

量子科技革命是重大历史机遇

——对话中国科学院院士、南方科技大学校长薛其坤

本报记者 徐立京

量子力学的建立使人类对世界的认识从宏观深入到微观

记者:量子科技大家都非常关注,党的十九届五中全会《建议》在“十四五”规划和2035年远景目标中特别提到了量子科技的发展。能不能请您对我们的读者再科普一下,量子科技最本质的特点是什么?

薛其坤:量子科技的核心要义,可以比较着去理解。宏观世界物体的运动规律遵从牛顿运动规律。大家都知道牛顿力学,如果我们知道了一个物体的初始状态和受力情况,通过求解牛顿第二定律方程就可以测定这个物体未来的状态,即任何一个时刻的位置、速度等状态参数。以火箭为例,如果知道了推力的方向和大小,我们就可以精确地计算出在未来某一个时刻这个火箭的位置,速度有多快等信息,这是人类利用牛顿力学控制物体运动状态和发展高技术的一个典型例子。

从本质上讲,量子力学是关于微观世界物体运动规律的一门学问。

物质是由原子组成的,原子由原子核和绕原子核运动的电子组成,原子核则由质子和中子组成。这些微观粒子是用肉眼看不到的。它们的运动规律和宏观物体遵从的牛顿力学等是不一样的,比如说,我们不能同时精确测量它的位置和它的速度,这就是微观粒子遵从的测不准原理。而宏观物体,我们既可以精确测定它的位置,同时也能精确地测定它的速度。另外,微观粒子具有波的性质。比如,一个小球是一个粒子,手机用的信号是无线电波,粒子和波是两类完全不同的东西。而在微观世界,比如电子,它既像小球,是个粒子,但同时它又和电磁波一样,具有波的性质,具有波粒二象性。描述微观粒子的运动状态和运动规律的学问,就是量子力学。上面提到的测不准原理和波粒二象性是量子力学的一些基本概念,这些概念很难用常识去理解。

量子力学的发展历程比较漫长,已经有110多年的历史了。卫星从地球的某一个位置到达月球附近,其运动的轨迹在大家印象中是连续的。但是在量子力学中,描述粒子状态的物理量的取值是不连续的,像台阶一样。不连续的最小间隔,实际上就对应量子的概念。这个量子概念,是100多年前德国科学家马克斯·普朗克提出来的。

量子力学的建立使人类对世界的认识从宏观深入到微观,是近400年现代科学发展史上一个革命性飞跃。20世纪有3个重大科学发现,即相对论、量子力学和DNA,所以量子力学是公认的上世纪最伟大的科学发现之一。

有了量子力学理论的突破,全新的量子技术也随之逐渐诞生。上世纪50年代,人们在量子力学的基础上发明了晶体管,有了电子晶体管或半导体晶体管,后来就有了电子计算机,有了互联网,有了今天的信息社会。可以说,通过对微观世界的研究,人们在上世纪不但建立了量子力学,而且在量子力学基础上,发展了现在的信息技术。目前信息技术时代的科学基础,就是量子力学,可被称为量子科技第一时代。

第二次量子革命是我国几百年来第一次有能力有基础全面介入和参与的一次技术革命

记者:也就是说,如果没有当时的革命性的发现,就没有现在的互联网。

薛其坤:是的,没有量子力学,就没有电子计算机,没有电子计算机,也就谈不上互联网。量子力学的发展导致了半导体晶体管的发明、电子计算机的发明、激光的发明,就有了光纤通信。集成电路有了,手机芯片有了,就有了移动通信。这个逻辑关系是非常清楚的。

量子技术直接应用的例子就是全球定位系统。无论是美国的GPS还是中国的北斗系统,它依赖的最根本技术就是对时间的精确测量技术。大家熟知的石英钟,1年误差1秒左右。上世纪五六十年代,美国发展出基于量子技术的原子钟,达到了几百万年误差仅为1秒的测量精度。为什么这对全球定位系统起到最关键的作用呢?要卫星定位一辆车在什么地方,需要利用三四颗卫星通过电磁波精确测量车与卫星的距离,从而实现定位。当车移动1米的时候,这个移动引起的电磁波传播时间变化是很小很小的,因为电磁波是以光速传播的,约等于每秒30万公里。这个微小的时间变化,没有精度高的时钟是无法测量准确的。有了几百万年误差只有一秒的原子钟,全球定位系统的精度就能达到10米,甚至小于1米。这样,就可以准确地测定车在哪里,就有了准确的谷歌地图、高德地图等。时间的精确测量可以催生全新的技术,同样,重量、长度等物理量的精确测量也类似,也会催生全新的技术产生。量子科学与技术的发展不但催生了全球定位系统的出现,很多其他先进的应用技术也都发展起来了。一系列量子技术的应用,开创了量子科技第一时代——现代信息时代。

这些信息技术是在探究微观世界科学研究基础上发展起来的。在基础研究过程中,我们先是发现新的量子现象和量子规律,然后再发展技术,即科学研究在先,技术发展在后。计算机硬盘是另一个例子。现在,一个计算机硬盘的存储密度已经超过每平方英寸1T字节。1个T是多少呢?是10的12次方。这个硬盘技术是怎么发现的?1988年至1989年,德国和法国的两位科学家发现了巨磁阻效应,这是一个量子效应,可以用于探测非常微弱的磁信号。高密度信息储存是靠微小的磁力指南针来实现的,小磁针越小,存储密度就越高,但信号就越弱。发现了巨磁阻效应以后,人们就能探测非常小的磁针、非常弱的磁信号。这意味着,单位体积包含的用于存储信息的小磁针密度就可以做得很高,那么信息存储量也就增加了,这就是今天硬盘技术的来源。我把这种从发现量子效应和量子规律去思考发展应用的过程叫被动模式。

到了本世纪,这种发展模式发生了一次重大跳跃。这个跳跃是什么?是被动到主动的跳跃。通过过去100多年的研究,我们对量子世界、对微观世界的理解已经比较深入和系统了,在此基础上,我们可以主动设计原来自然界没有的量子体系去发展应用。目前大家熟悉的量子通信和量子计算机,就是主动设计量子系统而发展信息技术应用的例子。这也是当前大家关注量子科技的重要原因。

我们现在用的是电子计算机,也许不久的将来,通用量子计算机将会得到普及。量子计算机是遵循量子规律进行高速数学和逻辑运算、存储及处理信息的物理装置。与目前的计算机相比,量子计算机在信息存储和运算等方面,具有幂指数或多项式加速等优势。就像20年前的一个超级计算机,功能还不如现在的一个手机芯片强大。一旦通用可纠错量子计算机出现的时候,具有手机芯片性能而体积有一栋楼这么大的电子计算机,可能都远远不如一个体积只有房间大小的量子计算机信息处理的能力强。这种通过主动设计量子系统而发展的信息技术,我们称为第二代量子信息技术。

目前量子计算机和量子通信等第二代量子技术还处于发展的初期阶段,离商用还有很长的路要走。众所周知,我们国家在前三次工业革命中都没有起到先导作用或深度参与过。第二次量子革命则是我国几百年来第一次有能力有基础全面介入和参与的一次技术革命,是中华民族在伟大复兴进程中的一次重大机遇。

记者:太棒了!

薛其坤:这就是为什么我国在“十四五”规划和2035年远景目标中要重点部署这个领域,下好这步先手棋。不管是蒸汽机为代表的第一次工业革命,还是以电气化为代表的第二次工业革命,我们国家基本都错过了。以信息技术为代表的第三次工业革命,我们仅仅赶上了个尾巴,而且核心技术都不源于我国。从改革开放到现在,我们基本上都是在学习国外发明的技术,通过引进吸收再重新发展信息技术。所以,能够在历史上第一次同步参与一次技术革命的意义是非常大的,我认为这也是考验我们中华民族智慧和能力的一次革命。

我国总体上处在量子科技第一方阵。现在一定要在基础研究上保持定力

记者:我国在哪些方面已经取得主动?

薛其坤:量子信息技术包含三大领域,即量子计算机、量子量子精密测量/传感。尽管我国原创的技术很少,但在量子计算和量子精密测量上,我国还没有与西方国家形成代差,在量子通信上我国在规模和应用探索方面有优势,例如墨子量子卫星的发射。在相关基础研究上,我国总体上处于世界第一方阵。

记者:没有代际的区别,这是非常重要的。是不是也可以说我国处在量子科技第一方阵呢?

薛其坤:是的,我觉得用处于第一方阵来描述基本上是正确的。

记者:现在还有哪些国家处在第一方阵?

薛其坤:我们传统认识上的G7(美国、英国、加拿大、法国、德国、意大利、日本)。总体来讲,美国的领域最全面,最关键技术领先,综合实力最强。

记者:我国目前的短板是哪些?

薛其坤:第一,量子技术的人才储备不足。因为这个技术比较尖端,很长时间都处在基础研究阶段,近20年,我国基础研究才得到快速发展。人才培养需要时间,不管是量子科技所有领域的人才团队规模,还是杰出的科学家群体,我们都是不足的。第二,一些基本的材料比如关键的元器件和设备仍然依赖进口。和其他领域类似,我们科研人员做量子科技实验,还要依赖部分进口设备,还需要解决完全自主化问题。但是从时代发展来讲,我们基本上达到了在同一个平台竞争的阶段。

记者:我们如果要真正实现经济高质量发展,这一领域的基础性研究非常重要。

薛其坤:你讲得非常好。实际上,基础研究的人才培养,需要很长时间,发展基础研究也是如此。现在一定要保持定力。中华民族的伟大复兴,也意味着科学的复兴,我们要对世界科学作出贡献,对人类科学作出贡献。习近平总书记多次强调基础研究,重视基础研究。我认为,习近平总书记是从中华民族伟大复兴和打造人类命运共同体两方面指出它的重要性。通过科学技术的发展,不仅让我们国家更强大,也为创造人类未来更美好的生活发挥作用。打造人类命运共同体,科学共同体应该是其中的一个部分。

建设一所有中国特色的世界一流研究型大学,培养世界一流人才

记者:您讲了一个特别重要的问题,如果我们要在科学技术上保持先进,我们的思想文化支撑是非常重要的。您不久前履新到了南方科技大学,深圳改革开放已走过40年的历程,南科大也已成立10周年,在这个特别的时间节点,您会怎样建设南科大?

薛其坤:在深圳经济特区建设40周年紀念大会上,深圳被列为中国特色社会主义先行示

范区,进入了特区发展的新时期。要把先行示范区建设好,除了工业的进步、经济的发展、社会的繁荣以外,培养人才、高等教育的发展也是非常重要的。

南方科技大学成立时间短,仅有10年,被教育部定为高等教育综合改革试验校。南科大的改革,首先应该契合先行示范区和粤港澳大湾区规划的需要。南科大发展得好,会对先行示范区的建成起到重要推动作用。我的基本想法是,怎么在中国特色社会主义先行示范区建设一所有中国特色的世界一流研究型大学,培养世界一流人才。这是我担负的重任,是我需要认真思考的重大问题。

营造小朋友把成为科学家作为理想的浓厚氛围

记者:您是我国科学家的优秀代表,您想对青年学生说些什么?

薛其坤:大家生活在信息时代,先进的现代技术让我们生活很便捷,但它是怎么来的呢?要靠科学进步、技术发展。中华民族要实现伟大复兴,百姓要过上更美好的生活,科学的进步和技术的发展非常重要。我衷心希望有更多优秀的年轻人能留在科学界,留在基础研究领域,留在高技术发展领域,潜心钻研。希望小朋友热爱科学,把成为科学家作为自己未来的理想。

记者:我小时候的理想就是成为居里夫人那样的科学家。

薛其坤:是的,现在要通过体制机制创新,营造小朋友把成为科学家作为理想的浓厚氛围,为他们成为科学家创造条件。

记者:我想您会给南科大的师生们提供好的环境,因为您理解他们。

薛其坤:我会朝着这个方向努力。我会向师生们学习、向国内外同行学习、向历史学习,立足深圳、胸怀祖国、面向世界、面向未来,认真思考,争取在建设新时代世界一流大学方面闯出一条“南科大之路”。

人物小传

薛其坤,中国科学院院士,南方科技大学校长,清华大学教授、博士生导师、副校长,国际著名实验物理学家。主要研究方向为扫描隧道显微学、表面物理学、自旋电子学、拓扑量子物理和高温超导性。曾获国家自然科学一等奖1项、国家自然科学二等奖2项,以及陈嘉庚数理科学奖、求是杰出科学家奖、何梁何利科学与技术成就奖等奖项。2005年11月当选为中国科学院院士。2013年带领研究团队在国际上首次发现量子反常霍尔效应。2020年获菲列兹·伦敦奖,成为自1957年该奖设立以来首个获得这一荣誉的中国科学家,第二个来自亚洲地区的科学家。



图① 薛其坤院士在实验室研究量子材料研发技术。

图② 薛其坤院士在清华大学物理系办公室。

图③ 南方科技大学校园一角。(资料照片)

