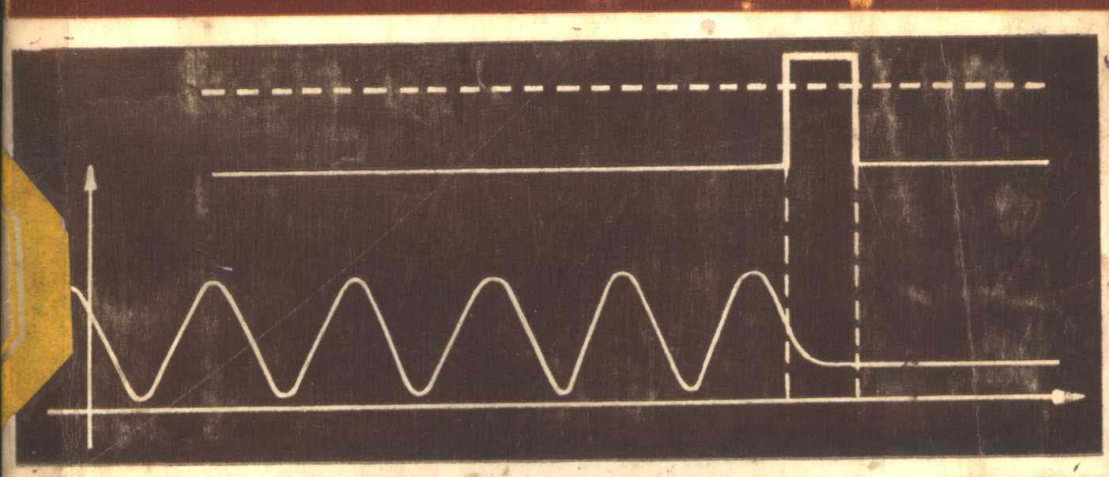


S·FLÜGGE

应用量子力学

周康巍 胡志雄 王慧素 译

赵尚勃 校



四川教育出版社

责任编辑：杨亚雄

封面设计：邱云松

应用量子力学

周康巍 等译

四川教育出版社出版

(成都盐道街三号)

四川省新华书店发行

自贡新华印刷厂印刷

开本850×1168毫米 1/32 印张 23.125 字数 583 千

1987年4月第一版

1987年4月第一次印刷

印数：1—1,100册

标准书号：ISBN7—5408—0015—1/G·16

统一书号：7344·766

定价：5.40元

内 容 简 介

本书根据德国前辈知名物理学家S.Flugge的经典名著《Practical Quantum Mechanics》1974年英文版译出。书中通过大量典型问题的详尽讨论，系统地阐明量子力学的普遍原理。在所讨论的大多数问题中均发展了相应的量子力学理论原理。这是一部广受欢迎而为专家们乐于引用的好书。中译本仔细参考了1973年的俄译本，因为后者订正了原著中不少的失误和刊误，并作了一些有益的注释。本书共七章，依次是一般概念；无自旋的单体问题（一维问题，非球对称问题，角动量，球对称势中的束缚态与弹性散射，WKB近似，磁场）；自旋粒子；多体问题；非定态问题；相对论狄拉克方程；辐射理论。书末有数学附录。

本书可供高等院校的学生、研究生、教师学习和参考，或用于进一步深造；对那些以量子力学为工具的科学工作者（无论是物理还是化学界的）更为有用。

译 者 的 话

本书乃世界名著,系德国前辈物理学家S.Flugge所写。先是德文;经多次再版后,于1971年,著者用英文重写,以《Practical Quantum Mechanics》的书名问世,受到许多国家科学工作者的欢迎。1973年在苏联被译成俄文出版。著名苏联物理学家A.A.索科洛夫为俄译本写了序言,对这部名著作了极高的评价,同时,对书的内在结构与特色进行了分析。所以,我们的中译本除保留著者原序外,还有俄译本序的摘要,颇值一读。

本书通过大量具体问题的详尽处理,一方面深入、全面,而且基本上是系统地讲述了量子力学的普遍原理;另一方面又指导读者学习解决各种类型具体问题的基本方法。材料是精心选择的,数量大,范围广,代表性好,启发性强,其中涉猎大量的科研新成就。

本书不仅对学习量子力学的大学生、研究生和讲授量子力学的教师,而且对实验物理工作者都有重大参考价值。正如A.A.索科洛夫指出的:它对全体物理工作者都有裨益。

此外,我们认为,对于化学与生物学界那些需要以量子力学为工具的科学工作者来说,本书无疑也是重要的。

中译本以1974年英文版为依据。译者还参考了1973年的俄译本,因为它订正了原著中的许多失误和刊误。本书的问题1—41、115—147、167—188系胡志雄所译;问题80—114、189—219系王慧素所译;周康巍翻译了问题42—79、148—166以及数学附录、全书索引,并统一全书译文风格。唐茂成阅读了全部译稿,并提出了宝贵意见,特此致谢。

译 者 1983年3月于成都

俄译本序（摘要）

本书系德国老一辈理论物理学家S.Flügge所著，其翻译出版将引起苏联读者的关注。著者早在30年代就开始与N.玻尔（N.Bohr）共事，如今又十分关心出版事业，特别还担任著名多卷集《物理百科全书》（Handbuch der Physik）的编辑。

本书的初版是S.Flügge于1947年用德文写的，该书已被视为经典著作，国内外专家都引用它。1971年出版的这部广受欢迎的英文新著，实质上是1947年德文版的改写和增订。

第I章是关于量子力学的基本原理，并包括与数学工具有关的问题，同时还讨论了薛定谔表象与海森堡表象之间的联系以及到动量表象的变换。

上卷中最有意思的是第II章。其中收集了大量关于无自旋的单粒子在各类势场中运动的问题。除了已纳入多数教材的那些内容（如方形势阱、线性振子和非线性振子、球坐标中的角动量、开普勒问题等）之外，还拥有足够数量的、属于应用W.K.B近似法的问题。由于此方法在研究许多量子力学问题方面的作用正在增长，这样作也很自然。本章末还分析了一些有关带电粒子在磁场中运动的问题。我们觉得，本章中那一连串关于球对称场中弹性散射方面的问题饶有趣味。其中引用了一系列不久前才出现在科学刊物中的新内容。我们首先注意到的是用逐步近似法计算分波的散射相因子、卡鲁吉罗方程、雷吉极点以及施温格变分原理，等等。

下卷从第III章开始。本章研究具有 $1/2$ 自旋的非相对论粒子，共分两个部分：A部讨论单粒子问题，B部则是双粒子与三粒子的问题。

第Ⅳ章也分为两个部分，分别包括粒子数不大的问题（A部）和粒子数很大的问题（B部）。在A中讨论氦原子激发态等方面的问题；B中则提供部分用量子统计法求解的问题（如金属中的电子气、托马斯—费密的原子模型等）。

第Ⅴ章基本上是关于非定态的问题，其中包括狄拉克微扰论。

第Ⅵ章收集了一些涉及狄拉克相对论方程的问题，十分详细地分析了考虑相对论效应和自旋效应的开普勒问题、狄拉克的自旋理论以及向非相对论泡利方程过渡等问题。

最后，第Ⅶ章中阐述了非相对论的薛定谔方程和麦克斯韦-洛仑兹方程两者的二次量子化要点。据此，分析了有关辐射几率、氢原子喇曼线系的谱线强度、康普顿效应以及韧致辐射等方面的问题。

为了方便读者，书末有一个手册性质的数学附录。其中扼要介绍了关于应用各种坐标系的问题。另外，还给出了量子力学中常用的一些特殊函数（如合流超几何函数、 Γ 函数、贝塞耳函数、勒让德函数等等）的定义，并列出了基本公式。

书末的索引可帮助读者迅速找到有关各问题的序号。

最后指出本书的几个特点。

本书在所讨论的大多数问题中均发展了相应的量子力学理论原理，并附有详细的计算。而且还用一些例子和图形来说明结果。其次，在处理具体问题时所阐明的理论实际上已包括了整个量子力学（综合大学的）课程，其中包括这门学科的所有基本定律。所以，仔细阅读它，不仅可以学习量子力学，而且还能学会量子力学应用于具体问题的方法。

近几年来，对这类指导书的需要特别迫切，这是因为量子力学在日益广泛的领域中的应用，研究它的人数的迅速增长。

我们期望本书的俄文版不仅可供研究理论物理的大学生使用，也可供讲授量子力学的教师以及广大在量子力学具体应用方

面经验不足的实验物理工作者参考。

总之，本书对全体物理学家均有裨益。

A. A. 索科洛夫

1973年7月 于莫斯科

著者原序

本书曾于1947年首次在德国出版，名为《Rechenmethoden der Quantentheorie》。原供初学量子力学的大学生和那些尚不能以量子力学为工具的实验科学工作者使用，旨在帮助他们学会用普遍理论来处理实际的原子物理问题。自那时以来，已出现很多优秀的量子力学一般理论的入门书，这是进行深入研究必需的。然而，人们似乎对理论的实际应用方面有所忽视（当然，那些详细讨论个别问题的专论除外）。换言之，似乎迄今尚无一本全面的量子力学实用指南，而这种书可能是很有用的。

希望填补上述空白，著者应出版者建议，将旧德文版现代化，用英文来写一本新著，以便各国广大学生和科学界更容易接受。

无疑，书的篇幅一开始就应大大增加。须加上新的近似方法和其它一些新成就（尤其是有关散射问题的新成就）。此外，我们认为，本书有必要包括相对论量子力学；也有必要提供一章（至少是一瞥）辐射理论，作为波动场量子化的举例。在旧版中，题目的选取，多少有点信手拈来，现在就必须仔细地重新考虑。结果，题目总数比最后一次德文版增加了一倍，而没有照搬一个旧题。从旧版中改写得来的大概不出50个，因此，本书绝大多数题目是初次发表。本书总的特色依然如故，但现在倾向于在每一问题的结尾附上一些较为有用的文字结果与数字。

我们并未取消那些比较基本的题目（例如一些方阱势），而是酌情压缩。本书删去了德文版那20页左右有关基本方程及其解释的导言，因为任何一个使用本书的读者应已通晓这类基本问题，所以，这一步是正确的。另一方面，鉴于全书广泛使用特殊

函数，增设一章数学附录是有用的，其中收集了书中出现的许多公式，部分公式还有推导。

出版者又提出实际理由，建议将本版分为两个分册，著者虽然相当犹豫，但还是同意了。但愿本书的内在结构和连贯性并不因此而受到损伤。†

为了使用方便，每一分册的末尾都印上全书的索引，因此，索引中采用的是所涉题目的序号，而不是页号。

S. Flugge

1971年3月

† 我们的中译本合全书为一册——译者

目 录

译者的话
俄译本序
著者原序

上 卷

I 一般概念

1 几率守恒定律	1
2 薛定谔变分原理	2
3 空间平均值的经典力学	5
4 转动的经典定律	6
5 能量守恒定律	8
6 厄密共轭	9
7 厄密算符的建立	10
8 算符的导数	13
9 期望值的时变率	14
10 薛定谔表象与海森堡表象	15
11 与时间有关的哈密顿	18
12 重复测量	19
13 曲线坐标	21
14 动量空间波函数	23
15 动量空间：周期性与非周期性波函数	24

II 无自旋的单体问题

A 一维问题

16 自由运动：基本解	27
-------------------	----

17	自由运动: 波包	30
18	驻波	34
19	不透壁	37
20	用狄拉克 δ 函数描写的不透壁	41
21	在狄拉克 δ 函数壁上的散射	43
22	在对称势垒上的散射	45
23	在矩形势垒上的反射	47
24	反射的反演	50
25	直角势穴	52
26	两壁之间的直角势穴	56
27	虚能级	62
28	周期势	66
29	狄拉克梳状势	69
30	谐振子	73
31	希尔伯特空间的谐振子	77
32	用希尔伯特空间的算符求谐振子本征函数	80
33	矩阵表示中的谐振子	82
34	谐振子的动量空间波函数	85
35	非谐振子	87
36	近似波函数	92
37	势阶	94
38	剖歇尔——铁勒势穴	98
39	修正的剖歇尔——铁勒型势穴	102
40	地面附近的自由落体	110
41	加速电场	115

B 自由度等于2或3的非球对称问题

42	圆振子	117
43	二维转子的斯塔克效应	121
44	氢分子离子	123
45	平面波的斜入射	128
46	对称陀螺	132

C 角动量

47	无限小转动	136
48	极坐标系中的角动量分量	137
49	角动量与拉普拉斯算符	140
50	希尔伯特空间变换	141
51	薛定谔表象中的对易子	143
52	自旋为1的粒子	144
53	张量与角动量分量间的对易关系	147
54	四极张量。球谐函数	149
55	球谐函数的变换	151
56	角动量分量的希尔伯特空间结构	154
57	球谐函数的正交性	157

D 球对称势

a) 束缚态

58	角动量期待值	160
59	径向动量算符的建立	163
60	邻近本征函数的解	166
61	四极矩	168
62	禁闭在球内的粒子	170
63	有限深的球对称方势阱	174
64	伍德——萨克桑势	177
65	球振子	182
66	球振子的简并性	184
67	开普勒问题	188
68	赫尔森势	192
69	克拉则分子势	196
70	莫尔斯势	200
71	莫尔斯公式的转动修正	205
72	汤川势穴	208
73	X射线中的同位素移动	210
74	原子基态	212

75	氘核的中心力模型	215
76	中心力势的动量空间波函数	220
77	中心力势的动量空间积分方程	222
78	氢原子的动量空间波函数	225
79	三维转子的斯塔克效应	225
b) 弹性散射问题		
80	入射波和散射波的干涉	230
81	平面波的分波展开	232
82	散射振幅的分波展开	236
83	低能散射	239
84	常数排斥势散射	241
85	反常散射	246
86	散射共振	248
87	较高角动量的贡献	253
88	形状无关近似	255
89	球对称直角势穴: 低能散射	259
90	低能散射和束缚态	263
91	有硬心和无硬心的氘势	264
92	有硬心和无硬心的低能截面	267
93	修正的剖歇尔——铁勒势穴的低能散射	268
94	径向积分方程	272
95	施温格变分原理	278
96	散射相移的逐次近似	280
97	卡鲁吉罗方程	285
98	卡鲁吉罗方程的线性化	287
99	负幂势的散射长度	288
100	卡鲁吉罗方程的二级近似	291
101	方阱势: 散射长度	295
102	汤川势的散射长度	297
103	球谐级数收敛性的改进	301
104	碰撞参量积分	303
105	玻恩散射: 逐次近似	306

106	汤川势散射	309
107	指数势散射	313
108	球对称电荷分布的玻恩散射	317
109	硬球: 高能散射	321
110	卢瑟福散射公式	324
111	对库仑场的分波展开	327
112	反常散射	332
113	索末菲——瓦特生变换	333
114	雷吉极点	335
E 温侧—克喇末—布里渊 (WKB) 近似法		
115	程函展开式	338
116	径向 WKB 解	340
117	兰格的 WKB 边界条件	342
118	用 WKB 近似计算谐振子 能级	347
119	均匀场的 WKB 本征值	350
120	用 WKB 近似法解开普勒问题	352
121	自由运动的 WKB 位相	355
122	计算 WKB 位相	356
123	用 WKB 法计算库仑位相	358
124	准 势	361
F 磁场		
125	磁场的引入	362
126	有磁 场时的流	365
127	正常塞曼效应	367
128	顺磁磁化率与反磁磁化率 (不考虑自旋)	369

下 卷

II 有自旋的粒子

A 单体问题

129	泡利矩阵的建立	375
-----	---------------	-----

130 泡利矩阵的本征矢	377
131 自旋代数	380
132 旋量的变换性质	382
133 中心场中的自旋电子	384
134 自旋态的四极矩	388
135 磁矩的期待值	390
136 精细结构	394
137 $1/2$ 自旋粒子的平面波	396
138 自由电子的自旋共振	399

B 两体与三体问题

139 双粒子自旋函数	401
140 核子间与自旋有关的中心力	404
141 自旋算符的幂	406
142 两个自旋粒子的角动量本征函数	407
143 张量式力算符	410
144 具有张量相互作用的氦核	413
145 氦核的电四极矩与磁偶极矩	416
146 三个粒子的自旋函数	419
147 中子被氢分子散射	423

IV 多体问题

A 粒子数很小的问题

148 圆周上相互排斥的两个粒子	427
149 三原子线型分子	431
150 质心运动	436
151 维里定理	439
152 斯莱特行列式	441
153 斯莱特行列式与交换相互作用	444
154 原子基态的两个电子	445
155 氢原子的激发态	449
156 氢原子的受激S态	453
157 锂原子基态	457

158 对锂原子基态的交换修正	460
159 电 介质极化率	464
160 氦 的抗磁磁化率	466
161 范 德瓦尔斯引力	468
162 激发简并	470
163 中性氢分子	473
164 全同粒子的散射	479
165 质子——质子的反常散射	483
166 非弹性散射	487

B 大量粒子：量子统计

167 金属中的电子气	492
168 金属的顺磁磁化率	495
169 无象力修正的场致发射	498
170 有象力修正的场致发射	501
171 白矮 星	506
172 托马斯——费密近似	511
173 中性原子的爱玛尔迪修正	516
174 托马斯——费密原子的能量	517
175 托马斯——费密原子的维里定理	522
176 托马斯——费密场的泰兹近似	523
177 托马斯——费密场的变分近似	525
178 K电子屏蔽	527

V 非定态问题

179 与时间无关微扰下的双能级体 系	531
180 双能级体系的周期微扰	533
181 狄拉克微扰法	536
182 周期微扰：共振	539
183 散射的黄金规则	541
184 动量空间中的玻恩散射	544
185 原子的库仑激发	547
186 光电效应	551

187 光色散·振子强度	555
188 磁共振装置中的自旋反向	558

Ⅳ 相对论狄拉克方程

189 狄拉克方程的迭代	563
190 正能狄拉克平面波	565
191 旋量的变换性质	569
192 洛仑兹协变式	571
193 宇称变换	574
194 电荷共轭	576
195 具有混合螺旋性的状态	578
196 自旋期待值	580
197 狄拉克波旋量的代数性质	582
198 电流的代数表述	585
199 传导电流和极化电流	588
200 狄拉克方程的二分量形式	591
201 狄拉克理论中的中心力	595
202 狄拉克理论中的开普勒问题	599
203 氢原子精细结构	603
204 正动能时的径向开普勒解	608
205 狄拉克平面波的角动量展式	612
206 中心力势散射	615
207 连续势阶	619
208 平面波斜入射到跃变势阶	926
209 跃变势阶的反射强度	630

Ⅴ 辐射理论

210 薛定谔场的量子化	634
211 散射的玻恩近似	636
212 经典辐射场的量子化	638
213 发射一个光子的几率	642
214 辐射的角分布	645
215 跃迁几率	647