

奇点时代,人类思维正从经典模式转向叠加、纠缠、不确定的量子模式

## 量子思维:一个理解世界的新视角

日前,2023年诺贝尔奖颁奖仪式在瑞典首都斯德哥尔摩举行。此次三大自然科学诺贝尔奖都来自量子世界:无论是摘得化学奖的量子点,还是受到物理学奖垂青的阿秒激光都直接与量子力学相关,斩获生理学或医学奖的mRNA疫苗的关键技术“核苷酸碱基修饰”也离不开生命分子化学氢键之间的量子隧穿效应。

经过两次量子革命,人类的认知正从经典力学时代进入量子时代。以不确定、叠加、纠缠等为特征,量子理论所带来的全新思维方式也不断对自然、生命的认知,拓展到对教育、经济、管理等人类社会各个方面的理解,而人工智能的突飞猛进更使这一进程极大加速。量子思维何以成为人类认识世界并与其互动的更高层次思维方式?中国工程院院士、华东师范大学校长钱旭红日前接受本报专访,对此作了详细阐述。



智慧城市通过量子信息决策系统实现虚拟化传输架构和数据存储。

## ■本报记者 许琦敏

获得2023年诺贝尔化学奖的量子点,向人们展现了古老彩色玻璃中微观量子世界的奥秘。

一旦进入微观世界,物质的尺度以百万分之一毫米(即纳米尺度)为单位,量子效应就会出现。在纳米世界中,单一物质可因分子尺度的不同,而在宏观世界中呈现出不同的色彩。2023年诺贝尔化学奖得主阿列克谢·I·叶基莫夫和路易斯·布鲁斯特恰是因为熟悉量子理论,才在好奇心的驱使下,破解了量子点中所蕴藏的科学原理。

这是一次非常经典的、以量子思维探寻自然规律的一次成功尝试。所谓量子思维,就是由量子理论衍生出来的、有别于传统经典思维的崭新思维方式,它揭示了人类思维中叠加、纠缠、不确定和跃变等特点。

实际上,量子思维普遍而真实地长期存在。自量子力学诞生以来,它日益广泛为人们所认知。2015年,被誉为“欧洲第一科学人文杂志”的《新发现》就出版专辑介绍量子思维,但由于量子理论极为深奥,对不少普通人而言,量子思维听起来有如玄学。

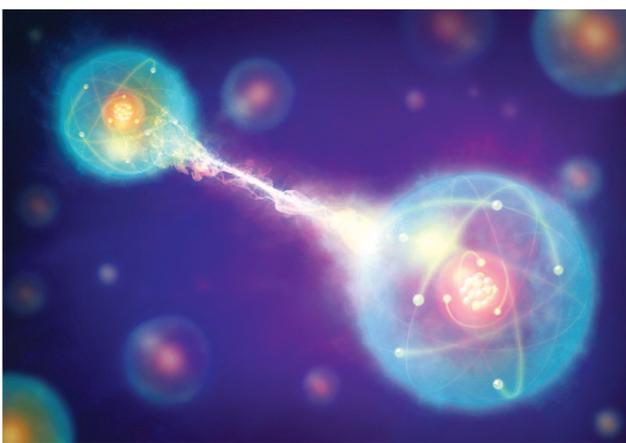
自2012年起,钱旭红院士开始在华东理工大学倡导并推介量子思维,并在华东师范大学率先开展量子思维的跨学科研究,旨在让更多人认识到量子思维的重要性,从而在人类社会发展的崭新时代拥有且运用多样性、多元化的思维工具。

“量子点”背后  
新思维认知自然底层逻辑

叶基莫夫和布鲁斯特对量子理论的熟悉,源自他们的学术背景。

叶基莫夫从小就对光学有着浓厚的兴趣,后来成为固体物理和光学领域专家,主要从事半导体纳米晶体研究。量子理论的基本概念和原理在这些领域十分重要,因此叶基莫夫对量子理论十分熟悉。他使用光照材料并测量吸收度的方法检查有色玻璃,发现玻璃吸收光的情况受到晶体颗粒尺寸的影响,颗粒越小,所吸收的光越偏蓝——他由此发现了尺寸相关的量子效应。

而布鲁斯特是一位实验化学物理和纳米科学家,上世纪七八十年代在美国贝尔实验室研究如何用太阳能实现化学反应。在进行捕获光的实验中,他发



量子纠缠艺术示意图。

(本版图片均视觉中国)

现一些物质的颗粒变大后,其光学特性也会随之改变。通过制造一系列新颗粒进行实验,他与叶基莫夫“背靠背”地发现了尺寸相关的量子效应。

时任美国莱斯大学校长的雷金纳德·德罗斯切斯认为,布鲁斯特的科学生涯具有开创性且鼓舞人心,“他将化学和物理学融为一体,开辟了全新的研究探索领域”。在钱旭红看来,这份功劳其实应归属于量子理论。

“从量子论的视角来看,自然界中,其实并无所谓的物理学、化学、生命科学的分割,人们只是为了研究的方便,从不同角度切入,才将自然科学进行了不同学科的划分。”钱旭红举了个例子,围绕氢原子的研究属于量子物理,而研究氢分子则属于量子化学范畴。

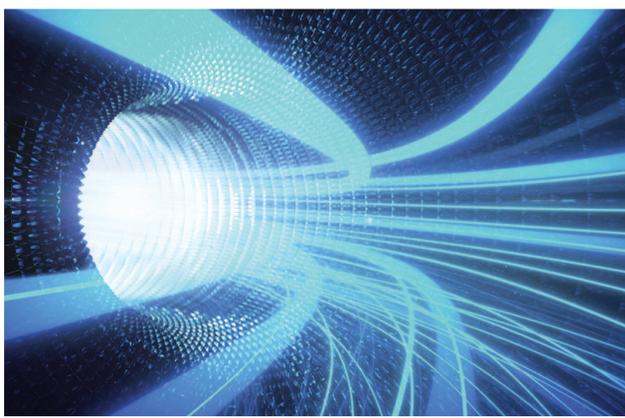
事实上,身处微观世界,所有粒子的行为都会遵从量子力学的法则,量子理论以一种更为基础的逻辑,将微观世界和宏观世界纳入其中。自20世纪后半期至今,随着量子理论和实验研究的深入,人们发现了许多在宏观尺度上呈现出来的量子效应,如超导、超流等。此外,科学家还在生命活动中发现了许多量子现象,例如候鸟神经系统中的地磁导航系统、酶促反应中存在质子隧穿的量子效应、植物光合作用中的量子节拍等,都反映出量子理论所具有的普适性。

如果说第一次量子革命是量子理论概念的兴起,那么20世纪70年代兴起的第二次量子革命,则通过主动利用量子特性,开发出量子通信、量子计算、量子精密测量等创新应用,这预示着量子科技开始大规模向现实生产力转化。最近一年,人工智能(AI)大模型的横空出世,更显示了量子思维等认知模式的巨大魅力。钱旭红认为,这将为人类了解微观世界的深层次奥秘、揭示时空起源带来更多希望,也将对人文、社科领域产生重要影响,从而给人类社会的生产、生活带来翻天覆地的变化。

经典与量子  
各具优势且可相互融合

在钱旭红看来,量子现象遍布于日常生活中,只是需要一个具备量子思维的头脑去加以认识与发现。

现代科学兴起之前,人们主要依靠感官直观感知宏观世界,或者说是感受量子性质弱化、量子退相干的宏观现象与结果。所以,人类早期主要与宏观事



量子隧道艺术示意图。

物打交道,如土地、植物、矿产、钢铁、机械、采矿、运输等,无法了解微观世界的实际运作方式,觉察不到量子力学这个世界运行更底层的规律。

“这并不是说经典力学不好,实际上,它对于千万年来主要与宏观物质世界打交道的人类意义非凡。”钱旭红说,经典力学认为事物都是由清晰的、非此即彼的经典粒子组成,其规律都是由点、线、面、角、弧等清晰确定、纯理性的单元所组成。但随着对自然认识的深入,人们也逐渐发现,生活中很多事物或现象并不严格遵守经典力学的规律,比如鸟类的迁徙、人的嗅觉。

量子力学的出现给人类的思维方式带来了颠覆式变革。“如今,离开量子力学几乎无法进行基础研究。”钱旭红说,量子力学令人领悟到,宇宙并不是一个由上帝操控的精密机械,世界万事万物是相互联系和影响的,人类无法通过操控某个“部件”去单独实现某种“功能”。

从计算机芯片、网络到绿色发展、AI时代,从DNA双螺旋结构到人类基因组计划,随着量子科技成为支撑社会发展的底层技术,量子思维的测不准、叠加、跳跃等属性越来越显著地呈现出来,也愈加深刻地影响着科学技术的发展。

“过去人们认为,微观世界对应量子理论,宏观世界对应经典理论,但后来人们发现,两者之间的界限并非泾渭分明,而是可相互融合的。”钱旭红提到,上世纪70年代,在经典物理学框架内,计算机难以模拟复杂化学反应,而量子物理学可以模拟化学反应,但由于计算量大到无法实现,故只能应用于小分子。美国斯坦福大学终身教授迈克尔·莱维特等人开创性地将经典物理学与量子物理学相结合,解决了蛋白质和药物设计难题,由此获得2013年诺贝尔化学奖。

“经典理论不限于宏观尺度,量子理论也不限于微观尺度。经典思维是量子思维的特例,不确定性、叠加、纠缠才是世界的主要通则。”钱旭红提醒说,两种思维方式并无优劣之分,现实中哪一种思维更适用,需视具体情况,运用前的判断可包括被观察研究对象的空间尺度大小、时间长短、复杂程度和经典方法是否失效等。

把握引领未来  
量子思维重要且不可少

基于牛顿经典力学的经典思维由

于适应了肉眼观察、惯性思维的时代需求,在人类大脑中已延续数百年,因此要跳出这种经典的机械性思维模式来认识世界,并不容易。

“量子思维告诉我们,世界在底层基本结构上具有很强的关联性,我们应该以整体全面的眼光看待世界,即理解整体超越部分,整体大于部分之和,整体衍生出部分并决定了部分的性质。”钱旭红解释,人具有多种角色并存的特点,如同一个叠加态。如果把一个人比作一个量子,那么这个人被观察、测量或做决策之前,具有无限的、变化着的选择可能性,可一旦人们最终选择完成,所有其他与之相悖的可能性,因人、事、物的波函数被微扰而崩塌,只剩下确定性。

从这一认知出发,在量子世界,观察结果与观察者密切相关,即所谓“仁者见仁,智者见智”。钱旭红认为,量子思维方式与中华文明固有的思维和精神基因有相当程度的互通性。“老子的《道德经》对于‘道’本体的描述,关于多态叠加、纠缠关联、恍惚、测不准之类的就有十数章,这可能也是人们几千年来难以真正读懂《道德经》的原因之一。”

事实上,欧洲量子力学先驱之一尼尔斯·玻尔在解释其量子物理理念时就曾欣喜于中国道家学说及其标识,认为它们表达出了他想表达的意思。2001年、2022年两度获得诺贝尔化学奖的卡尔·巴里·夏普利斯也十分爱读《道德经》,其中有关“有”与“无”的关系阐述,在某种程度上启发了他,并推动了“点击化学”的发展。

“基于量子科技或思维的人工智能与合成生物学的发展,向我们预示了一个物质更加丰富的时代即将到来。我们需要在精神层面抵达一个新境界,才能在发展科技的同时,为社会提供人文滋养和关怀,防止技术与精神异化所带来的种种风险。”钱旭红说,美国数学家弗诺·文奇将人工智能超过人类智力极限的时间点定义为“技术奇点”,奇点出现后的世界发展将会超出人类传统经典思维的理解范畴。

近年,AI大模型运用量子思维模式的突破性进展,给人类未来带来挑战。“人们需要在思维上适应量子跃迁式的发展和跨界超限。”钱旭红认为,未来科技与人文必将走向交叉、融合、升维、超限,各种羁绊、界限、分科等人为设置会逐步消融。因此,想要预测、应对并引领未来的变化和趋势,了解并掌握量子思维非常重要,且必不可少。

随着现代物理理论不断发展,人们越来越意识到世界是混沌的,且充满未知、复杂性和不确定性。量子思维以其叠加、纠缠、不确定的特性,影响着人们对经济、社会、教育、管理等多方面的理解。它提供了一个崭新的思维角度,帮助人们更有效、可靠地诠释、改变、兼容世界。打破传统固有观念,重构思维方式,将量子思维应用于人文社会科学是必然趋势。经典与量子两种思维方式的双向渗透和互补,将为我们呈现一个多样、共存、关联且各具魅力的世界。

## 量子经济学

早在1978年,巴基斯坦数学家卡迪尔率先在经济分析中直接使用了量子技术。此后,经济学家先后将量子理论引入期权定价模型,在金融市场中引入量子理论,更在21世纪初基于现代量子理论建立了二级金融市场模型。

近年来,越来越多基于量子理论的经济金融模型被提出,经济学家们也在此过程中对复杂的经济市场有了更深了解。例如,量子经济学指出,经济是一个典型的量子社会系统,可被视为各有机体相互纠缠的系统,金融参与者是经济纠缠系统的一部分。经济有其自身的测量不确定性、纠缠、二元性等性质。

量子思维对经济预测也有所帮助。社会的经济基础是交易各种微观商品的市场,一些微观商品的价格运动呈现出类量子的跃迁运动,因此在用市场中各类商品价格线性组合来表示总体价格水平的波函数时,加上一些量子性质,对从宏观观测与理解整个经济的发展运动轨迹会有一定帮助。例如,美国金融大鳄罗斯福旗下经营的量子基金就对一些金融工具以独特的复杂结构进行设计,根据市场预测进行投资,在预测准确时获取超额利润。

在量子理论预测人类经济行为方面,也有不少研究对“人类非理性决策行为可能基于量子概率”“量子方法构建风险选择行为模型”等问题进行了探索。

## 量子管理学

随着量子力学成为科学发展根本,管理学领域也诞生了以量子思维为引导的新管理范式——量子管理。

21世纪初,人们意识到一些与人类决策过程有关的实验已无法用经典决策理论来解释,而量子管理理论要求我们充分注重从整体多向性、生态性互动、主体创造力等角度去认识和把握组织有机体,站在事件本质的角度去分析,从而找到复杂表象背后的真实面貌,进而展开有组织的、整体性的、系统性的创新与突破。

“量子管理”奠基人丹娜·左哈尔在其著作《量子领导者》中提出,企业引入量子变革,构建量子管理系统,将从强调竞争转向营造伙伴、网络和高质关系。这既表明了从个人到集体的范式转变,又揭示出在广泛互动的世界中,价值创造的方式已在发生根本性变化。

目前,世界上大量先进的公司采用量子思维进行管理。比如,苹果公

司前总裁乔布斯通过采用量子战略,实现了高效运营与出色的系列创新,为苹果公司创造了可持续的核心竞争优势。而我国的海尔公司被左哈尔认为是“世界上第一家实现量子管理的大型跨国公司”。海尔打破传统的自上而下的管理模式,将中层管理者变成微型企业CEO,形成了现今人单合一、竞单上岗、按单聚散等运作模式。

同时,管理者量子思维能力的强弱,如不确定性思维、整体关联性思维、多向相容性思维、跃迁不连续思维、领悟能动性思维等,也从一定程度上反映其管理水平、职业发展潜力的高低。有研究表明,管理者职级越高,其量子思维越强,而且其多种相关自我评价(如总体自我评价、主观幸福感、工作绩效、未来竞争力和创新力等)也越好。

## 量子教育学

为什么同样在一个教室里上课,每个学生学到的知识、理解的深度各不相同?为何“一刀切”的教育评价体系很难真正评判一个学生的能力和潜力?这与教育的量子性有关。

尽管“人脑的本质是不是量子计算机”这一问题目前还无法解答,但已有一系列研究表明,个人在某些认知任务中的表现确实具有量子的特征,比如决策判断的概率性、能力提升的跃迁性。

从量子的视角来看,人的发展变化犹如量子,并不总是连续的、线性的,往往存在着不可精准预测的多种可能性。正如光子通过狭缝时会发生衍射,同一个装置中发出的光子经过同样的路径到达狭缝,最终却会落在不同位置。在人才培养过程中,也普遍存在类似的教学结果不确定性。由此可见,教育的本质更趋向于量子思维。

基于这一认识,教育环境的势能往往决定了教学系统所处能级的概率。人们常说的学风、校风,乃至家庭环境,都可能对受教育个体产生不同的影响——创设合适的教育环境可以提升学生达到某种智慧程度和素养水平的概率,而不恰当的环境则会阻碍学生发展。而且,一名学生往往会处于多种可能性的叠加态,这会使该学生学得高级复杂技能的可能性大大增加,有学者将这种现象称为“高级技能

的涌现”。因此,量子思维引领的教育变革需要关注学生本身的智慧养成,以及教育对学生的赋能,从而为新一代卓越人才培养注入新的动力。

教育的不确定性要求我们认识到教育的结果是一个概率分布,不能仅仅通过最终的教育结果来对教育过程进行评价。测量是教育的重要环节,不同于经典理论假设学生在某时刻的能力具有一个真实确定值,量子理论认为,学生能力的表现可能是多方面的,而且测量结果会受被测时状态的影响。简言之,同样的考试形式,对某些学生而言,考试就是一种严重的伤害或者贬低;对另一些同学而言,考试就是一种激励或者超常发挥的意外之喜。所以,最好的考试考查方式,就是考试如同不存在并且无处不在。

(摘编自《量子思维》,华东师范大学出版社2023年出版)

## 量子视角下的人类社会