

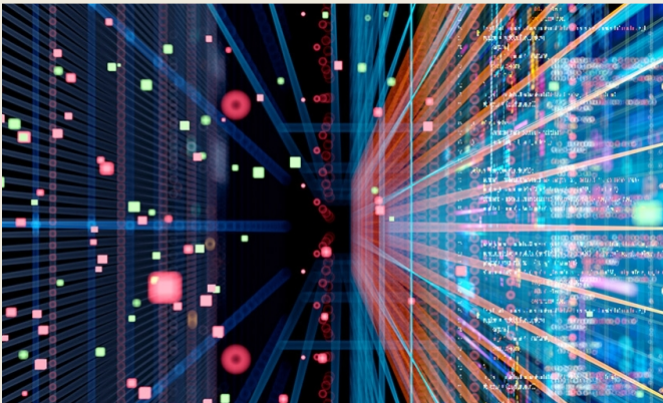
量子模拟攻关燃料电池材料助新能源汽车降本

22 篇 · 7 个来源 | [PDF](#) | 本期汇总免费阅读

本期目录	
今日三件事	
硬件前沿	
算法与软件	
产业与生态	
学术前沿	
今日影响	
编辑点评	
收录报道	22
信息来源	7
阅读时长	约 21 分钟
当前 S O T A	
物理比特	1, 180
2Q 保真度	99. 99%
逻辑比特	96 LQ

01 亮点

今日三件事



1 谷歌与麻省理工模块架构将纠错开销减九成

谷歌与麻省理工学院联合团队提出采用非局部模块间互联的平面模块化架构，将实现量子纠错所需的物理量子比特开销较传统平面表面码（二维拓扑量子纠错码）降低十倍以上^[10]——攻克百万物理比特工程墙，缩短商用容错硬件落地周期。

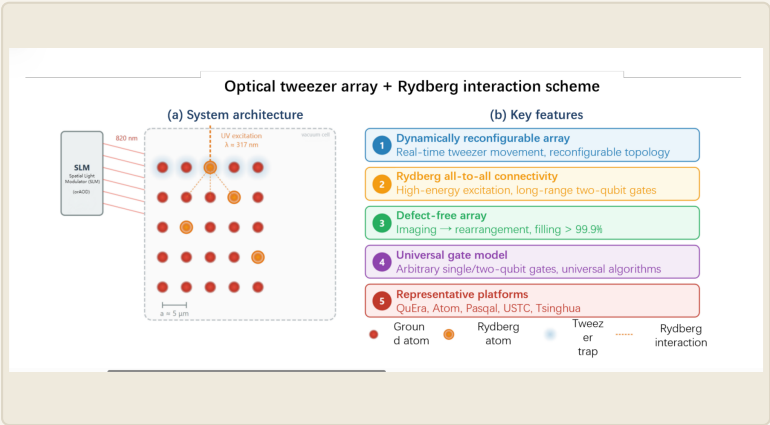
2 纽约州拨3.6亿美元获13.7亿联邦代工配套

纽约州政府宣布向量子技术领域投入3.6亿美元，其中3亿美元用于建设纽约州立大学石溪分校研发枢纽，并获得联邦代工线13.7亿美元资金配套支持^[3]——撬动17.3亿美元产业资本，加速量子器件晶圆量产化。

3 量子算法直通燃料电池电极材料与经济性测算 研究团队建立结合格林函数自能嵌入理论的端到端量子 workflow，直接打通燃料电池强关联氧电极原子级界面特性与商业降本效益测算^[8]——首次直连电池经济模型，为车企材料研发省去近似开销。

02 硬件

硬件前沿



超导架构与分布式互联

IBM沃森实验室研制80厘米相干互联通道

IBM托马斯·沃森研发中心团队成功构建长达80厘米的超导量子芯片间相干互联通道，实现99%的状态传输保真度，并将分布式受控Z门（两比特基本量子逻辑门，简称CZ门）保真度推进至 $96.42\% \pm 0.28\%$ ^[5]。该成果在近一米物理距离上维持了高保真度片间纠缠；对照当前超导单芯片SOTA基线（IBM Heron r2与Google Willow的片上中位双比特门保真度99.5%至99.9%），当前跨芯片CZ门96.42%的保真度其等效两比特误差率（约

3.58×10⁻²) 较片内基线仍落后约一个数量级, 但成功跨过了模块化分布式扩展的物理空间隔离门槛^[5]。距离实用化仍需解决超导微波链路在稀释制冷机间的极低温热负荷损耗及微波-光子相干转换模块集成^[5]。此进展直接利好押注模块化多芯片互联的整机厂商, 预计在未来2至3年内重构单低温恒温器内部芯片排布规范, 降低千比特级超导处理器的单晶圆面积良率风险^[5]。

超导12纳秒CZ门逼近理论极限

科研人员研制出操作时间仅为12纳秒的超导CZ门, 已逼近11.6纳秒的理论量子最速下降时间极限, 且本征误差抑制达到 2×10^{-5} ^[6]。实验证实, 即使器件的高频退相位(量子相干态随机扰动)强度较现有实测基准提高至7倍, 该门操作保真度仍保持稳定^[6]。该指标将常规超导双比特门时长(通常为20至100纳秒)直接压缩至近二分之一, 其理论内禀误差 2×10^{-5} 相当于将保真度推至99.998%理论上限(声称超过公开SOTA水平, 有待多比特阵列独立核实)^[6]; 距离容错实用化仍缺少在百比特级多载频密集阵列中的并行驱动串扰及高能态泄漏实测验证^[6]。该成果将削减超导量子芯片在执行复杂逻辑深度运算时对频繁校准的依赖, 预计将加速超导路线高占空比运算架构的成型^[6]。

ATS耦合器实现9922超高噪声偏置比

研究团队利用非对称穿线超导量子干涉器件(ATS耦合器)构建Kerr-cat玻色量子比特逻辑门, 在真实光子损耗率环境下实现了9,922的噪声偏置比(相位翻转误差与比特翻转误差的比值), 其噪声偏置

能力比传统Kerr-cat方案提升超过570倍，双比特门保真度达到99.69%^[7]。该指标跨过了偏置噪声容错量子纠错的有效门槛，99.69%的双比特门保真度已贴近超导生产级主流SOTA区间（99.5%至99.9%），其极高噪声偏置使二维表面码仅需重点纠正单轴相位翻转，可将所需物理比特冗余减少数倍^[7]；但距离实用化仍受限于多光子跃迁非线性耗散引起的残余比特翻转及高阶微波通道损耗^[7]。该进展直接提振主攻猫态玻色编码的硬件初创企业信心，在未来3年内推动偏置噪声纠错架构与传统transmon路线展开更激烈的技术路线竞争^[7]。

30纳秒量子门容忍4兆赫兹参数漂移

研究人员设计出一种操作时长为30纳秒的鲁棒量子门，在容忍比特间相互作用漂移达到 $2\pi \times 4$ 兆赫兹（MHz）的条件下，将耦合误差控制在 6.21×10^{-7} ^[12]。相对传统需频繁校准的超导微波脉冲方案，该门在30纳秒标准门时窗口内实现了专用型误差抑制，使硬件能够被动抵抗环境噪声与温漂引起的耦合参数跳变^[12]；目前仍缺乏多比特并行执行时的频谱拥挤实测数据^[12]。该技术利好测控系统厂商，可降低超导整机日间校准时间占比，缩短量子云平台离线维护窗口^[12]。

中性原子生态与系统短板

中国中性原子生态评估揭示系统级纠错短板

中国中性原子量子计算生态最新综述显示，国内团队在原子光镊捕获阵列规模、高保真度量子门以及商用整机系统集成方面取得密集硬件成果，拥有自主完备的光学与真空核心供应链，但在系统级量子

纠错与容错量子计算推进上仍落后于欧美团队^[4]。在物理比特硬件参数上，国内数千原子捕获能力已对标甚至超过Atom Computing公开的1,180物理比特基线与哈佛大学数千阵列水平；然而在已验证逻辑比特数指标上，相较于QuEra已实现的96个逻辑比特纠错门操作（基于[[16,6,4]]码与448个物理比特，刊于Nature 2026）以及Quantinuum的48个全纠错逻辑比特，国内在实时纠错闭环与横向容错逻辑门演示上仍存在1至2年的代际差距^[4]。制约该路线走向实用的根本硬约束仍在单次循环重复率（目前普遍处于1至10赫兹的低频瓶颈）以及无破坏中路测量的保真度^[4]。此评估促使国内产学研联盟重构研发优先级，预计资金与研发资源将在未来12个月内从单纯堆砌物理原子数，加速转向逻辑比特编码与FPGA实时解码器研发^[4]。

固态自旋与色心缺陷

金刚石锗空位色心转化效率达到90%

研究人员通过在金刚石化学气相沉积生长过程中注入锗烷（GeH₄），实现了在10纳米超薄层内将空位定向转化为锗-空位（GeV⁻）色心缺陷，其缺陷转化效率达到90%以上，同时维持了超过730纳秒的自旋相干退相位时间（T₂）^[13]。该技术规避了传统离子注入法带来的局部晶格应变不均匀问题，将色心转化效率从传统注入法的不足5%跃升至90%以上，且自旋相干时间追平了传统离子注入的顶级样品^[13]；但相比NV色心毫秒级的相干时间基线仍落后三个数量级，其实用化仍依赖于亚开尔文极低温环境及纳光子谐振腔的高效光子耦合^[13]。该成果为分布式量子网络节点与片上量子存储器提供了可高

良率规模化制备的固态色心材料平台，降低固态量子中继器制备门槛^[13]。

筑波大学利用极化自旋库将相干时间延长至112秒

日本筑波大学团队在25高斯磁场环境下，利用光学极化的NV-缺陷自旋库，使¹⁵NV-探测探针的自旋相干时间维持达到112秒（较采用相同密度的传统P1缺陷体系测得的18.1秒延长至6.18倍）；但实验同时揭示该增益随外加磁场增加而衰减，当磁场升高至800高斯时优势完全消失，极化自旋库的表现反而劣于传统基底^[18]。该实验揭示了极化自旋浴在低磁场下抑制多体退相干的物理机制，将相干寿命推进至百秒量级门槛^[18]；但其强磁场下的性能反转明确限制了该方法在核磁共振等高场传感场景中的适用性^[18]。此进展指明了金刚石量子传感器在低场弱磁探测（如脑磁图与生物弱磁传感）中的工艺优化路径，规避高场场景的盲目工程投入^[18]。

03 算 法

算法与软件

模块化纠错与编译加速

谷歌与麻省理工模块设计削减纠错开销十倍

谷歌与麻省理工学院联合团队提出采用非局部模块间互联的平面模块化架构，在实现量子容错纠错的目标下，将物理量子比特开销较传统平面表面码降低十倍以上^[10]。传统平面表面码在纠错阈值下方运行虽然已由Google Willow（误差压制因子 $\Lambda \approx 2.1$ ）等验证，但其物理与逻辑比特编码比通常

高达105:1乃至上千比一，导致破解实用算法需要数百万物理比特；该模块化设计通过引入非局部跨模块连接，打破二维局部性限制，将编码比压缩一个数量级（逼近Quantinuum级联码2:1及QuEra约4.7:1的高码率水平）^[10]；其技术难点在于模块间高保真度量量子互联通道的工程实现^[10]。该成果直接改写超导与硅基等受限于平面二维布线架构的技术路线图，促使全球整机厂商重新评估芯片拼接与多核片上互联编译方案，硬件落地预期时间表有望提前2至3年^[10]。

超图算法将量子电路模板优化提速606倍

科研人员提出一种基于超图（由多节点广义超边构成的拓扑网络模型）表示的量子电路优化框架，将模板匹配优化速度相对IBM Qiskit等现有主流编译器提升最高达606倍^[9]。该算法攻克了传统简化过程中局部拓扑连接信息丢失的理论瓶颈，在完整保留电路局部上下文的同时消除匹配冗余计算，大幅降低千门级以上深层电路的编译时间开销^[9]。该方案利好量子云计算软件栈，将深层变分算法的云端预编译延迟从小时级压缩至秒级，对现有开源编译工具形成性能替代压力^[9]。

晶格手术动态路由节省55.6%时空开销

研发团队提出面向晶格手术（拓扑量子纠错码的几何拼合与分割操作）编译的按需布线空间架构，在量子算法执行期间实现时空开销（综合空间占位与时间周期的物理资源积）降低55.6%，且编译速度较现有主流工具DasCot提升75.5倍^[11]。该技术首次实现纠错逻辑比特路由通道的动态弹性分配，摆脱了静态预留路由通道导致的大面积物理比特闲

置，直接提升了容错纠错处理器的时空综合利用效率^[11]。此架构有望成为容错量子编译器底层关键规范候选者，有助于在有限物理芯片尺寸内运行更复杂的容错逻辑门序列^[11]。

模拟算法与多体编码

30比特变分算法实现十万分之一相对误差

研究人员开发出针对复杂粒子物理仿真的新型变分量子算法，在30量子比特电路上实现误差低于1%的态制备，变分算法相对能量误差低至 1×10^{-5} ，并将数值推演体系扩展至400量子比特规模^[14]。该算法在高能物理模型模拟中超越此前基准，在400比特规模下维持极低拟合偏差，跨过了经典近似方法在强关联夸克体系模拟中的精度瓶颈^[14]。此进展拓宽了含噪声中等规模量子硬件在高能物理与核物理领域的实用化探索边界^[14]。

56比特芯片验证二进制正交编码优势

科研团队在56量子比特超导处理器上测试了二进制正交编码方案，用于模拟离散多体玻色子系统，在计算精度与量子资源消耗之间取得了优于传统直接离散化方案的时空平衡^[16]。实验验证了二进制正交编码在空间（物理比特数）与时间（逻辑电路深度）上的综合开销优于标准方案，同时指出新探索的Dicke态编码虽运算速度极快但需要数倍的物理比特开销^[16]。该结论为量子化学与凝聚态物理模拟中的连续变量离散化提供了标准化算子工具库^[16]。

产业与生态



ECONOMIC
DEVELOPMENT
NEW MEXICO

政府注资与晶圆代工制造

纽约州落实近17.3亿美元量子产业注资方案

美国纽约州政府宣布向量子科技产业部署3.6亿美元专项资金，其中3亿美元用于在纽约州立大学石溪分校建立量子研究与创新中心，6000万美元投向区域商业化枢纽，并获得联邦芯片代工线13.7亿美元的定向配套资金支持^[3]。这标志着由州政府与联邦资金构建起近17.3亿美元的政产学联合体，产业模式从早期分散的大学实验室孵化转向依托300毫米晶圆代工制造能力的规模化产业集群，直接打通超导、光子及硅基量子器件流片到企业级算力需求的产业闭环^[3]。该投资强化了美东在全美量子硬件制造领域的产业聚集地位，周边半导体与量子资产将直接受益，预计在未来3至5年内拉动千余个高技术制造就业岗位^[3]。

新墨西哥州下拨超1200万美元资助硬件人才扩招

美国新墨西哥州政府在2022财年第一季度就业培训激励计划（JTIP）中划拨超1200万美元资金，并资

助了离子阱量子计算上市公司IonQ以及Bandelier Technologies公司，重点支持两家企业扩招硬件工程、量子系统运维、光量子雷达、量子传感及超表面通信研发人员^[2]。政府补贴直接分担硬科技企业早期高昂的工程实操技师与系统运维人力成本，标志着离子阱硬件制造已进入标准化工程装配与设备维护的规模化扩张阶段^[2]。这为离子阱路线在全美建立第二制造基地提供资金保障，利好制造型企业的现金流优化，加速非学术型实操技术工人的本地化培养^[2]。

资本周期与跨国标准

资本市场确立量子概念股2028年商业化现实检验期

科技产业智库与主流金融媒体在2026年10月下旬针对公开上市量子计算企业的最新评估报告指出，二级市场量子概念股将在2028年迎来关键的商业化现实检验期，届时资本市场将根据企业实际商业合同营收与容错整机交付进度重估估值^[1]。这标志着单纯依赖概念叙事和早期小额研发云访问费用的估值逻辑终结，投资机构将全面转向以毛利率、真实商业客户算力订单及容错逻辑比特交付里程碑为核心的尽调标准^[1]。二级市场溢价空间收窄，将倒逼上市企业在2028年前压缩现金消耗率，并加速一级市场向具备工业落地能力的初创企业头部集中^[1]。

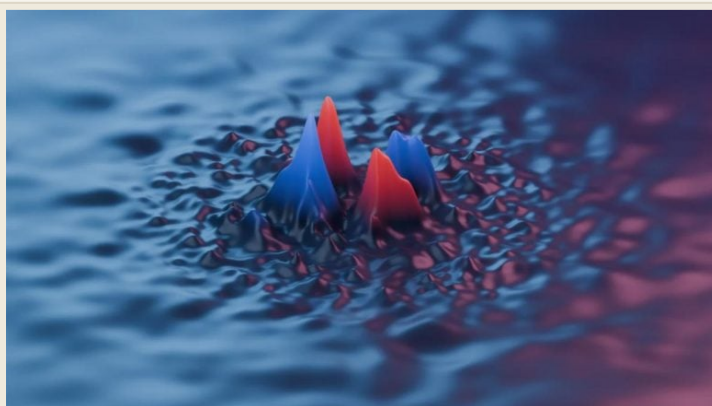
比荷卢QCI伙伴国推进欧洲量子保密通信骨干网建设

2026年10月22日，荷兰量子技术组织（QDNL）在乌得勒支主办比荷卢量子通信基础设施（Benelux-QCI）伙伴会议，联合荷兰、比利时、卢森堡及希

腊四国代表确立了推进欧洲量子通信基础设施（EuroQCI）跨境量子密钥分发（QKD）落地的四大优先行动事项，重点涵盖能力建设、终端用户验证、跨国演示与国际标准制定^[22]。这标志着欧洲官方主导的主权加密通信网络由单一国家内网验证进入跨国骨干网协议互通与接口标准化阶段^[22]。此举为欧洲本土QKD硬件供应商与电信运营商提供确定性采购招标窗口，加速跨国电力量子通信协议与金融加密接口标准的统一^[22]。

05 学术

学术前沿



跨界工业计算与高精度频标

量子 workflow 直通燃料电池电极经济性测算

科研人员开发出用于燃料电池材料筛选的端到端量子仿真 workflow，利用格林函数结合动力学平均场理论（GW+DMFT）以及自能嵌入理论（SEET），在微观原子尺度上模拟强关联氧还原反应电极界面特性，并直接关联至实际燃料电池的经济成本效益模型^[8]。该方案首次跨越了原子级量子强关联物理模

拟与宏观工程经济学之间的多级近似断层，消除了过去依赖经验参数导致的电极寿命与反应势垒预测误差，展示了量子计算从材料物理机理走向真实工业降本测算的全链条能力^[8]。该成果直接利好新能源车企、燃料电池电堆制造商以及氢能材料实验室，使高价贵金属催化剂替代材料的筛选周期从数年缩短至数月^[8]。

跨国原子钟比对精度首次超越 5×10^{-18}

国际计量科研团队完成跨越2220公里物理光纤网络的原子钟高精度比对实验，首次在跨国尺度上实现了优于 5×10^{-18} 的时间频率测量精度，并将精细结构常数（ α ）随时间可能发生漂移的物理约束上限收紧了5倍^[15]。该指标创下跨国超长距离光频标比对的历史最高精度纪录，直接跨过了国际计量委员会重新定义国际单位制「秒」的技术门槛，使基于光学跃迁的新一代光频标全面替代传统微波铯原子钟基准成为定局^[15]。该技术将从根本上重塑全球分布式时间同步基准，未来将在卫星导航、全球电网微秒级故障定位以及极长基线射电天文干涉中发挥关键基础设施作用^[15]。

物质波自旋挤压刷新纪录至-14.57分贝

实验团队在物质波量子传感系统中实现了-14.57分贝（dB）的自旋挤压（一种突破经典散粒噪声极限的量子关联增强技术），刷新了此前振荡控制方案（-10 dB）以及玻色-爱因斯坦凝聚（BEC）干涉仪（ -7.8 ± 0.8 dB）保持的物理纪录^[17]。该进展将物质波干涉仪的测量精度超越标准量子极限的幅度提升了近一倍（噪声压低了4.57 dB以上），为原子重

力仪、重力梯度仪及高灵敏度惯性导航系统打通了极低噪声前端^[17]。这利好量子精密测量仪器制造与深海、地下无卫星信号自主导航系统的装备研制^[17]。

单原子缺陷成像揭示非常规金属电子波干涉

凝聚态物理学家通过扫描隧道显微技术探测非常规金属材料内部的单原子缺陷，捕捉到传导电子波发生量子干涉散射的特征斑图，揭示了该金属中受拓扑物理机制保护的非平庸电子态输运行为^[20]。该实验为理解强关联非常规导电材料的费米面拓扑结构提供了原子级实空间直接观测证据，避免了宏观平均测量抹平局域电子相互作用的缺陷^[20]。此成果为新型低耗散量子电子器件与非常规超导材料的机理探索提供基础实验指引^[20]。

06 影响

今日影响



- 1 **大型芯片代工厂与超导量子硬件商：**纽约州联合联邦砸入17.3亿美元布局代工制造枢纽，加之谷歌与麻省理工提出模块化架构将纠错物理比特开

销压缩十倍，预示着量子计算正在告别单芯片极限界标时代，转向依赖300毫米晶圆代工厂与模块化跨芯片互联的标准化量产路线^{[3][10]}。下一步关注GlobalFoundries等代工厂量子工艺节点的良率爬坡及微波光子互联标准的建立。

- 2 **新能源车企与燃料电池电极研发团队：**量子算法首次打通强关联氧电极从微观界面机理到宏观电池经济性模型的全链路测算，摆脱经验近似，大幅缩短非贵金属催化剂的筛选试错周期^[8]。下一步关注车企材料实验室与量子软件团队在真实电堆工况数据下的算法联合验证。
- 3 **中性原子量子计算研发生态：**全球产业对中性原子体系的评估焦点已从单纯光镊原子捕获数量彻底转向能否实现高频重复纠错与横向逻辑门；中国硬件虽然在物理阵列和上游供应链上具备规模优势，但逻辑比特纠错的代际落后正倒逼国内团队重构研发重心^[4]。下一步关注国内头部科研机构在实时解码器芯片及连续装载技术上的突破进展。
- 4 **高精导航与时频精密测量产业链：**跨国原子钟比对首次跨过 5×10^{-18} 精度门槛，为国际「秒」定义的光学化改写奠定最后基石，物质波自旋挤压亦刷新至-14.57 dB^{[15][17]}。下一步关注光纤授时网络与便携式光频标在下一代厘米级高精卫星导航地面基站中的工程化落地。
- 5 **二级市场量子科技投资者：**距离2028年二级市场商业化现实检验期不足两年，叠加新墨西哥州等地方补贴向实操技师倾斜，单纯依靠物理比特数宣传已无法维持高估值倍数^{[1][2]}。下一步紧盯

头部上市公司商业合同的真实履约率与现金流断流风险。

07 编辑

编辑点评

硬件系统工程正在告别「单芯片物理比特军备竞赛」，转向「以纠错开销为核心的架构级协同优化」。从非局部互联的模块化拓扑使纠错开销缩减十倍，到超导长距离芯片间微波互联跑通99%状态传输，再到编译器对晶格手术路由空间的动态压缩，行业正全面达成共识：无法有效降低物理冗余的硬件堆叠已无商业前途。当前资本流向从概念研发转入晶圆代工产线建设，正是这一工程理性回归的直接体现。

应用落地的估值锚点正从「通用算力叙事」收敛至「高附加值工业垂直场景」。无论是直接量化经济回报的燃料电池电极机理仿真，还是逼近重新定义时间基准的跨国超精光频标比对，量子技术的价值衡量正在接受严苛的真实工业投入产出比检验。面对2028年二级市场商业化兑现的时间窗口，唯有在纠错物理开销上实现数量级压降、并在特定工业研发流程中展现不可替代精度的路线，才能穿越资本周期的现实大考。

参考资料

- [1] IQT Sunday Edition
- [2] New Mexico Deploys JTIP Workforce Grants to Support Quantum Hardware Hiring at IonQ and Bandelier Technologies
- [3] New York Deploys \$360 Million for Stony Brook and Regional Hubs Supported by \$1.37B in Federal Foundry Commitments
- [4] Review Unpacks China's Surging Neutral-Atom Ecosystem: World-Record Arrays, Commercial Systems, and Scaling Milestones
- [5] T. J. Watson Team Builds Meter-Scale Links Achieving 99% State Transfer
- [6] Researchers Achieve Robust 12ns Controlled-Z Qubit Gates
- [7] Researchers Build Qubit Gates with 99.69% Fidelity
- [8] Researchers Simulate Material Screening for Fuel Cells with Quantum Computing
- [9] Researchers Accelerate Quantum Circuits by up to 606x
- [10] Google and MIT team cut qubit overhead tenfold with module design
- [11] Researchers Cut Quantum Compilation Time 75.5x with New Router
- [12] Researchers Build Robust Quantum Gates Tolerating 4MHz Coupling Shifts
- [13] Researchers Achieve 90% Efficiency Creating Germanium Quantum Defects
- [14] Circuits Prepare States with Errors below One Percent on 30 Qubits
- [15] Researchers Measure Clock Difference at New Accuracy
- [16] Researchers Test Binary Quadrature Encoding on a 56-Qubit Chip
- [17] Researchers Achieve 14.6 dB Spin Squeezing in Matter Waves
- [18] Tsukuba Team Extends Qubit Coherence Past Limits in Diamond
- [19] Why partisan politics may be changing people's accents
- [20] Tiny Atomic Defects Reveal a Quantum Secret Hidden Inside an Unusual Metal
- [21] Vote! (Israeli edition)
- [22] QDNL Convenes Benelux-QCI Partners to Advance EuroQCI QKD Priorities

量子研究内参

全部期数 · 周刊深度解析 · 每日快报 → qbitbrief.com

FOR RESEARCH REFERENCE ONLY

配图源自所引论文与新闻稿；如引用不规范，请联系编辑部删除。