

FUTURE  
FORUM 未来论坛

理解未来  
FUTURE LECTURE

理解未来系列

# 神奇的量子世界



科学出版社

解未来  
RE LECTURE

理解未来系列

神奇的量子世界

科学出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

---

神奇的量子世界/未来论坛编. —北京: 科学出版社, 2018. 8

(理解未来系列)

ISBN 978-7-03-058142-6

I. ①神…

II. ①未…

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 135113 号

---

丛 书 名: 理解未来系列

书 名: 神奇的量子世界

编 者: 未来论坛

责任编辑: 刘凤娟 孔晓慧

责任校对: 杨然

责任印制: 肖兴

封面设计: 南海波

出版发行: 科学出版社

地 址: 北京市东黄城根北街 16 号

网 址: [www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

电子信箱: [LiuFengjuan@mail.sciencep.com](mailto:LiuFengjuan@mail.sciencep.com)

电 话: 010-64033515

印 刷: 中国科学院印刷厂

版 次: 2018 年 8 月第一版

印 次: 2018 年第 1 次印刷

开 本: 720 × 1000 1/16

印 张: 9 3/4

插 页: 2 页

字 数: 115 000

定 价: 49.00 元

# 主讲嘉宾



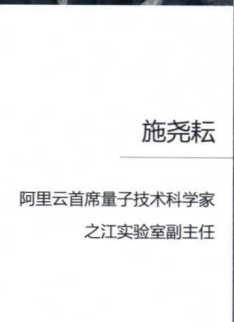
丁洪

中国科学院物理研究所研究员  
北京凝聚态物理研究中心首席科学家  
未来科学大奖科学委员会委员



潘建伟

中国科学技术大学常务副校长  
中科院量子信息与量子科技创新研  
中国科学院院士  
2017年未来科学大奖物质科学奖



施尧耘

阿里云首席量子技术科学家  
之江实验室副主任



薛其坤

清华大学副校长  
中国科学院院士  
2016年未来科学大奖物质科学奖获奖者



# 对话嘉宾



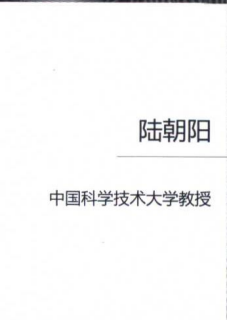
陈宇翱

中国科学技术大学合肥微尺度物质科学  
国家实验室教授



贾金锋

上海交通大学教授



陆朝阳

中国科学技术大学教授



孟亮

上达资本创始管理合伙人  
未来论坛理事



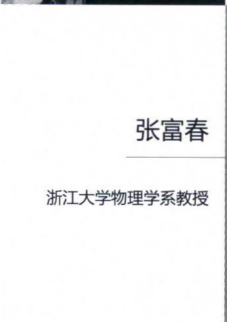
王浩华

浙江大学物理学系教授



谢心澄

中国科学院院士  
北京大学讲席教授



张富春

浙江大学物理学系教授





## 序一>>>

饶毅

北京大学讲席教授、北京大学理学部主任、未来科学大奖科学委员会委员

我们时常畅想未来，心之所向其实是对未知世界的美好期待。这种心愿几乎人人都有，大家渴望着改变的发生。然而，未来究竟会往何处去？或者说，人类行为正在塑造一个怎样的未来？这却是非常难以回答的问题。

在未来论坛诞生一周年之际，我们仍需面对这样一个多少有些令人不安的问题：未来是可以理解的吗？

过去一年，创新已被我们接受为这个时代最为迫切而正确的发展驱动力，甚至成为这个社会最为时髦的词汇。人们相信，通过各种层面的创新，我们必将抵达心中所畅想的那个美好未来。

那么问题又来了，创新究竟是什么？

尽管创新的本质和边界仍有待进一步厘清，但可以确定的一点是，眼下以及可见的未来，也许没有什么力量，能如科学和技术日新月异的飞速发展这般深刻地影响着人类世界的未来。

可是，如果你具有理性而审慎的科学精神，一定会感到未来难以预计。也正因如此，这给充满好奇心的科学家、满怀冒险精神的创业家带来了前所未有的机遇和挑战。

过去一年，我们的“理解未来”系列讲座，邀请到全世界极富洞察力和前瞻性的科学家、企业家，敢于公开、大胆与公众分享他们对未来的认知、理解和思考。毫无疑问，这是一件极为需要勇气、智慧和情怀的事情。

2015年，“理解未来”论坛成功举办了12期，话题涉及人工智能、大数据、物联网、精准医疗、DNA信息、宇宙学等多个领域。来自这些领域的顶尖学者，与我们分享了现代科技的最新研究成果和趋势，实现了产、学、研的深入交流与互动。

特别值得强调的是，我们在喧嚣的创新舆论场中，听到了做出原创性发现的科学家独到而清醒的判断。他们带来的知识之光，甚至智慧之光，兑现了我们设立“理解未来”论坛的初衷和愿望。

我们相信，过去一年，“理解未来”论坛所谈及的有趣而有益的前沿科技将给人类带来颠覆性的变化，从而引发更多人对未来的思考。

面向“理解未来”论坛自身的未来，我希望它不仅仅是一个围绕创新进行跨界交流、碰撞出思想火花的平台，更应该是一个探讨颠覆与创新之逻辑的平台。

换言之，我们想要在基础逻辑的普适认知下，获得对未来的方向感，孵化出有价值的新思想，从而真正能够解读未来、理解未来。若要做到这一点，便需要我们勇敢地提出全新的问题。我相信，真正的创新皆源于此。

让我们共同面对挑战、突破自我、迎接有趣的未来。

2015年

## 序二>>>

### 人类奇迹来自于科学

丁 洪

中国科学院物理研究所研究员、北京凝聚态物理研究中心首席科学家、  
未来科学大奖科学委员会委员

今年春季，我问一位学生：“你为什么要报考我的博士生？”他回答：“在未来论坛上看了您有关外尔费米子的讲座视频，让我产生了浓厚的兴趣。”这让我第一次切身感受到“理解未来”系列科普讲座的影响力。之后我好奇地查询了“理解未来”讲座的数据，得知2015年12期讲座的视频已被播放超过一千万次！这个惊人的数字让我深切体会到了“理解未来”讲座的受欢迎程度和广泛影响力。

“理解未来”是未来论坛每月举办的免费大型科普讲座，它邀请知名科学家用通俗的语言解读最激动人心的科学进展，旨在传播科学知识，提高大众对科学的认知。讲座每次都能吸引众多各界人士来现场聆听，并由专业摄影团队制作成高品质的视频，让更多的观众能随时随地地观看。

也许有人会好奇：一群企业家和科学家为什么要跨界联合，一起成立“未来论坛”？为什么未来论坛要大投入地举办科普讲座？

这是因为科学是人类发展进步的源泉。我们可以想象这样一个场



景：宇宙中有亿万万个银河系这样的星系，银河系又有亿万万个太阳这样的恒星，相比之下，生活在太阳系中一颗行星上的叫“人类”的生命体就显得多么微不足道。但转念一想，人类却在短短的四百多年中，就从几乎一无所知，到比较清晰地掌握了从几百亿光年（约  $10^{26}$  米）的宇宙到  $10^{-18}$  米的夸克这样跨 44 个数量级尺度上（“1”后面带 44 个“0”，即亿亿亿亿亿万！）的基本知识，你又不得不佩服人类的伟大！这个伟大来源于人类发现了“科学”，这就是科学的力量！

这就是我们为什么要成立未来论坛，举办科普讲座，颁发未来科学大奖！我们希望以一种新的方式传播科学知识，培育科学精神。让大众了解科学、尊重科学和崇尚科学。我们希望年轻一代真正意识到“Science is fun, science is cool, science is essential”。

这在当前中国尤为重要。中国几千年的封建社会，对科学不重视、不尊重、不认同，导致近代中国的衰败和落后。直到“五四”时期“赛先生”的呼唤，现代科学才步入中华大地，但其后一百年“赛先生”仍在这片土地上步履艰难。这种迟缓也直接导致当日本有 22 人获得诺贝尔自然科学奖时，中国才迎来首个诺贝尔自然科学奖的难堪局面。

当下的中国，从普通大众到部分科学政策制定者，对“科学”的内涵和精髓理解不够。这才会导致“引力波哥”的笑话和“转基因”争论中的种种谬论，才会产生“纳米”“量子”和“石墨烯”的概念四处滥用。人类社会已经经历了三次产业革命，目前正处于新的产业革命爆发前夜，科学的发展与国家的兴旺息息相关。科学强才能国家强。只有当社会主流和普通大众真正尊重科学和崇尚科学，科学才可能实实在在地发展起来，中华民族才能真正崛起。

这是我们办好科普讲座的最大动力！

现场聆听讲座会感同身受，在网上看精工细作的视频可以不错过任何细节。但为什么还要将这些讲座内容写成文字放在纸上？我今年

去现场听过三场报告，但再读一遍整理出的文章，我又有了新收获、新认识。文字的魅力在于它不像语音瞬间即逝，它静静地躺在书中，可以让人慢慢地欣赏和琢磨。重读陈雁北教授的《解密引力波——时空震颤的涟漪》，反复体会“两个距离地球 13 亿光年的黑洞，其信号传播到了地球，信号引发的位移是  $10^{-18}$  米，信号长度只有 0.2 秒。作为引力波的研究者，我自己看到这个信号时也感到非常不可思议”这句话背后的伟大奇迹。又如读到今年未来科学大奖获得者薛其坤教授的“战国辞赋家宋玉的一句话：‘增之一分则太长，减之一分则太短，著粉则太白，施朱则太赤。’量子世界多一个原子嫌多，少一个原子嫌少”，我对他的实验技术能达到原子级精准度而叹为观止。

记得小时候“十万个为什么”丛书非常受欢迎，我也喜欢读，它当时激发了我对科学的兴趣。现在读“理解未来系列”，感觉它是更高层次上的“十万个为什么”，肩负着传播科学、兴国强民的历史重任。想象 20 年后，20 本“理解未来系列”排在你的书架里，它们又何尝不是科学在中国 20 年兴旺发展的见证？

这套“理解未来系列”值得细读，值得收藏。

2016 年

## 序三》》》

王晓东

北京生命科学研究所所长、美国国家科学院院士、中国科学院外籍院士、  
未来科学大奖科学委员会委员

2016年9月，未来科学大奖首次颁出，我有幸身临现场，内心非常激动。看到在座的各界人士，为获奖者的科学成就给我们带来的科技变革而欢呼，彰显了认识科学、尊重科学正在成为我们共同追求的目标。我们整个民族追寻科学的激情，是东方睡狮觉醒的标志。

回望历史，从改革开放初期开始，很多中国学生的梦想都是成为一名科学家，每一个人都有一个科学梦，我在少年时期也和同龄人一样，对科学充满了好奇和探索的冲动，并且我有幸一直坚守在科研工作的一线。我的经历并非一个人的战斗。幸运的是，未来科学大奖把依然有科学梦想的捐赠人和科学工作者连在一起了，来共同实现我们了解自然、造福人类的科学梦想。

但近二十年来，物质主义、实用主义在中国甚嚣尘上，不经意间，科学似乎陷入了尴尬的境遇——人们不再有兴趣去关注它，科学家也不再被世人推崇。这种现象存在于有着几千年文明史的有深厚崇尚学术文化传统的大国，既荒谬又让人痛心。很多有识之士也有同样的忧虑。我们中华民族秀立于世界的核心竞争力到底是什么？我们伟大复兴的支点又是什么？

文明的基础，政治、艺术、科学等都不可或缺，但科学是目前推



动社会进步最直接、最有力的一种。当今世界不断以前所未有的速度和繁复的形式前行，科学却像是一条通道，理解现实由此而来，而未来就是彼岸。我们人类面临的问题，很多需要科学发展来救赎。2015年未来论坛的创立让我们看到了在中国重振科学精神的契机，随后的“理解未来”系列讲座的持续举办也让我们确信这种传播科学的方式有效且有趣。如果把未来科学大奖的设立看作是一座里程碑，“理解未来”讲座就是那坚定平实、润物无声的道路，正如未来论坛的秘书长武红所预言，起初看是涓涓细流，但终将汇聚成大江大河。从北京到上海，“理解未来”讲座看来颇具燎原之势。

科学界播下的火种，产业界已经把它们变成了火把，当今各种各样的科技创新应用层出不穷，无不与对科学和未来的理解有关。在今年若干期的讲座中，参与的科学家们分享了太多的真知灼见：人工智能的颠覆，生命科学的变革，计算机时代的演化，资本对科技的独到选择，令人炫目的新视野在面前缓缓铺陈。而实际上不管是哪个国家，有多久的历史，都需要注入源源不断的动力，这个动力我想就是科学。希望阅读这本书对各位读者而言，是一场收获满满的旅程，见微知著，在书中，读者可以看到未来的模样，也可以看到未来的自己。

感谢每一次认真聆听讲座的听众，几十期的讲座办下来，我们看到，科学精神未曾势微，它根植于现代文明的肌理中，人们对它的向往从来不曾更改，需要的只是唤醒和扬弃。探索、参与科学也不只是少数人的事业，更不仅限于科学家群体。

感谢支持未来论坛的所有科学家和理事们，你们身处不同的领域，却同样以科学为机缘融入到了这个平台中，并且做出了卓越的贡献，让我认识到，伟大的时代永远需要富有洞见且能砥砺前行的人。

2017年



# 目 录 >>>

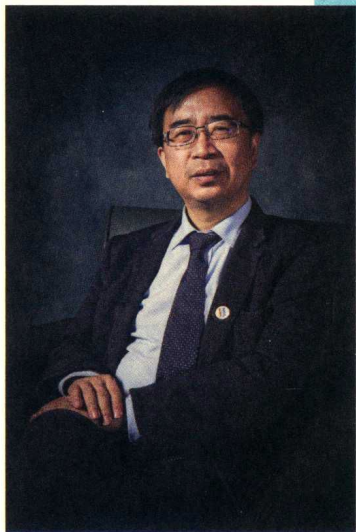
> 第一篇 探索的动机	1
• 探索的动机	潘建伟 3
• 青少年对话物质科学奖获奖者	潘建伟 孟亮 青少年代表 16
> 第二篇 量子计算	31
• 量子计算——下一次工业革命的引擎	丁洪 33
• 量子计算：量子比特数之外	施尧耘 45
• 科学对话	丁洪 陈宇翱 陆朝阳 施尧耘 王浩华 53
> 第三篇 量子世界：挑落欧姆定律的量子现象和应用展望	67
• 超越欧姆定律的物理学	薛其坤 69
• 神奇的量子世界	薛其坤 81
• 科学对话	丁洪 贾金锋 谢心澄 薛其坤 张富春 96
> 第四篇 寻找幽灵粒子	105
• 外尔准粒子的发现	丁洪 107
> 第五篇 量子飞跃	119
• 从神话传说到哲学到现代信息技术	潘建伟 121
> 后记	143



## 第一篇

# 探索的动机 ——2017 未来科学大奖颁奖典礼暨未来论坛年会 主题演讲

所有的科学内容，某种意义上来讲，都是跟探索的动机这个话题相连的。我们从哪里来？我们要到哪里去？在科学发展到一定程度之前，回答这个问题的可能性其实是来自于宗教。《圣经》说上帝创造了宇宙，创造了万物和人类。我们都由上帝来管着，心理上感觉比较幸福。但是，宗教解决不了很多疑问，随着社会发展，我们迎来了第一次科学革命。后来，经典物理学又会给我们带来困惑，我们迎来了第二次科学革命，其中一个主要内容——量子力学。现在我们处于以信息技术为代表的第三次产业变革，很大程度上来讲，都是和量子力学联系在一起，我们还在继续行进，探索宇宙的奥秘。



## 潘建伟

中国科学技术大学常务副校长  
中国科学院量子信息与量子科技创新研究院院长  
中国科学院院士  
2017年未来科学大奖物质科学奖获奖者

1999年获奥地利维也纳大学实验物理博士学位。中国科学技术大学常务副校长，中国科学院量子信息与量子科技创新研究院院长，中国科学院院士。先后获得欧洲物理学会菲涅尔奖，美国物理学会“Beller讲席”，国际量子通信、测量与计算学会国际量子通信奖，兰姆奖，香港求是科技基金会“杰出科学家奖”，何梁何利基金科学与技术成就奖，中国科学院“杰出科技成就奖”，以及未来科学大奖物质科学奖等国内外荣誉奖项或称号。

## 探索的动机



非常高兴能够得到这个肯定。刚才施一公讲得非常好，我发现大家做的很多事情都和物理联系在一起，在座的每一位对科学感兴趣的人有一个共同的动机，我想讨论一下探索的动机，这是我今天演讲的题目。其实所有的科学内容，某种意义上来讲，都是跟这个问题紧密相连的：我们从哪里来，我们要到哪里去？这个问题延续了好多好多年，回答这个问题的第一种可能性，其实是来自于宗教。我们知道，最早试图比较系统地探索我们从哪里来、到哪里去的时候，其实《圣经》给出了一种可能性，说上帝创造了宇宙，创造了万物和人类，某种程度上来讲，这个《圣经》是目前为止营销最好的一个学说，如果



叫做学说的话。因为当时的社会分“奴隶”“平民”和“贵族”等几个阶层,《圣经》告诉人们:我们都是上帝创造的,无论贫富,无论是黄种人、黑种人、白种人,都是兄弟,都是上帝的子民。生活困苦的奴隶很容易接受这个学说,有了这个学说以后,人们心理上感觉比较幸福,人们都由上帝来管着,比较安宁。但正如爱因斯坦在少年时读了通俗的科学书籍后所认识到的,《圣经》里的故事有许多不可能是真实的。随着科学的发展,人们迎来了第一次科学革命。那么,从哥白尼开始,他写了《天体运行论》,指出地球不是宇宙的中心。后来伽利略用望远镜观测天文现象,证实了用实验和数学的方法研究自然的规律,进一步证明了哥白尼日心说的观点,最后通过搜集的大量数据获得了很多规律。在这个基础上,到了1687年,英国的一位科学家牛顿写了一本巨著叫做《自然哲学的数学原理》,他告诉人们其实所看到的各种各样的力学现象,最后都可以统一成一个简单的公式: $F=ma$ ,而且告诉我们有了这个公式以后,加上万有引力的公式,我们连星辰的运动都可以计算。后来来自爱丁堡大学的麦克斯韦建立了麦克斯韦方程,告诉我们所有光、电磁的现象都可以统一为方程组。这就带来了人类历史上第一次科学革命。



哥白尼  
(1473—1543) 地球不是宇宙的中心!



《天体运行论》  
地球不是宇宙的中心!



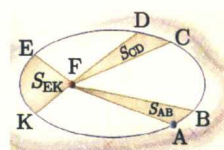
伽利略  
(1564—1642)



现代科学之父,用实验和数学的方法研究自然规律



开普勒  
(1571—1630)



行星运动定律

经典物理学牛顿力学已经非常成功了,它给人类带来了两次产业变革,但还是会给我们带来困惑。这里面告诉我们,一旦我们体系的初始状态是确定的,所有粒子的未来运动状态都是可以精确预言的,比如说一切事件,包括今天的会议,我到底能不能得这个未来科学大奖,其实老早就可以计算出来,是已经确定好的,个人的努力是毫无