



Libro de resúmenes de la reunión anual

## DICu-DFAM-TaDEM

Auditorio Alejandra Jáidar, Instituto de Física, UNAM

### Organizadores:

**Santiago Caballero Benítez**, *Instituto de Física, UNAM*

**Remigio Cabrera-Trujillo**, *Instituto de Ciencias Físicas, UNAM*

**Karina Garay Palmett**, *Departamento de Óptica, CICESE*

**José Luis Hernández Pozos**, *Departamento de Física, UAM-I*

**Roberto León Montiel**, *Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM*

**Ricardo Méndez Fragoso**, *Facultad de Ciencias, UNAM*

**Laura Rosales Zarate**, *CIO, GTO*

**Daniel Sahagún Sánchez**, *Instituto de Física, UNAM*



# Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

## Prefacio

En esta ocasión, la División de Información Cuántica (DICu), la División de Física Atómica y Molecular (DFAM), ambas de la Sociedad Mexicana de Física (SMF), y el Taller de Dinámica y Estructura de la Materia (TaDEM) consolidan, mediante esta reunión conjunta, un nicho importante donde la comunidad científica de México que trabaja en el área que involucra átomos, moléculas, fotones e información cuántica converge, con el fin de compartir, en un ambiente amigable y creativo, sus actividades científicas, inquietudes y visión del futuro.

El estudio de sistemas cuánticos, en particular, el de átomos, moléculas, fotones e información cuántica, es un campo muy dinámico y de gran importancia en la física actual. Esto se debe a que el conocimiento a nivel fundamental de estos sistemas es una base importante para entender las propiedades de la materia tanto a nivel mesoscópico (agregados moleculares, nano estructuras) como macroscópico (cristales, líquidos, fases amorfas, o computación cuántica, por ejemplo). Además de esta gran relevancia a nivel fundamental, una parte importante de los avances más recientes en tecnología médica, telecomunicaciones, ciencia de materiales y biotecnología, se fundamenta en una buena medida en el entendimiento de las propiedades, estructura y dinámica de estos sistemas. En el proceso de realizar estos estudios se han desarrollado innumerables técnicas que impactan de manera directa a la ciencia y tecnología actuales. Su estudios, desde el punto de vista fundamental, ha alcanzado un nivel muy sofisticado tanto en el aspecto teórico como el experimental. Los desarrollos de fuentes de luz de ultra-alta rapidez, gran intensidad y coherencia, combinados con la creciente velocidad y capacidad de cómputo disponible han permitido un desarrollo vertiginoso en los campos de la óptica e información cuántica, de la interacción de átomos y moléculas con luz, del desarrollo de estándares atómicos de muy alta precisión, así como la disponibilidad de cálculos muy refinados de propiedades atómicas y moleculares.

El área de información cuántica, la cual comprende el estudio de los procesos de codificación, transmisión, almacenamiento y decodificación de la información en sistemas cuánticos de materia y luz y sus interacciones, globalmente se encuentra en auge debido a su impacto en el desarrollo de tecnología revolucionaria que no tiene contraparte clásica. En México desde hace varios años se viene haciendo investigación básica y aplicada en esta área, derivando en propuestas tecnológicas concretas con potencial de implementarse con infraestructura nacional.

En gran medida, la consolidación del área de información cuántica en el país se le debe a la Dra. Rocío Jáuregui Renaud, por lo cual en este evento se le otorga un merecido reconocimiento por su labor pionera y sostenida para el desarrollo de la información cuántica teórica y experimental en México, así como por la fundación del Laboratorio Nacional de Materia Cuántica: Materia Ultrafría e Información Cuántica.

La reunión también rendirá un homenaje póstumo al maestro, colega, y amigo, el Dr. Eugenio Ley-Koo. Para esto, hemos organizado una mesa redonda donde los Drs. Karen Volke, Rocío Jáuregui, José I. Jiménez, Salvador A. Cruz y Ricardo Mendez-Fragoso comparten memorias de su interacción con el Dr. Ley-Koo y además contaremos con la presencia de su esposa.

Ciudad de México, a 10 de junio de 2024

El comité organizador

# Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

## Programa

Auditorio Alejandra Jáidar, Instituto de Física, UNAM

	<b>Lunes 10</b>	<b>Martes 11</b>	<b>Miércoles 12</b>	<b>Jueves 13</b>	<b>Viernes 14</b>
08:00 - 08:30	Registro	Registro	Registro	Registro	Registro
08:30 - 09:00	Inauguración	Invitada 3	Plenaria DICU	Invitada 7	Invitada 10
09:00 - 09:30	Homenaje	Invitada 4		Invitada 8	Contribuida 34
09:30 - 10:00		Contribuida 12	Contribuida 20	Contribuida 28	Contribuida 35
10:00 - 10:20	Contribuida 1	Contribuida 13	Contribuida 21	Contribuida 29	Contribuida 36
10:20 - 11:00	Coffee break				
11:00 - 11:30	Invitada 1	Invitada 5	Invitada 6	Excursión	Invitada 11
11:30 - 11:50	Contribuida 2	Contribuida 14	Contribuida 22		Contribuida 37
11:50 - 12:10	Contribuida 3	Contribuida 15	Contribuida 23		Contribuida 38
12:10 - 12:30	Contribuida 4	Contribuida 16	Contribuida 24		Contribuida 39
12:30 - 13:00	Coffee break				Contribuida 40
13:00 - 13:20	Contribuida 5	Contribuida 17	Contribuida 25		CLAUSURA
13:20 - 13:40	Contribuida 6	Contribuida 18	Contribuida 26		
13:40 - 14:00	Contribuida 7	Contribuida 19	Contribuida 27		
14:00 - 14:30	Libre (Comida)				
14:30 - 15:00					
15:00 - 15:30					
15:30 - 16:00					
16:00 - 16:30	Invitada 2	Posters (16-18)	Posters (16-18)	Invitada 9	Contribuida 30
16:30 - 16:50	Contribuida 8			Contribuida 31	
16:50 - 17:10	Contribuida 9	Asamblea DICU (17:00-18:00)	Asamblea DFAM (17:00-18:00)	Contribuida 32	Contribuida 33
17:10 - 17:30	Contribuida 10			Contribuida 34	
17:30 - 17:50	Contribuida 11			Contribuida 35	

Moderadores de sesiones:

Daniel Sahagún: Inauguración	Mario Alan Quiróz: Jueves 8:30-10:30
Remigio Cabrera Trujillo: Lunes 11:00-14:00	Santiago Caballero: Jueves 16:00-18:00
Laura Rosales Zárate: Lunes 16:00-18:00	Jorge Seman: Viernes 8:30-10:20
Roberto León Montiel: Martes 8:30-10:30	Daniel Sahagún: Viernes 11:00-13:00
Ricardo Méndez Fragoso: Martes 11:00-14:00	José Luis Hernández: Viernes 13:00-13:40
Karina Garay Palmett: Miércoles 8:30-10:30	
José I. Jiménez Mier: Miércoles 11:00-14:00	

Hotel Sede: Radisson Perisur

Código de reservación: REUNIÓN DICU/DFAM UNAM

Reglamento excursión: <https://www.dicu.com.mx/dicu-dfam-2024/excursion>

# Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

## Contenido

**Plenaria:** Dinámica rotacional inducida por colisiones binarias de baja energía de gotas cuánticas .....9

### Pláticas Invitadas:

I1 Experimentos de fluorescencia en rubidio atómico para estudiar el efecto Zeeman y para resolver la estructura hiperfina de estados de Rydberg.....	10
I2 Absorción perfecta y sintonizable de la radiación de microondas: un enfoque no hermitiano.....	11
I3 Ondas de Faraday en superfluidos de Fermi.....	12
I4 Multiphoton Quantum Imaging.....	13
I5 Quantum optics with ferromagnetic cavities.....	14
I6 Bloqueo de Fotones y su Rompimiento en el Limite de Pocos Cuerpos.....	15
I7 Triones-polaritones en el Acoplamiento Ultra-Fuerte.....	16
I8 Intercavity polariton slows down dynamics in strongly coupled cavities.....	17
I9 Tuning the probability detection of orbital-angular-momentum-entangled photons in helical Ince-Gauss modes.....	18
I10 Luz estructurada y control óptico de materia.....	19
I11 Computación cuántica apoyará el desarrollo de IA.....	20

### Pláticas Contribuidas:

C1 A Quantum Contrastive Loss Algorithm for Image Encoding into Quantum States	21
C2 Espectro rovibracional de los Haluros de hidrógeno HBr y HI.....	22
C3 Mediciones de grano grueso.....	23
C4 Collective coupling of driven multilevel atoms and its effect on four-wave mixing.	24
C5 Autoorganización y Transición de Fase Estructural de Átomos Ultrafríos en Redes Ópticas y Cavidades.....	25
C6 Modelado, simulación y optimización de sistemas de distribución de claves cuánticas.....	26
C7 Compuertas cuánticas de modos temporales basadas en procesos no lineales .	28
C8 Cauchy-Riemann beams.....	29
C9 Inversión de un mapa de grano grueso.....	30
C10 Efectos de ordenamiento temporal en procesos no lineales de tercer orden implementados en guías de onda integradas .....	31
C11 Multi-plexación espectral de parejas de fotones, mediante modulación electro-óptica, aplicada a la Tomografía de Coherencia Óptica Cuántica.....	33
C12 Respuesta espectral del modelo de Jaynes-Cummings deformado.....	35
C13 Ordenamiento magnético efectivo de condensados de Bose-Einstein en cavidades ópticas de alta reflectancia.....	36

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

C14 Efecto Zeeman en las transiciones $52S_{1/2} N_j$ $52P_{3/2}$ y $52S_{1/2} N_j$ $62P_{3/2}$ de rubidio atómico como magnetómetro.....	37
C15 Polaritones excitónicos y sus condensados en microcavidades híbridas.....	38
C16 Existencia de estados ligados en condensados de Bose-Einstein atractivos con potenciales de pozo cuadrado y pozo parabólico.....	39
C17 Amplificación paramétrica en resonancia y fuera de resonancia para la generación de estados comprimidos de luz en medios no lineales de tercer orden.....	40
C18 Medición de la estructura hiperfina en estados de Rydberg $nS$ por selección de velocidades en los isótopos 85 y 87 de rubidio y aplicaciones a la detección de terahertz.....	42
C19 El modelo del electrón libre aplicado a colisiones de $O^- + N_2$ .....	44
C20 Espectroscopia por absorción de parejas de fotones entrelazados asistida por inteligencia artificial.....	45
C21 Atrapamiento y fragmentación en la dinámica de un solitón brillante a través de impurezas en un chip atómico.....	46
C22 Simulación de caminatas aleatorias multifotónicas en redes de divisores.....	47
C23 Exploring entanglement dynamics in an optomechanical cavity with a type-V qutrit and quantized two-mode field.....	48
C24 Simetrías aproximadas de moléculas de Rydberg de largo alcance, incluidos los efectos de espín.....	49
C25 Vectorización de la matriz de densidad y simulación cuántica de la ecuación de von Neumann.....	50
C26 Evolución temporal de un sistema optomecánico cuántico forzado en el régimen de acoplamiento fuerte. ....	51
C27 Absorción de dos fotones y estructura geométrica y electrónica de la molécula HITC y otras cianinas.....	52
C28 Cambios drásticos en las mediciones de un gravímetro atómico por aberraciones de una apertura.....	53
C29 Una nueva medida entrópica de direccionamiento de EPR y su relación con criterios existentes.....	54
C30 Caracterización espectral de parejas de fotones mediante interferometría cuántica.....	56
C31 Espectros dependientes del tiempo de un átomo con interferencia de dos transiciones.....	58
C32 Estructuras de densidad en condensados de Bose-Einstein moleculares .....	59
C33 Principio de incertidumbre de Heisenberg para el átomo de hidrógeno confinado por una cavidad esférica impenetrable. ....	60

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

C34	Convergencia Asintótica en la Estimación Adaptativa de Fase con Medidas Gaussianas y Estados Comprimidos de Luz.....	61
C35	Radiación de vacío versus atajos a la adiabaticidad.....	63
C36	Señales de resonancias KAM en sistemas cuánticos de muchos cuerpos.....	64
C37	Cicatrización y termalización en sistemas cuánticos de muchos cuerpos.....	65
C38	Estudio teórico y experimental de fenómenos no lineales que involucran procesos ultrarrápidos en heptametincianinas.....	66
C39	Redes de vórtices de Abrikosov: Flujo de calor estructurado y retículas de Casimir.....	67
C40	Caos y termalización en sistemas cuánticos.....	68

### Posters:

P1	Modelo generalizado de Jaynes-Cummings para una molécula en una cavidad. .	69
P2	Dinámica de estados de luz no clásica en guías de onda unidimensionales acopladas.....	70
P3	Estado base para gases espinoriales en el régimen de degeneración.....	71
P4	El código tórico con sistemas atómicos.....	72
P5	Time-dependent quantum thermal rectification.....	73
P6	Funciones de corte del átomo de hidrógeno confinado por una cavidad esférica impenetrable.....	75
P7	Niveles de energía, funciones de onda y propiedades dipolares de un átomo de Hidrógeno y Helio embebidos en un plasma diluido.....	76
P8	Teoría de Floquet aplicado al átomo de tres niveles.....	77
P9	Estudios de Coherencia Temporal en Pares de Fotones Generados Mediante Mezclado de Cuatro Ondas en Átomos Fríos.....	78
P10	Correlaciones de polarización en pares de fotones generados mediante mezclado de cuatro ondas en átomos fríos .....	79
P11	Quantum Generative Adversarial Networks for Particle Identification in Proton Collisions.....	80
P12	Generación de estados entrelazados en frecuencia y camino óptico con dispositivos fotónicos integrados basados en acopladores direccionales.....	81
P13	Diseño de dispositivos fotónicos integrados en la plataforma de silicio poroso para generación de fotones.....	83
P14	Ecuación maestra de estados vestidos para dos átomos de dos niveles .....	84
P15	El modelo de Jaynes-Cummings impulsado.....	85
P16	Generation of heralded vector-polarized single photons in remotely controlled topological classes.....	86
P17	Anyones de Hubbard en redes ópticas en una dimensión.....	87

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

P18 Interferómetro híbrido para detección de interacciones moleculares.....	88
P19 Steering bipartita y tripartita bidireccional de variables continuas generado por medio de un proceso de conversión descendente intracavitario.....	89
P20 Óptica Cuántica no lineal con átomos de Rydberg.....	90
P21 Sensibilidad del entrelazamiento a perturbaciones de sistemas cuánticos de muchos cuerpos.....	91
P22 Spherical vector waves: their generation using a $4\pi$ optical array.....	92
P23 Sensor cuántico de temperatura en chip fotónico basado en estados N00N.....	93
P24 Formación de solitones brillantes y estabilidad en trampas atómicas.....	94
P25 Preparación de estados mágicos en el modelo de Rabi asimétrico.....	95
P26 Hacia una implementación experimental de compuertas cuánticas para cúbits de polarización en la UAEMex.....	96
P27 Transformación de Hubbard-Stratonovich aplicada al sistema de tres componentes de espín .....	97
P28 Fluidos cuánticos de luz con acoplamiento luz-materia disipativo.....	99
P29 Transporte de calor en el límite de acoplamiento fuerte-profundo del Modelo de Hopfield Isotrópico .....	101
P30 Modelo de procesamiento de información cuántica mediante óptica lineal en fotónica integrada aplicado a la compuerta de Toffoli.....	103
P31 Avances en la sintonización de SFWM generado en microesferas para aplicaciones en memorias cuánticas.....	105
P32 Polarímetro de Stokes casero basado en la técnica de división de amplitud.....	106
P33 Fuente Integrada de Parejas de Fotones Basada en un Micro Resonador de Nitruro de Silicio para Aplicaciones en Memorias Cuánticas.....	107
P34 Segunda cuantización para gases de bosones y fermiones en una trampa armónica.....	109
P35 Termodinámica de la condensación de Bose-Einstein para perfiles bimodales en trampas armónicas.....	110
P36 Preparación del estado inicial $ F=1, m=0\rangle$ en átomos de $87\text{Rb}$ mediante bombeo óptico.....	111
P37 ¿Cavidad cúbica o esférica? Dos posibles modelos para describir la sección eficaz de frenamiento de un átomo.....	112
P38 Análisis semiclásico predictivo para eigenestados cuánticos.....	113
P39 Hacia la generación de potenciales ópticos arbitrarios para la manipulación de gases cuánticos.....	114
P40 Análogo óptico de la radiación de Hawking utilizando parejas de fotones entrelazados.....	115

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

P41 Estudio del espectro físico dependiente del tiempo de un sistema optomecánico. .....	116
P42 Filtro Fabry Perot para haces Raman en una secuencia de gravimetría atómica	118
P43 Algunas formas no algebraicas de $\exp(A+B)$ .....	119
P44 Invariantes de Lewis-Ermakov para los diferentes protocolos de atajos a la adiabaticidad.....	121
P45 Solving Neural Network for 1-D Spin Systems.....	123
P46 Desfasador óptico de alta precisión controlado por frecuencia mediante dispositivos acusto-ópticos.....	124
P47 Diseño espectral de cadenas de enlace fuerte con orbitales atómicos traslapantes .....	125
P48 Modulación de caos clásico en un billar suave con geometría sintonizable.....	126
P49 Canales de Weyl que rompen entrelazamiento.....	127
P50 Separación de Fase y Gotas cuánticas en Condensados de Bose Einstein dipolares en 1D.....	128
P51 Estabilización y determinación del número de átomos en una trampa magneto- óptica.....	129
P52 Efectos colectivos y selección de velocidades en mezclado de cuatro ondas con rubidio atómico.....	130
P53 Átomos en cavidades interactuando con pares de fotones.....	131
P54 Revisión de ondas parciales considerando una partícula con espín-1/2.....	132
P55 Estudio de moduladores de fase electroópticos basados en titanato de bario policristalino para aplicaciones en fotónica integrada.....	133
P56 Squeezing cúbico para estados de movimiento en iones atrapados.....	135
Índice alfabético .....	135

## Plenaria

# Dinámica rotacional inducida por colisiones binarias de baja energía de gotas cuánticas

J. E. Alba-Arroyo, S. F. Caballero-Benítez y R. Jáuregui

*Instituto de Física,*

*Universidad Nacional Autónoma de México, Ap. Postal 20-364, Cd. de México 01000,  
México*

Se presenta un análisis teórico de la dinámica rotacional inducida por colisiones binarias fuera del eje de gotas cuánticas constituidas por átomos ultrafríos. Nos centramos en aquellas formadas por gases degenerados de Bose diluidos compuestos de mezclas binarias tanto heteronucleares como homonucleares de átomos alcalinos en condiciones factibles a ser realizados experimentalmente. En ambos casos encontramos que la dinámica parece privilegiar una alta similitud de la densidad de cada especie atómica. Sin embargo, la evolución de la fase del parámetro de orden correspondiente difiere significativamente para las mezclas heteronucleares. Evaluamos la fidelidad como figura de mérito por la superposición entre los parámetros de orden de cada uno especies atómicas. Se predice que la evidencia dinámica de las diferencias entre la fase de los parámetros de la orden es se manifestarán en sus correspondientes momentos lineales y angulares cuya distribución dependerá del número de Weber y el parámetro de impacto. La formación de vórtices y sus características se discutirá brevemente.

Agradecimientos.

## Pláticas Invitada

# 11 Experimentos de fluorescencia en rubidio atómico para estudiar el efecto Zeeman y para resolver la estructura hiperfina de estados de Rydberg.

R. Alonso Garduza, G. Quiroz-Sánchez, E. Navarro-Navarrete, A. Díaz-Calderón, J. Flores-Mijangos, F. Ramírez-Martínez, J. Jiménez-Mier

*Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México*

*Circuito Exterior SN, CdMX 04510, México*

La fluorescencia que sigue a la excitación resonante de un átomo proporciona información muy útil que puede ser contrastada con resultados que se obtienen con espectroscopias de absorción. En esta plática se presentarán resultados experimentales en los que se resuelve el desdoblamiento Zeeman en la transición D2 en  $^{87}\text{Rb}$ . También se mostrarán resultados de la medición de la estructura hiperfina de los estados 19S, 20S y 21S en este mismo isótopo. En los experimentos Zeeman se utilizó la saturación de la fluorescencia [1] y la cancelación de las probabilidades de transición para líneas específicas [2], para obtener espectros relativamente simples de fluorescencia a campos magnéticos entre 0 y 100 G. Se presentan también los resultados de un cálculo en el que se usan las ecuaciones de población y en el que se supone que los entrecruzamientos solamente ocurren entre estados con la misma proyección de momento angular total. La comparación entre teoría y experimento permite identificar todas las transiciones observadas. Se encuentra también que la transición cíclica  $5S\ F=2 \rightarrow 5P_{3/2}\ F'=3$  es muy sensible al campo magnético, ya que presenta un cambio entre saturación e incremento de la fluorescencia que ocurre como función del campo y de la potencia del láser que produce la transición. Haces para las transiciones  $5S \rightarrow 6P_{3/2} \rightarrow nS$  en configuración contrapropagante son utilizados para estudiar los estados de Rydberg 19S, 20S y 21S. Se observa un pico dominante que resulta de la secuencia de excitaciones hiperfinas  $5S\ F=2 \rightarrow 6P_{3/2}\ F=3 \rightarrow nS\ F=2$  para átomos con velocidad cero, pero también se observa, por selección de velocidades, la presencia de satélites entre otros estados hiperfinos del  $6P_{3/2}$  y el  $nS$ . Si se utiliza la estructura hiperfina del  $6P_{3/2}$  [3] para calibrar la energía de los espectros se obtiene la separación hiperfina de los estados de Rydberg.

**Agradecimientos:** Trabajo realizado con apoyo del proyecto PAPIIT IN110623 de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.

### Referencias

[1] G. Quiroz-Sánchez *et al.*, Opt. Commun. **508**, 127727 (2023).

[2] A. Alexanyan *et al.*, J. Opt. Soc. Am. B **37**, 3504 (2020).

[3] C. Glaser *et al.*, Phys. Rev. A **102**, 012804 (2020).

## 12 Absorción perfecta y sintonizable de la radiación de microondas: un enfoque no hermitiano

John A. Franco-Villafañe<sup>1</sup>, Antonio A. Fernández-Marín<sup>2,3</sup>, Víctor Domínguez-Rocha<sup>4</sup>, Carlos A. Flores-Castro<sup>5</sup> y Eduardo Ramírez-Hintze<sup>5</sup>

<sup>1</sup>CONAHCYT – Instituto de Física, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 78290 San Luis Potosí, S.L.P., México

<sup>2</sup>Instituto de Física, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 78290 San Luis Potosí, S.L.P., México

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias Básicas, Tecnológico Nacional de México - Campus Tehuacán, 75770 Tehuacán, Puebla, México

<sup>4</sup>Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, 02128 Ciudad de México, México

<sup>5</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 78290 San Luis Potosí, S.L.P., México

Este estudio presenta un enfoque pasivo novedoso para lograr una absorción perfecta y sintonizable de la radiación de microondas, empleando la física no hermítica para manipular las ondas electromagnéticas sin elementos conductores. Al utilizar losas dieléctricas comunes en configuraciones irregulares dentro de una guía de onda rectangular, podemos absorber completamente la energía electromagnética, manteniéndola dentro del campo electromagnético en lugar de convertirla en calor. Este método contrasta con los metamateriales tradicionales que dependen de componentes conductores para absorber energía. Mediante el uso del método de matriz de transferencia y Programación Cuadrática Secuencial para optimización, nuestra investigación identifica arreglos no uniformes de dieléctricos FR4 que maximizan la absorción dentro de bandas de microondas objetivo. La validación experimental, realizada en una guía de onda WR90 estándar conectada a un analizador de red vectorial, confirma los resultados teóricos y de simulación por elementos finitos, destacando la efectividad de nuestra estrategia pasiva. Este trabajo avanza en nuestra comprensión de los sistemas no hermíticos en el control de ondas electromagnéticas y ofrece un potencial significativo para aplicaciones en la reducción de la contaminación electromagnética, la mejora de las comunicaciones seguras y la cosecha pasiva de energía.

**Agradecimientos:** Reconocemos el apoyo financiero por parte del proyecto CONAHCYT No. A1-S-18696.

### Referencias

[1] <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4272277/v1>

## I3 Ondas de Faraday en superfluidos de Fermi

Diego Hernández Rajkov<sup>1</sup>, Alejandra del Río Lima<sup>1</sup>, José Eduardo Padilla Castillo<sup>1</sup>, Fernando Ballesteros Flores<sup>1</sup>, José Luis Lugo Castillo<sup>1</sup>, Juan Pablo Lemus Saldivar<sup>1</sup>, Carlos Alberto Gardea Flores<sup>1</sup>, Freddy Jackson Poveda Cuevas<sup>2</sup>, Jorge Amin Seman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510 Ciudad de México, México*

<sup>2</sup>*Cátedras CONAHCyT, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México C. P. 04510, México*

El estudio de excitaciones colectivas en sistemas superfluidos ha sido un importante y activo tema de investigación desde el inicio de la exploración de los fluidos cuánticos. Su estudio ofrece la posibilidad de acceder a diferentes propiedades fundamentales de estos sistemas, como es el caso del espectro de excitaciones o la ecuación de estado. Presentamos aquí nuestro trabajo en la observación y estudio de ondas de Faraday en un superfluido de Fermi compuesto por una mezcla de dos componentes de spin de átomos de  $^6\text{Li}$ . Estas ondas son un tipo de excitación colectiva que aparece como una modulación espacial y temporal en el perfil de densidad del gas. En nuestro experimento, las ondas de Faraday son paraméricamente excitadas modulando la frecuencia radial de la trampa armónica en la que el superfluido es generado. Caracterizamos el fenómeno como función de la intensidad de las interacciones interatómicas, las cuales pueden ser controladas gracias a que este sistema presenta una ancha resonancia magnética de Feshbach. Un resultado importante es que las ondas de Faraday pueden utilizarse para medir la velocidad efectiva del sonido del sistema. Todas nuestras mediciones muestran buen acuerdo con los modelos teóricos y las simulaciones numéricas. Concluimos nuestra contribución discutiendo nuestros resultados más recientes y presentando nuestras perspectivas de investigación a corto plazo.

**Agradecimientos:** Este trabajo fue financiado por CONAHCyT a través de los proyectos CF-2023-I-72 y A1-S-39242; DGAPA-UNAM-PAPIIT por medio de los proyectos IN109021 y IN105724, y CIC-UNAM a través de los proyectos LANMAC-2023 y LANAMC-2024.

### Referencias:

- D. Hernández-Rajkov et al. *Faraday waves in strongly interacting superfluids* New Journal of Physics 23, 103038 (2021).

# Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

## 14 Multiphoton Quantum Imaging

Omar S. Magana-Loaiza

*Quantum Photonics Laboratory, Department of Physics & Astronomy, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA.*

It is believed that schemes for quantum imaging are fragile against realistic environments in which the background noise is often stronger than the nonclassical signal of the imaging photons [1]. Unfortunately, it is unfeasible to produce brighter quantum light sources to alleviate this problem. In this talk, I will describe how to overcome this paradigmatic limitation by developing a quantum imaging scheme that relies on the use of natural sources of light [2]. This is achieved by performing conditional detection on the photon number of the thermal light field scattered by a remote object [3, 4]. Specifically, the conditional measurements in our scheme enable us to extract quantum features of the detected thermal photons to produce quantum images with improved signal-to-noise ratios. This technique shows a remarkable exponential enhancement in the contrast of quantum images. Surprisingly, this measurement scheme enables the possibility of producing images from the vacuum fluctuations of the light field. This is experimentally demonstrated through the implementation of a single-pixel camera with photon-number-resolving capabilities. As such, this scheme opens a new paradigm in the field of quantum imaging. It also unveils the potential of combining natural light sources with nonclassical detection schemes for the development of robust quantum technologies [1].

I acknowledge funding from the National Science Foundation through Grant No. ECCS- 2225986.

### Referencias

- [1] O. S. Magana-Loaiza and R. W. Boyd, “Quantum Imaging and Information”, Reports on Progress in Physics 82, 124401 (2019).
- [2] F. Mostafavi, M. Hong, R. B. Dawkins, R. Jin, R. de J. Leon-Montiel, C. You, and O. S. Magana-Loaiza, “Multiphoton Quantum Imaging using Natural Light”, Nature Communications, Under Review (2024).
- [3] M. Hong, R. B. Dawkins, B. Bertoni, C. You, and O. S. Magana-Loaiza, “Nonclassical Near-Field Dynamics of Surface Plasmons” Nature Physics 21, 1-6 (2024).
- [4] M. Wubs, “Multiphoton quantum statistics from scattered classical light” Nature Physics 21 (2024).

## I5 Quantum optics with ferromagnetic cavities

Carlos A. González-Gutiérrez

*Instituto de Ciencias Físicas, UNAM*

Magnons can be confined in peculiar configurations that allow strong focusing of magnetic fields. This is the case of magnetic vortices that are easily stabilized in thin-film ferromagnetic structures with lateral size between a few 100 nm up to several micrometers. Minimization of magnetostatic energy yields a vortex-like in-plane arrangement of spins that points out-of-plane in a small core region of just a few nanometers. We propose the use of the miniature vortex core stabilized in ferromagnetic nanodisks as novel quantum cavities for magnonics. These vortex nanocavities could also attain strong coupling to individual spin molecular qubits with potential applications to mediate qubit–qubit interactions or to implement qubit readout protocols.

### Referencias

[1] Carlos A. González-Gutiérrez, David García-Pons, David Zueco, and María José Martínez-Pérez, *ACS Nano* 2024 18 (6), 4717–4725 DOI: 10.1021/acsnano.3c06704

# 16 Bloqueo de Fotones y su Rompimiento en el Limite de Pocos Cuerpos

R. Gutiérrez-Jáuregui

*Departamento de Física Cuántica y Fotonica, Instituto de Física, UNAM*

Comportamientos emergentes en sistemas de muchos cuerpos siguen leyes universales que se vuelven aparentes en transiciones de orden-desorden. Estas transiciones tienen una larga historia en óptica cuántica que se remonta a la descripción del láser y---aunque comúnmente se han explorado en el límite de muchos cuerpos---recientes avances experimentales permiten su extensión a sistemas de uno o pocos cuerpos. En este trabajo exploramos el límite de pocos cuerpos usando el modelo de Tavis-Cummings forzado y amortiguado como guía. Este modelo describe una colección de átomos acoplada a un modo de una cavidad forzada. El modelo presenta estados vestidos colectivos cuyas energías colapsan al aumentar la intensidad del forzamiento, dando así una primera señal de una transición de fase en el sistema. Este colapso se da por etapas debido a las correlaciones interatómicas, mostrando así un cambio fundamental respecto a resultados anteriores basados en campo medio. Mostramos el efecto de estas correlaciones sobre la luz de salida. Nuestro trabajo ejemplifica la importancia del límite de pocos cuerpos en la óptica cuántica, donde las correlaciones interatómicas pueden ser medidas con alta precisión, y su capacidad de unir los mundos microscópicos y macroscópicos.

## **Agradecimientos**

## **Referencias**

T. Karmstrand, G. Johansson, and R. Gutiérrez-Jáuregui, "Successive quasienergy collapse and breakdown of photon blockade in the few-emitter limit," J. Opt. Soc. Am. B 41, C38-C47 (2024)

# 17 Triones-polaritones en el Acoplamiento Ultra-Fuerte

M. A. Bastarrachea-Magnani<sup>1</sup>, A. Camacho Guardian<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, C.P. 09310 CDMX, México.*

<sup>2</sup>*Departamento de Física Química, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 20-364, Ciudad de México, C.P. 01000, México.*

Los triones-polaritones [1], que resultan de la hibridización entre excitones cargados con fotones confinados en una microcavidad semiconductor [2], se han convertido en un terreno fértil y prometedor para la realización de interacciones polaritónicas fuertes y la creación de estados cuánticos polaritónicos de muchos cuerpos [3], gracias a la presencia de resonancias moleculares sintonizables [4]. En este trabajo se presenta el desarrollo de un formalismo teórico de campos cuánticos para el estudio de los triones-polaritones en el acoplamiento ultra-fuerte entre la luz y la materia (USC por sus siglas en inglés) [5]. El USC se ha vuelto atractivo en las últimas décadas, pues permite una respuesta más rápida de los estados polaritónicos y un procesamiento eficiente en protocolos de información cuántica [6]. Aquí, se predice una nueva clase de estados de muchos cuerpos que resultan de la intriga entre excitones-polarones de Fermi y fotones virtuales [7], en un terreno aún inexplorado de las interacciones luz-materia y la física de Feshbach que yace en la convergencia entre las técnicas de la física atómica, la materia condensada y la óptica cuántica.

## Agradecimientos:

MABM agradece el apoyo a DF-UAM, la DCBI-UAM-I y la DAI-UAM. ACG agradece el apoyo a UNAM DGAPA PAPIIT No. IA101923, UNAM DGAPA PAPIME No. PE101223, PIIF 23.

## Referencias

1. M. A. Bastarrachea-Magnani, A. Camacho-Guardian, and G. M. Bruun, *Phys. Rev. Lett.* 126, 127405 (2021).
2. D. N. Basov, et al., *Nanophotonics* 10, 549 (2021).
3. I. Carusotto and C. Ciuti, *Rev. Mod. Phys.* 85, 299 (2013).
4. N. Takemura, et al., *Nature Physics* 10, 500 (2014).
5. A. Frisk Kockum, et al., *Nature Reviews Physics* 1, 19 (2019).
6. P. Forn-Díaz, et al., *Rev. Mod. Phys.* 91, 025005 (2019).
7. M. A. Bastarrachea-Magnani, A. Camacho-Guardian, arXiv:2403.10693 (2024).

## 18 Intercavity polariton slows down dynamics in strongly coupled cavities

Yesenia A. García Jomaso, Brenda Vargas, David Ley Domínguez, Román J. Armenta-Rico, Huziel E. Saucedo, César L. Ordoñez-Romero, Hugo A. Lara-García, **Arturo Camacho-Guardian** & Giuseppe Pirruccio\_

*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 20-364, Ciudad de México, C.P., 01000, Mexico*

Band engineering stands as an efficient route to induce strongly correlated quantum many-body phenomena. Besides inspiring analogies among diverse physical fields, tuning on demand the group velocity is highly attractive in photonics because it allows unconventional flows of light.  $\Lambda$ -schemes offer a route to control the propagation of light in a lattice-free configurations, enabling exotic phases such as slow-light and allowing for highly optical non-linear systems. Here, we realize room-temperature intercavity Frenkel polaritons excited across two strongly coupled cavities. We demonstrate the formation of a tuneable heavy-polariton, akin to slow light, appearing in the absence of a periodic in-plane potential. Our photonic architecture based on a simple three-level scheme enables the unique spatial segregation of photons and excitons in different cavities and maintains a balanced degree of mixing between them. This unveils a dynamical competition between many-body scattering processes and the underlying polariton nature which leads to an increased fluorescence lifetime. The intercavity polariton features are further revealed under appropriate resonant pumping, where we observe suppression of the polariton fluorescence intensity.

### **Agradecimientos**

UNAM DGAPA PAPIIT No. IA101923, UNAM DGAPA PAPIIME No. PE101223, PIIF 23

### **Referencias**

[Nature Communications volume 15, Article number: 2915 \(2024\)](#)

# I9 Tuning the probability detection of orbital-angular-momentum-entangled photons in helical Ince-Gauss modes

Roberto Ramírez Alarcón

*Centro de Investigaciones en Óptica*

In this talk we will review recent results in related to a detailed theoretical and experimental analysis of the two-photon orbital-angular-momentum-entangled state, generated by a type-I spontaneous parametric down conversion (SPDC) process, when decomposed in terms of the helical Ince-Gauss (HIG) mode basis. By exploiting the unique characteristics of this modal basis we show how the probability detection of the photon pair can be tuned with the ellipticity parameter of the modes. We also show that on the HIG basis the SPDC state has the contribution of two different symmetric Bell states, and it is possible to maximize the probability of each HIG symmetric Bell state separately also by tuning the ellipticity of the projected basis. The observed properties are confirmed experimentally by implementing measurements of the HIG modal joint probability of the SPDC two-photon state and Bell-type inequality violation experiments.

# I10 Luz estructurada y control óptico de materia

Pedro Antonio Quinto Su

*Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM*

En esta plática se presentarán métodos para generar y caracterizar luz estructurada utilizando elementos ópticos programables como moduladores espaciales de luz y arreglos digitales de micro-espejos. También se mostrarán algunas aplicaciones utilizando luz estructurada enfocada para manipulación y control de materia a escalas espaciales que abarcan desde lo microscópico hasta átomos individuales. Por último, se abordarán los desafíos asociados con la medición precisa de estos haces cuando se enfocan de manera pronunciada, ya que pueden tener estructuras de fase y amplitud menores a la longitud de onda en sus tres componentes de polarización.

## **Agradecimientos**

DGAPA UNAM PAPIIT IN107222; CIC, UNAM; CONAHCYT-LANMAC.

## **Referencias**

1. P.A. Quinto-Su, “Interferometric measurement of arbitrary propagating vector beams that are tightly focused”, *Opt. Lett.* 48, 3693-3696 (2023-)
2. D. Scheidt, P.A. Quinto-Su, “Comparison between Hadamard and canonical bases for in situ wavefront correction and the effect of ordering in compressive sensing” *JOSAA*, 40, 45-52 (2023).
3. I. Herrera, P.A. Quinto-Su, “Measurement of structured tightly focused beams with classical interferometry”, *J. Opt.* 25, 035602 (2023).
4. I. Herrera, C.A. Mojica-Casique, P.A. Quinto-Su, “Experimental realization of a wavelength sized optical vortex knot”, *Phys. Rev. Applied* 17, 064026 (2022).
5. R. Jauregui and P.A. Quinto-Su, On the general properties of symmetric incomplete Airy beams, *JOSA A*, 31, 2484-2488 (2014).
6. Quinto-Su, and R. Jáuregui, “Optical stacking of microparticles in a pyramidal structure created with a symmetric cubic phase”, *Opt. Exp.* 22, Iss 10, pp 12283-12288 (2014).

Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

# I11 Computación cuántica apoyará el desarrollo de IA

Guohua Sun

*Centro de Investigación en Computación, IPN*

En el desarrollo de IA se encuentran varios desafíos, entre ellos, el poder de cómputo, la privacidad y seguridad de datos son solubles con la computación cuántica, en esta platica introduce la computación cuántica y las posibles aplicaciones en el desarrollo de IA.

## Pláticas contribuidas

# C1 A Quantum Contrastive Loss Algorithm for Image Encoding into Quantum States

Luis Rey Vargaz Guadarrama, Isabel Pedraza and Lázaro Díaz Lievano  
*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*

Quantum representation learning stands at the intersection of quantum computing and machine learning, harnessing the principles of quantum mechanics to enhance the representation and processing of data. Representing classical data in a format suitable for quantum processing is non-trivial. Converting large datasets into quantum states while preserving relevant information and minimizing errors is a challenging task that requires innovative encoding schemes and efficient quantum algorithms. This work introduces a quantum-classical hybrid algorithm for encoding image data into quantum embeddings using the MNIST dataset. The approach integrates a classical autoencoder for initial image processing and a quantum-parametrized circuit for embedding the images into quantum states. This hybrid model allows for efficient dimensionality reduction and feature extraction. The model employs contrastive loss for training, and the fidelity of quantum states is estimated using a SWAP test, which measures the similarity of the quantum embeddings. The results demonstrate that the algorithm effectively discriminates between different image classes based on quantum state fidelity, indicating the utility of quantum approaches in machine learning tasks for computational imaging.

### Agradecimientos

Agradecemos las facilidades del Centro Interdisciplinario de Investigación y Enseñanza de la Ciencia de la BUAP para la realización de las actividades de investigación.

### Referencias

Wiebe, N., Kapoor, A., & Svore, K. M. (2015). Quantum algorithms for nearest-neighbor methods for supervised and unsupervised learning. *Quantum Information & Computation*, 15(3 & 4), 316-356. <https://doi.org/10.26421/qic15.3-4-7>

Rivas, P., Zhao, L., & Orduz, J. (2021). Hybrid Quantum Variational Autoencoders for Representation Learning. 2021 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI). <https://doi.org/10.1109/csci54926.2021.00085>

Li, P., Pei, Y., & Li, J. (2023). A comprehensive survey on design and application of autoencoder in deep learning. *Applied Soft Computing*, 138, 110176. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110176>

Khosla, P., Teterwak, P., Wang, C., Sarna, A., Tian, Y., Isola, P., Maschinot, A., Liu, C., & Krishnan, D. (2020). Supervised contrastive learning. *Neural Information Processing Systems*, 33, 18661-18673. <https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/file/d89a66c7c80a29b1bdbab0f2a1a94af8-Paper.pdf>

## C2 Espectro rovibracional de los Haluros de hidrógeno HBr y HI

Daniel Aguilar Díaz y Horacio Olivares Pilón

Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Apartado Postal 55-534, 09340 México

El espectro rovibracional  $E(v,L)$  para el estado base  $X^1\Sigma^+$  del bromuro de hidrógeno HBr y del yoduro de hidrógeno HI es obtenido dentro de la aproximación de Born-Oppenheimer. Como punto de partida una expresión analítica para la curva de energía potencial  $V(R)$  se determina en forma de un aproximante Padé de dos puntos que reproduce correctamente el comportamiento asintótico para pequeñas y grandes distancias internucleares  $R$ , es decir válida para en el dominio entero  $R$  a  $[0, \infty)$ . Algunos parámetros libres en la expresión para la curva de potencial  $V(R)$  se fijan mediante un ajuste con los datos experimentales RKR [1]. En una segunda etapa, el espectro rovibracional  $E(v,L)$  se obtiene al resolver la ecuación de Schrödinger para el movimiento nuclear. Se encontró que la curva de energía potencial para el estado base  $X^1\Sigma^+$  soporta un total de 798/748 estados rovibracionales con números cuánticos vibracionales/rotacionales máximos  $v_{\max} = 19/17$  y  $L_{\max} = 65/66$  para los haluros de hidrógeno HBr/HI, respectivamente. Mediante una sencilla modificación en la ecuación de Schrödinger nuclear, se calculó el espectro rovibracional  $E(v,L)$  para las especies isotopológicas con contenido en deuterio (D) y tritio (T): DBr/TBr (1575/2329 estados en total con  $v_{\max} = 27/34$  y  $L_{\max} = 92/112$ ) y DI/TI (1485/2207 estados en total con  $v_{\max} = 25/31$  y  $L_{\max} = 93/114$ ).

### Referencias

[1] J. A. Coxon and P. G. Hajigeorgiou, J. Mol. Spectrosc., 13, 1-27 (1991)

## C3 Mediciones de grano grueso

Carlos Pineda y Kenan Uriostegui

*Instituto de Física, UNAM*

Utilizando el formalismo de mapas cuánticos, proporcionamos un marco para construir canales cuánticos difusos y de grano grueso de sistemas de muchos cuerpos que tienen en cuenta las limitaciones en la resolución de dispositivos de medición reales que los sondan. El primer conjunto de mapas maneja errores de indexación de partículas, mientras que el segundo aborda los efectos de detectores que solo pueden resolver una fracción de los constituyentes del sistema. Por construcción, ambos mapas están simplemente relacionados a través de una traza parcial, lo que nos permite concentrarnos en las propiedades del primero. Caracterizamos completamente el mapa difuso, identificando sus simetrías y espacios invariantes. Mostramos que el volumen de los estados accesibles tomográficamente disminuye a una tasa doblemente exponencial en el número de partículas, imponiendo límites severos a la capacidad de leer y usar información de un sistema cuántico de muchos cuerpos. Investigamos el volumen de las preimágenes de los estados efectivos, permitiendo buscar estados típicos observados bajo dispositivos de medición imperfectos.

## C4 Collective coupling of driven multilevel atoms and its effect on four-wave mixing

P. Yanes-Thomas<sup>1</sup>, R. Gutiérrez-Jáuregui<sup>1</sup>, P. Barberis-Blostein<sup>3</sup>, D. Sahagún Sánchez<sup>1</sup>, R. Jáuregui<sup>1</sup>, A. Kunold<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México,*

<sup>2</sup>*Área de Física Teórica y Materia Condensada, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Ciudad de México 02200, México,*

<sup>3</sup>*Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México,*

Los modelos microscópicos basados en átomos multiniveles son centrales para controlar las propiedades ópticas no lineales y el control coherente de la luz. Estos modelos extienden el comportamiento de un sólo átomo para incluir fenómenos colectivos. En este trabajo presentamos un análisis sistemático de los fenómenos cooperativos que surgen de un sistema de emisores multiniveles impulsados por luz incidente y en presencia de un ambiente electromagnético. Se analiza la interacción entre los estados vestidos del sistema inducidos por un campo incidente, los intercambios fotónicos y los canales colectivos de decaimiento. La teoría es aplicada al caso del mezclado de cuatro ondas mediado por un par de emisores en la configuración de diamante, comúnmente usada para crear pares de fotones correlacionados. Se exploran los efectos de las correlaciones interatómicas y los canales colectivos de decaimiento en los fotones emitidos. Encontramos que la función de correlación cambia de una distribución Lorentziana para átomos independientes a una distribución de dos picos cuando las interacciones dipolo-dipolo se hacen más intensas. Nuestro análisis indica que la estructura de dos picos encontrada se debe a la acción conjunta de los estados vestidos y los canales colectivos de decaimiento. Las características distintivas de estos mismos mecanismos han sido observados experimentalmente. La conexión establecida entre los estados vestidos y los canales colectivos de decaimiento permiten identificar qué parámetros relevantes pueden ser explotados para construir protocolos de control cuántico a través de mecanismos cooperativos dispersivos y disipativos en sistemas de multi niveles.

### Agradecimientos

RG-J, DS y RJ agradecen a los proyectos PAPIIT-UNAM número IA103024, IN106821, IN112624, y IN104523. AK agradece su hospitalidad al IFUNAM y el apoyo económico del Departamento de Ciencias Básicas UAM-A, número 2232218. PY-T agradece el apoyo económico de CONAHCYT Estancias Posdoctorales por México 2022 (3). PB-B agradece al proyecto PAPIIT-UNAM número IG101324.

# C5 Autoorganización y Transición de Fase Estructural de Átomos Ultrafríos en Redes Ópticas y Cavidades

Ramírez Barajas A. U., Caballero Benítez S. F.

*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México*

Al colocar un gas atómico ultrafrío dentro de una cavidad, el acoplamiento luz-materia incrementa y se genera una dinámica atómica no lineal. Las interacciones mediadas por la luz resultan útiles para la simulación cuántica de modelos con efectos de corto y largo alcance. En el presente trabajo se estudia un sistema de átomos bosónicos en una red óptica repulsiva dentro de una cavidad a temperatura cero, similar a [1,2], en el régimen de correlaciones cuánticas fuertes [3,4]. El acoplamiento del sistema a una o a las dos cuadraturas ortogonales de la cavidad ocasiona la emergencia de diferentes fases atómicas autoorganizadas conectadas por una transición de fase estructural. La inclusión de interacciones atómicas fuertes in situ provoca una competencia con los procesos de tunelaje, lo que da lugar a la transición superfluido-aislante de Mott descrito por el modelo de Bose-Hubbard [5].

## **Agradecimientos**

Este trabajo se realizó con los apoyos: UNAM-DGAPA-PAPIIT:IN118823 y CONAHCYT-CB:A1-S-30934.

## **Referencias**

- [1] X. Li, D. Dreon, P. Zupancic, A. Baumgärtner, A. Morales, W. Zheng, N. R. Cooper, T. Donner and T. Esslinger, Phys. Rev. Research 3, L012024 (2021).
- [2] P. Zupancic, D. Dreon, X. Li, A. Baumgärtner, A. Morales, W. Zheng, N. R. Cooper, T. Esslinger, and T. Donner, Phys. Rev. Lett. 123, 233601, (2019).
- [3] S. F. Caballero-Benitez, G. Mazzucchi, and I. B. Mekhov, Phys. Rev. A 93, 063632 (2016).
- [4] S. F. Caballero-Benitez and I. B. Mekhov, Phys. Rev. Lett. 115, 243604 (2015).
- [5] D. van Oosten, P. van der Straten, and H. T. C. Stoof, Phys. Rev. A 63, 053601 (2001).

## C6 Modelado, simulación y optimización de sistemas de distribución de claves cuánticas

Carlos Wiechers, Lorena Velázquez-Ibarra, José Luis Lucio

*Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato, Loma del Bosque 103, Lomas del Campestre, León Gto*

Los sistemas de distribución de claves cuánticas [1-6], permiten la generación y la distribución de claves secretas de forma segura y completamente aleatorias entre dos individuos certificados, denotados Alice y Bob. La seguridad se basa en la naturaleza de los estados cuánticos de los portadores de la información (fotones) a partir de los cuales se generan las claves secretas. Cualquier individuo no certificado (espía Eva) que interactúe con los portadores para ganar información de estos. Por lo que modifican los estados cuánticos de los portadores, aumentando el error cuántico en la generación de la clave secreta, de esta forma se puede detectar la presencia al espía Eva. Además, estas tecnologías están en proceso de perfeccionamiento a través, ya que se han estudiado ampliamente los diversos tipos de ataques, que utilizan las imperfecciones de cada uno de los componentes que integran los sistemas de distribución de claves cuánticas. Cabe destacar que los ataques más exitosos se enfocan en el control de los detectores [7]. Con se propone variantes a los sistemas de distribución los Measure-Device-Independent [8], donde Alice y Bob se convierten en emisores de portadores y el sistema de medición se encuentra en otra estación de medición en Charly y mediante la selección de mediciones en coincidencia con estados tipos Bell, apoya en la generación de las claves aun con la condición de que estuviera controlado por algún espía. Para poder entender de una forma más integral estos sistemas y optimizarlos es necesario conocer y entender el funcionamiento de estos sistemas de distribución de claves cuánticas. Existen varias estrategias para lograr estos objetivos, una implica la simulación de la operación integral de los componentes y por otro lado el desarrollo de modelos que impliquen los parámetros de operación. Nosotros nos enfocamos en el modelado más general de los detectores de un solo fotón y de los componentes ópticos internos usando la naturaleza probabilística de las interacciones de los fotones con estos [9]. De esta forma usamos estos modelos para la optimización de los sistemas de distribución de claves cuánticas.

**Agradecimientos.** CONAHCyT, UG, y DiCu

### Referencias

1. IEEE, Quantum cryptography: public key distribution and coin tossing, Proceedings of the IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing (IEEE Press, New York, 1984).
2. N. Lütkenhaus and A. J. Shields, "Focus on quantum cryptography: Theory and practice," New J. Phys. 11, 045005 (2009).
3. V. Scarani, H. Bechmann-Pasquinucci, N. J. Cerf, et al., "The security of practical quantum key distribution,"

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

- Rev. Mod. Phys. 81, 1301 (2009).
4. H.-K. Lo, M. Curty, and K. Tamaki, "Secure quantum key distribution," Nat. Photonics 8, 595 (2014).
  5. S. Pirandola, U. L. Andersen, L. Banchi, et al., "Advances in quantum cryptography," Adv. Opt. Photon. 12, 1012–1236 (2020).
  6. C. Portmann and R. Renner, "Security in quantum cryptography," Rev. Mod. Phys. 94, 025008 (2022).
  7. L. Lydersen, C. Wiechers, C. Wittmann, et al., "Hacking commercial quantum cryptography systems by tailored bright illumination," Nat. Photonics 4, 686–689 (2010).
  8. H.-K. Lo, M. Curty, and B. Qi, "Measurement-device-independent quantum key distribution," Phys. Rev. Lett. 108, 130503 (2012).arXiv:2303.13742v1 [quant-ph]

## C7 Puertas cuánticas de modos temporales basadas en procesos no lineales

A. L. Aguayo-Alvarado<sup>1</sup>, F. A. Domínguez-Serna<sup>1</sup>, W. De La Cruz<sup>2</sup>, K. Garay-Palmett<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CONAHCYT – CICESE, Ensenada, B.C., 22860, México

<sup>2</sup> Departamento de Fisicoquímica de Nanomateriales – CNYN, UNAM, Ensenada, B.C. 22860, México

<sup>3</sup> Departamento de Óptica – CICESE, Ensenada, B.C. 22860, México

En el procesamiento de información cuántica son necesarios mecanismos eficientes y escalables para el control de información cuántica. La implementación de cúbits de color, expresados como una superposición de un par de modos temporales (TMs, por sus siglas en inglés), cumplen con dichos requerimientos. Anteriormente, se propuso la generación de puertas de pulsos cuánticos [1] por medio de procesos no lineales de segundo orden. Este trabajo representó un punto de partida para la manipulación de información por otros mecanismos diferentes a los elementos lineales, comúnmente utilizados. Desde entonces, diversos trabajos han sido publicados en los que exploran opciones para mejorar la selectividad de los TMs [2, 3].

En este trabajo, se presenta una alternativa para la selección de TMs y, además, para la creación y manipulación de cúbits de color de TMs mediante una puerta cuántica (QG, por sus siglas en inglés) programable, donde procesos no lineales de tercer orden en dispositivos fotónicos integrados implementarán tanto la generación de fotones como la QG [4]. Mostramos que es posible implementar cualquiera de las QGs de Pauli solo ajustando la fase entre los bombeos (para las puertas X y Y) y entre los fotones interactuando en los procesos no lineales (para la puerta Z). Además, presentamos un operador de rotación que permite la rotación de cúbits a cualquier ángulo alrededor de la esfera de Bloch.

En nuestro diseño, un estado de fotón individual anunciado (HSP, por sus siglas en inglés) es generado por el proceso no lineal de tercer orden de mezclado de cuatro ondas espontáneo en una cavidad resonante de anillo, el cual puede ser trasladado en frecuencia por una QG de un solo cúbit implementada por el proceso no lineal de tercer orden de generación de diferencia de frecuencias para generar un cúbit de color. El grado de traslación espectral dependerá del traslape entre uno de los TMs de la base del HSP y la QG. Un traslape perfecto generará una traslación total, lo cual es posible medir con la fidelidad. Asimismo, dicho traslape puede ser afectado por irregularidades en la fabricación del dispositivo, por lo cual se presenta un estudio de cómo la variación en la geometría de las guías de onda modifica la fidelidad del proceso, pero también de cómo recobrar el alto valor de la fidelidad y el efecto deseado en el cúbit al sintonizar ligeramente las longitudes de onda de los campos involucrados en los procesos no lineales.

### Agradecimientos

Reconocemos el apoyo del financiamiento otorgado por el Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) (premios FORDECYT-PRONACES/194758, FORDECYT-PRONACES 298971, CATEDRAS-CONACYT 709/2018, y CF-2023-G-687).

### References

- [1] Brecht, B., et al., *New. J. Phys.* 13, 065029 (2011).
- [2] Reddy, D. V. & Raymer, M. G., *Optica* 5, 423-428 (2018).
- [3] Serino, L., et al., *PRX Quantum* 4, 020306 (2023).
- [4] Aguayo-Alvarado, A. L., et al., *Sci. Rep.* 12 (1): 1–12 (2022).

## C8 Cauchy-Riemann beams

H. M. Moya-Cessa, I. Ramos-Prieto, D. Sánchez-de-la-Llave, U. Ruíz, V. Arrizón, and F. Soto-Eguibar

*Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, Calle Luis Enrique Erro No. 1, Santa María Tonantzintla, Puebla 72840, México*

Aprovechando las técnicas operatorias, abordamos la ecuación de onda paraxial que rige un campo formado por la multiplicación de una función gaussiana y una función entera. En este contexto, es fundamental notar que dicha función entera cumple con la ecuación de Laplace,  $\nabla_{perp}^2 f(x+iy)=0$ , lo cual es una consecuencia directa de satisfacer las ecuaciones de Cauchy-Riemann. Este enfoque nos permite analizar la evolución de la distribución del campo a medida que se propaga en el espacio. Nuestro estudio teórico y experimental revela la rotación intrínseca de este campo durante su propagación, un fenómeno que se explica adecuadamente mediante la incorporación del potencial cuántico, también conocido como potencial de Bohm. Este potencial, que surge en el contexto de la mecánica cuántica, ofrece una descripción detallada de la dinámica del campo, proporcionando una comprensión más profunda de los mecanismos subyacentes que gobiernan su comportamiento. Uno de los aspectos más destacables de nuestro trabajo es la demostración de cómo este resultado simplifica significativamente la obtención del patrón de difracción de Fraunhofer o Fresnel. Tradicionalmente, estos patrones de difracción son fundamentales en el análisis de la propagación de ondas y en diversas aplicaciones ópticas. Nuestra metodología permite derivar analíticamente estas distribuciones de difracción de manera más eficiente y precisa, aprovechando las propiedades de las funciones que satisfacen las ecuaciones de Cauchy-Riemann. En esencia, hemos demostrado que la extracción de la transformada de Fresnel o de Fourier de una función que cumple con las ecuaciones de Cauchy-Riemann se simplifica notablemente mediante nuestro enfoque. Esto no solo tiene implicaciones teóricas importantes, sino que también abre nuevas posibilidades para aplicaciones prácticas en óptica y física de ondas. El potencial para aplicar estas técnicas en la ingeniería óptica y en el diseño de sistemas de imagen avanzada es particularmente prometedor, ofreciendo herramientas novedosas para el desarrollo de tecnologías basadas en la manipulación precisa de campos de onda.

En conclusión, nuestra investigación no solo proporciona una nueva perspectiva sobre la rotación intrínseca de los campos de onda durante la propagación, sino que también facilita la deducción analítica de patrones de difracción complejos, consolidando así un puente entre la teoría matemática y las aplicaciones prácticas en la ciencia y la ingeniería óptica.

Referencias: Phys. Rev. A 109, 043528 – Published 24 April 2024.

## C9 Inversión de un mapa de grano grueso

Kenan Uriostegui y Carlos Pineda  
*Instituto de Física, UNAM*

Los mapas de grano grueso involucran una gran cantidad de técnicas y métodos matemáticos para describir situaciones en las que no es necesaria una descripción detallada del sistema bajo estudio para acceder a la información de interés. Por otra parte, también son comunes situaciones en las que dicha información de hecho no es directamente accesible al observador, por lo que contar con técnicas de análisis para obtener la mayor cantidad de información a partir de los datos accesibles es importante. En este trabajo abordamos un mapa de grano grueso aplicable a sistemas cuánticos de muchos cuerpos concentrándonos particularmente en sistemas formados por  $N$  qubits cuya descripción es reducida a un estado monopartito. Este mapa posee estructura de canal cuántico, sin embargo, no es una aplicación biyectiva. Por lo tanto, para caracterizarlo determinamos la densidad de probabilidad asociada a un estado objetivo dado y asignamos como su preimagen el estado promedio del conjunto de estados  $N$  partitos que son mapeados al estado objetivo. Para ello, implementamos una parametrización adecuada para sistemas bipartitos y obtenemos la función densidad de probabilidad y el estado promedio para este caso. Posteriormente, utilizamos herramientas de la teoría de matrices aleatorias para extender el análisis hacia sistemas de muchos qubits y estudiamos las simetrías de nuestro mapa de grano grueso para conocer la estructura de los estados promedio para estos casos.

### **Agradecimientos**

Agradecemos el financiamiento del proyecto UNAM-PAPIIT IG101324, así como al Programa de Becas Posdoctorales en la UNAM de la DGAPA. Un agradecimiento especial al Dr. Alonso Botero por sus sugerencias.

### **Referencias**

C. Pineda, D. Davalos, C. Viviescas, and A. Rosado, Fuzzy measurements and coarse graining in quantum many-body systems, *Phys. Rev. A* 104, 042218 (2021).  
J. Mejía, C. Zapata, and A. Botero, The difference between two random mixed quantum states: exact and asymptotic spectral analysis, *J. Phys. A: Math. Theor.* 50, 025301 (2017).

# C10 Efectos de ordenamiento temporal en procesos no lineales de tercer orden implementados en guías de onda integradas

F. Castro-Simanca<sup>1\*</sup>, F. A. Domínguez-Serna<sup>2</sup>, W. De La Cruz Hernández<sup>3</sup>, K. Garay-Palmett<sup>1</sup>

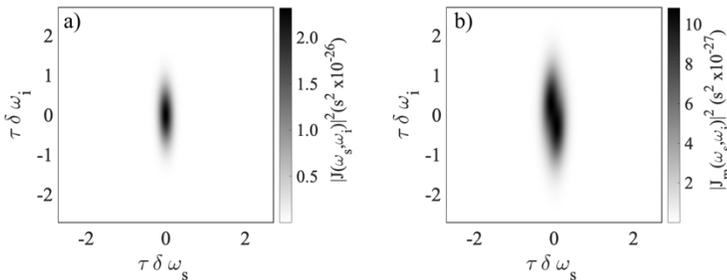
<sup>1</sup>Departamento de Óptica, CICESE, Ensenada, Baja California, México

<sup>2</sup>CONAHCYT-CICESE, Ensenada, Baja California, México

<sup>3</sup>Centro de Nanociencias y Nanotecnología, UNAM, Ensenada, Baja California, México

Hoy en día la generación y manipulación de estados de fotón individual por medio de procesos ópticos no lineales de segundo y tercer orden son fundamentales en aplicaciones de procesamiento de información cuántica [1]. Por lo general, en estos procesos no lineales, la evolución temporal del estado se estudia aproximando el operador de evolución a primer orden en una serie de Taylor. No obstante, el Hamiltoniano que describe la interacción de estos procesos no conmuta a distintos tiempos. De ahí que, los efectos de ordenamiento temporal pueden ser importantes a altas eficiencias de conversión. En diversos estudios, se han explorado alternativas a las soluciones del operador de evolución como, por ejemplo, la serie de Dyson [2] y la expansión de Magnus [3]. Esta última alternativa presenta ciertas ventajas, tales como: 1) preservar la unitariedad de la evolución, independientemente del orden al que se trunque la expansión y 2) distinguir claramente los términos de la expansión relacionados con los efectos de ordenamiento temporal.

En este trabajo, se estudian efectos de ordenamiento temporal en procesos no lineales de tercer orden implementados en guías de onda integradas, empleando la expansión de Magnus. Estas guías de onda integradas se sustentan en una plataforma de nitruro de silicio. Siguiendo el enfoque que se presenta en [3], se aproximan la función de empatamiento de fases y la envolvente espectral del bombeo a funciones Gaussianas, y se evoluciona el estado con ayuda de la expansión de Magnus. Se muestra que, para un proceso de mezclado de cuatro ondas espontáneo, la función de amplitud espectral conjunta se ve modificada cuando se incluyen efectos de ordenamiento temporal (figura 1). Se identifican condiciones bajo las cuales se observan estados de dos fotones que exhiben un mayor grado de separabilidad cuando los efectos de ordenamiento temporal son considerados, en comparación a cuando estos son ignorados en la descripción de la interacción no lineal. Además, se muestra que los efectos de ordenamiento temporal son importantes a altas eficiencias de conversión, siempre que los fotones generados viajen junto al haz de bombeo por un tiempo considerable antes de salir del medio no lineal.



## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

**Figura 1.** Intensidad espectral conjunta para un proceso de mezclado de cuatro ondas espontáneo en una guía de onda de nitruro de silicio a) sin incluir efectos de ordenamiento temporal y b) incluyendo efectos de ordenamiento temporal. En estas gráficas y son las amplitudes espectrales conjuntas sin incluir efectos de ordenamiento temporal e incluyendo efectos de ordenamiento temporal, respectivamente y los módulos cuadrados y son sus respectivas intensidades espectrales conjuntas. La duración temporal del pulso de bombeo es representada por , mientras que, y son las desintonizaciones en frecuencia de los fotones señal y acompañante con respecto a las frecuencias centrales de emisión y .

### Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado financieramente por el Laboratorio Nacional de Nanofabricación de la UNAM, por los proyectos PAPIIT-IT101021, CONAHCYT No. 194758, y CF-2023-G-687

### Referencias

- [1] Aguayo-Alvarado, A. L., Domínguez-Serna, F., Cruz, W. D. L., & Garay-Palmett, K. (2022). An integrated photonic circuit for color qubit preparation by third-order nonlinear interactions. *Scientific Reports*, 12(1), 5154.
- [2] A. M. Brańczyk, T. M. Stace, and T. Ralph, *AIP Conf. Proc.* 1363, 335 (2011)
- [3] N. Quesada and J. E. Sipe, *Phys. Rev. A* 90, 063840 (2014).

# C11 Multi-plexación espectral de parejas de fotones, mediante modulación electro-óptica, aplicada a la Tomografía de Coherencia Óptica Cuántica

Pablo Yepiz-Graciano<sup>1</sup>, Mayte Y. Li-Gomez<sup>2</sup>, Taras Hrushevskiy<sup>2</sup>, Alfred B. U'Ren<sup>1</sup>, Shabir Barzanjeh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Ciudad de México, México*

<sup>2</sup>*Institute for Quantum Science and Technology, and Department of Physics and Astronomy University of Calgary, 2500 University Drive NW, Calgary, Alberta T2N 1N4, Canada*

Se utilizan moduladores Electro-Ópticos (EOM) para multiplexar el espectro bi-partita de la pareja de fotones. En [1] se describe un método para producir estados entrelazados en frecuencia utilizando modulación de fase y generación de bandas laterales en los módulos de transmisión y recepción de un protocolo de distribución de llaves cuánticas (QKD). Esta técnica ha sido utilizada para generar fotones entrelazados en frecuencia de dimensión 10 [2].

En este trabajo proponemos expandir el espacio de la distribución espectral conjunta (JSI) a un espacio extendido que nos podría permitir ampliar el concepto de bin de frecuencia postulado en [2]. Además probamos este tipo de estado ensanchado en un experimento de Tomografía de Coherencia Óptica Cuántica (QOCT), una técnica para la reconstrucción interna de muestras semitransparentes, donde es sabido que presenta las dos ventajas: doble resolución sobre la técnica clásica de OCT y es inmune a dispersión, sin embargo, tiene la desventaja de bajos flujos y la aparición de “artefactos” debidos a interferencia cruzada. Se han presentado algunas técnicas destinadas a eliminar dichos artefactos. En un trabajo previo mostramos una receta para eliminar estos artefactos a través una receta de ingeniería de estados cuánticos mediante pulsos ultracortos de femtosegundos [3]. En este trabajo logramos mediante multi-plexación espectral un control efectivo de los artefactos a través de los parámetros del modulador (voltaje, radio-frecuencia y fase), prescindiendo de la necesidad de usar pulsos cortos.

# Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

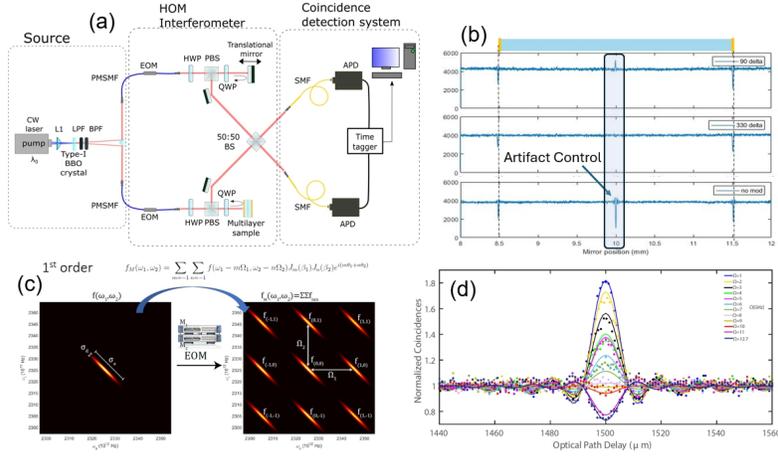


Fig. 1. (a) Arreglo experimental. (b) Muestra de dos capas mostrando la región completa de los Interferogramas. (c) Expansión espectral entrelazada. (d) Artificio controlado por la radio frecuencia.

[1] Jean-Marc Mérolla, Yuri Mazurenko, Jean-Pierre Goedgebuer, Henri Porte, and William T. Rhodes, *Phase-modulation transmission system for quantum cryptography*, Opt. Lett. 24, 104-106 (1999).

[2] Olislager, L. and Cussey, J. and Nguyen, A. T. and Emplit, P. and Massar, S. and Merolla, J.-M. and Huy, K. Phan, *Frequency-bin entangled photons*, Phys. Rev. A 82, 013804, 2010.

[3] Graciano, P.Y., Martínez, A.M.A., Lopez-Mago, D. et al. *Interference effects in quantum-optical coherence tomography using spectrally engineered photon pairs*, Sci Rep 9, 8954 (2019).

## C12 Respuesta espectral del modelo de Jaynes-Cummings deformado

Alejandro R. Urzúa

*Instituto de Ciencias Físicas, UNAM Campus Morelos*

Se estudia la respuesta espectral dependiente del tiempo en un modelo generalizado de Jaynes-Cummings [1]. Este modelo extiende los operadores de campo usuales a unos que dependen explícitamente de una función del operador de número, el cual realiza diferentes variantes del modelo usual [4]. Utilizando el esquema de medición correlacionada dependiente del tiempo, propuesto por Eberly and Wódkiewicz [2, 3], determinamos cómo la función de deformación, para un caso específico de esta, desvía el comportamiento de los niveles de energía del átomo y el campo, respecto del modelo estándar. Debido a que la influencia de la deformación es sobre los operadores de campo, se analiza la respuesta espectral del oscilador no-lineal, y subsecuentemente, cómo este comportamiento influye ahora en el acoplamiento de interacción átomo-campo. Se presentan resultados analíticos y numéricos, que demuestran un corrimiento en los picos espectrales respecto de las frecuencias características de transición para el átomo. Además de asimetrías en amplitudes, aun cuando el sistema se encuentra en resonancia, demostrando que la aparición de la deformación modifica las propiedades energéticas del sistema.

### **Agradecimientos**

Los resultados presentados son el esfuerzo conjunto de una gran colaboración con Dr. Ricardo Ancheyta (CFATA-UNAM), MSc. Luis Medina, Dr. Carlos González, Dr. Francisco Récamier (ICF-UNAM), y MSc. Diego Aranda (FC-UAEM).

### **Referencias**

- [1] L Medina-Dozal, A R Urzúa, D Aranda-Lozano, Carlos A González-Gutiérrez, J Récamier, and R Román-Ancheyta. "Spectral response of a nonlinear Jaynes-Cummings model". Submitted to Physical Review A. (Apr 30). 2024.
- [2] Eberly, J. H., & Wódkiewicz, K. (1977). The time-dependent physical spectrum of light\*. In Journal of the Optical Society of America (Vol. 67, Issue 9, p. 1252). Optica Publishing Group. <https://doi.org/10.1364/josa.67.001252>
- [3] Román-Ancheyta, R., Santos-Sánchez, O. de los, Horvath, L., & Castro-Beltrán, H. M. (2018). Time-dependent spectra of a three-level atom in the presence of electron shelving. In Physical Review A (Vol. 98, Issue 1). American Physical Society (APS). <https://doi.org/10.1103/physreva.98.013820>
- [4] Santos-Sánchez, O. de los, & Récamier, J. (2011). The f-deformed Jaynes-Cummings model and its nonlinear coherent states. In Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics (Vol. 45, Issue 1, p. 015502). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/0953-4075/45/1/015502>

## C13 Ordenamiento magnético efectivo de condensados de Bose-Einstein en cavidades ópticas de alta reflectancia.

Brahym Ríos Sánchez y Santiago Francisco Caballero Benítez.

*Departamento de Física Cuántica y Fotónica, LSCSC-LANMAC  
Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México,  
C.P. 04510, Ciudad de México, México*

Los sistemas de átomos ultrafríos confinados en cavidades ópticas de alta reflectancia se han empleado como una plataforma para la caracterización teórica y experimental de las propiedades de los estados cuánticos de la materia [1]. En nuestro trabajo encontramos que las interacciones atómicas modifican la transición al estado autoorganizado de un condensado de Bose Einstein de dos componentes confinado en un arreglo de cavidades ópticas cruzadas [2, 3]. Evidenciamos que la competencia entre interacciones atómicas de corto y largo alcance dan lugar a un vasto conjunto de ordenamientos magnéticos y espaciales. Asimismo, mostramos que la competencia, coexistencia y el control de los diferentes órdenes magnéticos efectivos emergentes puede llevarse a cabo modificando la geometría de los campos de luz y las interacciones atómicas de dos cuerpos por medio de resonancias de Feshbach. Nuestros resultados demuestran que es posible diseñar a demanda configuraciones magnéticas efectivas con potencial de ser aplicadas a la simulación cuántica análoga de materiales magnéticos bajo un contexto accesible experimentalmente con átomos ultrafríos [4].

### Agradecimientos

Agradecemos a T. Donner, F. Mivehvar y a H. Ritsch por las discusiones. Este trabajo es apoyado parcialmente por los fondos de los proyectos de investigación UNAM-DGAPA-PAPIIT:IN-118823 y CONAHCYT-CB:A1-S-30934.

### Referencias

- [1] Lewenstein M, Sanpera A and Ahufinger V. 2012. *Ultracold Atoms in Optical Lattices: Simulating quantum many-body systems* (Oxford University Press).
- [2] Morales A, Zupancic P, Leonard J, Esslinger T and Donner T. 2018. *Nat. Mater.* **17** 686–690.
- [3] Leonard J, Morales A, Zupancic P, Esslinger T and Donner T. 2017. *Nature* **543** 87–90.
- [4] Mivehvar F, Ritsch H and Piazza F. 2019. *Phys. Rev. Lett.* **122**(11) 113603.

## C14 Efecto Zeeman en las transiciones $5^2S_{1/2} \rightarrow 5^2P_{3/2}$ y $5^2S_{1/2} \rightarrow 6^2P_{3/2}$ de rubidio atómico como magnetómetro.

José Roberto Alonso Garduza<sup>1</sup>, Jesús Flores Mijangos<sup>1</sup>, Gersain Gabriel Quiroz Sánchez<sup>1</sup>, Angel Saturnino Estrada Román<sup>1</sup>, Fernando Ramírez Martínez<sup>1</sup>, José Ignacio Jiménez Mier y Terán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Ciencias Nucleares, Física de Plasmas e Interacción de Radiación con Materia, UNAM*

La espectroscopia láser es ampliamente utilizada para medir con precisión diversos campos magnéticos: desde la detección de imágenes por resonancia magnética de campos débiles mediante "sensores" ópticos de vapor atómico, hasta la implementación de SQUIDS (dispositivos superconductores de interferencia cuántica) comerciales para la exploración de yacimientos minerales. El propósito de este trabajo es mostrar que las transiciones del rubidio atómico pueden utilizarse para la detección de campos magnéticos pequeños (<5 G). Las transiciones a estudiar fueron la  $5^2S_{1/2} \rightarrow 5^2P_{3/2}$  y  $5^2S_{1/2} \rightarrow 6^2P_{3/2}$  para el isótopo de  $^{87}\text{Rb}$ . Se realizó un experimento de fluorescencia saturada mediante un láser de diodo incidente en vapor atómico de rubidio, en una celda que cuenta con un par de bobinas tipo Helmholtz para producir un campo magnético uniforme. La transición  $5^2S_{1/2} \rightarrow 5^2P_{3/2}$  se generó con un láser de 780 nm; la transición  $5^2S_{1/2} \rightarrow 6^2P_{3/2}$  puede producirse con un láser de 420 nm, pero hasta este momento sólo la hemos estudiado teóricamente. La geometría escogida para el experimento (polarización lineal de la luz paralela al campo magnético) permite sólo transiciones entre estados con valores de  $m_F$  iguales. Se escribió un programa en Mathematica para producir los diagramas de Breit-Rabi de los niveles involucrados (para ambas transiciones) y además calcular los elementos de matriz de la transición. Como resultado se obtuvo la posición y la intensidad del espectro de fluorescencia saturada en función del campo externo. Así mostramos que la transición cíclica  $F=2 \rightarrow F'=3$  (donde  $F'$  refiere al estado superior) es sensible a la presencia de campos magnéticos pequeños, lo cual está reflejado en cambios de intensidad en la estructura hiperfina del nivel  $5^2P_{3/2}$ . Logramos entonces detectar campos menores a los 5 G. El trabajo a futuro consistirá en obtener datos experimentales de la transición  $5^2S_{1/2} \rightarrow 6^2P_{3/2}$  y tratar de resolver las ecuaciones de población para poder recrear los espectros experimentales.

Agradecemos el apoyo por parte de PAPIIT IN118723, IN110623, SEP-CONACYT CB-2016-01 285289 y Laboratorio Nacional de Materia Cuántica (LANMAC, LNC 2023-51).

## C15 Polaritones excitónicos y sus condensados en microcavidades híbridas

Cerda-Mendez, Edgar A.<sup>1</sup>; Lara-Alfaro, Héctor F.<sup>1</sup>; Torres-Rosales, Angel A.<sup>1</sup>, Del Pozo Zamudio, Osvaldo<sup>1</sup>; Barranco-Cisneros, Jacob<sup>1</sup>; García-Ramírez, Eliseo<sup>1</sup>, Biermann, Klaus<sup>2</sup>; y Santos, Paulo<sup>2</sup>

*1. Instituto de Investigación en Comunicación Óptica, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Cordillera Karakorum 1470, Col. Lomas 4a sección, 78216, S.L.P, México*

*2. Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, Hausvogteiplatz 5-7, 10117, Berlin, Alemania*

La interacción luz-materia en el así llamado régimen de acoplamiento fuerte en microcavidades (MC) ópticas se ha convertido en un campo de investigación intenso y diverso en las últimas décadas[1]. En el régimen acoplamiento fuerte, fotones confinados en una MC planar y excitones en pozos cuánticos semiconductores o materiales 2D forman interaccionando dando origen a nuevos eigenmodos del sistema, es decir, cuasipartículas, llamadas polaritones excitónicos. Los polaritones son bosones compuestos en el régimen diluido y poseen una masa efectiva muy baja heredada de su componente fotónica. Además presentan interacciones debido a su componente excitónica. Estas propiedades les permite formar fases cuánticas macroscópicas (condensados o fluidos cuánticos de luz) a temperaturas elevadas (desde unos pocos kelvin hasta temperatura ambiente, dependiendo de la energía de enlace de los excitones en el material). En esta presentación, discutiré el trabajo realizado en el IICO-UASLP acerca de polaritónica en MC de estado sólido, con un enfoque en la propuesta de silicio poroso (PSi) como una plataforma novedosa para dispositivos de MC híbridas. Discutimos una técnica para la fabricación de alta precisión de reflectores de Bragg distribuidos PSi, que son componentes críticos para la fabricación de la MC[2] así como una exploración de MC híbridos creados mediante la combinación de materiales III-V o 2D con PSi. Esta exploración incluye un análisis del régimen de acoplamiento fuerte, el ruido fotónico y la condensación cuántica de polaritones en dichas estructuras.

Los autores agradecen el apoyo de CONAHCYT a través del proyecto de Ciencia de Frontera - SInergia FORDECYT/24SE/2020/09/30-03 No. 1564464

### Referencias:

[1] E. A. Cerda-Méndez, D. N. Krizhanovskii, M. S. Skolnick, and P. V. Santos, "Quantum fluids of light in acoustic lattices," J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 51, no. 3, p. 033001, 2018, doi: [10.1088/1361-6463/aa9ec7](https://doi.org/10.1088/1361-6463/aa9ec7).

[2] H. F. Lara-Alfaro et al., "In situ and real-time optical study of passive chemical etching of porous silicon and its impact on the fabrication of thin layers and multilayers," Journal of Applied Physics, vol. 134, no. 8, p. 085305, Aug. 2023, doi: [10.1063/5.0160447](https://doi.org/10.1063/5.0160447).

# C16 Existencia de estados ligados en condensados de Bose-Einstein atractivos con potenciales de pozo cuadrado y pozo parabólico

Juan Pablo Cordero Santiago<sup>1</sup> y Ricardo Méndez Fragoso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Matemáticas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, México, Coyoacán, C.P 04510, Ciudad Universitaria, CDMX.*

<sup>2</sup>*Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, México, Coyoacán, C.P 04510, Ciudad Universitaria, CDMX.*

El estudio del comportamiento de un condensado de Bose-Einstein (CBE) es tema de investigación reciente debido a los avances científicos que conlleva y a sus potenciales aplicaciones tecnológicas [1,2]. En este trabajo nos enfocamos en estudiar un CBE en una dimensión, cuyas partículas experimentan una interacción atractiva y están sometidas a un potencial de pozo cuadrado o a un potencial de pozo parabólico. En el caso del pozo cuadrado, se obtuvieron soluciones analíticas de la Ecuación No Lineal de Schrödinger en una dimensión e independiente del tiempo (ENLS-1D), estas soluciones están expresadas en términos de las funciones elípticas de Jacobi [3,4]; mientras que en el caso del pozo parabólico se obtuvieron soluciones numéricas de la ENLS-1D derivadas del método de Gauss-Seidel y del método de Newton [5]. Para ambas situaciones se estudiaron las condiciones que permiten la existencia de soluciones asociadas a estados ligados y se compararon entre ellas. Este trabajo servirá de preámbulo para una investigación cuyo objetivo será la caracterización general de las soluciones matemáticas admisibles de la ENLS-1D, para los potenciales mencionados (atractivos y repulsivos) dando su interpretación física dependiendo de su interacción ( $g < 0$  y  $g > 0$ ).

**Agradecimientos:** Este trabajo es posible gracias a la beca otorgada por CONAHCYT con número de CVU 996782 y proyecto PAPIIT 105924.

[1] L. D. Carr, K. W. Mahmud, and W. P. Reinhardt. Phys. Rev. A, 64:033603, Aug 2001.

[2] Méndez Fragoso Ricardo; Cabrera Trujillo Remigio. The European Physical Journal D, 69, 2015.

[3] M. Abramowitz and I.A. Stegun. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Applied mathematics series. U.S. Government Printing Office, 1964.

[4] F.W.J. Olver, D.W. Lozier, R.F. Boisvert, and C.W. Clark. Mathematical Functions: Companion to the Digital Library of Mathematical Functions. Cambridge University Press, 2010.

[5] R.J. LeVeque. Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equations: Steady-State and Time-Dependent Problems. Other Titles in Applied Mathematics. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007.

## C17 Amplificación paramétrica en resonancia y fuera de resonancia para la generación de estados comprimidos de luz en medios no lineales de tercer orden

F. A. Domínguez Serna<sup>1</sup>, J. Montoya-Cardona<sup>2</sup>, N. Casillas-Rodríguez<sup>2</sup>, M. Ocegueda-Miramontes<sup>2,3</sup>, E. Hernández-Hernández<sup>2</sup>, S. Stepanov<sup>2</sup>, K. Garay-Palmett<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CONAHCYT - Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, 22860; <sup>2</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, 22860; <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, 22860, México.

Durante los últimos años, se han empleado diversas técnicas y materiales no lineales para la generación y caracterización de estados comprimidos de luz. En la generación de dichos estados se pueden usar materiales con no linealidades de segundo o tercer orden. Si bien los de tercer orden tienen una no linealidad menor, ésta puede ser compensada con longitudes de interacción más largas, lo cual se puede lograr con la utilización de fibras ópticas. En este trabajo, presentamos avances experimentales de un estudio comparativo de la amplificación óptica paramétrica (AOP) en resonancia y fuera de resonancia en fibras ópticas microestructuradas de núcleo sólido de sílice fundido y de núcleo hueco rellenas con acetileno ( $C_2H_2$ ) para la generación y caracterización de estados de vacío comprimido [2]. La fibra de núcleo sólido representa el caso fuera de resonancia, en la cual analizamos la AOP a través del mezclado de cuatro ondas con pulsos de bombeos degenerados de picosegundos centrados en 737 nm, con lo cual es posible generar parejas de fotones señal/acompañante correlacionadas que posteriormente serán amplificadas paraméricamente para estudiar sus propiedades de compresión en un AOP. Por otro lado, en la fibra con acetileno, estudiamos el caso resonante y, evaluamos la ganancia del AOP utilizando un bombeo degenerado centrado a 1530 nm en un régimen cuasi continuo, cerca de la línea P9 de absorción del acetileno; específicamente, estudiamos la transformación de modulación de amplitud en modulación de fase. Este estudio comprende el desarrollo teórico de la interacción cuántica del proceso de amplificación paramétrica en un medio no lineal de tercer orden. Dicho medio es utilizado para amplificar estados comprimidos de luz que se generan en otro medio no lineal con características similares. Los efectos de compresión se incorporan a través de una descripción en modos temporales de la interacción. Este desarrollo, permite estimar el grado de compresión de un estado cuántico a través de la medición de una señal resuelta en espectro,

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

mediante la expresión  $\frac{d}{d\omega} \Delta N_{TOTAL}^m = \beta_m(\omega) \left[ e^{2g_m} (\tilde{x}_m^\dagger \tilde{x}_m^{\square o} - 1) \right] + \beta_m(\omega) \left[ e^{-2g_m} (\tilde{y}_m^\dagger \tilde{y}_m^{\square o} - 1) \right]$ ,

donde  $\tilde{x}_m^\dagger \tilde{x}_m^{\square o}$  y  $\tilde{y}_m^\dagger \tilde{y}_m^{\square o}$  se conocen como las intensidades de cuadratura para cada modo temporal y  $\beta_m(\omega) [\varphi_m(\omega)]$  son las funciones de amplitud de los modos temporales de señal (acompañante). La descripción anterior, permite calcular la ganancia paramétrica de cada modo temporal, el cual comparamos para los casos resonante y no resonante.

### Agradecimientos

Agradecemos a los proyectos CONAHCYT IIXM 709/2018, CF-2023-G-687.

### Referencias

[1] Slusher, R. E., Hollberg, L. W., Yurke, B., Mertz, J. C., and Valley, J. F., Physical Review Letters 55(22), 2409–2412 (1985).

[2] Jorge A. Montoya-Cardona, Francisco D. Domínguez-Serna, Nayeli Casillas Rodríguez, Manuel Ocegueda-Miramontes, Eliseo Hernández-Hernández, Serguei Stepanov, Karina Garay-Palmett, Proc. SPIE 12912, Quantum Sensing, Imaging, and Precision Metrology II, 129120C (2024).

## C18 Medición de la estructura hiperfina en estados de Rydberg $nS$ por selección de velocidades en los isótopos 85 y 87 de rubidio y aplicaciones a la detección de terahertz.

G. G. Quiroz S., J. E. Navarro N., L. M. Hoyos C., A. E. Diaz C., J. Flores M., F. Ramirez M., J. I. Jiménez M.

*Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM*

Los átomos de Rydberg son sistemas que interactúan fuertemente. Debido a sus exageradas propiedades han probado ser muy útiles como sensores cuánticos. En particular, los átomos de Rydberg pueden ser usados para la medición de campos en gran parte del espectro electromagnético, incluyendo la región de los terahertz. La región de los terahertz se define comúnmente como la región entre el infrarrojo y las microondas. En los últimos años, las investigaciones en la región de los terahertz han crecido exponencialmente debido a las múltiples aplicaciones que se han encontrado tanto en ciencia básica como en tecnología. La mayor parte de las aplicaciones se tratan de imagenología utilizando terahertz y para ello se han invertido grandes esfuerzos para desarrollar nuevos y mejores detectores. La propuesta de este trabajo es utilizar a los átomos de Rydberg como sensores de radiación en la región de terahertz. El proceso se basa en la conversión de fotones de terahertz a visible. Para lograrlo se propone utilizar dos estados de Rydberg cuya frecuencia de resonancia se encuentre justamente en la región de terahertz. Como consecuencia de la presencia de terahertz, se produce una dinámica de poblaciones de los estados de Rydberg involucrados, los cuales a su vez decaen emitiendo luz visible.. En este caso se han estudiado los estados de Rydberg  $nS$  con  $n= 19, 20$  y  $21$ , para los isótopos 85 y 87 de rubidio y se ha determinado experimentalmente la separación hiperfina de dichos estados. Para ello se utilizó una muestra de gas de rubidio atómico contenida en una celda de vidrio que fue calentada a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La celda contenía una mezcla de ambos isótopos en abundancia natural. La producción de los estados  $nS$  se logra mediante la transición en escalera  $5S \rightarrow 6P_{3/2} \rightarrow nS$ . En el primer paso se excita la transición  $5S \rightarrow 6P_{3/2}$  utilizando una láser sintonizable de  $420\text{ nm}$ , mientras que para el segundo paso, transición  $6P_{3/2} \rightarrow nS$  se utiliza un láser de aproximadamente  $1050\text{ nm}$ . El estado de Rydberg  $nS$  decae al nivel  $5P_{3/2}$  emitiendo luz de  $488\text{ nm}$  que es detectada por un tubo fotomultiplicador. La medición de la estructura hiperfina puede realizarse aprovechando el efecto de selección de velocidades debido a la energía térmica de los átomos. Para el isótopo 87, con  $n = 20$  y  $21$ , los resultados obtenidos están en concordancia con las mediciones reportadas en [1]. Para el isótopo 87, con  $n=19$ , y el isótopo 85 con  $n=19, 20$  y  $21$  no hay mediciones previamente reportadas.

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

**Agradecimientos:** Se agradece el apoyo otorgado a través del programa PAPIIT IN118723 Y IN110623, así como el apoyo otorgado mediante el programa SEP-CONACYT CB-2016-01 285289. También se agradece el apoyo recibido del Laboratorio Nacional de Materia Cuántica, LANMAC LNC 2023-51.

[1] Atreju Tauschinsky et al., Phys Rev. A 87, 042522 (2013).

## C19 El modelo del electrón libre aplicado a colisiones de $O^- + N_2$

Aldo Angel Martínez Calderón<sup>1</sup>, Marcelo Martins Sant'Anna<sup>2</sup>, Guillermo G. Hinojosa Aguirre<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México*

<sup>2</sup>*Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro*

En esta plática detallo la información que se obtiene al analizar la sección transversal correspondiente a la colisión molecular entre aniones de oxígeno  $O^-$  y nitrógeno molecular  $N_2$  a energías del orden de keV. En particular, hablamos sobre el comportamiento del 'electrón extra' al estar ligado al átomo. Durante la presentación, hablaré sobre nuestro sistema de colisiones y discutiré cómo el resultado es similar al de un electrón libre interactuando con el mismo dispersor. Además, hemos observado que este fenómeno ocurre dentro de un intervalo específico de velocidades del proyectil, por lo tanto, detallaré cómo aprovechamos nuestros resultados experimentales y las secciones transversales reportadas en la literatura (ej. [1]) para este sistema a diversas energías. Basándonos en la aproximación del electrón libre, presentamos una expresión analítica sencilla que nos permite establecer los límites de velocidad en los que esto sucede [2]. Para este estudio se utilizan las secciones obtenidas con una de las dos técnicas usadas en nuestro laboratorio y reportadas anteriormente [3,4], llamado técnica de atenuación del haz neutro (SGR). Consiste en monitorear el haz neutro resultante de una colisión del proyectil de aniones (compuesto por partículas cargadas de  $O^-$ ) con el dispersor ( $N_2$ ). El incremento de la intensidad de cada uno conforme aumenta la cantidad de partículas objetivo ( $N_2$ ) nos indica el valor del área de interacción (la sección transversal). Los iones del haz original son formados en un contenedor enriquecido de electrones y una mezcla gaseosa de Ar y  $O_2$  dentro de una cámara de vacío: con los distintos electrodos del acelerador de partículas los iones son acelerados, enfocados y separados de manera que solo el haz de  $O^-$  entre al contenedor e interactúe con el gas  $N_2$  a presiones controladas.

**Agradecimientos** Agradecemos el apoyo económico a Brazilian agency Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, Project No. E-262109342019 y CONAHCYT No. CF-2023-I-918.

### Referencias

[1] R. A. Bennett, J. T. Moseley, and J. R. Peterson, Electron loss cross sections for  $O^-$ ,  $O_2^-$ ,  $NO_2^-$ , and  $NO_3^-$  in several gases, J. Chem. Phys. 62, 2223 (1975).

[2] A. A. Martínez-Calderón, M. M. Sant'Anna, and G. Hinojosa, Electron-detachment cross sections for  $O^- + N_2$  near the free-collision-model velocity threshold. Phys. Rev. A 109, 032806.

[3] Lira, A., Martínez, A., Escalante, A., Vergara, S. and Hinojosa, G. Electron loss of  $CH^-$  and induced by interactions with  $N_2$  and  $O_2$  at keV energies. International Journal of Mass Spectrometry, 469, 116681 (2021).

[4] Vergara S., Martínez A.A., Peñalver F.R., Hinojosa G. Electron detachment cross section of H-induced by collisions with  $O_2$ . Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, 54 (15), 155201 (2021).

## C20 Espectroscopia por absorción de parejas de fotones entrelazados asistida por inteligencia artificial

Áulide Martínez-Tapia, Roberto de J. León-Montiel

*Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-543, 04510 Cd. Mx., Mexico*

En este trabajo, proponemos un marco experimental diseñado para abordar los principales desafíos al implementar la espectroscopía de absorción de dos fotones entrelazados (eTPA), a saber [1], la necesidad de promediar realizaciones experimentales con diferentes correlaciones temporales entre los fotones absorbidos y el requisito de conocimiento, a priori, del nivel de energía intermedio más bajo del medio bajo estudio. Nuestro esquema consiste en un protocolo de aprendizaje automático (ML) para extraer información sobre la estructura electrónica, específicamente el número de niveles intermedios de la muestra absorbente, mediante el análisis de la señal eTPA correspondiente. Esto se logra entrenando una red neuronal artificial (ANN) con señales eTPA modeladas solo en función de un retraso temporal externo,  $\tau$ , entre los fotones señal y acompañante. Consideramos sistemas de uno a cuatro niveles intermedios elegidos aleatoriamente para tres tamaños diferentes de la banda de niveles intermedios,  $\Delta\lambda=10, 30, 40$  nm. Además, consideramos tres casos para la separación mínima entre niveles intermedios: 1, 0.5 y 0.1 nm. Después del entrenamiento, las eficiencias promedio de clasificación para la resolución máxima de muestreo (0.1 nm) es 99.84%, 86.47%, 66.21% para  $\Delta\lambda=10, 30, 40$  nm, respectivamente. Debido a su simplicidad, y al hecho de que utilizamos parámetros como el intervalo de tiempo  $\tau$ , y el ancho espectral de fuentes de fotones entrelazados que han sido utilizadas en trabajos de eTPA previos [2-6], el esquema propuesto podría ser atractivo para el desarrollo e implementación de técnicas de espectroscopia cuántica no-lineal inteligente.

### Agradecimientos

Este trabajo es financiado a través el proyecto IN101623 del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM.

### Referencias

- [1] H.-B. Fei, B. M. Jost, S. Popescu, B. E. A. Saleh, and M. C. Teich, *Entanglement-induced two-photon transparency*, Phys. Rev. Lett. **78**, 1679 (1997).
- [2] D.-I. Lee and T. Goodson, *Entangled photon absorption in an organic porphyrin dendrimer*, J. Phys. Chem. B **110**, 25582 (2006).
- [3] R. de J. León-Montiel, J. Svozilik, J. P. Torres, and A. B. U'Ren, *Temperature-controlled entangled-photon absorption spectroscopy*, Phys. Rev. Lett. **123**, 023601 (2019).
- [4] R. de J. León-Montiel, J. Svozilik, L. J. Salazar-Serrano, and J. P. Torres, *Role of the spectral shape of quantum correlations in two-photon virtual-state spectroscopy*, New J. Phys. **15**, 053023 (2013).
- [5] S. Corona-Aquino, O. Calderón-Losada, M. Y. Li-Gomez H. Cruz-Ramírez, V. Alvarez-Venicio, M. P. Carreón-Castro, R. de J. León-Montiel, and A. B. U'Ren, *Experimental study of the validity of entangled two-photon absorption measurements in organic compounds*, J. Phys. Chem. A **126**, 2185 (2022)
- [6] Á. Martínez-Tapia, S. Corona-Aquino, Y. Chen, J. Rui-Bo, O. Calderón-Losada, D. Shi-Hai, A. B. U'Ren, and R. de J. León-Montiel, *Witnessing entangled two-photon absorption via quantum interferometry*, APL Photonics **8**, 036104 (2023).

## C21 Atrapamiento y fragmentación en la dinámica de un solitón brillante a través de impurezas en un chip atómico

C. E. de la C. Roman y R. Cabrera-Trujillo

*Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ap. P. 48-3, 62210, Cuernavaca, Morelos, México*

La propagación de ondas de materia ultra-fría (Condensados de Bose-Einstein) a través de guías de onda es muy importante en chips atómicos y atomtrónica en general. Es por esto que en este trabajo realizamos el estudio sistemático de los efectos de una impureza en una guía 1D sobre la dinámica de un solitón brillante en la ecuación de Gross-Pitaevskii para distintos valores de la no-linealidad. Caracterizamos las regiones en donde se observa reflexión, transmisión y atrapamiento para un potencial tipo delta de Dirac, un pozo de potencial atractivo y un escalón de potencial. Para ello utilizamos el método pseudo-espectral en la base de Fourier y comparamos nuestros resultados con un ansatz variacional. Encontramos características similares al efecto Ramsauer-Townsend. En la dinámica no-lineal, la resonancia entre el pozo de potencial y la onda de materia juega un papel muy importante en el atrapamiento de materia en distintos estados estacionarios. Asimismo, encontramos que un ansatz variacional restringe la dinámica del sistema para la mayoría de situaciones de interés, puesto que limita la dinámica al ansatz variacional.

Agradecimientos a DGAPA-PAPIIT IN-109-623.

## C22 Simulación de caminatas aleatorias multifotónicas en redes de divisores

Mario Ivan Estrada Delgado y Zurika Iveth Blanco Garcia

*Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Carr. Lago de Guadalupe  
Km. 3.5, CP. 52926, Estado de México, Mexico*

Es bien conocido que cuando un divisor de haz interactúa con un fotón, este exhibe una rotación en el estado que lo describe. En el presente trabajo generalizamos esta idea de manera que, incrementando la dimensión del espacio en la que se hacen las rotaciones, es posible analizar de una manera sencilla e intuitiva redes de divisores de haz. Esto nos ha permitido estudiar una gran variedad de configuraciones entre de las que destacamos arreglos cuadrados y no cuadrados de divisores de haz con múltiples entradas, el efecto Zeno cuántico y la máquina de Galton. La flexibilidad de nuestro método nos permite describir, incluso, cómo cambian los operadores de estado, permitiendo el estudio de la estadística de multifotones en redes de divisores.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen el apoyo recibido del Tecnológico de Monterrey, campus Estado de México, en la realización de este trabajo.

### **Referencias**

Estrada-Delgado, M.I., Blanco-Garcia, Z. Simulations of quantum walks on beam splitter arrays modeled as higher-order rotations. Eur. Phys. J. Plus 139, 261 (2024). <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-024-05050-0> .

## C23 Exploring entanglement dynamics in an optomechanical cavity with a type-V qutrit and quantized two-mode field

M. A. Medina-Armendariz, L. F. Quezada, G. H. Sun, S. H. Dong

CIC-IPN

E-mail: [mmedinaa2022@cic.ipn.mx](mailto:mmedinaa2022@cic.ipn.mx); [lf\\_quezada@outlook.com](mailto:lf_quezada@outlook.com); [sunghdb2@yahoo.com](mailto:sunghdb2@yahoo.com); [dongsh2@yahoo.com](mailto:dongsh2@yahoo.com)

Abstract

The main objective of this work is to measure the degree of interaction of a type-V qutrit with a two-mode quantized field in an optomechanical cavity [1]. We first deduce the Hamiltonian in the interaction picture to identify the oscillatory terms and then obtain the effective Hamiltonian analytically. By selecting initial conditions for the atom, the two-mode field, and the moving mirror, we can determine the state vector of the entire system through a first-order approximation of the effective Hamiltonian. With this information, we proceed to solve the Schrödinger equation, generating a coupled set of differential equations that is solved numerically based on the initial conditions. The atomic von Neumann entropy allows us to obtain the temporal evolution of the degree of entanglement of the qutrit in the cavity and the atomic population inversion. The results indicate that entanglement in this tripartite system, composed of the qutrit and the mirror-field subsystems, as well as the population inversion, can be manipulated by the initial state conditions of the system, the qutrit-field and mirror-field coupling coefficients, the pump field, and the dissipation rates of the two-mode field and the movable mirror, respectively.

### Acknowledgement:

We thank the partial support of Project 20240220-SIP-IPN.

### Referencias

[1] Miguel A. Medina-Armendariz, L.F. Quezada, Guo-Hua Sun, Shi-Hai Dong, Physica A 635 (2024) 129514.

## C24 Simetrías aproximadas de moléculas de Rydberg de largo alcance, incluidos los efectos de espín

H. Rivera-Rodríguez y R. Jáuregui

*Instituto de Física,*

*Universidad Nacional Autónoma de México, Ap. Postal 20-364, Cd. de México 01000, México*

Se identifica a un operador que genera una simetría aproximada de las moléculas de Rydberg de largo alcance (LRRM) que están formadas por dos átomos alcalinos, uno en estado de Rydberg y el otro en su estado fundamental. Para ello se utilizan dos metodologías. Una basada en la evaluación de los orbitales naturales asociados con un cálculo variacional de la función de onda dentro del esquema de Born-Oppenheimer de la molécula que incluye ya sea el pseudopotencial de Fermi  $s$  ó  $p$  y términos de acoplamiento hiperfino. La segunda metodología involucra un análisis perturbativo. Se muestra que los orbitales resultantes con el número de ocupación más alto son idénticos a los obtenidos mediante el modelo perturbativo para LRRM de alto momento angular (trilobites y mariposas). Estos estudios muestran la existencia de una simetría aproximada generada por el operador  $\mathbf{N} = \mathbf{s}^{\text{I}} + \mathbf{s}^{\text{V}} + \mathbf{i}$  formado por la suma a suma del espín del electrón de Rydberg  $\mathbf{s}^{\text{I}}$ , el espín del electrón de valencia  $\mathbf{s}^{\text{V}}$  y el espín del núcleo  $\mathbf{i}$ . Esta cuasi simetría es más evidente cuando la dependencia de los defectos cuánticos del electrón de Rydberg en su momento total  $\mathbf{j} = \mathbf{l} + \mathbf{s}^{\text{I}}$  es ligera. Los orbitales de espín que diagonalizan  $\mathbf{N}$  definen conjuntos de bases compactos para la descripción de LRRM más allá de las aproximaciones antes mencionadas. Los elementos matriciales del hamiltoniano en estos conjuntos de bases tienen expresiones simples, de modo que la relevancia de las contribuciones tripletes y singletes puede ser directamente estimadas. Se describen brevemente a las consecuencias esperadas de esta cuasi simetría de espín aproximada en los espectros de las LRRM.

Agradecimientos.

# C25 Vectorización de la matriz de densidad y simulación cuántica de la ecuación de von Neumann

*Alejandro Kunold*

*Área de Física Teórica y Materia Condensada, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa- Tamaulipas, 02200 Ciudad de México, Mexico*

*Instituto de Física, Circuito de la Investigación Científica Ciudad Universitaria, 04510 CDMX, Mexico*

En este trabajo se desarrolla un marco general para vectorizar la ecuación de von Neumann dejándola en una forma adecuada para la simulación cuántica. Usando este marco se desarrolla un algoritmo cuántico [1] para determinar la evolución temporal de la matriz de densidad. Apartándose del método convencional de expandir la matriz de densidad a partir del espacio de Liouville formado por matrices uno [2,3], expresamos la ecuación de von Neumann en términos de cadenas de Pauli. Esto presenta varias ventajas en el proceso de tomografía cuántica y la formulación de las matrices hamiltonianas que generan la evolución temporal. En primer lugar, el uso de cadenas de Pauli da lugar a coeficientes de la matriz de densidad puramente reales que facilitan enormemente el proceso de tomografía cuántica. Adicionalmente, éste método permite construir el operador de evolución temporal como una secuencia de compuertas hamiltonianas que conmutan entre sí, evitando la trotterización [4,5] del circuito y así disminuyendo la profundidad del mismo. El algoritmo es demostrado para varios hamiltonianos por medio del simulador ruidoso de circuitos cuánticos de IBM [6].

## **Agradecimientos**

Agradezco a A. Vega, A. Martínez y S. Noyola por sus valiosas aportaciones e inspiradoras discusiones. Este trabajo fue apoyado financieramente por el Departamento de Ciencias Básicas de la UAM A proyecto no. 22322028. Estoy en gran deuda con el IFUNAM por su hospitalidad. Reconozco el uso de los IBM Quantum services para este trabajo. Las opiniones expresadas son las del autor y no reflejan la política o posición oficial de IBM ni del equipo IBM Quantum.

## **Referencias**

- [1] Lloyd S 1996 Science 273 1073
- [2] Kamakari H, Sun S-N, Motta M and Minnich A J 2022 PRX Quantum 3 010320
- [3] Havel T F 2003 J. Math. Phys. 44 534
- [4] Trotter H F 1958 Pacific Journal of Mathematics 8
- [5] Suzuki M 1992 Phys. Lett. A 165 387
- [6] Kunold A Phys. Scr. 99 (2024) 065111

## C26 Evolución temporal de un sistema optomecánico cuántico forzado en el régimen de acoplamiento fuerte.

Luis Alberto Medina Dozal y José Francisco Récamier Angelini

*Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México.*

En este trabajo obtenemos el operador de evolución temporal para un sistema optomecánico cuántico forzado usando métodos algebraicos de Lie cuando el acoplamiento normalizado entre el campo el y el oscilador mecánico,  $G/\omega_m$ , no es despreciable comparado con uno, i. e., el sistema opera en el régimen de acoplamiento fuerte. Debido al término de forzamiento, el Hamiltoniano en la representación de interacción contiene al operador de número en los exponentes, para tratar con esto, aproximamos dichas exponenciales por sus valores esperados tomando como estado inicial un estado coherente. Bajo esta aproximación calculamos el valor medio de fotones, fonones, parámetro de Mandel y la función de Wigner. Nuestra aproximación se justifica comparando nuestros resultados con resultados dados por una solución puramente numérica. En contraste con otros trabajos, nuestro enfoque no usa la descripción lineal estándar en la interacción optomecánica. Por consiguiente, estados altamente no-clásicos del campo emergen durante la evolución temporal.

### **Agradecimientos**

Agradecemos el apoyo parcial por parte del proyecto DGAPA-UNAM IN109822.

## C27 Absorción de dos fotones y estructura geométrica y electrónica de la molécula HITC y otras cianinas

Luis Guillermo Mendoza-Luna<sup>1,2</sup>, Cesar A. Guarín<sup>1,2</sup>, Juan Francisco Galicia López<sup>1</sup>, E. Haro-Poniatowski<sup>1</sup>, Javier Alejandro Díaz Ponce<sup>1</sup>, J. L. Hernández-Pozos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Investigador por México - Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco No. 186 Col. Vicentina, C.P. 09340 México D.F., México.

<sup>2</sup>Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco No. 186 Col. Vicentina, C.P. 09340 México D.F., México.

Las propiedades de absorción de dos fotones de una molécula orgánica están fuertemente ligadas a su estructura electrónica y propiedades geométricas. Lo anterior es relevante para la pregunta de qué parámetros estructurales maximizan las secciones eficaces de absorción de dos fotones de las moléculas. Dicha propiedad de la cianina HITC diluida en metanol fue medida, obteniéndose un pico de 1838 GM para una excitación de 830 nm. Los resultados se interpretan a la luz de la estructura electrónica del HITC y se presenta un análisis de las propiedades ópticas de varias cianinas, enfatizando las semejanzas y diferencias entre el HITC (usado como caso de estudio) y otras moléculas relevantes.

El grupo de trabajo agradece profundamente el apoyo del CONAHCYT a través del programa Investigadores por México (antes Cátedras CONACYT), así como al Departamento de Física de la UAM-Iztapalapa. También agradece a la UAM-Iztapalapa y a LANCAD el acceso al clúster Yoltla.

## C28 Cambios drásticos en las mediciones de un gravímetro atómico por aberraciones de una apertura.

J.M. Cervantes Martínez, Eduardo Gómez

*Instituto de Física, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí 78295, México.*

Las aberraciones de los haces Raman son unas de las contribuciones más importantes de la incertidumbre en las mediciones de gravímetros atómicos, y representan actualmente un gran reto para superarlas, tanto del lado teórico como experimental. En la constante búsqueda de la miniaturización de dichos sensores, se vuelve inevitable la presencia de una apertura dentro del camino de los haces Raman. La caracterización del efecto de dichas aperturas se ha estudiado previamente en la literatura actual haciendo uso de modelos teóricos simples para poder caracterizar los datos experimentales. Nosotros partimos de primeros principios para analizar detalladamente los efectos y encontramos que una apertura causa un corrimiento no fácilmente cuantificable, y, por lo tanto, en su lugar establecimos cotas a su magnitud. Encontramos que la corrección decae de manera Gaussiana con el tamaño de la apertura normalizada por la cintura del haz ( $a/W_0$ ) donde las aberraciones del frente de onda de los haces contribuyen en este fenómeno, sin embargo, sorprendentemente las variaciones en intensidad causan un corrimiento similar en magnitud, pero con un origen completamente distinto. Variaciones en un perfil transversal de intensidad introducen correcciones a la transferencia de momento axial comparadas contra  $\lambda k$ . El efecto es particularmente preocupante para nubes atómicas más pequeñas que las variaciones transversales del patrón de difracción. Concluimos que estos efectos debidos a una apertura definitivamente deben de considerarse para mediciones al nivel de  $1\mu$  gal.

Nuestra investigación se encuentra publicada en JOSAA:

<https://opg.optica.org/josaa/abstract.cfm?uri=josaa-41-5-881&origin=search>

Financiamiento: CONAHCYT CF G40 y COPOCYT 23871.

## C29 Una nueva medida entrópica de direccionamiento de EPR y su relación con criterios existentes

Alma Elena Piceno Martínez, Laura Elena Casandra Rosales Zárate

*Centro de Investigaciones en Óptica, A.C.*

Las correlaciones cuánticas son una consecuencia significativa de los fundamentos de la mecánica cuántica, en la actualidad se entienden como recursos que un sistema tiene para poder realizar protocolos de información cuántica. El direccionamiento (*steering*) de EPR es una de estas correlaciones; surge de las propiedades observadas en el famoso experimento de EPR. Debido a que permite la realización de tareas cuánticas, es importante poder discernir si existe o no direccionamiento en un sistema cuántico y qué tanto del recurso hay disponible. Esto lo hacemos con criterios y medidas de direccionamiento, respectivamente. El avance en el desarrollo de criterios de direccionamiento ha sido significativo en las últimas décadas, sin embargo el caso de las medidas no es el mismo.

En este trabajo proponemos una medida entrópica del direccionamiento para el estado de un sistema basada en un criterio [1] que surge de una relación de incertidumbre entrópica. Con esta relación de incertidumbre se puede definir una cantidad que llamamos *indicador*; permitiendo crear una sencilla relación: si el indicador es más chico que la cota (inferior) de la relación de incertidumbre, entonces hay direccionamiento cuántico. Una vez que sabemos esto, proponemos una medida para cuantificar el direccionamiento como el máximo valor de la violación a la relación anterior, comparando los valores del indicador y la cota para un estado cuántico dado.

Aquí hablaremos sobre las propiedades de tal medida propuesta y discutiremos cómo se compara con otras medidas en cuanto a sensibilidad de detección. La medida que proponemos posee propiedades importantes desde el punto de vista de la cuantificación de las correlaciones cuánticas, así como tiene la característica de ser asimétrica, reflejando la propiedad del direccionamiento de no ser igual en ambas direcciones el efecto de la correlación de un sistema sobre el otro. Otra característica significativa es el que esta medida utiliza en su definición a la entropía generalizada de Tsallis, permitiendo ampliar el análisis del direccionamiento en estados cuánticos.

En cuanto a la comparación con otras cantidades existentes, lo hacemos a través del análisis de un tipo fundamental de estados en el campo de la información cuántica: los estados de dos qubits con ruido, incluyendo estados de Werner, estudiando las medidas consideradas a través de los parámetros de ruido del estado. Encontramos que la medida que proponemos cumple con la relación necesaria de ser menor que el enredamiento, obtuvimos el valor de nuestra medida con el parámetro de ruido, calculamos diversos criterios y el valor crítico del parámetro de ruido donde se comienza a detectar direccionamiento. Los valores críticos de nuestra medida se comparan bien con aquellos de las otras cantidades consideradas, detectando

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

direccionamiento para un mayor rango de estados. Hay que remarcar que no todos los criterios calculados, entre ellos algunos de suma importancia, como [2], fueron capaces de demostrar la presencia de direccionamiento en nuestro sistema. Estos resultados demuestran la incrementada sensibilidad de esta medida y señalan al hecho de que es adecuada para asignarle un valor al grado de direccionamiento.

Este trabajo está basado en un artículo de investigación que fue enviado a revisión recientemente.

### **Agradecimientos**

Las autoras agradecen el apoyo económico de CONAHCYT-México para la realización de este proyecto.

### **Referencias**

[1] A. C. S. Costa, R. Uola y O. Gühne; *Entropy* 20, 762 (2018).

[2] M. D. Reid; *Physical Review A*, 40, 913–923 (1989).

## C30 Caracterización espectral de parejas de fotones mediante interferometría cuántica

Samuel Corona Aquino<sup>1</sup>, Zi-Qi Zeng<sup>2</sup>, Tao Xie<sup>2</sup>, Shi-Xin You<sup>2</sup>, Dan Xu<sup>2</sup>, Baihong Li<sup>3</sup>, Yukun Song<sup>4</sup>, Dongzhou Wang<sup>5</sup>, Yun Meng<sup>6,7</sup>, Kai Zou<sup>6,7</sup>, Xiaolong Hu<sup>6,7</sup>, Chenglong You<sup>8</sup>, Alfred B. U'Ren<sup>1</sup>, Roberto de J. León-Montiel<sup>1</sup>, Rui-Bo Jin<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>*Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-543, 04510 CDMX, México*

<sup>2</sup>*Hubei Key Laboratory of Optical Information and Pattern Recognition, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China*

<sup>3</sup>*School of Physics and Information Science, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China*

<sup>4</sup>*State Key Laboratory of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100, China*

<sup>5</sup>*Jinan Institute of Quantum Technology and Jinan Branch of Hefei National Laboratory, Jinan 250101, China*

<sup>6</sup>*School of Precision Instrument and Optoelectronic Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China*

<sup>7</sup>*Key Laboratory of Optoelectronic Information Science and Technology, Ministry of Education, Tianjin 300072, China*

<sup>8</sup>*Quantum Photonics Laboratory, Department of Physics and Astronomy, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803, USA*

En este trabajo mostramos experimentalmente la caracterización espectral de un par de fuentes de luz cuántica basadas en conversión paramétrica descendente espontánea (SPDC), utilizando una hibridación entre un interferómetro de estados N00N (N00N-SI) y un Hong-Ou-Mandel (HOM-I), que permite obtener simultáneamente información sobre la suma y diferencia de frecuencias de la fuente. La idea básica detrás del método es aprovechar que el interferograma obtenido, que presenta dos anchos temporales característicos,  $\tau_a$  y  $\tau_b$ , correspondientes a las señales del HOM-I y del N00N-SI, respectivamente [1]. Como se observa en la Figura 1, al tomar la envolvente superior e inferior de la señal medida, se pueden desacoplar los anchos temporales y obtener de manera independiente las señales típicas de ambos interferogramas, así al tomar su transformada de Fourier, se obtendrá tanto la función de emparejamiento de fase (phase-matching) como la envolvente espectral del bombeo. A partir de esas dos funciones es posible reconstruir la intensidad espectral conjunta (JSI) de la fuente basada en SPDC. Nuestros resultados utilizando esta técnica tienen buena concordancia con la JSI medida directamente utilizando un espectrómetro de fibra [2]. Mostramos que, a pesar de ser una técnica limitada a estados simétricos ante intercambios de frecuencias, es un método muy útil ya que permite disminuir la dimensionalidad del problema siendo capaz de reconstruir un objeto bidimensional con una sola medición temporal.

# Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

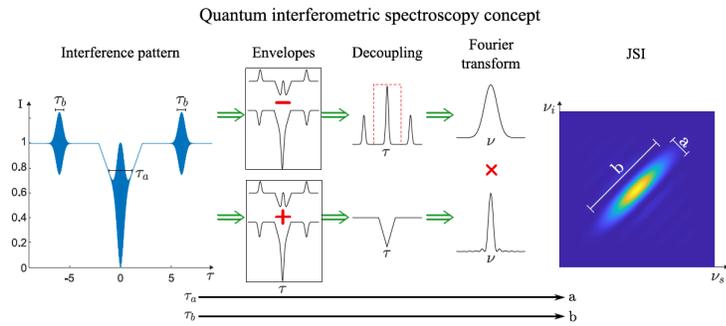


Fig. 1: Conceptualización de la espectroscopía mediante interferometría cuántica en la que es posible caracterizar las correlaciones de un estado producido por conversión paramétrica descendente espontánea (SPDC) utilizando una única medición temporal.

## Referencias

- [1] B. Li, C. Chen, X. Xiang, R. Quan, R. Dong, S. Zhang, X. Hao, and R.-B. Jin, Phys. Rev. A 108, 023713 (2023).
- [2] K. Zielnicki, K. Garay-Palmett, D. Cruz-Delgado, H. Cruz-Ramirez, M. F. O'Boyle, B. Fang, V. O. Lorenz, A. B. U'Ren, and P. G. Kwiat, Journal of Modern Optics 65, 1141 (2018),

## C31 Espectros dependientes del tiempo de un átomo con interferencia de dos transiciones

Héctor M. Castro Beltrán<sup>1</sup>, Ricardo R. Ancheyta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,  
Universidad Autónoma del Estado de Morelos,  
Avenida Universidad 1001, Col. Chamilpa, 62209 Cuernavaca, Mor. México*

<sup>2</sup>*Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada,  
Universidad Nacional Autónoma de México,  
Boulevard Juriquilla 3001, 76230 Querétaro, México*

Usamos el formalismo de espectro físico de Eberly y Wódkiewicz para calcular el espectro dependiente del tiempo de la luz emitida por un átomo con estructura  $J=1/2 - J'=1/2$ , y rompiendo la degeneración por efecto Zeeman. Preparando el átomo en un estado inicial con ambos estados superiores o ambos estados inferiores igualmente poblados, las transiciones  $\pi$  ( $m=m'$ ) interfieren y producen batimientos cuánticos. Estos se manifiestan espectralmente como dobletes. En el caso de emisión espontánea, el espectro inicia con un solo pico, luego emerge el doblete e inicia su *desvanecimiento* a tiempos largos [1]. En el caso de fluorescencia resonante por iluminación con un láser monocromático, el espectro a tiempos largos consta de una banda central y dobletes laterales [2], pero su formación es asimétrica y con oscilaciones en el tiempo. El ancho de banda del filtro, que permite el cumplimiento de la relación de incertidumbre tiempo-energía, debe escogerse en conjunto con los parámetros del átomo, el láser y el campo magnético.

### Agradecimientos

HMCB agradece al Programa de Movilidad Nacional UAEM-UNAM.

### Referencias

[1] Héctor M. Castro Beltrán and Ricardo R. Ancheyta, en preparación.

[2] Héctor M. Castro Beltrán, O. de los Santos-Sánchez, L. Gutiérrez, A. D. Alcantar, Phys. Rev. A **109**, 013702 (2024)

## C32 Estructuras de densidad en condensados de Bose-Einstein moleculares

A. del Río-Lima<sup>1</sup>, J.A. Seman, R. Jáuregui, F. J. Poveda-Cuevas<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México,*

*01000 Ciudad de México, México*

*<sup>2</sup>Cátedras CONAHCyT - Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, 01000 Ciudad de México, México*

En este trabajo presentaremos un análisis de patrones periódicos temporales y espaciales que surgen en el perfil de densidad en un condensado de Bose-Einstein molecular de Litio como respuesta a una resonancia paramétrica externa. La dinámica de esta modulación de densidad se estudia bajo diferentes condiciones de geometrías y origen de las modulaciones. Se presentan detalladamente algunos análisis del forzamiento energético de la trampa y la interacción como una función de la geometría y la frecuencia de excitación. Finalmente, se hace un análisis de la densidad de corriente y la estructura de fase, mostramos cómo se crean las estructuras de densidad producto de interferencia de fonones.

### **Agradecimientos**

A.R.L. y F.J.P.C. agradecen a CONAHCyT. CF-2023-I-72 y A1-S-39242; también DGAPA-UNAM-PAPIIT a través de los proyectos IN109021 y IN105724, y CIC-UNAM con los proyectos LANMAC-2023 y LANAMC-2024. A.R.L. agradece a CONAHCyT por el apoyo de la beca de posgrado

## C33 Principio de incertidumbre de Heisenberg para el átomo de hidrógeno confinado por una cavidad esférica impenetrable.

José Roberto Reyes García<sup>a,b</sup>, Salvador A. Cruz Jiménez<sup>a</sup>, Remigio Cabrera Trujillo<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> *Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana–Iztapalapa, Ciudad de México*

<sup>b</sup> *Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuernavaca, Morelos*

Las relaciones de incertidumbre de Heisenberg son un principio fundamental en la mecánica cuántica. Este nos permite determinar la incompatibilidad en la medición simultánea entre dos observables. En este trabajo exploramos los efectos sobre el comportamiento de las relaciones de incertidumbre de Heisenberg del átomo de hidrógeno, esto como resultado del confinamiento espacial producido por una cavidad esférica impenetrable. Con el fin de determinar dicho comportamiento tanto en su representación radial como vectorial, resolvemos la ecuación de Schrödinger mediante el método de diferencias finitas. Nuestros resultados muestran que en la representación radial, el comportamiento de los valores de incertidumbre está determinado por el número de nodos de las funciones de onda de los diferentes estados. Además de que el confinamiento rompe la coherencia de los estados de Rydberg sin nodos. Mientras que en la representación vectorial y en particular del comportamiento de la varianza del momento, encontramos que el rompimiento de la degeneración en los niveles energéticos del sistema confinado proviene del rompimiento de la degeneración de la varianza del momento, además de que permite conocer el tamaño de cada uno de los orbitales del sistema.

### Agradecimientos

José Roberto Reyes García agradece el apoyo de la beca otorgada por CONAHCYT con número CVU 819058. También agradezco el apoyo por parte de DGAPA-PAPIIT IN-109-623 a través del ICF-UNAM.

### Referencias

- [1] X. Zheng, S.-Q. Ma, G.-F. Zhang, H. Fan, and W.-M. Liu, *Scientific Reports* 10, 150 (2020)
- [2] W. Heisenberg, *Zeitschrift für Physik* 43, 172 (1927)
- [3] E. H. Kennard, *Zeitschrift für Physik* 44, 326 (1927)
- [4] H. P. Robertson, *Phys. Rev.* 34, 163 (1929)
- [5] D. Deutsch, *Phys. Rev. Lett.* 50, 631 (1983)
- [6] J. S. Dehesa and D. Puertas-Centeno, *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* 54, 065006 (2021)
- [7] J. D. Hey, *American Journal of Physics* 61, 28 (1993)

## C34 Convergencia Asintótica en la Estimación Adaptativa de Fase con Medidas Gaussianas y Estados Comprimidos de Luz

M. A. Rodríguez-García y F. E. Becerra

*Center for Quantum Information and Control, Department of Physics and Astronomy,  
University of New Mexico, Albuquerque, New  
Mexico 87131, USA*

La estimación de fase desempeña un papel central en las comunicaciones, la detección y el procesamiento de información. Los estados cuánticamente correlacionados, como los estados comprimidos, permiten la estimación de fase más allá del límite de ruido de disparo y, en principio, acercarse al límite cuántico en precisión cuando se combinan con mediciones cuánticas óptimas. Sin embargo, aún se desconocen las realizaciones físicas de mediciones cuánticas óptimas para la estimación de fase óptica con estados correlacionados cuánticamente. Aquí abordamos este problema introduciendo una estrategia de medición gaussiana adaptativa para la estimación de fase óptica con estados comprimidos. Además, presentamos una prueba rigurosa de la consistencia y normalidad asintótica del estimador de fase que asegura que la estrategia se aproxima al límite cuántico en precisión en el límite de muchos pasos adaptativos.

Nuestra estrategia se basa en un conjunto de POVMs localmente óptimos dentro del intervalo de fases de  $[0, \pi/2)$ , construidos a través de rotaciones y mediciones homodinas. Durante el primer paso adaptativo se comienza con una rotación aleatoria para la primera medición homodina. Luego, con los datos recolectados de la medición, se actualiza el parámetro de la rotación utilizando el estimador de máxima verosimilitud, repitiendo este proceso en los subsiguientes pasos adaptativos hasta eventualmente alcanzar el punto óptimo donde el POVM alcanza el límite cuántico en precisión para la estimación de fase.

Analizando la estadística de estas mediciones, demostramos que la probabilidad de que nuestras estimaciones de fase se alejen significativamente del valor real decae exponencialmente con el número de pasos adaptativos. Esto resulta en la convergencia casi segura del estimador de máxima verosimilitud al parámetro deseado. Como consecuencia directa, probamos que la distribución límite del estimador de máxima verosimilitud es normal, con media en la fase a estimar y varianza correspondiente al límite cuántico en precisión. Este resultado asegura que, bajo las suposiciones de la prueba, se obtiene una estrategia asintóticamente óptima para el intervalo de fases  $[0, \pi/2)$ .

Como resultado final, generalizamos esta estrategia para la estimación de fase en el rango de  $[0, \pi)$ , el cual es el máximo intervalo donde los estados comprimidos permiten una codificación de fase no ambigua. Esta generalización se lleva a cabo incluyendo un muestreo preliminar con mediciones heterodinas, la cual nos proporciona suficiente información para extender el rango de estimación en el proceso adaptativo con mediciones homodinas. La estrategia exten-

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

didáctica de estimación mantiene un rendimiento cuántico-óptimo asintótico, representando un avance significativo en la metrología cuántica.

### **Agradecimientos**

This work was funded by the National Science Foundation (NSF) Grants # PHY-2210447, FRHTP #PHY-2116246, and the Q-SEnSE QLCI # 2016244.

### **Referencias**

Rodríguez-García, M. A., & Becerra, F. E. (2023). Adaptive Phase Estimation with Squeezed Vacuum Approaching the Quantum Limit (Version 1). arXiv.  
<https://doi.org/10.48550/ARXIV.2312.07686>

C35

## Radiación de vacío versus atajos a la adiabaticidad

Ricardo Ancheyta

*Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, UNAM*

La dinámica no-adiabática del campo electromagnético es responsable de la generación de fotones reales del vacío cuántico. Los atajos a la adiabaticidad, por el contrario, son protocolos que imitan la dinámica adiabática del campo a un tiempo finito. En esta charla mostramos cómo el término contra adiabático cancela exactamente al término responsable de la producción de fotones en el efecto Casimir dinámico. Este resultado sugiere que la energía para producir fotones de vacío está relacionada con el costo energético del atajo. Además, cuando el sistema opera bajo un ciclo termodinámico cuántico, confirmamos la equivalencia entre el trabajo adiabático y el no-adiabático. Estas observaciones solo son posibles utilizando el enfoque de Hamiltonianos efectivos.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a DGAPA-UNAM, México por el apoyo para el proyecto No. IA104624.

### **Referencias**

R. R. Ancheyta, Vacuum radiation versus shortcuts to adiabaticity, Phys. Rev. A **108**, 022217 (2023).

## C36 Señales de resonancias KAM en sistemas cuánticos de muchos cuerpos.

J. A. Segura Landa<sup>1</sup>, S. A. Lerma Hernández<sup>1</sup>, D. J. Nader<sup>2</sup>, y M. Kumari<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>*Facultad de Física, Universidad Veracruzana.*

<sup>2</sup>*Department of Optics, Faculty of Science, Palacký University.*

<sup>3</sup>*National Research Council of Canada. Waterloo University.*

En este estudio exploramos los efectos cuánticos de las resonancias KAM clásicas en modelos pateados, específicamente en el modelo LMG pateado. Mediante el empleo de un criterio de ordenamiento, establecemos una relación unívoca entre los autoestados pateados y los no pateados, hasta un valor límite de la intensidad del pateo. Esto nos permite clasificar tanto los autoestados de Floquet como las quasi-energías. La flexibilidad en la elección del período de pateo, también nos permite diseñar resonancias KAM en cualquier región deseada del espacio de fases. Demostramos cómo las resonancias KAM clásicas se manifiestan en los espectros cuánticos pateados, apareciendo como *Plateaus*, corroborando resultados previamente reportados [1]. Ampliamos el análisis para estudiar la localización de dichos estados en la base no pateada mediante el Inverso de la razón de Participación, así como el efecto en las funciones de Husimi cuánticas. Con este fin, nuestro análisis se limita a un régimen perturbativo en la intensidad del pateo. Los resultados confirman nuestra suposición inicial: los estados más afectados por el pateo son aquellos en proximidad a las estructuras clásicas, específicamente resonancias tipo KAM. Investigamos la magnitud de esta alteración en función del orden de la resonancia, el parámetro de pateo y la dimensión del sistema. Además, realizamos un análisis perturbativo [2] para ilustrar que la teoría de perturbaciones cuántica también enfrenta el problema de los pequeños denominadores, análogo a la teoría de perturbaciones clásica. De hecho, tal análisis revela cómo estos pequeños denominadores surgen de los autoestados asociados a las resonancias KAM, reflejando el comportamiento clásico. Establecemos un límite superior para la intensidad del pateo, por debajo del cual la teoría de perturbaciones cuántica es adecuada. Por último, presentamos una comparación de los resultados numéricos y perturbativos tanto para los espectros como para la dinámica, con conclusiones importantes que creemos serán útiles para la comprensión del caos cuántico.

**Agradecimientos:** Agradecemos encarecidamente al Dr. Jorge G. Hirsch, cuya retroalimentación y sugerencias han sido muy fructíferas para el desarrollo de este trabajo. J. A. Segura Landa agradece al pueblo de México, quien a través del CONAHCYT ha financiado su educación de posgrado.

[1] B Mirbach and H J Korsch. "Semiclassical quantization of KAM resonances in time-periodic systems". In *Journal of Physics A: Mathematical and General* 27.19 (Oct. 1994), p. 6579. DOI: 10.1088/0305-4470/27/19/028.

[2]. Asher Peres. *Quantum Theory: Concepts and Methods*. 1st edition. Springer Dordrecht, 1993. ISBN: 978-0-7923-2549-9.

## Cicatrización y termalización en sistemas cuánticos de muchos cuerpos

Carlos Díaz<sup>1</sup>, Javier de la Cruz<sup>1</sup>, Sergio Lerma<sup>2</sup>, Jorge Hirsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.*

<sup>2</sup>*Facultad de Física, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.*

La termalización y caos en sistemas cuánticos de muchos cuerpos, ha ganado una atención muy significativa tanto en áreas teóricas como experimentales, sobre todo por un control tan preciso en cadenas de átomos de Rydberg que permiten el estudio de fermiones y bosones en diferentes aspectos. En este trabajo presentamos una cadena de átomos bosónicos unidimensional, mejor conocido como el modelo de Aubry-André con interacción. En él se exploran observables como la probabilidad de supervivencia y la entropía de entrelazamiento en una región donde el caos y la termalización de autoestados (ETH) son válidas. Sin embargo, existen estados especiales que rompen con este paradigma y además presentan resurgimientos persistentes en su dinámica, dando a lugar a la cicatrización cuántica de muchos cuerpos (QMBS).

### Referencias

- [1] M. Srednicki, “Chaos and quantum thermalization,” *Phys. Rev. E* 50, 888 (1994).
- [2] J. M. Deutsch, “Eigenstate thermalization hypothesis,” *Rep. Prog. Phys.* 81, 082001 (2018).
- [3] B. Sutherland, *Beautiful models: 70 years of exactly solved quantum many-body problems* (World Scientific, 2004).
- [4] R. Nandkishore and D. A. Huse, “Many-body localization and thermalization in quantum statistical mechanics,” *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.* 6, 15 (2015).
- [5] H. Bernien, S. Schwartz, A. Keesling, H. Levine, A. Omran, H. Pichler, S. Choi, A. S. Zibrov, M. Endres, M. Greiner, et al., “Probing many-body dynamics on a 51-atom quantum simulator,” *Nature* 551, 579 (2017).
- [6] C. J. Turner, A. A. Michailidis, D. A. Abanin, M. Serbyn, and Z. Papić, “Weak ergodicity breaking from quantum many-body scars,” *Nat. Phys.* 14, 745 (2018).
- [7] C. J. Turner, A. A. Michailidis, D. A. Abanin, M. Serbyn, and Z. Papić, “Quantum scarred eigenstates in a rydberg atom chain: Entanglement, breakdown of thermalization, and stability to perturbations,” *Phys. Rev. B* 98, 155134 (2018).
- [8] A. Chandran, T. Iadecola, V. Khemani, and R. Moessner, “Quantum many-body scars: A quasiparticle perspective,” *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.* 14, 443 (2023).
- [9] N. Shiraishi and T. Mori, “Systematic construction of counterexamples to the eigenstate thermalization hypothesis,” *Phys. Rev. Lett.* 119, 030601 (2017).
- [10] S. Moudgalya, S. Rachel, B. A. Bernevig, and N. Regnault, “Exact excited states of nonintegrable models,” *Phys. Rev. B* 98, 235155 (2018).
- [11] Persistent revivals in a trapped bosonic atoms, C. Diaz Mejia, J. de la Cruz, S. Lerma-Hernandez, J. Hirsch, *Phys. Lett A* (2024).

## C38 Estudio teórico y experimental de fenómenos no lineales que involucran procesos ultrarrápidos en heptametincianinas

César A. Guarín Durán<sup>1</sup>, Luis Guillermo Mendoza Luna<sup>1</sup>, Juan Galicia-López<sup>2</sup>, Emmanuel Haro Poniatowski<sup>2</sup>, José Luis Hernández Pozos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Investigador por México-Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco No. 186 Col. Vicentina, C.P. 09340 México D.F., México

<sup>2</sup>Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco No. 186 Col. Vicentina, C.P. 09340 México D.F., México

La caracterización de los estados electrónicos excitados de moléculas son la base de las tecnologías que usan fotones para desencadenar eventos de fluorescencia, transferencia de carga o de energía, los cuales pueden usarse en aplicaciones variadas como son microscopia, terapia fotodinámica, sensores de viscosidad, microscópica y fotofarmacología.[1-2] En este trabajo se mostrará la caracterización detallada de los estados electrónicos de moléculas insaturadas de longitud de cadena de siete carbonos metínicos (heptamethincianinas), por uso combinado de cálculos de estructura electrónica (DFT/TDDFT/PBE0/6-31G d,p) y mediciones espectroscopias realizadas con el láser de fs ( $\lambda$ 0 800-1000 nm, 45 fs, 300 mW). Se enfatizará en cuales son los estados electrónicos que poseen mayor capacidad de absorber dos fotones, la existencia de la doble condición de resonancia, los procesos ultrarrápidos de desactivación entre estados electrónicos excitados, en los momentos dipolares, la forma de banda, la alternancia entre enlaces dobles y sencillos, el cambio estructural de las moléculas y el efecto del sustituyente en las propiedades ópticas [2-5]. Se comentará sobre el posible uso de estas moléculas en tecnologías que involucran fotones.

### Agradecimientos

Al Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (LANCAD) y CONAHCYT por las horas en la supercomputadora Yoltla del LSVP UAM-Iztapalapa, proyecto 22-2024. Al CONAHCYT por el apoyo con el proyecto 683 de investigadores por México.

### Referencias

- [1] F. Friedrich, et al., Chem. Commun., 51, 15382 (2015).
- [2] Guarín, C. A.; Peon, J. J. Phys. Chem. B 2013, 117, 7352-7362
- [3] Guarín, Cesar A., Mendoza-Luna, L. G., Galicia-lópez, J., Haro-Poniatowski, E., Hernández-Pozos. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 249 (2021): 119291.
- [4] Guarín, C. A., Mendoza-Luna, L. G., Galicia-lópez, J., Haro-Poniatowski, E., Hernández-Pozos, J. L. (2023). ChemistrySelect 8.19 (2023): e202300524.
- [5] J. Rodríguez-Romero, C. A. Guarín, Peon, J. J, ChemPhotoChem 2017, 1, 397-407

## C39 Redes de vórtices de Abrikosov: Flujo de calor estructurado y retículas de Casimir.

Shunashi G. Castillo-López, Raúl Esquivel-Sirvent,  
Giuseppe Pirruccio y Carlos Villarreal

*Instituto de Física, UNAM, Circuito de la Investigación Científica  
Ciudad Universitaria, Cd. de México 01000, México.*

La red de Abrikosov es una propiedad de los superconductores de tipo II en los bajo la influencia de un campo magnético externo uniforme que da lugar a régimen de coexistencia de los portadores de carga normales y superconductores. Estos últimos forman un arreglo regular de vórtices cuyo núcleo es atravesado por fluxones de campo magnético. En este trabajo estudiamos la forma en que la distribución periódica del parámetro de orden determina las propiedades térmicas locales de los superconductores de alta temperatura, particularmente el sistema prototípico  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (YBCO). Encontramos que que el flujo de calor radiativo de campos evanescentes adquiere una estructura espacial similar a una red de fluxones de calor. Sorprendentemente, para temperaturas muy por debajo de la crítica, predecimos un desplazamiento radial de los máximos del flujo de calor con respecto a los núcleos de los vórtices. Asimismo, investigamos la fuerza de Casimir existente entre una placa de YBCO sujeta a la acción de un campo magnético y una nanoesfera de oro. Similarmente al caso anterior, encontramos que conforme la nanoesfera barre la placa, la fuerza de Casimir adquiere una modulación periódica heredada de la red de Abrikosov.

## C40 Caos y termalización en sistemas cuánticos

David Villaseñor<sup>1</sup>, Saúl Pilatowsky-Cameo<sup>2</sup>, Carlos Diaz-Mejia<sup>3</sup>, Javier de la Cruz<sup>3</sup>, Jorge Chávez-Carlos<sup>4</sup>, Miguel A. Bastarrachea-Magnani<sup>5</sup>, Sergio Lerma-Hernández<sup>6</sup>, Lea F. Santos<sup>7</sup> y Jorge G. Hirsch<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas, UNAM, CDMX, Mexico*

<sup>2</sup>*Center for Theoretical Physics, MIT, Cambridge, MA, USA*

<sup>3</sup>*Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM, CDMX, Mexico*

<sup>4</sup>*Department of Physics, UConn, Storrs, CT, USA*

<sup>5</sup>*Departamento de Física, UAM- Iztapalapa, CDMX, Mexico*

<sup>6</sup>*Facultad de Física, UV, Xalapa, Mexico*

La relación entre el caos y la termalización en sistemas cuánticos con un pequeño número de componentes ha recibido una atención significativa en los últimos años, debido a observaciones en varios montajes experimentales. Presentamos resultados para dos sistemas distintos: el modelo de Dicke, que describe átomos dentro de una cavidad perfectamente reflectante, y el modelo de Aubrey-André con interacciones, que describe átomos bosónicos confinados en una trampa óptica. Ambos sistemas muestran regiones regulares y caóticas dependiendo de los parámetros y energías del modelo. El primero posee un límite clásico bien definido con dos grados de libertad, lo que facilita una comparación entre los indicadores de caos clásico y cuántico. Por el contrario, el segundo modelo permite únicamente el análisis de aspectos cuánticos. En ambos casos, se demuestra que la Hipótesis de Termalización de Autovalores se cumple dentro de las regiones caóticas. Ciertos estados iniciales dentro de estas regiones no logran termalizar, se los asocia con cicatrices cuánticas, caracterizadas por *revivals* duraderos en sus probabilidades de supervivencia.

**Agradecimientos:** DGAPA- UNAM IN109523, NSF Grant No. DMR-1936006.

### Referencias

1. Quantum and Classical Lyapunov Exponents in Atom-Field Interaction Systems, J. Chávez-Carlos et al, *Phys. Rev. Lett.* 122 (2019) 024101.
2. Quantum vs classical dynamics in a spin-boson system: manifestations of spectral correlations and scarring D. Villaseñor et al, *New Jour. Phys.* 22 (2020) 063036.
3. Quantum chaos in a system with high degree of symmetries, J. de la Cruz, S. Lerma-Hernandez, J. G. Hirsch, *Phys. Rev. E* 102 (2020) 032208.
4. Quantum scarring in a spin-boson system: fundamental families of periodic orbits, S. Pilatowsky-Cameo, et al, *New Jour. Phys.* 23 (2021) 033045.
5. Ubiquitous quantum scarring does not prevent ergodicity, S. Pilatowsky-Cameo et al, *Nature Communications* 12 (2021) 852.
6. Chaos and Thermalization in the Spin-Boson Dicke Model, D. Villaseñor et al, *Entropy* 25 (2023) 8
7. Persistent revivals in a system of trapped bosonic atoms, C. Diaz Mejia et al, *Phys. Lett. A* 493 (2024) 129262.

## POSTERS

### P1 Modelo generalizado de Jaynes-Cummings para una molécula en una cavidad

Ana Fernanda Hernandez Bravo, Juan Mauricio Torres

*Instituto de Física, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México*

*anahb@ifuap.buap.mx*

El modelo de Jaynes-Cummings ha tenido un gran impacto tanto teórico como experimental y ha servido de inspiración para generalizaciones que describen sistemas más complejos. Un ejemplo es la inclusión de moléculas dentro de cavidades, lo que introduce una componente vibracional y añade mayor profundidad al modelo. En este caso, la dinámica la genera el hamiltoniano de Holstein-Tavis-Cummings que describe sistemas de moléculas en una cavidad electromagnética.

En este trabajo, nos concentramos en el caso particular de una molécula con dos estados electrónicos accesibles y un único modo vibracional interactuando con un modo del campo de radiación. A través de un desplazamiento del modo vibracional, se observa una estructura similar a la conocida en el modelo de Rabi. Utilizando una aproximación de onda rotante, podemos reducir el modelo a una colección de modelos de Jaynes-Cummings fuera de resonancia. De esta manera, llegamos a un modelo efectivo válido bajo el régimen en que la frecuencia del modo vibracional es mucho mayor que el acoplamiento entre los grados de libertad electrónico y de movimiento. De esta manera logramos proponer una solución analítica aproximada, que nos permite emplear algunos resultados conocidos para el modelo de Jaynes-Cummings. En particular, exploremos las soluciones aproximadas en términos de estados coherentes, las cuales tienen validez para tiempos cortos y dan una descripción cualitativa de la evolución en el espacio fase además de facilitar el análisis de las propiedades del sistema.

## P2 Dinámica de estados de luz no clásica en guías de onda unidimensionales acopladas

Dante Ivan Urbieta Maldonado, Roberto Ramírez-Alarcón y Laura E. C. Rosales-Zárate

*Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.*

El estudio de la luz mediante el uso de guías de onda ha permitido un gran avance en el estudio de fotónica cuántica integrada, con ello se ha podido reducir la escala de los experimentos de laboratorio a chips con una gran eficiencia y robustez [1]. En estas guías de onda se puede confinar y guiar la luz, [2] llegando al punto de diseñar guías que admitan un solo modo transversal para un rango de longitud de onda determinado [3], de tal manera que hoy en día es posible estudiar la propagación de estados de luz no clásica en estos sistemas [4].

La dinámica en este tipo de sistemas es regida por el acoplamiento entre las guías, este se debe a la superposición de los campos evanescentes cuando dos guías se encuentran lo suficientemente cerca [5]. Este acoplamiento depende de condiciones físicas del material, del índice de refracción, separación entre las guías y el tamaño de estas. El cambio en el acoplamiento puede producir una dinámica completamente diferente, por lo que en el trabajo se estudiaron tres casos principales; cuando el acoplamiento es igual en todas las guías, cuando existen defectos en las guías y estos defectos provocan un cambio en el acoplamiento, y el caso del acoplamiento parabólico.

En este trabajo se manejaron diferentes estados de luz no clásica enfocándonos principalmente en el estado Coherente y el estado Gato de Schrödinger, haciendo un análisis de la transferencia de estados perfecta en el caso del acoplamiento parabólico.

Fueron de gran importancia estos estados, ya que para estos estados la transferencia de estados perfecta depende del número total de guías que hay en el sistema, pero para el estado Gato de Schrödinger se observó que variando la fase se puede mejorar bastante la fidelidad.

**Agradecimientos:** Quisiera agradecer al Consejo de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo. Al Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. (CIO) por permitir el uso de sus instalaciones y el conocimiento obtenido.

### Referencias

[1] Moody G., V. J. Sorger, Blumenthal D. J., P. W. Juodawlkis, W. Loh, C. Sorace-Agaskar, A. E. Jones, et al. 2022 roadmap on integrated quantum photonics. *Journal of Physics: Photonics*, 4(1):012501, jan 2022.

[2] P. Türschmann, H. Le Jeannic, S. F. Simonsen, H. R. Haakh, S. Götzinger, V. Sandoghdar, P. Lodahl, and N. Rotenberg. Coherent nonlinear optics of quantum emitters in nanophotonic waveguides. *Nanophotonics*, 8(10):1641–1657, 2019.

[3] A. Politi, M. J. Cryan, J. G. Rarity, S. Yu, and J. L. O'Brien. Silica-on-silicon waveguide quantum circuits. *Science*, 320(5876):646–649, 2008.

[4] B. M. Rodríguez-Lara. Propagation of nonclassical states of light through one-dimensional photonic lattices. *J. Opt. Soc. Am. B*, 31(4):878–881, Apr 2014.

[5] B. E. A. Saleh and M. C. Teich. *Fundamentals of photonics*. John Wiley and sons, 2019.

## P3 Estado base para gases espinoriales en el régimen de degeneración

Luis Felipe Gutiérrez Magaña<sup>1</sup>, Freddy Jackson Poveda Cuevas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510 Ciudad de México*

<sup>2</sup>*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510 Ciudad de México*

Un condensado de Bose-Einstein (CBE) como un sistema donde un conjunto de partículas bosónicas pierden su carácter individual para actuar como una sola entidad cuántica, a través de la ocupación de un estado cuántico macroscópico único. La dinámica de los CBE se explica a través de la ecuación de Gross-Pitaevskii (EGP). En este trabajo, se abordará la reducción dimensional  $3D$ ,  $2D$ ,  $1D$  de la EGP con  $F=0$  para un CBE confinado en una trampa armónica. También, mediante métodos computacionales como la evolución en tiempo imaginario, se obtendrá del estado base dependiente de la dimensión de un CBE de Rubidio ( $87Rb$ ), y se hará una comparación de los perfiles y del error absoluto. Además, se presentarán los primeros resultados para obtener el estado base de un espinor con  $F=1$  usando  $87Rb$  mediante el método de *single mode approximation*.

LFGM agradece al IF-UNAM por la BECA—PBIF24. FJPC a CONAHCYT y al IF-UNAM

## P4 El código tórico con sistemas atómicos

Martha Abril Aquino Chapa y Santiago Francisco Caballero Benítez

*Departamento de Física Cuántica y Fotónica, LSCSC-LANMAC  
Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México,  
C.P. 04510 Ciudad de México, México\_*

En este trabajo se presentarán las propiedades del código tórico bidimensional [1,2]. Sobre este modelo se presentan algunas de las propiedades en su construcción con espines [3,4]. Encontramos el comportamiento de las degeneraciones del estado base, la creación de cuasi-partículas por la excitación de los estados base, así como el espectro de energías de los estados base y de las excitaciones. El análisis de los resultados es relacionado con las propuestas de realizaciones experimentales en un arreglos bidimensionales de átomos de Rydberg [5] y con gases ultrafríos mediante el uso de campos de norma con variación espacial dependientes de la densidad [6].

### **Agradecimientos:**

Este proyecto es apoyado parcialmente por los fondos UNAM-DGAPA-PAPIIT:IN118823 y CONAHCYT-CB:A1-S-30934.

### **Referencias**

- [1] A. Kitaev, Ann. of Phys. 303, 2 (2003).
- [2] M. F. Araujo de Resende, Rev. in Math. Phys. 32, 2030002 (2020).
- [3] E. Lieb, T. Schultz, and D. Mattis, Ann. of Phys. 16, 407 (1961).
- [4] S. Suzuki, J. Inoue and B. K. Chakrabarti. Quantum Ising Phases and Transition in Transverse Ising Models ( 2 nd Ed, Springer, 2013).
- [5] R. Verresen, M. D. Lukin, and A. Vishwanath, Phys. Rev. X. 11, 031005 (2021).
- [6] L. Barbiero, C. Schwiezer, M. Aidelsburger, E. Demler, N. Goldman, and F. Grudst. Sci. Adv. 5, eaav7444 (2019).

## P5 Time-dependent quantum thermal rectification

Moroni Santiago Garcia<sup>1</sup> & Ricardo Román Ancheyta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.*

<sup>2</sup>*Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Universidad Nacional Autónoma de México, Boulevard Juriquilla 3001, Querétaro 76230, México*

En las últimas décadas, ha habido un interés creciente en investigar el transporte de energía a nanoescala debido al desarrollo de tecnologías cuánticas y los esfuerzos por miniaturizar dispositivos electrónicos, fotónicos y térmicos. Sin embargo, a esta escala, los efectos de la mecánica cuántica no pueden ignorarse, lo que hace que el estudio de los dispositivos cuánticos y su comportamiento sea cada vez más importante. Un tema de gran interés en el contexto del transporte de calor es la rectificación de calor porque, al igual que en la electrónica, el objetivo es el control completo de las corrientes de calor en dispositivos a nanoescala [1], lo que hace de la rectificación térmica un área importante de investigación. Los dispositivos que explotan este efecto se llaman rectificadores térmicos o diodos térmicos [2-4], estos dispositivos conducen el calor en una dirección pero aíslan el flujo de calor en la dirección inversa cuando intercambiamos solo la temperatura de los componentes, por lo que hay una asimetría en la corriente de calor con respecto a una inversión en un gradiente térmico. Aunque la primera observación experimental de la rectificación térmica fue realizada por Starr en 1935 [5], sólo se ha estudiado extensamente en los últimos años, tanto experimentalmente [2-4,6,7] como teóricamente [8-12]. Cuando interactúan un baño térmico y un sistema a diferentes temperaturas, eventualmente alcanzan el equilibrio térmico. Antes de este equilibrio, una corriente de calor fluye a través del sistema. En este estudio, demostramos que dicha configuración puede funcionar como un rectificador térmico, exhibiendo una asimetría dependiente del tiempo en la conducción de calor solo cuando el baño y el sistema tienen distribuciones estadísticas distintas, como las distribuciones de Fermi-Dirac y Bose-Einstein. Realizamos un análisis detallado de la conductancia térmica y mostramos que el cuanto de conductancia térmica, dado por  $\pi 2k_B T(t)/3h$  [13], también surge en esta configuración cuando el baño y el sistema presentan diferentes distribuciones estadísticas. Este hallazgo amplía la universalidad de este comportamiento cuántico a configuraciones híbridas, destacando su importancia en diversos escenarios de transporte térmico.

[1] Giulio Casati, “Controlling the heat flow: Now it is possible,” *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 15, 015120 (2005), <https://doi.org/10.1063/1.1869912>.

[2] Maria José Martínez-Pérez, Antonio Fornieri, and Francesco Giazotto, “Rectification of electronic heat current by a hybrid thermal diode,” *Nature Nanotechnology* 10, 303–307 (2015).

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

- [3] C. W. Chang, D. Okawa, A. Majumdar, and A. Zettl, "Solid-state thermal rectifier," *Science* 314, 1121–1124 (2006), <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.1132898>.
- [4] R Scheibner, M König, D Reuter, A D Wieck, C Gould, H Buhmann, and L W Molenkamp, "Quantum dot as thermal rectifier," *New Journal of Physics* 10, 083016 (2008).
- [5] Chauncey Starr, "The copper oxide rectifier," *Physics* 7, 15–19 (1936), <https://doi.org/10.1063/1.1745338>.
- [6] Jorden Senior, Azat Gubaydullin, Bayan Karimi, Joonas T. Peltonen, Joachim Ankerhold, and Jukka P. Pekola, "Heat rectification via a superconducting artificial atom," *Communications Physics* 3, 40 (2020).
- [7] Markus Schmotz, Judith Maier, Elke Scheer, and Paul Leiderer, "A thermal diode using phonon rectification," *New Journal of Physics* 13, 113027 (2011).
- [8] Gabriel T. Landi, E. Novais, Mário J. de Oliveira, and Dragi Karevski, "Flux rectification in the quantum xxz chain," *Phys. Rev. E* 90, 042142 (2014).
- [9] Baowen Li, Lei Wang, and Giulio Casati, "Thermal diode: Rectification of heat flux," *Phys. Rev. Lett.* 93, 184301 (2004).
- [10] Teemu Ojanen, "Selection-rule blockade and rectification in quantum heat transport," *Phys. Rev. B* 80, 180301 (2009).
- [11] Tomi Ruokola, Teemu Ojanen, and Antti-Pekka Jauho, "Thermal rectification in nonlinear quantum circuits," *Phys. Rev. B* 79, 144306 (2009).
- [12] Nan Zeng and Jian-Sheng Wang, "Mechanisms causing thermal rectification: The influence of phonon frequency, asymmetry, and nonlinear interactions," *Phys. Rev. B* 78, 024305 (2008).
- [13] Luis G. C. Rego and George Kirczenow, "Quantized thermal conductance of dielectric quantum wires," *Phys. Rev. Lett.* 81, 232–235 (1998).

## P6 Funciones de corte del átomo de hidrógeno confinado por una cavidad esférica impenetrable.

José Roberto Reyes García<sup>a,b</sup>, Salvador A. Cruz Jiménez<sup>a</sup>, Remigio Cabrera Trujillo<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> *Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana–Iztapalapa  
Ciudad de México*

<sup>b</sup> *Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México  
Cuernavaca, Morelos*

En este trabajo exploramos la naturaleza y estructura real del factor de corte de la función de onda ansatz ampliamente utilizado (de manera ad hoc) en tratamientos variacionales y enfoques ab initio de química cuántica de átomos y moléculas confinados por una cavidad impenetrable. A partir de la solución numérica (mediante el método de diferencias finitas) y la solución analítica exacta de la ecuación de Schrödinger para el átomo de hidrógeno confinado por una cavidad esférica impenetrable encontramos tres diferentes regiones en las cuales el factor de corte presenta diferente comportamiento. De los resultados de este estudio, se proporciona un fundamento teórico para la elección de la representación analítica apropiada del factor de corte válido para cualquier tamaño de cavidad y que sea consistente con las condiciones de contorno tipo Dirichlet. Finalmente, se muestra una importante relación de las funciones de corte exactas con los polinomios asociados de Laguerre para algunos tamaños de cavidad, cuando los niveles de energía del sistema confinado coinciden con los del átomo libre.

### Agradecimientos

José Roberto Reyes García agradece el apoyo de la beca otorgada por CONAHCYT con número CVU 819058. También agradezco el apoyo por parte de DGAPA-PAPIIT IN-109-623 a través del ICF-UNAM.

### Referencias

- [1] R. A. Rojas and N. Aquino, *Revista mexicana de física* 65, 116 (2019)
- [2] H. E. Montgomery, *International Journal of Molecular Sciences* 2, 103 (2001)
- [3] Y. P. Varshni, *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* 30, L589 (1997)
- [4] B. M. Gimarc, *The Journal of Chemical Physics* 47, 5110 (1967)
- [5] E. V. Ludeña, *The Journal of Chemical Physics* 69, 1770 (1978)
- [6] J. Planelles, J. Karwowski, and W. Jaskólski, *International Journal of Quantum Chemistry* 73, 341 (1999)

## P7 Niveles de energía, funciones de onda y propiedades dipolares de un átomo de Hidrógeno y Helio embebidos en un plasma diluido

F. Antunez-Antonio<sup>a,b</sup>, y R. Cabrera-Trujillo<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Centro de Investigación en Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Avenida Universidad 1001, Col. Chamilpa C.P. 62209 Cuernavaca Morelos, México.*

<sup>b</sup>*Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ap. P. 48-3, 62210, Cuernavaca, Morelos.*

El 99% de la materia en el universo se encuentra en estado de plasma, i.e. un gas de partículas cargadas (iones y electrones) que exhiben un comportamiento colectivo y se encuentra en estado de cuasi-neutralidad. Su importancia radica en aplicaciones tecnológicas como reacciones de fusión nuclear en el ITER que prometen ser una alternativa a los combustibles fósiles. En este trabajo analizamos las propiedades electrónicas del átomo de Hidrógeno y Helio embebidos en un plasma diluido. Como primer aproximación, describimos este plasma diluido como un plasma de Debye donde el potencial que experimenta dicho sistema será el producto de un potencial Coulombiano y un término de apantallamiento, que depende de  $\lambda_D$  (la longitud de Debye) que describe una esfera de carga alrededor del átomo. Resolvemos la ecuación de Schrödinger asociada a estos sistemas usando el método de diferencias finitas para diferentes longitudes de Debye. Obtenemos soluciones numéricas para las energías y funciones de onda de los diferentes estados que usamos para calcular las tensiones de oscilador dipolar, los tiempos de vida media y la energía media de excitación, así como las longitudes críticas de Debye para las cuales el átomo se disocia y pasa a ser parte del plasma.

### Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de [DGAPA-PAPIIT IN-109-623](#)

### Referencias

- [1] C. M. Flores, R. Cabrera-Trujillo, M. A. M. Sánchez, R. Vargas, and J. Garza. Ionization of many-electron atoms by the action of two plasma models. PHYSICAL REVIEW E 103, 043202 (2021), 2021.
- [2] P. Gibbon. Introduction to plasma physics. CERN Yellow Reports, pages Vol 1 (2016): Proceedings of the 2014 CAS–CERN Accelerator School: Plasma Wake Acceleration, 2016.
- [3] ITER. What is ITER? <https://www.iter.org/proj/inafewlines>, 2024. [Online; accessed 11-January-2024]. Springer International Publishing, 2014.

## P8 Teoría de Floquet aplicado al átomo de tres niveles.

Eduardo Hernández Aguilar<sup>1</sup>, Freddy Jackson Poveda Cuevas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Facultad de Ciencias,  
Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510 Ciudad de México*

<sup>2</sup>*Instituto de Física,  
Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510 Ciudad de México*

Una vez que se ha estudiado el átomo de dos niveles interactuando con un campo electromagnético monocromático, naturalmente el siguiente problema que se puede considerar es un átomo de tres niveles interactuando con dos campos electromagnéticos monocromáticos. Si bien, este ya no es un sistema sencillo de trabajar, bajo ciertas condiciones, este tiene solución analítica. Por otro lado, en este sistema se puede considerar transiciones a través de un estado intermedio, y, por tanto, abordar sistemas más complejos, que con las condiciones correctas se pueden aproximar.

Por otro lado, la teoría de Floquet es una teoría dedicada al estudio de las ecuaciones diferenciales ordinarias con coeficientes periódicos, condiciones que cumple el átomo de tres niveles sometido a dos campos electromagnéticos monocromáticos, considerando que las frecuencias de los campos son conmensurables. Esta teoría nos permite separar al operador de evolución temporal en dos operadores unitarios, uno periódico y otro exponencial.

En este trabajo, se explica como a partir del operador exponencial se obtiene un operador hermitiano independiente del tiempo, el cual actuará como un Hamiltoniano, y dicho operador, define como serán las oscilaciones de la función de onda, así como su desvanecimiento. Mientras que el operador periódico nos muestra la forma en que el sistema evoluciona en un periodo natural y dicha evolución se conserva.

EHA a la Secretaría General UNAM a la DGOAE y al PVEU. FJPC a CONAHCYT y al IF-UNAM.

## P9 Estudios de Coherencia Temporal en Pares de Fotones Generados Mediante Mezclado de Cuatro Ondas en Átomos Fríos

Carlos E. de León Abboud, M. Nieves Arias Téllez y Daniel Sahagún Sánchez  
*Instituto de Física, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria 04510, Ciudad de México*

Se presenta una caracterización de las correlaciones temporales de pares de fotones generados a partir de átomos fríos de Rubidio induciendo el proceso no lineal mezclado de cuatro ondas. Este aparato experimental es una fuente de fotones con naturaleza altamente no clásica [1] que ocupan estados entrelazados en polarización [2]. Para el presente trabajo se hicieron mediciones de coincidencias entre los fotones señal y acompañante en función de los parámetros experimentales de los haces de luz láser que inducen el mezclado de cuatro ondas en configuración diamante. En ellos se encontró un desdoblamiento inesperado, que no es explicable con un modelo puramente atómico del proceso no lineal. Comportamientos similares son predichos por un modeo teórico en donde se toman en cuenta los efectos colectivos de las transiciones atómicas inducidas por la interacción entre los dipolos [3]. Es de esperarse que al analizar las medidas obtenidas, sea posible entender la relevancia de procesos que suceden paralelamente al mezclado de cuatro ondas, como la emisión espontánea amplificada, la autosemilla y los efectos colectivos de superradiancia y subradiancia [4] (todos con propiedades de coherencia diferentes). Esto será útil para diseñar la coherencia deseada en pares de fotones generados por fuentes similares, que muy posiblemente, formen parte del internet cuántico en un futuro no muy lejano [5].

### Agradecimientos

A los proyectos PAPIIT nos. IN112624 y IN106821.

### Referencias

- [1] N. Arias-Tellez, I. F. Angeles-Aguillón, D. Martínez-Cara, A. Martínez-Vallejo, L. Y. Villegas Aguilar, L. A. Mendoza-López, Y. M. Torres, R. A. Gutiérrez-Arenas, R. Jáuregui, I. Pérez-Castillo, A. Ceré, y D. Sahagún Sánchez. (2022). An experimental setup to generate narrow-band bi-photons via four-wave mixing in cold atoms. *Revista Mexicana de Física*, 68(3 May-Jun).
- [2] Ver poster " Correlaciones de polarización en pares de fotones generados mediante mezclado de cuatro ondas en átomos fríos".
- [3] P. Yanes-Thomas, R. Gutiérrez-Jáuregui, P. Barberis-Bolstein, D. Sahagún Sánchez, R. Jáuregui, y A. Kunold. (2024). *Collective coupling of driven multilevel atoms and its effect on four-wave mixing*, arXiv:2404.03615.
- [4] R. W. Boyd, M. S. Malcuit, D. J. Gauthier, y . (1987). Competition between amplified spontaneous emission and the four-wave-mixing process. *Physical Review Letters*, vol. 55, pp. 1086-1089.
- [5] H. J. Kimble, (2008). The Quantum Internet. *Nature*, vol. 453, pp. 1023-1030.

## P10 Correlaciones de polarización en pares de fotones generados mediante mezclado de cuatro ondas en átomos fríos

Irvin F. Ángeles Aguillón, M. Nieves Arias Téllez y Daniel Sahagún Sánchez.

*Instituto de Física, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria  
04510, Ciudad de México.*

Mediante el proceso no lineal mezclado de cuatro ondas, en una trampa magneto-óptica de Rubidio, generamos pares de fotones correlacionados en tiempo y polarización. Anteriormente, mostramos que esta fuente de fotones tiene una estadística temporal no clásica [1]. En este trabajo presentamos resultados más recientes sobre sus correlaciones cuánticas de polarización. Mediante una reconstrucción tomográfica de la matriz de densidad, medimos el estado entrelazado tipo Bell  $|\psi\rangle = 0.832|LR\rangle - 0.554|RL\rangle$ , que predice la conservación de momento angular para las transiciones atómicas involucradas. Con una caracterización preliminar basada en nuestros parámetros experimentales concluimos que generamos este estado con una fidelidad del 80% y pureza superior al 90%. Logramos un coeficiente de enredamiento máximo de  $T = 0.57 \pm 0.06$ , que es un enredamiento moderado y medimos una violación de la desigualdad de Bell  $S = 2.34 \pm 0.07 > 2$ .

Agradecemos a los proyectos PAPIIT nos. IN106821 y IN112624.

[1] Arias-Téllez, N., Ángeles-Aguillón, I. F., Martínez-Cara, D., Martínez-Vallejo, A., Villagas-Aguilar, L. Y., Mendoza-López, L. A., ... & Ceré, A. (2022). An experimental setup to generate narrowband bi-photons via four-wave mixing in cold atoms. *Revista mexicana de física*, 68(3).

## P11 Quantum Generative Adversarial Networks for Particle Identification in Proton Collisions

Lázaro Diaz Lievano, Isabel Pedraza, Luis Rey Vargaz Guadarrama

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*

With the imminent demand for extensive computing resources in the HL-LHC program, the potential of quantum computing as a solution has garnered attention, particularly in particle physics contexts like the Large Hadron Collider (LHC). We aim to explore the innovative application of quantum computing technology in high-energy physics (HEP). In the quest for groundbreaking discoveries in physics, discerning rare signals among vast datasets remains a formidable challenge. While artificial intelligence methods are helpful, the escalating data volume necessitates increased computational resources and processing time. Quantum computing emerges as a promising avenue to bolster the efficiency of existing algorithms and reduce computing times. Generative Adversarial Networks (GANs) have demonstrated utility in high-energy physics, akin to the Monte Carlo method, for simulating data. Additionally, GANs facilitate the identification of uncommon signals in experimental datasets, thereby enabling the discovery of new physical phenomena. In this project, we implement Quantum Generative Adversarial Networks (QGANs) to explore the potential of these quantum models in high-energy physics. Our study employs data from signal and background jet events from proton-proton collisions, simulated using Delphes. We leverage a Quantum Generative Adversarial Network to distinguish signal events from background events. To this end, we construct a two-headed Quantum Generative Adversarial Network and show the effective discrimination.

### **Agradecimientos**

Agradecemos las facilidades del Centro Interdisciplinario de Investigación y Enseñanza de la Ciencia de la BUAP para la realización de las actividades de investigación.

### **Referencias**

Pierre-Luc Dallaire-Demers and Nathan Killoran. Quantum generative adversarial networks. *Phys. Rev. A*, 98:012324, Jul 2018.

Kouhei Nakaji and Naoki Yamamoto. Quantum semi-supervised generative adversarial network for enhanced data classification. 2020.

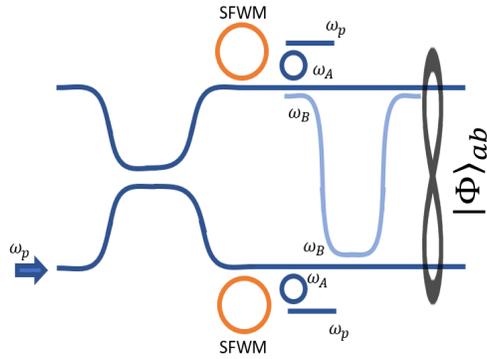
## P12 Generación de estados entrelazados en frecuencia y camino óptico con dispositivos fotónicos integrados basados en acopladores direccionales

C. S. Vergara-Interian<sup>1,2</sup>, F. Castro-Simanca<sup>2</sup>, K. Garay-Palmett<sup>2</sup>, F. A. Domínguez-Serna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Tlaquepaque, Jalisco, México.

<sup>2</sup>Departamento de Óptica, CICESE, Ensenada, Baja California, México. <sup>3</sup>CONAHCYT-CICESE, Ensenada, Baja California, México.

La creación de estados entrelazados es fundamental para el procesamiento de información cuántica (QIP, por sus siglas en inglés) dado que permite aprovechar la correlación no local entre múltiples partículas para efectuar operaciones cuánticas dentro de un circuito integrado. Entre los múltiples elementos estudiados, los sistemas fotónicos destacan por su baja decoherencia. QIP se fundamenta en la preparación de cúbits y la lógica basada en compuertas cuánticas de uno y dos cúbits. Esto requiere controlar sistemas físicos con un alto grado de precisión y contar con medios de interacción que permitan el acoplamiento de más de un cúbit [1]. A pesar de presentar una alta adaptabilidad a las redes de comunicación existentes, las aplicaciones de modos temporales (MTs) basados en cúbits de color aún no cuentan con propuestas viables para su inserción en compuertas cuánticas de dos cúbits [2]. En este contexto, se propone un dispositivo fotónico integrado basado en acopladores direccionales (**Figura 1**) capaz de generar estados entrelazados temporales bipartitos. El dispositivo consiste en guías de onda de nitruro de silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) depositadas sobre un sustrato de silicio (Si) y dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>). En primera instancia, se contemplan dos procesos independientes de mezclado de cuatro ondas espontáneo (SFWM, por sus siglas en inglés) en cavidad donde se generan pares idénticos de fotones con frecuencias  $w_A$  y  $w_B$  con un bombeo centrado en  $w_P$  que obedecen la conservación de energía  $2w_P - w_A - w_B = 0$ . El diseño propuesto contempla el ancho de banda del espectro de los fotones resultantes e implementa elementos geométricos para alcanzar una alta independencia de la frecuencia o longitud de onda. El estado entrelazado  $|\Phi\rangle_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}(A^\dagger B_i^{b\dagger} + B_i^{a\dagger} A_i^{b\dagger})|vac\rangle$  puede ser generado a partir de un acoplador direccional que separa las frecuencias B de las  $w_A$  en un camino óptico y las acopla a una guía complementaria. Actualmente, se están llevando a cabo estudios adicionales para estimar el nivel de entrelazamiento generado por el dispositivo, explorando tanto configuraciones híbridas (camino óptico-frecuencia) como no híbridas (camino óptico o frecuencia).



**Figura 1.** Representación esquemática de elementos lineales y no lineales del dispositivo fotónico para la creación del estado entrelazado  $|\Phi\rangle_{ab}$  a partir de una fuente monocromática.

### Agradecimientos

Agradecemos a los proyectos CONAHCYT IIXM 709/2018, CF-2023-G-687.

### Referencias

- [1] T.B. Pittman, B.C. Jacobs and J.D. Franson, "Probabilistic quantum logic operations using polarizing beam splitters," Phys. Rev. A 64, 062311 (2001)
- [2] A. L. Aguayo-Alvarado, F. Domínguez-Serna, W. De La Cruz and K. Garay-Palmett, "An integrated photonic circuit for color qubit preparation by third-order nonlinear interactions," Sci Rep 12, 5154 (2022).

## P13 Diseño de dispositivos fotónicos integrados en la plataforma de silicio poroso para generación de fotones

Guillermo R. Aragón Pacheco, Roberto Ramírez Alarcón  
*Centro de Investigaciones en Óptica A.C.*

Este trabajo aborda el diseño de guías de onda en silicio poroso para la generación de fotones hechos a la medida. Se emplea silicio poroso debido a que el índice de refracción del silicio varía según la cantidad de poros. Utilizando el modelo de medio efectivo de Bruggeman, se obtienen distintas curvas de dispersión del silicio para diversas porosidades [1]. Con estas dispersiones del material, se propone una guía de onda rectangular con tres capas simétricas de silicio poroso, incluyendo dos capas de menor índice de refracción como recubrimientos y una de mayor índice de refracción en el núcleo. El silicio poroso se obtiene mediante un ataque electroquímico con la asistencia de un electrolito de HF (Ácido Fluorhídrico) y etanol. La porosidad se controla al ajustar la corriente eléctrica, mientras que el espesor de la película se determina por la duración del ataque [2].

Con la estructura definida, se procede a realizar simulaciones para obtener la constante de propagación, la cual nos sirve para determinar si existen las condiciones adecuadas para que ocurra el fenómeno físico de Mezclado de cuatro ondas espontáneo (SFWM por sus siglas en inglés), que es fundamental para la generación de fotones. El SFWM es un proceso de óptica no lineal de tercer orden en el que dos fotones del haz de bombeo son aniquilados para crear dos fotones con longitudes de onda diferentes que cumplan las condiciones de empatamiento de fase, es decir, conservación de momento y de energía [3] [4]. Con las condiciones de empatamiento de fase, se obtienen las gráficas de contorno que nos permiten saber en qué regiones del espectro se pueden generar los fotones. Al introducir las características del láser de bombeo, se obtiene la Intensidad espectral conjunta (JSI por sus siglas en inglés) que brinda información sobre las características de correlación que existen entre los fotones [5]. Dependiendo de la aplicación que se le quiera dar, se pueden diseñar dispositivos fotónicos que generen estados separables o enredados.

### Agradecimientos

Agradezco al CONAHCYT por todo el apoyo a lo largo de los años. También agradezco al Centro de Investigaciones en Óptica, A. C., por permitirme utilizar toda la infraestructura necesaria para este trabajo. Así mismo agradezco a todos los que trabajan en el Laboratorio de Fotónica Cuántica por la convivencia en este tiempo.

### Referencias

- [1] Estrada-Wiese, D., & del Río, J. A. (2018). Refractive index evaluation of porous silicon using bragg reflectors. *Revista mexicana de física*, 64(1), 72-81.
- [2] Canham, L. (Ed.). (2014). *Handbook of porous silicon* (pp. 163-170). Berlin, Germany:: Springer International Publishing.
- [3] Boggio, J. C., Bodenmüller, D., Fremberg, T., Haynes, R., Roth, M. M., Eisermann, R., ... & Böhm, M. (2014). Dispersion engineered silicon nitride waveguides by geometrical and refractive-index optimization. *JOSA B*, 31(11), 2846-2857.
- [4] Garay-Palmett, K., McGuinness, H. J., Cohen, O., Lundeen, J. S., Rangel-Rojo, R., U'ren, A. B., ... & Walmsley, I. A. (2007). Photon pair-state preparation with tailored spectral properties by spontaneous four-wave mixing in photonic-crystal fiber. *Optics express*, 15(22), 14870-14886.
- [5] Zielnicki, K., Garay-Palmett, K., Cruz-Delgado, D., Cruz-Ramirez, H., O'Boyle, M. F., Fang, B., ... & Kwiat, P. G. (2018). Joint spectral characterization of photon-pair sources. *Journal of Modern Optics*, 65(10), 1141-1160.

## P14 Ecuación maestra de estados vestidos para dos átomos de dos niveles

Artemisa Villalobos Ramírez, Juan Mauricio Torres

*Instituto de Física, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México*

[artemisa@ifuap.buap.mx](mailto:artemisa@ifuap.buap.mx)

El estudio de sistemas cuánticos abiertos es crucial para comprender los efectos del entorno sobre un sistema cuántico de interés. La ecuación maestra en forma de Lindblad provee la descripción más general para los sistemas abiertos markovianos y es capaz de describir la evolución temporal ante efectos disipativos y de decoherencia inducidos por el entorno. En este trabajo, consideramos dos átomos de dos niveles fuertemente interactuantes y acoplados a un entorno de osciladores armónicos. Utilizando una derivación microscópica, se presenta una ecuación maestra de estados vestidos que describe la dinámica del sistema. Esta ecuación se escribe en términos de operadores de Lindblad, que se obtienen a partir de los eigenestados del sistema central. El eigensistema del operador de Liouville, que determina la ecuación maestra, se construye a partir de los eigenvalores y eigenestados de un hamiltoniano efectivo no hermitiano, que en esta construcción resulta ser una matriz normal. Presentamos una solución cerrada al problema de eigenvalores y eigenvectores de la ecuación maestra y comparamos nuestros resultados con el modelo fenomenológico que se encuentra en la literatura. Así mismo, comentamos posibles generalizaciones de este problema a otros modelos como el de Jaynes-Cummings. Finalmente, subrayamos la importancia de aplicar una formulación rigurosa de la ecuación maestra, vital para predecir el comportamiento de sistemas cuánticos en contextos más realistas, en particular para aquellos que presentan acoplamiento interno fuerte.

## P15 El modelo de Jaynes-Cummings impulsado

Leonardi Hernández Sánchez<sup>1,2</sup>, Iván Alejandro Bocanegra Garay<sup>3</sup>, Irán Ramos Prieto<sup>4</sup>, Francisco Soto Eguibar<sup>4</sup>, Héctor Manuel Moya Cessa<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias en Física y Matemáticas, Universidad Autónoma de Chiapas, Carretera Emiliano Zapata, Km. 8, Rancho San Francisco, 29050 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

<sup>2</sup> Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 144: José Emilio Grajales Moguel, Boulevard Mayor Sabines No. 1982, Col. 24 de junio, 29047 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

<sup>3</sup> Departamento de Física Teórica, Atómica y Óptica, Universidad de Valladolid, 47011, España

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, Calle Luis Enrique Erro No. 1 Santa María Tonantzintla, Puebla, 72840, México.

El modelo de Jaynes-Cummings (JCM) es probablemente el modelo teórico más fundamental en óptica cuántica [1]. También es el modelo exactamente resoluble más simple que describe la interacción entre la materia y la radiación electromagnética. Por otra parte, se ha demostrado que el JCM predice que el átomo y el campo cuantizado se entrelazan, dejando de ser sistemas individuales y convirtiéndose en una especie de "molécula" [2]. De hecho, Alsing et al. [2] demostraron que para analizar esta molécula, es necesario sondearla de alguna manera, y mostraron que un campo clásico externo es la forma natural de hacerlo. Esto lleva a una nueva generalización del JCM convencional, conocida como el "modelo de Jaynes-Cummings impulsado" [2,3].

En este trabajo, analizamos el caso más general del modelo de Jaynes-Cummings impulsado, que permite la excitación simultánea tanto del átomo como del campo cuantizado por la presencia de un campo clásico externo. Nuestro objetivo es establecer una metodología que permita el cálculo directo de las variables dinámicas del sistema impulsado de manera sencilla, y no presentadas en [2,3]. Por lo tanto, obtener la solución de la ecuación de Schrödinger en el caso general impulsado constituye nuestra principal motivación y contribución [4, 5]. En este sentido, el presente trabajo también representa una generalización de [3].

### Agradecimientos

Leonardi Hernández Sánchez agradece al Concejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de ayudante de SIN III otorgada (No. CVU: 736710).

### Referencias

[1] Jaynes, E.T. and Cummings, F.W., Proc. IEEE 51, 89 (1963).

[2] Alsing, P., Guo, D.-S., and Carmichael, H.J., Phys. Rev. A 45, 5135 (1992).

[3] Dutra, S.M., Knight, P.L., and Moya-Cessa, H., Phys. Rev. A 49, 1993 (1994).

[4] Bocanegra-Garay, I.A., Hernández-Sánchez, L., Ramos-Prieto, I., et al., SciPost Phys. 16, 007 (2024).

[5] Hernandez-Sanchez, L., Bocanegra-Garay, I.A., Ramos-Prieto, I., et al., J. Opt. Soc. Am. B 41, 008 (2024).

## P16 Generation of heralded vector-polarized single photons in remotely controlled topological classes

Samuel Corona-Aquino<sup>1</sup>, Zeferino Ibarra-Borja<sup>1</sup>, Omar Calderon-Losada<sup>2</sup>, Bruno Piccirillo<sup>3,4</sup>, Verónica Vicuña-Hernández<sup>3,5</sup>, Tonatiuh Moctezuma-Quistian<sup>1</sup>, Dorilian Lopez-Mago<sup>6</sup>, Héctor Cruz-Ramírez<sup>1</sup>, and Alfred B. U'Ren<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-543, 04510 Cd. Mx., México.

<sup>2</sup> Centro de Investigación e Innovación en Bioinformática y Fotónica, Edificio E20 No. 1069, Universidad del Valle, Cali, Valle del Cauca 760042, Colombia

<sup>3</sup> Dipartimento di Fisica "Ettore Pancini", Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli 80126, Italy

<sup>4</sup> INFN, Sez. di Napoli, Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, via Cinthia, Napoli 80126, Italy

<sup>5</sup> CNR-INO, Istituto Nazionale di Ottica, Via Campi Flegrei 34, I-80078 Pozzuoli (NA), Italy

<sup>6</sup> Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Monterrey N.L. 64849, México

En este trabajo reportamos un protocolo para la preparación y control sobre fotones anunciados en estados con polarización inhomogénea (haces vectoriales), tales como haces Full-Poincaré (FP) y vórtices vectoriales (VV). Estos fotones se generaron por medio del proceso de conversión paramétrica descendente y espontánea (SPDC.) Demostramos la transferencia del bombeo hacia el fotón anunciado, de las distribuciones de intensidad y fase, así como la estructura vectorial de polarización. En este experimento se dio uso de un dispositivo electrónico q-plate en el cuál la conversión de momento angular de spin (SAM) a orbital (OAM) se controla mediante el voltaje aplicado. Dicho dispositivo elimina la necesidad de arreglos interferométricos para la preparación de estos haces vectoriales. Adicionalmente, mostramos que controlando polarización en la que se proyecta el fotón acompañante justo antes de su detección, podemos intercambiar entre la base directa y en la que se da la transferencia bombeo-fotón anunciado.

### Agradecimientos

### Referencias

- R. Fickler, R. Lapkiewicz, S. Ramelow, and A. Zeilinger, Quantum entanglement of complex photon polarization patterns in vector beams, *Phys. Rev. A* 89, 060301 (2014).
- V. Vicuña Hernández, J. T. Santiago, Y. Jerónimo-Moreno, R. Ramírez-Alarcón, H. Cruz-Ramírez, A. B. U'Ren, and R. Jáuregui-Renaud, Double transverse wave-vector correlations in photon pairs generated by spontaneous parametric down-conversion pumped by Bessel-Gauss beams, *Phys. Rev. A* 94, 063863 (2016).
- M. V. Jabir, N. Apurv Chaitanya, M. Mathew, and G. K. Samanta, Direct transfer of classical non-separable states into hybrid entangled two photon states, *Sci Rep* 7, 7331 (2017).
- S. Corona-Aquino, Z. Ibarra-Borja, O. Calderón-Lozada, B. Piccirillo, V. Vicuña-Hernández, T. Moctezuma-Quistian, D. Lopez-Mago, H. Cruz-Ramírez, A. B. U'Ren, Generation of heralded vector-polarized single photons in remotely controlled topological classes, *Phys. Rev. A* 21, 034030 (2024).

## P17 Anyones de Hubbard en redes ópticas en una dimensión

Ronaldo Navarro Ambriz, Santiago F. Caballero Benítez

*Departamento de Física Cuántica y Fotónica, LSCSC-LANMAC,*

*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México*

*C.P. 04510, Ciudad de México, México*

En este trabajo se presenta diferentes observables para el modelo de Hubbard de anyones en una dimensión en redes ópticas[1]. Los anyones son una especie de cuasipartícula efectiva que emerge debido a procesos de tunelaje dependientes del número de partículas[2]. Esta dependencia se obtiene mediante una transformación de Jordan-Wigner, que convierte el modelo de anyones en un modelo efectivo de bosones con una condición en el tunelamiento y una fase que controla la estadística. Mostramos cómo el diagrama de fase cambia para diferentes valores de la fase de los anyones, además de mostrar diferentes observables que se pueden obtener al calcular su estado base. Realizamos simulaciones computacionales usando diagonalización exacta y también el método de grupo de renormalización de matrices de densidad (DMRG)[3].

### **Agradecimientos**

Este proyecto fue apoyado parcialmente por fondos de los proyectos UNAM-DGAPA-PAPIIT:IN118823 y CONAHCYT-CB:A1-S-30934.

—

### **Referencias**

[1]M. Lewenstein, A. Sampera, and V. Ahufinger, "Ultracold Atoms in Optical Lattices: Simulating Quantum Many-Body Systems" (Oxford University Press, New York, 2012)

[2]T. Keilmann, S. Lanzmich, I. McCulloch and M. Roncaglia, "Statistically induced phase transitions and anyons in 1D optical lattices", Nat. Comm. 2, 361 (2011)

[3] S. White "Density-matrix algorithms for quantum renormalization groups" Phys. Rev. B 48, 10345 (1993)

## P18 Interferómetro híbrido para detección de interacciones moleculares

Haydee Ochoa, Gustavo Ramírez, Mario Cervantes, Josué Hernández, y Eduardo Gómez.

*Laboratorio de Átomos Fríos,*

*Instituto de Física, Universidad Autónoma de San Luis Potosí,*

*Av. Chapultepec 1570, Privadas del Pedregal,*

*78295, San Luis Potosí, S. L. P., México.*

El uso de interferómetros para la detección de interacciones moleculares se ha realizado anteriormente con interferómetros como Mach-Zehnder, Young, Hartman, Backscattering, entre otros. Todos estos teniendo en común el uso de luz visible. En este trabajo proponemos una nueva técnica basada en un interferómetro híbrido, en la que, aunque utilizamos luz láser modulada por un modulador Electroóptico para detectar la muestra, la interacción molecular se detecta mediante interferencia de microondas. El uso de microondas lo que nos permite es sobrellevar ciertos problemas que surgen al trabajar con interferómetros en el rango del visible, como son los problemas de estabilidad por factores mecánicos, y, sobre todo, los cambios de fase producidos debido a variaciones de temperatura. Al interactuar dos tipos de moléculas aparecerán niveles vibracionales que se pueden excitar por medio de una transición Raman. Esta transición Raman será de dos fotones, ya que tiene la ventaja de que al tratarse de dos fotones inducidos tenemos un proceso completamente coherente que nos permite medir con una mayor precisión. El hecho de que midamos cambios de fase nos permite identificar interacciones entre moléculas de las cuales no poseemos información previa sobre su espectro. Por lo que terminamos con un sensor insensible a temperatura, con una determinación sensible de la interacción entre moléculas y que funciona para muestras sin información previa. Entre los avances que se presentarán en este trabajo se encuentra la caracterización de un interferómetro Sagnac de brazos desplazados, el cual utilizaremos como comparativa para demostrar como este posee una dependencia lineal de los cambios en la fase con respecto a los cambios en temperatura, a diferencia del híbrido que se espera sea insensible a estos. Además, se muestra la caracterización del modulador Electroóptico que se utilizara para obtener las bandas laterales necesarias para la transición Raman.

**Agradecimientos:** CONAHCYT, COPOCYT, UASLP y LANMAC.

### Referencias

Anal Chem. 2012 January 17; 84(2): 779–792. doi:10.1021/ac202812h.

Darryl J. Bornhop et al., Free-Solution, Label-Free Molecular Interactions Studied by Back-Scattering Interferometry. Science 317, 1732-1736(2007). DOI:10.1126/science.1146559

undt, G., Purves, G.T., Adams, C.S. et al. Non-linear Sagnac interferometry for pump-probe dispersion spectroscopy. Eur. Phys. J. D 27, 273–276 (2003). <https://doi.org/10.1140/epjd/e2003-00275-5>

## P19 Steering bipartita y tripartita bidireccional de variables continuas generado por medio de un proceso de conversión descendente intracavitario

Patricia del Rocío Ornelas Cruces, Laura Rosales Zárata

*Centro de Investigaciones en Óptica, A.C.*

Las correlaciones cuánticas, como el *steering*, son recursos importantes para los protocolos de información cuántica. En un sistema compuesto por dos partes,  $A$  y  $B$ , *steering* está presente en el sistema cuando una de las partes,  $A$ , puede cambiar el estado de la otra parte distante,  $B$ , al realizar mediciones en  $A$ . Una propiedad importante de *steering* es que es asimétrico. Esta propiedad es esencial para la seguridad de algunos protocolos tales como la distribución de claves cuánticas (Quantum Key Distribution, QKD)<sup>1</sup> y el intercambio de secretos cuánticos (Quantum Secret Sharing, QSS)<sup>2</sup>. En los últimos años, ha habido un gran interés en investigar sistemas que puedan generar *steering* incluyendo el caso bipartita, tripartita y multipartita. Se han hecho varias propuestas para la generación de *steering*<sup>3-5</sup>, las cuales se basan en procesos no lineales intracavitarios. En este trabajo, investigamos *steering* bipartita y tripartita de variables continuas generados por el proceso de conversión descendente intracavitario. En el modelo, tres campos interactúan con un medio no lineal dentro de una cavidad, los cuales generan tres campos de salida. Analizamos el sistema utilizando la representación  $P$ -positiva<sup>6</sup> y, con la teoría de fluctuaciones linealizadas<sup>7,8</sup>, obtenemos el espectro intracavitario en el dominio de la frecuencia. Utilizamos diferentes criterios de *steering* para certificar *steering* bipartita y tripartita. Nuestros resultados<sup>9</sup> muestran regímenes de frecuencia en los que el sistema propuesto genera tanto *steering* bipartita como *steering* tripartita bidireccional.

P.R.O.C. agradece el apoyo financiero de CONAHCYT-México.

<sup>1</sup> Branciard, C. et al., Phys. Rev. A **85** (1), 010301 (2012).

<sup>2</sup> Wilkinson, C. et al., Phys. Rev. A **107** (6), 062401 (2023).

<sup>3</sup> Li, Z. et al., Optical Engineering **62** (2), 028101 (2023).

<sup>4</sup> Shen, Y. R. et al., Sci. Rep. **13** (1) 21196 (2023).

<sup>5</sup> Xiao, C. et al., New J. Phys. **26** (1), 013049 (2024).

<sup>6</sup> Drummond, P. D. and Gardiner, C. W., *J. Phys. A: Math. Gen.* **13** (7), 2353 (1980).

<sup>7</sup> Walls, D.F. and Milburn, G.J. *Quantum Optics* (Springer, Berlin 2008).

<sup>8</sup> Fabre, C. et al., *Semi-Classical Input-Output Linearization Techniques for Quantum Fluctuations and Beyond* (Springer, US 1992).

<sup>9</sup> Ornelas-Cruces, P. and Rosales-Zárata, L., J. Opt. Soc. Am. B **40** (9), 2441 (2023).

P20

## Óptica Cuántica no lineal con átomos de Rydberg

Edgar Giovanni Alonso Torres, Eduardo Esquivel Ramírez, Leonardo Uhthoff Rodríguez, Alberto Hernández López, Gerardo Carmona Torres, Brandon Alberto Salinas Roa, Fernando Flores Mendoza, Asaf Paris Mandoki

*Instituto de Física, UNAM*

Los estados de Rydberg son estados atómicos en los que algún electrón se encuentra altamente excitado y el comportamiento de átomos en estos estados es muy distinto respecto a átomos en estados de baja energía. Algunas propiedades de los estados de Rydberg [1], en comparación a estados de menor energía, es que tienen un tiempo de vida largo, son altamente polarizables por lo cual interactúan fuertemente entre sí debido a una interacción de van der Waals.

En el Laboratorio de Óptica Cuántica de Rydberg del Instituto de Física de la UNAM buscamos explotar estas propiedades para desarrollar herramientas que nos permitan manipular y controlar el estado de luz y de materia a un nivel no clásico. En este trabajo presentaremos nuestros resultados más recientes en la manipulación de una nube de átomos fríos de rubidio 87, como el enfriamiento mediante melazas grises o el control de sus propiedades ópticas con la transparencia electromagnéticamente inducida [2], lo cual sienta las bases para la generación de estados no clásicos de luz en nuestro laboratorio.

### Referencias

R. Löw *et al.* *An experimental and theoretical guide to strongly interacting Rydberg gases*, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **45**, 113001 (2012).

M. Fleischhauer *et al.* *Electromagnetically induced transparency: Optics in coherent media*, *Rev. Mod. Phys.* **77**, 633 (2005).

## P21 Sensibilidad del entrelazamiento a perturbaciones de sistemas cuánticos de muchos cuerpos

Francisco Correa Alvarado<sup>1</sup>, Eduardo Jonathan Torres Herrera<sup>2</sup>, Luis Manuel Arévalo Aguilar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Facultad de ciencias físico matemáticas BUAP,*

<sup>2</sup> *Instituto de Física 'Ing. Luis Rivera Terrazas BUAP.*

Estudiamos la entropía de entrelazamiento haciendo uso de un sistema de  $L$  partículas con espín  $\frac{1}{2}$  acomodada cada una en cada uno de los sitios de una cadena unidimensional, sujetas a una sola perturbación en la dirección  $z$  a la mitad de la cadena. En particular se estudia como la entropía de entrelazamiento de los estados propios de energía se comporta conforme se varía la magnitud de la perturbación. Nuestro estudio también incluye la estadística de niveles energéticos, así como la estructura de estados propios del sistema. Nuestros resultados numéricos muestran que el enfoque basado en la entropía de entrelazamiento bipartita es equivalente al enfoque de caos cuántico basado en el análisis de la estadística espectral y la estructura de estados propios de energía[1]. Específicamente conforme la perturbación se incrementa a partir del cero, el sistema transita de un punto integrable a una fase caótica con valores propios de energía correlacionados[2] estados propios extendidos cercanamente como aquellos de matrices aleatorias del así llamado ensamble gaussiano ortogonal[3] y entropía de entrelazamiento similar a la de estados puros aleatorios [4]. Para este modelo una pequeña perturbación a la mitad de la cadena nos permite transicionar de un régimen integrable a uno caótico, esta transición modifica la extensión de los estados propios del Hamiltoniano, se observa que el promedio de la razón de participación aumenta junto con el valor de la perturbación al pasar del sistema integrable al caótico, finalmente podemos ver el grado de entrelazamiento de los estados propios del Hamiltoniano también es dependiente del valor de la perturbación, se observa que la distribución de estos cambia conforme a esta, finalmente el valor promedio aumenta al pasar de un régimen al otro de igual forma que con la razón de participación.

[1] E. J. Torres-Herrera and L.F. Santos J. Karp, M. Távora. Realistic many-body quantum systems vs. full random matrices: Static and dynamical properties. *Entropy*, 18 (10):359, 2016.

[2] L. F. Santos, F. Pérez-Bernal, and E. J. Torres-Herrera. Speck of chaos. *Phys. Rev. Res.*, 2(4):043034, 2020.

[3] N. Ullah. Invariance hypothesis and higher correlations of Hamiltonian matrix elements. *Nucl. Phys.*, 58:65–71, 1964. URL [https://doi.org/10.1016/0029-5582\(64\)90522-X](https://doi.org/10.1016/0029-5582(64)90522-X).

[4] L. Vidmar and M. Rigol. Entanglement entropy of eigenstates of quantum chaotic Hamiltonians. *Phys. Rev. Lett.*, 119(22):220603, 2017.

## P22 Spherical vector waves: their generation using a $4\pi$ optical array

Fabián Camas Aquino and Rocío Jáuregui Renaud

*Instituto de Física, UNAM*

The Spherical Vector Waves (SVW) are used in the study of multipole transitions of atomic systems, and they form a natural basis that correlate the transitions to specific configurations of the electromagnetic field. We report the theoretical description of the approximate generation of some SVW in a  $4\pi$  optical array, made of two identical aplanatic lenses, with incident cylindrical beams. Also the comparison between the near electromagnetic field of these generated beams and the ideal SVW is done for different lens numerical aperture.

### **Agradecimientos**

F Camas-Aquino thanks to the scholarship of CONAHCyT

### **Referencias**

Berestetskii V. B., Lifshitz E. M., Pitaevskii L. P., Quantum Electrodynamics, 2nd Ed., Pergamon Press Ltd. (1982)

B. Richards and E. Wolf, Electromagnetic diffraction in optical systems, II Structure of the image field in an aplanatic system, Proc. Roy. Soc. A, 253 (1959)

F Camas-Aquino et al 2023 J. Opt. 25 034002

## P23 Sensor cuántico de temperatura en chip fotónico basado en estados N00N.

E. G. Trejo Liévano y R. Ramírez Alarcón

*Centro de Investigaciones en Óptica A.C., Loma del Bosque 115, Lomas del Campestre, 37150, León, Guanajuato, México.*

Los estados N00N son una de las clases mas importantes de estados cuánticos [1], ya que son estados fuertemente entrelazados a lo largo de dos modos [2], con los cuales se tiene la capacidad para realizar mediciones de fase cuando se utilizan en un interferómetro óptico, aumentando la sensibilidad del sistema interferométrico [3]. Dichos estados se componen de un número fijo de partículas N, por lo que para el desarrollo de este trabajo se recurre al uso de un cristal no lineal BBO, el cual al ser incidido por un láser de bombeo propicia el proceso de conversión paramétrica descendente y espontanea (SPDC, por sus siglas en ingles); en este caso se trata de SPDC tipo I. Los fotones son colectados con fibras ópticas y se ingresan a un dispositivo fotónico constituido de guías de onda que conforman un interferómetro Mach Zehnder, el cual será la zona de interacción para medir los cambios de temperatura [4].

### Agradecimientos

Agradezco al Centro de Investigaciones en Óptica A.C. y en especial al laboratorio de Fotónica Cuántica por permitir el desarrollo de esta investigación en sus instalaciones.

### Referencias

- [1] Polino, E., Valeri, M., Spagnolo, N., & Sciarrino, F. (2020). Photonic quantum metrology. *AVS Quantum Science*, 2(2).
- [2] Gerry, C. C., & Knight, P. L. (2023). *Introductory quantum optics*. Cambridge university press.
- [3] Crespi, A., Lobino, M., Matthews, J. C., Politi, A., Neal, C. R., Ramponi, R., ... & O'Brien, J. L. (2012). Measuring protein concentration with entangled photons. *Applied Physics Letters*, 100(23).
- [4] Peng, Y., Qin, S., Zhang, S., & Zhao, Y. (2023). Optical fiber quantum temperature sensing based on single photon interferometer. *Optics and Lasers in Engineering*, 167, 107611.

## P24 Formación de solitones brillantes y estabilidad en trampas atómicas

César Enrique Terán Cisneros, Santiago Francisco Caballero Benítez

*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México*

Se analiza la formación de solitones brillantes [1, 2] resolviendo la ecuación de Gross-Pitaevskii dependiente del tiempo cuasiunidimensional, para gases ultrafríos bosónicos con estructura elongada en forma de cigarro [3], introduciendo inicialmente potenciales de atrapamiento armónicos en la dirección axial, de tal manera que las soluciones iniciales gaussianas converjan, mediante un proceso adiabático, a soluciones tipo solitones brillantes al ir apagando el potencial de confinamiento y prendiendo los términos no lineales de interacción. Así mismo, se estudia su estabilidad al introducir dichos sistemas en potenciales periódicos (redes ópticas) [4, 5, 6], resolviendo las ecuaciones efectivas utilizando el método de split-step pseudo-espectral [7].

### Agradecimientos

Este trabajo es apoyado parcialmente por los fondos de los proyectos de investigación UNAM-DGAPA-PAPIIT:IN118823 y CONAHCYT-CB:A1-S-30934.

### Referencias

- [1] Sadhan K. Adhikari. Bright solitons in coupled defocusing NLS equation supported by coupling: Application to Bose-Einstein condensation. *Physics Letters A*, 346(1-3):179–185, 2005.
- [2] Panayotis G Kevrekidis, Dimitri J Frantzeskakis, and Ricardo Carretero-González. Emergent nonlinear phenomena in Bose-Einstein condensates: theory and experiment, volume 45. Springer, 2008.
- [3] L. Salasnich, A. Parola, and L. Reatto. Effective wave equations for the dynamics of cigar-shaped and disk-shaped Bose condensates. *Phys. Rev. A*, 65:043614, Apr 2002.
- [4] J Hecker Denschlag, J E Simsarian, H Häffner, C McKenzie, A Browaeys, D Cho, K Helmerson, S L Rolston, and W D Phillips. A Bose-Einstein condensate in an optical lattice. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 35(14):3095, jul 2002.
- [5] Pearl J. Y. Louis, Elena A. Ostrovskaya, Craig M. Savage, and Yuri S. Kivshar. Bose-Einstein condensates in optical lattices: Band-gap structure and solitons. *Phys. Rev. A*, 67:013602, Jan 2003.
- [6] Oliver Morsch and Markus Oberthaler. Dynamics of Bose-Einstein condensates in optical lattices. *Rev. Mod. Phys.*, 78:179–215, Feb 2006.
- [7] Carlo F Barenghi and Nick G Parker. A primer on quantum fluids. Springer, 2016.

## P25 Preparación de estados mágicos en el modelo de Rabi asimétrico

A. Campos Uscanga<sup>1</sup>, E. Benítez Rodríguez<sup>1</sup>, Alma Elena Piceno Martínez<sup>2</sup>, M. A. Bastarrachea-Magnani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, C.P. 09310 CDMX, México.*

<sup>2</sup>*Centro de Investigaciones en Óptica, A.C., Loma del Bosque 115, Col. Lomas del Campestre, C.P. 37150, León, Gto.*

El concepto de no-estabilización, también llamado *magia*, surgió en el contexto del cómputo cuántico como una posible forma de alcanzar su universalidad [1]. El problema de cuantificar este recurso ha llevado a la invención de diversas cantidades en la literatura [2], particularmente adaptadas a sistemas de qubits. Sin embargo, el significado de la magia en sistemas híbridos que poseen otras características algebraicas aún no ha sido explorado. En este trabajo estudiamos la presencia de magia en el espectro del modelo cuántico de Rabi asimétrico (AQRM por sus siglas en inglés), una modificación que añade una transición espontánea al modelo paradigmático en el que un modo de radiación electromagnética interactúa con un sistema de dos niveles [3]. El AQRM ha adquirido interés recientemente no sólo por sus realizaciones experimentales [4], también por su simetría oculta [5]. Especulamos que este modelo se puede emplear para la preparación de estados mágicos mediante protocolos de ingeniería de niveles [6]. Para ello se inspeccionó la cantidad de magia del estado base en su evolución paramétrica. Dado que aún no existe un cuantificador establecido para sistemas híbridos, el estudio se centró en los operadores de densidad reducidos del espacio bosónico y del espacio de espín.

**Agradecimientos:** ACU agradece a las Becas Nacionales para Estudios de Posgrado (CONAHCyT). EBR agradece a las Estancias Postdoctorales por México (CONAHCyT). MABM agradece el apoyo del DF-UAM, la DCBI-UAM-I y la DAI-UAM.

### Referencias

- Veitch, V., et al. *N. J. Phys.* 16, 013009 (2014).
- Dai, H., et al. *Int. J. Theo. Phys.* 61, 35 (2022).
- Reyes-Busto, C., et al. *J. Phys. A: Math. Theor.* 54 285202 (2021).
- Shi, Y. Q., et al. (2022). *Phys. Rev. A*, 105, 062450 (2022).
- Mangazeev, V. V., et al. *J. Phys. A Math. Gen.* 54, 12LT01 (2021).
- Macrì, V. et al., *Phys. Rev. A* 98, 062327 (2018).

## P26 Hacia una implementación experimental de compuertas cuánticas para cúbits de polarización en la UAEMex

M. K. Campos-Vázquez<sup>1</sup>, A. García-Zurita<sup>2</sup>, K. Garay-Palmett<sup>2</sup>, F. A. Domínguez-Serna<sup>3</sup>, M. A. Aoki<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>*Centro Universitario UAEM Valle de Chalco, UAEMex*

<sup>2</sup>*Departamento de Óptica, CICESE, Ensenada, Baja California, México*

<sup>3</sup>*CONAHCYT – CICESE, Ensenada, Baja California, México*

En el desarrollo de nuevas tecnologías, la información cuántica juega un papel cada vez más relevante debido a factores como la demanda en aumento de transmisión de datos y la alta velocidad de procesamiento computacional. Así mismo, para el avance de esta área, se requieren sistemas cuánticos que permitan codificar y procesar la mayor cantidad de información posible de manera eficiente.

En este trabajo se aborda el estudio de la implementación de compuertas cuánticas para aplicaciones fotónicas con cúbits de polarización. Estas compuertas, basadas en óptica lineal y fotones individuales, han sido previamente investigadas [1]. El objetivo principal es lograr una implementación experimental que permita tanto la preparación de cúbits de polarización como su transformación. Este estudio representa el inicio de la línea de investigación en información cuántica experimental en la UAEMex, Valle de Chalco, así como el comienzo de las actividades del laboratorio de información cuántica de la universidad.

En particular, se aborda el anunciamiento de un fotón con alta pureza, generado a partir del fenómeno de mezclado de cuatro ondas espontáneo en una fibra óptica. Se parte de la descripción de placas retardadoras como compuertas cuánticas [2]. Se propone la construcción de una arquitectura experimental basada en fotones anunciados y óptica lineal para implementar las transformaciones, así como la caracterización de los estados mediante tomografía del estado de polarización [3]. Además, se discuten los resultados preliminares de simulación realizados en Python.

**Agradecimientos:** Agradecemos a los proyectos CONAHCYT IIXM 709/2018, CF-2023-G-698.

### Referencias

[1] A. McMillan, Y.P. Huang, B. Bell, A. Clark, P. Kumar, J. Rarity, Chapter 12 - Four-Wave Mixing in Single-Mode Optical Fiber, *Experimental Methods in the Physical Sciences*, Academic Press, 45. Pp 411-465 (2013).

[2] E. Knill, R. Laflamme, G. J. Milburn, A scheme for efficient quantum computation with linear optics, *Nature* 409 (2001)

[3] Ö. Bayraktar, M. Swillo, C. Canalias, G. Björk, Quantum-polarization state tomography, *Phys. Rev. A* 94 020105(R) (2016)

## P27 Transformación de Hubbard-Stratonovich aplicada al sistema de tres componentes de espín

J. P. Lemus-Saldivar<sup>1</sup>, F. J. Poveda-Cuevas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México,  
01000 Ciudad de México, México

<sup>2</sup>Cátedras CONAHCyT - Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, 01000  
Ciudad de México, México

En el Laboratorio de Materia Ultrafría del LANMAC con sede en el Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México se producen gases de Fermi degenerados a temperaturas ultrafrías. Estos gases son formados por los estados hiperfinos más bajos de  $^6\text{Li}$ . Al ser este isótopo un fermión neutro con la propiedad de modificar la interacción a pares a través de las resonancias de Feshbach, moduladas con un campo magnético, permite la formación de pares en tres regímenes de interacción la condensación de Bose-Einstein (BEC), la formación de pares tipo Cooper (BCS) y el límite unitario (crossover BEC-BCS) [1]. Los pares están formados por las dos proyecciones de espín del estado  $F=1/2$ . Para los valores del campo magnético donde se trabaja se puede añadir un tercer estado hiperfino, el de mínima proyección del estado  $F=3/2$ , utilizando radiofrecuencia (RF), dando lugar a un sistema de mezcla de espín de tres especies.

La transformada de Hubbard-Stratonovich (HS) es una técnica de función integral que se aplica desde los sistemas clásicos hasta los de muchos cuerpos que permite reducir el orden de los operadores tal como se realiza en la teoría de Campo Medio [2]. En este trabajo revisamos la aplicación de la transformada HS en el sistema descrito por el modelo BCS siguiendo lo realizado por Fletcher en [3], en este caso nos permite reducir el orden de los operadores en el término de interacción entre los fermiones de espín y momento opuestos a través de la función de partición del sistema y obteniendo uno de los resultados más relevantes de la teoría BCS, la ecuación del gap.

Con el sistema de tres especies de espín descrito anteriormente realizamos la aplicación de la transformada HS al hamiltoniano descrito en [4] donde se consideran las interacciones a pares de las tres especies, obteniendo las ecuaciones de gap. Usando las propiedades de los estados generados en el LMU se caracterizan las ecuaciones de gap obtenidas para las interacciones a pares.

### Agradecimientos

J.P.L.S. y F.J.P.C. agradecen a CONAHCyT Ciencia Básica A1-S-39242; Laboratorio Nacional (299057, 314850, y 315838), y CIC-UNAM (LANMAC-2019). J.P.L.S. agradece a CONAHCyT por el apoyo financiero otorgado a través del programa de Becas Nacionales para Estudios de Posgrado, con CVU 1311517.

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

### Referencias

- [1] Hernandez-Rajkov, et.al. “Experimental setup for the production of ultracold strongly correlated fermionic superfluids of 6Li”, *Revista Mexicana de Física*, 66. (2020)
- [2] Krzysztof Byczuk, et. al. “Generalized Gaussian integrals with application to the Hubbard–Stratonovich transformation”, *Am. J. Phys.* 1 Octubre 2023; 91 (10): 840–846.
- [3] G. Fletcher. “Functional integrals and the BCS theory of superconductivity”, *Am. J. Phys.* 1 January 1990; 58 (1): 50–53.
- [4] T. Ozawa, et. al. “Population imbalance and pairing in the BCS-BEC crossover of three-component ultracold fermions”, *Phys.Rev.A* 82 (2010), 063615

## P28 Fluidos cuánticos de luz con acoplamiento luz-materia disipativo

A. J. Vega Carmona,<sup>1</sup> A. Camacho-Guardian,<sup>2</sup> M. A. Bastarrachea-Magnani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, C.P. 09310 CDMX, México*

<sup>2</sup>*Departamento de Física Química, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 20-364, Ciudad de México, C.P. 01000, México*

La producción de excitones-polaritones, los estados cuánticos resultantes del acoplamiento fuerte entre la luz confinada en una microcavidad y las excitaciones de un semiconductor bidimensional [1], brinda una plataforma prometedora para el estudio de estados fuertemente correlacionados de luz-materia [2]. En los llamados fluidos cuánticos de luz, las interacciones polaritónicas permiten crear estados cuánticos macroscópicos que incluyen condensación, superfluididad y superconductividad [3]. En experimentos recientes, el dopaje de electrones itinerantes dentro de los semiconductores de microcavidad [4,5], ha mostrado la existencia de los polarones-polaritones, en otras palabras, excitones-polaritones vestidos con las excitaciones del mar de Fermi [6], y la formación de triones-polaritones (estado ligados de un excitón-polaritón y una carga libre) [7], ampliando así las perspectivas en la generación de efectos ópticos no lineales y nuevas fases de la materia cuántica [8]. Usando una teoría diagramática perturbativa, en este trabajo se explora el efecto de modificar la relación de dispersión de excitones-polaritones fuertemente acoplados a un gas bidimensional de Fermi, al introducir un acoplamiento luz-materia disipativo puesto que se ha demostrado que esta disipación introduce una masa “negativa” en los polaritones [9], lo que abre nuevas posibilidades para investigar los efectos no hermitianos en los fluidos cuánticos de luz.

**Agradecimientos:** AJVC agradece a las Becas Nacionales para Estudios de Posgrado (CONAHCyT). ACG agradece el apoyo a UNAM DGAPA PAPIIT No. IA101923, UNAM DGAPA PAPIME No. PE101223, PIIF 23. MABM agradece el apoyo al DF-UAM, la DCBI-UAM-I y la DAI-UAM.

**Referencias:**

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

- H. Deng, et al. *Rev. Mod. Phys.* 82, 1489 (2010).
- J. Bloch, et al. *Nat. Rev. Phys.* 4, 470 (2022).
- I. Carusotto and C. Ciuti. *Rev. Mod. Phys.* 85, 299 (2013).
- L. B. Tan, et al. *Phys. Rev. X* 10, 021011 (2020).
- R. P. A. Emmanuele, et al. *Nat. Comm.* 11, 3589 (2020).
- M. A. Bastarrachea-Magnani, et al. *Atoms* 2021, 9, 8 (2021).
- O. Koksal, et al. *Phys. Rev. Res.* 3, 033064 (2021).
- M. A. Bastarrachea-Magnani, et al. *Phys Rev. Lett.* 126, 127405 (2021).
- M. Wurdack, et al. *Nat. Comm.* 14, 1026 (2023).

## P29 Transporte de calor en el límite de acoplamiento fuerte-profundo del Modelo de Hopfield Isotrópico

Stephania Palafox<sup>1</sup> y Ricardo Román-Ancheyta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Calle Luis Enrique Erro No. 1  
Santa María Tonantzintla, Puebla CP 72840, México*

<sup>2</sup>*Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada-UNAM, Boulevard Juriquilla  
No.3001 Santiago de Querétaro, Querétaro CP 76230, México*

Es bien conocido que la corriente eléctrica es uno de los elementos más importantes de la electrónica, análogo a esto, uno de los objetivos más ambiciosos de la caloritrónica, también conocida como termotrónica, es tener el control total de las corrientes de calor en micro y nano dispositivos fabricados. Las corrientes eléctricas pueden interactuar con campos electromagnéticos y uno puede utilizar esa interacción para manipularlas. Sin embargo, las corrientes de calor son llevadas por fonones o fotones y no es tan sencillo manipularlas con técnicas de electrónica moderna. A pesar de esta dificultad, ha habido un impresionante estudio del transporte de calor con ejemplos representativos tales como la medición de la conductancia térmica en sistemas cuánticos individuales y los rectificadores térmicos. Motivados por recientes trabajos de transporte de calor en máquinas térmicas, en este trabajo se estudia el comportamiento de la corriente de calor para un modelo de Hopfield simplificado, tomando el caso particular isotrópico, en el límite de acoplamiento fuerte-profundo.

Nuestro modelo de Hopfield se compone de dos osciladores armónicos a diferentes frecuencias acoplados entre sí. Cada oscilador se encuentra debilmente acoplado a un baño térmico a diferente temperatura modelado como una colección de osciladores armónicos.

Por otro lado, se ha estudiado que el enfoque global de la ecuación maestra es en general más preciso bajo ciertas condiciones de validez, por ello partimos de la diagonalización del Hamiltoniano de Hopfield simplificado para el caso isotrópico y derivamos la ecuación maestra con un enfoque global en la aproximación de Born-Markov. Más tarde utilizando la ecuación maestra obtenida y el hamiltoniano de Hopfield diagonalizado, calculamos la corriente de calor de uno de los baños.

Graficando la corriente de calor contra el acoplamiento normalizado, en el caso fuera de resonancia, se observó que mientras más pequeño es el acoplamiento entre los osciladores la corriente también es más pequeña, lo cuál es razonable ya que si no existe conexión entre el sistema, la corriente de calor no puede fluir entre cada uno de los elementos. Por el contrario, sería lógico pensar que mientras mayor sea la magnitud del acoplamiento mayor será la corriente de calor que fluye, sin embargo, los resultados obtenidos arrojan que cuando el acoplamiento entre los osciladores crece considerablemente, la corriente de calor decrece incluso tendiendo a cero, tal como pasa en el caso anterior cuando el acoplamiento es débil. Esto

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

nos hace pensar que existe un fenómeno de “desacoplamiento termodinámico” cuando consideramos acoplamientos en el límite fuerte-profundo, lo cuál es un resultado bastante interesante. Por otro lado, para el caso en resonancia, aunque existe también un desacoplamiento termodinámico cuando consideramos acoplamientos mayores, sucede que los resultados arrojan que existe una corriente de calor fluyendo a través del sistema aún en el caso donde el sistema se desacopla. Claramente es un error debido a que la ecuación maestra global no es válida cuando se considera resonancia en el sistema ya que la aproximación secular no está bien justificada y por tanto arroja resultados inconsistentes.

Por lo tanto, nuestros resultados pueden ser significativos para el estudio del transporte de calor en el límite de acoplamiento fuerte-profundo.

### Referencias

1. P. P. Hofer, M. Perarnau-Llobet, L. D. M. Miranda, G. Haack, R. Silva, J. B. Brask, and N. Brunner, *New J. Phys.* **19**, 123037 (2017).
2. M Salado-Mejía, R Román-Ancheyta, F Soto-Eguibar and H M Moya-Cessa, *Quantum Science and Technology* **6**, 025010 (2021).
3. Marco Cattaneo *et al* *New J. Phys.* **21** 113045 (2019).
4. H. J. Carmichael, *Statistical Methods in Quantum Optics 1, Texts and Monographs in Physics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, pp. 5–16, 1999.
5. M. Tahir Naseem, André Xuereb, and Özgür E. Müstecaplıoğlu, *Phys. Rev. A* **98**, 052123 (2018).

# P30 Modelo de procesamiento de información cuántica mediante óptica lineal en fotónica integrada aplicado a la compuerta de Toffoli.

F. García-Gutiérrez<sup>1</sup>, F. A. Domínguez-Serna<sup>2</sup>, M. A. Aoki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México Campus Valle de Chalco UAEMex

<sup>2</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California CICESE

Este estudio se adentra en la exploración de compuertas Toffoli de tres qubits en fotónica integrada [1]. Para lograrlo, se analiza una red fotónica programable, lo que permite la investigación de diferentes permutaciones dentro de la red utilizando Python [2]. Este enfoque facilita la realización de compuertas cuánticas en una red de interferómetros Mach-Zehnder configurables. Se presenta un ejemplo de esta implementación a través de la compuerta cuántica CNOT.

En Python, se han implementado algoritmos que operan sobre una matriz unitaria y estados de Fock definidos. Estos algoritmos permiten calcular las distintas permutaciones que relacionan las entradas y salidas de matrices de transformación que definen a la red fotónica. Lo anterior con el objetivo de describir la probabilidad de que el estado de entrada se transforme en el estado de salida bajo la acción de la red. Como resultado, se obtiene una expresión matemática que describe dicha probabilidad, junto con el cálculo de la matriz permanente resultante de las permutaciones de la matriz unitaria.

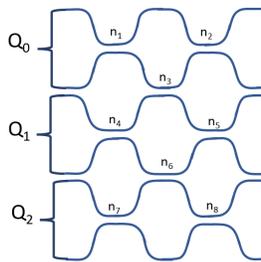


Figura1. Arquitectura de una red con MZI's con 3 cúbits.

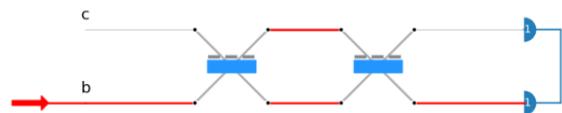


Figura 2.Simulacion MZI PhotoniQlab.

En este trabajo buscamos diseñar compuertas de Toffoli de  $n$  cúbits para implementar operaciones cuánticas de forma escalable en una red fotónica programable. Este enfoque se muestra en la Figura 1 y se basa en el uso de diferentes divisores de haz y una red de interferómetros Mach-Zehnder (MZI) compuestos por divisores de haz cuya razón de división es configurable. En la Figura 2, mostramos el modelo para cada MZI simulado en la paquetería PhotoniQlab de Python.

# Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

## Agradecimientos

Agradecemos a los proyectos CONAHCYT IIXM 709/2018, CF-2023-G-687.

## Referencias

[1] Li, Y., Wan, L., Zhang, H., Zhu, H., Shi, Y., Chin, L. K., Zhou, X., Kwek, L. C., & Liu, A. Q. (2022). Quantum Fredkin and Toffoli gates on a versatile programmable silicon photonic chip. *Npj Quantum Information*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41534-022-00627-y>

[2] Steinbrecher, G. (2019) Programmable Photonics for Quantum and Classical Information Processing. MIT Thesis. Pp 156

# P31 Avances en la sintonización de SFWM generado en microesferas para aplicaciones en memorias cuánticas

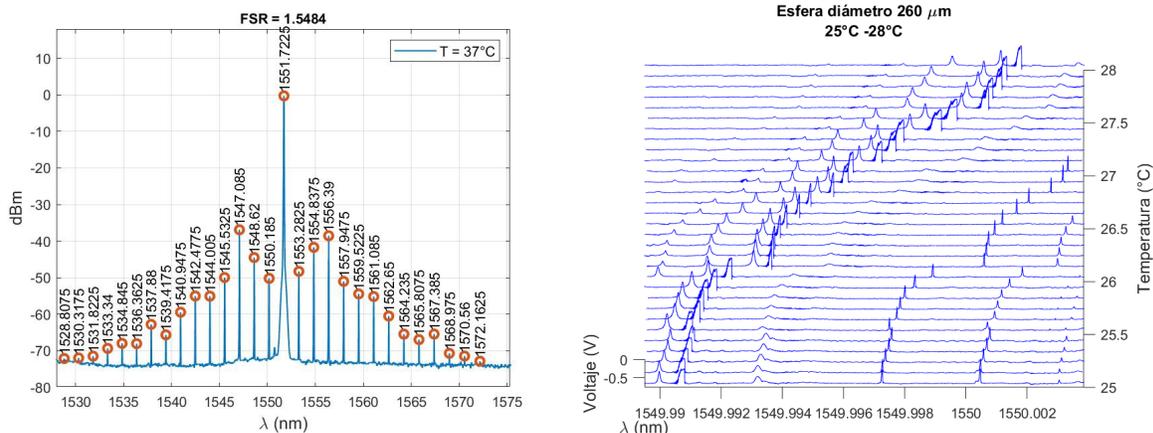
Donaldo Orbe Barragán<sup>1</sup>, César Bertoni-Ocampo<sup>1</sup>, Samuel Durán-Gómez<sup>2</sup>, Erasto Ortiz-Ricardo<sup>3</sup>, Héctor Cruz Ramirez<sup>1</sup>, Roberto Ramírez-Alarcón<sup>2</sup>, Alfred B. U'Ren<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-543, 04510 México, D.F., Mexico

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Óptica A.C., Loma del Bosque 115, Colonia Lomas del Campestre, León, Guanajuato 37150, Mexico

<sup>3</sup>División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Loma del Bosque 103, León, Guanajuato 37150, Mexico

Presentamos los avances realizados en la sintonización por temperatura del peine de frecuencias generado por SFMW (Spontaneous Four Wave Mixing) en microesferas de sílice fundida acopladas mediante campo evanescente de una fibra óptica estrechada. Los fotones generados, que poseen un ancho de banda ultradelgado ( kHz), serán aprovechados para acoplarse al espectro de absorción de una guía óptica dopada con iones de Erblio, cuyo retraso en la reemisión de los fotones nos servirá como modelo de memoria óptica cuántica. Todo el sistema ha sido implementado en un esquema basado en fibra óptica compatible con infraestructura estándar de telecomunicaciones.



## Referencias

- [1] Erasto Ortiz-Ricardo, Cesar Bertoni-Ocampo, Mónica Maldonado-Terrón, Arturo Garcia Zurita, Roberto Ramirez-Alarcon, Hector Cruz Ramirez, R. Castro-Beltrán, and Alfred B. U'Ren, "Submegahertz spectral width photon pair source based on fused silica microspheres," *Photon. Res.* 9, 2237-2252 (2021)
- [2] Saglamyurek, E., Jin, J., Verma, V. et al. Quantum storage of entangled telecom-wavelength photons in an erbium-doped optical fibre. *Nature Photon* 9, 83–87 (2015).

## P32 Polarímetro de Stokes casero basado en la técnica de división de amplitud

A. Del Río-Lima<sup>1</sup>, A. Gutierrez-Valdés<sup>1</sup>, C. Mojica-Casique<sup>2</sup>, E. Ballesteros-Flores<sup>1</sup>, I. A. Villanueva-Reyes<sup>1</sup>, R. Colín-Rodríguez<sup>3</sup>, C.A. Gardea-Flores<sup>1</sup>, F. J. Poveda-Cuevas<sup>4</sup>, & J.A. Seman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510 Ciudad de México, Mexico

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México C. P. 04510, México

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Carr. Federal México-Texcoco, km 38.5 C. P. 56230, Texcoco, Edo. de México, México

<sup>4</sup>Cátedras CONAHCyT, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México C. P. 04510, México

En la actualidad, prácticamente todos los campos de la ciencia y de la tecnología utilizan luz láser: desde los experimentos con átomos ultrafríos hasta la cirugía asistida con luz láser; desde la manipulación de biomoléculas individuales hasta la búsqueda de ondas gravitacionales. Por lo tanto, existe una necesidad creciente de instrumentos que permitan determinar con precisión las diferentes propiedades de la luz.

En este trabajo presentamos un polarímetro de Stokes casero para la determinación del estado y del grado de polarización de un haz de luz por medio de la medición de los cuatro parámetros de Stokes. Nuestro diseño utiliza componentes ópticos comercialmente disponibles, montados en una base impresa en 3D. Nuestro software permite visualizar en la esfera de Poincaré el estado de polarización medido. La precisión del instrumento depende de la calidad de los componentes elegidos, lo cual, a su vez, impacta su precio. Dependiendo de esta elección, el instrumento puede usarse en aplicaciones que van desde propósitos didácticos simples, hasta mediciones más precisas apropiadas para hacer investigación. En nuestro caso, la precisión es mejor a  $1.60^\circ$  en la determinación del estado de polarización y es del 4.2% en el grado de polarización [1].

Nuestro instrumento resulta particularmente útil para la estabilización de fibras mantenedores de la polarización de manera rápida y sencilla, representando una alternativa de bajo costo a instrumentos comerciales más costosos.

### **Agradecimientos:**

Este trabajo fue financiado por CONAHCyT a través de los proyectos CF-2023-I-72 y A1-S-39242; DGAPA-UNAM-PAPIIT por medio de los proyectos IN109021 y IN105724, y CIC-UNAM a través de los proyectos LANMAC-2023 y LANAMC-2024.

F.B.F. (con CVU: 1225850) agradece a CONAHCyT por el apoyo otorgado por la Beca Nacional de Estudios de Posgrado.

### **Referencias**

[1] Harutinian, Jorge Seman; del Río-Lima, Alejandra; Valdés, Andrés Gutiérrez; Mojica-Casique, Cristian; Ballesteros-Flores, Fernando; Villanueva-Reyes, Itze; et al. (2024). Homemade open-source full-Stokes polarimeter based on division of amplitude. Optica Open. Preprint. <https://doi.org/10.1364/opticaopen.25749618.v1>

## P33 Fuente Integrada de Parejas de Fotones Basada en un Micro Resonador de Nitruro de Silicio para Aplicaciones en Memorias Cuánticas

Juan Samuel Sebastián Durán Gómez<sup>1,2</sup>, Roberto Ramírez Alarcón<sup>1</sup>, Mauricio Gómez Robles<sup>2</sup>, Patricia Marisol del Carmen Tavares Ramírez<sup>1,2</sup>, Gerardo de Jesús Rodríguez Becerra<sup>1,2</sup>, Erasto Ortiz Ricardo<sup>3</sup>, Rafael Salas Montiel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Centro de Investigaciones en Óptica A.C., Loma del Bosque 115, Colonia Lomas del Campestre, 37150 León, Guanajuato, México.*

<sup>2</sup>*Laboratory Light, nanomaterials, and nanotechnologies, L2n CNRS UMR 7076, Université de Technologie de Troyes, 1000, France*

<sup>3</sup>*División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Guanajuato, Loma del Bosque 103, 37150 León, Guanajuato, México.*

Reportamos el diseño de una fuente integrada de parejas de fotones basada en la mezcla de cuatro ondas espontánea (SFWM), implementada en un micro-resonador en anillo integrado en la plataforma de nitruro de silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>). El fotón señal se genera con una emisión a 606 nm y un ancho de banda de 3.98 MHz, coincidiendo con las propiedades espectrales de iones de praseodimio (Pr), mientras que el fotón de acompañante se genera a 1430.5 nm, coincidiendo con la longitud de onda de un canal CWDM en la banda E. Este novedoso dispositivo está diseñado para interactuar con una memoria cuántica basada en un cristal de Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> dopado con iones Pr<sup>3+</sup>, en el cual utilizamos SFWM en una cavidad resonante, y se hace ingeniería de dispersión para alcanzar la longitud de onda requerida y el ancho de banda espectral del fotón de señal de unos pocos MHz.

### Agradecimientos

Agradecemos el apoyo financiero de CONACYT México y del Centro francés HPC ROMEO.

### Referencias

1. JSS Durán Gómez, R. Ramírez Alarcón, M. Gómez Robles, PMC Tavares Ramírez, GJ Rodríguez Becerra, E. Ortiz Ricardo, and R. Salas-Montiel. *Integrated photon pair source based on a silicon nitride micro-ring resonator for quantum memories*. Optics Letters, 49(7):1860–1863, 2024.

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

2. L Ma, O Slattery, and X Tang. *Optical quantum memory and its applications in quantum communication systems*. J. Res. Natl. Inst. Stan., 125(125002):1–13, 2020.
3. Jelena V Rakonjac, Giacomo Corrielli, Dario Lago-Rivera, Alessandro Seri, Margherita Mazzera, Samuele Grandi, Roberto Osellame, and Hugues de Riedmatten. Storage and analysis of light-matter entanglement in a fiber-integrated system. *Science Advances*, 8(27):eabn3919, 2022.
4. Jianji Liu, Jiachen Liu, Ping Yu, and Guoquan Zhang. Sub-megahertz narrow-band photon pairs at 606 nm for solid-state quantum memories. *APL Photonics*, 5(6):066105, 2020.
5. K Garay-Palmett, Y Jeronimo-Moreno, and A B U'Ren. Theory of cavity-enhanced spontaneous four wave mixing. *Laser Physics*, 23(1):015201, 2013.

## P34 Segunda cuantización para gases de bosones y fermiones en una trampa armónica

A. del Río-Lima<sup>1</sup>, F. J. Poveda-Cuevas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México,*

*01000 Ciudad de México, México*

<sup>2</sup>*Cátedras CONAHCyT - Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, 01000 Ciudad de México, México*

Existe una amplia literatura en donde se estudian sistemas de muchos cuerpos bosónicos y fermiónicos descritos en el formalismo de segunda cuantización. Dichos sistemas se encuentran en el límite termodinámico y pueden enmarcarse en los sistemas que son homogéneos, ya que el potencial externo por construcción se hace cero. Naturalmente, la base que se elige es la de ondas planas con la restricción a estar dentro del volumen de la caja. Este sistema es bien entendido y ha sido estudiado exhaustivamente en diferentes versiones de sistemas extendidos y homogéneos. Particularmente, cuando tratamos gases interactuantes cerca de la temperatura degeneración, fermiónicos o bosónicos, estos se encuentran sumergidos en un potencial externo en la aproximación de potencial armónico. En este trabajo, se hace una descripción en segunda cuantización para bosones y fermiones usando una base apropiada para el potencial de confinamiento, el cual dependerá fuertemente de la geometría del confinamiento y si el sistema se encuentra próximo a la degeneración. Se mostrarán las propiedades generales de los operadores de uno y dos cuerpos, y se hará un análisis del sistema cuando la frecuencia o la interacción son dependientes del tiempo.

### **Agradecimientos**

A.R.L. agradece a CONAHCYT la beca de posgrado. F.J.P.C. Agradece a CONAHCYT y al IF-UNAM.

## P35 Termodinámica de la condensación de Bose-Einstein para perfiles bimodales en trampas armónicas.

Stephanie Dondé Rodríguez<sup>1</sup>, Freddy Jackson Poveda Cuevas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Coyoacán, 62251 Ciudad de México, México*

<sup>2</sup>*Cátedras CONAHCyT - Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, 01000 Ciudad de México, México*

Los gases ultrafríos en su versión bosónica y/o fermiónica son una de las más grandes hazañas técnicas y científicas de los últimos tiempos. Estos gases pueden alcanzar temperaturas menores a los 100 nK con alrededor de 10<sup>4</sup> átomos. Además, manifiestan diferentes fenómenos físicos como la condensación de Bose-Einstein y la superfluidez. En la literatura se usan las variables canónicas como la presión y el volumen para describir termodinámicamente un gas tanto bosónico como fermiónico. Estas variables suelen ser buenas variables termodinámicas cuando consideramos que el contenedor es una caja con un cierto volumen. No obstante, en experimentos con gases atómicos ultrafríos están confinados en potenciales generados por campos magnéticos, eléctricos o ambos. Este tipo de confinamiento varía espacialmente, lo que lleva a un perfil de densidad del gas que varía con la posición. La existencia del potencial externo altera de manera importante todas las propiedades termodinámicas de los sistemas. Este confinamiento condujo a la formulación de nuevas variables termodinámicas globales destinadas a investigar las transiciones de fase, la cual tiene un perfil característico, que nos da pistas sobre la ecuación de estado del sistema.

SDR y FJPC agradecen a CONAHCyT y al IF-UNAM.

### Referencias

[1] V. Romero-Rochin and V. S. Bagnato Vanderlei, *Thermodynamics of an Ideal Gas of Bosons Harmonically Trapped: Equation of State and Susceptibilities*, Braz. J. Phys. 35. (2005) p. 607

## P36 Preparación del estado inicial $|F=1, m=0\rangle$ en átomos de $^{87}\text{Rb}$ mediante bombeo óptico

Luis Fernando Jiménez, Alejandra López Vázquez, Josué Hernández Hernández,  
Eduardo Gómez García

*Instituto de Física, Universidad Autónoma de San Luis Potosí*

Dentro de los pasos iniciales para realizar interferometría atómica se encuentra la preparación del estado inicial. En el laboratorio de átomos fríos de la UASLP estamos trabajando en una secuencia de gravimetría atómica que utiliza la transición de reloj en  $^{87}\text{Rb}$ . En este trabajo presentamos los resultados experimentales de la demostración de la preparación del estado inicial requerido, que en nuestro caso corresponde al estado  $|F=1, m=0\rangle$ . Aplicando dos haces láser con la frecuencia y polarización correcta logramos bombear al átomo directamente a dicho estado. Caracterizamos la efectividad del bombeo óptico realizando espectroscopía de microondas sobre la muestra. Partiendo de este estado inicial logramos observar un patrón de interferometría de Ramsey con una excelente visibilidad y muy baja decoherencia.

### **Agradecimientos**

CONACyT, COPOCyT, UASLP y LANMAC

## P37 ¿Cavidad cúbica o esférica? Dos posibles modelos para describir la sección eficaz de frenamiento de un átomo

Rosa María Reyes y Remigio Cabrera Trujillo  
*Instituto de Ciencias Físicas, UNAM, Cuernavaca, Morelos, México*

Los sistemas cuánticos confinados tienen aplicaciones en diversas áreas, por ejemplo: nanomateriales, puntos cuánticos, radioterapia y dosimetría; por ello es de sumo interés estudiar sus características. Una forma de hacerlo es usar modelos sencillos que nos permitan, bajo ciertas condiciones, analizar el comportamiento de dichos sistemas. En el presente trabajo se estudian las tensiones de oscilador generalizadas y las reglas de suma de Bethe para dos posibles modelos: una cavidad cúbica y una esférica. A partir de las tensiones de oscilador generalizadas se estudian propiedades del sistema tales como: la energía media de excitación y el poder de frenamiento, ambas dependientes de los parámetros del modelo. La información obtenida de estos modelos se compara con datos experimentales conocidos para algunos átomos y ello nos permite caracterizar los parámetros de los modelos que mejor ajusten para el átomo correspondiente.

### **Agradecimientos**

Agradezco a CONAHCYT por la beca (NUM CVU 483593) otorgada a través del programa: Estancias Posdoctorales por México; al ICF-UNAM y a DGAPA-PAPIIT IN-109-623.

### **Referencias**

1. C. Delerue, M. Lannoo, Quantum Confined Systems. In: Nanostructures. NanoScience and Technology. (Springer, Berlin, Heidelberg, 2004) pp. 47-76
2. R. Cabrera-Trujillo, S. A. Cruz. Phys. Rev. A 87 (2013) 012502
3. R. Cabrera-Trujillo, R. Méndez-Fragoso, S. A. Cruz. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 49 (2016) 015005
4. R. Cabrera-Trujillo, J. Oddershede, Chapter Seven-Dipole Sum Rules of an Endo-hedral Confined Hydrogen Atom: Effects of the Cavity Discontinuity, Advances in Quantum Chemistry, (Academic Press, 2018).
5. R. Méndez-Fragoso, R. Cabrera-Trujillo, Eur. Phys. J. D 75 (2021) 40

P38

## Análisis semiclásico predictivo para eigenestados cuánticos

A. Campos Uscanga<sup>1</sup>, S.A Lerma-Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, C.P. 09310 CDMX, México.*

<sup>2</sup>*Facultad de Física, Universidad Veracruzana, Paseo 112, C.P. 91097, Xalapa, Veracruz, México*

La formulación cuántica del espacio fase permite emplear técnicas de mecánica clásica en el estudio de sistemas cuánticos [1]. A diferencia de los sistemas clásicos, en dicho espacio los estados cuánticos se describen por distribuciones de cuasi-probabilidad. En este trabajo, se utilizó una de estas distribuciones, la función de Husimi [2], para dar una interpretación en el espacio fase a los eigenestados de dos modelos no analíticos: Hamiltoniano con un potencial cuártico asimétrico y el Hamiltoniano de Dicke [3]. Nuestros resultados indican que es factible hacer predicciones sobre la estructura de los eigenestados cuánticos antes de la diagonalización que permiten desarrollar métodos numéricos eficientes para su estudio.

### Referencias

Lee, H. W. (1995). *Physics Reports*, 259(3), 147-211.

Arecchi, F. T., Courtens, E., Gilmore, R., & Thomas, H. (1972). *Physical Review A*, 6(6), 2211.

Dicke, R. H. (1954). *Physical review*, 93(1), 99.

## P39 Hacia la generación de potenciales ópticos arbitrarios para la manipulación de gases cuánticos

José Luis Lugo Castillo<sup>1</sup>, Fernando Ballesteros Flores<sup>1</sup>, Juan Pablo Lemus Saldivar<sup>1</sup>, Carlos Alberto Gardea Flores<sup>1</sup>, Freddy Jackson Poveda Cuevas<sup>2</sup> y Jorge Amin Seman Harutinian<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510 Ciudad de México, México.*

<sup>2</sup>*Cátedras CONAHCyT, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510 Ciudad de México, México.*

Una de las herramientas principales para el estudio y manipulación de los gases cuánticos ultrafríos es la luz láser. Por este motivo, es crucial el desarrollo de técnicas e instrumentos que permitan determinar y controlar sus propiedades.

En este trabajo presentamos la técnica que se utiliza en el Laboratorio de Materia Ultrafría del IFUNAM para la creación y control de potenciales ópticos arbitrarios que serán útiles para confinar al sistema ultrafrío en potenciales con geometría arbitraria. Para ello se propone la implementación de un modulador espacial de luz basado en un arreglo de microespejos (DMD por sus siglas en inglés, *Digital Micromirror Device*) y un sistema de control y retroalimentación que permita producir potenciales de luz láser con resolución del orden de 1  $\mu\text{m}$ . Presentamos también el proceso de calibración del instrumento y el sistema de control mediante un sistema de retroalimentación, que utiliza componentes ópticos y software para poder producir los potenciales de luz deseados, reduciendo el ruido y variaciones de intensidad. Adicionalmente, se explica la capacidad de este sistema de producir potenciales dinámicos, y de caracterizar la resolución del sistema óptico de imagen. Estos potenciales serán utilizados en nuestro experimento para la producción de gases cuánticos confinados en potenciales de paredes rígidas, así como en la producción de excitaciones colectivas de manera controlada.

### Agradecimientos:

Este trabajo fue financiado por CONAHCyT a través de los proyectos CF-2023-I-72 y A1-S-39242; DGAPA-UNAM-PAPIIT por medio de los proyectos IN109021 y IN105724, y CIC-UNAM a través de los proyectos LANMAC-2023 y LANAMC-2024.

### Referencias:

[1] Del Pace, G. (2018). *Tailored optical potentials for experiments with atomic superfluids*. [Masters thesis, University of Firenze]. LENS Quantum Gases. [https://quantumgases.lens.unifi.it/theses/thesis\\_delpace\\_master.pdf](https://quantumgases.lens.unifi.it/theses/thesis_delpace_master.pdf)

[2] Del Pace, G. (2021). *Tunneling transport in strongly-interacting atomic Fermi gases*. [PhD thesis, University of Firenze] LENS Quantum Gases. [https://quantumgases.lens.unifi.it/theses/thesis\\_delpace\\_phd.pdf](https://quantumgases.lens.unifi.it/theses/thesis_delpace_phd.pdf)

# P40 Análogo óptico de la radiación de Hawking utilizando parejas de fotones entrelazados

Rodrigo Felipe-Elizarraras<sup>2</sup>, Hector Cruz-Ramirez <sup>1</sup>, Alfred B. U'Ren<sup>1</sup>, David Bermudez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-543, 04510 CDMX, México

<sup>2</sup>Departamento de Física, Cinvestav, A.P. 14-740, 07000 Ciudad de México, Mexico

En este trabajo creamos experimentalmente métricas efectivas espacio-temporales que describen de manera análoga como se propaga la luz en agujeros negros astrofísicos. Para ello, utilizamos fibras ópticas de cristal fotónico y pulsos de luz ultracortos que modifican el índice de refracción y atrapan luz como los horizontes de eventos astrofísicos [1]. Con ello inicialmente medimos la radiación de Hawking análoga estimulada clásica y aumentamos su visibilidad mediante interferencia [2].

Ahora, utilizamos fotones individuales de prueba para estimular la radiación de Hawking mediante parejas de fotones entrelazados en polarización y energía a través del proceso de mezclado espontáneo de cuatro ondas (SFWM) [3], en las condiciones exactas de igualdad de velocidad de grupo entre pulso y prueba [Figura 1 izquierda]. Esta condición genera un corrimiento de frecuencia huella del análogo del efecto Hawking que ocurre alrededor del horizonte [Figura 1 derecha], permitiéndonos medir correlaciones entre uno de los fotones de Hawking y los dos producidos por SFWM probando que el proceso medido es cuántico y que los fotones de prueba son transformados en fotones de Hawking.

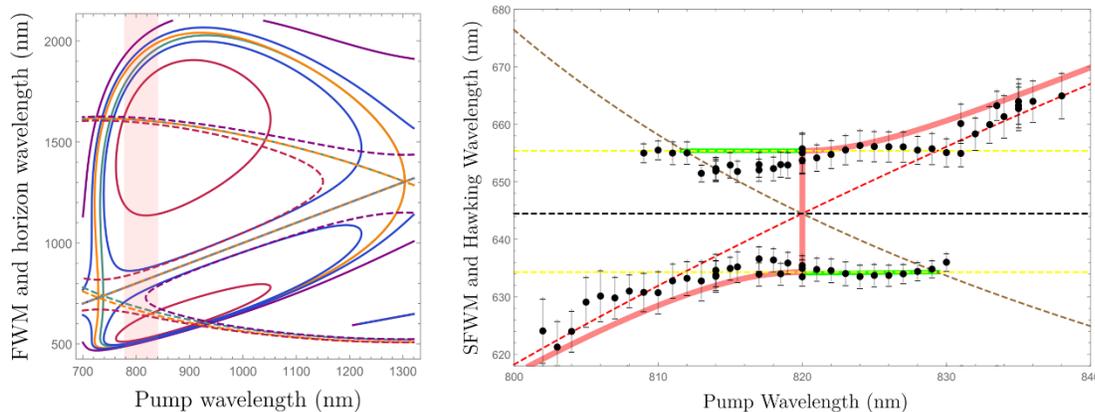


Fig. 1 [Izquierda] Curvas de empatamiento de fases para la generación de fotones de SFWM (sólidas) y curvas de empatamiento de velocidades (punteadas) . [Derecha] Corrimiento de la longitud de onda de los fotones debido a la interacción con el horizonte.

## Referencias

- [1] Thomas G. Philbin et al. ,Fiber-optical analog of the event horizon. Science 319, 1367-1370(2008). DOI:10.1126/science.1153625.
- [2] Rodrigo Felipe-Elizarraras, Hector Cruz-Ramirez, Karina Garay-Palmett, Alfred B. U'Ren, and David Bermudez, "Effective Michelson interference observed in fiber-optical analogue of Hawking radiation," Opt. Express 30, 8063-8074 (2022).
- [3] De la Torre-Robles, D., Dominguez-Serna, F., Osorio, G.L. et al. Frequency and polarization emission properties of a photon-pair source based on a photonic crystal fiber. Sci Rep 11, 18092 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97563-2>.

## P41 Estudio del espectro físico dependiente del tiempo de un sistema optomecánico.

García Márquez Marco Antonio, Ramos Prieto Irán, Moya Cessa Héctor Manuel.

*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.*

El concepto de espectro de una perturbación describe cómo varía la intensidad de la perturbación en función de la frecuencia asociada a sus intervalos periódicos. El llamado “espectro físico”, introducido por Eberly-Wódkiewicz [1], se enfoca en describir el espectro de la luz teniendo en cuenta los aspectos físicos del proceso de detección de la misma. En la aplicación práctica el espectro se determina utilizando un filtro de frecuencia, como un interferómetro Fabry-Perot, que permite el paso de radiación electromagnética en un rango específico de frecuencias, cuyas intensidades son medidas por un detector. Teniendo en cuenta la tasa de conteo del detector fotoeléctrico es posible establecer un espectro luminoso que, en general, varía como función del tiempo y que además depende del ancho de banda finito del filtro.

Existen otras definiciones de espectro, pero suelen tener algunas ambigüedades y características que no son físicas. El espectro “usual” del análisis armónico no es aplicable a procesos aleatorios estacionarios debido a que dichos procesos no desaparecen después tiempos prolongados, y por lo tanto no son funciones de cuadrado integrable y no poseen transformada de Fourier. El espectro de potencia del teorema de Wiener-Khintchine solo es aplicable a procesos aleatorios estacionarios, no obstante, los procesos naturales nunca son verdaderamente estacionarios. Además, un espectro observable no puede depender del comportamiento futuro de su proceso aleatorio. Page [2] y Lampard [3] sugirieron de forma independiente una alternativa al espectro de Wiener-Khintchine, válida para procesos aleatorios no estacionarios, sin embargo, su definición de espectro puede dar como resultado densidades de energía negativas. Dado que el espectro físico dependiente del tiempo de Eberly-Wódkiewicz se deriva de una situación experimental, además de que es aplicable a cualquier proceso aleatorio no estacionario, ya sea clásico o cuántico, y puede ser utilizado de manera estándar para calcular espectros que no necesariamente corresponden al de la luz, este será usado para el cálculo de los espectros de interés.

En este trabajo se analiza el espectro físico dependiente del tiempo de Eberly-Wódkiewicz correspondiente a la parte de la materia en un sistema optomecánico de cavidad, el cual involucra la interacción de un oscilador mecánico y un campo electromagnético de cavidad, considerando estados de Fock y estados coherentes como estados iniciales del sistema optomecánico. Se observa la evolución temporal del espectro hasta llegar a un momento en el que la amplitud aproximadamente se mantiene constante en el tiempo. Además, se muestra que cuando el estado inicial del campo posee cierta cantidad de fotones en estados de fock o coherentes, mientras que el espejo móvil está en un estado de cero fonones, al transcurrir el tiempo se obtiene

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

un espectro distinto de cero correspondiente al espejo móvil, lo que muestra el acoplamiento entre el campo de cavidad y el espejo móvil.

**Agradecimientos:** M. A. García Márquez agradece al Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, así como al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAH-CYT) por la beca de doctorado otorgada (No. CVU 1140754).

### Referencias

- [1] Eberly, J. H., & Wódkiewicz, K. (1977). The time-dependent physical spectrum of light\*. Journal Of The Optical Society Of America, 67(9), 1252.
- [2] Page, C. H. (1952). Instantaneous power Spectra. Journal Of Applied Physics, 23(1), 103-106.
- [3] Lampard, D. G. (1954). Generalization of the Wiener-Khintchine Theorem to Nonstationary Processes. Journal Of Applied Physics, 25(6), 802-803.

## P42 Filtro Fabry Perot para haces Raman en una secuencia de gravimetría atómica

Gustavo Ramírez Meléndez, Alejandra López Vázquez, Haydee Ochoa Campos, Josué Hernández Hernández, Eduardo Gómez García

*Instituto de Física, Universidad Autónoma de San Luis Potosí*

Se presenta un filtro de Fabry Perot (FP) para eliminar frecuencias no deseadas en un sistema de gravimetría atómica [1]. El gravímetro atómico requiere el uso de haces Raman contra propagantes separados a 6.8 GHz, correspondiente a la transición hiperfina en  $^{87}\text{Rb}$ . La necesidad del filtro obedece a que previamente se observó la aparición de frecuencias adicionales no deseadas en la secuencia de gravimetría [2]. El filtro FP, al ser un interferómetro de múltiples haces, produce picos de transmisión angostos a la vez que altos factores de supresión para las frecuencias no resonantes, esto resulta óptimo para permitir la transmisión de los haces Raman y bloquear la luz a frecuencias lejos de estos. El filtro diseñado consiste en una pieza de Invar con espejos colocados en sus caras opuestas. La longitud de la pieza se eligió para lograr un rango libre espectral correspondiente a la separación de los haces Raman. Uno de los espejos se sujetó a un disco piezoeléctrico, cuyo voltaje fue controlado por un Arduino, esto permite mover el espejo para sintonizar el filtro y generar una señal de control para estabilizar la frecuencia. La elección del piezoeléctrico resultó la más conveniente dado que permite la estabilización del filtro en pocos segundos. Una vez caracterizado, el filtro presentó un rango libre espectral de  $6.861 \pm 0.014$  GHz y picos de transmisión de  $82 \pm 2$  %. Con la secuencia de control se logró una estabilización en frecuencia de 4 MHz. Para complementar la caracterización óptica, el funcionamiento de filtro se demostró utilizando átomos enfriados y atrapados con láseres. Aplicamos la interferencia de Ramsey con un eco de espín añadido para identificar experimentalmente el efecto de la dispersión de fotones debido a la presencia de un láser entre los pulsos de microondas. La luz proviene de un láser de Titanio Zafiro que se puede fijar a una desintonía deseada para caracterizar su efecto. La técnica del eco de espín elimina los efectos de la decoherencia para dejar únicamente la dispersión de luz que es la que nos interesa. Este último resulta en una disminución en la amplitud de las franjas de Ramsey. Demostramos que el filtro en efecto logra una reducción de aproximadamente tres órdenes de magnitud de cualquier componente resonante de luz, gracias a lo cual podemos realizar la secuencia interferométrica minimizando problemas de decoherencia.

### **Agradecimientos**

CONACyT, COPOCyT, UASLP y LANMAC

### **Referencias**

[1] A. López-Vázquez, et al. *Opt. Exp.*, 3, 3504-3519 (2023)

[2] J.M. Cervantes, et. al. *OSA Contin.* 4, 1996 (2021)

## P43 Algunas formas no algebraicas de $\exp(A+B)$ .

Tapia Valerdi Marco Antonio, Ramos Prieto Irán, Soto Eguibar Francisco, Moya Cessa Hector Manuel.

*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.*

En varios campos de la física, como la mecánica clásica, la electrodinámica y la mecánica cuántica, entre otros, es común encontrar ecuaciones con la forma  $\partial x/\partial t = (A + B)x$ . En mecánica cuántica, es fácil identificarla con la ecuación de Schrödinger, cuya solución formal es bien conocida, obteniendo un operador de evolución que a menudo toma la forma de una función exponencial que involucra dos o más operadores actuando sobre una condición inicial dada. Por lo tanto, es frecuentemente necesario encontrar expresiones para  $\exp(A + B)$ . La adopción de álgebras de Lie se ha extendido entre los investigadores que estudian comportamientos no clásicos de la luz en sistemas cuántico-ópticos [1], lo que facilita la creación de un producto de exponenciales para el término mencionado [2-4]. Incluso se han estudiado fórmulas de descomposición de operadores exponenciales en álgebras de Banach y Lie con aplicaciones en técnicas de Monte Carlo, luz estructurada, entre otros. Sin embargo, esto no siempre es factible, especialmente cuando A y B son operadores que no conmutan, lo que puede hacer que esta tarea sea desafiante o incluso imposible de lograr. En este trabajo se muestran ejemplos en donde podemos obtener expresiones para  $\exp(A + B)$  incluso cuando los operadores o superoperadores no conmutan. Por ejemplo, consideremos casos donde  $[A, B] = AB$  o  $[A, B] = 2AB$ , tal que el uso de la fórmula de Bakker-Hausdorff se ve obstaculizado, debido a que surgen relaciones de conmutación adicionales entre ellos, lo que nos impiden obtener una solución en forma cerrada utilizando álgebras de operadores establecidas. Aplicamos nuestros resultados para el caso de una ecuación maestra en su forma de Lindblad obteniendo una solución que nos permite calcular variables dinámicas. Sin embargo, nos concentramos en calcular el número promedio de fotones para algunas condiciones iniciales. Asimismo, obtenemos la función de onda para el caso donde nuestro hamiltoniano es descrito por .

### **Agradecimientos:**

M. A. Tapia Valerdi agradece al Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, así como al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de doctorado otorgada (No. CVU 1008793).

### **Referencias**

- [1] Lucas Teuber and Stefan Scheel. Solving the quantum master equation of coupled harmonic oscillators with lie-algebra methods. *Physical Review A*, 101(4):042124, 2020.
- [2] RA Sack. Taylor's theorem for shift operators. *The Philosophical Magazine: A Journal of Theoretical Experimental and Applied Physics*, 3(29):497–503, 1958.

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

[3] James Wei and Edward Norman. Lie algebraic solution of linear differential equations. *Journal of Mathematical Physics*, 4(4):575–581, 1963.

[4] Ralph M Wilcox. Exponential operators and parameter differentiation in quantum physics. *Journal of Mathematical Physics*, 8(4):962–982, 1967.

## P44 Invariantes de Lewis-Ermakov para los diferentes protocolos de atajos a la adiabaticidad

Huerta Sandoval Montserrat\*, Ramos-Prieto Irán\*

\**Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica*

Los atajos adiabáticos son técnicas empleadas con el propósito de alcanzar una evolución rápida y eficiente hacia el estado final de un sistema cuántico. A diferencia de una evolución lenta, estos atajos permiten una evolución en tiempo finito con el mismo estado final que se obtendría mediante un proceso adiabático convencional. En este estudio, se exploran algunos de los protocolos existentes para la implementación de atajos a la adiabaticidad en el contexto del oscilador armónico. Se considera tanto su formulación clásica como cuántica, y se adopta un enfoque basado en operadores y transformaciones unitarias en el caso cuántico, así como en transformaciones canónicas en el caso clásico. Se presta especial atención a los protocolos fundamentados en invariantes de tipo Lewis y en la ecuación de Ermakov.

Los invariantes de Lewis-Ermakov representan una herramienta útil en el estudio de protocolos de atajos adiabáticos en sistemas cuánticos. Dichos protocolos buscan optimizar la evolución de un sistema sin sacrificar la fidelidad adiabática. Al ser cantidades conservadas que surgen en sistemas descritos por ecuaciones diferenciales de segundo orden, desempeñan un papel fundamental en la optimización de la velocidad de evolución del sistema sin sacrificar la adiabaticidad. Su estudio proporciona una base teórica sólida para el diseño y la implementación son cruciales para el diseño y mejora de diversos protocolos, permitiendo así un control más preciso y una minimización de errores inherentes al proceso de atajo adiabático.

En el contexto del oscilador armónico, estos invariantes son especialmente relevantes debido a la importancia del oscilador armónico en la física cuántica y la mecánica clásica. La capacidad de diseñar atajos adiabáticos efectivos en el oscilador armónico tiene implicaciones significativas en una amplia gama de campos, como la información cuántica y la manipulación de estados cuánticos en sistemas de iones atrapados, entre otras.

### **Agradecimientos:**

M. Huerta Sandoval agradece al Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, así como al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de maestría otorgada (No. CVU 1231074).

### **Referencias**

Abah, O., & Lutz, E. (2018). Performance of shortcut-to-adiabaticity quantum engines. *Physical Review. E*, 98(3). <https://doi.org/10.1103/physreve.98.032121>.

Chen, X., Torrontegui, E., & Muga, J. G. (2011). Lewis-Riesenfeld invariants and transitionless quantum driving. *Physical Review. A, Atomic, Molecular, And Optical Physics/Physical Review, A, Atomic, Molecular, And Optical Physics*, 83(6). <https://doi.org/10.1103/physreva.83.062116>.

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

Muga, J. G., Chen, X., Ibáñez, S., Lizuain, I., & Ruschhaupt, A. (2010). Transitionless quantum drivings for the harmonic oscillator. *Journal Of Physics. B, Atomic Molecular And Optical Physics/Journal Of Physics. B, Atomic, Molecular And Optical Physics*, 43(8), 085509. <https://doi.org/10.1088/0953-4075/43/8/085509>

Guéry-Odelin, D., Ruschhaupt, A., Kiely, A., Torrontegui, E., Martínez-Garaot, S., & Muga, J. G. (2019). Shortcuts to adiabaticity: Concepts, methods, and applications. *Reviews Of Modern Physics*, 91(4). <https://doi.org/10.1103/revmodphys.91.045001>

## P45 Solving Neural Network for 1-D Spin Systems

Luis Arturo Juarez Villegas y Santiago Francisco Caballero Benítez

*Departamento de Física Cuántica y Fotónica, LSCSC-LANMAC  
Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México,  
C. P. 04510, Ciudad de México, México.*

The complexity of many-body quantum originates from the difficulty of describing the nontrivial correlations encoded in the many-body wave function. The traditional (non-machine learning models) works well in specific cases, eg. Density Matrix Renormalization Group (DMRG) for one dimension and short range interactions. However, for more complex systems in higher dimensions or long range interactions the traditional methods are inefficient due to entanglement growth. Working with the approach of Neural Networks can reduce the effective complexity of the many-body quantum states to a tractable computational form for some notable cases of physical interest. In this work, we analyze some spin chain systems related to ultracold atomic realizations. We explore the variational representation of quantum states based on different architectures of artificial neural networks, eg. Restricted Boltzmann Machine, Feed Forwards, etc. We compute some observables of interest that show the difference in behavior between many-body phases of quantum matter dependent on system parameters.

### **Agradecimientos**

This project is partially funded by the projects UNAM-DGAPA-PAPIIT:IN118823 and CONAH-CYT-CB:A1-S-30934.

### **Referencias**

- [1] Giuseppe Carleo, Matthias Troyer. Solving the quantum many-body problem with artificial neural networks. *Science* 355 (6325), 602-606.
- [2] Hiroki Saito. Solving the Bose-Hubbard Model with Machine Learning, *Journal of the Physical Society of Japan* 86, 093001 (2017).
- [3] Juan Carrasquilla, Giacomo Torlai. Neural networks in quantum many-body physics: a hands-on tutorial. *arXiv:2101.11099*
- [4] Mohamed Hibat-Allah et al. Recurrent Neural Network Wave Functions *Phys. Rev. Research* 2, 023358 (2020)
- [5] Anna Dawid, et al. Modern applications of machine learning in quantum sciences, *arXiv:2204.04198*

## P46 Desfasador óptico de alta precisión controlado por frecuencia mediante dispositivos acusto-ópticos

Eduardo Esquivel Ramírez, Edgar Giovanni Alonso Torres, Alberto Hernández López, Leonardo Uhthoff Rodríguez, Carlos Gardea Flores, Asaf Paris Mandoki

*Instituto de Física, UNAM*

Un parámetro fundamental para determinar como interfieren las ondas electromagnéticas es su fase relativa y lograr un control fino sobre ésta habilita un rango amplio de aplicaciones interferométricas. Los métodos de control de fase existentes se basan en la modificación de la longitud del camino óptico ya sea cambiando el camino que sigue la luz, o alterando el grosor o el índice de refracción de un elemento óptico en el arreglo. En este trabajo presentamos un método novedoso, hasta donde sabemos, basado en moduladores acusto-ópticos (AOMs por sus siglas en inglés), los cuales permiten ajustar la fase al modificar la frecuencia de la luz en un segmento de su camino. Puesto que la cantidad de desfase depende en la longitud de dicho segmento, se utiliza una fibra óptica para realizar un cambio de  $2\pi$ . Describimos dos implementaciones experimentales que tratan con diferentes fuentes de fluctuaciones de fase. La primera considera las fluctuaciones resultantes de la fibra óptica, mientras que la segunda aborda las variaciones en fase no deseadas originadas de los AOMs.

### Referencias

[1] E. Esquivel-Ramírez *et al.* *High-precision frequency-controlled optical phase shifter with acousto-optic devices*, [Opt. Lett.](#) **49**, 2525-2528 (2024).

## P47 Diseño espectral de cadenas de enlace fuerte con orbitales atómicos traslapantes

J. G. Santiago García, E. Sadurní

*Instituto de Física, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,*

*Ciudad Universitaria, Puebla, Puebla 72570, México*

Considerando traslapes entre orbitales atómicos adyacentes, se logra una descripción de espectros deformados para sistemas que van desde una configuración dimérica de pozos de potencial hasta configuraciones aperiódicas, pasando por arreglos traslacionalmente invariantes. Las funciones de Wannier se investigan en este contexto y se calculan tanto para el caso dímérico como para el periódico. La libertad de fase en el ajuste de la localización de estas últimas funciones se ilustra con un par de ejemplos. Una ecuación secular para el espectro deformado de un conjunto compacto de pozos de potencial permite el diseño de eigenvalores de energía aproximadamente equiespaciados. Estas consideraciones pueden ser relevantes en la miniaturización de cristales artificiales, así como en la fabricación de un dispositivo electrónico isócrono, cuya frecuencia de oscilación se estima mayor que la de los osciladores de cuarzo actuales.

### Referencias:

Santiago García, J. G. (2023). Spectral design of metamaterials with non-orthogonal orbitals. [MSc (Physics) thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].

## P48 Modulación de caos clásico en un billar suave con geometría sintonizable

A. González Andrade<sup>1</sup>, M. A. Bastarrachea-Magnani<sup>1</sup>, H. N. Núñez-Yépez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, C.P. 09310 CDMX, México.

Los billares son un modelo paradigmático en el estudio del caos tanto clásico como cuántico [1], pues su dinámica está completamente determinada por su geometría [2]. En contraste con los billares de paredes duras, cuya frontera se modela con un potencial infinito, los billares de paredes suaves, se describen por medio de un potencial suave en su frontera. Sintonizar la suavidad del billar permite introducir caos y efectos estabilizadores en la dinámica [3]. Debido a que recientemente se han realizado en sistemas de átomos fríos [4], puntos cuánticos [5] y cuánticamente en plataformas de excitones-polaritones dentro de microcavidades semiconductoras [6], su exploración resulta atractiva. En este trabajo se aborda el estudio clásico de un billar suave con geometría sintonizable cuyo potencial tiene forma de *squiracle* [7]. Se calculan los exponentes de Lyapunov y las secciones de Poincaré para la exploración sistemática de la relación entre la suavidad, la geometría y la transición caos-regularidad-caos.

**Agradecimientos:** AGA agradece a las Becas Nacionales para Estudios de Posgrado (CONAHCyT). MABM agradece el apoyo del DF-UAM, la DCBI-UAM-I y la DAI-UAM.

### Referencias

1. G. Datseris, et al. *Chaos* 29,093115 (2019).
2. V. Kaloshin, et al. *Ergod. Th. & Dynam. Sys.*, 42, 1023 (2022).
3. T. Kroetz, et al. *Physical Review E* 94, 22218 (2016).
4. A. Kaplan, et al. *Phys. Rev. Lett.*, 87, 274101 (2001).
5. S. Rotter, et al., *Phys. Rev. B* 68, 165302 (2003).
6. T. Gao, et al, *Nature*, 526, 554 (2015).
7. M. Fernandez Guasti, *Int. J. Math. Educ. Sci. Technol* 23, 895 (1992).

## P49 Canales de Weyl que rompen entrelazamiento

José Alfredo de León<sup>1</sup>, Alejandro Fonseca<sup>2</sup>, Carlos Pineda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Instituto de Física, UNAM*

<sup>2</sup> *Departamento de Física, Universidad Federal de Pernambuco, Brasil*

Los canales que rompen el entrelazamiento son canales que se pueden simular con protocolos de medición y preparación de estados cuánticos. Anteriormente, hemos caracterizado y entendido la geometría y propiedades algebraicas de los canales *Pauli component erasing* [1] de qubits y los canales de Weyl de muchas partículas de dimensión arbitraria [2]. En la literatura se conoce que los canales que rompen el entrelazamiento de 1 qubit viven dentro de un octaedro. Sin embargo, poco se conoce acerca del caso de muchas partículas. En este trabajo, estudiamos y caracterizamos el subconjunto de los canales que rompen el entrelazamiento dentro de los canales de Weyl de muchas partículas. Por otro lado, estudiamos el volumen relativo de los canales que rompen el entrelazamiento dentro de los canales de Weyl.

### Agradecimientos

### Referencias

- [1] de Leon, J. A., Fonseca, A., Leyvraz, F., Davalos, D., & Pineda, C. (2022). Pauli component erasing quantum channels. *Physical Review A*, 106(4), 042604.
- [2] Basile, T., de Leon, J. A., Fonseca, A., Leyvraz, F., & Pineda, C. (2024). Weyl channels for multipartite systems. *Physical Review A*, 109(3), 032607.

# P50 Separación de Fase y Gotas cuánticas en Condensados de Bose Einstein dipolares en 1D

C. Madroñero y R. Paredes

*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México*

En este trabajo se estudia la influencia de la interacción dipolar en el fenómeno de separación de fases. El sistema considerado, un condensado de Bose-Einstein dipolar compuesto por átomos de Er y Dy, en el cual se pueden modificar las interacciones entre átomos, es descrito a través de la ecuación de Gross-Pitaevskii dipolar. Mientras que la interacción de contacto entre átomos de la misma y diferentes especies puede ser controlada mediante resonancias de Feshbach, la interacción dipolar se puede ajustar en magnitud y signo mediante un campo magnético externo rotante. Además, como es bien sabido, dependiendo de si la interacción dipolar es atractiva o repulsiva, el condensado puede formar gotas cuánticas. En este estudio se presentan diagramas de fase donde el condensado puede estar en un estado extendido con separación de fases o mezcla, o en un estado de gotas cuánticas mezcladas o separadas. En un diagrama de fase que incluye la presencia de confinamiento armónico, redes ópticas y caso homogéneo se visualizan todos los estados posibles del gas dipolar.

## Agradecimientos

Este trabajo es apoyado a través del proyecto DGAPA-PAPIIT IN117623

## Referencias

1. Z. Hadzibabic, P. Krger, M. Cheneau, B. Battelier, and J. Dalibard, *Nature (London)* 441, 1118 (2006).
2. C.-L. Hung, X. Zhang, N. Gemelke, and C. Chin, *Nature (London)* 470, 236 (2011)).
3. Y. Cai, M. Rosenkranz, Z. Lei, and W. Bao *Phys. Rev. A* 82, 043623 (2010).
4. F. Wang, X. Li, D. Xiong, and D. Wang, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 49, 015302 (2016).
5. S. Giovanazzi, A. Grlitz, and T. Pfau, *Phys. Rev. Lett.* 89, 130401 (2002).
6. Y. Tang, W. Kao, K.-Y. Li, and B. L. Lev, *Phys. Rev. Lett.* 120, 230401 (2018).
7. P. Muruganandam, and S.K. Adhikari, *Comput. Phys. Commun.* 180, 1888 (2009).
8. D. Vudragovi, I. Vidanovi, A. Bala, P. Muruganandam, and S. K. Adhikari, *Comput. Phys. Commun.* 183, 2021

## P51 Estabilización y determinación del número de átomos en una trampa magneto-óptica

Bryan Daniel Gomez Montes, Irvin Ángeles Aguillón y Daniel Sahagún Sánchez

Instituto de Física, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria 04510, Ciudad de México

Presentamos el proceso de estabilización en el número de átomos atrapados dentro de una trampa magneto-óptica de Rubidio 87 junto con la descripción de dos métodos para determinarlo. La estabilización consistió en usar un analizador de polarización [1] para re-alinear nuestra red de fibra óptica. Este trabajo se realizó en un aparato experimental dedicado a generar pares de fotones entrelazados en polarización con el objetivo de ser optimizados con mensajeros en una red cuántica. Uno de los cuellos de botella que hay en el área de investigación para lograr dicha meta es comprender los efectos colectivos que suceden dentro del ensamble atómico durante el proceso no lineal mezclado de cuatro ondas, mediante el cual estos fotones son generados [2]. Para lo cual es indispensable controlar el número de átomos participantes. Con este objetivo, además de estabilizarlo, también mejoramos nuestros métodos de medición, por absorción y por fluorescencia, que aquí también reportamos. Finalmente investigamos las limitaciones del método de la trampa magneto-óptica oscura en rubidio [3]. Usaremos esta técnica para ampliar el rango experimental de la densidad atómica en la región de interacción con los láseres que inducen en mezclado de cuatro ondas, con el objetivo de estudiar experimentalmente los efectos colectivos que suceden durante este proceso no lineal. Por lo que también presentamos un análisis teórico que nos guiará para su implementación dentro de nuestro aparato experimental.

Agradecimientos:

Proyectos PAPIIT IN106821 e IN112624. A Carlos Gardea y Jorge Seman guiarnos en la implementación del analizador de polarización y de los circuitos PID.

Referencias:

[1] Harutinian, Jorge Seman, et al. (2024). Homemade open-source full-Stokes polarimeter based on division of amplitude. *Optica Open*. Preprint. <https://doi.org/10.1364/opticaopen.25749618.v1>

[2] N. Arias-Tellez, et al. (2022). An experimental setup to generate narrowband bi-photons via four-wave mixing in cold atoms. *Revista Mexicana de Física*. <https://doi.org/10.31349/RevMex-Fis.68.031303>

[3] David Ketterle. (1993) High densities of cold atoms in a darkspontaneous-force optical trap. *Physical Review Letters*. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.70.2253>

## P52 Efectos colectivos y selección de velocidades en mezclado de cuatro ondas con rubidio atómico

Nieves Arias Téllez, Diana Guadalupe Corona González, Luis Alberto Mendoza López, Daniel Sahagún Sánchez

*Instituto de Física, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México*

El mezclado de cuatro ondas en gases atómicos es un proceso que ha sido extensamente estudiado a lo largo de las últimas dos décadas, y que destaca por sus aplicaciones como generación de pares de fotones entrelazados en polarización [1], memorias cuánticas [2] y entrelazamiento de momento angular [3]. Además, su potencial control sobre la coherencia de la luz generada, proporcionado por los estados atómicos, prevé amplias perspectivas para el desarrollo de sistemas en donde la información cuántica pueda ser manejada con asistencia del entrelazamiento.

Bajo la motivación de entender los efectos colectivos y de selección de velocidades durante el proceso de generación de luz, se realizaron experimentos de espectroscopía no lineal con rubidio a temperatura ambiente. En este trabajo, se exponen las observaciones sobre un proceso de conversión ascendente realizado mediante mezclado de cuatro ondas con átomos de rubidio 87 en una configuración diamante. Los datos obtenidos son espectros del segundo decaimiento  $6P_{1/2} \rightarrow 5S_{1/2}$ , que genera un haz de luz azul colimada. En él, se observa un desdoblamiento inesperado, presumiblemente atribuido a los efectos colectivos que suceden dentro del ensamble atómico. Además de estos resultado reportamos la reconfiguración del aparato experimental, que nos permitirá inducir el mezclado de cuatro ondas con haces Gaussianos o hace cuasi-invariantes ante propagación.

### Agradecimientos

Proyectos a los proyectos PAPIIT nos. IN106821 e IN112624.

### Referencias

[1] A. Aspect, P. Grainger and G. Roger. (1981). Experimental Tests of Realistic Local Theories via Bell's Theorem. [10.1103/PhysRevLett.47.460](https://arxiv.org/abs/10.1103/PhysRevLett.47.460)

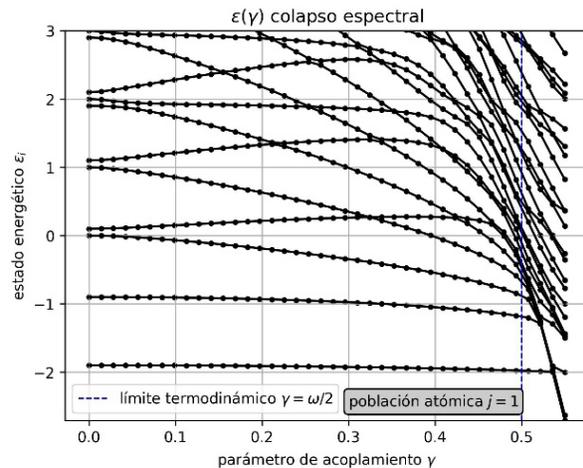
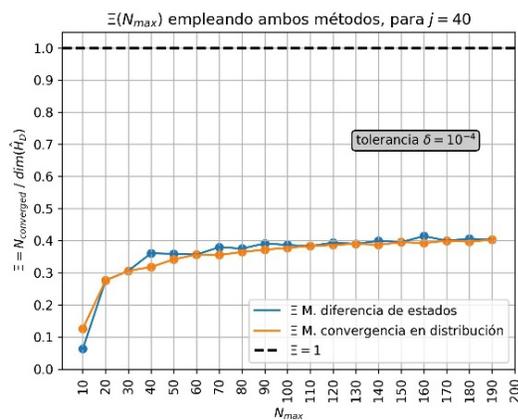
[2] M. D. Lukin. (2003). Trapping and manipulating photon states in atomic ensembles. [10.1103/RevModPhys.75.457](https://arxiv.org/abs/10.1103/RevModPhys.75.457)

[3] T.M. Zhao, Y. S. Ihn, and Y.H. Kim. (2019). Direct Generation of Narrow-band Hyperentangled Photons. [10.1103/PhysRevLett.122.123607](https://arxiv.org/abs/10.1103/PhysRevLett.122.123607)

# P53 Átomos en cavidades interactuando con pares de fotones

Fabrizio Ramírez S. y Jorge G. Hirsch  
 Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM.

Impulsados por las crecientes aplicaciones tecnológicas en procesamiento de información cuántica, simulación y detección [1, 2, 3], realizamos un estudio detallado del modelo de Dicke de dos fotones [4]. Para el análisis del modelo, se genera el sistema sin el uso de paqueterías con la intención de poder particularizar el problema y hacerlo más eficiente en términos de costo numérico, la solución de dicho sistema se realiza con paqueterías. Como el espacio de Hilbert es infinito, se estudia la convergencia de los estados del sistema en función del truncamiento del espacio fotónico. La figura de la izquierda muestra la fracción de estados convergidos empleando dos métodos distintos: cambio en las energías propias y localización de la función de onda. En la figura de la derecha cada punto representa la energía de un estado propio convergido como función del acoplamiento átomo-campo. Se observa claramente el colapso espectral al llegar al valor crítico del acoplamiento.



## Referencias

8. P. Forn-Díaz, L. Lamata, E. Rico, J. Kono, and E. Solano. Ultrastrong coupling regimes of light-matter interaction. *Rev. Mod. Phys.*, 91:025005, 2019.
9. Lucas Lamata. Digital-analog quantum simulation of generalized dicke models with superconducting circuits. *Scientific Reports*, 7(1):43768, 2017.
10. B. Peropadre, P. Forn-Díaz, E. Solano, and J. J. García-Ripoll. Switchable ultrastrong coupling in circuit qed. *Phys. Rev. Lett.*, 105:023601, 2010.
11. D. Y. Castro Cardenas. Análisis del modelo de Dicke de dos fotones, Tesis de Maestría, Ciudad de México, México, 2023

## P54 Revisión de ondas parciales considerando una partícula con espín-1/2

Ximena de la Rosa Gómez<sup>1</sup>, Freddy Jackson Poveda Cuevas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Facultad de Ciencias,*

*Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510 Ciudad de México*

<sup>2</sup>*Instituto de Física,*

*Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510 Ciudad de México*

La ecuación de Schrödinger con espín ha demostrado ser una herramienta poderosa y ampliamente utilizada en teorías de dispersión que involucran partículas con estructura interna, como en el caso atómico. En este trabajo se presenta un estudio de las teorías de dispersión involucrando el espín en una formulación no-relativista, enfocándose en el papel crucial de las simetrías y las técnicas de ondas parciales. Se deducen las formas de los conmutadores al considerar el espín, así como las características de la base y su impacto en las propiedades observables de las partículas que han sufrido un proceso de dispersión. Asimismo, se resuelve la ecuación en la representación de ondas planas y de ondas esféricas; y se hace un análisis de ondas parciales para descomponer la función de onda total en componentes angulares, lo cual simplifica considerablemente el análisis.

## P55 Estudio de moduladores de fase electroópticos basados en titanato de bario policristalino para aplicaciones en fotónica integrada

Uribe Arias Blanca Ivonne<sup>1</sup>, Domínguez Serna Francisco<sup>2</sup>, De la Cruz Hernández Wencel<sup>3</sup>, Karina Garay Palmett<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).*

<sup>2</sup>*Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT).*

<sup>3</sup>*Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN).*

Una de las ciencias más prometedoras para el desarrollo de nuevos procesadores es la fotónica integrada, la cual estudia la interacción de la luz con la materia en dispositivos a pequeña escala [1], los cuales forman sistemas más complejos capaces de procesar información cuántica. Estos dispositivos se basan en guías de onda ópticas que forman resonadores, interferómetros, moduladores de fase, entre otros, que permiten la manipulación de la luz y en conjunto la creación de circuitos fotónicos capaces de procesar información cuántica [2]. Uno de estos dispositivos son los moduladores de fase electroópticos (MFEO), en los cuales es posible controlar la fase de la luz como función de la respuesta electroóptica (EO) de los materiales que forman la guía de onda, y a su vez pueden ser incorporados a interferómetros que permitan aplicaciones de procesamiento de información cuántica [3]. Los MFEO se pueden hacer con guías de onda híbridas (GOH) que a diferencia de las guías de onda típicas constan de un núcleo formado por dos materiales en los que se propaga la luz, donde uno de ellos tiene propiedades EO, que, al ser sometido a un campo eléctrico, modifica su índice de refracción, logrando así modular la fase de la luz que viaja a través de ellos.

En el presente trabajo se han estudiado dos MFEO, basados en GOH formadas por  $BTO-Si_3N_4-SiO_2-Si$ , con núcleo de 5 de ancho. Se ha obtenido que la altura óptima de la capa de BTO para lograr un traslape espacial entre la GOH y la guía sin BTO arriba del 95% es de 100nm, además se han realizado experimentos preliminares para medir la respuesta EO del material. Experimentalmente, se ha sintetizado BTO amorfo mediante la técnica de pulsado láser y se ha sometido a tratamiento térmico con temperaturas de 600°C a 900°C, cambiando su estructura de amorfa a policristalina. También se ha sintetizado  $Si_3N_4$  reproduciendo la receta del grupo de trabajo [3]. Finalmente, se ha propuesto un dispositivo de prueba del efecto EO macroscópicamente mediante elipsometría in situ, el cual se forma de un sustrato de  $SiO_2-Si$  y una capa de BTO, al cual se le han incorporado contactos de oro mediante la técnica de depósito por evaporación térmica por haz de electrones. Los resultados preliminares muestran que el material tiene propiedades electroópticas dadas por una estructura policristalina.

### Agradecimientos

A los apoyos CONAHCYT (FORDECYT-PRONACES/194758, FORDECYT-PRONACES

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

298971, LLXM-709/2018 y CF-2023-G-687) al Laboratorio Nacional de Nano fabricación de la UNAM y al proyecto PAPIIT-IT101021.

### Referencias

[1] O'Brien, J. L., Furusawa, A. & Vučković, J. (2009). Photonic quantum technologies. In Nature Photonics (Vol. 3, Issue 12, pp. 687–695). <https://doi.org/10.1038/nphoton.2009.229>.

[2] Saleh, B. E. A. & Teich, M. C. (2019). Fundamentals of photonics

[3] Aguayo A. Ana Luisa, Garay P. Karina & De La Cruz H. Wencel. (2022). Generación y manipulación de estados de fotón individual por medio de procesos no-lineales en dispositivos fotónicos integrados [Tesis de doctorado]. Repositorio institucional, CICESE. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/377>.

## P56 Squeezing cúbico para estados de movimiento en iones atrapados

C. Ventura-Velázquez y Juan Mauricio Torres

*Instituto de Física, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,  
Edificio IF-1, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue., C.P. 72592, Mexico*

Estudiamos estados cuánticos no gaussianos de movimiento en iones atrapados para su posible utilización como estados ancila del estado de fase cúbica (necesario para la universalidad en computación cuántica). Para caracterizar su desempeño usamos el squeezing cúbico que nos proporciona información de la reducción de ruido en una determinada cuadratura no lineal. Presentamos la expresión analítica del desempeño de todos los estados cuánticos gaussianos y que se debe superar para considerar que el estado estudiado tiene mejor desempeño como ancila. Analizamos numéricamente el squeezing cúbico para los estados de movimiento generados y presentamos una solución aproximada de la evolución del modelo de iones atrapados no lineal para entender la dinámica.

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

### Índice alfabético

Aguayo-Alvarado, A. L.....	28	Campos-Vázquez, M. K.....	96
Aguilar Díaz, D.....	22	Carmona Torres, G.....	90
Aguillón, I. A.....	129	Cassandra Rosales Zárate, L. E.....	54
Alba-Arroyo, J. E.....	9	Casillas-Rodríguez, N.....	40
Alonso Garduza, J. R.....	10, 37	Castillo-López, S. G.....	67
Alonso Torres, E. G.....	90, 124	Castro Beltrán, H. M.....	58
Ancheyta, R.....	58, 63	Castro-Simanca, F.....	31, 81
Ángeles Aguillón, I. F.....	79	Cerda-Mendez, E. A.....	38
Antunez-Antonio, F.....	76	Cervantes Martínez, J. M.....	53
Aoki, M. A.....	96, 103	Cervantes, M.....	88
Aquino Chapa, M. A.....	72	Colín-Rodríguez, R.....	106
Aragón Pacheco, G. R.....	83	Cordero Santiago, J. P.....	39
Arévalo Aguilar, L. M.....	91	Corona Aquino, S.....	56
Arias Téllez, M. N.....	78, 79, 130	Corona González, D. G.....	130
Armenta-Rico, R. J.....	17	Corona-Aquino, S.....	86
Arrizón, V.....	29	Correa Alvarado, F.....	91
Ballesteros Flores, F.....	12, 106, 114	Cruz Jiménez, S. A.....	60, 75
Barberis-Blostein, P.....	24	Cruz Ramírez, H.....	86, 105, 115
Barranco-Cisneros, J.....	38	de la C. Roman, C. E.....	46
Barzanjeh, S.....	33	De la Cruz Hernández, W.....	31, 133
Bastarrachea-Magnani, M. A..	16, 95, 99, 126	de la Cruz, J.....	65
Becerra, F. E.....	61	De La Cruz, W.....	28
Benítez Rodríguez, E.....	95	de la Rosa Gómez, X.....	132
Bermudez, D.....	115	de León Abboud, C. E.....	78
Bertoni-Ocampo, C.....	105	de León, J. A.....	127
Biermann, K.....	38	Del Pozo Zamudio, O.....	38
Blanco Garcia, Z. I.....	47	del Río-Lima, A.....	12, 59, 106, 109
Bocanegra Garay, I. A.....	85	Díaz C., A. E.....	42
Caballero Benítez, S. F...9, 36, 72, 87, 94, 123		Díaz Lievano, L.....	21, 80
Cabrera Trujillo, R.....	60, 75, 76, 112	Díaz Ponce, J. A.....	52
Calderon-Losada, O.....	86	Díaz-Calderón, A.....	10
Camacho-Guardian, A.....	16, 17, 99	Díaz, C.....	65
Camas Aquino, F.....	92	Domínguez-Rocha, V.....	11
Campos Uscanga, A.....	95, 113	Domínguez-Serna, F. A. 28, 31, 40, 81, 96, 103, 133	
		Dondé Rodríguez, S.....	110

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

Dong, S. H.....	48	Hernández Pozos, J. L.....	52, 66
Durán Gómez, J. S. S.....	105, 107	Hernández Rajkov, D.....	12
Esquivel Ramírez, E.....	90, 124	Hernández Sánchez, L.....	85
Esquivel-Sirvent, R.....	67	Hernández-Hernández, E.....	40
Estrada Delgado, M. I.....	47	Hernández, J.....	88
Estrada Román, A. S.....	37	Hinojosa Aguirre, G. G.....	44
Felipe-Elizarraras, R.....	115	Hirsch, J. G.....	65, 131
Fernández-Marín, A. A.....	11	Hoyos C., L. M.....	42
Flores M., J.....	42	Hrushevskyi, T.....	33
Flores Mendoza, F.....	90	Hu, Xiaolong.....	56
Flores Mijangos, J.....	10, 37	Huerta Sandoval, M.....	121
Flores-Castro, C. A.....	11	Ibarra-Borja, Z.....	86
Fonseca, A.....	127	Jáuregui, R.....	9, 24, 49, 59, 92
Franco-Villafañe, J. A.....	11	Jiménez Mier y Terán, J. I.....	10, 37, 42
Galicia López, J. F.....	52, 66	Jiménez, L. F.....	111
Garay-Palmett, K....	28, 31, 40, 81, 96, 133	Jin, Rui-Bo.....	56
García Jomaso, Y. A.....	17	Juarez Villegas, L. A.....	123
García Márquez, M. A.....	116	Kumari, M.....	64
García-Gutiérrez, F.....	103	Kunold, A.....	24, 50
García-Ramírez, E.....	38	Lara-Alfaro, H. F.....	38
García-Zurita, A.....	96	Lara-García, H. A.....	17
Gardea-Flores, C. A.....	12, 106, 114, 124	Lemus Saldivar, J. P.....	12, 97, 114
Gómez García, E.....	111, 118	León-Montiel, R. J.....	45, 56
Gomez Montes, B. D.....	129	Lerma-Hernández, S. A.....	64, 65, 113
Gómez Robles, M.....	107	Ley Domínguez, D.....	17
Gómez, E.....	53, 88	Li-Gomez, M. Y.....	33
González Andrade, A.....	126	Li, Baihong.....	56
González-Gutiérrez, C. A.....	14	López Vázquez, A.....	111, 118
Guarín Durán, C. A.....	52, 66	Lopez-Mago, D.....	86
Gutiérrez Magaña, L. F.....	71	Lucio, J. L.....	26
Gutiérrez-Jáuregui, R.....	15, 24	Lugo Castillo, J. L.....	12, 114
Gutierrez-Valdés, A.....	106	Madroñero, C.....	128
Haro Poniatowski, E.....	52, 66	Magana-Loaiza, O. S.....	13
Hernández Aguilar, E.....	77	Martínez Calderón, A. A.....	44
Hernandez Bravo, A. F.....	69	Martínez-Tapia, A.....	45
Hernández Hernández, J.....	111, 118	Martins Sant'Anna, M.....	44
Hernández López, A.....	90, 124	Medina Dozal, L. A.....	51

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

Medina-Armendariz, M. A.....48	Ramírez Meléndez, G.....118
Méndez Fragoso, R.....39	Ramírez S., F.....131
Mendoza López, L. A.....130	Ramírez-Alarcón, R.....70, 105
Mendoza-Luna, L. G.....52, 66	Ramírez-Hintze, E.....11
Meng, Yun.....56	Ramírez, G.....88
Moctezuma-Quistian, T.....86	Ramos Prieto, I.....29, 85, 116, 119, 121
Mojica-Casique, C.....106	Récamier Angelini, J. F.....51
Montoya-Cardona, J.....40	Reyes García, J. R.....60, 75
Moya Cessa, H. M.....29, 85, 116, 119	Reyes, R. M.....112
Nader, D. J.....64	Ríos Sánchez, B.....36
Navarro Ambriz, R.....87	Rivera-Rodríguez, H.....49
Navarro-Navarrete, J. E.....10, 42	Rodríguez Becerra, G. J.....107
Núñez-Yépez, H. N.....126	Rodríguez-García, M. A.....61
Ocegueda-Miramontes, M.....40	Román-Ancheyta, R.....73, 101
Ochoa Campos, H.....88, 118	Rosales Zárate, L.....70, 89
Olivares Pilón, H.....22	Ruíz, U.....29
Orbe Barragán, D.....105	Sadurní, E.....125
Ordoñez-Romero, C. L.....17	Sahagún Sánchez, D..24, 78, 79, 129, 130
Ornelas Cruces, P. R.....89	Salas Montiel, R.....107
Ortiz-Ricardo, E.....105, 107	Salinas Roa, B. A.....90
Padilla Castillo, J. E.....12	Sánchez-de-la-Llave, D.....29
Palafox, S.....101	Santiago García, J. G.....125
Paredes, R.....128	Santiago Garcia, M.....73
Paris Mandoki, A.....90, 124	Santos, P.....38
Pedraza, I.....21, 80	Sauceda, H. E.....17
Piccirillo, B.....86	Segura Landa, J. A.....64
Piceno Martínez, A. E.....54, 95	Seman, J. A.....12, 59, 106, 114
Pineda, C.....23, 30, 127	Song, Yukun.....56
Pirruccio, G.....17, 67	Soto Eguibar, F.....29, 85, 119
Poveda Cuevas, F. J...12, 59, 71, 77, 97, 106, 109, 110, 114, 132	Stepanov, S.....40
Quezada, L. F.....48	Sun, G. H.....20, 48
Quinto Su, P. A.....19	Tapia Valerdi, M. A.....119
Quiroz Sánchez, G. G.....10, 37, 42	Tavares Ramírez, P. M. C.....107
Ramírez Alarcón, R.....18, 83, 93, 107	Terán Cisneros, C. E.....94
Ramírez Barajas, A. U.....25	Torres Herrera, E. J.....91
Ramírez Martínez, F.....10, 37, 42	Torres-Rosales, A. A.....38
	Torres, J. M.....69, 84, 135

## Reunión anual 2024 DICu-DFAM-TaDEM

Trejo Liévano, E. G.....	93	Villalobos Ramírez, A.....	84
U'Ren, A. B.....	33, 56, 86, 105, 115	Villanueva-Reyes, I. A.....	106
Uhthoff Rodríguez, L.....	90, 124	Villarreal, C.....	67
Urbieto Maldonado, D. I.....	70	Wang, Dongzhou.....	56
Uribe Arias, B. I.....	133	Wiechers, C.....	26
Uriostegui, K.....	23, 30	Xie, Tao.....	56
Urzúa, A. R.....	35	Xu, Dan.....	56
Vargas, B.....	17	Yanes-Thomas, P.....	24
Vargaz Guadarrama, L. R.....	21, 80	Yepiz-Graciano, P.....	33
Vega Carmona, A. J.....	99	You, Chenglong.....	56
Velázquez-Ibarra, L.....	26	You, Shi-Xin.....	56
Ventura-Velázquez, C.....	135	Zeng, Zi-Qi.....	56
Vergara-Interian C. S.....	81	Zou, Kai.....	56
Vicuña-Hernández, V.....	86		