

FMA/0004/2019/IF
GAB/ccb

São Paulo, 15 de fevereiro de 2019.

Prezado Senhor Diretor,

Encaminhamos anexo o Projeto Acadêmico do Departamento de Física Matemática para o período de 2019 a 2023, devidamente aprovado pelo Conselho do Departamento nesta data.

Sem mais para o momento.

Atenciosamente,



Prof. Dr. **Gustavo Alberto Burdman**
Chefe do Departamento de Física Matemática

Ilmo. Sr.

Prof. Dr. Marcos Nogueira Martins
Diretor do Instituto de Física da USP

Projeto Acadêmico

**Departamento de Física
Matemática**

Período: 2019 - 2023

1. Introdução e Situação Atual

Desde a sua fundação no ano 1977, o Departamento de Física Matemática tem sido uma referência de excelência em pesquisa em física fundamental. Tal como deve se esperar de um Departamento fazendo pesquisa na fronteira da física, as áreas de concentração dos membros do DFMA tem evoluído junto com as grandes mudanças das últimas décadas, e esperamos que essa evolução continue nos próximos anos.

O DFMA hoje conta com 5 grandes áreas de concentração:

- Cosmologia Observacional
- Física Matemática
- Física das Partículas Elementares
- Teoria Quântica de Campos e Cordas
- Física de Íons Pesados Relativísticos

Nossa missão, nossa visão e nossos valores estão alinhados com os do Instituto de Física. Mas, somados a aqueles, salientamos alguns pontos que são de especial importância no DFMA:

Missão

Promover a geração e disseminação de conhecimento, assim como a formação de recursos humanos nas áreas de maior impacto na física fundamental.

Visão

O Departamento de Física Matemática aspira a ser um foco de excelência internacional na fronteira da física fundamental.

Valores

Comprometimento com a excelência e integridade científicas, constante procura pelos problemas na fronteira das nossas áreas de expertise, questionamento e renovação de nossas áreas de pesquisa.

Contamos hoje com 17 professores na ativa, fazendo pesquisa na fronteira da física fundamental, orientando alunos de iniciação científica, pós-graduação e supervisionando um significativo número de pós-doutorandos. Nossos docentes tem uma ubíqua participação no ensino tanto da graduação quanto da pós-graduação, ministrando aulas tanto em disciplinas básicas como avançadas, obrigatórias ou eletivas. Eles têm tido uma significativa produção de material didático e livros com grande impacto na divulgação do conhecimento.

O DFMA tem um importante papel na formação de recursos humanos nas áreas de física fundamental, através da orientação de alunos de pós-graduação e de pós-doutores que passam a ser docentes e pesquisadores em várias instituições do Brasil. Contamos no presente com 62 alunos de pós-graduação, 36 de Mestrado e 26 de Doutorado. Dado o peso que o título de Doutor da Universidade de São Paulo tem no Brasil, isto gera uma enorme responsabilidade aos nossos professores.

O mesmo se aplica aos nossos pós-doutorandos, tipicamente entre 12 a 18 por ano. É por isso que o DFMA está constantemente se atualizando, para garantir que nossa pesquisa esteja sempre na fronteira do conhecimento. Isto requer a constante evolução de nossas áreas de pesquisa e até a criação de novas áreas.

Ao impacto de nosso trabalho em pesquisa, orientação e ensino, soma-se nosso empenho em disseminar conhecimento fora da USP. Participamos e organizamos conferências nacionais e internacionais; ministramos palestras, seminários e colóquios; oferecemos nossa expertise como pareceristas de revistas e agencias de fomento, tanto no Brasil como no exterior, entre as muitas atividades de extensão.

2. Objetivos e Metas

Os nossos objetivos centrais são a produção e a disseminação de conhecimento na fronteira da física fundamental. Para avançar esses objetivos, trabalhamos nas áreas de *Cosmologia Observacional*, *Física Matemática*, *Física de Íons Pesados Relativísticos*, *Física das Partículas Elementares* e *Teoria Quântica de Campos e Cordas*.

Nossos objetivos são:

- Produzir pesquisa no mais alto nível internacional, publicando nas revistas mais importantes de cada área.
- Manter e incrementar o número de colaborações internacionais.
- Orientar alunos em todos os níveis (IC, ME e DO), visando transmitir conhecimentos na fronteira da física fundamental.
- Transmitir o rigor de nossa pesquisa no ensino, tanto na graduação como na pós-graduação, ministrando aulas desde as disciplinas mais básicas da graduação até as mais avançadas da pós-graduação

Metas específicas para o período:

- Organizar mini-workshops focados em problemas específicos das áreas de pesquisa do DFMA, para trazer os nossos atuais e potenciais colaboradores internacionais, para trabalhar durante

um período curto no departamento. Isto aumentará nosso perfil internacional, nossa produtividade científica, e dará possibilidade aos nossos alunos e pós-doutorandos de interagir diretamente com outros pesquisadores do mais alto nível em cada área.

- A contratação de pelo menos um Professor Doutor na área de *Teoria Quântica de Campos e Cordas*. Dos 4 docentes da área, 2 atingirão a idade de aposentadoria compulsória durante o período de avaliação. Um terceiro está afastado por 2 anos, e com uma grande probabilidade de não retornar.
- A contratação de um Professor Doutor na área de *Teoria de Informação Quântica*. O DFMA tem discutido ao longo dos anos a possibilidade de abrir uma área nova no departamento. Dessas discussões, surgiu a proposta de incorporar essa nova área, dada a sua importância hoje e seu grande potencial de ligar a física teórica com outras disciplinas como a computação quântica, a física da matéria condensada relacionada a ela e outras aplicações.
- Melhoramento do espaço físico do departamento. Nosso lugar de trabalho precisa de melhoras urgentes, em particular nos corredores e nas salas dos alunos.

3. Ações para o Período

3.1 Pesquisa

A pesquisa dos nossos docentes cobre uma grande parte da física fundamental. Eles publicam, em média, entre 40 a 50 artigos por ano em revistas internacionais de alto parâmetro de impacto. Outra forma de medir o impacto da pesquisa de nossos grupos é o fator h: a média dos 17 professores do DFMA hoje é de 19.4 (de acordo com a plataforma Web of Knowledge no dia 30/01/2019). Esse é um alto fator h para as nossas áreas de pesquisa.

A grande maioria de nossos professores, 13 de 17, conta com uma Bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq.

Contamos com 3 projetos temáticos da FAPESP, coordenados por docentes do departamento nas áreas de *Cosmologia Observacional*, *Teoria Quântica de Campos e Cordas* e *Física de Partículas*, auxílios que somam mais de R\$ 14.000.000,00.

No momento, nossos docentes coordenam 5 projetos de cooperação internacional com financiamentos da FAPESP, USP-COFECUB, CNRS, the Japan Society for the Progress of Science, o Ministério de Ciência e Inovação Espanhol, entre outros.

O DFMA conta entre seus membros 3 Jovens Pesquisadores da FAPESP, dois dos quais são docentes do departamento.

O nível de reconhecimento da pesquisa de nossos docentes por agências de fomento, tanto nacionais quanto internacionais, testemunha o alto grau de qualidade dela, e a constante procura dos membros do DFMA para se manter atualizados e na fronteira do conhecimento.

A seguir, detalhamos os projetos específicos das respectivas áreas de pesquisa do DFMA.

Cosmologia

Profs. Élcio Abdalla, Raul Abramo e Marcos Lima *

Algumas das questões mais fundamentais da Física moderna tocam diretamente na Cosmologia: em particular, qual a natureza da energia escura e da matéria escura? Por um lado, a aceleração da taxa de expansão do universo aponta para uma nova componente fundamental, chamada energia escura, responsável por até 70% de toda matéria/energia do universo. Por outro lado, a matéria escura, cinco vezes mais abundante do que a matéria bariônica (átomos), detém por volta de 25% do total de matéria/energia do universo, mas parece responder por mais de 80% de toda a matéria em sistemas gravitacionalmente ligados, tais como galáxias, grupos e aglomerados de galáxias. Ou seja, apenas 5% do universo seriam compostos de átomos, luz, neutrinos e outros tipos de matéria descritas pelo Modelo Padrão de Partículas e Campos, enquanto esse “setor escuro”, aparentemente sensível apenas à força da gravidade, seria determinante para a evolução do universo desde seu primeiro milhão de anos depois do Big Bang. Além desses mistérios relacionados ao universo mais recente, ainda não temos uma confirmação dos mecanismos inflacionários que determinaram as condições iniciais do cosmos na primeira fração de segundo depois do Big Bang.

A elucidação dessas questões envolve tanto a investigação teórica em Física fundamental, quanto observações cada vez mais sofisticadas. O DFMA conta atualmente com quatro docentes que atuam na fronteira do conhecimento dessas áreas: Élcio Abdalla, Raul Abramo, Marcos Lima e uma docente recém-contratada, Elisa Ferreira. Esses pesquisadores têm forte interação com grupos internacionais, tanto no que diz respeito a aspectos mais teóricos, quanto no contexto de colaborações internacionais envolvendo novos instrumentos astronômicos. Em particular, os docentes do DFMA têm papéis de liderança em diversos experimentos que estão, ou em operação, ou em fase final de desenvolvimento. Os Profs. Abdalla e Abramo fazem parte da colaboração J-PAS (<http://j-pas.org/>), que começa a funcionar em 2020; o Prof. Abdalla é o PI do radiotelescópio BINGO (<http://www.bingotelescope.org/en/>), do qual a Profa. Ferreira também participa, e que deve iniciar suas operações nos próximos anos; o Prof. Lima é membro do Dark Energy Survey (DES, <https://www.darkenergysurvey.org/>), que está em fase final de suas observações e já começou a apresentar resultados; o Prof. Abramo também é membro da colaboração Prime Focus Spectrograph (<https://pfs.ipmu.jp/>), que deve começar a operar em 2022.

O futuro da área aponta para uma integração cada vez maior de observações e teoria, com um aumento dramático na quantidade e qualidade dos dados, resultado de investimentos pesados em novos instrumentos por parte de equipes supra-nacionais. Esses experimentos têm o objetivo de mapear o universo utilizando diversas técnicas, em comprimentos de onda que vão desde o rádio (caso dos mapas da linha de 21cm do Hidrogênio neutro), passando pelas microondas (características da radiação cósmica de fundo), a luz visível (na qual as galáxias são mais facilmente detectadas), até raios-X (que é peculiar de aglomerados de galáxias e núcleos ativos de galáxias). Além disso, as recentes observações de ondas gravitacionais abriram novas portas para a “cosmologia multi-mensageiros”, na qual objetos astrofísicos são observados através de diversos canais complementares.

Os docentes da área de Cosmologia do DFMA devem manter uma forte atuação em pesquisa teórica, liderando esforços para estudar os aspectos fundamentais das teorias físicas, assim como

suas aplicações e a fenomenologia desses modelos. Em particular, a formação das estruturas em grandes escalas do universo é um problema de alta complexidade, que exige não apenas domínio de ferramentas matemáticas, mas, também, simulações numéricas sofisticadas — algo que os pesquisadores do DFMA passaram a dominar nos últimos anos, mas que pretendemos expandir. E por fim, para atuar na fronteira do conhecimento em Cosmologia vamos, não apenas manter nossa posição em experimentos e colaborações internacionais, mas investir nas novas gerações de instrumentos, tanto em conjunto com parceiros internacionais, quanto liderando propostas de novas observações.

** A Profa. Elisa Gouveia Ferreira esta em processo de contratação e começará as suas funções durante o período.*

Íons Pesados

Profs. Frederique Grassi e Mathew Luzum

O grupo de Íons Pesados do Departamento de Física Matemática consiste dos Profs. Frederique Grassi e Mathew Luzum. O foco do grupo é o estudo das interações nucleares fortes, sob condições extremas, tais como as criadas nos experimentos de colisões de íons pesados relativísticos com o “Large Hadron Collider”(LHC), o “Relativistic Heavy-Ion Collider” (RHIC) e, possivelmente, outras máquinas no futuro.

A teoria fundamental das interações fortes já é conhecida — Cromodinâmica Quântica (abreviada como QCD em inglês). É uma parte integral do modelo padrão da física das partículas, e tem sido checada com grande precisão. Por exemplo, pode-se calcular de maneira confiável certas quantidades tratáveis com técnicas perturbativas bem estabelecidas ou métodos numéricos de QCD na rede. Isto foi testado para numerosos processos elementares de espalhamento e sistemas no seu estado fundamental. Em contraste, existe um grande conjunto de fenômenos que não podem ser tratados com os métodos computacionais usuais e que não foram examinados — ficando então pouco entendidos. Assim, enquanto podemos, com confiança, escrever a definição da teoria, sua simplicidade esconde uma gama extensa de comportamentos interessantes e exóticos que ainda precisam ser estudados.

Em particular, à temperaturas extremamente altas, existe uma nova fase da matéria conhecida como Plasma de Quarks e Glúons (abreviado como QGP em inglês) no qual quarks e glúons não estão mais confinados. Tais temperaturas podem ser obtidas por tempo curto em colisões de núcleos de átomos pesados a energias ultra-relativísticas. Adicionalmente, estas experiências oferecem a oportunidade de estudar outros aspectos das interações fortes — o regime de x pequenos e a função de onda nuclear, bem como dinâmica de sistemas de muitos corpos, fortemente acoplados, longe do equilíbrio.

Até agora, o resultante mais importante da área é que o QGP criado nestas colisões se comporte como um fluido quase perfeito — isto é, o sistema é bem descrito durante a maior parte da sua evolução pelas equações da hidrodinâmica relativística com uma viscosidade pequena. Nos próximos cinco anos, o grupo planeja usar simulações hidrodinâmicas de ponta e outros modelos teóricos para abordar as principais questões da área. Precisamente, estas incluem:

Determinação precisa das propriedades térmicas e de transporte do Plasma de Quarks e Gluons a densidade bariônica nula

Nosso entendimento do sistema criado numa colisão de íons pesados às energias mais altas melhorou substancialmente, e é bem entendido qualitativamente. Uma tarefa importante sobrando é obter medidas precisas das propriedades do QGP. Isto inclui propriedades térmicas, tais como a equação de estado. Acredita-se que isto é computado com precisão a partir de primeiros princípios com os métodos de QCD na rede, mas é importante verificar estes cálculos experimentalmente. Isto inclui também propriedades de transporte, tais como viscosidade de cisalhamento e volumétrica. Diferentemente da equação de estado, coeficientes de transporte não podem ser calculados de maneira confiável, e é então particularmente interessante de obter medidas experimentais para estas quantidades, dando um conhecimento valioso sobre a matéria perto do equilíbrio no regime fortemente acoplado.

Exploração do diagrama de fase da QCD para densidade bariônica finita

A partir dos cálculos mencionados acima, sabe-se que para número bariônico nulo, não há uma verdadeira transição de fase de uma fase confinada para uma fase desconfiada do QGP, o que ocorre é um “crossover” analítico. Isto abre a possibilidade de ter uma estrutura interessante no diagrama de fase a potencial bariônico finito, onde uma linha de transição de fase da primeira ordem se termina por um ponto crítico. Esta região do diagrama de fase pode ser explorada, experimentalmente, colidindo núcleos a várias energias mais baixas. Este tipo de programa chamado “Beam Energy Scan” é planejado para 2019 no RHIC, com a subsequente análise de dados realizada por vários anos.

Perguntas mais prementes incluem a existência e localização do possível ponto crítico, e o estudo de fenômenos críticos associadas.

Sistemas de colisão menores — saturação gluônica e limite de validade da hidrodinâmica

Em adição à energia da colisão, o tipo de núcleos colidindo pode ser mudado. Usando núcleos muito grandes, maximiza-se a probabilidade de criar um sistema termalizado que pode ser descrito por temperatura e outras quantidades hidrodinâmicas. Usando núcleos menores, pode-se empurrar o sistema para fora do equilíbrio térmico, e testar os limites da teoria hidrodinâmica bem como estudar de maneira mais limpa os estágios iniciais do sistema quando este evolui em direção ao equilíbrio térmico. Concomitantemente, variar o tamanho dos sistemas permite um estudo mais sistemático dos efeitos dissipativos e a determinação da viscosidade de cada sistema, como mencionado acima.

Resultados para sistemas pequenos no LHC têm exibido evidência da criação de QGP até em sistemas muito pequenos, e simultaneamente avanços teóricos mostram que a validade da hidrodinâmica pode ser estendido bem mais longe do que se pensava inicialmente. Outros experimentos no LHC serão realizados, e há muitos progressos a serem feitos ainda para entender sistemas de colisão pequenos.

Física Matemática

Prof. João C. A. Barata

Além de tratar de questões de grande relevância para áreas fundamentais da Física, como a Cosmologia, a Física das Partículas Elementares e mesmo a Física da Matéria Condensada, o estudo de Teorias Quânticas de Campos e de sistemas Quânticos com infinitos graus de liberdade oferece inúmeros problemas de natureza matemática.

Tais problemas dificilmente podem ser abordados, ou sequer formulados, sem um instrumental adequado, que tipicamente envolve áreas da Matemática como a Análise Funcional, a Teoria das Álgebras de Operadores, a Análise Harmônica e a Análise Microlocal.

A pesquisa em Física-Matemática que desenvolvemos e pretendemos continuar a desenvolver nos anos vindouros lida com esses instrumentos de abordagem em algumas frentes:

1. O entendimento do limite semiclássico de sistemas quânticos, notadamente de modelos de campos quantizados em um espaço-tempo curvo.
2. A identificação de condições de localização tipo Newton-Wigner para espaços-tempos gerais, uma análise já levada a cabo por nós no espaço-tempo de Sitter mas ainda não abordado em casos de espaços-tempos com menor grau de simetrias. (Essa questão é intimamente ligada à anterior).
3. A formulação de uma teoria de espalhamento no sentido de Haag-Ruelle para modelos de campos quantizados em espaços-tempos globalmente hiperbólicos assintoticamente planos e no espaço-tempo de de Sitter.
4. O estudo de perturbações de estados KMS (por exemplo, sob perturbações do tipo L^p) em álgebras de von Neumann tipo III e sua relação com a propriedade de split.
5. O estudo da formulação categorial de Teorias Quânticas de Campos, resultante de trabalhos de Brunetti, Fredenhagen e Verch e que resultou, em trabalhos de Hollands e Wald e dos três autores citados, em uma formulação covariante consistente da teoria de perturbação e de renormalização perturbativa de modelos interagentes formulados em espaços-tempos curvos.
6. O entendimento de desigualdades de energia para campos quantizados em espaços-tempos curvos, elaboradas no caso de teorias livres por Fewster e diversos coautores, desigualdades essas de importância para o estudo do desenvolvimento de singularidades espaço-temporais. O caso interagente não foi abordado e desejamos investigar como os métodos perturbativos supracitados podem lançar luz sobre essas desigualdades.
7. Ainda na mesma linha, o estudo da demonstração do Teorema de Reeh-Schlieder no contexto de espaços-tempos curvos realizado por Ko Sanders, e que usa a mesma formulação categorial.
8. Mencionamos ainda uma proposta que começamos a elaborar há pouco tempo de desenvolver a teoria de perturbação de sistemas quânticos dependentes do tempo sem a introdução dos chamados produtos de tempo ordenado, técnica usual em Mecânica Quântica e em Teorias Quânticas de Campos e que procede, em verdade, de um método iterativo comum de resolução de equações integrais lineares do tipo de Volterra, onde foi originalmente elaborada. Alguns métodos de demonstração do célebre Teorema de Peano sobre existência de soluções de problemas de valor

inicial em equações diferenciais ordinárias, porém, têm outras abordagem que, se eficientes, podem ajudar na eliminação total ou parcial de singularidades introduzidas por distribuições definidas por ordenamentos temporais.

Essas diversas linhas de pesquisa têm sido e serão estudadas e analisadas nos próximos anos e poderão ser levadas a cabo, com a eventual participação de estudantes e colaboradores, se reveladas frutíferas.

Prof. Jorge L. de Lyra

Aspectos Matemáticos da Teoria Quântica de Campos na Rede e Análise Real e Complexa Visando Aplicações na Física

Na parte de teoria quântica de campos na rede, o objetivo é estudar a própria definição da teoria a partir de uma rede Euclidiana, de forma independente do formalismo de estados e operadores em um espaço de Hilbert, bem como determinar as consequências essenciais deste tipo de definição. Consideramos que os casos dos campos escalares e vetoriais já são bastante bem conhecidos, e estamos atualmente trabalhando no caso dos campos e Dirac, o que pretendemos continuar a fazer pelos próximos anos. Na parte de análise real e complexa, estivemos trabalhando em alguns aspectos de análise que têm importantes implicações para a física. Todos os trabalhos gerados neste esforço estão disponíveis online. Sete deles foram publicados no “*Transational Journal of Mathematical Analysis and Applications*”, periódico dedicado à análise e aplicações. Os outros trabalhos, alguns deles versões anteriores dos trabalhos publicados, estão disponíveis no Arxiv. Ainda há muito o que fazer em relação a esta linha de pesquisa, o que pretendemos continuar fazendo, em algum ritmo, durante os próximos anos.

Prof. Paulo Teotonio Sobrinho

Ordem Topológica

No início da década de 1990 a pesquisa teórica sobre o efeito Hall fracionário (FQHE) se intensificou consideravelmente. O fato das fases quânticas do FQHE não poderem ser classificados por simetria e não serem diferenciados por um parâmetro de ordem local, impulsionou a pesquisa do que chamamos hoje de Fases Topológicas da Matéria ou Ordem Topológica. Estas fases quânticas já haviam aparecido 10 anos antes, nos trabalhos teóricos de Haldane, que veio a ganhar o Nobel de Física em 2016. Em linhas gerais, um sistema quântico de muitos corpos apresenta ordem topológica quando o limite de baixa energia (vácuo) é aproximado por uma Teoria Quântica de Campo Topológica (TQFT em inglês). As TQFT podem ser estudadas, no âmbito da matemática, no contexto da teoria das categorias. Neste contexto, V. Turaev introduziu uma generalização, chamada de Teoria Quântica de Campos Homotópica (HQFT em inglês). Da mesma maneira que nos sistemas quânticos com ordem topológica o vácuo é descrito por uma TQFT, podemos imaginar uma situação mais geral onde o limite de baixa energia seja aproximado por uma HQFT. De fato, construímos um exemplo que satisfaz este critério. Nosso objetivo é estender este exemplo para outros casos e mesmo estabelecer uma maneira sistemática para a construção de modelos com o mesmo comportamento. Seria possível classificar todas as possíveis fases quânticas? Teorias de gauge abrangem uma gama muito grande de modelos com ordem topológica em $(2+1)d$. Já em $(3+1)d$, não existe um abordagem tão abrangente. Tem ficado claro que, para entendermos ordem

topológica em sistemas 3D, é preciso ir além de teorias de gauge. Isto motivou a introdução de generalizações tais como as chamadas Higher Gauge Theories. Queremos progredir no entendimento de ordem topológica com n -grupos para $n > 2$. Nesta fase em que estamos buscando entender o que ocorre em $(3+1)$, é muito importante construir modelos que não sejam puramente uma extensão dos modelos já conhecidos $(2+1)$ d. Espera-se que um repertório grande de exemplos ajude a encontrar uma maneira de classificar fases topológicas em $(3+1)$ d.

Prof. Walter de Siqueira Pedra

Comportamento Macroscópico de Sistemas de Férmions não Relativísticos Interagentes

A formulação algébrica da Mecânica Quântica oferece um quadro formal, baseado na teoria das C^* -álgebras e álgebras de von Neumann, bastante conveniente para a abordagem matematicamente rigorosa de problemas relativos a sistemas quânticos de muitos corpos. Neste contexto, nosso objetivo é o de investigar a emergência de comportamentos *macroscópicos* universais em sistemas de muitos férmions. Nosso foco será o caso dos férmions *interagentes* em redes cristalinas, com ênfase em modelos cujas interações contenham componentes de *campo médio* (tal como o modelo BCS, por exemplo), tendo em vista aplicações a problemas recentes de matéria condensada, em particular aos relacionados ao transporte elétrico e à supercondutividade. Para cumprir este objetivo, de um ponto de vista metodológico, este projeto de pesquisa possui três frentes: i) *Fundamentos matemáticos do método das aproximações de Bogolioubov*. O objetivo desta parte do projeto é o de fornecer resultados matematicamente rigorosos a respeito da exatidão das “aproximações de Bogolioubov” para interações de campo médio (método muito usado, por exemplo, na teoria da superfluidez e na teoria de supercondutores), no limite termodinâmico. Também é considerado o caso de sistemas quânticos abertos, com aplicações à teoria da decoerência quântica. ii) *Métodos construtivos para interações de campo médio*. Pretendemos combinar o método das aproximações de Bogolioubov (referente à primeira parte) com técnicas de teoria de campos construtivas fermiônicas, como integrais de Grassmann-Berezin, expansões em árvores de Brydges-Kennedy e cotas para grandes determinantes. iii) *Propriedades de transporte macroscópicas de sistemas de férmions interagentes e segunda lei da termodinâmica*. Investigamos a noção matemática de “medida de excitação”, a qual representa aqui, genericamente, coeficientes de transporte linear macroscópicos de sistemas de férmions não relativísticos interagentes (a condutividade elétrica sendo um caso especial desta). A existência e propriedades de tal medida estão intimamente ligadas à segunda lei da termodinâmica (positividade da produção de entropia), através de teoremas de representação de funções do tipo positivo (como, por exemplo, o teorema de Bochner). Esta linha de pesquisa encontra-se na interface entre a Matemática (análise convexa, análise funcional, processos estocásticos, álgebras de operadores, sistemas dinâmicos lineares não autônomos em dimensão infinita) e a Física Teórica (teoria do transporte, supercondutividade).

Partículas Elementares

Profs. Enrico Bertuzzo, Gustavo Burdman, Oscar Éboli e Renata Funchal

O grupo de Física das Partículas Elementares do DFMA cobre vários temas de pesquisa na área, abrangendo as grandes perguntas: A origem do setor de Higgs do modelo padrão (MP), a identidade da matéria escura e a física de neutrinos tanto no MP como além dele. Essas questões estão ligadas a esforços experimentais presentes e futuros. Entre os aceleradores estudando os limites do MP,

estão o large hadron collider (LHC) e suas atualizações com alta luminosidade e maior energia (27 TeV) , o FCC-hh com 100 TeV de energia do centro de massas. Um grande e crescente número de experimentos estão envolvidos nas procuras diretas por matéria escura, e a sensibilidade para massas pequenas só está começando a ser explorada. A detecção indireta em experimentos de raios cósmicos, de astronomia de raios gamma e de neutrinos, só para dar exemplos, é outra avenida que continuará sendo explorada nos próximos anos. Aceleradores como o LHC são experimentos complementares para a procura de matéria escura, e alguns dos vínculos mais restritivos vêm deles. Finalmente, o crescente investimento da comunidade internacional de Física de Partículas na física de neutrinos dos últimos anos será ainda maior na próxima década com a construção e operação de grandes laboratórios de neutrinos tais como DUNE nos Estados Unidos e HyperK no Japão. A pesquisa de nosso grupo está guiada pelas grandes questões em aberto de nossa área e a possibilidade de investigar elas nesses e outros experimentos existentes e sendo construídos e/ou planejados no mundo.

O Bóson de Higgs

Desde que a descoberta do bóson de Higgs no LHC completou o espectro do MP, existe um foco em estudar as suas propriedades com a maior precisão possível. O setor de gauge do MP tem sido estudado com uma precisão muito maior do que 1%, tanto que os estudos dos acoplamentos do Higgs estão começando, sendo que os acoplamentos com os bósons de gauge e o quark top são conhecidos com uma precisão de (10-15)%. Dado que o setor de Higgs, incluso de forma *ad hoc* no MP, é responsável pelas massas de todas as partículas elementares, cabe questionar a sua origem e suas propriedades. É uma partícula elementar ou composta? Seria o primeiro caso de uma partícula elementar escalar. A ausência de descobertas de física além do MP no LHC deixa claro que o caminho a seguir é o de estudar o bóson de Higgs e procurar desvios do seu comportamento em relação ao MP. Nosso trabalho inclui tanto a construção de extensões do MP, que tentam entender a origem do setor de Higgs, como a fenomenologia desses e outras extensões em aceleradores como o LHC. Por exemplo, teorias onde os parceiros do MP não se acoplam com as interações fortes (*neutral natural*) resultam em um Higgs composto natural, e requerem uma fenomenologia diferenciada com a alta luminosidade do HL-LHC, para ser efetivamente testada na próxima década. Entre essas teorias se encontram o *Twin Higgs* e a *Folded Supersymmetry*. Também a partir do Run III do LHC e, particularmente, na sua fase HL, os acoplamentos do bóson de Higgs serão medidos com uma grande precisão, abrindo uma janela para nova física além do MP. Estudaremos essas medidas em várias extensões do MP e em formulações independentes de modelos, como, por exemplo, utilizando teorias efetivas e fatores de forma que aparecem genericamente em teorias onde o Higgs é um escalar composto. Os acoplamentos triplo e quártico dos bósons de gauge eletrofracos, sensíveis à nova física no setor de Higgs, também serão objeto de estudo. A grande quantidade de dados que esses estudos envolvem, requerem a utilização de técnicas avançadas de análise, como por exemplo as mais novas formas de analisar jatos e de simular os detetores.

Matéria Escura

As evidências cosmológicas e astrofísicas da existência de matéria escura (ME) são incontestáveis. Ela constitui mais de 80% da matéria no universo e 23% do total de sua energia. Porém, a natureza da ME é ainda desconhecida. O MP da física de partículas não conta com candidatos viáveis à ME. Portanto, a modelagem fundamental desse fenômeno, necessariamente, implica estender o MP.

Trabalhamos em extensões do MP que contém candidatos de ME, tais como teorias supersimétricas, e em teorias com setores *hidden* como, por exemplo modelos, tipo *Twin Higgs*, onde a matéria escura aparece naturalmente e pode ser tanto do tipo relíquia térmica como assimétrica. Também atacamos o problema da ME de uma forma independente de outras teorias. A situação dos experimentos de detecção direta e seu futuro, força o espaço de parâmetros das teorias de ME para regiões de baixa interação e/ou baixa massa. Estudamos modelos nessas regiões e sua fenomenologia, tanto em detecção direta como indireta e no LHC. Utilizamos teorias específicas de ME, que resultam em conexões com outros setores do MP, assim como, também, uma formulação puramente de teorias efetivas. Desta forma, temos uma cobertura abrangente do toda a fenomenologia da ME, incluindo aspectos conectados com a cosmologia e astrofísica. Finalmente, consideramos a possibilidade da ME estar concentrada na forma de estados superleves, como os axions e similares. Esses estados estão tipicamente motivados por alguma extensão do MP e tem uma fenomenologia distinta para a sua detecção e consequências cosmológicas. A modelagem e fenomenologia da ME resultam, inevitavelmente, numa conexão com a cosmologia e a astrofísica.

Física de Neutrinos

O setor de neutrinos do MP tem tido um enorme desenvolvimento nos últimos vinte anos, desde a descoberta de oscilações de neutrinos atmosféricos. Vários experimentos têm medido os parâmetros de oscilação com grande precisão. Mas se bem conhecemos os ângulos de mistura e as diferenças de massas dos sabores de neutrinos no MP, ainda restam questões em aberto no setor de neutrinos do MP, além da possibilidade de nova física no observáveis. A natureza dos neutrinos como férmions ainda é desconhecida: eles podem ser férmions de Dirac ou de Majorana. Quando comparada com o setor de quarks, o tipo de hierarquia das massas, normal ou invertida, deve ser determinada com dados de maior precisão dos que temos hoje. Finalmente, violação de CP — de grande importância para entender o setor de quarks do MP — ainda não foi observada nos neutrinos. Essas medições completarão nosso entendimento dos neutrinos no MP. Porém, existem razões tanto teóricas como indícios experimentais da existência de física além do MP nesse setor da física de partículas. Para começar com a fundamentação teórica, as evidências que indicam que os neutrinos são massivos, apontam a física fora do MP, já que este não prevê massas para essas partículas. Além disso, nos últimos anos têm aparecido várias anomalias experimentais, que só podem ser explicadas por nova física, como, por exemplo, no experimento MiniBooNE, o qual sugere a presença de novos estados leves misturados com os neutrinos do MP.

O futuro da física de neutrinos está marcado pela presença de grandes experimentos em colaborações internacionais, como o DUNE nos Estados Unidos e o Hyper Kamiokande no Japão entre outros, que atacarão com grande precisão todas as questões mencionadas acima. Esse grande investimento em experimentos de física de neutrinos define nosso compromisso com a área nos próximos anos.

Um projeto que dará continuidade a trabalhos já feitos, se refere a possibilidade de um setor acoplado aos neutrinos através de mediadores leves. Esse tipo de modelo é uma possível explicação dos eventos de MiniBooNE. Continuaremos trabalhando na fenomenologia desses modelos, dado que serão testados —além de pelo MiniBooNE— em IceCube e em DUNE.

Outro tipo de projetos explora a possibilidade de novas interações entre os neutrinos. Elas podem ser estudadas nas suas manifestações em vários experimentos. Por exemplo, temos investigado o

potencial do experimento COHERENT, de espalhamento coerente de neutrinos, para testar essas novas interações. Também temos proposto que os *near detectors* em futuros experimentos em aceleradores, tais como DUNE, podem ser utilizados para tal fim. Outra possibilidade fascinante é a possível medição dos neutrinos cosmológicos no experimento PTOLEMY. Continuaremos explorando as consequências de novas interações de neutrinos nesse experimento, que podem modificar dramaticamente os resultados da futura detecção dessa componente da radiação cósmica.

O experimento IceCube tem detectado recentemente um número de eventos de altíssima energia correspondentes a neutrinos extragalácticos de 30 a 1200 TeV. Temos mostrado que esses eventos podem estar relacionados à existência de matéria escura ultra-massiva ou com outros estados de vida média longa. Também temos considerado IceCube como uma forma de detectar leptosquarks escalares, o qual é complementar das procuras dessas partículas além do MP em aceleradores. O experimento IceCube, e sua futura versão poderá ser utilizado para a medição de neutrinos atmosféricos solares (importante para a detecção de neutrinos vindos de matéria escura), assim como também de efeitos de ordem superior nas oscilações de neutrinos.

Nossa proposta de determinação da hierarquia das massas de neutrinos, utilizando medidas de alta precisão dos neutrinos atmosféricos do elétron e do múon, será testada nos próximos anos pelo experimento JUNO na China. Acompanharemos os resultados desse experimento, incluindo efeitos de matéria na definição de um valor efetivo da diferença de massas ao quadrado.

Teoria Quântica de Campos e Cordas

Profs. Adilson J. da Silva, Diego Trancanelli, Josif Frenkel, Marcelo Gomes* e Victor Rivelles

A teoria de cordas é uma das áreas de pesquisa mais ativas em física teórica. A interface entre a teoria de cordas e a teoria quântica de campos, conhecida como dualidade gravitação/teorias de gauge ou correspondência AdS/CFT prevê que teorias quânticas de campos e teoria de cordas estão intimamente relacionadas e representam descrições diferentes do mesmo sistema físico. A correspondência AdS/CFT, e suas generalizações, foram responsáveis por um enorme avanço em nossa compreensão da gravitação quântica, da própria teoria de cordas e de outras áreas da física. Tornou-se uma ferramenta extremamente útil para o estudo de teorias quânticas fortemente acopladas em termos de teorias fracamente acopladas. Atualmente, temos interesse no papel que a integrabilidade representa dentro do contexto da correspondência AdS/CFT, em particular quando spinores puros estão envolvidos. Pretendemos aprofundar essa linha de pesquisa com foco especial na integrabilidade em deformações da teoria de cordas. Também temos interesse em testes da dualidade, utilizando técnicas como localização supersimétrica e integrabilidade, enquanto, entre os aspectos mais aplicados, temos interesse no uso da holografia para modelar e estudar sistemas fortemente correlacionados como plasmas de quarks e glúons e sistemas de matéria condensada. Para o futuro próximo, temos interesse no estudo de operadores não locais, como laços de Wilson. Pretendemos também analisar a relação entre diferentes aspectos da teoria de informação quântica e holografia do ponto de vista gravitacional e de teorias de gauge fortemente acopladas. Outra área de grande interesse é a "quantum matter" holográfica na qual sistemas de matéria condensada podem ser descritas utilizando-se a física gravitacional, a teoria quântica de campos e a teoria de cordas, prescindindo do conceito de quase-partículas.

A relatividade restrita e a mecânica quântica impõem restrições severas sobre os tipos de partículas que podem existir na Natureza. As partículas podem ter massa nula e spin inteiro ou semi-inteiro,

como o fóton. Podem também serem massivas com spin inteiro ou semi-inteiro, como o elétron. Além desses tipos de partículas, há a possibilidade de que existam partículas de massa nula e com spin contínuo que até agora não foram encontradas na Natureza. Isso não impediu que fossem feitas tentativas para uma formulação quântica das partículas de spin contínuo no contexto da teoria quântica de campos, onde foram encontrados problemas enormes, que impediram um avanço maior na compreensão das propriedades dessas partículas. Entretanto, face aos problemas do modelo padrão das partículas elementares e da cosmologia, o interesse nesse tipo de partícula ainda é muito grande. Recentemente, foi descoberto que existem amplitudes de emissão "soft" para essas partículas, o que levou à uma proposta para uma ação que descreve partículas com spin contínuo. Analisamos as propriedades dessas partículas, quando formuladas em feixes cotangentes sobre o espaço-tempo de Minkowski, e temos interesse em extensões para o caso massivo e para espaços de anti-de Sitter, devido à correspondência AdS/CFT.

Os efeitos infravermelhos em teorias de campos se manifestam a grandes distâncias, tendo também um papel importante para a validade do tratamento perturbativo a curtas distâncias. Estas singularidades, que ocorrem na presença de partículas de massa zero, cancelam-se na QED em processos físicos envolvendo a emissão de fótons infravermelhos. Por outro lado, na QCD, este cancelamento não ocorre em virtude do acoplamento entre os gluons. Isto foi demonstrado à temperatura zero na QCD, sendo um reflexo do confinamento de quarks e gluons desta teoria das interações fortes. Por outro lado, espera-se que acima de uma certa temperatura crítica, ocorra uma transição de fase, que leve a um desconfinamento destas partículas. Temos interesse em generalizar o resultado do estudo anterior usando a simetria de calibre e a unitariedade da QCD à temperatura finita.

Na escala de energia dos aceleradores atuais, a invariância de Lorentz e CPT estão entre as mais importantes simetrias. Entretanto, a possível quebra da simetria de Lorentz a altíssimas energias não pode ser descartada a priori. Essa possibilidade tem despertado grande interesse entre os pesquisadores de Teoria Quântica de Campos, pois pode fornecer um mecanismo para o completamento ultravioleta de teorias não renormalizáveis e em particular para a quantização da gravitação, um problema fundamental da física teórica. Assim, têm sido considerados modelos com anisotropia no espaço tempo, com altas derivadas espaciais, que violam Lorentz, mas apresentam um bom comportamento ultravioleta. Atualmente, além da gravitação, teorias com altas derivadas espaciais foram também consideradas em diferentes contextos. No que concerne as aplicações à área de partículas elementares, a propriedade mínima, necessária para fisicamente validar qualquer modelo que apresente violação de Lorentz, é que a baixas energias a simetria de Lorentz seja recuperada, ou seja, que a simetria de Lorentz seja emergente. Consequentemente, esses estudos requerem naturalmente o uso do grupo de renormalização e a investigação da existência de pontos fixos estáveis no infravermelho. Esse é um ponto delicado, necessitando em geral de ajustes finos nos parâmetros do modelo, como ocorre por exemplo na eletrodinâmica quântica com derivadas espaciais de até terceira ordem. Temos interesse em investigar modelos com anisotropia espaço-temporal com auto-interação fermiônica quadrilinear do tipo Nambu-Jona Lasinio. Esses modelos têm sido empregados como teorias efetivas para a QCD mas são não renormalizáveis. Esse estudo será feito tanto perturbativamente como na expansão $1/N$ em que N é o número de campos fermiônicos, partindo com interações abelianas do tipo Gross-Neveu e Thirring. Em seguida analisaremos modelos com simetria quiral $SU(2) \times SU(2) \times U(1)$ comparando os resultados com os descritos na literatura.

**Professor Senior.*

Professores Senior

O DFMA conta com 4 docentes aposentados com termos de colaboração, os Professores Senior. Todos eles estão ativos nas suas respectivas áreas de pesquisa e participam da vida do departamento, colaborando em alguns casos com orientação e com a carga didática na graduação e na pós-graduação.

Os Profs. Antônio de Toledo Piza e Emerson de Passos trabalham na área de *Física de Muitos Corpos*. O Prof. Mauricio Porto Pato em temas de *Física Estatística*. O Prof. Marcelo Gomes, tal como mencionado acima, é membro do grupo de *Teoria Quântica de Campos e Cordas*.

3.2 Ensino

Nosso corpo docente tem uma longa tradição de ministrar uma grande variedade de disciplinas da graduação e pós-graduação, básicas e avançadas, obrigatórias e eletivas.

Temos ministrado as Físicas básicas (I a V), as Físicas Matemáticas (I, II e III), Eletromagnetismo I e II, e Mecânica Quântica I e II, todas disciplinas do núcleo central da formação do físico. Também temos ministrado disciplinas das nossas áreas de pesquisa, tais como Cosmologia Física, Física das Partículas Elementares e Relatividade, entre outras.

Similarmente, na pós-graduação nossos docentes têm ministrado disciplinas do tronco básico, tais como Eletrodinâmica Clássica, Mecânica Quântica e Teoria Quântica de Campos, cada uma de dois semestres, e nas quais nossos docentes têm produzido livros que são referência no Brasil (Josif Frenkel, Antonio Piza e Marcelo Gomes, respectivamente).

Temos ministrado disciplinas avançadas como Cosmologia Física I e II, Física de Partículas I e II, C*-Álgebras, entre outras. Essas disciplinas foram propostas por nossos docentes.

Ministramos, também, um grande número de disciplinas de serviço (e.g. para a Escola Politécnica), podendo-se observar que nosso maior compromisso é em manter a excelência no ensino do coração da física teórica, tanto na graduação como na pós-graduação. Isto está intimamente ligado a nossa pesquisa e a conexão com as necessidades dos alunos de aprenderem física ao mais alto nível e em todas as etapas da sua formação.

Nossa carga horária nos últimos 5 anos tem sido um pouco acima de 4 horas de aula/professor/semestre, o que reflete o fato da grande maioria das disciplinas do IF serem de 4 créditos.

Para esse período continuaremos trabalhando para um ensino de excelência no Instituto de Física em todos os níveis. Alguns exemplos de projetos diretamente associados ao ensino são:

- Reformulação das disciplinas *Física I* e *Física II* do bacharelado: um grupo de docentes do DFMA, com a coordenação da Profa. Renata Zukanovich Funchal, ministrará essas disciplinas básicas.
- Publicação do livro para a disciplina *Mecânica de Fluidos*, pela Profa. Frederique Grassi, na editora EdUSP.

- Contínua atualização do material didático das disciplinas de *Física Matemática* do IFUSP e disponíveis na internet, escritas e mantidas pelo Prof. João C. A. Barata. O material, que conta com mais de 2000 páginas, está disponível em forma de livro ou em capítulos individuais.
- Reformulação da disciplina optativa da graduação *Introdução à Física das Partículas Elementares* para atualizá-la, incluindo novos tópicos da área que tem se desenvolvido rapidamente nos últimos anos.
- Reformulação da disciplina optativa *Relatividade*, a qual agora inclui uma apresentação completa da relatividade restrita e geral.
- Finalização das notas de aula em forma de livro em inglês das disciplinas *Introdução a Teoria Quântica de Campos I e II* (Prof. Gustavo Burdman).

3.3 Orientação

Os docentes do DFMA orientam um grande número de alunos em todos os níveis, Iniciação Científica, Mestrado e Doutorado. Tipicamente contamos com mais de 60 alunos de pós-graduação (hoje 62: 36 de Mestrado e 26 de Doutorado), uma média de 3.6 por docente. Nos últimos anos têm sido concluídas, aproximadamente, 12 titulações por ano entre Mestrado e Doutorado. São concluídas, em média, 7 Iniciações Científicas por ano. O DFMA tem em média 15 Pós-doutores com bolsa. Portanto, no que se refere à formação de recursos humanos nas áreas do DFMA temos tido uma produção consistente nos últimos anos.

Um número significativo de nossos Doutores e Pós-doutores passa em concursos de Professor em universidades brasileiras. Isto reforça nossa responsabilidade para formar pesquisadores e docentes profissionais e atualizados na fronteira do conhecimento. Essa responsabilidade forma uma parte integral do planejamento de nossa pesquisa e de sua atualização. Continuaremos com esse compromisso no futuro.

3.4 Extensão

Os docentes do DFMA participam ativamente da vida da comunidade científica nacional e internacional. Participam de bancas de Mestrado e Doutorado, de bancas de concursos, e são pareceristas em revistas internacionais e agências de fomento do Brasil e o exterior.

Os professores do DFMA também, regularmente, participam de eventos nacionais e internacionais nas suas áreas de pesquisa (conferências, escolas, *workshops*, eventos de divulgação científica) como palestrantes e/ou organizadores.

Um exemplo de evento de divulgação organizado por nossos docentes é o *Convite à Física*, uma série de palestras com convidados das mais variadas áreas da física e direcionados para alunos ingressantes ao IFUSP. O *Convite* acontece há mais de dez anos e é um grande sucesso de divulgação para a comunidade do IFUSP.

Os docentes do departamento têm participado regularmente ao longo dos anos na organização de escolas nas áreas específicas do DFMA. Como exemplo, eles têm participado, praticamente sem exceção, nos últimos 15 anos, na organização da *Escola Jorge André Swieca de Partículas e Campos*. Nossos docentes têm também organizado escolas internacionais no Brasil em áreas mais específicas, tais como as escolas internacionais de Física de Partículas e a de Cosmologia, ambas em colaboração com o ICTP-SAIFR e o ICTP-Trieste, e a escola de QCD e Holografia também no ICTP-SAIFR.

A constante participação em eventos nacionais e internacionais está relacionada à inserção de nossa pesquisa no cenário internacional e é - e continuará sendo no futuro - uma componente integral na qualidade de nossa pesquisa e sua constante atualização.

A seguir detalhamos alguns projetos para o período, a modo de exemplo:

- *Convite à Física*: continuaremos com a organização desses eventos, principalmente direcionados para alunos ingressantes no IFUSP. A intenção é a de trazer para esse público uma variedade de temas atuais na fronteira da pesquisa em física.
- *Organização de Mini-Workshops*: Os docentes do DFMA têm um importante número de colaboradores e contatos internacionais. Com o intuito de aumentar esses contatos, incrementar a produtividade científica que eles já trazem, e compartilhar esses benefícios com alunos e pós-doutores da área, bem como com colegas de outras áreas correlatas, estamos propondo a organização de mini-workshops de pesquisa focados em temas específicos. O número de participantes pode ser de 5 a 15 pesquisadores, dependendo de cada caso. Esses encontros tendem a resultar em trabalhos concretos e são uma possível forma de aumentar a nossa produtividade, gerar uma maior presença internacional no departamento e, ao mesmo tempo, incrementar a sua visibilidade. A proposta requer que cada grupo de pesquisa organize um ou mais mini-workshops por ano. As fontes de financiamento dessa proposta estão em etapa de análise, mas provavelmente devem envolver recursos tanto de agências de fomento, como da universidade.

3.5 Gestão

Serviços de Apoio

O DFMA tem um corpo de 5 funcionários: 02 Secretárias (técnicas) e 01 Técnico Administrativo na secretaria, um técnico no setor de informática e um engenheiro de apoio ao projeto BINGO. Esse nível de apoio é adequado para as necessidades do departamento tendo em conta que temos 17 docentes (18 após a incorporação da Profa. Elisa Ferreira), 62 alunos de pós-graduação, da ordem de 15 pós-doutorandos, 4 professores aposentados com termos de colaboração assinados (e que estão ativos em pesquisa e docência e frequentam o DFMA diariamente), e vários visitantes de longo prazo (mais de um mês), totalizando da ordem de 100 pessoas que utilizam os serviços da secretaria e da informática do departamento.

Essa estrutura de apoio, em particular da secretaria, deverá ser suficiente para assumir novas responsabilidades relacionadas à organização dos mini-workshops propostos no item 3.4 para esse período.

Informática

Contamos com um técnico de informática encarregado de auxiliar os membros do DFMA com as suas necessidades pessoais, e de gerenciar os nós de processamento instalados no DFMA a partir de um de nossos projetos temáticos da FAPESP. Esse *cluster* é utilizado por vários grupos do DFMA, e até por grupos fora do departamento. Porém, planejamos que os futuros projetos de computação de alta performance estarão localizados no CCIFUSP, onde o IFUSP tem feito consideráveis investimentos em infraestrutura para esse fim. De toda forma, antecipamos que um técnico de informática ainda seja necessário para fazer a interface com os nossos equipamentos no CCIFUSP, gerenciar os que ainda estão no DFMA, e continuar o apoio individual aos membros do departamento.

Espaço Físico

Tal como foi mencionado acima, o DFMA conta com aproximadamente 100 membros entre professores na ativa, aposentados, alunos de pós-graduação, pós-doutorandos e visitantes de longo prazo. O espaço físico do departamento está no limite do que é necessário para poder realizar as nossas tarefas. Contamos agora com três espaços comuns para atividades em grupo, tais como seminários, journal clubs e reuniões de trabalho e do departamento. Esses espaços atendem às nossas necessidades hoje, já que todos eles contam com projetor e louças. Porém os espaços, particularmente para alunos e pós-doutorandos, estão aquém do necessário já que tem mais pessoas por sala do que elas comportam. O DFMA precisará de mais salas para compartilhar, em especial uma vez que comecem a acontecer mini-workshops e outras atividades desenhadas para aumentar o fluxo de visitantes.

Além de precisar de ampliação, o nosso espaço físico precisa ser aprimorado. As condições de iluminação e pintura de nossos corredores são lamentáveis e provavelmente ilegais para um lugar de trabalho. Pretendemos que no começo desse período os corredores do DFMA sejam reformados.

3.6 Composição do Corpo Docente

Dadas as características do nosso trabalho de pesquisa, ensino, orientação e extensão, com o objetivo de gerar conhecimentos ao mais alto nível, consideramos que nosso corpo docente deve ser inteiramente de dedicação exclusiva (RDIDP).

Nossas áreas de pesquisa têm em geral um bom balanço, em relação aos números de docentes que as atendem. *Cosmologia Observacional* com 4 docentes (já contando com a futura incorporação da Prof. Elisa Ferreira), *Física Matemática* e *Física de Partículas* também com 4 docentes cada um, e *Íons Pesados* com 2 docentes, possuindo capacidade para cobrir os vários aspectos de cada uma dessas áreas e orientar alunos em todos os níveis.

No caso da área de *Teoria Quântica de Campos e Cordas*, o DFMA conta com 4 docentes atualmente, dois deles atingirão a idade de aposentadoria compulsória nesse período. Além disso, a área tem tido bastantes desenvolvimentos novos. É por isso que o DFMA tem decidido que é necessária a contratação de pelos menos mais um docente nessa área de pesquisa. A situação é ainda mais urgente, dado que um terceiro membro do grupo está se afastando por dois anos, com a perspectiva de não retornar. Portanto, uma contratação em *Teoria Quântica de Campos e Cordas* é uma prioridade do DFMA para poder manter liderança nessa tão importante área da física teórica.

Finalmente, como parte de nossa constante atualização, o DFMA tem discutido a possibilidade de incorporar novas área de pesquisa. Temos identificado a área de *Informação Quântica*, com ênfase

nos problemas dessa área que estão mais em contato com a física teórica, como uma área que deve ser aberta no departamento. No momento, existe um concurso para uma vaga institucional (não exclusivamente do DFMA), na área de *Informação Quântica* entendida amplamente e incluindo aspectos tanto teóricos como experimentais. Independentemente do resultado desse concurso, o DFMA tem um compromisso para preencher uma vaga no departamento cobrindo os aspectos de IQ mais relacionados com nossos interesses.

4. Conclusões e Indicadores para Avaliação

O Departamento de Física Matemática tem sido, é e pretende continuar sendo um centro de excelência para a produção e disseminação de conhecimento na fronteira da física fundamental. O comprometimento de nosso corpo docente com a produção científica ao mais alto nível de impacto em cada uma das nossas áreas de pesquisa está claramente demonstrado acima. Além de uma significativa produção na forma de artigos publicados em revistas de alto parâmetro de impacto, consideramos que a qualidade desses trabalhos, junto com a constante atualização de nossas linhas de pesquisa são as metas de maior importância.

A qualidade e atualidade de nossas pesquisas tem, por sua vez, um grande impacto na formação de nossos alunos de pós-graduação e pós-doutores, que são o futuro da pesquisa em física fundamental. Tem também uma importante influência no ensino tanto na graduação como na pós-graduação, onde atuamos em disciplinas da mais variada complexidade, das mais básicas as mais avançadas.

Os indicadores apropriados para a avaliação do DFMA são portanto aqueles que refletem a qualidade, o impacto e a atualidade de nossa pesquisa, nossa orientação, nosso trabalho de ensino e de extensão, tal como descritos acima. Alguns exemplos são:

- Publicações nas revistas de maior impacto nas áreas de pesquisa
- Trabalhos publicados em colaboração internacional
- Participação e/ou Organização de eventos nacionais e internacionais
- Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado resultando em trabalhos publicados
- Nível de financiamento de agências com seletiva política de qualidade (FAPESP, CNPq...)
- Nível de financiamento em acordos internacionais
- Ampla presença nas disciplinas da graduação e da pós-graduação
- Produção de material bibliográfico