

普通物理

学习指导与题解

赵丽萍
张东芹
主编



山东大学出版社

普通物理学习指导与题解

赵丽萍 张东芹 主 编
李红艳 王凤翔 副主编

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学习指导与题解/赵丽萍,张东芹主编. —济南:山东大学出版社,2002.11(2003.7重印)

ISBN 7-5607-2510-4

I. 普...

II. ①赵...②张...

III. 普通物理学 - 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 085126 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)

山东省新华书店经销

山东农业大学印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 16.875 印张 430 千字

2002 年 11 月第 1 版 2003 年 7 月第 2 次印刷

印数:3301-4300 册

定价:22.00 元

版权所有,盗印必究!

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部负责调换

内容提要

本书是根据高等学校大学物理课程的教学基本要求,针对高等教育出版社出版的程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第五版)而编写的学习指导和习题解答。

书中内容主要分为两大部分。第一部分为学习指导,主要包括每一章的基本要求、重点和难点、基本概念和规律、解题示例;第二部分为《普通物理学》中全部习题的解答。全书共收集解答了700余道大学物理题。本书的宗旨在于帮助读者熟练掌握大学物理课程的基本知识,学会和掌握求解大学物理各类问题的思路、方法和技巧,提高分析问题和解决问题能力,起到事半功倍的效果。

本书可作为高等学校理工科学生学习大学物理的学习指导书,也为从事大学物理教学的教师提供了一本实用价值较高的教学参考书。

前 言

《普通物理学习指导与题解》是与程守洙主编的《普通物理学》配套的学习用书,是一本实用性和指导性很强的大学物理课学习指导书。

书中列出了每一章的基本要求、重点和难点、基本概念和规律、解题示例。其目的是使学生在阅读教材时,学习目标明确,能正确掌握重点、难点,对全章内容有一个整体的了解,有一条清晰的线索。同时起到总结归纳所学知识、巩固学习成果的作用。解题示例是结合每章的重点、难点,列举了适量的、具有一定难度或综合性的典型例题,以期帮助读者加深理解所学知识,掌握求解大学物理各类问题的思路、方法和技巧,提高分析问题和解决问题的能力。

《普通物理学》中习题量很大,且有一定的难度,求解这些习题将花费很大的精力和时间。为此,我们组织有多年教学经验的教师对全部习题进行了详细解答。它为学生提供了一本开阔思路、深化所学知识、掌握解题方法、提高解题技巧、指导性与实用性较强的学习辅导书。也为物理教师提供了一本非常实用的教学辅助用书。

本书由山东建筑工程学院物理教研室承担编写任务。参加本书编写及修订的教师还有:季燕菊、王婕、秦希峰。本书初稿参编教师还有:赵俊卿、史锡彬、许福运。

限于作者水平,书中难免有疏漏和不当之处,恳请读者提出宝贵意见。

编者

2002年8月

目 录

第一章 质点的运动	(1)
一、基本要求	(1)
二、重点和难点	(1)
三、基本概念和规律	(2)
四、解题示例	(5)
第一章 习题解答	(10)
第二章 牛顿运动定律	(24)
一、基本要求	(24)
二、重点和难点	(24)
三、基本概念和规律	(25)
四、解题示例	(27)
第二章 习题解答	(33)
第三章 运动的守恒定律	(56)
一、基本要求	(56)
二、重点和难点	(56)
三、基本概念和规律	(57)
四、解题示例	(59)
第三章 习题解答	(66)
第四章 刚体的转动	(88)
一、基本要求	(88)
二、重点和难点	(88)

三、基本概念和规律	(89)
四、解题示例	(91)
第四章 习题解答	(100)
第五章 相对论基础	(116)
一、基本要求	(116)
二、重点和难点	(116)
三、基本概念和规律	(117)
四、解题示例	(119)
第五章 习题解答	(124)
第六章 气体动理论	(134)
一、基本要求	(134)
二、重点和难点	(134)
三、基本概念和规律	(134)
四、解题示例	(136)
第六章 习题解答	(143)
第七章 热力学基础	(153)
一、基本要求	(153)
二、重点和难点	(153)
三、基本概念和规律	(153)
四、解题示例	(157)
第七章 习题解答	(165)
第八章 真空中的静电场	(179)
一、基本要求	(179)
二、重点和难点	(179)
三、基本概念和规律	(179)
四、解题示例	(183)
第八章 习题解答	(191)
第九章 导体和电介质中的静电场	(223)

一、基本要求	(223)
二、重点和难点	(223)
三、基本概念和规律	(224)
四、解题示例	(227)
第九章 习题解答	(235)
第十章 恒定电流和恒定电场	(257)
一、基本要求	(257)
二、重点和难点	(257)
三、基本概念和规律	(257)
四、解题示例	(260)
第十章 习题解答	(265)
第十一章 真空中的恒定磁场	(280)
一、基本要求	(280)
二、重点和难点	(280)
三、基本概念和规律	(281)
四、解题示例	(283)
第十一章 习题解答	(292)
第十二章 磁介质中的磁场	(317)
一、基本要求	(317)
二、重点和难点	(317)
三、基本概念和规律	(317)
四、解题示例	(319)
第十二章 习题解答	(324)
第十三章 电磁感应和暂态过程	(333)
一、基本要求	(333)
二、重点和难点	(333)
三、基本概念和规律	(334)
四、解题示例	(336)

第十三章 习题解答	(343)
第十四章 麦克斯韦方程组 电磁场	(359)
一、基本要求	(359)
二、重点和难点	(359)
三、基本概念和规律	(359)
四、解题示例	(360)
第十四章 习题解答	(363)
第十五章 机械振动和电磁振荡	(368)
一、基本要求	(368)
二、重点和难点	(368)
三、基本概念和规律	(369)
四、解题示例	(372)
第十五章 习题解答	(381)
第十六章 机械波和电磁波	(407)
一、基本要求	(407)
二、重点和难点	(407)
三、基本概念和规律	(408)
四、解题示例	(412)
第十六章 习题解答	(419)
第十七章 波动光学	(440)
一、基本要求	(440)
二、重点和难点	(440)
三、基本概念和规律	(441)
四、解题示例	(445)
第十七章 习题解答	(451)
第十八章 早期量子论和量子力学基础	(477)
一、基本要求	(477)
二、重点和难点	(477)

三、基本概念和规律	(478)
四、解题示例	(484)
第十八章 习题解答	(487)
第十九章 激光和固体的量子理论	(511)
一、基本要求	(511)
二、基本概念和规律	(511)
三、解题示例	(513)
第十九章 习题解答	(515)
第二十章 原子核物理和粒子物理简介	(519)
一、基本要求	(519)
二、基本概念和规律	(519)
三、解题示例	(521)
第二十章 习题解答	(524)

第一章 质点的运动

一、基本要求

1. 掌握描述质点运动的四个基本物理量——位矢、位移、速度和加速度,明确它们的相对性、瞬时性、矢量性和独立性.
2. 熟练掌握求解质点运动学中的两类问题,即由运动方程求速度、加速度和由速度或加速度求运动方程.
3. 掌握用角量表示的圆周运动基本规律及角量与线量的关系,能熟练计算质点的角速度、角加速度以及切向加速度和法向加速度.
4. 理解伽利略相对性原理,理解伽利略坐标、速度变换.

二、重点和难点

1. 重点

- (1) 描述质点运动及运动变化的四个基本物理量——位矢、位移、速度、加速度及其有关计算.
- (2) 描述质点运动及运动变化的基本规律及其有关计算.

2. 难点

- (1) 速度、加速度的矢量性和相对性及其在具体问题中的应用.
- (2) 由速度或加速度及初始条件求运动方程.

三、基本概念和规律

1. 描述质点运动的基本物理量

(1) 位矢(位置矢量)——位矢是由坐标原点 O 指向质点所

在点 P 的有向线段 $\vec{r} = \overrightarrow{OP}$. 位矢是描述质点位置的物理量.

位矢在直角坐标系中的表示式

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

运动方程——位置矢量随时间变化的关系式即运动方程

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

运动方程在直角坐标系中的表示式

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

其分量式为

$$x = x(t) \quad y = y(t) \quad z = z(t)$$

(2) 位移——位移是描述质点位置变化的物理量, 方向是由初位置指向末位置(如图 1-1), 即

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

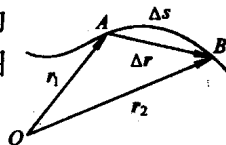


图 1-1

位移在直角坐标系中的表示式

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

注意: 一般情况下 $|\Delta \vec{r}| \neq \Delta r$, 但 $ds = |d\vec{r}|$.

(3) 速度——描述质点位置变化快慢的物理量.

平均速度

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

速度(瞬时速度)

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

平均速率

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

速率(瞬时速率)

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

速度在直角坐标系中的表示式

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

注意:一般情况下 $|\mathbf{v}| \neq \frac{dr}{dt}$, 但 $|\mathbf{v}| = v$.

(4) 加速度——描述质点速度变化快慢的物理量.

平均加速度

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

加速度(瞬时加速度)

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}$$

加速度在直角坐标系中的表示式

$$\mathbf{a} = \frac{dv}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k}$$

加速度在自然坐标系中的表示式

切向加速度

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

法向加速度

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

总加速度

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t = \frac{v^2}{\rho}\mathbf{e}_n + \frac{dv}{dt}\mathbf{e}_t$$

注意:一般情况下因 $|\Delta v| \neq \Delta v$, 所以 $|a| \neq \frac{dv}{dt}$.

2. 圆周运动

(1) 角坐标(角位置)——描述质点位置的物理量, 用 θ 表示.

(2) 角位移——描述质点角位置变化的物理量.

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

(3) 角速度——描述质点角位置变化快慢的物理量.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

(4) 角加速度——描述质点角速度变化快慢的物理量.

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

(5) 角量与线量的关系

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

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

3. 运动学求解的两类问题及解题方法

第一类问题: 由已知质点的运动方程求质点的速度和加速度——用求导法;

第二类问题: 由已知质点的速度或加速度及初始条件, 求质点的运动方程——用积分法.

4. 相对运动

质点 A 相对静止坐标系 K 的速度为 v_{AK} , 相对运动坐标系 K' 的速度为 $v_{AK'}$, K' 系相对 K 系的平动速度为 $v_{K'K}$, 则

$$v_{AK} = v_{AK'} + v_{K'K}$$

上式称为速度变换公式. 式中 v_{AK} 叫做绝对速度; $v_{AK'}$ 叫做相对速度; $v_{K'K}$ 叫做牵连速度.

加速度变换公式

$$\mathbf{a}_{AK} = \mathbf{a}_{AK'} + \mathbf{a}_{K'K}$$

式中 $\mathbf{a}_{AK}$ 叫做绝对加速度; $\mathbf{a}_{AK'}$ 叫做相对加速度; $\mathbf{a}_{K'K}$ 叫做牵连加速度.

四、解题示例

[例题 1-1] 已知质点的运动方程为 $\mathbf{r} = 2t\mathbf{i} + (19 - 2t^2)\mathbf{j}$, 式中 r 以米计, t 以秒计, 试求: (1) 轨道方程; (2) $t = 1$ s 时质点的速度和加速度; (3) 何时质点位矢与速度矢量垂直?

解 (1) 因 $x = 2t$ $y = 19 - 2t^2$, 消去时间 t 得轨道方程

$$y = 19 - \frac{1}{2}x^2$$

(2) 对运动方程求导, 得到任意时刻的速度

$$\mathbf{v} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} = 2\mathbf{i} - 4t\mathbf{j}$$

对速度求导, 得到任意时刻的加速度

$$\mathbf{a} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} = -4\mathbf{j}$$

$$t = 1 \text{ s 时} \quad \mathbf{v} = 2\mathbf{i} - 4\mathbf{j} \quad \mathbf{a} = -4\mathbf{j}$$

或速度大小

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{2^2 + (-4)^2} = 4.47 \text{ m/s}$$

速度方向与 x 轴夹角

$$\theta = \arctan\left(\frac{v_y}{v_x}\right) = \arctan \frac{-4}{2} = -63^\circ 26'$$

加速度大小

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{0 + (-4)^2} = 4 \text{ m/s}^2$$

加速度方向与 y 轴正方向相反.

(3) 质点位矢与速度矢量垂直的条件为

$$\mathbf{r} \cdot \mathbf{v} = 0$$

由 $\mathbf{r} \cdot \mathbf{v} = (x\mathbf{i} + y\mathbf{j}) \cdot (v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j}) = xv_x + yv_y = -72t + 8t^3 = 0$
解得 $t = 0, \pm 3 \text{ s}$. 将 $t = -3 \text{ s}$ 舍去, 所以质点位矢与速度矢量在 $t = 0$ 和 $t = 3 \text{ s}$ 时相互垂直.

简注: 此例是一个典型的运动学第一类问题, 即由已知的运动方程求速度和加速度.

【例题 1-2】 一质点沿半径为 R 的圆周按 $s = v_0 t - \frac{1}{2}bt^2$ 规律运动, v_0, b 是正值常数.

试求(1) t 时刻质点的加速度; (2) t 为何值时加速度的大小等于 b ; (3) 当加速度达到 b 时, 质点已沿圆周运行了多少周?

解 (1) 根据题意, 质点做圆周运动的速率为

$$v = \frac{ds}{dt} = v_0 - bt$$

在自然坐标系中, 其加速度的切向分量和法向分量分别为

$$a_t = \frac{dv}{dt} = -b \quad a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(v_0 - bt)^2}{R}$$

所以
$$\mathbf{a} = -be_t + \frac{(v_0 - bt)^2}{R}e_n$$

(2) 由 $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{b^2 + \frac{(v_0 - bt)^4}{R^2}} = b$ 得

$$t = \frac{v_0}{b}$$

(3) 在时间 t 内质点运行的路程为

$$s = v_0 t - \frac{1}{2}bt^2 = \frac{v_0^2}{2b}$$

所以质点运行的总圈数为

$$n = \frac{s}{2\pi R} = \frac{v_0^2}{4\pi Rb}$$

简注: 此例是在自然坐标系中求解运动学第一类问题.

[例题 1-3] 已知一质点由静止出发, 它的加速度为 $a = 10ti + 15t^2j$, 试求 $t = 2\text{ s}$ 时质点的速度和位置.

解 取质点的出发点为坐标原点, 由题意可知

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 10t \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = 15t^2 \quad ①$$

对①式积分, 并代入初始条件 $t = 0$ 时, $v_{0x} = v_{0y} = 0$ 得

$$v_x = \int_0^t a_x dt = \int_0^t 10t dt = 5t^2$$

$$v_y = \int_0^t a_y dt = \int_0^t 15t^2 dt = 5t^3$$

即
$$\mathbf{v} = 5t^2\mathbf{i} + 5t^3\mathbf{j}$$

$t = 2\text{ s}$ 时质点的速度为
$$\mathbf{v} = 20\mathbf{i} + 40\mathbf{j}$$

又因

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 5t^2 \quad v_y = \frac{dy}{dt} = 5t^3 \quad ②$$

对②式积分, 并代入初始条件 $t = 0$ 时, $x_0 = y_0 = 0$ 得

$$x = \int_0^t v_x dt = \int_0^t 5t^2 dt = \frac{5}{3}t^3$$

$$y = \int_0^t v_y dt = \int_0^t 5t^3 dt = \frac{5}{4}t^4$$

即
$$\mathbf{r} = \frac{5}{3}t^3\mathbf{i} + \frac{5}{4}t^4\mathbf{j}$$

$t = 2\text{ s}$ 时质点的位置为

$$\mathbf{r} = \frac{40}{3}\mathbf{i} + 20\mathbf{j}$$

简注: 本题属于求解质点运动学的第二类问题, 已知质点的加速度, 求解质点的速度及位置(或运动方程).

[例题 1-4] 一质点做一维运动, 其加速度为 $a = -kx$, k 为正值常数. 已知 $t = 0$ 时质点瞬时静止于 $x = x_0$ 处, 求质点的运动规律.