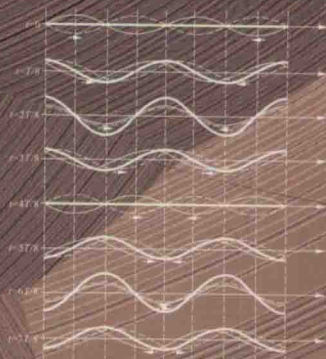
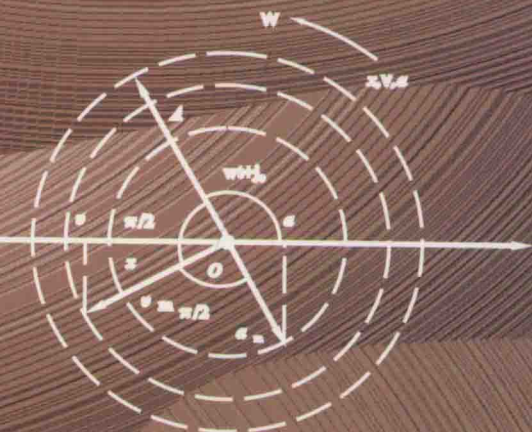


通高等学校教材

DAXUE WULI XUEXI YU JIETI ZHIDAO

大学物理学习与解题指导 (第2版)

主 编 蒋 涛 胡建昌



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

大学物理

学习与解题指导

(第2版)

主 编 蒋 涛 胡建昌

编 者 (以拼音字母为序)

顿中万 胡建昌 黄 亮

蒋 涛 李 玲 王 乐

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

内 容 简 介

本书是长江大学工程技术学院基础部物理教研室编写的《大学物理》系列教材的学习与解题指导。其中涵盖了《大学物理》上、下册的全部相关内容,编排顺序也和教材一样。每章都有四部分内容:本章内容剖析,本章重点、难点,本章解题指导和本章典型例题。每章都将相应的基本概念、基本定律、基本定理及主要公式加以剖析,并在此基础上指出内容的重点和难点。解题指导则引导学生如何解题,该用何种方法解题,这一部分与典型例题紧密结合。典型例题尽可能涵盖相应章节的物理内容和习题的类型。

书末的附录给出了两套《大学物理课外练习习题集》,以方便教师布置课外作业和帮助学生全面复习当天老师课堂讲授的内容。“习题集”基本上是每次课一次练习。每次练习含选择题4道,填空题3道,计算题2道。选择题和填空题主要是复习物理概念,也作一些简单计算。“习题集”分甲、乙两套,为的是使使用该习题集的连续两届学生课外练习不相同。

本书内容相对偏浅,可供独立学院和独立学院层次的学校使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习与解题指导/蒋涛,胡建昌主编.—2版.—武汉:武汉理工大学出版社,2016.1

ISBN 978-7-5629-5101-8

I. ①大… II. ①蒋… ②胡… III. ①物理学-高等学校-教材参考资料
IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 011750 号

项目负责人:陈军东 徐 扬 王兆国

责任编辑:彭佳佳

责任校对:陈 硕

装帧设计:董君承

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.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开 本:787×960 1/16

印 张:25.25

字 数:510 千字

版 次:2016 年 1 月第 2 版

印 次:2016 年 1 月第 1 次印刷 总第 4 次印刷

印 数:1~2000 册

定 价:39.80 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

第2版前言

自本书于2013年首印以来,一直被长江大学工程技术学院用作工科专业的“大学物理”课程教材。选用本教材的师生在基本认可其内容和形式的同时,也给编者带来了可贵的反馈意见。综合这些反馈意见,同时考虑到学校转型发展的需要和民办学院“大学物理”教学的特点和体会,编者对本书进行了修订。

本次修订主要在于全面校正初版中的印刷差错、表述欠妥之处,全书的表达形式仍然保持着初版“淡化理论、注重应用”的宗旨,着重阐述基本物理知识和基本物理概念,以方便学生自学。

全书由伍嗣榕副教授组织修订,康垂令教授审定。黄亮、王乐担任《大学物理》上册主编,李玲、顿中万担任《大学物理》下册主编,蒋涛、胡建昌担任《大学物理学习与解题指导》主编。参加编写的老师有:黄亮(第1章、第3章、第17章及附录),王乐(第2章、第6章、第7章),蒋涛(第4章、第5章、第15章),胡建昌(第8章、第9章、第10章),顿中万(第12章、第13章、第14章),李玲(第11章、第16章、第18章、第19章)。《大学物理学习与解题指导》各章节的内容均由《大学物理》上、下册中各对应的编者完成。

在修订过程中,长江大学工程技术学院的领导对此套教材提供了极大的支持,部分老师提出了不少可贵的意见和建议,使本教材相关部分的科学严谨性与可读性得以进一步提高。借此机会,编者谨致谢忱。

编者
2015.6

第1版前言

随着独立学院办学理念的日趋成熟和教学的日益规范,特别是结合我们在长江大学工程技术学院从事《大学物理》教学近十年的切身体验和经验总结,以及近几年的学生实际,长江大学工程技术学院基础部组织物理教研室编写了这套《大学物理》教材。

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,紧密结合独立学院的学生实际,力求编写一套教师好教、学生好学、适合独立学院使用的《大学物理》教材。这套《大学物理》教材以淡化理论,注重应用为宗旨,着重阐述基本物理知识和基本物理概念,以及基本物理问题的解决方法,以方便学生自学。为此,我们采取了如下措施:

1. 对于课程的基本内容,我们严格按照“非物理类理工科大学物理课程教学基本要求”进行选取和编排,以保证基本物理知识体系的系统性和完整性,同时也照顾到了不同专业的需求。

2. 在保证基本物理知识的科学性与完整性的基础上,着重于培养学生对物理概念和物理规律的理解。对物理定律的阐述和推导都力求严谨详细,以便学生自学;对于部分数学推导过程过分复杂,而“基本要求”又属“了解”的内容,或者简化处理,或者用特例代替推导,或者通过阐明物理机理后抬出物理公式,或者讲明公式的推导思路后列出公式。

3. 为了帮助学生全面地理解和掌握物理概念,本书在例题的选取上,一是加大了例题量,二是尽量涵盖各知识点,三是解题过程力求规范和详细,以便学生自学,并培养学生良好的解题习惯。

4. 为了培养学生“自主学习”能力,我们专门编写了适合于学生自学的《大学物理学习与解题指导》。

5. 为了使学生通过课外练习对所学知识的全面复习,而又不增加学生的课外负担,也为了方便教师布置课外作业,我们编写了通过近十年教学经验提炼的《大学物理课外练习习题集》(简称《习题集》)附在《大学物理学习与解题指导》之后。《习题集》基本上是每课次练习一次,每次练习内容包含选择题4道,填空题3道,计算题2道。选择题和填空题主要是复习物理概念,也作简单计算。《习题集》分甲乙两套,为的是使使用该习题集的连续两届学生的课外练习不相同。《习题集》

的答案及简短解答过程没有附在书后,而是保存在长江大学工程技术学院基础部,使用该教材的学校可以来函索取。

本教材全部采用国际单位制(SI),常用物理常量列在书前,习题与思考题的参考答案附录书后。

本套书由《大学物理》上册、《大学物理》下册及《大学物理学习与解题指导》共三册书组成。其中《大学物理》上、下册可分别作为两个学期的教材使用。其教学学时可按照 120 学时安排。

本套书由伍嗣榕副教授组织编写,康垂令教授担任总主编,黄亮、蒋涛担任《大学物理》上册主编,伍嗣榕、李玲担任《大学物理》下册主编,郑定山、黄健担任《大学物理学习与解题指导》主编。参加编写的老师有:康垂令(第 1 章、第 2 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章及附录),黄亮(第 3 章、第 17 章),蒋涛(第 4 章、第 5 章),王志中(第 9 章、第 10 章),伍嗣榕(第 11 章、第 12 章),郑定山(第 13 章、第 14 章),黄健(第 15 章、第 16 章),李玲(第 18 章、第 19 章)。《大学物理学习与解题指导》各章的内容均由《大学物理》上、下册中各章对应的编者完成。

编者特别感谢长江大学工程技术学院的领导对编写《大学物理》教材的关心与支持。

由于编者的学识水平有限,加上时间特别仓促,致使书中疏漏,甚至错误难免,欢迎使用本书的师生提出宝贵意见。

编 者
2012. 10

常用物理常数表

引力常量	$G=6.67 \times 10^{-11} \text{ N}^2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
阿伏伽德罗常量	$N_A=6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
摩尔气体常量	$R=8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
玻耳兹曼常量	$k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
真空中光速	$c=3.00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
电子质量	$m_e=9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
中子质量	$m_n=1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
质子质量	$m_p=1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
元电荷	$e=1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
真空中电容率	$\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
真空中磁导率	$\mu_0=4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}=1.26 \times 10^{-6} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$
普朗克常量	$h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
维恩常量	$b=2.897 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
斯特藩-玻耳兹曼常量	$\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

重力加速度	$g=9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
标准大气压	$1 \text{ atm}=1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$
太阳质量	$1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$
太阳平均半径	$6.96 \times 10^8 \text{ m}$
地球质量	$5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$
地球平均半径	$6.47 \times 10^6 \text{ m}$
地球轨道平均半径	$1.49 \times 10^{11} \text{ m}$
月亮质量	$7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$
月亮平均半径	$2.74 \times 10^6 \text{ m}$
月亮轨道平均半径	$3.84 \times 10^8 \text{ m}$

目 录

第 1 章 质点运动学	(1)
§ 1.1 本章内容剖析	(1)
§ 1.2 本章重点、难点	(3)
§ 1.3 本章解题指导	(3)
§ 1.4 本章典型例题	(5)
第 2 章 质点动力学	(12)
§ 2.1 本章内容剖析	(12)
§ 2.2 本章重点、难点	(15)
§ 2.3 本章解题指导	(16)
§ 2.4 本章典型例题	(18)
第 3 章 刚体定轴转动	(31)
§ 3.1 本章内容剖析	(31)
§ 3.2 本章重点、难点	(34)
§ 3.3 本章解题指导	(34)
§ 3.4 本章典型例题	(35)
第 4 章 机械振动	(46)
§ 4.1 本章内容剖析	(46)
§ 4.2 本章重点、难点	(51)
§ 4.3 本章解题指导	(51)
§ 4.4 本章典型例题	(52)
第 5 章 机械波	(60)
§ 5.1 本章内容剖析	(60)
§ 5.2 本章重点、难点	(66)
§ 5.3 本章解题指导	(66)
§ 5.4 本章典型例题	(67)
第 6 章 光的干涉	(77)
§ 6.1 本章内容剖析	(77)

§ 6.2	本章重点、难点	(79)
§ 6.3	本章解题指导	(80)
§ 6.4	本章典型例题	(81)
第 7 章	光的衍射	(91)
§ 7.1	本章内容剖析	(91)
§ 7.2	本章重点、难点	(93)
§ 7.3	本章解题指导	(94)
§ 7.4	本章典型例题	(95)
第 8 章	光的偏振	(107)
§ 8.1	本章内容剖析	(107)
§ 8.2	本章重点、难点	(108)
§ 8.3	本章解题指导	(108)
§ 8.4	本章典型例题	(109)
第 9 章	气体动理论	(112)
§ 9.1	本章内容剖析	(112)
§ 9.2	本章重点、难点	(117)
§ 9.3	本章解题指导	(117)
§ 9.4	本章典型例题	(118)
第 10 章	热力学基础	(123)
§ 10.1	本章内容剖析	(123)
§ 10.2	本章重点、难点	(127)
§ 10.3	本章解题指导	(127)
§ 10.4	本章典型例题	(128)
第 11 章	真空中的静电场	(136)
§ 11.1	本章内容剖析	(136)
§ 11.2	本章重点、难点	(141)
§ 11.3	本章解题指导	(142)
§ 11.4	本章典型例题	(144)
第 12 章	静电场中的导体和电介质	(158)
§ 12.1	本章内容剖析	(158)
§ 12.2	本章重点、难点	(162)
§ 12.3	本章解题指导	(162)

§ 12.4 本章典型例题	(164)
第 13 章 稳恒磁场	(174)
§ 13.1 本章内容剖析	(174)
§ 13.2 本章重点、难点	(179)
§ 13.3 本章解题指导	(179)
§ 13.4 本章典型例题	(182)
第 14 章 磁场中的磁介质	(196)
§ 14.1 本章内容剖析	(196)
§ 14.2 本章重点、难点	(198)
§ 14.3 本章解题指导	(198)
§ 14.4 本章典型例题	(199)
第 15 章 电磁感应	(205)
§ 15.1 本章内容剖析	(205)
§ 15.2 本章重点、难点	(208)
§ 15.3 本章解题指导	(209)
§ 15.4 本章典型例题	(211)
第 16 章 电磁场和电磁波	(223)
§ 16.1 本章内容剖析	(223)
§ 16.2 本章重点、难点	(226)
§ 16.3 本章解题指导	(226)
§ 16.4 本章典型例题	(227)
第 17 章 狭义相对论基础	(232)
§ 17.1 本章内容剖析	(232)
§ 17.2 本章重点、难点	(234)
§ 17.3 本章解题指导	(235)
§ 17.4 本章典型例题	(235)
第 18 章 光的量子性	(242)
§ 18.1 本章内容剖析	(242)
§ 18.2 本章重点、难点	(244)
§ 18.3 本章解题指导	(244)
§ 18.4 本章典型例题	(245)

第 19 章 原子的量子理论	(247)
§ 19.1 本章内容剖析	(247)
§ 19.2 本章重点、难点	(250)
§ 19.3 本章解题指导	(250)
§ 19.4 本章典型例题	(251)
附录一 大学物理课外练习习题集(甲种本)	(257)
附录二 大学物理课外练习习题集(乙种本)	(326)
参考文献	(393)

第 1 章 质点运动学

§ 1.1 本章内容剖析

一、物理模型、质点、参照系、坐标系

1. 物理模型

在科学研究中,为了研究的方便,根据研究问题的特征,强调其主要方面,忽略其次要方面;强调其共性,忽略其个性,使问题简化而便于研究。这种抽象出来的模型就称物理模型。

2. 质点

忽略物体形状大小,近似把物体看作只有质量的几何点。

3. 参照系

被选作参考的物体称为参照系。

4. 坐标系

为了定量描述物体的运动,就必须在参照系上选取坐标系,用得最多的是平面直角坐标系。

二、基本物理量

1. 位置矢量 $\mathbf{r}$

(1) 定义 从坐标原点向物体所在位置引的一条有方向的线段。

(2) 表达式 $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$, $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 是 $\mathbf{r}$ 的大小。

(3) 运动方程 质点的位置矢量和坐标随时间变化的函数关系。

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

(4) 轨迹方程 将运动方程中的 t 消去后得到的质点空间位置坐标之间的函数关系。

2. 位移矢量 $\Delta\mathbf{r}$

(1) 定义 从物体的起始位置向终止位置引的一条有向线段。

(2) 表达式 $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k}$ 。

$$\Delta r = r_2 - r_1 = |\mathbf{r}_2| - |\mathbf{r}_1|, |\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}, \Delta r \text{ 不是 } \Delta\mathbf{r} \text{ 的大小。}$$

(3) 路程 Δl 物体运动轨迹的弧长。

(4) 说明 位移与路程的大小一般不等:位移的大小是线段长度,路程是曲线长度,有 $\Delta l \geq |\Delta \mathbf{r}|$, 但有 $dl = |d\mathbf{r}|$ 。

3. 速度 $\mathbf{v}$

(1) 定义 描述物体运动快慢的物理量,是位移对时间的变化率,是位置矢量对时间的一阶导数,方向沿运动轨迹切向。

$$(2) \text{ 表达式 } \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \left(\frac{dx}{dt}\right)\mathbf{i} + \left(\frac{dy}{dt}\right)\mathbf{j} + \left(\frac{dz}{dt}\right)\mathbf{k}.$$

(3) 速率 v 是路程对时间的变化率,是路程对时间的一阶导数,其表达式为 $v = dl/dt$, 是速度 $\mathbf{v}$ 的大小。

(4) 平均速度 $\bar{\mathbf{v}}$ 与平均速率 $\bar{v}$ 平均速度 $\bar{\mathbf{v}} = \Delta \mathbf{r} / \Delta t$, 是位移对时间的比值,平均速率 $\bar{v} = \Delta l / \Delta t$, 是路程对时间的比值。平均速率不是平均速度的大小,一般有 $\bar{v} \geq |\bar{\mathbf{v}}|$ 。

4. 加速度

(1) 定义 描述物体速度变化快慢的物理量,是速度对时间的变化率,是速度对时间的一阶导数,是位置矢量对时间的二阶导数。

$$(2) \text{ 表达式 } \mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \left(\frac{dv_x}{dt}\right)\mathbf{i} + \left(\frac{dv_y}{dt}\right)\mathbf{j} + \left(\frac{dv_z}{dt}\right)\mathbf{k}$$

$$\mathbf{a} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)\mathbf{i} + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)\mathbf{j} + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)\mathbf{k}$$

(3) 方向偏向凹侧。

5. 切向加速度 a_t 与法向加速度 a_n

(1) 切向加速度 $a_t = dv/dt = d^2l/dt^2$ 是速率 v 对时间的一阶导数,是路程对时间的二阶导数。它体现了速度大小变化的快慢。方向沿切向,有正负。

(2) 法向加速度 $a_n = v^2/\rho$ 是速率的平方除以曲率半径。它体现了速度方向变化的快慢。方向沿法向,其值大于零。

(3) 加速度沿自然坐标系的分解

$$\mathbf{a} = a_n\mathbf{i} + a_t\mathbf{j}, \quad a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}, \quad \mathbf{a} \text{ 与切向的夹角为 } \alpha = \arctan\left(\frac{a_n}{a_t}\right).$$

三、圆周运动

1. 圆周运动的角量描述

(1) 角位置、角坐标及运动方程 $\theta = \theta(t)$ 。

(2) 角位移 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ 。

(3) 角速度 $\omega = d\theta/dt$, 是描述物体转动快慢的物理量,是角坐标对时间的变化率。

(4) 角加速度 $\beta = d\omega/dt = d^2\theta/dt^2$, 是描述物体转动角速度变化快慢的物理量, 是角速度对时间的变化率, 是角速度对时间的一阶导数, 是角坐标对时间的二阶导数。

2. 圆周运动中角量与线量的关系

(1) 转过的弧长与角位移的关系 $\Delta l = R\Delta\theta$ 。

(2) 线速度与角速度的关系 $v = R\omega$ ($\boldsymbol{v} = \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{R}$)

(3) 切向加速度与角加速度的关系 $a_t = R\beta$ 。

(4) 法向加速度与角速度的关系 $a_n = R\omega^2$ 。

四、相对运动

$\boldsymbol{v}_{PS} = \boldsymbol{v}_{PS'} + \boldsymbol{v}_{S'S}$, “前对前, 后对后, 中对中”。

§ 1.2 本章重点、难点

一、本章重点

位置矢量 $\boldsymbol{r}$, 速度 $\boldsymbol{v}$, 加速度 $\boldsymbol{a}$, 切向加速度 a_t 与法向加速度 a_n , 圆周运动的角量描述, 圆周运动中角量与线量的关系。

二、本章难点

速度 $\boldsymbol{v}$, 加速度 $\boldsymbol{a}$, 切向加速度 a_t 与法向加速度 a_n 。

§ 1.3 本章解题指导

本章的习题有以下几个方面的内容, 其一是基本概念的训练; 其二是已知运动方程, 通过对时间的微分求速度和加速度的所谓第一类问题; 其三是已知加速度, 通过积分求速度和运动方程的所谓第二类问题; 其四是第一类问题与第二类问题的混合问题; 其五是巧妙运用高等数学知识的问题。

一、基本概念的训练

(1) 容易把所有的加速运动都看成匀加速运动, 匀加速运动只是加速运动的特例。加速运动是否是匀加速运动, 要通过计算得出(如例题 1-1)。

(2) 容易混淆的概念

① $\Delta \boldsymbol{r}$ 、 Δl 和 Δr 位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的大小是轨迹上两点间的线段长度, Δl 是轨迹两点间的曲线长度(如例题 1-5), Δr 是两点位置矢量长度之差。

② $\bar{\boldsymbol{v}}$ 和 $\bar{v}$ 平均速度是位移除以时间, 平均速率是路程除以时间(如例题 1-2、

例题 1-9)。

③ $\mathbf{a}$ 与 a_t 加速度是速度对时间的一阶导数,切向加速度是速率对时间的一阶导数(如例题 1-6)。

④ dv/dt 与 $|d\mathbf{v}/dt|$ dv/dt 是速率对时间的变化率,是切向加速度; $|d\mathbf{v}/dt|$ 是速度对时间变化率的绝对值,是总加速度的大小。两者不是一回事(如例题 1-6)。

⑤ dl/dt 与 dr/dt dl/dt 是路程对时间的变化率,是速率,也是速度的大小; dr/dt 没有物理意义,如果真要有个说法,就是质点位置矢量长度对时间的变化率,两者不是一回事(如例题 1-6)。

(3) 切向加速度 a_t 、法向加速度 a_n 以及加速度沿自然坐标系的分解。这类习题按定义求不会有多大的问题(如例题 1-3、例题 1-7)。总加速度不论在直角坐标中还是在自然坐标中,其大小和方向都是一样的。

二、第一类问题

已知运动方程,通过微分求速度和加速度。求解此类习题关键是确定运动方程,运动方程可以是题目给出的(如例题 1-4、例题 1-11),也可以是寻找得出的;可以是时间的显函数,也可以是时间的隐函数。有了运动方程,通过微分一步一步便可求出速度和加速度(如例题 1-10)。

三、第二类问题

已知加速度和初始条件,通过积分求速度和运动方程。求解此类习题关键是不需要已知了加速度,就认为是匀加速运动,就用匀加速运动的公式计算。另外积分的上下限一定要一一对应(如例题 1-12)。

四、第一类与第二类的混合问题

这类问题一般是已知速度和初始条件,通过微分求加速度,通过积分求运动方程(如例题 1-8)。把前面的第一类问题与第二类问题搞清楚后,这类问题就不难解决。

五、巧妙运用高等数学知识

大学物理与中学物理的一个很大的区别是大学物理与高等数学紧密结合。不仅仅用高等数学解物理习题,还要符合高等数学的规范。比方大学物理中选取的直角坐标系的三个坐标轴 Ox 、 Oy 、 Oz 的排列必须满足右手螺旋法则,所谓两矢量的夹角必须是两矢量正方向的夹角,矢量的书写必须用粗体(用手写必须在字母的上边加箭号)等。在具体解题时,要巧妙地运用高等数学知识。比方例题 1-10 和与之

配套教材中的例题 1-3, 通过运动方程求速度、加速度, 运动方程可以是显函数, 也可以是隐函数, 从解题来看似乎用隐函数的运动方程求速度、加速度更方便。又如与之配套教材中的例题 1-5, 已知电艇关闭发动机后的加速度为 $dv/dt = -kv^3$ 和关机时的速度 v_0 , 求电艇速度 v 与行驶距离 x 之间的关系, 就要用到一个变换

$$a = \frac{dv}{dt} = \left(\frac{dv}{dx}\right)\left(\frac{dx}{dt}\right) = v\left(\frac{dv}{dx}\right)$$

从而使问题迎刃而解。之所以能进行这样的变换, 从物理技巧讲是分子分母同乘以 dx , 然后巧妙地搭配; 从高等数学讲, 速度随空间 x 变, 空间 x 又随时间 t 变, 换句话说速度是空间 x 的函数, 空间 x 又是时间的函数, 即 $v = v(t) = v[x(t)]$, 就要用到复合函数的微分法。至于求解运动学中的第一类问题与第二类问题乃至第一类与第二类的混合问题等, 更像是在做高等数学学习题。所以巧妙地运用高等数学知识, 是学好大学物理的关键。

§ 1.4 本章典型例题

例题 1-1 一质点作直线运动, 某时刻的瞬时速度为 $v = 3.0 \text{ m/s}$, 瞬时加速度为 $a = -3.0 \text{ m/s}^2$, 有人算出 1 s 后质点的速度为零。你认为对吗? 为什么?

分析 此类题最容易出现的错误是把所有的加速运动都看成匀加速运动。题目没有告诉我们是匀加速运动, 所以不能用匀加速运动得出结果。

解 不对! 因为是用匀加速运动得出结果。题目并没有告诉是匀加速运动, 所以不能用匀加速运动得出结果。因为题目没有告诉具体是什么运动, 所以就得出结果。

例题 1-2 一质点沿半径为 R 的圆周运动一周半用了时间 $3T/2$ 。问它运动的位移和路程的大小各是多少? 这段时间内它的平均速度和平均速率各是多少?

分析 这是个训练位移和路程、平均速度和平均速率概念的题。

解 依定义, 它运动位移的大小为

$$|\Delta \mathbf{r}| = 2R$$

路程的大小为

$$\Delta l = 3\pi R$$

平均速度的大小为

$$|\bar{\mathbf{v}}| = \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = \frac{2R}{3T/2} = \frac{4R}{3T}$$

平均速率的大小为

$$\bar{v} = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{3\pi R}{3T/2} = \frac{2\pi R}{T}$$

例题 1-3 质点作半径为 R 的变速圆周运动时, 某时刻的角速度为 ω , 角加速

度为 β 。求质点的切向加速度、法向加速度、总加速度的大小。

分析 这是个求质点的切向加速度、法向加速度、总加速度大小的例题。

解 依定义,切向加速度与法向加速度分别是

$$a_t = R\beta, \quad a_n = R\omega^2$$

所以加速度的大小为

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{(R\beta)^2 + (R\omega^2)^2} = R\sqrt{\beta^2 + \omega^4}$$

例题 1-4 一悬挂在弹簧上的物体在竖直方向上振动,振动方程为 $y = A\sin(\omega t)$, 其中 A 、 ω 均为常量,求物体速度与时间的函数关系,物体加速度与坐标的函数关系。

分析 这是个已知运动方程,通过微分求速度和加速度的例题。运动方程是题目给出的,只需一步一步求解便是。

解 依定义,通过运动方程对时间的一次微分得速度

$$v = \frac{dy}{dt} = \omega A \cos(\omega t)$$

通过运动方程对时间的二次微分得加速度

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A \sin(\omega t)$$

将 $y = A\sin(\omega t)$ 带入得物体加速度与坐标的函数关系为

$$a = -\omega^2 y$$

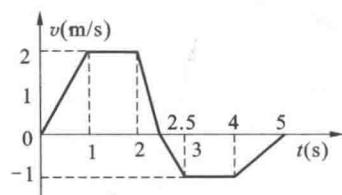


图 1-1 例题 1-5 用图

例题 1-5 一质点沿 x 轴作直线运动,其 $v-t$ 曲线如图 1-1 所示, $t=0$ 时,质点位于坐标原点。求:
(1) $t=5.0$ s 时,质点在 x 轴上的位置;(2) 在这 5.0 s 内,质点走的路程。

分析 此例题有两个目的,其一是复习中学物理所学用 $v-t$ 曲线如何表示直线运动速度随时间的变化,其二是 $v-t$ 曲线与 t 轴所夹面积的物理意义。曲线与 t 轴所夹面积有正(t 轴上面的面积)有负(t 轴下面的面积)。面积的代数和表示位移,面积绝对值之和表示路程。

解 因 $t=0$ 时,质点位于坐标原点,则 $t=5.0$ s 时质点的位置实质是质点的位移。 $0 \sim 2.5$ s 的面积 S_1 为正, 2.5 s ~ 5.0 s 的面积 S_2 为负。有

$$S_1 = 2 \times 1 \div 2 + 2 \times 1 + 2 \times 0.5 \div 2 (\text{m}) = 3.5 \text{ m}$$

$$S_2 = (-1) \times 0.5 \div 2 + (-1) \times 1 + (-1) \times 1 \div 2 (\text{m}) = -1.75 \text{ m}$$

(1) $t=5.0$ s 时,质点在 x 轴上的位置为

$$x = \Delta x = S_1 + S_2 = 3.5 - 1.75 (\text{m}) = 1.75 \text{ m}$$