

UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO		
UNIDADE – ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO		
DISCIPLINA – COMPUTAÇÃO QUÂNTICA		
CÓDIGO DA DISCIPLINA – FIS48		
CARGA HORÁRIA TOTAL – 60 HORAS TEÓRICAS		
EMENTA <i>Introdução à vetores e matrizes, fundamentos da mecânica quântica, qubits e distribuição de chaves quânticas, portas quânticas, circuitos quânticos e computação com qubits, algoritmos quânticos simples, transformadas quânticas, algoritmo de busca, algoritmo de fatoração, decoerência, correção de erros, critério de DiVicenzo, computador quântico, armadilha de íons, computação quântica com átomos neutros, qubits em junções, computação quântica com pontos quânticos.</i>		
ÁREA/EIXO/NÚCLEO	COMPETÊNCIA(S)	HABILIDADES
CIÊNCIAS EXATAS FÍSICA DE MATERIAIS NÚCLEO PROFISSIONALIZANTE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compreender as bases do formalismo matemático para a descrição da Mecânica Quântica. 2. Compreender a estrutura da Mecânica Quântica e seus postulados. 3. Entender o conceito de qubits, portas lógicas quânticas. 4. Compreender processos de transformações integrais e algoritmos quânticos. 5. Compreender os fundamentos da engenharia dos 	COMPETÊNCIA 1 <ul style="list-style-type: none"> • Revisar os conceitos de espaço vetorial, dependência linear, independência de vetores, espaços duais, base, operador de projeção, relação de completude, processos de ortonormalização, operadores lineares e matrizes. • Compreender os fundamentos dos espaços hermitianos, conjugado hermitiano, operador hermitiano e unitário. • Resolver problemas de autovalores de matrizes hermitianas e regulares, matrizes de Pauli, distribuição espectral, produto tensorial. COMPETÊNCIA 2 <ul style="list-style-type: none"> • Compreender os postulados fundamentais da Mecânica Quântica. • Compreender os conceitos de sistemas multipartidos e estados emaranhados. • Compreender os fundamentos de estados mistos e obter matrizes de densidade. COMPETÊNCIA 3 <ul style="list-style-type: none"> • Aprender os conceitos de qubits e esfera de Bloch. • Compreender a formação de sistemas multi-qubits e sua relação com estados emaranhados e suas medidas. • Compreender os fundamentos das portas lógicas quânticas.



computadores quânticos.

6. *Compreender o funcionamento de armadilhas de íons e sua relação com a computação quântica.*

- Compreender as relações entre portas lógicas clássicas e quânticas, portas NOT, XOR, AND e OR.
- Compreender o Teorema da Não-clonagem e os conceitos dos protocolos de comunicação de codificação superdensa e teletransporte quântico.
- Entender os fundamentos de portas quânticas universais e paralelismo quântico.
- Descrever e aplicar algoritmos quânticos: Deutsch, Deutsch-Jozsa, Bernstein-Vazirani e algoritmo de Simon.

COMPETÊNCIA 4

- Compreender as transformações integrais quânticas: transformada de Fourier Quântica e suas aplicações, transformada de Walsh-Hadamard, transformada de rotação de fase seletiva
- Compreender o algoritmo de busca de Grover: busca por um arquivo, busca por N arquivos.
- Compreender o algoritmo de Shor para fatoração: algoritmo, criptografia, distribuição de probabilidades, frações contínuas, busca de ordem, função exponencial modular: adicionador, multiplexador e circuitos modulares exponenciais.
- Compreender os fundamentos da decoerência: sistemas quânticos abertos, operações quânticas, canais de ruído quânticos, mapas completamente positivos, medidas de operadores quânticos.
- Compreender os mecanismos de canais quânticos: giro-bit, giro-fase, despolarizador e amortecimento de amplitude.
- Compreender os fundamentos dos algoritmos de correção de erros quânticos: 3-qubit giro-bit, giro-fase, códigos de correção de erros quânticos (CCEQ) giro-bit e giro-fase, código 9-qubit de Shor, codificação, transmissão, detecção e correção da síndrome de erro, decodificação, CCEQ 7-qubit, teoria clássica dos códigos de correção de erros, operações de porta para CCEQ 7-qubit, CCEQ 5-qubit.

COMPETÊNCIA 5

- Compreender o critério de DiVincenzo e suas realizações físicas.
- Entender os fundamentos do computador quântico de Ressonância Magnética Nuclear (RMN), espectrômetro RMN, Hamiltonianos de spin simples e múltiplos.



- Compreender a implementação de portas lógicas e algoritmos: porta 1-qubit em moléculas 1-qubit, operação 1-qubit em molécula, 2-qubit e efeito Bloch-Siegert, portas 2-qubit e multi-qubit.
- Compreender o conceito de controle temporal otimizado de um computador quântico RMN: breve introdução às álgebras e grupos de Lie, decomposição de Cartan e implementação otimizada de portas 2-qubit.
- Entender os processos de tomografia de estado quântico 1-qubit, decaimento de indução livre, tomografia de 2-qubit, preparação de um estado pseudopuro, e realização de médias temporais e espaciais.

COMPETÊNCIA 6

- Entender os conceitos de íons presos, estados eletrônicos de íons como qubits, íons em uma armadilha, potencial de aprisionamento, formação de malhas e modos normais.
- Compreender o conceito de qubit de íon, hamiltoniano de spin unitário e resfriamento de banda lateral, portas quânticas, portas quânticas de 1-qubit, CNOT.
- Entender a detecção de átomos neutros e sua relação com a computação quântica: átomos de metais alcalinos, trava magneto-óptica (MOT), armadilha de dipolo, rede óptica, potencial óptico dependente de rotação.
- Compreender os fundamentos das portas de qubit único, engenharia de estado quântico para átomos neutros: detecção de um único átomo, oscilação de Rabi, registrador quântico de átomos neutros, e o processo de preparação de átomos neutros emaranhados.
- Compreender os conceitos de qubits de junções de Josephson, junções de Josephson em nanoescala e SQUIDs.
- Compreender os conceitos de qubit de carga, caixa de pares de Cooper, qubit de fluxo, quntrônio, fase-qubit, Qubit de carga capacitivos, qubit de carga indutivos, acoplamento regulável para fluxo-qubits e o acoplamento de fluxo-qubits com um ressonador LC.
- Compreender os fundamentos da computação quântica com pontos quânticos, semicondutores mesoscópicos, gás de elétron bidimensional na camada de inversão, bloqueio de Coulomb, caixa de pares de Cooper, oscilações de Rabi, operações com um único qubit e tempo coerente.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO



1. *Noções básicas de vetores e matrizes: espaço vetorial, dependência linear, independência de vetores, espaços duais, base, operador de projeção, relação de completude, processo de ortonormalização de Gram-Schmidt, operadores lineares e matrizes, espaços hermitianos, conjugado hermitiano, operador hermitiano e unitário, autovetores e autovalores, matrizes de Pauli, distribuição espectral, decomposição em valores singulares, produto tensorial.*
2. *Estrutura da Mecânica Quântica: postulados fundamentais da Mecânica Quântica, sistemas multipartidos, produto tensorial, estados emaranhados, estados mistos, matrizes de densidade, negatividade, traço parcial, purificação, fidelidade.*
3. *Qubits e distribuição de chaves quânticas: qubits, esfera de Bloch, sistemas multi-Qubit, estados emaranhados, medidas, paradoxo de Einstein-Podolsky-Rosen (EPR), distribuição quântica de chaves (protocolo BB84).*
4. *Portas quânticas, circuitos quânticos e computação quântica: portas lógicas quânticas, transformação Walsh-Hadamard, porta SWAP e porta Fredkin, portas lógicas clássicas e quânticas, portas NOT, XOR, AND e OR, Teorema da Não-clonagem, protocolos de comunicação de codificação superdensa, teletransporte quântico, portas quânticas universais e paralelismo quântico.*
5. *Algoritmos quânticos simples: Deutsch, Deutsch-Jozsa, Bernstein-Vazirani e algoritmo de Simon.*
6. *Transformações quânticas integrais: transformadas integrais quânticas, transformada de Fourier quântica e suas aplicações, transformada de Walsh-Hadamard, transformada de rotação de fase seletiva.*
7. *Algoritmo de busca de Grover: busca por um arquivo, busca por N arquivos.*
8. *Algoritmo de Shor para fatoração: Sistema de criptografia RSA (Rivest-Shamir-Adleman), parte quântica do algoritmo de Shor, distribuição de probabilidades, frações contínuas, busca de ordem, função exponencial modular: adicionador, multiplexador e circuitos modulares exponenciais.*
9. *Decoerência: sistemas quânticos abertos, operações quânticas, canais de ruído quânticos, mapas completamente positivos, medidas de operadores quânticos, medidas projetivas, medida com operador positivo valorizado, canais quânticos, giro-bit, giro-fase, despolarizador, amortecimento de amplitude, semigrupo dinâmico quântico, equação de Lindblad.*
10. *Correção de erros quânticos: 3-qubit giro-bit, giro-fase, códigos de correção de erros quânticos (CCEQ) giro-bit e giro-fase, código 9-qubit de Shor, codificação, transmissão, detecção e correção da síndrome de erro, descodificação, CCEQ 7-qubit, teoria clássica dos códigos de correção de erros, operações de porta para CCEQ 7-qubit, CCEQ 5-qubit.*
11. *Critério de DiVincenzo e suas realizações físicas.*
12. *Computador quântico de Ressonância Magnética Nuclear (RMN): espectrômetro RMN, hamiltonianos de spin simples e múltiplos, portas lógicas e algoritmos, porta 1-qubit em moléculas 1-qubit, operação 1-qubit em molécula, 2-qubit e efeito Bloch-Siegert, portas 2-qubit e multi-qubit, controle temporal otimizado de um computador quântico RMN: breve introdução às álgebras e grupos de Lie, decomposição de Cartan e implementação otimizada de portas 2-qubit, tomografia de estado quântico 1-qubit, decaimento de indução livre, tomografia de 2-qubit, estado pseudopuro, realização de médias temporais e espaciais.*
13. *Armadilhas de íons: estados eletrônicos de íons como qubits, íons em uma armadilha, potencial de aprisionamento, formação de malhas, modos normais, qubit de íon, hamiltoniano de spin unitário, resfriamento de banda lateral, portas quânticas, portas quânticas de 1-qubit, CNOT.*



14. *Computação quântica com átomos neutros: detecção de átomos neutros e sua relação com a computação quântica, átomos de metais alcalinos, trava magneto-óptica (TOM), armadilha de dipolo, rede óptica, potencial óptico dependente de rotação, portas de 1-qubit, engenharia de estado quântico para átomos neutros, detecção de um único átomo, oscilação de Rabi, registrador quântico de átomos neutros, e processo de preparação de átomos neutros emaranhados.*
15. *Qubits de junções de Josephson: junções de Josephson em nanoescala, SQUIDS, qubit de carga, caixa de pares de Cooper, qubit de fluxo, quntrônio, fase-qubit, qubit de carga capacitivos, Qubit de carga indutivos, acoplamento regulável para fluxo-qubits e o acoplamento de fluxo-qubits com um ressonador LC.*
16. *Computação quântica com pontos quânticos: semicondutores mesoscópicos, gás de elétron bidimensional na camada de inversão, bloqueio de Coulomb, caixa de pares de Cooper, oscilações de Rabi, operações com um 1-qubit e tempo coerente, spin-qubit.*

BIBLIOGRAFIA

1. NAKAHARA, M. and OHMI, T. **QUANTUM COMPUTING - From Linear Algebra to Physical Realizations**. 1st Ed., CRC Press, 2008.
2. NIELSEN, M. A., and CHUANG, I. L. **Quantum Computation and Quantum Information**. 10th Anniversary Ed., Cambridge University Press, 2011;
3. RUGGIERO, B., DELSING P., GRANATA, C., PASHKIN, Y. A., AND P. SILVESTRINI. **Quantum Computing in Solid State Systems**. 1st Ed., Springer, 2010.
4. KAYE, P., LAFLAMME, R., and MOSCA, M. **An Introduction to Quantum Computing**. 1st Ed., Oxford University Press, 2007.
5. RIEFFEL, E. G., and POLAK. W. H. **Quantum Computing: A Gentle Introduction**. 1st Ed., The MIT Press, 2011.
6. HIDARY, J. D. **Quantum Computing: An Applied Approach**. 1st Ed., 2019.
7. IMRE, S. and BALAZS, F. **Quantum Computing and Communications: An Engineering Approach**. 1st Ed., 2005.

