

21 世纪高等学校辅导教材

大学物理学

解题方法与复习备考

主 编 黄伯坚

编 者 黄伯坚 赵新寰 黄于篮

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学解题方法与复习备考/黄伯坚 主编
武汉:华中科技大学出版社,2002年8月
ISBN 7-5609-2720-3

I. 大…

II. ①黄… ②赵… ③黄…

III. 大学物理-高等学校-教学参考资料

IV. O4

大学物理学解题方法与复习备考

黄伯坚 主编

责任编辑:周芬娜

封面设计:潘群

责任校对:蔡晓瑚

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华大文印中心

印 刷:湖北恒吉印务有限公司

开本:850×1168 1/32

印张:11.625

字数:280 000

版次:2002年8月第1版

印次:2002年8月第1次印刷

印数:1—6 000

ISBN 7-5609-2720-3/O·261

定价:15.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书为大学物理学的辅导教材。其编写思路是由解题方法归类入手从而达到学方法以增强能力；又在大学物理基本要求及其重难点分析基础上精选试卷并附其解以应对考试。

全书分为三个部分。第一部分是大学物理内容提要及重难点。第二部分是解题方法与典型示例，将大学物理中的解题方法进行归纳、总结，方法共分为九类，并配以典型例题。这些例题均是从方法角度选出的，大多可达到举一反三的目的。第三部分是试卷及其解答。试卷题大多选自清华题库，第一学期五套，第二学期五套，具有较强的实战价值。

从解题方法入手的大学物理参考书，国内外还少见。试题难易程度跨度也较大。因此本书可作为各类不同层次的工科院校、电视大学、自考、网络、成教等的物理课程的辅导教材，也可作考研复习用书，还可供其他相关人员参考。

前 言

授人以鱼,不如授人以渔。本着这个目的编写了此书。

在当前的高等教育中,虽然强调素质教育、强调能力培养的呼声很高,但由于知识的快速膨胀以及本科教学中有限学时的制约,全面推进素质教育的任务仍十分艰巨。如果没有一些有效的方法,没有一些创新,很难期望较快地取得实质性的进展。

大学物理学的习题运算是物理教学以及考查中必不可少的内容。随着学科的发展,不少新的联系实际的问题以及反映当代物理内容的题目已进入课本。有些新近教材的习题与思考题已经过千,而题库里的题更是数目庞大。不过,题目的扩张虽然是无限的,但解决它们的方法应是有限的,也许这就是解决问题的一种途径。

本书正是从方法入手的一本书。它将散见于大学物理各部分内容中的各种处理方法归纳、整理、归类。为适应发展,将有巨大潜力的计算机解题也列入其中。此外,书中精选数套试卷,它是不少学校考查学生通常采用的形式。编者希望这种组合,能对增强学生能力和减轻学生负担起到较好作用。

由于编者水平有限,方法的归类也还是一种尝试,因而难免有不恰当甚至差错之处。敬请读者不吝指正。

编 者

2002年6月

2002/6/10

目 录

I 内容提要及重难点

一、质点运动学	(1)
二、质点动力学	(1)
三、刚体的转动	(3)
四、狭义相对论基础	(4)
五、气体动理论	(5)
六、热力学基础	(6)
七、静电学	(7)
八、稳恒磁场	(8)
九、电磁感应	(9)
十、电磁场的普遍规律	(11)
十一、振动学基础	(11)
十二、机械波	(12)
十三、电磁振荡与电磁波	(13)
十四、光波的干涉	(14)
十五、光波的衍射	(14)
十六、光波的偏振	(15)
十七、光的量子性	(16)
十八、原子的量子理论	(17)
十九、激光、半导体与专题	(18)

II 解题方法与典型示例

一、定义法	(20)
二、微元积分法	(41)
三、叠加法	(57)

四、对称及对称补偿法	(75)
五、守恒定律应用	(93)
六、近似法	(109)
七、变换法	(126)
八、约束条件应用	(140)
九、计算机数值计算方法	(151)

III 试卷实例及解答

一、试卷	(177)
试卷 1	(177)
试卷 2	(188)
试卷 3	(189)
试卷 4	(195)
试卷 5	(200)
试卷 6	(205)
试卷 7	(212)
试卷 8	(217)
试卷 9	(223)
试卷 10	(228)
二、解答	(234)
试卷 1	(234)
试卷 2	(247)
试卷 3	(261)
试卷 4	(276)
试卷 5	(289)
试卷 6	(302)
试卷 7	(315)
试卷 8	(325)
试卷 9	(338)
试卷 10	(352)

一、质点运动学

1. 主要概念

质点 参照系 位置矢量 位移 速度 加速度

2. 基本内容

① 运动描述

$$\mathbf{r}(t), \quad \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}, \quad \mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \int_{t_0}^t \mathbf{v} dt, \quad \mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \int_{t_0}^t \mathbf{a} dt$$

直角坐标

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

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

自然坐标

$$\mathbf{a} = a_n\hat{\mathbf{n}} + a_t\hat{\mathbf{t}} = \frac{v^2}{R}\hat{\mathbf{n}} + \frac{dv}{dt}\hat{\mathbf{t}}$$

② 相对运动

$$\mathbf{v}_{AC} = \mathbf{v}_{AB} + \mathbf{v}_{BC}, \quad \mathbf{a}_{AC} = \mathbf{a}_{AB} + \mathbf{a}_{BC}$$

3. 重难点

① 重点 位矢、位移、速度、加速度概念及其微分与积分运算。

② 难点 积分运算中正确应用初始条件及选用合适变量；正确选择恰当的参照系；对相对运动问题作出准确的矢量图。

二、质点动力学

1. 主要概念

惯性 力 质量 惯性力 动量 冲量 力矩 角动量
冲量矩 功 能(动能、势能和机械能) 保守力

2. 基本内容

① 牛顿三定律。第二定律 $F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt}$

② 动量定理 $p - p_0 = \int_{t_0}^t F dt$

动量守恒定律

当 $F=0$ 时, $p=mv$ = 恒矢量

③ 角动量定理 $L - L_0 = \int_{t_0}^t \tau dt$

角动量守恒定律

当 $\tau = r \times F = 0$ 时, $L = r \times p$ = 恒矢量

④ 动能定理

$$A_{\text{外}} + A_{\text{内}} = E_{k_2} - E_{k_1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

功能原理 $A_{\text{外}} + A_{\text{非保守内力}} = E_2 - E_1$

机械能守恒定律

当 $A_{\text{外}} + A_{\text{非保守内力}} = 0$ 时, $E = E_k + E_p$ = 恒量

3. 重难点

① 重点 应用牛顿运动定律比较熟练地处理微分与积分两类质点动力学简单问题;三定理(动量定理、角动量定理、动能定理),一原理(功能原理),三守恒定律(动量守恒定律、角动量守恒定律、机械能守恒定律),并用以较熟练处理简单力学问题。

注意:选择恰当的坐标系;冲量的方向;应用守恒定律时的系统;变力功中的元功表示;势能的零点选取。

② 难点 准确的受力分析;非惯性系中应用惯性力求解质点力学问题;质量流动问题;角动量、力矩矢量性的掌握;综合问题中定理、定律的应用。

三、刚体的转动

1. 主要概念

刚体 平动 转动 定轴转动 角位移 角速度 角加速度
质心 转动惯量 转动动能 进动

2. 基本内容

① 质心运动定律 $F_{\text{外}} = m \frac{dv_c}{dt}$

② 定轴转动定律 $\tau = J \frac{d\omega}{dt} = J\beta$

③ 角动量定理与角动量守恒定律

$$\int_{t_0}^t \tau dt = L - L_0 = J\omega - J_0\omega_0$$

当 $\tau=0$ 时, 有 $L=J\omega=\text{恒矢量}$

④ 动能定理与机械能守恒定律

$$A = \int_{\theta_0}^{\theta} \tau d\theta = \frac{1}{2}J\omega^2 - \frac{1}{2}J\omega_0^2 = E_k - E_{k_0}$$

只有保守内力做功时, 系统机械能守恒, 即

$$mgy_c + \frac{1}{2}J_c\omega^2 + \frac{1}{2}mv_c^2 = \text{恒量}$$

3. 重难点

① 重点 转动惯量的理解; 定轴转动定律; 两定理(角动量定理、动能定理)、两守恒定律(角动量守恒定律、机械能守恒定律)。

注意: 对滑轮问题, 中学课本中忽略滑轮质量, 转动时两边绳中张力相等; 大学课本中考虑滑轮质量, 转动时两边张力不等; 定轴转动物体如转轴不通过质心, 动能表示有两种形式: 对转轴或者随质心平动+绕过质心轴的转动。

② 难点 突破中学的思维定式; 匀角速度转动参照系是非惯性系, 对定轴转动盘有相对运动问题; 进动。

四、狭义相对论基础

1. 主要概念

狭义相对性原理 光速不变原理 洛伦兹变换 同时性的相对性 固有长度 长度收缩 固有时间 时间膨胀 相对论质量 相对论动量 相对论动能

2. 基本内容

① 洛伦兹变换式

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

② 速度合成公式

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}, \quad u'_y = \frac{u_y \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}, \quad u'_z = \frac{u_z \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}$$

③ 时间间隔的相对性: 固有时间最短

$$\Delta t = \Delta t' / \sqrt{1 - v^2/c^2} = \Delta \tau / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

④ 长度的相对性: 固有长度最长

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

⑤ 质速、质能关系

$$E = mc^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} c^2$$

⑥ 动能、静能

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2$$

⑦ 能量与动量

$$p = mu, \quad E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

3. 重难点

① 重点 洛伦兹变换及由它导出的时间膨胀、长度收缩、速度变换公式; 质速、质能、动能、能量与动量关系式。

② 难点 对光速不变原理的理解; 正确地将事件用时空坐标表示, 从而进行洛伦兹变换。

五、气体动理论

1. 主要概念

热力学系统 微观量 宏观量 平衡态 状态参量 压强
体积 温度 内能 能均分 状态方程 准静态过程 几率
几率密度 速率分布函数 玻耳兹曼分布 平均自由程 输运

2. 基本内容

① 理想气体状态方程 $pV = \frac{M}{\mu} RT$

② 分子平均平动动能、温度、压强公式

$$\bar{\epsilon}_t = \frac{3}{2} kT, \quad p = \frac{2}{3} n \bar{\epsilon}_t = nkT$$

③ 能均分定理、理想气体内能

$$\text{每个自由度 } \frac{1}{2} kT$$

$$E = N \bar{\epsilon} = N \frac{i}{2} kT = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} RT$$

④ 速率分布函数 $f(v) = \frac{dN}{N dv}$

三种速率

$$v_p \approx 1.41 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}, \quad \bar{v} \approx 1.60 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}, \quad \sqrt{\bar{v}^2} \approx 1.73 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$$

⑤ 平均自由程 $\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 p}$

平均碰撞频率

$$\bar{z} = \frac{\bar{v}}{\bar{\lambda}}$$

3. 重难点

① 重点 理想气体状态方程、压强公式、内能公式的应用; 速

率分布函数 $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$ 的物理意义及其简单应用。

注意刚性分子单原子、双原子等的 i 。

② 难点 平衡状态下分子系统的统计规律的物理意义:从比率和概率两方面解释;由麦克斯韦速率分布函数进行相关计算。

六、热力学基础

1. 主要概念

功(体积功) 热量 热容 热力学过程(等值、绝热) 循环热机 循环效率 卡诺循环 致冷系数 不可逆过程 熵

2. 基本内容

① 热力学第一定律(能量守恒)

$$Q = \Delta E + A, \quad dQ = dE + dA$$

② 功和热量

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV, \quad Q = \int_{T_1}^{T_2} C dT$$

③ 绝热过程

$$pV^\gamma = \text{恒量}$$

④ 热机效率

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \xrightarrow{\text{卡诺循环}} 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

⑤ 致冷机

$$w = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \xrightarrow{\text{卡诺机}} \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

⑥ 热力学第二定律 与热现象有关的自然宏观过程都是不可逆的。

克劳修斯熵公式

$$dQ = TdS, \quad S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

3. 重难点

① 重点 热力学第一定律的应用:用于等值过程、绝热过程、

循环过程以及热机(冷机)的效率(致冷系数)。第二定律的物理意义。

注意:功和热量是过程量,内能和熵是状态量。一般循环与卡诺循环有区别。

② 难点 较复杂热机效率的计算;熵概念及熵变的简单计算。

七、静 电 学

1. 主要概念

电荷 静电力 电场强度 电通量 电势能 电势差 电势
电偶极矩 自由电荷 静电感应 静电屏蔽 电介质 束缚电
荷 极化 电极化强度 电位移 电容器 电容 电场能量密度

2. 基本内容

① 电荷守恒定律。

② 库仑定律(真空中) $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$

③ 电场强度、电势、场的叠加原理

$$E = F/q_0, \quad U_p - U_\infty = \int_p^\infty E \cdot d\mathbf{l}$$

$$E = \int dE, \quad U = \int dU, \quad E = -\text{grad}U$$

④ 静电场的高斯定理

$$\oint_S E \cdot dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_{i\text{内}} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV$$

$$\oint_S D \cdot dS = \sum q_{i\text{内}}, \text{ 其中 } D = \epsilon_0 E + P = \epsilon E$$

⑤ 静电场的环路定理

$$\oint_L E \cdot d\mathbf{l} = 0$$

⑥ 电场力的功与电势能 W

$$A_{ab} = q(U_a - U_b) = W_a - W_b$$

⑦ 电容及电容器能量

$$C = Q/\Delta U, \quad W_e = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

$$\textcircled{8} \text{ 电场能量密度} \quad w_e = \frac{1}{2} \epsilon E^2$$

$$\textcircled{9} \text{ 带电体系静电能} \quad W_e = \frac{1}{2} \sum q_i U_i$$

3. 重难点

① 重点 电场强度和电势的概念,由已知电荷分布利用场的叠加原理计算任一点的电场强度和电势;用静电场的高斯定理计算对称分布电荷或由其衍生的多种电荷分布的场强、电势;导体、介质在静电平衡时的特点;电容器的电容及能量,静电场的能量。

注意电荷元的选取,电场的对称分析以及电势零点的确定;在有介质时先计算 D ,再计算 E ,然后求 U 。

② 难点 叠加法 $E = \int dE$ 求场强中的矢量积分;利用对称分析恰当地应用高斯定理并选择合适的高斯面;介质中 P 、 D 的物理意义;电势能、静电能及电场能间的区别与联系。

八、稳恒磁场

1. 主要概念

电动势 电流密度 磁场 磁感应强度 电流元 磁偶极矩 磁通量 磁介质 磁化 磁化强度 磁场强度 顺磁质 抗磁质 铁磁质 磁畴

2. 基本内容

$$\textcircled{1} \text{ 电动势} \quad \mathcal{E} = \oint E_k \cdot dl$$

$$\textcircled{2} \text{ 欧姆定律微分形式} \quad \delta = rE$$

③ 毕奥-萨伐尔定律与叠加原理

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times r}{r^3}, \quad B = \int dB$$

④ 运动电荷的磁场
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \times r}{r^3}$$

⑤ 磁场高斯定理
$$\oint_S B \cdot dS = 0$$

⑥ 安培环路定理

$$\oint_L B \cdot dl = \mu_0 \sum I, \quad \oint_L H \cdot dl = I$$

$$B = \mu_0(H + M) = \mu H$$

⑦ 安培力公式
$$dF = Idl \times B$$

⑧ 洛伦兹力公式
$$F = qE + qv \times B$$

⑨ 匀强磁场对载流线圈的作用

$$\tau = p_m \times B, \quad p_m = IS\hat{n}$$

⑩ 磁力的功
$$A = \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} Id\Phi$$

3. 重难点

① 重点 定量计算电流元磁场的毕奥-萨伐尔定律,并由它计算给定电流分布的磁场;由普适的安培环路定理求解几种特殊的电流分布及由它们延伸出的一些问题;简单几何形状的载流导体所受力或力矩,运动电荷所受力;顺磁性、抗磁性、铁磁性起源的定性说明。

② 难点 毕奥-萨伐尔定律中“矢量叉乘后积分”的运算,注意各电流元在空间同一点之 dB 的方向不相同时,需分解积分后再合成;安培力公式中 $F = \int Idl \times B$ 的运算;抗磁性的起源。

九、电磁感应

1. 主要概念

感应电动势 动生电动势 感生电动势 感应电场 自感
自感系数 互感 互感系数 磁场能量密度

2. 基本内容

① 法拉第电磁感应定律 $\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{动生电动势} \quad \mathcal{E}_i = \int_L (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} \\ \text{感生电动势} \quad \mathcal{E}_i = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \end{array} \right.$$

② 感应电场环路定理

$$\oint_L \mathbf{E}_i \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

③ 自感系数

$$L = \begin{cases} \Psi/I \\ -\frac{\mathcal{E}_L}{dI/dt} \end{cases}$$

互感系数

$$M = \begin{cases} \Psi_{21}/I_1 \\ -\frac{\mathcal{E}_{21}}{dI_1/dt} \end{cases}$$

④ 线圈磁场能量

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2$$

⑤ 磁场能量密度和磁场能量

$$w_m = \frac{1}{2\mu} B^2, \quad W_m = \int_V w_m dV$$

3. 重难点

① 重点 法拉第电磁感应定律的应用, 由磁通量 $\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$ 计算感应电动势 $\mathcal{E}_i$; 对称分布时计算感应电场 $\mathbf{E}_i$, 由 $\mathbf{E}_i$ 计算一段导线的感生电动势; 由 $d\mathcal{E} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$ 到 $\mathcal{E} = \int d\mathcal{E}$ 计算动生电动势; 由楞次定律确定感应电动势方向; L 与 M 的计算。

② 难点 当 $\mathbf{B}$ 非均匀且又时变时 $\mathcal{E}_i$ 的计算; 感应电场中导体棒上除感应电动势外, 还可有电势差存在, 电势差的计算。

十、电磁场的普遍规律

1. 主要概念

位移电流 位移电流密度 全电流 电磁场能量密度
能流密度

2. 基本内容

$$\textcircled{1} I_d = \frac{d\Phi_D}{dt}, \quad \delta_d = \frac{\partial D}{\partial t}$$

② 麦克斯韦方程组积分形式

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = q, \quad \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

$$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad \oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I + \frac{d\Phi_D}{dt}$$

$$\textcircled{3} \text{ 电磁场能量密度} \quad w = \frac{1}{2} \mathbf{D} \cdot \mathbf{E} + \frac{1}{2} \mathbf{B} \cdot \mathbf{H}$$

$$\text{电磁场能流密度} \quad \mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

3. 重难点

① 重点 麦克斯韦方程组积分形式及其物理意义；圆形平板电容器充放电过程中位移电流及磁场的计算。

② 难点 位移电流的理解；能流密度概念及其矢量性处理。

十一、振动学基础

1. 主要概念

振动 简谐振动 弹簧振子 单摆 振动曲线 周期 频率
圆频率 振幅 位相 初位相 阻尼振动 受迫振动 共振
振动的合成 拍

2. 基本内容

① 简谐振动方程

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$