



高等学校理工科学习辅导丛书

大学物理学习指导

陈 力 主编



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



高等学校理工科学习辅导丛书

大学物理学习指导

主 编 陈 力

副主编 黄德康 王致玉

主 审 陈印椿



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导 / 陈力主编. —5 版. —大连:大连理工大学出版社,2008.7

ISBN 978-7-5611-1311-0

I. 大… II. 陈… III. 物理学—高等学校—教学参考资料 IV. O4—44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 030367 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:<http://www.dutp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:140mm×203mm	印张:14.75	字数:485 千字
2008 年 7 月第 5 版	2008 年 7 月第 9 次印刷	

责任编辑:赵 静

责任校对:苏伟怡

封面设计:宋 蕾

ISBN 978-7-5611-1311-0

定 价:20.00 元

第四版前言

本书自 1998 年出版以来,得到了广大学生及教师的普遍欢迎。随着高等教育改革的进一步深入,高等教育已经由“精英”教育向“大众”教育转化。大学中课时压缩、内容增多,使得许多初入大学校门的大学生难以适应,挫折感由此而生。

“大学物理”与“高等数学”一样,是大家进入大学校门较早接触的重要的基础课之一,学好“大学物理”,包括转变学习方式,掌握基本内容,以及培养或加强自信心,可以为大家顺利渡过大学四年打下良好的基础。

基于上述目的,我们对“大学物理学习指导”进行了较大幅度的修订。修订的主要思想是加强基本概念、基本原理、基本方法的训练,突出重点,不但帮助学生学会解题,而且使学生在更高层次上理解“大学物理”,提高自学能力及知识的升华能力。具体如下:

1. 以“本章导读”版块代替原来的“基本要求”和“内容提要”版块。通过简短的“导读”,可以在宏观上把握本章的主要内容、重点难点以及各内容的相互联系。

2.“重点解疑”版块,将学生在学习过程中常见的难以理解的问题,及容易出错的问题以讨论题的形式进行深入的、开放式的讨论,以使學生加深理解,开拓思维。

3.“典型例题”版块,不仅给出了详细解答,而且介绍了选题目的,解题思路,解题方法及技巧。通过“典型例题”的学习,能达到“举一反三”的目的。

本书在修订过程中参阅了国内外相关书籍,以及本人从教多年的大连理工大学物理教研室积累的教学资料,特此深表谢意。

陈印椿教授审阅了本书的初稿,提出了很多宝贵的建议,在此表示感谢。

希望本书的出版能帮助广大学子迅速适应大学的学习生活,使之学习进步,学业有成!

编 者

2004年8月于大连

第三版前言

本书自出版以来,受到广大读者的一致欢迎,考虑到本书的读者绝大部分还是在校大学生,而不是物理教师,所以这次修订时,把原书中每章的习题课设计部分删除了,把这部分较好的讨论题和例题移到别的段落中,便于读者更系统地阅读。这也是更改书名的原因之一。另外也删除了少量较难的例题,便于读者掌握一些更基本的规律。

再版时间紧迫来不及征求其他编委的意见,修改工作是由我一人完成的,因而缺点、疏漏在所难免。欢迎广大读者批评指正,并对本书进一步修订提出宝贵意见。

主 编

2002年5月

前 言

本书是根据国家教委大学物理课程指导委员会制订的“物理课程教学基本要求”编写的一本大学物理辅助教材。工科大学生在学习大学物理课程时普遍感到概念多、规律多、题目难,抓不住重点,物理很难学。本书的编写宗旨是帮助学生搞清大学物理的基本概念、基本规律;指导解题方法;提高大学生分析问题解决问题的能力。本书共设计了12次习题课,为教师安排辅导课提供参考。

本书共分14章,覆盖了大学物理的全部内容。每章以内容提要、问题讨论、解题指导、习题课设计为主要内容。每章配备了自测试题,自测试题给出了解答。内容提要中总结了本章的基本概念和基本规律。问题讨论中提出了若干重点、难点问题进行分析、讨论,澄清一些常见错误和模糊认识,加深了对基本规律的理解。解题指导中则精选了一些经典例题。通过解题分析、一题多解、分析常见错误等方法指导学生的解题思路和方法。我们也选了少量“超纲”的例题,这是为了满足那些优秀学生进一步学习的需要。习题课设计部分有讨论题、典型题示例、课堂练习题,为大学物理教师上辅导课提供了一份教案。自测试题题型以选择题、填空题、计算题为主,题目的分布与教学要求吻合,自

测试题是为学生学习本章后检查学习效果提供一种手段。

本书是由大连轻工学院、大连海事大学、大连理工大学物理教研室的同仁共同编写的。编写分工为:力学由大连理工大学陈力、张殿凤编写;热物理学基础由大连理工大学宋丽彦、孟祥君编写;电磁学由大连理工大学王雪莹、李淑凤、李雪春编写;振动和波动由大连轻工学院王致玉、王永良、詹卫伸编写;光学由大连海事大学黄德康编写;近代物理学基础由大连理工大学余虹、郑殊、马春利编写。本书主审为大连理工大学陈印椿教授,他对本书编写提出了很多宝贵建议。最后的审定、统稿是陈印椿、陈力负责完成的。

在本书的编写过程中,大连理工大学物理教研室的孙盛新、杨松林、曲延文、崔善庆诸教授曾给予大力支持。在此,表示衷心感谢。

我们在编写本书时参考了清华大学、北京工业大学等兄弟院校编写的相关书籍,因参考书籍很多就不一一列举了。在此,一并表示深深的谢意。

由于时间仓促、水平有限,不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

主 编

1997年9月

目 录

第1章 质点运动学	1
本章导读	1
重点解疑	1
典型例题	4
同步自测	23
同步自测参考答案	24
第2章 牛顿运动定律	25
本章导读	25
重点解疑	25
典型例题	29
同步自测	58
同步自测参考答案	60
第3章 动量和角动量	61
本章导读	61
重点解疑	61
典型例题	67
同步自测	91
同步自测参考答案	92
第4章 功与能	93
本章导读	93
重点解疑	93
典型例题	97
同步自测	127
同步自测参考答案	130
第5章 刚体的运动	131
本章导读	131

重点解疑	131
典型例题	134
同步自测	153
同步自测参考答案	156
第6章 热力学第一定律、热力学第二定律	157
本章导读	157
重点解疑	157
典型例题	161
同步自测	168
同步自测参考答案	170
第7章 气体动理学理论基础	172
本章导读	172
重点解疑	172
典型例题	178
同步自测	190
同步自测参考答案	191
第8章 静电场	192
本章导读	192
重点解疑	192
典型例题	198
同步自测	219
同步自测参考答案	223
第9章 稳恒磁场	226
本章导读	226
重点解疑	226
典型例题	234
同步自测	256
同步自测参考答案	260
第10章 电磁场	262
本章导读	262
重点解疑	262
典型例题	269

同步自测	291
同步自测参考答案	295
第 11 章 振 动	296
本章导读	296
重点解疑	296
典型例题	302
同步自测	323
同步自测参考答案	327
第 12 章 机械波和电磁波	328
本章导读	328
重点解疑	328
典型例题	335
同步自测	353
同步自测参考答案	358
第 13 章 光的干涉	360
本章导读	360
重点解疑	360
典型例题	366
同步自测	376
同步自测参考答案	378
第 14 章 光的衍射、光的偏振	379
本章导读	379
重点解疑	379
典型例题	391
同步自测	404
同步自测参考答案	406
第 15 章 狭义相对论基础	407
本章导读	407
重点解疑	407
典型例题	419
同步自测	430
同步自测参考答案	431

第1章 质点运动学

● 本章导读 ●

本章重点解疑中讨论了一些重要的基本概念,主要有:

- (1)位移和路程的区别。
- (2)平均速度和瞬时速度、平均加速度和瞬时加速度。
- (3)曲线运动中的切向加速度、法向加速度、总加速度。
- (4)速度合成和速度变换的区别。

计算题和证明题可分类如下:

- (1)质点运动学的第一类问题(已知质点的运动函数用微分法求速度和加速度)。
 - (2)质点运动学的第二类问题(已知加速度用积分法求速度和位移)。
 - (3)上抛、平抛、斜抛问题。
 - (4)圆周运动。
 - (5)相对运动及速度合成。
 - (6)推荐几道有趣的、较新颖的习题。
- 本章共选解疑题6道,典型例题25道。

● 重点解疑 ●

1.1 回答下列问题:

- (1)位移和路程有何区别?
- (2)瞬时速度和瞬时速率有何区别?
- (3)瞬时速度和平均速度的区别和联系是什么?

(4)有人说:“平均速率等于平均速度的模”,又有人说: $\left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{dr}{dt}$,试论述两种说法是否正确。

答 (1)如图 1-1 所示,质点从 P_1 运动到 P_2 时,路程为 $\widehat{P_1P_2}$,位移为 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$,两者显然不同,位移是一个矢量,路程是一个标量。只有质点作直线运动而且速度方向不变时,位移的大小才等于路程。

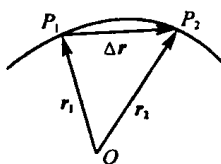


图 1-1

(2)瞬时速度表示质点在某时刻的速度,它是一个矢量,既有大小又有方向,它的表达式为 $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$,瞬时速率

表示该时刻速度的大小,它是一个标量,它的表达式为 $v = \frac{ds}{dt}$,即路程对时间的导数。

(3)平均速度的定义式为

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

它表示位移 $\Delta \mathbf{r}$ 在 Δt 时间内的平均变化率。它只能粗略地反映运动的快慢程度和运动方向,而瞬时速度能精确描写质点运动的快慢以及运动的方向。瞬时速度是平均速度的极限,即

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

(4)上述说法皆不正确。平均速率 $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$,它表示路程与时间的比值,即平均来看,单位时间内质点走了多少路程。而平均速度的模为 $\left| \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \right|$,它是位移的大小与时间的比值,即平均来看,单位时间内位移的大小。位移和路程是两个概念,故平均速率不等于平均速度的模。

$\left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = v = \frac{ds}{dt}$,它表示速率,而 $\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{v}_r$ 只表示径向速率,它是速度 $\mathbf{v}$ 的一个分量的大小,一般情况下两者不相等,如图 1-2 所示

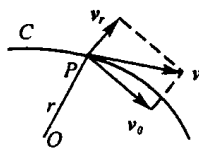


图 1-2

图 1-2 中 C 代表质点运动的轨迹, P 点的径向速度 $v_r = \frac{dr}{dt}$,与径向垂直的方向称为横向,横向速度为 v_θ ,速率 v 与 v_r 、 v_θ 的数量关系为

$$v^2 = v_r^2 + v_\theta^2$$

1.2 回答下列问题并举出符合正确答案的实例:

(1) 物体能否有一不变的速率而仍有一变化的速度?

(2) 速度为零的时刻, 加速度是否一定为零? 加速度为零的时刻, 速度是否一定为零?

(3) 物体的加速度不断减小, 而速度却不断增大, 可能吗?

(4) 当物体具有大小、方向不变的加速度时, 物体的速度方向能否有改变?

答 (1) 能。例如质点做匀速率圆周运动。

(2) 不一定。质点做上抛运动达到最高点时, 此时速度为零, 而加速度为 g 。质点做匀速直线运动时, 加速度为零, 速度不为零。

(3) 可能的。例如质点做变速直线运动, 当加速度和速度方向一致时, 加速度不断减小时, 速度却不断增大。可用下式表示

$$v_{t_2} = v_{t_1} + \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt$$

例如, 高空中下落的雨滴属此种情况, 它受重力和阻力作用, 阻力增大, 合力减小, 加速度变小, 下落过程速度增大。直到重力等于阻力时, 雨滴才开始匀速下落。

(4) 能。例质点做平抛运动。

1.3 圆周运动中质点加速度是否一定和速度方向垂直。任意曲线运动的加速度是否一定不与速度方向垂直?

答 质点做匀速率圆周运动时, 加速度和速度方向垂直, 做变速圆周运动时, 加速度和速度方向不垂直。质点做任意曲线运动, 当速度在某一段圆弧上大小不变时, 加速度与速度方向垂直。

1.4 质点沿圆周运动, 且速率随时间均匀增加, 问 a_t , a_n , a 三者的大小是否随时间改变? 总加速度 a 与速度 v 之间的夹角如何改变?

答 切向 a_t 的大小不变, 法向 a_n 和总加速度 a 的大小增大。 a 与 v 的夹角逐渐增大, 夹角 α 以 90° 为极限。

1.5 行星轨道为椭圆形, 已知任一时刻行星的加速度方向都指向椭圆的一个焦点(太阳所在处)。分析行星在通过图中 M 、 N 两位置时, 它的速率分别是正在增大还是正在减小?

答 在 M 点加速度 a_1 的方向与速度 v_1 之间的夹角 $\theta_1 > \frac{\pi}{2}$, 说明 M 处切向加速度 $a_t = \frac{dv}{dt} < 0$ (即 a_t 与 v_1 方向相反), 速率正在减小。

在 N 点加速度 a_2 与速度 v_2 之间夹角 $\theta_2 < \frac{\pi}{2}$, 说明切向加速度 $a_t = \frac{dv}{dt} > 0$, 所以行星通过 N 点的速率正在增大。

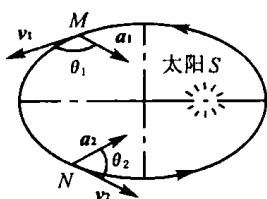


图 1-3

1.6 速度变换和速度叠加有何区别?

答 一个质点在空间运动时,在两个不同的参考系中其速度一般是不同的,这两个不同的速度之间的

关系式,称速度变换。速度叠加是指一个质点同时参与两种运动,在同一参考系中测量其速度等于两种分速度的矢量和。例如,质点 p 相对于坐标系 k 的速度为 v , k' 系相对于 k 系平动速度为 v_0 , 质点相对 k' 系的速度为 v' , 则 v 和 v' 的关系式 $v = v' + v_0$ 称伽利略速度变换式。在不考虑空气阻力时,平抛运动可看成水平方向的匀速直线运动和铅直方向的自由落体两种运动的叠加,质点在任一时刻的速度 $v = v_x i + gt j$, v_x 代表水平方向的分速度, gt 代表铅直方向的向下分速度,任一时刻的速度是两种分速度的叠加。

● 典型例题 ●

【例 1.1】 一质点作直线运动,其运动方程为 $x = 2 + 4t - t^2$, 式中 t 以秒计, x 以米计。试计算 $t = 0$ 到 $t = 3$ s 时间内质点位移的大小、方向和它走过的路程。

选题目的 正确理解位移和路程这两个概念。注意它们的区别。

解题分析 (1)利用公式 $\Delta x = x(t_2) - x(t_1)$ 可求位移的大小和方向,当 $\Delta x > 0$ 时,位移的方向是 x 轴正向,当 $\Delta x < 0$ 时,位移与 x 轴反向。

(2)求路程时注意质点运动过程中,速度方向是否改变,当速度方向有改变时,利用 $\frac{dx}{dt} = 0$ 找出速度为零的时刻,求出正向运动的位移及反向运动的位移。把两段位移的大小相加,即为质点运动时经过的路程。

解 求位移: $\Delta x = x_3 - x_0 = (2 + 12 - 9) - 2 = 3$ (m), 方向为 x 轴正向。

求路程: $v = \frac{dx}{dt} = 4 - 2t = 0, t = 2$ s。

第一段路程 $s_1 = x_2 - x_0 = (2 + 8 - 4) - 2 = 4$ (m)。

第二段路程 $s_2 = |x_3 - x_2| = |5 - 6| = 1$ (m)。

质点从 $t = 0$ 到 $t = 3$ s 时间内走过的路程

$$s = s_1 + s_2 = 4 + 1 = 5 \text{ (m)}$$

【例 1.2】 物体沿一闭合路径运动,经 Δt 时间后又回到出发点 A,如图 1-4(a)所示。初速度为 v_1 ,末速度为 v_2 。且 $v_1 = v_2$, v_1 、 v_2 与水平线夹角均为 $\theta = 30^\circ$,求:

- (1) Δt 时间内质点的位移及平均速度;
- (2) 求 Δt 时间内的平均加速度并画出矢量图。

选题目的 正确理解平均速度和平均加速度的概念。

解题分析 平均速度 $\bar{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$, 先求位移,再除以时间。平均加速度 $\bar{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$, 先求速度增量,并画矢量图,再除以时间, $\bar{a}$ 的方向与速度增量的方向相同。

解 (1) 由图 1-4(a)可知,位移 $\Delta \mathbf{r} = 0$,故平均速度 $\bar{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = 0$ 。

(2) 速度增量如图 1-4(b)所示, $|\Delta \mathbf{v}| = v_1 = v_2$, 因平均加速度 $\bar{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$
 $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \mathbf{j}$, $\mathbf{j}$ 为 y 轴单位矢量。

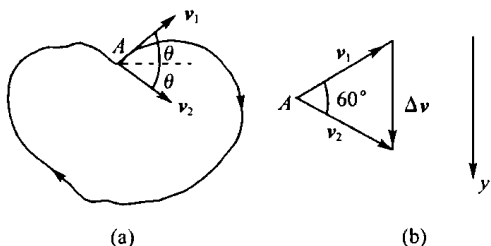


图 1-4

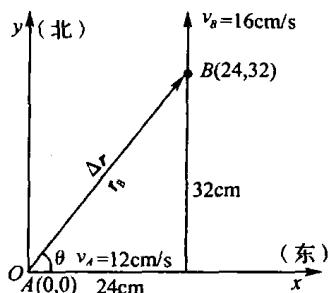
【例 1.3】 在水平面上作任意曲线运动的质点,当经过 A 点时,速度为向东 12 cm/s,经过 4 秒到达 B 点, B 点位于 A 点之东 24 cm、北 32 cm 处,此时速度为向北 16 cm/s,求质点在这 4 秒内的平均速度和平均加速度。

选题目的 学会利用矢量方法计算和表达平均速度和平均加速度。

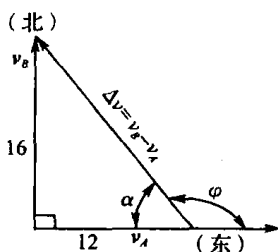
解题分析 先画出位移矢量,除以 Δt ,得平均速度 $\bar{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$;再画出速度增量 $\Delta \mathbf{v}$ 的矢量图,除以 Δt ,得平均加速度 $\bar{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ 。

解 按题意画出示意图见图 1-5 所示,取点 A 为坐标原点 O,东为 x 轴正

向,北为 y 轴正向,零时刻质点在 $A(0,0)$ 处速度分量 $v_{Ax} = 12 \text{ cm/s}$, $v_{Ay} = 0$; 4 秒时,质点在 $B(24,32)$ 处,速度分量 $v_{Bx} = 0$, $v_{By} = 16 \text{ cm/s}$ 。



(a)示意图



(b)速度增量图

图 1-5

根据位移的定义, $\Delta \vec{r} = \vec{AB}$; 即

$$\Delta \vec{r} = 24\vec{i} + 32\vec{j} \text{ (cm)}$$

平均速度

$$\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{24}{4}\vec{i} + \frac{32}{4}\vec{j} = 6\vec{i} + 8\vec{j} \text{ (cm/s)}$$

平均加速度

$$\bar{\vec{a}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}\vec{i} + \frac{\Delta v_y}{\Delta t}\vec{j} = -\frac{12}{4}\vec{i} + \frac{16}{4}\vec{j} = -3\vec{i} + 4\vec{j} \text{ (cm/s}^2\text{)}$$

【例 1.4】一质点在 xOy 平面上运动, 已知运动参数方程为 $x = 2t$, $y = 19 - 2t^2$ 。求:

(1) 质点运动的轨迹方程。

(2) 写出质点的运动函数。并求 $t = 1 \text{ s}$ 和 $t = 2 \text{ s}$ 时的位矢, 并计算这段时间的平均速度。

(3) 计算 $t = 1 \text{ s}$ 和 2 s 时质点的速度和加速度。

选题目的 已知运动函数, 通过微分的方法求速度和加速度, 通常称为运动学的第一类问题。

解题分析 先消除参数方程中的 t 可得质点的轨迹方程。写出运动函数 $\vec{r}$

$(t) = x\vec{i} + y\vec{j}$, 一次求导可得质点的速度表达式 $\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}}{dt} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j}$, 对速度 $\vec{v}$

(t) 求导, 可得加速度 $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j}$ 。