

大学物理 学习指导

DAXUE WULI XUEXI ZHIDAO

主编◎周 怡 薛 霞



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

014037947

04
434

高等学校应用型本科系列教材

大学物理学习指导

主 编 周 怡 薛 霞

编 者 (按姓氏笔画顺序排列)

丁 浩 万士保 王金凤 陈义成

陈新启 杨 薇 金 君 唐超群

陶 薇 谢柏林



武汉理工大学出版社

· 武汉 ·



北航

C1723695

04/434

内容简介

本书是湖北省三所独立学院及民办高校合编的“大学物理教程”系列教材的学习与解题指导书。其中涵盖了《大学物理教程》上、下册里所有相关内容,编排形式也是和教材篇章顺序一样。每章有两部分:第一部分是基本内容,第二部分是解题指导。基本内容这部分先将该章的主要知识点、基本概念、定理与定律以及主要公式概括性简述出来,然后指出该章的重点、难点。解题指导这部分对相应内容列出该章的题目类别、各类别题目的解答方法、一些典型题目的解析、较难题目的剖析。

本书体系新颖、内容难度适中,可作为独立学院和其他各层次师生教与学的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导/周怡,薛霞主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2014.1
ISBN 978-7-5629-4291-7

I. ①大… II. ①周… ②薛… III. 物理学-高等学校-教学参考资料 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 312989 号

项目负责人:	徐 扬 王兆国 陈 硕	责任编辑:	彭佳佳
责任校对:	余士龙	装帧设计:	兴和设计
出版发行:	武汉理工大学出版社		
社 址:	武汉市洪山区珞狮路 122 号		
邮 编:	430070		
网 址:	http://www.techbook.com.cn		
经 销:	各地新华书店		
印 刷:	武汉兴和彩色印务有限公司		
开 本:	787×960 1/16		
印 张:	20.25		
字 数:	408 千字		
版 次:	2014 年 1 月第 1 版		
印 次:	2014 年 1 月第 1 次印刷		
印 数:	1~3000 册		
定 价:	33.00 元		

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。
本社购书热线:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

• 版权所有,盗版必究 •

前言

随着近年来普通高等学校独立学院及民办高校的迅速发展,编写一套适合于应用型人才培养的大学物理教材已成为当前物理教学的迫切要求。为此,华中科技大学文华学院、武汉理工大学华夏学院以及汉口学院联合编写了本书,为独立学院及民办高校“大学物理”课程的教材建设做出了有益的探索和尝试。

本套教材的指导思想是:以教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委会颁发的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》为指导,紧密结合独立学院及民办高校学生的实际,编写出一套教师好教、学生好学,适合于独立学院及民办高校使用,并能兼顾各个不同专业需求的大学物理教材。着重于基本物理知识体系、基本物理概念,以及基本物理问题的解决方法;突出“应用”的特色和“方便学生自学”的特色。为此,我们采取了如下措施:

1. 课程的基本内容严格按照《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》选取和编排,以保证基本的物理知识体系的完整性,同时也能照顾到不同专业的需求。

2. 在保证基本物理概念、基本物理定律和定理的阐述上的科学性、严谨性和简明性的基础上,着重于对物理概念、定律和定理的理解和对解决问题的思路和方法的阐述。

3. 为了帮助学生全面地理解和掌握物理概念和理论,每章开头采用了问题导入式叙述方式以符合学生认识新事物的思维习惯,同时也增加了教材的生动性。另外本书在例题的选取上不仅加大了例题量,而且基本涵盖了各个知识点的典型问题。

4. 为了体现独立学院及民办高校培养人才的“应用性”特点,本书在每章都编写了以相关物理知识为背景的应用问题和拓展性思考内容。

5. 为了培养学生自主学习的能力,专门编写了适合于学生自学的《大学物理学习指导》。

全书采用 SI 单位制。

本套书由《大学物理教程》上、下册以及《大学物理学习指导》组成。其中上、下册可分别作为两个学期的教学使用。其教学学时可按照 112 学时安排,也可

按照 128 学时安排,还可以作为学时数较少的本专科层次的教学用书。

参加编写的老师有:陶薇(第 1 章),杨薇(第 2 章),薛霞(第 3 章),金君(第 4 章),王金凤(第 5 章),万士保(第 6 章、第 7 章、第 8 章),力昌英(第 9 章),陈义成(第 10 章、第 11 章),谢柏林(第 12 章、第 13 章、第 14 章),唐超群(第 15 章、第 16 章),陈新启(第 17 章),谢柏林、万士保、丁浩(第 18 章)。《大学物理学习指导》各章的“基本内容”与“解题指导”均由《大学物理教程》上、下册中对应各章的编者所完成。

由于时间仓促、以及编者的学识和教学经验所限,书中的错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2013.10

目 录

1 质点运动学	(1)
1.1 基本内容	(1)
1.1.1 质点	(1)
1.1.2 参考系 坐标系	(1)
1.1.3 位置矢量	(1)
1.1.4 运动方程 轨迹方程	(2)
1.1.5 位移 路程	(2)
1.1.6 速度	(3)
1.1.7 加速度	(5)
1.1.8 直线运动	(6)
1.1.9 圆周运动	(7)
1.1.10 相对运动	(8)
1.2 解题指导	(9)
2 牛顿运动定律	(24)
2.1 基本内容	(24)
2.1.1 牛顿第一运动定律	(24)
2.1.2 牛顿第二运动定律	(24)
2.1.3 牛顿第三运动定律	(25)
2.1.4 常见的几种力	(26)
2.1.5 牛顿运动定律的应用	(28)
2.1.6 惯性力	(29)
2.1.7 超重与失重	(29)
2.2 解题指导	(30)
3 动量与机械能	(34)
3.1 基本内容	(34)
3.1.1 动量	(34)
3.1.2 冲量	(34)
3.1.3 质点的动量定理	(34)
3.1.4 质点系的动量定理	(35)

3.1.5	动量守恒定律	(35)
3.1.6	功	(35)
3.1.7	质点的动能	(36)
3.1.8	质点的动能定理	(37)
3.1.9	保守力	(37)
3.1.10	势能	(37)
3.1.11	质点系的动能定理	(37)
3.1.12	质点系的功能原理	(37)
3.1.13	机械能守恒定律	(37)
3.2	解题指导	(38)
4	刚体力学	(50)
4.1	基本内容	(50)
4.1.1	刚体的概念	(50)
4.1.2	刚体的运动形式	(50)
4.1.3	描述刚体绕定轴转动的几个物理量	(51)
4.1.4	刚体的定轴转动定律	(52)
4.1.5	刚体角动量定理和角动量守恒定律	(54)
4.1.6	刚体定轴转动动能定理	(56)
4.2	解题指导	(58)
5	狭义相对论	(74)
5.1	基本内容	(74)
5.1.1	牛顿的绝对时空观	(74)
5.1.2	狭义相对论的基本原理	(75)
5.1.3	洛伦兹变换式	(76)
5.1.4	狭义相对论的时空观	(77)
5.1.5	同时的相对性	(77)
5.1.6	长度的收缩	(78)
5.1.7	时间的延缓	(78)
5.1.8	狭义相对论中的动量与质量	(79)
5.1.9	狭义相对论力学的基本方程	(80)
5.1.10	狭义相对论中的动能与能量	(80)
5.1.11	狭义相对论中的动量与能量的关系	(81)
5.2	解题指导	(81)

6 机械振动	(92)
6.1 基本内容.....	(92)
6.1.1 简谐振动的动力学方程.....	(92)
6.1.2 简谐振动的运动学方程.....	(92)
6.1.3 简谐振动的速度与加速度.....	(92)
6.1.4 简谐振动的特征量.....	(93)
6.1.5 简谐振动的旋转矢量表示.....	(96)
6.1.6 简谐振动的能量.....	(96)
6.1.7 简谐振动的合成.....	(97)
6.1.8 阻尼振动.....	(99)
6.1.9 受迫振动.....	(99)
6.2 解题指导.....	(99)
7 机械波	(113)
7.1 基本内容	(113)
7.1.1 波的产生与传播	(113)
7.1.2 横波与纵波	(113)
7.1.3 波线与波面	(113)
7.1.4 波速、波长以及波的周期和频率.....	(114)
7.1.5 平面简谐波及其波函数	(115)
7.1.6 波的能量	(119)
7.1.7 波的能流和能流密度	(119)
7.1.8 波的衍射	(120)
7.1.9 波的干涉	(120)
7.1.10 驻波.....	(121)
7.1.11 多普勒效应.....	(122)
7.2 解题指导	(123)
8 气体动理论	(137)
8.1 基本内容	(137)
8.1.1 物体的微观模型	(137)
8.1.2 气体的状态参量	(137)
8.1.3 平衡态	(137)
8.1.4 热力学第零定律	(138)
8.1.5 理想气体的状态方程	(138)
8.1.6 理想气体的微观模型	(139)

8.1.7	理想气体的压强公式	(139)
8.1.8	温度与分子平均平动动能的关系	(139)
8.1.9	自由度	(139)
8.1.10	能量均分定理	(140)
8.1.11	理想气体的内能	(140)
8.1.12	速率分布函数	(141)
8.1.13	麦克斯韦速率分布律	(142)
8.1.14	理想气体的三种统计速率	(142)
8.1.15	玻耳兹曼分布律	(143)
8.1.16	气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	(143)
8.1.17	气体的粘滞现象	(144)
8.1.18	热传导现象	(144)
8.1.19	扩散现象	(144)
8.2	解题指导	(145)
9	热力学基础	(149)
9.1	基本内容	(149)
9.1.1	热力学系统和热力学过程	(149)
9.1.2	平衡态	(149)
9.1.3	准静态过程	(149)
9.1.4	改变系统内能的两种方式:做功和传热	(150)
9.1.5	热容	(151)
9.1.6	热力学第一定律	(152)
9.1.7	理想气体的等值过程和绝热过程	(153)
9.1.8	循环过程	(155)
9.1.9	热力学第二定律	(156)
9.2	解题指导	(157)
10	真空中的静电场	(172)
10.1	基本内容	(172)
10.1.1	电荷守恒定律	(172)
10.1.2	点电荷	(172)
10.1.3	真空中的库仑定律	(172)
10.1.4	静电力叠加原理	(173)
10.1.5	电场强度 E	(173)
10.1.6	点电荷的电场强度	(173)

10.1.7	电场强度叠加原理	(174)
10.1.8	静电场中的电势能	(174)
10.1.9	电势	(175)
10.1.10	点电荷的电势	(176)
10.1.11	电势叠加原理	(176)
10.1.12	静电场的两个基本定理	(177)
10.1.13	电场线和等势面的关系	(178)
10.1.14	电场强度与电势的关系	(179)
10.2	解题指导	(180)
11	静电场中的导体和电介质	(193)
11.1	基本内容	(193)
11.1.1	静电感应现象	(193)
11.1.2	静电平衡条件	(193)
11.1.3	静电平衡时导体上电荷的分布	(193)
11.1.4	带电导体表面附近的场强	(194)
11.1.5	尖端放电	(194)
11.1.6	静电屏蔽	(194)
11.1.7	电介质的极化	(194)
11.1.8	电位移矢量 电介质中的高斯定理	(195)
11.1.9	电容 电容器	(196)
11.1.10	电场的能量	(197)
11.2	解题指导	(198)
11.2.1	求解有导体的静电场时所能利用的条件	(198)
11.2.2	在电介质中应用高斯定理的解题方法	(198)
11.2.3	用电容的概念计算电容器的电容	(198)
11.2.4	静电场的能量解题方法	(199)
11.2.5	典型例题	(199)
12	稳恒磁场	(208)
12.1	基本内容	(208)
12.1.1	稳恒电流	(208)
12.1.2	基本磁现象	(209)
12.1.3	磁场 磁感应强度	(210)
12.1.4	毕奥-萨伐尔定律	(210)
12.1.5	磁场的高斯定理	(211)

12.1.6	安培环路定理	(212)
12.1.7	磁场对运动电荷的作用	(213)
12.1.8	磁场对载流导线的作用	(214)
12.1.9	磁场对载流线圈的作用	(214)
12.2	解题指导	(215)
13	磁场中的磁介质	(229)
13.1	基本内容	(229)
13.1.1	三类磁介质	(229)
13.1.2	弱磁性物质的磁化	(230)
13.1.3	磁介质中的安培环路定理 磁场强度	(230)
13.1.4	铁磁质	(231)
13.2	解题指导	(232)
14	电磁感应 电磁场	(239)
14.1	基本内容	(239)
14.1.1	电磁感应定律	(239)
14.1.2	动生电动势和感生电动势	(240)
14.1.3	自感和互感	(241)
14.1.4	磁场的能量	(243)
14.1.5	麦克斯韦电磁理论	(243)
14.1.6	电磁振荡与电磁波	(244)
14.2	解题指导	(247)
15	光的干涉	(259)
15.1	基本内容	(259)
15.1.1	相干光与相干光源	(259)
15.1.2	相干光获得方法	(259)
15.1.3	光程和光程差	(260)
15.1.4	光干涉相位条件与光程条件	(260)
15.1.5	杨氏双缝干涉	(260)
15.1.6	薄膜干涉的一般理论	(261)
15.1.7	劈尖干涉	(262)
15.1.8	牛顿环	(262)
15.1.9	增透膜与增反膜	(262)
15.1.10	迈克尔逊干涉仪	(262)
15.2	解题指导	(263)

16 光的衍射	(275)
16.1 基本内容.....	(275)
16.1.1 光的衍射.....	(275)
16.1.2 单缝夫琅禾费衍射.....	(275)
16.1.3 光栅衍射.....	(276)
16.1.4 圆孔衍射.....	(276)
16.1.5 X 射线衍射.....	(277)
16.2 解题指导.....	(277)
17 光的偏振	(291)
17.1 基本内容.....	(291)
17.1.1 偏振光.....	(291)
17.1.2 偏振片.....	(292)
17.1.3 马吕斯定律.....	(292)
17.1.4 反射光与折射光的偏振.....	(292)
17.1.5 双折射.....	(293)
17.1.6 偏振光干涉的应用.....	(293)
17.2 解题指导.....	(293)
18 量子物理	(296)
18.1 基本内容.....	(296)
18.1.1 黑体辐射 普朗克量子假设.....	(296)
18.1.2 光电效应 光的波粒二象性.....	(297)
18.1.3 康普顿效应.....	(298)
18.1.4 玻尔的氢原子量子理论.....	(298)
18.1.5 德布罗意物质波 实物粒子的二象性.....	(299)
18.1.6 海森伯不确定关系式.....	(299)
18.1.7 量子力学简介.....	(300)
18.1.8 激光.....	(300)
18.2 解题指导.....	(301)
参考文献	(310)

1

质点运动学

1.1 基本内容

1.1.1 质点

在研究物体的运动时,如果物体的大小和形状对所研究的问题影响不大,可以忽略不计,就可以将物体看成没有大小和形状,只有物体全部质量的一个点,这样的点被称为质点。由于客观上并不存在这种没有大小和形状,却具有质量的点,因此质点是一种理想的物理模型。

1.1.2 参考系 坐标系

(1)描述一个物体的运动,事先总要选取相对于观察者静止的另一个物体(例如地面),作为判断物体动、静的参考标准,所选的这个物体,叫作参考系。我们只能相对于参考系来描述物体的运动。

(2)为了定量描述物体相对于参考系的运动情况,可在参考系上任取一点 O 作为参考点,以它为原点,在参考系上建立一个坐标系。

1.1.3 位置矢量

在选定的参考系中,从所取的参考点 O 引向质点所在位置 P 的矢量 $\overrightarrow{OP}$,就是位置矢量,简称位矢,记为 $\mathbf{r}$ 。它是描述质点在空间位置的物理量。在三维空间和二维空间中 $\mathbf{r}$ 分别为

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

位矢的大小用它的模表示,即 $r = |\mathbf{r}|$,在三维空间和二维空间中 $\mathbf{r}$ 分别为

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad \text{与} \quad r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

在三维空间中,位矢的方向用它与三个坐标轴正方向所形成的夹角(称为方向

角) α, β, γ 表示,其余弦称为位矢 r 的方向余弦,即

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

质点在二维平面中运动时,位矢的方向用位矢 r 与 x 轴的夹角 α 表示,即

$$\alpha = \arctan \frac{y}{x}$$

1.1.4 运动方程 轨迹方程

(1)若质点相对于参考系在运动,位矢 r 就随时间 t 而变动,位矢 r 是时间 t 的函数,可记作

$$r = r(t)$$

上式描述了质点空间位置随时间的变化,称为质点的运动方程。它是一个矢性函数,在三维空间和二维空间中, $r=r(t)$ 可等效记为

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

相应的分量式为

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad \text{与} \quad \begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases}$$

上面各式都表明位矢是时间的函数,所以运动方程可称为运动函数。

(2)在运动方程的分量式中,消去时间参量 t ,可得到质点在空间中运动时它的各坐标之间的关系式,这个关系式称为轨迹方程。记为

$$F(x, y, z) = 0$$

1.1.5 位移 路程

(1)从质点在时刻 t 的位置 A 引向质点在 $t+\Delta t$ 时刻的位置 B 所作的矢量 Δr (图1-1),称为质点在时间 Δt 内的位移。它描述质点在时间 Δt 内位置变动的大小和方向。显然,位移 Δr 是位矢 r 的增量,即

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

在三维空间与二维空间中分别为

$$\Delta r = (x_B - x_A)i + (y_B - y_A)j + (z_B - z_A)k = \Delta x i + \Delta y j + \Delta z k$$

与

$$\Delta r = (x_B - x_A)i + (y_B - y_A)j = \Delta x i + \Delta y j$$

由分量 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 便可分别求位移的大小和方向,在三维空间和二维空间中位移的大小分别为

$$|\Delta r| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \quad \text{与} \quad |\Delta r| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

在三维空间中位移的方向用它与三个坐标轴正方向所形成的夹角 α, β, γ 的方向

余弦来表示,即

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

在二维空间中位移的方向用它与 x 轴所形成的夹角 α 表示,即

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

通常,在一个无穷小的时间 dt 内,质点在三维空间和二维空间中的位移分别表示为

$$d\mathbf{r} = dx\mathbf{i} + dy\mathbf{j} + dz\mathbf{k} \quad \text{与} \quad d\mathbf{r} = dx\mathbf{i} + dy\mathbf{j}$$

(2)路程是质点运动的路径长度。在 Δt 时间内,质点的路程记为 Δs ;在 dt 时间内,质点的路程记为 ds 。

注意:

①位移和路程不同。位移是描述质点位置变化的物理量,用初位置指向末位置的一条有向线段来表示。如图 1-1 所示,有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 表示位移 $\Delta\mathbf{r}$,它是一个既有大小又有方向的矢量。位移的大小只与质点的初位置和末位置有关,与质点的运动路径无关,当初、末位置确定后,位移就是唯一确定的。而路程是质点通过的实际运动轨迹的长度,是标量,只有大小,没有方向。所以路程不仅与质点运动的初、末位置有关,而且还与质点运动的路径有关。一般说来,位移的大小不等于路程,即 $|\Delta\mathbf{r}| \neq \Delta s$ 。只有当质点做单向直线运动时或 Δt 趋近于零时,两者才相等,即 $ds = |d\mathbf{r}|$ 。

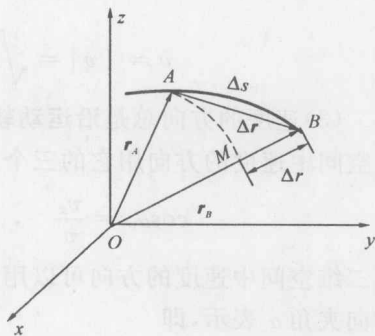


图 1-1 位移 $\Delta\mathbf{r}$ 、路程 Δs
与位矢大小增量 Δr

②在物理学中, $|\Delta\mathbf{r}| = |\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|$, $\Delta r = |\mathbf{r}_2| - |\mathbf{r}_1|$ 。例如,在图 1-1 中,在 OB 上取 $OM = OA$, 则 $|\Delta\mathbf{r}| = AB$; 而 Δr 的表示式为 $\Delta r = OB - OA = MB$ 。显然, AB 和 MB 一般不相等,即一般情况下 $|\Delta\mathbf{r}| \neq \Delta r$, 同样,一般情况下, $|d\mathbf{r}| \neq dr$ 。

1.1.6 速度

(1)速度是描述质点位置随时间变动的快慢和方向的物理量。速度是一个矢量。定义为

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

速度在三维空间与二维空间中的正交分解式分别为

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\boldsymbol{i}) + \frac{d}{dt}(y\boldsymbol{j}) + \frac{d}{dt}(z\boldsymbol{k}) = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k}$$

与

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\boldsymbol{i}) + \frac{d}{dt}(y\boldsymbol{j}) = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j}$$

(2)速度的大小,即速率。速率只描述物体运动的快慢。定义为

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

其中最后一个等号之所以成立,是因为当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $\Delta s \rightarrow |\Delta \boldsymbol{r}|$, 即 $ds = |d\boldsymbol{r}|$ 。在三维空间与二维空间中速度的大小分别为

$$v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

与

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

(3)速度的方向总是沿运动轨迹的切线方向,并指向质点前进的方向。在三维空间中速度的方向用它的三个方向余弦来表示,即

$$\cos\alpha_v = \frac{v_x}{v}, \quad \cos\beta_v = \frac{v_y}{v}, \quad \cos\gamma_v = \frac{v_z}{v}$$

在二维空间中速度的方向可以用它的两个方向余弦表示,也可用速度与 x 轴正方向夹角 α 表示,即

$$\alpha_v = \arctan \frac{v_y}{v_x}$$

(4)质点在 t 到 $t+\Delta t$ 时间间隔内位矢的平均变化率称为质点在该时间间隔内的平均速度,常用 $\bar{\boldsymbol{v}}$ 表示,即

$$\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1}{t_2 - t_1}$$

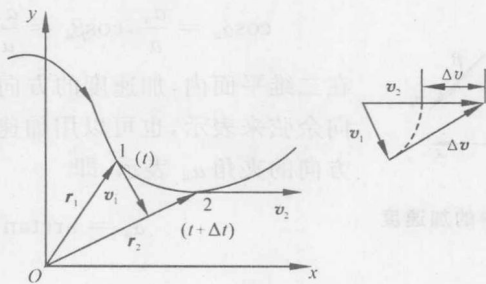
(5)质点在 t 到 $t+\Delta t$ 时间间隔内所走过的路程 Δs 与 Δt 之比称为质点在该时间间隔 Δt 内的平均速率,记为 $\bar{v}$,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

注意:

①在物理学中, $|\Delta \boldsymbol{v}| = |\boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1|$, $\Delta v = |\boldsymbol{v}_2| - |\boldsymbol{v}_1|$ 。因此,在一般情况下, $|\Delta \boldsymbol{v}| \neq \Delta v$ 。同理,一般情况下, $|d\boldsymbol{v}| \neq dv$ 。如图 1-2 所示。

②类似的,在前面已经讲过,一般情况下, $|d\boldsymbol{r}| \neq dr$ 。因此,一般情况下, $v = |\boldsymbol{v}| = \left| \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \right| \neq \frac{dr}{dt}$ 。

图 1-2 Δv 与 Δv 的不同

1.1.7 加速度

(1) 加速度是描述质点速度的大小和方向随时间变化快慢的物理量。它是一个矢量, 定义为

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

加速度在三维空间与二维空间中的正交分解式分别为

$$\begin{aligned} a &= \frac{dv}{dt} = \frac{dv_x}{dt}i + \frac{dv_y}{dt}j + \frac{dv_z}{dt}k \\ &= \frac{d^2r}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2}i + \frac{d^2y}{dt^2}j + \frac{d^2z}{dt^2}k = a_xi + a_yj + a_zk \end{aligned}$$

与

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv_x}{dt}i + \frac{dv_y}{dt}j = \frac{d^2r}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2}i + \frac{d^2y}{dt^2}j = a_xi + a_yj$$

(2) 加速度的大小用加速度矢量的模来表示, 即

$$a = |a| = \left| \frac{dv}{dt} \right| = \left| \frac{d^2r}{dt^2} \right|$$

在三维空间与二维空间中加速度的大小的分别为

$$\begin{aligned} a &= |a| = \sqrt{\left(\frac{dv_x}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dv_y}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dv_z}{dt}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)^2} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \end{aligned}$$

与

$$a = |a| = \sqrt{\left(\frac{dv_x}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dv_y}{dt}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

(3) 加速度的方向总是指向该时刻质点所在处的轨迹曲线的凹边 (图 1-3)。在三维空间中加速度的方向用它的三个方向余弦来表示, 即