大学物理疑难点剖析与能力培养

赵志洲 李晓萍
任敦亮 张晓春 编著

中国矿业大学出版社

大学物理疑难点剖析与能力培养

编　著　曾志洲　李晓萍
任敦亮　张晓春

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教育部大学物理课程教学指导委员会制订的大学物理教学基本要求，结合作者在物理教学中积累的经验和立项研究的成果编写的。全书包括力学、热学、电磁学、振动与波动、波动光学、狭义相对论、量子物理内容等。各章又分为知识点总结、疑难点剖析、典型题举例、综合能力题等部分。全书共收集500多道典型题目，并给出了较为详尽的解答。本书还编写了综合能力题，以帮助学生更好地掌握物理学的基本概念、基本规律和方法，学会科学地思维，培养学生的探索、创新精神。

本书可作为理工科大学生学习大学物理课程的教学参考书，也可供报考研究生的学生使用和各类高等院校从事物理教学的教师参考。

图书在版编目（CIP）数据

大学物理疑难点剖析与能力培养/赵志洲，李晓萍，任敦亮，张晓春编著．—徐州：中国矿业大学出版社，2002.10

ISBN 7-81070-594-6

Ⅰ.大... Ⅱ.①赵...②李...③任...④张...
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（2002）第029777号

书　　名 大学物理疑难点剖析与能力培养
编 著 者 赵志洲　李晓萍　任敦亮　张晓春
责任编辑 刘永清　高专
出版发行 中国矿业大学出版社
（江苏省徐州市中国矿业大学内　邮编221008）
印　　刷 北京科技印刷厂
经　　销 新华书店
开　　本 850×1168　1/32　**印张** 10.625　**字数** 285千字
版次印数 2003年1月第1版　2003年1月第1次印刷
印　　数 3500册
定　　价 19.00元

前 言

目前，对人才的培养，都十分重视素质的提高。注重培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力，特别是如何提高学生的创新能力。为了适应这种新形势，人们不断进行教学内容、方法和手段的改革。而这其中，教学内容的改革最为活跃。打破传统内容中的不足，填充一些能提高学生综合素质的内容，显得至关重要。而物理学在培养学生综合能力方面，又起着举足轻重的作用。它是一门重要的基础科学，是整个自然科学的基础和当代高新技术发展的源泉。因此，在培养学生创新意识和科学素质中具有重要的地位。

我们根据国家教育部大学物理课程指导委员会对普通物理课程的基本要求，结合在物理教学中长期积累的经验编写了这本《大学物理疑难点剖析与能力培养》。除注重对基本概念、基本规律和方法的归纳总结外，还对教学中一些疑难点进行了详细的剖析。特别是在选择典型例题和习题方面，着重选一些从生产实际中提炼出的理想模型。在培养学生分析能力和计算能力的同时，又能使学生认识各种物理规律在实际应用中的价值。其中，每章都附有能力题，这些题大多是实际生活、生产中的真空问题，同学们在解决这些问题时，完全可以自己去近似和定性建立模型，充分发挥各自的想像力和创造力。它将大大地提高学生解决实际问题的能力。

考虑各个层面学生对大学物理的需求不同，我们还选择了一些十分基本的例题和习题。力图使学生建立起清晰的物理图像、理清解题思路、掌握解题中的物理方法和数学方法。同时，还在深度和广度上做了考虑，使本书既可作为理工科大学生学习大学物理的教学参考书，也可供大专生和物理教师参考。

本书由黑龙江科技学院赵志洲（第 7～12、15 章）、李晓萍（第 1～6 章）、任敦亮（第 13、14、16 章），华北科技学院张晓春（第 17、18 章）编写。全书由华北科技学院张晓春负责统稿并最终定稿。

编写此书，也是一种尝试，希望读者能从中受益。由于作者水平有限，难免有疏漏和不足。恳请读者提出宝贵意见，以便我们今后进一步改进。

编著者

2002.12

目　录

第一章　质点运动学

一　知识点总结

1. 质点运动的描述

(1)位置矢量:$\boldsymbol{r}=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}+z(t)\boldsymbol{k}$

(2)位移矢量:$\Delta\boldsymbol{r}=(x_2-x_1)\boldsymbol{i}+(y_2-y_1)\boldsymbol{j}+(z_2-z_1)\boldsymbol{k}$

(3)速度矢量:$\boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$

$$=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k}$$

(4)加速度矢量:$\boldsymbol{a}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$

$$=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$$

$$=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k}$$

$$=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}+a_z\boldsymbol{k}$$

注:以上物理量为矢量,应按矢量运算法则进行计算。

2. 几种常见的运动

(1)匀变速直线运动:$v=v_0+at$

$$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

(2)斜抛运动(见图 1－1)：

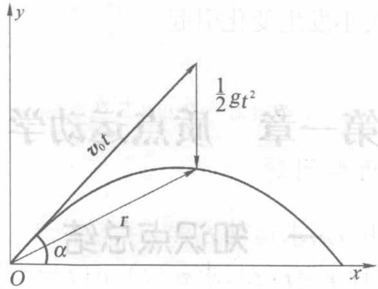

图 1－1

$$a_x = 0, \qquad \boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_y = -g\,\boldsymbol{j}$$

$$v_x = v_0\cos\alpha, \qquad v_y = v_0\sin\alpha - gt$$

$$x = v_0 t\cos\alpha, \qquad y = v_0 t\sin\alpha - \frac{1}{2}gt^2$$

$$\begin{aligned}\boldsymbol{r} &= x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j}\\ &= (v_0 t\cos\alpha)\boldsymbol{i} + (v_0 t\sin\alpha - \frac{1}{2}gt^2)\boldsymbol{j}\\ &= \boldsymbol{v}_0 t + \frac{1}{2}\boldsymbol{g}t^2\end{aligned}$$

(3)圆周运动：

角速度： $\omega = \dfrac{d\theta}{dt}$

角加速度： $\alpha = \dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{d^2\theta}{dt^2}$

加速度： $\boldsymbol{a} = \dfrac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \boldsymbol{a}_n + \boldsymbol{a}_t$

法向加速度： $a_n = \omega^2 r = \dfrac{v^2}{r}$

法向加速度由速度方向发生变化引起。

切向加速度：　　$a_t = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = r\alpha$

切向加速度由速度大小发生变化引起。

(4)相对运动：

$$\boldsymbol{v}_{\text{绝对}} = \boldsymbol{v}_{\text{相对}} + \boldsymbol{v}_{\text{牵连}}$$

3. 运动学的两类问题

(1)已知 $\boldsymbol{a}$、$\boldsymbol{v}_0$和 $\boldsymbol{r}_0$，求运动方程 $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$——积分。

(2)已知运动方程 $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$，求$\boldsymbol{v}(t)$、$\boldsymbol{a}(t)$——求导。

二　疑难点剖析

疑难点 1　$|\Delta \boldsymbol{r}|$与 Δr，$|\Delta \boldsymbol{v}|$与 Δv 有何区别？

解析　如图 1-2 所示，$|\Delta \boldsymbol{r}| = |\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1|$，$\Delta r = r_2 - r_1$，$|\Delta \boldsymbol{v}| = |\boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1|$，$\Delta v = v_2 - v_1$ 即在一般情况下，得

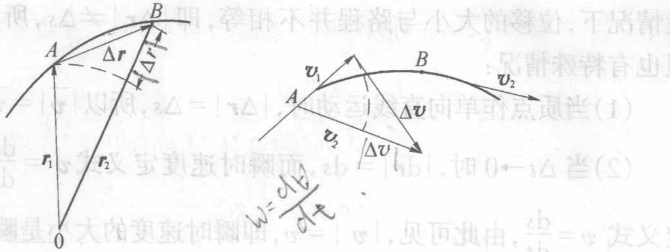

图 1-2

$$|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta r, \ |\Delta \boldsymbol{v}| \neq \Delta v$$

疑难点 2　设质点运动方程为 $x = x(t)$，$y = y(t)$，在计算质点速度和加速度时，有人先求出 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$，然后根据 $v = \dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$及 $a = \dfrac{\mathrm{d}^2 r}{\mathrm{d}t^2}$ 而求得结果，这样做是否正确？

解析 速度的定义式为 $\boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$

速度的大小 $v=\dfrac{|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|}{\mathrm{d}t}$

由上题可知，$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|\neq \mathrm{d}r$，所以不可用式 $v=\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$ 和 $a=\dfrac{\mathrm{d}^2r}{\mathrm{d}t^2}$ 来求速度和加速度。

正确的解法是用矢量运算法则进行计算，即

$$\boldsymbol{v}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j},\qquad v=\sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$$

$$\boldsymbol{a}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j},\qquad a=\sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\right)^2+\left(\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\right)^2}$$

疑难点 3 平均速度与平均速率，瞬时速度与瞬时速率有何区别？

解析 平均速度定义式 $\overline{\boldsymbol{v}}=\dfrac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}$，表示位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 在 Δt 时间内平均变化率。平均速率 $\overline{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$，表示路程 Δs 在 Δt 时间内平均变化率。一般情况下，位移的大小与路程并不相等，即 $|\Delta\boldsymbol{r}|\neq\Delta s$，所以 $|\overline{\boldsymbol{v}}|\neq\overline{v}$。但也有特殊情况：

(1)当质点作单向直线运动时，$|\Delta\boldsymbol{r}|=\Delta s$，所以 $|\overline{\boldsymbol{v}}|=\overline{v}$。

(2)当 $\Delta t\to 0$ 时，$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}s$，而瞬时速度定义式 $\boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$，瞬时速率定义式 $v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$，由此可见，$|\boldsymbol{v}|=v$，即瞬时速度的大小是瞬时速率。

疑难点 4 描述质点加速度的物理量 $\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$，$\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$，$\dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}$ 有何区别？

解析 $\boldsymbol{a}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$ 表示总加速度。

$a_{\mathrm{t}}=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$ 表示总加速度在轨迹切线方向的投影，也称切向加速度。

$a_x=\dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}$ 表示加速度在 x 轴上的投影。

疑难点 5　如图1－3所示,湖中有一小船,有人在湖边一定高度的岸上以匀速率 v_0 收绳子,小船即向岸边靠拢,不考虑水流速度,试分析小船作何种运动?

解析　有人认为以速率 v_0 收绳,则绳上各点速率都应是 v_0,所以船头的速率也是 v_0,而且运动方向沿着绳,则船沿水面运动的速度 v 是 v_0 的水平分量,即 $v = v_0 \cos\theta$,这个结论是否正确呢?

$v = \frac{v_0}{\cos\theta}$ 变值

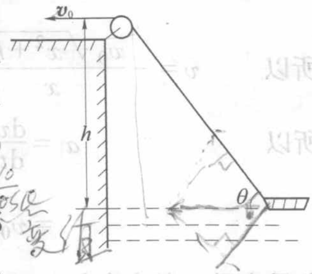

图 1－3

首先我们来讨论绳上各点速率是否都是 v_0,如图 1－4 所示,取绳上任意两点 A、B,以速率 v_0 收绳,当船前移了 Δx 时,绳缩短了 Δr,此时绳上的 A 点移动到 A'点,B 点移动到 B'点,在相同的时间内,A 点与 B 点的位移不同,所以 A、B 点的速度不同。这是因为绳上的各点既要沿绳方向以速率 v_0 运动,又要绕 O 点转动,是两种运动的合成,所以绳上各点的速度不同,而且不等于 v_0,v_0 只是绳缩短的速率,即矢径大小的变化率 $v_0 = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$,而不是绳上各点的速率,即 $v_0 \neq \left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|$。

由于绳上各点速率不同,则与船相连的绳尾的速率即船头的速率不是 v_0,所以 $v = v_0\cos\theta$ 这个结论是不正确的。

船的移动速度及加速度有以下几种解法:

方法一:如图 1－4 所示。

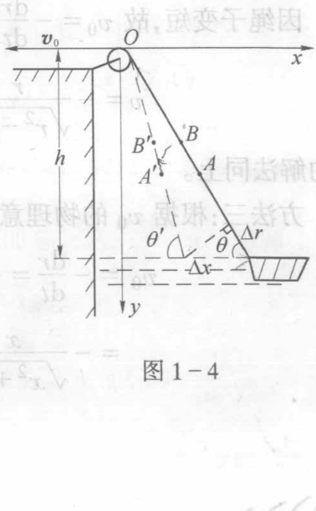

图 1－4

因为 $\frac{|\Delta r|}{|\Delta x|} = \cos\theta$

所以 $|\Delta x| = \frac{|\Delta r|}{\cos\theta}$

$$\frac{|\mathrm{d}x|}{\mathrm{d}t}=\frac{|\mathrm{d}r|}{\cos\theta\mathrm{d}t},\quad |v|=\frac{|v_0|}{\cos\theta}$$

因为
$$\cos\theta=\frac{x}{\sqrt{x^2+h^2}}$$

所以
$$v=-\frac{v_0\sqrt{x^2+h^2}}{x}\text{（负号表示 } v \text{ 与 } x \text{ 正方向相反）}$$

所以
$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-v_0\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\sqrt{x^2+h^2}}{x}\right)$$
$$=v_0\frac{h^2}{x^2\sqrt{x^2+h^2}}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-\frac{v_0^2h^2}{x^3}$$

负号表示 a 的方向与 x 正方向相反，但船运动的速度 $\boldsymbol{v}$ 与 a 同向，所以船加速靠岸。

方法二：根据速度的定义式，得

船的速度为 $\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}$， $v_y=0$（y 方向没有位移）

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t},\quad x=\sqrt{r^2-h^2}$$

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\sqrt{r^2-h^2}=\frac{r}{\sqrt{r^2-h^2}}\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$$

因绳子变短，故 $v_0=-\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$，代入上式得

$$v=-\frac{r}{\sqrt{r^2-h^2}}v_0=-\frac{\sqrt{x^2+h^2}}{x}v_0$$

a 的解法同上。

方法三：根据 v_0 的物理意义，得

$$v_0=-\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}=-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\sqrt{x^2+h^2}$$
$$=-\frac{x}{\sqrt{x^2+h^2}}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-\frac{x}{\sqrt{x^2+h^2}}v$$

所以
$$v=-\frac{\sqrt{x^2+h^2}}{x}v_0$$

疑难点 6 下雨时,有人坐在车内观察车外雨点的运动,试说明在下列情形中他所观察到的结果。设雨点相对于地面是匀速直线落下的。

(a)车是静止的。竖直线

(b)车以匀速沿水平轨道运动。斜直线

(c)车以匀加速沿水平轨道运动。抛物线 雨人=雨地+地人

(d)车以匀速率作圆周运动。螺旋线

解析

(a)车是静止的,车内观察者看到雨点垂直匀速落下。

(b)若车以 v 匀速水平运动,观察者以车为参照物,看到雨点参与两个运动,水平方向匀速直线运动和竖直方向匀速直线运动,运动方程分别为 $x=vt$,$y=ut$,u 为雨滴下落速度,则雨滴运动轨迹为 $y=\frac{u}{v}x$,为斜直线。

(c)若车以匀加速 a 沿水平方向运动,其运动方程为 $x=\frac{1}{2}at^2$,$y=ut$,则其轨迹为 $x=\frac{a}{2v^2}y^2$,为一抛物线。

(d)若车以匀速率 v 作圆周运动,雨滴运动方程为 $y=ut$,$x^2+z^2=R^2$,即雨滴向下落的同时作圆周运动,则其轨迹为螺旋线。

疑难点 7 如图1-5所示,质点作曲线运动,质点的加速度 $\boldsymbol{a}$ 是恒矢量($\boldsymbol{a}_1=\boldsymbol{a}_2=\boldsymbol{a}_3=\boldsymbol{a}$),试问质点是否能作匀变速率运动?为什么?

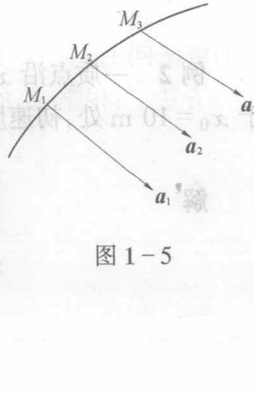

图1-5

解析 质点若作匀变速率运动,其切向加速度大小 a_t 必为常数,即 $a_{t1}=a_{t2}=a_{t3}$,现在虽然 $\boldsymbol{a}_1=\boldsymbol{a}_2=\boldsymbol{a}_3$,但由于总加速度与轨道各处的切线间夹角不同,使得总加速度在各处切线方向的

投影并不相等，即 $a_{t1} \neq a_{t2} \neq a_{t3}$，故该质点不作匀变速率运动。

三　典型题解析

例 1　一质点在 xOy 平面内运动，运动方程为 $x=2t$ 和 $y=19-2t^2$，则其在第二秒内质点的平均速度的大小及第二秒末瞬时速度的大小为多少？

$v=\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$

解　平均速度定义式 $\overline{\boldsymbol{v}}=\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$

$=\sqrt{4+16}$

则

$$|\overline{\boldsymbol{v}}|=\frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t}$$

$\sqrt{20}$

$$|\Delta \boldsymbol{r}|=\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2}$$

第二秒内位移

$$\Delta \boldsymbol{r}=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}$$

$$=\sqrt{(2\times2-2\times1)^2+(19-2\times2^2-19+2\times1^2)}$$

$$=6.32\ \mathrm{m}$$

$$|\overline{\boldsymbol{v}}|=\frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t}=\frac{6.32}{1}=6.32\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

速度

$$\overline{\boldsymbol{v}}=\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}=\frac{dx}{dt}\boldsymbol{i}+\frac{dy}{dt}\boldsymbol{j}$$

$$v=\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2}=\sqrt{2^2+(-4t)^2}$$

代入 $t=2$ s，则

$$v=\sqrt{4+64}=8.25\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

例 2　一质点沿 x 轴运动，其加速度 $a=4t$，已知 $t=0$ 时，质点位于 $x_0=10$ m 处，初速度 $v_0=0$，试求其位置和时间的关系式。

解

$$a=\frac{dv}{dt}=4t,\qquad dv=4t\,dt$$

$$\int_0^v dv=\int_0^t 4t\,dt,\quad v=2t^2$$

$t=0$ $a=4t$

$v=$

$x=10m$