

“九章”幕后功臣尤立星： 让国产科研仪器“有用且好用”

■本报记者 胡珉琦

近日,量子计算原型机“九章三号”再度刷新了光量子信息技术世界纪录——处理高斯玻色取样的速度比目前全球最快的超级计算机快一亿亿倍!

“九章”背后有一位默默无闻的功臣。他虽然不被大众所熟知,但其名字一直和中国科学技术大学中国科学院量子信息与量子科技创新研究院潘建伟院士团队深度绑定。

他就是中国科学院上海微系统与信息技术研究所(以下简称上海微系统所)研究员尤立星,一个被潘建伟称为国内超导单光子探测器(SSPD)“顶梁柱”的人。

不久前,尤立星入选美国斯坦福大学与 Eindhoven 联合发布的第六版《年度全球前 2% 顶尖科学家榜单》。今年 7 月,他还因在“超导电子学和量子信息处理”领域的突出贡献,获得欧洲应用超导学会(ESAS)颁发的应用超导杰出贡献奖。该奖项全球每两年评选 1 次,每次仅评选 1 位科学家。

在国内,将高端科研仪器做到国际顶尖的科学家是“稀缺品”。过去 15 年,尤立星一直致力于国产超导电子器件与应用成果的研发和转化。他说,他所追逐的并非超导“极限”竞赛。



尤立星 受访者供图

背后的人

2019 年 10 月,谷歌在《自然》发表论文,称其量子计算机已经实现了“量子霸权”。尽管其一度引发争议,但在当时着实刺激了量子圈。

几天后,尤立星就接到了老搭档、中国科学技术大学潘建伟团队成员陆朝阳教授的“任务”——希望他在 5 个月内提供 100 个高性能 SSPD,加速“九章”量子计算原型机的研发。

尤立星团队从事的是用超导技术来做单光子探测器,服务于整个光量子信息领域,无论是量子通信还是光量子计算领域,都与潘建伟团队保持着密切的合作。

“九章”是以光作为媒介实现计算的,而光的量子极限就是单个光子。单光子探测器就是量子极限灵敏度的光测量设备,可以探测单个光子。要是没有这个探测器,用光传递量子信息就不可能实现。

“……需求紧急,请以最高优先级保障,拜托!”潘建伟的微信紧随其后,足见他探测器有多重要。

但只有尤立星自己清楚,这样的需求和极限

任务无异。

对于光量子探测芯片,在实验室完成样品到实现批量供应,还要保证较高的平均探测效率,难度升级是指数级的。

“科学家的研究思维和产业界的产品思维截然不同。”尤立星说,前者想的是怎么在实验室把一个芯片从 0 到 1 做出来,同时,竞争对手追求的是如何进一步提升单个样品的探测效率;而后者考虑的是如何从 1 到 100 实现工程化,不仅要实现较高的成品率,还要对用户友好,能解决客户的实际问题。

尤立星的与众不同是他从 0 开始的那一刻起,就已经想到了 1 到 100 的过程。

作为光量子信息领域的一个关键器件,其国外封锁从始至终。早在 2013 年,国外实验室 SSPD 的最高系统探测效率已经达到 90%,但进口到中国的产品远不及这一水平。

国内单光子探测器研发起步稍晚,同时期,尤立星团队能达到的最高探测效率只有 70% 多,且一度停滞不前。之所以出现这样的困境,其实是尤立星“自找”的。

超导研究存在一个工作温度的问题,选择不同的材料做探测器,将会对应不同的工作温度。“当时有一种热门材料叫硅化钨,它比较容易实现很高的探测效率,但条件是工作温度极低,这意味着需要用昂贵的制冷机来维持环境温度。”

尤立星则反其道而行之,他坚持了一条较高工作温度材料的研究路径,大大降低了应用成本,也让用户使用更加友好。这种材料叫氮化铌(NbN),但 NbN 要达到与硅化钨同样的探测效率,对材料本身和纳米线加工工艺的精细化要求更加苛刻。

于是,当其他研究团队不惜一切代价追求在更低的工作温度下获得更高的探测效率时,尤立星却坚持用尽可能低的成本,默默打磨工艺技术。

直到 2017 年,尤立星团队首次利用 NbN 材料研制 SSPD 创造了系统探测效率达 92% 的世界纪录,竞争局面开始逆转。在达到同等系统探测效率的情况下,SSPD 成本更低、更好用,应用空间也更大。

也是从那时起,尤立星开始了 SSPD 的产业化运作,创立了赋同量子科技。除了探测效率,他还关心产品的成品率,以及不同应用领域技术支持和迭代的问题。

“许多学术研究的套路,就是通过不断刷新指标来积累论文,或者换一种材料发一篇论文。”尤立星坦言,单纯从科研角度出发,选什么材料不重要,追求极致最重要。“但制作科研仪器这还不够,它的最终目的是有用且好用。”

因此,当潘建伟给出了那个几乎不可能完成的任务时,尤立星团队才能凭借相对稳定的成品率,用最短时间测试并筛选出符合需求的批量化探测器。其间,他的团队还实现了 NbN 材料 SSPD 在光通信波段 98% 的系统探测效率,并将这一世界纪录保持至今。

尤立星告诉《中国科学报》,他在最“顶尖”的论文中都不是担当第一作者或是通讯作者,他在其中更像是一名支撑者的角色,帮助中国量子领域的诸多科研团队解决实验科学问题,这才是他的价值所在。

管理高手

高端科研仪器的研发通常需要多学科交叉融合才能完成,尤立星特殊的学术背景起到了关

键作用。

2003 年,从南京大学博士毕业的尤立星开始了海外的博士后研究生涯。4 年里,他从瑞典查尔姆斯理工大学辗转荷兰特文特大学,再到美国国家标准与技术研究院(NIST),在哪儿都不安分。他笑言,自己的博士后时光是在“游学”中度过的。

尤立星本有机会继续留在美国,“但跟着国外老板干,总有一种打工人的感觉”。2007 年,他选择“回家”。

当时,上海微系统所正计划启动超导单光子探测器从无到有的技术链条到底需要什么。

“虽然那些年我一直围绕超导电子学做研究,但并未涉足 SSPD 的具体研究。在瑞典,我更关注基础研究,内容与高温超导约瑟夫逊结器件有关;到了荷兰,接触的是磁探测相关研究;到了美国,又转向太赫兹探测有关研究。”

然而,正是这段不够“专注”的科研经历让他有了丰富的知识储备,也更容易接受新鲜事物,很适合做交叉学科研究。他能迅速把握单光子探测器从应用到技术链条到底需要什么。

SSPD 系统包含了芯片、制冷、光学和电子学系统四大部分。“没有人能在所有方向都做到顶尖,我只需在各个环节找到擅长的研究人员或利用已有的成熟技术,最终合力把与仪器有关的科学问题解决好。这才是仪器研发的根本思路”。

尤立星在组建团队时非常注重成员的不同背景方向,有做器件物理的,有做光学的,有做低温的……“我们团队的最大特点就是交叉程度非常高。”尤立星提到,这样的团队组合到了产业化阶段,在解决用户不同环节的问题需求时能发挥奇效。

在赋同量子科技高管张成俊博士心里,导师尤立星最突出的个人能力也许不是科研能力,而是管理能力。

“要让一台实验室仪器变成一个市场化产品,光靠一个人战斗必输无疑。”张成俊说,“尤老师有一种魔力,从不给我们下绩效指标,但总能成功激起我们的内生动力。”

尤立星则笑着回应,自己非常擅长压力传导,他曾把潘建伟的微信一字不落传达给每一位团队成员。这不仅是压力分担,也是使命和荣誉共担。

张成俊还提到,在尤立星的引导下,企业团队形成了一种独特的文化。从研发到生产各个环

“磨”了 6 年,他终于成功了

■本报记者 徐可莹

由于灌水的机器发生故障,张智辉养了两年多的实验鼠全废了。看着眼前被挤爆的鼠笼水袋和奄奄一息的小鼠,他眼前一黑,不知所措。

这意味着,张智辉关于裸鼯鼠长寿机制的研究进度至少要往后延半年。

尽管 3 年后,这位来自美国罗切斯特大学的博士生还是顺利将成果发表在《自然》,但回忆起博士三年级时那场动物房的意外,仍有余悸。

这是张智辉读博以来最重要的成果之一。他花了近 6 年时间,在全世界首次将来自长寿物种的长寿机制转化至短寿物种上,成功验证了高分子透明质酸可帮助其他物种抗癌、延长健康寿命。

这个漫长又波折的科研故事,得从一间藏着很多“老神仙”的实验室讲起。

实验室里的“老神仙”

研究衰老的实验室大多喜欢选择一些短寿的模式生物做实验,如线虫、果蝇和小鼠等。因为实验周期短,获取资源比较方便,能更快做出成果。但在罗切斯特大学有一间实验室却“反其道而行之”,寻找些动辄活好几十年的长寿物种来研究,如平均寿命 40 岁以上的裸鼯鼠,能活 200 多岁的弓头鲸等。

这间实验室的负责人是该校生物系教授 Vera Gorbunova,她也是罗切斯特大学衰老研究中心的联合主任。Gorbunova 在 DNA 损伤修复领域非常出名,但对很多年轻人而言,她实验室里这些珍贵的“老神仙”样本更具吸引力。张智辉便是慕名而来的学生之一。

由于实验室规模较大,Gorbunova 平时工作又忙,所以她对学生基本采取“放养”模式,很少直接干预他们的课题,但会给予各个课题最大的支持与辅助。尽管同门众多,但每个人做的课题都各不相同,所以彼此间互不竞争,合作居多。这种“又卷又松弛”的氛围很合张智辉胃口:“我本身就是很‘佛系’的人,不喜欢和别人争,主要也争不过。”说着,他腼腆地笑了起来。

张智辉最感兴趣的是裸鼯鼠。裸鼯鼠是衰老领域的“明星物种”,不仅能健康地活到 40 岁,甚至在死前一年还能生育,是人类研究长寿机制的优质样本。

Gorbunova 的实验室多年来一直对裸鼯

鼠的抗癌及长寿机制进行深入研究。在此前的研究中,团队对裸鼯鼠的细胞做了原代培养,发现相比于小鼠细胞,裸鼯鼠的细胞抗癌变能力极强,而高分子量透明质酸是这种抗癌能力的关键。

这种透明质酸在所有动物的体细胞内都存在,只是表达量各有不同。从那时起,科学家就意识到细胞内的透明质酸含量和动物的健康寿命之间可能存在紧密关联。

在张智辉进入实验室前,实验室刚刚成功建立了过表达裸鼯鼠透明质酸合成酶(nmrHAS2)的转基因小鼠模型,这为张智辉之后的研究打下了基础。

针对这批小鼠,张智辉首先花了两年左右时间建立了它们的长寿曲线,发现转基因让雌性小鼠的平均寿命延长了 9% 左右,而雄性小鼠的最长寿命也延长了 14% 左右。

更令人惊喜的是,产生更多大分子透明质酸让小鼠有了更好的抗癌能力。转基因小鼠自发性癌症和化学诱导性癌症的发生概率都极大降低。

看来,来自裸鼯鼠的透明质酸合成能力的确能让其他物种的寿命延长,但这是为什么呢?

“机制难寻,肠道菌群”

花了 3 年多,张智辉最终揭开了小鼠的长寿机制。

对这些小鼠进行研究时,他激动地发现转基因小鼠在衰老过程中有着更低的炎症水平,而与衰老相关的慢性炎症被认为是很多与衰老相关疾病的重要诱因。更低的炎症水平正是 nmrHAS2 小鼠拥有更长健康寿命的关键。

回想起大分子玻尿酸的生理功能,张智辉首先找到了大分子玻尿酸起作用的两条关键路径,一是大分子玻尿酸可以直接中和自由基,从而保护体细胞免受氧化损伤,这样在小鼠衰老过程中会有更少的损伤细胞积累,从源头上降低了与衰老相关炎症的水平;二是大分子玻尿酸可以直接作用于小鼠的免疫系统起到免疫调控作用,在衰老过程中防止免疫细胞过度激活以引发炎症的目的。

在之后的研究工作中,张智辉更是有了一个惊奇的发现:大分子玻尿酸在小鼠体内自合成后,竟然可以激活肠道的干细胞,

促进肠道健康。

“大家有句玩笑话叫‘机制难寻,肠道菌群’,近三四年很多文章都证明了动物在衰老的进程中,肠道的屏障作用会降低,肠道里的微生物就会进入到血液循环里,造成炎症反应。”张智辉解释道。

但他在小鼠身上印证玻尿酸与肠道干细胞之间关系的戏剧性过程充满了戏剧性。

一开始,张智辉只是测试了一下小鼠肠道的通透性,得到了一个很好的结果后,再慢慢筛选,最后发现转基因小鼠中帮助形成肠道屏障功能的杯状细胞和潘氏细胞数量都有明显上升。

由于这两种细胞都是由肠道干细胞分化而来,所以他又检测了干细胞的数量,可惜的是,转基因小鼠并没有更多的干细胞。

没有放弃的他又分离了不同年龄段小鼠的干细胞,在体外进行了类器官的培养,发现肠道干细胞活性随着小鼠的衰老逐渐降低。在把老年对照组小鼠的干细胞用玻尿酸处理过后,张智辉惊讶地发现,那些失去功能的干细胞被再次激活了。

“科研的英文很妙,叫‘research’,就是反复探索。实际上这条路是没有捷径的,很多时候,你必须一遍遍去试。”他说。

但这个“试”的过程非常熬人。在张智辉所在的基础生物学领域,花五六年时间“磨”出一项有质量的研究是很常见的,更别说过程中可能会遭遇一些令人崩溃的突发状况了。

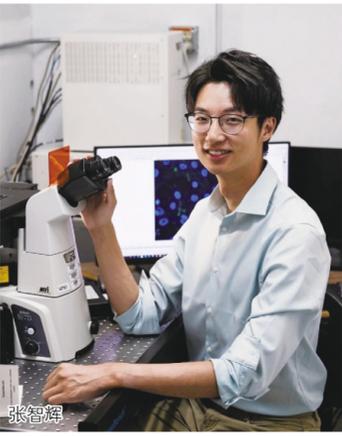
博士三年级时,张智辉就曾经历过这样的崩溃瞬间。由于灌水机器发生故障导致鼠笼水袋泄漏,他养在学校动物房的一批两年龄小鼠全部无法用于后续实验了。

“我等两年,马上就可以用这些小鼠做实验了,却发现全部不能用了。”再讲起这桩事故,张智辉的脸上平静了许多。在他看来,做动物衰老实验就是这样,需要有足够强的抗压能力和规划能力。

“如果你要做小鼠衰老实验,现在就得计划两年后的实验,要为两年后的实验准备足够多的小鼠,以应对各种风险。”他说。

爱拍照的慢性子

张智辉是云南昆明人,2007 年考入云南大学生命科学与技术基地班,2011 年进入北京协和医学院攻读硕士研究生,2014 年夏天



张智辉 受访者供图

毕业后,进入云南省疾控中心工作。

本科及硕士期间,张智辉还没能体会到做科研的乐趣,直到工作半年后他才发觉,科研才是最适合自己的道路。“工作一直在重复同样的事情,那个时候才意识到,做研究是多么有意思,因为你每天都可以做全新的东西。”于是,张智辉辞职,脱产申请读博。

“我硕士期间是做乙肝病毒疫苗研发的,工作以后主要做艾滋病防治工作,从这些经历中汲取的经验是,与其花钱花时间治疗疾病,不如预防疾病,这样成本更低。”

于是,张智辉选择进入衰老研究领域。从 2017 年出国读博至今,由于疫情及签证的缘故,他已经有 6 年多没回家了。但好在他和妻子一起出国并就读于同一院系,两个年轻人相互支持,彼此陪伴,悉心经营着科研之外的小日子。

张智辉是一名摄影爱好者,他经常为实验室的动物拍摄写真,同时,还会为爱穿汉服的妻子拍照。

接下来,张智辉和实验室的伙伴们也许会将“镜头”锁定其他长寿生物。他联系了一间计算生物学和比较生物学交叉的实验室,想继续做博士后。

“现在这个时代,学科交叉很重要。目前我还不能做独立研究,博士后阶段我还想学更多的新技术和实验方法,与更多交叉领域的人沟通交流,往多个方向发展,这样才容易产生新的思路、新的成果。”

张智辉的科研之路就是如此,不慌不忙,稳扎稳打,驶向下一个彼岸。

看“圈”

栏目主持:李惠钰

陈可冀

获 2023 年度“汤用彤国学奖”

近日,中国科学院院士陈可冀获 2023 年度“汤用彤国学奖”。

陈可冀主要研究冠心病、高血压临床治疗及作用机理,冠脉再狭窄的防治及其机理,以及中西医结合基础理论。陈可冀是我国中西医结合事业的奠基人和开拓者,为中医药事业奋斗了 70 余年,不仅在中医药科研、医疗服务、人才培养、学术发展等各方面作出重要贡献,在文化传承方面的影响也尤为突出。

“汤用彤国学奖”被视为国学研究领域至高终身成就奖,该奖项由北京大学邓广铭、周一良、张岱年、季羡林、任继愈、石峻、汤一介等著名学者于 1994 年倡议发起,旨在发扬汤用彤先生“昌明国故,融会新知”的学术主张。

王松灵

任南方科技大学医学院院长

南方科技大学医学院网站显示,中国科学院院士王松灵已任南方科技大学医学院院长。

王松灵本硕博就读于北京大学医学部,曾任首都医科大学副校长等职,现为南方科技大学医学院院长、首都医科大学健康大数据国家研究院院长、中华口腔医学会副会长、北京医学会副会长、口腔健康北京实验室主任。

赵蕾

任国际有机岩石学学会主席

近日,在希腊召开的第 39 届国际有机岩石学学会大会上,中国矿业大学(北京)教授赵蕾荣任国际有机岩石学学会主席。赵蕾 2008 年师从国际著名煤地质学家和矿物学家教授 Colin Ward,于 2012 年在澳大利亚新南威尔士大学获得应用地质学博士学位。她 2020 年获得国家自然科学基金优秀青年基金资助,2023 年获得国际有机岩石学学会杰出贡献奖。

国际有机岩石学学会 1984 年成立于美国,是有机岩石学和煤地质学领域的重要国际性学术组织。