

据报道,2021年10月,我国量子计算领域双喜临门:“祖冲之号”和“九章”的2.0升级版——“祖冲之二号”“九章二号”均成功构建。

“祖冲之二号”构建了66比特可编程超导量子计算原型机,“九章二号”则再次刷新国际光量子操纵的技术水平,处理特定问题比目前全球最快的超级计算机快10的24次方倍。这意味着,我国已成

为世界唯一在超导量子与光量子两种体系下达到“量子优越性”里程碑的国家。

几十年间,量子计算机一步步从科学家的大胆构想中走向现实。这一路经历了怎样的曲折过程?世界上至今有哪些量子计算机?“祖冲之号”和“九章”的2.0版实现了怎样技术升级?请看本期解读。

量子计算机进入2.0时代

张媛 周强 张扬

高技术前沿

道阻且长,行则将至

1981年,诺贝尔物理学奖得主理查德·费曼提出了两个富有洞察力的问题:经典计算机是否能有效模拟量子系统?舍弃经典的图灵机模型而利用具有奇特性质的量子材料,能否构建模拟量子系统的计算机?

这是人类首次提出量子计算机概念。量子计算机的时代帷幕由此拉开。

量子计算意义深远,因为它开启了一种全新的计算模式。古希腊数学家毕达哥拉斯说,任何事情都可用数来代表。也就是说,任何问题都可变成一个函数计算:输入一个数,通过一个模型演化运算,再输出一个数。

这个模型就像一个黑匣子,利用经典图灵机,利用量子力学时就是全新的量子计算机。

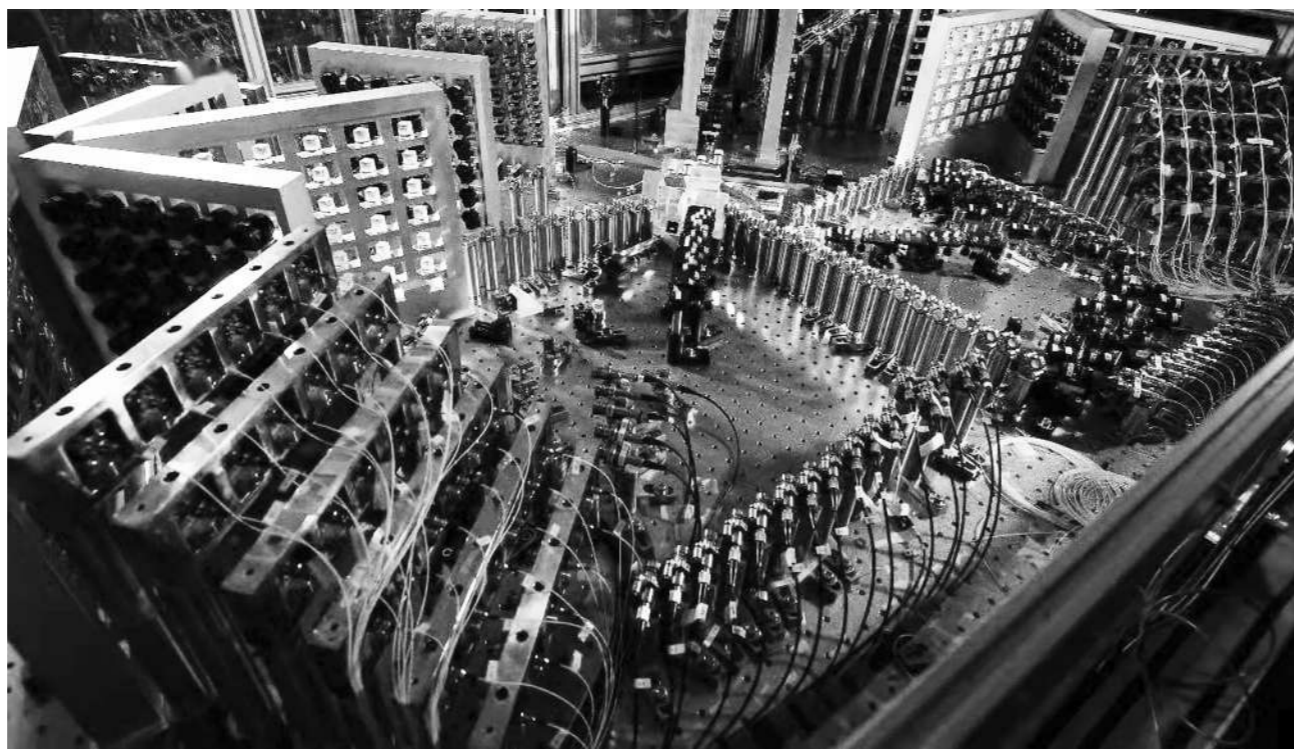
一个标准的量子计算机,通常需要具备3个基本模块:一是软件系统,即量子算法;二是量子信息控制系统,即量子电路,用来确保量子计算中可靠的底层信息处理,这相当于操作系统和编程;三是硬件体系。

三者中首先取得重大突破的是量子算法。影响最大的有两种算法:一种是诞生于1994年的舒尔(SHOR)算法,用于破解大质因数分解,可将分解5000位数字的时间从50亿年减到2分钟,在密码破译方面潜力巨大;另一种是诞生于1996年的格罗弗(GROVE)算法,即量子搜索算法,可从大量无序的对象中快速找到需要的东西,解决“最短路径搜索”“大海捞针”等一些经典计算机很难解决的优化问题。

三者中进展最慢的是物理硬件。制备大规模量子计算机,长期以来挑战性极大,对于多个量子比特的有效测量和规模化集成更是难上加难。因为量子计算机本身就是一个矛盾体,一方面要把量子比特从环境中完全孤立出来,另一方面又要控制它们并使之相互作用。好比每个光子都有很好的量子性能,但要控制很多光子达到像一个光子那样的性能,就不是那么容易了。

科学家们一直在矛盾的“夹缝”中寻找出路。量子态是脆弱和敏感的,极易受到周围环境的影响。在宏观世界中去建造一台量子比特数足够多、操控精度足够高的量子计算机,让无形的量子服从命令,简直需要“巫师一般的魔法”。

经过科研人员几十年的不懈努力,量子计算机陆续形成,现整体处在早期发展阶段。如果类比经典计算机,大体



“九章二号”144模式干涉仪(部分)实验照片。

在电子管时代,可谓“道阻且长,行则将至;行而不辍,未来可期”。

百舸争流,奋楫者先

目前,世界上都有哪些量子计算机?

根据量子比特的制备方式不同,主流的技术路径有超导量子、光量子、离子阱、半导体量子点量子以及量子拓扑等。前4种路径均已制作出量子计算原型机。

超导量子方案是最主流的路线,它用超导体作原料,最大优势在于具有可操作性和可扩展性。这使超导量子成为实现可扩展量子计算最有前景的候选方案之一。

2019年初,IBM首先实现了基于超导系统的50位量子计算机“IBM-Q”。谷歌也是超导系统的追捧者,迅速超越IBM,于2019年9月发布53量子比特的“悬铃木”。2021年,我国可编程超导量子计算机“祖冲之号”问世,量子比特达到62个。

另一条重要路线就是光量子,原料是光。中国科学技术大学使用光量子路线,成功孕育出76个光子的量子计算原型机“九章”。

我们不妨拿光量子路线和超导量子路线比较一下:超导量子比较容易控制,光量子则要复杂得多;超导量子需要在接近绝对零度的超低温下才能确保稳定性,而光量子在室温下就能运行;超导量子能用于制作量子比特的特征比较少,光量子动起来能测量的指标比较多,比如有路径、偏振、角动量等。

同时,两者也都各有“死穴”:光量子的关键在于相互作用很弱,很难制作纠缠态,不过一旦制成就很稳定,可理解为“门槛高天花板也高”;超导量子彼此间作用力强,容易制作纠缠态,但很不稳定。

澳大利亚西蒙斯团队使用的是硅量子点系统,微软发展的是拓扑量子比特方案,还有美国霍尼韦尔领衔的离子阱方案,以及其他更小众的方案,可谓百花齐放,各种路线各有特色和优势。

总之,当今世界各国都在集中力量和科研资源,寻找适合自己的量子计算机实现途径。百舸争流,奋楫者先;千帆竞发,勇进者胜。“祖冲之号”在超导量子赛道、“九章”在光量子赛道都成了冠军。

潜心深耕,中国作答

所谓“量子优越性”,即对于特定任务,量子计算机可以解决,而现有的任何经典计算机运用任何已知算法,都不能在一个可接受的时间内完成。

为了证明量子计算的这种“绝对优势”,可特定一个精心设计的任务,不一定具有实际价值,主要用于证实量子计算的巨大潜力,同时为之后的发展铺设道路。目前,用于演示“量子优越性”的任务,包括随机线路采样、玻色采样、JQP线路等。

比如,随机线路采样任务就非常适合在超导量子计算上完成。它复杂度很高,经典计算很难模拟。“祖冲之号”选择“二维的量子随机行走”这一问题,证明了“量子优越性”。同理,

“九章”完成的是“高斯玻色采样”任务,在光学体系中证明了“量子优越性”。

证明“量子优越性”,可以说是量子计算机研制征程上的一个里程碑。“祖冲之二号”和“九章二号”的诞生,像一对双子星,照亮了量子应用更广阔的前景。

62个量子比特的“祖冲之号”,当时已是世界上公开发表论文提到比特数最多的超导量子计算机。现今完成自我超越的“祖冲之二号”,实现了66个量子比特,又采用全新的倒装焊3D封装工艺以及可耦耦合架构,解决了大规模比特集成问题,实现了比特间耦合快速、精确可调。

“祖冲之二号”对特定任务处理速度比当前最快的超级计算机快一千万倍,所完成任务的难度比谷歌“悬铃木”高2-3个数量级。

另一条路线上,“九章二号”在计算规模和复杂度上,与“九章”相比都有显著提升。“九章”构建的是76个光子、100模式的量子计算原型机,“九章二号”则成功构建了113个光子、144模式的量子计算原型机。“九章”一分钟完成的任务,超级计算机“富岳”需要花费一亿年;“九章二号”一毫秒完成的任务,“富岳”需要算上30万亿年。最重要的是,“九章二号”还具备了部分可编程能力。

潜心深耕,中国作答。在不懈的攀登中,我国已为世界提供了“中国方案”。“量子优越性”并非终点,只是起点,就像显微镜赋予了人们探索微生物世界的途径,天文望远镜搭建了人们探索广袤星空的桥梁,量子计算机意味着对于无限广阔的未知领域,我们即将找到开启的“钥匙”。

科技英才

今年11月7日,中国空间站关键技术验证阶段的第三次出舱活动进行直播。一位身着蓝色试验大褂、扎着马尾辫、戴着金框圆眼镜的地面工作人员,频频出现在镜头里。她的声音穿越天地,指导着400千米高度之上的神舟十三号乘组在太空中操作。

“神舟十三号,机械臂即将转移,请确认安全带与舱体无连接。完毕!”只见她紧盯监控画面,密切关注在轨航天员的操作,指令有条不紊,声音沉着冷静。

她,就是本次出舱活动专项指挥吴昊,也是中国空间站出舱活动首任女专项指挥。

吴昊的代号为“曙光”。对我国载人航天事业来说,“曙光”曾是“星星之火”,点亮了中国人的飞天梦想。

当年,国家启动第一次载人航天计划,名为“曙光一号”工程,但因当时经济基础相对薄弱而停滞。直到1992年,载人航天工程再次启动,被誉为“中国航天员成长摇篮”的中国航天员科研训练中心,肩负起“培养人、保障人、研究人”的职能使命,在多年默默努力后厚积薄发,迎来了载人航天事业的曙光。“曙光”也成为载人飞行任务中航天员系统的代号。

对于在轨航天员来说,“曙光”意味着航天员系统地面人员的全力支持。随着载人航天事业迈入空间站阶段,“曙光”的职能也得到拓展,航天员出舱活动专项指挥这一岗位诞生了。

航天员执行出舱任务,从核心舱进入节点舱并关上两舱之间双向承压舱门开始,到出舱活动任务完成返回核心舱并关上两舱之间的双向承压舱门结束,这期间由“曙光”全程指挥实施,一般时长约10小时左右。

在出舱活动指挥的“接力赛”中,吴昊接过的是第三棒,她深知责任重大。

尽管在地面经过多次出舱活动训练和演练,尽管有一套科学详尽的实施方案和相关排除故障的预案,尽管身后有出舱活动支持小组,但在实际操作中,航天员离开核心舱,只身进入深邃太空,面对的是未知风险,加上天地差异带来的诸多不确定因素,吴昊依然压力山大。

对吴昊来说,她必须对出舱活动整个流程设计非常熟悉,掌握操作的关键点和难点。同时,她还要全面掌握相关排除故障的预案,一旦出现预案内故障,指挥航天员进行相应处置。

执行这次出舱任务之前,吴昊做好了充分准备。她担任出舱活动训练教员两年多,在低压舱、模拟失重训练水槽、出舱活动程序训练模拟器和虚拟现实模拟器等多个出舱活动训练现场,组织航天员进行了上百次训练。她参与设计出舱活动训练的每个环节,不仅熟悉整个流程,对空间站平台设备、舱外服等系统的操作和处置情况都了如指掌。

这次出舱任务中,吴昊和出舱支持小组相关人员,对任务当天的流程和对应测控区进行了多次复核,明确到每一步操作和相应指令。长时间的值班和紧绷的神经使她十分疲惫。可看着航天员平稳出舱,她兴奋得失眠了。她写下了“功不唐捐,幸不辱命”8个字,送给自己。

大学毕业,吴昊最初从事航天员选拔训练室飞船专业技术组工作。为尽快掌握技术状态,在飞船飞行程序训练中,她同时兼任辅助教员岗、记录岗和技术安全岗,几乎每天都泡在飞船模拟器上。上午进行航天员训练,下午摸索飞行程序,晚上学习资料。每个飞行阶段有哪些关键操作、可能

「曙光」穿越天地间

记中国空间站出舱活动首任女专项指挥吴昊

占康 本报记者 安普忠 王凌硕

出现哪些故障、如何进行处置,她反复推演,全部了然于胸。

2019年,由于空间站任务需要,出舱活动训练提上日程。领导希望她加入出舱训练组。这意味着,在这方面没有经验的她又得从零起步。有人劝她,出舱活动训练风险高、强度大,不大适合女教员。可她并未退缩,毫不犹豫地加入出舱活动训练组。

2019年底,航天员出舱活动水下训练拉开序幕,吴昊参与了数百个学时的训练任务。她自学潜水技能,辅助航天员进行出舱活动水下训练,在水里一待就是好几个小时。

风险最高的要数低压环境下的出舱活动训练,航天员需着舱外服在接近真空条件下进行,不能有任何疏忽。吴昊一丝不苟,严格复核相关产品的技术状态。为确保训练流程与真实出舱程序尽可能保持一致,她精心设计训练内容和流程,与各分系统指挥反复推演训练协同指挥程序。

那段时间,吴昊白天组织训练,晚上编写文件,连续加班40天,如期完成任务。

作为出舱活动训练组唯一的女教员,吴昊说:“教员没有男女之分,只有优秀和及格之分。”她的目标,就是向着更优异的方向努力。

新看点

阳光的温暖、沙滩的柔软、食物的美味……对这些美好事物的感知,是每个人与生俱来的本能。那么,身体是如何实现这些功能的呢?

今年的诺贝尔生理学或医学奖,颁给了两位在“发现温度和触觉感受器”方面作出贡献的科学家——戴维·朱利叶斯和阿德姆·帕塔普蒂安。前者用辣椒素,识别出皮肤神经末梢上对热作出反应的感受器;后者利用压力敏感细胞,发现一种对皮肤和内部器官的机械刺激作出反应的感受器。

两位科学家的突破性发现,让人们加深了对神经系统如何感知冷热和机械刺激的理解。

在探索人体奥秘的道路上,他们并非先行者。早在17世纪,就有人提出设想:人体皮肤连接着大脑,皮肤受到刺激,就会将信号传递给大脑。科学家在这一设想基础上,发现了身体存在感觉神经纤维。

初步拨开迷雾后,科学家又向新的

走近2021年诺贝尔生理学或医学奖——

探索人体感觉的奥秘

黄武星 王孝文 刘骥

问题发起冲击,开始探索“外界刺激如何转换成神经细胞间传递的神经电流”。

1961年,科学家发现了耳蜗感应的物理机制:外界声波使内耳基底膜振动,使毛细胞电位发生变化,激发耳蜗神经产生冲动,传至大脑而产生听觉;1967年,科学家在视觉生理和化学过程方面有所突破;2004年,科学家发现1000种基因构成不同的嗅觉受体,解开了嗅觉之谜。

在听觉、视觉、嗅觉的研究相继进入分子领域后,对疼痛或触碰等感觉的研究却没有突破。原来,不同于其他感知,疼痛或触碰等感觉并不局限于身体

的某个部位,这让科学家们一时无从下手。正如朱利叶斯在获奖后感慨:“这是最后一个进入分子分析领域的感觉系统。”

凭借对感觉系统浓厚的兴趣,朱利叶斯带领团队潜心研究,并筛选、创建了一个包含百万个DNA片段的基因库。为把感受“热”的基因选出来,他们采用能引起灼热感的辣椒素作为刺激源,将这些DNA片段逐个导入通常不会对辣椒素作出反应的细胞。1997年,在无数次实验后,其中一个细胞对辣椒素的刺激作出了反应。该细胞注入的DNA片段所编码的蛋白质,就成了感受热的受

体,被命名为TRPV1。

发现触觉感受器的帕塔普蒂安遇到的情况有些类似。他也不得不筛选大量可能的基因,因此所采用的方法与朱利叶斯有异曲同工之妙:他和同事选定一种对压力较为敏感的细胞,这种细胞用微量移液管刺激就能产生可测量的电信号。随后,帕塔普蒂安对初步筛选出的DNA片段分别进行灭活,发现细胞被刺激后不作反应,即确认该细胞中被灭活的DNA片段就是负责机械敏感性的基因。实验证明,该基因所表达的离子通道蛋白,不仅在身体运动感知中发挥关键作用,而且



图为戴维·朱利叶斯(左)和阿德姆·帕塔普蒂安(右)。

可调节其他重要的生理过程,包括血压、呼吸和膀胱控制等。

朱利叶斯和帕塔普蒂安的突破性发现,揭开了温度及机械力触发神经元神经冲动的谜题,为探索人体感觉系统打

开一扇新的大门。

在他们研究基础上,科学家正致力于研究各种感觉发生时的化学变化。一旦取得这些研究成果,有可能对众多疾病的治疗带来革命性转变。