



现代物理学丛书

普 遍 官 译 著

# 量 子 力 学

上 册

科 学 出 版 社

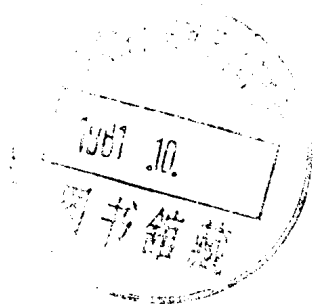
3136  
652

现代物理学丛书

# 量子力学

上册

曾谨言 编著



科学出版社

1981

1109586

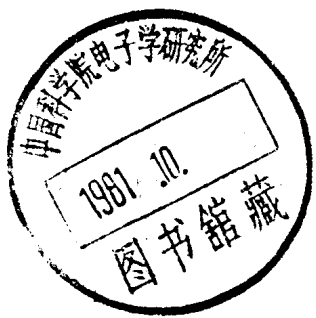
53.36  
652  
下

现代物理学丛书

# 量子力学

下册

曾谨言 编著



科学出版社

1981

1103618

## 内 容 简 介

本书系统地讲述量子力学的基本概念、原理以及对一些重要问题的处理,包括常用的近似方法。第一章介绍量子力学发展简况;第二和第四章分别阐述基本原理;出自教学法的考虑,中间插入第三章一维定态问题;第五章讨论对称性与守恒定律;第六、七、八章主要论述粒子在中心力场和电磁场中的运动以及自旋,它们是研究分子、原子、固体物理、原子核及基本粒子等都要涉及的重要问题。下册着重讲述近似方法(包括定态微扰论、跃迁、散射及多体问题的近似处理方法)及常用的工具(包括角动量理论及二次量子化方法)。还有两章分别讲述量子力学与经典力学的关系及相对论量子力学,每章末附有相当数量的习题;书中还有许多问题及思考题。

本书可作为物理专业及有关专业量子力学的教材或参考书,也可供研究生、教师和科研工作者参考。

现代物理学丛书

量 子 力 学

上 册

曾 谨 言 编 著

责任编辑 陈菊华

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1981年7月第 一 版	开本:850×1168 1/32
1981年7月第一次印刷	印张:9 1/2
印数: 精 1—4,550	插页:精 5 平 3
平 1—8,050	字数:249,000

统一书号:13031·1586

本社书号:2178·13—3

定价:布脊精装 2.40 元  
平 装 1.85 元

## 内 容 简 介

本书系统地讲述量子力学的基本概念、原理以及对一些重要问题的处理,包括常用的近似方法。本书分上、下两册出版。上册主要阐述基本概念和原理,下册着重讲述近似方法(包括定态微扰论、跃迁、散射及多体问题的近似处理方法)及常用的工具(包括角动量理论及二次量子化方法)。还有两章分别讲述量子力学与经典力学的关系及相对论量子力学。每章末附有相当数量的习题;书中还有许多问题及思考题。

本书可作为物理专业及有关专业量子力学的教材或参考书,也可供研究生、教师和科研工作者参考。

0570/05  
现代物理学丛书

## 量 子 力 学 下 册

曾谨言 编著

责任编辑 陈菊华

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1981年7月第一版	开本: 850×1168 1/32
1981年7月第一次印刷	印张: 12
精 1—4,500	插页: 精 2
平 1—7,950	字数: 316,000

统一书号: 13031·1587

本社书号: 2179·13—3

定价: 布脊精装: 2.80 元  
平 装: 2.25 元

## 《现代物理学丛书》编委会

主 编	王竹溪			
副主编	朱洪元	汪德昭	周光召	谢希德
编 委	于 敏	王之江	王天眷	冯 端
	卢鹤绂	吴式枢	汤定元	何祚庥
	李整武	张志三	苟清泉	郝柏林
	郭贻诚	葛庭燧		

## 序 言

量子力学是在人类的生产实践和科学实验深入到微观物质世界领域的情况下，在二十世纪初到二十年代的一段时间中建立起来的。人们从实践中发现，在原子领域中，粒子的运动行为与日常生活经验有质的差异，在这里我们碰到一种新的自然现象——量子现象，它们的特征要用一个普适常数——普朗克常数  $h$  来表征。经典物理学在这里碰到了无法克服的矛盾，而量子力学的概念与规律就是在解决这些矛盾的过程中逐步揭示出来的。

但是，不能认为量子力学规律与宏观物质世界无关。事实上，量子力学的规律不仅支配着微观世界，而且也支配着宏观世界<sup>1)</sup>，可以说全部物理学都是量子物理学的<sup>2)</sup>。已被长期实践证明的描述宏观自然现象的经典力学规律，实质上不过是量子力学规律的一个近似。一般说来，在经典物理学中不直接涉及物质的微观组成问题，因而量子效应并不显著，所以经典力学是一个很好的近似。例如行星绕太阳的运动，与氢原子中电子绕原子核的运动相似，都受量子力学规律支配，但对于前者，量子效应是微不足道的（角动量  $mvR \gg h$ ， $m$  是行星质量， $v$  是速度， $R$  是轨道半径），因此，经典力学规律被证实是相当正确的。

但有一些宏观现象，量子效应也直接而明显地表现出来。例如，极低温下（ $v$  很小）的超导现象与超流现象；又例如白矮星及中子星等高密度（ $R$  很小）的星体以及常温、常压、常密度情况下质量  $m$  很小的粒子系（例如金属中的电子气），量子效应都很显著，不能忽视。因此，经典力学与量子力学适用范围的分界线，应当根据

---

1) R. J. Finkelstein, *Nonrelativistic Mechanics* (1973), Introduction.

2) E. H. Wichmann, *Quantum Physics* (Berkeley Physics Course, Vol. 4), chap. 1.

量子效应重要与否来划分。

量子力学规律的发现,是人们对于自然界认识的深化。量子力学,特别是非相对论量子力学的基本规律与某些基本概念,从它们建立到现在的五十多年中,经历了无数实践的考验,是我们认识和改造自然界所不可或缺的工具。由于量子力学所涉及的规律极为普遍,它已深入到物理学的各个领域,以及化学及生物学的某些领域。现在,可以说,要在物理学的任何领域进行认真的工作,没有量子力学是不可思议的。因此,量子力学已成为现代物理学的理论基础。

当然,与任何一门自然科学一样,量子力学也只是在不断发展中的相对真理。从量子力学建立以来,对它的某些基本概念以及对其基本规律的一些看法,始终存在着不同见解的争论。这需要通过进一步的科学实践以及揭示新的矛盾逐步加以解决。这些问题在我们的课程中将不予涉及。

基本概念与原理是学习量子力学的难点。对这部分内容的安排与讲法,在本书中作了一些新的尝试,一方面尽可能地符合初学者的认识过程,另一方面也兼顾理论的系统性及历史发展的线索。而在讲述典型问题的处理及近似方法时,则力求简练与实用。本书列出的问题及思考题,是直接配合有关章节学习的,读者最好把它们都作出。为了适应不同程度读者的要求,每章末还附有数量较多的习题,作为教材使用时只需选用其中 1/3 就可以了。

本书分为上、下两册出版。上册内容分为八章,即:一、量子力学发展简况;二、波函数与波动方程;三、一维定态问题;四、力学量用算符表达;五、对称性及守恒定律;六、中心力场;七、粒子在电磁场中的运动;八、自旋。下册内容也分为八章,即:九、定态微扰论;十、散射问题;十一、量子跃迁;十二、多粒子体系;十三、量子力学与经典力学的关系;十四、角动量理论初步;十五、二次量子化;十六、相对论量子力学。另外在书末有数学附录,习题答案和索引。作教材使用时,打\*号的章节可略去。

本书是根据作者在北京大学所编《量子力学讲义》修改而成。



对原讲义上册部份，王竹溪先生及郭敦仁先生曾提出过许多宝贵意见。在这次修订过程中，承胡济民先生仔细审阅全稿，其中有关章节还分别请彭宏安，齐辉，程檀生，杨新华，林纯镇及吴崇试等同志看过。不少过去看过和使用过《讲义》的同志，也提出过许多宝贵意见，使作者在修改时获益不浅。作者在此一并表示感谢。由于时间仓促及作者水平所限，错误与不妥之处一定不少，希读者指出，以便再版时修正。

## 常用物理常数表<sup>1)</sup>

普朗克常数	$h = 6.626 \times 10^{-27}$ 尔格·秒
	$\hbar = h/2\pi = 1.054 \times 10^{-27}$ 尔格·秒
光速	$c = 2.998 \times 10^{10}$ 厘米/秒
电子电荷值	$e = 4.803 \times 10^{-10}$ esu = $1.602 \times 10^{-19}$ 库仑
精细结构常数	$\alpha = c^2/\hbar c = 7.297 \times 10^{-3} \approx 1/137$
阿伏加德罗数	$N_0 = 6.023 \times 10^{23}$ /克分子
法拉第常数	$N_0 e = 96487$ 库仑/克分子
玻耳兹曼常数	$k = 1.3805 \times 10^{-16}$ 尔格/度 = $8.617 \times 10^{-5}$ 电子伏/度
气体常数	$R = N_0 k = 8.314 \times 10^7$ 尔格/度·克分子
电子质量	$m_e = 9.109 \times 10^{-28}$ 克 = $0.510$ 兆电子伏/ $c^2$
质子质量	$M_p = 1.6725 \times 10^{-24}$ 克 = $938.26$ 兆电子伏/ $c^2$
中子质量	$M_n = 1.6747 \times 10^{-24}$ 克 = $939.55$ 兆电子伏/ $c^2$
电子康普顿波长	$\lambda = h/m_e c = 2.4262 \times 10^{-10}$ 厘米
	$\frac{\lambda}{2\pi} = \hbar/m_e c = 3.8614 \times 10^{-11}$ 厘米
玻尔半径	$a = \hbar^2/m_e e^2 = 5.2917 \times 10^{-9}$ 厘米
电子经典半径	$r_e = e^2/m_e c^2 = 2.8178 \times 10^{-13}$ 厘米
玻尔磁子	$\mu_B = e\hbar/2m_e c = 9.273 \times 10^{-21}$ 尔格/高斯
氢原子里德伯常数	$\tilde{R}_H = (109677.576 \pm 0.012)$ 厘米 <sup>-1</sup>
	$\tilde{R}_\infty = \frac{\alpha}{4\pi a} = (109737.31 \pm 0.01)$ 厘米 <sup>-1</sup>
1 电子伏 相应的温度	$(11604.9 \pm 0.5)^\circ\text{K}$
1 电子伏 相应的波数	$(8065.73 \pm 0.08)$ 厘米 <sup>-1</sup>
1 电子伏 相应的频率	$(2.41804 \pm 0.00002) \times 10^{14}$ 周/秒
1 电子伏 =	$1.602 \times 10^{-12}$ 尔格
1 克 =	$5.610 \times 10^{26}$ 兆电子伏/ $c^2$

1) E. R. Cohen, J. W. M. Dumond, *Rev. Mod. Phys.* **37** (1965), 537.

## 量子力学一般参考书(以作者姓名字母为序)

1. D. Bohm, *Quantum Theory* (1954).
2. P. A. M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics* (3rd ed., 1947, 4th ed., 1958, 有中译本).
3. E. Fermi, *Notes on Quantum Mechanics* (1961 年版).
4. R. P. Feynman, et al., *The Feynman Lectures on Physics, Vol 3, Quantum Mechanics* (1965).
5. S. Flügge, *Practical Quantum Mechanics* (1974).
6. Л. Ландау, Е. Лифшиц, *Квантовая Механика* (1948, 有英译本).
7. E. Merzbacher, *Quantum Mechanics* (2nd ed., 1970).
8. M. Messiah, *Quantum Mechanics* (1961), Vol. I, II.
9. N. F. Mott, I. N. Sneddon, *Wave Mechanics and its Applications* (1948).
10. W. Pauli, *Die Allgemeinen Prinzipien der Wellen Mechanik* (*Handbuch der Physik*, Bd. 24, 1946, 有俄译本).
11. L. Pauling, E. Wilson, *Introduction to Quantum Mechanics* (1935, 有中译本).
12. L. Schiff, *Quantum Mechanics* (2nd ed., 1955, 3rd ed., 1967).
13. E. H. Wichmann, *Berkley Physics Course, Vol. 4, Quantum Physics* (1971).

# 目 录

## (上 册)

序言	i
第一章 量子力学发展简况	1
1.1 经典物理学碰到了哪些严重困难?	1
1.2 普朗克-爱因斯坦的光量子论	6
1.3 玻尔的量子论	11
1.4 量子力学的建立	13
第二章 波函数与波动方程	16
2.1 物质波的提出	16
2.2 波函数的统计诠释	21
(1) 波动-粒子两重性矛盾的分析	21
(2) 几率波;多粒子系的波函数	23
(3) 动量分布几率	30
(4) 测不准关系	32
(5) 力学量的平均值与动量算符的引进	36
2.3 态叠加原理	39
(1) 量子态及其表象	39
(2) 态叠加原理	40
(3) 光子的偏振态的叠加	42
2.4 薛定谔方程	44
(1) 方程的引进	44
(2) 方程的讨论	46
习题	54
第三章 一维定态问题	58
3.1 方位势	60
(1) 无限深方势阱;分立谱	60
(2) 有限深对称势阱;宇称	62

(3) 束缚态与分立谱的讨论 .....	66
3.2 一维散射问题 .....	74
(1) 方势垒的穿透 .....	74
(2) 方势阱散射 .....	79
3.3 一维谐振子 .....	84
*3.4 周期场中的运动 .....	90
*3.5 均匀场中的运动 .....	97
(1) 电子在均匀电场中的运动 .....	97
(2) 重力场中粒子的运动 .....	100
习题 .....	104
<b>第四章 力学量用算符表达</b> .....	<b>109</b>
4.1 算符的一般运算规则 .....	109
4.2 厄密算符的本征值与本征函数 .....	119
4.3 共同本征函数 .....	124
(1) 测不准关系的严格证明 .....	124
(2) 共同本征函数 .....	125
(3) 角动量 ( $\hat{l}^2, \hat{l}_z$ ) 的共同本征态; 球谐函数 .....	128
(4) 力学量完全集 .....	131
4.4 连续谱本征函数的“归一化” .....	136
4.5 量子力学的矩阵形式及表象变换 .....	143
(1) 量子态的不同表象; 么正变换 .....	143
(2) 力学量(算符)的矩阵表示 .....	147
4.6 狄喇克符号 .....	154
习题 .....	160
<b>第五章 对称性及守恒定律</b> .....	<b>167</b>
5.1 力学量随时间的变化 .....	167
(1) 力学量平均值随时间的变化; 守恒量 .....	167
(2) 力学量随时间的变化; 海森伯表象 .....	170
*5.2 对称性与守恒定律 .....	172
45读 → *5.3 空间反射不变性与宇称守恒 .....	176
*5.4 空间的均匀性与各向同性 .....	181
*5.5 时间的均匀性与能量守恒 .....	187
学第1章示重 → *5.6 全同粒子多体系; 交换对称性 .....	189
读 → *5.7 全同粒子系的波函数 .....	192

习题	201
<b>第六章 中心力场</b>	<b>205</b>
6.1 一般描述	205
6.2 球方势阱	209
(1) 无限深球方势阱	209
(2) 有限深球方势阱	213
6.3 库仑场; 氢原子	215
6.4 三维各向同性谐振子场	228
习题	234
<b>第七章 粒子在电磁场中的运动</b>	<b>238</b>
7.1 有电磁场情况下的薛定谔方程	238
7.2 均匀磁场	243
(1) 正常塞曼效应	243
*(2) 均匀磁场中带电粒子的运动	246 (未复习)
7.3 超导现象	248
习题	256
<b>第八章 自旋</b>	<b>257</b>
8.1 电子自旋	257
8.2 总角动量	264
8.3 碱金属光谱的双线结构及反常塞曼效应	274
8.4 自旋单态与三重态	280
8.5 元素周期表	283
8.6 原子核的壳结构	288
习题	293

# 目 录

<b>第九章 定态微扰论</b> .....	297
9.1 非简并态微扰论 .....	297
9.2 简并态微扰论 .....	310
习题 .....	325
<b>第十章 散射问题</b> .....	330
10.1 一般描述 .....	330
10.2 分波法 .....	335
*10.3 低能散射;共振 .....	343
(1) 球方势垒的散射 .....	343
(2) 球壳势垒的共振散射 .....	348
*10.4 低能散射的形状无关近似 .....	352
10.5 格临函数解法与玻恩近似 .....	356
(1) 格临函数解法 .....	356
(2) 玻恩近似 .....	359
(3) 相移的近似计算公式 .....	363
10.6 全同粒子的散射 .....	364
(1) $\alpha$ 粒子与氧原子核的碰撞 .....	364
(2) $\alpha$ - $\alpha$ 散射 .....	365
(3) $e$ - $e$ 散射 .....	366
*附录 质心坐标系与实验室坐标系的关系 .....	369
习题 .....	373
<b>第十一章 量子跃迁</b> .....	377
11.1 跃迁及跃迁几率 .....	377
11.2 常微扰 .....	383
(1) 常微扰 .....	383
(2) 关于能量的测不准关系 .....	386
11.3 周期性微扰 .....	388
11.4 光的吸收与辐射 .....	394

(1) 光的吸收与受激辐射; 选择定则	394
(2) 自发辐射	397
*(3) 激光原理简介	400
习题	403
<b>第十二章 多粒子体系</b>	<b>405</b>
12.1 氢原子及类氢离子	405
(1) 基态能量	405
(2) 低激发态	408
12.2 变分原理及其应用	412
(1) 薛定谔的变分原理	412
(2) 里兹变分法	415
(3) 哈特利自洽场方法	421
12.3 金属中的电子气(费密气体模型)	423
(1) 电子的最高能量	425
(2) 电子的平均能量	426
(3) 电子气的压强	426
(4) 电子气的能级密度	427
(5) 电子气的磁化率	428
*12.4 托马斯-费密近似	430
12.5 双原子分子的转动与振动	434
*12.6 三原子直线分子的振动	440
*12.7 氢分子离子	444
12.8 氢分子	450
习题	460
<b>*第十三章 量子力学与经典力学的关系</b>	<b>463</b>
13.1 量子力学与经典力学的关系	463
(1) 一般讨论	463
(2) 泊松括号与运动方程	463
(3) 爱仑菲斯特定理及波包的运动	466
(4) 薛定谔方程与雅可比-哈密顿方程的关系	469
13.2 W. K. B. 法	475
(1) W. K. B. 展开	475
(2) 势阱中粒子的运动(束缚态); 玻尔-索莫菲量子化条件	477
(3) 势垒穿透	482



附录 W. K. B. 波函数的连接公式 .....	484
习题 .....	491
<b>第十四章 角动量理论初步</b> .....	<b>494</b>
14.1 角动量的一般性质 .....	494
*14.2 两个角动量的耦合 .....	500
*14.3 转动算符的矩阵表示; D 函数 .....	510
*14.4 对称陀螺 .....	522
习题 .....	531
<b>*第十五章 二次量子化方法</b> .....	<b>533</b>
15.1 产生与湮灭算符 .....	533
15.2 单体和二体算符的表达式(玻色子) .....	540
15.3 单体和二体算符的表达式(费密子) .....	548
15.4 坐标表象 .....	554
习题 .....	557
<b>*第十六章 相对论量子力学</b> .....	<b>561</b>
16.1 克莱因-戈登方程 .....	563
16.2 狄喇克方程 .....	569
(1) 狄喇克方程的引进 .....	569
(2) $\alpha$ 与 $\beta$ 的代数性质 .....	570
(3) $\alpha$ 与 $\beta$ 的矩阵表示 .....	573
(4) 动量及角动量守恒; 电子自旋 .....	575
*(5) 中微子二分量子理论 .....	578
16.3 自由电子的平面波解 .....	581
16.4 非相对论极限 .....	585
(1) 电磁场中电子的运动; 电子磁矩 .....	585
(2) 中心力场; 自旋轨道耦合 .....	588
16.5 氢原子光谱的精细结构 .....	591
(1) 中心力场中电子的守恒量 .....	591
(2) 径向方程 .....	594
(3) 径向方程的解(库仑场) .....	596
(4) 氢原子光谱的精细结构 .....	601
附录 $r$ 代数与狄喇克方程的协变性 .....	604
习题 .....	613