

“十三五”国家重点出版物出版规划项目


世界名校名家基础教育系列

Textbooks of Base Disciplines from World's Top Universities and Experts

The Principles of Quantum Mechanics

狄拉克 量子力学原理

[英] 保罗 狄拉克 (P.A.M. Dirac) 著
凌东波 译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
世界名校名家基础教育系列
国外高等物理教育丛书

狄拉克量子力学原理

[英] 保罗·狄拉克 (P. A. M. Dirac) 著
凌东波 译



机械工业出版社

ISBN 7-111-28704-0
定价: 89.00元

本书是量子力学奠基人保罗·狄拉克的作品，主要内容包括：态叠加原理、动力学变量与可观测量、表象理论、量子条件、运动方程、初等应用、微扰理论、碰撞问题、含多个同类粒子的系统、辐射理论、电子的相对论理论和量子电动力学。

本书作为量子力学领域的知名经典著作，既是教材，也是该领域十分重要的参考书。

THE PRINCIPLES OF QUANTUM MECHANICS, FOURTH EDITION/By P. A. M. Dirac/ISBN: 9780198512080

© Oxford University Press 1958

“THE PRINCIPLES OF QUANTUM MECHANICS, FOURTH EDITION” was originally published in English in 1958. This translation is published by arrangement with Oxford University Press.

This title is published in China by China Machine Press with license from Oxford University Press. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书由 Oxford University Press 授权机械工业出版社在中国境内（不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

北京市版权局著作权登记 图字：01-2012-7585。

图书在版编目（CIP）数据

狄拉克量子力学原理/（英）保罗·狄拉克（P. A. M. Dirac）著；
凌东波译．—北京：机械工业出版社，2017.11

（世界名校名家基础教育系列）

书名原文：The Principles of Quantum Mechanics

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-111-58704-0

I. ①狄… II. ①保…②凌… III. ①量子力学-高等学校-教材
IV. ①O413.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 307684 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：韩效杰 责任编辑：韩效杰

责任校对：张征 封面设计：张静

责任印制：张博

河北鑫兆源印刷有限公司印刷

2018 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21.25 印张·2 插页·361 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-58704-0

定价：89.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

第 4 版前言

与第 3 版相比, 本版主要的变化在于重写了“量子电动力学”这一章. 第 3 版中量子电动力学描述带电粒子在电磁场中的运动, 与经典电动力学有着密切的相似性. 这一理论中带电粒子的数目守恒, 因而不能推广至允许带电粒子数目变化的情况.

如今高能物理中经常出现带电粒子的产生与湮灭. 因此, 要求带电粒子数目守恒的量子电动力学脱离了物理现实. 于是, 我用包含了正负电子对的产生与湮灭的量子电动力学作为替代. 这需要放弃与经典电子理论的任何相似性. 电子的经典概念似乎不再是物理学中有效的模型, 只适用于那些局限于低能现象的基本理论.

P. A. M. 狄拉克

剑桥大学圣约翰学院

1957 年 5 月 11 日

第 4 版修订版注记

借这次机会修订了第 12 章 (“量子电动力学”) 部分内容并增加了两节: 解释、应用.

P. A. M. 狄拉克

剑桥大学圣约翰学院

1967 年 5 月 26 日

第1版前言

理论物理学取得进展的方法在本世纪经历了巨大转变。经典物理的传统曾经把世界看成可观测物体(粒子、流体、场等)的集合,这些物体遵从力的确定的规律运动着,于是人们在头脑中可以形成这一整体框架的时空图像。这样形成的物理学,其目标在于,对联系这些可观测物体之间的机制与力做一些假设,以尽可能简单的方法来阐明这些物体的运动行为。然而,近来日渐明显的是,自然界似乎按照另一不同的方案运行着。它的基本规则,并不像我们想象中的图像那样,直接地支配着世界。相反,这些规则控制着一个基础,若不引入非直接相关的概念,我们头脑中便无法形成关于该基础的图像。这些规则的公式化需要运用变换的数学。世界上重要的事物以这些变换中的不变量(或者,更一般地讲,一些近似不变量,或者是一些具有简单变换性质的量)的形式出现。我们所能直接了解的是某一参照系中这些近似不变量之间的关系,通常选取那些能够带来特定简化特征的参照系,而这种简化特征从一般理论的角度看是不重要的。

变换理论应用的增长,是理论物理中新方法的精髓。变换理论首先用于相对论,后来用于量子理论。进一步发展的方向在于,使方程在越来越广泛的变换下具有不变性。从哲学的观点看,这样的局面令人满意,因为这意味着观测者在把观测中所显现的各种规律性引入理论的过程中,更多地承认观测者自身所起的作用;它还意味着自然界的规律中没有任意性,但这些对学物理的人变得更加不易。抛开新理论的数学背景不论,建立新理论所需的物理概念,就无法用学生们以前所了解的事物来解释,甚至不能用语言文字充分地解释。就像每个人在出生以后必须学会的那些基本概念(例如近似、相等)一样,要掌握这些物理学的全新概念,只有靠长期地熟悉它们的性质与用途。

从数学方面看,通往新理论之路没什么困难,因为所需的数学(至少到目前为止都是物理学的发展所需的数学)与相当长时间内已经流行的内容没有本质

上的差别. 数学是特别适合处理各种抽象概念的工具, 在这个领域, 它的能力无限. 正因为如此, 关于新物理学的书不是纯粹描述实验工作的, 就必然在本质上是数学的. 然而, 数学毕竟是工具, 我们应当学会不借助数学形式而掌握物理思想. 在这本书中, 我试图把物理放在首位, 为此, 以完全物理的一章作为开始, 并在随后的部分, 都尽可能地考察数学形式背后的物理意义. 在能够解决有真正实际价值的问题之前, 必须掌握大量的理论基础, 而这一情况是变换理论所起的根本作用不可避免的结果, 而且在将来的理论物理中, 这一情况很可能变得更加显著.

关于表述量子力学的数学形式, 任何作者必须一开始在两种方法中挑选其一. 一种形式是符号法, 它用抽象的方式直接地处理有根本重要意义的量 (比如变换中的不变量等); 另一种形式是坐标或表象的方法, 它处理这些量所对应的数集. 表述量子力学的方法通常是后一种 (事实上, 除了外尔¹的书《群论与量子力学》之外, 几乎所有的书都采用这种方法). 根据处理问题过程中所强调物理对象的不同, 量子力学有两种不同的命名: 如果强调系统的状态, 则叫“波动力学”; 如果强调动力学变量, 则叫“矩阵力学”. 表象方法的优势在于, 一般学生对其所需的数学更熟悉, 并且也是历史上传统的方法.

但是, 符号法看来更能深入事物的本质. 符号法能让我们用简练而优美的方式表述物理定律, 而且, 随着它变得更容易理解以及其自身特有的数学的发展, 符号法将来很可能得到日益广泛的应用. 正因为如此, 我选择符号法, 只是在后面引入表象法作为实际计算的辅助. 这样必然完全不同于历史的发展过程, 但这一不同所带来的优势在于能够使人们尽可能直接地了解新思想.

P. A. M. 狄拉克

剑桥大学圣约翰学院

1930年5月29日

¹Hermann Weyl, *The Theory of Groups and Quantum Mechanics*, 原书使用德文书名 *Gruppentheorie und Quantenmechanik*. ——译者注

译者序

狄拉克 (P. A. M. Dirac) 所著《量子力学原理》是量子力学领域的经典著作。狄拉克是量子力学的创立者之一, 相对论量子力学的开创者, 他擅长以清晰而又严格的数学展现深刻的物理思想, 所以这一著作多年来一直是学习量子力学的必备参考书。虽然现在讲授量子力学的教科书种类繁多、风格各异且适应各个层次的读者, 但这本著作以其独特的风格与严谨的结构仍显示其重要价值。

量子力学是对经典力学的背离, 同时又根植于经典力学。本书正是采用经典类比的方法逐步构建量子力学, 这有助于读者领会量子力学的来源。而且, 量子力学中普遍使用的狄拉克符号正是这本书的首创。此外, 本书对路径积分方法、规范变换、相互作用图像以及二次量子化等概念和方法都有应用。令我印象深刻的是, 本书在全同粒子的部分, 完全从量子力学的角度阐明了群论的基本方法。虽然狄拉克关于正电子的理论在今天看来有其局限, 但我们仍能从中学习其最初的物理想法。

这本书曾在 1979 年出版过中文版, 但由于这个版本问世时间较久, 且发行中断, 因此, 机械工业出版社再次出版这本著作。于是, 我很荣幸获得再次为本书翻译的机会。我希望为这本书提供一个译本, 尽量用准确而容易阅读的中文表达原文的含义。

该书第 1 版成书于 1930 年, 距今已将近 90 年。书中的一些符号以及一些物理概念的命名, 与现在广泛使用的不一致, 这增加了阅读的不便。所以我们在一些地方加入了译者的注释, 以减少阅读的障碍。此外, 为便于查找关键词, 索引部分做成中英文互译的形式。

本书在翻译的过程中参阅了陈咸亨先生的译本, 在此表示感谢。安徽大学物理系明燧老师与张明辉老师分别阅读了部分译稿, 并纠正了一些错误; 黄鹏志博士、王靖博士和东北师范大学物理系杨化通老师对一些译法提出了宝贵建议。译

者表示感谢. 北京大学马中水教授和南京大学邢定钰教授在本人求学过程中给予过诸多鼓励与帮助, 谨以此译作致敬二位老师.

受限于译者的知识与才能, 疏漏与错误难免, 恳请读者不吝指正².

凌东波

安徽大学物理系

2016年9月

²lingdb@ahu.edu.cn

目录

第4版前言	iii
第1版前言	v
译者序	vii
1 态叠加原理	1
1.1 量子理论的必要	1
1.2 光子的偏振	3
1.3 光子的干涉	5
1.4 叠加与不确定性	7
1.5 原理的数学表述	10
1.6 左矢量和右矢量	13
2 动力学变量与可观测量	17
2.1 线性算符	17
2.2 共轭关系	20
2.3 本征值和本征矢	23
2.4 可观测量	29
2.5 可观测量的函数	34
2.6 普遍的物理解释	39
2.7 对易与相容	42
3 表象理论	47
3.1 基矢量	47

3.2	δ 函数	51
3.3	基矢量的性质	55
3.4	线性算符的表象	61
3.5	概率幅	66
3.6	关于可观测量函数的定理	69
3.7	符号的发展	72
4	量子条件	77
4.1	泊松括号	77
4.2	薛定谔表象	81
4.3	动量表象	88
4.4	海森伯不确定度原理	91
4.5	平移算符	92
4.6	么正变换	97
5	运动方程	103
5.1	运动方程的薛定谔形式	103
5.2	运动方程的海森伯形式	106
5.3	定态	110
5.4	自由粒子	112
5.5	波包的运动	115
5.6	作用量原理	119
5.7	吉布斯系综	125
6	初等应用	131
6.1	谐振子	131
6.2	角动量	136
6.3	角动量的性质	141
6.4	电子的自旋	146
6.5	中心力场中的运动	150
6.6	氢原子能级	155
6.7	选择定则	157
6.8	氢原子的塞曼效应	164

7 微扰理论	167
7.1 概述	167
7.2 微扰引起的能级变化	168
7.3 引起跃迁的微扰	172
7.4 应用于辐射	175
7.5 独立于时间的微扰引起的跃迁	178
7.6 反常塞曼效应	180
8 碰撞问题	185
8.1 概述	185
8.2 散射系数	187
8.3 动量表象中的解	192
8.4 色散散射	198
8.5 共振散射	200
8.6 发射与吸收	203
9 含多个同类粒子的系统	207
9.1 对称态与反对称态	207
9.2 置换作为动力学变量	211
9.3 置换作为运动常量	212
9.4 能级的确定	215
9.5 应用于电子	218
10 辐射理论	225
10.1 玻色子系集	225
10.2 玻色子与振子之间的联系	227
10.3 玻色子的发射与吸收	233
10.4 应用于光子	236
10.5 光子与原子间的相互作用能	240
10.6 辐射的发射、吸收与散射	245
10.7 费米子系集	249

11 电子的相对论理论	255
11.1 粒子的相对论处理	255
11.2 电子的波动方程	256
11.3 洛伦兹变换下的不变性	260
11.4 自由电子的运动	263
11.5 自旋的存在	266
11.6 过渡到极坐标变量	269
11.7 氢原子能级的精细结构	272
11.8 正电子理论	277
12 量子电动力学	281
12.1 没有物质的电磁场	281
12.2 量子条件的相对论形式	285
12.3 同时刻的动力学变量	288
12.4 补充条件	294
12.5 仅存在电子与正电子	299
12.6 相互作用	306
12.7 物理变量	311
12.8 解释	316
12.9 应用	319
中文索引	321
英文索引	325

1 态叠加原理

§1.1 量子理论的必要

自牛顿时代以来,经典力学不断发展,并应用于日渐广泛的动力学系统,包括与物质相互作用的电磁场.其基本思想与支配它们应用的规律形成一个简单而优美的方案,人们不禁认为,如果对这种方案做重大修改,必然破坏其所有吸引人的特点.尽管如此,现在发现有可能建立一种新的方案,称为量子力学,它不仅更适合描述原子尺度的现象,而且在某些方面,它比经典方案更优美,更令人满意.这是由于新方案所包含的改变具有十分深刻的特征,而且这一改变与那些使得经典力学如此吸引人的特点并不冲突,因而新方案能够兼容经典力学的所有这些特点.

实验结果清楚地表明,有必要背离经典力学.首先,经典电动力学中已知的各种力已经不足以解释原子与分子显著的稳定性,如果没有这种稳定性,物质材料就完全不可能有任何确定的物理性质与化学性质.引入新的假想的力也不能扭转这一局面,因为经典力学中存在一些普遍的原理,这些原理适用于所有各种力,但它们导致的结果与观测并不相符.例如,如果某一原子系统的平衡状态受到某种扰动之后,再让它与外界隔离,它就会振动,这些振动会影响周围的电磁场,这样,这些振动的频率可以用光谱仪进行观测.不管支配这个平衡状态的力服从什么样的规律,人们总是期望能够把这些频率包含在由基本频率与谐频率组成的方案之中.然而,观测到的情况并非如此.相反,观测到一种新的出乎意料的频率之间的关系.这一关系叫作光谱的利兹 (Ritz) 组合定律.根据这一定律,所有这些频率可以表示为一些确定的项之差,而这些项的数量远远少于频率的可能数量.这一定律从经典的角度难以理解.

为了在不背离经典力学的前提下克服这个困难,有人可能会假定光谱学上观测到的每一个频率都是基本频率,分别有各自的自由度,而力所服从的规律不

容许简谐振动发生。但是,即使不考虑它无法解释组合定律这一事实,这样的理论也不成立,因为它直接与比热的实验证据矛盾。经典统计力学能够在振动系集¹的自由度总数与比热之间建立普遍的联系。如果假定原子的所有光谱频率对应于不同的自由度,那么对任何物质所计算得到的比热都比观测值大很多。事实上,在常温下,实验测得的比热与仅仅将每个原子当作单个整体而不考虑其内部运动的理论结果符合得很好。

这一点导致经典力学与实验结果之间出现了新矛盾。在原子中肯定存在某种内部运动,这种内部运动才是形成原子光谱的原因,但这些内部自由度由于某种经典力学无法解释的原因,对比热没有贡献。在与真空中电磁场振动能量有关的问题上,也发现有类似的矛盾。经典力学要求与这种能量对应的比热是无穷大,但观测到的比热十分有限。从实验结果得到的一般结论是,高频振动对比热没有给出经典理论所预期的贡献。

我们可以把光的行为当作经典力学失败的又一例证。一方面,有干涉和衍射等现象,它们只能在波动理论的基础上得以解释;另一方面,又有诸如光电发射²、自由电子对光的散射等现象,这些现象表明,光是由小的粒子组成。这些粒子称为光子,每一个光子都具有确定的能量和动量,它们由光的频率决定。而且光子似乎是真实存在的,其真实程度与电子或物理中其他已知粒子一样。从未观测到单个光子的一部分。

实验已经表明,这种反常行为不是光子所独有的,而是十分普遍的。所有物质粒子都有波动性质,这种波动性质能在适当条件下表现出来。这里我们有经典力学失败的一个很惊人而又普遍的例子——不仅它的运动规律不准确,而且它的概念不足以对原子事件进行描述。

当人们要想考虑物质的终极结构时,就需要背离经典思想,这一必要性不仅从已经确立的实验事实看出来,而且也可以从一般哲学基础看出来。在物质组成的经典解释中,人们假定物质是由大量小的组成部分构成,并且要对这些组成部分的行为规律做出假设,从而推导出整体物质的一些规律。但是,这将无法完成解释,因为构造的问题和组成部分的稳定性都没有触及。要深入探讨这个问题,必须假定每个组成部分本身是由更小的部分组成,并用这些更小的部分来解释它的行为。这样的过程显然没有尽头,所以沿着这样的方向,人们永远无法到达物质的终极结构。只要大和小仅仅是两个相对的概念,那么用小无助于解释大。

¹assembly, 这个词在全同粒子的部分会经常出现,其含义就是“集体”。——译者注

²现在广泛使用的是“光电效应”。——译者注

因此,有必要用某种方法来修改经典思想,而这种方法能给大小以绝对的含义。

至此,重要的是要牢记,科学仅仅关心可观测的事物,而要观测一个对象,只有让它与某种外部的影响互相作用。因此观测的动作必然伴随着对观测对象的某种干扰。当伴随观测的扰动可以忽略,我们就定义这个观测对象是大的;而当扰动不可忽略,就定义这个观测对象是小的。这一定义与通常意义的大和小相一致。

通常假定,只要足够小心,总能把伴随于观测的扰动降低到任何想要的程度。大与小的概念因而纯粹是相对的,而且与观测手段的细微程度以及被描述的对象相关。为了给大小以绝对的含义,这对于物质最终结构的任何理论都是必要的,我们必须假设:观测能力的精确程度以及与其相伴的扰动的微小程度都有一个限度——这个限度是事物本质中固有的,无法通过提高观测的技术来超越这一限度。如果被观测的对象足够大,可以忽略这种无法避免的扰动,那么这一对象在绝对意义上是大的,可以用经典力学来处理它。反之,如果这种有限度扰动不可以忽略,观测对象在绝对意义上是小的,需要用新的理论来处理它。

上述讨论的一个结果是,必须修改关于因果律的观念。因果律仅仅适用于那些免于扰动的系统。如果系统是小的,不可能观测它而不产生严重的扰动,因而我们不能期望得到观测结果之间的任何因果关联。因果律仍然被假定适用于免于扰动的系统,用于描述免于扰动的系统而建立起来的方程是一些微分方程,它们表达一个时刻的条件和后一时刻条件的因果联系。这些方程与经典力学中的方程有紧密的对应,然而它们和观测结果之间的联系是间接的。在计算观测结果时存在无法避免的不确定性,当进行观测时,此理论通常仅能计算出获得某一特定结果的概率。

§1.2 光子的偏振

上一节讨论了观测所能达到的细微程度的限制,以及观测导致结果中的不确定性,这些讨论并没有为量子力学的建立提供任何定量的基础。为了这个目标,需要有一套新的精确的自然规律。其中最基本、最突出的规律之一是态叠加原理。我们将通过研究某些特例来为这个原理的普遍表述做准备,第一个例子由光的偏振提供。

我们从实验上知道,当平面偏振光用于激发光电子时,电子的发射有方向上的偏向。这样,光的偏振性质与它的粒子性紧密相关,人们必须赋予光子以偏振。比如说,人们必须把沿某一方向平面偏振的一束光看作是每一个都在此方向上

偏振的大量光子所组成的;一束圆偏振光看作是由每一个都是圆偏振的大量光子所组成.应该说,每一个光子都处于某个偏振态.现在必须考虑的问题是,怎样使这些想法适合于已知的事实,即关于光分解为偏振的组分以及这些组分的重新组合的事实.

现在研究一个确定的例子.假定有一束光通过一个方解石晶体,该晶体有一种性质,即只让垂直于光轴的平面偏振光通过.对任意偏振的入射光束,经典电动力学告诉我们会发生什么情况.如果这束光的偏振垂直于光轴,它将通过晶体;如果平行于光轴,它完全无法通过;如果偏振方向与光轴成一个角度 α ,则通过的部分占总量的 $\sin^2 \alpha$.在光子的基础上如何理解这些结果呢?

沿某一方向平面偏振的一束光,图像地描述成由每一个都沿此方向平面偏振的大量光子组成.当入射光束的平面偏振方向是垂直或平行于光轴的两种情形,该图像不引起任何困难.我们只需假设垂直于光轴偏振的每个光子都无阻碍无变化地通过晶体,而平行于光轴偏振的每个光子都被阻止并吸收.然而,当入射光束为斜偏振时,困难产生了.每个入射光子都是斜偏振的,这些光子到达方解石时会发生什么,这并不清楚.

在一定条件下的某一特定光子会发生什么问题,实际上并不是很精确.为了使问题精确化,我们必须想象进行一些与此问题有关的实验,并探寻这些实验的结果是什么.只有和实验结果相关的问题才有真正的意义,也只有这些问题才是理论物理必须考虑的问题.

在现在的例子中,明显的实验是用仅含有一个光子的入射光,然后去观测晶体背后出现什么.按照量子力学,这个实验结果是:有时候在晶体背后会找到一个完整的光子,其能量等于入射光子的能量;而另一些时候,找不到任何光子.当人们找到一个完整的光子时,这个光子将是垂直于光轴方向偏振的.人们永远不会在晶体背后只发现一个光子的一部分.如果多次地重复这个实验,人们将会发现在晶体背后找到光子的次数等于实验总次数乘以 $\sin^2 \alpha$.这样,我们可以说:光子有 $\sin^2 \alpha$ 的概率通过方解石并在背后出现,偏振方向垂直于光轴;而光子被吸收的概率为 $\cos^2 \alpha$.对于含有大量光子的入射光束,这些概率的数值给出了正确的经典结果.

用这种方法,在所有情况下都保留了光子的单个性.然而,能够这样做的原因是,我们放弃了经典理论中的决定论性质.实验的结果并不像经典思想要求的那样,由实验者控制下的各种条件决定.能够预言的最多的是一组可能的结果以

及每个结果出现的概率。

上述关于单个斜偏振的光子入射到方解石晶体的实验结果的讨论,回答了全部能够合理提出的问题,即当一个斜偏振的光子到达方解石会发生什么.至于是什么决定了光子是否通过,以及当光子通过时偏振方向是怎样被改变的等问题,是不能从实验中研究出来的,因而被当作是科学领域之外的问题.尽管如此,为了使这个实验结果与光子的其他可能的一些实验结果关联起来,并使所有结果恰当地纳入一个普遍的方案,进一步的描述是必要的.这种进一步的描述不应被当作试图回答科学领域之外的问题,而应被看成是将规则公式化以精炼地表达大量实验结果的一种辅助手段.

量子力学所提供的进一步的表述如下:假定相对光轴斜偏振的光子可以被看成部分地处于平行光轴的偏振态,部分地处于垂直光轴的偏振态.斜偏振态可以被看作是,对平行偏振态和垂直偏振态应用某种叠加过程而得的结果.这意味着,在各种偏振态之间存在某种特殊的关系,这种关系类似于经典光学中偏振光束之间的关系,但是它现在不应用于光束,而应用于一个特定光子的偏振态.这种关系容许任意偏振态被分解为任意两个相互垂直的偏振态,或者说,可以被表示为任意两个相互垂直的偏振态的叠加.

让光子遇到方解石晶体,就是让它接受一次观测.我们观测光子的偏振是平行还是垂直于光轴的.进行这个观测的效果是迫使光子完全处于平行或垂直偏振态.光子必须有一个突然的跃变,从原先部分地处于两种状态的情形,改变为完全处于其中的一种状态或另一种状态的情形.它究竟跳到这两个态中的哪一个,这无法预料,只能由概率支配.如果它跳至平行态,它就会被吸收;如果它跳至垂直态,它就能通过晶体,出现在另一边并保持着这种偏振态.

§1.3 光子的干涉

这一节将讨论态叠加的另一个例子.仍然以光子为例,但是研究它们在空间的位置与动量,而不考虑它们的偏振.如果有单色性相当好的一束光,那么我们就对相应的光子的位置和动量有一些了解.我们知道它们中的每一个都位于光束通过的空间区域的某处,并且每个光子都有一个动量,其方向与光束一致,其大小由光的频率确定,根据爱因斯坦光电定律,动量等于频率乘上一个普适常数.当我们有了一个光子的位置和动量的信息,我们就说它处于一个确定的平移动态.

我们将讨论由量子力学提供的关于光子干涉的描述.让我们做一个表现干涉现象的明确的实验.假定让一束光通过某种干涉仪,这样它就分成两个组分,