

(第四版)

大学 物理学 学习 指导 书

发花瑞华宝编
耀作佳利云等
廖陶陶余李

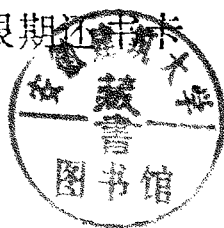
武汉测绘科技大学出版社

大学物理

学习指导书

(第四版)

限期还书



(鄂) 新登字 14 号

内 容 提 要

本书是根据已出版的《大学物理教程》(一、二、三册,武汉测绘科技大学出版社 1998 年),结合鄂、桂、津等地部分工科院校长期积累的教学经验,并按照“高等工业学校物理课程教学基本要求”精神编写而成的。全书分二十四章,每章辟有:一、基本要求;二、内容提要;三、学习指导;四、部分习题简解;五、检测题五个栏目。

本书是《大学物理教程》的配套参考书。也可作为使用其它物理教材的师生作教学或自学的辅导书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导书/廖耀发主编. —第四版
武汉:武汉测绘科技大学出版社, 1999. 12
ISBN 7-81030-683-9

I. 大… II. 廖… III. 大学-物理学-教学参考书 IV. O4

武汉测绘科技大学出版社出版发行

(武汉市珞喻路 129 号 430079)

湖北省新华书店发行所经销

核工业中南三〇九印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:9.1875 字数:232 千字

1999 年 12 月第 4 版 1999 年 12 月第 6 次印刷

印数 46501—51500 册 定价:9.20 元

第四版前言

近年来,我们承担了湖北省教委立项的教学研究课题《面向21世纪物理系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践》。我们认为,在对大学物理课程教学内容和课程体系改革的同时,还必须注意在学习方法上给低年级的大学生以一定的指导,这样才能收到更好的效果。从这层意义上说,它与课程内容及体系的改革是相辅相成的。

大学物理与中学物理有较大的差别。这不仅仅表现在内容的深度上,而且两者的讲授方法也有较大的差异,从而使一些初学大学物理的学生常有学习方法不适应及大学物理难学的感觉。这说明,对低年级大学生加强学习方法的指导是非常必要的。在这样的背景下,我们决定对原版书进行一次较大的修订。

本次修订重在加强学习指导,其内容包括学习方法的指导和解题指导。为此,我们将第三版书中的“解题指导与示例”修订扩写为“学习指导”,它是本书的重要内容之一,凝聚了编者们的多年的教学心得与体会。

此外,我们本着“加强指导”的精神,对书中其余部分也进行了认真的修订,期望在学习要求、方法、解题能力等诸多方面均能给学生一个有益的指导,达到开卷有益。

为配合《大学物理教程》内容和体系的改革,本版书也随之作了相应的调整与改革,将第三版书中的26章改革整合成24章。

本修订版由廖耀发主编,陶作花、陶佳瑞、余利华、李云宝、江泽洲、杨锋(排名不分先后)副主编。参加编写的单位及人员有湖北工学院廖耀发、江泽洲、陈之宜、林竟荣,武汉汽车工业大学陶作

花、田旭、赵中云,武汉测绘科技大学陶佳瑞、梁荫中、李长真,武汉交通科技大学余利华、张兆国、郑树文,武汉科技大学李云宝、张立刚、周检检,武汉水利电力大学杨锋、李齐放、张甫宽,武汉工学院张良启、徐滔滔,天津理工学院丁士连,广西工学院何卫忠。

本修订版由武汉测绘科技大学沈霖生教授主审,沈先生不仅认真地审阅了全部修改稿,而且还提出了许多具体的修改建议,对本书质量的提高起到了关键的作用。

在本次修订中,我们得到了各参编学校物理教研室、教材科以及武汉测绘科技大学出版社的大力支持和帮助,特此一并致谢。

编者

1998年12月

第一版前言

本书是依据国家教委颁发的“高等工业学校物理课程教学基本要求”精神并按照鄂、桂、津合编的《大学物理教程》的内容和体系编写而成的。全书以章为单位,分基本要求、内容提要、解题指导与示例、习题选解、自我检测等五个部分,其目的是希望能为读者更好地掌握本课程的基本要求,提高自学和解答习题的能力提供一定的帮助。

本书由廖耀发主编,张立刚、张兆国、梁荫中、陶作花(按姓氏笔划排序)任副主编,参加编写的单位及人员有湖北工学院廖耀发、刘林福、陈义万,武汉工学院陶作花、赵黎,武汉交通科技大学张兆国、郑树文,武汉测绘科技大学梁荫中、陶佳瑞、李长真,武汉钢铁学院张立刚、周检检,广西工学院何卫忠,天津大学分校丁士连、刘德元,武汉食品工业学院石文兴、张良启,空军雷达学校刘永年,葛洲坝水电工程学院杨锋。此外,章惠康、章可钦、罗文慧、张晓键等同志也为本书编写尽了力。

本书由沈霖生、吴参、周检检主审,他们为本书质量的提高提出了许多极好的建议。本书在编写过程中,参考了部分国内已出版的大学物理学习指导书,并得到了省教委及各参编院校的大力支持,特此一并致谢!

书中错误与不妥之处,敬请广大读者批评指正!

编 者

1992 年 12 月

本书 1995 年入选第三届国家教委优秀教材,97 年获湖北省科技进步三等奖。

目 录

第一章	质点运动学	(1)
第二章	动量守恒与牛顿运动定律	(11)
第三章	机械能与机械能守恒定律	(23)
第四章	角动量守恒与刚体的定轴转动	(35)
第五章	机械振动	(48)
第六章	机械波	(62)
第七章	相对论基础	(76)
第八章	气体分子热运动的统计规律	(86)
第九章	热力学第一定律	(99)
第十章	热力学第二定律	(112)
第十一章	真空中的静电场	(120)
第十二章	静电场与物质的相互作用	(136)
第十三章	恒定电场	(152)
第十四章	真空中的磁场	(157)
第十五章	磁场对电流的作用	(170)
第十六章	介质中的磁场	(182)
第十七章	电磁感应	(189)
第十八章	电磁场与电磁波	(206)
第十九章	光的干涉	(216)
第二十章	光的衍射	(229)
第二十一章	光的偏振	(240)
第二十二章	量子力学的实验基础	(250)
第二十三章	量子力学初步	(263)
第二十四章	原子结构的量子理论	(270)
	检测题答案	(275)

第一章 质点运动学

一 基本要求

1. 理解质点、参考系的概念。
2. 掌握位置矢量、位移、速度、加速度的概念,能熟练地计算质点作一维(直线)、二维(平面)运动时的速度及加速度。
3. 理解切向加速度、法向加速度和角速度及角加速度的概念,能熟练地计算质点作圆周运动时的角速度、角加速度以及切向和法向加速度。
4. 理解相对运动的概念,并能分析和计算质点的相对运动问题。

二 内容提要

1. **质点** 具有质量而可忽略体积大小及形状的物体称为质点,它是一种理想的模型。
2. **参考系** 为了描述物体的运动,必须要选定一个物体作参考。被选作参考的物体称为参考系。参考系的选取是任意的,一般以方便问题的讨论为前提。
3. **位置矢量 运动学方程** 从坐标系的原点 O 引向质点某一时刻所在位置点 P 的有向线段 $\overrightarrow{OP}$ 称为质点在该时刻的位置矢量 $\mathbf{r}$,简称位矢,它是时间 t 的函数,即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$$

上述函数关系式又称为运动学方程。

4. **速度与速率** 速度是反映质点位置变化快慢及方向的物理量。速度的大小称为速率。速度是位置矢量对时间的一阶导数,即

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

5. **加速度** 加速度是反映质点速度随时间变化快慢的物理量,它是速度对时间的一阶导数或位置矢量对时间的二阶导数,即

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

6. **自然坐标系中的加速度** 在自然坐标系中,质点的加速度可表示为切向加速度 $\mathbf{a}_\tau$ 与法向加速度 $\mathbf{a}_n$ 的矢量和,即

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_\tau + \mathbf{a}_n = \frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau} + \frac{v^2}{\rho}\mathbf{n}$$

切向加速度反映速度大小的变化,法向加速度反映速度方向的变化。

7. **角坐标与角位移** 用角度 θ 来描述质点位置的物理量称为角坐标,它是质点到参考轴端点的连线与参考轴的夹角,随时间而变化,即

$$\theta = \theta(t)$$

角坐标在时间 Δt 内的变化 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ 称为角位移。当角位移无限小时则具有矢量性,以 $d\theta$ 表示,其方向由右手螺旋法则确定。

8. **角速度** 反映角坐标 θ 变化快慢的物理量称为角速度。它是角坐标对时间的一阶导数,即

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

角速度是矢量,其方向与角位移方向相同。

9. **角加速度** 反映角速度变化快慢的物理量称为角加速度,它是角速度对时间的一阶导数,即

$$\beta = \frac{d\omega}{dt}$$

角加速度是矢量,其方向与角速度增量的方向相同。

10. **速度合成定理** 质点的绝对速度(对“不动”参考系的速度)等于相对速度(对运动参考系的速度)与牵连速度(运动参考系对不动参考系的速度)的矢量和,即

$$v_{\text{绝}} = v_{\text{相}} + v_{\text{牵}}$$

这一结论称为速度合成定理。

三 学习指导

本章主要讨论质点的运动状态及其变化规律,它们是通过相应的物理量来描述的,常用的物理量有位矢 r 、速度 v 及加速度 a ,它们分别描述质点的位置,位置变化快慢和速度变化的快慢。

位矢、速度、加速度均为矢量,它们不仅有大小,而且有方向。因此,学习时一定要注意区别矢量和标量,不可将矢量与标量等同。

对矢量及其运算的表述通常有两种方法,一是图示法,二是坐标(解析)法。但不管用那种方法,都应与相应的图形配合,图形不仅给人以形象、直观的认识,更重要的还可清楚地表示某些量之间的几何关系。从思维方法上说,数学是人们逻辑推理的手段,而图形则是人们直觉思维中的形象知识。若无图形,则会使有些问题(特别是有几何关系的问题)的求解思路受阻,甚至会成为无法求解的重要因素。

学习大学物理必须很好地注意处理数学与物理的关系。一般地说,物理离不开数学,但数学绝不能代替或掩盖物理的思维。物理学中的每个概念、每个公式都有明确的物理意义,因此,学习时,千万不要仅仅停留在它们的数学表示上,更重要的是要看它们的

物理意义(实质)。例如,速度 $v = \frac{dr}{dt}$, 在数学上,它仅仅是一种求导(微商)运算;而在物理上,它却代表着质点运动的状态位矢变化的快慢,只有从本质上认清了物理知识的内涵,才能将大学物理真正学到手。

求解物理问题,一般应有明晰的思路和步骤,思路是指根据已有的知识,寻求解决问题的途径及方法,步骤则是思路分段的具体体现。切忌懒于思考,懒于动笔或随意省去其中的过程。要高度重视思维在大学物理学习及解题中的重要作用,它既可帮助我们深刻认识前人解决问题的思路和方法,更可启迪自己的智慧和能力,总结出个人独有的知识体系和解题思路,以致获取全新的认识。

例 1-1 已知质点的运动学方程

$$\mathbf{r} = R(\cos kt^2 \mathbf{i} + \sin kt^2 \mathbf{j})$$

式中, R 、 k 均为常量,求:

- (1) 质点运动的速度及加速度的表达式;
- (2) 质点的切向加速度和法向加速度的大小。

解 (1) 本题属运动学中的第一类问题。据定义,质点运动的速度

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = 2ktR(-\sin kt^2 \mathbf{i} + \cos kt^2 \mathbf{j})$$

质点运动的加速度

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{d\mathbf{v}}{dt} = 2kR(-\sin kt^2 \mathbf{i} + \cos kt^2 \mathbf{j}) - 4k^2 t^2 R(\cos kt^2 \mathbf{i} + \sin kt^2 \mathbf{j}) \\ &= -2kR(2kt^2 \cos kt^2 + \sin kt^2) \mathbf{i} + 2kR(\cos kt^2 - 2kt^2 \sin kt^2) \mathbf{j} \end{aligned}$$

(2) 由题意知

$$|\mathbf{r}| = \sqrt{R^2(\cos^2 kt^2 + \sin^2 kt^2)} = R$$

即质点作圆周运动,其速率

$$v = 2kRt$$

故质点的切向加速度的大小

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} = 2kR$$

法向加速度的大小

$$a_n = \frac{v^2}{R} = 4k^2 R t^2$$

例 1-2 某质点沿 X 轴运动,其加速度的大小 $a = -4x$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)。设质点位于 $x=0$ 处时的速率 $v_0 = 6\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。求质点速度的大小与位置坐标的关系式。

解 在一维运动的情况下,由加速度的定义式得

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx} = -4x$$

对上式分离变量后积分,得

$$\int_{v_0}^v v dv = \int_0^x -4x dx$$

解之得

$$v^2 = v_0^2 - 4x^2$$

$$\text{即 } v = \sqrt{v_0^2 - 4x^2} = \sqrt{36 - 4x^2} = 2\sqrt{9 - x^2} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

显然,质点只能在

$$-3\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

的范围内运动。

例 1-3 某轮船停机后其速率按 $v = v_0 e^{-\lambda t}$ 的规律衰减。其中 v_0 为停机时的速率,大小为 $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, λ 为常量,其大小为 0.25s^{-1} 。为节省燃料,轮船靠码头时在离码头多远处停机最合适?

解 此题的实质是问停机后轮船还能行驶的最大距离。以轮船停机的位置为原点建立 X 轴,使其正向与船的前进方向一致。由速度的定义式

$$v = \frac{dx}{dt} = v_0 e^{-\lambda t}$$

得

$$dx = v_0 e^{-\lambda t} dt$$

两边取积分,得

$$\int_0^x dx = \int_0^t v_0 e^{-\lambda t} dt$$

解之得

$$x = \frac{v_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时, $x = x_{\max} = \frac{v_0}{\lambda} = \frac{12}{0.25} = 48(\text{m})$ 。实际上,当 $t = 30\text{s}$ 时,便可算得 $x = 47.97\text{m} \approx 48\text{m}$,即轮船在离码头 48m 左右的地方停机最合适。

四 部分习题简解

1-10

解 (1) 由题意知 $\Delta \mathbf{r} = 0$, 故平均速度

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = 0$$

(2) Δt 时间内速度的增

量如图所示,其大小

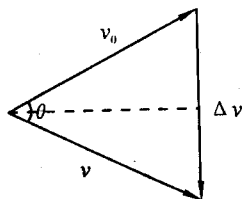
$$|\Delta \mathbf{v}| = 2v_0 \sin \frac{\theta}{2}$$

(3) Δt 时间内的平均加

速度

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

其方向与 v_0 成 $\frac{\pi + \theta}{2}$ 角,其值



解 1-10 图

$$|\bar{a}| = \left| \frac{\Delta v}{\Delta t} \right| = \frac{2v_0 \sin \frac{\theta}{2}}{\Delta t}$$

1-14 解 (1) 质点的切向加速度

$$\begin{aligned} a_\tau &= \frac{dv}{dt} = R \frac{d^2\theta}{dt^2} = R(6bt) \\ &= 0.1 \times 6 \times 4 \times 2 = 4.8 \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-2}) \end{aligned}$$

法向加速度

$$\begin{aligned} a_n &= \omega^2 \rho = \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 R = 9b^2 t^4 R = 9 \times 4^2 \times 2^4 \times 0.1 \\ &= 230.4 \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-2}) \end{aligned}$$

(2) 由题意知

$$\frac{a_\tau}{a_n} = \tan 45^\circ = 1$$

即

$$6btR = 9b^2 t^4 R$$

解之得

$$bt^3 = \frac{2}{3} \quad (\text{rad})$$

故

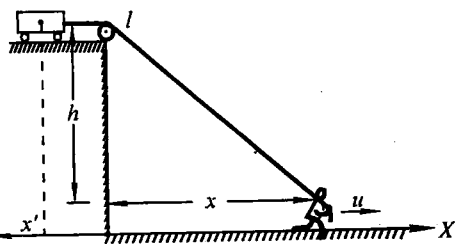
$$\theta = a + bt^3 = 2 + \frac{2}{3} = \frac{8}{3} \quad (\text{rad})$$

1-17 解 建立如

图所示的坐标系。设绳长为 l , 小车的位置坐标为 x' , 人的位置坐标为 x , 则有

$$x' + \sqrt{x^2 + h^2} = l$$

将上式对时间求



解 1-17 图

导,得

$$\frac{dx'}{dt} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} \frac{dx}{dt} = 0$$

故小车运动速度的大小

$$v = -\frac{dx'}{dt} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} \frac{dx}{dt} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} u$$

方向沿 X 轴正向。

小车运动加速度的大小

$$\begin{aligned} a = \frac{dv}{dt} &= \frac{u^2 \sqrt{x^2 + h^2} - u^2 x^2 / \sqrt{x^2 + h^2}}{x^2 + h^2} \\ &= \frac{u^2 h^2}{(x^2 + h^2)^{3/2}} \end{aligned}$$

方向沿 X 轴的正向。

1-21 解 由题意知

$$\frac{a_n}{a_r} = \tan \alpha$$

即

$$a_r \tan \alpha = \frac{dv}{dt} \tan \alpha = a_n = \frac{v^2}{r}$$

将上式分离变量求积分,得

$$\tan \alpha \int_{v_0}^v \frac{dv}{v^2} = \int_0^t \frac{dt}{r}$$

解之得

$$v = \frac{v_0 r \tan \alpha}{r \tan \alpha - v_0 t}$$

1-24 证 (1) 因来回均作匀速运动,故(气体不流动时)来回一次所需的时间

$$\Delta t_1 = \Delta t_{\text{去}} + \Delta t_{\text{回}} = \frac{l}{v} + \frac{l}{v} = \frac{2l}{v}$$

(2) 气流向东时, 来回一次所需的时间

$$\begin{aligned}\Delta t_2 &= \frac{l}{v+u} + \frac{l}{v-u} = \frac{2vl}{v^2-u^2} = \frac{2l/v}{1-\frac{u^2}{v^2}} \\ &= \frac{\Delta t_1}{1-\frac{u^2}{v^2}}\end{aligned}$$

(3) 气流向北时, 来回一次所需的时间

$$\begin{aligned}\Delta t_3 &= \frac{l}{\sqrt{v^2-u^2}} + \frac{l}{\sqrt{v^2-u^2}} = \frac{2l/v}{\sqrt{1-\frac{u^2}{v^2}}} \\ &= \frac{\Delta t_1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{v^2}}}\end{aligned}$$

五 检测题

1-1 质点作曲线运动, 若 r 表示位矢, s 表示路程, v 表示速度, v 表示速率, a_r 表示切向加速度, 则下列四组表达式中, 正确的是:

- (1) $\frac{dv}{dt} = a$, $\frac{d|r|}{dt} = v$; (2) $\frac{d|v|}{dt} = a_r$, $\left|\frac{dr}{dt}\right| = v$;
 (3) $\frac{ds}{dt} = v$, $\left|\frac{dv}{dt}\right| = a_r$; (4) $\frac{dr}{dt} = v$, $\frac{d|v|}{dt} = a$ 。

1-2 质点作直线运动, 其运动学方程为 $x = 6t - t^2$ (SI)。在 $t = 1\text{s}$ 到 $t = 4\text{s}$ 的时间内质点的位移和路程分别为:

- (1) 3m, 3m; (2) 9m, 10m;
 (3) 9m, 8m; (4) 3m, 5m。

1-3 设抛射体的初速率为 v_0 , 抛射角为 θ_0 , 则其抛物线最高点处的曲率半径为: