

21世纪高等学校规划教材

大学物理

学习指导

DAXUE WULI XUEXI ZHIDAO

主编 罗益民 余 燕
主审 叶善专



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

21 世纪高等学校规划教材

大学物理学习指导

主编 罗益民 余 燕

主审 叶善专

北京邮电大学出版社

内容简介

本书是与教材《大学物理》上、下册配套的学习参考书,其内容体系与教材大体相同,包括力学、热学、电磁学、光学和量子物理等基本内容.全书共13章,每章包括基本要求的简单介绍;知识要点的归纳和总结;重点、难点问题的进一步阐述;以及典型例题的分析和解答等主要内容.此外,每章还配有自测题并附参考答案供学生对学习效果进行自我检测.本书在对教材进行总结和提炼的同时,更多地融入了教师们的教学经验和体会.

本书可作为理工科院校非物理专业大学物理教学的辅助教材,及广大物理爱好者自学物理的学习参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导/罗益民,余燕主编. —北京:北京邮电大学出版社,2003

ISBN 7-5635-0834-1

I. 大... II. ①罗...②余 III. 物理学—高等学校—教材参考资料 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 126764 号

书 名: 大学物理学习指导

主 编: 罗益民 余 燕

E-mail: ctrd@buptpress.com

责任编辑: 陈露晓

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

电话传真: 010-62282185(发行部) 010-62283578(传真)

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 18.25

字 数: 313 千字

版 次: 2004 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 4 次印刷

ISBN 7-5635-0834-1/O·76

定 价: 22.00 元

如有质量问题请与北京邮电大学出版社联系

版权所有 侵权必究

序

物理学是研究物质的组成、性质、运动和相互作用,并以此阐明物质运动规律的学科.它是自然科学中最重要的基础学科之一.物理学的基本概念、方法和知识已被应用到所有的自然科学领域,因此,大学物理是一门不可替代的基础课.

大学生培养从应试教育向素质教育的转变,对大学物理课程提出了新的要求:在传授物理知识的同时,应特别注重向学生传授有关物理学的研究方法和思维方式,以提高学生的科学素质.

物理学内容广泛,难度不一.作为一名工科大学生,学习大学物理的时间和精力有限,要想在较短的时间内掌握尽可能多的物理知识,选择一本好的教材尤为重要.

这套教材将传统编写思路发扬光大,兼顾了科学发现的历史顺序和科学本身的逻辑关系.教材由浅入深地讲述了物理学基本概念,形象地描绘了物理模型,适当地介绍了物理学在其他学科和新技术领域的应用,特别是用普通物理的语言讲述了近代物理的内容,使得整套教材的可接受性突出;教材淡化了复杂的数学运算,突出了物理概念的重要性;阅读材料的选择兼顾了物理知识的应用,也反映了物理学发展的前沿动态.全套教材的编写紧扣教学大纲,密切联系了工科专业大学物理教学的实际,富有创意和特色.教材选材合理,理论严谨,内容深入浅出,语言通俗易懂,很适合于初学者阅读.

中南大学是全国工科物理教学基地之一,参加本书编写的教师多年来一直从事大学物理教学工作,有着丰富的教学经验,为基地建设作出过很大的贡献,对大学物理课程教学有深刻的认识.该套教材也是编者们对基地建设经验的总结,凝聚了编者多年的心血,是一本难得的好书.

本人有感于他们对物理教材建设和工科专业大学物理教育所作的努力和贡献,特为之序.



钱列加 谨识

2004年1月于复旦大学

前 言

本书作为与教材《大学物理》配套的学习指导书,虽然内容体系与教材大体相同,但在编写思路,与教材有着不同的侧重点.

大学物理教材作为向学生传授物理知识的主要媒体,必须追求内容的系统性和理论的严谨性.其重点放在物理概念的引入、物理知识的阐述以及物理公式的推导等方面,且语言表述也必须规范;指导书作为辅助教材,其重点则放在对知识要点的归纳和总结,对重点、难点的进一步阐述以及训练学生必要的解题能力等方面,对语言表述的要求也比教材宽松.这就为教师留出了更多自我发挥的空间,可以更多地将自己的教学心得和体会融入指导书的编写之中.因此,一本好的学习指导书,对大学物理的学习也是大有帮助的.

本书基本沿用教材的内容体系,分5篇13章,包括力学、热学、电磁学、光学和量子物理等.每章包括以下主要内容:

1)对基本要求的简单介绍;2)对知识要点的归纳和总结;3)对该章重点、难点问题的进一步阐述;4)典型例题的分析和解答.

本书决不满足于对教材内容进行简单的提炼和总结,而是力求将老师们多年的教学经验和体会,尽可能多地融入其中.

参加本书编写工作的教师,具有多年从事大学物理教学工作的经验,为建设中南大学全国工科物理教学基地作出过很大贡献.具体分工如下:

周一平编写第1,2,3,4,5,6章;余燕编写第7,8章;蔡建国编写第9,10章;罗益民编写第11,13章;唐英编写第12章.全书最后由罗益民、余燕负责统稿和定稿.东南大学叶善专教授认真负责地审查了全书,提出宝贵的指导性意见;复旦大学钱列加教授审查了本书并为本书作序.在此一并致谢.

由于编者水平有限,加之时间仓促,疏漏和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正.

编 者

2004年1月于中南大学

目 录

第一篇 力 学

第 1 章 质点运动学	(1)
1.1 内容提要	(1)
1.2 学习指导	(3)
1.2.1 基本要求	(3)
1.2.2 参考系和坐标系	(4)
1.2.3 质点运动的矢量描述	(4)
1.2.4 圆周运动的角量描述	(6)
1.2.5 相对运动	(6)
1.3 典型例题	(7)
自测题 A	(14)
第 2 章 质点动力学	(17)
2.1 内容提要.....	(17)
2.2 学习指导.....	(19)
2.2.1 基本要求.....	(19)
2.2.2 牛顿运动定律.....	(19)
2.2.3 动量定理、动量守恒定律	(19)
2.2.4 动能定理、功能原理、机械能守恒定律.....	(21)
2.3 典型例题.....	(23)
自测题 B	(33)
第 3 章 刚体的定轴转动	(35)
3.1 内容提要.....	(35)
3.2 学习指导.....	(36)
3.2.1 基本要求.....	(36)

3.2.2 刚体定轴转动的转动定律·····	(36)
3.2.3 刚体力学中的功和能·····	(38)
3.2.4 角动量 角动量守恒定律·····	(39)
3.3 典型例题·····	(42)
自测题 C ·····	(51)
第4章 狭义相对论 ·····	(54)
4.1 内容提要·····	(54)
4.2 学习指导·····	(56)
4.2.1 基本要求·····	(56)
4.2.2 时空观·····	(56)
4.2.3 迈克耳孙-莫雷实验 ·····	(58)
4.2.4 关于动尺缩短、动钟变慢效应问题 ·····	(60)
4.2.5 对质能关系的理解·····	(60)
4.3 典型例题·····	(61)
自测题 D ·····	(69)
第5章 机械振动 ·····	(71)
5.1 内容提要·····	(71)
5.2 学习指导·····	(73)
5.2.1 基本要求·····	(73)
5.2.2 简谐振动·····	(74)
5.2.3 简谐振动的合成·····	(77)
5.3 典型例题·····	(78)
自测题 E ·····	(85)
第6章 机械波 ·····	(88)
6.1 内容提要·····	(88)
6.2 学习指导·····	(91)
6.2.1 基本要求·····	(91)
6.2.2 关于波动方程·····	(91)
6.2.3 波的能量·····	(94)
6.2.4 波的干涉、驻波 ·····	(94)
6.2.5 多普勒效应·····	(94)
6.3 典型例题·····	(95)
自测题 F ·····	(103)

第二篇 热物理学

第 7 章 气体动理论	(105)
7.1 内容提要	(105)
7.2 学习指导	(107)
7.2.1 基本要求	(107)
7.2.2 理想气体状态方程	(107)
7.2.3 理想气体的压强	(108)
7.2.4 温度的微观意义	(109)
7.2.5 气体分子的速率分布律	(109)
7.2.6 能量按自由度均分定理	(113)
7.3 典型例题	(113)
自测题 G	(121)
第 8 章 热力学基础	(123)
8.1 内容提要	(123)
8.2 学习指导	(125)
8.2.1 基本要求	(125)
8.2.2 基本概念	(126)
8.2.3 热力学第一定律	(127)
8.2.4 热力学第二定律	(128)
8.3 典型例题	(130)
自测题 H	(137)

第三篇 电磁学

第 9 章 静电场	(145)
9.1 内容提要	(145)
9.2 学习指导	(147)
9.2.1 基本要求	(147)
9.2.2 场强 E 及其矢量性	(147)
9.2.3 真空中的高斯定理	(148)
9.2.4 静电场的环路定理和电势	(150)

9.2.5 场强 E 与电势 U 的关系	(152)
9.2.6 导体	(152)
9.2.7 电介质	(153)
9.2.8 电容器与电场的能量	(153)
9.3 典型例题	(154)
自测题 I	(166)
自测题 J	(169)
第 10 章 稳恒磁场	(172)
10.1 内容提要	(172)
10.2 学习指导	(173)
10.2.1 基本要求	(173)
10.2.2 磁感应强度及其矢量性	(173)
10.2.3 磁场中的高斯定理和安培环路定理	(174)
10.2.4 用叠加原理求解磁感应强度 B	(174)
10.2.5 磁力及磁力矩	(176)
10.2.6 磁介质	(177)
10.2.7 铁磁质	(178)
10.2.8 学习电磁学的方法	(178)
10.3 典型例题	(180)
自测题 K	(190)
自测题 L	(193)
第 11 章 电磁感应 电磁场	(196)
11.1 内容提要	(196)
11.2 学习指导	(199)
11.2.1 基本要求	(199)
11.2.2 感应电动势的计算	(199)
11.2.3 楞次定律和能量守恒定律的关系	(200)
11.2.4 动生、感生电动势及感生电场的计算	(200)
11.2.5 自感、互感电动势	(202)
11.2.6 磁场能量的计算	(202)
11.2.7 位移电流	(203)
11.2.8 麦克斯韦方程组, 电磁波和电磁场	(204)
11.2.9 动生和感生电动势的相对性	(204)

11.2.10 电场和磁场的相对论性	(205)
11.3 典型例题	(205)
自测题 M	(220)
自测题 N	(223)

第四篇 光 学

第 12 章 波动光学	(226)
12.1 内容提要	(226)
12.2 学习指导	(229)
12.2.1 基本要求	(229)
12.2.2 单色光	(229)
12.2.3 光的叠加原理	(230)
12.2.4 光的干涉	(230)
12.2.5 光的衍射	(230)
12.2.6 光的偏振	(233)
12.3 典型例题	(234)
自测题 O	(240)
自测题 P	(243)

第五篇 量子物理

第 13 章 量子力学	(245)
13.1 内容提要	(245)
13.2 学习指导	(250)
13.2.1 基本要求	(250)
13.2.2 量子力学的发展历史简介	(251)
13.2.3 需进一步明确的几个问题	(253)
13.3 典型例题	(255)
自测题 Q	(266)
自测题 R	(268)
自测题答案	(270)

第一篇 力学

第 1 章 质点运动学

1.1 内容提要

1.1.1 参考系、坐标系

由于自然界物体运动的绝对性和运动描述的相对性,在确定研究对象的位置时,必须先选定一个标准物体作为基准,这就是参考系,为定量描述物体的运动又必须在参考系上建立坐标系.

1.1.2 描述质点运动和运动变化的物理量

位置矢量 由坐标原点引向质点所在处的有向线段,通常用 $\boldsymbol{r}$ 表示,简称位矢.在直角坐标系中

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

位移 由起始位置指向终止位置的有向线段,即位矢的增量

$$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1$$

路程 质点在空间运动的路径长度,是标量,用 Δs 表示.而位移是矢量,并不反映质点真实的运动路径的长度,只反映位置变化的实际效果.一般情况下

$$|\Delta\boldsymbol{r}| \neq \Delta s$$

但当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,有

$$|d\boldsymbol{r}| = ds$$

速度

平均速度 $\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$

平均速率 $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

$$|\bar{\mathbf{v}}| = \left| \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \right| \neq \frac{\Delta s}{\Delta t} = \bar{v}$$

质点在 t 时刻的瞬时速度 $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$

质点在 t 时刻的瞬时速率 $v = \frac{ds}{dt}$

$$|\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} = v$$

在直角坐标系中

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

在自然坐标系中

$$\mathbf{v} = v\boldsymbol{\tau}_0$$

式中 $\boldsymbol{\tau}_0$ 是轨道切线方向的单位矢量.

加速度

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}$$

在直角坐标系中

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

在自然坐标系中

$$\mathbf{a} = \frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau}_0 + \frac{v^2}{\rho}\mathbf{n}_0 = a_\tau + a_n$$

式中 $a_\tau = \frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau}_0$, $a_n = \frac{v^2}{\rho}\mathbf{n}_0$, 是加速度 $\mathbf{a}$ 在轨道切线方向和法线方向的分量式.

1.1.3 圆周运动

描述圆周运动的两种方法:

线量	角量
$dr = ds\tau_0$	$d\theta$
$v = v\tau_0 = \frac{ds}{dt}\tau_0$	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$
$a = \frac{dv}{dt}\tau_0 + \frac{v^2}{R}n_0$	$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$

线量与角量的关系

$$ds = R d\theta$$

$$v = R\omega$$

$$a_\tau = R\beta, a_n = R\omega^2$$

匀变速圆周运动与匀加速直线运动类比式,有

$$\omega = \omega_0 + \beta t$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\beta(\theta - \theta_0)$$

1.1.4 相对运动

设存在相对平移的两个参考系 S 和 S' , 平移速度为 u . 在两个参考系里各建立空间直角坐标系 $Oxyz$ 和 $O'x'y'z'$, 且使 x, x' 轴方向与 u 方向一致, y, y' 轴和 z, z' 轴分别相互平行, 则有

$$r = r_0 + r'$$

$$v = u + v'$$

$$v_{A,B} = v_{A,C} + v_{C,B}$$

$$a = a_0 + a'$$

1.2 学习指导

1.2.1 基本要求

1. 熟练掌握用矢量描述运动的方法, 掌握四个基本矢量 $r, \Delta r, v, a$ 的定义式及其在常用坐标系的表示式.

2. 掌握用微积分的方法处理运动学中的两类问题.

3. 掌握质点作圆周运动的线量、角量描述.

4. 理解相对运动的有关概念和基本计算方法.

1.2.2 参考系和坐标系

描述物体的运动状态时,必须选择某一个物体作为参考物,也就是参考系.注意运动本身是绝对的,而运动的描述是相对的.对于同一个物体的运动,选择的参考系不同,观察、测量的结果也不同.参考系和物体的运动描述是一一对应的.因此,当谈到某一物体如何运动时,必须明确是对哪一个参考系而言的.在运动学中参考系可任意选择,在研究地面上物体的运动时,如不特别指明,通常是以地球为参考系.

坐标系是由实物构成的参考系的数学抽象,是定量地描述物体运动的手段.最常用的坐标系是直角坐标系,根据需要也可选用其他形式的坐标系,如极坐标系、球坐标系等.如果坐标系选择得当,将会大大简化运算.

1.2.3 质点运动的矢量描述

质点的运动状态可用位矢 $\mathbf{r}(t)$ 和速度 $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt}$ 描述,运动状态的改变可用位移 $\Delta\mathbf{r}(t)$ 和加速度 $\frac{d^2\mathbf{r}(t)}{dt^2}$ 描述.它们都是矢量,求解时必须同时指出它们的大小和方向.在计算分量值时,如果得出的结果为负值,表示该物理量的方向与坐标正向相反.例如 $v_x = -3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,表示质点以 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度沿 x 轴负方向运动. $a_y = -4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 表示质点的加速度沿 y 轴负方向,大小为 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.负号并不表示质点在 y 方向作减速运动.决定加速或减速,应同时考虑速度和加速度的正、负号,二者同号时表示加速,异号时表示减速.

注意: $|\Delta\mathbf{r}| \neq \Delta r \neq \Delta s$,因为 $|\Delta\mathbf{r}|$ 是位矢的模, $\Delta r = |\mathbf{r}_2| - |\mathbf{r}_1|$ 是位矢模的增量,而 Δs 则是质点从 A 运动到 B 时实际经历的路程,如图 1-1 所示.

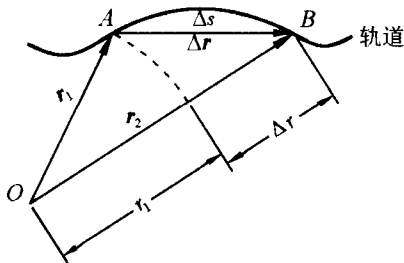


图 1-1 位移、路程及位矢长度增量

质点运动学中的基本问题可分为两类:一类是已知质点运动方程求质点的

速度和加速度,这类问题通过对运动方程求微商的方法解决;另一类是已知加速度和初始条件,求质点的速度和运动方程,这类问题通过求积分的方法解决.运用微积分求解物理问题的方法统称为解析法,在研究机械振动、机械波和电磁场时,这一方法得到了极其广泛的应用.

以质点作直线运动为例,介绍解析法的一般程序.

微分法:

已知运动方程 $x = x(t)$

则

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

积分法:

① 已知加速度 $a = a(t)$ 和初始条件 v_0, x_0 , 则

由 $a = \frac{dv}{dt}, dv = a dt,$

有 $\int_{v_0}^v dv = \int_0^t a(t) dt$

得 $v(t) = v_0 + \int_0^t a(t) dt$

又由 $v = \frac{dx}{dt}, dx = v dt,$ 有 $\int_{x_0}^x dx = \int_0^t v(t) dt$

得 $x(t) = x_0 + \int_0^t v(t) dt$

若质点作匀变速直线运动,则 $a = \text{恒量},$ 有

$$v = v_0 + at$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

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

② 已知加速度或速度是 t 的隐函数和初始条件,则当 $a = a(x)$ 时,

由 $a = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{v dv}{dx}, \int v dv = \int a(x) dx,$ 可求得 $v(x).$

再由 $v = \frac{dx}{dt}, dt = \frac{dx}{v}, \int dt = \int \frac{dx}{v(x)},$ 可求得 $x(t).$

当 $a = a(v)$ 时

$a = \frac{v dv}{dx}, \int dx = \int \frac{v dv}{a(v)},$ 可求得 $x(v).$

$$a = \frac{dv}{dt}, \quad \int dt = \int \frac{dv}{a(v)}, \text{ 可求得 } v(t).$$

1.2.4 圆周运动的角量描述

圆周运动是曲线运动的一个重要特例. 质点作圆周运动时, 以圆心为极点, 取一极轴 Ox , 则质点运动过程中, 只有质点的位矢 r 与极轴间的夹角 θ 随时间 t 变化, 用角量来描述圆周运动, 将会使二维运动学问题简化成一维表述.

描述圆周运动的物理量有

角位置 θ

角位移 $\Delta\theta$

角速度 $\omega = \frac{d\theta}{dt}$, 方向由右手螺旋法则确定

角加速度 $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$

当质点作匀变速圆周运动时, $\beta = \text{恒量}$. 设 $t = 0$ 时, $\omega(0) = \omega_0$, $\theta(0) = \theta_0$, 则质点的运动学变量随时间变化的规律与作匀变速直线运动的质点有类似的关系式, 见表 1-1.

表 1-1 质点平动与转动规律比较

匀变速直线运动	匀变速圆周运动
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \beta t$
$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$	$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2$
$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$	$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\beta(\theta - \theta_0)$

这种类似关系的比较, 在物理学中称为类比法. 它不仅可以帮助我们记忆基本的物理概念和规律, 还能加深我们对这些概念和规律的理解. 在今后的物理学习中还会经常用到类比法, 例如电学与磁学中就有许多公式与规律有类似的关系.

1.2.5 相对运动

在描述质点的运动规律时, 参考系是可以任意选取的. 在不同的参考系中, 质点的位矢、速度和加速度是不相同的, 这一事实称为运动描述的相对性.

在两个相对作平动的参考系中, 同一质点运动的位矢、速度、加速度的变换关系为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{r}'$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{u} + \mathbf{v}'$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}'$$

式中, r, v 和 a 分别为质点相对于静止参考系的位矢、速度和加速度, r_0, u 和 a_0 分别为运动参考系相对静止参考系的位矢、速度和加速度, r', v' 和 a' 分别为质点相对运动参考系的位矢、速度和加速度. 其中 $v = u + v'$ 称为伽利略速度变换, 其文字表述为绝对速度 = 相对速度 + 牵连速度, 也可用一等价的数学式表述为

$$v_{A,B} = v_{A,C} + v_{C,B}$$

1.3 典型例题

例 1-1 已知质点的运动方程为 $x = 6t^2 - 2t^3$, 式中 t 以秒计, x 以米计, 试求: (1) 质点在第二秒内的平均速度; (2) 第三秒末的速度; (3) 第一秒末的加速度; (4) 判断质点做什么运动.

解 已知 $x = 6t^2 - 2t^3$ ①

用微分法可求得速度和加速度的表示式分别为

$$v = \frac{dx}{dt} = 12t - 6t^2 \quad ②$$

$$a = \frac{dv}{dt} = 12 - 12t \quad ③$$

(1) 第二秒内的平均速度是指从 $t = 1$ s 到 $t = 2$ s 时间间隔内的平均速度, 即

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(6t^2 - 2t^3)|_{t=2} - (6t^2 - 2t^3)|_{t=1}}{2 - 1} = 4 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

注意: 在直线运动中位移通常不采用矢量形式表示, 而是在标量前面冠以正负号表示运动方向, 所以在处理具体问题时, 可用代数式的运动方程代替矢量形式的运动方程.

(2) 第三秒末的速度是指 $t = 3$ s 时刻的瞬时速度, 将 $t = 3$ s 代入 ② 式得

$$v|_{t=3} = (12t - 6t^2)|_{t=3} = -18 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

(3) 第一秒末的加速度是指 $t = 1$ s 时刻的瞬时加速度, 将 $t = 1$ s 代入 ③ 式得

$$a|_{t=1} = (12 - 12t)|_{t=1} = 0$$

(4) 由 ③ 式可知 a 是 t 的函数, 且运动仅限制在 x 方向, 所以质点做变速直线运动.

例 1-2 质点作平面曲线运动, 已知 $x = 3t$ m, $y = 1 - t^2$ m. 求: (1) 质点运动的轨道方程; (2) $t = 3$ s 时的位矢; (3) 第 2 s 内的位移和平均速度; (4) $t = 2$ s 时的速度和加速度; (5) 时刻 t 的切向加速度和法向加速度; (6) $t = 2$ s 时质点所在处轨道的曲率半径.

解 (1) 由运动方程消去 t , 得轨道方程为