高等学校试用教材

大学物理学习指导书

（修订版）

廖耀发　张立刚　张兆国
梁荫中　陶作花　等　编

武汉测绘科技大学出版社

大学物理

学[illegible]书

（修订版）

主　编　廖耀发

副主编　张立刚　张兆国

梁荫中　陶作花

主　审　沈霖生　吴　参

周检检

武汉测绘科技大学出版社

(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 1992 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。全书分二十六章,每章辟有:一、基本要求;二、内容提要;三、解题指导与示例;四、习题选解;五、自我检测五个栏目。

本书是《大学物理教程》的配套参考书。可作为使用该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 /廖耀发等主编. —修订版
武汉:武汉测绘科技大学出版社,1994.11
ISBN 7-81030-241-8

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 39 号 430070)
武汉测绘科技大学出版社丹江印刷厂印刷
850×1168 1/32 印张:9.4375 字数:232 千字
1994 年 11 月第二版 1994 年 11 月第一次印刷
印数 10001—21000 定价:6.10 元

修订前言

本书自去年面世以来，得到了广大读者的关心与爱护，对更好地帮助学生学好大学物理起到一定的促进作用。

考虑到《大学物理教程》的内容已作了调整，因此，本书内容也随之作了相应调整。

本次修订主要作了如下几个方面的工作：

1、改正了原书中部分印刷错误及个别表述欠妥的地方；

2、将原书的“教材习题答案”分章分册移入了《大学物理教程》中；

3、删去了教程中已作专题选讲的部分章节内容。

此次修订得到了各参编学校物理教研室及教材科的大力支持；沈霖生教授拨冗为我们审阅了修订稿，特此一并致谢！

编者　1994.6

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门课程的基本要求，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（按姓氏笔划为序）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，空军雷达学院刘永年，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

目 录

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. 理解切向加速度和法向加速度的概念，能熟练地计算质点作平面曲线运动时的切向和法向加速度。

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 $\boldsymbol{r}$，简称位矢，它是时间 t 的函数，即

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

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

$$v = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$$

5. **加速度** 加速度是反映质点速度随时间变化的物理量，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

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 r}{\mathrm{d}t^2}$$

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 a_τ 与法向加速度 a_n 的矢量和，即

$$a = a_\tau + a_n = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\tau + \frac{v^2}{\rho}n$$

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. **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

$$v_{绝} = v_{相} + v_{牵}$$

这一结论称为速度合成定理。

三 解题指导与示例

物理习题的求解，通常可按以下步骤进行：

1. 分析题意，明确问题中的研究对象，弄清已知量（显含的和隐含的物理量及各种条件）和待求量，必要时，应画出辅助图。

2. 建立适当的坐标系，找出各物理量之间的关系。

3. 列方程。用已知的定律、定理及公式将有关的物理量之间的关系表示成相应的数学方程式。

4. 解方程。一般先进行字母运算，然后代入数据求出结果。

5. 验算。判断结果是否合理、正确。

6. 必要时进行适当的讨论。

质点运动学中有两类基本问题。第一类是已知质点的位矢求质点的速度及加速度。这类问题可通过位矢对时间的求导来解决。第二类是已知质点的加速度(或速度)求质点的速度及位矢。这类问题可通过加速度(或速度)对时间的积分来解决。

例 1 如图所示，高为 h_1 的足球队员背向某照明灯在路灯下以匀速率 v_0 带球，设灯离地面的高度为 h_2，求人影的顶端 M 点沿地面移动的速度。

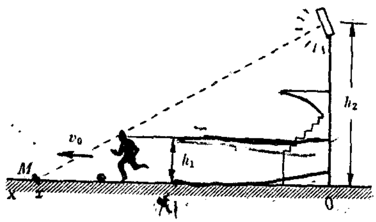


图 1-1

解 本题属运动学中的第一类问题。选 M 点为研究对象，建立如图所示的坐标，则 M 点沿直线运动。设 t 时刻人的坐标为 x_1，M 点的坐标为 x；由三角形相似关系可得

$$\frac{x_1}{h_2 - h_1} = \frac{x}{h_2}$$

整理后得

$$x = \frac{h_2}{h_2 - h_1} x_1$$

将上式对时间求导，即得 M 点的速度大小

$$v_M = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \frac{h_2}{h_2 - h_1} \frac{\mathrm{d}x_1}{\mathrm{d}t} = \frac{h_2}{h_2 - h_1} v_0$$

方向沿 X 轴正向(人的前进方向)。

例 2 已知质点的运动学方程为

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

式中，R、k 均为常数，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

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

质点运动的加速度

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 2kR(-\sin kt^2\boldsymbol{i} + \cos kt^2\boldsymbol{j}) - 4k^2t^2R(\cos kt^2\boldsymbol{i} + \sin kt^2\boldsymbol{j})$$

$$= -2kR(2kt^2\cos kt^2 + \sin kt^2)\boldsymbol{i} + 2kR(\cos kt^2 - 2kt^2\sin kt^2)\boldsymbol{j}$$

（2） 由题意知

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

即质点作圆周运动，其速率

$$v = 2kRt = |V|$$

故质点的切向加速度的大小

$$a_\tau = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 2kR$$

法向加速度的大小

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

例 3 某质点沿 X 轴运动，其加速度的大小 $a = -4x$ ($\mathrm{m \cdot s^{-2}}$)。设质点位于 $x=0$ 处时的速率 $v_0 = 6\mathrm{m \cdot s^{-1}}$。求质点速度的大小与位置坐标的关系式。

解 本题属运动学第二类问题，可用积分法求解。

在一维运动的情况下，由加速度的定义式得

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = v\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x} = -4x$$

对上式分离变量后积分，得

$$\int_{v_0}^{v} v\mathrm{d}v = \int_0^x -4x\mathrm{d}x$$

解之得

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

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

显然，质点只能在

$$-3\mathrm{m} \leqslant x \leqslant 3\mathrm{m}$$

的范围内运动。

例 4 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 $12\mathrm{m \cdot s^{-1}}$，$\lambda$ 为常量，其大小为 $0.25\mathrm{s^{-1}}$。为节省燃料，轮船靠岸时应在离岸多远处停机最合适？

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

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = v_0 e^{-\lambda t}$$

得

$$\mathrm{d}x = v_0 e^{-\lambda t}\mathrm{d}t$$

两边取积分，得

$$\int_0^x \mathrm{d}x = \int_0^t v_0 e^{-\lambda t}\mathrm{d}t$$

解之得

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

当 $t \to \infty$ 时，$x = x_{\max} = \dfrac{v_0}{\lambda} = \dfrac{12}{0.25} = 48(\mathrm{m})$。实际上，当 $t = 30\mathrm{s}$ 时，便可算得 $x = 47.97\mathrm{m} \approx 48\mathrm{m}$，即轮船应在离岸 48m 左右的地方停机最合适。

四　习题选解

1-5　**解**　因斜上抛运动的加速度 $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{g}$ 为常矢量，所以斜上抛运动是匀变速运动，其切向加速度

$$a_\tau = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = g\cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = -g\sin\alpha$$

法向加速度

$$a_n = g\cos\alpha$$

1-7　**解**　由 $\Delta \boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}-\boldsymbol{v}_0=\boldsymbol{g}t$ 知，速度只有大小变化，而方向始终铅直向下不变，故图(c)表示了速度的变化过程。

1-10　**解**　(1)　由题意知 $\Delta \boldsymbol{r}=0$，故平均速度

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

(2)　Δt 时间内速度的增量如图所示，其大小

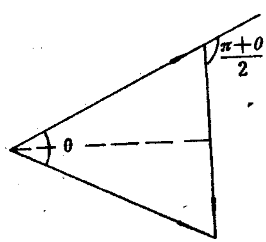
$$|\Delta \boldsymbol{v}| = 2v_0\sin\frac{\theta}{2}$$

(3)　Δt 时间内的平均加速度

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

其方向与 v_0 成$\frac{\pi+\theta}{2}$角，其大小

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

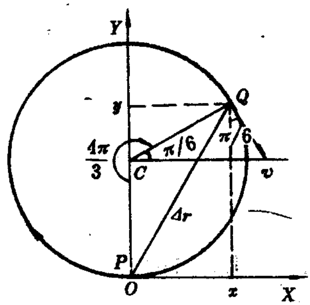


解 1-10 图

1-13 **解** 建立如图所示的坐标系，则位移

$$\Delta \boldsymbol{r} = R\cos\frac{\pi}{6}\boldsymbol{i} + R\left(1+\sin\frac{\pi}{6}\right)\boldsymbol{j}$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2}\boldsymbol{i} + \frac{3}{2}\boldsymbol{j} \quad (\text{m})$$



解 1-13 图

路程

$$s = \frac{2}{3}2\pi R = \frac{4}{3}\pi R \quad (\text{m})$$

平均速度

$$\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{s/v}$$

$$= \frac{3}{8\pi}(\sqrt{3}\boldsymbol{i} + 3\boldsymbol{j}) \quad (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$$

平均速率

$$\bar{v} = v = 1 \quad \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

瞬时速度

$$\boldsymbol{v} = v\boldsymbol{\tau} = v\left(\sin\frac{\pi}{6}\boldsymbol{i} - \cos\frac{\pi}{6}\boldsymbol{j}\right)$$

$$= \frac{1}{2}\boldsymbol{i} - \frac{\sqrt{3}}{2}\boldsymbol{j} \quad (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$$

1-14 **解** (1) 质点的切向加速度

$$a_\tau = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = R\frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2} = R(6bt)$$

$$= 0.1 \times 6 \times 4 \times 2 = 4.8 \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

法向加速度

$$a_n = \omega^2\rho = \left(\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\right)^2 R = 9b^2t^4R = 9 \times 4^2 \times 2^4 \times 0.1$$

$$= 230.4 \quad (\mathrm{m \cdot s^{-2}})$$

(2) 由题意知

$$\frac{a_\tau}{a_n} = \mathrm{tg}45° = 1$$

即
$$6btR = 9b^2t^4R$$

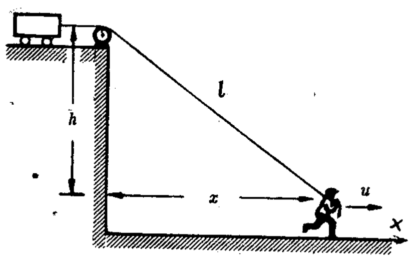
解之得

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

故

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

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



解 1-17 图

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

将上式对时间求导，得

$$\frac{\mathrm{d}x'}{\mathrm{d}t} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = 0$$

故小车运动速度的大小

$$v = \frac{\mathrm{d}x'}{\mathrm{d}t} = -\frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -\frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}}u$$

方向沿 X' 轴的负向（即沿 X 轴正向）。

小车运动加速度的大小

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{-u^2\sqrt{x^2 + h^2} + u^2x^2/\sqrt{x^2 + h^2}}{x^2 + h^2}$$

$$= \frac{-u^2h^2}{(x^2 + h^2)^{3/2}}$$

方向沿 X' 轴的负向(即沿 X 轴的正向)。

1-21 **解** 由题意知

$$\frac{a_n}{a_\tau} = \text{tg}\alpha$$

即
$$a_t\text{tg}\alpha = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\text{tg}\alpha = a_n = \frac{v^2}{r}$$

将上式分离变量求积分,得

$$\text{tg}\alpha\int_{v_0}^{v}\frac{\mathrm{d}v}{v^2} = \int_0^t\frac{\mathrm{d}t}{r}$$

解之得

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

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

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

(2) 气流向东时,来回一次所需的时间

$$\Delta t_2 = \frac{l}{v+u} + \frac{l}{v-u} = \frac{2vl}{v^2-u^2} = \frac{2l/v}{1-\frac{u^2}{v^2}}$$

$$= \frac{\Delta t_1}{1-\frac{u^2}{v^2}}$$

(3) 气流向北时,来回一次所需的时间

$$\Delta t_3 = \frac{l}{\sqrt{v^2-u^2}} + \frac{l}{\sqrt{v^2-u^2}} = \frac{2l/v}{\sqrt{1-\frac{u^2}{v^2}}}$$

$$= \frac{\Delta t_1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{v^2}}}$$

五　自我检测

1-1　质点作曲线运动，若 r 表示位矢，s 表示路程，$\boldsymbol{v}$ 表示速度，v 表示速率，a_τ 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)　$\frac{d|\boldsymbol{v}|}{dt}=a_\tau$，　$\left|\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}\right|=v$；

(3)　$\frac{ds}{dt}=v$；　$\left|\frac{d\boldsymbol{v}}{dt}\right|=a_\tau$；　　(4)　$\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}=v$，　$\frac{d|\boldsymbol{v}|}{dt}=a$

1-2　质点作直线运动，其运动学方程为 $x=6t-t^2$(SI)。当时间从 $t=1$s 到 $t=4$s 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：

(1)　∞；　　(2)　0；

(3)　v^2/g；　　(4)　$v_0^2\cos^2\theta_0/g$

1-4　一质点在 X-Y 平面内运动，其运动学方程为 $x=3\cos 4t$，$y=3\sin 4t$，则 t 时刻质点的位矢 $\boldsymbol{r}(t)=$________，速度 $\boldsymbol{v}(t)=$________，切向加速度 $a_\tau=$__________，该质点的轨迹是________。

1-5　质点沿半径 $R=0.1$m 的圆周运动，其角位置 θ 随时间的变化关系为 $\theta=2+4t^3$(SI)。当切向加速度的大小恰为总加速度的一半时，则 $\theta=$____ rad

1-6　一质点沿 X 轴作变加速直线运动。设 $t=0$ 时，质点的位置坐标为 x_0，速率为 v_0；加速度随时间的变化关系为 $a=ct^2$（c 为正常数），则质点在 t 时刻的速率 $v(t)=$______，其运动学方程 $x(t)=$______。　$V=2i-4tj$

1-7　一质点在 X-Y 平面内运动，其运动学方程为 $\boldsymbol{r}=2t\boldsymbol{i}+(19-2t^2)\boldsymbol{j}$ (SI)。当 $t=$____秒时，质点的位矢与速度恰好垂直；当 $t=$____秒时，质点离原点最近。