

Proposta para abertura de concurso público para cargo de professor doutor MS3

Área: Física Nuclear Experimental de Baixas Energias.

Proponente: Valdir Guimaraes – DFGE - grupo NEAN (Núcleos Exóticos e Astrofísica Nuclear)

Justificativa científica para a área

Investigação da estrutura e reações envolvendo núcleos exóticos leves, problemas de poucos corpos e astrofísica nuclear são tópicos que estão na vanguarda da pesquisa em física nuclear. Por exemplo, a investigação sobre a formação de aglomerados (cluster) em núcleos se tornou um tema bastante abordado nas pesquisas recentes [1,2]. Para núcleos com alta assimetria no número de prótons e nêutrons e longe do vale de estabilidade, vários fenômenos interessantes relacionados à formação de clusters têm sido revelados a partir das investigações de suas estruturas [3]. As propriedades e as condições específicas que governam a formação desses *clusters*, como o grau de agrupamento e suas possíveis configurações (cadeias lineares, triangulares, estruturas tridimensionais), ainda são temas de estudos e investigações recentes. Em particular, a compreensão da física dos núcleos radioativos, longe do vale da estabilidade (ricos em nêutrons ou ricos em prótons), é de suma importância tanto na física nuclear quanto na astrofísica, uma vez que muitas reações que ocorrem durante a evolução das estrelas envolvem tais espécies de núcleos. Muitos núcleos leves ricos em nêutrons ou em prótons, próximos às chamadas driplines (limite de estabilidade) exibem estruturas exóticas, como agrupamento de poucos corpos (clusters diversos), estrutura molecular e estrutura de halo, onde nêutrons ou prótons de valência orbitam um núcleo (caroço) central a uma grande distância. Devido à proximidade ao limiar de decaimento, a formação dessas estruturas pode ser considerada também como um sistema quântico aberto ou OQS (Open Quantum System), nos quais o acoplamento com o contínuo torna-se relevante na determinação da formação das diversas estruturas [4]. As estruturas de halo e clusters que surgem nos núcleos próximos às driplines têm fortes efeitos nas reações nucleares devido aos novos mecanismos e caminhos de reação que se abrem. Se, por um lado, as estruturas e configurações exóticas de alguns desses núcleos fracamente ligados interferem significativamente em diversos mecanismos de reações, por outro lado, a dinâmica de reação pode fornecer informações sobre a estrutura destes núcleos, estabelecendo assim uma sinergia entre estrutura nuclear e os mecanismos de reação. Essa forte

sinergia entre a natureza configuracional de clusters em núcleos e a dinâmica dos processos envolvidos em reações nucleares tem melhorado consideravelmente a nossa compreensão do sistema nuclear. No entanto, apesar do grande desenvolvimento, tanto teórico como experimental, alcançado na compreensão da estrutura nuclear e mecanismos de reações, muitas questões ainda permanecem em aberto, principalmente devido ao comportamento não trivial da força nuclear forte em baixas energias e à complexidade do sistema nuclear. Muito do que se tem conhecimento da estrutura dos núcleos a partir dos estudos dos núcleos estáveis não tem correspondência nos núcleos longe do vale de estabilidade, como por exemplo a formação dos números mágicos [5]. Indicando que ainda temos um vasto campo a ser explorado. O estudo desses núcleos tem mostrado também uma forte correlação com outras áreas de pesquisa como o uso de reações nucleares para a investigação da física de neutrinos, com possíveis consequências para reformulações do Modelo Padrão [6,7], ou ainda investigação da participação da física nuclear na determinação da matéria escura [8,9]. Essas informações indicam claramente que o desenvolvimento da área está bastante ativa e que o campo de pesquisa é vasto e de vanguarda na física.

Além do exposto acima, a física nuclear está presente em cenários astrofísicos como o universo primordial, estrelas ou explosões de supernovas são meios pelos quais podemos explicar a origem e síntese dos elementos químicos. Nesses sistemas, as reações de captura de prótons, nêutrons ou alfas, determinam a produção e abundâncias isotópicas na natureza. O estudo dessas reações nucleares faz parte do que chamamos astrofísica nuclear e o processo de formação dos elementos é chamado de nucleossíntese. Assim, a investigação de reações nucleares de interesse para astrofísica é um campo bastante ativo da física nuclear e tem se desenvolvido com a utilização de feixes radioativos. Várias reações de interesse astrofísico envolvidas na formação dos elementos já foram medidas dando uma boa indicação de como ocorrem os vários processos de nucleossíntese. No entanto, apesar do considerável esforço e progressos tanto experimental quanto teórico, muitas dessas reações não foram ainda investigadas e várias questões referentes a astrofísica nuclear permanecem ainda em aberto. Ainda não dispomos de todos os dados de que precisamos e a maioria das informações necessárias para os modelos dos processos de nucleossíntese são ainda baseadas em extrapolações ou modelos teóricos sem uma firme base experimental.

Os desafios dessa área tem exigido o desenvolvimento de novos equipamentos e tecnologias. Nas últimas décadas equipamentos e facilidades que produzem feixes com núcleos radioativos, entraram em operação e a investigação espectroscópica de núcleos exóticos e a investigação experimental de reações de interesse astrofísico

intensificaram-se ainda mais. Laboratórios tradicionais de física nuclear como GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds) na França, FAIR/GSI (Facility for Antiprotons and Ions Research) na Alemanha, ISOLDE/CERN na Suíça, NSCL-MSU (National Superconducting Cyclotron Laboratory - Michigan State University) nos Estados Unidos, RIKEN no Japão, HIRFL (Heavy Ion Research Facility) em Lanzhou na China, estão sendo melhorados elevando as intensidades dos feixes sendo produzidos para um outro patamar. A alta intensidade dos feixes radioativos vai permitir que reações sejam investigadas com detalhes nunca alcançados. Laboratórios com feixes de baixas energias como o Twinsol instalado na University of Notre Dame e o ISAC/Triumf no Canadá, Texas A&M, estão investindo em sistemas de detecções cada vez mais eficientes, como alvo ativos [1]. Novos laboratórios estão sendo contruídos na China [10] e South Korea [11]. Assim, não só os aceleradores estão se desenvolvendo para a obtenção de feixes de elementos radioativos mais intensos, mas os equipamentos de detecção estão se tornando mais sofisticados e complexos para que medidas mais precisas possam ser obtidas. Levando em conta os desenvolvimentos de equipamentos, os laboratórios de física nuclear podem ser considerados precursores de novas tecnologias, tanto em termos de detecção quanto em termos tratamento de dados. Basta lembrar que a transmissão wireless de ondas eletromagnéticas e a própria rede de computadores mundiais (www) teve início em laboratórios de física nuclear. Então, várias novas tecnologias desenvolvidas ou iniciadas em laboratórios de física nuclear é que retornam para a sociedade como benefício direto. Obviamente a ramificação disso é a aplicação do conhecimento de técnicas nucleares como produção de energia, medicina nuclear, diagnóstico de doenças, aplicações em agricultura, museologia, indústria, etc. Podemos dizer então que manter o domínio do conhecimento e tecnologias envolvidos na física nuclear é bastante estratégico para um país.

A física nuclear no Brasil

No Brasil temos alguns poucos físicos nucleares espalhados em diversos institutos localizados em diferentes estados. No entanto, a maior concentração e atuação de físicos nucleares é no IFUSP, no ITA de São José dos Campos e na Universidade Federal Fluminense em Niterói, RJ. No IFUSP o enfoque maior é experimental, com a utilização do acelerador de partículas Pelletron, vinculado ao Departamento de Física Nuclear, onde uma das linhas experimentais é dedicada ao estudo de reações nucleares para sistemas envolvendo sistemas de núcleos estáveis e uma outra se dedica ao estudo de núcleos exóticos, utilizando um sistema para a produção de feixes radioativos, chamado RIBRAS (*Radioactive Ion Beam in Brasil*), em operação desde 2004. O RIBRAS é um sistema que produz feixes radioativos de baixas energias (2 a 5 MeV/núcleon), para

investigação da estrutura de núcleos leves ricos em nêutrons ou prótons e medidas de taxa de reações. Temos ainda no IFUSP o grupo NEAN (Núcleos Exóticos e Astrofísica Nuclear), que tem desenvolvido pesquisas em física nuclear, propondo e realizando experiências em diversos laboratórios do mundo, como GANIL, RIKEN, Texas A&M, University of Notre Dame, Tandem etc. No ITA os professores são teóricos e atuam em física nuclear de poucos corpos e astrofísica nuclear. O grupo da Universidade Federal Fluminense UFF atua tanto em teoria, com um grupo forte liderado pelo prof. Jesus Lubian, como em pesquisa experimental de estrutura e mecanismos de reações, propondo medidas diversos laboratórios.

Atuação dos professores da área do IFUSP

No IFUSP os docentes que atuam mais efetivamente na área de física nuclear experimental de baixas energia são 6 Valdir Guimarães, Leandro R. Gasques, Jose Roberto B. de Oliveira, Kelly C. C Pires, Valdir Scarduelli e Rubens Lichtenthäler Filho. Há um pouco mais de 10 anos atrás havia mais de quinze docentes atuando nessa área. Esses poucos docentes atuam em diversos grupos de pesquisa como grupo GRIP (Grupo de Reações de Ions Pesados) e grupo Reações diretas e núcleos Exóticos no DFN e NEAN (Núcleos Exóticos e Astrofísica Nuclear) no DFG. Os docentes desses grupos colaboram ou já colaboraram entre si, e colaboram com alguns teóricos do IFUSP. Vários desses professores tem fortes colaborações com laboratórios no exterior, onde propõem e participam de medidas relevantes. Todos esses docentes (exceto o Valdir Scarduelli que foi recentemente contratado) são pesquisadores bolsista produtividade do CNPq. Isso indica que são bons pesquisadores, mas esse número ainda é pequeno para levar adiante a demanda de pesquisa que a área exige.

Alunos e candidatos:

Houve um crescimento expressivo no número de alunos interessados em fazer mestrado e doutorado em física nuclear experimental. Vários dos pesquisadores do IFUSP estão saturados com alunos. No momento, temos em torno de 9 alunos de doutorado e 10 alunos de mestrado, mas está havendo uma procura recente. Um exemplo o fenômeno recente no curso de verão do IFUSP 2024 em que dos 250 inscritos, 128 estava interessados em minicursos de física nuclear. Dos 80 que efetivamente participaram do curso 34 acompanharam o minicurso de física nuclear. Temos vários alunos com doutoramento nos últimos anos que estão ainda tentando se firmar dentro da área de pesquisa. No último concurso aberto para essa área houve inscrição de 15 candidatos para uma vaga. Considerando que houve mais algumas

defesas nos últimos anos, esse número deve ser maior, podendo chegar a 20 candidatos para essa vaga.

Colaborações internacionais

Todos os professores da área mantem colaborações internacionais com os maiores laboratórios de física nuclear no mundo. Dentre os laboratórios com os quais os professores dessa área têm colaborações ativas, destacamos: Laboratório Tandem na Argentina, GANIL na França, projeto NUMEN/LNS/Catânia, Padua e LNL/Legnaro na Itália, Texas A&M University nos Estados Unidos, Riken no Japão, Universidade de Sevilha na Espanha. Além disso esses professores também têm colaborado com pesquisadores teóricos do Brasil e do exterior para auxiliar na análise de seus dados. Vários dos pós-doutores da área no Brasil, e potenciais candidatos para a vaga, têm experiência internacional e já mantêm colaborações internacionais.

Comentários finais

A vaga na área de física nuclear experimental de baixas seria necessária para mantermos ativa uma área de grande tradição no IFUSP. Houve a contratação de um docente para essa área em 2023 e a contratação anterior havia sido em 2014. Portanto, ainda existe a demanda de renovação e revigoração. Temos o acelerador Pelletron como o grande equipamento de física nuclear mas devemos enfatizar que precisamos de docente que possa atuar, propondo (e não apenas participando de forma marginal) experimento nos grandes laboratórios. Temos candidatos extremamente qualificados e interessados. O desenvolvimento de novos projetos de pesquisa em áreas de fronteira da física nuclear de baixas energias depende de pessoas jovens e atuantes como essas.