

CARRERA DEL INVESTIGADOR CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO

Informe Científico¹

PERIODO ²: 2015-2016

1. DATOS PERSONALES

APELLIDO: ROSSIGNOLli

NOMBRES: Raúl Dante

Dirección Particular: Calle:

Localidad: La Plata CP: 1900 Tel:

*Dirección electrónica (donde desea recibir información, que no sea "Hotmail"):
rossigno@fisica.unlp.edu.ar*

2. TEMA DE INVESTIGACION

Area Física. Tema: Sistemas Cuánticos de Muchos Cuerpos - Información Cuántica **PALABRAS**

CLAVE (HASTA 3) Mecánica Cuántica - Información Cuántica
Sistemas de Muchos Cuerpos

3. DATOS RELATIVOS A INGRESO Y PROMOCIONES EN LA CARRERA

INGRESO: Categoría: Asistente Fecha: 1988

ACTUAL: Categoría: Principal desde fecha: 2016

4. INSTITUCION DONDE DESARROLLA LA TAREA

Universidad y/o Centro: Universidad Nacional de La Plata /IFLP

Facultad: Ciencias Exactas

Departamento: Física

Cátedra:

Otros:

Dirección: Calle: 49 y 115 N°:

Localidad: La Plata CP: 1900 Tel:

Cargo que ocupa: Docente-Investigador

5. DIRECTOR DE TRABAJOS (En el caso que corresponda)

Apellido y Nombres:

Dirección Particular: Calle: N°:

Localidad: CP: Tel:

Dirección electrónica:

¹ Art. 11; Inc. "e"; Ley 9688 (Carrera del Investigador Científico y Tecnológico).

² El informe deberá referenciar a años calendarios completos. Ej.: en el año 2017 deberá informar sobre la actividad del período 1°-01-2015 al 31-12-2016, para las presentaciones bianuales. Para las presentaciones anuales será el año calendario anterior.

Firma del Director (si corresponde)

Firma del Investigador

6. RESUMEN DE LA LABOR QUE DESARROLLA

Descripción para el repositorio institucional. Máximo 150 palabras.

Entrelazamiento y correlaciones en sistemas cuánticos

Se investigan las correlaciones cuánticas y sus aplicaciones en información cuántica, física de la materia condensada y física teórica. El entrelazamiento es una propiedad fundamental sin análogo clásico de las correlaciones en sistemas cuánticos, que constituye un recurso esencial en información cuántica, posibilitando nuevas formas y tecnologías para el procesamiento de la información. También brinda nuevos enfoques en diversos problemas físicos (análisis de correlaciones y transiciones de fase en materia condensada, fundamentación de la mecánica estadística y termodinámica, etc.). En este proyecto se investiga el entrelazamiento y otras medidas de cuantificación en sistemas de espines, sistemas fermiónicos y bosónicos, analizando su comportamiento magnético y térmico, su potencial para detectar y caracterizar puntos críticos cuánticos y su generación, control y dinámica. También se desarrollan nuevas medidas y métodos para su determinación, y nuevas aplicaciones en información cuántica y física fundamental.

7. EXPOSICION SINTETICA DE LA LABOR DESARROLLADA EN EL PERIODO.

Debe exponerse, en no más de una página, la orientación impuesta a los trabajos, técnicas y métodos empleados, principales resultados obtenidos y dificultades encontradas en el plano científico y material. Si corresponde, explicita la importancia de sus trabajos con relación a los intereses de la Provincia.

Se continuaron e iniciaron investigaciones sobre diversas problemáticas asociadas al entrelazamiento y las correlaciones cuánticas en sistemas de muchos cuerpos, relevantes en las áreas de Información Cuántica, Física de la Materia Condensada y Física Fundamental. Los resultados dieron lugar a 10 artículos científicos publicados y varias presentaciones en congresos, detallados en el próximo ítem.

El entrelazamiento cuántico es una propiedad fundamental de las correlaciones entre las componentes de un sistema cuántico, que no posee análogo clásico y que es objeto de intensa investigación por su importancia crucial en información cuántica y en diversas áreas de la Física actual. Los trabajos realizados abordan distintos aspectos de esta temática. En el trabajo [1] se deriva una aproximación de campo medio autoconsistente generalizada basada en celdas compuestas de tamaño arbitrario, que logra describir adecuadamente las correlaciones y el entrelazamiento en sistemas compuestos fuertemente acoplados. Se consideraron en particular sistemas de espín 1/2 dimerizados (incluyendo cadenas, "escaleras" y redes), en los que proporciona un nuevo diagrama de fase que difiere sustancialmente del predicho por campo medio convencional e incluye fases dimerizadas con pares fuertemente entrelazados. Los resultados están en acuerdo con los resultados numéricos exactos obtenidos en sistemas de escala reducida. En el trabajo [10] se extiende el estudio anterior a sistemas dimerizados de espín s general, en los que se predicen distintos tipos de fases dimerizadas asociadas a "plateaus" de magnetización y distintos grados de entrelazamiento, que están nuevamente en acuerdo con resultados exactos. El método permite también analizar y comprender el comportamiento asintótico para espín alto. Estos trabajos forman la base de una parte de la Tesis Doctoral en curso del Lic. A. Boette.

En el trabajo [2] se analizan en detalle varias medidas de correlaciones cuánticas en estados cuánticos no puros, basadas en entropías generalizadas, que extienden la discordia cuántica, introduciéndose también nuevas medidas basadas en entropías de Renyi. Este trabajo (junto con otros 6 anteriores) fue parte de la Tesis Doctoral de L. Ciliberti (ítem 13).

Los trabajos [3,7] abordan el problema de la definición de entrelazamiento y correlaciones cuánticas en sistemas fermiónicos, abriendo una nueva línea de investigación en nuestro grupo. Las definiciones usuales están basadas en sistemas de

componentes distinguibles, siendo la extensión a sistemas de partículas indistinguibles no trivial y no exenta de controversias. En el trabajo [3] se introduce una nueva definición de entrelazamiento para sistemas fermiónicos, que logra unificar los dos formalismos principales utilizados para los mismos (entrelazamiento de modo y de partícula), y que permite incluso tratar estados sin un número fijo de fermiones, los cuales surgen naturalmente en representaciones basadas en cuasipartículas. Se deriva además una expresión analítica para el entrelazamiento de estados mezcla fermiónicos en el caso fundamental de 4 niveles. El trabajo [7] extiende este formalismo a correlaciones cuánticas generales más allá del entrelazamiento en estados no puros, hasta el momento poco estudiadas en sistemas fermiónicos, introduciendo una medida fermiónica con propiedades análogas a la discordia cuántica. Estas investigaciones forman la base de la Tesis Doctoral en curso del Lic. N. Gigena.

Los trabajos [4,9] abordan también una nueva línea que es la del comportamiento magnético de sistemas de espines interactuantes en campos generales no transversos. En [4] se investiga el peculiar fenómeno de factorización (estado fundamental exactamente separable) en cadenas de espines bajo campos generales, determinándose en forma analítica los campos factorizantes no transversos en cadenas con acoplamientos XYZ ferromagnéticos y antiferromagnéticos. Se demostró también que el entrelazamiento de pares adquiere alcance infinito en la inmediata vecindad de estos campos, indicando que constituyen puntos críticos cuánticos especiales. En [9] se extienden estos resultados a sistemas con interacciones y campos generales, derivando propiedades rigurosas de los puntos de factorización. Las mismas son utilizadas para desarrollar una ingeniería de estados cuánticos separables, para ser implementada en problemas de información cuántica y en técnicas tales como quantum annealing. Estos trabajos forman la base de la Tesis Doctoral en curso del Lic. M. Cerezo.

En el trabajo [5], realizado en colaboración con S. Mandal de la Univ. de V. Bharati (India), se analiza la relación entre entrelazamiento y “squeezing” en la dinámica de estados gaussianos en modos bosónicos acoplados por momento angular, derivándose además expresiones analíticas exactas para los operadores de campo dinámicos. Y en el [8], resultado de la colaboración con un grupo de óptica cuántica experimental de la Univ. de Bs. As. iniciada en este período, se investigan las correlaciones cuánticas más allá del entrelazamiento en estados mixtos especiales de sistemas de dos fotones correlacionados en polarización, derivándose expresiones analíticas exactas para la discordia cuántica de los mismos. Se logró verificar experimentalmente los resultados y las predicciones teóricas.

Finalmente, en el trabajo [6] se considera la aplicación del concepto de entrelazamiento a un tema fundamental tal como la noción del tiempo en mecánica cuántica. Se introduce una noción puramente cuántica y discreta de tiempo basada en el entrelazamiento y una versión discreta de la denominada ecuación de Wheeler-deWitt, que genera un “superestado” cuántico que describe la historia completa de un sistema. Se muestra luego que es en principio posible simular y generar este tipo de estados mediante un circuito cuántico. Se investigan luego las relaciones de incerteza energía-tiempo emergentes en este contexto y el entrelazamiento sistema-reloj como medida del grado de evolución. Este trabajo forma también parte de la Tesis Doctoral en curso del Lic. A. Boette.

Se ha realizado además una intensa labor docente, que incluyó el dictado de cursos de grado y de posgrado y la redacción en colaboración de un libro sobre Algebra Lineal y Aplicaciones, actualmente en prensa. También se ha contribuido a la formación de recursos humanos, mediante la dirección de Becarios (Lics. L. Ciliberti, N. Gigena, A.Boette, M. Cerezo), investigadores jóvenes (Dra. L. Rebón), visitantes (Dr. S. Mandal) y alumnos avanzados. Se ha dirigido la Tesis de Doctoral de L.Ciliberti y la Tesis de Licenciatura de M. Cerezo, defendidas ambas en Marzo de 2015.

8. TRABAJOS DE INVESTIGACION REALIZADOS O PUBLICADOS EN ESTE PERIODO.

8.1 PUBLICACIONES. *Debe hacer referencia exclusivamente a aquellas publicaciones en las que haya hecho explícita mención de su calidad de Investigador de la CIC*

(Ver instructivo para la publicación de trabajos, comunicaciones, tesis, etc.). Toda publicación donde no figure dicha mención no debe ser adjuntada porque no será tomada en consideración. A cada publicación, asignarle un número e indicar el nombre de los autores en el mismo orden que figuran en ella, lugar donde fue publicada, volumen, página y año. A continuación, transcribir el resumen (abstract) tal como aparece en la publicación. La copia en papel de cada publicación se presentará por separado. Para cada publicación, el investigador deberá, además, aclarar el tipo o grado de participación que le cupo en el desarrollo del trabajo y, para aquellas en las que considere que ha hecho una contribución de importancia, deberá escribir una breve justificación. Asimismo, para cada publicación deberá indicar si se encuentra depositada en el repositorio institucional CIC-Digital.

- 1) Generalized mean-field description of entanglement in dimerized spin systems
A. Boette, R. Rossignoli, N. Canosa, J.M. Matera
PHYSICAL REVIEW B 91, 064428 (2015).

We discuss a generalized self-consistent mean-field (MF) treatment, based on the selection of an arbitrary subset of operators for representing the system density matrix, and its application to the problem of entanglement evaluation in composite quantum systems. As a specific example, we examine in detail a pair MF approach to the ground state (GS) of dimerized spin-1/2 systems with anisotropic ferromagnetic-type XY and XYZ couplings in a transverse field, including chains and arrays with first neighbor and also longer range couplings. The approach is fully analytic and able to capture the main features of the GS of these systems, in contrast with the conventional single-spin MF. Its phase diagram differs significantly from that of the latter, exhibiting (Sz) parity breaking just in a finite field window if the coupling between pairs is sufficiently weak, together with a fully dimerized phase below this window and a partially aligned phase above it. It is then shown that through symmetry restoration, the approach is able to correctly predict not only the concurrence of a pair, but also its entanglement with the rest of the chain, which shows a pronounced peak in the parity breaking window. Perturbative corrections allow to reproduce more subtle observables like the entanglement between weakly coupled spins and the low lying energy spectrum. All predictions are tested against exact results for finite systems.

- 2) Quantum Discord and Information Deficit in Spin Chains
N. Canosa, L. Ciliberti, R. Rossignoli
ENTROPY 17, 1634 (2015).

We examine the behavior of quantum correlations of spin pairs in a finite anisotropic XY spin chain immersed in a transverse magnetic field, through the analysis of the quantum discord and the conventional and quadratic one-way information deficits. We first provide a brief review of these measures, showing that the last ones can be obtained as particular cases of a generalized information deficit based on general entropic forms. All of these measures coincide with an entanglement entropy in the case of pure states, but can be non-zero in separable mixed states, vanishing just for classically correlated states. It is then shown that their behavior in the exact ground state of the chain exhibits similar features, deviating significantly from that of the pair entanglement below the critical field. In contrast with entanglement, they reach full range in this region, becoming independent of the pair separation and coupling range in the immediate vicinity of the factorizing field. It is also shown, however, that significant differences between the quantum discord and the information deficits arise in the local minimizing measurement that defines them. Both analytical and numerical results are provided.

3) Entanglement in fermion systems

N. Gigena, R. Rossignoli

PHYSICAL REVIEW A 92, 042326 (2015)

We analyze the problem of quantifying entanglement in pure and mixed states of fermionic systems with a fixed number parity yet not necessarily a fixed particle number. The mode entanglement between one single-particle level and its orthogonal complement is first considered, and an entanglement entropy for such a partition of a particular basis of the single-particle Hilbert space H is defined. The sum over all single-particle modes of this entropy is introduced as a measure of the total entanglement of the system with respect to the chosen basis and it is shown that its minimum over all bases of H is a function of the one-body density matrix. Furthermore, we show that if minimization is extended to all bases related through a Bogoliubov transformation, then the entanglement entropy is a function of the generalized one-body density matrix. These results are then used to quantify entanglement in fermion systems with four single-particle levels. For general pure states of such a system a closed expression for the fermionic concurrence is derived, which generalizes the Slater correlation measure defined by J. Schliemann et al. [Phys. Rev. A 64, 022303 (2001)], implying that particle entanglement may be seen as minimum mode entanglement. It is also shown that the entanglement entropy defined before is related to this concurrence by an expression analogous to that in the two-qubit case. For mixed states of this system the convex roof extension of the previous concurrence and entanglement entropy is evaluated analytically, extending the results in previous reference to general states.

4) Nontransverse factorizing fields and entanglement in finite spin systems

M. Cerezo, R. Rossignoli, N. Canosa

PHYSICAL REVIEW B 92, 224422 (2015)

We determine the conditions for the existence of nontransverse factorizing magnetic fields in general spin arrays with anisotropic XYZ couplings of arbitrary range. It is first shown that a uniform, maximally aligned, completely separable eigenstate can exist just for fields h_s parallel to a principal plane and forming four straight lines in the field space, with the alignment direction different from that of h_s and determined by the anisotropy. Such a state always becomes a nondegenerate ground state for sufficiently strong (yet finite) fields along these lines, in both ferromagnetic and antiferromagnetic-type systems. In antiferromagnetic chains, this field coexists with the nontransverse factorizing field h_s associated with a degenerate Néel-type separable ground state, which is shown to arise at a level crossing in a finite chain. It is also demonstrated for arbitrary spin that pairwise entanglement reaches full range in the vicinity of both h_s and h_s , vanishing at h_s but approaching small yet finite side limits at h_s , which are analytically determined. The behavior of the block entropy and entanglement spectrum in their vicinity is also analyzed.

5) Exact dynamics and squeezing in two harmonic modes coupled through angular momentum

N. Canosa, Swapan Mandal, R. Rossignoli

JOURNAL OF PHYSICS B: At. Mol. Opt. Phys. 48, 165501 (2015)

We investigate the exact dynamics of a system of two independent harmonic oscillators coupled through their angular momentum. The exact analytic solution of the equations of motion for the field operators is derived, and the conditions for dynamical stability are obtained. As for the application, we examine the emergence of squeezing and mode entanglement for an arbitrary separable coherent initial

state. It is shown that close to instability, the system develops considerable entanglement, which is accompanied with simultaneous squeezing in the coordinate of one oscillator and the momentum of the other oscillator. In contrast, for weak coupling away from instability, the generated entanglement is small, with weak alternating squeezing in the coordinate and momentum of each oscillator. Approximate expressions describing these regimes are also provided.

- 6) System-time entanglement in a discrete-time model
A. Boette, R. Rossignoli,* N. Gigena, and M. Cerezo
PHYSICAL REVIEW A 93, 062127 (2016)

We present a model of discrete quantum evolution based on quantum correlations between the evolving system and a reference quantum clock system. A quantum circuit for the model is provided, which in the case of a constant Hamiltonian is able to represent the evolution over $2n$ time steps in terms of just n time qubits and n control gates. We then introduce the concept of system-time entanglement as a measure of distinguishable quantum evolution, based on the entanglement between the system and the reference clock. This quantity vanishes for stationary states and is maximum for systems jumping onto a new orthogonal state at each time step. In the case of a constant Hamiltonian leading to a cyclic evolution it is a measure of the spread over distinct energy eigenstates and satisfies an entropic energy-time uncertainty relation. The evolution of mixed states is also examined. Analytical expressions for the basic case of a qubit clock, as well as for the continuous limit in the evolution between two states, are provided.

- 7) One-body information loss in fermion systems
N. Gigena, R. Rossignoli
PHYSICAL REVIEW A 94 042315 (2016)

We propose an entropic measure of nonclassical correlations in general mixed states of fermion systems, based on the loss of information due to the unread measurement of the occupancy of single-particle states of a given basis. When minimized over all possible single-particle bases, the measure reduces to an entanglement entropy for pure states and vanishes only for states which are diagonal in a Slater determinant basis. The approach is also suitable for states having definite number parity yet not necessarily a fixed particle number, in which case the minimization can be extended to all bases related through a Bogoliubov transformation if quasiparticle mode measurements are also considered. General stationary conditions for determining the optimizing basis are derived. For a mixture of a general pure state with the maximally mixed state, a general analytic evaluation of the present measure and optimizing basis is provided, which shows that nonentangled mixed states may nonetheless exhibit a nonzero information loss.

- 8) Conditional purity and quantum correlation measures in two qubit mixed states
L. Rebón, R. Rossignoli, J.J.M. Varga, N. Gigena, N. Canosa, C. Iemmi, S. Ledesma
JOURNAL OF PHYSICS B: At. Mol. Opt. Phys. 49, 215501 (2016)

We analyze and show experimental results of the conditional purity, the quantum discord and other related measures of quantum correlation in mixed two-qubit states constructed from a pair of photons in identical polarization states. The considered states are relevant for the description of spin pair states in interacting spin chains in a transverse magnetic field. We derive clean analytical expressions for the conditional local purity and other correlation measures obtained as a result of a remote local projective measurement, which are fully verified by the experimental results. A simple exact expression for the quantum discord of these states in terms of the maximum conditional purity is also derived.

9) Factorization in spin systems under general fields and separable ground-state engineering

M. Cerezo, R. Rossignoli, N. Canosa
PHYSICAL REVIEW A 94, 042335 (2016)

We discuss ground-state factorization schemes in spin S arrays with general quadratic couplings under general magnetic fields, not necessarily uniform or transverse. It is shown that, given arbitrary spin alignment directions at each site, nonzero XYZ couplings between any pair and fields at each site always exist such that the ensuing Hamiltonian has an exactly separable eigenstate with the spins pointing along the specified directions. Furthermore, by suitable tuning of the fields this eigenstate can always be cooled down to a nondegenerate ground state. It is also shown that in open one-dimensional systems with fixed arbitrary first-neighbor couplings at least one separable eigenstate compatible with an arbitrarily chosen spin direction at one site is always feasible if the fields at each site can be tuned. We demonstrate as well that in the vicinity of factorization, i.e., for small perturbations in the fields or couplings, pairwise entanglement reaches full range. Some noticeable examples of factorized eigenstates are unveiled. The present results open the way for separable ground-state engineering. A notation to quantify the complexity of a given type of solution according to the required control on the system couplings and fields is introduced.

10) Pair entanglement in dimerized spin- s chains

A. Boette, R. Rossignoli, N. Canosa, and J. M. Matera
PHYSICAL REVIEW B 94, 214403 (2016)

We examine the pair entanglement in the ground state of finite dimerized spin- s chains interacting through anisotropic XY couplings immersed in a transverse magnetic field by means of a self-consistent pair mean-field approximation. The approach, which makes no a priori assumptions on the pair states, predicts, for sufficiently low coupling between pairs, 2s distinct dimerized phases for increasing fields below the pair factorizing field, separated by spin-parity-breaking phases. The dimerized phases lead to approximate magnetization and pair entanglement plateaus, while the parity-breaking phases are characterized by weak pair entanglement but non-negligible entanglement of the pair with the rest of the system. These predictions are confirmed by the exact results obtained in finite $s = 1$ and $s = 3/2$ chains. It is also shown that for increasing values of the spin s , the entanglement of an isolated pair, as measured by the negativity, rapidly saturates in the anisotropic XY case but increases as $s^{1/2}$ in the XX case, reflecting a distinct single-spin entanglement spectrum.

Mi aporte ha sido fundamental en todos los trabajos

8.2 TRABAJOS EN PRENSA Y/O ACEPTADOS PARA SU PUBLICACIÓN. *Debe hacer referencia exclusivamente a aquellos trabajos en los que haya hecho explícita mención de su calidad de Investigador de la CIC (Ver instructivo para la publicación de trabajos, comunicaciones, tesis, etc.). Todo trabajo donde no figure dicha mención no debe ser adjuntado porque no será tomado en consideración. A cada trabajo, asignarle un número e indicar el nombre de los autores en el mismo orden en que figurarán en la publicación y el lugar donde será publicado. A continuación, transcribir el resumen (abstract) tal como aparecerá en la publicación. La versión completa de cada trabajo se presentará en papel, por separado, juntamente con la constancia de aceptación. En cada trabajo, el investigador deberá aclarar el tipo o grado de participación que le cupo en el desarrollo del mismo y, para aquellos en los que considere que ha hecho una contribución de importancia, deberá escribir una breve justificación.*

- 11) Quantum Discord and Entropic Measures of Quantum Correlations: Optimization and Behavior in Finite XY Spin Chains
N. Canosa, M. Cerezo, N. Gigena, R. Rossignoli,
in Lectures on General Quantum Correlations and their Applications,
F. Fanchini, D. Soares Pinto, G. Adesso, Eds., SPRINGER (2017, en prensa).

We discuss a generalization of the conditional entropy and one-way information deficit in quantum systems, based on general entropic forms. The formalism allows to consider simple entropic forms for which a closed evaluation of the associated optimization problem in qudit-qubit systems is shown to become feasible, allowing to approximate that of the quantum discord. As application, we examine quantum correlations of spin pairs in the exact ground state of finite XY spin chains in a magnetic field through the quantum discord and information deficit. While these quantities show a similar behavior, their optimizing measurements exhibit significant differences, which can be understood and predicted through the previous approximations. The remarkable behavior of these quantities in the vicinity of transverse and non-transverse factorizing fields is also discussed.

8.3 TRABAJOS ENVIADOS Y AUN NO ACEPTADOS PARA SU PUBLICACION.

Incluir un resumen de no más de 200 palabras de cada trabajo, indicando el lugar al que han sido enviados. Adjuntar copia de los manuscritos.

8.4 TRABAJOS TERMINADOS Y AUN NO ENVIADOS PARA SU PUBLICACION.

Incluir un resumen de no más de 200 palabras de cada trabajo.

8.5 COMUNICACIONES. *Incluir únicamente un listado y acompañar copia en papel de cada una. (No consignar los trabajos anotados en los subtítulos anteriores).*

8.6 INFORMES Y MEMORIAS TECNICAS. *Incluir un listado y acompañar copia en papel de cada uno o referencia de la labor y del lugar de consulta cuando corresponda. Indicar en cada caso si se encuentra depositado en el repositorio institucional CIC-Digital.*

9. TRABAJOS DE DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS.

9.1 DESARROLLOS TECNOLÓGICOS. *Describir la naturaleza de la innovación o mejora alcanzada, si se trata de una innovación a nivel regional, nacional o internacional, con qué financiamiento se ha realizado, su utilización potencial o actual por parte de empresas u otras entidades, incidencia en el mercado y niveles de facturación del respectivo producto o servicio y toda otra información conducente a demostrar la relevancia de la tecnología desarrollada.*

9.2 PATENTES O EQUIVALENTES *Indicar los datos del registro, si han sido vendidos o licenciados los derechos y todo otro dato que permita evaluar su relevancia.*

9.3 PROYECTOS POTENCIALMENTE TRANSFERIBLES, NO CONCLUIDOS Y QUE ESTAN EN DESARROLLO. *Describir objetivos perseguidos, breve reseña de la labor realizada y grado de avance. Detallar instituciones, empresas y/o organismos solicitantes.*

9.4 OTRAS ACTIVIDADES TECNOLÓGICAS CUYOS RESULTADOS NO SEAN PUBLICABLES *(desarrollo de equipamientos, montajes de laboratorios, etc.).*

9.5 Sugiera nombres (e informe las direcciones) de las personas de la actividad privada y/o pública que conocen su trabajo y que pueden opinar sobre la relevancia y el impacto económico y/o social de la/s tecnología/s desarrollada/s.

10. SERVICIOS TECNOLÓGICOS. Indicar qué tipo de servicios ha realizado, el grado de complejidad de los mismos, qué porcentaje aproximado de su tiempo le demandan y los montos de facturación.

11. PUBLICACIONES Y DESARROLLOS EN:

11.1 DOCENCIA

Algebra Lineal y Aplicaciones: Parte I, R. Rossignoli, V. Costa, C. Sorichetti, V. Vampa, EDULP (2017, en prensa).

Redacción y renovación de Guías Teórico Prácticas de Matemática C (Fac. de Ingeniería, UNLP).

11.2 DIVULGACIÓN

Participación en el Proyecto de extensión: Portal de Divulgación de la Física (Facultad de Ciencias Exactas, UNLP). Se realizaron tareas de redacción de artículos de divulgación sobre temas de Física. También se efectuaron en el marco de este proyecto actividades de divulgación de la Física en Escuelas de Enseñanza Media de La Plata. Se dictó asimismo una charla de divulgación sobre Computación Cuántica en la Facultad de Informática de la UNLP (Marzo 2015).

En cada caso indicar si se encuentran depositados en el repositorio institucional CIC-Digital.

12. DIRECCION DE BECARIOS Y/O INVESTIGADORES. Indicar nombres de los dirigidos, Instituciones de dependencia, temas de investigación y períodos.

Director de la Beca de Posgrado Tipo II (CONICET) del Lic. Leonardo Ciliberti (Abril 2013 a Marzo 2015). La Tesis Doctoral fue defendida en Marzo 2015 (ítem 13.)

Director de la Beca Doctoral (CONICET) del Lic. N. Gigena (Abril 2013-Marzo 2018).

Director de la Beca Doctoral (CONICET) del Lic. A. Boette (Abril 2014-Marzo 2019).

Director de la Beca Doctoral (CONICET) del Lic. M. Cerezo (Abril 2015-Marzo 2020).

Director de la Investigadora Asistente (CONICET) Dra. L. Rebón (desde Mayo 2013).

Director de la Beca CIN del alumno Marco Cerezo (hasta Marzo 2015).

Director de la Beca CIN del alumno N. Diaz (a partir de 2017).

Director de la Beca Posdoctoral (CONICET) del Dr. Javier Garcia (a partir de 2017).

Director de la Beca UNESCO-TWAS/CONICET (para Profs. visitantes) de S. Mandal, de la Univ. Visva Bharati, W. Bengal, India (2015).

13. DIRECCION DE TESIS. Indicar nombres de los dirigidos y temas desarrollados y aclarar si las tesis son de maestría o de doctorado y si están en ejecución o han sido defendidas; en este último caso citar fecha.

Director de la Tesis Doctoral de Leonardo Ciliberti

Defendida en Marzo 2015, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP

Título: Medidas Entrópicas Generalizadas de Correlaciones Cuánticas

Calificación: 10.

Director de la Tesis de Licenciatura (Trabajo de Diploma) de Marco Cerezo.

Defendida en Marzo 2015, Dto.de Física, Fac.de Ciencias Exactas UNLP

Título: Correlaciones Cuánticas y Campos Factorizantes en Sistemas de Espines

Calificación: 10

Director del Doctorado del Lic. Nicolas Gigena (en curso), Fac. de Cs.Exactas, UNLP

Director del Doctorado del Lic. Alan Boette (en curso), Fac. de Cs. Exactas, UNLP

Director del Doctorado del Lic. Marcos Cerezo (en curso),Fac. de Cs. Exactas, UNLP

14. PARTICIPACION EN REUNIONES CIENTIFICAS. *Indicar la denominación, lugar y fecha de realización, tipo de participación que le cupo, títulos de los trabajos o comunicaciones presentadas y autores de los mismos.*

1) 100ª Reunión Nacional de Física, Va. de Merlo, San Luis, Septiembre 2015

Trabajos presentados:

1. Campos factorizantes generales y entrelazamiento en sistemas de espines
R. Rossignoli, M. Cerezo, N. Canosa (pres. oral)
2. Correlaciones cuánticas en sistemas dimerizados
R. Rossignoli, A. Boette, N. Canosa, M. Matera
3. Optimización de entropía condicional generalizada en sistemas qubit-qudit
N. Gigena, R. Rossignoli
4. Entropía condicional y medidas de correlaciones cuánticas en estados mixtos de dos fotones
L. Rebón, JM. Varga, N. Gigena, N. Canosa, R. Rossignoli, C. Lemmi, S. Ledesma
5. Dinámica de entrelazamiento y squeezing en dos modos armónicos acoplados por momento angular
N. Canosa, S. Mandal, R. Rossignoli
6. Campos factorizantes no transversos y entrelazamiento en sistemas finitos de espines
M. Cerezo, R. Rossignoli N. Canosa
Esta presentación recibió la 1º mención del premio Másperi (posters basados en Tesis de Lic.)

2) V Quantum Information School and Workshop, Paraty, Brasil, Agosto 2015

Trabajos presentados:

1. Generalized conditional entropy optimization for qudit-qubit states
N. Gigena, R. Rossignoli
2. Non-transverse factorizing fields and entanglement in finite spin systems
M. Cerezo, N. Canosa, R. Rossignoli
3. Generalized conditional entropy in quantum systems
R. Rossignoli, N. Gigena
4. Evolution and control of entanglement between two harmonic modes
N. Canosa, L. Rebón, R. Rossignoli

3) 101ª Reunión Nacional de Física, San Miguel de Tucumán, Octubre 2016

Trabajos presentados:

1. Entrelazamiento en sistemas fermiónicos
N. Gigena, R. Rossignoli (pres. oral)
2. Entrelazamiento sistema-tiempo en un modelo discreto de evolución cuántica
A. Boette, R. Rossignoli, N. Gigena, M. Cerezo (pres. oral)
3. Entrelazamiento en sistemas dimerizados de espines
R. Rossignoli, A. Boette, N. Canosa, M. Matera
4. Factorización en sistemas de espines con campos e interacciones generales
M. Cerezo, R. Rossignoli N. Canosa
5. Pureza condicional y medidas de correlaciones cuánticas en estados mixtos de dos qubits
L. Rebón, JM. Varga, N. Gigena, N. Canosa, R. Rossignoli, C. Lemmi, S. Ledesma

4) VI Jornadas de Fundamentos de Mecánica Cuántica, La Plata, Diciembre 2016
Trabajos presentados (pres. orales):

1. Generalized Quantum Conditional Entropy
R. Rossignoli, N. Gigena
2. Entanglement in fermion systems
N. Gigena, R. Rossignoli
3. Factorization in spin systems and separable ground state engineering
M. Cerezo, N. Canosa, R. Rossignoli

- 15. CURSOS DE PERFECCIONAMIENTO, VIAJES DE ESTUDIO, ETC.** *Señalar características del curso o motivo del viaje, período, instituciones visitadas, etc.*
Asistencia al International Quantum Information Workshop, Paraty, Brasil, Agosto 2013.
- 16. SUBSIDIOS RECIBIDOS EN EL PERIODO.** *Indicar institución otorgante, fines de los mismos y montos recibidos.*
Subsidio Institucional CIC para Investigadores (2015, 2016).
UNLP: Subsidio para proyecto de investigación acreditado X725 (2015, 2016).
- 17. OTRAS FUENTES DE FINANCIAMIENTO.** *Describir la naturaleza de los contratos con empresas y/o organismos públicos.*
- 18. DISTINCIONES O PREMIOS OBTENIDOS EN EL PERIODO.**
- 19. ACTUACION EN ORGANISMOS DE PLANEAMIENTO, PROMOCION O EJECUCION CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA.** *Indicar las principales gestiones realizadas durante el período y porcentaje aproximado de su tiempo que ha utilizado.*
Miembro Titular del Consejo del Departamento de Física, Fac. de Ciencias Exactas, UNLP (desde Sept. 2016)
Miembro del Consejo Directivo del IFLP (Instituto de Física de La Plata, CONICET), hasta Mayo 2015.
Par-evaluador del CONICET. Se realizaron evaluaciones de proyectos, ingresos y promociones de carrera.
Evaluador Externo de Proyectos de Investigación de la Agencia Nacional de Investigación de México (2015).
- 20. TAREAS DOCENTES DESARROLLADAS EN EL PERIODO.** *Indicar el porcentaje aproximado de su tiempo que le han demandado.*
Profesor Titular Ordinario del Depto. de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP. Asignaturas: Matemática C, Curso de Posgrado (Alg. Lineal).
Profesor Titular, Depto. de Física, Facultad de Cs. Exactas, UNLP
Se dictaron en este Departamento las asignaturas (semestrales): Matemáticas Especiales II (2015), Física General II (2016), y Mecánica Cuántica para Maestría (2015-2016). Se colab. en el Seminario de Mecánica Cuántica. La actividad docente se realizó dentro de los límites de tiempo reglamentarios.
- 21. OTROS ELEMENTOS DE JUICIO NO CONTEMPLADOS EN LOS TITULOS ANTERIORES.** *Bajo este punto se indicará todo lo que se considere de interés para la evaluación de la tarea cumplida en el período.*
Se han realizado referatos para las revistas Physical Review A, Physical Review C, Physical Review Letters, Physica A, Annals of Physics, Int. Journal of Quantum Information, Physics Letters A, EuroPhys. Lett., Quantum Information Processing, J. of Math. Phys., Int. Journal of Mod. Physics, Journal of Physics A-B.
Miembro Titular del Jurado de la Tesis Doctorales de N. Freitas (Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, defendida en Marzo 2017), G. Bellomo (Fac. de Ciencias Exactas, UNLP; defendida en Marzo 2017) y J. Garcia, (Fac. de Ciencias Exactas, UNLP; defendida en Marzo 2017).
Jurado titular de los siguientes concursos docentes ordinarios:
Profesor Asociado, Dto. de Física, FAMAF, Univ. Nac. de Córdoba (Mayo 2016).
Profesor Titular (Mat. D), Dto. de Cs. Básicas, Fac. de Ingeniería, UNLP (Dic. 2015).

Profesor Titular (Fís. III), Dto. de Cs. Básicas, Fac. de Ingeniería, UNLP (Oct. 2015)
Profesor Adjunto (Mat. C), Dto. de Cs. Básicas, Fac. de Ingeniería, UNLP (Jun. 2015)
JTP (Mat C), Dto. de Cs. Básicas, Fac. de Ingeniería, UNLP (Julio 2015).
Miembro de Jurados de Trabajos de Diploma (Tesis de Licenciatura) en el Depto. de Física de la Facultad de Ciencias Exactas, UNLP (R. Baravalle (2015), B. de la Haye (2016), S. Lawrie).

22. TITULO, PLAN DE TRABAJO A REALIZAR EN EL PROXIMO PERIODO. *Desarrollar en no más de 3 páginas. Si corresponde, explicita la importancia de sus trabajos con relación a los intereses de la Provincia.*

Entrelazamiento y Correlaciones Cuánticas

Se continuará con la línea actual de investigación. Los principales objetivos comprenden:

I) Comportamiento magnético de sistemas de espines. Se investigará el efecto de campos magnéticos generales sobre el entrelazamiento y las correlaciones cuánticas en sistemas de espines interactuantes. Gran parte de las investigaciones llevadas a cabo en los últimos años en sistemas de espines con interacciones de Heisenberg anisotrópicas tipo XY o XYZ se focalizaron en el comportamiento de los mismos en presencia de campos magnéticos transversos, y en general uniformes. En el último período hemos comenzado con la investigación del comportamiento del estado fundamental de estos sistemas bajo campos con orientación arbitraria y no necesariamente uniformes (trabajos [4,9] del ítem VIII), con el objeto de obtener un diagrama de fases completo y general y determinar el comportamiento (y el consiguiente control) del entrelazamiento y las correlaciones cuánticas en estas condiciones. En este período se profundizarán estas investigaciones, considerando tanto el estado fundamental como el sistema a temperatura finita. Se examinará en primer lugar el comportamiento bajo campos generales de sistemas con acoplamientos tipo XXZ, que despiertan un gran interés tanto en información cuántica como en materia condensada por sus propiedades especiales y de simetría. Se espera poder encontrar nuevos puntos críticos cuánticos y de separabilidad en presencia de campos no uniformes y/o no transversos, y determinar las propiedades especiales del entrelazamiento en su vecindad. Se examinarán distintas geometrías (cadenas redes, etc.) y valores del espín. Se contempla luego extender estos estudios a otras interacciones y a sistemas dimerizados, que hasta el momento fueron examinados principalmente bajo campos transversos uniformes (por ej. trabajos [1] y [10]). También se investigará en detalle el comportamiento de otras medidas de cuantificación y correlaciones cuánticas tales como la coherencia cuántica y la discordia cuántica, esta última sólo estudiada hasta el momento bajo campos transversos. Se examinarán luego las implicancias de estos resultados en información cuántica y en materia condensada. En esta temática se desarrolla una Tesis Doctoral y se contempla incorporar también estudiantes avanzados para realizar Tesis de Licenciatura.

II) Desarrollo de métodos aproximados para la evaluación de correlaciones cuánticas en sistemas de muchos cuerpos. Se prevé extender en este período la aproximación autoconsistente generalizada desarrollada en los trabajos [1] y [10] para sistemas de espines, basada en unidades no triviales (tales como pares o clusters de espines). La misma ha sido capaz de predecir diagramas de fase correctos y esencialmente distintos a los de campo medio convencional en fases altamente correlacionadas, siendo asimismo apta para describir y predecir correctamente ciertos tipos de entrelazamiento. Se examinará su aplicación a sistemas y configuraciones más complejas (campos magnéticos no transversos y no uniformes, interacciones y geometrías más generales, etc) y su aptitud para la predicción de otros tipos de entrelazamiento y otros cuantificadores de correlaciones cuánticas. Se analizarán también sus propiedades fundamentales y su relación con técnicas de bosonización efectivas y métodos tipo RPA. En esta temática se desarrolla también una Tesis Doctoral.

III) Investigación del entrelazamiento y las correlaciones cuánticas en sistemas de componentes indistinguibles. Se prevé continuar, en primer lugar, con el desarrollo de medidas de entrelazamiento y discordia para sistemas fermiónicos, extendiendo los resultados de los trabajos [3,7] del presente informe. El primer objetivo de esta línea, iniciada en el período precedente, es lograr una extensión consistente de medidas definidas para sistemas de componentes distinguibles a sistemas fermiónicos, teniendo en cuenta en forma rigurosa las simetrías especiales de estos sistemas. Se prevé investigar en detalle la conexión entre el entrelazamiento fermiónico y bipartito, y a partir de allí analizar la implementación de protocolos de información cuántica en estos sistemas. El siguiente objetivo es utilizar estas extensiones para caracterizar el entrelazamiento y la discordia de sistemas fermiónicos fuertemente correlacionados tales como superconductores finitos, y examinar su potencial en información cuántica. Asimismo, se contempla extender estos formalismos a sistemas bosónicos, con el objetivo final de lograr un formalismo unificado. En esta temática se desarrolla una Tesis Doctoral, actualmente en su fase final, y se espera incorporar un estudiante para Tesis de Licenciatura o Doctorado.

IVI) Investigación de medidas entrópicas generalizadas de correlaciones cuánticas y su detección en sistemas fotónicos. Se prevé continuar con la investigación de medidas de correlaciones cuánticas y cuantificación en estados cuánticos no puros (trabajos [2 y 7]), las cuales están basadas en consideraciones entrópicas. El objetivo es lograr una extensión consistente de medidas tales como la discordia cuántica y las nuevas teorías de recursos cuánticos basadas en la coherencia cuántica, a formas entrópicas generales. Esta extensión permitiría en particular el uso de ciertas formas entrópicas, que se espera puedan posibilitar evaluaciones analíticas en ciertos sistemas de interés. Se prevé en este contexto examinar la discordia y coherencia de sistemas de espín 1 o superior, que corresponden a qutrits o qudits en información cuántica. La discordia y otras medidas análogas han sido hasta el momento muy poco estudiadas en estos sistemas debido a la complejidad de su evaluación, que requiere la optimización de una medida local. Este tipo de correlaciones son no obstante relevantes en diversos protocolos cuánticos, estando relacionadas con la posibilidad de controlar estadísticas condicionales remotas en un sistema cuántico mediante medidas locales, siendo además más robustas frente a decoherencia que el entrelazamiento. Se prevé en este punto continuar la colaboración con un grupo experimental de óptica cuántica iniciada en este período, que dio lugar al trabajo [8] en el que se logra medir experimentalmente la discordia cuántica en estados correlacionados no puros especiales de dos fotones. Se contempla extender estas medidas a estados de mayor complejidad y analizar sus aplicaciones. También se continuarán, en colaboración con S. Mandal (India) las investigaciones sobre la dinámica de las correlaciones de modos en estados gaussianos de sistemas fotónicos y bosónicos y su relación con el fenómeno de "squeezing" en alguna de las variables (trabajo [5]),

V) Finalmente, se prevé abrir nuevas líneas específicas de investigación relacionados con tópicos que han cobrado recientemente gran importancia. En primer lugar, la aplicación de los conceptos del entrelazamiento al problema del origen del tiempo en Mecánica Cuántica ha cobrado gran interés, esperándose profundizar las investigaciones iniciadas en este período en el trabajo [6]. Se prevé examinar el potencial del formalismo introducido para la simulación eficiente de evoluciones cuánticas, y por otro lado se investigarán extensiones relativistas del mismo.

Asimismo, se contempla iniciar investigaciones de Hamiltonianos no hermíticos PT simétricos en Mecánica Cuántica, tema que ha despertado en los últimos años un gran interés por su utilidad para determinar e interpretar el espectro de varios Hamiltonianos efectivos empleados en diferentes áreas de la Física. La utilización de este formalismo en el campo de la información cuántica es no obstante apenas incipiente y hasta el momento limitada a sistemas muy simples. En este plan se propone investigar, en colaboración con un Becario posdoctoral recientemente incorporado a nuestro grupo, las correlaciones cuánticas en el marco de esta teoría, considerando en particular

osciladores cuánticos PT-simétricos acoplados y estudiando el espectro, las inestabilidades y el entrelazamiento en este nuevo contexto.

Estas líneas se enmarcan en la temática del proyecto de investigación acreditado X725 que dirijo en la UNLP. Se prevé dirigir trabajos de Diploma y Tesis Doctorales basados en los mismos. Se contempla también continuar con el dictado de cursos de posgrado relacionados con esta temática en la UNLP. Las investigaciones experimentales y teóricas relacionadas con la información cuántica constituyen hoy una prioridad en muchos países, por lo que considero que el tema es también de interés para la Provincia de Buenos Aires.

Condiciones de la presentación:

- A. El Informe Científico deberá presentarse dentro de una carpeta, con la documentación abrochada y en cuyo rótulo figure el Apellido y Nombre del Investigador, la que deberá incluir:
- Una copia en papel A-4 (puntos 1 al 22).
 - Las copias de publicaciones y toda otra documentación respaldatoria, en otra carpeta o caja, en cuyo rótulo se consignará el apellido y nombres del investigador y la leyenda "Informe Científico Período".
 - Informe del Director de tareas (en los casos que corresponda), en sobre cerrado.
- B. Envío por correo electrónico:
- Se deberá remitir por correo electrónico a la siguiente dirección: ininvest@cic.gba.gob.ar (puntos 1 al 22), en formato .doc zipeado, configurado para papel A-4 y libre de virus.
 - En el mismo correo electrónico referido en el punto a), se deberá incluir como un segundo documento un currículum resumido (no más de dos páginas A4), consignando apellido y nombres, disciplina de investigación, trabajos publicados en el período informado (con las direcciones de Internet de las respectivas revistas) y un resumen del proyecto de investigación en no más de 250 palabras, incluyendo palabras clave.
- C. Sistema SIBIPA:
- Se deberá peticionar el informe en la modalidad on line, desde el sitio web de la CIC, sistema SIBIPA (ver instructivo).

Nota: El Investigador que desee ser considerado a los fines de una promoción, deberá solicitarlo en el formulario correspondiente, en los períodos que se establezcan en los cronogramas anuales.