李文斌
主　编　赵一生
吴舒辞

大学物理
学习指导与解题技巧

汕头大学出版社

大学物理学习指导与解题技巧

主　审　范毓源　文建国

主　编　李文斌　赵一生　吴舒辞

副主编　阚永忠　苏文华　夏国荣

　　　　吴松安　王绍泉　付晓玲

汕头大学出版社

粤新登字15号
图书在版编目（CIP）数据
大学物理学习指导与解题技巧
/李文斌　赵一生　吴舒辞　主编
一汕头：汕头大学出版社，1997.1
ISBN 7-81036-194-5/G·36
Ⅰ．大…
Ⅱ．①李…②赵…③吴…
Ⅲ．大学物理学习指导——解题技巧
Ⅳ．G64

汕头大学出版社出版发行
（广东省汕头市汕头大学内）
长沙市彩色印刷厂印刷　新华书店经销
1997年第1版　　1997年2月第1次印刷
开本：787×1092毫米　1/32　印张：15.625
字数：365千字　印数：0～3500册
定价：18.00元

序言

根据国家教委颁布的关于全国普通高等工科学校大学物理课程教学基本要求，结合我们在长期教学中积累的经验，针对学生在学习本课程中所遇到解题难的实际困难，编写了本书。其目的是帮助读者在学习大学物理课程的过程中，获得对大学物理课程框架结构的认识，加深对基本概念、基本定律的理解，以提高分析问题、解决问题的能力。

全书共分十五章，每章包括下述五个部分

1. 基本概念及规律：分别简要叙述基本概念和所遵循的基本规律。

2. 基本要求：明确指出读者学习时应达到的要求。

3. 重点与难点：通过对重点和难点的讨论，帮助读者加深对基本概念、基本理论和基本规律的理解，掌握本章的基本内容。

4. 解题指导：通过一定数量的各种类型的例题分析，说明解题方法、步骤和技巧，提高读者分析问题、解决问题的能力，加深和巩固所学的理论。

5. 练习题：包括一定数量的选择、填空和计算题。

本书由李文斌 、赵一生、吴舒辞主编及统稿。参加编写的有李文斌（第一、二、三章）、赵一生（第四章）、吴舒辞（第七章）、苏文华（第十、十三章）、阙永忠（第十五章）、夏国荣（第十四章）、吴

松安(第十一、十二章)、王绍泉(第八、九章)、傅晓玲(第五、六章),全书由范毓源和文建国主审。

由于我们的业务水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

1996.12

内容提要

本书是根据国家教委颁发的工科大学物理课程教学基本要求，并结合现行的全国通用的《物理学》教材编写的学习指导书，配合课堂教学、供学生复习和准备考试之用。内容包括力学、气体分子运动理论、热力学基础、静电场、稳恒磁场、电磁感应、机械振动、机械波、波动光学、相对论、量子物理等。

本书选编了若干典型例题和习题，每章均由"基本概念及规律"、"基本要求"、"重点和难点"、"解题指导"、"练习题"组成，便于学生复习时归纳总结。本书不仅可作为工科高等学校学生教学用书，还可作为非物理类夜大、业余职大及成人自学考试物理课程的参考书。

目　　录

第一章 质点运动学

一、基本概念及基本规律

1. 质点，参照系

质点：当描述一个物体的运动，可以忽略它的大小时，这个物体便可视为质点。显然，这种忽略与所讨论的问题的具体条件有关。同一物体，例如地球，当研究它围绕太阳运动时，可以把它看作质点；然而，当研究它的自转规律时，就不能把地球当质点。物体作平动时，一般都可以将它当作质点处理。

参照系：在普遍的相对运动中，要描述一个物体的位置或位置的变化时，必须指明它是相对于哪一个物体或哪几个彼此相对静止的物体（物体群）而言的，所选择的物体或物体群称为参照系。

2. 运动方程

位置矢量：可以确定质点位置的矢量：

$$\vec{r} = \vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

位移矢量：质点在一段时间 $\triangle t$ 内位置的改变：

$$\triangle\vec{r} = \vec{r}(t+\triangle t) - \vec{r}(t)$$

3. 速度与加速度

速度：质点位置矢量对时间的变化率

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

加速度：质点速度对时间的变化率

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

4. 抛体运动

位置：$x = v_0\cos\theta \cdot t \qquad y = v_0\sin\theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$

速度：$v_x = v_0\cos\theta \qquad v_y = v_0\sin\theta - gt$

加速度：$a_x = 0 \qquad a_y = -g$

5. 圆周运动的加速度

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$$

法向加速度：$a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$，方向沿半径指向圆心。

切向加速度：$a_\tau = \frac{dv}{dt}$ 方向沿轨道切向，式中 v 是速率（$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$）

6. 一般曲线运动加速度的两种表示方法

直角坐标：

$$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k} = \frac{d^2x}{dt^2}\vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\vec{k}$$

自然坐标：

矢量式：$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$

其中：法向加速度大小 $a_n = \frac{v^2}{\rho}$ ρ 为曲率半径；切向加速度大小：$a_\tau = \frac{dv}{dt}$ 方向沿轨道切线，速率 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$

7. 伽利略速度相加原理

一质点相对于两个相对作平动的参照系的速度之间的关系为：

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$$

上式中 $\vec{v}$ 与 $\vec{v}'$ 分别表示质点相对参照系 xoy 与 $x'o'y'$ 的速

度，$\vec{u}$ 表示参照系 $x'o'y'$ 相对于 xoy 的速度。

8. *运动的叠加原理*

一种运动可以看成几种各自独立进行的运动叠加而成。这个结论也叫运动的独立性原理。

二、基本要求

1. 建立质点运动学的几个基本概念：质点、参照系、速度、加速度等。

2. 掌握描述质点运动状态的方法，加深对运动相对性的理解，加深对速度和加速度的瞬时性，矢量性和独立性等基本特性的认识。

3. 明确运动方程和轨迹方程的意义，熟练掌握用求导法由已知的运动方程求瞬时速度和瞬时加速度；反之，用积分法由已知质点的运动速度或加速度求质点的运动方程。

4. 熟练运用匀速，匀变速直线运动，抛体运动和匀速圆周运动的规律。

5. 正确应用伽利略速度变换式解决实际问题。

三、重点和难点

〔重点〕参照系的选定；直角坐标系的合理建立；坐标、位矢、位移、速度和加速度的定义式、特征及其物理意义；匀变速直线运动和典型平面运动的规律及应用。

〔难点〕参照系和坐标系的关系以及如何合理建立坐标系；对位移、速度、加速度的"三性"（矢量性、瞬时性、相对性）的理解；由加速度和初始条件应用积分求解速度、位矢和运动方程等问题。

四、解题指导

[**例题** 1-1] 一质点在半径 $R = 1m$ 的圆周上按顺时针方向运动，开始时位置在 A 点，如图 1-1 所示。质点运动的路径与时间的关系为：

$$S = \pi t^2 + \pi t$$

S 的单位为 m，t 的单位为 s。试求：

(1) 质点从 A 点出发，绕圆运行一周所经历的路程、位移、平均速度、平均速率各为多少？

(2) 质点在第 1s 与 1.1s 间，第 1s 与 1.0001s 间的平均速度、平均速率各为多少？

(3) 质点在第 1s 时的速度、速率、加速度各为多少？

解：(1) 质点绕行一周所经历的路程

$$S = 2\pi R = 2 \times 3.14 \times 1 = 6.28(\text{m})$$

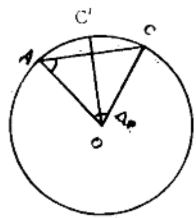

图 1-1

质点从 A 点出发又回到 A 点时，其位移为零。

为了求出平均速度，平均速率，先计算绕行一周所需的时间 t. 由

$$2\pi R = \pi(t^2 + t)$$

即
$$t^2 + t - 2 = 0$$

解得
$$t_1 = 1s$$
$$t_2 = -2s$$

负值不合题意，舍去。故绕行一周质点运动的平均速率

$$\bar{v}=\frac{2\pi R}{t_1}=\frac{2\times 3.14\times 1}{1}$$

质点在一周内的平均速度为零。

(2) 在从 t 到 $t+\triangle t$ 时间间隔内，质点所经过的路程

$$\triangle S=[(t+\triangle t)^2+(t+\triangle t)-t^2-t]\pi$$
$$=[(2t+1)\triangle t+\triangle t^2]\pi$$

故在 $\triangle t_1=1.1-1.0=0.1s$ 时间间隔内，质点所经过的路程

$$\triangle S_1=[(2\times 1+1)\times 0.1+0.1^2]\pi$$
$$=0.31\pi=0.97(\mathrm{m})$$

位移的大小

$$AC=2R\sin\frac{\triangle\varphi}{2}=2R\sin(\frac{\triangle S_1}{2R})$$
$$=2\times 1\times\sin(\frac{0.317}{2})=0.94(\mathrm{m})$$

位移方向沿 AC，与 AO 的夹角

$$\theta=\frac{1}{2}(\pi-\triangle\varphi)=0.35\pi$$

故质点在 $\triangle t_1$ 时间间隔内的平均速率

$$\overline{v_1}=\frac{\triangle S_1}{\triangle t_1}=9.7(\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1})$$

平均速度的大小

$$|\overline{\vec{v}_1}|=\frac{\overline{AC}}{\triangle t_1}=9.4(\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1})$$

平均速度的方向沿 AC，与 AO 的夹角为 0.35π

同理，在 $\triangle t_2=1.0001-1.0000=0.0001s$ 时间间隔内，质点所经过的路程

$$\triangle S_2=0.00094\mathrm{m}$$

位移大小

$$\overline{AC'} = 0.00094\text{m}$$

位移的方向沿 AC'，与 AO 夹角

$$\theta' \approx \frac{\pi}{2}$$

质点的平均速率

$$\overline{v_2} \approx 9.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

平均速度的大小

$$|\overline{\vec{v}_1}| \approx 9.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

其方向沿 AC'，与 AO 的夹角近似为 90°

(3) 速度的大小

$$v = \frac{dS}{dt} = (2t + 1)\pi$$

当 $t_1 = 1s$ 时，$v_1 = (2 \times 1 + 1)\pi = 9.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$，方向沿该点切线方向。

速率

$$v_1 = \frac{dS}{dt} = 9.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

切向加速度

$$a_\tau = \frac{d^2S}{d^2t} = 2\pi = 6.28(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

法向加速度

$$a_n = \frac{v_1^2}{R} \approx 88.8(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

总加速度

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \approx 8.9(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

加速度 $\vec{a}$ 的方向与 AO 的夹角

$$\theta_0 = arccos\frac{a_n}{a} \approx 3.84°(\text{图中未画出})$$

[例 1-2] 在离船的高度为 h 的岸边，绞车以恒定的速率 V_0 收拖缆绳，使船靠岸如图 1-2 所示。求当船头与岸的水平距离为 x 时，船的速度与加速度。并讨论以下几个问题

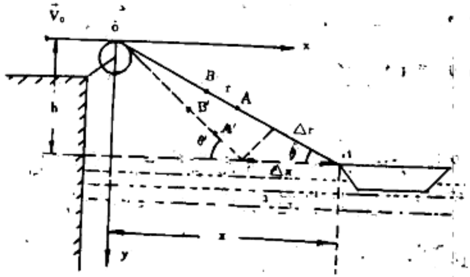

图 1-2

(1) 缆绳上各点的速度相同吗？

(2) 有人认为船的速度为 $V = V_0\cos\theta$ (θ 为缆绳与水平面间的夹角) 对不对？为什么？

(3) 还有人认为：若设船为运动的质点，以岸上滑轮处为原点，则 $V_0 = \left|\dfrac{d\vec{r}}{dt}\right|$，对不对？$V_0$ 的物理意义是什么？

解： 首先讨论如下问题，明确收绳速率 V_0 与绳的速度以及船的速度三者区别与联系。

(1) 现取绳上的两点 A 和 B，对地面参照系来说，在收绳使船前移过程中，经过一段时间 $\triangle t$，A 运动到 A' 处，B 运动到 B' 处，如图 1-2 所示，二者移动的距离不同，位移的方向也不同，但时间间隔是相同的，因此绳上各点的移动速度均不相等，而 V_0 是绳上各点沿绳方向运动的速率，它不代表绳上各点的运动速率。

(2) 如果认为 V_0 是船头的速率，运动方向沿着绳，则船沿水面运动的速度是这一速度的水平分量。设绳与水平方向夹角为 θ，船的水平速度为

$$V = V_0\cos\theta < V_0$$

显然这个结论是错误的。由图1-2看，当船行走了$\triangle x$后，绳与水平面夹角由θ变为θ'，而绳缩短了$\triangle r$，其关系为$\dfrac{\triangle r}{|\triangle x|} = \cos\theta$。由于$|V| = |\dfrac{dx}{dt}|$，$V_0 = |\dfrac{dr}{dt}|$，所以应有$V_0 = V\cos\theta$，而不是$V = V_0\cos\theta$

(3) 建立如图1-2所示的坐标(设滑轮为质点)，视船为一质点。从图中看出在收绳拉船过程中绳与水平面的夹角是逐渐增大的($\theta' > \theta$)，$\cos\theta$值减小。由关系式$\dfrac{\triangle r}{|\triangle x|} = \cos\theta$可知$\dfrac{\triangle r}{|\triangle x|}$的值是减小的，若取同样的时间间隔，$\triangle r$相同，则$|\triangle x|$必然增大；可见船的速率$V$增大，船并不是以$V_0$速率均匀地移动，所以$V_0 \neq |\dfrac{d\vec{r}}{dt}|$。

通过上述讨论，已基本明确了V_0的物理意义。V_0是$|\dfrac{dr}{dt}|$即矢径大小的变化率，也是绳子长短的变化率，可称为收绳速率。

解法一

由图1-2看出船的位矢为

$$\vec{r} = x\vec{i} + h\vec{j}$$

而
$$x = \sqrt{r^2 - h^2}$$

由速度定义有

$$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dh}{dt}\vec{j}$$
$$= V_x\vec{i}$$

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}\sqrt{r^2 - h^2}$$

$$= \frac{r}{\sqrt{r^2 - h^2}} \frac{dr}{dt}$$

因绳子变短，故$\frac{dv}{dt} = -V_0$代入上式有

$$V_x = -\frac{r}{\sqrt{r^2 - h^2}} V_0$$

$$= -\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x} V_0$$

故 $$\vec{V} = -\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x} V_0 \vec{i}$$

负号表示 $\vec{V}$ 的方向与正 X 的方向相反

根据加速度定义

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = -\frac{d}{dt}(\sqrt{x^2 + h^2}/x)$$

$$= V_0 \frac{h^2}{x^2 \sqrt{x^2 + h^2}} \frac{dx}{dt} = -\frac{V_0^2 h^2}{x^3}$$

$$a_y = 0$$

故 $$\vec{a} = -\frac{V_0^2 h^2}{x^3} \vec{i}$$

负号表示 $\vec{a}$ 的方向与 x 正方向相反，但由于 $\vec{V}$ 与 $\vec{a}$ 同向，所以船是加速靠岸的。

解法二

因 $$\left| \frac{\triangle r}{\triangle x} \right| = \cos\theta$$

则有 $$|\triangle x| = \frac{|\triangle r|}{\cos\theta}$$

$$\frac{|dx|}{dt} = \frac{\frac{|dr|}{dt}}{\cos\theta}$$

即 $$|V_x| = \frac{|V_0|}{\cos\theta}$$

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

考虑到 V_x 方向

所以 $$V_x = -\frac{V_0\sqrt{x^2 + h^2}}{x}$$

而 $$V_y = 0$$

$\vec{a}$ 的解法同上

解法三

根据 V_0 的物理意义

$$V_0 = -\frac{dr}{dt} = -\frac{d}{dt}\sqrt{x^2 + h^2}$$

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

$$= -\frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}}V_x$$

所以有 $$V_x = -\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x}V_0$$

[**例题** 1-3] 已知质点的运动方程 $\vec{r} = 2t\vec{i} + (2 - t^2)\vec{j}m$，求：

(1) 质点运动方程的分量式及轨道方程；

(2) 质点运动的速度 $\vec{V}$

(3) 质点运动的加速度 $\vec{a}$

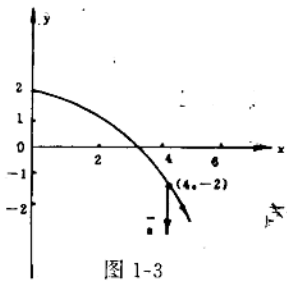

图 1-3

解：(1) 运动方程分量式为

$x = 2t \qquad y = 2 - t^2$

轨道方程