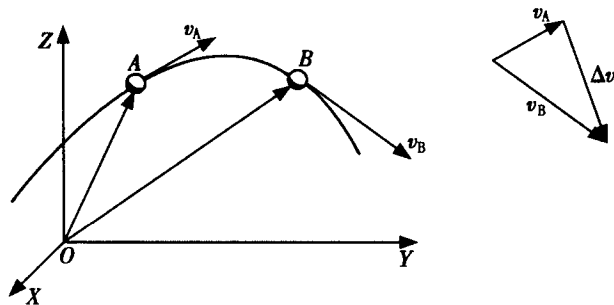


图 1-4 速度的增量

定义 $\Delta \mathbf{v}$ 与 Δt 的比值, 叫做这段时间内的平均加速度。用 $\bar{\mathbf{a}}$ 表示, 即

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A}{\Delta t} \quad (1-17)$$

当 Δt 趋于零时, 平均速度的极限, 即速度对时间的变化率, 叫做质点在时间 t 的瞬时加速

度,简称**加速度**,用 a 表示为

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1-18)$$

加速度也是一个矢量。加速度的方向就是 Δt 趋于零时,平均加速度 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 或速度增量 Δv 的极限方向,因而加速度的方向与同一时刻速度的方向一般不一致。

第二节 直线运动

【预习要点】

1. 直线运动的特点。
2. 直线运动图示表达的直观性。

在直线运动中,位移、速度、加速度各矢量都在一条直线上。所以在研究直线运动时,有关的物理量都可以用标量表示,用正、负号表示它们的方向。正号表示沿坐标轴正向,负号表示沿坐标轴反向。

设质点在直线运动中是沿 x 轴进行的,坐标轴原点为 O (图 1-5)。显然质点的坐标 x 是随时刻 t 而改变的, x 为正值时表示质点的位置在原点的右边; x 为负值时表示质点在原点的左边。其质点运动方程为

$$x = x(t) \quad (1-19)$$

位移为 $\Delta x = x_B - x_A \quad (1-20)$

速度为 $v = \frac{dx}{dt} \quad (1-21)$

加速度为 $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (1-22)$

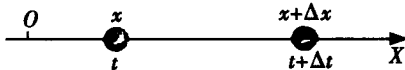


图 1-5 直线运动

直线运动的数学公式 对质点作直线运动的数学描述,主要有两类情况:一类是已知运动方程求质点速度和加速度(微分法);另一类是已知速度或加速度及初始条件(初速度或初位移),求质点的运动方程。

1. 已知质点的运动方程,求质点在各时刻的位置、速度、加速度以及在某段时间内的位移。

例 1-1 已知质点的运动方程 $x = 5 - 6t + 3t^2$, 式中 t 以 s 计, x 以 m 计。试求:

- (1) 质点在第二秒末的速度和加速度;
- (2) 质点在前二秒内的位移和路程。

解 对运动方程 $x = 5 - 6t + 3t^2$ 求导数,可得速度和加速度分别为

$$v = \frac{dx}{dt} = -6 + 6t$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} = 6$$

(1) 将 $t = 2$ s 代入上式得第二秒末的速度、加速度分别为

$$v_2 = -6 + 6 \times 2 = 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$a_2 = 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

(2) 前二秒内的位移和路程

根据位移定义有: $\Delta x = x_2 - x_0$, 而 $x_0 = 5 \text{ m}$, $x_2 = 5 - 6 \times 2 + 3 \times 2^2 = 5 \text{ m}$, 则

$$\Delta x = x_2 - x_0 = 0$$

当求前二秒内的路程时, 应考虑在此时间内质点运动的速度是否变向。若速度方向不变, 则路程与位移大小相等。若速度变向, 则先令 $v = 0$, 解出反向点, 再分段计算总路程。此时路程和位移不再相等。

由运动方程和(1)、(2)两式可知, 在 $t = 0$ 时, $x_0 = 5 \text{ m}$, $v_0 = -6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $a = 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 此时质点位于图 1-6 的 A 点。由于加速度与 v_0 反向, 肯定速度要变向, 令 $v = 0$, 得 $t = 1 \text{ s}$, 代入运动方程得反向点坐标 $x_1 = 2 \text{ m}$ (B 点)。因加速度不变, 所以从 1 s 以后, 质点将沿 x 正向作初速度为零的匀加速直线运动, 且在 $t = 2 \text{ s}$ 时, 质点又回到 A 点。由图 1-6 可得质点在前二秒内的路程为

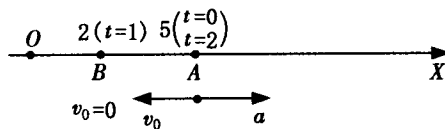


图 1-6 例 1-1 图

$$s = 2 \times (5 - 2) = 6 \text{ m}$$

2. 已知速度或加速度与时间的关系, 以及初始条件, 用积分法求质点的运动方程。

例 1-2 已知质点的加速度 $a = 6 - 24t$, 而 $t = 0$ 时, $x_0 = 0$, $v_0 = 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。求质点的运动方程。

解 根据加速度的定义, $a = \frac{dv}{dt}$, 可得 $dv = a dt$ 。对两边求定积分有

$$\int_3^v dv = \int_0^t (6 - 24t) dt$$

积分得

$$v - 3 = 6t - 12t^2$$

即

$$v = 3 + 6t - 12t^2$$

根据速度的定义, $v = \frac{dx}{dt}$, 得 $dx = v dt$ 。对两边求定积分得

$$\int_0^x dx = \int_0^t v dt = \int_0^t (3 + 6t - 12t^2) dt$$

积分得

$$x = 3t + 3t^2 - 4t^3$$

上式即为质点的运动方程。

直线运动的图示法 在研究质点作直线运动时, 还经常采用图示的方法。常用的图线有两种: 一种是表示坐标随时间变化的图线, 称为 $x-t$ 图; 另一种是表示速度随时间变化的图线, 称为 $v-t$ 图。

以 t 为横坐标, x 为纵坐标, 按运动方程 $x = x(t)$ 可描出坐标时间曲线(图 1-7)。

设在 t 和 $t + \Delta t$ 时刻, 质点的坐标分别为 x 和 $x + \Delta x$ 。由图可知, 平均速度 $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 在量值