



世纪普通高等教育基础课规划教材

大学物理全程辅导与 思考题、习题详解

王 婕 张宝金 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪普通高等教育基础课规划教材

大学物理

全程辅导与思考题、习题详解

主 编	王 婕	张宝金
副主编	谭金凤	刘桂媛
参 编	赵丽萍	李红艳
	蔡传锦	庞岩涛
	张 剑	等



机械工业出版社

本书是与赵丽萍、李红艳主编的《大学物理学》配套的教学辅导书。本书每章内容共分两部分：全程辅导部分将每章的大学物理基本内容进行了系统的归纳总结和高度概括，该部分内容由“基本要求、知识框架、知识要点、基本概念及规律、解题指导及解题示例”五项组成；思考题、习题详解部分则是对主教材中的全部思考题、习题进行了尽可能详细的解答。

本书可作为高等理工科院校学生学习大学物理的学习参考书，也可作为成教学院学生及自学者预习和复习大学物理的指导用书，对从事大学物理教学的教师亦有参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理全程辅导与思考题、习题详解/王婕, 张宝金主编. —北京: 机械工业出版社, 2010. 2

21 世纪普通高等教育基础课规划教材

ISBN 978-7-111-29059-9

I. 大… II. ①王…②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 (2009) 第 235621 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张金奎 责任编辑: 张金奎 版式设计: 张世琴

封面设计: 马精明 责任校对: 李秋荣 责任印制: 乔宇

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2010 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

170mm × 227mm · 23.5 印张 · 430 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-29059-9

定价: 29.90 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

大学物理是高等理工院校学生的重要必修课之一，它在培养基础扎实且有创新能力的高素质科技人才的过程中具有重要的作用和深远的意义。

本书是与赵丽萍、李红艳主编的《大学物理学》配套的教学辅导书，编写此书的目的是希望借此能在学生的学习过程中发挥指导作用，帮助他们掌握和理解基本概念，学会分析问题及树立正确的解题思路。本书每章内容共分两大板块：全程辅导部分和思考题、习题详解部分。全程辅导部分将大学物理的基本内容进行了系统的归纳总结和高度概括。该部分每章均由基本要求、知识框架、知识要点、基本概念及规律、解题指导及解题示例五项组成。“基本要求”要求具体，基于教学大纲，列出各章需了解、理解和熟练掌握的主要内容，以便学生能够明确学习目标并具体掌握。“知识框架”以图表的形式贯穿了各节知识网络，提纲挈领，统领全章，有利于学生对本章所学知识的基本内容及结构脉络有一个纲领性认识，从诸多内容中找出关联以建立系统直观的知识脉络，便于理解、掌握和记忆，同时也方便学生复习使用。“知识要点”重、难点清晰，可以使学生对该部分给予足够的重视。“基本概念及规律”列出了各章节的基本概念、基本定律和定理以及基本公式，旨在帮助学生归纳所学知识，尤其是在准备复习应考时抓住重点。“解题指导及解题示例”着眼基础，意在引导，所选例题内容覆盖各教学要点，注重题目的内容、题型、解法三方面的典型性和综合性，解题方法突出启发性、灵活性和多样性，目的在于引导学生掌握正确的解题方法和技巧。思考题、习题详解部分则是对主教材中的全部思考题、习题进行了尽可能详细的解答。

本书由王婕、张宝金任主编，谭金凤、刘桂媛任副主编。参加本书编写工作的还有：赵丽萍、李红艳、蔡传锦、庞岩涛、张剑等。全书由王婕统稿，张宝金对全书校审。

由于编者水平有限，难免有错误和不妥之处，恳请读者、同行和专家不吝赐教。

编 者

2009年10月

参 考 文 献

- [1] 赵丽萍, 王婕. 物理学学习指南与思考题、习题全解 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [2] 毛骏健, 顾牡. 大学物理学习题分析与题解 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [3] 程守洙, 江之永. 普通物理学 [M]. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [4] 王飞. 普通物理学同步辅导 [M]. 北京: 新华出版社, 2006.
- [5] 崔觉梅, 成城, 王晓颖. 大学物理学习指导 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [6] 胡亚联, 余仕成. 大学物理学习指导 [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2006.
- [7] 黄海清, 张孟, 等. 物理学导教·导学·导考 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2007.

目 录

前言

第 1 章 质点运动学	1
全程辅导	1
一、基本要求	1
二、知识框架	2
三、知识要点	2
四、基本概念及规律	3
五、解题指导及解题示例	5
思考题解答	10
习题解答	13
第 2 章 质点动力学	22
全程辅导	22
一、基本要求	22
二、知识框架	23
三、知识要点	24
四、基本概念及规律	24
五、解题指导及解题示例	30
思考题解答	38
习题解答	45
第 3 章 刚体的转动	60
全程辅导	60
一、基本要求	60
二、知识框架	61
三、知识要点	61

四、基本概念及规律	62
五、解题指导及解题示例	65
思考题解答	70
习题解答	73
第 4 章 相对论基础	85
全程辅导	85
一、基本要求	85
二、知识框架	86
三、知识要点	86
四、基本概念及规律	87
五、解题指导及解题示例	89
思考题解答	94
习题解答	100
第 5 章 真空中的静电场	108
全程辅导	108
一、基本要求	108
二、知识框架	108
三、知识要点	109
四、基本概念及规律	109
五、解题指导及解题示例	111
思考题解答	116
习题解答	119
第 6 章 静电场中全程辅导的导体和电介质	134
全程辅导	134
一、基本要求	134
二、知识框架	135
三、知识要点	135
四、基本概念及规律	136
五、解题指导及解题示例	137
思考题解答	144

习题解答	150
第 7 章 恒定磁场	163
全程辅导	163
一、基本要求	163
二、知识框架	164
三、知识要点	165
四、基本概念和规律	165
五、解题指导及解题示例	171
思考题解答	179
习题解答	182
第 8 章 电磁感应 电磁场	194
全程辅导	194
一、基本要求	194
二、知识框架	195
三、知识要点	195
四、基本概念及规律	196
五、解题指导及解题示例	200
思考题解答	207
习题解答	211
第 9 章 气体动理论	224
全程辅导	224
一、基本要求	224
二、知识框架	225
三、知识要点	225
四、基本概念及规律	226
五、解题指导及解题示例	227
思考题解答	232
习题解答	237

第 10 章 热力学基础	243
全程辅导	243
一、基本要求	243
二、知识框架	244
三、知识要点	244
四、基本概念及规律	245
五、解题指导及解题示例	248
思考题解答	255
习题解答	259
第 11 章 振动	268
全程辅导	268
一、基本要求	268
二、知识框架	269
三、知识要点	269
四、基本概念及规律	269
五、解题指导及解题示例	274
思考题解答	280
习题解答	283
第 12 章 波动	293
全程辅导	293
一、基本要求	293
二、知识框架	294
三、知识要点	295
四、基本概念及规律	295
五、解题指导及解题示例	299
思考题解答	304
习题解答	307
第 13 章 波动光学	318
全程辅导	318

一、基本要求	318
二、知识框架	319
三、知识要点	320
四、基本概念及规律	321
五、解题指导及解题示例	324
思考题解答	329
习题解答	334
第 14 章 量子物理	344
全程辅导	344
一、基本要求	344
二、知识框架	344
三、知识要点	345
四、基本概念及规律	345
五、解题指导及解题示例	350
思考题解答	352
习题解答	358
参考文献	366

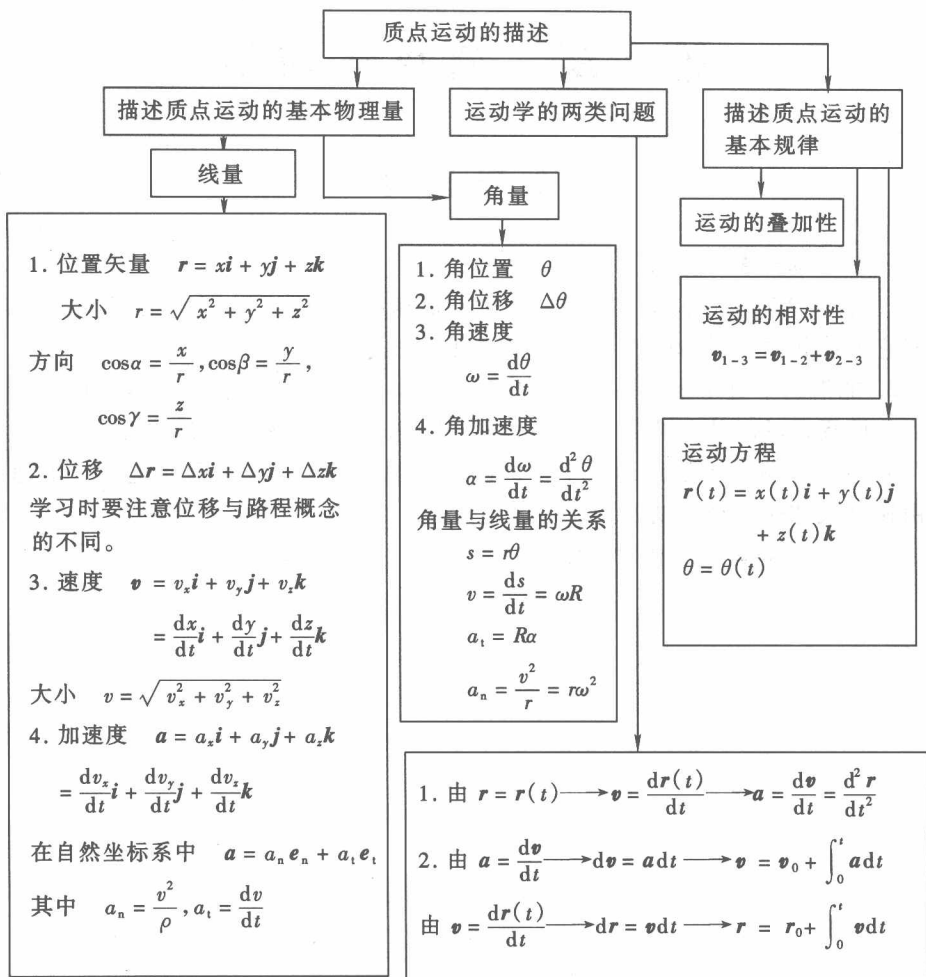
第1章 质点运动学

全程辅导

一、基本要求

1. 熟练掌握位置矢量、位移、速度和加速度等描述质点运动的基本物理量，明确它们的相对性、瞬时性、矢量性和独立性。
2. 能借助于直角坐标系在平面内运动时的速度、加速度及自然坐标系计算质点作圆周运动时的角速度、角加速度以及切向加速度和法向加速度。
3. 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结合初始条件求运动方程。
4. 了解相对运动和相对速度。

二、知识框架



三、知识要点

1. 重点

(1) 位置矢量、位移、速度和加速度的概念；变速直线运动、变速圆周运动的规律。

(2) 运用直角坐标系和自然坐标系解决运动学两类问题。

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) 运用高等数学的微积分手段解决运动学两类问题。

四、基本概念及规律

1. 描述质点运动的基本物理量

(1) 位矢 (位置矢量) $\mathbf{r}$ 位矢是描述质点位置的物理量, 它是从所选定的坐标原点指向质点所在位置的有向线段, 是矢量, 具有方向性; 当质点运动时, 在不同时刻, 其位矢不同, 具有瞬时性; 选取不同的坐标系, 位矢不仅大小不同, 方向也不同, 具有相对性。位矢在直角坐标系中的表示式

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

运动方程, 即位置矢量随时间变化的关系式

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

运动方程在直角坐标系中的表示式

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

式中, $x(t)$ 、 $y(t)$ 、 $z(t)$ 表示质点在 x 、 y 、 z 轴方向的运动。

(2) 位移 $\Delta\mathbf{r}$ 位移是描述质点位置变化大小和方向的物理量, 它是从质点初始时刻位置指向终点时刻位置的有向线段, 如图 1-1 所示, 即

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A$$

位移在直角坐标系中的表示式

$$\Delta\mathbf{r} = (x_B - x_A)\mathbf{i} + (y_B - y_A)\mathbf{j} + (z_B - z_A)\mathbf{k}$$

注意位移与路程的区别, 路程是质点在空间运动轨迹的长度, 是标量, 用 Δs 表示。一般情况下, 位移的大小并不等于路程, 只有质点始终沿某一方向作直线运动, 它们才相等。另外, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}s$ 。

还要注意 $|\Delta\mathbf{r}|$ 与 Δr 的区别, 在图 1-1 中的线段 OB 上取 $OA' = OA$, $A'B$ 的大小为 $\Delta r = r_B - r_A$, 表示质点离开坐标原点距离的变化, 它与位移的大小 $|\Delta\mathbf{r}|$ 是两个不同的概念。

(3) 速度 $\mathbf{v}$ 速度是描述质点位置变化快慢和方向的物理量, 是矢量。速率是描述质点运动路程随时间变化快慢和方向的物理量, 是标量。

平均速度

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t}$$

速度 (瞬时速度)

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}t}$$

速度在直角坐标系中的表示式

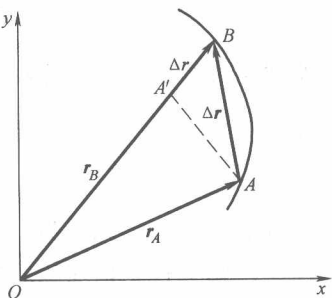


图 1-1

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

注意：瞬时速度的大小不等于瞬时速率，平均速度的大小不等于平均速率。
速度在自然坐标系中的表示式

$$\boldsymbol{v} = \frac{dv}{dt} \boldsymbol{e}_t$$

(4) 加速度 $\boldsymbol{a}$ 加速度是描述质点速度变化快慢和方向的物理量，是矢量。
平均加速度

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$$

加速度（瞬时加速度）

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

加速度在直角坐标系中的表示式

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

加速度在自然坐标系中的表示式

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

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

$$s = r\theta$$

$$v = \frac{ds}{dt} = r\omega$$

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

$$a_n = \frac{v^2}{R} = r\omega^2$$

3. 相对运动 设质点相对静止坐标系 S 的速度为 $\boldsymbol{v}$, 相对运动坐标系 S' 的速度为 $\boldsymbol{v}'$, S' 系相对 S 系的平动速度为 $\boldsymbol{u}$, 则

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

上式称为速度变换公式。式中, $\boldsymbol{v}$ 叫做绝对速度; $\boldsymbol{v}'$ 叫做相对速度; $\boldsymbol{u}$ 叫做牵连速度。

五、解题指导及解题示例

(1) 质点运动学的习题有两种基本类型, 一是由已知的运动方程 $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$ 求速度和加速度, 对这类问题只需按运动方程对时间 t 求导即可; 二是由已知质点的速度或加速度表达式及初始条件, 求质点的运动方程, 这类问题的解决比前类问题难度稍大。

(A) 已知 $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}(t)$ 及初始 t_0 时刻的条件 $\boldsymbol{v}_0$ 和 $\boldsymbol{r}_0$, 则可用积分法求解。

(B) 对某些一维运动 $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}(x)$ 或 $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}(\boldsymbol{v})$, 求 $\boldsymbol{v}(x)$ 或 $\boldsymbol{v}(t)$, 则先要对微分方程进行分离变量或变量代换, 再利用积分方法解出相应物理量。

(2) 本章中所涉及到的物理量大部分是矢量, 求解时可以通过建立适当的坐标系, 如直角坐标系, 将一个矢量方程写成一个或几个投影方程, 即把矢量计算转换成代数计算, 使问题得以简化。

例 1-1 已知质点的运动方程为 $\boldsymbol{r} = 2t\boldsymbol{i} + (19 - 2t^2)\boldsymbol{j}$, 式中 r 以 m 计, t 以 s 计, 试求: (1) 轨道方程; (2) $t = 1\text{s}$ 时质点的速度和加速度。

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

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

对速度求导, 得到任意时刻的加速度

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

$t = 1\text{s}$ 时

$$\boldsymbol{v} = 2\boldsymbol{i} - 4\boldsymbol{j} \quad \boldsymbol{a} = -4\boldsymbol{j}$$

速度大小

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

速度方向与 x 轴夹角

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

加速度大小

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

加速度方向与 y 轴正方向相反。

简注 本题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。在求解中要注意矢量符号的正确写法。

例 1-2 一匀质圆盘，半径 $R = 1 \text{ m}$ ，绕通过圆心垂直盘面的固定竖直轴转动。 $t = 0$ 时， $\omega_0 = 0$ ，其角加速度按 $\alpha = t/2$ 的规律变化。问 t 为何值时圆盘边缘某点的加速度与半径成 45° 角？

解 由 $\frac{d\omega}{dt} = \alpha$ 可求出质点作圆周运动的角速度，即

$$\int_0^\omega d\omega = \int_0^t \frac{t}{2} dt$$

$$\omega = \frac{t^2}{4}$$

在自然坐标系中，质点法向加速度和切向加速度分别为

$$a_n = R\omega^2 = \frac{Rt^4}{16}$$

$$a_t = R\alpha = \frac{Rt}{2}$$

圆盘边缘某点的加速度与半径成 45° 角时，即 $a_n = a_t$ ，所以

$$t = 2 \text{ s}$$

简注 此例是在自然坐标系中求解运动学第二类问题的题目，并运用了线量与角量之间的关系。

例 1-3 已知一质点由静止出发，它的加速度为 $\boldsymbol{a} = 10t\boldsymbol{i} + 15t^2\boldsymbol{j}$ ，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

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 10t$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = 15t^2$$

对上式分别积分，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

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

将 $t = 2\text{s}$ 代入上式得

$$\boldsymbol{v} = 20\boldsymbol{i} + 40\boldsymbol{j}$$

又因为

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 5t^2$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = 5t^3$$

同样对上式积分, 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

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

将 $t = 2\text{s}$ 代入上式得

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

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

例 1-4 在质点运动中, 已知 $x = ae^{kt}$, $\frac{dy}{dt} = -bke^{-kt}$, $t=0$ 时, $y=b$ 。求质点的加速度和轨道方程。

解 由 $x = ae^{kt}$, 得 x 方向的速度、加速度分别为

$$v_x = \frac{dx}{dt} = ake^{kt}$$

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = ak^2e^{kt}$$

由 $\frac{dy}{dt} = -bke^{-kt}$, 得 y 方向的加速度以及运动方程分别为

$$a_y = \frac{d^2y}{dt^2} = bk^2e^{-kt}$$

$$\int_b^y dy = \int_0^t -bke^{-kt} dt$$