

# 波导模式编码成功“插手”量子计算 多自由度光量子芯片呼之欲出

◎本报记者 吴长锋

前不久,国际知名学术期刊《物理评论快报》发表了中国科学技术大学郭光灿院士团队在光量子芯片研究中取得的重要进展:该团队任希锋研究员与浙江大学戴道铎团队合作,在国际首次实现了片上波导模式编码的两比特量子逻辑门操作。

这一研究成果的实现,不仅为多自由度光量子芯片的实现奠定了基础,也意味着能够实现进行波导模式编码普适量子计算所需的所有基本操作。如此“不明觉厉”的科研成果意味着什么?

## 波导模式引发科学界、 业界诸多关注

“波导模式编码可以从0编码到无穷,因而



视觉中国供图

能够用于高维编码过程。”中国科学技术大学教授任希锋告诉记者,波导通常是用来说定向导电磁场的结构。在光子芯片中,光场被束缚在光波导中,以特定的横向电场分布,或者说能量分布传输。根据波导尺寸、材料特性、光波波长等因素,光会有不同的横向电场分布。

“我们把这些不同的电场横向分布特性称为不同的波导模式。”任希锋说,波导尺寸越大,支持的波导模式就越多。这些不同的波导模式按照电场分布特征进行命名,通常被写为TE<sub>0</sub>、TM<sub>0</sub>、TE<sub>1</sub>、TM<sub>1</sub>等。“当一根波导支持的波导模式为2个或以上时,我们就称它为多模波导。”

“如果我们把信息编码在这些不同的波导模式上,例如TE<sub>0</sub>编码信息比特0,TE<sub>1</sub>编码信息比特1,这种方式就被称为波导模式编码。”任希锋告诉记者,由于波导模式理论上可以有无穷多,所以编码的信息维度就超过0和1这种二维编码方式,可以从0编码到无穷,因而能够用于高维编码过程。

也正是由于波导模式可以用来编码高维信息,提高通信的信道容量,所以在经典片上光通讯中,其引起科学界和业界越来越多的关注。

## 首次将波导模式编码用于量子信息处理

“我们的合作者,戴道铎教授及团队在这方面做了很多有影响力的工作。”任希锋说,在他们之间合作的第一个工作中,就在国际上首次将波导模式编码用于量子信息处理,实现了波导模式、偏振和路径编码纠缠态之间的相干转换,证明波导模式编码对量子信号也是可行的。他们的这项成果在《自然·通讯》上发表。

“由于我们用来携带量子信号的载体是光子,所以要制备编码在波导模式上的量子光源,

便是我们第二个工作。”任希锋说,在这项工作中,他们成功地在硅光芯片上制备了波导模式编码的量子纠缠源。这项研究成果也被发表在《npj量子信息》上。

“正是因为有了前期工作的技术积累和储备,我们的第三个工作是关于逻辑门的,而这项工作也非常具有创新性和挑战性。”任希锋告诉记者,为了实现全片上波导模式编码光学量子信息过程,他们需要实现两比特量子受控非门操作,而这项操作是最重要的一个两比特量子操作,是实现量子计算不可或缺的逻辑门。

“我们先以比较成熟的路径编码方式对量子受控非门进行了实验实现,积累了技术,也摸索了经验。”任希锋表示,在这第三个工作中,他们构建了世界上最小尺寸的光学量子受控非门,对路径编码量子信息过程也是一个很大的促进。而这项工作的成果也发表在著名的《物理评论快报》上。

## 为波导模式编码量子操作铺平道路

任希锋告诉记者,要实现波导模式编码量子逻辑门,需要一些对波导模式独立调控的特殊操作。这里主要包含两类,一类是实现两根波导之间,不同波导模式光场的不同耦合强度;另外一类是实现不同波导模式光场不同的能量衰减比例。

“这些器件都是以前没有的。我们和戴道铎教授团队合作,率先提出并成功研制了这两款新颖的光子器件。”任希锋说,他们自主设计和研制的波导模式耦合器(TMDDC)、模式衰减器(MMA)两种新型多模光子器件可以作为基本器件,应用在其它多模光信息处理中。“我们展示的波导模式编码量子受控非门,再加上单比特旋转,级联后就可以实现各类量子操作,可为相应

这些不同的电场横向分布特性被称为不同的波导模式,波导尺寸越大,支持的波导模式就越多。这些不同的波导模式按照电场分布特征进行命名,通常被写为TE<sub>0</sub>、TM<sub>0</sub>、TE<sub>1</sub>、TM<sub>1</sub>等。

## 任希锋 中国科学技术大学教授

研究领域提供最基本的工具。”

波导模式作为可以实现高维的信息编码技术,其高维信息过程可以带来更大的信道容量、更高保真度的量子操作以及更鲁棒的量子信息传输,因此越来越受到关注。“我们已经在芯片上完成了波导模式编码量子比特的单比特旋转和两比特量子受控非门操作,也就是说,实现了进行普适量子计算所需的所有基本操作。理论上,通过这两类基本操作的大规模级联,我们就能实现波导模式编码的量子计算。”任希锋也坦言,这当中还有很长的路要走。

“另外,我们也证明这种编码方式和原有的路径编码、偏振编码是不冲突的,可以任意相干转换,所以也为多自由度光量子芯片的实现奠定了基础。”任希锋表示。

# 6000份样本告诉你： 患上抑郁症，问题或出在肠道

◎本报记者 陈曦

肠道和大脑,这两个器官看起来风马牛不相关。虽然越来越多的研究发现,肠道和中枢神经系统是协同工作的,但由于其背后机制无法说清,因此“肠脑轴”被提出很长时间以来,都被视

## 肠道菌群影响健康

你能想到反复感冒、口臭腹胀、腹泻便秘、焦虑抑郁甚至出现痤疮湿疹这些健康问题,可能都与肠道菌群密切相关吗?

人类和其他哺乳动物一样,身体被包括细菌、病毒和真菌在内的数万亿微生物占据,这些微生物大部分栖息在人类的肠道中。

“人体肠道内的微生物超过99%都是细菌,细菌大约有10万亿个。这些细菌大致可以分为有益菌、有害菌和中性菌三类。”天津市精神卫生中心心境障碍科主任医师王立娜介绍。

“肠道菌群神通广大,与人类健康息息相关。肠道菌群能调节免疫系统,一旦紊乱,会导致各类代谢疾病,甚至关乎大脑健康和改变宿主基因表达。”王立娜介绍,其中“肠脑轴”的说法近年来已被越来越多的研究所证实。

## 什么在“主宰”肠道菌群

有数据表明,体魄强健的人肠道内有益菌的比例达到70%,普通人则是25%,便秘人群仅有15%左右。

那么是什么“主宰”了肠道菌群的构成? “不同的菌群对不同的食物有不同的偏好,因此人类短期和长期的饮食变化都影响肠道微生物平衡生态,即日常膳食决定了人类肠道菌群的组成。”王立娜说。

例如普氏杆菌喜欢碳水化合物和单糖,拟杆菌属喜欢某些脂肪,而双歧杆菌喜欢膳食纤维。因此饮食的改变会导致菌群物种数量的相应变化。“因为菌群之间互相存在竞争,而竞争决定哪一个微生物在其中生存。”王立娜介绍,如果我们每天习惯吃碳水化合物而不怎么吃蔬菜,那么我们体内喜欢这类碳水化合物的菌群就会越来越多,而喜欢膳食纤维的菌群则有可能被饿死。

以色列魏茨曼研究所科学家在2018年的英国《自然》杂志上发表的一项研究表明,人体肠道菌群的构成主要由饮食和生活方式决定,遗传因素的影响很小。也就是说,即使没有血缘关系,住在同一个屋檐下的人肠道菌群构成也会高度相似。

为“玄学”一般的概念。

不过近日,来自芬兰的一份样本量达6000多人的研究表明,肠道中的某些微生物特征或许与抑郁症相关,其背后的传导机制则与基因有关。

这个研究,似乎又为“肠脑轴”概念增添了新的证据。

“肠脑轴”并非是一根直通大脑,它们之间的联系是通过中枢神经系统和胃肠道之间的生化信号交流进行的,是双向信号沟通网络。肠道菌群与中枢神经系统、内分泌系统和神经免疫系统、交感神经系统和副交感神经系统以及肠道神经系统一起,通过激素和神经回路实现信息交流,调节并控制着许多生理和行为现象。

“肠脑轴”的大网络还与很多其他疾病的发生有关,例如:肠道微生物可通过对甲状腺激素和免疫功能的影响,导致多种甲状腺疾病的发生;同时肠道菌群也是介导肥胖、糖尿病、甚至抑郁症和帕金森病的重要致病机制;在动物研究中发现,无菌小鼠容易表现出自闭症样的社交行为缺陷。

不过,除了膳食这个主要的外在因素,基因是对肠道菌群影响最大的内在因素,一直以来,关于个体肠道菌群之间的差异是受宿主基因型决定还是受膳食决定一直存在争议。

此次芬兰科研人员的研究结论为“遗传基因”决定说又增加了新的证据。

研究团队调取了芬兰的大型健康和生活方式研究数据库里的相关信息。数据库记录了6000名参与者的基因构成和肠道微生物状况,并收集了有关他们的饮食、生活方式、处方药使用信息等。

研究人员对数据进行了梳理,寻找一个人的饮食和遗传如何影响肠道微生物组的线索。研究团队发现,人类基因组的两个点似乎强烈影响肠道中存在哪些微生物:一种含有消化乳糖的基因,另一种则有助于确定血型。而在此前,2月初发表在《自然·遗传学》上的一项研究通过分析荷兰7700人的基因组和肠道微生物之间的关系,也显示了相同的基因位点。

王立娜表示,不管饮食和基因哪个对肠道菌群的影响力更强大,目前仍然需要更深入地了解宿主-微生物组之间复杂的相互作用。



视觉中国供图

## “肠脑轴”连接肠道与大脑

在此项研究中,研究团队还发现,两种导致住院患者感染的常见细菌——摩根氏菌和Klebsiella菌在肠道中的大量存在似乎能引起抑郁。研究团队对181名后来患上抑郁症的人进行了一项微生物调查,发现他们肠道中的摩根氏菌显著增加。

此项研究在某种细菌水平的升高与抑郁症之间建立了联系,似乎“进一步证明”肠道微生物引起的炎症会影响人的情绪。

对此王立娜介绍,近年来,微生物-肠-脑轴(MGB)概念的提出,突破了脑疾病“脑内分子”异常学说的限制,根据肠道微生物可检测、易修饰特性,开发早诊断、早治疗等手段,使脑病防治成为可能。

重庆医科大学附属第一医院郑鹏教授聚焦微生物-肠-脑轴,探索了抑郁症的潜在机制。相关研究显示,缺乏肠道微生物的无菌小鼠表现运动增加,焦虑行为减少,5-羟色胺(5-HT)等神经递质升高,影响突触可塑性相关基因,社会交互受损,且具有性别特异性。

来自爱尔兰科克大学APC微生物组的研究人员针对抑郁症病因、发生发展和治疗的研究发现,肠道菌群不仅控制我们的食物偏好,它还可以控制我们的心情。“该项研究发现,肠道菌群主要通过改变我们的味觉受体、产生改变情绪的毒

素和劫持我们的迷走神经控制我们的饮食行为;通过分泌神经递质血清素和多巴胺让我们开心,通过影响免疫系统促使机体分泌炎症因子使我们情绪低落。”王立娜介绍。

肠道菌群与精神病相关的例子不少见。不久前,《精神病学前沿》报道,两个抑郁症患者的病情通过粪菌移植得到缓解。国内一个多中心合作研究,基于311位患者和健康对照,发现了与抑郁症相关联的肠道细菌物种、代谢通路和代谢物。

了解肠道菌群与精神类疾病的关系,是否可以反过来通过调节肠道菌群治疗精神类疾病?

“确有科研人员进行过类似的研究。”王立娜介绍,2019年上海交通大学医学院附属上海市精神卫生中心陈京红博士团队就带来了一项有意思的研究,发现通过饮食控制等干预调节肠道菌群,可能有助于缓解焦虑。

王立娜最后表示,目前肠道菌群与“肠脑轴”的研究还处在萌芽阶段,抑郁症有多种表现型,细菌也可以通过许多种方式与精神障碍产生关联。此项研究虽然取得了一些突破,但是尚不清楚是否能通过减少或者杀灭肠道中摩根氏菌来缓解抑郁症。这将是个更大的挑战。

## 新知

## 现代原始等级裂腹鱼类 可能起源于青藏高原北部

科技日报(记者胡满斌)近日,兰州大学地质科学与矿产资源学院闫德飞教授团队对采自柴达木盆地渐新统中一批新的裂腹鱼类化石(距今约3000万年)进行了研究,通过与相关现生及化石类群的骨骼形态对比,将其鉴定为古裂腹鱼属的一个新种:曙光古裂腹鱼。该研究成果已在国际古生物学期刊《古生物杂志》上发表。

研究根据化石记录与分子生物学证据认为,现代原始等级裂腹鱼类可能在渐新世时期起源于青藏高原北部。作者将这一新物种命名为“曙光”,冀望它们能够为古裂腹鱼乃至原始裂腹鱼类的早期演化历史提供新线索,并对人类了解青藏高原地历史上生物多样性提供新信息。

基于70个外部形态和骨骼特征的系统发育分析显示,曙光古裂腹鱼是原始裂腹鱼类中一个位于基干位置的类群,其骨骼特征介于裂腹鱼属与肥亚科一些属之间。化石保存有完好的细小鳞片与扩大的臀鳞,类似于今天的原始裂腹鱼类,如裂腹鱼属。对现生鲤科鱼类鳞片退化程度与栖息地气候条件的相关性分析则表明鳞片的大小与温度呈明显的负相关性,当前鱼化石伴生的植物化石显示这些鱼类当时生活在一个温暖湿润的环境中,推测其出现可能与始新世-渐新世之交的全球降温事件有关。

据了解,裂腹鱼类是鲤鱼中一个特殊的类群,现代仅分布于青藏高原及其周边山区,其形态独特,全身覆盖细小的鳞片或裸露无鳞,在臀鳍的两侧各有一列特化的大型臀鳞,在这两列臀鳞之间的腹中线上形成一条裂缝,故得名“裂腹”。裂腹鱼不仅是今天高原地区重要的经济鱼类,包括云南的大理裂腹鱼(弓鱼)、青海的青海湖裸鲤(湟鱼)及新疆塔里木的扁吻鱼(大头鱼);其形成与演化也与过去青藏高原的古环境变化有着密切的联系。

## 汤加火山喷发 不足以导致气候变化

◎本报记者 陆成宽

卫星监测显示,汤加火山喷发将大量火山灰喷射到超过海平面30千米的高空,向大气平流层注入了约40万吨的二氧化硫。

那么,这场21世纪最大的火山喷发,会对全球气候造成什么影响?近日,《大气科学进展》在线发表了我国科学家关于汤加火山喷发的气候影响的重要研究成果,来自中国科学院大气物理研究所(以下简称中科院大气物理所)等单位的研究人员类比了历史上大型火山喷发,估算得出汤加火山喷发后次年全球平均地表温度仅下降0.004℃。其中,澳大利亚和南美洲部分地区降温超过0.01℃,中国大部分地区的降温在0.01℃以内。

历史上,曾有大规模火山喷发导致部分地区出现“无夏之年”的现象。1815年,印度尼西亚的坦博拉火山喷发。这场大喷发从当年4月持续到7月,火山爆发强度指数(VEI)达到了7,为19世纪以来地球上最大规模的火山喷发。在其后的1816年,欧洲、北美等地出现了“无夏之年”,美国出现了6月、7月降雪,降雪的异常现象,欧洲的低温、暴雨让农作物大面积减产,我国史书上也有关于气候异常的记载。

这是由于大规模火山喷发带来了“遮阳伞”效应。强烈火山喷发把硫化物、气溶胶等喷入万米高空,这些物质在长达数月甚至数年的时间内停留在大气的平流层,遮挡太阳光,相当于给地球撑起一柄“遮阳伞”,使得全球温度降低。

“我们的估算结果表明,目前汤加火山的喷发不足以对全球气候产生显著影响,更不会影响到全球变暖的趋势。”论文通讯作者、中科院大气物理所研究员周天军说。

在理解过去的火山喷发对气候影响的基础上,研究人员使用基于气候系统模式的过去千年气候模拟试验数据,发现火山喷发后次年地表冷却的幅度与火山爆发的强度之间存在显著的准线性关系,且该模式能够较好地再现观测中火山喷发后的降温幅度和空间分布。

“我们进一步根据气候模拟中历史上大型南半球火山喷发对地表温度的影响,通过比例因子推算到汤加火山喷发的强度,估算得出汤加火山喷发后次年全球平均地表温度仅下降0.004℃,这一降温幅度处于气候系统内部变率的范畴之内。”周天军说。

同时,研究指出,从近千年的历史来看,单一火山喷发的气候影响一般限于1—2年内。但如果在一一定的时期内,火山喷发的频率集中地升高或者降低,则足以造成这个时期的气候异常。

比如,关于中世纪暖期(公元900年至1300年)和小冰期(公元1550年至1850年)的成因,一般认为前者是由于火山喷发的频率较低造成的,而后者则源于火山喷发的频率较高,此外,太阳辐射度的变化也有影响。“从历史上看,火山喷发在时间上会有一定持续性,想知道这次汤加火山的最终气候影响有多大,我们还需要密切监测其未来的活动态势。”论文第一作者、中科院大气物理所左萌博士说。

“从统计的角度看,火山喷发属于一种小概率事件,但若火山爆发的强度达到一定水平,将会产生较大的气候影响,对于这种‘小概率高影响’事件,从防灾减灾的应急管理角度,国际上通常有预案准备。”周天军说,从技术成熟度的角度看,我国从事火山气候影响的科研团队,目前已经具备很高的强强联手构建火山气候影响应急预测系统的可行性。



视觉中国供图