

PROPOSTA DE FORMAÇÃO DE UMA REDE SUL-AMERICANA DE GRAVITAÇÃO QUÂNTICA

Título

REDE SUL-AMERICANA DE GRAVITAÇÃO QUÂNTICA

Nome do Coordenador

Victor de Oliveira Rivelles
Instituto de Física
Universidade de São Paulo

Participantes

- Argentina
 - Gerardo Aldazabal (C. A. Bariloche) (Coordenador de Projeto Temático)
 - * Rafael Montemayor (C. A. Bariloche)
 - * Carmen Nunez (U. Buenos Aires)
- Brasil
 - Nathan Berkovits (IFT/UNESP) (Coordenador de Projeto Temático)
 - * Dafni Marchioro (IFT/UNESP)
 - Marcelo O. C. Gomes (U. São Paulo) (Coordenador de Projeto Temático)
 - * Luciano Melo Abreu (U. São Paulo)
 - * Adilson José da Silva (U. São Paulo)
 - * Alysson Fábio Ferrari (U. São Paulo)

- Victor de Oliveira Rivelles (U. São Paulo) (Coordenador de Projeto Temático)
 - * Ewarasman Harikumar (U. São Paulo)
 - * Arsen Melikyan (U. São Paulo)
 - * Hector Carrion Salazar (U. São Paulo)
- Chile
 - Jorge Alfaro (PUC, Chile) (Coordenador de Projeto Temático)
 - Jorge Gamboa (U. Santiago de Chile) (Coordenador de Projeto Temático)
 - * Fernando Mendez (U. Santiago de Chile)
 - Jorge Zanelli (CECS, Valdivia) (Coordenador de Projeto Temático)
- Uruguai
 - Rodolfo Gambini (U. República) (Coordenador de Projeto Temático)
 - * Pablo Mora (U. República)
 - * Michael Reisenberger (U. República)
- Venezuela
 - Alvaro Restuccia (U. Simon Bolivar) (Coordenador de Projeto Temático)
 - * Isbelia Martin (U. Simon Bolivar)
 - Jorge Stephany (U. Simon Bolivar) (Coordenador de Projeto Temático)
 - * Cayetano Di Bartolo (U. Simon Bolivar)
 - * Abilio de Freitas (U. Simon Bolivar)
 - * Nicolas Hatcher (U. Simon Bolivar)

Comprovação da experiência do coordenador em atividades de cooperação internacional e conhecimento dos sistemas sul-americanos de C&T e P&D&I

O coordenador é professor titular do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, pesquisador 1B do CNPq, e líder do grupo de pesquisa Gravitação Quântica cadastrado no CNPq.

Projetos em vigência:

- **Projeto Temático da Fapesp: Gravitação Quântica**

- Coordenador: Victor O. Rivelles (IFUSP)
- Participantes: Hector C. Salazar (IFUSP), E. Harikumar (IFUSP) e Arsen Melikyan (IFUSP)
- Resumo: Pretendemos analisar vários aspectos relacionados à gravitação quântica, envolvendo desde teorias não comutativas, até o estudo de teorias de gravitação com derivadas de ordem superior.

As teorias de campo não comutativas originam-se como limites de baixa energia da teoria de cordas num campo de fundo de um tensor antisimétrico. A principal propriedade dessas teorias, ao nível quântico, é uma mistura de divergências ultravioletas e infravermelhas que destroem a renormalizabilidade. Descobrimos que a única teoria renormalizável em quatro dimensões é o modelo supersimétrico de Wess-Zumino. Em três dimensões, mostramos que os modelos sigma supersimétricos também são renormalizáveis na expansão $1/N$. Pretendemos dar continuidade à essa linha de pesquisa investigando as teorias de gauge supersimétricas com supersimetria estendida, calculando o potencial efetivo, e analisando a invariância de gauge do mesmo. Além disso, pretendemos analisar as teorias de gravitação não comutativas. As tentativas atuais formulam a gravitação como uma teoria de gauge. Pretendemos adotar o procedimento usual de considerar o produto entre os campos como sendo o produto Moyal e tratar o parâmetro da não comutatividade como um tensor covariantemente constante. Também planejamos estudar soluções exatas não solitônicas das diversas teorias não comutativas, analisar suas propriedades e a conexão com os táquions da teoria de supercordas.

Nas teorias não comutativas os campos apresentam propriedades exóticas. O mapeamento de Seiberg-Witten permite que se utilizem campos ordinários, com características usuais. Em geral, a formulação com campos comutativos é incompleta pois a dinâmica não é conhecida de forma explícita. Apesar disso, conseguimos demonstrar que o campo de gauge acopla-se com a matéria como se fosse um campo gravitacional. Isso mostra uma conexão muito profunda entre teorias não comutativas e gravitação que necessita ser melhor compreendida.

Esse é outro de nossos objetivos. Ainda dentro desta formulação, descobrimos que a supersimetria não pode ser realizada off-shell, impedindo uma formulação no superespaço. Acreditamos que a supersimetria torna-se local, da mesma forma que o campo de gauge, na discussão anterior, faz com que as translações sejam locais. Esse aspecto também será analisado.

Quando se compreendeu que o regime não perturbativo da teoria de cordas envolve membranas e teorias de supergravidade em onze dimensões, várias descobertas excepcionais foram feitas. Uma delas diz respeito à equivalência entre certas teorias de gravitação e de gauge. A principal delas é conhecida como correspondência AdS/CFT e tem como propriedade principal o fato de incorporar o princípio holográfico. Já demos várias contribuições nessa área, incluindo uma nova quantização do campo escalar no espaço de anti De Sitter e uma forma mais aprimorada da correspondência. Pretendemos dar continuidade à essa linha analisando a propriedade auto-adjunta da equação de movimento radial, a passagem do regime Euclideano para o Lorentziano, o caso de spin elevados e o problema da seleção dos graus de liberdade relevantes no interior do espaço de anti De Sitter.

Como é bem conhecido, a relatividade geral não é renormalizável perturbativamente. Entretanto, teorias da gravitação quadráticas no tensor de curvatura podem ser renormalizáveis e até mesmo apresentarem liberdade assintótica. Porém, padecem do fato de possuírem fantasmas em seu espectro. Em geral, teorias com derivadas de ordem superior sofrem desse mal e não são unitárias. Pretendemos analisar teorias com derivadas de ordem superior introduzindo novos fantasmas, de forma a gerar uma regra de superseleção que elimine todos os fantasmas do espectro para obter uma teoria consistente.

A dualidade possui um papel essencial na teoria de cordas. Em alguns modelos, ela sugere a existência de dimensões superiores à onze, inclusive dimensões tipo tempo. Teorias com dois ou mais tempos são problemáticas pois a evolução dinâmica é ambígua. Entretanto, se houver uma simetria de gauge que remova os tempos extras então a teoria pode ser consistente. Pretendemos analisar, utilizando técnicas de BRST-BFV, uma formulação de teorias com dois tempos cujo grupo de gauge é $Sp(2, R)$. Desejamos construir a integral de trajetória dessa teoria e mostrar que vários sistemas físicos podem ser gerados por di-

ferentes escolhas de gauge.

- Instituição executora: Instituto de Física da USP
- País de realização: Brasil
- Valor aprovado: R\$ 90.100
- Fonte de financiamento: Fapesp

- **PRONEX: Dualidades em teoria de campos, cordas e matéria condensada**

- Coordenadora: Angela Foester (UFRGS)
- Participantes: Victor O. Rivelles (IFUSP), Nathan Berkovits (IFT/UNESP) e Eduardo C. Marino (UFRJ)
- Resumo: O conceito de dualidade permeia várias áreas da física desde a física da matéria condensada até a teoria de cordas. Pretende-se explorar da maneira mais ampla possível os diversos aspectos da dualidade e suas implicações na quantização de teorias de campo com dualidade, a dualidade ordem-desordem na matéria condensada, a dualidade das D-branas e a dualidade e supersimetria na supercorda.
- Instituição executora: UFRGS, USP e UNESP
- País de realização: Brasil
- Valor aprovado: R\$ 250.000
- Fonte de financiamento: CNPq/PRONEX

- **Cooperação científica internacional com os seguintes pesquisadores: I. L. Buchbinder (Tomsk State U.), P.H. Damgaard (N. Bohr Inst.), E. E. Donets (JINR, Dubna), J. Gamboa (Santiago de Chile U.), A. Pashnev (JINR, Dubna), A. Yu. Petrov (Tomsk State U.), D. P. Sorokin (Padua U. e INFN, Padua), M. Tsulaia (JINR, Dubna), J. Zanelli (CECS, Valdivia).**

- **Organização de Eventos Internacionais (últimos 5 anos)**

- XI Escola de Verão J. A. Swieca de Partículas e Campos, Campos do Jordão, 2001
- III Escola ICTP-Latino Americana de Cordas, São Paulo, 2003
- New Trends in Quantum Gravity, São Paulo, 2005
- IV Escola ICTP-Latino Americana de Cordas, Bariloche, 2007

- Participação em Eventos Internacionais (últimos 5 anos)
 - Strings 2002 (Cambridge, UK)
 - A Symposium in Memory of Victor Weisskopf (MIT) 2002
 - CECS Summer Meeting on Theoretical Physics (Valdívia) 2004
 - Strings 2004 (Paris)
 - Strings at CERN (CERN), 2004
 - Second Mexican Meeting on Mathematical and Experimental Physics (Cidade do México) 2004
 - Strings 2005 (Toronto) 2005
 - Supersymmetry, Gauge Theories and Quantum Gravity (Cidade do México) 2005
 - Eurostrings 2006 (Cambridge, UK) 2006
- Assessor das seguintes agências de fomento do exterior:
 - Austrian Academy of Sciences (APART - Austrian Programme for Advanced Research and Technology), Austria
 - Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (FONDECYT - Fondo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica), Chile
 - The International Science Foundation, New York
 - Consejo Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (DINACYT - Dirección Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación), Uruguay

Identificação dos demais projetos temáticos formadores da rede

- **Compactifications, Duality and String Phenomenology**
 - Coordenador: G. Aldazabal (Centro Atómico de Bariloche)
 - Participantes: R. Montemayor (C. A. Bariloche), C. Nunez (U. Buenos Aires)

- Resumo: The search for a unified theory of quantum gravity and the other fundamental interactions leads naturally to superstring/M theory. This field of research has received a revival of interest in recent years after the discovery of duality symmetries which allowed to obtain information about non perturbative aspects of the theory. In particular, the five consistent ten dimensional string theories turn out to be different realisations of a unique theory, M-theory, whose knowledge is still quite limited. This project aims to contribute to the formulation of M-theory through a better comprehension of certain aspects of compactifications and string dualities.

The ten dimensional dualities give rise to an intricate web of connections in lower dimensions. Managing extra dimensions is one of the essential tasks that we should be able to understand if a connection between string theory and the observable physics world is to be established. Compactification of extra dimensions on a suitable manifold, unobservable to present energies, appears as one of the most direct ways to tackle this problem. The study of compactifications to lower dimensions, not necessarily to $D=4$, becomes an important information for establishing such connections among string theories. We propose to study orientifold compactifications at Gepner points, in particular we aim at a systematic study of explicit models in $D=6,4$ dimensions. Such study appears interesting from different perspectives. From the phenomenology point of view it can lead to a new set of models with some control on gauge and supersymmetry breaking mechanisms, etc. The knowledge of this new Type I models defined on non trivial manifolds should also be related by heterotic/TypeI duality to heterotic models.

An important issue is that many of the compactification parameters, like internal manifold radii, are actually moduli. Removing such flat directions is highly relevant since it should tell us which is the favoured low energy configuration. This is a hard task and involves the knowledge of non perturbative effects, supersymmetry breaking, etc. We plan to study moduli stabilization in simple Type IIB compactifications. In particular we shall start by considering toroidal models with D-branes. Global consistency will require at the end the introduction of orientifold planes, etc.

Another aspect of the many recent connections established among

string theories is the very powerful AdS/CFT duality conjecture. This idea represents a tremendous advance in the understanding of gauge field theories and furthermore it has suggested an answer to the long-standing unsolved problem of black hole quantum mechanics. Much evidence has now been gathered supporting the conjectured duality between M/string theory formulated in Anti de Sitter AdS spacetime and a conformal field theory on the boundary. An explicit representation of these results has been worked out for strings on three dimensional AdS spacetime where the full string theory and not just the low energy limit can be used. This is another subject we plan to study, in particular its consequences to black hole physics.

Finally, these basic duality ideas have been subsequently generalized to arbitrary forms in arbitrary dimensions. Well known dualities are the ones between massless p -form and $(d-p-2)$ -form fields and between massive p and $(d-p-1)$ -forms in d dimensional space-time. These dualities among free fields have been verified by using the method of parent Lagrangians as well as the canonical formalism. The extension of electromagnetic duality to $SL(2,R)$ and $SL(2,Z)$ plays an important role in the non-perturbative study of field and string theories, and has been extended to Born-Infeld theory. We have proposed an algorithm to construct dual theories on a purely Lagrangian basis and applied it to the case of a massive spin-2 theory, finding new dual representations. The aim of this project is to fully explore the possibilities of this duality algorithm and its possible extensions.

- Instituição executora: Centro Atómico Bariloche
- País de realização: Argentina
- Valor aprovado: \$ 56.302 pesos argentinos (US\$ 18.800)
- Fonte de financiamento: Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT)

- **Projeto Temático: Ensino e Pesquisa em Teoria de Supercordas**

- Coordenador: Nathan Berkovits (IFT/UNESP)
- Participantes: Dafni Marchioro (IFT/UNESP)
- Resumo: Quantização covariante da supercorda, quantização em backgrounds Ramond-Ramond, teoria de campos da supercorda aberta, e amplitudes multiloop de espalhamento.

- Instituição executora: IFT/UNESP
- País de realização: Brasil
- Valor aprovado: R\$ 72.000
- Fonte de financiamento: Fapesp

- **Projeto Temático: Aspects of Noncommutative Quantum Field Theory**

- Coordenador: Marcelo O. C. Gomes (IFUSP)
- Participantes: A. J. da Silva (IFUSP), A. F. Ferrari (IFUSP), L. M. Abreu (IFUSP)
- Resumo: This project is dedicated to the study of some properties of noncommutative quantum field theories. The high nonlocality of these theories is at the root of their many unusual and intriguing features. The following aspects will be investigated:
 - (a) Conceptual aspects. We will study the consistency of noncommutative field theories focusing both the renormalization and the existence of infrared/ultraviolet non-integrable singularities. This part of the project somehow complements previous studies by our group. Besides, we will also study formulations where the fermionic components of the super-space satisfy non(anti)commutative relations.
 - (b) Planck scale's physics. Here we intend to investigate the implications in today's physics originated from an assumed granularity of the space-time at Planck's scale. Of particular interest are the implications of the Lorentz symmetry arising from the space-time noncommutativity. We plan also to study theories defined in spaces where the commutator between coordinates depends on these coordinates (κ -Minkowski space noncommutativity)
- Instituição executora: IFUSP
- País de realização: Brasil
- Valor aprovado: R\$ 116.600
- Fonte de financiamento: FAPESP

- **Topics in Quantum Theory of Fields, Strings and Quantum Gravity**

- Coordenador: Jorge Alfaro (PUC, Chile)
- Resumo: In this project, we want to study various problems related to the formulation and quantization of Quantum field and strings models. In particular, we want to use the BRST and Batalin-Vilkovisky method to explore the algebraic structure of Witten's String Field Theory and generate new kinds of gauge symmetries.

As a second part of the project, we will study Cosmological probes of Quantum Gravity(QG) effects using both the Canonical formulation of QG, Quantum Gravity induced Lorentz Invariance Violation in the Standard Model and String Theory. The main emphasis will be in the phenomenology related to Gamma Ray Bursts ,Ultra High Energy Cosmic Rays and Cosmology, in order to get bounds on the phenomenological parameters of the effective low energy dispersion relations derived from Quantum Gravity.

As a third part we will continue to explore a novel approach to the low energy QCD: Coupling the low energy modes (Golstone bosons of the broken chiral symmetry) to a string degrees of freedom, we are able to compute the phenomenological parameters of the Chiral Lagrangian.

Finally, we consider random matrices as a nonperturbative arena to study statistical systems on random lattices. In particular we will compute the Itzykson-Zuber integral for the symplectic group and explore its implications for Physics.

- Instituição executora: Pontifícia Universidad Católica de Chile
- País de realização: Chile
- Valor aprovado: \$ 38.001.000 pesos chilenos (US\$ 70.000)
- Fonte de financiamento: FONDECYT

- **Lorentz Invariance Violation and Quantum Field Theory**

- Coordenador: Jorge Gamboa (U. Santiago de Chile)
- Participantes: Fernando Mendez (U. Santiago de Chile)
- Resumo: The physical implications of Lorentz invariance violation in different physical systems will be considered. Neutrino oscillation,

modification of the Einstein gravity and problems associated to cosmological problems will be studied using the noncommutative field formalism.

- Instituição executora: Universidad de Santiago de Chile
- País de realização: Chile
- Valor aprovado: \$ 11.150.000 pesos chilenos (US\$ 20.000)
- Fonte de financiamento: FONDECYT

- **Geometry and Quantum Mechanics**

- Coordenador: Jorge Zanelli (CECS, Valdivia)
- Resumo: To understand the significance of geometry in quantum mechanics as well as to define a quantum mechanical theory for a geometric system.
- Instituição executora: Centro de Estudios Científicos, Valdivia
- País de realização: Chile
- Valor aprovado: \$8.000.000 pesos chilenos por ano (US\$ 16.000)
- Fonte de financiamento: CONICYT-FONDECYT

- **Canonical Quantum Gravity, Discrete Constrained Systems, Light Cone Quantization and Chern Simons Gravity Theories in Higher Dimensions**

- Coordenador: Rodolfo Gambini (Universidad de la República)
- Participantes: Pablo Mora (U. República), Michael Reisenberger (U. República)
- Resumo: When general relativity is formulated in terms of the Ash-tekhar variables one ends up working with holonomies as in the Yang Mills theories. Then, the Hilbert space of the quantum theory is singularized as the spin network space or equivalently as the loop space. The quantum theory is therefore well defined at the kinematical level and several interesting physical consequences may be derived from this approach. The main remaining problem is related with the dynamical description of the theory.

Totally constrained theories as general relativity present several problems when treated with the Dirac's procedure of quantization. Problems arise at three levels: 1) the definition of the physical Hilbert space of the theory, that requires the identification of its states and of the inner product, 2) standard general relativity must be recovered at some semi-classical limit and 3) a suitable description of the evolution of the system is required, which requires finding a satisfactory solution of the issue of time.

The consistent discretizations approach to quantum gravity attempts to solve these problems. This approach is particularly well suited for the treatment of conceptual problems as the issue of time, the existence of singularities, and the unitarity of the resulting theory. One of the advantages of the approach is that the evolution is described in terms of canonical transformations associated with a theory free of constraints. In the continuum limit the standard constraints are recovered.

A major difficulty of this approach is that the step of the discretization is dynamically fixed. That implies that one does not possess, in principle control on its evolution and therefore one cannot prove that the complete orbits of the continuum theory will be recovered in the continuum limit. In the last year we have solved this problem by identifying general discretizations valid for all totally constrained systems with first class constraints that allow us to recover the continuum orbits globally.

In this project we attempt to apply this procedure to the study of simplified versions of general relativity with infinite degrees of freedom, as the Gowdy or Kuchar Husain models, at the quantum level.

The third subject carried out by Michael Reisenberger is related with a new classical canonical formulation of general relativity on null hypersurfaces

The last subject carried out by Pablo Mora in collaboration with R. Olea, R. Troncoso and J.Zanelli is related with the study of Chern Simons theories of gravity

In particular, it deals with the introduction of boundary terms to the action with the aim of defining physical quantities for black hole solutions.

– Instituição executora: Universidad de la Republica, Montevideo

- País de realização: Uruguai
- Valor aprobado: \$U 150.000 pesos uruguayos (US\$ 5.000)
- Fuente de financiamiento: Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas

- **Investigación en Física de Altas Energías**

- Coordinador: Alvaro Restuccia (U. Simon Bolivar)
- Participantes: Isbelia Martin (U. Simon Bolivar)
- Resumen: The main objectives of the research proposal are the quantization of D=11 supermembranes, the study of the light cone gauge quantization of superstrings and division algebras, the connection between the BRST quantization and Lie algebroids including the k-symmetry case and a study of the non-abelian Dirac-Born-Infeld theory.
- Instituição executora: U. Simon Bolivar
- País de realização: Venezuela
- Valor aprobado: US\$ 8.000
- Fuente de financiamiento: Decanato de Investigacion da Universidad S. Bolivar.

- **Grupo de Teoría de Campos**

- Coordinador: Jorge Stephany (U. Simon Bolivar)
- Participantes: Cayetano Di Bartolo (U. Simon Bolivar), Abilio de Freitas (U. Simon Bolivar), Nicolas Hatcher (U. Simon Bolivar)
- Resumen: Superpartículas y geometría en el superespacio. Se estudian las propiedades del superespacio den diversas dimensiones con aplicación a la construcción de representaciones de la supersimetría que sirvan para describir la física de superpartículas y supercuerdas. Se estudian las acciones de objetos puntuales asociadas a las diferentes representaciones así como las teorías de campo asociadas fuera de la camada de masas.

Gravedad Cuántica. En esta área el Prof. Di Bartolo se ha interesado en diversos aspectos de las teorías de campos de calibre y teorías puras de Yang Mills. Ha contribuido con el desarrollo de "la representación de ciclos" de las teorías de calibre, cuya idea principal es que

cualquier teoría de calibre basada en una conexión es susceptible de ser cuantizada usando funciones de onda que dependan de ciclos. La representación de ciclos resulta de gran utilidad por su gran contenido geométrico. También ha trabajado en el desarrollo de la representación extendida de ciclos que, aunque pierde algo del contenido geométrico directo de su hermana la representación de ciclos, maneja funciones de onda que no requieren regularización. Estas líneas están estrechamente ligadas con el estudio de la gravedad cuántica Hamiltoniana que tuvo un gran impulso con la introducción de las variables de Ashtekar, en estas variables la gravedad es una teoría de calibre con una conexión de $SU(2)$. Esto significa que se puede hacer una representación de ciclos (y de ciclos extendidos de la misma). En los últimos años el Prof. Di Bartolo ha colaborado con los Profesores R. Gambini y J. Griego (Universidad de la República, Uruguay) y J. Pullin (Louisiana State University, USA) en el desarrollo de ambas representaciones y ha trabajado en la búsqueda de soluciones no degeneradas a los vínculos de la gravedad y búsqueda de invariantes de nudo (las funciones de onda de la gravedad en la representación de ciclos son invariantes de nudo). Otras líneas de investigación muy relacionadas con la anterior son el estudio de la representación de Spin networks de la gravedad y la expansión de la relatividad general canónica en serie de potencias en el inverso de la constante cosmológica donde la idea principal es estudiar observables relacionadas con el espectro del operador volumen.

Teorías Topológicas. La cuantización de Teorías de Campo en variedades curvas presenta otro aspecto muy interesante que aparece debido a la posibilidad de que el espacio base posea topología no trivial. Cuando se da esta posibilidad, las funciones de correlación de los observables físicos presentan factores adicionales que modifican las predicciones de la teoría. En algunas ocasiones estos factores se pueden escribir en forma cerrada en términos de determinantes de invariantes topológicos. La topología no trivial de la variedad modifica las relaciones de dualidad entre teorías de campos y ¿también afecta de manera similar a los modelos de cuerdas. Para modelos de teoría de campos en interacción con fuentes localizadas, las propiedades topológicas de las variedades impone restricciones sobre las trayectorias de las fuentes. En tres dimensiones (2+1) estos efectos están estrechamente ligados con la posibilidad de tener estadísticas fraccionarias las

cuales tienen verificación experimental en el Efecto Hall Cuántico y tal vez en la Superconduktividad de altas temperaturas. En trabajos recientes hemos abordado el problema de estudiar estos efectos en el marco de la integral funcional para modelos vectoriales en 2 y 3 dimensiones. Nos proponemos proseguir estos estudios en modelos más realistas en 3 y 4 dimensiones con interacciones con la intención de hacer contacto con los sistemas que aparecen en compactificación a 4 dimensiones de modelos supersimétricos de cuerdas. También nos interesa desarrollar estas técnicas para modelos puramente fermiónicos usando representaciones grassmanianas de las funciones de Green.

Estudio de efectos cuánticos en sistemas no inerciales. La formulación de una teoría cuántica de campos en sistemas no inerciales tiene como dificultad primordial la definición del vacío cuántico del sistema. Entre los postulados de la teoría cuántica de campos se encuentra que el vacío cuántico debe ser invariante ante transformaciones de Poincaré, simetría que no está presente en los referenciales acelerados. La introducción de un vector de Killing temporal como condición necesaria para identificar estados con frecuencia positiva y negativa y por consiguiente partículas y antipartículas es una propiedad que solamente es satisfecha por algunos referenciales privilegiados tales como el asociado a las coordenadas de Rindler pero no en sistemas de referencia asociados a observadores con aceleración no uniforme. Las técnicas usadas en teoría cuántica de campos en espacio curvo y en partículas en escenarios cosmológicos para definir seudopartículas y describir fenómenos asociados a la creación y aniquilación de las mismas se basan en la introducción de modos adiabáticos o en su defecto diagonalizar el hamiltoniano resultante del sistema. Aunque todas estas técnicas aparentemente son heurísticas, la idea de calcular los efectos de vacío regularizando el tensor de energía impulso mediante la substracción de los modos libres tiene su corroboración más directa en el efecto Casimir. Aunque durante los últimos años se ha hecho un gran esfuerzo en extender el estudio del efecto Casimir a topologías distintas a las placas paralelas, el problema asociado a calcular efectos de vacío en sistemas con fronteras móviles resulta hasta la presente fecha de gran complejidad en su análisis e interpretación. La idea de regularizar el tensor de energía impulso utilizando las mismas técnicas que se utilizan en cosmología de universos en expansión podría ayudar

en entender mejor la naturaleza asociada a las fronteras móviles. Un problema que puede ser estudiado en el marco de sistemas no inerciales es identificar la influencia de campos externos en el mecanismo de creación de partículas y de polarización del vacío. Es sabido que la presencia de campos eléctricos intensos puede producir pares, un problema? que ameritaría ser estudiado es cómo varia el mecanismo de creación cuando se introducen fronteras.

- Instituição executora: U. Simon Bolivar
- País de realização: Venezuela
- Valor aprovado: US\$ 30.000
- Fonte de financiamento: Fonacit Venezuela

Objetivos gerais e específicos da rede

O século XX presenciou três grandes revoluções na Física: a relatividade restrita, a mecânica quântica e a relatividade geral. A relatividade restrita trata de fenômenos envolvendo corpos que se movem com velocidades próximas à velocidade da luz. Comprimentos e intervalos de tempo deixam de ter o caráter absoluto que possuíam desde os tempos de Newton e mostram-se intrinsecamente ligados no espaço-tempo. Uma de suas principais consequências, a relação entre a massa de um corpo e seu conteúdo de energia, sintetizado na equação $E = mc^2$ é amplamente conhecida. Já a mecânica quântica descreve o movimento de objetos microscópicos, na escala sub-atômica. Os conceitos de partícula e onda, conceitos totalmente distintos na física clássica, agora passam a descrever de forma complementar o mundo atômico. As aplicações da mecânica quântica no nosso cotidiano agora são incontáveis. A mecânica quântica e a relatividade restrita devem ser aplicadas simultaneamente quando descrevemos a física de objetos que se movem rapidamente em escalas sub-atômicas. Essa descrição conjunta deu origem à teoria quântica de campos, uma teoria que descreve o comportamento dos elétrons e quarks, constituintes da toda matéria com que temos contacto, e formam a base do modelo padrão das partículas elementares. Trata-se de uma construção extremamente bem sucedida e que tem sido testada com uma precisão impressionante, jamais alcançada em outros setores da Física.

A terceira revolução, a relatividade geral, trata de compatibilizar a gravitação Newtoniana com a relatividade restrita. Na física clássica, espaço e tempo são

quantidades absolutas, como se fosse um palco no qual a física se desenrola. Eles não têm participação alguma na interação entre os objetos. A relatividade geral muda drasticamente essa visão. Agora espaço e tempo, já unificados na relatividade restrita, possuem uma dinâmica própria que deve ser levada em conta quando se estuda o comportamento dos objetos. A relatividade geral permitiu pela primeira vez a construção de teorias para o próprio Universo, a cosmologia, que hoje passa por uma época de ouro graças aos dados experimentais coletados pelos diversos satélites lançados nos últimos anos.

O passo seguinte, a construção de uma teoria quântica para a relatividade geral, a gravitação quântica, levou a resultados surpreendentes. Na década de 60, ficou claro a existência de enormes problemas para quantizar a relatividade geral. Técnicamente, a relatividade geral pertence a uma classe de teorias ditas não-renormalizáveis, isto é, teorias que não são passíveis de quantização. Portanto, dois dos grandes pilares da Física do século XX são incompatíveis entre si. Esse resultado paradoxal deu início a uma busca que dura até hoje, a construção de uma teoria de gravitação quântica consistente. Desde a década de 60 essa atividade envolve um número enorme de pesquisadores e muitos físicos famosos participaram e participam deste empreendimento. A descoberta da formulação apropriada para a gravitação quântica é sem dúvida um dos maiores desafios da Física atual.

Hoje em dia existem duas propostas para uma teoria de gravitação quântica: a gravitação quântica de laços [1] e a teoria de cordas [2]. Na gravitação quântica de laços procura-se descrever a relatividade geral da forma mais parecida possível com uma teoria quântica de campos para enfim proceder à sua quantização. Já a teoria de cordas assume que os objetos fundamentais são extensos e como consequência a quantização de tais objetos contém a relatividade geral. Ambas as teorias têm pontos positivos e negativos. A teoria de cordas necessita de um campo de fundo para sua quantização enquanto a gravitação quântica de laços é independente de um campo de fundo. A teoria de cordas produz uma teoria quântica para a gravitação no regime perturbativo enquanto a gravitação de laços não parece reduzir-se à relatividade geral num limite apropriado. A teoria de cordas é uma teoria unificada na qual outras forças além da força gravitacional estão presentes. Já a gravitação de laços é uma teoria exclusivamente gravitacional. Apesar dos avanços em ambas as direções ocorridas nos últimos anos nenhuma das duas propostas pode ser considerada completa e terminada e por isso são alvos de muita atividade. São áreas de pesquisa muito ativas e extremamente competitivas onde ferramentas matemáticas altamente sofisticadas são necessárias. Os pesquisadores participantes desta proposta de rede são especialistas nessas áreas e já efetuaram grandes contribuições em suas especialidades.

Especificamente, pretende-se estudar vários aspectos da gravitação quântica com laços e da teoria de cordas. A quantização da gravitação quântica com laços, quando são usadas as variáveis de Ashtekar, leva a rede de spins ou espaço de laços que produz várias consequências físicas ao nível cinemático [3]. Pretende-se desenvolver técnicas sofisticadas para o estudo da dinâmica dessas teorias quânticas em versões simplificadas como os modelos de Gowdy ou Kuchar Husain. Outras formas de gravitação, como aquelas construídas com termos de Chern-Simons em dimensões elevadas [4], também serão objeto de estudo detalhado.

A quantização da teoria de supercordas, utilizando-se o formalismo de espinores puros [5] também é outro tema de suma importância. Ela permitirá a quantização da supercorda na presença de campos de Ramond-Ramond e o cálculo de amplitudes de espalhamentos com vários laços. A construção de uma teoria de campos para cordas continua sendo um dos problemas mais difíceis na área. Pretendemos aplicar técnicas de BRST e o método de Batalin-Vilkovisky para explorar a estrutura algébrica da teoria de campos de cordas de Witten. Outro problema importante e que pretendemos nos dedicar é a quantização da supermembrana em 11 dimensões [6] assim como a conexão com a teoria de Born-Infeld não abeliana. A compactificação da teoria de cordas e o papel das dimensões extras na fenomenologia das partículas elementares também serão analisadas. A compactificação em orientifolds [7] e a quebra de simetria [8] merecerão atenção especial.

Uma grande descoberta da teoria de cordas é a dualidade entre teorias de cordas e teorias de gauge que permite o estudo do regime de acoplamento forte de uma das teorias em termos do regime de acoplamento fraco da outra. A dualidade seminal foi proposta por Maldacena e envolve a teoria de cordas num espaço de anti-De Sitter e uma teoria de gauge supersimétrica conforme [9]. Pretendemos investigar vários aspectos dessa dualidade, como a teoria de cordas completa no espaço de anti-De Sitter em três dimensões e não apenas o limite de baixas energias [10]. Aspectos ligados a integrabilidade de certos setores da teoria de gauge e seu correspondente na teoria de cordas também serão explorados [11]. Tais estudos também envolvem uma maior compreensão da dualidade entre p -formas e $(d - p - 2)$ -formas sem massa e p -formas e $(d - p - 1)$ -formas massivas usando o formalismo canônico e a Lagrangeana mestre.

Outro aspecto derivado da teoria de cordas e da gravitação quântica de laços e que merecerá nossa atenção é a não comutatividade do espaço-tempo. A idéia que o espaço-tempo seja não comutativo remonta aos tempos de Heisenberg [12] mas só recentemente, devidos aos avanços em teorias de cordas, é que a proposta foi revivida [13]. A construção de teorias de gravitação não comutativas deverão ser efetuadas. Os efeitos não comutativos da gravitação [14] quando comparados à

relatividade geral e, em especial na cosmologia, serão estudados detalhadamente. Em teoria quântica de campos a não comutatividade leva a uma mistura de divergências ultra-violetas e infra-vermelhas que produz diversas consequências na renormalização e na unitariedade dessas teorias, uma espécie de efeito residual da teoria de cordas que engloba efeitos da gravitação quântica [15]. Propriedades das teorias quântica de campos não comutativas serão analisadas detalhadamente, inclusive o caso supersimétrico [16]. A presença da não comutatividade também leva a uma quebra da simetria de Lorentz e estamos planejando estudar suas consequências, quer na oscilação de neutrinos, no modelo padrão e na própria teoria de cordas [17].

Bibliografia

- [1] C. Rovelli, “Quantum gravity” Cambridge Univ. Pr. (2004)
- [2] M. B. Green, J. H. Schwarz and E. Witten, “Superstring Theory” Cambridge Univ. Pr. (1998) 2 vols. J. Polchinski, “String theory” Cambridge Univ. Pr. (1998) 2 vols.
- [3] R. Gambini, R. Porto and J. Pullin, “Fundamental decoherence from quantum gravity: A pedagogical review,” arXiv:gr-qc/0603090.
- [4] J. D. Edelstein and J. Zanelli, “(Super-)Gravities of a different sort,” J. Phys. Conf. Ser. **33**, 83 (2006) [arXiv:hep-th/0605186].
- [5] N. Berkovits, “Cohomology in the pure spinor formalism for the superstring,” JHEP **0009**, 046 (2000) [arXiv:hep-th/0006003].
- [6] R. Gianvittorio, A. Restuccia and J. Stephany, “Interacting D2-branes in 10 dimensions and non abelian Born-Infeld theory,” arXiv:hep-th/0606063.
- [7] G. Aldazabal, E. Andres and J. E. Juknevich, “On SUSY standard-like models from orbifolds of $D = 6$ Gepner orientifolds,” arXiv:hep-th/0603217.
- [8] J. Alfaro, A. Broncano, M. B. Gavela, S. Rigolin and M. Salvatori, “Symmetry breaking from flux compactification,” arXiv:hep-ph/0606070.
- [9] O. Aharony, S. S. Gubser, J. M. Maldacena, H. Ooguri and Y. Oz, “Large N field theories, string theory and gravity,” Phys. Rept. **323**, 183 (2000) [arXiv:hep-th/9905111].
- [10] P. Mincses, C. Nunez and E. Herscovich, “Winding strings in AdS(3),” arXiv:hep-th/0512196.

- [11] A. Das, J. Maharana, A. Melikyan and M. Sato, “The algebra of transition matrices for the AdS(5) x S**5 superstring,” JHEP **0412**, 055 (2004) [arXiv:hep-th/0411200].
- [12] H. S. Snyder, “Quantized Space-Time,” Phys. Rev. **71**, 38 (1947).
- [13] R. J. Szabo, “Quantum field theory on noncommutative spaces,” Phys. Rept. **378**, 207 (2003) [arXiv:hep-th/0109162].
- [14] V. O. Rivelles, “Noncommutative field theories and gravity,” Phys. Lett. B **558**, 191 (2003) [arXiv:hep-th/0212262].
- [15] S. Minwalla, M. Van Raamsdonk and N. Seiberg, “Noncommutative perturbative dynamics,” JHEP **0002**, 020 (2000) [arXiv:hep-th/9912072].
- [16] H. O. Girotti, M. Gomes, V. O. Rivelles and A. J. da Silva, “A consistent noncommutative field theory: The Wess-Zumino model,” Nucl. Phys. B **587**, 299 (2000) [arXiv:hep-th/0005272].
- [17] H. Falomir, J. Gamboa, J. Lopez-Sarrion, F. Mendez and A. J. da Silva, “Vortices, infrared effects and Lorentz invariance violation,” Phys. Lett. B **632**, 740 (2006) [arXiv:hep-th/0504032]. A. F. Ferrari, H. O. Girotti and M. Gomes, “Lorentz symmetry breaking in the noncommutative Wess-Zumino model: One loop corrections,” Phys. Rev. D **73**, 047703 (2006) [arXiv:hep-th/0510108].

Justificativa para a formação da rede de projetos temáticos e relevância dos benefícios mútuos que poderão ser gerados pela cooperação internacional

Existe uma quantidade relativamente grande de pesquisadores ativos e competitivos na área de gravitação quântica na América do Sul. São cientistas que apresentam uma produção científica significativa e de alta qualidade, que estão preocupados com a formação de recursos humanos regionais e que mantêm colaboração com diversos grupos de pesquisa de altíssima qualidade no primeiro mundo. Além disso, eles procuram manter colaborações mútuas a fim de incrementar a integração regional.

Num mundo cada vez globalizado, a junção de esforços entre países vizinhos é essencial para enfrentar a competição cada vez mais acirrada com os países mais desenvolvidos. Um exemplo típico acontece na União Européia, que já há vários anos congrega seus inúmeros grupos de pesquisa em redes temáticas, propiciando melhores condições de pesquisa aos seus cientistas. Uma rede temática muito importante é *The European Superstring Network* (http://www.fy.chalmers.se/ep_mp/eu.nw/) que abriga os pesquisadores da área de supercordas, promovendo reuniões, oficinas de trabalho e oferecendo facilidades de intercâmbio entre seus membros e também para seus alunos de pós-graduação. O sucesso desse tipo de iniciativa é largamente reconhecida pelo meio acadêmico e tais tipos de rede, análogo ao do presente edital, tem sido utilizado num número cada vez maior de áreas.

Nesse sentido, o apoio para a formação de uma rede de projetos temáticos na América do Sul, envolvendo os pesquisadores da área de gravitação quântica, é essencial para o fortalecimento da área. Ela irá aumentar a integração existente, possibilitando um maior contacto entre seus membros, o que resultará numa maior produção científica regional e numa melhor qualificação dos alunos formados por esses grupos. A integração regional em todos os níveis é a chave do sucesso, como bem demonstra a experiência européia.

Metodologia e cronologia de desenvolvimento da rede

Devido à natureza da proposta apresentada, de pesquisa teórica em física fundamental, a metodologia a ser utilizada é típica desse tipo de atividade. Novas idéias serão discutidas pelos diversos participantes da rede, de início através do correio eletrônico, e quando a idéia estiver suficientemente madura, visitas mútuas serão efetuadas para dar prosseguimento e conclusão aos diversos projetos.

A rede deverá iniciar suas atividades assim que a proposta for aprovada. As colaborações em andamento deverão continuar e, com a aprovação da rede, novas colaborações serão iniciadas. Eventualmente, pequenas oficinas de trabalho deverão ser realizadas para dar mais dinamismo aos projetos em andamento.

Detalhamento, na forma de tabela, das atividades, contendo: descrição e objetivo da atividade, participantes, período (início e término), instituição e país de realização, valor por item financiável (diárias, passagens, seguro-saúde, etc.)

As atividades previstas consistem em 3 visitas de 14 dias, a cada ano, de pesquisadores brasileiros à instituições sul-americanas pertencentes à rede e 4 visitas de 15 dias, a cada ano, de pesquisadores sul-americanos à instituições brasileiras ou sul-americanas pertencentes à rede. Detalhamos, na forma de tabela, as atividades e os custos para cada ano do projeto.

Período	Descrição	Participantes	Instituições	Valor (R\$)
Ano 1	3 passagens aéreas	brasileiros	sul-americanas	4.500
Ano 1	3x14 diárias	brasileiros	sul-americanas	16.800
Ano 1	3 seguro-saúde	brasileiros	sul-americanas	450
Ano 1	4 passagens aéreas	sul-americanos	brasil./s.americ.	6.000
Ano 1	4x15 diárias	sul-americanos	brasil./s.americ.	12.000
TOTAL ANUAL				39.750

Período	Descrição	Participantes	Instituições	Valor (R\$)
Ano 2	3 passagens aéreas	brasileiros	sul-americanas	4.500
Ano 2	3x14 diárias	brasileiros	sul-americanas	16.800
Ano 2	3 seguro-saúde	brasileiros	sul-americanas	450
Ano 2	4 passagens aéreas	sul-americanos	brasil./s.americ.	6.000
Ano 2	4x15 diárias	sul-americanos	brasil./s.americ.	12.000
TOTAL ANUAL				39.750

Período	Descrição	Participantes	Instituições	Valor (R\$)
Ano 3	3 passagens aéreas	brasileiros	sul-americanas	4.500
Ano 3	3x14 diárias	brasileiros	sul-americanas	16.800
Ano 3	3 seguro-saúde	brasileiros	sul-americanas	450
Ano 3	4 passagens aéreas	sul-americanos	brasil./s.americ.	6.000
Ano 3	4x15 diárias	sul-americanos	brasil./s.americ.	12.000
TOTAL ANUAL				39.750
TOTAL GERAL				119.250

Infra-estrutura disponível e condições de apoio das instituições participantes para a formação da rede

A presente proposta trata da pesquisa teórica em física fundamental. Para tanto, não são necessários laboratórios custosos ou equipamentos sofisticados. São suficientes bibliotecas atualizadas e equipamento computacional para acesso à internet, à bancos de dados especializados e ao correio eletrônico.

Todas instituições envolvidas dispõem de salas suficientes para abrigar os convidados membros da rede, já que o intercâmbio científico é a base desta proposta. Todas instituições também possuem bibliotecas de muito boa qualidade e equipamento computacional suficiente para atender as demandas da rede proposta.

Resultados, avanços e impactos potenciais esperados com a formação da rede

Com a formação da rede esperamos que a integração entre os diversos projetos temáticos seja reforçada de forma significativa levando à um rápido crescimento da produção científica de seus membros. As visitas frequentes que os membros da rede efetuarão irão incrementar o ambiente científica dos institutos envolvidos tendo reflexo imediato na formação dos estudantes de pós-graduação orientados por membros da rede.

Composição do Comitê Gestor da rede e forma de organização e gerenciamento da mesma

O Comitê Gestor da rede será composta pelo coordenador da proposta e por um integrante de cada país participante e coordenador de projeto temático, a saber:

- Coordenador: Victor O. Rivelles (IFUSP)
- Representante da Argentina: Gerardo Aldazabal (C. A. Bariloche)
- Representante do Chile: Jorge Zanelli (CECS, Valdivia)
- Representante do Uruguai: Rodolfo Gambini (U. República)
- Representante da Venezuela: Alvaro Restuccia (U. Simon Bolivar)

Caberá ao Comitê Gestor decidir sobre aplicação dos recursos concedidos e julgar os pedidos feitos pelos membros da rede.

Existência de financiamento de outras fontes e/ou contrapartida dos países envolvidos

- Financiamento de outras fontes
 - Gerardo Aldazabal possui auxílio do CONICET para o projeto “Física de Altas Energias, Simetrias Fundamentales, Teoría de Campos y Cuerdas”.
 - Jorge Zanelli possui auxílio proveniente da Iniciativa Científica Milenio (Gobierno de Chile).
 - Jorge Alfaro possui auxílio do Fondecyt para uma colaboração internacional com o México para o projeto “Topics in Quantum Field Theory, Strings and Quantum Gravity”.
 - Nathan Berkovits e Victor O. Rivelles são membros do Pronex “Dualidades em teoria de campos, cordas e matéria condensada”.
 - Nathan Berkovits é membro do Instituto do Milênio “Avanço global e integrado de matemática brasileira”.
 - Jorge Sthepany possui auxílio do Proyecto GID-30 da U. Simon Bolívar.

- Contrapartida dos países envolvidos

Todos os países envolvidos dispõem-se a estender suas facilidades, uso de salas, bibliotecas e computadores, aos demais membros da rede. Por tratar-se de um projeto teórico, não há necessidade de contrapartida de utilização de equipamentos ou laboratórios.

Indicadores de avaliação e acompanhamento e produtos esperados

A avaliação dos resultados obtidos na área de física fundamental é medida através da repercussão que tais trabalhos geram na comunidade. Trabalhos de bom

nível são publicados em revistas internacionais de grande circulação e alto impacto e esse é um indicador bastante importante. Na área de gravitação quântica, as revistas mais renomadas são: Journal of High Energy Physics, Nuclear Physics B, Physical Review Letters, Physical Review D e Physics Letters B.

O número de citações que um trabalho recebe também é outro importante indicador. Porém há um grande inconveniente. Enquanto a revista em que o trabalho é publicado fornece um indicador imediato da qualidade do trabalho, é necessário aguardar alguns anos para se coletar o número de citações. Trata-se, portanto, de um indicador de longo prazo que deve ser utilizado no final do projeto.

Portanto, os resultados obtidos pelos integrantes da rede deverão ser publicados em revistas de qualidade e o acompanhamento dos mesmos deve ser feito através da avaliação da própria revista em que o trabalho é publicado.

Estratégia de divulgação dos resultados

Por tratar-se de trabalhos de física fundamental os resultados obtidos serão divulgados nas revistas mais prestigiadas da área, como o Journal of High Energy Physics, Nuclear Physics B, Physical Review Letters, Physical Review D e Physics Letters B, entre outros. São revistas de alto impacto e na qual os integrantes dos diversos projetos temáticos estão acostumados a publicar seus resultados, como se pode verificar através de um exame da lista de publicações.