

张永德 主编

物理学大题典

A Grand Dictionary of
Physics Problems and Solutions

7

量子力学 (上册)

Quantum Mechanics

第二版

张永德 张鹏飞 刘乃乐 柳盛典 / 编著
吴 强 朱栋培 范洪义 潘必才



科学出版社
中国科学技术大学出版社

物理学大题典⑦/张永德主编

量子力学

(上册)

(第二版)

张永德 张鹏飞 刘乃乐 柳盛典 编著
吴 强 朱栋培 范洪义 潘必才



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内容:从普通物理的力学、热学、光学、电磁学、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。

《量子力学(第二版)》上册共6章,包括量子力学的物理基础、一维定态问题、中心场束缚态问题、算符、表象和表示、轨道及自旋角动量问题和带电粒子在电磁场中运动问题。

本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

量子力学.上册/张永德等编著. —2版. —北京:科学出版社,2018.9
(物理学大题典/张永德主编;7)
ISBN 978-7-03-058373-4

I. ①量… II. ①张… III. ①量子力学-题解 IV. ①O413.1-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第167669号

责任编辑:昌盛 陈曰德 / 责任校对:张凤琴
责任印制:吴兆东 / 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

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018年9月第 二 版 印张:33 1/4

2018年9月第四次印刷 字数:788 000

定价:89.00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 项目由李政道先生提出。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.

※ ※ ※ ※ ※ ※ ※

《量子力学(第二版)》共计12章,题目总数由原来380道增扩为707道.题目来源是一些国内外量子力学习题集和量子力学教材,另有相当一部分是我们自拟的.

前后近20年中,参加本卷解题的人有任勇、戴铁生、萧旭东、周苏闽、王力军、何小东、孟国武、斯其苗、袁卡佳、何广梁、缪凌、康绍强、张洪、陈一新、杨仲侠、宁铂、吴盛俊、周锦东、赵博、赵梅生、杨洁、张强等.其间也听取过马雷、唐忠、潘建伟、刘乃乐、吴建达等的意见.为了丛书行文简洁,书中不再另行指出他们姓名.另外,戴铁生、郁司夏、赵博、赵梅生、杨洁、张强、曾树祥和王立志分别承当过部分审校、抄写和计算机输入工作.编写期间曾承俞礼钧教授提供过资料.

编审者谨识

2005年5月

2018年8月修改

目 录

丛书序

前言

题意要览

第 1 章	量子力学的物理基础	1
第 2 章	一维定态问题	39
第 3 章	中心场束缚态问题	159
第 4 章	算符、表象和表示	256
第 5 章	轨道及自旋角动量问题	330
第 6 章	带电粒子在电磁场中运动问题	466

题 意 要 览

- 1.1 就几种情况在数值上加以证明在宏观世界里量子现象常常可以忽略
- 1.2 基本量的数值估计
- 1.3 几个重要物理量数值的量级
- 1.4 几个重要实验的意义
- 1.5 电子、中子和光子的 de Broglie 波长
- 1.6 室温下中子、电子热运动 de Broglie 波长
- 1.7 电子的双缝干涉
- 1.8 原子的稳定性
- 1.9 光子衰变
- 1.10 电子偶素的衰变
- 1.11 光的折射与最小作用量原理
- 1.12 de Broglie 波的相速度和群速度
- 1.13 考虑相对论修正后电子的 de Broglie 波长
- 1.14 de Broglie 波长的计算
- 1.15 电子显微镜的分辨率
- 1.16 波函数的归一化
- 1.17 粒子的径向和角向分布
- 1.18 验证不确定性关系
- 1.19 利用不确定性关系估算无限深方势阱中粒子的基态能量
- 1.20 给定一维运动粒子的波函数做有关计算
- 1.21 自由粒子动量和动能期望值的计算
- 1.22 电子 Young 双缝实验与测量公设
- 1.23 测量公设例 (I)
- 1.24 测量公设例 (II)
- 1.25 测量公设例 (III)
- 1.26 能量守恒
- 1.27 一维束缚态无简并
- 1.28 一维束缚态的性质
- 1.29 广义 Virial 定理
- 1.30 广义 Hellmann-Feynman 定理
- 1.31 Schmidt 正交化方案
- 1.32 Virial 定理的应用
- 1.33 态随时间的演化
- 1.34 力学量期望值随时间的演化
- 1.35 常见的不确定性关系有三种形式

- 1.36 从波粒二象性以物理分析方式推论出量子力学的三个基本特征
- 2.1 自由粒子波包的扩散
- 2.2 自由粒子运动的普遍解
- 2.3 一维无限深方势阱中的粒子处于两个定态的叠加态
- 2.4 一维无限深方势阱中的粒子
- 2.5 平面转子
- 2.6 禁闭在一维盒中电子对器壁的压力
- 2.7 半壁无限高方势阱
- 2.8 $H = H_0 + \frac{\lambda}{m}p$ 的求解
- 2.9 一维束缚态的逆 (反散射) 问题 (1)
- 2.10 一维束缚态的逆 (反散射) 问题 (2)
- 2.11 一维束缚态的逆 (反散射) 问题 (3)
- 2.12 一维束缚态的逆 (反散射) 问题 (4)
- 2.13 半壁无限深和有限深对称方势阱存在束缚态的条件
- 2.14 δ -势阱的束缚态
- 2.15 δ -势阱的束缚态中, 使粒子处于 $|x| < x_0$ 的概率为 $1/2$ 的 x_0 值
- 2.16 势无限高的墙壁外存在 δ -势, 粒子在该势场中做一维运动
- 2.17 一维束缚态逆问题
- 2.18 粒子在阶跃势与 δ -势叠加的势场中运动
- 2.19 无限深势阱中央有一个 δ -势垒, 粒子在其中运动
- 2.20 处于一维谐振子叠加态的位置期望值
- 2.21 考察原子在势壁附近行为的近似模型
- 2.22 Dirac 梳对粒子的散射发生完全反射的条件
- 2.23 双 δ -势垒中的共振态能级
- 2.24 δ -势阱中粒子波函数系数矩阵
- 2.25 在动量表象中求解 δ -势阱束缚态问题
- 2.26 粒子在非经典区的概率 (谐振子基态)
- 2.27 粒子在对称方势阱中运动, 阱口刚好出现一条束缚态能级的条件
- 2.28 van der Waals 力势场中的束缚态
- 2.29 限制在圆周上运动且存在一个 δ -势垒的束缚态
- 2.30 限制在一段圆弧上运动的粒子
- 2.31 计算散射势垒的宽度
- 2.32 谐振子基态为最小不确定性态
- 2.33 由谐振子基态位置涨落求其跃迁到第一激发态所需的能量
- 2.34 谐振子随时间的演化
- 2.35 谐振子一般态位置期望值随时间的演化以及势能对时间的平均
- 2.36 谐振子势中心加一个很高很薄势垒
- 2.37 与给定的谐振子本征态能级相邻的本征态
- 2.38 关于谐振子一个特定的定态叠加态的计算
- 2.39 谐振子基态和第一激发态波函数在 p 表象中的形式
- 2.40 两个能量本征态的能级差
- 2.41 对势场 $V(x) = V_0(x/a)^{2n}$, 用不确定性关系估计基态能

- 2.42 一个关于一维 Schrödinger 方程本征值的定理
- 2.43 束缚态存在定理
- 2.44 一维势存在束缚态条件的讨论
- 2.45 双势阱中态的一些讨论
- 2.46 一维反散射问题
- 2.47 自由粒子波包随时间的演化
- 2.48 自由粒子波包随时间演化的极限形式
- 2.49 $^{212}_{83}\text{Bi}$ 的 α 衰变的量子模型
- 2.50 质量为 m 的粒子在一维双 δ -势阱中运动
- 2.51 方势阱的透射
- 2.52 阶跃势对粒子的散射
- 2.53 粒子自势阶方向入射时的透射、反射
- 2.54 粒子的反射系数 R 及透射系数 T 满足 $R+T=1$
- 2.55 对于相同能量的粒子, 从势垒左边入射与从右边入射, 其反射系数、透射系数均相同
- 2.56 势阶反射比率
- 2.57 δ -势垒的透射
- 2.58 $V(x) = -V_0 \text{sech}^2 x$ 的 S 矩阵
- 2.59 中子束在平板上的反射
- 2.60 一维常数 (虚) 势的吸收系数
- 2.61 Galileo 变换下 Schrödinger 方程的解
- 2.62 在动量表象中计算粒子对 δ -势垒的透射概率
- 2.63 计算粒子对双 δ -势垒的透射概率
- 2.64 动量表象求解 Dirac 梳对粒子的散射
- 2.65 受冲力 $\lambda\delta(t)$ 作用的谐振子基态
- 2.66 谐振子势场的突变
- 2.67 重力场中粒子的能量
- 2.68 一维 Ising 模型
- 2.69 关于 Dirac 梳的计算
- 2.70 一个类谐振子能谱
- 2.71 氨分子钟的工作原理
- 2.72 在均匀力场中运动粒子 $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ 与 $\frac{\partial \rho}{\partial p}$ 的关系
- 2.73 粒子入射势垒的反射系数 (1)
- 2.74 粒子入射势垒的反射系数 (2)
- 2.75 入射至半壁无限高势阱粒子的入射波和出射波的相位关系
- 2.76 在无限深方势阱内粒子动能平方三种办法的计算
- 3.1 轨道角动量量子数确定的定态中粒子平均位置必在原点
- 3.2 粒子在中心力场 $V(r) = -\frac{\alpha}{r^s} (\alpha > 0)$ 中运动存在束缚态条件
- 3.3 原子单位
- 3.4 三维无限深势阱
- 3.5 “夸克” 禁闭
- 3.6 被空穴束缚的电子吸收谱的最大波长

- 3.7 处于无限深球方势阱基态电子对器壁压力
- 3.8 粒子在两个不可穿透的同心球壳中的运动
- 3.9 谐振子几个问题
- 3.10 中心力场运动粒子各能级径向波函数的节点数
- 3.11 三维各向同性谐振子能级的占有数和简并度
- 3.12 三维耦合谐振子
- 3.13 对数势中运动的粒子
- 3.14 氢原子受一无限高势壁的作用
- 3.15 氢原子波函数随时间的演化
- 3.16 电子偶素
- 3.17 电子在势场 $V = kr (k > 0)$ 中运动
- 3.18 重夸克之间近似相互作用势 $V(r) = A + Br$
- 3.19 质子和中子通过交换 $\pi^\pm$ 介子产生近似的吸引势 $V(r) = \frac{g^2}{d} \exp\{-r/d\}$
- 3.20 中心力场束缚态的一个重要关系
- 3.21 有限深球方势阱中的束缚态
- 3.22 有限深球方势阱存在束缚态的条件
- 3.23 受反射壁影响粒子运动的 Green 函数及其复数模平方
- 3.24 电子在不可穿入的导体表面上方的运动
- 3.25 非相对论电子在无限大接地、不可穿透导体上方运动
- 3.26 粒子在势场 $V(r) = -\frac{\lambda}{r^{2/3}}$ 中运动, 由不确定性关系估计其基态能量
- 3.27 质量为 μ 的粒子在球壳势阱中运动
- 3.28 Coulomb 吸引势与距离平方反比排斥势之和的势场中运动粒子的能量本征值和本征态
- 3.29 三维各向同性谐振子与 Coulomb 场束缚态径向方程的联系
- 3.30 幂函数型中心势场 $V(r) = \lambda r^\nu$ 束缚定态能量 $\nu > 0$ 与 $-2 < \nu < 0$ 情形的对应
- 3.31 球对称幂律势场中运动粒子的能级量纲构造式
- 3.32 球对称幂律势场中运动粒子在半径为 a 的球面内出现的概率
- 3.33 若中心势场势函数 $V(r)$ 为单调上升函数, 则任意半径球内势的期望值小于整个空间势的期望值
- 3.34 对核电荷为 Ze 的类氢原子, 计算处于束缚定态 ψ_{nlm} 下的电子的 $\langle r^{-1} \rangle$ 、 $\langle r^{-2} \rangle$ 和 $\langle r^{-3} \rangle$
- 3.35 类氢离子束缚定态下 $\langle r^\lambda \rangle$ 的 Kramers 递推公式
- 3.36 三维各向同性谐振子的束缚定态中 $\langle r^\lambda \rangle$ 的递推关系
- 3.37 原子核的突然 β^- 衰变
- 3.38 用不确定性关系估算氦原子的基态能量
- 3.39 估算核力的力程
- 3.40 对于氢原子基态, 验证不确定性关系
- 3.41 类氢离子“圆轨道”态的讨论
- 3.42 对于氢原子中的“圆轨道”态, 求电子在经典禁区 ($V > E$) 中的概率
- 3.43 对于氢原子的各 s 态计算 Δx 、 Δp_x
- 3.44 碱金属价电子受屏蔽势作用时的能级
- 3.45 中心力场等效势的讨论

- 3.46 双原子分子内部运动能级的近似表达式
- 3.47 Morse 势的 s 态解
- 3.48 有限深球方势阱的一般讨论
- 3.49 n - p 体系束缚态
- 3.50 介子的弹性袋模型
- 3.51 二维和三维中心力场能量本征值的对应关系
- 3.52 在无限长圆筒中运动粒子的能量
- 3.53 中心力场束缚态能级对磁量子数 m 简并
- 3.54 中心力场存在束缚态的充分条件
- 3.55 氢原子定态波函数径向部分在动表象中的形式
- 3.56 粒子在 Kratzer 分子势中运动束缚态解
- 3.57 三维中心力场的“反散射”问题 (1)
- 3.58 三维中心力场的“反散射”问题 (2)
- 3.59 一维氢原子的束缚态解
- 3.60 氢原子 $1s$ 、 $2s$ 和 $2p$ 态在动表象中的形式
- 3.61 氢原子中电子的电偶极矩
- 3.62 刚性球半径突变时处于球内的粒子
- 3.63 粒子在 Hulthen 势中束缚态能级的不等式
- 3.64 无自旋粒子在柱对称势下运动的讨论
- 4.1 宇称 (空间反演) 算符
- 4.2 证明束缚定态中动量的期望值恒为零
- 4.3 $[\hat{A}, \hat{B}]_+ = 0$ 时, 在 Hermite 算符 $\hat{A}$ 的分立谱本征态下 $\hat{B}$ 的期望值为零
- 4.4 $[\hat{A}, \hat{H}]_+ = 0$ 时能量本征态的性质
- 4.5 算符函数 $\hat{F}^N$ 的展开
- 4.6 坐标算符本征值谱的讨论
- 4.7 动量算符本征值谱的讨论
- 4.8 坐标平移算符的本征值及本征态
- 4.9 轨道角动量算符 $\hat{L}_z$ 的 Hermite 性条件
- 4.10 流密度算符
- 4.11 压缩算符的转置及 Hermite 共轭算符
- 4.12 算符 $i\frac{\partial}{\partial r}$ 的转置及 Hermite 共轭算符
- 4.13 对 Hermite 算符 $\hat{A}$ 和 $\hat{B}$, 算符 $(\hat{A} + i\hat{B})^2$ Hermite 性的条件
- 4.14 压缩算符在 x 表象中的表示
- 4.15 压缩相干态在 x 表象中的表示
- 4.16 压缩态的另一种形式
- 4.17 Fourier(积分) 变换的性质
- 4.18 动量空间的 Schrödinger 方程
- 4.19 $F = \alpha p + \beta x$ 的本征态
- 4.20 算符 $x + \frac{d}{dx}$ 的本征态
- 4.21 两反对易算符存在共同本征态的条件
- 4.22 线性算符在连续谱表象中的矩阵元——积分核

- 4.23 算符 $\frac{1}{r}$ 和 $\frac{1}{r^2}$ 的积分核
- 4.24 算符 $\hat{L}$ 的 $\hat{L}^*$, $\hat{L}^T$, $\hat{L}^\dagger$ 的积分核
- 4.25 已知算符 $\hat{L}$ 积分核的形式, 讨论 $\hat{L}$ 的 Hermite 条件
- 4.26 两对易算符的积分核之间的关系
- 4.27 与 $\hat{x}$ 、 $\hat{p}$ 都对易的算符为常数算符
- 4.28 积分核形如 $F(x, x') = f(x)f^*(x')$ 算符的本征值、本征态
- 4.29 若 $\hat{\pi}\psi(x) = \psi(-x)$ 则 $\hat{\pi}\varphi(p) = \varphi(-p)$
- 4.30 算符函数在连续谱表象中的矩阵元——积分核
- 4.31 投影定理
- 4.32 投影算子
- 4.33 投影算子的积分核
- 4.34 投影算子的形式
- 4.35 力学量期望值对时间的二次微商
- 4.36 坐标算符平方期望值对时间的二次微商
- 4.37 算符整函数与 x 、 p 的对易关系
- 4.38 Baker-Hausdorff 公式
- 4.39 Glauber 公式
- 4.40 Kubo 恒等式
- 4.41 对易关系的一个重要结果
- 4.42 矢量算符的点乘积、叉乘积与标量算符的对易关系
- 4.43 轨道角动量算符与整函数算符的对易子
- 4.44 轨道角动量与动量算符的两个代数关系
- 4.45 矢量算符与角动量算符的一般代数关系
- 4.46 $\hat{L}^2$ 、 $\hat{p}^2$ 的代数结果
- 4.47 $\hat{L}$ 、 $\hat{r}$ 与 $\hat{p}$ 的混合积与三重叉积
- 4.48 关于 $\hat{L}$ 、 $\hat{p}$ 的几个代数关系
- 4.49 算符的逆
- 4.50 算符的导数
- 4.51 关于有限阶矩阵行列式、迹的几个等式
- 4.52 关于有限阶矩阵行列式和迹的一个关系式
- 4.53 由算符满足的最低阶方程求本征值
- 4.54 电荷算符与“电荷共轭”算符
- 4.55 算符本征态的完备性与可观测量 Hermite 性的应用
- 4.56 能量表象中的求和规则 (1)
- 4.57 能量表象中的求和规则 (2)
- 4.58 能量表象中的求和规则 (3)
- 4.59 能量表象中的求和规则 (4)
- 4.60 由不确定性关系求最小不确定性态
- 4.61 力学量的时间导数算符在能量表象的矩阵元
- 4.62 在动量表象中求解均匀力场中运动粒子的定态波函数
- 4.63 中子与反中子互相转变
- 4.64 表象与表象变换例 (1)

- 4.65 表象与表象变换例 (2)
- 4.66 么正算符与么正矩阵
- 4.67 Heisenberg 表象中算符方程
- 4.68 么正算符的时间导数
- 4.69 积分方程 $\hat{B}(t) = \hat{B}_0 + i \left[\hat{A}, \int_0^t \hat{B}(\tau) d\tau \right]$ 的解
- 5.1 角动量的对易关系
- 5.2 角动量的升降算符
- 5.3 在角动量平方、 z 方向分量的共同本征态下, 求角动量 x 分量的期望值、均方值和涨落
- 5.4 在角动量平方和其第三分量的共同本征态下角动量沿空间某一方向分量及其平方的期望值
- 5.5 在角动量平方、 z 方向分量表象的 $J=1$ 的子空间, 角动量 x 方向分量、 y 方向分量的矩阵表示及本征值与本征态
- 5.6 在 $J=1$ 的子空间中, 证明 $J_x^3 = J_x$
- 5.7 在角动量平方、 z 方向分量共同本征态下, 测量角动量 x 方向分量或 y 方向分量取 $\pm m'$ 的概率相等
- 5.8 在角动量平方、 z 方向分量的共同本征态中, 求 x 方向分量四次幂的期望值
- 5.9 在 Y_{20} 态下, L_x 的可能值及相应概率
- 5.10 与角动量对易的标量算符在角动量本征态下的期望值与磁量子数无关
- 5.11 角动量的投影定理
- 5.12 角动量算符和矢量算符的几个代数关系
- 5.13 σ_n 的本征值与本征态
- 5.14 $1/2$ 自旋沿正 z 轴, 求自旋沿空间方向分量的可能值及相应概率
- 5.15 与 Pauli 算符的三个分量都对易的非零二维矩阵必为常数矩阵
- 5.16 角动量的对易关系
- 5.17 SU_2 矩阵的一般形式
- 5.18 同位旋算符
- 5.19 C 数矢量算符与 Pauli 算符的一个关系式
- 5.20 Pauli 算符有关的几个求迹的运算
- 5.21 一个 C 数矢量算符与 Pauli 算符的关系式
- 5.22 $e^{i\lambda\sigma_z} = \cos \lambda + i\sigma_z \sin \lambda$
- 5.23 $1/2$ 旋量空间转动算符的关系式
- 5.24 自旋空间中绕 z 轴的转动下 Pauli 算符的变换
- 5.25 自旋空间中绕空间某方向转动下 Pauli 算符的变换
- 5.26 $\sigma_{\pm} = \sigma_x \pm i\sigma_y$ 的一些代数结果
- 5.27 自旋态 $|\lambda\rangle$ 的投影算子
- 5.28 自旋极化矢量在均匀磁场中的动力学方程 (I)
- 5.29 自旋极化矢量在均匀磁场中的动力学方程 (II)
- 5.30 在 σ_n 本征态下的自旋极化矢量
- 5.31 $s=1/2$ 时极化矢量与投影算子的关系
- 5.32 $1/2$ 粒子自旋态为 $|x\rangle$, 测得其处于 $|\lambda\rangle$ 态的概率
- 5.33 由测量结果确定自旋态