

浦江创新论坛 研究报告

(2020 年第 14 期, 总第 133 期)

上海浦江创新论坛中心

2020 年 12 月 31 日

2020 浦江创新论坛专题简报之十四 新型量子器件和量子计算的发展

编者按：2020 浦江创新论坛——未来（科学）论坛 2 以“新型量子器件和量子计算的发展”为主题，来自国内外的知名专家学者围绕新型量子器件和量子计算学科前沿与未来发展展开深入研讨。本期简报基于未来（科学）论坛 2 嘉宾¹报告整理而成。供参考。

¹ 与会嘉宾包括：中国科学院院士、复旦大学副校长张人禾，中国科学院院士、国家自然科学基金委员会副主任、北京大学物理学院教授谢心澄，中国科学院院士、中国科学技术大学副校长杜江峰，中国科学院院士、发展中国家科学院院士、武汉大学物理科学与技术学院教授徐红星，上海交通大学特聘教授、低维物理与界面工程实验室学术带头人贾金锋，复旦大学物理学系教授沈健。

2020 浦江创新论坛专题简报之十四

新型量子器件和量子计算的发展

以量子器件和量子计算为核心的新技术不仅是超越现代计算性能的信息技术发展新方向，更是推动下一代信息技术发展的革命性力量，将对全球信息技术和产业发展产生巨大影响。习近平总书记在2020年10月16日中共中央政治局就量子科技研究和应用前景举行的第二十四次集体学习时强调，要充分认识到推动量子科技发展的重要性和紧迫性，加强量子科技发展战略谋划和系统布局，把握大趋势，下好先手棋。与会嘉宾一致认为，世界科技强国纷纷布局量子信息科技领域，发布科技战略，瞄准新一轮科技发展的制高点，加快发展量子科技，促进经济社会高质量发展。我国要把握时机，在量子计算、精密测量和新型量子器件方面积极布局，抢占全球竞争至高点。

一、量子器件和量子计算发展现状

一是量子科技的发展将引领未来科技发展。中国科学院院士、复旦大学副校长张人禾指出，以量子计算为核心的前沿研究突飞猛进，对材料科技、人工智能等诸多领域的颠覆性影响开始显现，将引领新一轮科技革命和产业变革方向。中国科学院院士、中国科学技术大学副校长杜江峰指出，量子技术可分为三个方面，量子计算、量子通信或量子密码、量子精密测量或量子度量。量子力学已在信息时代发挥巨大作用，激光、超导、磁共振、雷达等都与量子科技有关，现在的量子力学是第二次量子革命。把一个技术发展到极端条件做到极致的时候，一定会推动新的科学现象的发现以及新技术的发展。中国科学院院士、发展中国家科学院院士、武汉大学物理科学与技术学院教授

徐红星指出，量子器件和量子计算的方案、手段各种各样，对于量子微观世界我们认知越多，能够达到的计算就越近。

二是量子计算面临两大难点。保持体系的量子相干性和纠错能力是量子计算的难点。中国科学院院士、国家自然科学基金委员会副主任、北京大学物理学院教授谢心澄提出，量子体系、量子相干性的出现，通常需要凝聚态体系在很低的温度、很小的尺度等极端条件，这些条件往往很难保持导致量子退相干。但是拓扑特性不受外界因素影响，可以保持量子的特征，成为量子计算的重要分支。上海交通大学特聘教授、低维物理与界面工程实验室学术带头人贾金锋提出，量子计算具有远超经典计算机的计算能力，能够解决经典计算解决不了的一些问题；但也存在易出错且纠错成本较高等问题。拓扑量子计算在硬件层面不需要纠错，但由于没有找到真正的非阿贝尔任意子，以致拓扑量子计算是当前进展最慢的方案。

三是量子计算的应用还需要长期过程。杜江峰认为，量子计算的原理是清晰的，技术工艺还需要不断进步，需要超越一定的技术门槛，使它能够真正进入应用，这是一个长期的过程。徐红星提出，新型量子器件和量子计算的发展，取决于我们对量子世界的理解与认识，属于逐步发展与互相迭代的过程，不是一蹴而就的。

二、 未来量子器件和量子计算的重点方向

一是量子计算将是后摩尔时代的标志性技术。中国科学院院士、复旦大学副校长张人禾提出，量子计算是芯片尺度突破经典物理极限的必然产物，是后摩尔时代具有标志性的技术。杜江峰指出，量子计算可以解决经典计算机的量子效应和热耗散等问题。现在已有 46 种量子计算方案。有些物理过程、化学过程可以通过量子计算实现量子

模拟。**贾金锋**提出，费米子与其反粒子相同的马约拉纳费米子可被用于形成马约拉纳零能模，该模具有三个特点：零能峰、空间锥形分布、自旋相同。马约拉纳零能膜可以用于量子计算，是当前的研究热点。**杜江峰**提出，由于工艺技术与现有的硅电工艺技术相近，量子阱比特、超导比特等方向研究很热。量子人工算法已经实现，未来即便量子计算机研制成功，也一定是与经典计算机并存的。

二是量子精密测量未来应用领域广泛。杜江峰提出，量子相干性为量子精密测量提供了坚实基础。量子精密测量技术可以把核磁的谱学灵敏度、空间灵敏度提高 100 万倍，信号灵敏度提高 100 亿倍，从而由固态谱学变成液态谱学，实现了单分子蛋白质的测量。这项里程碑式的工作为单细胞测量提供了技术支撑。他指出，未来 5-10 年，精密测量可以作为极端条件，应用于科学发现和探索，取得一些科学新发现、技术新发明；也可以应用在生命科学、化学、物理等领域，并形成一些新的交叉学科。

三是量子器件的研发将进入快车道。徐红星提出，纳米光腔是一种新的量子器件，集成了所有光腔的特性，并具有电子隧穿效应、空间电子等特性，用途广泛，对于物质科学的研究和发展将起到巨大的推进作用。波导量子器件通过波导来实现传播，可以实现网络中如两个光子的相干、相长，输出的时候就会有输出或者没有输出，这样就可以制备一些逻辑器件。可以做半导体等离子激元的功率器件，实现简单的运算。

编辑：陈红光、刘笑