

“薛定谔的猫”在量子世界中，是生死叠加的状态。你能想通吗？想不通很正常，因为这是量子世界，是物理学最前沿的研究领域。19世纪末，经典物理学已经趋于完善，它几乎完美地揭示了整个世界的运行规律，还催生了无数改变世界的技术和发明。但是1900年，著名英国物理学家威廉·汤姆森，即开尔文勋爵在展望20世纪的物理学时表示，在物理学晴朗的天空上，还有两朵小小的令人不安的乌云。其中一朵乌云后来为我们打开了神奇的量子世界。量子究竟是什么？有哪些特性和用途？量子时代该如何布局？大众对量子技术存在哪些误区？

什么是量子

什么是量子？凡是运动规律遵从量子力学的那些客体，统统叫量子。那些遵从牛顿力学、电动力学经典物理的，叫做经典世界，量子世界是一个不确定的、概率性的世界。比如说，这个空间里有一个粒子，经典世界里“在这个时间这个粒子在空间哪一个位置”，它是完全确定的，但量子世界是不确定的，这个量子可能是光子、电子，也可能是夸克，要问这个粒子在空间哪个位置？量子力学告诉你，它是不确定的。比如一个人从合肥到北京，不可能同一时间既乘高铁又坐飞机，这在经典世界是确定的。但要是一个量子，它可能既乘高铁又坐飞机，两条路同时来。自然界就是存在这种性质的粒子。这些量子世界和经典世界不同的所有的性质，统称为量子性。比如说不确定性、概率性，还有量子纠缠、量子不可克隆等等，这些都叫量子性。

1900年，德国物理学家普朗克第一次提出量子的概念。之后，有很多优秀的物理学家共同创立了一个能够了解整个量子世界运行规律的理论，这个理论就是量子力学。那我们能不能把量子世界这种奇怪的量子性开发出来，为经典世界服务？是可能的，而且量子世界开发出来的技术，比在经典世界里开发出来的技术还要好。经典技术，比如互联网、5G、人工智能现在发展得非常快，但这些技术发展到一个程度，性能很容易到达物理极限，就没法再提高了。接下来，人类再想实现跨越式发展，就得靠量子技术，量子技术的性能远远超过经典技术。可以说，量子技术是下一代人类的新技术。

量子时代该如何布局

量子计算机被认为是当今最有前景的前沿技术之一，并有望改变世界。中国、美国等国家都在研发自己的量子计算机。那么，量子计算机有什么优点？电子计算机的特点是串行运算，它的数据库里每一个时间就存一个数据，是确定的。然后，你要解决问题就要操控它，操控一次就把这个数据变成另一个数据，再操控一次就变成另一个数据，直到把程序算完为止。这样算有快有慢，但最后都是一步一步往下串，这就是串行运行的模式。量子计算机把0和1同时包在



□ 郭光灿

郭光灿，福建泉州人，中国科学院量子信息重点实验室主任，中国科学院院士，现任中国物理学会常务理事、中国光学学会理事长。他长期从事量子光学、量子通信和量子计算的理论与实验研究，是中国量子光学和量子信息的开创者与奠基人，创建了我国第一个量子信息实验室。担任国家基金委创新群体学术带头人；科技部中长期规划“量子调控”重大项目《量子通信与量子计算的物理实现》、中国科学院B类先导专项项目《基于固态系统的量子物理和量子信息》和基金委重大仪器专项《多功能固态量子存储器》的首席科学家。2003年获国家自然科学奖二等奖、何梁何利基金科技与技术进步奖，2009年当选为第三世界科学院院士，2013年当选“CCTV年度科技创新人物”。

里面计算，所以它的特点是概率的、不确定的。量子存储器一个时间可以同时存2的N次方的数据。N是什么呢？就是量子存储器的数目，它随着数目指数上升，操纵一次就可以把很多2的N次方的数据变成另外新的2的N次方数据，所以每一步操作是并行运行的，这是天然的量子性所决定的特点。并行运算处理数据能力是极强的，只要挺过前期的缓慢增长阶段，指数的威力越靠后越大，大到难以想象。

这也是量子计算机吸引人的地方，那怎么还不做出来？量子计算机的优点在于量子特性，而量子特性非常脆弱，一旦做出来量子计算机，它的量子性很容易被破坏掉，它的并行运算又会回到串行运算。所以要把相干性拉长才行，但是在宏观世界里任何一个物理体系的相干性都比较差。相干时间，就是保持量子性的那段时间是很短的。比如超导量子计算机，科学家花了13年把超导的相干时间提高了5万倍，达到100微秒，这是一个很大的进展。在宏观世界100微秒太小了，但是在量子世界里100微秒已经很长了，足够计算很多东西了。这种相干性的提高让科学家很兴奋，相干性一突破，量子计算机马上就有可能比较快地做出来，所以有很多国家开始对其加大投入。随后，美国、欧盟、澳大利亚等都制定了雄心勃勃的研发计划。

整体来说，量子计算机处在电子计算机曾经历过的一个从晶体管向集成电路过渡的阶段。这几年是研制量子计算机的关键时期，我们时

不时会听到国内外在这方面的一些进展。那么，量子时代究竟什么时候能到来？目前面临两个困难。一是人造的量子系统的相干时间非常短。二是人类操控量子计算机的技术还不成熟。2012年，两位物理学家获得诺贝尔物理学奖，因为他们操控了单个粒子、原子和光子，操控了一个就得了诺贝尔奖。而我们面临的是量子计算机成千上万的量子处理器，难度可想而知。所以，真正要研制成实用的量子计算机是一个很艰难的过程。什么时候能做到呢？一个时代到来一定有个标志性的东西，这个标志性是什么呢？就是通用量子计算机得到实际应用。

通用量子计算机如何做到呢？需要三步。第一步，做一个量子力学操纵的处理器，这个目前已经做到了。第二步，把量子比特数增加到100个左右，这时量子计算机的运算能力就会远远超过现在任何超算中心的能力，这叫量子霸权，但它仍然不是通用的量子计算机。第三步，把比特数增加至一千个、一万个……还要采取容错、纠错的办法，把相干时间拉长。任何复杂问题在量子计算机上都能够运行、不会死掉，到那个时候才是真正的通用量子计算机，而且不仅要在实验室做成，还要把它做成仪器能够让大家广泛使用。

量子计算机能给人类带来什么好处？它可以破解密码，当前我们广泛使用的密钥安全不安全，取决于能不能用计算机把一个数N分成两个素数（质数）相乘。把129位数字分成两个素数（质数）相乘的实

验，1994年在有1600台电子计算机的工作站，一共花了8个月把它分出来了。但是如果N拉长，拉到500位，同样的运算能力需要多长时间呢？比宇宙年龄还要长，也就是说宇宙毁灭了，我们还没破解完。量子计算就不一样了，如果我们有一个2000个量子比特的量子计算机，哪怕是量子霸权，只要一秒钟就可以分解了。所以一旦量子计算机做成了，现在广泛使用的公开密码全都要破解。另外，搜寻算法可以在数据库里大量的无规数据中找到一个特定的信息。比如说有N个条目的电话号码本，忘了一个号码，电子计算机怎么找？一个一个找，找一个比较一下，不是就扔掉，要找N次。如果用量子计算机怎么来找呢？找根号N次，比如说N等于100万，电子计算机要操作100万次才能找到，量子计算机只要找1000次，就能找到，这个搜寻问题的应用是非常广泛的。还有，我们要设计一个能够识别预制病毒活性的RNA（核糖核酸）分子，通常会在计算机模拟各种各样的组合，看哪一个分子最有效，就好比大海捞针。但是用量子计算机，很复杂的物理体系都能模拟出来。有些理论上算出它可能存在，但是自然界根本不存在的东西，也可以用量子模拟研究。量子技术除了量子计算机、量子模拟，还有个量子密码。我们前面说的密码，它的安全性都靠数学，但量子密码靠物理，靠量子力学，这样从物理角度给我们提供了一种新的信息安全手段。还有量子传感，它的灵敏度、精度相对于传统传感技

术大大提高。这种量子技术，会逐渐发展，为我们人类的美好生活服务。

有关量子技术的误区有哪些

有关量子技术的误区来源主要有两个。量子本身就很神奇，因为人类处于经典世界，我们熟悉经典物理，对量子奇奇怪怪的性质我们不好理解，这是容易产生误区的一个原因；第二个原因是人为的，就是我们的宣传误导了。举一个例子，关于量子纠缠是否可以实现超光速的通信。量子纠缠是怎么回事儿呢？两个粒子A和B，A自旋，要么向上，要么向下，只有两种可能。自旋到底是向上、向下，不确定，所以它有50%的概率向上，50%的概率向下，量子世界是不确定的，B也是这样自旋，要么向上，要么向下。现在造一个A和B共同的系统，这个系统非常特殊，就是不管A和B的自旋在哪儿，它们两个自旋总是相反。这是它们共同的性

质，就是A已经是向下了，B肯定向上，如果A不测量，那么B各有一半概率向上向下；先测量A，B发生变化，那应该有个什么东西过去才会变。我们现在不做这样的实验，我把A和B同时测量，没有先后，没有因果，不需要信息传过去了，或同时不传什么，发现的结果一样，A只要向下，B一定向上，A要向上，B一定向下，它们总是相反。这个性质使它们纠缠，这说明它们两个是完全关联的，是一种量子关联。所以纠缠幽灵的本质，就是量子关联，量子关联所发生的瞬时变化，不需要传递任何信息，根本就没有信息的传递，没有信息的传递就谈不上超光速的信息，这也是量子力学的“非局域现象”。量子关联是量子力学非常基本的性质，所以现在提供很有用的工具，叫EPR效应，是量子力学一个基本效应。什么叫EPR效应？比如说一个母亲在北京，她女儿在深圳结婚生子，尽管她女儿没有告诉她，但孩子生出来那一瞬间这个在北京的母亲就自动变成外婆，这就是EPR效应。不管两个人分得多开，这就是关联。这个跟纠缠一样，纠缠是两个粒子总是相反的，我在哪儿测量，它一定变。所以，科学对纠缠的理解，就是没有任何信息的传递，也不可能拿这种纠缠开发到经典世界里做超光速通信，是绝对做不到的。

还有一个例子，有的文章提出量子技术可以将人瞬时送到另外一个星球，“蹭”一下子就过去了，这个绝对做不到。这里面需要两个条件：一个是纠缠，一个是经典通信。经典通信就不会超光速，这个绝对不是技术上不完整，而是原理上根本做不到。

这两个例子对公众影响非常大，把量子力学、量子信息搞得很神奇。还有量子水、量子按摩、量子鞋垫、量子医学的广告到处都是。是不是量子，就看它有没有用量子力学的规律来做运行。目前，还没有一个量子产品能够普遍应用到广大群众那里去，还做不到。量子纠缠是量子世界独有的现象，超过了量子世界，就没有纠缠这个概念。所以把人体的一些活动，特别是把搞不清的内容归到量子纠缠去，这是不对的。

量子力学是成功的理论，量子信息技术也是量子力学推导出来的，所以原理上是正确的，尽管技术上比较难，但只要慢慢做，就一定能做成。一旦量子技术到来了，人类社会就会进一步发展，生产力会发展到一个新的阶段，我们把这个阶段称为“第二次量子革命”。所以，我们现在正在迎接“第二次量子革命”的到来，量子信息技术就是未来新一代的技术！



学习时报与央视中国经济大讲堂合办



更多精彩内容扫码看视频

（上接1版）实施援外项目累计超过1600个，既有非洲疾控中心总部等成套项目，又有农业、教育、减贫等领域“小而美”项目，培训各类人才达35万名，增进了共建国家的民生福祉，深受当地民众欢迎。

自贸区网络创造新机遇。2013年以来，中国相继与韩国、格鲁吉亚、厄瓜多尔、尼加拉瓜、塞尔维亚等签署双边自贸协定，与东盟、智利、新西兰等签署自贸协定升级议定书。目前，中国已与21个共建国家签署15个自贸协定，初步建立起立足周边、辐射“一带一路”、面向全球的自贸区网络，将激发“一带一路”经贸合作更大潜力、创造更多机遇。《区域全面经济伙伴关系协定》（RCEP）全面生效，建成全球最大自贸区，关税减让等制度红利持续释放。2022年，中国与自贸伙伴贸易额占整体外贸比重已达35%左右。

平台机制搭建新渠道。中国与22个共建国家建立贸易畅通工作组，与55个共建国家建立投资合作工作组，与7个共建国家建立服务贸易合作机制，经贸议题交流更加顺畅，政策沟通和战略

对接持续加强。目前已成功举办6届中国国际进口博览会，累计意向成交额超过4200亿美元，展示超过2400项代表性首发新产品、新技术、新服务，共建国家参会企业累计超过7000家。广交会、服贸会、消博会、投洽会成为具有国际影响力的经济合作平台，中国—东盟博览会、中国—非洲经贸博览会、中国—中东欧国家博览会等区域性展会为合作交流构筑宽广通路。

合作领域开辟新空间。跨境电商、海外仓等新业态新模式加快发展，成为共建“一带一路”的新增长点。截至2022年底，中国设立跨境电商综试区165个，海外仓数量超过2400个，跨境电商外贸比重从2015年不到1%增至2022年的5%。“丝路电商”国际合作成为新亮点，伙伴国增加到30个，组织开展“非洲好物网购节”“买在金砖”“网罗东盟好物”等特色活动，帮助伙伴国拓宽优质特色产品销售渠道。与共建国家签署绿色发展、数字经济、蓝色经济等投资合作备忘录53个。

扎实推动“一带一路”经贸合作迈出新步伐

面向未来，我们将深入学习贯彻习近平总书记关于共建“一带一路”的重要论述，坚持目标导向、行动导向，扎实落实八项行动，与各方共同深化“一带一路”经贸合作，推动共建“一带一路”进入高质量发展的新阶段。

促进全方位经贸往来，实现更高合作水平。升级货物贸易。提升与共建国家贸易规模和质量，打造全球贸易新增长极。鼓励自共建国家进口，推动优质产品出口，促进贸易平衡发展。支持中西部地区承接产业转移，加强与共建国家贸易产业合作。创新服务贸易。出台实施全国版和自贸试验区版跨境服务贸易负面清单，推进特色服务出口基地提质升级扩围，支持有条件的地方建设服务贸易国际合作区。发展数字贸易。在上海建设“丝路电商”合作先行区，办好全球数字贸易博览会，高标准建设数字服务出口基地，培育具有创新力和国际竞争力的数字贸易领军企业。深化双

向投资。提高对外投资便利化水平，支持企业创新对外投资方式，扩大三方和多方市场合作；高质量建设境外经贸合作区；推动全面取消制造业领域外资准入限制措施；主动对照国际高标准经贸规则，深入推进投资高水平开放。推进项目合作。深化能源、铁路、公路、港口、机场、通信等基础设施合作，构建立体互联互通网络；共同建设好中泰铁路、匈塞铁路、中巴经济走廊等项目，运营好中老铁路、雅万高铁等项目，稳步推进比雷埃夫斯港等建设运营。

加强深层次机制对接，实现更高合作效益。完善经贸合作机制。发挥经贸联（混）委会等机制桥梁作用，建立更多贸易畅通、投资合作、服务贸易等合作机制，开展重点议题磋商。深化中俄、中欧等合作。落实首届中阿峰会、中海峰会、中国—中亚峰会成果，继续实施中非合作“九项工程”。支持港澳打造“一带一路”功能平台。发挥展会平台作用。全力办好进博会、广交会、服贸会、消博会、投洽会等重大展会，提升各区域性展会效能，支持更多共建国家企业参展，

吸引更多展商参会洽谈合作。参与全球经济治理。深入参与世贸组织改革，利用二十国集团、亚太经合组织、金砖国家、上海合作组织等机制，推动各方共同维护开放、公平、非歧视的贸易投资环境。积极落实《数字经济和绿色发展国际经贸合作框架倡议》，参与国际规则制定，提升“软联通”水平。

聚焦新领域创新合作，实现更高供给质量。推动加快可持续发展。对接联合国2030年可持续发展议程，扩大与共建国家绿色发展、蓝色经济等领域合作，积极商签投资合作备忘录。鼓励企业开展绿色贸易、绿色基建、绿色能源、绿色交通等合作。保障产业链供应链畅通。支持企业深度参与全球产业分工合作，与东盟国家共建经贸创新发展示范园区，深化与印尼、菲律宾“两国双园”合作，高质量建设边（跨）境经济合作区。提升数字经济合作。推动与共建国家商签更多数字经济投资合作备忘录，推进加入《数字经济伙伴关系协定》（DEPA）。强化“小而美”项目建设。将“小而美”项目作为对外合作优先事项，聚焦环保、农业、绿

色能源、卫生、教育、减贫等领域，高效组织“小而美、见效快、惠民生”项目实施。

巩固多渠道支撑保障，实现更高发展韧性。加快自贸网络建设。扩大面向全球的高标准自贸区网络，积极推动加入《全面与进步跨太平洋伙伴关系协定》（CPTPP），高质量实施RCEP，推进与东盟、海合会、秘鲁、洪都拉斯等自贸协定谈判或升级谈判进程。强化重点通道建设。提升中欧班列过境能力和运行效率，加快完善政府间合作机制；稳步推进中新（重庆）战略性互联互通示范项目及国际陆海贸易新通道建设；参与跨里海国际运输走廊建设。保护投资者合法权益。深入贯彻外商投资法；商签更多投资保护协定；加强对共建“一带一路”项目和人员安全保障，更新发布《对外投资合作国别（地区）指南》等公共产品。讲好“一带一路”故事。通过典型项目、生动案例，向国际社会阐释解读共建“一带一路”的理念、原则、方式及成效，为共建“一带一路”高质量发展汇聚更大合力。