



普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 理论物理基础教程

刘连寿 主编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 理论物理基础教程

刘连寿 主编

刘连寿 陈立华  
汪德新 李家荣



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

## 图书在版编目 (CIP) 数据

理论物理基础教程 / 刘连寿主编. —北京: 高等教育出版社, 2003. 10 (2004 重印)  
ISBN 7-04-013099-8

I. 理... II. 刘... III. 理论物理学—高等学校—教材 IV. 041

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 069444 号

策划编辑 胡凯飞      责任编辑 钟金城 董洪光      封面设计 刘晓翔  
责任绘图 朱 静      责任印制 宋克学

---

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×960 1/16  
印 张 50.25  
字 数 950 000

版 次 2003 年 10 月第 1 版  
印 次 2004 年 12 月第 2 次印刷  
定 价 57.00 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号: 13099-00

## 序

20 世纪中叶以后,随着物理学的迅速发展,在普通高等学校本科教学中,综合性的“理论物理”课程被分成四门:《理论力学》,《电动力学》,《热力学与统计物理》,《量子力学》. 学生再也见不到作为一门统一学科的《理论物理》. “四大力学”之间的本质联系,不同“力学”的统一物理思想、处理问题的统一方法,不能充分反映出来.

为克服上述弊端,20 世纪八十年代前后,国内外出现了一些统一的大学“理论物理”教材,如美国 E. G. Harris 著《Introduction to modern theoretical physics》,北京大学彭恒武,徐锡中著《理论物理基础》等. 这些教材的共同特点是“充分注意到理论物理的统一性”(彭恒武),使学生“对物理学的统一性获得更深的理解”(E. G. Harris).

随着科学技术的发展,理论物理已成为不仅是理科而且是许多工科专业的基础课程. 1985 年理科教学指导委员会《理论物理》教材编审小组兰州会议指出,为适应科学技术的发展和理论物理教学改革趋势,迫切需要一本统一的理论物理教材,它应克服分别开设“四大力学”互不通气的毛病,具有物理思想一贯,系统风格一致的特点. 根据这一精神,我们于 1986 年编写出版了《理论物理简明教程》.

《简明教程》从 1986 年至 1995 年一直在华中师范大学物理系本科教学中使用,并被一些兄弟院校的物理专业本科及某些非物理专业,如“应用力学”、“应用数学和系统工程”、“电子工程”、“自动控制”、“材料科学”等专业的研究生教学中多次采用.

1996 年经国家教委批准,在华中师范大学设立了“国家理科(物理学)基础科学研究和教学人才培养基地”. 为适应基地班的教学,我们对原《简明教程》进行了重大修改,更名为《理论物理基础教程》. 在基地班的教学连续试用五届. 根据教学经验反复修订,重印三次,成为现在这本书.

我们的目标不是为非物理专业提供一个水平较低、时数较少的四门“力学”的合订本;而是为克服四大力学分别开设的弊端,用统一的物理思想、统一的演绎方法;注意前后呼应、相互渗透、综合运用;将理论物理在一个较高的水平上,作为一个整体,介绍给物理专业本科学生及某些需要理论知识较多的非物理专业研究生.

本教材的特点是,

(1) 面向客观物理对象,按照从低速到高速、从宏观到微观、从单体到多体、从动力学到统计系综的线索组织教材. 各部分相互呼应、相互渗透,以便学生在所学

内容逐步深入的同时,受到综合运用理论物理规律的能力的训练.

(2)面向科学技术的高速发展,根据新一代青年接受知识的能力,在各部分内容的讲述中以基本规律为出发点,厚今薄古,删除陈旧落后、以及和普通物理重复的内容,精简学时、保证质量.与此同时,在讲述上由浅入深,配合大量例题,以保证教材的可接受性.

(3)全书以守恒律和对称性为基础,以拉格朗日表述和哈密顿表述贯彻始终,提高了教学的起点,加深了学生对理论物理的理解.使整个教材的水平更加适应科技发展对有创新能力人才的需要.

(4)在书中编入了数十道要求用计算机求解的习题,以培养学生用计算机研究物理问题的初步能力.

大体上说来,本书的第一篇是分析力学,第二、三、四篇是电动力学,五、六篇是量子力学,第七篇至第十篇是平衡和非平衡统计物理及统计热力学,全书是一个完整的整体,各部分之间相互渗透、相互呼应、相互引用,是一本完整的教材.在教师恰当的处理下,也可以选用其中一部分.书中一些打星号的内容,在教学时数不够的情况下可以略去,不致影响后续内容的学习.

在本书的编写修订过程中,得到武汉大学王治梁、田德诚、成都科技大学郑希特、华中科技大学吴大进、清华大学邝宇平、国防科技大学兰马群、华中师范大学杨约翰等同行专家的批评与鼓励.作者在此表示深忱的感谢.

我校基地班同学在学习过程中,对本书(试用本)认真钻研、热情讨论,提出了许多宝贵的意见和建议,使书的质量得到不断提高,在此深表感谢.

作者在此还要感谢高燕敏在本书试用本的反复修改、重印的过程中,对书稿的输入付出的巨大劳动和提出的意见和建议.

理论物理是一个内容丰富,不断发展的学科,理论物理教学的改革是一个系统工程.限于编者的水平,书中的错误和不足之处在所难免,真诚地希望得到批评和指正.

编 者

2003年6月20日

## 目 录

|                                                           |      |
|-----------------------------------------------------------|------|
| 绪论 .....                                                  | (1)  |
| 第一篇 低速宏观物体的运动 .....                                       | (3)  |
| 第一章 低速宏观运动的基本原理 .....                                     | (5)  |
| § 1.1.1 无约束质点的拉格朗日方程 .....                                | (5)  |
| § 1.1.2 有约束情况下的拉格朗日方程 .....                               | (10) |
| § 1.1.3 最小作用量原理 .....                                     | (15) |
| § 1.1.4 伽利略相对性原理 自由质点的拉格朗日函数 .....                        | (19) |
| (一)惯性参考系 (二)伽利略变换 (三)伽利略相对性原理 (四)自由质点的拉格朗日函数              |      |
| 习题 .....                                                  | (22) |
| 第二章 守恒律 .....                                             | (25) |
| § 1.2.1 动量和能量 .....                                       | (25) |
| (一)循环坐标与广义动量 (二)能量 (三)相互作用质点系的拉格朗日函数 (四)机械能               |      |
| § 1.2.2 守恒律与对称性的关系 角动量 .....                              | (29) |
| (一)时间的均匀性与能量守恒 (二)空间的均匀性与动量守恒 (三)空间的各向同性与角动量守恒 (四)质点组的角动量 |      |
| § 1.2.3 质点组的动量、能量与角动量 质心 .....                            | (32) |
| (一)质点组的动量定理 (二)质心 质心系 (三)动量和能量的变换 (四)角动量的变换               |      |
| 习题 .....                                                  | (37) |
| 第三章 有心力场中的运动 .....                                        | (39) |
| § 1.3.1 二体问题 约化质量 .....                                   | (39) |
| § 1.3.2 有心力场中运动的一般分析 .....                                | (40) |
| (一)角动量守恒 等面积定律 (二)能量守恒 运动形式的分类 (三)运动方程的解 (四)比耐公式          |      |

|         |                                              |       |
|---------|----------------------------------------------|-------|
| § 1.3.3 | 平方反比引力 开普勒问题 .....                           | (44)  |
|         | (一)运动形式的分类 (二)运动轨道 (三)行星的运动 开普勒问题            |       |
| § 1.3.4 | 碰撞与散射 .....                                  | (48)  |
|         | (一)散射问题的提法 散射截面 (二) $\alpha$ 粒子的散射 卢瑟福公式 (三) |       |
|         | 硬表面的散射 * (四)实验室系和质心系中的散射                     |       |
| 习题      | .....                                        | (55)  |
| 第四章     | 微振动 .....                                    | (57)  |
| § 1.4.1 | 无阻尼的微振动 .....                                | (57)  |
|         | (一)自由振动方程 (二)自由振动方程的解 (三)受迫振动方程的解            |       |
|         | (四)受迫振动的能量转移                                 |       |
| § 1.4.2 | 阻尼振动 共振 .....                                | (60)  |
|         | (一)无阻尼的共振 (二)阻尼振动方程的解 (三)有阻尼情况下的共振           |       |
|         | (四)通过共振时能量吸收率和相位的变化                          |       |
| § 1.4.3 | 多自由度的耦合振动 .....                              | (64)  |
|         | (一)弱耦合的二振子系统 (二)对称矩阵的本征值与本征矢 (三)多自由          |       |
|         | 度耦合振子的集体振动模式 简正坐标                            |       |
| 习题      | .....                                        | (75)  |
| 第五章     | 刚体的运动 .....                                  | (77)  |
| § 1.5.1 | 刚体的角速度、角动量与转动能量 .....                        | (78)  |
|         | (一)不同轴转动之间的关联 角速度矢量 (二)角动量矢量与转动惯量张           |       |
|         | 量 惯量椭球 (三)刚体的能量 (四)刚体的定点运动和定轴运动              |       |
| § 1.5.2 | 刚体的运动方程 .....                                | (86)  |
|         | (一)动量定理与角动量定理 (二)刚体的静平衡 (三)刚体的动平衡            |       |
|         | (四)刚体的自由运动 * (五)刚体定点运动的运动学方程                 |       |
| § 1.5.3 | 非惯性系中的运动 .....                               | (92)  |
| 习题      | .....                                        | (94)  |
| 第六章     | 低速宏观运动规律的正则形式 .....                          | (97)  |
| § 1.6.1 | 哈密顿方程 .....                                  | (97)  |
|         | (一)勒让德变换 (二)哈密顿函数 (三)哈密顿方程 (四)哈密顿方程的         |       |
|         | 变分原理 (五)相空间                                  |       |
| § 1.6.2 | 守恒律 泊松括号 .....                               | (101) |
|         | (一)力学量对时间的导数 (二)用泊松括号表出的运动方程 (三)能量守          |       |

|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| 恒与动量守恒 (四)泊松括号的定义和性质                                |       |
| § 1.6.3 正则变换 .....                                  | (103) |
| (一)正则变换的定义 (二)正则变换的生成函数 (三)正则变换举例                   |       |
| (四)时间演化作为正则变换                                       |       |
| * § 1.6.4 作为坐标和时间函数的作用量 哈密顿-雅可比方程.....              | (107) |
| (一)作为坐标和时间函数的作用量 (二)哈密顿-雅可比方程 (三)利用哈密顿-雅可比方程求解动力学问题 |       |
| 习题 .....                                            | (110) |
| 第二篇 高速运动的规律 .....                                   | (113) |
| 第一章 狭义相对论的实验基础和基本原理 .....                           | (115) |
| § 2.1.1 迈克耳孙-莫雷实验 .....                             | (115) |
| § 2.1.2 相对论的基本原理 .....                              | (117) |
| 习题 .....                                            | (118) |
| 第二章 相对论的时空理论 .....                                  | (119) |
| § 2.2.1 间隔 相对论的时空结构 .....                           | (119) |
| (一)事件和两事件的间隔 (二)间隔不变——光速不变原理的数学表示                   |       |
| (三)间隔的分类                                            |       |
| § 2.2.2 相对论的时空坐标变换公式 .....                          | (123) |
| § 2.2.3 相对论的速度变换公式 .....                            | (125) |
| § 2.2.4 相对论的时空性质 .....                              | (127) |
| (一)同时的相对性 (二)运动时钟的延缓 (三)运动尺度的缩短                     |       |
| * § 2.2.5 相对论时空理论的若干应用 .....                        | (134) |
| (一)菲索流水实验 (二)光行差现象 (三)多普勒效应                         |       |
| § 2.2.6 四维协变量及方程的协变性 .....                          | (136) |
| 习题 .....                                            | (141) |
| 第三章 高速粒子的运动规律 .....                                 | (143) |
| § 2.3.1 相对论力学的基本方程 .....                            | (143) |
| § 2.3.2 高速运动粒子的守恒定律 .....                           | (148) |
| § 2.3.3 电磁场中的带电粒子 .....                             | (151) |
| (一)电磁场中带电粒子的作用量 (二)电磁场中带电粒子的运动方程                    |       |
| (三)电磁场张量                                            |       |



|                                                                                     |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 习题 .....                                                                            | (153) |
| 第四章 电磁现象的基本规律 .....                                                                 | (155) |
| § 2.4.1 电磁规律的三维表述 .....                                                             | (155) |
| (一) 电荷守恒律 麦克斯韦方程组和洛伦兹力公式 (二) 介质的电磁性质方程                                              |       |
| § 2.4.2 电磁场的边值关系 .....                                                              | (158) |
| (一) 电荷电流分布的描述 (二) 电磁场的边值关系                                                          |       |
| § 2.4.3 电磁场的守恒定律 .....                                                              | (161) |
| (一) 电磁场与电荷的能量转化与守恒 (二) 电磁场与电荷的动量转化与守恒                                               |       |
| § 2.4.4 电磁规律的四维表述 .....                                                             | (166) |
| (一) 四维电流密度矢量 电荷守恒定律的四维形式 (二) 四维电势矢量和电磁场张量 麦克斯韦方程组的四维形式 (三) 电磁场的变换公式 (四) 洛伦兹力公式的四维形式 |       |
| 习题 .....                                                                            | (171) |
| 第三篇 电磁场 .....                                                                       | (175) |
| 第一章 静电场 .....                                                                       | (177) |
| § 3.1.1 静电势 静电问题的唯一性定理 .....                                                        | (177) |
| (一) 静电势 (二) 静电势满足的方程及边值关系 (三) 静电问题的唯一性定理                                            |       |
| § 3.1.2 分离变量法 .....                                                                 | (182) |
| § 3.1.3 电象法 .....                                                                   | (187) |
| § 3.1.4 格林函数法 .....                                                                 | (191) |
| (一) 泊松方程的格林函数 (二) 常见的泊松方程第一类边值问题的格林函数 (三) 格林函数的对称性 (四) 用格林函数法求解泊松方程的第一类边值问题         |       |
| § 3.1.5 电多极矩法 .....                                                                 | (196) |
| § 3.1.6 静电场的能量 电荷体系与外电场的相互作用 .....                                                  | (202) |
| (一) 静电场的能量 (二) 电荷体系在外电场中的能量 (三) 电多极子在外电场中所受的力和力矩                                    |       |
| 习题 .....                                                                            | (206) |

|                                                                |       |
|----------------------------------------------------------------|-------|
| 第二章 静磁场 .....                                                  | (211) |
| § 3.2.1 矢势 静磁问题的唯一性定理 .....                                    | (211) |
| (一) 矢势 (二) 静磁场的唯一性定理 (三) 矢势满足的方程与边值关系                          |       |
| * (四) 用矢势法求解静磁场                                                |       |
| § 3.2.2 磁标势 .....                                              | (218) |
| (一) 引入磁标势的条件 (二) 磁标势的定义 磁标势满足的方程与边值关系                          |       |
| (三) 用磁标势求解静磁场                                                  |       |
| § 3.2.3 磁多极子 .....                                             | (222) |
| § 3.2.4 静磁场的能量 电流分布与静磁场的相互作用 .....                             | (224) |
| (一) 静磁场的能量 (二) 电流分布在外磁场中的能量 (三) 磁偶极子与外磁场的相互作用能                 |       |
| (四) 磁偶极子在外磁场中所受的力、力矩及其势能                                       |       |
| (五) 拉莫尔进动 (六) 磁偶极子在外磁场中的势能与相互作用能的关系                            |       |
| § 3.2.5 超导体的电磁性质 .....                                         | (229) |
| (一) 超导体的基本电磁现象 (二) 伦敦方程 (三) 磁标势法                               |       |
| 习题 .....                                                       | (235) |
| 第三章 电磁波的传播 .....                                               | (237) |
| § 3.3.1 平面电磁波 .....                                            | (237) |
| (一) 自由空间电磁场的波动方程 (二) 平面电磁波 (三) 单色电磁波的运动方程——亥姆霍兹方程 (四) 平面电磁波的性质 |       |
| § 3.3.2 电磁波在介质分界面的反射与折射 .....                                  | (241) |
| (一) 反射与折射定律 (二) 费涅尔公式 (三) 全反射 (四) 光压                           |       |
| § 3.3.3 电磁波在导体中的传播 .....                                       | (245) |
| (一) 导体内自由电荷的分布 (二) 良导体中单色电磁波的传播                                |       |
| § 3.3.4 谐振腔 .....                                              | (248) |
| (一) 腔内电磁场满足的方程和边界条件 (二) 用分离变量法求解亥姆霍兹方程的边值问题 (三) 谐振腔内的模式数 模密度   |       |
| § 3.3.5 波导管 .....                                              | (252) |
| (一) 矩形波导管中的电磁波 (二) 截止频率 (三) $TE_{10}$ 波的电磁场                    |       |
| 习题 .....                                                       | (256) |
| 第四篇 电荷体系与电磁场的相互作用 .....                                        | (257) |
| 第一章 宏观电荷体系辐射的电磁场 .....                                         | (259) |
| § 4.1.1 电磁势的场方程 推迟势 .....                                      | (259) |

|                           |                      |                         |       |
|---------------------------|----------------------|-------------------------|-------|
| (一)规范变换与规范不变性             | (二)电磁势的场方程           | (三)推迟势                  |       |
| § 4.1.2 电偶极辐射             |                      |                         | (262) |
| (一)推迟势的多极展开               | (二)电偶极场及其性质          | (三)电偶极辐射的角分布与总辐射功率      |       |
| 习题                        |                      |                         | (266) |
| 第二章 运动带电粒子与电磁场的相互作用       |                      |                         | (269) |
| § 4.2.1 运动带电粒子的势和辐射的电磁场   |                      |                         | (269) |
| (一)李纳-维谢尔势                | (二)运动带电粒子的场          |                         |       |
| § 4.2.2 韧致辐射与同步辐射         |                      |                         | (273) |
| (一)加速带电粒子辐射的电磁场           | (二)加速带电粒子的辐射功率和角分布   |                         |       |
| (三)韧致辐射                   | (四)同步辐射              |                         |       |
| § 4.2.3 切连科夫辐射            |                      |                         | (279) |
| (一)切连科夫辐射的理论解释            | (二)在介质中运动的带电粒子激发的电磁场 |                         |       |
| § 4.2.4 带电粒子的电磁场对粒子本身的反作用 |                      |                         | (282) |
| (一)电磁质量及电子的经典半径           | (二)辐射阻尼力             | (三)谱线的自然宽度              |       |
| § 4.2.5 电磁波的散射、吸收和色散      |                      |                         | (286) |
| (一)电磁波的散射                 | (二)电磁波的吸收            | (三)电磁波在稀薄气体中的色散现象       |       |
| 习题                        |                      |                         | (291) |
| 第五篇 微观粒子的运动规律             |                      |                         | (293) |
| 第一章 微观粒子状态的描述             |                      |                         | (295) |
| § 5.1.1 光的粒子性             |                      |                         | (295) |
| (一)黑体辐射的研究 “能量子”的提出       | (二)光电效应的研究 “光量子”的提出  | (三)康普顿效应的研究 光的粒子性的进一步证实 |       |
| § 5.1.2 粒子的波动性 波函数        |                      |                         | (299) |
| (一)原子光谱的分立性 玻尔量子化假设       | (二)德布洛意波             | (三)电子衍射实验               |       |
| (四)微观粒子的波粒二象性             | (五)波函数               | (六)波函数的叠加原理             |       |
| 习题                        |                      |                         | (305) |
| 第二章 力学量的算符                |                      |                         | (307) |

|         |                                                                                                      |       |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| § 5.2.1 | 测量结果的期望值 用算符表示力学量 .....                                                                              | (307) |
|         | (一)在给定状态里坐标的平均值 (二)在给定状态里动量的平均值 (三)用算符表示物理量 (四)线性厄米算符                                                |       |
| § 5.2.2 | 测量结果的概率分布 算符的本征值与本征函数 .....                                                                          | (312) |
|         | (一)力学量取值的谱 (二)本征值方程 (三)本征函数的正交性 (四)本征函数的归一化 (五)在给定状态里力学量取值的概率                                        |       |
| § 5.2.3 | 力学量的完全组 算符的对易关系 .....                                                                                | (325) |
|         | (一)力学量同时有确定值的条件 (二)对易关系 (三)算符乘积的厄米性 (四)力学量的完全组                                                       |       |
| § 5.2.4 | 不确定关系 .....                                                                                          | (332) |
| 习题      | .....                                                                                                | (336) |
| 第三章     | 运动方程和守恒律 .....                                                                                       | (339) |
| § 5.3.1 | 薛定谔方程 .....                                                                                          | (339) |
|         | (一)薛定谔方程 (二)粒子数守恒与概率流密度 (三)解薛定谔方程的分离变量法 定态                                                           |       |
| § 5.3.2 | 力学量对时间导数的算符 量子泊松括号 正则量子化 .....                                                                       | (352) |
|         | (一)力学量对时间导数的算符 (二)正则量子化                                                                              |       |
| § 5.3.3 | 对称性与守恒律 .....                                                                                        | (355) |
|         | (一)守恒量 (二)对称变换                                                                                       |       |
| 习题      | .....                                                                                                | (361) |
| 第四章     | 量子力学的表述形式 .....                                                                                      | (363) |
| § 5.4.1 | 希尔伯特空间 .....                                                                                         | (363) |
|         | (一)几个不同表象的例子 (二)希尔伯特空间                                                                               |       |
| § 5.4.2 | 态矢量和算符 .....                                                                                         | (367) |
|         | (一)态矢量 (二)态矢量的点积 (三)厄米算符 (四)厄米算符的本征值与本征矢 (五)力学量用厄米算符表示 (六)运动方程                                       |       |
| § 5.4.3 | 表象和表象变换 .....                                                                                        | (372) |
|         | (一)态矢量在 $F$ 表象中的分量形式 (二)算符在 $F$ 表象中分量形式 (三)进入和退出表象 (四)用厄米矩阵表示力学量 (五)本征值方程与本征表象 (六)表象变换 (七)表象变换矩阵的么正性 |       |
| § 5.4.4 | 算符对易关系的确定 .....                                                                                      | (380) |
|         | (一)物理量作为空间变换的生成元 奈特定理 (二)坐标与动量的对易关                                                                   |       |

|                                                            |       |
|------------------------------------------------------------|-------|
| 系 (三)角动量分量之间的对易关系                                          |       |
| § 5.4.5 谐振子的占有数表象 .....                                    | (383) |
| § 5.4.6 角动量的矩阵表示 .....                                     | (388) |
| (一)角动量的本征值 (二)角动量的矩阵元 (三)整数角动量 (四)电子的自旋角动量 泡利矩阵 * (五)角动量合成 |       |
| § 5.4.7 薛定谔绘景和海森伯绘景 .....                                  | (396) |
| (一)量子力学的不同绘景 (二)薛定谔绘景 (三)从薛定谔绘景到海森伯绘景                      |       |
| § 5.4.8 用密度矩阵表示量子态 .....                                   | (399) |
| (一)投影算符 (二)密度矩阵                                            |       |
| 习题 .....                                                   | (402) |
| 第五章 多粒子系统 全同性原理 .....                                      | (405) |
| § 5.5.1 全同性原理 .....                                        | (405) |
| (一)全同性原理 (二)波函数的对称化和反对称化 (三)福克表象                           |       |
| § 5.5.2 电子自旋波函数对粒子交换的对称性 .....                             | (409) |
| 习题 .....                                                   | (413) |
| 第六章 量子干涉现象 .....                                           | (415) |
| § 5.6.1 路径积分量子化 .....                                      | (415) |
| * § 5.6.2 双缝衍射 .....                                       | (418) |
| * § 5.6.3 磁通量子 .....                                       | (421) |
| (一)阿喀洛诺夫——玻姆效应 (二)线圈内的磁通对线圈外电子能级的影响                        |       |
| 习题 .....                                                   | (423) |
| 第七章 高速微观粒子的运动 .....                                        | (425) |
| § 5.7.1 建立高速微观粒子运动方程遇到的困难 .....                            | (425) |
| § 5.7.2 自由粒子的狄拉克方程 .....                                   | (426) |
| (一)方程的建立 (二)概率密度与概率流密度 (三)狄拉克海 (四)狄拉克粒子的自旋 (五)自由狄拉克方程的解    |       |
| * § 5.7.3 电子的内禀磁矩 .....                                    | (431) |
| 习题 .....                                                   | (432) |
| 第六篇 微观粒子在外场中的运动 .....                                      | (435) |

|                                                               |       |
|---------------------------------------------------------------|-------|
| 第一章 外场中的定态问题 .....                                            | (437) |
| § 6.1.1 坐标表象中定态方程的严格解 .....                                   | (437) |
| (一)坐标表象中的一维谐振子 (二)有心力场中运动的一般分析 (三)电子在库仑场中的运动                  |       |
| § 6.1.2 定态微扰方法 .....                                          | (448) |
| (一)求解定态问题的近似方法 (二)微扰方法的基本方程 (三)无简并的未扰能级的微扰修正 (四)有简并的未扰能级的微扰修正 |       |
| § 6.1.3 氦原子 .....                                             | (458) |
| (一)微扰计算 (二)正氦与仲氦 (三)交换作用                                      |       |
| § 6.1.4 变分法 .....                                             | (461) |
| (一)变分原理 (二)作为近似方法的变分法                                         |       |
| * § 6.1.5 耦合振子系统 量子力学的正则变换 .....                              | (464) |
| 习题 .....                                                      | (465) |
| 第二章 量子跃迁 .....                                                | (467) |
| § 6.2.1 研究时间演化的微扰方法 相互作用绘景 .....                              | (467) |
| (一)相互作用绘景中的运动方程 (二)含时微扰 (三)恒定微扰的加入过程                          |       |
| § 6.2.2 周期性外场引起的跃迁 .....                                      | (471) |
| (一)单色周期性的微扰 (二)非严格单色的微扰 (三)末态为连续谱的跃迁                          |       |
| § 6.2.3 光的辐射和吸收 .....                                         | (474) |
| (一)微扰项的确定 (二)跃迁概率 (三)自发辐射 (四)谱线强度和选择定则                        |       |
| § 6.2.4 不稳定系统的寿命和能级宽度 能量-时间不确定关系 .....                        | (479) |
| (一)激发态原子的寿命 (二)不稳定系统的能级宽度 能量-时间不确定关系                          |       |
| 习题 .....                                                      | (481) |
| 第三章 弹性散射 .....                                                | (483) |
| § 6.3.1 散射问题的一般讨论 .....                                       | (483) |
| (一)散射截面 (二)散射问题的边界条件 散射振幅                                     |       |
| § 6.3.2 玻恩近似 .....                                            | (485) |
| § 6.3.3 分波法 .....                                             | (490) |

- (一)自由粒子方程的球面波解 (二)中心场散射的分波展开 (三)散射振幅和散射截面

习题 ..... (494)

第七篇 宏观系统统计理论的基本原理 ..... (497)

第一章 统计理论基础 ..... (499)

§ 7.1.1 宏观系统及其分类 ..... (499)

§ 7.1.2 系统状态的宏观描述 平衡态 状态方程 ..... (501)

(一)宏观量 宏观态 (二)平衡态 态参量和态函数 (三)状态方程

§ 7.1.3 系统状态的微观描述 统计规律性 ..... (505)

(一)微观态 (二)微观态的量子力学描述 (三)微观态的经典力学描述  
 $\Gamma$  空间 (四)统计规律性

§ 7.1.4 宏观量的统计性质 系综和系综平均 ..... (516)

§ 7.1.5 密度函数和密度算符 经典和量子刘维尔定理 ..... (519)

(一)密度函数 经典刘维尔定理及其推论 (二)密度算符 量子刘维尔定理及其推论

§ 7.1.6 微正则系综和微正则分布 ..... (525)

习题 ..... (526)

第二章 统计热力学基础 ..... (529)

§ 7.2.1 热力学第一定律 功和热量的微观解释 ..... (529)

(一)封闭系统中的热力学第一定律 (二)准静态过程及其功 (三)热量的计算 热容量 (四)热力学第一定律的微观解释

§ 7.2.2 热力学第二定律 熵 ..... (534)

(一)支配自发过程方向和限度的物理量 (二)熵 (三)熵增加原理

§ 7.2.3 温度 化学势和压强 热力学基本方程 ..... (540)

(一)处于热接触子系统的平衡 温度 (二)处于扩散接触子系统的平衡 化学势 (三)处于力学接触子系统的平衡 压强 (四)热力学基本方程

§ 7.2.4 熵差的计算 ..... (550)

(一)利用熵函数表达式求熵差 (二)利用热温比积分求熵差

§ 7.2.5 热力学势 麦克斯韦关系及它们的简单应用 ..... (554)

(一)热力学势 (二)麦克斯韦关系 (三)特性函数 (四)普遍热力学关系的简单应用 (五)巨势

§ 7.2.6 气体的节流和绝热膨胀 磁冷却 ..... (562)

|                                                                                                                |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| (一)气体的节流膨胀 (二)气体的绝热膨胀 (三)磁冷却                                                                                   |       |
| § 7.2.7 最大功原理 平衡的稳定性条件 .....                                                                                   | (566) |
| (一)最大功原理 (二)平衡的稳定性判据和条件                                                                                        |       |
| § 7.2.8 单元双相系的平衡 相图 .....                                                                                      | (571) |
| (一)单元双相系的平衡条件和稳定性条件 (二)相平衡条件的讨论 相图                                                                             |       |
| § 7.2.9 一级相变和二级相变 .....                                                                                        | (576) |
| (一)气-液等温转变的实验曲线 一级相变的特点 (二)范德瓦尔斯等温线的热力学分析 (三)正常导体和超导体之间的转变 (四)相变的分类 (五)二级相变的其他例子                               |       |
| § 7.2.10 热力学第三定律 .....                                                                                         | (588) |
| (一)热力学第三定律的能斯特表述及其统计论证 (二)热力学第三定律的推论                                                                           |       |
| 习题 .....                                                                                                       | (590) |
| 第三章 统计系综 .....                                                                                                 | (595) |
| § 7.3.1 正则系综和正则分布 .....                                                                                        | (595) |
| (一)正则系综和正则分布 (二)配分函数和热力学量的关系 (三)恒温系统的能量涨落                                                                      |       |
| § 7.3.2 固体的顺磁性模型和固体比热的爱因斯坦模型 .....                                                                             | (600) |
| (一)固体的顺磁性模型 (二)固体比热的爱因斯坦模型                                                                                     |       |
| § 7.3.3 巨正则系综和巨正则分布 .....                                                                                      | (606) |
| (一)巨正则系综和巨正则分布 (二)巨配分函数和热力学量的关系 (三)开放系统的粒子数涨落 (四)巨正则分布的简单应用                                                    |       |
| § 7.3.4 理想气体的三种分布 .....                                                                                        | (612) |
| (一)理想气体及其微观态的描述 单粒子态占有数集合 (二)用巨正则系综推导 F-D 分布和 B-E 分布 (三)由 F-D 分布和 B-E 分布过渡到 M-B 分布 (四)对非简并条件的讨论 (五)玻尔兹曼气体的配分函数 |       |
| § 7.3.5 三种系综的等价 其他系综 .....                                                                                     | (620) |
| (一)三种系综的等价 (二)三种系综等价的解释 选用不同系综和进行勒让德变换的关系 * (三) $T$ - $p$ 系综                                                   |       |
| 习题 .....                                                                                                       | (624) |
| 第八篇 理想气体 .....                                                                                                 | (629) |
| 第一章 玻尔兹曼气体 .....                                                                                               | (631) |



|           |                                                                                   |       |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| § 8.1.1   | 由配分函数求热力学量 .....                                                                  | (631) |
|           | (一)分子配分函数的分解 (二) $\mu$ 空间 分子配分函数在 $\mu$ 空间中的表示<br>(三)单原子理想气体的热力学量                 |       |
| § 8.1.2   | 双原子分子气体的热容量 .....                                                                 | (636) |
|           | (一)转动和振动的配分函数和热容量 (二)对 $C_V^{\text{rot}}$ 和 $C_V^{\text{vib}}$ 的讨论及与实验的比较         |       |
| § 8.1.3   | 由玻尔兹曼分布求速度分布和空间分布 .....                                                           | (640) |
|           | (一)麦克斯韦速度分布 (二)重力场中分子随高度的分布 (三)气体电介质的极化                                           |       |
| § 8.1.4   | 能量均分定理 .....                                                                      | (644) |
| § 8.1.5   | 稀薄实际气体的状态方程 .....                                                                 | (646) |
|           | (一) $\Gamma$ 空间 系综配分函数在 $\Gamma$ 空间中的表示 (二)非理想气体的配分函数 位形积分 (三)第二位力系数的计算 分子作用的刚球模型 |       |
| 习题        | .....                                                                             | (652) |
| 第二章       | 玻色气体和费米气体 .....                                                                   | (655) |
| § 8.2.1   | 黑体辐射 光子统计 .....                                                                   | (655) |
|           | (一)黑体辐射的能谱曲线 斯特藩-玻尔兹曼公式 (二)光子气的分布函数和普朗克公式的推导 (三)维恩位移法则和斯特藩-玻尔兹曼定律 (四)黑体辐射的热力学     |       |
| § 8.2.2   | 晶格振动比热的德拜理论 声子统计 .....                                                            | (659) |
|           | (一)声子概念的引入 (二)德拜频谱和晶格振动的热容量                                                       |       |
| * § 8.2.3 | 液态 $^4\text{He}$ 的性质和朗道的超流理论 .....                                                | (664) |
|           | (一)液态 $^4\text{He}$ 的性质 (二) $\text{He II}$ 的二流体模型 (三)朗道的超流理论 声子和旋子                |       |
| § 8.2.4   | 玻色-爱因斯坦凝聚 .....                                                                   | (669) |
|           | (一)凝聚温度 $T_c$ 的计算 (二)基态粒子数 $N_0$ 随温度的变化 (三)玻色理想气体的 $C_V$ (四)BEC的实验实现              |       |
| § 8.2.5   | 金属中的自由电子气 .....                                                                   | (673) |
|           | (一)0K下的自由电子气 (二) $T < T_F$ 时的自由电子气                                                |       |
| 习题        | .....                                                                             | (678) |
| 第九篇       | 涨落和临界现象的统计理论 .....                                                                | (681) |
| 第一章       | 涨落理论 .....                                                                        | (683) |