

Tópicos de Física Teórica A (FIW 738/838)

Professor: Miguel Quartin

Semestre: 2023/1

Curso a ser oferecido no LIG, número de vagas limitado à disponibilidade de máquinas.

Computação Algébrica e Numérica com o Mathematica

- Comparativo de linguagens e paradigmas de programação: vantagens e desvantagens. Compilação tradicional e "just-in-time" (tradução dinâmica).
- O Mathematica e a linguagem Wolfram. A interface gráfica e o Kernel. O paradigma de programação funcional. Funções simples e puras. A flexibilidade de linguagens de altíssimo-nível.
- Computação algébrica e computação numérica. Precisão e algoritmos significativos. Métodos de precisão aleatória. Cálculos com unidades físicas. Controle de memória.
- Aplicações: integrais; séries de Taylor e Fourier; cálculo de likelihoods.
- Técnicas de programação eficiente.
- Base de dados online da Wolfram e o repositório de demonstrações.
- Gráficos bi e tri-dimensionais. Técnicas de visualização. Contornos estatísticos de níveis de confiança (ex: 1, 2 e 3 sigma). Visualização de dados.
- Computação em tempo real e o Manipulate.
- Programação paralela: conceitos e aplicações.
- Integração dinâmica com outras linguagens (ex: Python, C, R, Fortran).

Bibliografia Principal:

Documentação (dinâmica) oficial do Mathematica.

Notas de aula

Observação:

A disciplina poderá ser cursada por estudantes nos últimos períodos da graduação que já concluíram “Métodos Comp. em Física I” (FIW 234) e “Métodos da Física Teórica II” (FIW 364).

Ementa da disciplina Optativa :

“Informação Quântica em
Sistemas Quânticos de Variáveis Contínuas (VC).”

Semestre: 2023-1.

Tópicos de Física Teórica B (FIW 739/839)

Dr. Fabricio Toscano

Professor Associado do Instituto de Física
da Universidad Federal do Rio de Janeiro (UFRJ),
Grupo de Óptica e Informação Quântica.

Objetivo do curso

A teoria da informação quântica é um dos ramos da física contemporânea com implicações importantes em todas as áreas da física. Além disso é a teoria por traz de desenvolvimentos tecnológicos, como a computação quântica e o processamento de informação usando recursos da mecânica quântica, que virão revolucionar o futuro próximo. A promessa dos computadores quânticos é que certas tarefas computacionais podem ser executadas exponencialmente mais rápido em um processador quântico do que em um processador clássico. Esta é a chamada “supremacia quântica”. Atualmente existe uma competição frenética entre diferentes empresas tecnológicas, tanto privadas como governamentais, para alcançar a tal supremacia quântica. Nos dias de hoje são os dispositivos baseados em sistemas quânticos de variáveis contínuas os que lideram essa corrida, ultrapassando qualquer dispositivo atual cuja plataforma esteja baseada em sistemas quânticos de variáveis discretas (qubits). Assim, por exemplo, enquanto dispositivos tipo o chip Sycamore da empresa Google [1], contendo 53 qubits supercondutores, tem sua pretendida supremacia quântica questionada, implementações de processadores fotônicos como o da recente publicação [2], com 144 modos emaranhados, implementa o chamado "Gaussian Boson sampling"(Amostragem de bósons Gaussianos) 10^{24} vezes mais rápido que o melhor supercomputador clássico atual. Esse curso visa ensinar os fundamentos e ferramentas teóricas mais importantes na área de informação quântica em sistemas quânticos de variáveis contínuas que permita ao aluno entender a literatura especializada.

Informações gerais e critérios de aprovação

Durante o curso o aluno terá que realizar três listas de exercícios que deverão ser entregues para correção. Também cada aluno terá que fazer uma apresentação no final do curso sobre algum assunto baseado nos conteúdos do curso cuja bibliografia consistirá fundamentalmente de trabalhos científicos publicados em revistas internacionais com arbitragem. A nota final será calculada assim: $NF = 0,8 ML + 0,2 NA$, onde ML é a média das notas das listas de exercícios e NA a nota da apresentação. Cada apresentação terá duração de 40 minutos. O requisito para realizar esta disciplina optativa é ter aprovado um curso de mecânica quântica. Portanto a disciplina poderá ser oferecida a alunos dos últimos anos da graduação que tenham feito o curso de mecânica quântica da graduação. Esta disciplina optativa pode ser considerada como Tópicos de Física Teórica A (FIW 738/838) ou B (FIW 739/839).

Ementa do curso (cada tópico será desenvolvido em várias aulas)

1. **Breve introdução à informação quântica em sistemas quânticos de variáveis discretas.**
2. **Definição e exemplos de sistemas de variáveis contínuas (VC) e suas implementações experimentais .**
3. **Representações no espaço de fases de sistemas de variáveis contínuas: representações de Weyl e Wigner de operadores .**
4. **Teoria geral de representações de operadores em mecânica quântica: símbolos .**
5. **Evoluções quadráticas em sistemas de VC: o grupo simplético e sua representação unitária o grupo metaplético. Implementações experimentais dos geradores do grupo metaplético. .**
6. **Estados Gaussianos e relações de incerteza gerais symplecticamente covariantes em sistemas de variáveis contínuas .**
7. **Forma exponencial de Gibbs para estados Gaussianos multimodo arbitrários e fidelidade quântica entre estados Gaussianos arbitrários .**

8. **Protocolo de teletransporte quântico em sistemas de VC .**
9. **Algoritmos quânticos em nano chips fotônicos : Amostragem de bósons Gaussianos ("Gaussian Boson Sampling") e cálculo do espectro vibracional de moléculas. .**
10. **Breve introdução a medidas de emaranhamento em sistemas quânticos de variáveis contínuas (2 aulas).**
11. **Deteção de emaranhamento bipartido em sistemas de VC baseados no critério de separabilidade PPT ("Positive Partial Transposition").**
12. **Deteção de emaranhamento não-Gaussiano em sistemas de VC .**
13. **Crítérios de emaranhamento genuinamente multipartidos em sistemas de VC de fácil implementação experimental .**
14. **As últimas aulas serão destinadas às apresentações dos alunos.**

Referências

- [1] “*Quantum supremacy using a programmable superconducting processor.*”, Arute, F., Arya, K., Babbush, R. et al. *Nature* 574, 505–510 (2019).
- [2] “*Phase-Programmable Gaussian Boson Sampling Using Stimulated Squeezed Light*”, H.-S. Zhong, Y.-H. Deng, J. Qin, H. Wang, M.-C. Chen, L.-C. Peng, Y.-H. Luo, D. Wu, S.-Q. Gong, H. Su, Y. Hu, P. Hu, X.-Y. Yang, W.-J. Zhang, H. Li, Y. Li, X. Jiang, L. Gan, G. Yang, L. You, Z. Wang, L. Li, N.-L. Liu, J. Renema, C.-Y. Lu, and J.-W. Pan, , *Phys. Rev. Lett.* 127, 180502 (2021).
- [3] “*Quantum Information with Continuous Variable*”, Edited by S. L. Braunstein and A. K. Pati, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London (2001).
- [4] “*Geometry of quantum states, An introduction to entanglement*, I. Bengtsson and K. Życzkowski, Cambridge University Press, (2006).
- [5] “*The Weyl representation in classical and quantum mechanics*” A. M. Ozorio de Almeida, *Physics Reports* 295, 265 (1998).
- [6] B. Dutta, N. Mukunda, and R. Simon, *Pramana* 45, 471 (1995).
- [7] “*Symplectic Geometry and Quantum Mechanics*”, Maurice de Gosson, *Operator Theory, Advances and Applications* Vol. 166, Birkhäuser Verlag, Base-Boston-Berlin (2000).
- [8] “*Continuous Variable Quantum Information: Gaussian States and Beyond*”, G. Adesso, S. Ragy, and A. R. Lee, *Open Systems & Information Dynamics*, Vol. 21, 1440001 (2014).
- [9] “*Quantum information with continuous variables*”, Samuel L. Braunstein and Peter van Loock, *Rev. Mod. Phys.* Vol. 77, 513 (2005)
- [10] “*Continuous Variable Quantum Information Processing*”, U. L. Andersen, G. Leuchs, and C. Silberhorn, arXiv:1008.3468, (2010).

- [11] “*Continuous-variable quantum computation with spatial degrees of freedom of photons*” D. Tasca, R. Gomes, F. Toscano, and P. Ribeiro, Phys Rev A (2011).
- [12] “*Gaussian-Wigner distributions in quantum mechanics and optics*”, R. Simon, E. C. G. Sudarshan, and N. Mukunda, Phys. Rev. A 36, 3868, (1987).
- [13] “*Quantum-noise matrix for multimode systems: $U(n)$ invariance, squeezing, and normal forms*, R. Simon, N. Mukunda, and Biswadeb Dutta Phys. Rev. A 49, 1567, (1994)
- [14] “*Invariant theoretic approach to uncertainty relations for quantum systems*”, J. Solomon Ivan, Krishna Kumar Sabapathy,, N. Mukunda and R. Simon, arXiv: 1205.5132v1 (2012)
- [15] “*Separability criterion for density matrices*. Peres, A. Phys. Rev. Lett 77, 1413-1415 (1996).
- [16] “*Separability criterion and inseparable mixed states with positive partial transposition*”; Horodecki, P. Physics Letters A 232, 333-339 (1997).
- [17] “*Bound Entangled Gaussian States*”; Werner, R. and Wolf, M. Phys. Rev. Lett 86, 3658-3661 (2001).
- [18] “*Peres-Horodecki Separability Criterion for Continuous Variable Systems*”; Simon, R. Phys. Rev. Lett 84, 2726-2729 (2000).
- [19] L.-M. Duan, G. Giedke, J. I. Cirac, and P. Zoller, Phys. Rev. Lett. 84, 2722 (2000); S. Mancini, V. Giovannetti, D. Vitali, and P. Tombesi, Phys. Rev. Lett. 88, 120401 (2002); V. Giovannetti, S. Mancini, D. Vitali, and P. Tombesi, Phys. Rev. A 67, 022320 (2003); M. Hillery and M. S. Zubairy, Phys. Rev. Lett. 96, 050503 (2006); P. Hyllus and J. Eisert, New J. Phys. 8, 51 (2006); G. S. Agarwal and A. Biswas, New J. Phys. 7, 211 (2005).
- [20] E. Shchukin and W. Vogel, Phys. Rev. Lett. 95, 230502 (2005).
- [21] S. P. Walborn, B. G. Taketani, A. Salles, F. Toscano, and R. L. de Matos Filho, Phys. Rev. Lett. 103, 160505 (2009).
- [22] A. Saboia, F. Toscano, and S. P. Walborn, Phys. Rev. A 83, 032307 (2011).
- [23] J.-D. Bancal, N. Gisin, Y.-C. Liang, and S. Pironio, Phys. Rev. Lett. 106, 250404 (2011).
- [24] R. Y. Teh and M. D. Reid, Phys. Rev. A 90, 062337 (2014).
- [25] P. van Loock and A. Furusawa, Phys. Rev. A 67, 052315 (2003).
- [26] L. K. Shalm, D. R. Hamel, Z. Yan, C. Simon, K. J. Resch, and T. Jennewein, Nat. Phys. 9, 19 (2012).
- [27] “*Multimode Uncertainty Relations and Separability of Continuous Variable States*”, Serafini, A. Phys. Rev. Lett 96, 4 (2006).
- [28] “*Three-Color Entanglement*”, Coelho, A. S., Barbosa F. A. S., Cassemiro K. N., Villar A. S., Martinelli M., Nussenzveig P., Science 326, 823-826 (2009).
- [29] “*Quantum entanglement beyond Gaussian criteria*”, R. Gomes, A. Salles, F. Toscano, P. Ribeiro, and S. Walborn, Pnas 1 (2009).

- [30] “*Systematic construction of genuine multipartite entanglement criteria in continuous variable systems using uncertainty relations*”, F. Toscano, A. Saboia, A. T. Avelar, and S. P. Walborn, accepted for publication in Phys. Rev. A.
- [31] “*Bell’s inequality violation with non-negative Wigner functions*”, M. Revzen, P. A. Mello, A. Mann, and L. M. Johansen, Phys Rev A 71, 11 (2005).
- [32] “*Efficient simulation scheme for a class of quantum optics experiments with non-negative Wigner representation*”, V. Veitch, N. Wiebe, C. Ferrie, and J. Emerson, New J. Phys. 15, 013037 (2013).