

DAXUE WULI XUEXI ZHIDAO JI ZICE

大学物理

学习指导

及

自测

许丽敏 汪溶 包曼玲 黄天祥 编著

华东理工大学出版社

G107

C4
X786

大学物理学习指导及自测

许丽敏 汪 溶 编著
包曼玲 黄天祥

华东理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导及自测/许丽敏等编著.

—上海:华东理工大学出版社,2001.1

ISBN 7-5628-0963-1

I.大... II.许... III.物理学-高等学校-教学参考资料
IV.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 58128 号

大学物理学习指导及自测

许丽敏 汪 溶 编著
包曼玲 黄天祥

出版	华东理工大学出版社	开本	850 × 1168 1/32
社址	上海市梅陇路 130 号	印张	14.375
邮编	200237 电话(021)64250306	字数	385 千字
网址	www.hdlgpress.com.cn	印次	2002 年 4 月第 3 次印刷
经销	新华书店上海发行所	印数	8201 - 13230 册
印刷	上海长阳印刷厂		
ISBN 7-5628-0963-1/O·48		定价:21.00 元	

前 言

大学物理是理工科大学中一门重要的基础理论课程,但对刚进大学的一年级学生来说,在学习这门课时,常常会遇到这样或那样的困难。为了更好地贯彻少而精、学到手的原则,让学生能用较少的时间,掌握较多的物理知识,我们根据大学物理的基本要求和工科院校的实际情况,编写了《大学物理学习指导及自测》一书。

本书由两部分组成:学习指导和自测训练。在编写过程中,力求做到既复习基本概念,又讲解分析方法;既突出基本内容,又开阔学习视野。内容逐渐深入,以满足不同层次学生的学习要求。“学习指导”部分的每一章均由“基本要求”、“复习框图”、“解题方法与例题”和“问题讨论”组成。“基本要求”部分使读者了解每章的重点内容。“复习框图”部分引导读者总结基本概念和规律并找出各规律之间的联系,把每章的主要内容和各部分的联系概括在方框图上。“解题方法与例题”部分则通过对典型例题的分析,总结出各种类型习题的解题方法,让读者学会解题技巧。“问题讨论”部分把学生在学习不易理解或经常混淆的问题,以及在习题中经常出现的错误以思考题的形式进行讨论。“自测”部分则由自测训练题、综合训练题和能力训练题组成。自测训练题供学生学完各章后作自我练习和复习巩固之用;综合训练题则讨论了一些解题技巧性高、内容交叉度大、综合性强的题目,使读者对学过的概念有更深层次的理解;能力训练题则作为拓宽学生视野的手段,使学生从中学习一些物理学的研究方法,提高分析问题和解决问题的能力。

本书“学习指导”部分的波动光学部分由包曼玲执笔,量子理论部分由黄天祥执笔。能力训练题由汪溶执笔,其余由许丽敏编写。戴坚舟教授审阅了全书,在本书编写过程中,曾得到刘宝坤、

李燮里、施善定等的帮助,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,望读者批评指正。

编 者

2001.1.

目 录

第一篇 大学物理学习指导

1 质点的运动	(3)
1.1 质点运动学	(3)
1.2 质点动力学	(13)
2 守恒定律	(28)
2.1 机械能守恒定律	(28)
2.2 动量守恒定律	(37)
2.3 角动量守恒定律	(44)
2.4 守恒定律的综合应用	(48)
3 刚体的定轴转动	(55)
3.1 刚体运动学	(55)
3.2 刚体动力学	(59)
4 狭义相对论	(74)
4.1 相对论的时空观	(74)
4.2 相对论动力学	(80)
5 机械振动和机械波	(86)
5.1 机械振动	(86)
5.2 机械波	(102)
6 热学	(113)
6.1 气体分子运动论	(113)
6.2 热力学基础	(120)

7 静电学	(133)
7.1 真空中的静电场	(133)
7.2 静电场中的导体和介质	(147)
8 稳恒电流的磁场	(164)
8.1 真空中的磁场	(164)
8.2 磁介质中的磁场	(178)
9 电磁感应和电磁场	(184)
9.1 电磁感应	(184)
9.2 电磁场	(196)
10 波动光学	(202)
10.1 光的干涉	(202)
10.2 光的衍射	(216)
10.3 光的偏振	(225)
11 量子理论基础	(236)
11.1 波和粒子	(236)
11.2 玻尔氢原子理论	(242)
11.3 物质波与薛定谔方程	(246)

第二篇 大学物理自测训练

自测训练题	(251)
1 质点运动学	(251)
2 牛顿定律	(255)
3 功和能	(259)
4 冲量、动量和角动量	(264)
5 刚体的定轴转动	(267)
6 狭义相对论基础	(271)

7 机械振动	(274)
8 机械波	(277)
9 气体分子运动论	(281)
10 热力学基础	(284)
11 真空中的静电场	(288)
12 静电场中的导体和电介质	(292)
13 稳恒电流的磁场	(297)
14 电磁感应	(301)
15 光的干涉	(306)
16 光的衍射	(310)
17 光的偏振	(313)
18 量子物理基础	(316)
综合题	(319)
1 力学	(319)
2 振动和波动	(322)
3 热学	(323)
4 电磁学	(324)
5 波动光学	(327)
6 近代物理	(329)
能力训练题	(330)
自测训练题选解	(337)
综合题题解	(369)
能力训练题题解	(414)
自测训练题答案	(442)

第 一 篇

大学物理学习指导

1 质点的运动

1.1 质点运动学

1.1.1 基本要求

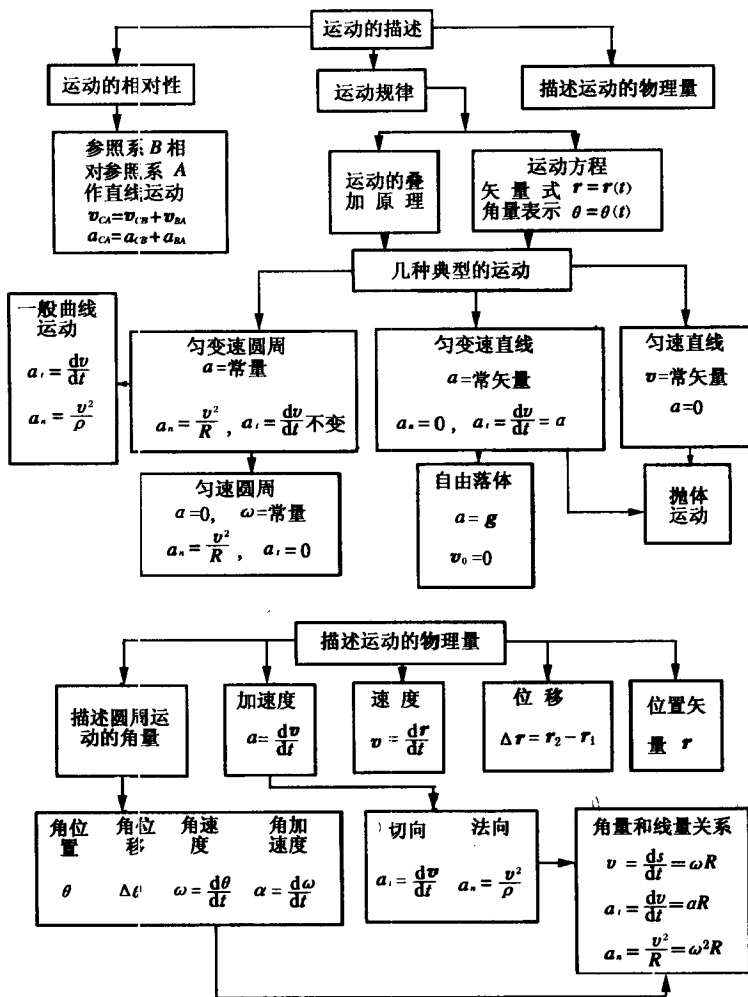
(1) 确切理解位置矢量、位移、速度和加速度等概念。搞清位移与路程、速度与速率的区别；

(2) 熟练掌握和运用变速直线运动、抛体运动和变速圆周运动的规律；

(3) 掌握相对运动的速度合成公式。

1.1.2 复习框图

运动学的主要任务是解决运动的描述问题,描述运动的主要物理量是位置矢量 r 、速度 v 和加速度 a 。对于这些概念我们是从一般曲线运动出发引出的,因此讲得比中学里更深入,我们应该着重理解它们的瞬时性、矢量性和相对性。在研究运动规律时,我们首先研究一些重要的特例,如直线运动、抛体运动和圆周运动等,然后再推广得出一般曲线运动的规律。要学好运动学,必须抓住基本概念和运动规律这两条线索,做到基本概念清楚,规律应用熟练。运动学的要点和研究问题思路可用第 4 页的方框图表示。



1.1.3 解题方法与例题

运动学中研究的问题主要有两类：

A 已知质点的运动方程,利用求导的方法得到质点在任何时刻的速度和加速度。

【例 1-1】 已知质点的运动方程为 $x = R\cos\omega t$, $y = R\sin\omega t$, 式中, R 和 ω 均为常数。试求：

- (1) 轨道方程；
- (2) 任意时刻的速度和加速度。

【解】 (1) 由已知的运动方程消去 t 求得轨道方程为

$$x^2 + y^2 = R^2$$

可见,质点的轨道是以坐标原点为圆心, R 为半径的圆。如图 1-1 所示。

(2) 求任一时刻的速度和加速度。

由质点的运动方程可知,质点在任一时刻的位置矢量

$$\mathbf{r} = R\cos\omega t\mathbf{i} + R\sin\omega t\mathbf{j}$$

质点在任一时刻的速度矢量

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = -R\omega\sin\omega t\mathbf{i} + R\omega\cos\omega t\mathbf{j}$$

因此,速度的大小

$$v = \sqrt{R^2\omega^2\sin^2\omega t + R^2\omega^2\cos^2\omega t} = R\omega$$

速度方向可用 $\mathbf{v}$ 和 x 轴的夹角 θ 表示

$$\tan\theta = \frac{R\omega\cos\omega t}{-R\omega\sin\omega t} = -\cot\omega t$$

由此式可知,速度的方向与半径垂直,即为圆上某点的切线方向。

同样可求得质点的加速度

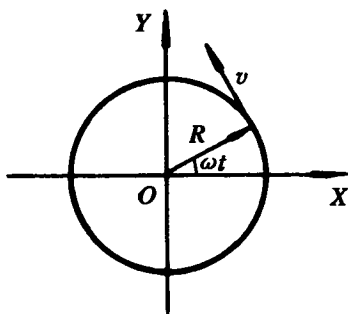


图 1-1

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = -R\omega^2 \cos\omega t \boldsymbol{i} - R\omega^2 \sin\omega t \boldsymbol{j} = -\omega^2 \boldsymbol{r}$$

可见,任一时刻的加速度的大小为

$$a = \sqrt{(R\omega^2 \cos\omega t)^2 + (R\omega^2 \sin\omega t)^2} = R\omega^2$$

加速度的方向沿半径指向圆心。这就是质点作匀速圆周运动时的向心加速度。

求质点的加速度还可利用另一种更简便的方法,即先用上述方法求得速度的大小

$$v = R\omega$$

再求得切向和法向加速度

$$a_t = \frac{dv}{dt} = 0, \quad a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$$

这样也可以得到加速度的大小

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = R\omega^2$$

方向沿法线,即沿半径指向圆心。

求一般曲线运动的加速度,总可通过上述两种方法来求得。这两种方法的区别只是在计算加速度时所取的坐标不同。前者用公式 $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$, 是取平面直角坐标; 后者用公式 $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$, 是取曲线的切线和法线方向为坐标, 通常称为自然坐标。对圆周运动, 用后一种方法比较方便。对一般曲线运动, 用前一种方法方便。因为对一般的曲线运动 $a_n = \frac{v^2}{\rho}$, 求曲线上任一点的曲率半径是比较麻烦的。

[例 1-2] 已知质点的运动方程为 $x = 2t, y = 4 - t^2$ 。式中时间以 s 计, 距离以 m 计。试求任一时刻质点的切向加速度和法向加速度。

[解] 由运动方程可求得质点速度的 x 和 y 分量

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 2\text{m/s}, \quad v_y = \frac{dy}{dt} = -2t$$

速度的大小

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 2\sqrt{1+t^2} \quad (1)$$

同样可求得质点加速度的 x 和 y 分量

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0 \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = -2m/s^2$$

加速度的大小

$$a = a_y = 2m/s^2 \quad (2)$$

对式(1)求导得切向加速度

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} \quad (3)$$

由式(2)和式(3)得法向加速度

$$a_n = \sqrt{a^2 - a_t^2} = \frac{2}{\sqrt{1+t^2}}$$

从本题的求解过程可以看出,当质点作一般曲线运动时,用公式 $a_n = \frac{v^2}{\rho}$ 求法向加速度是比较麻烦的,因为曲率半径不容易计算。但是先求出质点的切向加速度和总加速度再利用公式

$$a_n = \sqrt{a^2 - a_t^2}$$

求法向加速度却很方便。

B 已知加速度以及初位置 r_0 和初速度 v_0 , 利用积分方法求得质点的运动方程或轨迹。

[例 1-3] 已知重力加速度为 g , 忽略空气阻力, 试分析质点以初速 v_0 , 向与水平线成 θ_0 角方向抛出时, 质点的运动方程。

[解] 由于 $a = g$ 因此

$$\frac{dv}{dt} = g$$

即

$$dv = gdt$$

根据初始条件对上式两边取积分

$$\int_{v_0}^v dv = \int_0^t gdt$$

得

$$v = v_0 + gt$$

再由

$$\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{g}t$$

两边乘 dt 后,取积分

$$\int_{r_0}^r d\mathbf{r} = \int_0^t (\mathbf{v}_0 + \mathbf{g}t) dt$$

得

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{g} t^2$$

如取起抛点为坐标原点,则 $\mathbf{r}_0 = 0$, 即有

$$\mathbf{r} = \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{g} t^2$$

这就是质点的运动方程的矢量式。如取水平方向为 x 轴, 竖直向上方向为 y 轴。则位置矢量可写为

$$\mathbf{r} = v_0 \cos \theta_0 t \mathbf{i} + (v_0 \sin \theta_0 t - \frac{1}{2} g t^2) \mathbf{j}$$

所以有

$$x = v_0 \cos \theta_0 t$$

$$y = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

这是质点运动方程在平面直角坐标系中的分量式。

从上面所得的运动方程的矢量式

$$\mathbf{r} = \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{g} t^2$$

还可以看出,斜抛运动可看为沿初速方向的匀速直线运动和自由落体运动的叠加,如图 1-2 所示。

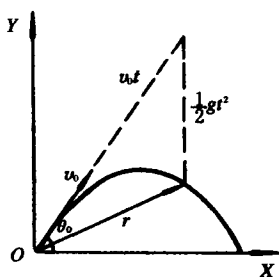


图 1-2

1.1.4 问题讨论

A 基本概念讨论

[问题 1] 想一想 $\frac{dr}{dt}$ 是瞬时速度的大小吗? 如已知质点的运动方程为 $x = x(t)$, $y = y(t)$, 能否先用 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ 求出 r , 再根据 $v = \frac{dr}{dt}$ 求得质点的瞬时速度的大小?

〔解答〕 初学的同学往往认为 r 是位置矢量 $\mathbf{r}$ 的大小,那么 $\frac{dr}{dt}$ 一定是瞬时速度 v 的大小 (因为 $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$)。产生这个问题的原因

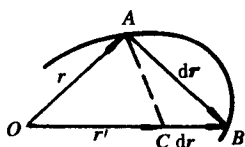


图 1-3

在于搞不清 dr 和 $|d\mathbf{r}|$ 的区别。从图 1-3 可以看出,质点作曲线运动时,位置矢量的大小和方向都在变化。在 dt 时间内质点的位移矢量 $d\mathbf{r}$ 的大小

$$|d\mathbf{r}| = \overline{AB}$$

而位置矢量大小的变化

$$dr = |\mathbf{r}'| - |\mathbf{r}| = \overline{CB}$$

可见, $dr \neq |d\mathbf{r}|$ 。例如,质点作圆周运动,取圆心为坐标原点,如图 1-4 所示。质点在运动过程中 $dr \equiv 0$,但瞬时速度的大小 $v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|$ 却不等于零。因

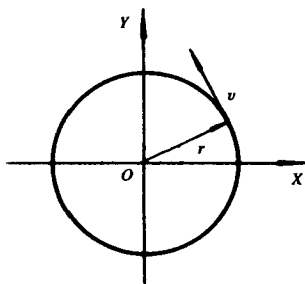


图 1-4

此 $\frac{dr}{dt}$ 只能表示位置矢量大小随时间的

变化率,不能表示瞬时速度的大小。瞬时速度的大小应为

$$\begin{aligned} v &= \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \left| \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} \right| \\ &= \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2} \end{aligned}$$

却不能写为

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt}(\sqrt{x^2 + y^2})$$

读者可用同样方法自己分析 $a \neq \frac{dv}{dt}$ 。

〔问题 2〕 想一想下列两句话是否正确:

(1) 质点作直线运动位置矢量的方向一定不变。

(2) 质点作圆周运动位置矢量的大小一定不变。

〔解答〕 初略一看,好像两句话都对,仔细想一想就会发现这