

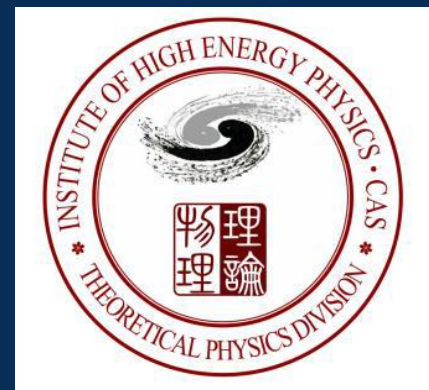
宇宙线对超导量子比特关联错误的影响

刘朝峰/蔡肖夏

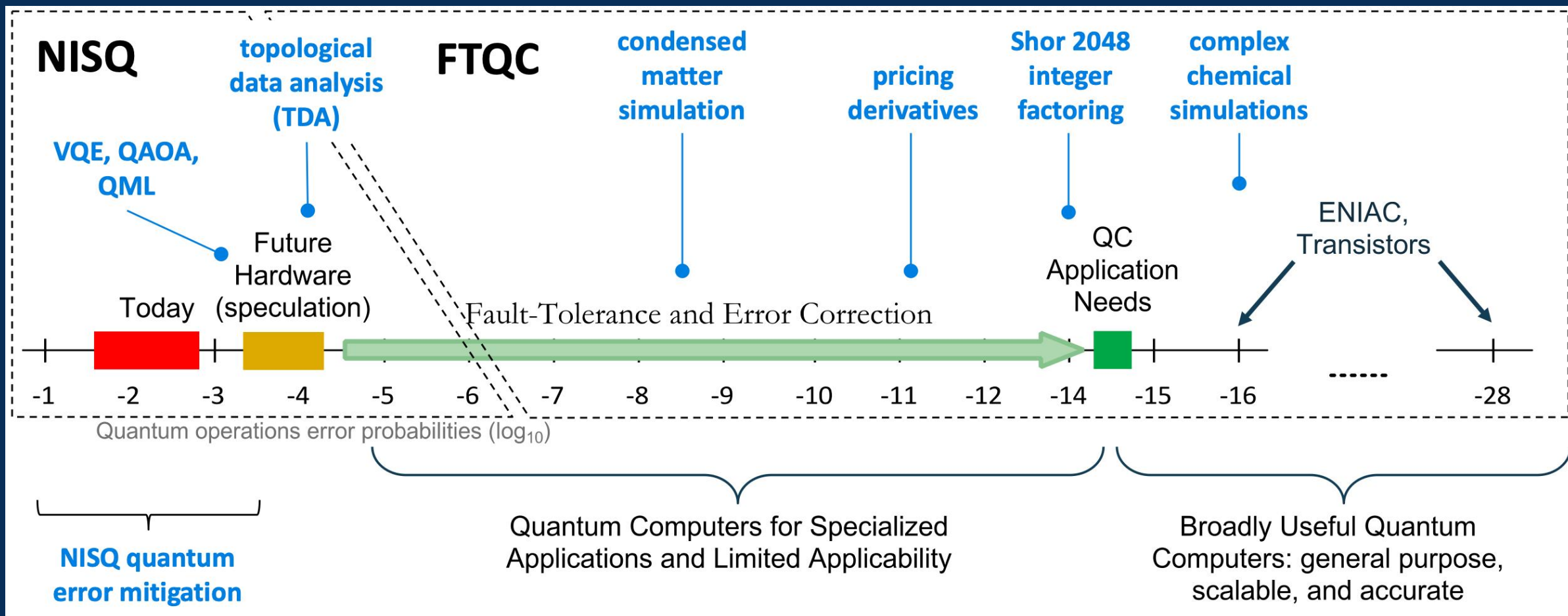
2024.10.16

IHEP ML QC workshop

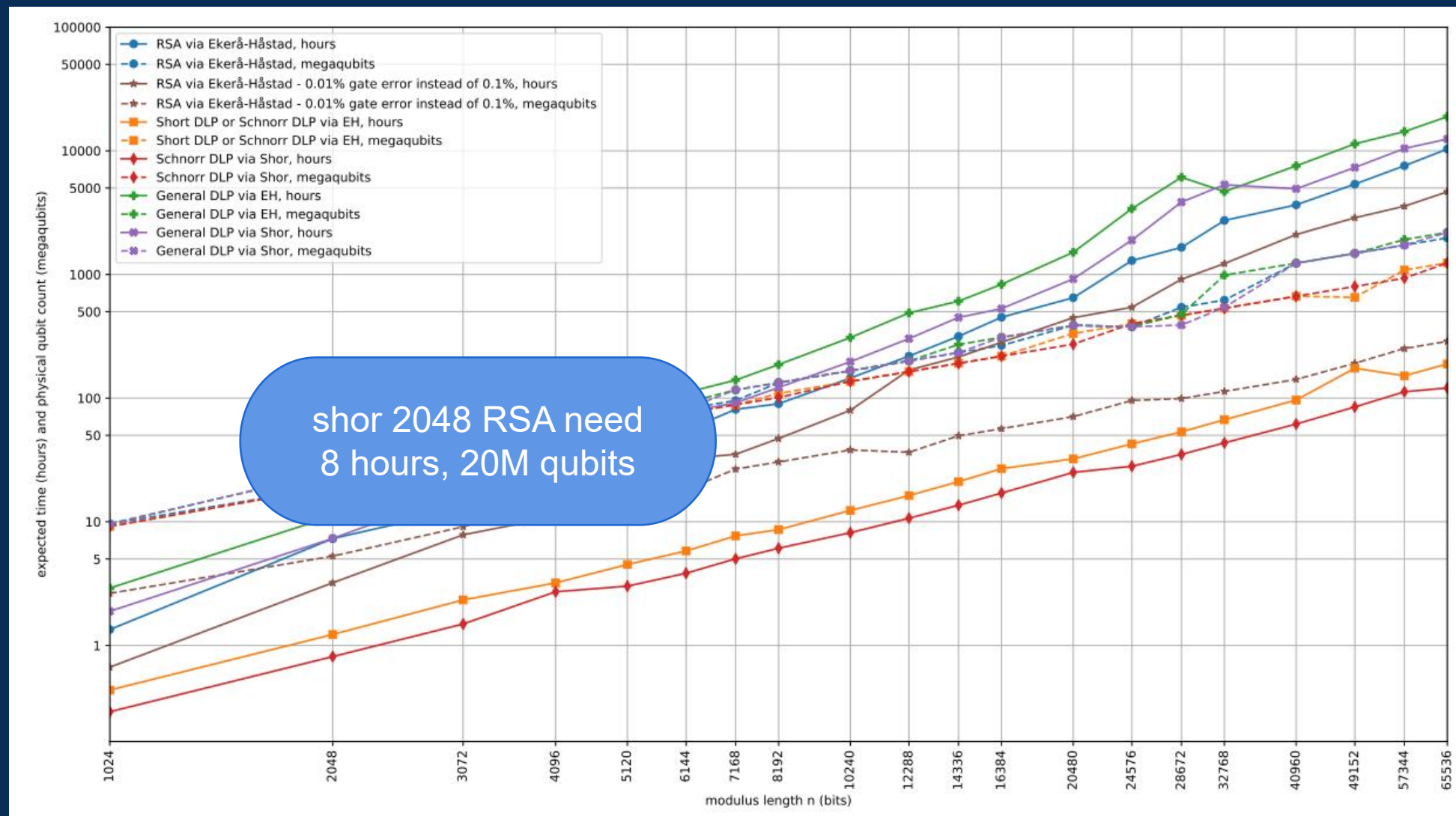
Xue-Gang Li, et al., arXiv:2402.04245



通用量子计算机

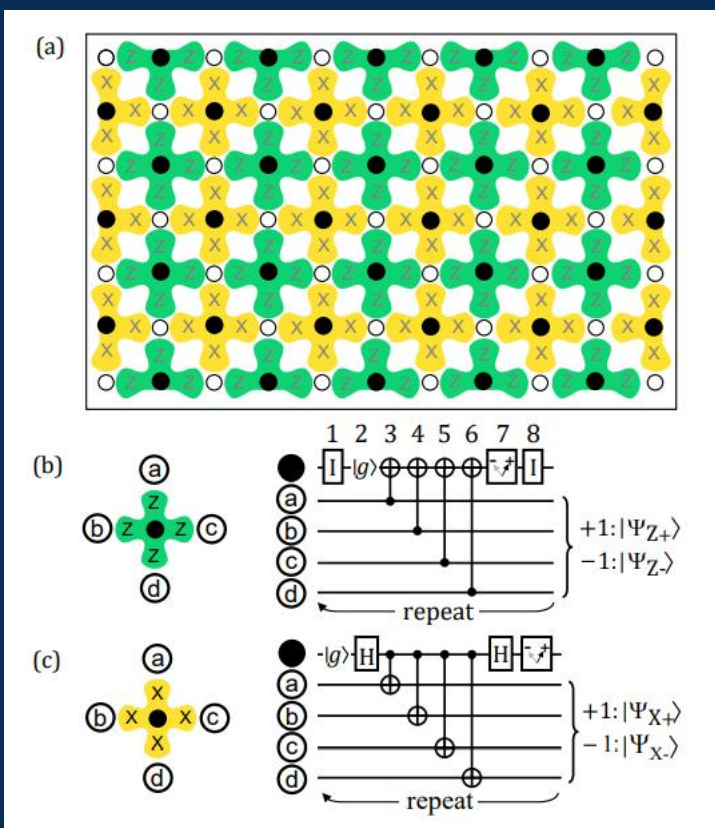


要实现shor算法，最快也需要连续运行量子计算机8小时不出错，如果发生错误，则需重新计算



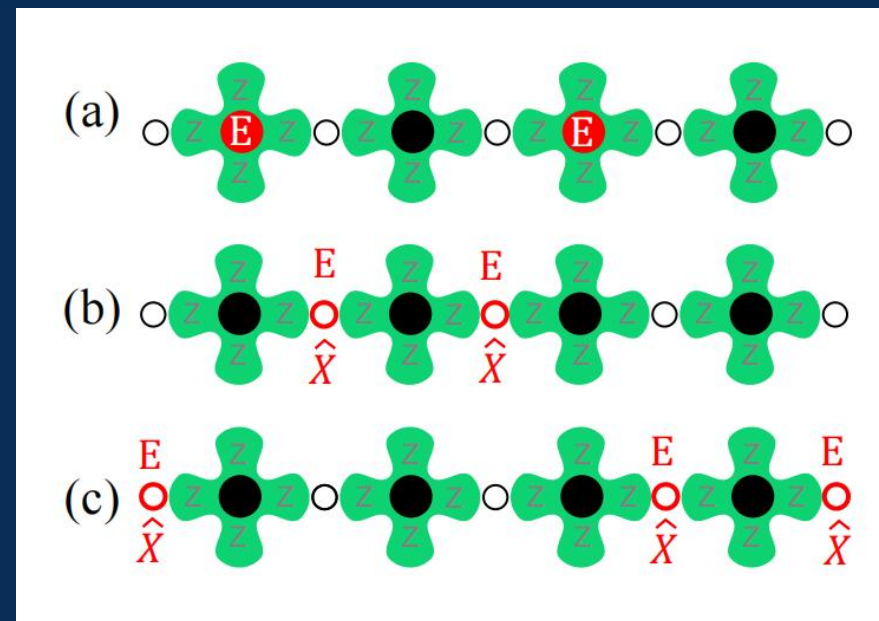
量子纠错算法(Surface code)

纠错方式



1. 使用很多物理比特编码一个逻辑比特。
2. 数据比特和测量比特交替排列形成二维网格
3. 测量比特用来探测错误，同时不影响数据比特上的量子信息。
4. 大规模关联错误会使得量子纠错失效。

错误探测



Impact of ionizing radiation on superconducting qubit coherence

[Antti P. Vepsäläinen](#) ✉, [Amir H. Karamlou](#), [John L. Orrell](#) ✉, [Akshunna S. Dogra](#), [Ben Loer](#), [Francisca Vasconcelos](#), [David K. Kim](#), [Alexander J. Melville](#), [Bethany M. Niedzielski](#), [Jonilyn L. Yoder](#), [Simon Gustavsson](#), [Joseph A. Formaggio](#), [Brent A. VanDevender](#) & [William D. Oliver](#)

Nature **584**, 551–556 (2020) | [Cite this article](#)

Correlated charge noise and relaxation errors in superconducting qubits

[C. D. Wilen](#) ✉, [S. Abdullah](#), [N. A. Kurinsky](#), [C. Stanford](#), [L. Cardani](#), [G. D’Imperio](#), [C. Tomei](#), [L. Faoro](#), [L. B. Ioffe](#), [C. H. Liu](#), [A. Opremcak](#), [B. G. Christensen](#), [J. L. DuBois](#) & [R. McDermott](#) ✉

Nature **594**, 369–373 (2021) | [Cite this article](#)

Resolving catastrophic error bursts from cosmic rays in large arrays of superconducting qubits

[Matt McEwen](#), [Lara Faoro](#), [Kunal Arya](#), [Andrew Dunsworth](#), [Trent Huang](#), [Seon Kim](#), [Brian Burkett](#), [Austin Fowler](#), [Frank Arute](#), [Joseph C. Bardin](#), [Andreas Bengtsson](#), [Alexander Bilmes](#), [Bob B. Buckley](#), [Nicholas Bushnell](#), [Zijun Chen](#), [Roberto Collins](#), [Sean Demura](#), [Alan R. Derk](#), [Catherine Erickson](#), [Marissa Giustina](#), [Sean D. Harrington](#), [Sabrina Hong](#), [Evan Jeffrey](#), [Julian Kelly](#), [Paul V. Klimov](#), [Fedor Kostritsa](#), [Pavel Laptev](#), [Aditya Locharla](#), [Xiao Mi](#), [Kevin C. Miao](#), [Shirin Montazeri](#), [Josh Mutus](#), [Ofer Naaman](#), [Matthew Neeley](#), [Charles Neill](#), [Alex Opremcak](#), [Chris Quintana](#), [Nicholas Redd](#), [Pedram Roushan](#), [Daniel Sank](#), [Kevin J. Satzinger](#), [Vladimir Shvarts](#), [Theodore White](#), [Z. Jamie Yao](#), [Ping Yeh](#), [Juhwan Yoo](#), [Yu Chen](#), [Vadim Smelyanskiy](#), [John M. Martinis](#), [Hartmut Neven](#), [Anthony Megrant](#), [Lev Ioffe](#) & [Rami Barends](#) ✉

— Show fewer authors

Nature Physics **18**, 107–111 (2022) | [Cite this article](#)

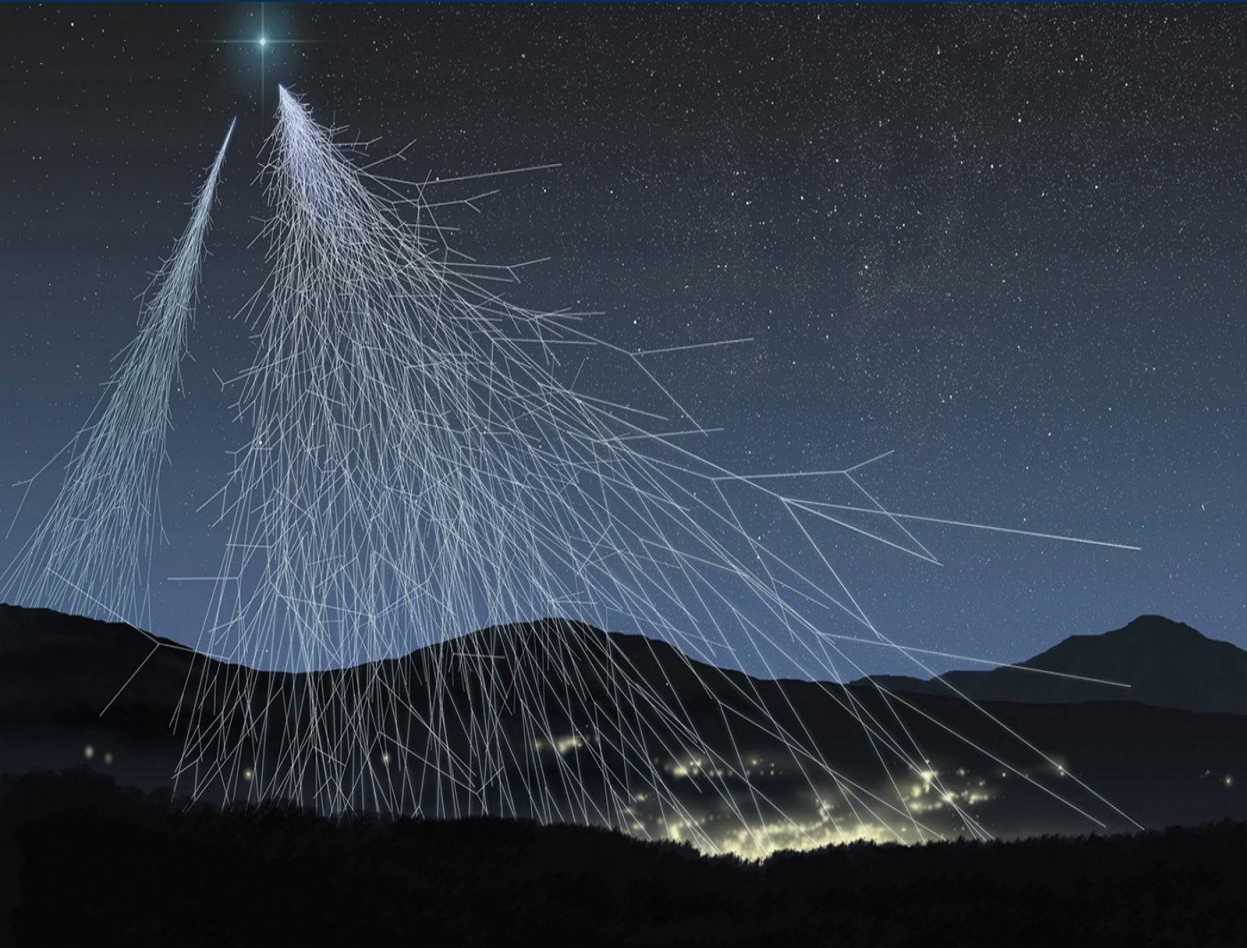
Reducing the impact of radioactivity on quantum circuits in a deep-underground facility

[L. Cardani](#) ✉, [F. Valentí](#), [N. Casali](#), [G. Catelani](#), [T. Charpentier](#), [M. Clemenza](#), [I. Colantoni](#), [A. Cruciani](#), [G. D’Imperio](#), [L. Gironi](#), [L. Grünhaupt](#), [D. Gusenkova](#), [F. Henriques](#), [M. Lagoin](#), [M. Martinez](#), [G. Pettinari](#), [C. Rusconi](#), [O. Sander](#), [C. Tomei](#), [A. V. Ustinov](#), [M. Weber](#), [W. Wernsdorfer](#), [M. Vignati](#), [S. Pirro](#) & [I. M. Pop](#) ✉

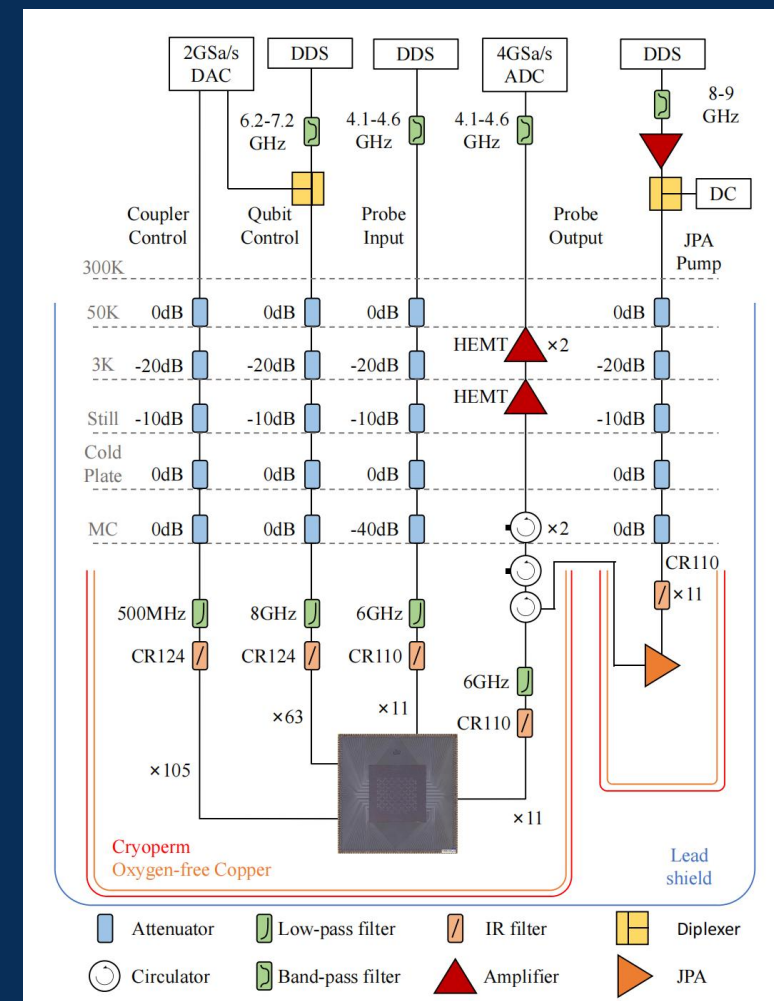
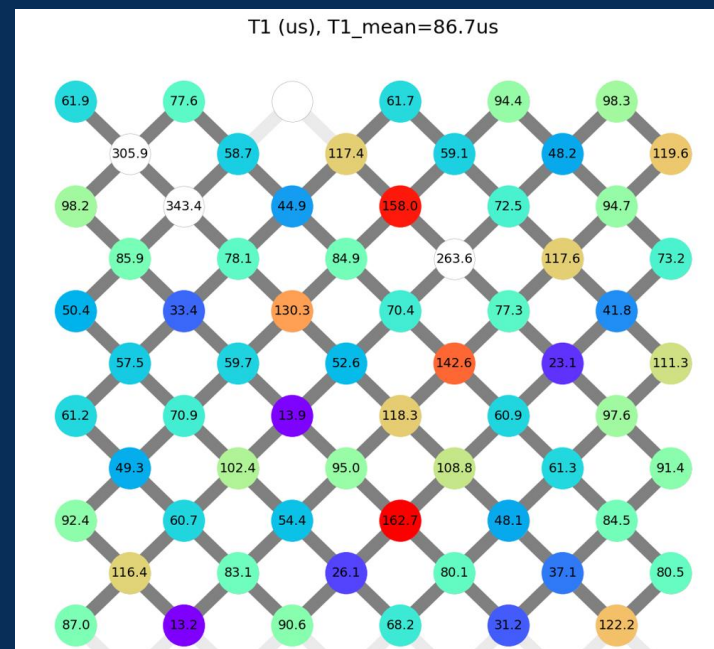
Nature Communications **12**, Article number: 2733 (2021) | [Cite this article](#)

7215 Accesses | 61 Citations | 93 Altmetric | [Metrics](#)

宇宙射线会引起超导量子芯片上的关联错误，从而破坏量子纠错算法



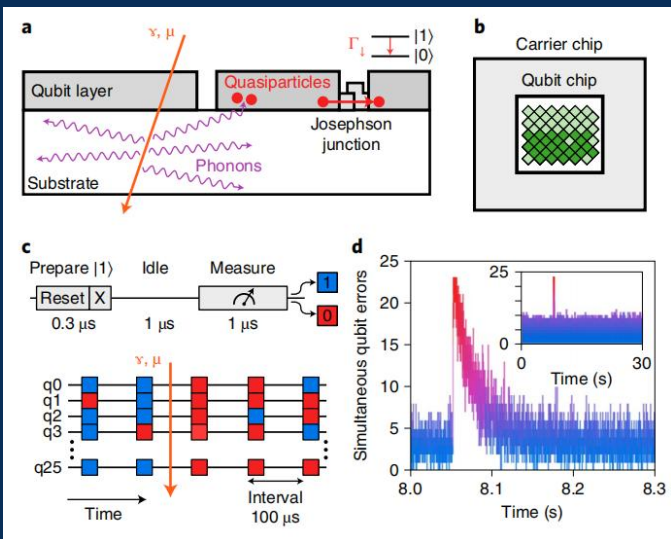
超导量子计算芯片



超导量子比特中发现关联错误

Google Sycamore

**关联错误发生事件, 大约10秒
一次,每次持续约1毫秒,芯片尺
寸: 10mm*10mm**

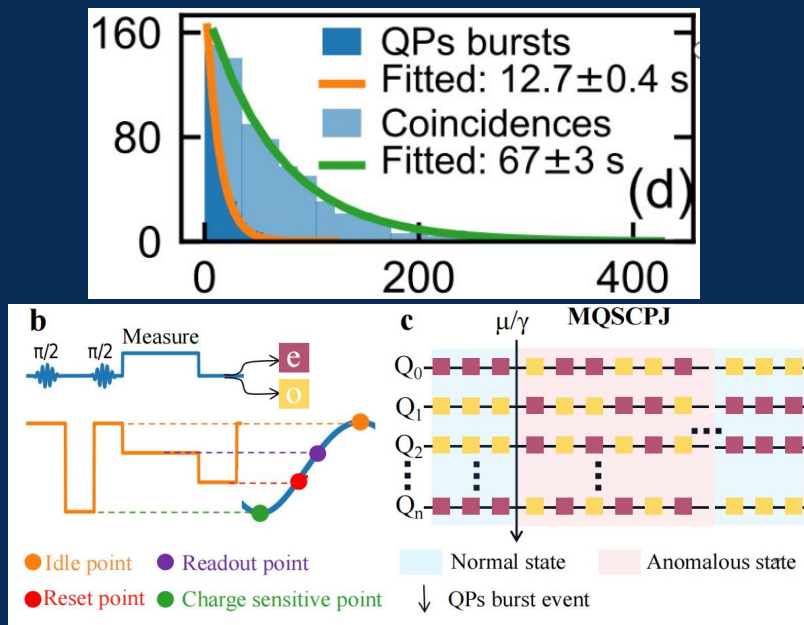


探测方法：利用多个比特状态同时翻转

McEwen, M. et al. Nature Physics 18, 107-111 (2022).

北京量子院/高能所

关联错误发生事件，总事件大约12.7秒一次，缪子事件约67秒一次，芯片尺寸：15mm*15mm

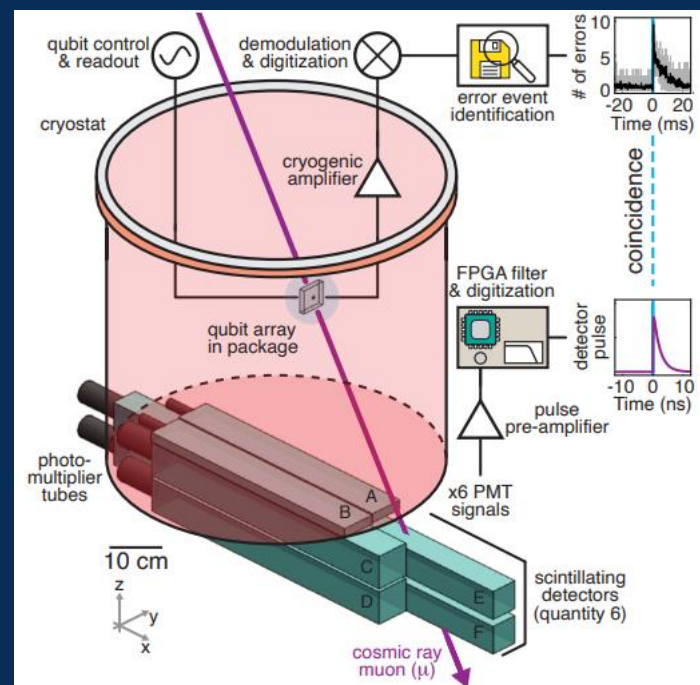


探测方法：利用多个比特电荷宇称同时翻转

Xue-Gang Li, et al., arXiv:2402.04245 (2024)

MIT group

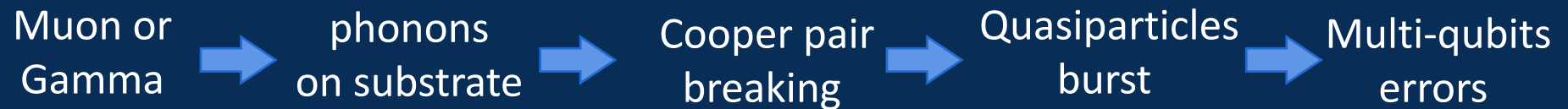
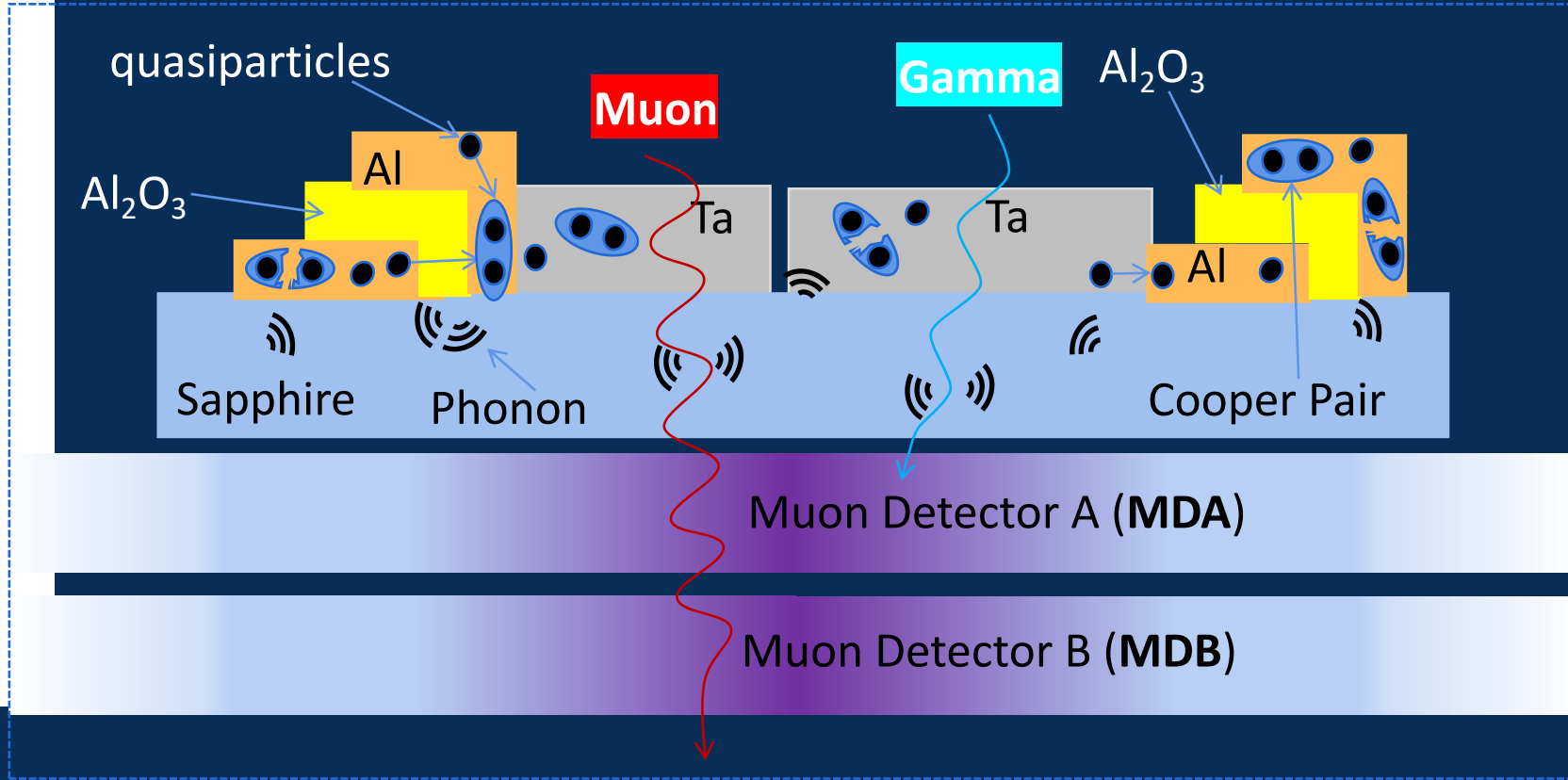
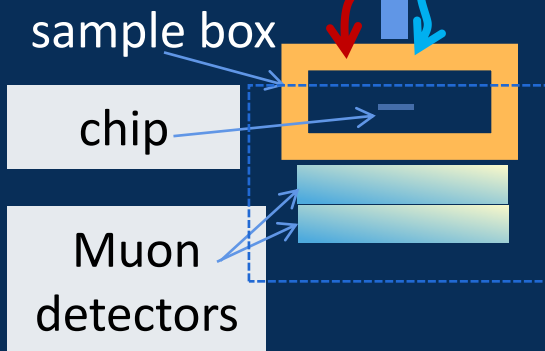
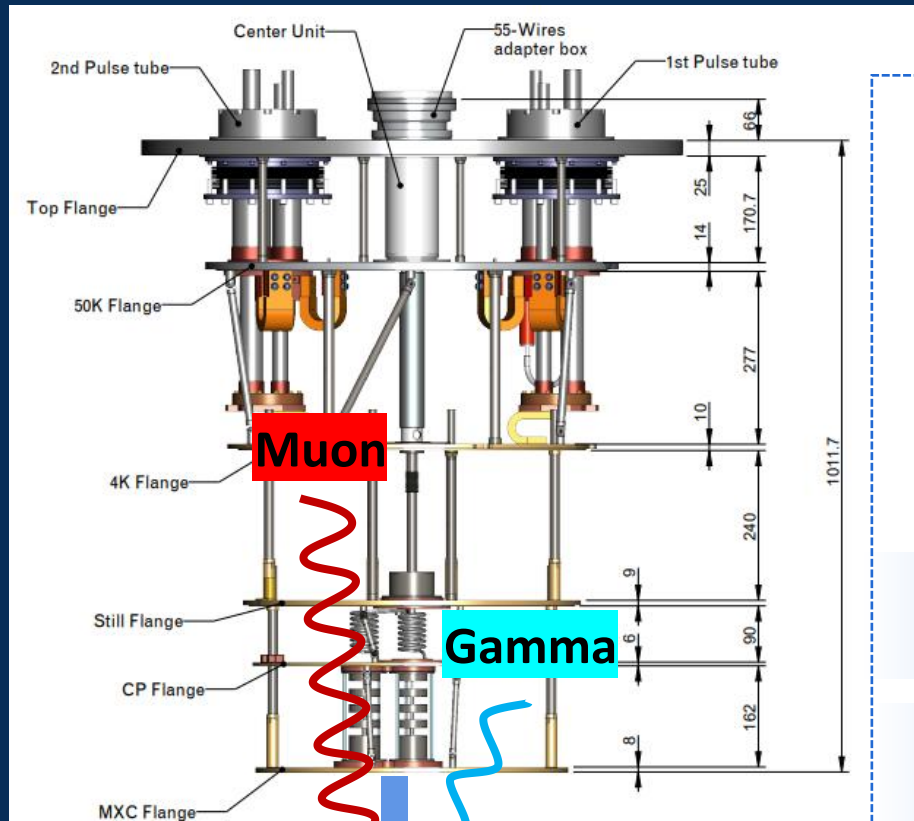
关联错误发生事件，**缪子**
事件约592秒一次，**芯片尺**
寸：5mm*5mm



探测方法：利用多个比特状态同时翻转

Patrick M. H., et al., arXiv:2402.03208 (2024)

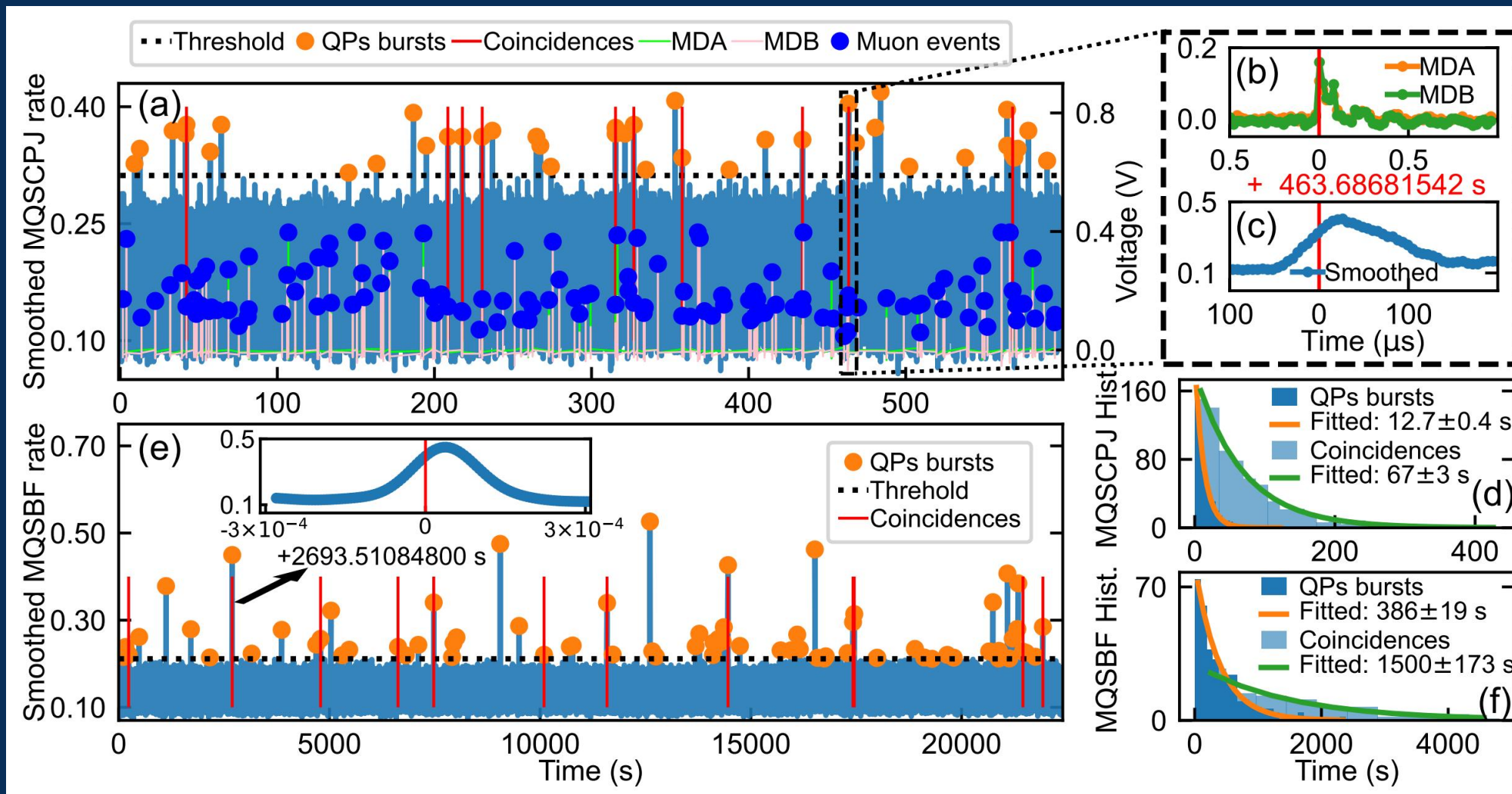
宇宙射线和超导量子芯片相互作用机制



缪子事件和超导量子芯片关联错误同时发生

超导芯片事件:
41($\mu + \gamma$)
缪子事件: 118
同时发生事件:
10 Synchronize
events

超导芯片事件: :
75($\mu + \gamma$)
缪子事件: 4104
同时发生事件: 12
Synchronize
events



总结与展望

总结

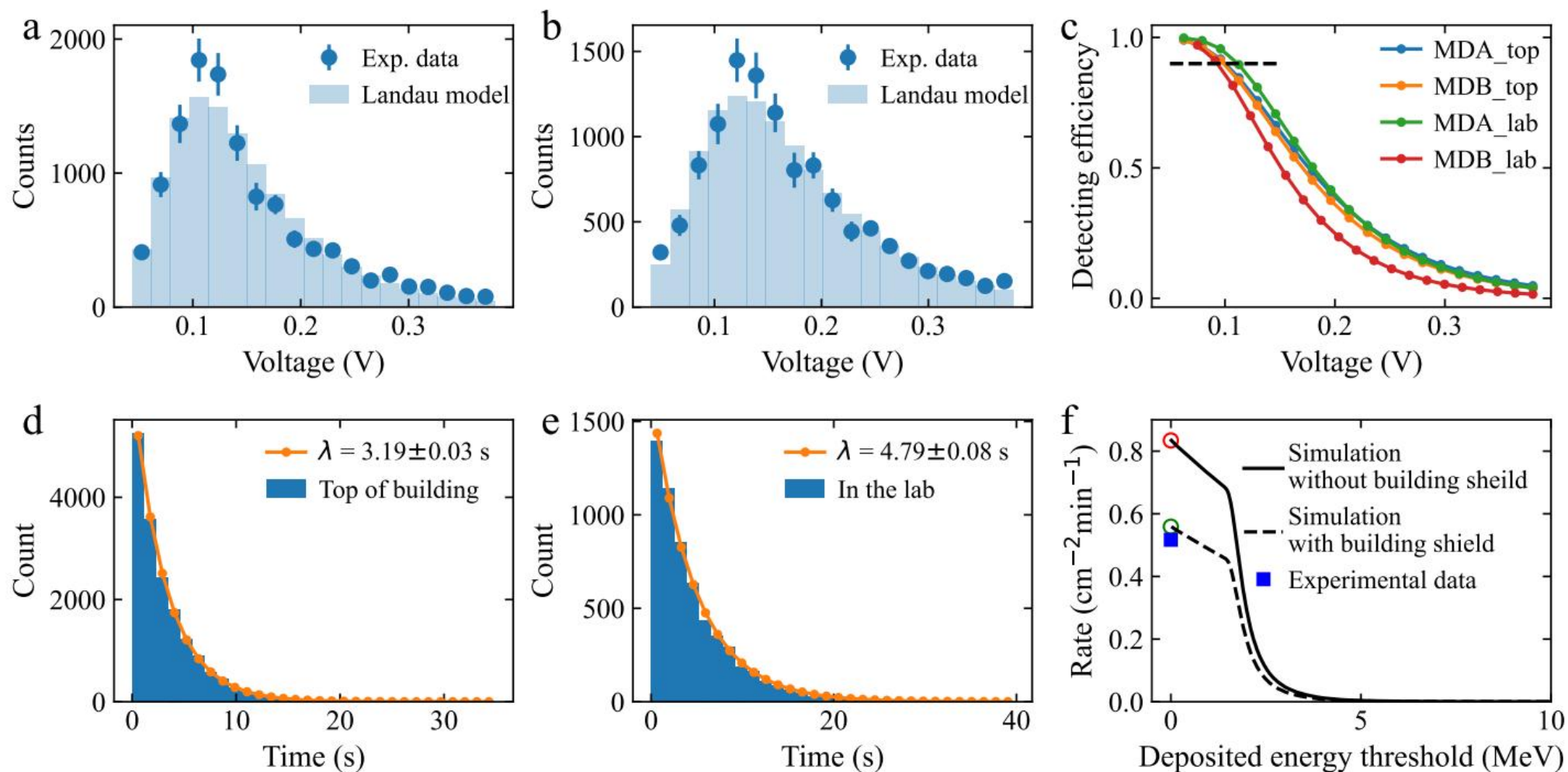
- 给出了moun对超导比特关联错误的直接证据。
- 提出了利用多个比特电荷宇称翻转探测的技术。
- 在极低温下（10mK）实现了探测技术。

展望

- 开发利用超导比特进行（如暗物质）的探测技术。
- 研究屏蔽环境下超导比特的性质。

数值模拟:

超导量子芯片探测缪子效率和缪子探测器探测缪子的效率相当



$0.516 \text{ min}^{-1}\text{cm}^{-2}$ (缪子探测器) ; $0.41 \text{ min}^{-1}\text{cm}^{-2}$ (超导量子芯片)