

支点丛书

[美] 戴维·林德利 著 董红飙 译 董光璧 校

W 命运之神应置何方

here Does the Weirdness Go

透析量子力学



科学佳作 科学力作 科学妙作

吉林人民出版社

▲ 玄奥丛书

[美] 戴维·林德利 著 董红飒 译 董光壁 校

W 命运之神应置何方

here Does the Weirddness Go

透析量子力学

吉林人民出版社

Where Does the Weirdness Go?

Why Quantum Mechanics Is strange, but not as

Strange as You Think

by David Lindley

由 Basic Books 1996 年版译出

吉林省版权局著作权合同登记

图字:07-1998-251

命运之神应置何方——透析量子力学

著者	[英]戴维·林德利	
译者	董红飏译 董光壁校	
责任编辑	范春萍	封面设计 张亚历
责任校对	吴兰萍	版式设计 胡学军

出版者	吉林人民出版社 (长春市人民大街 124 号 邮编 130021)
发行者	吉林人民出版社
制版	吉林人民出版社激光照排中心
印刷者	长春新华印刷厂

开本	850×1168 1/32
印张	7.125
字数	170 千字
版次	1998 年 10 月第 1 版
印次	1998 年 10 月第 1 次印刷
印数	1—5 200 册

标准书号	ISBN 7-206-03008-4/N·6
定价	14.00 元

如图书有印装质量问题,请与承印工厂联系。

致 谢

我感谢 Bob Shackleton 和 Susan Rabiner, 作为基础读物之一的我的这本书的编辑, 他们为我的原稿加了注释。我也感谢 Liz Carroll 和 Preston Morrighan, 他们为本书作了插图。

最后我要谢谢 B.C 的深情厚谊, 她经常地忙碌在键盘上。而且最后竟不知不觉地成为一个薛定谔谜。

引言 为什么信赖电脑

我用于写字的那台电脑令我满意。我反复地开关它，以调出我上次写了字的那个文件，增加些新字，置换出旧有的内容，并作为一个新文件保存下来供下次用。我在电脑旁工作，眼睛盯着屏幕，时而把一些字从一个地方移到另一个地方，时而恢复一个我偶尔抹去的句子，没有灵感就玩纸牌游戏，可我做这样时很少去想电脑里正在进行着的过程。即使我思考这些内部的活动，我也不能像一个计算机专家那样准确地说出机器里正在发生什么。我倾向于以似乎可信的类推安慰自己，它给我这样一种见识，我满足于或多或少地懂得电脑是怎样工作的，而避开精通那些技术细节的困难。要完全彻底地理解电脑必须知道这些细节，可我喜欢说，我不需要。我的电脑的可靠性使我充分自信，这世界上有顽强而又知识渊博的人，是他们设计和建造了这些东西。

全在于被称之为电子的微小的荷电粒子所支撑的电流。我乐于认为，我的电脑中嘎嘎作响的东西是由电子形成的小溪和波包，它们构成了电子信号，形成作为内部工作基础的二进制的0和1。不知怎么，屏幕上的字母由电子信号的图案建立起

来，并且不知怎样，我通过键盘给电脑的指令引起电子信号图案的改变和移动。于是，我把电脑想象为一个巨大的、复杂的电子弹球机，它的路径和轨迹的数目多得难以想象，并且具有一些计时精确和调节灵敏的舵，以引导电子的行进方向并使之不断地改变，形成疯狂地运转而又和谐准确的、富有意义的电子流的图案。所有这些复杂得令人生畏的活动的可靠性和精密度，是电脑设计真正令人惊奇的部分，即我不妄想弄懂的比特，我想知道的是，我的字作为电子图案所得的外形。

当我工作了一天并想贮存已经写下的东西时，我能告诉电脑发送电子序列的0和1给硬盘，在磁盘的表面上它作为一系列磁标记被编码。为想象硬盘是怎样工作的，我设想它的表面布满了微小的磁体，它们的磁极能交替地从一个方向跳到另一个方向，记录的不是0就是1。硬盘多半是直径约10厘米的、能够贮存120兆拜特（即字节）的数据（电脑年龄还不大，可望大于1000兆拜特）；在标准电脑技术中，一个拜特是一个字，它由8个二进制比特——8个0或1——组成，一个硬盘总共能够容纳10兆个数据标记。这些微小磁体的每一个，根据高速计算，它的直径必定只是1米的百万分之几。这是一个尘粒大小的尺寸，相对于肉眼所能见是太小了，而电脑却能在硬盘上记录并检索数据，这些被磁化了的尘粒就好像是能朝上或朝下固定的杆杠，像过去的铁路信号员操纵的信号杆那样，它能在几分之一秒里排布并辨认百万个这样的杆杠。看不见的尘粒怎么会是如此可靠呢？我上百次地贮存和检索写了字的文件，怎么会没有一个单个的尘粒偶尔地飞向错误的方向，或者由于某种无规则的外部影响而扰乱呢？

在我偶尔考虑我的电脑的內部活动时，我常藉助于这类的机械隐喻。我追忆那些人所皆知的机器——弹球机拨手、铁路

之转辙扳手和信号——想象这些设计能缩小成尘粒的大小，并排列成复杂得无法实现的网络。这不是真正地告诉我电脑是怎样工作的，但它使我认为在我头脑中有一种正确的想法，并且我能理解它，真的，如果我想这样做的话。

但是，在我心中的另一部分是关于大学物理课的记忆，我从中学到的东西告诉我，电子基本上全然不像弹球；有被称之为量子力学的不确定原理的东西，它说你永远都不能精确地知道电子之类的一个微小的粒子在任何一个时刻在哪里，或它运动得有多快；如果你想获得一个电子的图像，你不得不想象一个模糊的焦点之外的、污损了的弹球。并且还有另一个名为波粒二象性的令人困惑的思想。按照这种思想，一个电子的行为，在某种时间和方式下能使你认为它是粒子，而在另一种时间和方式下则会使你认为它更像是波。它是波和粒子两者，或许它既不是波也不是粒子而是这两者之间的某种东西，它难以定义也难以想象；无论如何，甚至这污损的弹球的想象也似乎开始可疑。除此之外，还有一个有关测量的模糊观念，即测量以不可预测的方式影响你正在测量的对象，以至，即使你有办法能辨别这些污损了的波—粒子之一在哪里，你也不能完全确信你所得到的答案的意义或可靠性。

想象上述这一切，我的那些确信，即理解了我的电脑是怎样工作以及它何以如此可靠，开始崩溃。如果我不被允许把电子看做围绕着精确设计的硅片的路径高速转动的弹球，如果它们真是像波那样在通道里到处瞎游乱闯，如果这不确定原理告诉我一个电子不能完全在这个地方而必须也有几个比特同时在那个地方，那么我的电脑怎么能有如此的可靠性？并且，如果存在某种同每一个测量作用相联系的不可预测性，那么，我又怎么能信赖我从硬盘上读取的数据呢？实际上读取的数据等于

测量全部磁化尘粒的方位吗？在我所接受的物理学教育的记忆中，量子力学告诉我们，在最基本的层面，这个世界不是完全可知的，也不是完全可信赖的。在与个别电子或个别原子的磁排列打交道时，我必须设想不是必然性而是可能性。

虽然如此，我的电脑继续工作着，像往常一样泰然自若。对于这个哑谜的一个标准的答案是，实际上，对于它的操作来说，一个电脑是不依赖于个别的电子和原子的。那编排在硅路径周围奔跑着的0和1的信号是一个电子群，大约包含1兆个电子。在硬盘上磁化的尘粒由1兆个原子建立起来。按人类的标准说这些东西可能是微小的，而同量子世界的个别居民相比，它们依然是足够巨大的。所以，人们往往强调，当我们认为电脑依赖的是成兆的电子和原子的群体行为时，为个别电子和原子的行为所困扰并使我们感到迷惑不解的量子力学的不可思议就变得可理解了。

然而，类似的答案会是什么样的呢？为什么1兆个古怪的小量子的集合的行为同它的成分相比就不那么神秘？1兆个水滴汇成一桶水，而不是一块水。当我们考察“大”物体时量子力学世界的古怪好像是消失了，若果真如此，那么那个古怪跑到哪里去了呢？如果我们不能信赖一个单个电子在某时位于某地，我们怎么能信赖这样的一大群电子，它们在我的电脑屏幕上恒定扮演一个字母a，而不偶然地转变为z？

数十年来，这个问题用平庸的断言解决，只是简单地宣布：任何测量必定产生一个确定的答案，并因而在量子世界的不确定性之上生长出确定性。然而，对于测量，藉以使不确定的东西确定的物理过程，从来未被说明，不过，在最近几年里，这个长久的难题的一个解答的端绪开始出现。这个答案来自理论上洞察复合系统的行为，它使得理解下述问题成为可

能：许多相互作用的量子客体的集合怎么以群体的方式行为，这决不是显而易见的，它不可能容易地从这些孤立的单个客体的行为推演出来。

这本书的目的就是解释这个新的理解。我们会看到，虽然这古怪不会全然离去，但它退隐在背景之中。

要想理解这个答案，首先你必须系统地阐述这个问题。按照生疏的规则工作，量子世界的确是一个不可思议的领域，在这本书的第一部分我一直试图尽我所知清楚地阐述，那古怪由什么构成以及（同样重要的）它不是什么。我历时数年，以期使量子力学看上去不那么古怪的努力钻研所得的却是一些误入歧途的结果，最终还是由于量子力学的真正本质，才使得正确地理解下述问题成为可能：什么是它的中心问题以及实际上自然界是如何运转的。

这本书是按照这样一种想法组织的：我希望是逻辑的而不是编年的。我的阐释从量子力学的一个“悖论”入手，它已经被很好地建立起来，并有了许多的讨论，而且我试图从这里开始直到弄明白为什么会出现悖论。无论怎样，对我来说，这本书的组织是合乎逻辑的。量子力学令人不安的原因在于，它似乎使我们通常的逻辑定义变得无意义，什么也没给我们留下。但请你读下去：最终逻辑会出现，并且世界也有意义！

人物表

尼耳斯·玻尔 (Niels Bohr) —— 哥本哈根近期的一个哲人；量子力学哥本哈根解释的创始人和精神领袖。

阿尔伯特·爱因斯坦 (Albert Einstein) —— 物理学家，相对论的创始人，量子力学的教父，虽然后来疏远了它。

埃温·薛定谔 (Erwin Schrödinger) —— 猫的主人，虽然不一定是猫的爱好者。

马克斯·普朗克 (Max Planck) —— 量子力学的创始人、论证者，虽然他企图否定他的结果。

戴维·玻姆 (David Bohm) —— 爱因斯坦的继承人，坚持把量子力学放到经典基础上，而不是相反。

约翰·贝耳 (John Bell) —— 爱因斯坦和玻姆的赞同者，设计了一种一直令爱因斯坦为之沮丧的检验结果。

哥本哈根——丹麦的一个城市，也是一种严肃的哲学。

电子——一种基本粒子，有固定的质量和电荷，1897年被发现的，后来发现它也是波。

光子——一种粒子，也是波。

目 录

引言/1

人物表/1

第一幕 力学的失败/1

1. 另一只手套的神秘/2
2. 眼见为实/7
3. 杜绝隐喻/13
4. 反复学习/15
5. 抛掷硬币和天气预报/19
6. 不只是电子/23
7. 光子出场/27
8. 光子果真实在吗？/31
9. 是粒子还是波？/34
10. 一次一个光子/38
11. 学会在不确定性中生活/42
12. 是还是不是？/46

- 13. 光子走哪条路? /48
- 14. 究竟发生了什么? /54
- 15. 如何靠量子力学发财? /58
- 16. 严密的重要性/61
- 17. 生死界上的薛定谔猫/63
- 18. 心理学……? /69

幕间 大量的哲学插曲/74

- 19. 月亮果真不存在吗? /75
- 20. 致命的打击? /78
- 21. 迷惑不解的新自旋/83
- 22. 自相矛盾的爱因斯坦/86
- 23. 谁的实在是真正的实在? /89
- 24. 玻尔被自己的立场弄糊涂了/90
- 25. 需要多宇宙吗? /92
- 26. 幻觉似的不确定性/96
- 27. 失败的功效/99
- 28. 确定论究竟意味着什么? /104
- 29. 可以驱赶但不能摆脱/105

第二幕 建议检验实在性/110

- 30. 关于 EPR 的一个新视角/111
- 31. 代数游戏/114
- 32. 答案是: ……/119
- 33. 一旦改变绝不能收回/121
- 34. 同时性的可能性/127
- 35. 全然非爱因斯坦所盼/129

第三幕 进行测量/133

- 36. 工程师、物理学家和哲学家……/133

37. 一个真正的悖论/139
38. 语词的困惑/143
39. 量子叠加能被观察吗? /147
40. 箱子中相似的豌豆/151
41. 比你想知道的还要多/155
42. 关于时间的题外话/160
43. 定义的不同/162
44. 量子猫/165
45. 薛定谔猫的幽灵/170
46. 被重建的爱因斯坦的月亮/174
47. 我们已经学会了什么? /178
48. 我们还有什么没弄清楚? /182
49. 最后(或最初)的神秘/184
50. 我们总是很理解量子力学吗? /190

参考文献和注释/194

第一幕 力学的失败

从牛顿和笛卡尔时代直到 19 世纪末，物理学一直在建构着一个日益精巧而基本上是力学的世界观。整个宇宙被假定是一个巨大的机械钟，科学家们指望能无限详尽地发现它那错综复杂的运转细节。藉助于力学和万有引力的定律，热、光和磁的定律，气体、流体和固体的定律，物质世界的每个方面，原则上都能显现为一个巨大的、互相联系的、精确合乎逻辑的机械装置的一部分。每一个物理原因都能产生一些可预知的结果，而每一个可观察的结果都能追踪到一些惟一的、准确的起因。物理学家们的工作就是详尽地探寻这些因果联系，藉以使过去成为可理解的和使未来成为可预知的。实验的和理论的知识积累，无疑被用于把一个单一性和连贯性的宇宙观带进每个比较明显的兴趣中心。每一条新的信息、每一个新的智力洞察、每一个新的因果关系链的说明，都加到这宇宙钟装置的其它齿轮上。

这是物理学家们在 19 世纪末建立起来的传统。经典物理学渴望非常清晰地描绘出这个机械宇宙的复杂的运转。当时所谓真实的宇宙是纯粹机械学的，物理学家们在每个明显的兴趣

中心都曾描绘过一个独立于他们而存在的实在——这些自明假定从未被怀疑过。

1. 另一只手套的神秘

你和一位朋友在伦敦的海斯罗机场；你们两人各有一只上了锁的木箱，里面都有一只手套。一个箱子里装着的是一付手套中的右手的那一只，而另一个箱子里放的是左手的那一只，但是你们不知哪个箱中放的是哪一只。你们两人都有钥匙，但是它们不是你们所提的那个箱子的钥匙。

这样装备起来以后，你登上一架飞机飞往洛杉矶，而同时你的朋友却飞往香港。

当你到达洛杉矶时你用你的钥匙打开机场的一个抽屉，在里面你找到了另一把钥匙——这是你的木箱子的钥匙，现在你打开木箱并发现你带到洛杉矶的那只手套是右手的。当然你知道这个，你也就知道了现在被你的朋友带到香港去的那个木箱里的手套是左手的。用这瞬间的实现，你获得了有关在世界另一边的事物状态的一部分知识。

你可以说这是极易懂的。你可能听说过阿尔伯特·爱因斯坦的著名格言——没什么东西，甚至信息，能比光速更快地行进；没哪个电视剧中的角色与这个禁令相矛盾。当你在洛杉矶机场等候时，你的确利用对你有效的信息，对同你的正在香港的朋友有关的事实，做了一个推论。然而，在任何时候，不论路程远近，我们都能实现这类影响。一位天文学家由于捕捉到地球上的望远镜中的一条微弱的光线而推断遥远星球的表面温度；一天上午你躲避了一场雨，你看了一下手表，意识到你必

须出席的一次会议已经在你的办公室开始了。

想象在某些遥远的地方所发生的事情，不同于从一个地方到另一个地方传送知识。如果，你发现你的手套是右手的，你想要告诉你的朋友她有一只左手的手套，那么你就必须打电话给她，或是发一封电报，或是寄给她一张名信片。电话的速度和光速差不多，其他两种通信方式就慢得多了，并且你无法知道她是否已经打开了她的箱子——除非你碰巧得到她的一个电话——告诉你你肯定有一只右手的手套。你已经发现那只手套这一事实没允许你打破物理学的定律以比爱因斯坦所允许的还要快的速度把信息传达给她。

但是至此为止，你认为可能有某种途径，利用你所知道的东西去影响你的朋友的行为。请设想一下，在你们俩的飞机旅行出发之前，你与你朋友约定：如果在她箱子里发现了左手的手套她便去东京，而如果她得到的是一只右手的手套她便飞往悉尼。是你在洛杉矶打开箱子的行为决定她到哪里去吗？绝不是，她箱子中的手套不论是哪一只都是一开始就在那里的，所以她是飞往东京还是悉尼是预先决定了的。当你在洛杉矶打开箱子的时候你立即就知道她去了一个该去的地方，但是她的目的地对于她来说和对你一样，不是什么了不起的意外。像以前一样，你现在一直在探寻下次会偶然发生的事，但你却不能对它产生任何影响。

但是现在让我们改变一下这个故事。在这两个箱子里的手套，你感到它们是不可思议的和魔幻的，与你以前所遇到的任何手套都不同。只要不被封在箱子里，它们始终是一付，而现在，它们既不是右手也不是左手的这种未定的状态在本质上就是不确定的。只有当一个箱子被打开，大白于天日时，里面的

手套才被迫变成右手的或左手的。并且这两种可能性各占一半。

在你从伦敦飞往洛杉矶的几小时的旅途中，你可能会为你箱子中的手套——这个不可思议的手套，即不是右手的又不是左手的，却具有随便哪一个的潜在性——实际上它看上去像什么而伤脑筋。但是你没有可以打开这个箱子以窥视一下的钥匙，并且在任何情况下，一旦你偷看了这只手套，它必呈现一个确定的形状，右手的或左手的。这个手套的这种魔幻性质在于，你永远不能在它未成形的状态下看它，因为你一看，它就变成常见的和易于辨认的东西。

另一方面，现在，当你到达洛杉矶打开你的箱子时，让我们设想一下，你发现了一只右手手套——你开始感到事物并非如以前那样简单明了——你立即就知道当你的朋友打开她的箱子的时候一定发现一只左手的手套。但是现在，显然某种信号或信息已经从你的手套传给她的手套，不是吗？你打开箱子往里看之前如果两只手套是不确定的，那么可以推测，一旦你的手套确定为右手的，她的手套就一定已经变为左手的，以便于这两者维持一付。这意味着你在洛杉矶观察手套的作用减少了在香港的那只与之配对的手套的不确定性而成为一个确定的左手的状态吗？

但是也有另外一种可能性出现在你面前。你怎么知道你的朋友不是在你有机会打开你的箱子之前首先到达香港并打开她的箱子呢？这种情况下，显然她发现了一只左手的手套，这只手套在你往你的箱子里看之前就强迫你的那只手套变成了右手的。如果存在一种瞬时的信息传输，它可能是另一种方式。你的朋友打开她的箱子的作用决定你将发现的手套是什么样，并且没有其它的可能。