

张永德 主编

物理学大题典

A Grand Dictionary of
Physics Problems and Solutions

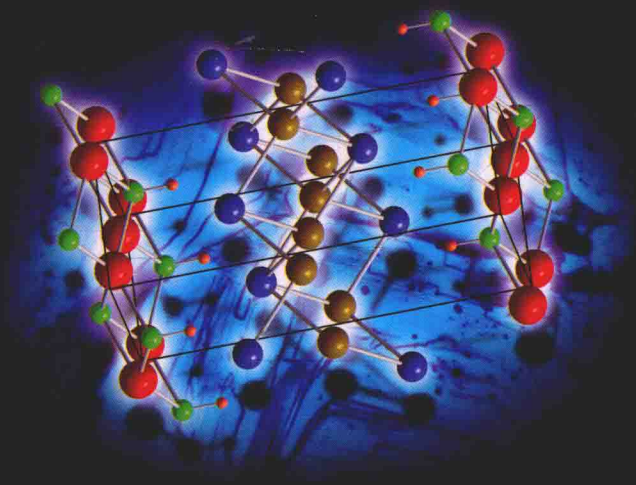
4

分子、原子 与亚原子物理学

Molecule, Atom and Subatomic Physics

第二版

杨保忠 王韶舜 宫竹芳 许咨宗 范扬眉 金怀诚 / 编著



科学出版社

中国科学技术大学出版社

物理学大题典④/张永德主编

分子、原子与亚原子物理学

(第二版)

杨保忠 王韶舜 宫竹芳 编著
许咨宗 范扬眉 金怀诚



科学出版社

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

“物理学大题典”是一套大型工具性、综合性物理题解丛书。丛书内容涵盖综合性大学本科物理课程内容:从普通物理的力学、热学、光学、电学、近代物理到“四大力学”,以及原子核物理、粒子物理、凝聚态物理、等离子体物理、天体物理、激光物理、量子光学、量子信息等。内容新颖、注重物理、注重学科交叉、注重与科研结合。

《分子、原子与亚原子物理学(第二版)》卷共4篇,包括原子、分子物理,原子核物理,粒子物理,实验方法和粒子束。

丛书可作为物理类本科生的学习辅导用书、研究生的入学考试参考书和各类高校物理教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

分子、原子与亚原子物理学/杨保忠等编著. —2版. —北京:科学出版社,2018.9

(物理学大题典/张永德主编;4)

ISBN 978-7-03-058438-0

I. ①分… II. ①杨… III. ①原子物理学-题解②分子物理学-题解
IV. ①O56-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第175725号

责任编辑:昌盛 陈曰德 / 责任校对:张凤琴
责任印制:师艳茹 / 封面设计:华路天然工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路96号

邮政编码:230026

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018年9月第 二 版 印张:36 1/4

2018年10月第四次印刷 字数:850 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



祝贺〈物理学大题典〉
在中国科学技术大学
六十周年校庆之际
再次出版

李政道

二〇一八年五月



“物理学大题典”编委会

主 编 张永德

编 委 (按姓氏拼音排序)

白贵儒	陈银华	程稼夫	范洪义	范扬眉	宫竹芳	顾恩普
郭光灿	胡友秋	金怀诚	李泽华	林鸿生	刘金英	刘乃乐
柳盛典	潘必才	潘海俊	强元荣	仝茂达	王冠中	王韶舜
翁明其	吴 强	许咨宗	轩植华	杨保忠	杨德田	杨建明
尤峻汉	张家铝	张鹏飞	张永德	章世玲	赵叔平	郑久仁
周又元	周子舫	朱栋培	朱俊杰			



丛书序

这套“物理学大题典”源自 20 世纪 80 年代末期的“美国物理试题与解答”，而那套丛书则源自 80 年代的 CUSPEA 项目 (China-United States Physical Examination and Application Program)。这套丛书收录的题目主要源自美国各著名大学物理类研究生入学试题，经筛选后由中国科学技术大学近百位高年级学生和研究生解答，再经中科大数十位老师审定。所以这套丛书是中国改革开放初期中美文化交流的成果，是中美物理教学合作的结晶，是 CUSPEA 项目丰硕成果的一朵花絮。

贯穿整个 80 年代的 CUSPEA 项目是由李政道先生提出的。1979 年李先生为了配合中国刚刚开始实施的改革开放方针，向中国领导建言，逐步实施美国著名大学在中国高校联合招收赴美攻读物理博士研究生计划。经李先生与我国各级领导和美国各著名大学反复多次磋商研究，1979 年教育部和中国科学院联合发文《关于推荐学生参加赴美研究生考试的通知》，紧接着同年 7 月 14 日又联合发出补充通知《关于推荐学生参加赴美物理研究生考试的通知》，直到 1980 年 5 月 13 日，教育部和中国科学院再次联合发文《关于推荐学生参加赴美物理研究生考试的通知》，神州大地正式全面启动这一计划。

1979 年最初实施的是 Pre-CUSPEA，从李先生任教的哥伦比亚大学开始，通过考试选录了 5 名同学进入哥大。此后计划迅速扩大，包括了美国所有著名大学在内的 53 所大学，后期还包括了加拿大的大学，总数达到 97 所。10 年 CUSPEA 共计录取 915 名中国各高校应届学生，进入所有美国著名大学。迄今项目过去 30 年，当年赴美的青年学子早已各有所成，展布全球，许多人回国报效，成绩斐然，可喜可慰。

李先生在他总结文章中回忆说^①：“在 CUSPEA 实施的 10 年中，粗略估计每年都用去了我约三分之一的精力。虽然这对我是很重的负担，但我觉得以此回报给我创造成长和发展机会的祖国母校和老师是完全应该的。”文中李先生两次提及他已故夫人秦惠簪女士和助理 Irene 女士，为赴美中国年轻学子勤勤恳恳、默默无闻地做了大量细致的服务工作。编者读到此处，深为感动！这次丛书再版适逢中国科学技术大学 60 周年校庆，又承李先生题词祝贺，中科大、科学出版社以及丛书编者同仁都十分感谢！

苏轼《花影》诗：“重重叠叠上瑶台，几度呼童扫不开。刚被太阳收拾去，却教明月送将来。”聚中科大百多位师生之力，历二十余载，唯愿这套丛书对中美教育和文化交流起一点奠基作用，有助于后来学者踏着这些习题有形无迹的斑驳花影，攀登瑶台，观看无边深邃的美景。

张永德 谨识

2018 年 6 月 29 日

^① 李政道，《我和 CUSPEA》，载于“知识分子”公众号，2016 年 11 月 30 日。



前言

物理学,由于它在自然科学中所具有的主导作用,在人类文明史,特别是在人类物质文明史中,占据着极其重要的地位.经典物理学的诞生和发展曾经直接推动了欧洲物质文明的长期飞跃.20世纪初诞生并蓬勃发展起来的近代物理学,又造就了上个世纪物质文明的辉煌.自20世纪末到21世纪初的当前时代,物理学正以空前的活力,广阔深入地开创着向化学、生物学、生命科学、材料科学、信息科学和能源科学渗透和应用的新局面.在本世纪里,物理学再一次直接推动新一轮物质文明飞跃的伟大进程已经开始.

然而,经历长足发展至今的物理学,宽广深厚浩瀚无垠.教授和学习物理学都是相当艰苦而漫长的过程.在教授和学习过程许多环节中,做习题是其中必要而又重要的环节.做习题是巩固所学知识的必要手段,是深化拓展所学知识的重要练习,是锻炼科学思维的体操.

但是,和习题有关的事有时并不被看重,似乎求解和编纂练习题是全部教学活动中很次要的环节.但丛书编委会同仁们觉得,这件事是教学双方的共同需要,只要是需要的,就是合理的,有益的,应当有人去做.于是大家本着甘为孺子牛的精神,平时在科研教学中一道题一道题地积累,现在又一道题一道题地编审,花费了大量时间做着这种不起眼的事.正如一个城市的基础建设,不能只去建地面上摩天大楼和纪念碑等“抢眼球”的事,也同样需要去做修马路、建下水道等基础设施的事.

这套“物理学大题典”的前身是中国科技大学出版社出版的“美国物理试题与解答”丛书(7卷).那套丛书于20世纪80年代后期由张永德发起并组织完成,内容包括普通物理的力、热、光、电、近代物理到四大力学的全部基础物理学.出版时他选择了“中国科学技术大学物理辅导班主编”的署名方式.自那套丛书出版之后,历经10余年,仍然有不断的需求,于是就有了现在的这套丛书——“物理学大题典”.

“题典”编审的大部分教师仍为原来的,只增加了少许新成员.经过大家着力重订和大量扩充,耗时近两年而成.现在这次再版,编审工作又增加了几位新成员,复历一年而再成.此次再版除在原来基础上适当修订审校之外,还有少量扩充,增加了第6卷《相对论物理学》,第7卷《量子力学》扩充为上、下两分册.丛书最终为8卷10分册.总计起来,丛书编审历时近20年,耗费近40位富有科研和教学经验的教授、约150位20世纪80年代和现在的研究生及高年级本科生的巨大辛劳.丛书确实是众人长期合作辛劳的结晶!

现在的再版,题目主要来源当然依旧是美国所有著名大学物理类研究生的入学试题,但也收录了部分编审老师的积累.内容除涵盖力、热、光、电、近代物理到四大力学全部基础物理学之外,还包括了原子核物理、粒子物理、凝聚态物理、等离子体物理、天体物理、激光物理、量子光学和量子信息物理.于是,追踪不断发展的科学轨迹,现在这套丛书仍然大体涵盖了综合性大学全部本科物理课程内容.

这里应当强调指出两点:其一,一般地说,人们过去熟悉的苏联习题模式常常偏重基

基础知识、偏于计算推导、偏向基本功训练;与此相比,美国物理试题涉及的数学并不繁难,但却或多或少具有以下特色:内容新颖,富于“当代感”,思路灵活,涉及面宽广,方法和结论简单实用,试题往往涉及新兴和边沿交叉学科,不少试题本身似乎显得粗糙但却抓住了物理本质,显得“物理味”很足!纵观比较,编审者深切感到,这些考题的集合在一定程度上体现着美国科学文化个性及思维方式特色!唯鉴于此,大家不惮繁重,集众多人力而不怯,耗漫长岁月而不辍,是值得的!另外,扩充修订中增添的题目,也是本着这种精神,摘自编审老师各自科研工作成果,或是来自各人教学心得,实是点滴聚成。

其二,对于学生,的确有一个正确使用习题集的问题.有的同学,有习题集也不参考,咬牙硬顶,一个晚上自习时间只做了两道题.这种精神诚应嘉勉,但效率不高,也容易挫伤积极性,不利于培养学习兴趣;另有些同学,逮到合适解答提笔就抄,这样做是浮躁不踏实的.两种学习方法都不可取.编审者认为,正确使用习题集是一个“三步曲”过程:遇到一道题,先自己想一想,想出来了自己做最好;如果认真想了些时间还想不出来,就不要老想了,不妨翻开习题集找寻答案,看懂之后,合上书自己把题目做出来;最后,要是参考习题集做出来的,花费一两分钟时间分析解剖一下自己,找找存在的不足,今后注意.如此“三步曲”下来,就既踏实又有效率.本来,效率和踏实是一对矛盾,在这一类“治学小道”之下,它俩就统一起来了.总之,正确使用之下的习题集肯定能够成为学生们有用的“爬山”拐杖.

丛书第一版是在科学出版社胡升华博士倡议和支持下进行的,同时也获得刘万东教授、杜江峰教授的支持.没有他们推动和支持,丛书面世是不可能的.这次再版工作又承科学出版社昌盛先生全力支持,并再次获得中国科技大学物理学院和教务处的支持.对于这些宝贵支持,编审同仁们表示深切谢意.

※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※

本卷第一版为《原子亚原子与相对论物理学》,共计五篇,题目总数为 780 道.部分来自国际著名大学(包括哥伦比亚大学、加州大学伯克利分校、麻省理工学院、威斯康星大学、芝加哥大学、普林斯顿大学、纽约州立大学布法罗分校等)以及 CUSPEA 考试和丁肇中考试的试题和习题;一部分来自原子物理习题集和教科书(作者分别为阮图南、徐克尊、陈宏芳和杨福家等)、原子核物理(梅镇岳、卢希庭、V. G. Soloviev、颜一鸣、达维达夫)、粒子物理(章乃森、D. C. Cheng 和 G. K. O'Neill、汉斯·弗朗菲尔德和欧内斯特·M. 亨利、D. H. Perkins)以及核与粒子物理实验方法教材(徐克尊、王韶舜);另有一部分是我们自拟的.本卷大部分内容与我国理科大学的原子和亚原子物理教材是一致的,但也有一部分试题在深度和广度上都超出了通常的习题内容,相当一部分题目内容紧密结合科研发展的前沿课题.因而,本卷习题不仅有利于加深理解基本物理概念,提高分析解题的能力和熟练解题技巧,而且能开阔视野,活跃学术气氛,有利于教学和科研相结合.考虑到目前我国有些综合性大学没有专门开设原子核物理和粒子物理课,在这次编写时,特增加了基本概念内容的题目分量.另外,相对论是最早,也是最广泛应用于原子、亚原子物理及天体物理的,本卷特增加了相对论物理以及在这两个领域的应用.

由于亚原子物理的特殊性,本卷部分习题使用了自然单位制,这在实际工作中是很方便的.

前后十余年中,参加本卷解题的人有王力军、任勇、钱剑明、戴铁生、萧旭东、唐子洲、马骥、何小东、孟国武、斯其苗、袁卡佳、杨永安、叶坚、辛俭、管怀群、杨仲侠、周平、林辰、胡平、王璜鑫、黄晓舟、周兴宇、吴为民、王富强、吴欣、郭志椿等.其间也听取过刘耀阳、朱栋培、赵淑平、许咨宗、韩良和蒋一等的意见.为了丛书行文简洁,书中不再另行指出他们姓名.另外,陈涛、莫海定、崔凝卓、孔伟、陈刚、陈祥磊、杨建明和周雅瑾分别承当过部分审校、抄写和计算机输入工作.本卷第一、四和五篇由宫竹芳负责审校,第二、三篇由杨保忠负责审校,王韶舜参与了第二篇审校,第五篇由张家铝、周又元负责审校.全书由杨保忠统筹.

第二版修订把原第一版中的第四篇粒子探测第14章高速粒子运动学以及第四篇相对论的全部移出本卷,与丛书另外两卷中的相对论部分一起独立成《相对论物理学》卷.同时本卷改名为《分子、原子与亚原子物理学》.本次修订由杨保忠统筹,第一篇由张鹏飞负责修订,第二篇由王韶舜、张鹏飞负责,第三篇由许咨宗负责,第四篇由宫竹芳负责,对原有题目和解答都做了全面校核和力所能及的改进,并增加了少量新题.本次修订过程中,周融、尹鹏程等参与了部分讨论和协助工作,谨此说明.

编审者谨识

2005年6月

2018年8月修改

题 意 要 览

- 1.1 汤姆孙原子模型
- 1.2 低能电子-原子散射截面
- 1.3 在卢瑟福实验中 $2\pi b|db|$ 的含义
- 1.4 卢瑟福散射截面, 散射到不同角度的粒子数
- 1.5 散射前后 α 粒子动量的变化
- 1.6 α 粒子被紧放在一起的两种金属散射粒子数之比
- 1.7 利用背散射技术分析材料组分
- 1.8 温度为 10^{10}K 的黑体辐射的重量是多少
- 1.9 不同温度下黑体辐射的能量比
- 1.10 被质子散射的光子的波长
- 1.11 求与电子的静止能量相等的光子的频率和波长
- 1.12 导出康普顿散射中电子的反冲角与光子的散射角之间的关系
- 1.13 推导康普顿散射的光子的波长、能量及反冲电子的动能
- 1.14 求散射到 $\theta=\pi/2$ 和 π 时光子的能量和反冲电子的动能
- 1.15 计算被散射到 θ 角的光子的频率
- 1.16 比较 X 射线和可见光的康普顿散射的反冲电子的动能
- 1.17 求光源辐射光谱的光子数
- 1.18 由光电子的遏止电压求光子的波长
- 1.19 原子中电子云分布
- 1.20 由不确定性关系求电子限制在核内带来的不确定度
- 1.21 写出原子激发态的典型寿命
- 1.22 求热平衡时原子-原子散射是 s 波时的温度
- 1.23 电子显微镜
- 1.24 由电子的德布罗意波长, 求加速电压
- 1.25 求室温下热平衡时, 电子和质子的德布罗意波长
- 1.26 由测量光的波长精度求原子能级的平均寿命
- 1.27 比较子弹和电子的位置测量精度
- 1.28 用不确定性关系求粒子的贯穿深度
- 1.29 比较用相对论和非相对论计算电子的德布罗意波长
- 1.30 证明相对论电子的德布罗意波长与加速电压关系式
- 1.31 写出氢原子能级表达式
- 1.32 由氢原子的 H_α 线的波长求系限波长
- 1.33 不同作用对氢原子能级修正的贡献
- 1.34 氢原子 $n=100$ 的激发态的半径是多少
- 1.35 氢原子半径是康普顿波长的多少倍

- 1.36 电子绕核运动一周被拉开所需电场强度
- 1.37 由库仑定律和角动量量子化条件导出氢原子诸能级
- 1.38 用玻尔-索末菲模型导出电子在磁场中的量子化条件
- 1.39 叙述并推导玻尔假设与德布罗意波长的关系
- 1.40 由玻尔模型导出 He^+ 的能级
- 1.41 画出氢原子能级的各级修正能级图
- 1.42 求反冲引起的 H 原子光谱波长的变化
- 1.43 判断 H 和 ^3H 的光谱
- 1.44 求折合质量的变化对发射光谱的影响
- 1.45 由测量星体氢原子光谱的多普勒移动求星体飞离地球的速度
- 1.46 温度为 300K 时放电管中氢原子光谱的展宽是多少
- 1.47 由 H 和 D 的 H_α 和 D_α 线的波长确定 H 和 D 的质量比
- 1.48 比较氢原子发射光子后的反冲速率与热运动速率
- 1.49 氢原子被单色光激发后放出四条谱线,求单色光的频率
- 1.50 求靠万有引力束缚的氢原子基态的轨道半径和能量
- 1.51 求电子在氢原子中被经典禁止的能量区域
- 1.52 由氢原子的波函数求不同状态的概率分布
- 1.53 求类氢离子中电子的平均速度
- 1.54 Li^+ 的半径是多少
- 1.55 求氦离子(He^+)毕克林系的波长公式及大小
- 1.56 求 He^+ 与氢原子碰撞能发射巴耳末系光谱所需的相对速度
- 1.57 求光致不同能级的氢原子和 He^+ 的电离能
- 1.58 用基本常数表示原子电离能、H 和 D 的 α 线的频率差等
- 1.59 求核的有限体积对铅原子能级的影响
- 1.60 计算质子有大小和是点粒子时氢原子 S 波能级之差
- 1.61 估算锂原子 2s 电子的电离能,解释与实验值的差别
- 1.62 给出原子的 K 层电子能量公式
- 1.63 用电子和用原子激发原子的激发能
- 1.64 导出原子内部静电势及偏微分方程
- 1.65 求禁闭腔内电子对腔壁的压力
- 1.66 弗兰克-赫兹实验的结果说明了什么
- 1.67 具有一个和两个栅极的弗兰克-赫兹实验功能的差别
- 1.68 正电子素的结合能
- 1.69 正电子素的第一激发能
- 1.70 正电子素的结合能,跃迁寿命,单态和三态的能级劈裂
- 1.71 μ -氢原子基态的能量
- 1.72 $(\mu^+ \mu^-)$ 原子的能级
- 1.73 自旋-轨道耦合引起 $\text{Pb-}\Omega^-$ 原子能级劈裂及 Ω^- 的电四极矩对能级的影响

- 1.74 $C-\mu^-$ 奇异原子从 $n=3$ 到 $n=2$ 跃迁放出的能级
- 1.75 求 μ^- 氢原子的结合能, μ^- 锂原子的化学性质与哪种元素最近
- 1.76 核的有限大小对 μ 奇异原子能级的影响, 画出能级图
- 1.77 μ^- Al 原子 3d 态的寿命及发射的光波长
- 1.78 核为点粒子及有大小时 μ^- Pb 原子的能级和轨道半径
- 1.79 计算核为点粒子及有限大小时 μ 奇异原子 X 射线的能量
- 1.80 当 π^+ 为点粒子与有大小时 ($\pi^+ \mu^-$) 原子的能级差
- 1.81 估计 μ 子被质子束缚形成奇异原子的时间
- 2.1 施特恩-格拉赫实验的结果是什么
- 2.2 在施特恩-格拉赫实验中所用磁场的特点、产生方法
- 2.3 用施特恩-格拉赫实验确定粒子的极化方向
- 2.4 在施特恩-格拉赫实验中氢原子束的裂距
- 2.5 比较原子束在施特恩-格拉赫实验中劈裂
- 2.6 由施特恩-格拉赫实验确定原子角动量, 估计黑体辐射的能量密度等
- 2.7 画出 $n=2, 3, 4$ 时锂原子的能级图及能级跃迁
- 2.8 由锂光谱项量子数的修正值, 计算发射光的波长
- 2.9 由钾原子的已知光谱计算光谱项量子数的改正值
- 2.10 由钠原子光谱波长计算光谱项, 画能级图, 计算有效核电荷
- 2.11 用连续光谱照射钾蒸气可观察到的吸收谱线
- 2.12 导出朗德因子的表达式
- 2.13 求 $^2D_{3/2}$ 态的自旋、轨道和总角动量及相应的磁矩
- 2.14 求自旋角动量与轨道角动量间的夹角
- 2.15 氢原子 2p 能级的自旋-轨道劈裂值是多少
- 2.16 由精细结构公式计算氢原子的自旋-轨道耦合及相对论修正值
- 2.17 证明 nj 无论取何值精细结构项中的修正值都不消失
- 2.18 由氢原子能级的精细结构估算氢原子内部磁场
- 2.19 由钠、钾原子精细结构分裂估算原子内部磁场的大小
- 2.20 由铯原子精细结构分裂估算其有效核电荷数
- 2.21 考虑精细结构画出锂原子由 3d 到 2s 能级的跃迁图
- 2.22 由钠原子的光谱项求精细结构裂距
- 2.23 解释钠原子能级劈裂的物理机制, 求两条谱线的强度比
- 2.24 写出铯原子的自旋-轨道耦合项, 估算铯原子的双线强度比的最低修正
- 2.25 由能级精细劈裂确定类氢离子的种类
- 2.26 考虑精细结构, 画出 He^+ 容许跃迁, 求出波长差
- 2.27 分辨氢原子 H_α 线的精细分裂所需光谱仪的分辨本领
- 2.28 估算 μ 奇异原子能级的精细结构分裂值和自然宽度
- 2.29 精细结构常数 α 及 $\alpha \ll 1$ 的物理意义
- 2.30 氢原子基态能级的超精细分裂值是多少

- 2.31 导出原子能级的超精细分裂值
- 2.32 光谱的精细结构和超精细结构的起因及理论
- 2.33 确定氢原子和氢分子基态的超精细分裂
- 2.34 解释氢原子能级超精细分裂机制,估算分裂能级差
- 2.35 计算氢原子能级的超精细分裂
- 2.36 画出 ^{17}O 原子能级的精细和超精细结构能级图
- 2.37 由氢原子的超精细分裂计算氘原子的超精细分裂
- 2.38 由氢原子的超精细发射线确定超精细作用系数 a
- 2.39 由超精细能级间隔比求核自旋和总角动量量子数
- 2.40 由钾的超精细分裂计算核自旋及超精细分裂比
- 2.41 什么是兰姆移位
- 2.42 由作用势及波函数计算兰姆移位
- 2.43 由氢原子的兰姆移位计算能级差
- 2.44 什么是塞曼效应
- 2.45 求氢原子在磁场中的进动频率并与运动频率比较
- 2.46 求电子在磁场中不同取向的能量差及辐射波长
- 2.47 由原子在磁场中的进动频率求总角动量和磁矩
- 2.48 指出受热中性锂原子在磁场中的最低能级及成因
- 2.49 自旋为 $1/2$ 的粒子在磁场中处于 $s_z = \pm 1/2$ 的概率
- 2.50 原子在磁场中的哈密顿量的物理意义,用 μ^+ 衰变证明外场可引起 $(0 \rightarrow 0)$ 跃迁
- 2.51 由塞曼分裂确定原子的 g 因子和激发态的磁矩
- 2.52 说明在弱磁场中氢原子不同能级的跃迁特点
- 2.53 画出 $^2\text{D}_{5/2} \rightarrow ^2\text{P}_{3/2}$ 在弱磁场中的能级跃迁图
- 2.54 由塞曼分裂确定塞曼效应的类型及外加磁场强度
- 2.55 有无磁场时钠光谱的变化及所需的磁场强度
- 2.56 产生帕邢-巴克效应所需的磁场强度
- 2.57 在强、弱磁场中的能级跃迁
- 2.58 由汞原子光谱的塞曼效应确定塞曼效应的类型
- 2.59 严格计算磁场 B 加到双重 P 能级上的本征值
- 2.60 证明正电子素(e^+e^-)基态不能有线性塞曼效应
- 2.61 定性讨论氢原子 $n=2$ 的能级在电场中的劈裂
- 2.62 类氢原子 $n=2$ 的能级在电场中的位移
- 2.63 氢原子通过外电场时 $n=2$ 能级的跃迁矩阵元和跃迁概率
- 2.64 电子在一定位势中最低五个能级,计算其塞曼效应
- 2.65 原子在外电场中的能级、波函数及 L_z 的本征值
- 2.66 氢原子光谱频率及自然、多普勒、碰撞展宽,精细、超精细劈裂
- 2.67 弱磁场使 H 原子产生的诱导磁矩
- 2.68 只有一个价电子的原子的 g 因子的取值范围

- 2.69 原子的顺磁性和抗磁性
- 2.70 由钾原子的顺磁共振计算朗德因子 g
- 2.71 为做极化散射实验,求在磁场中的温度
- 2.72 氢原子超精细跃迁在磁场中的塞曼效应
- 2.73 磁场对中子束的作用
- 3.1 与自旋单态对应的空间波函数的交换对称性
- 3.2 氦原子前四个能级、能移、二套的能级的起因及跃迁
- 3.3 氦原子 $n=1,2,3$ 的能级图、容许跃迁、吸收跃迁和禁戒跃迁
- 3.4 画出在非相对论近似下氦原子的能级图并和氢原子的能级比较
- 3.5 考虑库仑作用,自旋-轨道耦合,有外磁场时画出氦原子的能级图
- 3.6 由波函数的交换对称性确定正氦和仲氦的能量高低
- 3.7 氦原子 3S_1 和 1S_0 能级差,原子基态的电子组态和原子态
- 3.8 画出氦原子与氢原子的能级图并比较它们的异同
- 3.9 用变分法和微扰法估计氦原子的能级和电极化率
- 3.10 用两个自旋为 1 的粒子代替电子时求氦原子基态的简并度
- 3.11 若电子的自旋为 $3/2$,讨论氢和氦原子的能级,求惰性气体的 Z 值
- 3.12 确定惰性气体基态的原子态
- 3.13 写出原子满壳层外加一个 d 电子的原子态
- 3.14 稀土元素的电子组态的特点
- 3.15 求电子组态的简并度
- 3.16 由多电子原子的电离能的差异,求氦原子的第二电离能
- 3.17 写出钠原子基态的电子组态和原子态,由 $3d$ 态到基态的跃迁
- 3.18 分别用 $L-S$ 和 $j-j$ 耦合求 pd 电子组态可形成的原子态
- 3.19 用 $L-S$ 耦合求 p^3 电子组态可形成的原子态
- 3.20 写出 np^2 和 np^4 电子组态可形成的原子态,确定各态的字称
- 3.21 写出 $2p3p$ 态电子在 $L-S$ 耦合下的能级及其跃迁
- 3.22 铅原子基态在 $L-S$ 耦合下的能级及其跃迁和在磁场中的劈裂
- 3.23 多电子原子在 $L-S$ 耦合下不同微扰的能级图及跃迁
- 3.24 铍原子的最低激发态的能级顺序及物理起因、能级劈裂值
- 3.25 原子的光谱学符号,洪德定则及其物理基础
- 3.26 朗德间隔法则,并予以证明
- 3.27 惰性气体基态和激发态的原子组态及各符号的意义, g 因子
- 3.28 碳原子基态的光谱学符号并说明原因
- 3.29 由 $L-S$ 耦合定原子的电子组态的原子态
- 3.30 在 $L-S$ 耦合下铈原子基态的原子态及其顺序,粒子数的分布
- 3.31 sp 电子组态在 $L-S$ 及 $j-j$ 耦合时的能级图
- 3.32 铝原子基态的电子组态及原子态,在磁场中的能级图
- 3.33 估算铈和铅核的有效电荷

- 3.34 碳原子的三个最低光谱项及其波函数
- 3.35 氮原子的三个最低光谱项
- 3.36 锆和铪原子的电子组态,难以用化学方法分离它们的原因
- 3.37 氢原子的 ψ_1 到 ψ_2 的跃迁是禁戒的条件
- 3.38 电偶极跃迁选择定则
- 3.39 斯塔克效应与外电场的关系
- 3.40 多电子原子跃迁选择定则 $\Delta L=0$ 不违背拉波特(Laporte)定则
- 3.41 选择定则 $\Delta L=0(0 \rightarrow 0 \text{ 除外})$ 的物理内涵
- 3.42 俄歇效应,反常塞曼效应
- 3.43 原子从基态到激发态的光吸收截面及共振宽度
- 3.44 由原子能级的碰撞激发截面求该能级的布局数和发光强度
- 3.45 原子从基态跃迁到激发态吸收光子的频率
- 3.46 受激原子自发辐射的级次与概率
- 3.47 类氢原子激发态平均寿命与 Z 的关系
- 3.48 氢原子 $2s$ 态中混有 p 态,如何退激发
- 3.49 氢原子和氦原子的高激发态的跃迁波长比
- 3.50 钠原子的能级与发射的光子能量,发射和吸收光谱的强度
- 3.51 镁原子的能级图及容许跃迁
- 3.52 一些元素的容许能级跃迁级次及禁戒跃迁
- 3.53 由钠原子的光谱项指出光子和电子能引起的跃迁
- 3.54 ^3H 衰变到 ^3He 的瞬间处在基态、 $2s$ 和 $2p$ 的概率
- 3.55 从金属表面发射电子的密度
- 3.56 与激发光有相同手征性的辐射光的圆极化强度与时间的关系
- 3.57 火焰中原子光谱的多普勒展宽
- 3.58 常温下氩原子光谱的多普勒展宽
- 3.59 热运动、非均匀磁场、电偶极矩使 $^{14}\text{C}^+$ 光谱展宽的机制及大小
- 3.60 轰击 Ni 靶产生 KX 射线的电子最小动能
- 3.61 由吸收限和 X 射线的能量画出铅的能级跃迁图, LX 射线的能量
- 3.62 由锌的 K_α X 射线的能量及电子的电离能求俄歇电子的能量
- 3.63 已知钨的 X 射线波长,画出其能级图
- 3.64 钨靶产生的 X 射线短波极限能否产生钨的 KX 射线
- 3.65 由吸收限求用电子可得到最短 X 射线和最短特征 X 射线波长
- 3.66 由吸收限确定相应能级的跃迁
- 3.67 用电子轰击钨靶产生的 X 射线谱
- 3.68 莫塞莱定律对所有元素的 X 射线都相似却不适合光谱
- 3.69 莫塞莱定律公式中各项的意义,双线结构,俄歇过程
- 3.70 测量特征 X 射线谱的实验安排,由莫塞莱定律确定原子序数等
- 3.71 用 X 射线的衍射法求晶格常数和阿伏伽德罗常量

- 3.72 用晶体衍射法求中子的能量
- 3.73 求 X 射线在银晶格上的衍射角和测量精度
- 3.74 由 X 射线衍射求普朗克常量 h
- 3.75 X 射线在氯化钠晶体上产生衍射的波长, 衍射角度
- 3.76 使 Cu 和 Zn 的 K_{α} 线达到一定的比例所需 Ni 吸收片的厚度
- 3.77 物质对可见光和 X 射线的吸收机制
- 3.78 产生 X 射线的新机制
- 3.79 电子自旋共振、核磁共振、穆斯堡尔效应实验及结果
- 3.80 在自旋回波实验中射频的频率和脉冲宽度, 解释回波的形成
- 3.81 电子自旋共振, 核磁共振, 穆斯堡尔效应, 霍尔效应, 约瑟夫森效应的概念, 观测及结果解释
- 3.82 描述下列实验并说明在原子物理发展中的重要性: (1) 法拉第电解实验, (2) 本生-基尔霍夫实验, (3) 汤姆孙电子荷质比实验, (4) 盖革-马斯顿 α 散射实验, (5) 巴克拉 X 射线散射实验, (6) 弗兰克-赫兹实验, (7) 施特恩-格拉赫实验, (8) 康普顿散射实验, (9) 兰姆-卢瑟福实验
- 3.83 估计: 微波炉辐射频率, 原子弹爆炸放出的能量, 陨石碰撞地球放出的能量, 太阳的温度, 人体血管的长度
- 3.84 论述激光冷却的原理并导出制冷的具体条件
- 4.1 氢分子中两核的间距
- 4.2 原子间作用力的起因
- 4.3 比较分子的转动、振动和电子能级的大小
- 4.4 比较由饱和力与非饱和力结合的分子的性质的差异
- 4.5 写出 H_2^+ 中电子的势能、两个最低能级的波函数
- 4.6 由 H_2, D_2 的离解能求 H_2 的零点能
- 4.7 用实验检验分子存在零点能
- 4.8 由 H 原子基态波函数导出 H_2 分子波函数和能级, 解释“交换力”
- 4.9 常温和 0K 时正氮和仲氮的相对丰度
- 4.10 由运动的 H_2 分子离解放出的 H 原子的能量求 H_2 的离解能
- 4.11 由钾的电离能, Cl 的亲能和核间距求 KCl 的离解能
- 4.12 $H_2^+(\mu)$ 分子的核间距, 零点能和结合能
- 4.13 用夸克 Q 代替分子中的电子 e, 求 dQd 中氦核的间距
- 4.14 用中子激发氧分子转动态的最小能量
- 4.15 由远红外光谱间隔求 HBr 的核间距
- 4.16 区分 Cl 的不同同位素的转动光谱对光谱仪分辨率的要求
- 4.17 计算 $^1H^17Cl$ 分子远红外频率间隔
- 4.18 导出 $^{14}N_2$ 分子相邻转动谱线强度比
- 4.19 哑铃分子转动能级的能量差, H_2 分子仲态和正态的差别
- 4.20 双原子分子的转动能级

- 4.21 由 NaCl 的转动光谱的波长差求能级的布局数
- 4.22 证明双原子分子转动能级最大布局数的 J 值
- 4.23 H_2 分子的振动能级的间隔
- 4.24 HF 分子势能曲线, 振动能级, 选择定则, 跃迁光子能量
- 4.25 由 HCl 分子的红外光谱带, 计算基线的波数、转动惯量和核间距
- 4.26 双原子在中心力场中的振动频率, 振动、转动、转动-振动能级
- 4.27 $\text{H}_2, \text{D}_2, \text{HD}$ 分子的自旋态及其分布, 转动、振动能级
- 4.28 由 HCl 的已知吸收光谱确定是该谱转动谱还是振动谱
- 4.29 HCl 分子的吸收谱的特征及 HCl 的定量知识
- 4.30 双原子分子的电子跃迁能级
- 4.31 不同分子在热平衡状态下电子带谱中线密度之比
- 4.32 分子中的电子、振动、转动激发能及其比值
- 4.33 HBr 的电子、振动、转动激发能, 选择定则, 转动惯量和振动频率, 与 H_2, D_2 比较
- 4.34 入射光和拉曼散射光的波长与 NaCl 的振动频率
- 4.35 光在 NaCl 上的拉曼散射光的波长
- 4.36 由 $^{14}\text{N}_2$ 的拉曼谱确定 ^{14}N 核的自旋及意义
- 4.37 证明分子能产生拉曼散射, O_2 分子有一级拉曼散射而没有一级红外吸收及原因
- 4.38 由 HF 的拉曼散射光谱求分子的振动频率和力常数
- 4.39 求在拉曼散射中出射光强度与激励光强度的关系
- 5.1 核内部不存在电子的证据
- 5.2 从元素特征 X 射线的能量, 求该元素的原子核电荷数
- 5.3 表征原子核基本性质的物理量以质量数 A 和电荷数 Z 为最重要
- 5.4 测量核大小的方法: 电子散射, 原子能级和同位旋多重态基态能量
- 5.5 电子、质子、中子和 γ 光子作为核探针的比较
- 5.6 变形核(椭球形)的电势表达式和第一玻尔半径处的电势变化
- 5.7 判定一组元素的性质
- 5.8 核的半径
- 5.9 原子的大小和原子核的大小之比
- 5.10 原子核的密度
- 5.11 半径为 ^{189}Os 核半径的 $1/3$ 的稳定核
- 5.12 典型核激发能的量级
- 5.13 原子核在地磁场中的进动频率
- 5.14 原子核的角动量
- 5.15 原子核的角动量 I 随质量数 A 的变化规律
- 5.16 原子壳层电子 $L=2, S=0$; 核的角动量 $I=3/2$, 求原子总角动量
- 5.17 ^{94}Nb 的 $\mu=6.167\mu_N$, 核的角动量 $I=9/2$, 求核的 g 因子
- 5.18 实验上给出的核磁矩值
- 5.19 中子、 $^3\text{H}_1$ 、 $^3\text{He}_2$ 和 $^6\text{Li}_3$ 的磁矩、轻核的 β 衰变能和聚变能