

● 本书荣获陕西省第三届优秀双效书奖

大学物理

典型题分析解集

(第2版)

4
● 王彬 等编

西北工业大学出版社



O4-44
W429

大学物理典型题分析解集

(第2版)

王彬 张承 编



0609536

西北工业大学出版社

0728210

【内容简介】 本书是根据高等学校大学物理课程的教学要求编写的学习指导书,书中内容主要是从现行的教科书中精选出来的。本书每章按内容提要、典型题分析、练习题等三个模块编写,书末附有模拟试题及其答案,旨在帮助学生熟练掌握大学物理课程的基本理论、重点和解题的方法与技巧。

本书可作为高等学校理工科本科生学习大学物理课程的复习辅导书,也可供大专学生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理典型题分析解集/王彬,张承编. —2版. —西安:西北工业大学出版社,1999.12

ISBN 7-5612-1194-5

I. 大… II. ①王…②张… III. 物理-高等学校-解题
IV. 04-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 51563 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:(029)8493844

网 址:<http://www.nwpu.com>

印刷者:陕西天元印务有限公司

开 本:850 mm×1 168 mm 1/32

印 张:12

字 数:291 千字

版 次:2000 年 1 月第 1 版 2002 年 4 月第 2 版 第 7 次印刷

印 数:36 001~44 000 册

定 价:16.00 元

第2版前言

“大学物理”是工科学生的一门重要基础课。为了把“大学物理”建设成为既是学生学习科技知识的基础课,又是培养学生科学素质的基础课,近年来围绕着大学物理课程教学内容和体系、教学方法和手段、训练和考核(考试)方法等方面展开了全面的教学研究和教学改革。

《大学物理典型题分析解集》的编写旨在从训练和考核考试方法的改革方面作一点探索。为了既帮助学生掌握知识,又培养学生学会物理思维,提高分析能力、综合能力、创新思维能力,大学物理典型题的选取有三种类型:一是纯粹的理想模型,二是现代科技应用问题,三是原始的物理问题。传统的做法侧重于把从原始的物理问题中抽象成的理想模型作为习题去解,这样训练有利于学生对基本概念、基本规律、基本方法的掌握,但不利于学生独立提出问题、分析并解决问题能力的培养。本书尝试给出了一些原始的物理问题,这类问题的解决,或需要先作一些合理的假设,或给出一些必要的补充条件,或建立一定的物理模型,或设置一些量级适当的数据,而求解和答案也往往不是惟一的。这种训练较传统的习题更有利于学生科学素质的培养,在教学实践中曾引起学生极大的兴趣和热情。

第1版出版发行以来,得到广大读者的欢迎和支持。《大学物理典型题分析解集》第2版适当增加了物理学原理在现代科技中应用的习题和原始的物理问题,删除了一些类型雷同的题目,充实了近代物理的习题内容。同时,修改了原书中的一些错误。感谢朱荣华教授、顾牡教授、许启明教授、唐远河副教授在百忙之中为

本书的修改提出了宝贵意见。

限于编者的水平,错误和不妥之处仍然在所难免,恳请读者不吝赐教。

编者

2002年2月

第 1 版前言

大学物理是高等工业学校各专业学生的一门重要必修基础课,它对于培养学生的科学素质和创新能力起着不可替代的重要作用。大学物理习题是帮助学生理解和掌握物理学的基本概念、基本规律、基本方法的必要手段,也是培养学生学会用科学的思想方法分析问题和解决问题的有效途径。为了帮助学生学好大学物理课程的基本理论和解题方法,我们根据长期教学研究和教学改革的实践经验编写了本书。

全书共 12 章,依据大学物理课程教学的基本要求,覆盖了需要掌握的基本理论和基本方法。选材的类型既有从生产实际中提炼出的理想模型,注重学生的基本分析能力和计算能力训练,又有联系现代科学技术的题目,使学生认识各种物理规律的价值,还有需要研究的实际问题,通过删除枝节,突出主干的简化处理,再作进一步研究,以利于学生科学素质的培养与提高。选题的内容力求全面,使学生接触到各种风格、形式和不同提问角度的题目。

本书每章按内容提要、典型题分析、练习题 3 个模块编写。内容提要指出本章的基本概念、规律和方法;典型题分析在“题”与“解”之间给出了分析,有的指出解题依据,有的点明解题的关键步骤和方法,旨在帮助学生学会用基本理论去分析、判断、计算;练习题供学生深入理解基本内容,熟练掌握解题的思路和方法。本书最后给出 6 套模拟试题,学生可在学完大学物理有关章节之后,进行自我检测。

全书由王彬编写。张承检查、验算了每一道题解。感谢许启明教授、马永庚教授、何安明教授、唐远河副教授为本书提供了宝

目 录

第一章 质点运动学	1
一、内容提要	1
二、典型题分析	3
三、练习题	23
第二章 质点动力学	25
一、内容提要	25
二、典型题分析	26
三、练习题	54
第三章 刚体的定轴转动	57
一、内容提要	57
二、典型题分析	59
三、练习题	76
第四章 狭义相对论	79
一、内容提要	79
二、典型题分析	81
三、练习题	97
第五章 静电场	99
一、内容提要	99

二、典型题分析	101
三、练习题	133
第六章 稳恒磁场	136
一、内容提要	136
二、典型题分析	137
三、练习题	166
第七章 电磁感应与电磁波	168
一、内容提要	168
二、典型题分析	170
三、练习题	194
第八章 气体动理论	197
一、内容提要	197
二、典型题分析	198
三、练习题	209
第九章 热力学基础	211
一、内容提要	211
二、典型题分析	213
三、练习题	224
第十章 振动与波	226
一、内容提要	226
二、典型题分析	229
三、练习题	256

第十一章 波动光学.....	258
一、内容提要	258
二、典型题分析	262
三、练习题	278
第十二章 量子论基础.....	281
一、内容提要	281
二、典型题分析	284
三、练习题	295
附 录.....	296
附录一 模拟试题.....	296
附录二 练习题参考答案.....	341
附录三 模拟试题参考答案.....	348

第一章 质点运动学

一、内容提要

本章讨论质点机械运动的位置随时间变化的规律。

1. 参考系

描述物体运动时作参考的其他物体。参考系的定量化即在此参考系上建立固定的坐标系。

2. 描述质点运动的基本物理量

(1) 线量:

位置矢量(矢径):

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

位移矢量(位移):

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k}$$

速度矢量(速度):

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k}$$

加速度矢量(加速度):

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k} = \frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\mathbf{k}$$

一般地, $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta r, |\Delta \mathbf{v}| \neq \Delta v$

注意: 矢径、位移、速度、加速度均具有矢量性、瞬时性、叠加性

和相对性。

(2) 角量:

角坐标: θ

角位移: $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$

角速度: $\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{v}{R}$

角加速度: $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$

(3) 线量与角量的关系:

$s = R\theta$ (s 是圆心角 θ 对应的弧长)

$$v = \frac{ds}{dt} = R \frac{d\theta}{dt} = R\omega$$

$$a_t = \frac{dv}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\beta, \text{ 沿切线方向}$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2, \text{ 指向圆心}$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t$$

3. 运动方程

质点位置随时间的变化规律,这是运动学的核心问题。

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

例 匀加速运动 $\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{a} t^2$, 初始条件: $\mathbf{r}_0, \mathbf{v}_0$ 。

4. 相对运动

$$\mathbf{r}_{\text{绝对}} = \mathbf{r}_{\text{相对}} + \mathbf{r}_{\text{牵连}}$$

$$\Delta \mathbf{r}_{\text{绝对}} = \Delta \mathbf{r}_{\text{相对}} + \Delta \mathbf{r}_{\text{牵连}}$$

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

5. 运动学的两类问题

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

(2) 已知 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ 求 $\mathbf{v} = \mathbf{v}(t), \mathbf{a} = \mathbf{a}(t)$ 等 —— 求导。

二、典型题分析

1. 对于作匀速圆周运动的质点

(1) 试用直角坐标和单位矢量 $\mathbf{i}$ 和 $\mathbf{j}$ 表示其位置矢量 $\mathbf{r}$, 并由此导出速度 $\mathbf{v}$ 和加速度 $\mathbf{a}$ 的矢量表示式。

(2) 试证明加速度 $\mathbf{a}$ 的方向指向轨道圆周的中心。

分析 描述质点运动的基本物理量 $\mathbf{r}, \mathbf{v}, \mathbf{a}$ 的求解。

解 (1) 由图 1-1 可知,

$$\begin{aligned}\mathbf{r} &= x\mathbf{i} + y\mathbf{j} = \\ & r\cos\theta\mathbf{i} + r\sin\theta\mathbf{j} \\ v_x &= \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(r\cos\theta) = \\ & -r\omega\sin\theta \\ v_y &= \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt}(r\sin\theta) = \\ & r\omega\cos\theta\end{aligned}$$

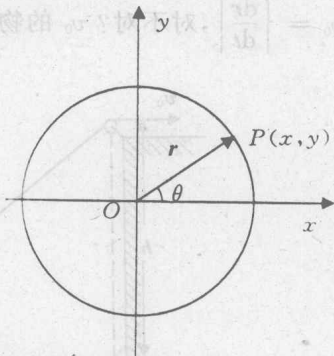


图 1-1

式中 $\omega = d\theta/dt$, $\theta = \omega t$, 且根据题意 ω 是常数, 所以, 有

$$\begin{aligned}\mathbf{v} &= v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} = \\ & -r\omega\sin\theta\mathbf{i} + r\omega\cos\theta\mathbf{j}\end{aligned}$$

又因

$$\begin{aligned}a_x &= \frac{dv_x}{dt} = -r\omega^2\cos\theta \\ a_y &= \frac{dv_y}{dt} = -r\omega^2\sin\theta\end{aligned}$$

所以 $\mathbf{a} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} = -r\omega^2\cos\theta\mathbf{i} - r\omega^2\sin\theta\mathbf{j}$

(2) $\mathbf{a} = (-r\omega^2\cos\theta)\mathbf{i} + (-r\omega^2\sin\theta)\mathbf{j} = -\omega^2(r\cos\theta\mathbf{i} + r\sin\theta\mathbf{j}) =$

$$-\omega^2(xi + yj) = -\omega^2 r$$

由上式可见, a 与 r 方向相反, 即 a 指向轨道圆周中心。

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。

(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 $v_0 = \left| \frac{dr}{dt} \right|$, 对不对? v_0 的物理意义是什么?

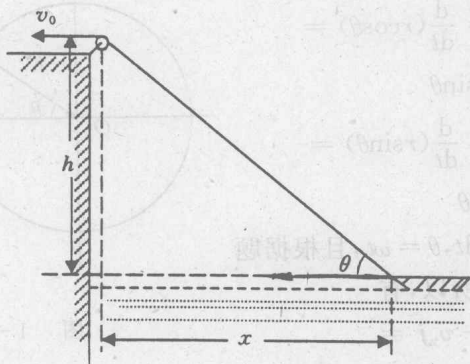


图 1-2

分析 加速度与速度定义的灵活应用计算。

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之区别的与联系。

(1) 现取绳上的两点 A 和 B 。对地面参照系而言, 在收绳使船前移过程中, 经过一段时间 Δt , A 运动到 A' 处, B 运动到 B' 处, 如图 1-3 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 1-3 看出当船行走了 Δx 后,绳与水平面夹角由 θ 变为 θ' , 而绳缩短了 Δr , 其关系为 $\frac{\Delta r}{|\Delta x|} = \cos \theta$ 。由于 $|v| = \frac{|dx|}{dt}$, $v_0 = \left| \frac{dr}{dt} \right|$, 所以应有 $v_0 = v \cos \theta$, 而不是 $v = v_0 \cos \theta$ 。

(3) 建立如图 1-3 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 $\frac{\Delta r}{|\Delta x|} = \cos \theta$ 可知 $\frac{\Delta r}{|\Delta x|}$ 的值是减小的。若取同样的时间间隔, Δr 相同;则 $|\Delta x|$ 必须增大;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 $v_0 \neq \left| \frac{dr}{dt} \right|$ 。

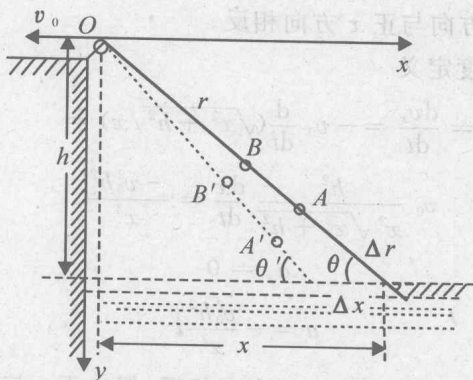


图 1-3

通过上述讨论,已基本明确了 v_0 的物理意义。 v_0 是 $\left| \frac{dr}{dt} \right|$, 即矢径大小的变化率,也就是绳子长短的变化率,可称为收绳速率。

方法 1 由图 1-3 看出船的位矢为

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

而

$$x = \sqrt{r^2 - h^2}$$

由速度定义有

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dh}{dt}\mathbf{j} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \mathbf{0} = v_x\mathbf{i}$$

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

因绳子变短故 $\frac{dr}{dt} = -v_0$ 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 $\mathbf{v} = -\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x}v_0\mathbf{i}$

负号表示 $\mathbf{v}$ 的方向与正 x 方向相反。

根据加速度定义

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = -v_0 \frac{d}{dt}(\sqrt{x^2 + h^2}/x) =$$

$$v_0 \frac{h^2}{x^2 \sqrt{x^2 + h^2}} \frac{dx}{dt} = \frac{-v_0^2 h^2}{x^3}$$

$$a_y = 0$$

故

$$\mathbf{a} = -\frac{v_0^2 h^2}{x^3}\mathbf{i}$$

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

方法 2

因

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

则有

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

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

即

$$v_x = \frac{v_0}{\cos\theta}$$

因

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

考虑到 v_x 方向

所以

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

而

$$v_y = 0$$

a 的解法同上。

方法 3 根据 v_0 的物理意义

$$\begin{aligned} v_0 &= -\frac{dr}{dt} = -\frac{d}{dt} \sqrt{x^2 + h^2} = \\ &= -\frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} \frac{dx}{dt} = -\frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} v_x \end{aligned}$$

所以有

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

3. 已知一质点的运动方程为 $\mathbf{r} = 2\mathbf{i} + (2 - t^2)\mathbf{j}$ (SI 制)。

(1) 画出质点的运动轨迹。

(2) 求出 $t = 1$ s, 和 $t = 2$ s 时质点的位矢。

(3) 求出 1 s 末和 2 s 末的速度。

(4) 求出加速度。