

UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO		
UNIDADE – ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO		
DISCIPLINA – SPINTRÔNICA		
CÓDIGO DA DISCIPLINA – FIS33		
CARGA HORÁRIA TOTAL – 60 HORAS TEÓRICAS		
EMENTA <i>Este curso introduz ao estudante o campo da Spintrônica. Neste curso o termo Spintrônica está relacionado a ciência e tecnologia do uso do spin de portadores de carga para armazenar, codificar, acessar, processar e transmitir informação de algum modo. O curso é baseado em física do estado sólido e mecânica quântica. Fenômenos da spintrônica como magnetorresistência anisotrópica, magnetorresistência gigante, magnetorresistência de tunelamento, efeito Hall de spin, efeito Hall de spin inverso, injeção de corrente de spin em semicondutores, efeito Seebeck de spin, efeito Nernst, dentre outros serão discutidos. Alguns dispositivos spintrônicos serão estudados.</i>		
ÁREA/EIXO/NÚCLEO CIÊNCIAS EXATAS FÍSICA DE MATERIAIS NÚCLEO PROFISSIONALIZANTE	COMPETÊNCIA(S) 1. <i>Compreender as origens do spin e seu tratamento na mecânica quântica.</i> 2. <i>Compreender o conceito da esfera de Bloch e a evolução de um spinor sobre esta esfera.</i> 3. <i>Compreender o conceito de matriz densidade utilizada para tratar uma coleção de spinors.</i> 4. <i>Compreender o processo de interação spin-órbita e seu efeito em sub-bandas</i>	HABILIDADES COMPETÊNCIA 1 - Compreender a origem do spin, sua descoberta pelo experimento de Stern-Gerlach e o advento da Spintrônica. - Compreender o tratamento quântico do spin através das matrizes de Pauli, equações de Pauli e Spinors. - Compreender a equação de onda relativística de Dirac para descrever o spin. COMPETÊNCIA 2 - Compreender o que é um Spinor e qubit. - Compreender o conceito da esfera de Bloch bastante usado em discussões sobre computação quântica baseada no spin. - Compreender a conexão entre a esfera de Bloch e o conceito clássico de spin do elétron e também sua relação com o qubit. - Tratar spinors especiais e descrever a matriz de spin flip. - Compreender o processo de evolução de um spinor sobre a esfera de Bloch. - Compreender o comportamento de um spin num campo magnético. - Compreender a fórmula de Rabi para a descrição do tempo necessário para um spin inverter.



- magneto-elétricas em estruturas confinadas quânticas.*
5. *Compreender como se dá a relaxação de spin e as interações de Exchange.*
 6. *Compreender o transporte de spin em sólidos e os dispositivos spintrônicos passivos.*

COMPETÊNCIA 3

- Utilizar a matriz densidade para o caso de um estado puro.
- Compreender as propriedades da matriz densidade e as diferenças entre sua descrição para um estado puro e para um estado misto.
- Compreender o conceito de bola de Bloch e a evolução temporal da matriz densidade, bem como tempos de relaxação.

COMPETÊNCIA 4

- Compreender as interações de spin-órbita de Rashba e a interação de Dresselhaus para sólidos.
- Compreender os efeitos de confinamento de um elétron numa estrutura de dimensionalidade restrita (poço quântico, fio quântico) e sujeito a um campo magnético, onde o elétron experimenta o confinamento eletrostático devido à estrutura e o confinamento magnetostático devido ao campo magnético.
- Derivar as relações de dispersão (vetor de onda versus energia) de elétrons em sub-bandas na presença de interação spin-órbita.

COMPETÊNCIA 5

- Compreender os mecanismos de relaxação de spin importantíssimos para a spintrônica.
- Descrever a relaxação de spin num ponto quântico (quantum dot) e o efeito galvânico de spin.
- Compreender a interação de Exchange entre elétrons e o princípio da exclusão de Pauli.
- Compreender os modelos para o ferromagnetismo de Bloch e de Heisenberg.

COMPETÊNCIA 6

- Compreender como portadores spin-polarizados viajam através de um metal ou semicondutor.
- Compreender como portadores spin-polarizados se comportam na presença de mecanismos de relaxação como D'yakonov-Perel', Elliott-Yafet, Bir-Aronov-Pikus e interações hiperfinas com os spins nucleares.
- Compreender os modelos drift-diffusion e o modelo semiclássico para o transporte de spin em sólidos.
- Compreender alguns dispositivos baseados no spin como sensores e cabeças de leitura para a leitura de pequenos campos magnéticos associados com armazenamento de dados.



- Compreender a válvula de spin, a eficiência na injeção de spin, magnetorresistência gigante, acumulação de spin, injeção de spin através de interface FN/NM, injeção de spin numa válvula de spin.
- Compreender os conceitos de corrente pura de spin, efeito Hall de spin, efeito Hall de spin inverso, efeito Seebeck de spin, efeito Nernst *anômalo*, e outros efeitos novos.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

1. *A história do spin: O modelo planetário de Bohr e a quantização do espaço; O experimento de Stern-Gerlach; O advento da Spintrônica.*
2. *A mecânica quântica do spin: Matrizes de Pauli; Spinors; Equação de Dirac; Aproximação não relativística da equação de Dirac.*
3. *A esfera de Bloch: O spinor e o qubit; O conceito da esfera de Bloch; Spinors especiais; A matriz spin flip; Excursão sobre a esfera de Bloch e as matrizes de Pauli revisitadas.*
4. *Evolução de um spinor sobre a esfera de Bloch: Partícula de spin $\frac{1}{2}$ num campo magnético; Fórmula de Rabi.*
5. *A matriz densidade: Conceito e propriedades da matriz densidade; Estado puro versus estado misto; Conceito da bola de Bloch; Evolução temporal da matriz densidade; Tempos de relaxação e equações de Bloch.*
6. *Interação spin-órbita: Interação spin-órbita nos sólidos; Interação de Rashba; Interação de Dresselhaus.*
7. *Sub-bandas magneto-elétricas em estruturas confinadas quânticas na presença da interação spin-órbita.*
8. *Relaxação de spin: Mecanismos de relaxação de spin; Relaxação de um ponto quântico (quantum dot); Efeito Galvânico de spin.*
9. *Interação de Exchange: Partículas idênticas e princípio da exclusão de Pauli; Aproximações de Hartree e Hartree-Fock; O papel do exchange no ferromagnetismo; O hamiltoniano de Heisenberg.*
10. *Transporte de spin em sólidos: Modelo de drift-diffusion; Modelo semiclássico.*
11. *Dispositivos spintrônicos passivos e conceitos relacionados: Válvula de spin; Eficiência da injeção de spin; Histerese em magnetorresistência de uma válvula de spin; Magnetorresistência gigante; Acumulação de spin; Injeção de spin em interface FM/NM; Injeção de spin numa válvula de spin; Extração de spin na interface entre FM e semicondutor; Corrente pura de spin; Efeito Hall de spin; Efeito Seebeck de spin; Efeito Nernst anômalo.*

BIBLIOGRAFIA

1. BANDYOPADHYAY Supriyo and CAHAY Marc. **Introduction to Spintronics**. 1st. Ed., CRC Press Taylor and Francis Group, 2008.
2. HEDIN Eric R. and JOE Yong S. **Spintronics in Nanoscale Devices**. 1st. Ed., CRC Press Taylor and Francis Group, 2014.
3. FELSER Claudia and FECHER Gerhard H. **Spintronics: From Materials to Devices**. 1st. Ed., Springer, 2013.
4. O'HANDLEY R.C. **Modern magnetic materials: principles and applications**. 1st. Ed., Wiley-Interscience, 1999.

