

The Quantum Universe

量子宇宙

一切可能发生的正在发生

[英] 布莱恩·考克斯(Brian Cox) 杰夫·福修 (Jeff Forshaw) / 著

伍义生 余瑾 / 译

重庆出版集团 重庆出版社

果壳文化传播公司

科学可以这样看丛书

世界公认的量子力学入门杰作

《为什么 $E=mc^2$?》一书的作者

挑战《时间简史》的粉丝们,

门外汉都能读懂的世界科学名著

这本书不适合放在浴室里、玩游戏的间隙或电视节目插播商业广告时快速阅读, 可是它值得你付出时间和努力来理解到底是什么导致了我们这个世界的运转。

—— WomanAroundTown. com



科学可以这样看丛书

量子宇宙

一切可能发生的正在发生

[英]布莱恩·考克斯(Brian Cox)

杰夫·福修(Jeff Forshaw) 著

伍义生 余 瑾 译



重庆出版集团  重庆出版社

 果壳文化传播公司

The Quantum Universe: Everything That Can Happen Does Happen

By Brian Cox & Jeff Forshaw

Copyright © 2011 by Brian Cox and Jeff Forshaw

Chinese Translation Copyright © 2013 by Chongqing Nutshell Cultural

Communication Co., Ltd., Chongqing Publishing Group

Published by arrangement with Apollo's Children Ltd. & Professor Jeff Forshaw

All rights reserved

版贸核渝字(2013)第006号

图书在版编目(CIP)数据

量子宇宙 / (英)布莱恩·考克斯(Brian Cox), 杰夫·福修(Jeff Forshaw)著;
伍义生, 余瑾译. —重庆: 重庆出版社, 2013.6

(科学可以这样看丛书 / 冯建华主编)

ISBN 978-7-229-06396-2

I. ①量… II. ①考… ②福… ③伍… ④余… III. 量子宇宙学—
普及读物 IV. ①P159-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 079690 号

量子宇宙

THE QUANTUM UNIVERSE

[英]布莱恩·考克斯(Brian Cox) 杰夫·福修(Jeff Forshaw) 著
伍义生 余瑾 译

出版人: 罗小卫

责任编辑: 冯建华

责任校对: 夏 宇

封面设计: 重庆出版集团艺术设计有限公司·黄 杨



重庆出版集团
重庆出版社

出版



果壳文化传播公司 出品

重庆长江二路 205 号 邮政编码: 400016 <http://www.cqph.com>

重庆出版集团艺术设计有限公司制版

重庆市国丰印务有限责任公司印刷

重庆出版集团图书发行有限公司发行

E-MAIL: fxchu@cqph.com 邮购电话: 023-68809452

全国新华书店经销

开本: 720mm×1 000mm 1/16 印张: 13.5 字数: 190 千

2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-229-06396-2

定价: 32.80 元

如有印装质量问题, 请向本集团图书发行有限公司调换: 023-68706683

版权所有 侵权必究

我们

为什么不从地板上掉下去？

量子力学说：空间不是空的

亚原子领域素以不可思议而著称，在该领域存在着诸多根深蒂固的误解，譬如东方般的神秘感，以及关于所有事物之间相互联系的模糊不清的观点。考克斯和福修的论点是什么呢？那就是，没必要从这些角度来理解量子力学。可以这样坦白地说，在古怪的量子世界中有许多模糊不清的观点，它常常导致混乱，或直率地说导致坏科学。《量子宇宙》拨开迷雾，探讨人们在自然界里观察到的什么现象是导致我们必须引入量子理论的，它又是如何建立起来的，并且为什么我们对此充满信心，即是说，尽管它表面上看起来怪诞无比，但却是一个好理论。

《量子宇宙》中的量子力学为我们提供了一个具体的大自然模型，在本质上可与牛顿的运动定律、麦克斯韦的电磁理论和爱因斯坦的相对论相媲美。

《量子宇宙》汇集了两位当今世界一流的物理学家兼畅销书作家，只为了向读者展示人人都能够理解最艰深的科学问题。这本书是为感兴趣的外行们解释量子物理学的相关问题而写的。

书中记叙了 20 世纪 20 年代以及此后发展了量子力学的特异人物和奇闻趣事，以及理论发展演进过程中充斥的哲学斗争。

本书的核心论点是，没有必要用隐晦艰深的方式看待量子力学，它是一个简单易懂的理论，只要你理解量子力学，就能对自然界做出预测。

如果你对解开量子物理学的密码感兴趣，它是一个不错的起点，在学者的陪同下，作一次奇妙的量子宇宙之旅。

Advance Praise For the Quantum Universe

《量子宇宙》一书的发行评语

“在英国，布莱恩·考克斯已经成为了物理学界的领军人物……考克斯已经拥有了一大批粉丝……他恰当地运用简短的语言，并且使用简单的类比来巧妙地呈现复杂的观点。他还令人钦佩地避免了沉闷的叙述。作者对于学科的热情跃然纸上。”

——《经济学家》(*The Economist*), 2011. 11. 5

“全面地叙述了量子力学的作用原理，以及它的正确性……读完本书可以了解很多知识，并且无论是语言还是内容都经过精心挑选，简明扼要。”

——《新科学家》(*New Scientist*), 2011. 11. 5

“英国人最喜爱的物理学家没有片面地支离破碎地展现科学，而是献上了一部精确的量子力学入门作品。”

——《华尔街日报·欧洲版》(*Wall Street Journal Europe*), 2011. 11. 11

“这本由最著名的两位英国物理学家撰写的著作，打破了所有科普读物的陈规。”

——《经济学家》(*The Economist*), 2011. 12. 10

“得益于他的电视科学讲座，布莱恩·考克斯已经成为英国名气最大的物理学教授。再没有人能像他那样让人陶醉地、激情四溢和通俗易懂地将宇宙的奥秘呈现在大众面前。考克斯与杰夫·福修合著的最新作品仍然保持了这种魅力和热情……这是一部严肃的、完整的讲述量子理论的著作，适合普通读者。”

——《金融时报》(*Financial Times*), 2011. 11. 11

“一般的科普读物并没有什么明显的缺点，但求知欲更强的读者不会遗憾选择了这本一丝不苟的著作……空间并不‘空’；物质经常出现和消失。如果量子规则并没有规定某些事情不能发生，那么最终它就会发生。”

The Quantum Universe

这是事实，并且实验也证实了这一点。作家们往往用极为不专业的语言来解释这些现象，从而将它们转化成一場魔术秀，可是考克斯和福修不会这样。他们巧妙地运用了教育学的方法来举例证明不可思议的量子现象是完全合理的……雄心勃勃地解释了浩瀚的量子宇宙，适合愿意动点脑筋思考的读者。

——《科克斯评论》(*Kirkus Reviews*), 2012. 1. 15

“细致地从读者的角度来进行解说，绝不会故意有所保留……如果你对现实世界感兴趣，并且希望就过去一百年中人类在人文科学领域取得的主要成就获得一个精彩的介绍，你应该捧着这本书慢慢地阅读和细细地品味，让它成为您生活的一部分，那么您的生活将变得越来越好。”

——《赫芬顿邮报》(*Huffington Post*), 2012. 2. 8

“非常有趣的一本书，对于想要研究量子力学但却缺乏牢固的数学或物理学基础的人，或是在学校里学过数学或物理学的、并且想要继续深入研究量子世界的人，我们都强烈推荐本书。”

——《技术和社会》(*Technology and Society*)

“信息量很大，全书都具有趣味性……不是一本可以快速、轻松、容易读完的书。但它是一本重要的书，并且考克斯和福修值得赞扬，因为他们两人让一门极为困难的学科变得尽可能的容易，但不能再容易，并被人们认识和理解。”

——InfoDad. com, 2012. 2. 23

“如果你对解开量子物理学的密码感兴趣，它是一个不错的起点。”

——BlogCritics. org, 2012. 2. 21

“布莱恩·考克斯和杰夫·福修非常注意让书容易被读者理解，不过他们也不遗余力地讨论了量子理论的复杂性。详细程度远远超过了其他的书。要在这两者之间达到平衡并不容易，可他们做得非常好。”

——About. com, 2012. 1. 28

“这是一本很好的量子力学入门书籍。《量子宇宙》是一本写给普通读者的书。读者们可能会喜欢它，而且它同时也是对苦心学习早期量子力学课程的物理专业学生的一个很好的补充读物。如果你特意挤出时间来读完这本书，可以获得对量子力学及其原理的深刻认识。可能没有比读这本书更容易理解量子力学的了，至少相对其他书来说是这样。”

——《得克萨斯日报》(*Daily Texan*)，2012. 2. 12

“一次迷人的小站之旅，将我们从该领域的诞生之初一直带到标准模型的现代测试……简洁易懂，时有逗趣之语。”

——《华尔街日报》(*Wall Street Journal*)，2012. 2. 26

“以深刻和我们希望的令人满意的方式理解量子世界，并不一定要以极为精确的方式描述它的内在原理。此书对一系列规则所产生的后果进行了极为精确的数学描述，尽管这些规则看起来非常奇怪，但它们确实在发挥作用，这也正是考克斯教授和福修教授简短叙述的核心。《量子宇宙》这本书也许并不能揭开量子理论的神秘面纱，可是它确实给了读者一个概念，这本书试图‘登上’的高峰究竟有多高，并为我们提供了一个立足点，让我们能够开始自己的‘攀登’。”

——《纽约图书月刊》(*New York Journal of Books*)，2012. 2. 15

“如果你付出努力，你将会喜欢上这本书并从中获益，并且在闲聊时，如果从你的嘴里蹦出几个类似‘夸克’和‘玻色子’的单词，旁人会马上对你刮目相看。”

——《查尔斯顿邮信报》(*Charleston Post and Courier*)，2012. 2. 19

“以一段任何在大学学过物理学的人都熟知（即使没学过的人也能看懂）的科学简史开始，考克斯和福修接着开始解释元素周期表的根源、强核力和弱核力、‘为什么我们在跌倒时不会穿过地板’，以及无数其他有趣的主题。”

——《出版周刊》(*Publishers Weekly*)，2012. 3. 5

“布莱恩·考克斯和杰夫·福修都有一种独特的技能，能将复杂的主

The Quantum Universe

题变得易于理解。本书是现代科学思想的一部杰作，非常值得付出时间和注意力。本书易于阅读，虽然它具有深刻的科学基础。作者付出了大量的时间和耐心来实现他们所想要展示的，并充分展示了他们的洞察力、格调和智慧。”

——《旧金山书评》(*San Francisco Book Review*) /
《萨克拉门托书评》(*Sacramento Book Review*), 2012. 3. 2

“对于想要更多学习物理学特别是量子力学的人，这是一个很好的开端。量子力学是物理学中最让人困惑、最不为人认识的一个分支。《量子宇宙》……是一个好的开始。”

——PopMatters. com, 2012. 4. 4

“讨论了量子理论领域流行的主题，采用了一种可读性强的叙述风格。”

——《参考和研究著作消息》
(*Reference and Research Books News*), 2012. 4

“好的尝试，让一个复杂而极为混乱的学科能为常人所理解……在最后一章，你会发现垂死恒星的细节是那么让人兴奋，如同作者所感受到的那样。本书是量子力学基本概念的一本优秀入门读物，充满了个性和信息。”

——《读一本好书》(*Curled Up with a Good Book*), 2012. 4. 18

“（考克斯和福修）娴熟地将难以理解的变得容易理解……（并且）让抽象的变得有形。毫无疑问，这本书不适合放在浴室里、玩游戏的间隙或电视节目插播商业广告的时候快速阅读，可是它值得你付出时间和努力来理解到底是什么导致了我们这个世界的运转。”

——WomanAroundTown. com, 2012. 4. 12

“两位物理学家运用简单的类比来解释这个不可思议的量子理论世界。”

——《科学新闻》(*Science News*), 2012. 4. 21

“很高兴能看到有这样一个科学题目，将日常生活和复杂的科学课题联系在一起……为那些几乎不具备任何科学背景的普通读者献上了一场精彩的讨论。”

——《中西部书评》(*Midwest Book Review*), 2012. 4

“考克斯和福修的目标是阐明这个复杂的主题，并且他们成功了。他们展现了貌似奇怪的量子世界背后的科学原理。读者们能够为作者洋溢的热情所感染。作者表明了量子理论事实上是如何影响了我们的日常生活。跟随考克斯和福修的节奏来读完这本书是一件让人高兴的事：他们运用了一种简单而直接的方式，使读者可以轻松明白他们的解释。他们成功地完成‘揭开量子理论的神秘面纱，而不有损于它的吸引力’这一目标。”

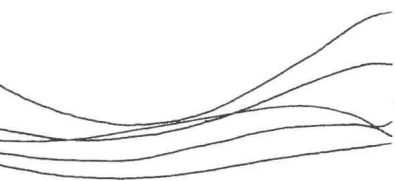
——《超心理学在线评论》
(*Metapsychology Online Reviews*), 2012. 5. 27

“本书的开头几章是对该课题的一个精彩而快捷的入门介绍，就像你能从其他地方获得的一样好。”

——《美国物理学报》(*American Journal of Physics*), 2012. 6

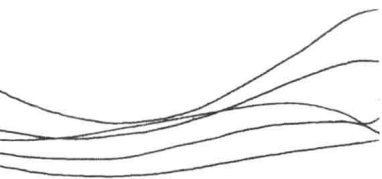
“充满了简短的引述，展示了考克斯撰写科普读物的娴熟程度……他再一次实现了和福修的成功合作……（英国）曼彻斯特大学教授写作的风格让人想起了美国物理学界的理查德·费曼……（这是）一本具有趣味性的、虽然略带挑战性的量子入门读物……我们向读者强烈推荐。”

——《选择》(*Choice*), 2012. 8



目录

1	☐ 1. 奇怪的事情正在发生
7	☐ 2. 分身术 (同时出现在两个地方)
23	☐ 3. 粒子是什么?
37	☐ 4. 什么事情都可能发生
61	☐ 5. 运动错觉
73	☐ 6. 原子的音乐
93	☐ 7. 一枚针头里的宇宙 (我们为什么不从地板上掉下去)
109	☐ 8. 相互联系
129	☐ 9. 现代世界
141	☐ 10. 相互作用
161	☐ 11. 空间不空
177	☐ 后记:恒星的死亡
201	☐ 扩展阅读
202	☐ 致谢



1. 奇怪的事情正在发生

一提到量子这个词就立刻让人感到困惑，又让人着迷和回味无穷。它或者是科学巨大成功的证明，或者是在我们解开亚原子领域不可避免的奇怪现象与有限范围的人类直觉的象征，这要看你怎么看。对物理学家来说，量子力学是支持我们认识大自然的三大支柱之一，其他两个是爱因斯坦的狭义相对论和广义相对论。爱因斯坦的理论处理空间和时间的性质与引力。量子力学处理除此之外的一切。有人可能主张，不管量子力学是令人困惑的或是令人着迷的，这都不要紧；它只是一个描述事物行为方式的物理学理论。用这个实用主义的标准来衡量，它的精准度和解释能力是令人满意的。有一个量子电动力学的实验，是一个最古老的和最好地理解现代量子理论的实验，其中包括测量磁铁附近的电子的行为方式。理论物理学家努力工作了许多年，用笔、纸和计算机预测这个实验会发现什么。实验者设计和进行精密的实验来找出大自然的精细的性质。这两支队伍独立地宣布了精确的结果，其准确性可以和测量英国曼彻斯特与美国纽约之间的距离误差只有几厘米相比较。尤其值得注意的是，由一些实验者返回的数值与理论家的计算精确一致；测量与计算完美吻合。

这些事实给人的印象是深刻的，但也是难以理解的，如果量子理论描绘的仅仅是微小的模型，你可能会忘记怀疑所有那些大惊小怪的事情。虽然科学不是一下子就能派上用场的，但许多改变了我们生活的技术和社会的变化，都是源于现代的探索者所进行的基础研究，他们的唯一动机是更好地了解他们周围的世界。这些由于好奇心引导的发现，遍布了所有的科学学科，结果是增加了人类的预期寿命，实现了洲际航空旅行和现代通讯，免除了农场和清扫的苦役。这些结果使我们受到鼓舞，同时又让我们清楚地认识在这个无限星辰的大海中的位置。但所有这些在某种意义上都是一些副产物。我们探索是因为我们好奇，而不是因为我们希望得到宏伟的现实结果，或把我们的生活点缀得更好。

量子理论或许是从最神秘莫测变成非常有用的最好例子。它之所以神秘，是因为它描述了一个粒子可以同时存在于世界的几个地方，并且通过同时探测宇宙，一个粒子可以立即从一个地方移动到另一个地方。它之所以有用，是因为对建造宇宙的最小建筑砖块行为的理解，加强了我们对其一切事物的理解。这种说法近乎有些主观，因为这个世界充满了多样性和复杂性的现象。尽管有这样的复杂性，我们发现一切都是按照量子理论规则的、由到处移动的一些极小粒子构成的。这个规则是如此之简单，以至于可以在一个信封的背面写上几句话，就把它们概括出来。事实上，我们不需要一整座图书馆的书去解释事物的基本性质，这是所有秘密中最大的奥秘。

看来，我们了解世界的基本性质越多，它看上去就越简单。我们将在适当的时候解释这些基本规则是什么，这些极小的建筑砖块是怎样巧妙地形成世界的。但是，为了避免宇宙的这个基本的简单性不使我们太吃惊，我们要提醒一句：虽然游戏的基本规则很简单，其结果却不一定容易计算。我们日常对世界的经验，是从由亿万个原子组成的巨大物体之间的关系得来的，因此试图从基本原理得出行星和人类的行为将会是愚蠢的。承认这一点并不会减弱我们的主要观点，即一切现象实际上是以极小粒子的量子物理为基础的。

想想你周围的世界。你拿着一本由纸做的书，即一棵树的碎浆做的

书。^{〔1〕} 树是能供应原子和分子的机器，将它们打碎并重新排列成由亿万个单独部分构成共同的一个群体。它们是用称为叶绿素的分子完成这项工作的，一个叶绿素由 100 多个碳、氢和氧原子组成，扭结成一个复杂的形状，靠一些镁和氮原子结合在一起的。这些粒子组合在一起可以捕捉从比我们地球大 100 万倍的核火炉，我们的太阳发出的，经过了 9 300 万英里（14 967 万公里）的光线，并把这个能量转移到细胞的内部，利用这个能量将二氧化碳和水建造成分子，并在此过程中制造充实生命的氧。正是这些分子链形成树的上层结构和所有的生物，以及你书中的纸。你能阅读这本书和了解书中的内容，是因为你的眼睛可以将页面的散射光转化为电脉冲，由宇宙中我们所知道的最复杂的大脑进行解释。我们发现这些东西正是原子的集合，并且各种各样的原子仅由 3 种粒子构成：电子、质子和中子。我们还发现，质子和中子本身是由更小的称为夸克的实体组成的，这是我们目前所知道的事情。而支撑所有这一切的是量子理论。

因此，正如现代物理学所揭示的，透过宏观世界的视野和多样性，我们所居住的宇宙的图像是一个潜在的简单优雅的现象。这也许是现代科学最大的成就；将世界，包括人类在内的巨大的复杂性简化为描述一些微小的亚原子粒子的行为，和作用在它们之间的 4 种力。4 种力中的 3 种力已经得到最好的描述：在原子核内部深处运行的强核力和弱核力，和将原子与分子黏在一起的电磁力，都是量子理论给出的。只有万有引力，这个最弱的却为我们最熟悉的力，目前还没有满意的量子理论描述。

不可否认，量子理论是有些古怪，有些人认为它在胡言乱语。猫怎么可能既是活的，又是死的；粒子怎么可以同时两个地方；海森堡说一切都是不确定的。然而这些事情都是真实的，只是因为微观世界发生的一些奇怪的事情使我们迷惑不解，所以得出的结论常常是最不确切的。超感知觉、神秘的愈合、振动手镯可以保护我们免受辐射，以及谁知道还有什么稀奇古怪的事，都在“量子”这个词的掩盖之下常常被认为是可能偷偷进入神殿的。这些胡说八道出自缺乏清晰的思维、一厢情愿的思考、真诚的或恶作剧的误解，或上述这一切的某些不幸的组合。量子理论精确地描述世界，它利用的数学定律像牛顿或伽利略提出的任何定律那样具体。这

〔1〕除非你读的是一本电子版的书，在读纸质书的情况下你需要锻炼你的想象力。

就是为什么我们可以极其精确地计算一个电子的磁响应 (the magnetic response)。量子理论提供了一个自然的描述,正如我们将会发现的,它有很大的预测能力和解释能力,可解释从硅片跨越到星星的广阔范围的现象。

我们写这本书的目的,是要使量子理论非神秘化;这个理论的框架已经被证明是十分混乱的,甚至对它的早期实践者来说也是如此。我们的方法是采用现代观点,利用一个世纪以来的了解和理论的发展。然而,为了做好准备,我们从 19 世纪末和 20 世纪初开始我们的旅程,考察一些导致物理学家从根本上背离过去的原因。

量子理论,像科学上的其他案例一样,是由于发现的自然现象不能用当时的科学范例来解释而出现的。量子理论的种类繁多,各有不同。一连串莫名其妙的结果引起激动和混乱,并促成一个阶段的实验与理论创新并举时期:一个黄金时代的到来。其主角的名字镌刻在每一位物理学学生的意识中,并占据着时至今日的大学教学课程:卢瑟福、玻尔、普朗克、爱因斯坦、海森堡、保罗、薛定谔、狄拉克。在历史上也许再也不会这样一个时期,如此众多的科学家在寻求同一个目标上取得了巨大的科学成就;建立了一个新的构成物理世界的原子和力的理论。在 1924 年,新西兰出生的物理学家,在曼彻斯特发现了原子核的欧内斯特·卢瑟福 (Ernest Rutherford),在回顾之前几十年的量子理论时写道:“1896 这一年……恰当地标志着被称为物理科学英雄时代的到来。在此之前,物理学史上从未有过这样一段剧烈的活动时期,具有根本性的、重要性的发现以令人困惑不解的速度一个接一个地而来。”

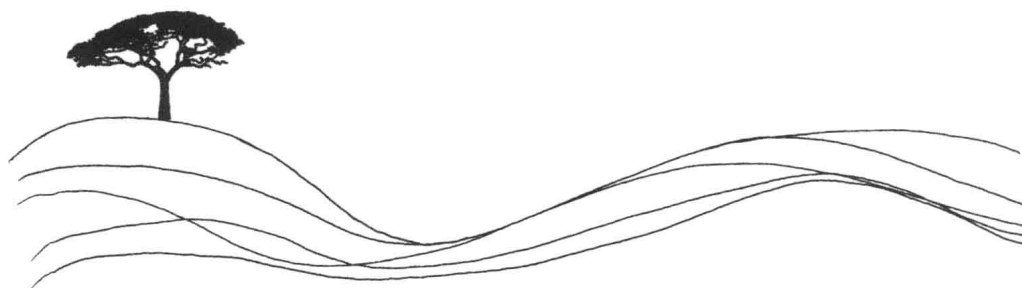
但在我们旅行到 19 世纪末的巴黎和量子理论诞生之前,“量子”(quantum)这个词本身是什么呢?这个术语是在 1900 年通过马克斯·普朗克 (Max Planck) 的工作进入物理学的。普朗克那时关注的是找到一个热物体所发出的辐射,对所谓的“黑体辐射”(black body radiation)的理论描述。德国一家电照明公司委派他做这件事情:一扇通往“宇宙”的大门就这样悄然打开了。在本书的后面,我们将更加详尽地讨论普朗克的伟大洞察力,为简短介绍起见,这里只说他发现了,只有假定光是以他所说的小能量包,即“量子”(quanta)的形式发射的,才有可能解释黑体辐射的性质。量子这个词本身就意味着“包”或“离散”。最初,他认为这是纯粹的数学技巧,但随后在 1905 年由阿尔伯特·爱因斯坦对称做光电效

1. 奇怪的事情正在发生

现象所做的工作进一步支持了量子假说。这些结果让人产生联想，因为小能量包可以认为是与粒子同义的。

认为光是一串小子弹的想法有着漫长的和悠久的历史，可以追溯到现代物理学的诞生及艾萨克·牛顿时代。但是苏格兰物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell），于1864年发表的一系列文章似乎已经全面消除了任何挥之不去的疑虑。阿尔伯特·爱因斯坦后来将麦克斯韦的这些工作描述为“自牛顿时代以来物理学所有过的、最深远的和最富有成果的成就”。麦克斯韦表明，光是一种通过空间涌动的电磁波，这样，光是一种波的想法，有了一个完美无暇的、似乎是无懈可击的来源。然而，亚瑟·康普顿（Arthur Compton）和他的同事们在1923—1925年间，在华盛顿圣路易斯大学所做的一系列实验中，成功地使光量子（the quanta of light）从电子中跳出。二者的表现都很像台球，因此提供了明确的证据表明普朗克的理论推测有一个坚实的现实世界基础。1926年，光量子被命名为“光子”（photons）。这些证据无可争议地表明光的行为既是波，也是粒子。

这标志着经典物理的结束和量子理论的开始。





2. 分身术

（同时出现在两个地方）

欧内斯特·卢瑟福将 1896 年作为量子革命的起点，因为这一年在他的巴黎实验室工作的亨利·贝克勒尔（Henri Becquerel）发现了放射性。贝克勒尔尝试用铀化合物产生几个月以前，由威廉·伦琴（Wilhelm Röntgen）在德国维尔茨堡（Würzburg）刚刚发现的 X 射线。相反地，他发现铀化合物排放“铀射线”，能够使不透光的裹在厚厚的纸里的底片变黑。早在 1897 年，贝克勒尔射线的重要性就被伟大的科学家亨利·庞加莱（Henri Poincaré）所写的综述文章所承认，他预见了这个发现的重要性：“我们今天可以认为它将为我们打开一扇通往新世界的大门，没有人会怀疑。”有关放射性衰变已被证明暗示着将要到来的事情，令人费解的是似乎没有什么外因触发这些射线的发射；它们只是自发地和不可预知地冒出来的物质。

在 1900 年，卢瑟福指出了这个问题：“同时形成的所有原子应持续一定的时间间隔。然而，这与观察的转变规律是相反的，其中原子的寿命可以从零到无穷大的任意值。”这种微观世界行为的随机性让人震惊，因为在此之前，科学是绝对地确定性的。如果，在时间上的某一时刻，你知道的有关某件事情是你可能知道的一切，