

THE QUANTUM AGE

量子时代

《量子纠缠》一书作者

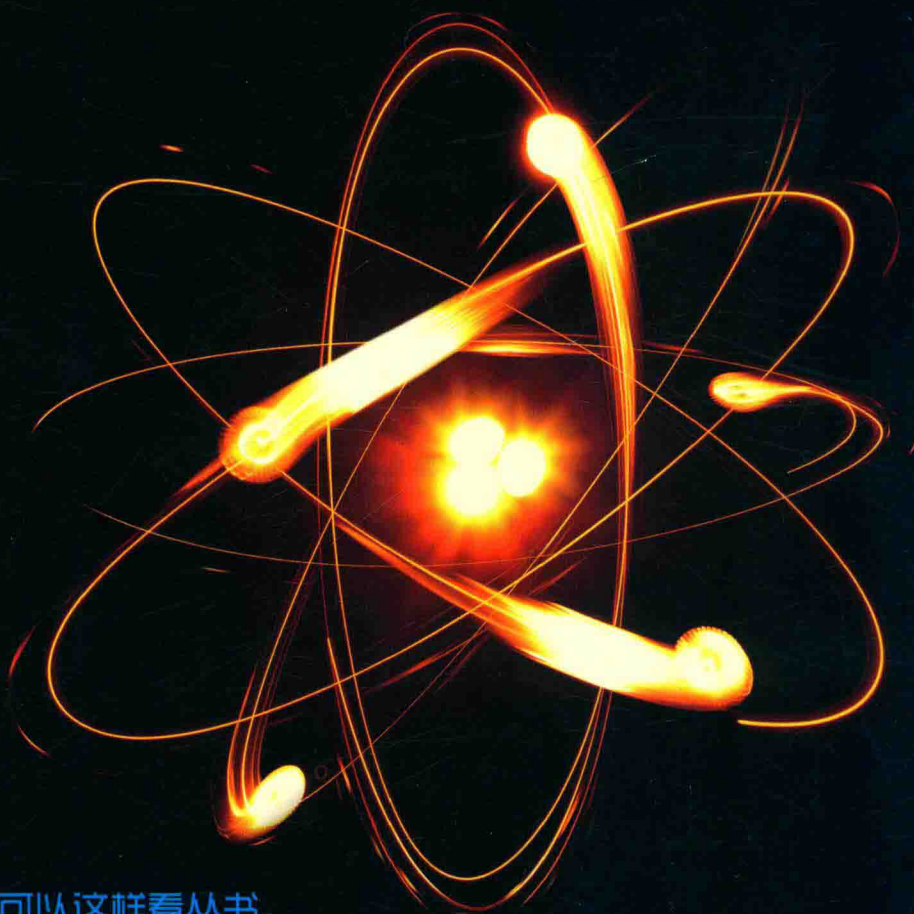
[英] 布莱恩·克莱格
(Brian Clegg) 著

张千会 杨恒 唐禾 李麒 译

重庆出版集团 重庆出版社

微观物理学正改变我们的生活

HOW THE PHYSICS OF THE VERY SMALL HAS TRANSFORMED OUR LIVES



科学可以这样看丛书

量子纠缠对人类生活与宇宙的改变

走进量子，门外汉都能读懂的世界科学名著

布莱恩·克莱格用简单且通俗的语言生动解释了复杂的科学概念。《量子时代》是布莱恩·克莱格作

——约翰·格里宾，

《寻找薛定谔的猫》、《利用量子猫进行计算》作者

科学可以这样看丛书

THE QUANTUM AGE

量子时代

微观物理学正改变我们的生活

[英]布莱恩·克莱格(Brian Clegg) 著

张千会 杨桓 唐禾 李麒 译

诠释生活中的量子科技

探索量子纠缠的本质

宇宙起源及宇宙的终极命运

重庆出版集团  重庆出版社

THE QUANTUM AGE: HOW THE PHYSICS OF THE VERY SMALL HAS
TRANSFORMED OUR LIVES BY BRIAN CLEGG

Copyright © 2014 TEXT BY BRIAN CLEGG

This edition arranged with ICON BOOKS LTD C/O THE MARSH AGENCY LTD through BIG
APPLE AGENCY, INC., LABUAN, MALAYSIA.

Simplified Chinese edition copyright © 2019 Chongqing Publishing House Co., Ltd.

All rights reserved.

版贸核渝字(2014)第207号

图书在版编目(CIP)数据

量子时代 / (英)布莱恩·克莱格著; 张千会, 杨桓, 唐禾, 李麒
译. —重庆: 重庆出版社, 2019.1

(科学可以这样看丛书/冯建华主编)

书名原文: THE QUANTUM AGE

ISBN 978-7-229-13528-7

I. ①量… II. ①布… ②张… ③杨… ④唐… ⑤李…

III. ①量子论—普及读物 IV. ①O413-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第201071号

量子时代

THE QUANTUM AGE

[英]布莱恩·克莱格(Brian Clegg) 著 张千会 唐禾 杨桓 译

责任编辑: 连 果

责任校对: 何建云

封面设计: 博引传媒·何华成



重庆出版集团 出版
重庆出版社

重庆市南岸区南滨路162号1幢 邮政编码: 400061 <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: 023-61520646

全国新华书店经销



开本: 710mm×1000mm 1/16 印张: 13.25 字数: 220千

2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷

ISBN 978-7-229-13528-7

定价: 45.80元

如有印装质量问题, 请向本集团图书发行有限公司调换: 023-61520678

版权所有 侵权必究

走进量子世界，
揭开量子力学的神秘面纱，
回归宇宙本源的终极命题！

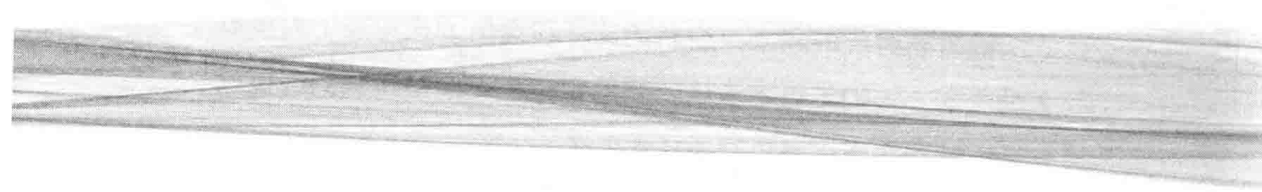
随着新时代的到来，崭新的计算和通信方式走进了大多数人的生活。人们不得不承认，新的理论正逐渐颠覆我们的传统认知，甚至正改变着我们的日常生活。

在一片争议声中，量子理论缓慢前行，它为微观世界做出了宏观代言。它使量子电视、量子打印、量子电池等新产品在时代的呼吁下孕育而生。人们开始走进微观世界，制作各种精妙的产品。

物理学界通常将量子力学称为“接近于神”的理论。因为它开启了人类对宇宙本源认知的新旅程，同时也为大众读者了解量子力学蒙上了一层厚厚的面纱。《量子时代》的作者布莱恩·克莱格，用最通俗的语言为人们开启了这扇神秘大门。

《量子时代》从费曼对量子物理学的研究开始，对量子理论作了详细的介绍。展示了科学家们是如何在一片质疑声中逐渐形成了量子理论，并将这一理论与我们的日常生活关联起来。书中用通俗的语言将少数人才能理解的微观理论表达出来，从电子、光等各个方面入手，最终回答了宇宙起源及宇宙终极命运的问题。

《量子时代》是布莱恩·克莱格继《量子纠缠》、《宇宙大爆炸之前》、《万有引力》等畅销书之后又一部科普力作。作者以幽默风趣而又通俗易懂的语言为读者讲述了量子科学的发生、发展及其与人们日常生活的关系。阅读本书，我们可以紧跟科学家的脚步进入神秘的“量子时代”，进一步思考宗教、神学，乃至人类归宿等终极哲学命题。



Advance Praise for THE QUANTUM AGE

《量子时代》一书的发行评语

如果你希望寻找一本有趣的关于量子物理学以及如何应用于日常生活的书籍，本书是不二之选。

——《BBC 聚焦》(*BBC Focus*)

布莱恩·克莱格用简单且通俗的语言为我们生动解释了复杂的科学概念。《量子时代》是克莱格的作品中最好的一本，因为书中所提的物理学概念与21世纪人们的生活息息相关，尽管对大多数人而言，这些概念晦涩难懂。从太阳如何发光到量子计算机的革命，本书集吸引、娱乐和知识于一身。

——约翰·格里宾 (John Gribbin),

《寻找薛定谔的猫》(*In Search of Schrodinger's Cat*)、

《利用量子猫进行计算》(*Computing With Quantum Cats*) 作者

让本书脱颖而出的关键在于它集中了量子物理学的应用，正是这些东西改变了我们的生活，并将我们带入了克莱格所说的“量子时代”。这是一本非常有趣的书！

——《时代高等教育》(*Times Higher Education*)

保证人人都会发现它的魔力。

——尼克·史密斯 (Nick Smith),

《电子科技杂志》(*E&T Magazine*)

致谢

首先要感谢我的编辑邓肯·希斯(Duncan Heath)对本书的帮助和支持。其次要感谢所有为我提供资料并给予我帮助的人。

最后要特别感谢已故的理查德·费曼(Richard Feynman)先生,他揭开了量子理论的神秘面纱,并将其变成了科学家们必须面对的挑战,也是他的著作让我对量子理论如此着迷。

For
Gillian, Chelsea and Rebecca

献给
吉利安、切尔西和丽贝卡

前言

上学的时候，我们很可能接受过科学老师的欺骗。课堂上，老师教授的科学知识大多为维多利亚时期所留存，尤其是物理学知识。这也许在一定程度上解释了，为什么大多数人认为课堂上所学的科学知识很无趣。量子理论、狭义/广义相对论是物理学中最重要的基本理论。这些理论早在20世纪就取得了一定发展，但却一直未能引起学校教学的重视。一部分原因是这些理论本身晦涩难懂，另一部分原因是老师们也对这些理论知之甚少。这一现状的确令人遗憾，因为这两个理论中的任何一个都是极其重要的，对我们的日常生活具有重要影响。

相对论既让人着迷又让人难以置信，它的核心引力理论与我们的生活息息相关。一个非常著名的应用与此相关，全球卫星定位系统就需要依靠狭义/广义相对论。在爱因斯坦提出他的理论之前，“经典”物理学已能精确地描述我们所能观察到的几乎大多数物理现象。除非我们以接近光的速度进行运动，否则，“经典”物理学的内容几乎可以解决地球上的任何问题——小到汽车的加速度，大到登月计划。量子物理学却完全不同。它除了让人着迷让人称奇之外，还无处不在。我们看到的、触摸到的和用到的所有事物都是由量子构成。如我们借以看见其他物品的光线、我们自己、太阳和其他恒星等。此外，核聚变为太阳提供能源的过程也是依照量子物理学原理发生的。

量子物理学天生就充满着趣味性，而我们几乎没能在学校阶段学习过它的任何知识。量子物理学并不局限于构筑物理学这座大厦的根基，事实上，它在我们的实际生活中无处不在。据统计，发达国家的国内生产总值中，大约35%的部分都应归功于量子物理学技术，量子物理学并不局限于构建原子。事实上，量子物理学的应用非常深远。我们正在经历一场革命，只是这场革命的名字还没有取好而已。

THE QUANTUM AGE

这已经不是人类首次因为技术进步而改变生活方式了。历史学家们通常会构思出一个名字来凸显这一技术“时代”，如石器时代、铜器时代、铁器时代，皆以其技术特点而命名。这些新发现的可用材料可使人们生产出更多功能更强效率更高的工具及产品。19世纪初，人类进入了蒸汽时代，应用热力学改变了我们提供能源的方式。我们不再依赖牲畜劳作以及风力水力这些不可预估的能源，转向可控制的蒸汽制造能源。当下的今天，虽还未获得官方的正式认证，但我们已步入了量子时代。

量子时代始于哪个节点，我们尚未厘清。但我们现在所使用的电能，即是量子科技的第一项应用。电通过导体的流动就是一个量子过程，尽管曾经的电学先驱们并未意识到这点。如说这项应用太微弱，尚不能称其为一场革命的话。电子技术的引入（有意识地利用量子效应）则明确意味着我们已步入了一个崭新的时期。在那之后，人类发明了各样的经典的量子设备，比如：无处不在的激光以及核磁共振扫描仪等；又比如：手机、电视、超市结账机、照相机，都是利用的量子效应。

没有量子物理学，就不会有物质和光照（太阳光）。更“可怕的”是，我们也许连苹果手机也无法使用。

至此，“量子”这个词我已提及了17次，还不算扉页与封面上的。接下来，我们从“量子”这个词的定义入手，探寻其背后的奇异与美妙的科学，这是一件非常有趣的事情。

目录

1□ 致谢

1□ 前言

1□1 量子入门

19□2 量子本质

31□3 电子王国

55□4 量子电动力学

79□5 光与魔法

89□6 超级光束

107□7 让光干活

123□8 电阻失灵了

135□9 悬浮列车与超导量子干涉装置

147□10 幽灵般的纠缠

159□11 从比特到量子比特

177□12 它活了！

187□13 量子宇宙

1 量子入门

20 世纪以前，人们认为无论以何种尺度做观察，所观察到的物质都应是相同的。我们回溯古希腊时期，一群哲人曾做过这样的思考：如果把某个物体切成小块，无限重复这一过程直到其小到不能再进行切割为止（原子）会发生什么？他们设想原子就是我们所观察的物质的缩小版。比如，奶酪的原子除了在尺寸上较奶酪更小之外，与一整块奶酪并无区别。但量子理论却颠覆了我们的传统认知。当我们试图去解释世界中的微观单位，像光子、电子以及现代意义的原子时，我们无法直接地通过感官感受到它们的存在。

量子时代 范式转移

当人们意识到了量子层面的存在，科学史学家们开始夸张地将这一转变称为“范式转移”。突然间，科学家们的世界观发生了变化。在量子革命之前，科学家们认为原子（假设原子存在——20 世纪以前，许多科学家对原子的存在持保留态度）就是它们所构成的物质的无限小的球状物。量子物理学指出了它们的差异。比如，一块石墨和一个钻石完全不同，但石墨或者钻石的内部却充满着相同碳原子的集合。量子的活动很奇怪，但并不意味着没拿到物理学博士学位的人就没法理解并对它敬而远之。我就一直在给 10 岁左右的孩子教授量子理论的基础知识。我并不教授他们数学，了解量子理论的过程也无需任何数学计算。学生需要做的只是抛开怀疑，因为量子的活动总不按常理出牌。

20 世纪伟大的量子物理学家理查德·费曼（我会在后面的内容中作详细介绍）曾在一次公开演讲时这样说道：“你们认为，我将知识讲述给你们，你们就听懂了吗？不，你们并未听懂。既然如此，我为何还要继续给你们讲课呢？为什么你们难以听懂我的课，还要花如此长的时间坐在这儿聆听呢？我的任务是劝你们，不要因为不懂而离开。其实，我的那些物理系的学生们也难以听懂。因为我自己也不懂，事实上，没有人懂。”

表面上看，好像是费曼教授让听众们失去了兴趣，因为他说学生们难以听懂他的授课内容。同时，费曼教授还声称自己也不懂量子物理学。相比之下，理论研究不如费曼教授的我却在给 10 岁的孩子们教授量子理论，这似乎不好解释。事实上，费曼在讲述了之前那段话后，接着进行了补充表达：“不是听众们无法了解量子领域发生的大事或者量子物理学所描述的一些现象，只是没人了解为什么它会以它所发生的形式发生。此外，它是那么的不符合常理，这给我们对它的认知造成了很大的麻烦。”就量子理论而言，10 岁的孩子比成年人或许更容易接受，这也是我认为这门课（和相对论）在小学就应开设的一个重要原因。

费曼教授接着说道：“下面，我给大家介绍自然的概念。如果你不喜欢这一段的学习内容，也许会对你之后理解自然产生阻碍……量子电动力学理论（统一光与物质的理论）将自然描述为来自常识观点的谬误。而这也与我的实验完全吻合。所以，我希望你们能够接受本质的自然——谬误。”我们得接受并承认小说家 D. H. 劳伦斯（D. H. Lawrence）（尽管他不是量子理论的狂热爱好者）提出的观点：他喜欢量子理论的原因是他对量子理论完全不懂。

量子
时代

新事物带来的震撼

量子理论带来令人震惊的巨变的一部分原因是：在 20 世纪伊始，科学家们对自己的认知水平沾沾自喜。回顾历史，科学家们从未有过这样的自满情绪，当然，在那之后也不应该再有了（尽管有一些现代科学

家悄悄混进了这一群体)。当时,著名的物理学家,如开尔文勋爵威廉·汤姆森(William Thomson, Lord Kelvin)曾说过的一些话就是这种自满情绪的经典体现。1900年,他曾自满地说:“物理学不会再有其他新发现了,我们余下的工作就是让测量变得越来越精确。”他会为他说的话感到遗憾。他的话让我又想到了另一位名人,他就是国际商业机器公司(IBM)第一任首席执行官大托马斯·J. 沃森(Thomas J. Watson),他曾在1943年说过一句令人印象深刻的错误言论:“我认为全球市场可能只需要5台计算机。”

就在开尔文勋爵说出这段话的几个月之后,一位叫马克思·普朗克(Max Planck)的德国物理学家就动摇了他这十分确定的观点。普朗克巧妙地刺激并回应了开尔文“不会再有新发现”这一说法——他为这一技术问题取了一个让人印象深刻的名字:“紫外线灾难。”我们知道,物体被加热时会发射出光。举例,取一块铁并将其放在火炉上烤,铁会发热并产生红色的光,之后变为黄色并白热化,最终变为淡蓝色的光。当时的物理学预测出的“大灾难”就是热体发射光的能量应与该光波频率的平方成正比。换句话说,即便是在室温条件下,所有的物体都应发出蓝光并放射出更多的紫外线。但在现实中,这种现象并不存在,也不可能发生。

为了解决这个问题,普朗克作了弊。他假设,不管物体体积达到多大的数量级,都不会按人类所期望的光波形式发出光。我们认为,光波可以有各种不同的波幅和波长——它们是连续改变的,而非分离成离散的组分。(所有人都知道光是一种波,这是学校老师灌输给学生的。事实上,这种说法早在维多利亚时期就形成了。直到今天,我们还在坚守着将这样的意识灌输给我们的下一代。)

普朗克认为,如果光散发出的波长是固定大小的区块呢?这样,问题就得到了解决。将光限定为区块,然后再把它推到数学运算上去,这样就不会产生失控效应了。事实上,普朗克非常清楚,他并不认为光真的是区块(或者他称作“quanta”的东西,“quanta”是拉丁文中“quantum”的复数形式,意思是“数量”)。但他的这种想法还歪打正着地让数学运算起了作用。可为什么事情会如此发展,他自己也说不清

楚。因为他知道，光是一种波的结论是经过了大量实验证明的。

时量
代子

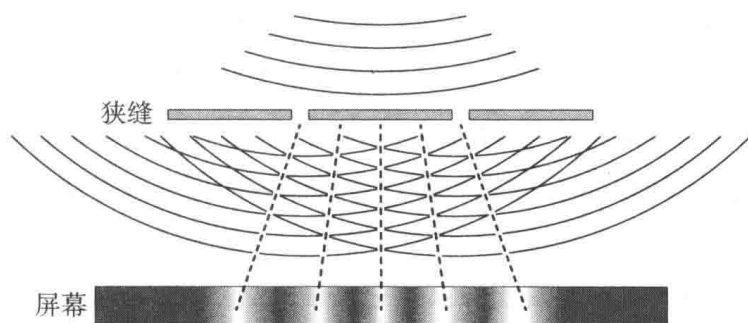
托马斯·杨的实验

可能这一类实验中最著名的要数博学家托马斯·杨（Thomax Young）的杰作“杨氏双缝干涉实验”了。在这之后，我还会多次提到该实验。这位富有的医师兼科学爱好者在他幼年时期就显得不同寻常。他2岁开始阅读《圣经》，并向父母寻问《圣经》中出现的一些长单词，父母也意识到了孩子的不同凡响。13岁时，他可以熟练地阅读希腊语、拉丁语、希伯来语、意大利语和法语书籍。这自然预示着杨以后会闻名于世。他最先尝试将埃及的象形文字翻译成英文。但他的兴趣并不完全在语言上，他发现了工程学中弹性的概念，并拟制了死亡率表格以帮助保险公司设置保费。

杨在研究温度对露珠形成的影响时，对光的理解有了重大突破。在观察烛光对水滴散发出的细雾的影响时，杨发现了——光照射到白屏上会产生一系列的彩色环状物。他怀疑这种作用是光波间的相互作用引起，这也证实了克里斯蒂安·惠更斯（Christiaan Huygens）在牛顿时期提出的光具有波动性的这一说法。1801年，杨做好了充分的准备，希望通过一项实验来证明光是一种波。

杨在一张纸上扎了一个狭缝，在这张纸的后面再放了一张纸，不同的是第二张纸上开了两道平行的狭缝（两个狭缝之间的距离很小）。光依次通过两张纸上的狭缝后，从小孔中投射出的光会落到后面的屏幕上，形成了双缝干涉条纹。你可能认为，通过狭缝的光会在屏幕上投射出一道明显的光线，但杨的实验结果是一系列相互交替的明暗条纹。对他来说，这项实验可以明确地证明光是一种波。从两个狭缝中透出的波是相互干扰的。如果两个涟波向着同一方向，它们在屏幕上相遇将投射出明纹。如果波纹的方向相反，一个向上一个向下，那么，它们的亮度就会相互抵消，产生暗纹。在现实生活中，如果你将两块紧挨着的石头投入静水中，观察波纹的相互作用时会发现——波纹有时会变大，有时

会相互抵消。这个效果与杨的实验很类似，这也是波的自然变化。



虚线显示光波加强的位置，在屏幕上形成亮斑

图1 杨氏双缝干涉实验

这个演示让普朗克相信，他的量子理论只是为了使计算数据与所观察到的实际情况更加吻合，因为光就应该是一种波。但一个敢于挑战传统的人，阿尔伯特·爱因斯坦试图证明普朗克的说法是错误的。爱因斯坦最初是希望证明普朗克的观点比他想象的更接近事实，尤其是普朗克1913年推荐爱因斯坦当选普鲁士科学院院士时。而后来，他们在观点上的分歧越来越大，普朗克还经常请求普鲁士科学院忽略爱因斯坦有时提出的无理提议，“爱因斯坦进行物理推测时经常脱离目标，比如他的光量子理论……”

时量
代子

爱因斯坦初涉科学界

阿尔伯特·爱因斯坦在1905年做出了有关量子理论的“推测”，当时的他很年轻，只有26岁（不要一提到爱因斯坦就想到他白发苍苍的形象。当时的他可是年轻气盛的花花公子）。对爱因斯坦来说，1905年是不寻常的一年。那年，这位未来科学家还没有拿到博士学位，严格来

说，只能算个业余科学爱好者。而他却提出了狭义相对论^①的概念，解释了布朗运动^②的原理，表明了原子真实存在并解释了光电效应（见后文）。他将普朗克的有效计算方法变成了现实的模型。

爱因斯坦从不会过分在意别人对自己的看法。他从小就与严格的德国式教育作抗争，他懒惰且不爱与人配合，所以别人对他的评价通常不高。爱因斯坦 16 岁时，他的大部分同学都在关注如何通过考试以及如何与异性搞好关系，而他所关注的却是如何摆脱德国公民的身份（这并不代表他是书呆子，不善于与女性打交道）。他希望成为瑞士公民，所以向苏黎世联邦理工学院（the Eidgenössische Technische Hochschule，简称 ETH）提交了入学申请。他对自己在科学方面的能力非常自信，所以他申请了入学考试。但遗憾的是，他落榜了。

爱因斯坦落榜的原因是太年轻，且只对科学感兴趣。他不明白为什么要花时间学习其他科目，但 ETH 的考试就是要选出全能型的学生。学校的校长对年轻的阿尔伯特印象深刻，推荐他去瑞士一所中学先接受通识教育。第二年，爱因斯坦再次申请 ETH 并成功通过了该校的入学考试。该校的物理系主任海因里希·韦伯（Heinrich Weber）这样评价爱因斯坦顽固的个性：“你很聪明，但你有一个极大的缺点，从来听不进别人的话。”尽管如此，ETH 还是给予了爱因斯坦比严苛的德国学校更多的空间去追逐自己的梦想。

毕业后，爱因斯坦给一些著名科学家写信，希望能得到一份为他们当助手的职务。在这一想法失败后，他成为了一名老师，这至少能让他先取得瑞士国籍。在这之前，他早已宣布放弃德国国籍。从法律上看，他当时的状况处于无国籍状态。不过，很快他就找到了另一份工作，他成功申请到了伯尔尼专利局的一个专利员（第三级）职位。这份工作让他有充足的时间进行思考。

① 爱因斯坦对伽利略相对论的拓展。在此之前，伽利略发现所有物体的运动都是相对的，但爱因斯坦进行了补充：光的运动是匀速的。狭义相对论表明时间和空间有关，且会随观察者运动速度的变化而变化。

② 苏格兰植物学家罗伯特·布朗（1773—1858 年）观察到悬浮在水中的花粉颗粒会跳舞。爱因斯坦解释这是由于快速移动的水分子与花粉相互碰撞造成的。