



 [efisica.ufsm@gmail.com](mailto:efisica.ufsm@gmail.com)

 [@efisica.ufsm](https://www.instagram.com/efisica.ufsm)

# Anais da V Escola de Inverno de Física da UFSM

29/10/2024 - 31/10/2024

Comissão Organizadora da V EIF

# EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DE FILMES MULTICAMADAS DE CO/CU/PD

Amanda D. Rodrigues<sup>1</sup>, Artur H. de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Materiais que apresentam anisotropia magnética perpendicular (PMA) têm sido intensamente estudados devido ao seu apelo para aplicações tecnológicas. Desde a observação de skyrmions magnéticos em filmes finos multicamadas com PMA, o interesse sobre o tema foi intensificado ainda mais. Para explorar o fenômeno em dispositivos, é fundamental ajustar finamente as propriedades magnéticas das nanoestruturas, seja controlando a espessura das camadas, ou submetendo-as a tratamentos pós-deposição. No presente trabalho, o comportamento magnético de multicamadas [Pd(10 Å)/Co (5 Å)/Cu ( $t_{Cu}$ )/Pd (10 Å)]  $\times$  15 crescidas por sputtering de magnetron é investigado. As quantidades entre parênteses representam a espessura de cada camada, e  $t_{Cu} = 0, 2, 4, 6$  ou  $8 \text{ \AA}$ . Um magnetômetro de campo de gradiente alternado foi utilizado para traçar curvas de magnetização para cada amostra, e sua estrutura de domínio foi sondada via microscopia de força magnética. Para estudar a influência do recozimento de curta duração nas propriedades magnéticas dos sistemas, eles foram submetidos a tratamentos térmicos na presença de um campo magnético  $H_{ann} = 2,5 \text{ kOe}$  aplicado perpendicularmente ao plano dos filmes. Peças das amostras feitas foram introduzidas em um forno resistivo evacuado e aquecidas até uma temperatura  $T_{ann} = 150^\circ\text{C}, 200^\circ\text{C}$  ou  $250^\circ\text{C}$ . As multicamadas foram mantidas em  $T_{ann}$  por 15 minutos e resfriadas à temperatura ambiente na presença de  $H_{ann}$ . Comparando as curvas de histerese medidas antes e depois dos tratamentos térmicos, foram observadas mudanças significativas apenas para o filme com  $t_{Cu} = 4 \text{ \AA}$ , recozido a  $250^\circ\text{C}$ . As razões por trás deste resultado estão atualmente sob investigação.

# Programação científica em *Julia*

André G. da Silva<sup>1</sup>, Ricardo L. S. Farias<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

*Julia* é uma linguagem de programação criada com programação científica em mente, isto é, ela consegue ser flexível e ter uma sintaxe simples, como *Python*, ao mesmo tempo em que tem performance que se compara com linguagens como *Fortran*. O trabalho em questão tem como objetivo apresentar essa linguagem de programação aplicada a um contexto de física, explicando algumas de suas particularidades como vetorização, tipagem dinâmica, paralelização, etc. Também será apresentado o código equivalente em *Python* e *Fortran* dando-se destaque à diferença de sintaxe e praticidade na escrita, mas também em performance e precisão numérica. Uma linguagem que tem muitas vantagens em relação a outras pode ter uma grande desvantagem que é a adoção, seja em comprometimento com atualizações ou suporte da comunidade com bibliotecas de código aberto. Logo, por fim, serão mencionadas algumas bibliotecas de código aberto escritas para *Julia* que complementam a biblioteca padrão com diversas funcionalidades muito úteis para o contexto de pesquisa em física.

# A COMPUTATIONAL STUDY ON THE WATER FLUX IN CARBON-BASED NANOMEMBRANES

Bruno A. Ruppenthal<sup>1</sup>, Tulio G. Grison<sup>1</sup>, Mateus H. Köhler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Water has a lot of fascinating characteristics, one of them is its incredible function as the universal solvent, which leads to its utilization in many diverse natural and industrial processes. Potable water is a very important and coveted resource, but like any other resource, it's finite, hence the ever-increasing discussion about the ways of reusing contaminated or impure water. One alternative is the use of filters composed of highly selective nanomaterials. This contribution focuses on Molecular Dynamics (MD) simulations involving ions and aqueous solutions pressed against nanoporous 2D membranes that can filter the undesirable ions from water. Extensive computational simulations were implemented to investigate the possibility of using a membrane composed of hydrogen, nitrogen, and carbon to filter ionic solutions composed of NaCl, Zn<sup>2+</sup>, and Fe<sup>3+</sup> from clean water. A graphene membrane with equivalent nanopore superficial areas was used to compare the results. We found the nanoporous Hemiporphyrzine membrane to perform excellent water conduction with high flow rates. The membrane also overperformed its graphene counterpart in the salt rejection, indicating impressive selectivity. Local structural insights were used to explain the mechanisms behind the water flow and salt rejection process. The results elucidate the merits of the studied membrane in the filtering processes and contribute to a better understanding of water's physical and chemical properties in systems of separation of chemical elements.

*Work supported by CAPES, FAPERGS, and CNPq.*

# O pico da velocidade do som da matéria de quarks com um desbalanceamento de isospin

Bruno da S. Lopes<sup>1</sup>, Ricardo L. S. Farias<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

É conhecido que a física das interações fortes entre quarks e glúons pode ser descrita na linguagem de teoria quântica de campos através da cromodinâmica quântica (QCD). Na presença de efeitos de meio, como temperatura e densidade, uma rica estrutura é revelada e sintetizada em seu diagrama de fases. Para altas energias, por exemplo, a interação entre as partículas se torna fraca, formando o plasma de quarks e glúons. No entanto, para baixas energias, o acoplamento é forte e os quarks estão confinados em estados ligados chamados hádrons. Além disso, a teoria requer uma abordagem não perturbativa nesse regime. O estudo das propriedades da QCD é importante para a compreensão de sistemas como o universo primordial, colisões de íons pesados e objetos astronômicos compactos como estrelas de nêutrons. Devido à condição de neutralidade de carga, essas estrelas necessariamente apresentam um desbalanceamento de isospin – uma diferença entre o número de quarks *up* e *down* – e essa assimetria pode ser caracterizada por um potencial químico de isospin. Um dos métodos de resolução da QCD bem sucedidos se dá pela discretização em uma rede seguida de simulações de Monte Carlo. Todavia, não é possível gerar pesos de configuração reais na situação de densidade bariônica finita, fato conhecido como problema de sinal. Porém, isso não ocorre para densidade de isospin finita e densidade bariônica zero. Recentemente, resultados de QCD na rede foram obtidos nesse regime e observaram um pico na velocidade do som que excede o limite conforme. Reproduzir essas descobertas categóricas no contexto de modelos efetivos da QCD, que buscam descrever suas principais propriedades, tem se mostrado uma tarefa difícil. Motivados por isso, propomos recentemente a introdução de um acoplamento dependente do potencial químico de isospin no modelo de Nambu–Jona–Lasinio, obtido ao exigir que este renda uma boa descrição dos dados de rede, ao mesmo tempo que levamos em consideração possíveis percalços relacionados à consistência termodinâmica. Argumentamos então que essa dependência com efeitos de meio pode ser fundamental para que o comportamento não monotônico da velocidade do som seja verificado também em teorias efetivas da QCD.

Trabalho apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

# Estrutura de emissão de gás molecular e ionizado e cinemática na galáxia hospedeira do AGN MCG+08-011-11

Clara R. Gomes<sup>1</sup>, Rogemar A. Riffel<sup>1</sup>, Astor J. Schönell Junior<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

<sup>2</sup>*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha*

Utilizamos espectroscopia de campo integral no infravermelho próximo para estudar a emissão e cinemática do gás molecular e ionizado na região central da galáxia MCG+08-011-11, que hospeda um Núcleo Ativo de Galáxias (AGN - *Active Galactic Nucleus*). Os AGNs são caracterizados pela presença de um buraco negro supermassivo (SMBH – *Super Massive Black Hole*) central ativamente acrecendo, com radiação, saídas de gás e jatos sendo produzidos no disco de acreção do SMBH e impactando a formação de estrelas na galáxia hospedeira, um fenômeno conhecido como *feedback* do AGN. As observações no infravermelho próximo do Gemini Near-Infrared Integral-Fields Spectrograph (NIFS) na banda K cobrem os 3"x3" internos da galáxia. As linhas de emissão de hidrogênio molecular (por exemplo, H<sub>2</sub>  $\lambda$ 2.1218  $\mu$ m) e Br $\gamma$  foram ajustadas por curvas com perfis de Gauss-Hermite usando o *software* IFSCube, permitindo a construção de mapas para os fluxos de linha, velocidade e dispersão de velocidade e momentos h<sub>3</sub> e h<sub>4</sub>. A partir dos fluxos das linhas de emissão de H<sub>2</sub>, estimamos uma temperatura de excitação da galáxia. O mapa da razão de fluxo H<sub>2</sub>  $\lambda$ 2.1218 $\mu$ m/Br $\gamma$  mostra que a emissão de H<sub>2</sub> é devida a processos térmicos associados ao AGN na maioria dos locais do campo de visão observado.

# A origem da emissão do gás em galáxias OH megamaser

Cláudia M. Cassanta<sup>1</sup>, Rogemar A. Riffel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Galáxias ultraluminosas e luminosas no infravermelho ([U]LIRGs) são objetos extremamente brilhantes nesta faixa espectral, com luminosidades no infravermelho acima de  $10^{12}$  e  $10^{11} L_{\odot}$ , respectivamente. Esses objetos, que geralmente consistem em fusões e interações de galáxias, são ambientes propícios para a emissão de megamasers OH (OHMs), luminosos e poderosos masers extragalácticos. As condições físicas dos ambientes que produzem OHMs ainda não são bem compreendidas, porém muitos sistemas hospedeiros deste fenômeno parecem apresentar um espectro composto, com características tanto de intensa formação estelar (Starbursts) quanto de um núcleo ativo de galáxia (AGN). Realizamos um estudo em múltiplos comprimentos de onda em uma amostra de 15 [U]LIRGs com o objetivo geral de relacionar as propriedades da emissão megamaser e o estágio de fusão de sua galáxia hospedeira com possíveis atividades AGN e/ou Starburst, a fim de melhor compreender a natureza do mecanismo de ionização das galáxias que apresentam este fenômeno. Os resultados obtidos até agora indicam a presença de AGNs em 6 das 7 galáxias OHM estudadas, e 4 destas 7 galáxias apresentam outflows de gás ionizado. Regiões de formação estelar em escalas de alguns kpc também foram identificadas na maioria das galáxias. Apresentamos resultados preliminares para outras 6 galáxias, baseados em observações dos Telescópios Gemini, com o espectrógrafo GMOS-IFU. Obtivemos medidas da cinemática do gás ajustando os perfis das linhas de emissão com curvas gaussianas, utilizando o código IFSCube. Além disso, diagramas de diagnóstico BPT e WHAN foram construídos para determinar o mecanismo de ionização do gás. Esperamos ainda detectar e quantificar, quando houver, outflows de gás ionizado nestas galáxias.

# SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE FULERENOS ENDOÉDRICOS DOPADOS COM LANTANÍDEOS: Espectros de Absorção e Emissão por Excitação de Raios X

Cristian Lovatto<sup>1</sup>, Laura O. Vendrame<sup>1</sup>, João P. A. Souza<sup>2</sup>, Marlus Koehler<sup>3</sup>, Luana Wouk<sup>2</sup>, Solange B. Fagan<sup>1</sup>, Ivana Zanella<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Programa de Pós-Graduação em Nanociências da Universidade Franciscana - UFN*

<sup>2</sup>*Instituto de física, Universidade de Brasília - UNB*

<sup>3</sup>*Universidade Federal do Paraná - UFPR*

As terapias fotônicas, a exemplo das terapias Fotodinâmica (TFD) e Fototérmica (TFT), destacam-se no campo da medicina oncológica devido ao seu elevado potencial de seletividade celular e à notável redução dos efeitos colaterais em comparação à radioterapia convencional. No entanto, essas terapias têm sua eficácia restrita à aplicação superficial, uma vez que requerem a entrega de energia com comprimentos de onda ( $\lambda$ ) no espectro da luz visível ou infravermelho próximo, como princípio de ativação. Energias com esses comprimentos de onda são incapazes de atingir profundidades superiores a 10 mm no tecido biológico, restringindo o tratamento a tumores superficiais. Em contrapartida, certas nanopartículas dopadas com lantanídeos podem emitir intensa luminescência quando excitadas por raios X, via efeito fotoelétrico. Os raios X possuem grande poder de penetração nos tecidos biológicos, permitindo a entrega de energia em maiores profundidades. A presente pesquisa propõe um conceito teranóstico inovador no campo da fototerapia: a *Terapia fotônica bimodal TFD/TFT ativada por raios X*, empregando nanopartículas cintiladoras e nanomateriais à base de carbono. O escopo deste estudo envolve a avaliação de fulerenos endoédricos ( $C_{60}$ ) dopados com Gadolínio (Gd), Európio (Eu), Neodímio (Nd) e Túlio (Tm), por meio de simulações computacionais. O objetivo é obter os espectros de absorção e emissão das nanoestruturas. Para a realização desse estudo, está sendo utilizado o programa *Gaussian*, que realiza simulações de primeiros princípios baseadas na teoria do funcional da densidade (DFT) e na teoria do funcional da densidade dependente do tempo (TD-DFT). Empregando o método contínuo polarizável e ajuste de *range*, com o funcional *wB97XD*, um *meta-GGA*, busca-se obter uma melhor correlação entres os resultados teóricos e experimentais dos materiais empregados neste trabalho. Com a nova abordagem, nanopartículas conjugadas podem converter a energia absorvida de raios X, que são mais penetrantes, em luminescência, atuando como uma fonte de luz em qualquer profundidade tecidual, e ativar o fármaco em regiões mais internas do corpo. Nanomateriais de carbono destacam-se como excelentes carreadores de fármacos e direcionadores a alvos. Suas propriedades físico-químicas permitem a sua funcionalização e a consolidação de estruturas de ancoragem para concepções multimodais de tratamento. O  $C_{60}$  é uma classe alotrópica do carbono que se caracteriza por sua fotoestabilidade e extraordinária eficiência de conversão de energia fototérmica mediante excitação no infravermelho. Esse composto carbonáceo pode servir como um invólucro de carbono extremamente estável e biocompatível, resguardando os tecidos biológicos dos possíveis efeitos tóxicos dos lantanídeos. Esses nanocompostos também podem ter aplicações teranósticas, servindo tanto como meios de contraste em imagens de Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética (Gd), quanto serem incorporados em sistemas de Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET-CT). Essa solução promissora permitirá o alcance de tecidos celulares mais internos, viabilizando o seu uso terapêutico em tumores profundos.



# Atualização do Princípio de Complementaridade de Bohr

Diego Starke<sup>1</sup>, Marcos Basso<sup>2</sup>, Jonas Maziero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

<sup>2</sup>*Centro de Ciências Naturais e Humanas, Universidade Federal do ABC*

O princípio de complementaridade de Bohr (PCB) é um dos conceitos fundamentais da mecânica quântica (MQ) e estabelece que, para um determinado aparato experimental, o sistema quântico apresenta pares de propriedades complementares que se manifestam de forma exclusiva, sendo a dualidade onda-partícula (DOP) o exemplo mais emblemático. O PCB foi apresentado por Bohr em 1927, no entanto, foi somente em 1979 que Wotters e Zurek demonstraram que os comportamentos complementares, ondulatório e partícula, poderiam se manifestar de maneira parcial, ou seja, quanto mais informação era obtida de um dos comportamentos, menos informação estava disponível do comportamento complementar. Esse entendimento levou Greenberger e Yasin a formularem as primeiras relações de complementaridade (RCs), quantificando matematicamente esta observação. As RCs são denotadas por expressões do tipo  $W + P \leq \alpha$  para a DOP, onde  $W$  e  $P$  quantificam, respectivamente, os comportamentos de onda e partícula, e são limitadas superiormente por uma constante  $\alpha$ . Até há pouco tempo, o PCB não havia sido formalizado de maneira definitiva e, embora contribuindo significativamente para a compreensão da MQ, sua origem permanecia incerta dentro da teoria. A falta de uma definição formal era particularmente notável nas escolhas das funções  $W$  e  $P$ , que são, em geral, introduzidas de maneira ad hoc para satisfazer as exigências da RC. Em muitos casos, essas funções são definidas em regiões diferentes do experimento daquelas nas quais se deseja quantificar a DOP. No presente trabalho [D. S. Starke, M. L. W. Basso, and J. Maziero, <https://arxiv.org/abs/2312.02743>], propomos uma atualização do PCB, fundamentando-a em trabalhos anteriores realizados por nosso grupo de pesquisa. Esses trabalhos nos permitiram demonstrar que o PCB é uma consequência direta dos postulados da mecânica quântica, o que eleva significativamente a importância do princípio dentro da teoria. Nessa atualização, as RCs são agora quantificadas em cada instante de tempo à medida que o estado quântico evolui. As RCs são expressas como  $W(\rho_t) + P(\rho_t) \leq \alpha(d)$ , onde o grande diferencial é que  $W$  e  $P$  são estritamente quantificadas considerando o operador densidade  $\rho_t$ , e limitadas por uma função constante que depende da dimensão  $d$  do sistema. De maneira simplificada, a formulação dessas RCs origina-se do postulado dos estados. Consideramos o quantificador do comportamento ondulatório denominado coerência quântica e que está relacionado aos elementos fora da diagonal principal de  $\rho_t$  e, conseqüentemente, relacionados à interferência quântica de estados. Aplicando as restrições inerentes ao  $\rho_t$ , derivamos uma inequação que relaciona  $W$  com os elementos diagonais do operador densidade, que por sua vez fornecem a probabilidade de ocupação de um estado quântico (populações). Basta reorganizarmos a relação e chegamos na RC citada anteriormente. Na formulação anterior do PCB é possível nos depararmos com algumas inconsistências, marcadas por alegações de experimentos que supostamente violavam o princípio, como o experimento de Afshar, e alterações de comportamento passado influenciados por decisões no presente, ilustrado pelo experimento de Wheeler. Além desses casos, identificamos outros experimentos que demonstravam comportamentos atípicos. Realizamos ainda um comparativo entre a versão prévia do PCB e a atualização que propomos. Através dessa revisão, é possível discernir claramente tanto a aplicabilidade prática quanto as limitações do PCB. Nossa atualização aborda e resolve potenciais violações ao princípio e esclarece diversas situações peculiares relatadas anteriormente, garantindo a consistência interna do princípio.

# Influência do potencial químico quiral no diagrama de fases da QCD

Francisco X. de Azeredo<sup>1</sup>, Dyana C. Duarte<sup>1</sup>, Ricardo L. S. Farias<sup>1</sup>, Rudnei O. Ramos<sup>2</sup> e Gastão Krein<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)*

<sup>2</sup>*Instituto de Física, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)*

<sup>3</sup>*Instituto de Física Teórica (IFT)*

Muitos esforços têm sido dedicados à compreensão do modo como o desbalanceamento quiral entre os quarks de mão direita e esquerda pode influenciar o diagrama de fases da Cromodinâmica Quântica (QCD). Há diferentes motivações para tais estudos, por exemplo, a possibilidade do desbalanceamento quiral estar presente em experiências de colisão de íons pesados em aceleradores de partículas como o Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) e o Large Hadron Collider (LHC). Além disso, nestas colisões são criados brevemente campos magnéticos, e a presença de um desbalanceamento quiral pode induzir uma corrente elétrica ao longo da direção do campo magnético devido ao fato da carga elétrica total dos quarks não ser nula. Este fenômeno é conhecido na literatura como Efeito Magnético Quiral (CME), e não se limita à QCD, sendo também observado em sistemas de matéria condensada. Os efeitos de um desbalanceamento quiral no diagrama de fases da QCD podem ser estudados no ensemble grande canônico através da introdução de um potencial químico quiral na densidade Lagrangiana da teoria. Neste contexto, o comportamento da matéria de quarks quente e com desbalanceamento quiral pode ser descrito por meio de modelos efetivos da QCD. Neste trabalho, realizamos modificações no potencial de Polyakov, introduzindo um potencial químico quiral finito que permite que o modelo de Polyakov–Nambu–Jona-Lasinio esteja de acordo com simulações recentes de QCD na rede. Pela primeira vez na literatura mostramos que o comportamento das temperaturas pseudo-críticas para o desconfinamento e a restauração da simetria quiral são funções crescentes do potencial químico quiral, em concordância com resultados recentes da QCD na rede. A influência destas modificações no modelo PNJL sobre as quantidades termodinâmicas foi também investigada.

# **BOOLEAN MODELING OF EPITHELIAL MESENCHYMAL TRANSITION AND ITS RELEATIONSHIP WITH STEMNESS**

Gabriel V. Soares<sup>1</sup>, Daner A. Silveira<sup>2</sup>, Jose Carlos M. Mombach<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

The metastasis in cancer cells can be understood through the processes of EMT (epithelial- mesenchymal transition) and MET (mesenchymal-epithelial transition), along with their underlying molecular signaling pathways that allow cells to gain migration and invasion properties. There are few known pathways that govern EMT and MET, with their regulatory core consisting of the genetic transcription factors: ZEB1 (zinc finger E-box binding homeobox 1), SNAI1 (Zinc finger protein SNAI1), and TWIST1 (Twist-related protein 1). Although they can describe a linear progression of the process, some important features remain unclear. To explore the hybrid (epithelial and mesenchymal) phenotype that cells can acquire when undergoing EMT and MET, we propose a Boolean gene regulatory network focusing on the transcription factor PRRX1 (Paired related homeobox 1). Recent studies have shown its role in promoting stem cell-like properties, and therefore, it is crucial to cell differentiation and dedifferentiation. Our model is validated with experimental data and presents the reversibility conditions of the mesenchymal phenotype associated with secondary tumors, taking into account microRNAs and long non-coding RNAs as post-transcriptional factors, as well as the influence of the extracellular matrix as a morphological parameter of stemness. Additionally, our analysis predicts the presence of novel regulatory feedback circuits with crosstalk between pathways that regulate cell fate decisions. This work elucidates the mechanistic relations between molecules that can be used in future experiments and provides new insights into oncological therapeutics.

# Análise Comparativa das Propriedades Cinemáticas e Dinâmicas de Aglomerados Gaussianos e Não Gaussianos

Greique A. Valk<sup>1</sup>, Sandro B. Rembold<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

A análise dinâmica de aglomerados de galáxias é geralmente realizada através do uso das equações de Jeans, as quais são derivadas sob a suposição de equilíbrio dinâmico. O estado dinâmico de um aglomerado pode ser sondado através do formato da distribuição de velocidades das galáxias que o compõem. Distribuições com formato gaussiano são indicativas de sistemas próximos do equilíbrio, enquanto formatos não gaussianos são sugestivos de sistemas dinamicamente mais jovens. Neste trabalho, analisamos os perfis de densidade numérica projetada,  $I(R)$ , dispersão de velocidades projetada,  $\sigma_p(R)$ , e anisotropia de velocidades,  $\beta(r)$ , de aglomerados de galáxias Gaussianos e Não Gaussianos, a fim de identificar o impacto que a inclusão de sistemas não relaxados ocasiona nas soluções fornecidas pelas equações de Jeans. Nossa amostra de galáxias e aglomerados foi extraída do catálogo Tempel et al. (2017), sendo que nos restringimos a sistemas com 20 ou mais membros, obtendo assim 23977 galáxias pertencentes a 642 aglomerados. Classificamos os aglomerados em Gaussianos (G) e Não Gaussianos (NG) com base no formato da distribuição de velocidades na linha de visada, analisada através da distância de Hellinger, obtendo 588 sistemas G e 54 sistemas NG, os quais contêm, respectivamente, 21633 e 2344 galáxias. As posições e velocidades das galáxias foram normalizadas de modo a agrupá-las em pseudo-aglomerados, denominados aglomerados ensemble, mantendo-se a separação entre sistemas G e NG. Nossos resultados nos mostram que galáxias em sistemas G tendem a serem encontradas mais próximas as regiões centrais quando comparadas com aquelas em sistemas NG. Ademais, sistemas G e NG tendem a serem caracterizados por dispersões de velocidades similares, uma vez que as maiores incertezas no perfil de  $\sigma_p(R)$  da amostra NG impedem uma comparação mais robusta. Os perfis de  $\beta(r)$  de aglomerados G e NG são completamente diferentes. Galáxias em sistemas G são caracterizadas por órbitas mais isotrópicas na região central que se tornam cada vez mais radiais com o aumento da distância ao centro do aglomerados. Por outro lado, os resultados para os sistemas NG sugerem órbitas tangenciais em todas as distâncias radiais, os quais interpretamos como sendo indicativos de que tais sistemas se encontram fora do equilíbrio. Desse modo, nossos resultados indicam que aglomerados G são sistemas dinamicamente mais evoluídos, ao passo que aglomerados NG ainda são dinamicamente jovens. Além disso, eles reforçam a importância da identificação e remoção de sistemas não relaxados da amostra antes de se iniciar a análise orbital da mesma. De modo que, caso a remoção não seja realizada, as conclusões obtidas estarão incorretas.

# COMPORTAMENTO CRÍTICO DO MODELO DE ISING ANTIFERROMAGNÉTICO COM INTERAÇÕES DE SEGUNDOS VIZINHOS NA PRESENÇA DE UM CAMPO MAGNÉTICO EXTERNO

Iago F. Mühl<sup>1</sup>, Mateus Schmidt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Investigamos os efeitos do campo magnético longitudinal no modelo de Ising com interações antiferromagnéticas entre os primeiros vizinhos ( $J_1$ ) e interações ferromagnéticas entre os segundos vizinhos ( $J_2$ ) na rede quadrada. Neste caso, o modelo exibe uma fase antiferromagnética de Néel (AF), e a presença de interações de segundo vizinhos pode levar a transições de fase de primeira ordem [1, 2]. Exploramos o comportamento crítico do modelo sob o efeito de um campo magnético longitudinal através da técnica de campo médio com clusters, adotando clusters com até 16 sítios. Encontramos transições de fase de primeira e segunda ordem ao considerar  $J_2$  finito. Além disso, os nossos resultados indicam a presença de uma transição de fase de primeira ordem entre duas fases ordenadas e um ponto tricrítico nos diagramas de fase temperatura-campo externo. O aumento de  $J_2$  leva o ponto tricrítico para temperaturas mais elevadas e campos magnéticos mais baixos. Para valores baixos de  $J_2$ , há uma transição de primeira ordem entre duas fases antiferromagnéticas nas proximidades do ponto tricrítico. Em geral, clusters maiores apresentam temperaturas críticas mais baixas e levam a um intervalo em que ocorre a transição entre as fases AF menor. Para todos os valores de  $J_2$  e tamanhos de clusters adotados, a transição de fase no estado fundamental ocorre à mesma intensidade do campo externo. Verificamos que interações entre segundos vizinhos mais intensas favorecem tanto transições de primeira ordem quanto a temperatura crítica. Os nossos resultados sugerem que a tricriticidade é uma característica do modelo, assim como a transição entre as fases ordenadas, encontradas para todos os tamanhos de clusters estudados.

[1] Y. Kato, T. Misawa, *Phys. Rev. B* 93 (2015) 174419.

[2] S. Katsura, S. Fujimori, *J. Phys. C: Solid State Phys.*, Vol 7 (1974).

# EXPLORANDO A RETIFICAÇÃO DE SPIN E EFEITO HALL DE SPIN INVERSO EM SISTEMAS COM EXCHANGE BIAS

Sulzenco, J. B<sup>1</sup>, R. B da Silva<sup>1</sup>, A. Harres<sup>1</sup>, J. N. Rigue<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Dispositivos baseados em efeitos de retificação de spin são de grande interesse para aplicações de comunicação em banda larga, pois permitem a retificação de sinais de radiofrequência por meio de materiais ferromagnéticos simples. O fenômeno é potencializado na condição de ressonância ferromagnética, que pode ser alcançada quando um campo magnético externo é aplicado. A necessidade desse campo, porém, dificulta as aplicações tecnológicas [1]. Explorando o efeito de retificação de spin (SRE) e o efeito Hall de spin inverso (ISHE) em amostras com exchange bias (EB), é possível a retificação de sinais de radiofrequência sem um campo magnético externo aplicado [2]. A ideia central deste trabalho foi aumentar a tensão ISHE/SRE utilizando multicamadas de NiFe/IrMn com exchange bias. Filmes finos de composição nominal [NiFe(50nm)/IrMn(20nm)/Ta(10nm)] × N, em que N é o número de repetições das multicamadas, foram produzidos por magnetron sputtering e caracterizados magneticamente com um magnetômetro de gradiente de campo alternado (AGFM). Tensões diretas da ordem de  $\mu\text{V}$  foram obtidas quando filmes finos de NiFe/IrMn/Ta foram expostos a micro-ondas em uma microstrip line em curto para uma faixa de frequência relativamente ampla. No presente estudo, constatou-se que o campo de exchange bias ( $H_{\text{eb}}$ ) diminui com o aumento de N. Além disso, o campo coercivo ( $H_{\text{c}}$ ) foi maior para valores menores de N. As medidas de tensão em função do campo magnético indicaram que as curvas para valores maiores de N são mais íngremes do que para valores menores de N, refletindo as características das curvas de magnetização. Observou-se também que a tensão de pico aumenta com a potência aplicada, mas diminui com o aumento de N. Acima de 2,0 GHz, a tensão satura, não aumentando significativamente com a potência. No entanto, o aumento do número de camadas N também contribuiu para uma elevação gradual da corrente detectada, evidenciando que a maior quantidade de camadas aumenta a eficiência na conversão de potência de radiofrequência em corrente contínua, especialmente em frequências próximas a 2,0 GHz.

[1] R. L. Seeger, W. J. S. Garcia, D. A. Dugato, R. B. da Silva, e A. Harres, “Wireless power transfer exploring spin rectification and inverse spin Hall effects”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 51, 165002, Mar. 2018.

[2] W. J. S. Garcia, R. L. Seeger, R. B. da Silva, e A. Harres, “Inverse spin Hall and spin rectification effects in NiFe/FeMn exchanged-biased thin films”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 441, pp. 392-397, Jun. 2017.

# **Divulgação científica nas áreas de STEM: POP SCIENCE UFSM**

Julia V. Ribeiro<sup>1</sup>, Reuel R. da Silva<sup>1</sup>, Dyana C. Duarte<sup>1</sup>, Josemar Alves<sup>1</sup>, Luciana R. de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

<sup>2</sup>*Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo*

Neste projeto de Extensão, visamos divulgar e popularizar o conhecimento científico produzido nas áreas de STEM (sigla em inglês para Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), bem como fortalecer a relação entre universidade e comunidade. Para tanto: inicialmente, selecionamos tópicos científicos relevantes ou atuais; depois, traduzimos esses tópicos para uma linguagem acessível ao público geral; e, por fim, elaboramos postagens para nossa página no Instagram. Trabalhamos, atualmente, com quatro temas principais: (1) Curiosidades, onde os alunos escolhem os temas de interesse e constroem as postagens; (2) CientistAS, onde divulgamos o perfil e o trabalho das pesquisadoras da UFSM; (3) Para além do arco, onde divulgamos eventos em que alunos ou professores da UFSM tenham participado; e (4) Traduzindo, onde os participantes do projeto selecionam artigos de divulgação científica de revistas reconhecidas internacionalmente e os traduzem, facilitando o acesso do público em geral ao conteúdo produzido em língua inglesa. Com essas ações, visamos aumentar o engajamento online da população em geral com temas científicos, melhorar a compreensão científica e desenvolver habilidades de comunicação dos estudantes de diferentes cursos de graduação. Além disso, objetivamos incentivar a participação de mulheres nas áreas de STEM, assim como criar um impacto positivo na percepção da ciência pelo público em geral. Atualmente, as postagens sobre os perfis das pesquisadoras são as que geram maior engajamento, com elevado número de comentários, enquanto as de curiosidades são as que possuem maior alcance. Nesse contexto, esperamos utilizar os resultados de nosso primeiro ano de atuação para elaborar estratégias de divulgação cada vez mais eficientes e que alcancem um público cada vez maior e diversificado nas redes sociais.

# **Comportamento magnético de nanopartículas de magnetita ancoradas em matrizes de celulose e quitosana**

**Karolina N. Jarochevski<sup>1</sup>, Artur H. de Oliveira<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Biocompósitos como a quitosana e a celulose vêm se mostrando bastante eficientes na remoção de impurezas da água. Após a adsorção de tais impurezas, entretanto, torna-se complicado separar os biocompósitos da solução. A adição de nanopartículas magnéticas ao sistema torna o processo mais simples, pois o compósito passa a ser atraído por um ímã. Apesar de amplamente estudados, o comportamento magnético de tais sistemas raramente é investigado em detalhe. No presente trabalho, apresentamos um estudo das propriedades magnéticas de matrizes de celulose e quitosana decoradas com nanopartículas de magnetita. A caracterização magnética foi realizada em temperatura ambiente, através da técnica de magnetometria de amostra vibrante. Difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier foram utilizadas para caracterizar estruturalmente as amostras. Resultados preliminares sugerem que o comportamento magnético das amostras com celulose é ditado pelo tamanho das nanopartículas, que varia de forma não monótona com a proporção de magnetita. Já no caso da quitosana, esta relação não é evidente. Análises de microscopia eletrônica de transmissão a serem realizadas poderão esclarecer tal comportamento.



# **SIMULAÇÕES DE DINÂMICA MOLECULAR DE MEMBRANA MULTIDIMENSIONAL PARA REMOÇÃO SELETIVA DE POLUENTES DA ÁGUA**

**Luana S. Moreira<sup>1</sup>, Mateus H. Köhler<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

A urbanização contribui para o crescente impacto das atividades humanas em ecossistemas aquosos. Por exemplo, durante tempestades, poluentes encontrados na superfície de rodovias, como metais pesados, fertilizantes, e contaminantes orgânicos, são conduzidos a rios e desagüam em fontes de água antes potável.

Um dos poluentes mais comuns gerados por esse processo é o fósforo, o qual também é utilizado na agricultura e na indústria química. A quantidade de fósforo na água é um indicador de eutrofização (processo que ocorre quando um corpo d'água recebe uma grande quantidade de efluentes com matéria orgânica enriquecida com minerais e nutrientes, os quais induzem o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas) e, em alta concentração, é tóxico para o corpo humano. Portanto, remover o excesso de fosfato de corpos d'água é essencial para garantir fontes de água potável e proteger a fauna e flora aquáticas.

Neste trabalho, implementamos simulações de dinâmica molecular para explorar a combinação de nanomembranas de carbono 2D e 1D como um sistema de adsorção seletiva, removendo fosfato da água. O sistema é composto por uma solução aquosa com fosfato e água confinados entre duas membranas de grafeno. Além disso, também estudamos o impacto da introdução de um nanotubo de carbono na capacidade de adsorção deste sistema. Os resultados indicam diferentes graus de adsorção dependendo de parâmetros termodinâmicos e estruturais, como temperatura e densidade. Ademais, encontramos que o nanotubo interage com o poluente contribuindo para o aumento da adsorção. Os resultados obtidos neste trabalho ajudarão no estabelecimento de novos protocolos para adsorção de fosfato, facilitando o acesso adequado a fontes de água potável.

# Investigando a Taxa de Formação Estelar em Galáxias Ativas do Projeto MaNGA

Maitê S. Z. de Mellos<sup>1</sup>, Rogemar A. Riffel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Os núcleos ativos de galáxias (AGN) são regiões nucleares compactas que emitem energia além do esperado para processos estelares. Essa emissão intensa de energia é atribuída ao processo de acreção de matéria por um buraco negro supermassivo presente no núcleo da galáxia. A acreção de matéria pelo buraco negro resulta na liberação de quantidades significativas de energia, desempenhando um papel fundamental na evolução das galáxias, afetando a sua formação estelar. Nesse contexto, o projeto *Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory* (MaNGA) realizou observações de aproximadamente 10 mil galáxias próximas com o objetivo de estudar sua composição. Com base nisso, o presente trabalho tem a finalidade de buscar evidências observacionais de como a presença de um núcleo ativo pode afetar a composição estelar da galáxia hospedeira, utilizando uma amostra de 293 galáxias ativas e 586 controles do *Survey* MaNGA, semelhantes em termos de morfologia, redshift e massa estelar. A abordagem adotada consistiu em obter a densidade superficial da taxa de formação estelar, a partir de medidas de síntese de população estelar realizadas pelo código STARLIGHT, para o trio AGN-controles em um raio de 2.5 arcsec, que corresponde à região nuclear da galáxia, para populações estelares de até 20 Myr, bem como medidas derivadas das linhas de emissão do gás, a fim de obter uma relação entre a atividade do núcleo ativo e a composição estelar da galáxia. Através desse estudo, também foi possível comparar espacialmente a densidade superficial da taxa de formação estelar em galáxias ativas e não ativas, levando em consideração a luminosidade do AGN. Os resultados revelaram que 62% das galáxias ativas apresentam uma densidade superficial da taxa de formação estelar maior em comparação com seus respectivos controles não ativas, sugerindo uma influência positiva do AGN na formação estelar. Além disso, ao explorar a luminosidade do AGN, observou-se que quanto maior a sua luminosidade, maior é a densidade superficial da taxa de formação estelar nas proximidades do núcleo da galáxia, indicando uma relação direta entre a atividade do AGN e a formação de estrelas. Além disso, desenvolveu-se também uma metodologia para estimar a taxa de formação estelar em regiões ionizadas pelo AGN, utilizando o fluxo da linha de emissão  $H\alpha$ .

# MODELO DE ISING NA REDE QUADRADA BICAMADA COM INTERAÇÃO ENTRE PLANOS FRUSTRADA

Mateus Roos<sup>1</sup>, Mateus Schmidt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Filmes magnéticos ultrafinos são uma classe de sistemas que tem atrado grande interesse nas últimas décadas devido ao seu potencial de aplicação tecnológica em mdias de gravação magnética [1]. A investigação destes sistemas pode ser realizada com modelo de Ising na rede quadrada bicamada. Este modelo, em sua versão com interação de troca entre primeiros vizinhos ( $J_1$ ) no plano e entre planos ( $J_p$ ), foi amplamente investigado por diversas abordagens, como simulações de Monte Carlo [2]. A presença de frustração em filmes finos magnéticos tem revelado uma ampla gama de fenômenos interessantes. No modelo de Ising bicamada, é possível introduzir frustração ao incorporar interações competitivas com interações cruzadas entre planos ( $J_x$ ), i.e., entre segundos vizinhos entre camadas. Um caso semelhante foi explorado na rede hexagonal com o uso de simulações de Monte Carlo [3] e teoria de campo médio com clusters [4]. Neste caso, os autores encontraram um diagrama de fases rico, com a presença de três fases ordenadas. Motivados pela ausência de estudos deste sistema e pela relevância de filmes finos magnéticos, investigamos a criticalidade do modelo de Ising na rede quadrada bicamada com interação entre planos cruzada. Consideramos as interações de troca entre primeiros vizinhos no plano ( $J_1$ ), entre camadas bilinear ( $J_p$ ) e entre camadas cruzada ( $J_x$ ), ambas antiferromagnéticas. O método aproximativo utilizado foi CMF. Nesta abordagem, dividimos a rede infinita em clusters cúbicos de 8 stios. As interações intracluster são tratadas exatamente e nos termos interclusters é incorporada a aproximação de campo médio. A partir desta abordagem teórica, encontramos no estado fundamental três fases ordenadas similares ao caso também relatado na rede hexagonal citada acima;  $AF_I$ ,  $AF_{II}$  e  $AF_{III}$ . Todas as transições  $AF_I - PM$  e  $AF_{III} - PM$  são de segunda ordem. Também identificamos que as transições  $AF_I - AF_{III}$  ocorrem em  $T = 0$ , o que pode ser interpretado como uma consequência da forte competição entre interações. Além disso, nossos resultados indicam a presença de um ponto tricrítico na transição  $AF_{II} - PM$ . Por fim, todas as transições  $AF_I - AF_{III}$  são de primeira ordem. Portanto, notamos que a interação entre planos cruzada exerce um papel fundamental na criticalidade do modelo considerado.

[1] T. Kaneyoshi, A transverse ising bilayer film with an antiferromagnetic spin configuration, International Journal of Modern Physics B, vol. 29, 2015.

[2] P. L. Hansen, J. Lemmich, J. H. Ipsen, and O. G. Mouritsen, Two coupled ising planes: Phase diagram and interplanar force, Journal of Statistical Physics, vol. 73, 1993.

[3] F. A. Gómez Albarracn, H. D. Rosales, and P. Serra, Phase transitions, order by disorder, and finite entropy in the ising antiferromagnetic bilayer honeycomb lattice, Phys. Rev. E, vol. 98, p. 012139, Jul 2018.

[4] L. C. Rossato, F. Zimmer, C. Morais, and M. Schmidt, The ising bilayer honeycomb lattice: A cluster mean-field study, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, vol. 621, p. 128778, 2023.

# IMPACTO DA REDUÇÃO DE DOSE DE RADIAÇÃO NA PRÁTICA CLÍNICA DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA: UMA ANÁLISE FÍSICA

Nathalia M. Bonadeo<sup>1</sup>, Adrine S. da Silva<sup>1,2</sup>, Nathalia F. Minozzo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Programa de Pós-Graduação em Nanociências, Universidade Franciscana*

<sup>2</sup>*Curso de Física Médica, Universidade Franciscana*

A Física das Radiações é um ramo da física destinada para estudar a interação das radiações ionizantes com a matéria, a partir da descoberta da radioatividade e do raio X no final do século XIX, a radiação torna-se indispensável na medicina tanto para tratamentos, como também para diagnósticos precoces e exames de rotina. Porém, a radiação pode oferecer malefícios aos pacientes quando utilizada de maneira incorreta, para evitar que isso aconteça o princípio ALARA o qual possui o significado de: tão baixo quanto razoavelmente exequível é o que norteia os profissionais da radiologia, nele consta que devem manter a qualidade de imagem clínica com um nível de qualidade aceitável e expondo o paciente à menor dose possível. Durante a prática clínica um dos exames mais utilizados para aquisição de imagens indolor é a Tomografia Computadorizada (TC). Entretanto, esse procedimento pode submeter o paciente a uma dose elevada de radiação, sendo uma das possíveis soluções, a utilização de técnicas de reconstrução iterativa (RI) ao invés de ferramentas de reconstruções tradicionais. A reconstrução iterativa promete manter a qualidade de imagem e reduzir de 20% até 80% a taxa de exposição à radiação possibilitando uma maior segurança e melhor bem-estar do paciente durante o procedimento. Contudo, essas ferramentas apresentam constantemente falhas, ou seja, não cumprem o que prometem na literatura, visualizando estes erros, esse estudo descreve a comparação da eficiência deste método durante a prática clínica. É possível concluir que, após comparar exames de crânio, tórax e abdômen os quais utilizaram o método de reconstrução iterativa, com exames de reconstruções tradicionais é viável afirmar que não houve redução de dose de radiação, em alguns casos exames submetidos a esse método apresentaram uma dose maior de exposição à radiação em comparação aos métodos tradicionais, por essa razão finalizamos que as técnicas de reconstrução iterativa não oferecem à clínica e aos pacientes o que se propõe na literatura.

# FEEDBACK DE AGN E POSSÍVEL SISTEMA BINÁRIO DE BURACOS NEGROS NA RADIOGALÁXIA SDSS J1328+2752

Pedro A. H. Moreira<sup>1</sup>, Rogemar A. Riffel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

A presença de uma emissão de energia significativa na região central de uma galáxia, que é comparável ou até superior à energia total da galáxia e não pode ser explicada pela radiação das estrelas, indica a existência de um núcleo ativo de galáxia (AGN). O mecanismo amplamente aceito para este fenômeno é a geração de energia pela queda de material em um disco de acreção dissipativo de um buraco negro supermassivo (SMBH) central. Sabe-se que a presença de um AGN pode afetar profundamente o desenvolvimento da galáxia hospedeira, e inúmeros esforços observacionais têm sido realizados para entender o impacto de fenômenos como radiação, ventos de gás (outflows) e jatos de partículas na evolução de galáxias. Radiogaláxias, uma subclasse de AGNs, possuem uma emissão em rádio espacialmente resolvida muitas vezes na forma de jatos, sendo que algumas, denominadas Double-Double Radio Galaxies (DDRGs), apresentam múltiplos pares de jatos, altamente desalinhados. Enquanto muitas DDRGs podem ocorrer devido a múltiplos episódios de atividade nuclear, é possível que algumas sejam explicadas pela existência de um sistema de buracos negros supermassivos binários (BBHs), para os quais as evidências observacionais ainda são raras. O presente trabalho busca investigar a presença de BBHs na região nuclear da radiogaláxia SDSS J1328+2752, uma DDRG candidata a hospedar BBHs, bem como estudar a interação entre o AGN e a galáxia hospedeira. Para tal, foram utilizados dados de espectroscopia de campo integral (IFS) obtidos pelo instrumento GMOS-IFU do telescópio Gemini Norte, a partir dos quais foram criados mapas de fluxo de algumas linhas espectrais do oxigênio ([OIII]+H $\alpha$  e [OI]), nitrogênio ([NII]+H $\alpha$ ) e silício ([SII]). Observam-se perfis de linhas de emissão complexas, com múltiplas componentes cinemáticas, os quais podem ser resultado do gás ionizado por um BBH ou devido a outflows associado a um único AGN. Esses resultados ajudam a elucidar a importância de fenômenos como outflows e jatos de partículas, assim como a complicada dinâmica entre AGNs e as propriedades de suas galáxias hospedeiras, no contexto das DDRGs.

*Trabalho apoiado pelo FNDE*

# QUANTUM SWITCH: IMPLEMENTAÇÃO DE CIRCUITO QUÂNTICO COM SUPERPOSIÇÃO DE ORDENS CAUSAIS

Pedro A. S. Contri<sup>1</sup>, Jonas Maziero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Durante as últimas décadas, pesquisas em física relacionadas à gravitação quântica tiveram um aumento substancial, ramificando-se em diversos tópicos e problemas, como a causalidade quântica. Partindo do conceito de superposição, físicos teóricos propuseram a ideia de sistemas com ordem causal de eventos indefinida, fundamentada por uma superposição de ordens causais. No entanto, tal campo de pesquisa essencialmente impõe limitações físicas a sua aplicação, relativas à violação de causalidade. Com um significativo avanço na área de computação quântica, em 2013, o físico italiano Giulio Chiribella e colaboradores propuseram o *Switch*, um aparato idealizado de estrutura causal indefinida, composto de caixas pretas A e B. Chiribella et al., então, adaptou o modelo para portas lógicas em um circuito quântico, nomeado *Quantum Switch* [1], o qual seria capaz de simular computacionalmente uma superposição de ordens causais sem violações à causalidade. Atualmente, tal modelo segue sendo objeto relevante de pesquisa, como exemplifica o trabalho de Jorge Escandón-Monardes et al. [2]. Em 2023, esses físicos propuseram os Problemas de Promessa de Matrizes Hadamard Complexas, que prometem vantagens computacionais práticas a partir de ordens causais indefinidas. Portanto, o presente trabalho objetiva a implementação do *Quantum Switch*, com o intuito de analisar os resultados obtidos e buscar possibilidades de solução desses problemas de promessa, assim participando da busca por práticas mais eficientes na computação quântica.

[1] G. Chiribella, G. M. D'Ariano, P. Perinotti, and B. Valiron, Quantum computations without definite causal structure, *Phys. Rev. A*, vol. 88, no. 2, p. 022318, Aug. 2013, doi: 10.1103/PhysRevA.88.022318.

[2] J. Escandón-Monardes, A. Delgado, and S. P. Walborn, Practical computational advantage from the quantum switch on a generalized family of promise problems, *Quantum*, vol. 7, p. 945, Mar. 2023, doi: 10.22331/q-2023-03-09-945.

# DYNAMICAL ANALYSIS OF A BOOLEAN MODEL OF THE G1/S CELL CYCLE CHECKPOINT FOR EWING SARCOMA CELLS

Pedro R. Lorenzoni<sup>1</sup>, Shantanu Gupta<sup>2</sup>, Daner A. Silveira<sup>3</sup>, Luciana R. Oliveira<sup>4</sup>, José Carlos M. Mombach<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

<sup>2</sup>*Department of Computer Science, Institute of Mathematics and Statistics, University of São Paulo*

<sup>3</sup>*Children's Cancer Institute of Porto Alegre*

<sup>4</sup>*Heart Institute of the Clinical Hospital of FMUSP.*

The chimeric protein EWS-FLI1 has been identified as a major oncogenic driver in Ewing sarcoma, a neoplasm characterized by its aggressive nature. Conversely, the tumor suppressor microRNA-34a (miR-34a) is frequently downregulated in Ewing sarcoma, contributing to its pathogenesis. Notably, miR-34a has demonstrated the ability to induce senescence and apoptosis in various cancer types, including Ewing sarcoma, by targeting key regulators such as Myc. Recent evidence suggests that miR-34a may modulate the activity of EWS-FLI1 in Ewing sarcoma; however, the precise biological interaction between these molecules in the context of the G1/S checkpoint has not been fully explored. To address this gap, we propose a Boolean model to dissect the gene regulatory network for the G1/S checkpoint in Ewing sarcoma cells. Our model is validated based on experimental data from studies employing genetic manipulations of gain or loss of function in Ewing sarcoma cells, demonstrating a high degree of concordance. Additionally, our analysis predicts the presence of novel positive feedback circuits that play crucial roles in regulating critical cellular fate decisions such as senescence, apoptosis, autophagy, or proliferation in Ewing sarcoma. In light of these findings, our Boolean network model provides valuable insights into the mechanistic foundations of Ewing sarcoma pathogenesis, specifically related to the regulation of the G1/S checkpoint. Importantly, our network aims to identify novel genes beyond EWS-FLI1 with potential for therapeutic intervention to curb tumor growth and attenuate aggressive proliferation in Ewing sarcoma, with the miRNA-34a/Myc pathway emerging as a promising avenue for therapeutic exploration.

# Mapeamento Ambiental de Galáxias Pós-*starburst*

Rafaela C. da Costa<sup>1</sup>, Sandro B. Rembold<sup>1</sup>, Raphael G. Sousa<sup>1</sup>, Greique A. Valk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Neste trabalho, investigamos os ambientes em grande escala típicos de galáxias em fases de transição entre formadores de estrelas e quiescentes. Na primeira etapa do trabalho, escolhemos estudar as galáxias pós-*starburst*, uma classe rara de galáxias que subitamente pararam de produzir estrelas, como indica a não detecção de linhas de emissão de [OII]. Além disso, a existência de fortes linhas de absorção de Balmer em seu espectro indicam que recentemente, essas galáxias experienciaram uma fase *starburst* (com elevada taxa de formação estelar). Assim, por estarem em processo de transformação, essas galáxias podem fornecer importantes pistas sobre os efeitos do ambiente na evolução de galáxias. Para o estudo, definimos uma amostra de galáxias pós-*starburst* a partir do levantamento Sloan Digital Sky Survey (SDSS), selecionando objetos com largura equivalente (EW, equivalent width) de  $H\delta > 5.0 \text{ \AA}$ , EW de  $H\alpha > 3.0 \text{ \AA}$ , e EW de  $[OII] > 2.5 \text{ \AA}$ . Com isso, obtivemos uma amostra preliminar de 25 candidatos a galáxias pós-*starburst*. O caráter transicional desses objetos foi confirmado pela sua localização no diagrama de taxa de formação estelar específica (sSFR, Specific Star Formation Rate) como função da massa estelar,  $M_*$ , em comparação com uma amostra contendo 492853 galáxias do levantamento GALEX-SDSS-WISE Legacy Catalog (GSWLC). Dado o tamanho reduzido da amostra, pretendemos expandi-la, realizando as medidas das larguras equivalentes usando ferramentas desenvolvidas por nós. Em um estudo ambiental preliminar, caracterizamos o ambiente típico de uma amostra de 564 galáxias pós-*starburst* identificadas por Goto et al. (2007), no que tange ao grau de evolução dinâmica dos grupos e aglomerados de galáxias aos quais pertencem, a partir do catálogo de Tempel et al. (2017). Encontramos 10 galáxias pós-*starburst* em sistemas gaussianos (relaxados) e nenhuma em sistemas não-gaussianos. Essa diferença é sugestiva de sistemas gaussianos serem mais propícios à ocorrência do fenômeno pós-*starburst*, mas a estatística limitada impede, nessa etapa do trabalho, conclusões mais robustas.



# UM ESTUDO DO EFEITO MAGNETOCALÓRICO E DAS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS EM UM CLUSTER TETRAKIS HEXAÉDRICO CENTRADO DE ISING ATRAVÉS DA ENUMERAÇÃO EXATA

R.D. Niederle<sup>1</sup>, P.F. Dias<sup>1</sup>, P.P. Tadielo<sup>1</sup>, K. Karl'ová<sup>2</sup>, M. Schmidt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

<sup>2</sup>*Department of Theoretical Physics and Astrophysics, P.J. Šafárik University.*

O efeito magnetocalórico (EMC) é utilizado principalmente para o resfriamento magnético, permitindo atingir temperaturas muito baixas, próximas de 1mK [1]. É possível estimar o EMC através da análise do comportamento de um sistema variação entrópica em processos isotérmicos ou na remoção do campo magnético em processos isentrópicos. Diversos estudos têm indicado que estruturas de baixa dimensionalidade apresentam um elevado EMC [2]. Consequentemente, muitos trabalhos têm feito uma análise teórica sobre estruturas magnéticas de baixa dimensionalidade. Um estudo teórico-experimental recente do composto  $\text{Fe}_{15}^{\text{III}}\text{O}_6(\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3)_8\text{Cl}_6](\text{OH})(\text{ClO}_4)_2$  revelou um comportamento magnético interessante. Este composto apresenta uma estrutura metálica que forma um cluster tetrakis hexaédrico centrado, com interações antiferromagnéticas entre 15 átomos de ferro [3]. No presente trabalho, estudamos o cluster tetrakis hexaédrico centrado, composto por spins de Ising interagindo através de acoplamentos antiferromagnéticos, sob efeito de um campo magnético longitudinal. Aplicamos o método de enumeração exata, considerando o efeito de quatro interações antiferromagnéticas entre os momentos magnéticos sobre as propriedades magnéticas e termodinâmicas do sistema, a fim de analisar o efeito magnetocalórico. Nossos resultados mostram alguns comportamentos exóticos do cluster tetrakis hexaédrico centrado, como: quatro platôs de magnetização como função do campo; um comportamento incomum da magnetização como função da temperatura; e curvas de divergência da susceptibilidade magnética ou com uma estrutura de duplo pico. Além disso, descobrimos que o tetrakis hexaédrico centrado de Ising exibe um efeito magnetocalórico aumentado nas regiões do espaço de parâmetros próximas às fronteiras entre os estados fundamentais. Para certos valores das interações de troca, a temperatura de zero absoluto poderia ser alcançada em campo magnético zero durante a desmagnetização adiabática. Também observamos que, aumentando a intensidade das interações, há um aumento significativo da variação isotérmica de entropia para campos magnéticos fracos, tornando esta estrutura uma forte candidata para o resfriamento magnético. Este estudo revelou que o cluster tetrakis hexaédrico centrado apresenta um comportamento magnético interessante e propriedades entrópicas que o tornam um candidato para atingir temperaturas muito baixas através do resfriamento magnético.

[1] Zu, H.; Dai, W.; de Waele, A.T.A.M., *Cryogenics*, 121 (2022) 103390.

[2] K. Karlová, et. al., *Magnetochemistry*, 6 (2020) 59.

[3] D. J. Cutler. et. al., *Chem. Commun.*, 57 (2021) 8925.

[4] P. F. Dias. et. al., *Physica E: Low-dimen. Syst. and Nanos.*, 154 (2023) 115807.

# The rotation effect on the chiral symmetry restoration of the QCD matter

Rodrigo M. Nunes<sup>1</sup>, Ricardo L. S. Farias<sup>1</sup>, William R. Tavares<sup>2</sup>, V. S. Timóteo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

<sup>2</sup>*Departamento de Física Teórica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro*

<sup>3</sup>*Grupo de Óptica e Modelagem Numérica - GOMNI, Faculdade de Tecnologia - FT, Universidade Estadual de Campinas*

In the realm of nuclear physics, the study of quark matter dynamics represents a frontier in understanding the fundamental constituents of matter under extreme conditions. Recently, significant attention has been directed towards exploring the effects of rotations on strongly interacting matter. In non-central heavy ion collisions, QCD matter carries angular momentum on the order of  $\sim 10^5 \hbar$  and can attain angular velocities approaching  $\sim 0.1$  GeV. Both fermions and gluons undergo relativistic rotations, with lattice QCD simulations revealing intriguing phenomena: pure gluodynamics suggest an increase in the chiral symmetry breaking critical temperature due to rotation, while the opposite trend is observed for the fermion sector. However, when considering both fermionic and gluonic contributions, the resulting effect is an elevation of the critical temperature. Additionally, lattice calculations demonstrate the presence of a negative moment of inertia. According to effective models, such as the Nambu-Jona-Lasinio model (NJL), rotations should cause the opposite effect on quark matter. Our research aims to reconcile this discrepancy into the analysis, offering insights into the intricate interplay between rotation and quark matter properties. This work delves into the influence of rotation on quark matter, utilizing the Polyakov-Nambu-Jona-Lasinio (PNJL) model as the theoretical framework. Specifically, we investigate the implications of rotational effects on quark matter by examining the modulation of a coupling constant being a function of the angular velocity.

# Identificação eficiente de números primos usando computadores quânticos

Victor F. dos Santos<sup>1</sup>, Jonas Maziero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

Recentemente, explorou-se a dinâmica do emaranhamento de dois osciladores harmônicos inicialmente preparados em um estado coerente separável como uma nova abordagem para a identificação de números primos. Este estudo apresenta um algoritmo determinístico generalizado capaz de ser implementado em computadores quânticos baseados em qubits tolerantes a falhas e escaláveis. Além disso, demonstramos que as operações unitárias diagonais empregadas em nosso algoritmo possuem uma complexidade de tempo polinomial de grau dois, contrapondo-se à complexidade exponencial previamente relatada para unitárias diagonais gerais.

A busca por métodos confiáveis e eficientes para a identificação de números primos é um tópico de grande interesse na teoria dos números, principalmente devido à sua conexão intrigante com os zeros não triviais da função zeta de Riemann. Ao longo dos séculos, vários algoritmos clássicos foram desenvolvidos, cada um com suas vantagens e limitações. A adaptação desses algoritmos para o contexto de computadores quânticos apresenta uma via promissora para o desenvolvimento de algoritmos quânticos mais intuitivos.

Neste estudo, propomos uma metodologia que se inicia com a modificação de definições para alinhar-se às peculiaridades de computadores quânticos baseados em qubits. Selecionamos um estado inicial que pode ser preparado de maneira eficiente e, usando técnicas recentes, preparamos um estado evoluido com um custo de porta polinomial surpreendentemente reduzido. Medimos a pureza reduzida, uma tarefa executável de forma eficiente, e calculamos os modos de Fourier da função de pureza reduzida por meio de métodos de integração numérica.

Nosso algoritmo permite a identificação determinística de modos de Fourier correspondentes a números primos, possibilitando a distinção entre primos e compostos. Além disso, discutimos simulações conduzidas usando o Qiskit e exploramos brevemente aprimoramentos potenciais para uma implementação mais eficiente em computadores quânticos baseados em qubits reais. Este trabalho fornece uma nova perspectiva para a identificação de números primos usando computadores quânticos, destacando a viabilidade de implementar operações unitárias diagonais com eficiência de portas elevada, abrindo caminho para aplicações práticas significativas em problemas computacionais fundamentais.

# COMPLEMENTARIDADE E O EXPERIMENTO DE AFSHAR

Victor P. Brasil<sup>1</sup>, Jonas Maziero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria*

No início dos anos 2000, o físico Shahriar Afshar realizou uma versão modificada do conhecido experimento de dupla fenda de Young, em que supostamente seria possível quantificar maximamente os comportamentos corpuscular e ondulatório de um sistema quântico em diferentes partes do mesmo arranjo experimental. Esse resultado evidenciaria, segundo o autor, uma violação do princípio de complementaridade de Bohr (PCB), que afirma que os dois comportamentos só poderiam ser evidenciados de forma total em arranjos experimentais diferentes (e complementares). A violação desse princípio apresentaria um problema para a interpretação ortodoxa da mecânica quântica, já que o PCB pode ser obtido a partir de seus postulados; dessa forma, a invalidade desse princípio implicaria em inconsistências na própria teoria da mecânica quântica. Nesse sentido, o presente trabalho é realizado com o objetivo de investigar o experimento de Afshar através da análise de dois experimentos análogos propostos na literatura, os experimentos de William Unruh e de Pessoa Júnior, que se utilizam de interferômetros de Mach-Zehnder (IMZ), um arranjo experimental mais simples que consiste basicamente em divisores de feixes, espelhos de reflexão total e detectores de fótons. Uma vantagem importante das analogias propostas é a possibilidade de realizar simulações quânticas dos IMZs envolvidos, a partir da construção de circuitos quânticos compostos de portas lógicas que reproduzem a ação dos componentes ópticos dos interferômetros sobre os estados dos sistemas. Busca-se então, baseando-se em conceitos de óptica quântica, construir esses circuitos, implementá-los nos computadores quânticos da IBM e analisar as conclusões dos autores citados anteriormente a respeito da suposta violação do PCB, demonstrando assim o potencial da computação quântica como ferramenta para simular sistemas físicos de interesse, além de possibilitar, em particular, a análise e o melhor entendimento de experimentos que envolvem conceitos fundamentais de mecânica quântica.