

# Quantum Chromodynamics and Quantum computation and simulation

Juan José Gálvez Viruet

May 16, 2022

## Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

## 1 Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a,

egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

## 2 First section

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

## 3 Second section

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus

nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

## 4 Conclusions

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in,

velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

## References

- [1] Feynman, R. P. Simulating physics with computers. *Int J Theor Phys* **21**, 467–488 (1982).
- [2] Ladd, T. D. *et al.* Quantum computers. *Nature* **464**, 45–53 (2010). Number: 7285 Publisher: Nature Publishing Group.
- [3] de Forcrand, P. Simulating QCD at finite density. In *Proceedings of The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory — PoS(LAT2009)*, 010 (Sissa Medialab, Peking University, Beijing, China, 2010).
- [4] Cirac, J. I. & Zoller, P. Goals and opportunities in quantum simulation. *Nature Phys* **8**, 264–266 (2012). Number: 4 Publisher: Nature Publishing Group.
- [5] Martinez, E. A. *et al.* Real-time dynamics of lattice gauge theories with a few-qubit quantum computer. *Nature* **534**, 516–519 (2016).
- [6] Bañuls, M. C. *et al.* Simulating lattice gauge theories within quantum technologies. *Eur. Phys. J. D* **74**, 165 (2020).
- [7] Particle Data Group *et al.* Review of Particle Physics. *Phys. Rev. D* **98**, 030001 (2018). Publisher: American Physical Society.
- [8] Humble, T. S. *et al.* Snowmass White Paper: Quantum Computing Systems and Software for High-energy Physics Research. *arXiv:2203.07091 [quant-ph]* (2022). ArXiv: 2203.07091.
- [9] Kan, A. & Nam, Y. Lattice Quantum Chromodynamics and Electrodynamics on a Universal Quantum Computer. *arXiv:2107.12769 [hep-lat, physics:quant-ph]* (2022). ArXiv: 2107.12769.
- [10] Paulson, D. *et al.* Simulating 2D Effects in Lattice Gauge Theories on a Quantum Computer. *PRX Quantum* **2**, 030334 (2021).

- [11] Atas, Y. Y. *et al.* SU(2) hadrons on a quantum computer via a variational approach. *Nat Commun* **12**, 6499 (2021).
- [12] Troyer, M. & Wiese, U.-J. Computational Complexity and Fundamental Limitations to Fermionic Quantum Monte Carlo Simulations. *Phys. Rev. Lett.* **94**, 170201 (2005).
- [13] Peruzzo, A. *et al.* A variational eigenvalue solver on a photonic quantum processor. *Nat Commun* **5**, 4213 (2014).
- [14] Busza, W., Rajagopal, K. & van der Schee, W. Heavy Ion Collisions: The Big Picture and the Big Questions. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* **68**, 339–376 (2018).
- [15] USQCD Collaboration, Bazavov, A., Karsch, F., Mukherjee, S. & Petreczky, P. Hot-dense Lattice QCD. *Eur. Phys. J. A* **55**, 194 (2019).
- [16] Davoudi, Z. *et al.* Towards analog quantum simulations of lattice gauge theories with trapped ions. *Phys. Rev. Research* **2**, 023015 (2020). ArXiv:1908.03210 [hep-lat, physics:hep-ph, physics:nucl-th, physics:physics, physics:quant-ph].
- [17] Paulson, D. *et al.* Towards simulating 2D effects in lattice gauge theories on a quantum computer. *PRX Quantum* **2**, 030334 (2021). ArXiv:2008.09252 [hep-lat, physics:quant-ph].
- [18] Humble, T. S. *et al.* Snowmass White Paper: Quantum Computing Systems and Software for High-energy Physics Research (2022). Number: arXiv:2203.07091 arXiv:2203.07091 [quant-ph].