

# 九章光量子计算原型机求解图论问题

**本报讯** 中国科大潘建伟、陆朝阳、刘乃乐等组成的研究团队基于“九章”光量子计算原型机完成了对“稠密子图”和“Max-Haf”两类图论问题的求解，通过实验和理论研究了“九章”处理这两类图论问题为搜索算法带来的加速，及该加速对于问题规模和实验噪声的依赖关系。该研究成果系首次在具有量子计算优越性的光量子计算原型机上开展的面向具有应用价值问题的实验研究。

量子计算机的物理实现是当前科技前沿的重大挑战之一。“量子计算优越性”是指，通过高精度地操纵近百个物理比特，高效求解超级计算机无法在合理时间内解决的特定的高复杂度数学问题。这一步的意义在于首次从实验上确凿地证明量子计算加速，并挑战“扩展的丘奇—图灵论题”。

只有在实现“量子计算优越



性”的基础上，量子计算应用的实验研究才有望带来量子加速。

近期，潘建伟团队在继续发展更高质量和更强拓展性的光量子计算原型机的同时，开展了将“九

章”所执行的高斯玻色采样任务应用于图论问题的研究探索。图论起源于著名的“哥尼斯堡七桥问题”，被广泛用于描述事物之间的关系，例如社交网络、分子结构和

计算机科学中的许多问题均可对应到图论问题。高斯玻色采样与图论问题具有紧密的数学联系，通过将高斯玻色采样设备的每个输出端口映射到图的顶点，将每个探测到的光子映射到子图的顶点，研究人员可以利用实验得到的样本加速搜索算法寻找具有更大密度或Hafnian的子图的过程，从而帮助这两类图论问题的求解。这两类图论问题在数据挖掘、生物信息、网络分析和某些化学模型研究等领域具有重要应用。该工作中，研究人员首次利用“九章”执行的高斯玻色采样来加速随机搜索算法和模拟退火算法对图论问题的求解。研究人员在实验中使用了超过20万个80光子符合计数样本，相比全球最快超级计算机使用当前最优经典算法精确模拟该实验的速率快约1.8亿倍。

该论文第一作者是博士研究生邓宇皓、龚思秋、顾义超。（宗和）

# 中国科大研制出可动态调控太阳光辐射的智能窗户

**本报讯** 近日，中国科大俞书宏院士团队提出一种智能窗户制备新策略，利用气-液界面协同组装的方法，分别将电致变色、热致变色与光谱可调的纳米功能单元进行有序共组装，制备出可动态调控太阳光辐射的智能窗户，为建筑物提供更加有效的太阳光谱调控和热量管理窗口。相关成果发表于《自然·通讯》。

在建筑物中，减少空调、暖气等室内温控设备的过度使用是实现节能减排目标的重要途径之一。窗户作为太阳光辐射能量进入建筑室内的主要媒介，安装可以阻挡太阳光辐射和调节室内温度的智能化窗户对于构筑节能建筑至关重要。

研究人员基于一维纳米材料独特的光学性质，合成并混合不同长

径比的Au纳米棒，这些Au纳米棒的混合物可以选择性吸收760-1360 nm波段的近红外光，不会过多影响到可见光的透过，从而保证了室内的采光照明。

随后，将多尺寸的Au纳米棒混合物与电致变色W<sub>18</sub>O<sub>49</sub>纳米线和导电Ag纳米线共组装成有序的网状结构。通过外部供电，智能窗户的外观颜色发生显著改变。两者的协同作用进一步提高窗户对于太阳光的阻挡性能。采用相同的界面共组装策略，研究人员基于不同W掺杂量的W-VO<sub>2</sub>纳米线的共组装，制备出具有宽响应范围的热致变色智能窗户(WRT)。与单一类型VO<sub>2</sub>纳米线的热致变色窗户相比，该智能窗

户将狭窄的响应温度从68°C扩展到30-50°C这一较宽的温度范围。在这种宽响应范围智能窗户中，处于热致变色状态下的W-VO<sub>2</sub>纳米线数量能够随着环境温度的变化而变化，从而动态调控智能窗户的变色性能。

当智能窗户安装在房屋上时，它们会选择性地阻挡太阳辐射，并根据施加的电压或环境温度的变化动态调节室内温度。研究人员与热科学与能源工程系的赵斌特任副研究员和裴刚教授等合作，并进一步对建筑的功耗进行了仿真模拟，分析出在不同气候类型的地区中，相较于普通玻璃窗户，SLE和WRT智能窗户可以在炎热的月份内节省

下更多的能源功耗。

这项研究提出一种基于多组分功能纳米基元的共组装策略实现了可用于太阳光谱调控智能窗户的快速构筑，通过调控多类型材料的组分和结构显著改善窗户的光学性能。这种共组装策略具有操作简便且易于大规模制备的优势，为今后新型电致变色和热致变色智能窗户的设计、制备和应用提供新的解决方案。

中国科大博士生盛思哲、南方科技大学王金龙助理教授和中国科大的赵斌特任副研究员为共同第一作者，论文通讯作者为刘建伟教授和俞书宏院士。

（合肥微尺度物质科学国家研究中心 化学与材料科学学院）

**本报讯** 近日，中国科大赵纯教授带领的大气科学先进计算实验室揭示了降水对青藏高原污染物年际变化的影响机制。研究成果发表于《自然》合作期刊《气候与大气科学》。它是自然出版集团旗下在地学领域推出的期刊，旨在发表气候学和大气科学领域的高水平创新性研究成果。

青藏高原，又称“第三极”，因其独特而广袤的地貌以及众多的冰川资源，对全球及其所在区域的气候产生了深远影响。虽然高原的大气质量相对清洁，但其地理位置紧邻污染严重的印度恒河农业平原。每年春季，南亚农业平原的生物质燃烧成为高原南部气溶胶的主要污染源。这些污染物跨境传输至高原后，通过加热大气和地表积雪，在环境中发挥至关重要的作用，进一步影响亚洲季风气候和全球超过40%的人口的供水。以往研究发现，传入高原的污染物呈现显著的年际变化，但其背后的机制尚不完全明了。

赵纯团队采用了中国科技大学版的WRF-Chem模型，通过控制和比较排放及气象条件的差异及细化各个物理、化学过程对污染物浓度的贡献量，进一步揭示了气象要素对高原污染物年际变化的影响。

在一致的气象条件下，南亚燃烧排放量大的年份会模拟出更高的大气光学厚度。而在相同的排放条件下，降水较弱、总风速较强的年份模拟出的高原污染物浓度更高。因为高原大地形作用，更强的地表风速伴随弱的南风会降低南亚燃烧源区的地形降雨。降雨的减少会引起火灾频率的增加并有利于火灾蔓延，从而增加燃烧排放。另一方面，降雨通过湿润降作用也会减少空气中的污染物。同时，由于南风在南亚跨境传输中的关键作用，传输过程对高原污染物的贡献也会随之减弱。

以往的研究强调了基于统计分析的总风速对高原污染物年际变化的调制。相比之下，本研究确定了喜马拉雅山脉南部的降雨量比风速对季风前季节高原上空气溶胶年际变化的贡献更大。本研究强调了在存在多种因素复杂混影响的情况下建立因果关系的机制分析和数值模拟的必要性。

中国科大赵纯教授为通讯作者，博士研究生刘唯琛为论文第一作者。

（地球和空间科学学院）

# 中国科大发展基于第一性原理的动量空间载流子动力学方法

**本报讯** 中国科大赵瑾教授、郑奇靖副教授在自主知识产权的计算软件Hefei-NAMD中实现了针对动量空间载流子动力学实时演化的第一性原理计算方法，该成果发表于《自然·计算科学》。

固体材料中的载流子动力学是凝聚态物理中的重要问题，决定了光电、光伏、谷电子学、自旋电子学等器件的效率，从时间、空间、能量和动量等多个维度来理解和研究载流子动力学一直是科学家们追求的目标。

赵瑾、郑奇靖团队通过在简谐近似下将电子态波函数用透热基组展开，将电声耦合矩阵元直接引入哈密顿量，用以代替之前从分子动力学出发得到的非绝热耦合矩

阵，从而在Hefei-NAMD中实现了动量空间real-time载流子量子动力学的模拟（简称NAMD\_k）。与过去的非绝热分子动力学方法相比，NAMD\_k方法不需要使用超胞进行分子动力学计算，只需要利用单胞计算电声耦合即可，大幅度降低计算量。另外，这种方法除了可以模拟电子/空穴在动量空间的动力学过程，还可以得到载流子弛豫过程中声子激发的信息，从而为光致相变

以及光催化的研究提供有力的工具。

此次工作中，他们用最新发展的方法研究了石墨烯材料热电子弛豫的动力学过程。他们发现石墨烯中的热电子弛豫存在一个0.2 eV的激发阈值，当热电子初始激发能量大于0.2 eV时，无论是热电子能量弛豫还是K-K'的谷间散射，发生的时间尺度都在皮秒量级，此时电子耦合的是能量较高的光学声子；当激发能小于0.2 eV时，电子

只能与较低能量的声学支声子耦合，能量弛豫与谷间散射的时间尺度都会加长到纳秒量级。本工作为研究材料中的载流子在动量空间中的动力学行为提供了有力的工具，也为研究光致相变、光催化提供了可能的技术手段。

论文第一作者郑镇法为物理学博士生，通讯作者包括史永亮博士，郑奇靖副教授与赵瑾教授。

（物理学院）

# 中国科大取得量子密钥分发攻防研究重要进展

**本报讯** 我校郭光灿院士团队的韩正甫、王双、银振强、陈巍等发现了量子密钥分发（QKD）发送端调制器件的一种潜在安全性漏洞，并利用该漏洞完成的量子黑客攻击实验表明：当QKD的发送端未对该漏洞进行严格防护时，攻击者有可能利用其获取全部的密钥信息。两项成果分别在线发表于《光学》和《应用物理评论》，并入选当期的编辑推荐工作。

QKD理论上可以在用户之间生成信息论安全的密钥，然而实际设备的非理想特性可能会与理论假设不符，从而被窃听者利用。因此，对QKD系统的实际安全性进行全面而深入的分析，进而设计更完善、更安全的实际系统，是推进QKD实用化的重要环节。郭光灿、韩正甫研究组在QKD系统的实际安全性分析及攻防技术上取得了一

系列研究成果。

在本工作中，研究组提出了通过外部注入光子操控QKD发送端核心器件的工作状态，进而窃取密钥的攻击思想。研究组首先提出和分析了在商用铌酸锂器件中较显著的光折变效应对QKD的影响，进而设计和验证了对BB84协议QKD系统的攻击方案。实验结果表明：攻击者仅需从外部注入3nW的诱导光，就能成功地实施攻击。团队进一步对测量设备无关型QKD系统设计了发送端攻击方案：攻击者在测量发送端发出的所有量子态的同

时，通过注入诱导光引发发送端铌酸锂调制器的光折变效应，从而隐藏其测量行为引起的扰动。研究组利用该方案完成了首个对运行中的测量设备无关QKD系统的量子黑客攻击实验，证明在不被察觉的情况下，窃听者可以获取几乎全部的密钥。针对以上安全性漏洞和攻击方法，研究组也提出可以有效防御该漏洞的系统设计思路和技术实现方案，验证了通过良好的系统设计和优化的器件使用方式，可以有效提升QKD系统的实际安全性。

研究组的成果为提升QKD系

统的实际安全性研究打开新的窗口，既发掘和分析发送端潜在漏洞及其对系统实际安全性带来的威胁，也提出了相应的解决方法。该成果有助于引发领域研究人员对QKD实际安全性的更深入、更全面的思考，对推动QKD的实用化和标准化有重要的意义。

《光学》论文第一作者为博士后卢奉宇和博士生叶鹏，通讯作者为王双教授和银振强教授；《应用物理评论》论文的第一作者是博士生叶鹏，通讯作者为陈巍研究员。（量宗）

（地球和空间科学学院）

# 中国科大揭示降水对青藏高原污染物年际变化的影响机制