

普通高等教育“十二五”规划教材

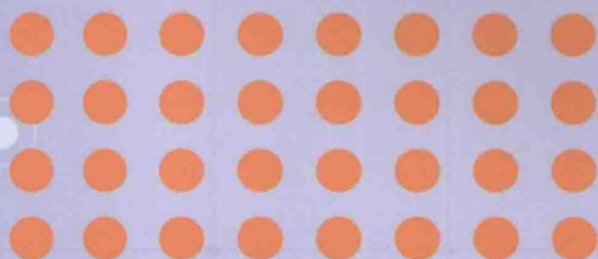
DaXueWuLi JiaoCheng
大学物理教程

主 编
谢国亚

林朝金

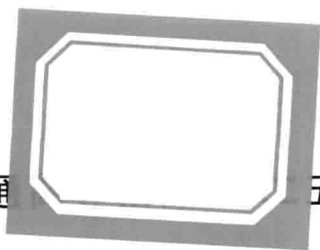
廖其力

(上)



吉林大学出版社

普通



五”规划教材

大学物理教程

(上册)

主 编 谢国亚 林朝金 廖其力
副主编 刘显蓉 徐巧英

吉林大学出版社

内容提要

本书是根据当前教学改革的需要编写的教材. 内容包括力学、热学、机械振动和机械波、电磁学、波动光学、近代物理基础. 全书分为上、下两册, 上册包括力学、热学、机械振动和机械波; 下册包括电磁学、波动光学、狭义相对论简介及近代物理基础.

本书可作为高等工科院校各专业的物理教材, 也可以作为老师和学生的参考用书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程 / 谢国亚, 林朝金, 廖其力主编.

—长春: 吉林大学出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-5601-9492-9

I. ①大… II. ①谢… ②林… ③廖… 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(2012)第 301167 号

书 名: 大学物理教程

作 者: 谢国亚 林朝金 廖其力 主编

责任编辑: 李国宏 责任校对: 代红梅

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×960 毫米 1/16

印张: 29.25 字数: 580 千字

ISBN 978-7-5601-9492-9

封面设计: 亿辰时代

北京市全海印刷厂 印刷

2013 年 1 月 第 1 版

2013 年 1 月 第 1 次印刷

总定价: 56.00 元(上、下册)

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-89580026/28/29

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

前 言

物理学是研究物质最基本、最普遍的运动形式及其相互转化规律的科学. 物理学的研究对象具有极大的普遍性, 它的基本理论渗透在自然科学的一切领域中, 应用于生产技术的各个部门, 它是自然科学的许多领域和工程技术的基础. 为了适应 21 世纪对人才在科学知识、创新能力和综合素质方面的要求, 我们编写了这套《大学物理教程》教材, 教材包括上、下两册. 上册包括第一篇力学和第二篇热学基础; 下册包括第三篇电磁学、第四篇波动光学和第五篇近代物理基础. 编写这套教材的指导思想是:

1. 以“必需”和“够用”为基本原则, 突出物理学的思想性. 在保证教材具有科学性、系统性和完整性的前提下, 本书着重于最基本的物理概念、基本原理和基本定律的解释和阐述, 而略去了许多繁琐的数学推导和过深的理论探讨, 并割舍了部分对大学物理课程体系影响不大的内容.

2. 在对物理学基本概念、基本规律和物理图像的描述中, 既注意了其科学性和准确性, 又注意了语言的深入浅出, 言简意赅. 期望这套教材能为学生的自主学习提供方便.

3. 通过对物理学思想和方法的介绍, 对一些典型物理问题的分析和处理, 以及学生参与思考问题与习题的回答和演练, 着力培养学生的科学思维方法和分析问题、解决问题的能力. 帮助大学生打好物理基础, 提高他们独立获取知识和探索知识的能力.

本书主要由谢国亚、林朝金、廖其力编著. 在编写过程中, 参与讨论和编写的老师还有刘显蓉、徐巧英、胡春霞、崔海生、何静、钟波、王代新等.

本书由重庆邮电大学周平教授主审. 周平教授对本书的编写提出了很多宝贵意见, 在此表示感谢.

由于编著者水平有限, 不足之处在所难免, 恳请专家和同行不吝赐教, 欢迎读者提出宝贵意见.

编 者

2012 年 6 月

目 录

第一篇 力 学

第一章 运动和力	3
§ 1.1 质点运动的描述	4
1.1.1 位置矢量 描写质点在空间中的位置的物理量	4
1.1.2 位移 描写质点位置变动的大小和方向的物理量	5
1.1.3 速度 描写质点位置变动的快慢和方向的物理量	6
1.1.4 加速度 描写质点运动速度变化的物理量	8
§ 1.2 曲线运动中的法向加速度和切向加速度	12
1.2.1 匀速(率)圆周运动的加速度	12
1.2.2 变速(率)圆周运动的加速度	13
1.2.3 一般曲线运动的加速度	15
§ 1.3 相对运动	16
1.3.1 相对运动的几个概念	17
1.3.2 速度合成定理	17
§ 1.4 牛顿运动定律	19
1.4.1 牛顿第一定律	20
1.4.2 牛顿第二定律	21
1.4.3 牛顿第三定律	22
§ 1.5 力学中常见的几种力 物体受力分析方法	23
1.5.1 力学中常见的几种力	23
1.5.2 分析物体受力的方法 隔离法	27
§ 1.6 牛顿运动定律的应用	28
第二章 动量、功和能	39
§ 2.1 动量、冲量、质点的动量定理	39

2.1.1	质点的动量	39
2.1.2	力的冲量	40
2.1.3	质点的动量定理	41
§ 2.2	质点系的动量定理 动量守恒定律	44
2.2.1	质点系的动量定理	44
2.2.2	动量守恒定律	45
§ 2.3	功和功率	48
2.3.1	功	48
2.3.2	功率	50
§ 2.4	动能 动能定理	51
2.4.1	动能	51
2.4.2	质点的动能定理	51
2.4.3	质点系的动能定理	53
§ 2.5	势能	54
2.5.1	重力、万有引力、弹性力、摩擦力做功的特点	54
2.5.2	保守力与非保守力	56
2.5.3	势能	57
§ 2.6	功能原理和机械能守恒定律	58
2.6.1	机械能	59
2.6.2	质点系的功能原理	59
2.6.3	机械能守恒定律	60
2.6.4	能量守恒与转换定律	61
§ 2.7	碰撞	62
2.7.1	碰撞现象	62
2.7.2	正碰的三种不同情形	63
第三章	刚体的转动	71
§ 3.1	刚体的平动和定轴转动	71
3.1.1	刚体的平动	71
3.1.2	刚体的定轴转动	72
3.1.3	匀变速转动	74
3.1.4	角量与线量的关系	74
§ 3.2	转动定律	76
3.2.1	力矩	76

3.2.2	转动定律	77
3.2.3	转动惯量	77
§ 3.3	刚体定轴转动的动能定理	81
3.3.1	刚体绕定轴转动的动能	81
3.3.2	刚体绕定轴转动的功能关系	82
§ 3.4	角动量定理和角动量守恒定律	84
3.4.1	刚体定轴转动的角动量	84
3.4.2	角动量定理	85
3.4.3	角动量守恒定律	85
第四章	振动和波	91
§ 4.1	简谐振动	92
4.1.1	简谐振动的特点	92
4.1.2	简谐振动的运动方程	92
4.1.3	描述简谐振动的物理量	93
4.1.4	简谐振动的旋转矢量表示法	96
4.1.5	单摆的振动	97
4.1.6	简谐振动的能量	98
§ 4.2	简谐振动的合成	99
4.2.1	两个同方向同频率简谐振动的合成	99
4.2.2	两个同方向不同频率简谐振动的合成	100
4.2.3	两个互相垂直的同频率简谐振动的合成	102
§ 4.3	阻尼振动 受迫振动 共振	105
4.3.1	阻尼振动	105
4.3.2	受迫振动	107
4.3.3	共振	108
§ 4.4	机械波	109
4.4.1	波的基本概念	109
4.4.2	平面简谐波的波动方程	113
4.4.3	波的能量与能流	117
§ 4.5	波的衍射和干涉	120
4.5.1	波的衍射 惠更斯原理	120
4.5.2	波的叠加原理	121
4.5.3	波的干涉	121

4.5.4 驻波	123
§ 4.6 多普勒效应	126
4.6.1 波源不动,观察者相对介质以速度 v_0 运动	127
4.6.2 观察者不动,波源相对介质以速度 v_s 运动	128
4.6.3 波源和观察者同时相对于介质运动	129

第二篇 热学基础

第五章 气体动理论	137
§ 5.1 气体动理论的基本概念	137
5.1.1 宏观物体由大量分子组成	137
5.1.2 分子在不停地做无规则运动	139
5.1.3 分子间有相互作用力	140
§ 5.2 理想气体的状态方程	141
5.2.1 气体的状态参量	141
5.2.2 平衡态和准静态过程	142
5.2.3 气体的实验定律	142
5.2.4 理想气体的状态方程	143
§ 5.3 理想气体的压强和温度	144
5.3.1 理想气体的微观模型	144
5.3.2 理想气体压强公式	145
5.3.3 温度与分子平均平动能的关系	148
§ 5.4 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	149
5.4.1 分子运动的自由度	150
5.4.2 能量按自由度均分定理	150
5.4.3 理想气体的内能	152
§ 5.5 气体分子的速率分布律	153
5.5.1 气体分子的速率分布	153
5.5.2 麦克斯韦速率分布律	154
第六章 热力学基础	160
§ 6.1 热力学第一定律	160
6.1.1 准静态过程	160
6.1.2 系统的内能	161

6.1.3	功与热量	161
6.1.4	热力学第一定律	163
§ 6.2	热力学第一定律对理想气体的应用	165
6.2.1	等容过程	165
6.2.2	等压过程	168
6.2.3	等温过程	169
6.2.4	绝热过程	170
§ 6.3	循环过程 卡诺循环	173
6.3.1	循环过程	173
6.3.2	循环过程的应用实例	175
6.3.3	卡诺循环	177
§ 6.4	热力学第二定律	179
6.4.1	热力学第二定律的两种表述	179
6.4.2	热力学第二定律的实质	182
附录		185
习题答案		200

第一篇 力 学

自然界中的一切物质都处于永恒的运动之中. 物质运动的形式是多种多样的, 其中, 最基本、最普遍的运动形式是**物体在空间的位置随时间变动**, 这种变动叫做**机械运动**, 通常简称为运动. 在日常生活和生产中, 随处可见这种运动. **力学就是研究机械运动的规律及其应用的科学**. 它是深入研究物质的各种高级、复杂运动的基础, 具有极大的普遍性和实用性. 力学不仅是物理学中其他分支学科的基础, 也是许多自然科学和各项工程技术的基础. 它的一些基本规律, 如动量守恒定律、角动量守恒定律、能量守恒与转换定律等, 都是自然界中具有普遍意义的基本定律. 力学的研究方法, 即从观察实验到理论概括, 从简单的理想模型到建立完整的理论体系, 最后再通过实践检验不断加以完善等方法, 也是人类探索客观世界的根本认识方法. 因此, 学好力学, 对于将来从事工程技术工作的同学来说, 是非常必要的.

第一章 运动和力



学习目标

1. 理解位置矢量、位移、速度、加速度的概念.
2. 掌握根据运动学方程求解质点运动的位移、速度和加速度的方法.(一维和二维)
3. 理解切向加速度和法向加速度的概念.
4. 理解相对运动的速度合成定理.
5. 理解力学中常见的三种力,掌握分析物体受力的方法.
6. 理解牛顿运动三定律.会运用牛顿运动定律分析求解力学问题.

自然界中的一切物体,大至地球、太阳等天体,小至原子、电子等微观粒子,无一不在时时刻刻地运动.所以,运动是普遍的、绝对的.但是,人们对运动的描述却具有相对性.为了描述物体的运动,总要选择另一个物体作为标准,这个被选作标准的物体,叫做**参考系**.在研究物体运动时,若选择的参考系不同,得到的结果一般不相同.例如,观察坐在匀速行驶的火车里的乘客,如果以火车为参考系,乘客是静止的;如果以地面为参考系,乘客是运动的.可见,同一个运动,选用不同的参考系,描述的结果一般不相同,这就是运动的描述具有相对性.因此,我们在研究物体运动时,就必须明确指出这种运动是相对于哪一个参考系而言的.在今后的讲述中,如果不特别指明,就是以地球或相对于地球静止的物体为参考系.

参考系确定之后,要把物体在各个时刻相对于参考系的位置定量表示出来,还需要在参考系上建立一个**坐标系**,物体的位置就由它在该坐标系中的坐标所确定.因此,在描述物体的位置变化时,坐标系起着刻度尺的作用.在定量描述物体运动时,最常用的坐标系是直角坐标系,有时根据需要也会选用极坐标系、自然坐标系、球坐标系等.

物体的运动有两种基本类型:**平动**和**转动**.物体平动时,其上各个点的运动情况完全相同,所以,可用任意一个点来代表,因而可以把平动物体看作是只有质量没有大小的**质点**.物体转动时,其上各个点的运动情况不完全相同,所以,不能把转动物体视为质点,但可把它看作是有质量、有大小和形状,而形状不变化的**刚体**.

质点和刚体都是理想的模型,它们都是实际物体在一定条件下的抽象.把复杂的、具体的、各式各样的物体用简单的模型来代替,可以简化它的条件,突出主要矛盾,便于找出其中的规律.因此,这是一种科学的研究方法.

在本书第一、二章中,都是把物体当作质点处理,第三章中把定轴转动物体当作刚体处理.

§ 1.1 质点运动的描述

本节我们主要介绍描写质点作机械运动的四个物理量——位置矢量、位移矢量、速度矢量、加速度矢量以及已知运动方程求解速度、加速度的方法等内容,而不涉及物体相互作用与运动状态变化之间的关系问题.

1.1.1 位置矢量 描写质点在空间中的位置的物理量

1. 位置矢量

为了定量描述运动质点的位置,首先应该选取一个参考系,然后在参考系上建立恰当的坐标系,常选用直角坐标系.运动质点在 t 时刻的位置 P 可用位置矢量表示,由坐标原点引向质点所在位置 P 的有向线段 $\boldsymbol{r}$ 叫做质点的位置矢量.如图1-1所示.

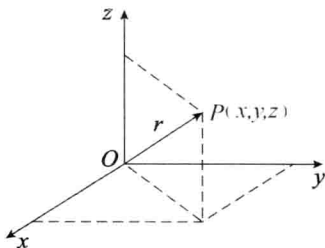


图 1-1 位置矢量

在国际单位制(SI)中,位置矢量的单位是米,符号是 m.

运动质点在 t 时刻的位置也可用它在 $Oxyz$ 坐标系中的坐标 x 、 y 、 z 来表示.如果取 $\boldsymbol{i}$ 、 $\boldsymbol{j}$ 、 $\boldsymbol{k}$ 分别为沿 x 轴、 y 轴、 z 轴正方向的单位矢量,则位置矢量可以表示为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \quad (1.1)$$

2. 运动方程

质点的运动就是其空间位置随时间变化的过程,所以位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 是时间 t 的函数,即

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k} \quad (1.2)$$

或

$$x = x(t) \quad y = y(t) \quad z = z(t) \quad (1.3)$$

式(1.2)和(1.3)都叫做质点的**运动方程**.其中式(1.2)为运动方程的矢量形式,式(1.3)为运动方程的标量(坐标分量)形式.已知质点的运动方程,就能确定任一时刻质点的位置,

还可以确定质点运动的速度和加速度等,即掌握了质点运动的全部情况.因此,已知运动方程求解质点的位置、位移、速度、加速度等物理量和求解运动方程是质点运动学的中心问题.

当质点在选定的 Oxy 平面上运动时,其运动方程为

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

或

$$x = x(t) \quad y = y(t) \quad (1.5)$$

当质点沿 Ox 轴做直线运动时,其运动方程为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} \quad (1.6)$$

或

$$x = x(t) \quad (1.7)$$

3. 轨迹(轨道)方程

质点运动在空间所经过的路径叫做质点运动的**轨迹**.轨迹可用数学形式表示,比如,当质点在 Oxy 平面上运动时,从运动方程(1.5)中消去时间 t 就得到

$$y = f(x) \quad (1.8)$$

式(1.8)叫做质点做平面曲线运动的**轨迹(轨道)方程**.

1.1.2 位移 描写质点位置变动的大小和方向的物理量

设质点做如图 1-2 所示的任意曲线运动.在 t 时刻,质点位于 P 点,其位置矢量为 $\mathbf{r}_1$,经过 Δt 的时间,质点到达 Q 点,位置矢量为 $\mathbf{r}_2$.在时间 Δt 内,质点位置的变化可以用从 P 点到 Q 点的有向线段 $\Delta\mathbf{r}$ 表示,叫做质点的位移.且

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \quad (1.9)$$

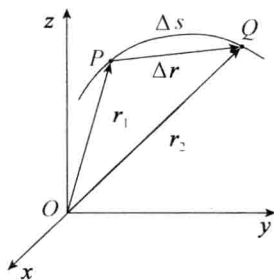


图 1-2 质点的位移

位移是矢量,既有大小,又有方向.位移表示物体位置的改变,并不是质点所经历的路程.路程是质点在时间 Δt 内所经过路径的长度,用 Δs 表示,路程是标量.在图 1-2 中,质点在时间 Δt 内的位移 $\Delta\mathbf{r}$ 的大小是 P 、 Q 两点间的距离 $|\Delta\mathbf{r}|$,其方向由 P 指向 Q ;而质点在时间 Δt 内所经过的路程 Δs 是曲线 $\widehat{PQ}$ 的长度.位移的大小与路程并不相等.只有在质点做单方向直线运动时,位移的大小 $|\Delta\mathbf{r}|$ 才与路程 Δs 相等.

位移的大小与路程具有相同的单位,在国际单位制中的单位是米,符号是 m .

1.1.3 速度 描写质点位置变动的快慢和方向的物理量

描述质点的运动,不仅要知道质点的位置变动情况,还应该清楚质点位置变动的方向和快慢程度.因此,需要引入速度的概念.

1. 平均速度

若质点在 t 时刻到 $t + \Delta t$ 时刻这段时间 Δt 内的位移为 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)$,我们将质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与发生这一位移所用的时间 Δt 之比叫做质点在这段时间内的平均速度,用符号 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示,即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.10)$$

平均速度 $\bar{\mathbf{v}}$ 是一个矢量,其大小 $\frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$ 反映质点运动的平均快慢,其方向与该时间内位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同.由于在时间 Δt 内,各时刻质点的运动情况并不一定相同,因此,平均速度对运动的描述是粗糙的,不能精细地刻划质点在时间 Δt 内发生的运动方向的改变和时快时慢的详细情况.

2. 瞬时速度(简称速度)

显然,时间间隔 Δt 取得越短,平均速度就越能反映出 t 时刻的真实运动情况.当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速度的极限值就能描述质点在 t 时刻运动的快慢和方向,叫做质点运动的瞬时速度,用符号 $\mathbf{v}$ 表示.其数学表示为

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.11)$$

即质点在某时刻某位置的瞬时速度等于当时间间隔趋于零时平均速度的极限值.或瞬时速度(简称速度)等于位置矢量对时间的一阶导数.

速度是矢量,具有大小和方向.速度的方向就是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向.由图 1-3 可以看出,位移 $\Delta \mathbf{r}$ 沿着割线 PQ 的方向.当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,割线 PQ 的极限方向就是 P 点的切线方向.因此,速度的方向沿着轨道的切线,指向质点前进的方向.

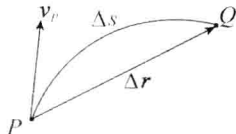


图 1-3 速度的方向

3. 平均速率与瞬时速率

为了描述质点沿轨道运动的平均快慢,我们引入平均速率的概念.质点在时间 Δt 内经过的路程 Δs 与所用时间 Δt 之比,叫做质点运动的平均速率,用符号 $\bar{v}$ 表示.即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1.12)$$

平均速率是标量,它等于质点在单位时间内通过的路程.因此,平均速率与平均速度是两个不同的概念.只有在质点做单方向直线运动时,二者的量值才相等.

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速率的极限值叫做**瞬时速率**(简称速率).即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.13)$$

由图 1-3 可以看出,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,弦长 $|\Delta \mathbf{r}|$ 无限接近于对应的路程(弧长) Δs . 因此有

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = |\mathbf{v}| \quad (1.14)$$

可见,瞬时速率就等于瞬时速度的大小.

速度和速率的单位相同,在国际单位制中的单位是米/秒,符号是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,读作“米每秒”.

4. 速度在直角坐标系中的表示

当质点在 Oxy 平面上运动时,因为

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

所以,速度 $\mathbf{v}$ 可表示为

$$\mathbf{v} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} \quad (1.15)$$

式中 $v_x = \frac{dx}{dt}$ 为速度的 x 分量, $v_y = \frac{dy}{dt}$ 为速度的 y 分量.

速度的大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \quad (1.16)$$

速度的方向可用速度 $\mathbf{v}$ 与 x 轴正方向之间的夹角 θ 表示,由

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} \quad (1.17)$$

求得.

当质点沿 Ox 轴做直线运动时,速度的方向可用正、负号(+、-)表示,正号(+)表示速度的方向沿 x 轴的正方向,负号(-)表示速度的方向沿 x 轴的负方向.因此,速度可表示为

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (1.18)$$

例 1 已知质点的运动方程为

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

式中 t 的单位是 s , x 的单位是 m . 求:

(1) 质点在第 2 秒内的位移;

(2)质点在第2秒末所处的位置和运动速度.

解 (1)由运动方程知,质点在 Ox 轴上做直线运动,第2秒内的位移等于第2秒末的坐标与第1秒末的坐标之差,即

$$\Delta x = x_2 - x_1 = (2 + 4 \times 2 - 3 \times 2^2) - (2 + 4 \times 1 - 3 \times 1^2) = -5 \text{ m}$$

(2)求质点在第2秒末所处的位置即应求出质点在第2秒末的坐标

$$x_2 = 2 + 4 \times 2 - 3 \times 2^2 = -2 \text{ m}$$

因为质点在任意时刻 t 时的速度

$$v = \frac{dx}{dt} = 4 - 6t$$

所以质点在第2秒末的运动速度为

$$v_2 = 4 - 6 \times 2 = -8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

“ $-$ ”号表示质点在第2秒末时的速度沿 x 轴的负方向.

例2 已知质点在 Oxy 平面上运动的运动方程为

$$\boldsymbol{r} = 2t^2\boldsymbol{i} + (2-4t)\boldsymbol{j}$$

式中 $\boldsymbol{r}$ 的单位是 m , t 的单位是 s . 求:

(1)质点在任意时刻 t 的运动速度;

(2)在 $t = 1.0\text{s}$ 时,该质点运动速度的大小和方向.

解 (1)质点在任意时刻 t 的运动速度为

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = 4t\boldsymbol{i} - 4\boldsymbol{j}$$

(2)因为质点在任意时刻 t 的运动速度的大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{16t^2 + (-4)^2}$$

所以在 $t = 1.0\text{s}$ 时,该质点运动速度的大小为

$$v_1 = \sqrt{16 + 16} = 4\sqrt{2} \approx 5.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

在 $t = 1.0\text{s}$ 时,该质点运动速度的方向由

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{-4}{4} = -1$$

得,速度的方向与 x 轴正方向之间的夹角为

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-4}{4} = -45^\circ$$

1.1.4 加速度 描写质点运动速度变化的物理量

质点运动时,速度的大小和方向都可能随时间发生变化.为了描述速度随时间的变化,需要引入加速度的概念.