

VISIONS OF  
THE FUTURE  
科学展望丛书

# 物理学 与 电子学

# Physics and Electronics

主编：迈克尔·汤普森 (J. Michael T. Thompson) (英)

杨丁 等 / 译      江向东 / 校

VISIONS OF  
THE FUTURE  
科学展望丛书

04

283

2006

# 物理学 与 电子学

# Physics and Electronics

主编：迈克尔·汤普森 (J. Michael T. Thompson) (英)

杨丁 王琪 白艳青 陈英 / 译

江向东 / 校

**(京)新登字 083 号**

**图书在版编目(CIP)数据**

物理学与电子学/(英)汤普森主编;杨丁等译. —北京:中国青年出版社, 2006

书名原文: Physics and Electronics

ISBN 7-5006-7203-9

I. 物... II. ①汤... ②杨... III. ①物理学—普及读物②电子学—普及读物 IV. ①O4-49②TN01-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 111102 号

The Royal Society 2001

This book is in copyright. Subject to statutory exception and to the provisions of relevant collective licensing agreements, no reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press.

First published 2001

**北京市版权局著作权合同登记章**

**图字: 01—2003—6464 号**

**责任编辑: 彭岩 徐泳**

**Email: pengyan@cyp.com.cn**

\*

**中国青年出版社出版 发行**

**社址: 北京东四 12 条 21 号 邮政编码: 100708**

**网址: www.cyp.com.cn**

**编辑部电话: (010) 64034350 营销中心电话: (010) 64065904**

**三河市君旺印装厂印刷 新华书店经销**

\*

**635×965 1/16 16 印张 1 插页 180 千字**

**2006 年 10 月北京第 1 版 2006 年 10 月河北第 1 次印刷**

**印数: 1—6000 册 定价: 16.00 元**

**本书如有印装质量问题, 请凭购书发票与质检部联系调换**

**联系电话: (010)84047104**

## 内容简介

本书中这些精彩文章的作者，多为荣获英国皇家学会研究基金支持的首席青年科学家；在他们撰写的文章中，除了分别描述了自己的研究成果之外，还评述了有关学科领域的发展前景。这些文章选自英国皇家学会创办的、全球历史最悠久的权威性科学杂志《自然科学会报》的新千年专辑。该杂志主编、皇家学会会员迈克尔·汤普森(J. M. T. Thompson)教授为本书精心遴选的这些重要文章，内容涉及到了量子物理学及其与相对论和人类意识的关系、未来的电子学、迷人的量子计算和数据存储、通信和互联网。本书处处洋溢着年轻作者们对物理学和电子学研究工作的激情和热忱。本书还另有两册姊妹篇，分别是关于天文学与地球科学，以及化学与生命科学的。对于任何关心未来科学发展的读者来说，本书的所有文章，都提供了一些具有权威性的科学见解。

## 主编简介

迈克尔·汤普森是皇家学会《自然科学会报》(A辑)的现任主编。1958年毕业于剑桥大学力学科学系,获得一级荣誉学位<sup>注</sup>(first class honors),并于1962和1977年分别获得科学博士(PhD)与理学博士(ScD)学位。曾担任斯坦福大学(Stanford University)的Fulbright奖学金研究员,并于1964进入伦敦大学学院(University College London,简称UCL)任职。他已发表了的四部专著,分别论述了有关不稳定性、分枝现象(bifurcations)、灾变理论以及混沌理论等方面的诸多问题。1977年被聘为伦敦大学学院教授。1985年被遴选为皇家学会会员,并荣获英国土木工程师学会(the Institution of Civil Engineers)授予的Ewing奖章。他曾是科学与工程研究委员会(SERC: Science and Engineering Research Council)资深研究员,并曾服务于国际矿物学协会(IMA, International Mineralogical Association)理事会。1991年,他被任命为非线性动力学研究中心(the Centre for Nonlinear Dynamics)主任。2004年他获得国际矿物学协会金质奖章,以表彰他毕生在数学研究方面所作的贡献。

---

注:英国的大学学位分类制度非常独特,其学士学位分四个等级:最高等级是获得一级荣誉学位,最后能达到这一层次的人很少。接下来是二级甲等荣誉学位、二级乙等荣誉学位和三级学位。没能达到荣誉学位要求的学生被授予“通过”或“普通”学位。

## 序言

本书所包含的内容，是一批首席青年科学家按照图文并茂的通俗化格调，撰写的十篇文章；其中包括了他们自己的研究成果以及他们对未来科学进展的看法。本书通篇充满了这些年轻作者献身科学的激情与热情，并为那些对于未来科学发展感兴趣的广大公众——其中包括科学研究人员以及具有科学意向的在校儿童，提供一些具有权威性的观点。

这些文章都是在皇家学会《自然科学会报》新千年三本特辑中正式发表过的权威性学术论文的通俗化版本。创办于1665年的《自然科学会报》，是世界上历史最悠久的权威性科学杂志。三百多年以来，它一直都在发表尖端性的科学论文。自从1672年艾萨克·牛顿在本刊发表自己的第一篇论文“光与色彩的新理论”(New Theory about Light and Colours)开始，本刊便一直被他用来说自己的科学生涯。从1703年牛顿当会长至1727年牛顿去世，英国皇家学会在牛顿的带领下，在欧洲的学者中牢固地树立了科学声望。现在，英国皇家学会成了英国科学院。本书的许多作者都得到了权威的英国皇家学会研究基金的资助。

《自然科学会报》A辑专注于整个物理科学，作为本刊主编，我对所涉及的那些正处于快速增长、并且可能具有长远意义和重要性的课题内容，进行

了仔细挑选。每篇文章都描述了最新的尖端研究结果，比较广泛地说明其来龙去脉，并展望其未来的发展前景。这本文集对于处在千年之交转折点时刻的物理学态势，提供了一幅独具特色快照，而书末的作者简历及其照片，则提供了一些对个人的了解。

本刊新千年的三个特辑，由剑桥出版社分为三本书籍出版。其内容分别包括：天文学和地球科学（其中包括根据大爆炸理论描述宇宙的创生和演化，人类对太阳系的探测研究，地球深层结构，以及关于全球变暖和气候变化的现代科学见解）；物理学和电子学（其中包括量子物理学和引力物理学，电子学，高级计算机和无线电通信）；化学与生命科学（其中包括反应动力学，新的处理过程和材料，生物物理技术以及构建描述心脏的理论模型）。

J. M. T. 汤普森

皇家学会《自然科学会报》主编，  
非线性动力学研究中心主任，  
伦敦大学学院教授

# 目录

## 序言

### 第一章 量子物理学、相对论和意识

#### 1 一位量子物理学家的深夜冥想 ..... 1

艾德里安·肯特(Adrian Kent)

### 第二章 实验室中的量子物理学

#### 2 没有电子的金属：奇异的量子液体物理学 ..... 27

德里克·李(Derek Lee)和安德鲁·斯科菲尔德  
(Andrew Schofield)

#### 3 原子光学：物质和波的和谐统一 ..... 51

威廉·鲍尔(William Power)

### 第三章 未来的电子学

#### 4 量子电子学：超越晶体管 ..... 63

亚历山大·戴维斯(Alexander Davies)

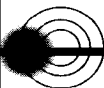
#### 5 自旋电子学 ..... 99

迈克尔·齐泽(Michael Ziese)

#### 6 聚合物电子学 ..... 118

艾弗·塞缪尔(Ifor Samuel)





## 第四章 奇妙的计算和新的微型芯片

### 7 量子强化信息处理 ..... 142

米歇尔·莫斯卡(Michele Mosca)、理查德·约饶  
(Richard Jozsa)、安德鲁·斯蒂因(Andrew Steane)、  
阿图尔·埃克特(Artur Ekert)

### 8 磁铁、微型芯片和存储器 ..... 167

拉塞尔·考伯恩(Russell Cowburn)

## 第五章 通信和互联网

### 9 未来的大容量光学通信：系统和网络 ..... 191

波利娜·贝韦尔(Polina Bayvel)

### 10 互联网的控制和定价 ..... 215

理查德·吉本斯(Richard Gibbens)

## 作者简介 ..... 230

## 索引 ..... 239

# 第一章

## 量子物理学、相对论和意识

### 1 一位量子物理学家的深夜冥想

艾德里安·肯特

(英国剑桥银街剑桥大学应用数学和理论物理系 CB3  
9EW)

#### 1.1 引言

在 21 世纪开始之初，理论物理学处于一种很不寻常的状况，至少在最近一个时期，竟没有一个被人们普遍接受的权威。虽说在理论物理学的每个研究项目中都有一些广受尊重的带头人，但每个研究项目又都存有争议。自 20 世纪开始至 80 年代初人们在理论物理学方面取得异乎寻常的成功以后，在最近 15 年里除了在宇宙论领域有些重大进展之外，在其他领域几乎没有取得什么喜人的新实验结果。所有最令人感兴趣的论点都步入困境，甚至我们也很难看出哪一个论点的研究方向是正确无误的。可以说，在理论物理学研究方面，现在已经形成了一些颇具规模而且组织良好的科学探索队伍，他们正在竭尽全力朝设想的目标迈进；与此同时，也有一些规模较小、组织松散的物理学家群体却正在向截然不同的研究方向走去。但是，我们的确都像处于黑

暗和迷雾之中。在黑暗和迷雾能再次偶然地被划开之前，我们当中大概没有人能够在理论物理学研究方面有所作为。

在下面，我先尽量简单地介绍一下我们的理论物理学研究是如何走到这种境地的，然后提出一些最终有可能取得进展的新的研究方向。在这里，我先要强调一下，下面的有关介绍仅代表我个人的观点。初看起来，这些观点或多或少有点儿介于主流观点和异端邪说之间。我认为，20世纪的那些最优秀的物理学家们多少还有一些一致的观点<sup>①</sup>。不过，现在大多数领头的物理学家们都会强调各自不同的问题；对下面我将要讨论的一些问题，有一些人或许会怀疑物理学家们能否切合实际地做出点什么。

当然，我认为我们是能够有所作为的。在我看来，攻克这些研究中遇到的难题的过程好像与我们过去曾经攻克的那些科学难题的过程是类似的——这些难题刚刚产生，我们还没有来得及找到恰当的方法去解决它们。它们也可能是无与伦比的，即使找到了一个所谓的“万物至理”，这些难题也还是得不到彻底解决。要彻底解决这些难题，我们的世界观就必须发生根本性的改变。我有些担心的是，我们也可能最后发现，根本就没有通向它们的任何道路。

---

<sup>①</sup> 无论如何，我很感谢薛定谔和贝尔的理智的怀疑主义，以及费恩曼令人信服的解释：科学需要可以选择的思想，只要它们在部分是成功的就行了。例如，正如薛定谔(1954年)、贝尔(1987年)和费恩曼(1965年)所描述的。

## 1.2 1999 年的物理学

20 世纪物理学的那些伟大发现是如此深深地渗透到我们的普遍意识之中，使得我们现在能够追本溯源，并力图重新审视它们。就像孩子们用好奇眼光时不时地欣赏夜空和地球上的生命那样，我们来看待过去的那些伟大发现时也不过如此。当我们鉴赏人类对世界的认识已变得如此完美和令人惊奇的时候，面对宇宙及其优美，我们会重新产生敬畏和困惑的感觉<sup>①</sup>。

让我们回到 1900 年。在那时，原子的存在还只是一个有争议的假说。就我们所知，物质和光在性质上是不一样的。那时人们认为，那些已经知道的自然规律都是永恒不变的，而且依赖于绝对时空观。这种绝对时空观看来不仅是一种自然而然的普遍观念，而且在我们对自然的认识上作为一个极为严肃的问题是根深蒂固的。但人类生命的繁衍力和心理的机能仍是如此的神奇，竟容易地猜想到，要理解这些问题，就需要建立全新的物理原理。

当然，正是在这一点上，现代宇宙论之诞生是无与伦比的。爱因斯坦(Einstein)使我们明白了，空间和时间是单一几何体的不同侧面。更令人惊讶和更美妙的是，他告诉我们：时空几何体是非线性的，

---

<sup>①</sup> 当然，我们不是把它归于自然界——它给我们的很好的印象是哪一个都不用关心——而是归于我们自己。尽管我们很容易忘记它，但是，那种感觉对我们来说是珍贵的。

物质被这个几何体所支配，同时物质也改变这个几何体的形状。这样的话，我们可以这样来理解引力：它是物质与物质之间通过时空弯曲而发生的相互作用。

广义相对论的一个重要预言就是，光线会被太阳引力场所弯曲。现在我们仍然记忆犹新的是，验证广义相对论的这个重要预言的首次实验发生在1917年。随后，许多实验以更高的精确度验证了广义相对论的正确性。在很大的程度上，即在量子效应可以忽略的时候来说，广义相对论与我们对宇宙论的理解是一致的。现在，还远没有广义相对论的真正竞争对手。在描述宏观世界图景方面，没有哪种理论比广义相对论更合情合理和更符合实验测量数据。

理论家们一度颇为胆怯，怀疑粒子物理学实验和天文学观测终将真正实质性地给出足够的线索而使得狭义相对论和广义相对论得以发展。不过碰巧，爱因斯坦只是在一定程度上受到了实验的启发。相对论的发展更多靠的是爱因斯坦超乎寻常的天才，他能够看到那些别人所看不到的、埋藏在经典物理学下面的崭新概念的框架。对于爱因斯坦和许多与他同时代的人们来说，狭义相对论和广义相对论是如此的优美和简洁，看来它们简直不可能不是正确的。

量子理论的发展在相当程度上依赖于超人的直觉和推测，但是它的发展更多地还是为实验所推动的。黑体辐射谱、光电效应、晶体衍射和原子光谱

的实验数据，或多或少地把这种新理论，最初以一些特定形式，而到了1926年才加以综合，“强加”给了我们。似乎没有谁能够不依靠实验数据，就能够找到通往量子理论的道路。当然，还未曾有人找到过令人信服的、新的概念框架，能够用它来解释为什么像量子理论这样的东西应该是正确的。也许理应如此。即使在量子理论成功地解释了一些自然现象之后，也没有谁能够令人满意地解释它怎么如此精确地为我们描绘了自然界。我们知道，量子理论反映的不是我们身边发生的、每天目睹的宏观世界中的物理过程，因而所有我们在1900年以前的一些直觉都是很不当的。与宏观系统相比，微观系统的行为是以一种性质上截然不同的方式进行的。当微观系统与我们用来探测它们的仪器发生相互作用时，显然会存在一种内在的随机性。给人更深的印象是，我们在对微观系统进行任何特定实验后，只可能知道如何列出可能出现的结果，并至少以一种好的近似计算出每一种结果的几率。我们还不能完全理解的是，为什么那样的计算能行得通。例如，当我们不再探测那种微观系统的时候发生了什么（如果它们的确发生了什么的话），我们对此还没有建立可靠的理论图像。

量子理论如同它的原始表述一样与狭义相对论是不一致的。部分原因是由于量子理论也没有恰当地描绘光与物质之间的相互作用。要解决这些问题，我们需要采取进一步的措施，而且这迟早会导致我们对下面这些问题有相当系统的了解（尽管至今仍未

完全做到)：如何建立相对论量子场论，并最终得到电磁力和两种核力能够被组合到单一场论中的结论。然而，迄今为止我们还不知道量子场论如何做得那样非常完美，同时几乎每个人都在猜想，一种有关3种力的更宏大和更完美的统一理论在等待着我们。我们不仅真的不能说我们已经完全理解了量子场论，甚至也不能说我们所应用的理论是完全内在协调的。量子场论就好像是专门为了计算而人为开出的一系列“处方”，这些“处方”结合起来只能在某种程度上解释这些计算为什么有效。多数理论家相信，要想做更深入的解释就需要有更好的理论，这或许正是有待我们去发现的东西。

许多物理学家期望超弦理论能够为引力和其他3种力提供一个完整的理论，也就是所谓的“万物至理”，它是现在最流行的候选者之一。没有人怀疑超弦理论在数学表述上的完美，然而人们一般认为，超弦理论至今仍然存在两个相当严重的问题。首先从概念上说，我们不知道怎样才能弄懂作为物质加时空的理论的超弦的意义。另外，我们也无法从该理论推断出任何令人信服的、非常有趣的正确预言。比方说，预言已知的那些力的性质、已知的那些粒子的质量、或者显而易见的四维时空。

这些问题是否有可能被解决呢？超弦理论是否有可能成为“万物至理”抑或它也许什么都不是，关于这些问题，我们可能会看到各种截然不同的观点，孰是孰非，时间会告诉我们一切的。几乎所有人都承认，如何把引力和量子理论协调起来是现代物理

学面对的最深刻的问题。量子理论和广义相对论在各自的领域内都取得了辉煌的成就，它们是以很不相同的原理为基础的，并给出了高度发散的自然图像。根据广义相对论，世界是决定论的，描述自然界的基本方程是非线性的，自然界的正确图像在本质上是几何图形。但是，根据量子理论，自然界中存在着内在的随机性，描述自然界的基本方程是线性的，描绘自然界的正确语言似乎更接近于抽象的代数，而不是直观的几何学。这两种不同的理论适用于不同的地方，现在我们还不能确切地知道，在哪里需要把这两种图像结合起来；我们也不知道，在不完全破坏两种理论原貌的前提下，如何在其中的一种理论的范围内修改另一种。

在这里，我将力图稍微超越当前传统的观点而注意一下这个问题。这里往往存在着一种危险倾向，即仅仅为了一些常规、习惯或数字的完全适宜，人们把注意力都集中在了一些公认的深奥问题上，却忽略了另外一些问题。正像任何其他学科一样，理论物理学也极为可能形成一些人为的戒律，有些话题几乎被所有明智的人所回避。当然，他们经常有一些很好的理由来这么做。但我觉得，多数强约束的戒律有时就像是一种无意识的贡品。当人们深思熟虑地提出，我们现在的理解有可能在某些重要方面是很不适当的时候，这可能会引起潜在的变革，给人们带来不安全感，从而会形成一种心理障碍——无意识地抵制那些东西，以避免太大的不安全感。毫无疑问，会存在这样一种可能性，即我们



对物理学未来变革的最美好的希望，却恰恰会躲藏在当代理论所回避的那些有趣的问题之中。下面我将讨论两个问题：量子理论中的测量问题和意识—特质问题。

### 1.3 量子理论和测量问题

正如我们已经看到的那样，产生量子理论的灵感最初并不是来源于仅符合很少一些数据的个别原理。物理学家们是被积累起来的一大堆数据一步一步地引向量子理论的，而且他们经常看不清楚前方的道路，不知道该往哪个方向走。量子理论的创立者们立即面对如何准确地解释量子理论所告诉我们的有关自然界的一切现象和规律的这个问题的。在这方面，他们的看法从未达到过完全一致。幸亏在玻尔(N. Bohr)的带领下，人们还是形成了一个比较一致的看法。对许多评论者来说，玻尔实际上相信的那些东西仍然是令人费解的，而且人们也不清楚为什么量子理论是这样的。不过，这并不影响该理论的很多实际应用。物理学家们发现，他们能够把玻尔的“哥本哈根诠释”浓缩成几条原则——确实能够解释用量子理论计算的结果。此外，一类实用的、形而上学的自然科学理论图像也出现了。斯诺(C. P. Snow)在他的半自传体小说《探索》(斯诺, 1934年)中很好地抓住了这个传统的观点，下面就是他在小说中有关的叙述。

突然，我听到一位最伟大的数学物理学家非常