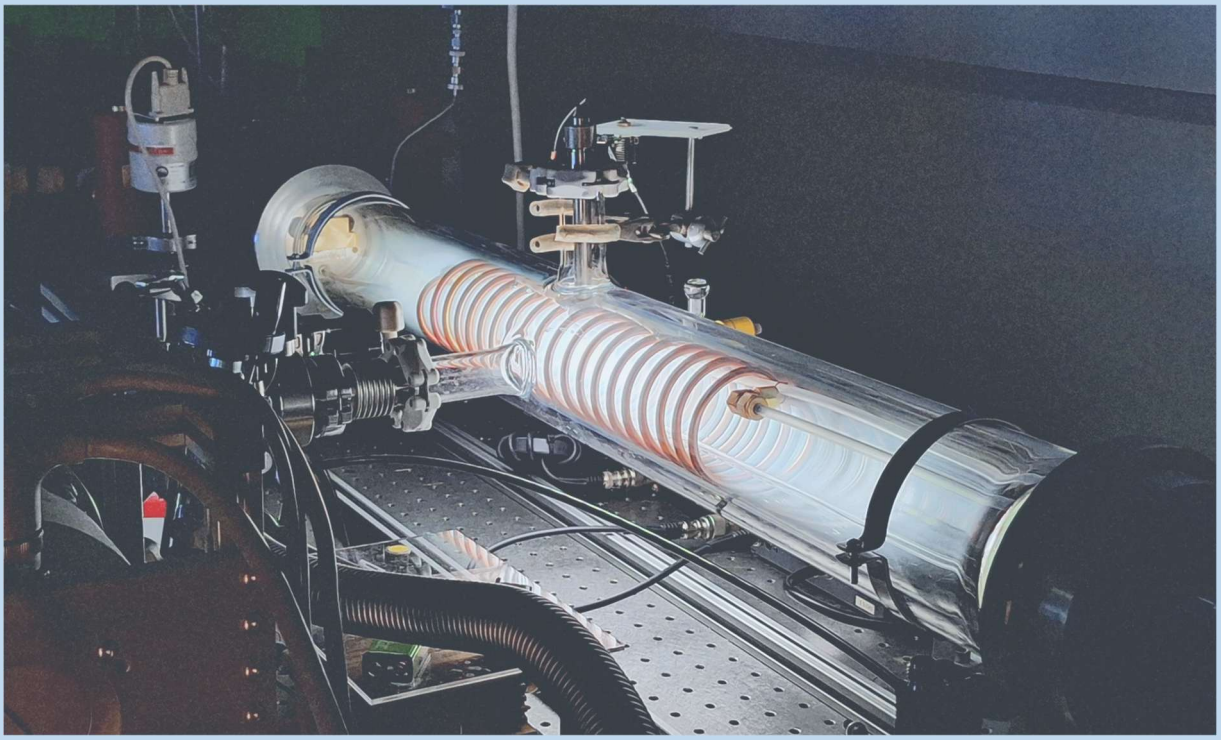
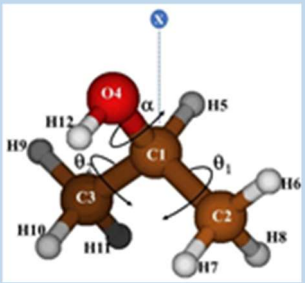
Instituto de Estructura de la Materia

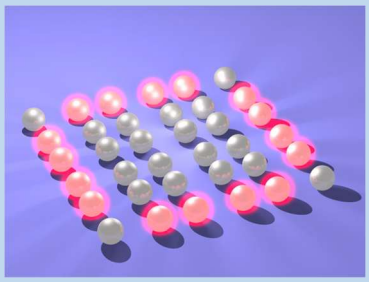
Consejo Superior de Investigaciones Científicas

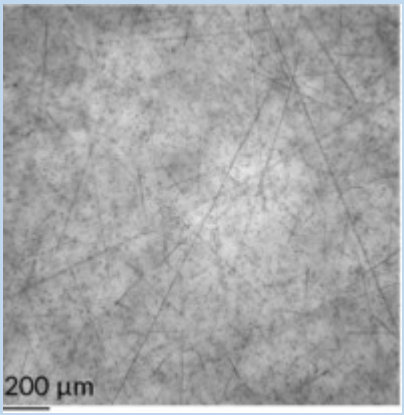
Memoria 2024



Annual Report 2024







GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

SUMARIO

INTRODUCCIÓN 5

INTRODUCTION 6

CAPÍTULO 1 – ESTRUCTURA DEL INSTITUTO 7

DIRECCIÓN / *DIRECTION* 7

JUNTA DE INSTITUTO / *INSTITUTE BOARD* 7

CLAUSTRO CIENTÍFICO / *SCIENTIFIC STAFF* 7

DEPARTAMENTOS DE INVESTIGACIÓN - *RESEARCH DEPARTMENTS* 8
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS 8
THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY 8
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS 9
NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY 9
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR 10
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR 11
MACROMOLECULAR PHYSICS 11

UNIDAD DE GESTIÓN ECONÓMICA-ADMINISTRATIVA 13

SERVICIOS DEL CENTRO DE FÍSICA MIGUEL ANTONIO CATALÁN 14

CAPÍTULO 2A – LABOR INVESTIGADORA 15

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICA 15

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS 25

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR 45

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR 51

CHAPTER 2B – RESEARCH ACTIVITIES 58

THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY DEPARTMENT 58

NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY DEPARTMENT 66

MOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT 86

MACROMOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT 92

CAPÍTULO 3 – PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 98

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY* 98

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY* 100

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS* 106

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS* 107

CAPÍTULO 4 – COOPERACIÓN CIENTÍFICA 112

CHAPTER 4 – SCIENTIFIC COOPERATION 112

CONGRESOS Y REUNIONES - *Congresses and Meetings* 112

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY* 112

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADO / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*114
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*120
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*122

ESTANCIAS DE INVESTIGADORES EN EL INSTITUTO *Visitors*124
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*124
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*125

CONFERENCIAS DE INVESTIGADORES INVITADOS125
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*125
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*127
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*127

VISITAS DE INVESTIGADORES A CENTROS INTERNACIONALES - *Visits to Foreing Institutions*127
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*127
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*127
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*130

CAPÍTULO 5 – LABOR DOCENTE, DIFUSIÓN DE LA CIENCIA Y OTRAS ACTIVIDADES131

DOCENCIA131

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*131
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*131
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*132

CURSOS, CONFERENCIAS Y SEMINARIOS132
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*133
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*133
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*133
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*134

PREMIOS Y OTROS MÉRITOS135
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*135
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*136
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*136
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*137

ACTIVIDADES Y MATERIAL DE DIVULGACIÓN138
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*138
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*139
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*140
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR141

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA142

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*142

UNIDADES ASOCIADAS Y OTRAS ACTIVIDADES142
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*143
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*143
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*144
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*145

CAPÍTULO 6 – PUBLICACIONES Y PRODUCCIÓN CIENTÍFICA146

PUBLICACIONES EN REVISTAS Y PROCEEDINGS ISI146
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*146
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS149
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*155
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*157

LIBROS, MONOGRAFÍAS Y OTRAS PUBLICACIONES DE PROCEEDINGS / *BOOKS, PROCEEDINGS AND OTHER PUBLICATIONS*159
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*159
DPTO. DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*159

BASES DE DATOS Y CÓDIGOS INFORMÁTICOS DE ACCESO ABIERTO/ *OPEN ACCESS DATA BASES AND COMPUTER CODES*160
DPTO. DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*160

TESIS DOCTORALES / *Ph.D. Theses*160
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*160
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*161
DPTO. DEFÍSCA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*161

TRABAJOS DE MÁSTER, GRADO Y OTRAS TITULACIONES162
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*162
DPTO. DE ESPECTROSCOPIA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*162
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*163

CAPÍTULO 7 – TABLAS Y DATOS164

INDICADORES DE PUBLICACIONES Y FORMACIÓN / *PUBLICATIONS AND TRAINING INDICATORS*164
RESUMEN DE PUBLICACIONES EN REVISTAS JCR-ISI / *SUMMARY OF PUBLICATIONS IN JCR-ISI-JOURNALS*165
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE IMPACTO (REVISTAS JCR-ISI) POR DEPARTAMENTOS / *EVOLUTION OF THE IMPACT FACTOR (JCR-ISI-JOURNALS) BY DEPARTMENTS*167

PERSONAL POR DEPARTAMENTOS168

NÚMERO DE PUBLICACIONES POR DEPARTAMENTOS168

RATIO DE PUBLICACIONES JCR-ISI POR DEPARTAMENTOS RATIO OF JCR-ISI PUBLICATIONS BY DEPARTMENTS169

INTRODUCCIÓN

El Instituto de Estructura de la Materia (IEM) es un Instituto de Investigación sólidamente asentado en el CSIC y de gran visibilidad en España, en Europa y en la comunidad internacional. Con una reputación de excelencia, este Instituto intenta también ser atractivo para estudiantes, investigadores y visitantes.

El IEM fue fundado en 1976, con la unión de algunos investigadores en Física de Partículas, Física Molecular, Química Cuántica y Polímeros Cristalinos. Con la llegada de nuevos científicos y con los cambios experimentados por algunas líneas de investigación, las actividades científicas del IEM han ido incluyendo otras áreas como la Física Nuclear, la Espectroscopía en Nanoestructuras Metálicas o la Gravitación. Durante 2024, las actividades de investigación han estado organizadas alrededor de cuatro Departamentos con grupos experimentales y teóricos cuyos campos científicos abarcan la Física Nuclear, Estadística, Molecular y Macromolecular, la Biofísica, la Astrofísica, la Física de la Materia Condensada y la Física Gravitacional. Parte de esta investigación utiliza grandes instalaciones nacionales e internacionales. La actividad investigadora se concentra en el área de la Física, aunque con aplicaciones en Química Física, Ciencia de los Materiales y Biofísica.

En sus comienzos en 1976, el instituto contaba con cinco científicos en plantilla. En la actualidad, acoge a treinta y ocho investigadores en plantilla distribuidos en los siguientes Departamentos:

Química y Física Teóricas (QFT)

Espectroscopía Nuclear, Vibracional y de Medios Desordenados (ENVYMED)

Física Molecular (FM)

Física Macromolecular (FMM)

Desde 1994, el IEM pertenece al Centro de Física Miguel Antonio Catalán (CFMAC). Los Servicios de Informática, Mantenimiento, Almacén, Taller Mecánico, Taller Óptico y Conserjería, son prestados por el CFMAC y compartidos con los otros Institutos que forman dicho Centro.

La misión del IEM es contribuir al avance del conocimiento en las principales líneas de investigación del Instituto, generar sinergias entre los distintos Grupos de Investigación que lo componen, aprovechando su carácter multidisciplinar y sus enfoques teórico/experimental y de ciencia básica y aplicada, y contribuir a la formación de personal científico en las distintas etapas de la carrera investigadora. La visión del IEM es convertirse en un instituto de referencia en la frontera de la actividad científica representada por la investigación que en él se desarrolla para contribuir de forma decisiva a resolver los principales retos que la sociedad afronta.

Esta actividad científica ha quedado plasmada, durante el año 2024, en 109 publicaciones ISI.

INTRODUCTION

The Institute of Structure of Matter (IEM) aims to be a Research Institute deeply entrenched in the CSIC and highly visible in Spain, in Europe and in the international community. With a reputation for excellence, this Institute seeks to also be attractive to students, researchers and visitors.

The IEM was founded in 1976 with the union of some researchers in Particle Physics, Molecular Physics, Quantum Chemistry and Crystalline Polymers. With the advent of new scientists and the changes experienced by some research topics, the scientific activities of IEM have included other areas such as Nuclear Physics, Spectroscopy of Metal Nanostructures and Gravitation. During 2024, research activities have been organized around four Departments with experimental and theoretical groups whose scientific fields include Nuclear Physics, Statistics, Molecular, and Macromolecular Physics, Biophysics, Astrophysics, Physics of Condensed Matter, and Gravitational Physics. Part of this research has involved the use of large national and international facilities. The research activity is concentrated in the area of Physics, but with applications in Physical Chemistry, Materials Science and Biophysics.

In its beginnings in 1976 the institute had five scientists on staff. Currently, IEM hosts around thirty-eight permanent researchers distributed in the following Departments:

Theoretical Chemistry and Physics (QFT)

Nuclear Vibrational and Disordered Media Spectroscopy (ENVYMED)

Molecular Physics (FM)

Macromolecular Physics (FMM)

Since 1994, the IEM is part of the Physics Centre “Miguel Antonio Catalán” (CFMAC). The Computing, Maintenance and Warehouse Services, the Mechanical Workshop, the Optical Workshop and the Receptionists, are provided by the CFMAC and shared with the other Institutes that form the Centre.

The mission of the IEM is to contribute to the advance of knowledge in key research areas of the Institute, to generate synergies between different research groups that compose it, taking advantage of its multidisciplinary nature, together with their theoretical and experimental experience in basic and applied science, and to contribute to the training of scientific personnel in the various stages of the research career. The vision of IEM is to become a reference institution on the frontier of the scientific activity represented by the research that it develops to boldly contribute to solve the main challenges that society faces.

This scientific activity, during 2024, has crystallized in 109 ISI publications.

CAPÍTULO 1 – ESTRUCTURA DEL INSTITUTO
CHAPTER 1 - INSTITUTE ORGANIZATION

DIRECCIÓN / ***DIRECTION***

Director / Director:	Prof. Tiberio Ezquerra Sanz
Vicedirector 1º / Assistant Director 1st:	Dr. Rafael A. Molina Fernández
Vicedirector 2ª / Assistant Director 2nd:	Dra. Mª Luisa Senent Diez
Gerente / Manager:	Dª. Isabel Llerena de Frutos

JUNTA DE INSTITUTO / ***INSTITUTE BOARD***

Presidente / President:	Prof. Tiberio Ezquerra Sanz
Secretaria / Secretary:	Dª. Isabel Llerena de Frutos

Vocales / Members:

Dr. Carlos Cabrillo García	Dr. Guillermo A. Mena Marugán
Dª. Mª Carmen García Collado	Dra. Aurora Nogales Ruiz
Dra. Mª Cruz García Gutiérrez	Dr. Guzmán Tejeda Gala
Dr. Eduardo Garrido Bellido	Dr. Vicente Timón Salinero

CLAUSTRO CIENTÍFICO / ***SCIENTIFIC STAFF***

Presidente / President:	Prof. Tiberio Ezquerra Sanz
Secretario / Secretary:	Dr. Gonzalo Santoro

Personal Investigador / Scientific staff:

Dr. Luis A. Acosta Sánchez	Dr. Guillermo A. Mena Marugán
Prof. J. Fernando Barbero González	Dr. Rafael A. Molina Fernández
Dr. Carlos Cabrillo García	Dra. Aurora Nogales Ruiz
Dr. Gianluca Calcagni	Dr. Juan Ortigoso Martínez
Dra. Mª Vega Cañamares Arribas	Dr. Bruno Olaizola Mampaso
Dra. María José Capitán Aranda	Dr. Ramón J. Peláez de Fuentes
Dr. Víctor Cruz Cañas	Dr. Francisco Javier Ramos Díaz
Dr. José Luis Doménech Martínez	Dr. Juan Francisco Vega Borrego
Prof. Tiberio Ezquerra Sanz	Dr. Christophe Rappold
Dr. Ricardo Fernández Perea	Dr. Santiago Sánchez Cortés
Dr. José M. Fernández Sánchez	Dr. José Antonio Sánchez Gil
Profª. María José García Borge	Dr. Gonzalo Santoro Domingo
Dra. María Cruz García Gutiérrez	Dr. Julio Francisco Santos Gómez
Dr. Eduardo Garrido Bellido	Prof. Pedro Sarriguren Suquilbide
Prof. José González Carmona	Dra. Mª Luisa Senent Diez
Prof. Víctor J. Herrero Ruiz de Loizaga	Dra. Isabel Tanarro Onrubia
Dra. Andrea Jungclaus	Dr. Guzmán Tejeda Gala
Profª. Teresa Kurtukian Nieto	Prof. Olof E. I. Tengblad
Dr. Raúl Zósimo Martínez Torres	Dr. Vicente Timón Salinero
Dra. Belén Maté Naya	

DEPARTAMENTOS DE INVESTIGACIÓN - *RESEARCH DEPARTMENTS*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS
THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY

Jefe del Departamento / Head of Department:

Dr. Guillermo Antonio Mena Marugán	Investigador Científico / Research Scientist

Personal Científico / Research Staff:

Dr. José González Carmona	Profesor de Investigación / Research Professor
Dr. Pedro Sarriguren Suquilbide	Profesor de Investigación / Research Professor
Dr. Jesús Fernando Barbero González	Investigador Científico / Research Scientist
Dr. Eduardo Garrido Bellido	Investigador Científico / Research Scientist
Dra. María Luisa Senent Diez	Investigadora Científica/ Research Scientist
Dr. Rafael Alejandro Molina Fernández	Investigador Científico / Research Scientist
Dr. Gianluca Calcagni	Científico Titular/ Tenured Scientist
Dr. Jorge Dukelsky Bercovich	Profesor de Investgación Ad Honorem / Research Professor Ad Honorem
D. Ángel López Corps	Predoctoral La Caixa /PhD Fellowship La Caixa (Until 15th October)
D. Andrés Mínguez Sánchez	Becario Predoctoral CAM/CAM PhD Fellowship
D. Alejandro Sebastián Gómez Gómez	JAE-Intro
Dª. Almudena Guillén Sánchez	JAE-Intro
Dª Noelia Sánchez Gómez	JAE-Intro
D. Pablo Santo-Tomás Ros	JAE-Intro
Dr. Alexander López	Permiso sabático / Sabbatical leave (Until 30th May)
Dª Marta García Olmos	Autorización de Permanencia/Authorized Stay
D. Álvaro Torres Caballeros	Autorización de Permanencia/Authorized Stay

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS

NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY

Jefe del Departamento / Head of Department:

Dr. Carlos Cabrillo García	Investigador Científico / Research Scientist

Personal Científico / Research Staff:

Profª. Mª José García Borge	Profesora de Investigación / *Research Professor*
Profª. Teresa Kurtukian	Profesor de Investigación / *Research Professor*
Prof. José Antonio Sánchez Gil	Profesor de Investigación / *Research Professor*
Prof. Olof Erik Tengblad	Profesor de Investigación / *Research Professor*
Dra. Andrea Jungclaus	Investigadora Científica / Senior *Research Scientist*
Dr. Santiago Sánchez Cortés	Investigador Científico / *Research Scientist*
Dr. Ricardo Fernández Perea	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Vincenzo Giannini	Científico Titular / *Tenured Scientist (on sabbatical leave since October 2022)*
Dr Luis Armando Acosta Sanchez	Cientifico Titular /Research Scientist
Dra. Mª Vega Cañamares Arribas	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dra. Sagrario Martínez Ramírez	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Bruno Olaizola	Postdoc Ramon y Cajal / *Tenure track contract*
Dr. Christophe Marie Jean Rappold	Contratado Doctor Atracción Talento Investigador M1 *Tenure track Contract*
Dr. Sergio Sanchez Navas	Contratado Doctor / *Postdoc Contract*
D. Álvaro Buendía Gallego	Becario predoctoral-FPI / *Predoctoral FPI student*
Dña. Beatriz Castillo López de Larrinzar	Contratada predoctoral / *Predoctoral contract (since 01.11.2023)*
D. Jaime Acosta Loza	Contrato Titulado Superior / *University Graduate*
D. David Calonge Gonzalez	Contratado Predoctoral con cargo a proyecto desde 20/11/2024/ *PhD Fellowship*
D. Samuel Escrig López	Contratado Predoctoral CM / *PhD Fellowship*
D. Daniel Fernadez Ruiz	Contrato Predoctoral FPI */ PhD Fellowship*
D. Carlos Ferrera Gonzalez	Contrato Predoctoral FPI */ PhD Fellowship*
D. Daniel Movilla Quintero	Contratado predoctoral cargo a proyecto desde 16/12/2024*/ PhD Fellowship*
Dª Amanda Nathali Neiro Aguirre	Contratado Predoctoral */ PhD Fellowship*
D. Jesús Sánchez Prieto - Contrato predoctoral cargo a proyecto desde 01/09/2023	
D. Juan Francisco González Linares	Contratado laboral indefinido desde 01/11/2024
D. Vicente García Tavora	Contratado (hasta - 15 septiembre) Titulado Superior /*University Graduate (until 15th septiembre)*
Dña. Lucía Hidalgo Arteaga	Becaria JAE Intro / *JAE Intro Student (since 01.10.2023)*

	Master student (1/3-30/6)
Dª Beatriz Errandonea Félix	Master student (1/3-15/9)
D. Idreed Hassan	Master student (1/3-30/9)
D. David Palacios Suárez-Bustamante	Master student (1/3-15/9)

Personal de apoyo / Support Staff:

D. Ángel Perea Martínez	Técnico Superior Especializado de los OPIS /*Especialized Especialized University Graduate*
D. Leonardo Pardi	Contratado Duración Determinada Vinculado Fondos Europeos / Fondos PRTR desde 16/10/2024

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR
MOLECULAR PHYSICS

Jefe del Departamento / *Head ofDepartment*:

Dr. Guzmán Tejeda Gala	Científico Titular / *TenuredScientist*

Personal Científico / *Research Staff*:

Prof. Víctor José Herrero Ruiz de Loizaga	Profesor de Investigación / *Research Professor*
Dr. José Luis Domenech Martínez	Investigador Científico / *Research Scientist*
Dr. José María Fernández Sánchez	Investigador Científico / *Research Scientist*
Dra. Isabel Tanarro Onrubia	Investigadora Científica / *Research Scientist*
Dra. Belén Maté Naya	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Raúl Zósimo Martínez Torres	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Juan Ortigoso Martínez	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Ramón Javier Peláez de Fuentes	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Julio Francisco Santos Gómez	Científico Titular (hasta 4 de noviembre / *Tenured Scientist (until November 4th)*
Dr. Vicente Timón Salinero	Científico Titular / *Tenured Scientist*
D. Carlos Álvarez Nicolás	Contratado Predoctoral FPI / *PhD Fellowship*
Da Raouia Bensadok	Estancia Temporal (ene-feb) / *Authorized Stay (Jan-Feb)*
Da. Nabila Getchlouti	Estancia Temporal (nov) / *Authorized Stay (Nov)*
D. Rachid Belkada	Estancia Temporal (nov) / *Authorized Stay (Nov)*
D. Noa Pinto	Estancia Temporal (sep-dic) / *Authorized Stay (Sep-Dec)*

D. David Vaquero Cerezo	Estancia Temporal (abr-jun) / *Authorized Stay (Apr-Jun)*

Personal de apoyo / *Support Staff:*

D. Miguel Ángel Moreno Alba	Ayudante de Investigación de OPI / *ResearchAssistant OPI*
D. Ángel Luis González Valdenebro	Técnico Especializado de OPI/ *SpecialistTechnician OPI*

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR
MACROMOLECULAR PHYSICS

Jefe del Departamento / Head of Department:

Dra. Mari Cruz García Gutiérrez	Investigadora Científica / Research Scientist

Personal Científico / Research Staff:

Prof. Tiberio A Ezquerra	Profesor de Investigación / Research Professor
Dra. Aurora Nogales Ruíz	Investigadora Científica / Research Scientist
Dra. María José Capitán Aranda	Científica Titular / Tenured Scientist
Dr. Victor Luis Cruz Cañas	Científico Titular (hasta 31 de agosto) / Tenured Scientist (until 31st of August)
Dr. Jaime Javier Hernández Rueda	Científico Titular (desde 23 de diciembre) / Tenured Scientist (since 23th of December)
Dr. Javier Ramos Diaz	Científico Titular / Tenured Scientist
Dr. Gonzalo Santoro Domingo	Científico Titular / Tenured Scientist
Dr. Juan Francisco Vega Borrego	Científico Titular / Tenured Scientist
Dr. Óscar Toledano Sanz	Doctor contratado Ayuda Margarita Salas para jóvenes doctores (UNED-CSIC)

Dra. M. Teresa Expósito Espinosa	Investigadora Vinculada de la Universidad Rey Juan Carlos / Associated Researcher from the Rey Juan Carlos University
D. Jose Sena Fernández	Contrato Predoctoral FPI / Predoctoral Contract FPI
D. Iván Horcajo Peribáñez	Titulado Superior Contratado (hasta 31 de agosto) / University Graduate contract (until 31st of August)
D. Alejandro Alegre Peñalva	Titulado Superior Contratado (desde 16 de octubre) / University Graduate contract (since 16th of October)
D. Andrés Cardil Tornos	Titulado Superior Contratado / University Graduate
D. Jorge Duro Sánchez	Titulado Superior Contratado / University Graduate
Dña. Lola Aguilera Villegas	Autorización de Permanencia (hasta 8 de junio) / Authorized Stay (until 8th of June)
Dña. Laura Valentina Robaina Osuna	Autorización de Permanencia (until 9 de august) / Authorized Stay (until 9th of August)
D. Mateo Martínez Aguado	Autorización de Permanencia (desde 1 de noviembre 2024) / Authorized Stay (from 1st november 2024)

Personal de apoyo / Support Staff:

Dra. Virginia Souza-Egipsy Sánchez	Titulado Superior Especializado OPIS / Specialized University Graduate
Don Carlos García García	Técnico Contratado Programa Garantía Juvenil (hasta 19 de diciembre) / Technician Youth Guarantee Program (until 19th of December)

UNIDAD DE GESTIÓN ECONÓMICA-ADMINISTRATIVA
FINANCES AND ADMINISTRATION

Dª. Mª Isabel Llerena de Frutos	C. Técnico Especializado de OPI / *Specialist Technician OPIs*
Dª. Rosario Carrasco Nicolás	C. Ayudante de Investigación de OPIS / *Research Assistant OPIs*
Dª. Purificación Díez Rodríguez	C. Gral. Admvo. Admon. del Estado / *General Admon.*
Dª. Ana María García Arribas	C. Ayudante de Investigación OPIS / *Research Assistant OPIs*
Dª. Carmen García Collado	C. Ayudante de Investigación OPIS / *Research Assistant OPIs*
Dª Marta Garoz Morales	CFMAC- Funcionaria Interina – C. Admvo. *Admón. (desde 14 diciembre)*
Dª. Beatriz Gil Sánchez	C. Gral. Admvo. Admón. del Estado / General *Admvo. Admon.*
D. Gabriel Marina Castellano	CFMAC- Contrato Formativo (desde 16 junio) / *Training contract*
Dª María Salinas Fernández	CFMAC- C. Gral. Admvo. Admón. del Estado / *General Admon.*
D. David Bravo Díaz	Funcionario Interino – C. Gestión Admón. Estado (desde 15 diciembre)

SERVICIOS DEL CENTRO DE FÍSICA MIGUEL ANTONIO CATALÁN
CENTRAL SERVICES

ALMACÉN / WAREHOUSE

Dª. Clara Isabel Cardeñosa García	C. Gral. Admvo. Admón. del Estado / *General Administration*
Dª. Soledad Moreno Zambrano	Ayudante Gestión y Servicios Comunes / *Common Services Assistant*

CONSERJERÍA / RECEPTION

Dª Mª Ángeles Castro de la Puente	Ayudante Gestión y Servicios Comunes / *Common Services Assistant*

INFORMÁTICA / INFORMATICS AND COMPUTER SERVICES

D. Fco. Daniel Rincón Fuentes	Técnico Especializado de OPIS / *Technical Specialized OPIs*

MANTENIMIENTO / MAINTENANCE

D. David Bravo Díaz	Funcionario Interino – C. Gestión Admón. Estado (desde 15 diciembre)

TALLER MECÁNICO / MECHANICAL WORKSHOP

D. Luis Ángel de Prado Serrano	Ayudante de Investigación de OPIS / *Research Assistant OPIs*

TALLER ÓPTICO / OPTICAL WORKSHOP

D. José Lasvignes Pacheco	Técnico Superior de Actv. Técnicas de Mantenimiento y Profesionales / *Technical and Professional Activities Technician*

CAPÍTULO 2A – LABOR INVESTIGADORA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICA

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Física Teórica: Gravitación.
- Teoría de la Materia Condensada.
- Física Nuclear Teórica: Estructura y Reacciones.
- Física Molecular Teórica aplicada al estudio de especies astrofísicas y a la caracterización de contaminates atmosféricos.

SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Gravedad Cuántica de Lazos.
- Cosmología Cuántica de Lazos.
- Gravedad cuántica no-local.
- Física fundamental de ondas gravitacionales.
- Teoría clásica y cuántica de campos.
- Sistemas mesoscópicos y fuertemente correlacionados.
- Procesos electrodébiles en el núcleo.
- Estructura nuclear con métodos autoconsistentes de campo medio correlacionado.
- Técnicas de tres cuerpos en Física Nuclear.
- Reacciones de interés en Astrofísica Nuclear.
- Espectroscopia teórica de especies moleculares no-rígidas de interés astrofísico y atmosférico.
- Formación de compuestos orgánicos volátiles a partir de radicales orgánicos.
- Fotodisociación de radicales orgánicos.

TÉCNICAS UTILIZADAS:

- Física Teórica y Matemática.
- Métodos computacionales.
- Teoría de campos perturbativa.
- Métodos geométricos en el formalismo hamiltoniano de teorías de campos.
- Métodos de campo medio autoconsistente.
- Métodos numéricos para la resolución de las ecuaciones de Faddeev en el espacio de coordenadas.
- Desarrollo adiabático en armónicos hiperesféricos.
- Métodos ab initio altamente correlacionados y nuevas herramientas computacionales.

LABOR INVESTIGADORA:

GRAVITACIÓN Y COSMOLOGÍA

Cosmología Cuántica de Lazos

El Grupo de Gravitación y Cosmología ha continuado investigando la aplicación de la Gravedad Cuántica de Lazos a perturbaciones cosmológicas en el Universo Temprano y a perturbaciones del espaciotiempo de agujeros negros.

En esta dirección, hemos abordado la cuestión de las representaciones de Fock no equivalentes en la Teoría Cuántica de Campos para un fondo espaciotemporal de Kantowski-Sachs, que describe el interior de un agujero negro sin rotación. Mediante una redefinición del campo, que consiste en un escalado anisótropo de la configuración del campo y una transformación lineal de su momento, se puede alcanzar una familia de representaciones de Fock unitariamente equivalentes que son invariantes bajo las isometrías espaciales e implementan una dinámica unitaria. Sorprendentemente, hemos demostrado que este tipo de redefinición del campo es, de hecho, única. Sin embargo, las propiedades físicas de la dinámica hamiltoniana que se obtienen de esta manera no son satisfactorias, ya que la acción del hamiltoniano está mal definida sobre los correspondientes estados de número fijo de partículas. Para construir una teoría cuántica sin este problema, se necesita una transformación canónica que dependa del tiempo y del modo considerado y que no sea interpretable como un escalado anisótropo. Las representaciones de Fock nueva y antigua, sin embargo, son unitariamente equivalentes. La libertad introducida al permitir esta transformación canónica adicional se puede fijar exigiendo una diagonalización asintótica del hamiltoniano (DAH) y una absorción mínima de fases dinámicas. De esta forma, la elección del vacío se determina asintóticamente.

También hemos construido una formulación hamiltoniana de perturbaciones axiales de una geometría de Kanwotski-Sachs en presencia de un campo escalar sin masa. Después de truncar la acción en orden perturbativo cuadrático, hemos logrado describir esas perturbaciones en términos de invariantes de gauge perturbativos, ligaduras perturbativas lineales y sus variables canónicamente conjugadas. Además, hemos conseguido convertir todo el conjunto que contiene perturbaciones y grados de libertad homogéneos en uno canónico. Hemos empleado entonces un enfoque híbrido para cuantizar este sistema, combinando una representación cuántica del sector homogéneo, obtenida con técnicas de Cosmología Cuántica de Lazos, y una representación de Fock convencional de las perturbaciones, esta última elegida como se describe en el párrafo anterior.

Por otro lado, hemos explorado la posibilidad de que los efectos de la geometría cuántica producidos por Gravedad Cuántica de Lazos puedan aliviar las tensiones aparentes existentes a grandes escalas angulares en las observaciones del Fondo Cósmico de Microondas (FCM). En los últimos años, habíamos sugerido una serie de aproximaciones para simplificar el estudio de las perturbaciones cosmológicas primordiales, responsables de las anisotropías del FCM. Este estudio requiere una nueva elección del estado de vacío que tenga en cuenta la geometría de fondo preinflacionaria. Con este objetivo, introdujimos una prescripción DAH no oscilatoria (NO) y llamamos vacío NO-DAH al estado seleccionado de esta manera. Durante este año hemos aplicado nuestras aproximaciones a la investigación de perturbaciones escalares y tensoriales con condiciones iniciales correspondientes a este vacío NO-DAH. Hemos empleado dos enfoques diferentes para la cuantización de las perturbaciones en Cosmología Cuántica de Lazos, a saber, el enfoque híbrido y el enfoque de métrica vestida. Hemos calculado numéricamente los espectros de potencia primordiales para esos enfoques y hemos demostrado que nuestras estimaciones analíticas son notablemente precisas para todos los modos observables. También hemos discutido las similitudes y diferencias entre los espectros obtenidos con esos dos enfoques.

Finalmente, hemos demostrado que la prescripción NO-DAH para el vacío es capaz de resolver el problema planteado por la discrepancia entre la escala de inflación y la escala de Planck, esperada en un cuadro inflacionario convencional, incluso sin recurrir estrictamente a una evolución cosmológica efectiva correspondiente a Gravedad Cuántica de Lazos. El efecto combinado de la dinámica de fondo preinflacionaria y nuestra elección del vacío produce una escala de supresión de potencia que es diferente de la escala del inicio de inflación.

Métodos geométricos en gravitación

El trabajo realizado en 2024 se ha concentrado en varias cuestiones relacinadas con la formulación hamiltoniana de las teorías de campos. Aunque en ese caso la formulación hamiltoniana es aparentemente una generalización inmediata de la de los sistemas mecánicos, en realidad es bastante sutil, en particular para lagrangianos singulares que pueden exhibir una desconcertante variedad de comportamientos que deben estudiarse con cuidado y caso por caso. Para ello el objeto matemático central que hay que analizar es lo que se conoce como la derivada en la fibra: una aplicación del fibrado tangente del espacio de configuración sobre su fibrado cotangente (que en el lenguaje físico se suele denominar "definición de momentos"). En el mejor de los casos, esta función es un difeomorfismo y es posible definir el hamiltoniano en todo el espacio de fase. Si no, el sistema es singular. Este carácter singular puede manifestarse de muchas formas distintas. Por ejemplo, si la derivada de la fibra es inyectiva pero no sobreyectiva, solo es posible definir el hamiltoniano en un subconjunto del espacio de fases. Se da una situación interesante cuando este subconjunto es denso en el espacio de fases porque no puede representarse como el conjunto de anulación de una función suave (en otras palabras, no existen ligaduras primarias capaces de describirlo). Esto conduce a una serie de patologías que hay que entender cuidadosamente. Cuando la imagen de la derivada de la fibra es una subvariedad propia y no densa del espacio de fases (definida por las llamadas ligaduras primarias), una forma geométrica muy limpia de estudiar la formulación hamiltoniana consiste en trabajar directamente sobre esta subvariedad de iogaduras primarias. Para ello hay que considerar el pullback de la forma simpléctica canónica sobre ella y luego encontrar la forma final de los campos vectoriales hamiltonianos (lo que puede requerir la introducción de ligaduras secundarias adicionales). En la práctica, esto significa que la dinámica hamiltoniana tiene lugar en un espacio de fases que es más pequeño que el fibrado tangente del espacio de configuración. A primera vista, este procedimiento parece tener un inconveniente obvio: el pullback de la forma simpléctica a la subvariedad de ligaduras primarias no tiene por qué tener una forma "canónica" simple. Sin embargo, es concebible que pueda ser reexpresada en función de nuevas variables de tal manera que sea "canónica". En el caso de la acción auto dual para relatividad general, este es el caso; de hecho, es posible encontrar de esta manera la formulación de Ashtekar para la Relatividad General Euclidiana (GR) sin depender de ninguna fijación de gauge. Para explorar esta cuestión hemos considerado otras acciones relacionadas con GR, en particular una versión del modelo Husain-Kuchar con una variable temporal. El resultado del análisis es que también en este caso es posible encontrar variables apropiadas que conduzcan a una forma simpléctica canónica. Esto nos ha llevado a conjeturar que siempre será así. A lo largo de 2024 F. Barbero y colaboradores han publicado tres artículos sobre estos temas.

Gravedad cuántica no-local

Este año vio varios avances en la gravedad cuántica no-local, una de las líneas de investigación principales del grupo desde 2012. Una revisión actualizada de esta clase de teorías que hemos

publicado en un “Handbook” de Springer ha contribuido a alzar el interés en este campo. En paralelo, hemos desarrollado desde principios primos un modelo cosmológico alternativo a la inflación basado en una teoría no-local finita invariante bajo transformaciones de Weyl. Este modelo predice un espectro tensorial primitivo de amplitud elevada en las escalas de frecuencia de la radiación cósmica de microondas y, además, un fondo estocástico de ondas gravitacionales cuya amplitud crece con la frecuencia. Mientras que el fondo estocástico solo será observable por DECIGO en dos décadas, será posible poner cotas observacionales sobre el espectro tensorial primitivo ya antes de 2027 a través del observatorio BICEP Array. Se trata de una de las pocas teorías de gravedad cuántica que actualmente ofrecen predicciones falsables en un lapso de tiempo tan breve.

A nivel más formal, hemos sentado de forma más rigurosa algunas de las bases fundamentales de la teoría: la definición invariante de gauge de la integral de camino sobre las métricas, el problema (y su solución) de la inestabilidad conforme en dicha integral de camino y la representación de Källén-Lehmann generalizada del propagador no-local de la teoría.

Ondas gravitacionales

A nivel científico, en este sector hemos estudiado modelos de gravedad cuántica y mecanismos de simetrías que pueden dar origen a un fondo de ondas gravitacionales observable en LISA y en el Einstein Telescope (ET), dos detectores de tercera generación en los cuales colaboramos activamente. De los modelos estudiados en 2024, solo uno alcanza la ventana de sensitividad de LISA y de ET, la versión más reciente del modelo de pre-big-bang de Gasperini y Veneziano. En una colaboración con el mismo Gasperini, hemos circunscrito el espacio de parámetros teorícamente viable y descrito ejemplos de señales. En otro trabajo, hemos mostrado que simetrías discretas que pueden aflorar en regímenes pre-geométricos en gravedad cuántica pueden generar oscilaciones logarítmicas características que modulen el fondo de ondas gravitacionales primitivo. Tanto LISA como ET podrán detectar estas “features” y, por lo tanto, hemos derivado cotas simuladas para ilustrar las capacidades de estos dos observatorios.

El año 2024 ha sido especialmente importante para LISA, que ha sido adoptada por la Agencia Espacial Europea (ESA) en febrero. Nuestra contribución en ese sentido ha sido la cooperación en redactar el LISA Definition Study Report (https://arxiv.org/abs/2402.07571), el informe científico-técnico para la ESA que ha determinado la adopción de la misión y el paso a la fase B2 de implementación. El informe no está publicado en ninguna revista, sin embargo, su número elevado de citas (180 en un año) es un indicador indirecto de su importancia científica.

La adopción de la misión ha conllevado la necesidad de reestructurar por completo el Consorcio LISA, debido al cambio de relación entre el Consorcio y la ESA, el involucramiento de contratistas y grandes estructuras económicas y la asombrosa aceleración de la agenda técnica y científica de la misión. Componentes científicas y tecnológicas hasta entonces manejadas por el Consorcio han sido transferidas a otros organismos y el mismo Consorcio ha constituido la fuente principal de expertos en la mayoría de estos sectores. Una parte importante de nuestra dedicación horaria ha sido la contribución directa a la reestructuración del Consorcio, a través de nuestra participación y roles de liderazgo en el Consortium Constituent Council (CCC), el comité de 60 miembros encargado de reinventar el Consorcio para las nuevas necesidades de LISA. El nuevo Consorcio ha sido inaugurado el 3 de febrero de 2025 y el CCC estamos finalizando los últimos detalles del sistema informático, de las reglas de gobernanza y de la gestión de membresía para poder finalizar la transición con nuevas elecciones de los organismos de gobernanza del Consorcio.

TEORÍA DE LA MATERIA CONDENSADA

Bandas planas topológicas en bicapas de grafeno con tensión transversal

Hemos estudiado sistemas electrónicos de bicapas de grafeno en los que aparecen bandas planas como resultado de aplicar tensión transversal, en lugar del método más convencional de crear un giro relativo entre las capas. La deformación producida por la tensión da lugar a patrones de muaré que recuerdan los de las bicapas de grafeno giradas. Como en el caso de éstas, existe aquí también una sucesión de superredes conmensuradas con bandas planas a baja energía. Cuando se analizan los sistemas de electrones en la aproximación del continuo, se ve que hay en general cuatro bandas planas por encima y por debajo del nivel de Fermi en el punto de neutralidad de carga. Hemos demostrado que dos de tales bandas son triviales, mientras que las otras dos son topológicas, con número de Chern ±1.

Con el fin de investigar las fases con fuerte correlación electrónica en las bandas planas, hemos utilizado un método microscópico auto-consistente de Hartree-Fock en espacio real. En situaciones donde la celda unidad de muaré no es demasiado grande (con solo unos pocos miles de átomos), es posible tener en cuenta en el cálculo todas las bandas electrónicas de la superred de grafeno, lo que resulta esencial para discernir correctamente el estado fundamental del sistema. Hemos estudiado el diagrama de fases para fracciones de llenado enteras, desvelando que hay transiciones relevantes entre estados con diferente ruptura de simetría. A este respecto, las bicapas con tensión transversal muestran una competición muy estrecha entre fases con ruptura de simetría de valle, con coherencia entre valles, ruptura de invariancia de inversión temporal, etc., que son similares a las que aparecen en las bicapas de grafeno giradas en el ángulo mágico.

Siguiendo el paralelismo con las bicapas de grafeno giradas, hemos demostrado también que se pueden desarrollar correlaciones superconductoras en las líneas de Fermi con marcada anisotropía, que aparece para fracciones de llenado enteras como consecuencia de la ruptura de la simetría de valle o de la invariancia de inversión temporal. En los dos casos, el mecanismo que conduce a la inestabilidad superconductora es el propuesto hace ya tiempo por Kohn y Luttinger, partiendo de la repulsión original e-e para inducir mediante apantallamiento una atracción efectiva en algunos de los canales de interacción. Hemos demostrado que éste es también un fenómeno muy plausible en las bicapas con tensión transversal, lo que hace que éstos sean sistemas muy interesantes de cara a la investigación experimental, como vía alternativa a la más tradicional de las bicapas de grafeno giradas en el ángulo mágico.

Materiales de semi-Dirac

Los materiales semi-Dirac bidimensionales (2D) exhiben una relación de dispersión única y altamente anisotrópica, caracterizada por una dependencia lineal de la energía con el momento en una dirección, mientras que en la dirección perpendicular la dispersión es cuadrática. Esta característica los diferencia tanto de los materiales de Dirac convencionales, donde la dispersión es típicamente lineal en todas las direcciones como de los semiconductores estándar con un comportamiento puramente cuadrático. La naturaleza inusual de las bandas de energía en los

sistemas semi-Dirac da lugar a fenómenos físicos ricos e intrigantes, especialmente en el contexto de las propiedades topológicas y la influencia del desorden.

Hemos investigado sistemáticamente las características topológicas de un Hamiltoniano semi-Dirac en 2D, así como los efectos del desorden en sus estados electrónicos. Una de las propiedades más notables de estos sistemas es la aparición de estados de borde dependientes de la energía que presentan una marcada selectividad direccional. Estos estados de borde emergen exclusivamente a lo largo de una única dirección de la nanocinta, localizándose en el borde superior o inferior dependiendo de su carácter de partícula o agujero. Esta separación espacial es una consecuencia directa de la dispersión anisotrópica subyacente y la interacción entre la topología y la estructura de bandas electrónicas.

Un aspecto fundamental de la robustez topológica de estos estados de borde es su conexión con la fase de Zak, un invariante topológico de volumen obtenido a partir de la reducción unidimensional (1D) del Hamiltoniano semi-Dirac. Dicha reducción se lleva a cabo tratando uno de los componentes del momento como un parámetro, lo que permite mapear el sistema 2D en una familia de subsistemas 1D. La fase de Zak sirve como un criterio riguroso para determinar la presencia o ausencia de estados de borde protegidos. Sin embargo, a diferencia de las fases topológicas convencionales que protegen estados de borde en un amplio rango de valores de momento, en los materiales semi-Dirac la protección topológica se encuentra generalmente restringida a un único valor del momento, correspondiente a un modo de energía cero. Esta protección limitada pero no trivial distingue a los sistemas semi-Dirac de los aislantes topológicos convencionales y los convierte en una plataforma interesante para el estudio de fenómenos topológicos no convencionales.

Más allá de su interés fundamental, estas propiedades topológicas tienen implicaciones significativas en las propiedades de transporte en sistemas mesoscópicos y nanoscópicos. Analizamos la respuesta de los estados de borde frente a diferentes tipos e intensidades de desorden, evaluando su robustez frente a perturbaciones como el desorden de Anderson, la rugosidad en los bordes y la dispersión por impurezas. Nuestros resultados aportan información sobre la estabilidad de la protección topológica y cómo esta podría aprovecharse en aplicaciones prácticas. Además, exploramos las consecuencias del estado protegido en el momento cero dentro de una configuración de dos terminales, donde su presencia o ausencia puede influir significativamente en las características de conductancia, lo que podría derivar en aplicaciones potenciales en dispositivos electrónicos basados en materiales semi-Dirac.

FÍSICA NUCLEAR TEÓRICA

Dispersión elástica de electrones por núcleos impares deformados y polarizados

Se han estudiado los términos de interferencia entre las componentes monopolares (C0) y cuadrupolares (C2) coulombianas que contribuyen a la sección eficaz de dispersión elástica de electrones por nucleos impares polarizados. Este estudio se realiza en la aproximación de Born de ondas planas (PWBA). La estructura nuclear se describe mediante una aproximación microscópica autoconsistente de Hartree-Fock deformada con interacciones de Skyrme y correlaciones de tipo pairing. Se encuentra que analizando experimentalmente la respuesta nuclear en estos procesos se puede obtener información detallada sobre el signo de la deformación cuadrupolar en el núcleo blanco. En concreto, se estudian los cambios inducidos por la deformación nuclear en los observables correspondientes a estos procesos, con especial atención a los efectos producidos por los términos de interferencia entre los multipolos C0 y C2.

Para ilustrar la magnitud de tal efecto se considera una serie de núcleos blanco caracterizados por tener diferentes espín-paridad y deformación en sus estados fundamentales. Estos núcleos son los siguientes: ^{21}Ne, ^{63}Cu, ^{191}Ir, ^{27}Al, ^{55}Mn, ^{105}Pd, ^{167}Er, ^{177}Hf, ^{181}Ta y ^{179}Hf.

Se encuentra que realizando mediciones conjuntas de las secciones eficaces polarizadas y no polarizadas, pueden obtenerse indicaciones del carácter de deformación, achatada o alargada, de la forma nuclear y que resultan independientes del modelo. Esta información se obtiene de la simple observación de si la sección eficaz aumenta o disminuye al polarizar el núcleo. La amplitud de esta desviación está relacionada con la magnitud de la deformación cuadrupolar. Aunque esta correlación resulta depender del modelo específico considerado, las aproximaciones realizadas en este estudio no cambian las conclusiones sobre la viabilidad de obtener observables que muestren sensibilidad a la interferencia C0/C2 y, por tanto, al signo de la deformación axial.

El estudio incluye núcleos con diferentes números atómicos y de masa. El número atómico, en particular, determina en gran medida el tamaño nuclear y en concreto el radio de carga nuclear. Este radio muestra una correlación directa con la posición del primer mínimo de la sección eficaz de tal manera que la posición decrece cuando el radio aumenta. De nuestro análisis concluimos que en el caso de núcleos pesados, los parámetros de deformación cuadrupolar beta-2 y los patrones de la densidad de carga son muy similares como consecuencia de la importancia relativa del core par-par involucrado. Esto se refleja en patrones similares de las interferencias C0/C2. Por el contrario, los núcleos ligeros investigados presentan una gran diversidad de formas nucleares que finalmente conducen a factores de forma que dependen en mayor medida de las características propias del núcleo considerado.

Resumiendo, encontramos que la comparación de las secciones eficaces polarizadas y no polarizadas proporciona una herramienta novedosa para discriminar entre la naturaleza oblada o prolada de la forma nuclear y finalmente para entender mejor la deformación del núcleo atómico.

Confinamiento de sistemas de dos y tres partículas por medio de un campo externo

A lo largo de este año hemos utilizado el denominado “d-method”, recientemente desarrollado, y que permite investigar sistemas de dos y tres cuerpos bajo la influencia de un potencial de confinamiento externo. El punto de partida de este procedimiento consiste en tomar la dimensión d como un parámetro que puede variar de forma continua desde d=3 hasta d=2. El efecto del potencial de confinamiento queda entonces contenido en la barrera centrífuga de potencial, que presenta una dependencia en la dimensión. Este método es preciso y correcto en los dos límites, es decir, para d=3 y d=2.

En particular, para sistemas de dos cuerpos, hemos investigado funciones de onda, defasajes y secciones eficaces elásticas. La interacción entre los dos cuerpos se ha tomado de corto alcance. Usando un potencial de pozo cuadrado, hemos derivado expresiones analíticas para longitudes de dispersión y defasajes. Hemos introducido también la dimensión crítica, d_E, que se corresponde con el escenario en el que la longitud de dispersión de la interacción es infinita. Esta situación es particularmente interesante, ya que, cuando se añade una tercera partícula, se cumplen las condiciones para la aparición de estados de Efimov. Hemos investigado también la equivalencia entre las funciones de onda obtenidas en el espacio de dimensión d y la correspondiente al espacio tridimensional ordinario confinado. Hemos demostrado que los defasajes son los mismos

en ambos casos. En consecuencia, el método d se puede utilizar para obtener secciones eficaces elásticas de dos cuerpos a baja energía ante la presencia de un campo externo.

Siguiendo el mismo esquema, hemos investigado también el caso de los sistemas de tres cuerpos, centrándonos en estructuras en el continuo de tres partículas que interaccionan en un campo externo deformado. Nos enfocamos en dimensiones cercanas a la dimensión crítica, $d = d_E$, entre 2 y 3, para la cual la energía de los subsistemas de dos cuerpos es igual a cero. Estas son de nuevo las condiciones bajo las cuales puede aparecer el efecto Efimov. En este escenario, $d=d_E$, hemos diseñado un modelo de tres cuerpos esquemático, realista a largas distancias, basado en potenciales de pozo cuadrado para la interacción partícula-partícula. Así, hemos derivado expresiones analíticas para las funciones de onda, longitudes de dispersión, defasajes y secciones eficaces elásticas. El procedimiento y los resultados son universales, válidos para todos los potenciales de corto alcance siempre que las longitudes de dispersión suficientemente grandes. Hemos discutido también las propiedades y la validez de las expresiones derivadas considerando el sistema más simple, como es el de tres bosones idénticos. Hemos encontrado que las expresiones encontradas son particularmente útiles para energías muy pequeñas, donde los cálculos numéricos completos a menudo no son factibles. Para energías en las que se pueden realizar cálculos numéricos, se encuentra una buena concordancia con los resultados analíticos. Estos resultados del modelo pueden probarse mediante experimentos de dispersión para tres partículas en un potencial de oscilador deformado externo equivalente. Todas las secciones eficaces van a cero en el límite de energía cero para $d < 3$ como una potencia de la energía dependiente de d.

Funciones de correlación de tres nucleones

Actualmente, los procesos de dispersión con tres nucleones libres en el canal entrante no pueden ser llevados a cabo en el laboratorio. Sin embargo, recientemente, la colaboración ALICE ha logrado medir el proceso de dispersión de tres protones de manera indirecta. El procedimiento seguido se conoce como técnica femtoscópica, la cual se aplica a colisiones protón-protón a muy alta energía en el LHC. Con objeto de establecer la conexión teórica con las medidas presentes y futuras de funciones de correlación de tres partículas, hemos analizado en detalle los distintos ingredientes necesarios para describir sistemas de tres protones y tres neutrones mediante el uso de la expansión adibática hiperesférica de la función de onda de tres cuerpos. Esta función de onda, convenientemente normalizada, es la base de la función de correlación, que no es más que su convolución con una función fuente. El tamaño finito de esta fuente permite el uso de funciones de dispersión libres para muchos de los canales adiabáticos. Los resultados obtenidos pueden considerarse como un primer paso en la descripción de las funciones de correlación es sistemas de tres cuerpos, abriendo la puerta al estudio de otros sistemas, como el formado por dos protones y una partícula Λ.

FÍSICA MOLECULAR TEÓRICA APLICADA AL ESTUDIO DE ESPECIES ASTROFÍSICAS Y A LA CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINATES ATMOSFÉRICOS

La investigación realizada en 2024 se inserta en el proyecto H2020-MSCA-RISE-2019-ATMOS-872081 “Pollutants and greenhouse gases in the atmosphere - understanding gas-gas and gas-

solid interactions towards a cleaner atmosphere (ATMOS)". Este proyecto se coordina desde el instituto de Estructura de la Materia y desde el grupo de Química Teórica del Departamento de Química y Física Teóricas en colaboración con la Unidad Asociada con la Universidad de Huelva.

ATMOS es una red internacional financiada por una Acción Marie Curie del programa H2020 para el inercambio de investigadores El objetivo principal es el estudio de problemas científicos relacionados con los elementos de contaminación atmosférica, con énfasis en la formación de estudiantes graduados en ciencias atmosféricas. La red está compuesta por doce grupos científicos y 31 científicos senior. Dentro de este entorno, varios estudiantes y profesores procedentes de los grupos integrados en ATMOS han visitado el IEM-CSIC en 2024.

Uno de los objetivos fundamentales de ATMOS es la caracterización espectroscópica de contaminantes atmósfericos como son especies orgánicas volátiles oxigenadas (OVOC's), radicales orgánicos y gases de efecto invernadero. Básicamente, el trabajo científico de los participantes del IEM se refiere a la identificación y reactividad de los radicales orgánicos y de los OVOC's que presentan rotación interna. Se parte de la base de que la comprensión de los procesos que involucran compuestos orgánicos en la atmósfera depende de su identificación y caracterización. Para entender los efectos en la atmósfera, se necesitan parámetros estructurales y espectroscópicos, teniendo en cuenta que el modelado espectroscópico cuantitativo línea por línea en el rango infrarrojo (IR) es necesario para las observaciones atmosféricas actuales y futuras con instrumentos de gran escala. Se requiere un gran esfuerzo científico centrado en la caracterización de especies conocidas y nuevas y en el conocimiento de la evolución química, de los procesos fotoquímicos inducidos y los ciclos radicales. En el IEM, la herramienta principal para la caracterización molecular son los cálculos ab initio altamente correlacionados, así como los códigos originales de Fortran para la determinación de propiedades espectroscópicas. Se colabora con los laboratorios del Departamento de Física Molecular.

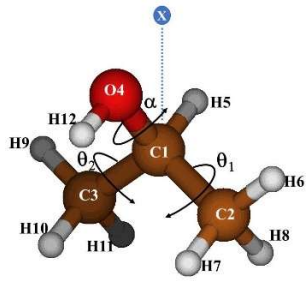


Fig 1

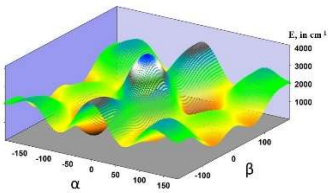


Fig 2

Durante 2024, se han calculado propiedades espectroscópicas y estructurales, con un énfasis en la rotación interna de grupos metilo, de alcoholes, eteres y cetonas que están clasificadas como Compuestos Orgánicos Oxigenados Volátiles. Estas especies contribuyen a un incremento del O3 troposférico. Se emplean cálculos ab initio altamente correlacionados y software original. Se han estudiado la acetona y el biacetilo y su espectro Raman, en colaboración con el departamento de Física Molecular. Teoricamente se han estudiado el alcohol isopropílico (Fig 1), el metoximetanol (Fig. 2), la hidroxiacetona y algunos peróxidos (CH3COOOH, CH3OOCH3). Algunas de estas especies volátiles, han sido detectads también en fuentes gaseosas del medio

interestelar. En colaboración con investigadores de la Sorbona y de la Universidad de Dunkerque, se ha estudiado teórica y experimentalmente el 2-furfural. Están en preparación, estudios de cetonas como la metil etil cetona y una amplia gama de pentenos.

Son objetivo de ATMOS la espectroscopia, la reactividad y también las interacciones gas-gas y gas-solido que involucran contaminantes atmosféricos. Se aborda la modelización de sólidos moleculares para la captura y almacenaje de contaminantes. Durante 2024, la Teoría del Funcional de la Densidad se ha empleado para modelar la captura de compuestos orgánicos (nitrofenoles) y amoniaco en ZIF-8 (zeolitic imidazolate framework-8).

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Sistemas carentes de orden de largo alcance.
- Nano-Fotónica.
- Plasmónica y Metamateriales
- Espectroscopía intensificada por superficies (SERS, SEF and SEIRA) de sistemas moleculares
- Nanosensores
- Técnicas espectroscópicas aplicadas al estudio de materiales de interés en el Patrimonio Cultural.
- Diseño de ecomateriales.
- Análisis toxicológico mediante técnicas espectroscópicas
- Física Nuclear Experimental.
- Estudio de estados nucleares excitados y resonantes.
- Estudio de hiper-materia exótica, núcleos mesónicos y otro estada ligado dentro sección extraña de la ecuación de estado nuclear
- Métodos de seguimiento de partículas y vértices.
- Investigación sobre machine learning and deep learning a la espectroscopia nuclear experimental.
- Simulaciones por computación usando la herramienta FairRoot y Geant4 para experimentos de Física Nuclear energia bajas, medias y relativistas.

SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Comportamiento físico a nano-escalas.
- Estructura y dinámica microscópica de materia condensada desordenada.
- Resonancias plasmónicas y de Mie en nanoestructuras metálicas/dieléctricas (nanoantenas).
- Metasuperficies con materiales dieléctricos de alto-índice: estados ligados en el continuo.
- Plasmónica topologica.
- Nanofabricación y funcionalización de nanoestructuras plasmónicas
- Caracterización de biomoléculas adsorbidas en nanoestructuras mediante espectroscopías asistidas por plasmones
- Detección de contaminantes mediante SERS
- Análisis de colorantes y pigmentos mediante espectroscopía vibracional convencional y espectroscopías vibracionales intensificadas por superficie
- Cálculos teóricos de espectros vibracionales
- Estudios in situ de caracterización de materiales
- Cementos sostenibles
- Patrimonio subacuático
- Caracterización de la estructura nuclear mediante reacciones elásticas y de ruptura, así como a través de la desintegración beta.
- Estudio del mecanismo de ruptura de estados excitados en múltiples partículas.
- Estudio de las propiedades estructurales de núcleos en reacciones a energías relativísticas.
- I+D de centelladores para el calorímetro CALIFA para el experimento R3B@FAIR.

- Medida de momentos magnéticos en núcleos exóticos mediante haces de iones radiactivos.
- Instrumentación nuclear.
- Métodos computacionales en Física Nuclear experimental (R3BRoot, FairRoot, WASAFRS).
- Herramientas de análisis de datos (Root, python, C++).
- Experimentación en Física Nuclear Experimental para GSI-FAIR.
- Espectroscopia en vuelo de hipernúcleos ligeros e hipernúcleos exóticos.
- Espectroscopía de núcleos unidos al mesón.
- I+D en seguimiento y reconstrucción de partículas en física nuclear de altas energías.
- I+D en detectores de micro-vértice
- I+D en análisis de datos con aprendizaje automático, profundo y modelos fundacionales

TÉCNICAS UTILIZADAS:

- Métodos computacionales.
- Simulación Numérica.
- Dispersión de neutrones.
- Medidas de Adsorción de gases.
- Física Teórica y Matemática.
- Espectroscopía Raman Dispersiva
- Espectroscopía Raman por Transformada de Fourier (FT-Raman)
- Espectroscopía Raman portátil
- Espectroscopía IR por transformada de Fourier (FTIR)
- Reflectancia total atenuada de infrarrojo (ATR)
- Espectroscopía de Fluorescencia
- Fluorescencia de Rayos X (XRF)
- Difracción de Rayos X (DRX)
- Microscopía electrónica de transmisión (TEM)
- Microscopía electrónica de barrido (SEM)
- Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDX)
- Microscopía óptica (MO)
- Microscopía de Campo Oscuro (DFM)
- Análisis térmico (ATD/TG)
- Resonancia Magnética Nuclear (RMN)
- Desintegración beta de núcleos exóticos producidos por el método ISOL en la instalación ISOLDE.
- Reacciones a baja energía en el acelerador de 5MV CMAM@UAM.
- Reacciones a energías relativísticas en el experimento R3B@GSI, FRS@GSI.
- Simulaciones de Montecarlo utilizando el código GEANT4.
- Espectroscopia Gamma.
- Análisis de experimentos en Física Nuclear Experimental.
- Métodos computacionales.
- Espectroscopía de hipernúcleos en colisiones de iones, con haz de mesones y emulsión nuclear.
- Algoritmos de reconstrucción de trayectorias y vértices.

- Arquitecturas de aprendizaje profundo de Pytorch para trayectoria de partículas, y análisis de datos.
- Coincidencias ultrarápidas

LABOR INVESTIGADORA:

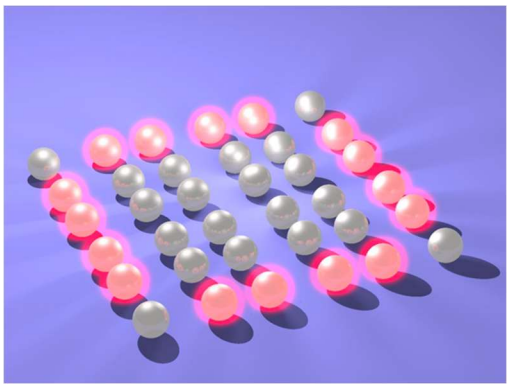
PROPIEDADES ÓPTICAS DE METASUPERFICIES: ESTADOS LIGADOS EN EL CONTINUO

Hemos continuado nuestro trabajo en curso sobre matrices periódicas planares (metasuperficies) de estructuras resonantes dieléctricas y plasmónicas de sub-longitud de onda con especial énfasis en los estados límite en el continuo (BICs). Los BIC han despertado mucho interés últimamente en fotónica por su factor Q (teóricamente) infinito. Estos estados son modos con fugas que, en un cierto límite de algún espacio de parámetros, no pueden acoplarse a ningún canal de radiación. Con el fin de atrapar la luz en estos modos electromagnéticos de ancho de línea casi cero, un enfoque común consiste en explotar metasuperficies: los canales especulares salientes pueden suprimirse ajustando los parámetros del sistema de diversas maneras, lo que conduce a BIC protegidos por simetría. Sobre la base de una teoría generalizada de dipolos eléctricos/magnéticos acoplados para matrices infinitas, se ha investigado una variedad de escenarios en los que los metaátomos simples/dobles pueden describirse simplemente mediante una combinación de varios dipolos eléctricos y/o magnéticos. Nuestro trabajo teórico se ha desarrollado en el marco de los proyectos MICIN BICPLAN6G & LIGHTCOMPAS. En esta línea, hemos contribuido con:

- Un estudio de la aparición de quiralidad óptica intrínseca y extrínseca asociada a la excitación de los BICs en varias metasuperficies formadas por dímeros de nanobarras de Si sobre un sustrato de cuarzo, comparando varios casos. Analizamos tanto el dicroísmo circular de la interacción de campo lejano, como la helicidad de la distribución de campo cercano. Mostramos que el mejor enfoque para lograr una respuesta quiral en el campo lejano basada en quiralidad extrínseca es explotar los cuasi-BIC que aparecen en el caso de los dímeros de nanobarras inclinadas. Por el contrario, la densidad de helicidad se mejora en gran medida en el caso de los dímeros desplazados, ya que presenta quiralidad intrínseca, con valores 2 órdenes de magnitud mayores que los de las ondas planas polarizadas circularmente. Estos campos electromagnéticos denominados superquirales concentrados a escala nanométrica dentro de la metasuperficie prometen tener implicaciones atractivas en fenómenos como el acoplamiento fuerte, la emisión de fotoluminiscencia u otras interacciones locales entre luz y materia. En colaboración con los grupos de A. García-Martín, IMN (CSIC), y J. Gómez Rivas (Surface Photonics, Technical University of Eindhoven).
- Un estudio teórico y experimental muestra la emisión direccional quiral de moléculas acirales acopladas a metasuperficies formadas por dímeros de nanodiscos de Si asimétricos. Las metasuperficies soportan cuasi-BIC estrechos y dispersivos. El origen de la respuesta quiral de la metasuperficie y las simetrías de los distintos modos ópticos se explican con el método de expansión de modo guiado y se apoyan en simulaciones numéricas de elementos finitos. Estas simetrías son responsables de la gran modificación del espectro, la polarización y la dirección de emisión de las moléculas. Se ha alcanzado un gran aumento de la emisión, de hasta 13 veces en un amplio rango angular, una pequeña divergencia y un grado de polarización circular tan alto como 0,8. Nuestro estudio aporta un conocimiento profundo de la quiralidad extrínseca en las metasuperficies investigadas, y los resultados son prometedores

para aplicaciones a dispositivos ópticos que aprovechan la fuerte emisión quiral y direccional. En colaboración con los grupos de L. Andreani (Universidad de Pavia), y J. Gómez Rivas (Surface Photonics, Technical University of Eindhoven).

NANOFOTÓNICA TOPOLÓGICA



La transferencia de energía molecular en el espacio libre es de corto alcance, mientras que el acoplamiento a modos fotónicos puede ampliar sustancialmente la distancia a la que las moléculas pueden interactuar, con aplicaciones prometedoras. En nuestro trabajo en colaboración con el grupo de William Barnes (Universidad de Exeter), hemos ilustrado cómo el acoplamiento débil y fuerte entre moléculas y los estados topológicos de borde de un conjunto de nanopartículas metálicas Su-Schrieffer-Heeger (SSH) en 2D (ver figura) puede proporcionar una mejora de la transferencia de energía utilizando un formalismo de modelo de dipolo acoplado. Sin embargo, observamos que este concepto no se limita al modelo 2D-SSH ni a los sistemas plasmónicos. Este formalismo puede utilizarse para estudiar el acoplamiento en cualquier matriz heterogénea finita de dipolos acoplados, como los sistemas de nanopartículas dieléctricas. Actualmente se está realizando un gran esfuerzo de investigación para comprender y controlar el fuerte acoplamiento de las moléculas a los modos fotónicos, sobre todo en sistemas abiertos, y con el fin de diseñar la transferencia de energía molecular de largo alcance. Esperamos que los resultados que aquí presentamos contribuyan a ambos esfuerzos mediante la demostración teórica del acoplamiento fuerte topológico luz-molécula, con diversas aplicaciones potenciales y nuevas vías de investigación que se extiendan más allá del sistema estudiado en el presente trabajo.

COMPORTAMIENTO FÍSICO A NANO-ESCALAS

Dentro de nuestras investigaciones sobre la adsorción de hidrógeno molecular a temperaturas criogénicas, en 2024 hemos seguido avanzando en el estudio experimental y análisis teórico de comportamientos metaestables en la adsorción de hidrógeno. La aparición de metaestabilidad en la fisisorción de hidrógeno en materiales porosos, esto es, de histéresis en los ciclos de adsorción/desorción isoterma, no es un fenómeno habitual y en particular nunca se había observado en el caso de los materiales carbonosos. Los pocos casos reportados en el caso de carbonos nanoestrucurados resultaron ser causados por algún tipo de quimisorción en las impurezas metálicas presentes en le material. Desde el punto de vista de su aplicación práctica para el almacenamiento y la gestión del hidrógeno la fisisorción es claramente preferible dada su baja barrera energética para liberar el hidrógeno. Por otro lado, la histéresis en sí, es muy interesante desde el punto de vista práctico dado que permitiría tanto unas presiones de trabajo menores para la misma carga (alta presión sólo durante la carga del combustible) como un mejor manejo de los flujos de calor en el sistema. En 2024 nos hemos centrado de nuevo en un material nanoestructurado compuesto principalmente de haces de nanotubos de carbono de doble capa. En 2023 y principios de del 2024 completamos un primer artículo científico en el que se expone el comportamiento metaestable de la adsorción de hydrogeno y se lleva acabo un estudio tanto estructural del sistema como de la dinámica microscópica de los procesos involucrados

utilizando técnicas de dispersión de neutrones (publicado en la revista Carbon). Así mismo, se ha completado el análisis de otra bateria de medidas de dispersión de neutrones que nos han permitido una determinación precisa de la estructura microsópica del material adsorbente así como de la deformación estructural que sufre éste durante la los ciclos de adsorción/desorción de hidrogeno. A apartir de estos resultados hemos podido entender el fenómeno a nivel micróscópico mediante confrontación de las medidas con experimentos numéricos. Más específicamente, se han identificado dos mecanismos principales, uno estático y otro dinámico y colectivo, que dan lugar a la metaestabilidad. Por un lado, la topología de los intersticios en donde se adsorbe el H_2 es tal que hay mas caminos accesibles para alcanzar el interior de los haces que para salir de ellos. Por otro, la propia expansión de los intersticios cuando se llega a un nivel suficientemente alto de carga hace que los canales entre ellos se pueblen como moléculas que "fluidifican" el paso entre interticios acelerando el llenado. Durante la desorción estos pasos entre intersticios se vacian en primer lugar empequeñeciendo el canal lo que aumenta significativamente las barreras energéticas para la desorción. Estos estudios se están llevando a cabo dentro de una colaboración con el grupo de investigación Quantum Beams and Sustainable Materials dirigido por el Prof. Felix Fernández Alonso del Materials Physics Center en San Sebastian.

En los últimos años, dentro de una colaboración con el grupo de la Prof. Leonor Chico en la Universidad Complutense, hemos estudiado la sorprendente estructura electrónica de nanotubos de carbono de capa simple en su estado colapsado. En particular hemos demostrado que dichos sistemas representan un ejemplo particularmente útil de lo que se conoce como super redes de Moire unidimensionales presentando todas las características de su homólogo bidimensional, las celebradas bicapas de grafeno rotadas (twisted bilayer graphene, TBG). Estas super redes de Moire unidimensionales conllevan una super red de acumulación de carga electronica (eventualmente de electrones "congelados" en los nanotubos de quiralides adecudas) en las "islas" del patrón de Moire. La adsorción de hidrogeno molecular se ve fuertemente influida por los excesos de carga. En particular, las zonas con exceso de carga positiva incrementan fuertemente la adsorción como se comprueba en los intercalados de grafito con potasio. Dado que los patrones de Moire de carga aparecen en cualquier tipo de nanotubo aplastado, estamos desarrollando una línea de investigación de nuevo en colaboración con el grupo del Prof. Felix Fernández sobre las consecuencias que estas super redes de carga pueden tener sobre la fisisorción de hydrogeno en nanotubos de carbono colapsados.

Diseño de nanosensores para detección de contaminantes

El diseño de sensores con nanoestructuras ha continuado como uno de los principales objetivos del trabajo experimental de nuestro grupo durante el año 2024. Estos sensores requieren la síntesis de nanoestructuras con propiedades ópticas avanzadas. La interacción de luz de una longitud de onda apropiada con nanopartículas (NPs) conduce a una alta intensificación del campo eléctrico local, que es el principio fundamental en el que se basa la detección molecular mediante Raman y fluorescencia intensificada por nanoestructuras. En los últimos años hemos desarrollado diversos métodos de síntesis de nanopartículas con interesantes aplicaciones en espectroscopía y catálisis. Entre estas nanopartículas se encuentran las nanoestrellas de plata, sistemas éstos que presentan propiedades morfológicas específicas conducentes a altas intensificaciones del campo electromagnético. El uso de estas nanoestrellas se ha generalizado

para el diseño de sensores SERS altamente eficaces para la detección de numerosas sustancias de interés medioambiental y biológico, así como pigmentos de interés para el Patrimonio Cultural.

Asimismo, el diseño de nanosensores implica una modificación de las propiedades físico-químicas de las nanopartículas mediante la funcionalización de las mismas. Esta funcionalización puede conseguirse mediante autoensamblaje de moléculas orgánicas sobre las nanoestructuras, lo que permite incrementar la sensibilidad y selectividad de las nanoestructuras fabricadas, dando como resultado superficies de alto rendimiento al combinar las propiedades físicas del metal con las propiedades químicas de moléculas orgánicas autoensambladas sobre ellas. Durante el año 2024 se ha continuado con la labor de funcionalización de nanopartículas con macromoléculas ensambladoras. Esta investigación se desarrolló en el marco de la cooperación que nuestro grupo mantiene con investigadores de la Universidad PJ Safarik de Kosice (Eslovaquia) y con la empresa Saftra Photonics, así como con la Universidad Playa Ancha en Chile. Esta empresa ha licenciado la patente desarrollada por nuestro grupo en la detección de glifosato.

Se han estudiado efectos plasmónicos como el efecto sobre la hibridización de plasmones en nanopartículas de Ag aproximadas por agergación inducida externamente sobre los procesos de intensificación de la señal SERS mediante los espacios interpartícula generados. Estos efectos se han probado en el caso de la detección de moléculas contaminantes como pesticidas tiacloprid o carbendazim.

Efectos plasmónicos y análisis de biomoléculas

La excitación de plasmones en metales nanoestructurados, fundamentalmente plata y oro, pueden ser empleados en el estudio de biomoléculas. Este tipo de análisis permite una caracterización de biomoléculas a concentraciones fisiológicas, lo que permite la caracterización de las mismas a concentraciones parecidas a los medios biológicos en donde éstas se encuentran.

Los efectos plasmónicos analizados han sido los siguientes: a) resonancia de plasmones superficiales localizados (LSPR); b) hibridación interpartícula de plasmones, manifestada a través de procesos de agregación de nanopartículas; y c) la intensificación de campo eléctrico inducida fundamentalmente en los puntos de máxima intensificación de campo localizados en espacios interpartículas o gaps, y en puntas generadas en nanopartículas de morfología anisotrópica. Este último efecto es el responsable del efecto SERS.

Estos efectos presentan una prometedora aplicación en el campo de la biofotónica. Durante el 202 se han empleado diferentes sustratos metálicos para llevar a cabo el estudio de la adsorción de péptidos sobre nanopartículas. La adsorción de péptidos permitite la biofuncionalización de superficies con el objetivo de diseñar sensores biológicos capaces de detectar la presencia de agentes patógenos.

Durante el año 2024 se ha continuado con la línea de investigación basada en el empleo de nanopartículas plasmónicas para el análisis de sistemas biológicos complejos. Se ha progresado

en el estudio de hongos de diferentes especies y de la modificación de los espectros Raman de estos organismos bajo diferentes condiciones. Los primeros resultados fueron muy prometedores en la aplicación de la técnica SERS en la identificación de diferentes tipos de especies fúngicas. También se ha avanzado en el estudio de moléculas polifenólicas existente en tejidos vegetales tales como las agallas de robles, sustancias éstas que serán empleadas en la biofuncionalización de nanaopartículas con vistas a ser empleadas en detección molecular.

Se ha avanzado en el desarrollo de sensores plasmónicos para la detección de compuestos orgánicos volátiles. Estos sensores implican el desarrollo de nanoestructutas que peritan la inmovilización y consiguiente detección de las moléculas gaseosas a bajas concentraciones. Estos sistemas se han aplicado al estudio de moléculas volátiles emitidas por hongos.

En colaboración con el Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja” se está llevando a cabo la identificación de los aditivos del cemento, mediante la utilización de diferentes nanopartículas de plata. En la actualidad se ha detectado la modificación estructural de un derivado del metilsulfonato, añadido como aditivo a un cemento portland. Es la primera vez que se identifican dichos compuestos en el sistema poroso, siendo resultados muy prometedores para los estudios de fabricación de materiales cementantes sostenibles, dentro de la línea de colaboración con el IETcc.

TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS APLICADAS AL ESTUDIO DEL PATRIMONIO CULTURAL

Durante el año 2024 se ha continuado con la investigación de las tintas ferrogálicas presentes en manuscritos antiguos con el fin de realizar una discriminación de los diferentes tipos de tintas empleadas en un mismo documento o documentos similares, en donde diferentes tintas empleadas por varias personas pueden ser analizadas. Los principales objetivos de este trabajo han sido: a) discriminación de tintas ferrogálicas en manuscritos escritos en la misma época mediante el uso de espectroscopía Raman, infrarroja y XRF; b) identificación y asignación de los marcadores espectrales Raman de escrituras similares y su correspondencia con la estructura química de los componentes; c) valoración del efecto del envejecimiento sobre las señales espectrales con el fin de encontrar marcadores espectrales temporales, que puedan contribuir a conocer la antigüedad aproximada de las escrituras y las posibles modificaciones posteriores que se realicen en los manuscritos a lo largo del tiempo. Este trabajo se está completando con la fabricación de tintas ferrogálicas en nuestro laboratorio siguiendo las recetas encontradas en manuscritos antiguos, para su posterior comparación con las tintas de manuscritos históricos. Estos estudios se están realizando gracias a colaboraciones con la Universidad Ca`Foscari de Venecia, Patrimonio Nacional y la Academia de Bellas Artes de Viena.

Se ha aplicado la técnica SERS al estudio de complejos metálicos de taninos, lo que ha demostrado una fuerte interacción de los complejos con superfices de plata nanoestructurada, demostrando las posibles aplicaciones en análisis sensibles de estas tintas.

La aplicación de la espectroscopía Raman y FTIR en el análisis de materiales contenidos en tintas encontradas en cámaras funerarias egipcias ha sido otra de las tareas que se han desarrollado en nuestro grupo durante este año. Este tipo de estudio implica gran dificultad ya

que ha de realizarse in-situ con instrumentación portátil capaz de ser introducida en la cámara funeraria. La espectroscopía Raman se ha empleado en el análisis de los pigmentos contenidos en esas tintas. Sin embargo, la presencia de un alto contenido de sustancias orgánicas en las mismas ha dificultado enormemente esta aplicación. La técnica DRIFT ha permitido la caracterización in-situ de estas tintas, si bien las señales más intensas provienen en este caso de los materiales dispersantes y aglutinantes. No obstante, los espectros DRIFT han proporcionado una importante información sobre el contenido de materiales como calcita, yeso, cola animal, ceras, aceites. Estos materiales presentan diferentes señales en diferentes puntos que han permitido diferenciar la intervención de diferentes escribas en los paneles estudiados. Estas investigaciones se están realizando en colaboración con investigadores del Instituto de Lenguas y Culturas del Mediterráneo y Oriente Próximo (CSIC).

Durante el año 2024 se ha mantenido la colaboración con las universidades PUCMM y UNPHU de la República Dominicana, para el estudio de los morteros utilizados en los primeros asentamientos de Colón. Estos son los primeros trabajos de caracterización de los morteros colombinos en la República Dominicana y serán la base para el diseño de nuevos morteros con propiedades biocidas, para lo cual se tiene actualmente un proyecto de colaboración con la universidad UNPHU de la República Dominicana.

El estudio del Patrimonio sumergido y el efecto que los nanoplásticos tienen en su deterioro, es una línea que se está iniciando en el grupo gracias a la colaboración con el Centro de Humanidades y Ciencias Sociales del CSIC. Se han iniciado los trabajos estudiando mediante técnicas espectroscópicas (Raman y FTIR) el deterioro de algunas piezas cerámicas encontradas en pecios del siglo XVI.

Se ha comenzado una fructífera colaboración con otros centros de investigación en España dentro de la aplicación de técnicas espectroscópicas en materiales del patrimonio Histórico, entre otros se ha contactado con investigadores del Instituto de Patrimonio de Andalucía, el Centro Nacional de Aceleradores (CNA) de Universidad de Sevilla y el Instituto de Ciencias del Patromonio de Galicia. Estas colaboracioes abarcan investigaciones en diferentes frentes: análisis de colorantes en fibras textiles, análisis de tintas ferrogálicas en manuscritos antiguos, análisis de pigmentos en cuadros, etc.

MRR-ISRS-SPAIN

IP: Teresa Kurtukian Nieto, CIE2301005 MICIN-MRR-Next generation EU

Diseño de un prototipo para el ISRS (ISOLDE Recoil Separator), un novedoso separador magnético de alta resolución que se instalará en HIE-ISOLDE, la instalación de haces radiactivos de alta energía de CERN.

El ISRS consiste en un anillo de almacenamiento que permite la identificación de la masa de fragmentos utilizando la dinámica de haces de Gradiente Alternante de Campo Fijo (FFAG) y solenoides superconductores multifuncionales que desvían el haz sin un núcleo de hierro. Los solenoides son del tipo CCT (Canted Cosine Theta), cuya bobina está inclinada respecto al eje de circulación del haz y genera los componentes multipolares del campo magnético necesarios para optimizar el transporte del haz. Los solenoides se instalan en criostatos adaptados a la circulación del haz de iones. El análisis de los fragmentos de reacción se realiza acoplando el anillo de

almacenamiento a un empaquetador de iones multiharmónicos (buncher) y a un plano focal que identifica la energía y la carga de los fragmentos de reacción.

Nucleosísntesis estelar en fases avanzadas de combustión y escenarios explosivos: combustión de oxígeno, núcleos cosmogénicos, nucleosíntesis más allá del hierro.

IP: Teresa Kurtukian Nieto y Luis Acosta, MCIU-AEI- PID2023-147569NB-C21

Estudio de propiedades fundamentales de los núcleos atómicos y reacciones nucleares que permitan obtener datos de interés para la nucleosíntesis estelar. Estudiamos la nucleosíntesis no explosiva mediante reacciones de fusión dentro del núcleo de las estrellas, así como la nucleosíntesis explosiva, como el proceso intermedio de captura de neutrones o proceso i, explosiones de supernova de colapso del núcleo, o fusiones de estrellas de neutrones donde tiene lugar principalmente el proceso rápido de captura de neutrones o proceso r.

En particular, nuestro objetivo es estudiar el caso de la reacción de fusión 16O+16O, mediciones directas e indirectas de los núcleos cosmogénicos, 26Al y 10Be, medición de velocidades de reacción termonuclear (p,gamma) para la producción de 44Ti en explosiones de supernova tipo II, así como la nucleosíntesis de elementos más pesados que el hierro, incluidas las semillas del proceso r, el caso 6He, el primer (N~50) y el último (N~126) punto de espera, y los potenciales ópticos para el proceso p astrofísico.

Estudio de estados monopartícula en núcleos de la capa fp mediante la reacción de transferencia ^{50}Ca(d, p)^{51}Ca @RIBF-RIKEN (PID2020-118265GB-C41, estudiante de doctorado Carlos Ferrera González, Andrea Jungclaus)

La segunda parte del experimento SHARAQ12 se realizado en las instalaciones RIKEN-RIBF (Wako, Japón) en mayo de 2024, este experimento tiene como objetivo el estudio de la estructura de monopartícula del ^{51}Ca a través de la reacción de transferencia ^{50}Ca*(d, p)*^{51}Ca. Las principales diferencias con respecto a la primera parte de este experimento realizada en 2022, es que se ha obtenido una mejor transmisión en el blanco del haz secundario de ^{50}Ca, y se ha incrementado el grosor del blanco secundario de CD_2 desde $\rho = 260\ \mu/cm^2$ hasta $\rho = 644\ \mu/cm^2$.

La calibración de los detectores de tracking “Strip Readout Parallel Plate Avalanche Counters” (SR-PPACs) colocados a lo largo de la línea de haz ha permitido caracterizar la posición, velocidad y composición del haz en diferentes etapas. En primer lugar, se ha realizado la identificación de partículas del haz incidente, determinándose una pureza de ^{50}Ca en el separador BigRIPS de entorno al 70%. Posteriormente se han establecido la posición, ángulo y energía con las que el ^{50}Ca llega al blanco secundario colocado en la línea OEDO, esto es fundamental para reconstruir la reacción (d,p). Por último, se ha calculado el ratio masa-carga de las partículas que atraviesan el blanco, lo que ha permitido identificar ^{51}Ca en el espectrómetro SHARAQ, este análisis ha sido similar al seguido para analizar los datos de 2022.

En paralelo se ha realizado la calibración y análisis de energías del detector de silicio segmentado TINA2, obteniéndose un espectro de excitación y su correspondiente distribución angular, con esto se han podido identificar los primeros protones provenientes de la reacción de transferencia de un neutrón. En esta segunda parte del experimento se ha conseguido identificar, utilizando de forma combinada el espectrómetro SHARAQ y el detector TINA2, una mayor cantidad de reacciones ^{50}Ca*(d, p)*^{51}Ca. Los resultados se han presentado tanto los congresos internacionales ADEIT 2024 (Valencia, España) y DREB 2024 (Weisbaden, Alemania) mediante

ponencias orales, como en las jornadas CPAN 2024 realizadas en Madrid mediante un póster científico.

EXPERIMENTOS NP1912-RIBF193, NP1912-RIBF189: Medida de vidas medias de estados excitados en los núcleos ^{131}In, ^{131}Sn, y ^{136}Te con el espectrómetro gamma HiCARI en RIBF (PID2020-118265GB-C41, PhD student Jaime Acosta, Dr. Andrea Jungclaus)

El espectrómetro HiCARI, que consiste en una matriz de detectores de HPGe, algunos de ellos de tracking, fue alojado en el Radio Isotope Beam Factory del centro de investigación RIKEN en Japón entre otoño de 2020 y primaver de 2021, para realizar una serie de experimentos de espectroscopía gamma "in-beam" con núcleos exóticos ricos en neutrones en la vecindad del doblemente mágico ^{132}Sn. Gracias a la gran resolución de energía de estos detectores (en comparación al espectrómetro DALI2+, utilizado habitualmente, que está compuesto de cristales centelleadores de NaI), se pueden medir directamente vidas medias basándose en el análisis de la forma de línea de los picos en los espectros gamma tras la corrección Doppler.

Se hizo un gran esfuerzo para caracterizar el espectrómetro y elaborar una guía general para el análisis de este tipo de experimentos, y se determinaron las distintas fuentes de incertidumbre sistemática, usando una serie de casos de referencia, limpios y con elevada estadística, presentes en los datos experimentales. Eventualmente, esto llevó a la escritura de un artículo recientemente enviado a la revista Physical Review C. El artículo, que se centra principalmente en esta caracterización de HiCARI y en la descripción del método de análisis, contiene también algunos resultados físicos, como la determinación de probabilidades de transición reducidas en los núcleos ^{136}Te y ^{131}Sn, el cálculo de factores espectroscópicos y la medida de una nueva línea en el ^{131}In.

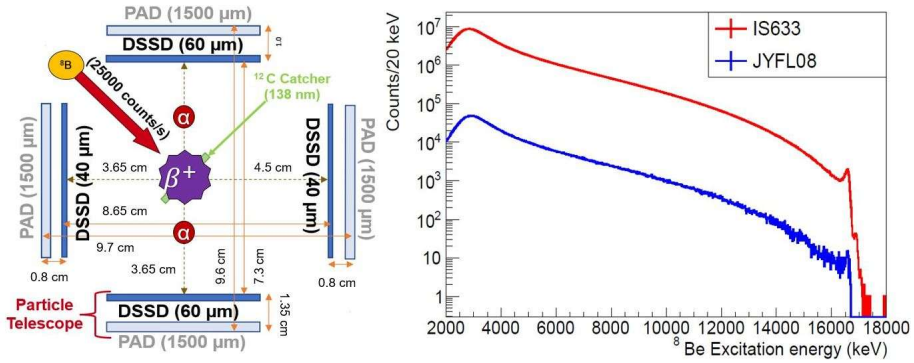
IS633: Desintegración β como sonda del doblete de isospín 2^+ de ^{8}Be (María José García Borge, Olof Tengblad, Daniel Fernández Ruiz)

La existencia de un doblete de isospín 2^+ en el ^{8}Be, compuesto por los estados excitados 2^+ de 16,6 MeV y 16,9 MeV, se conoce desde mediados de la década de 1960. Este doblete representa la única instancia conocida de una mezcla completa de isospín, donde los niveles de 16,6 MeV (^{7}Li + p) y 16,9 MeV (^{7}Be + n) se pueden describir como una mezcla completa de estados de isospín puro (T = 0 y T = 1). Se han observado indicios de este comportamiento en experimentos con reacciones, una confirmación directa sigue siendo esquiva. Además, los cálculos teóricos (tanto ab initio como de modelo de capas) predicen la existencia de una resonancia 2^+ intermedia entre 9 y 11 MeV que no ha sido observada.

En nuestro grupo proponemos que la desintegración β del núcleo con halo de un protón ^{8}B al ^{8}Be ofrece un método prometedor para investigar la estructura interna del núcleo caracterizando el doblete de isospín he identificar cualquier un nivel adicional. Analizando las componentes de Fermi y Gamow-Teller de la desintegración de cada nivel se pueden obtener los coeficientes de mezcla entre niveles. Sin embargo, un desafío significativo para este método radica en la baja alimentación del doblete de isospín mediante la desintegración β^+, ya que la vía de desintegración dominante (88%) ocurre a través de un estado 2^+ amplio a 3 MeV.

Realizado en la estación IDS dentro del laboratorio CERN/ISOLDE, el experimento IS633 representa el esfuerzo más reciente de nuestro grupo y nuestros colaboradores del grupo MAGISOL para investigar el doblete de isospín 2^+ del ^{8}Be mediante la desintegración β del ^{8}B.

Un haz de $^{8}BF_2$ a 50 keV se implantó en una lámina de carbono de 30 mg/cm². Al decaer el núcleo del ^{8}B (captura electrónica (EC) o la desintegración β^+) se pueblan los estados excitados del ^{8}Be. Como todos los estados excitados del ^{8}Be son no ligados, estos decaen en dos partículas α o en un protón y ^{7}Li, dependiendo del nivel alimentado, este proceso ocurre mucho más rápido que la desintegración gama y por tanto toda la información de los niveles queda contenida en el par de partículas αα. Se empleó un sistema de cuatro telescopios de partículas (DSSDs de 60 µm o 40 µm respaldados por 1500 µm) para detectar los fragmentos de la ruptura, lo que permitió realizar una espectroscopía detallada.



Izquierda: Montaje experimental de IS633: las moléculas $^{8}BF_2$ se implantan en una lámina de carbono de 31 µg/cm², el ^{8}B se decae en ^{8}Be, que a su vez, se desintegra emitiendo dos partículas α detectadas a través de un sistema de cuatro telescopios de partículas. Derecha: espectro α+ α obtenido de IS633 (rojo)

El espectro αα resultante de nuestro experimento está dominado por resonancias extremadamente anchas y, por lo tanto, requiere métodos de análisis más avanzados. Se han empleado dos métodos de análisis diferentes: una descomposición en matriz-R y un enfoque cinemático indirecto basado en la distribución de retroceso de las partículas α. Con este método, pretendemos extraer los coeficientes de mezcla de los niveles del doblete.

En el año anterior, nuestros resultados fueron presentados en las siguientes conferencias: European Nuclear Physics Conference (EuNPC 2022); PROCON2023 (25-30 de junio de 2023); XXXVII Mazurian Lakes Conference on Physics (3-9 de septiembre de 2023); y ISOLDE Workshop and Users meeting (29 de noviembre - 1 de diciembre de 2023). Un artículo basado en la presentación de la Mazurian Lakes Conference fue incluido como publicación en Acta Polonica B. Este año, también hemos presentado nuestros resultados en la International Conference on Nuclear Structure and Dynamics NSD2024 (27-31 de mayo de 2024).

Estudiando la estructura de ^{11}Li a través de reacciones de transferencia (Olof Tengblad, Ángel Perea, María José García Borge, Daniel Fernández Ruiz)

El término "núcleo de halo" describe núcleos, típicamente núcleos ligeros cercanos a la línea de goteo, que exhiben una extensión espacial inusualmente grande, desviándose de la fórmula estándar para el radio $r=r_0A^{1/3}$. Este fenómeno fue observado empíricamente por primera vez en experimentos de dispersión que midieron las secciones eficaces de isótopos de litio. En particular, se encontró que el radio de interacción del ^{11}Li excedía drásticamente las expectativas, lo que llevó a interpretarlo como una novedosa estructura nuclear, caracterizada por un núcleo compacto rodeado por nucleones externos débilmente ligados. Esta hipótesis fue confirmada algunos años después a través de experimentos de disociación de ^{11}Li. Desde entonces, se han identificado más núcleos de halo cerca de las líneas de goteo de protones y neutrones, siendo ^{11}Li el arquetipo de halos de neutrones.

Aunque el estado fundamental de ^{11}Li está bien establecido, su espectro de excitación sigue siendo poco comprendido a pesar de múltiples intentos experimentales. Estudios previos se han basado (en su mayoría) en excitar un núcleo de ^{11}Li. desde su estado fundamental a niveles de mayor energía. Nuestro grupo propone un nuevo enfoque, en lugar de los métodos tradicionales, buscamos poblar directamente los estados excitados de ^{11}Li utilizando la reacción ^{9}Li(t,p)^{11}Li. Este enfoque aprovecha la estructura más simple de ^{9}Li, evitando las complicaciones asociadas con la compleja estructura del estado fundamental de ^{11}Li y ofrece una vía más directa para investigar su espectro de excitación.

El Experimento IS690 fue realizado por nuestro grupo en la línea de haces de la Cámara Experimental de Dispersión (SEC) en la instalación ISOLDE-CERN, con el propósito de clarificar la estructura excitada de ^{11}Li mediante la población directa de los estados resonantes a través de una reacción de transferencia de dos neutrones ^{9}Li(t,p) ^{11}Li. Un haz de ^{9}Li, post-acelerado a 7 MeV/u en el acelerador HIE-ISOLDE, impacta sobre un blanco de tritio (^{3}H absorbido en una lámina de Ti de 1 μm con una proporción de 0.47/1). Los productos resultantes de las reacciones son detectados mediante un sistema de detectores de partículas basados en silicio. La configuración de detectores está formada por los siguientes elementos:

1. Cinco telescopios de partículas formados por DSSDs W1-60 mm respaldados por PADs de silicio MSX25-1500 mm, dispuestos en un pentágono que cubre ángulos desde 37° hasta 84°.
2. Dos detectores circulares de silicio (CDs), cada uno S3-1000 mm, formando un telescopio y cubriendo la dirección hacia adelante desde 6° hasta 32°.
3. Un CD adicional (S5-300 mm) que cubre la dirección hacia atrás desde 100° hasta 145°.

El análisis de los datos experimentales está en curso, pero los resultados preliminares ya se han presentado en una conferencia (XVI CPAN DAYS).

PRONTO-CM y ASAP-CM

Protontherapy and nuclear techniques for oncology, PRONTO-CM B2017-BMD-3888

Advanced strategies and new approaches for protontherapy, ASAP-CM P2022/BMD-7434

(Olof Tengblad, María José García Borge, Ángel Perea, Amanda Nathali Nerio Aguirre, Juan Francisco González Linares, Carlota Miranda Junco y Pedro Viñals Muñoz)

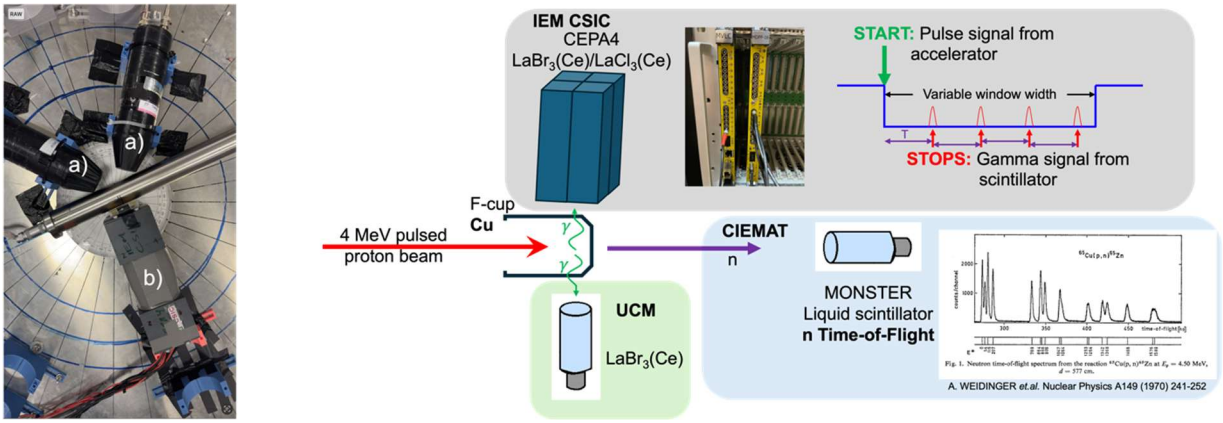
Caracterización de un novedoso escáner de tomografía con protones

Estudiante de doctorado: Amanda Nathali Nerio Aguirre

En el marco de las actividades del Proyecto ASAP-CM, se ha realizado el análisis de los datos obtenidos durante dos campañas experimentales realizadas en junio y diciembre de 2022 en el Centro de Ciclotrones de Bronowice, en Cracovia, Polonia. Estas campañas han sido fundamentales para el desarrollo del prototipo de escáner de protones del IEM-CSIC diseñado con el proyecto PRONTO-CM, lo que ha permitido la obtención de imágenes radiográficas y tomográficas realizadas con protones, así como en la caracterización y mejora del sistema. Este trabajo ha sido presentado en el Workshop "Technologies and applied research at the future Valencian facility", en las XVI Jornadas CPAN, y en la sesión de invierno de las Jornadas de doctorandos de la Universidad Complutense de Madrid 2024-2025.

Se ha trabajado, además, en el diseño de las pruebas de aceptación de la nueva fuente de iones del Centro de Micro-Análisis de Materiales (CMAM), que permitirá obtener haces pulsados con frecuencias entre kHz y MHz. Se ha preparado el sistema de adquisición de datos para la

realización de las pruebas de caracterización de los pulsos; en este proceso, diseñamos el sistema de monitorización para asegurar su precisión y adaptabilidad durante las sesiones experimentales y así garantizar un buen funcionamiento durante las futuras pruebas. Durante el año 2024, han realizado dos pruebas de aceptación que han permitido verificar las frecuencias de pulsación de haz de protones, mientras que el análisis de datos para determinar la estructura temporal del haz.



(a) (b)

(a) Montaje experimental de la primera prueba de aceptación del haz de protones pulsado, julio 2024. (b) Montaje experimental de la segunda prueba de aceptación del haz de protones pulsado, diciembre 2024; prueba conjunta realizada con Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y Grupo de Física Nuclear de la Universidad Complutense de Madrid.

Trabajos de Fin de Máster

En el año 2024 se desarrollaron dos trabajos de fin de máster dentro del marco del proyecto "Estrategias avanzadas y nuevos enfoques para protonterapia" (ASAP, por su nombre en inglés), financiado por el gobierno local de Madrid, con referencia P2022/BMD-7434.

1) **Determinación del rango de un haz de protones a energías relevantes para protonterapia mediante la detección de radiación gamma secundaria** Juan Francisco González Linares, Máster en Física Biomédica de la UCM

Este estudio consiste en una prueba de concepto basada en la utilización del centelleador CEPA4 para verificar el rango de un haz de protones a energías relevantes para protonterapia. La verificación de rango es de gran importancia en los tratamientos de protonterapia, con el objetivo de minimizar el daño en los tejidos adyacentes al tumor. La prueba de concepto se llevó a cabo en diciembre de 2022 en el *Centrum Cyklotronowe Bronowice* (CCB, Cracovia, Polonia).

Basándonos en las simulaciones realizadas por F. Hueso-González et al. en 2020, se ha diseñado un experimento para detectar la radiación gamma in vivo producto de la interacción del haz de protones con un bloque de PMMA. Esta prueba experimental de concepto novedosa nos ha proporcionado resultados que confirman la sensibilidad del método para determinar el rango a partir de las tasas de cuentas correspondientes a emisiones gamma identificadas como procedentes de la desexcitación del ^{12}C, elemento integrante del PMMA. Mediante ajustes

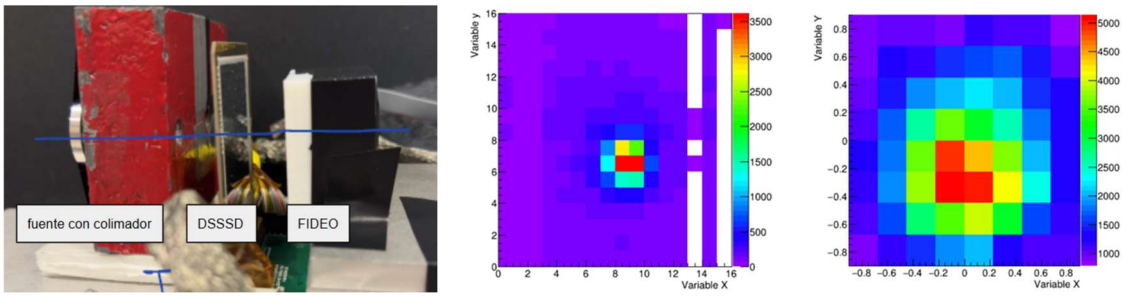
estadísticos, ha sido posible estimar el rango del haz de protones a partir de datos experimentales con desviaciones por debajo de los 2 mm con respecto al rango esperado.

Este trabajo fue realizado durante la estancia JAE-Intro (octubre de 2023 – abril de 2024) de Juan Francisco González Linares y presentado como Trabajo de Fin de Máster del programa de Máster en Física Biomédica de la Universidad Complutense de Madrid en el curso 2023/24. Además, los resultados fueron presentados en una charla durante las XVI Jornadas CPAN (Madrid, noviembre de 2024).

2) Pruebas y optimización de sistema experimental para verificación de rango en protonterapia

Carlota Junco Miranda, Máster Interuniversitario en Física Nuclear

Uno de los aspectos más relevantes en protonterapia es la correcta determinación del rango de protones durante el tratamiento. Para investigar en esta temática, nuestra colaboración tiene aprobado un experimento en el centro CCB de Cracovia que se llevará a cabo durante 2025. En este trabajo, se han realizado las pruebas de los detectores que forman parte del sistema PRIDE (DSSSD y FIDEO), a través de una serie de mediciones experimentales para su uso en el mencionado experimento de Cracovia. Además, se ha trabajado con detectores de silicio (DSSSD y PAD) y detectores de centelleo (CEPA4 y pirámide). Las medidas experimentales en el laboratorio con detectores de centelleo, como CEPA4, pirámide y plástico, demostraron su capacidad para detectar emisiones gamma y electrones de conversión, diferenciando eficientemente entre los distintos tipos de radiación emitidos por las fuentes. Se exploró la respuesta espacial del detector FIDEO a través de la localización de interacciones en diversas configuraciones, lo que permitió determinar la distribución espacial de las partículas en función de la posición de las fuentes radiactivas, individualmente y en coincidencia con un DSSSD, como puede observarse en la figura.



(a) (b) (c)

(a) Montaje experimental utilizado en las pruebas de coincidencias de detectores. (b) Mapa de hits del DSSSD en coincidencias con detector FIDEO. (c) Mapa de hits del detector FIDEO en coincidencias con DSSSD.

WASA@FRS: DeepHyp & DeepHyp 5º - Técnicas de deep learning para el estudio de hipernúcleos exóticos (CAM-Talento ref: 2019-T1/TIC-13194 & 2023-5A/TIC-28925) (C. Rappold, S. Esrig Lopez)

Dentro de la colaboración WASA@FRS, la campaña experimental WASA-FRS se llevó a cabo con éxito en el primer trimestre de 2022, con la finalización el experimento S447 de

espectroscopia de hipernucleos y el experimento S490 de núcleos con eta-prime ligados en las instalaciones de GSI-FAIR, Alemania. En 2019, la parte central del detector WASA se transportó a GSI-FAIR. En el experimento S447, el sistema detector central WASA se combina con el separador de fragmentos (FRS) de GSI. Los fragmentos emitidos hacia adelante desde de la desintegración hipernuclear serán medidos por la segunda mitad del FRS (S2-S4) con una excelente resolución de

momento. Las partículas ligeras procedentes de la desintegración de los hipernúcleos serán medidas por los detectores WASA. El proyecto DeepHyp se centró primero en la preparación del experimento experimento S447, y ahora en el análisis de los datos obtenidos. El desarrollo de nuevas técnicas de análisis basadas en técnicas de aprendizaje profundo tiene como finalidad de mejorar la espectroscopia hipernuclear. El objetivo principal es abordar el rompecabezas actual del tiempo de vida del hipertritón y la confirmación de la observación del estado ligados nnΛ.

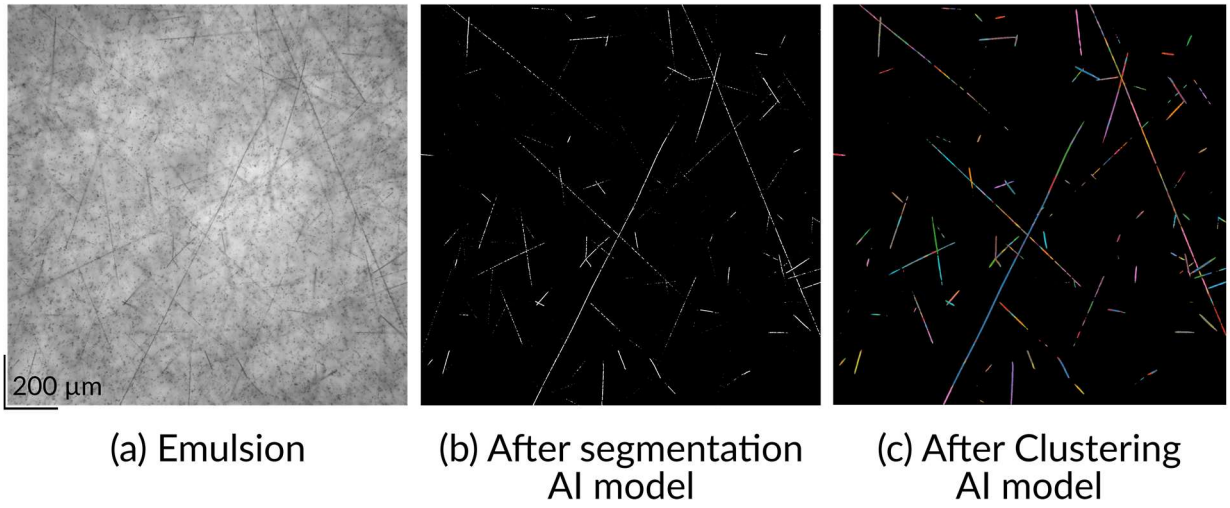
La preparación del experimento ha sido una parte muy importante del plan del proyecto DeepHyp de 2021 al principio de 2022. La puesta en marcha tuvo lugar en enero-febrero de 2022, y la toma de datos experimentales en marzo de 2022. Se llevó a cabo la finalización de las simulaciones Geant4 del aparato experimental realista. Se estimaron eficiencias más realistas de la trayectoria de partículas y de la reconstrucción de sucesos. La óptica iónica de S2-S4 se optimizó para una alta aceptación de fragmentos con un poder de resolución de 5200. Se están desarrollando nuevos algoritmos de aprendizaje profundo para el procedimiento de búsqueda de trayectorias mediante graph neural networks. Hemos iniciado la I+D de un nuevo detector de micro vértices de silicio para estimación precisa del vértice de interacción de las colisiones nucleares. El análisis de los datos está en curso y la primera tarea se centra en la calibración de los detectores de la configuración experimental completa, la identificación de partículas nos ha permitido observar piones, protones y fragmentos dentro del sistema de detección WASA y el espectrómetro de alta resolución FRS S2-S4.

Nuestra colaboración hispano-japonesa entre el CSIC - España y RIKEN - Japón está a la vanguardia en abordar el rompecabezas de los hipertritones mediante la aplicación de técnicas de aprendizaje profundo con el experimento WASA-FRS y con un segundo experimento J-PARC E07. También lideramos la búsqueda e identificación de hipernúcleos utilizando técnicas de aprendizaje profundo en emulsiones nucleares irradiadas por haces de kaones en el experimento J-PARC E07. Actualmente nos centramos en medir la energía de enlace de los hipertritones con la mayor precisión del mundo.

La emulsión nuclear, una película fotográfica especializada que registra las trayectorias de partículas cargadas, se emplea en este experimento por su resolución espacial submicrónica. Se ha desarrollado un método de búsqueda de todas las áreas para explorar exhaustivamente todo el volumen de la placa de emulsión nuclear y detectar eventos de interés. Para analizar una gran cantidad de datos de imagen de manera eficiente, introdujimos una técnica de detección de objetos utilizando el modelo de aprendizaje profundo Mask R-CNN para detectar los hipertritones desintegrados. Superando el reto de obtener suficientes datos de entrenamiento, se creó un modelo de red generativa adversarial (GAN) utilizando datos de simulación de Geant4 e imágenes de fondo reales de emulsiones nucleares. Esto facilitó el entrenamiento de Mask R-CNN, permitiéndonos encontrar por primera vez la desintegración de hipertritones en la placa de emulsión mediante IA.

El análisis en curso de un gran conjunto de datos ya ha conducido a la identificación única de eventos asociados a la desintegración de hipertritones, con la determinación de la energía de enlace actualmente en curso. El nuevo desarrollo de la IA se dirige ahora al aprendizaje no

supervisado con el fin de analizar toda la placa de emulsión por segmentación y discriminar así las huellas de partículas cargadas en todo el volumen de las pilas de emulsión. Los primeros resultados pueden verse en los siguientes paneles, en los que la imagen de emulsión extraída (panel izquierdo, a), es analizada por un modelo de IA que segmenta las pistas (panel central, b), y el segundo modelo de seguimiento de IA nos permite agrupar y discriminar cada pista con metadatos útiles para realizar una búsqueda general de vértices de decaimiento (panel derecha, c).



Hyp@FRS - Métodos de aprendizaje automático aplicados a la espectroscopia de hipernucleos: el puzzle de la vida útil de hipertritio y de la existencia de nnLambda estudiados en WASA@FRS (AEI ref: PID2020-118009GA-I00) (C. Rappold, S. Esrig Lopez)

El objetivo de Hyp@FRS es estudiar con precisión los hipernúcleos ligeros con reacciones inducidas por iones empleando el separador de fragmentos de las instalaciones GSI y FAIR de Darmstadt (Alemania) como espectrómetro de alta resolución. El objetivo de Hyp@FRS es la mejora de la espectroscopia mediante el aprendizaje automático. La actividad propuesta gira en torno al proyecto WASA@FRS que tiene lugar en las instalaciones GSI-FAIR. Con el éxito del experimento S447, el proyecto propuesto tiene como objetivo validar o descartar los descubrimientos que publicamos de nuestra primera campaña experimental HypHI - Fase 0. Se llevará a cabo el desarrollo de métodos innovadores en aprendizaje automático sobre los experimentos de espectroscopia hipernuclear. El método de aprendizaje profundo se utilizó con éxito para el modelado no lineal de la óptica de iones en el espectrómetro magnético, y en segundo lugar, en el seguimiento de partículas medidas en el aparato experimental. La campaña del experimento WASA@FRS tuvo lugar durante el primer trimestre de 2022. El análisis de datos utilizará los métodos de aprendizaje automático explicados anteriormente. Además, en este proyecto se lleva a cabo la I+D para la lectura electrónica de los microdetectores de vértice de silicio y su construcción. El objetivo final del proyecto es resolver el rompecabezas actual de la vida del hipertritón y la confirmación de la observación del estado ligado nnΛ (un estado de dos neutrones y un hiperón Λ).

NewHyp - Nuevos desarrollos basados en técnicas de aprendizaje automático en la búsqueda de señales hipernucleares en las colisiones 6Li-12C y 12C-12C del experimento WASA-FRS HypHI (AEI ref: CNS2022-135768) (C. Rappold)

Las observaciones multimensajero en astrofísica se han convertido en un elemento clave para restringir la ecuación de estado nuclear y las características de las estrellas de neutrones. Las características estelares de una estrella de neutrones se ven ampliamente afectadas por las interacciones bariónicas. Las restricciones de las observaciones experimentales de iones pesados muestran una notable consistencia con las mediciones astrofísicas y proporcionan información complementaria a densidades intermedias. En ese aspecto, se prevé que la producción de hipernúcleos exóticos en reacciones inducidas por iones añada observables precisos a mayor densidad que los obtenidos en experimentos anteriores.

El análisis de datos de las colisiones 6Li-12C y 12C-12C a 2GeV por nucleón del experimento WASA@FRS HypHI será el objetivo central del proyecto NewHyp. Dentro NewHyp, desarrollamosnuevas técnicas de aprendizaje automático para reforzar las señales hipernucleares. Se llevará a cabo el desarrollo de métodos innovadores en el aprendizaje automático sobre los experimentos de espectroscopia hipernuclear para separar mejor la contribución de fondo de la señal hipernuclear en la reconstrucción de la masa invariante. El proyecto pretende mejorar la determinación del punto de interacción de las colisiones, aumentar la relación fondo/señal de la observación hipernuclear. Esto nos permitirá tener la observación más clara de los diferentes hipernúcleos de interés: 3ΛH, 4ΛH, nnΛ, y 9ΛB, primero hipernúcleos ricos en protones. NewHyp demostrará un nuevo enfoque experimental abre el camino para la observación de hipernúcleos ricos en protones con colisiones nucleares por primera vez. La mejora necesaria para el futuro experimento WASA-FRS se derivará del análisis de los datos y del desarrollo propuesto en la electrónica. Por último, el proyecto NewHyp aspira a crear una unidad de proceso de inferencia de aprendizaje automático en el chip para comprimir el flujo de datos y aumentar el sistema de adquisición de datos del WASA-FRS.

IA para la búsqueda de eventos hipernucleares (Programa Momentum ref: MMT24-IEM-2) (C. Rappold, L. Acosta Sánchez, D. Calonge González)

El objetivo principal de esta investigación es mejorar el estudio de eventos hipernucleares en reacciones inducidas por iones y emulsiones nucleares a través de la aplicación de Inteligencia Artificial (IA). El trabajo se centrará en dos conjuntos de datos experimentales clave: el experimento WASA-FRS en GSI-FAIR en Alemania y el experimento de emulsión E07 en JPARC en Japón. Se desarrollarán técnicas novedosas de aprendizaje profundo para analizar colisiones nucleares a 2 GeV/u y los datos de emulsión nucleares E07, mejorando así la detección de señales hipernucleares. Además, se emplearán métodos innovadores de IA para experimentos de espectroscopía hipernuclear para mejorar la separación de las contribuciones de fondo de las señales hipernucleares durante la reconstrucción de masa invariante y el análisis de datos de emulsión. El proyecto también busca refinar la determinación de los puntos de interacción en eventos de colisión. Al aprovechar modelos de segmentación y redes neuronales gráficas, la investigación tiene como objetivo mejorar la eficiencia de observación para varios hipernúcleos, incluidos 3ΛH, 4ΛH, nnΛ y 9ΛB, así como hipernúcleos de doble extrañeza potencialmente desconocidos. Se espera que observaciones más claras de estas partículas proporcionen nuevas ideas sobre sus estructuras internas e interacciones barión-barión. El objetivo general es abordar preguntas no resueltas sobre la vida útil y la energía de enlace del

hipertritón ($^3_\Lambda$H) y confirmar la existencia del estado ligado nnΛ. Además, la investigación busca demostrar que estos enfoques experimentales de vanguardia abrirán el camino para la primera observación de hipernúcleos ricos en protones.

I+D en electrónica digital para el sistema de Timestamp y Convertidor Analógico-Digital con chips FPGA (CAM: Programa INVESTIG2023 ref: INV23-IEM-M2-14) (C. Rappold, L. Pardi)

En nuestra investigación en física nuclear experimental, estamos construyendo un sistema de detector de micro-vértices utilizando sensores de silicio de micro-strip acoplados con electrónica de front-end y back-end. El sistema de detección tiene como objetivo medir el punto de interacción de las colisiones núcleo-núcleo a alta energía. El desarrollo actual se realiza conjuntamente con la empresa privada ALIBAVA system e IMB-CNM, CSIC. Estamos trabajando en la mejora de la electrónica digital del detector. En primer lugar, se trata del sistema distribuidor de timestamp en chips FPGA que actualmente está en desarrollo. La electrónica de back-end utilizada está conectada entre sí a través del sistema de timestamp White Rabbit para mantenerlas sincronizadas con una granularidad de 1 ns. La segunda tarea será mejorar la electrónica de back-end para utilizar las placas Febex desarrolladas por el departamento de electrónica del centro de investigación GSI-FAIR. La posible mejora se centra en la integración del sistema de detección con el sistema de adquisición de datos de GSI-FAIR.

Estados resonantes relevantes del 11B en el estudio de la desintegración β-p+ del 11Be: D. Movilla Quintero (PhD student), B. Olaizola (JAEPR23038)

Ha habido un interés significativo en la estructura de los estados no ligados de núcleos ligeros ricos en neutrones, y específicamente, los estados cercanos a la línea de emisión de partículas ligeras. Además, se ha sugerido que la emisión β- retardada de protones (β-p+) es un proceso disponible en algunos núcleos ricos en neutrones. Aunque esta desintegración parece antiintuitiva, está permitida para núcleos en los que su energía de separación de neutrones es $S_n < 782$ keV. Como ejemplo, el 11Be, que es un núcleo halo, satisface esta condición debido a que $S_n = 501.6$ keV. Por lo tanto, el proceso de interés en este caso es $^{11}\text{Be} \rightarrow {}^{10}\text{Be} + p^+ + \beta^-$.

Recientes experimentos sugieren que este proceso es secuencial via resonancia estrecha en el 11B, que podría explicar por qué los cálculos teóricos todavía no concuerdan con lo observado experimentalmente. Por lo tanto, no está claro el mecanismo subyacente real de esta desintegración ni qué modelo teórico lo describe. Los estados resonantes cercanos a los umbrales podrían estar influidos por las líneas de emisión de neutrones y protones. Los cálculos teóricos toman los valores de energía, espín-paridad, anchura y anchuras parciales de los estados cercanos al umbral de emisión de protones. De hecho, se necesitan experimentos adicionales para evaluar las características del estado resonante propuesto en 11B y los más cercanos a él. Además, analizar el espectro de emisión de neutrones en 11B es relevante debido a su comportamiento como sistema cuántico abierto por encima de los umbrales de partículas ligeras.

Un experimento 10B(d,p) fue realizado en HELIOS (Argonne) para mirar en profundidad los estados intermedios de 11B, especialmente los cercanos a las líneas de emisión de partículas ligeras. Actualmente los canales de emisión de alpha, neutron y protón están siendo analizados.

IS709: Exploring shape coexistence across N=60 in 100Sr using IDS: J. Sánchez Prieto, B. Olaizola (PIE-20235AT018)

La región alrededor de N≈60 con Z≤40 ha generado un interés significativo por presentar la transición de forma más abrupta conocida hasta la fecha en la carta de nucleidos, al cruzar de N=58 a N=60. Esta transición está estrechamente vinculada a la coexistencia de forma, un fenómeno en el que dos o más estados con diferentes formas intrínsecas coexisten dentro del mismo núcleo a baja energía de excitación y en un rango estrecho de energía. Específicamente, el cambio abrupto surge de la inversión de dos configuraciones cuánticas distintas de nucleones, cada una correspondiente a diferentes formas nucleares. Estos cambios se interpretan como transiciones cuánticas de fase, lo que indica una transformación fundamental en las propiedades nucleares. Esta transición de fase resalta la importancia de las deformaciones nucleares y la variedad de formas presentes en los núcleos ricos en neutrones, como el estroncio y el circonio.

Este proyecto investiga la coexistencia de forma y la evolución estructural de los isótopos de estroncio en torno a N=60. Los estudios experimentales se llevaron a cabo en la instalación ISOLDE en CERN, donde los estados excitados de los isótopos de estroncio ricos en neutrones se poblaron mediante la desintegración beta de isótopos de rubidio. El análisis se centra en el estudio de la coexistencia de formas esférica, prolata y oblata, así como la interacción entre configuraciones regulares y configuraciones intrusas. Los estados intrusos, los cuales siguen configuraciones en las que los nucleones siguen un orden de ocupación orbital que no se ajusta a las predicciones del modelo de capas esférico, juegan un papel crucial para comprender la evolución de la estructura nuclear más allá de los números mágicos. Estas configuraciones destacan la importancia de los efectos colectivos y la deformación de los isótopos de estroncio ricos en neutrones.

A través del estudio exhaustivo de niveles de energía, probabilidades de transición, tiempos de vida y otras propiedades, este proyecto tiene como objetivo comprender mejor el origen de la coexistencia de forma y su conexión con las transiciones cuánticas de fase en los isótopos de estroncio, ofreciendo nuevas perspectivas sobre la interacción entre los efectos de partícula única y los efectos colectivos en núcleos exóticos.

IS622: Cu decay into neutron-rich Zn isotopes: shell structure approaching 78Ni: M. González De Pablo (master student), B. Olaizola (RYC2021-031494-I)

Este experimento tuvo como objetivo estudiar los isótopos ricos en neutrones de Zn cerca del 78Ni para explorar la evolución de los orbitales de protones y neutrones. Los isótopos ricos en neutrones de Zn, particularmente de A=74 a A=79, son fundamentales para comprender la estructura nuclear de la region, ya que llenan progresivamente la capa g9/2. Descubrimientos recientes desafían los conceptos establecidos de números mágicos, sugiriendo el potencial para nueva física en isótopos lejos de la estabilidad, incluyendo fenómenos como la coexistencia de formas.

El proyecto se centra en la desintegración β de isótopos de Cu a Zn, con el objetivo de refinar el esquema de niveles y medir las vidas medias de las transiciones, arrojando así luz sobre la colectividad y la evolución del modelo de capas cerca de N=50. La instalación experimental

incluye la Estación de Desintegración de ISOLDE (IDS) con equipos de detección avanzados para mediciones precisas. Los principales objetivos, para los isótopos impares de Zn, es el estudio de estados de particula independiente, y la resolución de discrepancias en los datos experimentales para los isótopos pares-pares de Zn. Esta investigación es de interés en astrofísica, particularmente en lo que respecta al proceso r en la nucleosíntesis.

Este experimento ya ha generado una gran cantidad de datos que están siendo analizados por varios estudiantes. En particular, M. González de Pablo analizó la desintegración de 95Rb al 95Sr (datos parasitos del experimento) como parte de su tesis de fin de máster en el IEM-CSIC. La defendió con éxito en septiembre de 2024.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Física molecular de sistemas astrofísicos y plasmas.
- Fluidodinámica Molecular.
- Espectroscopía Láser.
- Física Molecular Teórica.

SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Hielos astrofísicos.
- Caracterización espectroscópica de plasmas fríos de interés astrofísico.
- Generación, procesado y modelado de análogos de polvo interestelar.
- Espectroscopía Raman en chorros supersónicos de gases.
- Espectroscopía Raman en microfluídica gaseosa.
- Transferencia de energía por colisiones moleculares inelásticas.
- Parámetros espectroscópicos de moléculas relevantes en procesos colisionales, atmosféricos o de combustión.
- Modelización atomística y caracterización experimental de fases minerales de arcillas e hielos de interés astrofísico.
- Modelización computacional de la adsorción de nitroderivados en materiales metal orgánicos MOF´s.
- Control cuántico de alineamiento y orientación en moléculas aisladas y gases dipolares ultra fríos.

TÉCNICAS UTILIZADAS:

- Espectroscopía de infrarrojo y espectrometría de masas aplicadas a sistemas de baja temperatura y baja presión.
- Métodos Computacionales: Gaussian, SIESTA, CASTEP, CRYSTAL, CP2K, Suite Materials Studio.
- Generación de plasmas fríos complejos con descargas RF a baja presión.
- Espectrometría de masas de neutros y iones. Sondas de Langmuir.
- Espectroscopía de emisión en el visible y UV próximo. Polarimetría.
- Espectroscopía Raman lineal y no lineal (estimulada).
- Chorros supersónicos de gases.
- Chorros de gases confinados en canales milimétricos
- Espectroscopía de Doble resonancia Raman-Raman.
- Espectroscopía Infrarroja por Diferencia de Frecuencias.

LABOR INVESTIGADORA:

FLUIDODINÁMICA MOLECULAR

El grupo de Fluidodinámica Molecular es un grupo experimental pionero en el estudio cuantitativo de los flujos de fluidos fuera del equilibrio mediante técnicas espectroscópicas no invasivas. Los chorros supersónicos de gases son un medio extraordinariamente fértil en dinámica de fluidos, en el que es posible estudiar las colisiones intermoleculares inelásticas, el mecanismo fundamental de transferencia de energía en gases. Por su parte, los chorros subsónicos de gases permiten medir propiedades espectrales de las moléculas en condiciones incompatibles, o difícilmente alcanzables, en células. Para ello el laboratorio cuenta con dos instalaciones de diagnóstico de chorros de gases y líquidos mediante espectroscopía Raman, únicas en su género por sus prestaciones y flexibilidad, desarrolladas a lo largo de los últimos treinta años. Durante 2024 hemos continuado con el estudio del CO_2 fuera del equilibrio a altas temperaturas, junto con la aplicación de la espectroscopía Raman en microfluídica gaseosa, y con la caracterización espectroscópica de contaminantes atmosféricos, en el marco de los proyectos en curso.

Hemos continuado con el estudio de la relajación rotacional y vibracional del CO_2 en chorros supersónicos mediante espectroscopía Raman. La relajación del CO_2 juega un papel clave en el balance radiativo de la atmósfera terrestre, así como de la de Venus y Marte, la entrada de naves en esos planetas, o la síntesis de combustibles mediante plasmas fríos de CO_2, a pesar de lo cual escasean los datos experimentales de los procesos elementales implicados. En particular, al analizar las poblaciones vibracionales de los experimentos de campañas anteriores, se detectó una falta de datos experimentales fiables de los momentos de transición de la polarizabilidad del CO_2 entre niveles vibracionales excitados. Por ello, se realizaron nuevos experimentos para medir las intensidades intrínsecas (momentos de transición de la polarizabilidad) de las bandas vibracionales Raman. Estos consistieron en: 1) el calibrado de la sensibilidad espectral relativa del espectrómetro, 2) la determinación de las secciones eficaces diferenciales de scattering de las dos bandas fundamentales del CO_2 respecto a varias líneas de H_2 y bandas de N_2 que son estándares de intensidades, y 3) la determinación de los momentos de transición de 34 bandas calientes del CO_2 respecto a los de las dos bandas fundamentales. Los momentos de transición así obtenidos permiten cuantificar las poblaciones vibracionales y la densidad total de moléculas en medidas sobre chorros supersónicos de gases, con mayor precisión que antes. De la evolución temporal de las poblaciones rotacionales y vibracionales a lo largo de los chorros, hemos podido determinar los coeficientes cinéticos de transferencia entre niveles internos por colisiones inelásticas, y a partir de estos, otras magnitudes del flujo como tiempos de relajación o viscosidad de volumen. En este tema se han publicado dos artículos, uno sobre los coeficientes cinéticos de relajación rotacional del CO_2 en el rango térmico de 60 a 260 K, y otro sobre los momentos de transición de la polarizabilidad del CO_2 entre niveles vibracionales excitados. Este estudio constituye la Tesis Doctoral de Carlos Álvarez Nicolás, que fue depositada en la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid en diciembre de 2024.

En la línea de microfluídica se ha construido una versión mejorada de la célula con un canal interno de 1x15 mm^2, en la que la misma ventana, a 45º, se emplea para la excitación y la colección del scattering Raman. Esta nueva versión, con un separador de inox entre dos paredes de aluminio, ha demostrado ser más estanca que la de PEEK, lo que ha permitido trabajar con flujos enrarecidos a presiones inferiores a la atmosférica. Forzando un gradiente térmico entre las dos paredes de aluminio, se realizaron experimentos con flujos de N_2 o CO_2 a presiones entre 100 y 1000 mbar, y velocidades de flujo entre 7 y 60 cm/s. A pesar de la luz difusa por reflejos

en ventanas y paredes, hemos conseguido registrar los espectros Raman rotacionales de esas especies dentro de esos canales tan pequeños, y, a partir de ellos, medir la temperatura del flujo de gas, con una resolución espacial de ~100 micras. En los flujos más rápidos o enrarecidos se observan gradientes térmicos de más de 15 K a lo largo de la sección transversal de 1 mm.

También en la línea de microfluídica se han realizado nuevos experimentos en flujos gaseosos confinados en capilares de vidrio de 0,4x0,4 mm^2 de sección. En este montaje, la intensa luz difusa debida a las paredes de vidrio del capilar, impiden observar el espectro Raman rotacional, por lo que hay que trabajar con los espectros Raman vibracionales. Se hizo fluir N_2, con una presión de entrada de 640 mbar, alcanzando el régimen supersónico a la salida del capilar, contra una presión residual de 1.4 mbar. A partir de los espectros de la rama Q vibracional del N_2 se ha cartografiado la densidad y temperatura del gas, así como las velocidades de flujo y del sonido, a lo largo y ancho del capilar con una resolución espacial submilimétrica. De esta manera se ha conseguido trazar, por primera vez, la evolución completa del gas desde las condiciones de estancamiento a la entrada del capilar hasta el flujo supersónico a la salida, observándose que la superficie sónica (la transición entre el régimen subsónico y supersónico) se forma en el interior del capilar.

Por último, en el marco del proyecto europeo ATMOS, hemos seguido colaborando con el departamento de Química y Física Teóricas del IEM (M.L. Senent) y con la U. Mohamed V de Rabat (S. Dalbouha) en el análisis del espectro Raman de la acetona, CH_3COCH_3, implicada en los ciclos de degradación atmosférica de varios compuestos orgánicos volátiles (VOC, por sus siglas en inglés).

FÍSICA MOLECULAR DE SISTEMAS ASTROFÍSICOS Y PLASMAS

Hielos astrofísicos.

Desde el año 2022 estamos participado activamente en el grupo de trabajo del Ice-Age Early Release Program “Tracing the building blocks of life with the James Webb Space Telescope”, en particular en la sección de “astrofísica de laboratorio”. Nuestra aportación no es sólo proporcionar nuevos datos experimentales sino ayudar a interpretar las observaciones haciendo uso de la información experimental existente. Las observaciones con Ice-Age de la nube densa Camaleón I nos han permitido obtener información del tamaño de los granos de hielo/polvo presentes en dichas nubes. Para ello se ha simulado el perfil espectral de la observación teniendo en cuenta efectos de dispersión más absorción, utilizando las adecuadas constantes ópticas de hielos y de análogos de polvo. Se ha confirmado que los granos alcanzan tamaños micrométricos, mayores de lo que se suponía hasta la fecha, lo que implica innumerables cambios en la interpretación de la microfísica local. Por otro lado, la sensibilidad sin precedentes que proporciona en telescopio JWST ha permitido observar por primera vez en hielos el espacio las bandas llamadas “OH dangling bonds” que informan de la presencia de enlaces OH de moléculas de agua que no están formando puentes de hidrógeno con otras aguas en la red de hielo amorfo. Estos dos trabajos han dado lugar a sendas publicaciones en la prestigiosa revista Nature Astronomy.

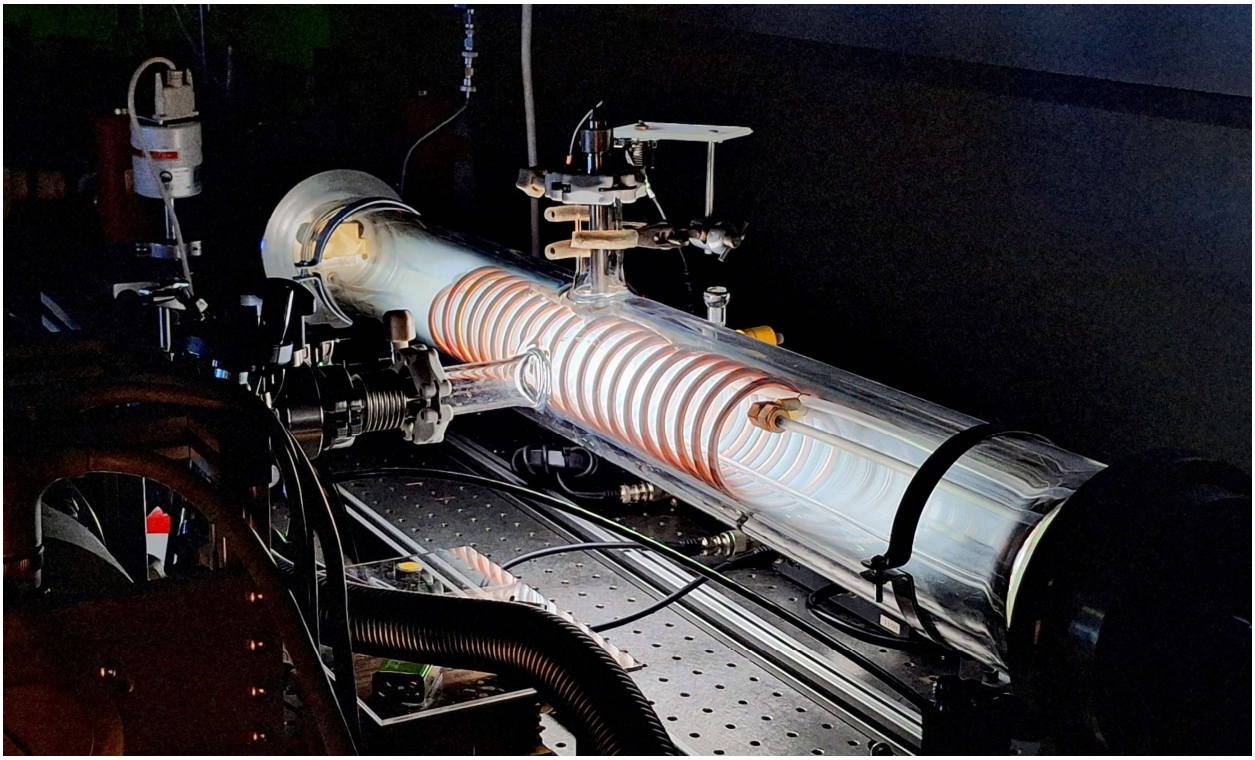
El análisis de los espectros obtenidos con el JWST de hielos en la nube densa Camaleón I ha puesto en evidencia la necesidad de obtener constantes ópticas infrarrojas y fuerzas de absorción infrarroja de hielos de mezclas ternarias de H_2O, CO_2, y CO en el rango IR, para la correcta interpretación de las observaciones. Los valores de fuerzas de absoricón IR existentes en la literatura para estas tres especies, que son las mas abundantes en hielos interestelares, tienen una dispersión superior al 30%. Además, existen pocos datos para hielos de mezclas ternarias. Hemos realizado un estudio sistemático de hielos de especies puras y de mezclas, todos ellos crecidos mediante depósito "backfilling", que sabemos da lugar a hielos porosos y homogéneos. Los hielos se han generado en sustratos de KBr o de Si, y se ha variado el estudio depositando sólo por una cara o por ambas caras del sustrato. Nuestro objetivo es estudiar como las distintas formas de generación del hielo afectan a las fuerzas de banda y constantes ópticas IR obtenidas. Estamos en proceso de preparación de una publicación. Este trabajo es una colaboración con el equipo experimental del proyecto Ice-Age.

Por otro lado, durante 2024 hemos analizado los experimentos realizados en noviembre de 2023 en la instalación europea HUN-REN ATOMKI, de irradiación de hielos de hidroxilamina (NH_2OH). Se han obtenido secciones eficaces de destrucción por rayos cósmicos (simulados por electrones de 15 keV) que revelan que esta molécula se destruye bajo radiación ionizante más deprisa que otras especies estudiadas en nuestro grupo como urea, o isocianato de metilo. La irradiación del hielo de la mezcla ternaria NH_2O:CO:H_2O lleva a la formación de moléculas sencillas como NH_3, CO_2, OCN- o H_2O_2, pero también de sales de amonio y posiblemente de moléculas orgánicas más complejas como formamida, ácido fórmico, urea y glucina. El trabajo, que se ha realizado en colaboración con el equipo de científicos de la cámara AQUILA en Atomki, se ha enviado a publicar an la revista A&A y está en proceso de revisión.

Espectroscopía infrarroja de iones moleculares de interés astrofísico.

Se ha comenzado un nuevo proyecto encaminado a la espectroscopía de iones moleculares de interés astrofísico que contengan azufre. Los primeros objetivos son los isómeros del sulfuro de carbonilo protonado, $HOCS^+$ y $HSCO^+$. El primero de ellos ha sido identificado recientemente en el espacio, a partir de observaciones realizadas con los radiotelescopios YEBES40 e IRAM30, mientras que el segundo, pese a ser más estable termodinámicamente, aún no se ha identificado. El conocimiento previo de la espectroscopía de estos iones es dispar. Mientras que el $HOCS^+$ ya se había caracterizado en el IR a través de su vibración ν_1, su espectro de rotación ha sido completado sólo recientemente, y sólo las transiciones tipo *a*. En colaboración con otros miembros del proyecto ILINK+ "SENTINEL" en la Universidad de Colonia y en el MPE de Garching, hemos registrado las transiciones rotacionales de tipo *b*, permitiendo así una mejora notable en la determinación de la constante rotacional A_0. En el caso del $HSCO^+$ la situación es la inversa: mientras que su espectro rotacional está bien caracterizado, no existía ninguna información sobre su espectro infrarrojo. Durante este año hemos identificado las primeras transiciones infrarrojas en la zona de 3400 cm^{-1} correspondientes a una banda de combinación, empleando la espectroscopía de "leak-out" en una trampa criogénica, en la Universidad de Colonia. El trabajo continúa, persiguiendo el registro de la banda fundamental de tensión C=O a 2300 cm^{-1}.

Por otra parte, se ha continuado el estudio, a alta resolución, de los complejos ligados débilmente $He\text{-}CH^+$ y $He_4\text{-}CH^+$, de interés fundamental debido a su valor como "benchmarks" para cálculos *ab-initio* de alta precisión.



Reactor de plasma inducido por radiofrecuencia para el estudio espectroscópico de especies inestables.

Generación, caracterización y procesado de análogos de polvo interestelar

Se han logrado avances significativos en el diagnóstico de plasmas de Ar/C_2H_2 acoplados capacitivamente, que permiten la formación de análogos de polvo interestelar. Se han obtenido distribuciones espacio-temporales tanto de los tamaños nanométricos de los granos como de sus densidades. Además, se han realizado análisis exhaustivos, resultando en uno de los diagnósticos más completos de este tipo de plasmas. Estos resultados han sido publicados en la revista Plasma Sources Science and Technology. Durante la estancia de David Vaquero, se continuaron analizando estos plasmas, obteniendo conclusiones relevantes sobre la evolución temporal de los tamaños y su concentración relativa en función de la presión parcial de los diferentes gases.

Se ha estudiado el efecto de incorporar heteroátomos en plasmas de hidrocarburos que conducen a la formación de análogos nanoestructurados de polvo interestelar. Por ejemplo, un cambio en la concentración de nitrógeno en plasmas acoplados capacitivamente de Ar/C_2H_2 afecta significativamente tanto la eficacia de producción de granos de polvo como la composición iónica del plasma. Destacando que tanto los aniones identificados como su concentración relativa coinciden con los recientemente detectados en el medio interestelar. Técnicas ópticas y eléctricas complementarias, junto con la espectroscopía de masas, han permitido realizar una caracterización del plasma. Estos hallazgos se presentaron en una conferencia invitada en la EPS Conference on Plasma Physics y han sido aceptados para su publicación en la revista Plasma Physics and Controlled Fusion.

Técnicas de análisis de superficie y de infrarrojo, han mostrado la incorporación exitosa de azufre en láminas delgadas hidrocarbonadas generadas en un plasma acoplado inductivamente. La producción de este material presenta un desafío debido a las condiciones críticas de depósito, derivadas de los diversos procesos de polimerización involucrados. Este análogo de polvo interestelar es de gran interés para estudiar la interacción entre el HAC (Carbono Amorfo

Hidrogenado) y el azufre, un tema cuyo interés astrofísico ha crecido notablemente en el último año. Estas muestras han sido irradiadas en el acelerador 3MV Tandetron (Rumanía) en colaboración con I. Topala (U. Iasi). Este análisis permite observar cómo los rayos cósmicos modifican la estructura molecular del material, favoreciendo la pérdida de azufre en comparación con el carbono. Los resultados se presentaron en un workshop organizado por el proyecto I-LINK, SENTINEL.

Dinámica de reacciones químicas elementales.

Se ha concluido y publicado la primera parte del estudio teórico de correlación de momentos angulares en la reacción prototípica F+HD. El trabajo, realizado en colaboración con el Departamento de Química Física de la Unidad Complutense (Unidad Asociada CSIC), se ha centrado en estado excitado HD (v=1, j=1) para energías de colisión en la zona de las resonancias de "orbiting". Los resultados muestran que los momentos angulares rotacionales, j′, y orbitales, L', en los canales de salida tienden a una orientación antiparalela, y que la conservación de la paridad impide, en algunos casos, la formación del estado j′=0 de los productos HF y HD.

Modelización atomística y caracterización experimental de fases minerales, hielos de interés astrofísico y estudio de adsorción de contaminantes atmosféricos en materiales porosos tipo metal orgánicos.

Las simulaciones de modelización computacional o cálculos mecano-cuánticos se han llevado a cabo a través e cálculos teóricos tanto en estaciones de trabajo como en superordenadores donde se han caracterizado de forma teórica las estructuras y espectros infrarrojos del hielo de indeno y donde dentro del campo de la astrofísica se han llevado a cabo una serie de simulaciones de la molécula de fosfina y otros derivados del fósforo y aminooxazol en entornos astrofísicos cuyas publicaciones están siendo redactadas.

También se ha estudiado de forma teórica las características de absorción de moléculas contaminantes atmosféricos no suficientemente estudiados en este campo tipo nitroderivados tales como nitrofenol y nitroantraceno y su interacción con materiales metal orgánicos. Trabajos cuyos resultados se han publicado en Molecules y Journal of Computational Chemisty.

ESPECTROSCOPÍA LÁSER

El trabajo experimental realizado durante el año 2024 en el Laboratorio de Espectroscopía Láser se ha centrado exclusivamente en la introducción de modificaciones y mejoras y la realización de reparaciones en el montaje para espectroscopía Raman estimulada (SRS).

A lo largo del año 2023 se introdujeron en el montaje nuevas fuentes láser de estado sólido en sustitución de los obsoletos láseres de Ar^+, que se encontraban al final de su vida útil. Estas fuentes son mucho más compactas y eficientes desde el punto de vista energético (<1 kW frente a los más de 50 kW de un láser de Ar^+) y presentan una mejor estabilidad en frecuencia, tanto a corto como a largo plazo, pero tras las primeras pruebas se comprobó que su ruido en amplitud (intensidad) era bastante mayor que el de los láseres de Ar^+. Este ruido está presente en la zona de frecuencias de ~ 2 MHz para una de las fuentes (inyector NKT Photonics + amplificador Azurlight) y en la zona >100 MHz para la otra (inyector RIO + amplificador Azurlight). Ambos

tipos de ruido interfieren con la detección y adquisición de señales Raman estimuladas, ya que estas aparecen como variaciones de intensidad del haz láser en estas zonas de frecuencias. El deterioro de la relación señal/ruido (S/N) es significativo cuando se utiliza la segunda fuente láser y totalmente inaceptable en el caso de la primera.

Con objeto de eliminar o cuanto menos reducir este ruido se ha procedido al diseño y construcción de un sistema de detección diferencial ("balanced detection"), en el cual se toma una fracción de la emisión de la fuente láser antes de su paso por la muestra. Esta fracción se hace incidir sobre un detector de forma paralela a la fracción principal, que tras su paso por la muestra incide en otro detector. A continuación, las fotocorrientes generadas en los dos detectores se restan. Si tanto las longitudes recorridas por los haces láser en ambos "brazos" del sistema como sus intensidades son similares, el resultado de esta resta es la eliminación, en las señales electrónicas, del ruido en amplitud del láser, que está presente en ambos brazos, mientras se mantienen inalteradas las señales Raman, presentes solo en el brazo principal. La puesta a punto de este sistema requirió la incorporación de nuevos elementos en el espectrómetro, con la utilización de fibras ópticas para introducir los retardos requeridos (dada la elevada frecuencia del ruido es necesario un error inferior a 1 cm en los varios metros de recorrido de los haces), elementos ópticos para el ajuste de intensidades y la construcción de detectores diferenciales especialmente adaptados a las características de nuestro sistema. El proceso requirió varias iteraciones, especialmente en la fase de diseño de los detectores, y tras varios meses de trabajo se concluyó con éxito, alcanzándose para ambas fuentes láser niveles de ruido en la detección similares a los que se obtenían con las antiguas fuentes de Ar^+.

Adicionalmente, se modificó el sistema de estabilización en frecuencia que inicialmente se había construido únicamente para la fuente láser NKT + Azurlight con objeto de adaptarlo y posibilitar su uso también para la fuente RIO + Azurlight. De este modo y en lo sucesivo ambas fuentes, estabilizadas en frecuencia y con el ruido en amplitud reducido, podrán utilizarse de forma intercambiable en los experimentos.

Finalmente, se ha aprovechado el tiempo de parada demandado por las modificaciones anteriores para acometer la reparación/reacondicionamiento de un elemento crítico de uno de los láseres de colorante en anillo, un etalón piezocerámico. Estas reparaciones, que se están llevando a cabo por parte del fabricante, se iniciaron en abril de 2024 y se espera que finalicen en las próximas semanas.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Simulación multiescala de materiales poliméricos y macromoléculas biológicas.

Propiedades físicas y nanoestructura de polímeros, mezclas y nanocompuestos de matriz polimérica.

Física de polímeros: Movilidad y orden en sistemas macromoleculares.

Aplicación de la luz sincrotrón al estudio de polímeros y materiales nanoestructurados.

Biofísica.

Intercaras.

SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Nanocompuestos poliméricos: Estructura y propiedades físicas.

Confinamiento en la estructura y la dinámica de la materia condensada blanda.

Desarrollo de la estructura y propiedades de polímeros naturales y nanocompuestos.

Dinámica molecular y propiedades dieléctricas.

Interrelación estructura-dinámica en materia condensada blanda polimérica.

Nano y microestructuración de superficies poliméricas.

Electrónica orgánica.

Estudio de los procesos de microdeformación, relación con la nanoestructura y optimización de propiedades mecánicas.

Procesos de recristalización en sistemas semirrígidos.

Fenómenos de precristalización, cristalización y transiciones de fase en polímeros sintéticos y naturales.

Estudio de las reacciones de polimerización mediante cálculos mecano-cuánticos.

Simulación jerarquizada de dinámica macromolecular.

Sistemas poliméricos reciclables: morfología, estructura y propiedades.

Dinámica molecular y propiedades viscoelásticas.

Procesos de extrusión y elongación en poliolefinas y mezclas.

Microscopía electrónica de transmisión: estructura y morfología de polímeros sintéticos y biológicos.

Hidrodinámica de proteínas y complejos macromoleculares biológicos.

Superficies virucidas.

TÉCNICAS UTILIZADAS:

Dispersión y difracción de rayos X a ángulos grandes (WAXS), pequeños (SAXS), ultra-pequeños (USAXS) y con incidencia rasante (GISAXS), incluyendo el uso de micro- y nano-haces de radiación sincrotrón.

Calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Dispersión cuasielástica de neutrones (IQNS).

Microscopía óptica y de barrido (SEM).

Microscopía electrónica de transmisión (TEM).

Espectroscopía Raman.

Dispersión de neutrones.

Espectroscopía dieléctrica de banda ancha.

Reometría de cizalla en torsión dinámica y continua, de extrusión capilar y elongacional.

Microrroelogía y microfluídica.

Análisis mecáno-dinámico en tracción, flexión y compresión: módulo elástico.

Microscopía electrónica de barrido y transmisión (STEM).

Cromatografía de permeabilidad en gel (GPC) y tetradetección y dispersión dinámica de luz láser (DLS).

Litografía de nanoimpresión (NIL).

Simulaciones mediante uso de computación de alto rendimiento.

Algoritmos de aprendizaje automático.

Microscopía de fuerzas atómicas (AFM).

Espectroscopía de correlación de rayos X (XPCS).

Micro-espectroscopía de rayos X en transmisión con barrido (STXM).

Espectroscopía de absorción de rayos X (NEXAFS).

Dispersión resonante de rayos X blandos (RSoXS).

Impresión a chorro de polímeros.

LABOR INVESTIGADORA:

Grupo de DINÁMICA Y ESTRUCTURA DE LA MATERIA CONDENSADA BLANDA (SOFTMATPOL)

RELACIÓN ENTRE PROCESADO, ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LA FIBROÍNA DE SEDA

En el marco de la Transición Ecológica, se considera que la fibroína de seda, un material a base de proteínas obtenido generalmente de los capullos de Bombyx mori, desempeña un papel cada vez más importante en el desarrollo de una generación más sostenible de materiales para aplicaciones avanzadas. En este contexto, se han preparado películas de fibroína de seda a partir de soluciones acuosas. Las películas de fibroína de seda pura tienden a ser rígidas y quebradizas

con el paso del tiempo, mostrando una elevada resistencia a la tracción, pero una baja elongación. Para modificar las propiedades físicas y mecánicas de las películas de seda hacia sistemas más flexibles, se mezclaron soluciones acuosas de fibroína de seda con glicerol y polietilenglicol. La interrelación procesado-estructura de las películas se investigó mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier y dispersión de rayos X a ángulo alato (WAXS) con luz de sincrotrón. Por otra parte, se investigó la interrelación estructura-propiedades de películas de fibroína de seda sometidas a estiramiento mecánico, midiendo in situ la fluorescencia emitida mientras se seguían simultáneamente los cambios estructurales mediante WAXS.

RELACIÓN ENTRE CONDUCTIVIDAD DC Y POLARIZACIÓN INTERFACIAL EN POLÍMEROS CONJUGADOS

El diseño de nuevos dispositivos electrónicos basados en polímeros semiconductores exige entender las relaciones entre la microestructura de estos polímeros y sus propiedades eléctricas, concretamente su conductividad. Los polímeros conjugados suelen ser semicristalinos y por tanto, las películas formadas a partir de estos polímeros contienen tanto regiones amorfas como zonas de alta cristalinidad, lo que implica una gran heterogeneidad espacial de la conductividad. En este trabajo, mediante medidas de conductividad eléctrica en un amplio rango de temperatura, se ha puesto de relevancia el papel de la fase amorfa en el transporte de carga a temperaturas relevantes para la aplicación, mientras que la conductividad en la fase cristaline es la predominante a temperaturas menores. Estas diferencias producen un efecto de polarización interfacial Maxwell-Wagner-Sillars (MWS-IP). La correlación entre el transporte de carga y la polarización interfacial se ha estudiado para varios polímeros semiconductores y presenta una dependencia similar para todos ellos. Estos resultados pueden al desarrollo de nuevos polímeros para aplicaciones en dispositivos electrónicos con un rendimiento mejorado a temperaturas operativamente relevantes. El trabajo se ha realizado en colaboración con el Dr. Drakopoulous de la Universidad de Princeton (USA) y el Dr. Kamal Asadi de la Universida de Bath (UK).

CARACTARIZACIÓN DE LA MICRO Y NANOESTRUCTURA EN NANOCOMPUESTOS DE GOMA SBS MODIFICADA Y NANOTUBOS DE CARBONO OXIDADOS.

La dispersión homogénea de nanotubos de carbono (CNT) en nanocompuestos con matrices de caucho es un factor clave que limita su potencial. Los CNT tienden a aglomerarse debido a interacciones de van der Waals. Para evitar esta formación de aglomerados, en este trabajo se ha modificado la superficie de los CNT con grupos portadores de oxígeno y azufre. Mediante microscopía de fuerza atómica (AFM), se ha estudiado la morfología, el grado de dispersión de los CNT en la matriz de caucho de estireno butadieno (SBR) y el espesor de la capa interfacial. En este contexto, los resultados mostraron que el tratamiento de oxidación térmica con azufre permite la preparación de nanocompuesto con mejor dispersión de la carga, asi como a una interfaz entre la carga y la matriz mas gruesa, lo que indica una interacción más fuerte entre los CNTs y el caucho. Este efecto hace que se modifiquen tanto los procesos de vulcanicación en estos materiales asi como sus propiedades mecánicas. Este trabajo se ha realizado en colaboración con el grupo de elástomeros del Insitutto de Ciencia y Tecnología de Polímeros del CSIC.

Grupo de BIOFISICA DE SISTEMAS MACROMOLECULARES (BIOPHYM)

Aspectos generales de la investigación

Durante este año hemos finalizado las actividades experimentales y de simulación en el proyecto "Eco-Diseño de Polímeros de Envases de Productos Básicos mediante Modelado Multiescala Validado (EcoPOL)", concedido por el MCINN a mediados de 2020. Asimismo, hemos continuado actividades colaborativas en el marco de dos proyectos de investigación de Transición Ecológica y Digital (TED), uno de ellos con la Universidad Rey Juan Carlos y el IMDEA Energía, y el otro con la Estación Experimental del Zaidín del CSIC (Granada) y la Universidad de Sevilla. Ambos proyectos se centran en el ámbito del reciclaje de polímeros y el desarrollo y caracterización de biopolímeros de origen natural. También se han obtenido resultados en el proyecto de estudio de tratamientos para el cáncer de mama metastásico con anticuerpos monoclonales, llevado a cabo bajo un contrato un nuevo contrato y una donación por parte de la Fundación "Contigo contra el cáncer de mama", en el estudio experimental e "in silico" de anticuerpos monoclonales conjugados (ADC). Además, se ha un acuerdo de servicio (“Service Agreement”) con la empresa internacional Total Energies. Destaca también la actividad llevada a cabo en colaboración con investigadores del ICTP, la UAH, Instituto de la Grasa (Sevilla) y la UPV/EHU. A continuación, se describen las principales actividades y resultados obtenidos en los diferentes proyectos. Finalmente, hemos obtenido un contrato Momentum (4 años) para un Técnico Superior titulado cuyo titulo es “Diseño de las propiedades viscoelásticas de lágrimas artificiales combinando experimentos, computación de alto rendimiento e inteligencia artificial”

Polímeros sostenibles para la economía circular

Reciclaje sostenible de plásticos en la industria automovilística.

A medida que el uso de plásticos en los vehículos sigue aumentando, mejorar las estrategias de reciclaje adquiere cada vez mas importancia. Las tasas de reciclaje de plásticos provenientes de vehículos al final de su vida útil (ELV) en Europa son bajas, sin embargo, las nuevas regulaciones de la UE exigen que el 25 % de los plásticos en los automóviles nuevos provengan de materiales reciclados, impulsando así la innovación en métodos de recuperación.

En colaboración con investigadores de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC), este estudio analiza los parachoques postconsumo, uno de los componentes más fácil de recuperar de los vehículos, evaluando sus propiedades estructurales y mecánicas para determinar su viabilidad en el reciclaje. Dado que la exposición prolongada al calor y la oxidación puede degradar estos materiales, exploramos una solución práctica: mezclar polipropileno (PP) reciclado de distintos parachoques con resina virgen. Este enfoque, que permite reemplazar hasta un 50 % del material virgen sin necesidad de aditivos adicionales, ayuda a preservar la integridad y el rendimiento del material.

Para evaluar su durabilidad a largo plazo, probamos estas mezclas mediante ciclos repetidos de extrusión y envejecimiento acelerado. Nuestros resultados demuestran que el PP reciclado puede reemplazar eficazmente el plástico virgen en componentes automotrices, contribuyendo a los objetivos de reciclaje de la UE y fomentando una industria más circular y sostenible.

Síntesis de polimerceno y polianetol y aplicación como aditivos sostenibles para el ácido poliláctico (PLA)

La sustitución de plásticos derivados de combustibles fósiles por otros obtenidos a partir de recursos biobasados, que presenten un rendimiento adecuado para ser utilizados como plásticos de consumo, es actualmente un campo importante de investigación, dada la necesidad urgente de pasar de una economía basada en combustibles fósiles a una más sostenible. En este contexto, el trabajo se centra en la aplicación de un sistema catalítico basado en complejos de titanio de silsesquioxano-ciclopentadienilo para la preparación de polímeros biobasados, que pueden usarse como aditivos para mejorar las deficientes propiedades materiales de un polímero biodegradable como el ácido poliláctico (PLA). Estos complejos de titanio, cuando se activan con metilaluminoxano o con sales de triflato, demuestran ser capaces de polimerizar dos monómeros biobasados: mirceno y anetol. Es destacable que las polimerizaciones con estos dos monómeros distintos tienen lugar a través de mecanismos diferentes. Los polímeros resultantes, polimereno (PMy) y polianetol (PAN), se han aplicado como modificadores para el PLA. Las mezclas binarias de PMy y PLA mostraron una disminución considerable en la temperatura de transición vítrea y la promoción de la cristalización del PLA para un contenido de PMy por debajo del 15%. Las propiedades mecánicas de las mezclas PLA/PMy también mostraron plasticización, con una disminución del módulo elástico y una plasticidad mejorada, lo que resultó en sistemas menos frágiles en comparación con el PLA puro. El análisis morfológico indicó un sistema parcialmente miscible, separado por fases con dominios de tamaño micronés. En cambio, el PAN inhibió completamente la cristalización del PLA y las mezclas PLA/PAN fueron inmiscibles, pero bien dispersas, obteniéndose un sistema separado por fases en la preparación de películas por fundición con disolvente con dominios PAN muy pequeños. Las mezclas mostraron un módulo de tracción más alto que el PLA puro y ausencia de comportamiento plástico, lo que resultó en sistemas más frágiles al agregar PAN al PLA. Este trabajo se ha hecho en colaboración con la UAH.

Mejora del PLA Biodegradable con Ramificación de Cadena Larga

En colaboración con IEM-CSIC, UPV/EHU y POLYMAT, este estudio investiga el efecto de la ramificación de cadena larga (LCB) en el polilactida (PLA) de origen biológico y biodegradable mediante la adición de diferentes cantidades de un extensor de cadena. Los análisis reológicos y calorimétricos revelan cómo la presencia de LCB influye en la resistencia del fundido y en el comportamiento de cristalización del PLA. La modelización reológica identificó diversas estructuras ramificadas, mostrando variaciones significativas en el comportamiento viscoelástico. Aunque la LCB aumenta la densidad de nucleación y la cristalinidad, ralentiza el crecimiento de los cristales debido a la reducción de la difusión de las cadenas. Sin embargo, la cristalización global mejora, ya que el efecto de la nucleación predomina sobre el del crecimiento cristalino. La introducción de LCB mejora las propiedades mecánicas y de procesado del PLA, convirtiéndolo en una estrategia prometedora para el desarrollo de polímeros sostenibles.

Biofísica de sistemas macromoleculares

Actividad de Unión de los Biosimilares de Trastuzumab con HER2



Trastuzumab y pertuzumab son anticuerpos monoclonales utilizados en la terapia dirigida contra el cáncer HER2-positivo. Comprender cómo los biosimilares de trastuzumab interactúan con HER2 en presencia de pertuzumab es fundamental para garantizar su eficacia y consistencia en el tratamiento.

Este estudio compara la actividad de unión de varios biosimilares de trastuzumab con la del fármaco original al dirigirse al dominio extracelular glicosilado de HER2 en presencia de pertuzumab. Utilizando cromatografía de exclusión por tamaño con metodología de tetra-detección, se analizaron el peso molecular absoluto, la concentración, el tamaño molecular y la viscosidad intrínseca. Los resultados mostraron que todas las moléculas de trastuzumab, incluidos los biosimilares, exhiben un comportamiento de unión similar, independientemente del orden en que se añadan trastuzumab y pertuzumab. Además, cuando HER2 se introduce en una solución previamente mezclada de trastuzumab y pertuzumab, se forman complejos de HER2 de mayor orden en concentraciones significativamente más altas en comparación con la adición secuencial. Esto sugiere un posible efecto sinérgico entre los anticuerpos, lo que podría mejorar su eficacia terapéutica. Estos hallazgos proporcionan información valiosa para optimizar los tratamientos dirigidos a HER2 y garantizar la fiabilidad de los biosimilares en aplicaciones clínicas.

"Llorando con la Microrreología"

Este estudio investiga las propiedades viscoelásticas de los fluidos biológicos, incluyendo tanto las lágrimas humanas como lagrimas artificiales (colirios) que contienen ácido hialurónico, mediante microrreología pasiva y este año hemos añadido técnicas de microfluidica y de inteligencia artifical. Al seguir el movimiento browniano de partículas trazadoras de diversos tamaños en los fluidos, pudimos sondear sus propiedades viscoelásticas. Los resultados mostraron que las propiedades viscoelásticas de las lágrimas artificiales, como la viscosidad newtoniana y el tiempo de relajación, se escalan según la concentración y el tamaño macromolecular del ácido hialurónico, asemejándose a soluciones semidiluidas no entrelazadas. Además, se descubrió que las lágrimas humanas tienen una viscosidad un 50% mayor que la del agua pura, comparable a las lágrimas artificiales que contienen un 0.1% de ácido hialurónico, pero con un tiempo de relajación un orden de magnitud más largo que las soluciones oftálmicas. Este comportamiento se atribuyó a su composición intrincada.

El aspecto distintivo de este estudio radica en demostrar la viabilidad de medir las propiedades reológicas de las lágrimas humanas, un biofluido de gran interés, utilizando volúmenes de muestra extremadamente pequeños y microrreología. Esto proporciona información completa a lo largo de un amplio rango de frecuencias, acercándose a aquellas correspondientes al parpadeo al aplicar la regla de Cox–Merz. Estos hallazgos son de gran valor, ya que allanan el camino para futuras investigaciones sobre pequeños volúmenes de lágrimas de pacientes oftálmicos. Este trabajo se ha hecho en colaboración con el POLYMAT y el Hospital de Donostia.

THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY DEPARTMENT

RESEARCH LINES:

- Gravitation and Cosmology.
- Condensed Matter Theory.
- Theoretical Nuclear Physics: Structure and Reactions.
- Theoretical molecular physics applied to the study of astrophysical species and to the characterization of atmospheric pollutants.

RESEARCH SUBLINES:

- Loop Quantum Gravity
- Loop Quantum Cosmology.
- Nonlocal quantum gravity.
- Fundamental physics of gravitational waves.
- Classical and quantum field theory.
- Strongly correlated and mesoscopic systems.
- Electroweak processes in nuclei.
- Nuclear structure from a selfconsistent correlated mean field approach.
- Three-body techniques in Nuclear Physics.
- Reactions of relevance in Nuclear Astrophysics.
- Theoretical spectroscopy applied to the study of relevant astrophysical and atmospheric non-rigid molecules.
- Formation of volatil organic compounds from organic radicals.
- Photodissociation of organic readicals.

EMPLOYED TECHNIQUES:

- Theoretical and mathematical physics.
- Computational methods.
- Perturbative field theory.
- Geometric methods in the Hamiltonian analysis of field theories.
- Selfconsistent mean field calculation techniques.
- Numerical methods to solve the Faddeev equations in coordinate space.
- Hyperspherical adiabatic expansion method.
- Highly correlated ab initio calculations and new computational tools.

RESEARCH ACTIVITY:

GRAVITATION AND COSMOLOGY

Loop Quantum Cosmology

The Gravitation and Cosmology Group has continued investigating the application of Loop Quantum Gravity to cosmological perturbations in the Early Universe and to perturbations of black hole spacetimes.

In this direction, we have addressed the issue of inequivalent Fock representations in Quantum Field Theory in a Kantowski-Sachs spacetime background, which describes the interior of a nonrotating black hole. A family of unitarily equivalent Fock representations that are invariant under the spatial isometries and implement a unitary dynamics can be achieved by means of a field redefinition that consists of a specific anisotropic scaling of the field configuration and a linear transformation of its momentum. Remarkably, we have shown that this kind of field redefinition is in fact unique. However, the physical properties of the Hamiltonian dynamics that one obtains in this way are not satisfactory, inasmuch as the action of the Hamiltonian on the corresponding particle states is ill defined. To construct a quantum theory without this problem, one needs a canonical transformation that is time- and mode-dependent and is not interpretable as an anisotropic scaling. The old and new Fock representations, nevertheless, are unitarily equivalent. The freedom introduced when allowing for this further canonical transformation can be fixed by demanding an asymptotic diagonalization of the Hamiltonian (ADH) and a minimal absorption of dynamical phases. In this way, the choice of vacuum is asymptotically determined.

We have also constructed a Hamiltonian formulation of axial perturbations of a Kanwotwski-Sachs geometry in the presence of a massless scalar field. After truncating the action at quadratic perturbative order, we have succeeded in describing those perturbations in terms of perturbative gauge invariants, linear perturbative constraints, and their canonically conjugate variables. Moreover, we have consolidated the entire set encompassing perturbations and homogeneous degrees of freedom into a canonical one. We have then employed a hybrid approach to quantize this system, integrating a quantum representation of the homogeneous sector using Loop Quantum Cosmology techniques with a conventional Fock quantization of the perturbations, chosen as described in the paragraph above.

On the other hand, we have explored the possibility that quantum geometry effects produced by Loop Quantum Gravity may alleviate the apparent tensions existing at large angular scales in the observations of the Cosmic Microwave Background (CMB). In past years, we suggested a number of approximations to simplify the study of the primordial cosmological perturbations that are responsible of the anisotropies of the CMB. This study requires a new choice of vacuum state that takes into account the preinflationary background geometry. With this aim, we introduced a non-oscillatory (NO) AHD prescription, and called NO-AHD vacuum the state selected in this manner. During this year we have applied our approximations to the investigation of scalar and tensor perturbations with initial conditions corresponding to this NO-AHD vacuum. We have employed two different approaches to the quantization of perturbations in Loop Quantum Cosmology, namely the hybrid and the dressed metric approaches. We have computed

numerically the primordial power spectra for those approaches and shown that our analytic estimations are remarkably accurate for all observable modes. We have also discussed the similarities and differences between the spectra obtained with those two approaches.

Finally, we have shown that the NO-AHD prescription for the vacuum is capable to resolve the problem posed by the discrepancy between the scale of inflation and the Planck scale, expected in a conventional inflationary picture, even without recurring strictly to an effective cosmological evolution corresponding to Loop Quantum Gravity. The combined effect of of the preinflationary background dynamics and our choice of vaccum produces a scale of power suppression different from the scale of the onset of inflation.

Geometric methods in gravitation

The work carried out in 2024 has been devoted to several aspects of the Hamiltonian formulation for field theories. Although the Hamiltonian formulation of field theories seems to be a straightforward generalization of the one for mechanical systems, it is actually quite subtle, in particular for singular Lagrangians which can exhibit a bewildering variety of behaviors that must be studied with care and on a case by case basis. To this end the central mathematical object to be analyzed is the so called fiber derivative: a map from the tangent bundle of the configuration space to its cotangent bundle (which in the physics parlance is usually referred to as the definition of momenta). In the best case scenario this map is a diffeomorphism and the Hamiltonian for the system can be defined on the whole phase space. If not, the system is singular. There are many different ways in which this singular character may manifest itself. For instance, if the fiber derivative is injective but not surjective the Hamiltonian can only be defined on a subset of the phase space. An interesting situation happens when this subset is dense in the phase space because it cannot be represented as the zero set of a smooth function (in other words, there are no primary constraints capable of describing it). This leads to a number of pathologies that have to be carefully understood. When the image of the fiber derivative is a proper, non-dense submanifold of the phase space (defined by the so called primary constraints) a very clean geometric way to study the Hamiltonian formulation consists of working directly on this primary constraint submanifold. This requires us to consider the pullback of the canonical symplectic form onto it and then find the final form of the Hamiltonian vector fields (which may require the introduction of additional secondary constraints). In practice this means that the Hamiltonian dynamics takes place on a phase space which is smaller than the tangent bundle of the configuration space. At face value this procedure seems to have an obvious drawback: the pullback of the symplectic form to the primary contraint submanifold does not necessarily have a simple "canonical" form. However, it is conceivable that it can be reexpressed in terms of new variables in such a way that it is "canonical". In the case of the self dual action this happens to be the case, in fact, the Ashtekar formulation for Euclidean General Relativity (GR) can be found precisely in this way without relying on any gauge fixing. In order to explore this issue we have considered other actions related to GR, in particular a version of the Husain-Kuchar model with a time variable. The result of the analysis is that, also in this case it is possible to find appropriate variables leading to a canonical symplectic form. This has led us to conjecture that this will always be the case. During 2024 we (F. Barbero and collaborators) have published three papers on these issues.

Nonlocal quantum gravity

This year witnessed several advances in nonlocal quantum gravity, one of the main research topics of the group since 2012. An updated review on this class of theories that we published in a Springer "Handbook" has contributed to raise the interest on this field. In parallel, we have developed from first principles a cosmological model alternatve to inflation based on a finate Weyl-invariant nonlocal theory. This model predicts a primordial tensor spectrum with a high amplitude at the frequencies of the cosmic microwave background and, moreover, a stochastic gravitational-wave background whose amplitude increases with the frequency. While the stochastic background will only be observable by DECIGO two decades from now, it will be possible to place observational constraints on the primordial tensor spectrum already before 2027, through BICEP Array observatory. This is one of the few theories of quantum gravity that presently offer falsifiable predictions in such a short time span.

At a more formal level, we have established more rigorously some of the fundamental building blocks of the theory: the gauge-invariant definition of the path integral over the metrics, the problem (and its solution) of the conformal instability in such path integral and the generalized Källén-Lehmann representation of the nonlocal propagator of the theory.

Gravitational waves

At a scientific level, in this sector we have studied quantum-gravity models and symmetry mechanisms that could give rise to a gravitational-wave background observable in LISA and Einstein Telescope (ET), two third-generation detectors in which we collaborate actively. Of the models studied in 2024, only one reaches the LISA and ET sensitivity windows, namely, the most recent version of the pre-big-bang model by Gasperini and Veneziano. In collaboration with the same Gasperini, we have circumscribed the theoretically viable parameter space and described examples of signals. In another work, we have shown that discrete symmetries that could emerge in pre-geometric regimes in quantum gravity could generate characteristic logarithmic oscillations deforming the primordial gravitational-wave background. Both LISA and ET could detect these features and, therefore, we have derived simulated constraints to illustrate the capabilities of these two observatories.

The year 2024 has been especially important for LISA, which has been adopted by the European Space Agency (ESA) in February. Our contribution in this respect has been the cooperation in authoring the LISA Definition Study Report, the technical-scientific memorandum for ESA which determined adoption of the mission and the step to the implementation B2 phase. The report is not published in any journal but its high number of citations (180 in one year) is an indirect indicator of its scientific importance.

Mission adoption brought the necessity to restructure the LISA Consortium from scratch, due to the change of relationship between the Consortium and ESA, the involvement of contractors and large economic structures and the astounding acceleration of the technical and scientific schedule of the mission. Scientific and technological components so far handled by the Consortium have been transferred to other organisms and the same Consortium has been the main pool of experts in the majority of these sectors. An important part of our time dedication has been the direct contribution to the Consortium restructuring, through our participation and leadership roles in the Consortium Constituent Council (CCC), the 60-member committee tasked to reinvent the Consortium for the new needs of LISA. The new Consortium was inaugurated on February 3rd, 2025 and the CCC is finalizing the last details of the IT system, of the by-laws and of the membership management in order to carry out the transition with new elections of the governance committees of the Consortium.

CONDENSED MATTER THEORY

Topological flat bands in sheared bilayer graphene

We have studied the electron systems of graphene bilayers where flat bands are produced by application of shear, instead of the more conventional method of twisting the layers. The relative displacement produced by shear leads to moiré patterns which resemble those of twisted bilayer graphene. As well as in the twisted bilayers, there is also here a sequence of commensurate superlattices displaying very flat bands at low energies. When the electron systems are analyzed in the continuum approximation, one can see that there are in general four flat bands above and below the Fermi level at charge neutrality. We have shown that two of such flat bands are trivial, but the other two are topological, with Chern numbers ±1.

In order to investigate the strongly correlated electron phases in the flat bands, we have applied a microscopic self-consistent Hartree-Fock approach in real space. In cases where the moiré unit cell is not too large (with a few thousand atoms), it is possible to account for all the electron bands of the graphene superlattice, which becomes essential to capture the correct ground state of the system. We have studied the phase diagram for integer filling fractions, showing that there are relevant transitions between states with different symmetry breaking. In this regard, the sheared bilayers show a very tight competition between phases with valley symmetry breaking, intervalley coherence, time-reversal symmetry breaking, etc., which are similar to those arising in twisted bilayer graphene at the magic angle.

Following the parallelism with twisted bilayer graphene, we have also shown that superconducting correlations may develop in the very anisotropic Fermi lines arising for integer filling fraction as a consequence of valley symmetry breaking or time-reversal symmetry breaking. In either case, the mechanism leading to a superconducting instability is that proposed by Kohn and Luttinger long time ago, starting from the bare e-e repulsion to induce upon screening an effective attraction in some of the interaction channels. We have shown that this is also a very plausible phenomenon in the sheared bilayers, which are therefore worth to be experimentally investigated, as an alternative route to the more standard of magic-angle twisted bilayer graphene.

SemiDirac materials

Two-dimensional (2D) semi-Dirac materials exhibit a unique and highly anisotropic dispersion relation, characterized by a linear dependence of energy on momentum along one direction, while displaying a quadratic dispersion along the perpendicular direction. This distinctive feature sets them apart from conventional Dirac materials, where the dispersion is typically linear in all directions, and from standard semiconductors with a purely quadratic behavior. The unusual nature of the energy bands in semi-Dirac systems gives rise to rich and intriguing physical phenomena, particularly in the context of topological properties and the impact of disorder.

We have systematically investigated the topological characteristics of a 2D semi-Dirac Hamiltonian, as well as the effects of disorder on its electronic states. One of the most remarkable features of such systems is the emergence of energy-dependent edge states that are

highly direction-selective. These edge states appear exclusively along a single direction of the nanoribbon, being localized either on the upper or lower edge, depending on their particle or hole character. This spatial separation is a direct consequence of the underlying anisotropic dispersion and the interplay between topology and electronic band structure.

A fundamental aspect of the topological robustness of these edge states is their connection to the Zak phase, a bulk topological invariant obtained from the one-dimensional (1D) reduction of the semi-Dirac Hamiltonian. This reduction is performed by treating one of the momentum components as a parameter, effectively mapping the 2D system onto a family of 1D subsystems. The Zak phase serves as a rigorous criterion for determining the presence or absence of protected boundary states. However, unlike fully topological phases that protect edge states across a broad range of momenta, in semi-Dirac materials, topological protection is generally restricted to a single momentum value, corresponding to a zero-energy mode. This limited yet nontrivial protection distinguishes semi-Dirac systems from conventional topological insulators and makes them an interesting platform for studying unconventional topological phenomena.

Beyond their fundamental interest, these topological features have significant implications for transport properties in mesoscopic and nanoscopic systems. We analyze the response of the edge states to different types and strengths of disorder, assessing their robustness against perturbations such as Anderson disorder, edge roughness, and impurity scattering. Our results shed light on the stability of the topological protection and how it can be potentially leveraged for practical applications. Additionally, we explore the transport consequences of the protected zero-momentum state in a two-terminal setup, where its presence or absence can strongly influence conductance characteristics, leading to potential applications in electronic devices based on semi-Dirac materials.

THEORETICAL NUCLEAR PHYSICS

Elastic electron scattering from deformed and oriented odd-A nuclei

Interference terms between monopole (C0) and quadrupole (C2) Coulomb form factors that contribute to the cross

section of electron scattering from polarized nuclei are studied within the plane wave Born approximation. The nuclear structure is evaluated numerically using a self-consistent deformed Hartree-Fock approximation with Skyrme effective interactions and accounting for pairing correlations. By experimentally exploring the effect of the nuclear response, valuable insights into the sign of the quadrupole deformation can be obtained.

Specifically, we study the changes induced by nuclear deformation in the cross section of electrons scattered by polarized odd-A nuclei, focusing on the effect produced by the interference form factors between C0 and C2 multipoles. To illustrate the potential magnitude of those effects, specific examples with different ground-state spins and parities and with different types of deformation are analyzed. Namely, ^{21}Ne, ^{63}Cu, ^{191}Ir, ^{27}Al, ^{55}Mn, ^{105}Pd, ^{167}Er, ^{177}Hf, ^{181}Ta, and ^{179}Hf.

We find that joint measurements of both the unpolarized and the polarized cross sections allow one to obtain a model-independent signature of the oblate or prolate deformation character of the nucleus. This information is based on the simple observation of whether the cross section is

increased or decreased by polarizing the target nucleus. Although the amplitude of this effect could depend on the specific nuclear model considered, the constraints made in this study do not change the conclusions concerning the feasibility of getting observables that exhibit sensitivity to the C0/C2 interference and, therefore, to the sign of the axial deformation in odd-A nuclei.

The study includes nuclei with different atomic and mass numbers. These numbers play an important role in determining the nuclear size and, specifically, the radius of the nuclear charge. The latter exhibits a direct correlation with the first minimum of the cross section, which undergoes compression with increasing radius. This investigation reveals that for the heavier nuclei under consideration, the quadrupole parameters beta-2 and the density profiles exhibit remarkable similarity, a consequence of the large core involved. This also results in similar outcomes for the C0/C2 interference. In contrast, lighter nuclei exhibit a larger diversity of shapes, leading to a broader range of density profiles and form factors that depend more on the specific characteristics of each individual example considered.

In conclusion, comparison of unpolarized and polarized cross sections becomes a novel tool to discriminate between the oblate and prolate nature of the nuclear shape, providing a deeper understanding of the nuclear deformation.

Confinement of two- and three-body systems by an external field

All along this year we have used the recently developed d-method to investigate two- and three-body systems under the influence of an external confining potential. Within this method, the dimension d is taken as a parameter, which can vary continuously from d=3 to d=2. The effect of the confining potential is then contained in the d-dependent centrifugal barrier. This method is precise and correct in the two limits, i.e., for d=3 and d=2.

In particular, for two-body systems we have investigated wave functions, phase shifts, and elastic cross sections. The two-body interaction is assumed to be short-range. Using a square-well potential, we have derived analytic expressions for scattering lengths and phase shifts. We have also introduced the critical dimension, d_E , which corresponds to the squeezing scenario such that the two-body scattering length is equal to infinity. This is the situation where the Efimov effect can show up after addition of a third particle. We have given explicitly the equivalent continuum wave functions in d and ordinary three-dimensional space, and show that the phase shifts are the same in both methods. Consequently, the d-method can be used to obtain low-energy two-body elastic cross sections in an external field

Following the same scheme, we have also investigated the case of three-body systems, focusing as well on the continuum structures of three short-range interacting particles in a deformed external field. We focus on dimensions close to the critical dimension, $d = d_E$, between 2 and 3, defined by zero two-body energies, where the Efimov effect can occur. We have then designed for this dimension region a schematic, long-distance realistic, square-well based, three-body spherical model, which is used to derive analytic expressions for the wave functions, scattering lengths, phase shifts, and elastic- scattering cross sections. The procedure and the results are universal, valid for all short-range potentials, and for large scattering lengths. We have discussed as well the properties and validity of the derived expressions by means of the simplest system of

three identical bosons. We have gound that the derived expressions are particularly useful for very small energies, where full numerical calculations are often not feasible. For energies where the numerical calculations can be performed, a good agreement with the analytic results is found. These model results may be tested by scattering experiments for three particles in an equivalent external deformed oscillator potential. The cross sections all vanish in the zero-energy limit for d < 3 with definite d-dependent power of energy.

Three-nucleon correlation functions

Scattering experiments with three free nucleons in the ingoing channel are extremely challenging in terrestrial laboratories. Recently, the ALICE Collaboration successfully measured the scattering of three protons indirectly, by using the femtoscopy method in high-energy proton-proton collisions at the Large Hadron Collider. In order to establish a connection with current and future measurements of femtoscopic three-particle correlation functions, we have analyzed the scenarios involving nnn and ppp systems using the hyperspherical adiabatic basis. The correlation function is a convolution of the source function and the corresponding scattering wave function. The finite size of the source allows for the use of the free scattering wave function in most of the adiabatic channels except the lowest ones. The scattering wave function has been computed using two different potential models: (i) a spin-dependent Gaussian potential with parameters fixed to reproduce the scattering length and effective range and (ii) the Argonne v18 nucleon-nucleon interaction. Moreover, in the case of three protons, the Coulomb interaction has been considered in its hypercentral form. The results presented here have to be considered as a first step in the description of three-particle correlation functions using the hyperspherical adiabatic basis, opening the door to the investigation of other systems, such as the ppΛ system. For completeness, the comparison with the measurement by the ALICE Collaboration is shown assuming different values of the source radius.

THEORETICAL SPECTROSCOPY APPLIED TO THE STUDY OF RELEVANT ASTROPHYSICAL AND ATMOSPHERIC NON-RIGID MOLECULES

The research work carried out in 2024 is part of the project H2020-MSCA-RISE-2019-ATMOS-872081 "*Pollutants and greenhouse gases in the atmosphere - understanding gas-gas and gas-solid interactions towards a cleaner atmosphere* (ATMOS)". This project is coordinated from the Institute of Structure of Matter by the Theoretical Chemistry group of the Department of Theoretical Chemistry and Physics in collaboration with the Associated Unit with the University of Huelva.

ATMOS is an H2020 international network funded by the Marie Curie Action for Research Cooperation (RISE). The main objective is the study of scientific problems related to the elements of atmospheric pollution, with emphasis on the training of graduate students in atmospheric sciences. The network is composed of twelve scientific groups and 31 senior scientists. Within this frame, several students and professors from the groups integrated in ATMOS have visited the IEM-CSIC during 2024.

ATMOS focuses on species abundant in the atmosphere, such as oxygenated volatile organic species (OVOC's), organic radicals and greenhouse effects gases. Basically, the scientific work

of the IEM participants refers to the identification and reactivity of organic radicals and OVOCs that present internal rotation. It is assumed that the understanding of processes involving organic compounds in the atmosphere depends on their identification and characterization. Line-by-line quantitative spectroscopic modeling in the infrared (IR) range is necessary for current and future atmospheric observations with large-scale instruments. To understand the effects on the atmosphere, structural and spectroscopic parameters are needed. These studies require a great scientific effort focused on the characterization of known and new species and on the knowledge of chemical evolution, induced photochemical processes and radical cycles. At the IEM, the main tool for molecular characterization are the highly correlated ab initio calculations, as well as the Original Fortran codes for the determination of spectroscopic properties. Part of the work has been maid in collaboration with the laboratories of the Department of Molecular Physics.

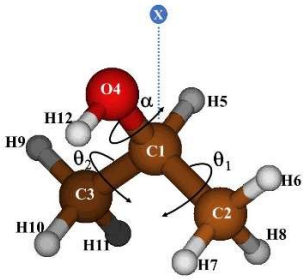


Fig 1

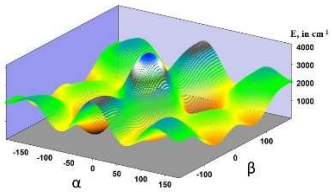


Fig 2

During 2024, spectroscopic and structural properties have been calculated, with an emphasis on the internal rotation of methyl groups, alcohols, ethers and ketones that are classified as Volatile Oxygenated Organic Compounds. These species contribute to an increase in tropospheric O_3. Highly correlated ab initio calculations and original software are employed. Acetone and biacetyl have been studied theoretically and through Raman. The latter in collaboration with the Department of Molecular Physics. Isopropyl alcohol (Fig 1), methoxymethanol (Fig 2), hydroxyacetone, and some peroxides have been theoretically studied (CH3COOOH, CH3OOCH3). Some of these volatile species have been detected in gaseous sources in the interstellar medium. Studies of ketones such as ethyl methyl ketone and a wide range of pentenes, are in preparation. In collaboration with researchers from the Sorbonne and the University of Dunkirk, 2-furfural has been theoretically and experimentally studied.

ATMOS is targeted for spectroscopy, reactivity, and gas-gas and gas-solid interactions involving air pollutants. The modelling of molecular solids for the capture and storage of pollutants is addressed. During 2024, Density Functional Theory has been used to model the capture of organic compounds (nitrophenols) and ammonia in ZIF-8 (Zeolitic imidazolate framework-8).

NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY DEPARTMENT

RESEARCH LINES:

- Systems devoid of long-range order.
- Nano-Photonics
- Plasmonics and Metamaterials

- Spectroscopic techniques applied to the study of materials of interest for the Cultural Heritage
- Design of ecomaterials.
- Toxicological analysis by spectroscopical techniques
- Underwater Heritage
- Experimental Nuclear Physics.
- Nuclear Structure studied at intermediate energies.
- Study of excited states and nuclear resonances.
- Nuclear Structure studied in reactions with stable and exotic nuclei at low, medium and relativistic energies.
- Study of exotic hyper-matter, mesonic nuclei and other bound states in the strangeness section of the nuclear Equation-of-State.
- Particle tracking and vertexing methods for high energy nuclear physics experiments.
- Research on machine and deep learning applied to experimental nuclear spectroscopy.
- Computing simulations using FairRoot and Geant4 for nuclear physics experiments at low, intermediate and relativistic energies.

RESEARCH SUBLINES:

- Physical behavior at nano-scales.
- Microscopic structure and dynamic of disordered condensed matter.
- Localized Plasmon Resonances and Mie reesonances in metal/dielectric nanostructures (nanoantennas).
- Metasurfaces with HRI dielectric materials: BICs.
- Topological Plasmonics.
- Nanofabrication and functionalization of plasmonic nanostructures
- Plasmon-assisted spectroscopy characterization of biomolecules on nanostructures
- Detection of pollutants by SERS
- Analysis of colorants and pigments by normal vibrational spectroscopy and surface-enhanced vibrational spectroscopy
- Theoretical calculations of molecular vibrational spectra
- In situ material characterization studies.
- Sustainable cements.
- Underwater Heritage.
- Experimental studies of light nuclei close to and beyond the driplines.
- Beta decay studies of dripline nuclei.
- Study of the nuclear break up mechanism by multiparticle detection.
- R&D for FAIR (Facility for Antiprotons and Ion Research).
- Study of the structure and dynamics of halo nuclei.
- Direct nuclear reactions.
- Magnetic moment measurements in exotic nuclei using radioactive ion beams.
- Nuclear Instrumentation.
- In-flight spectroscopy of light hypernuclei and exotic hypernuclei.
- Spectroscopy mesonic nuclei.
- R&D in particle tracking and reconstruction in high energy nuclear physics.
- R&D in micro-vertex detectors.
- R&D in data analysis with machine learning, deep learning and foundation models.

- Computing tools in Experimental Nuclear (R3BRoot, FairRoot, WASAFRS).
- Data Analysis tools (ROOT, python, C++).
- Nuclear Physics experiments for GSI-FAIR.

EMPLOYED TECHNIQUES:

- Computational methods.
- Numerical simulation.
- Neutron Scattering.
- Gas adsorption techniques.
- Theoretical and mathematical physics.
- Dispersive Raman Spectroscopy
- Fourier-Transform Raman spectroscopy (FTRaman)
- Portable Raman Spectroscopy
- Fourier-Transform infrared spectroscopy (FTIR)
- Infrared Atenuated Total Reflectance (ATR)
- Fluorescence Spectroscopy
- X-Ray Fluorescence (XRF)
- X-Ray Diffraction (XRD)
- Transmission Electron Microscopy (TEM)
- Scanning Electron Microscopy (SEM)
- Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX)
- Optical Spectroscopy (OM)
- Dark-Field Microscopy (DFM)
- Thermal Analysis (DTA/TG)
- Nuclear Magnetic Resonance (NMR)
- Beta decay studies at ISOL facilities, ISOLDE and REX-ISOLDE@CERN.
- Reaction studies at low energy at the 5MV accelerator CMAM@UAM.
- Reaction studies at relativistic energies, the R3B experiment at GSI-FAIR.
- GEANT4 Monte Carlo simulation of experimental setup and detectors.
- Gamma spectroscopy.
- Analysis of experiments in experimental nuclear physics.
- Electronic and mechanical design of experimental setup.
- Spectroscopy of hypernuclei, and mesonic nuclei in relativistic energy ion collisions at FRS & SuperFRS at GSI-FAIR.
- Track and vertex reconstruction algorithms for data analysis of nuclear collisions.
- Pytorch deep learning architectures for particle tracking, classification and observable estimations.
- Fast timing

RESEARCH ACTIVITY:

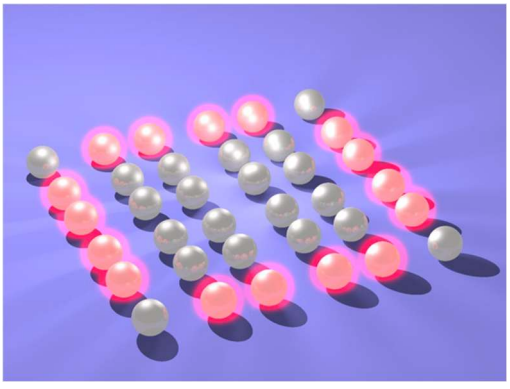
OPTICAL PROPERTIES OF METASURFACES: BOUND STATES IN THE CONTINUUM

We have continued our ongoing work on planar periodic arrays (metasurfaces) of resonant dielectric and plasmonic subwavelength structures with special emphasis on bound states in the continuum (BICs). BICs have attracted much interest lately in photonics for their (theoretically) infinite Q factor. These states are leaky modes that in a certain limit of some parameter space

cannot couple to any radiation channel. In order to trap light in such nearly-zero-linewidth electromagnetic modes, a common approach is to exploit metasurfaces: outgoing specular channels can be suppressed by tuning the parameters of the system in various manners, leading to symmetry-protected BICs. On the basis of a generalized coupled electric/magnetic dipole theory for infinite arrays, a variety of scenarios has been investigated where single/double meta-atoms can be simply described by a combination of various electric and/or magnetic dipoles. Our theoretical work has been developed in the framework of MICIN Project BICPLAN6G. Furthermore, we have carried out:

- A theoretical study of the intrinsic and extrinsic optical chirality associated with the excitation of BICs on several metasurfaces formed by Si nanowire dimers on a quartz substrate, comparing several cases. We analyze both the circular dichroism of the far-field interaction and the helicity of the near-field distribution. We show that the best approach to achieve a chiral response in the far-field based on extrinsic chirality is to exploit the quasi-BICs that appear in the case of tilted nanobar dimers. In contrast, the helicity density is greatly enhanced in the case of shifted dimers, since it exhibits intrinsic chirality, with values 2 orders of magnitude larger than those of circularly polarized plane waves. These so-called superchiral electromagnetic fields concentrated at the nanoscale within the metasurface promise to have attractive implications for phenomena such as strong coupling, photoluminescence emission, or other local light-matter interactions. In collaboration with the groups of A. García-Martín, IMN (CSIC), and J. Gómez Rivas (Surface Photonics, Technical University of Eindhoven).
- A theoretical and experimental study showing chiral directional emission of achiral molecules coupled to metasurfaces formed by asymmetric Si nanodisk dimers. Narrow and dispersive quasi-BICs are supported by the metasurface. The origin of the chiral response of the metasurface and the symmetries of the different optical modes are explained with the guided-mode expansion method and are supported by finite-element numerical simulations. These symmetries are responsible for the large modification of the spectrum, polarization, and direction of emission of the molecules. A large emission enhancement, up to 13 times over a wide angular range, a small divergence, and a degree of circular polarization as high as 0.8 have been reached. Our study yields a thorough understanding of extrinsic chirality in the investigated metasurfaces, and the results are promising for applications to optical devices that take advantage of strong chiral and directional emission. In collaboration with the groups of L. Andreani (University of Pavia), y J. Gómez Rivas (Surface Photonics, Technical University of Eindhoven).

TOPOLOGICAL NANOPHOTONICS



Molecular energy transfer in free space is short-ranged, while coupling to photonic modes can substantially extend the distance over which molecules may interact, with promising applications. In our work in collaboration with the group of William Barnes (University of Exeter), we have illustrated how both weak and strong coupling between molecules and the topological edge states of a 2D Su–Schrieffer–Heeger (SSH) metallic nanoparticle array (see picture) can provide energy transfer enhancement using a coupled-dipole model formalism. However, we note that this concept is not limited to the 2D-SSH model, or to plasmonic systems. This formalism can be used to study coupling in any finite heterogeneous array of coupled dipoles, such as dielectric nanoparticle systems. There is a great research effort currently underway to understand and

control the strong coupling of molecules to photonic modes, particularly in open systems, and in order to engineer long-range molecular energy transfer. We hope that the results we have reported here will contribute to both of these efforts via the theoretical demonstration of topological light-molecule strong coupling, with various potential applications and new research avenues extending beyond the system studied in the current work.

PHYSICAL BEHAVIOR AT NANOSCALES

Within our research regarding the adsorption of molecular hydrogen at cryogenic temperatures, in 2024, we have advanced in the experimental study and theoretical analysis of metastable behaviors in hydrogen adsorption. The appearance of metastability in the physisorption of hydrogen in porous materials, that is, hysteresis in isothermal adsorption/desorption cycles, is not a common phenomenon and in particular has never been observed in the case of carbonaceous materials. The few cases reported in the case of nanostructured carbons turned out to be caused by some type of chemisorption in the metallic impurities present in the material. From the point of view of its practical application for hydrogen storage and management, physisorption is clearly preferable given its low energy barrier to hydrogen release. On the other hand, hysteresis itself is very interesting from a practical point of view since it would allow both lower working pressures for the same load (high pressure only during fuel loading) and better management of heat flows in the system. In 2024 we have focused again on a nanostructured material composed mainly of double-layer carbon nanotube bundles. In 2023 and early 2024, we completed a first scientific article exposing the metastable behavior of hydrogen adsorption and carried out a structural study of the system as well as of the microscopic dynamics of the processes involved using neutron scattering techniques (published in the journal Carbon). Likewise, the analysis of another battery of neutron scattering measurements has been completed, which allowed us to accurately determine the microscopic structure of the adsorbent material as well as the structural deformation it undergoes during hydrogen adsorption/desorption cycles. From these results we have been able to understand the phenomenon at a microscopic level by comparing the measurements with numerical experiments. More specifically, two main mechanisms which give rise to the metastability have been identified, one structural and static and the other dynamical and collective. On one hand, the topology of the interstices where H_2 is adsorbed is such that there are more accessible paths to reach the inside of the beams than to leave them. On the other hand, the expansion of the interstices when a sufficiently high level of H_2 load is reached causes the channels between them to be populated with molecules that “fluidize” the passage between the interstices thus accelerating the filling. During desorption, these passages between the interstices are first emptied, making the channel smaller, which in turn significantly increases the energy barriers for desorption. These studies are being carried out within a collaboration with the Quantum Beams and Sustainable Materials research group led by Prof. Felix Fernández Alonso of the Materials Physics Center in San Sebastian.

In recent years, in collaboration with Prof. Leonor Chico's group at the Universidad Complutense, we have studied the surprising electronic structure of single-layer carbon nanotubes in their collapsed state. In particular, we have shown that such systems represent a particularly useful example of what are known as one-dimensional Moire superlattices, displaying all the characteristics of their two-dimensional counterpart, the celebrated twisted bilayer graphene (TBG). These one-dimensional superlattices involve a superlattice of accumulation of electronic charge because of electrons “frozen” in the nanotubes in the “islands” of the Moire pattern. The adsorption of molecular hydrogen is strongly influenced by charge excesses. In particular, regions with excess positive charge strongly increase the adsorption as shown in the graphite-potassium intercalations. Since charge Moire patterns appear in any type

of collapsed nanotube, we are developing a line of research, in collaboration with the group of Prof. Felix Fernández, on the consequences that these charge lattices can have on hydrogen physisorption in collapsed carbon nanotubes.

DESIGN OF NANOSENSORS FOR POLLUTANT DETECTION

The design of sensors based on nanostructures continued to be one of the main objectives of the experimental work of our group during the year 2023. These sensors require the synthesis of nanostructures with advanced optical properties. The interaction of light of an appropriate wavelength with nanoparticles (NPs) leads to a high enhancement of the local electric field, which is the fundamental principle on which molecular detection by Raman and fluorescence enhanced by nanostructures is based. In recent years we have developed various methods for the synthesis of nanoparticles with interesting applications in spectroscopy and catalysis. Among these nanoparticles are silver nanostars, which present specific morphological properties leading to high intensification of the electromagnetic field. The use of metal nanostars was generalized to the design of all the SERS sensors highly efficient in the detection of numerous substances of environmental and biological interest, as well as pigments with interest to the Cultural Heritage.

Furthermore, the design of nanosensors implies a modification of the physical-chemical properties of the nanoparticles through their functionalization. This functionalization can be achieved by self-assembly of organic molecules on nanostructures, which allows increasing the sensitivity and selectivity of the manufactured nanostructures, resulting in high performance surfaces by combining the physical properties of the metal with the chemical properties of organic molecules self-assembled on them. In this sense, various functionalization strategies based on the use of: a) calixarenes; b) cyclodextrins and c) molecules with a cruciform structure, were carried out.

Likewise, the design of nanosensors involves a modification of the physical-chemical properties of the nanoparticles through their functionalization. This functionalization can be achieved through self-assembly of organic molecules on the nanostructures, which allows increasing the sensitivity and selectivity of the manufactured nanostructures, resulting in high-performance surfaces by combining the physical properties of the metal with the chemical properties of organic molecules self-assembled on them. During the year 2024, the work of functionalizing nanoparticles with assembly macromolecules has continued. This research was developed within the framework of the cooperation that our group maintains with researchers from the PJ Safarik University of Kosice (Slovakia), with the company Saftra Photonics and with the Playa Ancha University in Chile. This company has licensed the patent developed by our group on the detection of glyphosate.

Plasmonic effects have been studied, such as the effect on plasmon hybridization in Ag nanoparticles approximated by externally induced agergation on the SERS signal intensification processes through the interparticle spaces generated. These effects have been proven in the case of the detection of contaminating molecules such as pesticides thiacloprid or carbendazim.

PLASMONIC EFFECTS AND BIOMOLECULE ANALYSIS

The excitation of plasmons in nanostructured metals, mainly silver and gold, can be used in the study of biomolecules. This type of analysis allows a characterization of biomolecules at physiological concentrations, which allows their characterization at concentrations similar to the biological media where they are found.

The plasmonic effects analyzed were the following: a) localized surface plasmon resonance (LSPR); b) interparticle hybridization of plasmons, manifested through nanoparticle aggregation processes; and c) the intensification of the electric field induced fundamentally in the points of maximum field intensification located in interparticle spaces or gaps, and in tips generated in fabricated nanoparticles bearing an anisotropic morphology. This last effect is responsible for the SERS technique.

These effects present a promising application in the field of biophotonics. During 2024, different metal substrates have been used to carry out the study of the adsorption of peptides on nanoparticles. The adsorption of peptides allows the biofunctionalization of surfaces with the aim of designing biological sensors capable of detecting the presence of pathogens.

In 2024, the line of research based on the use of plasmonic nanoparticles for the analysis of complex biological systems has continued. Progress has been made in the study of fungi of different species and the modification of the Raman spectra of these organisms under different conditions. The first results were very promising in the application of the SERS technique in the identification of different types of fungal species. Progress has also been made in the study of polyphenolic molecules existing in plant tissues such as oak galls, substances that will be used in the biofunctionalization of nanoparticles with a view to being used in molecular detection.

Progress has been made in the development of plasmonic sensors for the detection of volatile organic compounds. These sensors involve the development of nanostructures that allow the immobilization and subsequent detection of gaseous molecules at low concentrations. These systems have been applied to the study of volatile molecules emitted by fungi.

In collaboration with the “Eduardo Torroja” Institute of Construction Sciences, the identification of cement additives is being carried out, through the use of different silver nanoparticles. Currently, the structural modification of a methylsulfonate derivative, added as an additive to Portland cement, has been detected. It is the first time that these compounds have been identified in the porous system, with very promising results for studies on the manufacture of sustainable cementitious materials, within the line of collaboration with the IETcc.

SPECTROSCOPIC TECHNIQUES APPLIED TO THE STUDY OF CULTURAL HERITAGE

The investigation of iron gall inks present in ancient manuscripts has continued during 2022 in order to make a discrimination of the different types of inks used in the same document or similar documents, where different inks used by several people can be analyzed. The main objectives of this work were: a) discrimination of iron gall inks in manuscripts written at the same time through the use of Raman, infrared and XRF spectroscopy; b) identification and assignment of the Raman spectral markers of similar writings and their correspondence with the chemical structure of the components; c) evaluation of the effect of aging on the spectral signals

in order to find temporary spectral markers, which can contribute to knowing the approximate age of the writings and the possible subsequent modifications made to the manuscripts over time. This work is being completed with the manufacture of iron gall inks in our laboratory following the recipes found in ancient manuscripts, for later comparison with inks from the historical manuscripts. These studies are being carried out thanks to collaborations with the Ca`Foscari University of Venice, Patrimonio Nacional of Spain and the Academy of Fine Arts of Vienna.

The SERS technique has been applied to the study of metal complexes of tannins, which has demonstrated a strong interaction of the complexes with nanostructured silver surfaces, demonstrating the possible applications in sensitive analyzes of these inks.

During this year, the analysis of the iron and copper complexes with different polyphenolic substances existing in iron gall inks has been deepened, and a theoretical study has been developed based on the analysis of the vibrational modes of different iron complexes of these polyphenols to help in the interpretation of the vibrational spectra of these substances of great importance for Cultural Heritage given their presence in historical manuscripts. The results produced from this research will assist in the analysis of historical manuscripts that is intended to be carried out in the future in the National Library of Madrid and the Library of the Royal Palace of Madrid.

The application of Raman and FTIR spectroscopy in the analysis of materials contained in inks found in Egyptian burial chambers has been another of the tasks that have been developed in our group this year. This type of study implies great difficulty since it has to be carried out in-situ with portable instrumentation capable of being introduced into the burial chamber. Raman spectroscopy has been used in the analysis of the pigments contained in these inks. However, the presence of a high content of organic substances in them involved hard work on the interpretation of the results. Nevertheless, the DRIFT (Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform) technique has allowed the in-situ characterization of these inks, although the most intense signals come in this case from the dispersing and binding materials. However, DRIFT spectra have provided important information on the content of materials such as calcite, gypsum, animal glue, waxes and oils. These materials present different signals at different points that have made it possible to differentiate the intervention of different scribes in the studied panels. These investigations are being carried out in collaboration with researchers from the Institute of Languages and Cultures of the Mediterranean and Near East (CSIC).

During the year 2024, collaboration has been maintained with the PUCMM and UNPHU universities in the Dominican Republic, for the study of the mortars used in the first settlements of Colon. These are the first characterization works of the Columbus mortars in the Dominican Republic and will be the basis for the design of new mortars with biocidal properties, for which there is currently a collaboration project with the UNPHU University of the Dominican Republic.

The study of underwater heritage and the effect that nanoplastics have on its deterioration is a line that is being initiated in the group thanks to the collaboration with the Center for Humanities and Social Sciences of the CSIC. Work has begun studying the deterioration of some ceramic pieces found in 16th century shipwrecks using spectroscopic techniques (Raman and FTIR).

A fruitful collaboration has begun with other research centers in Spain within the application of spectroscopic techniques in Historical Heritage materials, among others, researchers from the Andalusian Heritage Institute, the National Accelerator Center (CNA) of the University of Seville and the Institute of Heritage Sciences of Galicia have been contacted. These collaborations cover research on different fronts: analysis of dyes in textile fibers, analysis of ferrogallic inks in ancient manuscripts, analysis of pigments in paintings, etc.

MRR-ISRS-SPAIN

IP: Teresa Kurtukian Nieto, CIE2301005 MICIN-MRR-Next generation EU

Design of a prototype for the ISRS (ISOLDE Recoil Separator) a novel high-resolution magnetic separator that is to be installed at HIE-ISOLDE, CERN's high-energy radioactive beam facility.ISRS consists of a storage ring that enables fragment mass identification using Fixed Field Alternating Gradient (FFAG) beam dynamics and multi-function superconducting solenoids that deflect the beam without an iron core. The solenoids are of the CCT (Canted Cosine Theta) type, whose winding is inclined with respect to the axis of circulation of the beam and generates the multipole components of the magnetic field necessary to optimize the transport of the beam. The solenoids are installed in cryostats adapted to the circulation of the ion beam. Analysis of the reaction fragments is performed by coupling the storage ring to a multi-harmonic ion packer (buncher) and a focal plane that identifies the energy and charge of the reaction fragments.

Nucleosísntesis estelar en fases avanzadas de combustión y escenarios explosivos: combustión de oxígeno, núcleos cosmogénicos, nucleosíntesis más allá del hierro.

IP: Teresa Kurtukian Nieto y Luis Acosta, MCIU-AEI- PID2023-147569NB-C21

Study of fundamental properties of the atomic nuclei and nuclear reactions that allow obtaining inputs of interest for stellar nucleosynthesis. We study quiescent nucleosynthesis, namely fusion reactions within the core of the stars as well as explosive nucleosynthesis, such as the intermediate neutron-capture process or i-process, or the late stages of massive stars such as Core Collapse Supernova (CCSN) explosions, or Binary Neutron Star Mergers (BNSM), where the rapid neutron capture process or r-process mainly takes place.

In particular we aim to study the oxygen burning 16O+16O fusion reaction case, direct and indirect measurements of cosmogenic nuclei 26Al and 10Be cases, measurement of thermonuclear (p,gamma) reaction rates for the production of 44Ti in type II supernova explosions, as well as the nucleosynthesis of trans-iron elements, including r-process seeds, the 6He case, the first (N~50) and last (N~126) waiting points, and the optical potentials for the astrophysical p-process.

Study of single-particles states in fp-shell nuclei through ^{50}Ca(d, p)^{51}Ca transfer reaction @RIBF-RIKEN (PID2020-118265GB-C41, PhD student Carlos Ferrera González, Andrea Jungclaus)

The second part of the SHARAQ12 experiment was carried out at the RIKEN-RIBF facility (Wako, Japan) in May 2024. This experiment aims to study the single-particle structure of ^{51}Ca

through the ^{50}Ca*(d, p)*^{51}Ca transfer reaction. The main differences with respect to the first part of this experiment carried out in 2022, is that better transmission has been obtained in the target of the secondary beam of 50Ca, and the thickness of the secondary target of CD_2 has been increased from $\rho = 260$ μ/cm^2 to $\rho = 644$ μ/cm^2.

The calibration of the "Strip Readout Parallel Plate Avalanche Counters" (SR-PPACs) tracking detectors placed along the beam line has allowed for the position, speed and composition of the beam to be characterized at different stages. Firstly, the identification of particles in the incident beam has been carried out, determining a ^{50}Ca purity in the BigRIPS separator of around 70%. Subsequently, the position, angle and energy with which the ^{50}Ca reaches the secondary target placed on the OEDO line has been established, this is essential to reconstruct the reaction (d,p). Finally, the mass-charge ratio of the particles that pass through the target has been calculated, which has allowed ^{51}Ca to be identified in the SHARAQ spectrometer. This analysis has been similar to that followed to analyze the 2022 data.

In parallel, the calibration and energy analysis of the TINA2 segmented silicon detector has been carried out, obtaining an excitation spectrum and its corresponding angular distribution, making it possible to identify the first protons coming from the neutron transfer reaction. In this second part of the experiment, a greater number of ^{50}Ca(d, p)^{51}Ca reactions have been identified, using in combination the SHARAQ spectrometer and the TINA2 detector. The results have been presented both at the international conferences ADEIT 2024 (Valencia, Spain) and DREB 2024 (Weisbaden, Germany) through oral presentations, and at the CPAN 2024 conferences held in Madrid through a scientific poster.

EXPERIMENTS NP1912-RIBF193, NP1912-RIBF189: Excited-state lifetimes in ^{131}In, ^{131}Sn, and ^{136}Te measured with the HiCARI gamma-ray spectrometer at RIBF (PID2020-118265GB-C41, PhD student Jaime Acosta, Dr. Andrea Jungclaus)

The HiCARI spectrometer, consisting on a mixed array of HPGe detectors, some of them with tracking capabilities, was hosted at the RIBF@ RIKEN Nishina Center (Japan) during the fall of 2020 and spring of 2021 to perform a series of in-beam gamma-ray spectroscopy experiments involving neutron-rich exotic nuclei in the neighboring area of the doubly-magic nucleus ^{132}Sn. Thanks to the superior energy resolution (compared to the usually employed DALI2+ array made of NaI crystals), direct lifetime measurements could be made via the lineshape analysis of the Doppler corrected gamma-ray spectra.

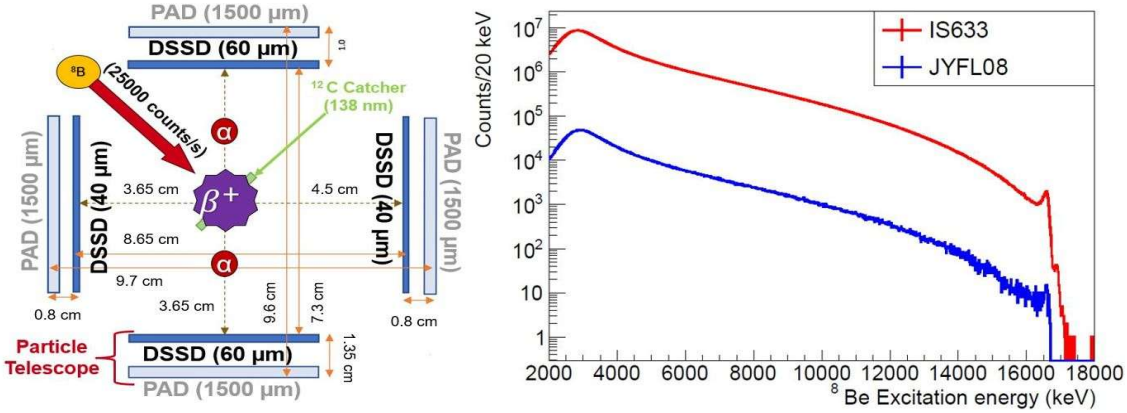
Great effort was put into elaborating a general method of analysis for the different experiments in the campaign, and determining the different sources of systematic uncertainties and errors, by using some clean and high-statistics reference cases found in the rich and varied experimental data. This eventually lead to the writing of an article recently submitted to Physical Review C. This paper, which mainly focus on the characterization of the array and the method of analysis, also features some physics results, like the determination of reduced transition probabilities in ^{136}Te and ^{131}Sn, calculation of spectroscopic factors and the measurement of a new gamma-ray transition in ^{131}In.

IS633: β-decay as a probe of the 2^+ isospin doublet of ^{8}Be (Maria Jose Garcia Borge, Olof Tengblad, Daniel Fernandez Ruiz)

The existence of a 2^+ isospin doublet in ^{8}Be, composed of the 2^+ 16.6 MeV and 16.9 MeV excited states, has been known since the mid-1960s. This doublet represents the only known instance of a complete isospin mixing, where the 16.6 MeV (7Li + p) and 16.9 MeV (7Be + n) levels are an equal mixture of pure isospin (T = 0 and T = 1) states. While reaction experiments have provided hints of this behaviour, direct confirmation remains elusive. Additionally, theoretical calculations (both ab initio and shell model) predict the existence on an intermediate 2^+ resonance between 9 and 11 MeV that has not been observed.

We propose that the β-decay of the 1-proton halo nucleus ^{8}B into ^{8}Be offers a promising method to investigate the isospin composition of this doublet and characterize and additional level. By analysing the Fermi and Gamow-Teller components of the decay, valuable insights can be gained. However, a significant challenge lies in the low feeding of the isospin doublet via β^+ decay, as the dominant decay pathway (88%) proceeds through a broad 2^+ state at 3 MeV.

Conducted at the CERN/ISOLDE facility's IDS, experiment IS633 represents the latest effort our group and the broader MAGISOL collaboration to investigate the 2+ isospin doublet of ^{8}Be via the β-decay of ^{8}B. A 50 keV mass-separated $^8BF_2$ beam was implanted into a 30 mg/cm^2 carbon foil catcher. Following the electron capture (EC) or β^+ decay of ^{8}B, the excited states of ^{8}Be are populated. Since all excited states of ^{8}Be are unbound, they decay into either two α particles or a proton and ^{7}Li, depending on the level fed. A system of four particle telescopes (DSSDs of either 60 µm or 40 µm backed by 1500 µm) was employed to detect the breakup fragments, enabling detailed spectroscopy.



Left: IS633 setup: ^{8}BF2 molecules are implanted in a 31 µg/cm^2 C-foil, ^{8}B decays to ^{8}Be that breaksup into two particles detected through a system of four particle telescopes. Right: α+ α spectrum obtained from IS633 (red) compared with the previous benchmark experiment (JYFL08) done in Jyvaskyla (Finland).

The resulting αα spectrum is dominated by extremely broad resonances and therefore requires more advanced analysis method. Two different analysis methods have been employed an R-Matrix decomposition and an indirect kinematic approach based on the recoil distribution of the α particles, though this method we intend to extract the mixing coefficients of the doublet levels.

In previous year our results were presented in the conferences: European Nuclear Physics Conference (EuNPC 2022); PROCON2023 (June 25-30, 2023); XXXVII Mazurian Lakes Conference on Physics (September 3-9, 2023); and ISOLDE Workshop and Users meeting (November 29 - December 1, 2023). With a paper based on the Mazurian Lakes presentation being included as a publication in Acta Polonica B. This year we have also presented our results

in the International Conference on Nuclear Structure and Dynamics NSD2024 (May 27-31, 2024.).

Studying the structure of ^{11}Li through transfer reactions (Olof Tengblad, Angel Perea, Maria Jose Garcia Borge, Daniel Fernandez Ruiz)

The term "halo nucleus" describes nuclei, typically light nuclei near the drip line, that exhibit an unusually large spatial extension, deviating from the standard radius formula $r=roA^{1/3}$. This phenomenon was first empirically observed in scattering experiments measuring the cross-sections of lithium isotopes. In particular, the interaction radius of ^{11}Li was found to drastically exceed expectations, leading to its interpretation as a novel nuclear structure characterized by a compact core surrounded by loosely bound external nucleons. This hypothesis was confirmed a few years later through ^{11}Li break-up experiments. Since then, more halo nuclei have been identified near both proton and neutron drip lines, with ^{11}Li remaining the archetype of neutron halos.

While the ground state of ^{11}Li is well-established, its excitation spectrum remains poorly understood despite multiple experimental attempts. Previous studies primarily relied on promoting ^{11}Li nuclei from their ground state to higher energy levels to probe their excited states. Our group proposes a new approach to tackle this challenge. Instead of the traditional methods, we aim to populate the excited states of ^{11}Li directly using the ^{9}Li(t,p)^{11}Li reaction. This approach leverages the simpler structure of ^{9}Li, bypassing complications associated with the complex structure of ^{11}Li and offers a more direct pathway to investigate its excitation spectrum.

Experiment IS690 was performed by our group in the Scattering Experimental Chamber (SEC) beam line at the ISOLDE-CERN facility between, with the intent to clarify the excited structure of ^{11}Li by directly populating the resonant states through a two-neutron transfer reaction ^{9}Li(t,p)^{11}Li. A ^{9}Li beam post accelerated to 7 MeV/u in the HIE-ISOLDE accelerator impinges on a tritium target (^{3}H absorbed in a 1 μm Ti-foil with a 0.47/1 ratio). The resulting products of the reactions are detected through a system of Silicon based particle detectors. The detector set up is formed by the following elements:

1. Five particle telescopes formed by W1-60 mm DSSDs backed by MSX25-1500 mm Si-PADs, arranged in a pentagon covering angles from 37 to 84.
2. Two Silicon Circular Detectors (CDs), each S3-1000 mm, forming a telescope and covering the forward direction from 6 to 32.
3. An additional CD (S5-300 mm) covering the backward direction from 100 to 145

Analysis of the experimental data is underway, but prelaminar results have already been presented in a conference (XVI CPAN Days).

PRONTO-CM and ASAP-CM

Protontherapy and nuclear techniques for oncology, PRONTO-CM B2017-BMD-3888

Advanced strategies and new approaches for protontherapy, ASAP-CM P2022/BMD-7434

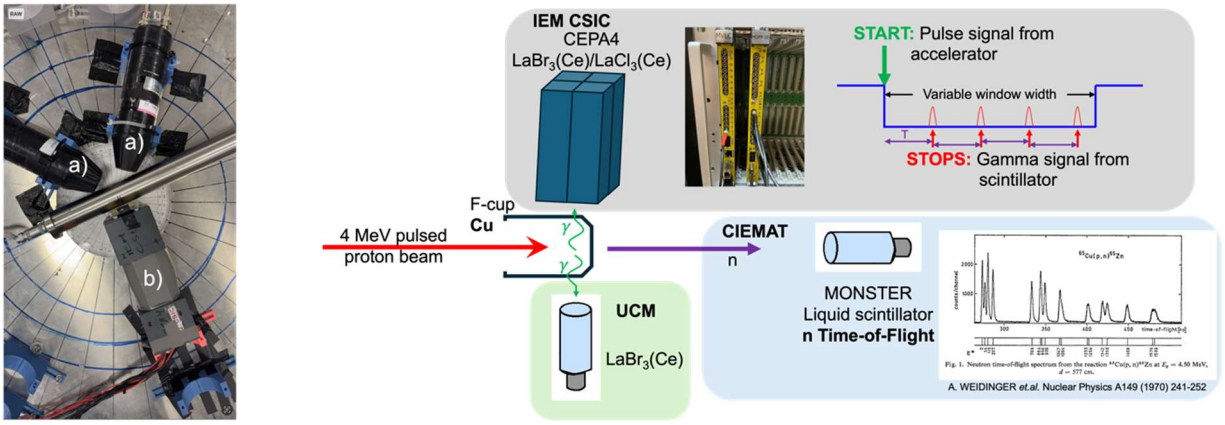
(Olof Tengblad, María José García Borge, Ángel Perea, Amanda Nathali Nerio Aguirre, Juan Francisco González Linares, Carlota Miranda Junco and Pedro Viñals Muñoz)

Characterization of a novel proton-CT scanner for protontherapy

PhD student: Amanda Nathali Nerio Aguirre

As part of the activities of the ASAP-CM project, an analysis was conducted on data obtained during two experimental campaigns carried out in June and December 2022 at the Cyclotron Center of Bronowice in Krakow, Poland. These campaigns have been crucial for the development of the IEM-CSIC proton scanner prototype, designed under the PRONTO-CM project. With this prototype, proton-based radiographs and tomographic images were acquired. This work has been presented at the "Technologies and Applied Research at the Future Valencian Facility" Workshop, at the XVI CPAN Conference, and at the winter session of the PhD student conference at the Complutense University of Madrid of the academic year 2024-2025.

Additionally, work has been done on designing and executing the commissioning tests for the new pulsed beam system at the Centro de Micro-Análisis de Materiales (CMAM, from its name in Spanish), which will allow for the generation of pulsed beams with frequencies ranging from kHz to MHz. The data acquisition system was prepared for pulse characterization tests. In 2024, two acceptance tests were conducted to verify the proton beam pulsing frequencies, while data analysis was performed to determine the temporal structure of the beam.



(a) (b)

(a) Experimental setup for the first acceptance test of the pulsed proton beam, July 2024. (b) Experimental setup for the second acceptance test of the pulsed proton beam, December 2024; a joint test carried out with the CIEMAT and the Nuclear Physics Group of the UCM.

Master's Theses

In 2024, two master's theses were carried out within the framework of the project "Advanced Strategies and New Approaches for Proton Therapy" (ASAP), funded by the Community of Madrid under reference P2022/BMD-7434.

1) **Proton beam range determination at relevant energies for proton therapy by detecting secondary gamma radiation**

Juan Francisco González Linares, Master in Biomedical Physics, UCM

This study consisted of a proof-of-concept test based on the use of the CEPA4 scintillator to verify the range of a proton beam at relevant energies for proton therapy. Range verification is important in proton therapy treatments to minimize damage to tissues adjacent to the tumor. The proof-of-concept test was conducted in December 2022 at the Centrum Cyklotronowe Bronowice (CCB, Krakow, Poland).

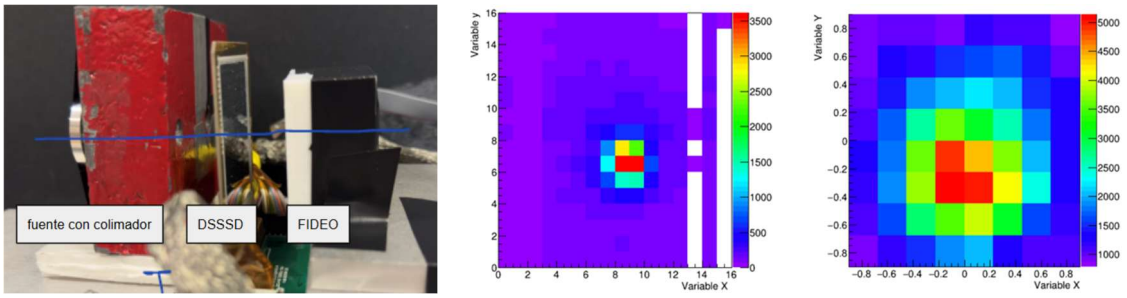
Based on simulations performed by F. Hueso-González et al. in 2020, an experiment was designed to detect in vivo gamma radiation resulting from the interaction of the proton beam with a PMMA block. This novel experimental proof-of-concept has provided results that confirm the sensitivity of the method for determining the range based on count rates corresponding to identified gamma emissions from the 12C de-excitation, a component of PMMA. Through statistical fits, it has been possible to estimate the proton beam range from experimental data with deviations below 2 mm from the expected range.

This work was carried out during a JAE-Intro internship (October 2023 – April 2024) by Juan Francisco González Linares and presented as a master's thesis for the Master's Program in Biomedical Physics at the Universidad Complutense of Madrid in the 2023/24 academic year. Additionally, the results were presented in a talk on the XVI CPAN Days (Madrid, November 2024).

2) **Tests and Optimization of an Experimental System for Range Verification in Proton Therapy**

Carlota Junco Miranda, Inter-University Master's Degree in Nuclear Physics

One of the most critical aspects of proton therapy is the accurate determination of proton range during treatment. To further investigate this topic, our collaboration has been approved for an experiment which will take place in 2025 at the CCB in Krakow. In this study, tests were conducted on the detectors that are part of the PRIDE system (DSSSD and FIDEO) through a series of measurements for their use in the Krakow experiment. Additionally, work was carried out using silicon detectors (DSSSD and PAD) and scintillation detectors (CEPA4 and Pyramid). Experimental measurements in the laboratory with scintillation detectors such as CEPA4, Pyramid, and plastic demonstrated their capability to detect gamma emissions and conversion electrons, efficiently distinguishing between different types of radiation emitted by sources. The spatial response of the FIDEO detector was explored by localizing interactions in various configurations, allowing for the determination of the spatial distribution of particles based on the position of radioactive sources, both individually and in coincidence with a DSSSD, as shown in the figure below.



(a) (b) (c)

(a) Experimental setup used to test the coincidences between detectors DSSSD and FIDEO. (b) Hitmap of the DSSSD in coincidence with the FIDEO detector. (c) Hitmap of the FIDEO detector in coincidence with the DSSSD.

WASA@FRS: DeepHyp & DeepHyp 5º - Deep learning techniques for the study of exotic hypernuclei (CAM-Talento ref: 2019-T1/TIC-13194 & 2023-5A/TIC-28925) (C. Rappold, S. Esrig López)

Within the WASA@FRS collaboration, experimental campaign took placed successfully in the first trimester of 2022, with the completion of the S447 experiment of hypernuclear spectroscopy and the S490 experiment of eta- prime nuclei at the GSI-FAIR facility, Germany. In 2019, the central part of the WASA detector was transported to GSI-FAIR. In the S447 experiment, the WASA central detector system is combined with the fragment separator (FRS) of GSI. Fragments emitted forward from the hypernuclear decay will be measured by the second-half of the FRS (S2-S4) with an excellent momentum resolution. In the meantime, light particles from the decay of the hypernuclei will be measured by the WASA detectors. The DeepHyp project focused first on the preparation of the S447 experiment, and then now on the data analysis of the obtained experimental data. The development of new analysis techniques based on deep learning techniques aims to improve the hypernuclear spectroscopy. The main objective is to tackle the current hypertriton lifetime puzzle and the confirmation of the nnΛ observation. The preparation of the experiment has been a main part for the DeepHyp project plan of 2021. The successful run of the commissioning period happened in January - February 2022, and then data taking of experimental data in March 2022. The finalization of the Geant4 simulations of the realistic experimental apparatus was carried out. More realistic efficiencies of the particle tracking and event reconstruction were estimated. The ion-optics of S2-S4 was optimized for a high fragment acceptance with an expected resolving power of 5200. New deep learning algorithms are in development for the track finding procedure using graph neural networks. We have started the R&D of a new silicon micro vertex detector for precise estimation of the interaction vertex of the nuclear collisions. The data analysis is now on-going with first task directed on the detector calibrations of the full setup, the particle identification has allowed us to observed pions, protons and fragments within the WASA detection system and the FRS S2-S4 high-resolution spectrometer.

Our Spain-Japanese collaboration between CSIC – Spain and RIKEN – Japan is at the forefront of addressing the hypertriton puzzle through the application of deep learning techniques with

WASA-FRS experiment and with a second experiment. We lead as well the search and identification of hypernuclei using deep learning techniques in nuclear emulsions irradiated by kaon beams in the J-PARC E07 experiment. Our focus is currently on measuring the hypertriton binding energy with the world's highest precision.

The nuclear emulsion, a specialized photographic film recording charged particle trajectories, is employed in this experiment for its submicron spatial resolution. An all-area search method has been developed to comprehensively explore the entire volume of the nuclear emulsion plate and detect events of interest. To analyze a large amount of image data efficiently, we introduced an object detection technique using the deep learning model Mask R-CNN to detect the decayed hypertritons. Overcoming the challenge of obtaining sufficient training data, a generative adversarial network model (GAN) was created using Geant4 simulation data and real background images of nuclear emulsions. This facilitated the training of Mask R-CNN, allowing us to find hypertriton decay in the emulsion plate for the first time via AI. The ongoing analysis of a large dataset has already led to the unique identification of events associated with hypertriton decay, with the determination of the binding energy currently in progress. New AI development is now directed on unsupervised learning in order to analyze all the emulsion plate by segmenting and so discriminate the charged particle tracks in the full volume of the emulsion stacks. First results can be seen in the following panels, in which the extracted emulsion image (left panel, a), is then analyzed by AI model that segment the tracks (middle panel, b), and second AI tracking model allows us to cluster and discriminate each track with metadata useful for performing a general search of decay vertices (right panel, c).



Hyp@FRS - Machine learning methods applied to the spectroscopy of Hypernuclei: the puzzle of the hypertriton lifetime and of the nnLambda existence studied at WASA@FRS (AEI ref: PID2020-118009GA-I00) (C. Rappold, S. Esrig Lopez)

The goal of Hyp@FRS is to study precisely light hypernuclei with ion-induced reactions by employing the fragment separator of GSI and FAIR facilities in Darmstadt, Germany, as a high-resolution forward spectrometer. The objectives of Hyp@FRS is the improvement of spectroscopy through machine learning. With the successful run of S447 experiment, the proposed project aims to validate or discard the discoveries that we published from our first experimental campaign HypHI – Phase 0. The development of innovative methods in machine

learning on the hypernuclear spectroscopy experiments is be carried out. Deep learning method was successfully used for the non-linear modeling of ion optics in the magnetic spectrometer, and secondly in the tracking of measured particles in the experimental apparatus. The WASA@FRS experiment campaign took place over the first trimester of 2022. Additionally, the R&D for the electronic readout of the silicon micro vertex detectors and its construction is carried out by this project. The final goal of the project is to tackle the current hypertriton lifetime puzzle and the confirmation of the observation of the nnΛ bound state (a state of two neutrons and a Λ hyperon).

NewHyp - New developments based on machine learning techniques in the search for hypernuclear signals in the 6Li-12C and 12C-12C collisions of the WASA-FRS HypHI experiment (AEI ref: CNS2022-135768) (C. Rappold)

Multimessenger observations in astrophysics have become a key element in constraining the nuclear equation of state and the characteristics of neutron stars. The stellar characteristics of a neutron star are largely affected by baryonic interactions. Constraints from experimental heavy ion observations show remarkable consistency with astrophysical measurements and provide complementary information at intermediate densities. In that respect, the production of exotic hypernuclei in ion-induced reactions is expected to add precise observables at higher densities than those obtained in previous experiments.

Data analysis of 6Li-12C and 12C-12C collisions at 2GeV per nucleon from the WASA@FRS HypHI experiment will be the central objective of the NewHyp project. Within NewHyp, we develop new machine learning techniques to strengthen the hypernuclear signals. The development of innovative methods in machine learning will be carried out on hypernuclear spectroscopy experiments to better separate the background contribution from the hypernuclear signal in the invariant mass reconstruction. The project aims to improve the determination of the interaction point of collisions, increase the background/signal ratio of the hypernuclear observation. This will allow us to have the clearest observation of different hypernuclei of interest: 3ΛH, 4ΛH, nnΛ, and 9ΛB, first proton-rich hypernuclei. NewHyp will demonstrate a new experimental approach paving the way for the observation of proton-rich hypernuclei with nuclear collisions for the first time. The necessary improvement for the future WASA-FRS experiment will be derived from the analysis of the data and the proposed development in electronics. Finally, the NewHyp project aims to create an on-chip machine learning inference processing unit to compress the data stream and augment the WASA-FRS data acquisition system.

AI for hypernuclear event search (Programa Momentum ref: MMT24-IEM-2) (C. Rappold, L. Acosta Sanchez, D. Calonge González)

The main goal of this research is to enhance the study of hypernuclear events in ion-Induced reactions and nuclear emulsions through the application of Artificial Intelligence (AI). The work will center on two key experimental datasets: the WASA-FRS experiment at GSI-FAIR in Germany and the E07 emulsion experiment at JPARC in Japan. Novel deep learning techniques will be developed to analyze nuclear collisions at 2 GeV/u and the E07 emulsion data, thereby improving the detection of hypernuclear signals. Additionally, innovative AI methods for hypernuclear spectroscopy experiments will be employed to enhance the separation of

background contributions from hypernuclear signals during invariant mass reconstruction and emulsion data analysis. The project also seeks to refine the determination of interaction points in collision events. By leveraging segmentation models and graph neural networks, the research aims to improve observation efficiency for various hypernuclei, including 3ΛH, 4ΛH, nnΛ, and 9ΛB, as well as potentially unknown double-strangeness hypernuclei. Clearer observations of these particles are expected to provide new insights into their internal structures and baryon-baryon interactions. The overarching aim is to address unresolved questions regarding the lifetime and binding energy of the hypertriton (3ΛH) and to confirm the existence of the nnΛ bound state. Furthermore, the research seeks to demonstrate that these cutting-edge experimental approaches will pave the way for the first-ever observation of proton-rich hypernuclei.

R&D on digital electronics for Timestamp and Analog-Digital Convertor with FPGA chips (CAM: Programa INVESTIG2023 ref: INV23-IEM-M2-14) (C. Rappold, L. Pardi)

In our research in experimental nuclear physics, we are building a micro-vertex detector system using micro-strip silicon sensors coupled with front- and back-end electronics. The detection system aims to measure the interaction point of the nucleus-nucleus collisions at high energy. The current development realized conjointly with the private company ALIBAVA system and IMB-CNM, CSIC. We are working on improving on digital eletronics of the detector. Firstly it is about the timestamp distributor system on FPGA chips that is currently under development. The used back-end electronics are connected between each other via White Rabbit timestamp system in order to keep them synchronize with a granularity of 1 ns. The second task will be to improve the back-end electronics to use the Febex boards developed by the electronics department of GSI-FAIR research center. The possible improvement focuses on the integration of the detection system to the data acquisition system of GSI-FAIR.

Relevant Resonant States of ^{11}B in the Study of ^{11}Be β^-p^+ Decay: D. Movilla Quintero (PhD student), B. Olaizola (JAEPR23038**)**

There has been significant interest in the structure of light neutron-rich nuclei unbound states, and specifically, states near the light particle drip line. Moreover, it has been suggested that β^--delayed proton emission (β^-p^+) is a process available in some neutron-rich nuclei. Even though this decay seems anti-intuitive, it is allowed for nuclei in which their neutron separation energy is $S_n < 782$ keV. As an example, ^{11}Be, which is a halo nucleus, satisfies this condition due to $S_n = 501.6$ keV. Therefore, the process of interest in this case is $^{11}\text{Be} \rightarrow {}^{10}\text{Be} + p^+ + \beta^-$.

Recent experiments suggest that this process is sequential via narrow resonance in ^{11}B, which may explain why theoretical calculations do not yet agree with what is observed experimentally. Therefore, it is not clear what the actual underlying mechanism of this decay is and which theoretical model describes it. The resonant states near the thresholds could be influenced by the neutron and proton emission lines. The theoretical calculations take the values of energy, spin-parity, width and partial widths of the states near the proton emission threshold. In fact, additional experiments are needed to evaluate the characteristics of the proposed resonant state in ^{11}B and those closer to it. Moreover, analyzing the neutron emission spectrum in ^{11}B is relevant because of its behavior as an open quantum system above the light particle thresholds.

A ^{10}B(d,p) experiment was performed at HELIOS (Argonne) to look in depth at the intermediate states of ^{11}B, especially those close to the light particle emission lines. The alpha, neutron and proton emission channels are currently being analyzed.

Shape coexistence in neutron-rich strontium isotopes (Bruno Olaizola Mampaso, Jesús Sánchez Prieto)

The region around N≈60 with Z≤40 has generated significant interest as it features the most abrupt shape transition known to date in the nuclear chart, when crossing from N=58 to N=60. This transition is closely linked to shape coexistence, a phenomenon where two or more states with different intrinsic shapes coexist within the same nucleus at low excitation energy and within a narrow energy range. Specifically, the abrupt change arises from the inversion of two distinct quantum configurations of nucleons, each corresponding to different nuclear shapes. These shifts are interpreted as quantum phase transitions, indicating a fundamental transformation in nuclear properties. This phase transition emphasizes the importance of nuclear deformations and the variety of shapes present in neutron-rich nuclei such as strontium and zirconium.

This project investigates shape coexistence and the structural evolution of strontium isotopes across N=60. The experimental studies were conducted at the ISOLDE facility at CERN, where the excited states of neutron-rich Sr isotopes were populated via the beta decay of rubidium isotopes. The analysis focuses on studying the coexistence of spherical, prolate, and oblate shapes, as well as the interaction between regular and intruder configurations. Intruder states, which refer to configurations where nucleons follow an orbital occupancy order that does not align with the predictions of the spherical shell model, play a crucial role in understanding the evolution of nuclear structure beyond the magic numbers. These configurations highlight the importance of collective effects and shape deformation of neutron-rich Sr isotopes.

Through the comprehensive study of energy levels, transition probabilities, lifetimes and other properties, this project aims to better understand the origin of shape coexistence and its connection to quantum phase transitions in strontium isotopes, offering new insights into the interaction between single-particle and collective effects in exotic nuclei.

IS622: Cu decay into neutron-rich Zn isotopes: shell structure approaching ^{78}Ni: M. González De Pablo (master student), B. Olaizola (RYC2021-031494-I**)**

This experiment aims to study neutron-rich Zn isotopes near ^{78}Ni to explore the evolution of proton and neutron shell gaps. Neutron-rich Zn isotopes, particularly A=74 to A=79, are pivotal for understanding nuclear structure as they bridge gaps in our knowledge of the nuclear shell model, especially near the neutron-drip line. Recent discoveries challenge established concepts of magic numbers, suggesting the potential for new physics in isotopes far from stability, including phenomena like shape coexistence.

The research focuses on the β decay of Cu isotopes to Zn, aiming to refine the level scheme and measure lifetimes of transitions, thereby shedding light on collectivity and shell evolution near N=50. The experimental setup includes the ISOLDE Decay Station with advanced detection equipment for precise measurements. Key motivations are the structural insights into odd-even Zn isotopes and the resolution of discrepancies in experimental data for even-even Zn isotopes. This research could significantly impact our understanding of nuclear structure and astrophysics, particularly regarding the r-process in nucleosynthesis.

This experiment has already generated a wealth of data that is being analyzed by a number of students. Specifically, M. González de Pablo analyzed the ^{95}Rb decay to ^{95}Sr (parasitic data from the experiment) as part of his Master Thesis conducted at IEM-CSIC. He succesfully defended in September 2024.

MOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT

RESEARCH LINES:

- Molecular physics of astrophysical systems, atmospheres, and plasmas.
- Molecular Fluid Dynamics.
- Laser Spectroscopy.
- Theoretical Molecular Physics.

RESEARCH SUBLINES:

- Astrophysical ices.
- Spectroscopic characterization of cold plasmas of astrophysical relevance.
- Generation, processing and study of interstellar dust analogs.
- Raman Spectroscopy in supersonic gas jets.
- Raman Spectroscopy in gas microfluidics.
- Energy transfer by inelastic molecular collisions.
- Spectroscopic parameters of molecules of relevance in collisional, atmospheric and combustion processes.
- Atomistic modelling and experimental characterisation of clay and ice mineral phases of astrophysical interest.

- Computational modeling of the adsorption of nitrocompounds on metal organic materials MOFs.
- Quantum Control of Alignment and Orientation in Isolated Molecules and Ultracold Dipolar Gases.

EMPLOYED TECHNIQUES:

- IR spectroscopy and mass spectrometry applied to low temperature, low pressure systems.
- Computational methods: Gaussian, SIESTA, CASTEP, CRYSTAL, CP2K, Suite Materials Studio.
- Plasma generation of cold complex plasmas in low pressure RF gas discharges.
- Mass spectrometry of neutrals and ions. Langmuir probes.
- Visible and near UV emission spectroscopy. Polarimetry.
- Linear and non-Linear (Stimulated) Raman Spectroscopy.
- Supersonic gas jets.
- Confined gas jets in millimetric channels
- Raman-Raman double resonance spectroscopy.
- Difference frequency laser spectroscopy

RESEARCH ACTIVITY:

MOLECULAR FLUID DYNAMICS

The Group of Molecular Fluid Dynamics is a pioneer experimental group in the quantitative study of non-equilibrium fluid flows using non-invasive spectroscopic techniques. Supersonic gas jets are extraordinarily fertile media in fluid dynamics, where the study of inelastic intermolecular collisions, the fundamental mechanism of energy transfer between gas molecules, can be afforded. On the other hand, subsonic gas jets make it possible to measure spectral properties of molecules in conditions that are incompatible, or difficult to achieve, in cells. To this end, the laboratory is equipped with two complete instruments for gas- and liquid-jet diagnostics by Raman spectroscopy; these instruments have been developed over the last thirty years, and their performance and flexibility are unique worldwide. During 2024 we have continued studying CO_2 out of equilibrium at high temperatures, along with the application of Raman spectroscopy to gas microfluidics, and with the spectroscopic characterization of atmospheric pollutants, within the framework of ongoing projects.

We have continued studying the rotational and vibrational relaxation of CO_2 supersonic jets using Raman spectroscopy. The relaxation of CO_2 plays a key role in the radiative balance within Earth's atmosphere, as well as those of Venus and Mars, the entry of spacecraft into these planets, or the synthesis of fuels using cold CO_2 plasmas. Despite these, experimental data on the involved elementary processes are scarce. In particular, when analyzing the vibrational populations of the experiments from previous campaigns, a lack of reliable experimental data on the polarizability transition moments of CO_2 between excited vibrational levels was noticed. Therefore, new experiments were carried out to measure the intrinsic intensities (polarizability transition moments) of the Raman vibrational bands. These consisted of: 1) the calibration of the relative spectral sensitivity of the spectrometer, 2) the determination of the differential scattering cross sections of the two fundamental bands of CO_2 with respect to several H_2 lines and N_2 bands that are intensity standards, and 3) the determination of the transition moments of 34 hot bands of CO_2 with respect to those of the two fundamental bands. The transition moments thus obtained allow us to quantify the vibrational populations and the molecular number density in measurements on supersonic gas jets, with greater precision than before. From the time evolution of the rotational and vibrational populations along the jets, we have been able to determine the rate coefficients between internal levels due to inelastic collisions, and from these, other magnitudes of the flow such as relaxation times or bulk viscosity. Two articles have been published on this topic, one on the rate coefficients for rotationally inelastic collisions of CO_2 in the thermal range of 60 to 260 K, and another one on the polarizability transition moments of CO_2 for excited vibrational energy levels. This study constitutes the PhD Thesis of Carlos Alvarez Nicolás, which were submitted in December 2024 to the Facultad de Ciencias Físicas of the Complutense University of Madrid.

In the microfluidics line, we have built an improved version of the cell with a 1x15 mm^2 internal channel, where the same window, at 45º, is used for the excitation and collection of the Raman scattering. This new version, with a stainless-steel separator between the two aluminum walls, has proven to be more leak-tight than the old PEEK one, which has allowed working with rarefied flows below atmospheric pressure. By forcing a thermal gradient between the two aluminum walls, experiments were carried out injecting N_2 or CO_2 at pressures between 100 and

1000 mbar, and flow velocities between 7 and 60 cm/s. Despite the scattered light from reflections on windows and walls, we were able to record the rotational Raman spectra of these species within such small channels, and to retrieve from them the flowing gas temperature, with a spatial resolution of ~100 microns. In the fastest or more rarefied flows, thermal gradients of more than 15 K were observed along the 1 mm cross section.

Also in the microfluidics line, new experiments have been carried out on gas flows confined in glass capillaries with a section of 0.4x0.4 mm^2. With this setup, the intense light scattering from the capillary glass walls obscures the rotational Raman spectrum, so it was necessary to work with the vibrational Raman spectra. We injected N_2 at 640 mbar inlet pressure, reaching the supersonic regime at the capillary exit, against a background pressure of 1.4 mbar. From the spectra of the N_2 vibrational Q branch, the gas density and temperature, as well as the flow and sound velocities, have been mapped along and across the capillary with a submillimeter spatial resolution. In this way, we were able to trace, for the first time, the full evolution of the gas from stagnation at the capillary inlet to supersonic flow at its exit, observing that the sonic surface (i.e., the transition from the subsonic to the supersonic regimes) is formed inside the capillary duct.

Finally, within the framework of the European project ATMOS, we have continued working on the analysis of the Raman spectrum of acetone, CH_3COCH_3, a molecule involved in the atmospheric degradation cycles of several volatile organic compounds (VOCs). This is a collaboration with the department of Theoretical Chemistry and Physics of the IEM (M. L. Senent) and the Université Mohamed V of Rabat (S. Dalbouha).

MOLECULAR PHYSICS OF ASTROPHYSICAL SYSTEMS AND PLASMAS

Astrophysical ices

Since 2022 we have been actively participating in the Ice-Age Early Release Program working group “Tracing the building blocks of life with the James Webb Space Telescope”, particularly in the “laboratory astrophysics” section. Our contribution is not only to provide new experimental data but to help interpret the observations using existing experimental information. Ice-Age observations of the dense Chameleon cloud have allowed us to obtain information on the size of the ice/dust grains present in these clouds. To this end, the spectral profile of the observation has been simulated taking into account dispersion plus absorption effects, using the appropriate optical constants of ice and dust analogues. It has been confirmed that the grains reach micrometric sizes, larger than previously assumed, which implies innumerable changes in the interpretation of local microphysics. On the other hand, the unprecedented sensitivity provided by the JWST telescope has made it possible to observe for the first time in astrophysical ices the bands called “OH dangling bonds” that report the presence of OH-bonds in water molecules that are not forming H-bonds with other waters in the amorphous ice network. These two works have given rise to two publications in the prestigious journal Nature Astronomy.

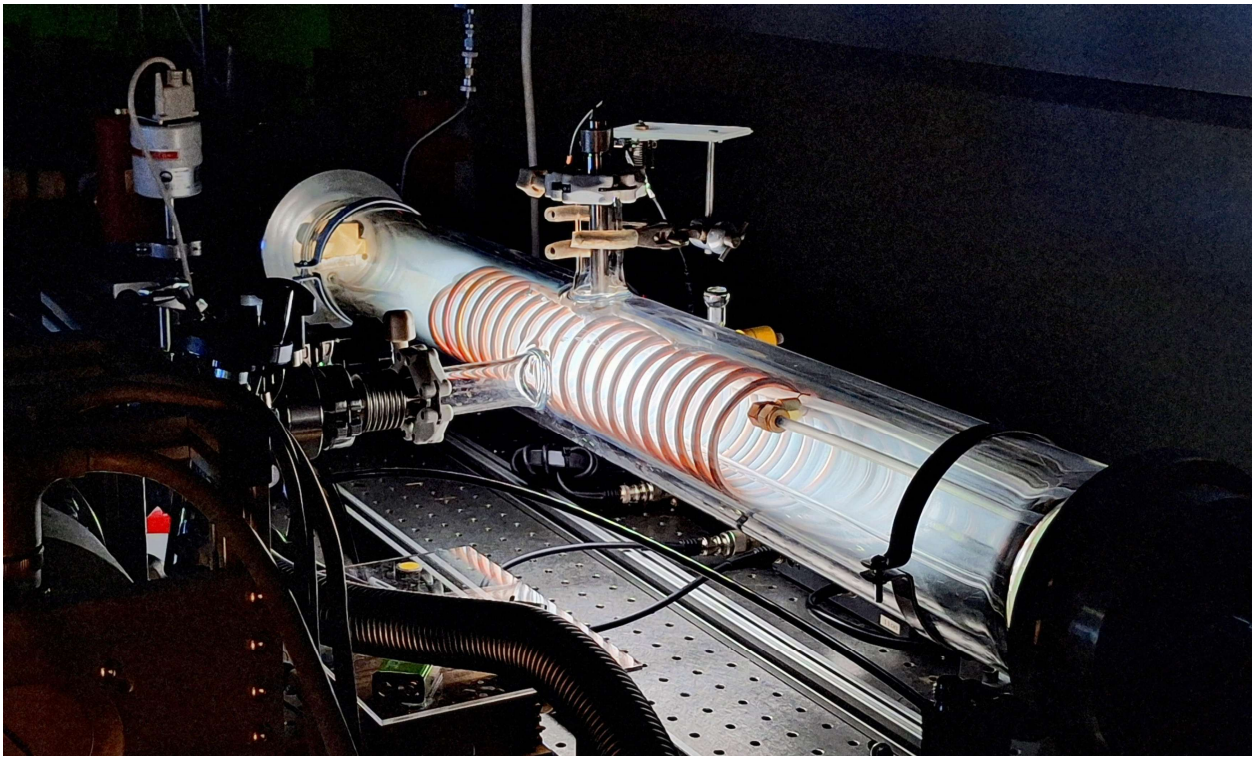
The analysis of the spectra obtained with the JWST of ice in the dense cloud Chameleon I has highlighted the need to obtain infrared optical constants and infrared absorption band strengths

of ices form by H2O, CO2, and CO. for that help to the correct interpretation of the observations. IR absorption band strengths reported in the literature for these three species, which are the most abundant in interstellar ices, have a dispersion greater than 30%. Furthermore, there are few data for ternary ice mixture. We have undertaken a systematic study of ice of pure species and mixtures, all of them grown by backfilling deposition, which it is know gives rise to porous and homogeneous ice layers. The ice has been generated on KBr or Si substrates, and the study has been varied by depositing only on one side or on both sides of the substrate. Our objective is to study how the different ice generation procedures affect the IR band strenghts and IR optical constants obtained. We are in the process of preparing a publication. This work is a collaboration with the Ice-Age project experimental team.

On the other hand, during 2024 we have analyzed the experiments carried out in November 2023 at the European HUN-REN ATOMKI facility, of irradiation of hydroxylamine ices (NH2OH). Destruction cross sections by cosmic rays (simulated by 15 keV electrons) have been obtained that reveal that this molecule is destroyed under ionizing radiation faster than other astrophysical relevant species studied in our group such as urea, or methyl isocyanate. Irradiation of the ternary ice mixture NH2O:CO:H2O leads to the formation of simple molecules such as NH3, CO2, OCN- or H2O2, but also ammonium salts and possibly more complex organic molecules such as formamide, formic acid, urea and glucine. The work, which has been carried out in collaboration with the team of scientists from the AQUILA chamber in Atomki, has been submitted for publication in the A&A journal and is under revision.

Infrared spectroscopy of molecular ions of astrophysical relevance.

A new project has been initiated, focusing on the spectroscopy of sulfur-containing molecular ions of astrophysical interest. The initial targets have been the isomers of protonated carbonyl sulfide, $HOCS^+$ and $HSCO^+$. The former has been recently identified in space through observations made with the YEBES40 and IRAM30 radio telescopes, while the latter, despite being thermodynamically more stable, has not yet been detected. Prior knowledge of the spectroscopy of these ions is varied. While $HOCS^+$ had already been characterized in the infrared through its ν_1 vibration, its rotational spectrum has only recently been completed, and only for type *a* transitions. In collaboration with other members of the ILINK+ "SENTINEL" project at the University of Cologne and the MPE in Garching, we have recorded the *b*-type rotational transitions, thereby significantly improving the determination of the rotational constant A_0. In the case of $HSCO^+$, the situation is reversed: while its rotational spectrum is well characterized in the laboratory, there was no information about its infrared spectrum. This year, we have identified the first infrared transitions in the 3400 cm^{-1} region corresponding to a combination band, using "leak-out" spectroscopy in a cryogenic trap at the University of Cologne. The work continues, aiming to record the fundamental band at 2300 cm^{-1}. Additionally, the high-resolution study of the weakly bound complexes $He\text{-}CH^+$ and $He_4\text{-}CH^+$ has continued, which are of fundamental interest due to their value as benchmarks for high-precision ab-initio calculations.



Radiofrequency plasma reactor the spectroscopic study of reactive species.

Generation, Characterization and processing of interstellar dust analogs.

Significant progress has been achieved in diagnosing capacitively coupled Ar/C_2H_2 plasmas, used to deposit interstellar dust analogs. Spatial and temporal distributions of both nanometric grain sizes and their densities have been successfully obtained, and more extensive analyses have provided one of the most thorough diagnostics of these plasmas to date. These results have been published in the journal Plasma Sources Science and Technology. Further investigations during David Vaquero's research stay focused on understanding the influence of gas partial pressure on nanoparticle size and concentrations.

The effect of heteroatoms in hydrocarbon plasmas has also been studied. For instance, the nitrogen concentration in capacitively coupled Ar/C_2H_2 plasmas significantly modifies both the efficiency of dust grain production and the ionic composition of the plasma. Notably, the identified anions and their relative concentrations match those recently detected in the interstellar medium. Complementary optical and electrical techniques, together with mass spectrometry, allow a comprehensive characterization of the plasma. These results were presented in an invited talk at the EPS Conference on Plasma Physics and have been accepted for publication in the journal Plasma Physics and Controlled Fusion.

Sulfur has been successfully incorporated into hydrocarbon thin films produced in inductively coupled plasmas, as shown by infrared and surface analysis techniques. Effective deposition is particularly challenging due to the critical conditions required, driven by multiple polymerization processes. This interstellar dust analog is of great relevance for exploring the interaction between HAC (Hydrogenated Amorphous Carbon) and sulfur, a topic of increasing astrophysical interest. In collaboration with I. Topala (U. Iasi), the samples were irradiated at the 3MV Tandetron accelerator in Romania to replicate the effects of cosmic rays. The results clearly show molecular structural changes in the material, with sulfur being preferentially lost compared to carbon. These results were presented at a workshop organized by the I-LINK SENTINEL project.

Dynamics of elementary chemical reactions.

The first part of the theoretical study on the correlation of angular momenta in the prototypical F+HD reaction has been completed and published. The work, carried out in collaboration with the Department of Physical Chemistry of the Complutense Unit (CSIC Associated Unit), focused on the excited state HD (v=1, j=1) for collision energies in the region of orbiting resonances. The results show that the rotational angular momenta, j', and the orbital angular momenta, L', in the exit channels tend to an antiparallel orientation, and that parity conservation prevents, in some cases, the formation of the j' = 0 state of the HF and HD products.

Atomistic Modeling and Experimental Characterization of Mineral Phases, Astrophysically Relevant Ices, and the Adsorption of Atmospheric Contaminants on Metal-Organic Frameworks.

Computational modeling simulations or quantum mechanical calculations have been performed through theoretical calculations on both workstations and supercomputers, enabling the theoretical characterization of the structures and infrared spectra of indene ice. Within the field of astrophysics, a series of simulations have also been conducted on the phosphine molecule, other phosphorus derivatives, and aminooxazole in astrophysical environments, with related publications currently in preparation.

Additionally, a theoretical study has been carried out on the adsorption properties of atmospheric pollutant molecules that have not been sufficiently investigated in this field, particularly nitro derivatives such as nitrophenol and nitroanthracene, and their interaction with metal-organic frameworks (MOFs). The results of these studies have been published in Molecules and the Journal of Computational Chemistry.

LASER SPECTROSCOPY

The experimental work carried out during 2024 in the Laser Spectroscopy Laboratory has focused exclusively on introducing modifications and improvements and executing repairs to the setup for stimulated Raman spectroscopy (SRS).

Throughout 2023, new solid-state laser sources were incorporated into the setup to replace the obsolete Ar^+ lasers, which were at the end of their operational life. These new sources are much more compact and energy-efficient (<1 kW compared to over 50 kW for an Ar^+ laser) and offer better frequency stability in both the short and long term. However, initial tests revealed that their amplitude (intensity) noise was significantly higher than that of the Ar^+ lasers. This noise appears in the frequency region of ~2 MHz for one of the sources (NKT Photonics injector + Azurlight amplifier) and >100 MHz for the other (RIO injector + Azurlight amplifier). Both types of noise interfere with the detection and acquisition of stimulated Raman signals, as these signals manifest as intensity variations in the laser beam within these frequency ranges. The deterioration of the signal-to-noise ratio (S/N) is significant when using the second laser source and entirely unacceptable in the case of the first.

To eliminate or at least reduce this noise, a differential detection system ("balanced detection") was designed and built. In this system, a fraction of the laser source's emission is taken before passing through the sample. This fraction is directed onto a detector in parallel with the main fraction, which, after passing through the sample, reaches another detector. The photocurrents generated in both detectors are then subtracted. If the laser beam paths in both "arms" of the system and their intensities are similar, this subtraction results in the elimination of amplitude

noise in the electronic signals, as the noise is present in both arms, while the Raman signals, present only in the main arm, remain unchanged.

The implementation of this system required incorporating new elements into the spectrometer, including the use of optical fibers to introduce the necessary delays (given the high noise frequency, an error of less than 1 cm in several meters of beam path was required), optical elements for intensity adjustment, and the construction of differential detectors specifically adapted to the characteristics of our system. The process required multiple iterations, particularly during the detector design phase, and after several months of work, it was successfully completed, achieving noise levels in detection for both laser sources comparable to those obtained with the old Ar^+ sources.

Additionally, the frequency stabilization system, which had initially been designed for the NKT + Azurlight laser source, was modified to adapt it for its use with the RIO + Azurlight source as well. As a result, both sources, now frequency-stabilized and with reduced amplitude noise, can be used interchangeably in future experiments.

Finally, the downtime required for the previous modifications was used to carry out the repair/refurbishment of a critical component of one of the ring dye lasers —a piezoceramic etalon. These repairs, performed by the manufacturer of the laser, began in April 2024 and are expected to be completed in the coming weeks.

MACROMOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT

RESEARCH LINES:

Multiscale simulation of polymeric materials and biological macromolecules.

Physical properties and nanostructure of polymers, blends and polymer-based nanocomposites.

Polymer Physics: Order and mobility in macromolecular systems.

Application of the synchrotron light to the study of polymers and nanostructured materials.

Biophysics.

Interfaces.

RESEARCH SUBLINES:

Polymer nanocomposites: Structure and physical properties.

Confined structure and dynamics in Soft Matter.

Conformation of biological Soft Matter: Membrane protein solutions.

Microdeformation processes, relation to the nanostructure and optimization of the mechanichal properties.

Early stages of polymer crystallization under shear deformation.

Nanostructure of multilayer materials by means of Ultra Small Angle X-ray scattering.

Structure development and properties of natural polymers and nanocomposites.

Recrystallization processes in semirigid systems.

Pre-crystallization phenomena, crystallization and phase transitions in synthetic and natural polymers.

Study of polimerization reaction by quantum mechanical calculation.

Hierarchical simulation of molecular dynamics.

New polyolefins with controlled architecture: structure and properties.

Molecular dynamics and viscoelastic properties.

Extrusion and elongational processes in polyolefins and blends.

Molecular dynamics and dielectric properties.

Structure-dynamics -relationships in soft and polymeric condensed matter.

Tridimensional electron microscopy: Structural study of biological macromolecules.

Hydrodynamics of proteins and biological macromolecular complexes.

Structure development and properties of natural polymers and nanocomposites.

Organic electronics.

Virucidal Surfaces

EMPLOYED TECHNIQUES:

Scattering and diffraction of X-rays at Wide (WAXS), Small (SAXS), and Ultra-Small (USAXS) Angles and with grazing incidente (GISAXS) including micro- and nano-beam with synchrotron radiation.

Scanning Diferential Calorimetry (DSC).

Incoherent quasielastic neutron scattering (IQNS).

Optical microscopy. Scanning electronic microscopy (SEM).

Raman Spectroscopy.

Neutron Scattering.

Broad band dielectric spectroscopy.

Shear rheometry in continuous dynamic torsion, capillary extrusion and elongational rheometry.

Microrheology and microfluidics.

Dynamic mechanical analysis under flexural and tensile deformations: elastic modulus.

Size exclusion chromatography (SEC) and and tetradetection, and dynamic light scattering (DLS).

Nanoimprint lithography (NIL).

X Photon Correlation Spectroscopy (XPCS).

Scanning transmission X-ray spectro-microscopy (STXM).

Simulations using high performance computing.

Machine learning algorithms.

Atomic force (AFM) microscopies.

Near Edge X-ray Absorption Fine Structure (NEXAFS)

Resonant Soft X-ray Scattering (RSoXS) Theoretical and mathematical physics.

Deposition of polymers by Ink-jet

RESEARCH ACTIVITY:

Group of DYNAMICS AND STRUCTURE OF SOFT AND POLYMER MATTER (SOFTMATPOL)

PROCESSING, STRUCTURE AND PROPERTIES RELATIONSHIP OF SILK FIBROIN

Within the framework of the Ecological Transition, silk fibroin, a protein-based material generally obtained from Bombyx mori cocoons, is considered to play an increasing role in the development of a more sustainable generation of materials for advanced applications. In this context, silk fibroin freestanding films have been prepared from aqueous solutions. The pure silk fibroin films tend to be stiff and brittle in the dry state over time, exhibiting a high tensile strength but low elongation. In order to modify the physical and mechanical properties of silk films toward more flexible systems, silk fibroin aqueous solutions were blended with glycerol and polyethylene glycol. The processing–structure inter-relation of films was investigated by Fourier-transform infrared spectroscopy and wide-angle X-ray scattering (WAXS) using synchrotron light. On the other hand, the structure–properties inter-relation, was investigated by following the emitted fluorescence in situ while simultaneously monitoring changes in the structural features by WAXS, of silk fibroin films under mechanical stretching.

RELATIONSHIP BETWEEN DC CONDUCTIVITY AND INTERFACIAL POLARIZATION IN CONJUGATED POLYMERS

The design of new electronic devices based on semiconductor polymers requires understanding the relationships between the microstructure of these polymers and their electrical properties, specifically their conductivity. Conjugated polymers are usually semi-crystalline and therefore, the films formed from these polymers contain both amorphous regions and areas of high crystallinity, which implies great spatial heterogeneity of conductivity. In this work, through measurements of electrical conductivity in a wide temperature range, the role of the amorphous phase in charge transport at temperatures relevant to the application has been highlighted, while the conductivity in the crystalline phase is the predominant one. at lower temperatures. These differences produce a Maxwell-Wagner-Sillars interfacial polarization (MWS-IP) effect. The correlation between charge transport and interfacial polarization has been studied for several semiconductor polymers and presents a similar dependence for all of them. These results may lead to the development of new polymers for applications in electronic devices with improved performance at operationally relevant temperatures. The work has been carried out in collaboration with Dr. Drakopoulous from Princeton University (USA) and Dr. Kamal Asadi from the University of Bath (UK)

CHARACTERIZATION OF THE MICRO AND NANOSTRUCTURE IN NANOCOMPOSITES OF MODIFIED SBS RUBBER AND OXIDIZED CARBON NANOTUBES.

The homogeneous dispersion of carbon nanotubes (CNTs) in nanocomposites with rubber matrices is a key factor limiting their potential. CNTs tend to agglomerate due to van der Waals interactions. To avoid this formation of agglomerates, in this work the surface of the CNTs has been modified with oxygen and sulfur carrier groups. Using atomic force microscopy (AFM), the morphology, the degree of dispersion of the CNTs in the styrene butadiene rubber (SBR) matrix and the thickness of the interfacial layer have been studied. In this context, the results showed that the thermal oxidation treatment with sulfur allows the preparation of nanocomposite with

better dispersion of the filler, as well as a thicker interface between the filler and the matrix, indicating a stronger interaction between the CNTs and rubber. This effect modifies both the vulcanication processes in these materials as well as their mechanical properties. This work has been carried out in collaboration with the Elastomers Group of the Institute of Polymer Science and Technology of the CSIC.

Group of BIOPHYSICS OF MACROMOLECULAR SYSTEMS

General aspects of the research

We have completed the experimental and simulation activities within the project "Eco-Design of Packaging Polymers for Essential Products through Validated Multiscale Modeling (EcoPOL)", awarded by the MCINN in mid-2020. Additionally, we have continued collaborative activities within the framework of two research projects on Ecological and Digital Transition (TED), one in partnership with Universidad Rey Juan Carlos and IMDEA Energía, and the other with the Estación Experimental del Zaidín (CSIC, Granada) and Universidad de Sevilla. Both projects focus on polymer recycling and the development and characterization of biopolymers derived from natural sources.

Moreover, we have achieved significant results in a research project on treatments for metastatic breast cancer using monoclonal antibodies. This project, supported by a new contract and a donation from the Contigo Contra el Cáncer de Mama Foundation, involves experimental and in silico studies of antibody-drug conjugates (ADCs).

Furthermore, we have secured a Service Agreement with the international company Total Energies. Noteworthy is also the collaborative work carried out with researchers from ICTP, UAH, Instituto de la Grasa (Seville), and UPV/EHU.

Lastly, we have obtained a four-year Momentum contract for a Senior Technician, titled "Design of the Viscoelastic Properties of Artificial Tears by Combining Experiments, High-Performance Computing, and Artificial Intelligence."

The following sections provide a detailed description of the main activities and results obtained across the different projects.

Sustainable polymers for circualr economy

Advancing Sustainable Plastic Recycling in the Automotive Industry

As plastic use in vehicles continues to grow, improving recycling strategies has become essential. Despite low recycling rates for end-of-life vehicle (ELV) plastics in Europe, new EU regulations require that 25% of plastics in new cars come from recycled sources, pushing the industry toward innovative recovery methods.

In collaboration with researchers from Universidad Rey Juan Carlos (URJC), this study examines post-consumer bumpers—one of the most recoverable ELV components—by analyzing their structural and mechanical properties to determine their suitability for recycling. Since long-term exposure to heat and oxidation can degrade these materials, we explore a practical solution: blending recycled polypropylene (PP) from various bumpers with virgin resin. This approach, which replaces up to 50% of virgin material without additional additives, helps maintain material integrity and performance. To assess long-term durability, we test these blends through repeated extrusion cycles and accelerated weathering. Our results demonstrate that

recycled PP can effectively replace virgin plastic in automotive components, supporting EU recycling goals and promoting a more circular, sustainable industry.

Synthesis of polymyrcene and polyanethol and application as sustainable additives for poly (lactic acid)

The replacement of fossil-derived plastics with those obtained from bio-based resources, which present suitable performance to be employed as commodity plastics is currently an important field of research, given the urgent need to transition from a fossil-based to a more sustainable economy. In this context, this work is focused on the application of a catalytic system based on silsesquioxane-cyclopentadienyl titanium complexes for the preparation of bio-based polymers, which can be used as additives to improve the poor material properties of a biodegradable polymer such as poly(lactic acid) (PLA). These titanium complexes, when activated with methylaluminoxane or with triflate salts, are shown to be capable of the polymerization of two bio-based monomers: myrcene and anethole. It is notable that polymerizations with these two distinct monomers take place through different mechanisms. The resulting polymyrcene (PMy) and polyanethol (PAN) have been applied as modifiers for PLA. Binary blends of PMy and PLA exhibited a considerable decrease in Tg and the promotion of PLA crystallization for a PMy content below 15 wt%. The mechanical properties of the PLA/PMy blends also displayed plasticization, with a decrease in the elastic modulus and enhanced plasticity, which resulted in less fragile systems compared to pure PLA. Morphological analysis has indicated a partially miscible, phase-separated system with micron-sized domains. In contrast, PAN completely inhibited PLA crystallization and the PLA/PAN blends were immiscible, but well-dispersed, a phase-separated system was obtained in solvent-casting film preparation with very small PAN domains. The blends showed higher tensile modulus than pure PLA and an absence of plastic behaviour, resulting in more fragile systems upon the addition of PAN to PLA. This work has been done in collaboration with the UAH.

Enhancing Biodegradable PLA with Long-Chain Branching

In collaboration with IEM-CSIC, UPV/EHU, and POLYMAT, this study investigates the effect of long-chain branching (LCB) in biobased, biodegradable polylactide (PLA) by adding varying amounts of a chain extender. Rheological and calorimetric analyses reveal how LCB influences melt strength and crystallization. Modeling identified different branched structures, showing significant variations in viscoelastic behavior. While LCB increases nucleation density and crystallinity, it slows crystal growth due to reduced chain diffusion. However, overall crystallization is enhanced, as nucleation dominates over growth. The introduction of LCB improves PLA’s mechanical and processing properties, making it a promising approach for enhancing sustainable polymers.

Biophyscis of macromolecular systems



Binding Activity of Trastuzumab Biosimilars Towards HER2

Trastuzumab and pertuzumab are monoclonal antibodies used in targeted therapy for HER2-positive cancers. Understanding how biosimilar versions of trastuzumab interact with HER2 in the presence of pertuzumab is crucial for ensuring their efficacy and

consistency in treatment. This study compares the binding activity of various trastuzumab biosimilars to the original branded trastuzumab when targeting the glycosylated extracellular domain of HER2 in the presence of pertuzumab. Using size exclusion chromatography with tetra-detection, we analyzed molecular weight, concentration, size, and viscosity. Results showed that all trastuzumab molecules, including biosimilars, exhibit similar binding behavior regardless of the order in which trastuzumab and pertuzumab are added. Additionally, when HER2 is introduced to a pre-mixed solution of trastuzumab and pertuzumab, higher-order HER2 complexes form at significantly increased concentrations compared to sequential addition. This suggests a synergistic effect between the antibodies, which may enhance therapeutic efficacy. These findings provide valuable insights for optimizing HER2-targeted treatments and ensuring biosimilar reliability in clinical applications.

Breaking into tears with microrheology

This study conducts research on the viscoelastic properties of biological fluids, including both hyaluronic acid-containing lubricating eye drops and human tears, by means of passive microrheology and this year, we have incorporated both microfluidics and artificial intelligence techniques. By tracking the Brownian motion of tracer particles of various sizes in the fluids, we were able to probe their viscoelastic properties. The results showed that the viscoelastic properties of artificial tears, such as Newtonian viscosity and relaxation time, scale to the concentration and macromolecular size of hyaluronic acid, resembling unentangled semidiluted solutions. Moreover, human tears were found to have a viscosity that is 50% greater than that of pure water, comparable to artificial tears containing 0.1% hyaluronic acid, but with a relaxation time one order of magnitude longer than ophthalmic solutions. This behavior was attributed to their intricate composition. The distinctive aspect of this study lies in demonstrating the feasibility of measuring the rheological properties of human tears, a biofluid of great interest, using extremely small sample volumes and microrheology, providing comprehensive information across a wide range of frequencies approaching those corresponding to blinking upon the application of the Cox–Merz rule. These findings are of significant value as they pave the way for future research on small volumes of tears from ophthalmic patients. This work has been done in collaboration with the POLYMAT and Donostia Hospital.

CAPÍTULO 3 – PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
CHAPTER 3 – RESEARCH PROJECTS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

El Tejido Cuántico del Universo Gravitatorio: Loops, Gravedad Cuántica No Local y Ondas Gravitacionales.

Code or Reference: PID2023-149018NB-C41.

Funding Institution: MICIU.

Main Researchers: Guillermo A. Mena Marugán and Gianluca Calcagni.

Duration: December 2024-December 2028.

Objectives: Consequences of the quantum nature of spacetime. Predictions of Loop Quantum Gravity and non-local quantum gravity. Gravitational-wave phenomenology of these theories, with reference to the future interferometers LISA and Einstein Telescope.

AEPP2024 El Tejido Cuántico del Universo Gravitatorio: Loops, Gravedad Cuántica No Local y Ondas Gravitacionales.

Code or Reference: AEPP2024_2203202.

Funding Institution: CSIC.

Main Researchers: Guillermo A. Mena Marugán.

Duration: May 2024-December 2024.

Objectives: Consequences of the quantum nature of spacetime. Predictions of Loop Quantum Gravity and non-local quantum gravity. Gravitational-wave phenomenology of these theories, with reference to the future interferometers LISA and Einstein Telescope.

Pollutants and greenhouse gases in the atmosphere - understanding gas-gas and gas-solid interactions towards a cleaner atmosphere (ATMOS).

Code or Reference: H2020-MSCA-RISE-2019-ATMOS-872081.

Funding Institution: European Commission.

Main Researcher: María Luisa Senent Diez.

Duration: April 2020-April 2024.

Objectives: Collaborative study of pollutants: identification, reactivity and capture. ATMOS

represents a network of 11 institutions.

Caracterizacion espectroscopica de moleculas no-rigidas y detectables en atmósferas, mediante metodos ab initio altamente correlacionados

Code or Reference: PID2020-112887GB-I00.

Funding Institution: MINECO.

Main Researcher: María Luisa Senent Diez.

Duration: September 2021-August 2024.

Objectives: The study of the far infrared spectra of non-rigid molecules of astrophysical and atmospheric interest using highly correlated ab initio methods.

Campos y gravedad: fronteras, física estadística y efectos de memoria

Code or Reference: PID2020-116567GB-C22

Funding Institution: MICINN.

Main Researchers: Eduardo Jesús Sánchez Villaseñor y Jesús Fernando Barbero González

Duration: September 2021-2024

Objectives: Study different aspects of field theories in bounded spacetime regions and problems in statistical physics.

Estudios teóricos sobre estructura y reacciones de núcleos exóticos.

Code or Reference: PID2022-136992NB-I00.

Funding Institution: MICINU

Main Researchers: Eduardo Garrido Bellido.

Duration: September 2023 – September 2027.

Objectives: Beta-decay of exotic nuclei. Lepton scattering from nuclei. Three-body systems, structure and reactions.

Cold Atom Physics Spain 2022

Code or Reference: RED2022-134513-T

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Innovación

Main Researcher: Alesio Celi (Universidad de Barcelona). Responsible IEM-CSIC node: Rafael Alejandro Molina Fernández

Duration: January 2023-December 2024.

Objectives: Network of Spanish groups working on cold atom physics and related areas.

Bound-states-In-the-Continuum-based PLANar photonic devices towards 6G (BICPLAN6G).

Code or Reference: TED2021-131417B-I00.

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Innovación.

Main Researchers: Vincenzo Giannini/José A. Sánchez Gil.

Duration: December 2022-November 2024.

Objectives: In this project, we plan to explore novel Bound-states-In-the-Continuum (BIC)-induced phenomenology emerging in planar arrays of metallic/semiconducting micron-size particles (called metasurfaces) in the THz and GHz domains with the aim of finding disruptive functionalities leading to planar (passive and active) photonic devices in those spectral domains, that could be ultimately used as energy harvesters, wireless power transfer and sensors, with obvious interest in digital transition to the 5G and 6G regimes. These subject matters are nowadays in the forefront of THz Photonics.

Explorando interaccion y fuerzas luz-materia en redes complejas de particulas (LIGHTCOMPAS).

Code or Reference: PID2022-137569NB-C41.

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Innovación.

Main Researchers: Antonio García-Martín/José A. Sánchez Gil.

Coordinator: José A. Sánchez Gil.

Duration: December 2023-December 2026.

Objectives: The aim of the present proposal is the development (based on previously acquired experience and knowledge) of new theories, conceptual models, computational tools, and experimental activities, able to explain and understand the rich phenomenology that emerges from the interaction of light with complex systems exhibiting various optical responses, including the optical forces exerted on them. Complexity may arise from a peculiar arrangement (arrays of nano- and micro-structures), a singular response (non-reciprocal, reactive or thermally activated) or a unique illumination (structured or fluctuating radiation). The response emerging from these interactions will be analyzed in cutting-edge experimental work, not only from the project teams, but also from other international groups. These subject matters are nowadays at the forefront of Physics in general, and Optics/Photonics and Condensed Matter in particular

Metastable & Active Carbon-based Materials for the Storage & Management of Clean Energy.

Code or Reference: TED2021-129457B-I00.

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Innovación.

Main Researchers: Felix Fernandez-Alonso & Pedro B. Coto.

Duration: December 2022-August 2025.

Objectives: Study of processes and materials relevant for energy storage and management

Towards Tunable Nanoporous Assemblies – Emerging Opportunities for Carbon-based Molecular Materials.

Code or Reference: PID2023-146442NB-I00.

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Innovación.

Main Researchers: Felix Fernandez-Alonso).

Duration: Septemberr 2024-August 2027.

*Objective*s: The ambition of the proyect is to generate new scientific knowledge and to develop novel research methodologies ultimately aimed at a detailed understanding at the fundamental level of a new class of tunable nanoporous media of a molecular (carbon-based) nature. Our primary objective is to elucidate the fundamental physicochemical mechanisms underpinning the emergence of extrinsic (and, therefore, tunable) nanoporosity in these material.

Multiplexing Molecular Sensing and Dynamics Based on Plasmonic Effects Generated by Nanostructures.

Code or Reference: PID2020-113900RB-I00

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Innovación

Main Researcher: Santiago Sánchez Cortés.

Duration: September 2021- September 2024.

Objectives: Application of plasmonic effects of nanostructures on the molecular detection of pollutants, biomolecules and materials with interest in the Cultural Heritage. Design and implementation of engineering commercial nanosensors based on plasmonic effects

Ayudas Extraordinarias para la preparación de proyectos 2024. Esta ayuda está relacionada con el proyecto PID2020-113900RB-I00

Code or Reference: 2024AEP077

Funding Institution: Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Main Researcher: Santiago Sánchez Cortés.

Duration: September 2024- Noveember 2024.

Objectives: Implementation of plasmonic nanosensors for molecular detection of pollutants and volatile molecules.

Plasmon-driven nanosensors for the detection of volatile organic molecules in different domains: Biological materials, Microplastics and Cultural Heritage

Code or Reference: PID2023-146214OB-I00

Funding Institution: Agencia Estatal de Investigación, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

Main Researcher: Santiago Sánchez Cortés.

Duration: September 2024- December 2027.

Objectives: Development of sensor chips based on plasmonic effects generated by nanostructures and with special engineered properties to be effectively applied in label-free multiplexing molecular sensing of volatile compounds VOCs (volatile organic compounds) with interest in several domains: a) volatile biomarkers molecules with applications in the food industry; b)

volatile molecules produced by plastics and microplastics; c) volatile compounds regarding the Cultural Heritage.

Estudios experimentales de nucleos exoticos

Code or Reference: PID2022-140162NB-I00

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Inovación

Main Researcher: Olof Tengblad, Bruno Olaizola

Duration: September 2023-August 2026

Objectives: This project aims to generate basic knowledge by studying the fundamental properties of the atomic nuclei. By doing so we will increase the understanding of the nuclear structure, of the interplay between the constituents of the atomic core, and to understand the origin of the elements in the universe.

ASAP-CM Advanced strategies and new approaches for protontherapy

Code or Reference: ASAP-CM P2022/BMD-7434

Funding Institution: Comunidad de Madrid

Main Researcher: O. TENGBLAD y MJG. BORGE

Duration: September 2023 - August 2026

Objectives: The project aims to develop strategies to enhance the effects of radiotherapy by identifying the genes involved in radioresistance and the use of nanoparticles and immunotherapy, as well as investigating the use of very high rate radiation (FLASH) in proton therapy.

EURO-LABS

Code or Reference: EU grant 101057511

Funding Institution: European Union

Main Researcher: MJG. BORGE

Duration: September 2022 – August 2026

Objectives: Fostering the sharing of knowledge and technologies across scientific fields;

To create synergies and collaborations between the RIs of the Nuclear and High Energy communities;

Building up a super community of sub-atomic researchers and the associated technical staff;

Enhancing Europe's potential for successfully facing the upcoming new challenges of the coming decades.

MRR-ISRS-SPAIN

Code or Reference: CIE2301005

Funding Institution: MICIN-MRR-Next generation EU

Main Researcher: T. Kurtukian Nieto

Duration: September 2023 – December 2025

Objectives: Design of a prototype for the ISRS (ISOLDE Recoil Separator) a novel high-resolution magnetic separator that is to be installed at HIE-ISOLDE, CERN's high-energy radioactive beam facility.

MRR-HISTARS

Code or Reference: CIE202301006

Funding Institution: MICIN-MRR-Next generation EU

Main Researcher: O. TENGBLAD

Duration: September 2023 – December 2025

Objectives: Design and construction of a fast-timing array of detectors for use in medium energy reaction experiments at the Miniball facility at HIE-ISOLDE.

Estudios contemporáneos experimentales y teóricos de la estructura nuclear de núcleos exóticos

Code or Reference: PID2020-118265GB-C41

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Inovación

Main Researchers: Andrea Jungclaus, K. Wimmer

Duration: September 2021-August 2024

Objectives: The experimental and theoretical study of the structure of exotic nuclei. The experimental work is mainly employing the technique of gamma-ray spectroscopy while the theoretical studies are based on the beyond mean field approach.

Estudios de coincidencias ultra-rápidas de núcleos exóticos con implicaciones para la investigación multidisciplinar

Code or Reference: RYC2021-031494-I

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Inovación

Main Researcher: Bruno Olaizola

Duration: January 2023-December 2027.

Objectives: The experimental study of the structure of neutron-rich exotic nuclei. We also study exotic decay modes, such as the emission of protons by neutron-rich nuclei or the possibility of quasi-free neutrons decay into dark matter.

Explorando la coexistencia de formas a través de N=60 en Sr-100 usando IDS

Reference: PIE-20235AT018

Funding Insititution: 80% CSIC – 20% IEM

Main Researcher: Bruno Olaizola

Duration: September 2023 – September 2026

Objectives: Study of the unique nuclear phenomenon of shape coexistence in exotic, neutron-rich Sr isotopes. In a series of experiment using fast timing, conversion electron spectroscopy and gamma-gamma angular correlations, the 0^+ character of states in the isotopic chain will be firmly established.

Study of shape coexistance in exotic nuclei

Reference: JAEPR23038

Funding agency: CSIC

Principal Investigator: Bruno Olaizola

Duration: December 2024 – November 2028

*Objectives***:** Study of the unique nuclear phenomenon of shape coexistence in exotic, neutron-rich Fe isotopes. Through a series of experiments using gamma-gamma angular correlations, the 0^+ character of the states in the isotopic chain will be firmly established.

DeepHyp - Deep learning techniques for the study of exotic hypernuclei

*Reference:*2019-T1/TIC-13194

Funding Institution: Comunidad de Madrid

*Main Researcher:*Christophe Rappold

*Duration:*March 2020 - February 2024

*Objectives:*Study of exotic hypernuclei in high energy nuclear collisions. Development of machine and deep learning techniques for improving the experimental spectroscopy of hypernuclei.

Hyp@FRS - Machine learning methods applied to the spectroscopy of Hypernuclei: the puzzle of the hypertriton lifetime and of the nnLambda existence studied at WASA@FRS

*Reference:*PID2020-118009GA-I00

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Inovación - Proyectos I+D+i 2020

Main Researcher: Christophe Rappold

*Duration:*September 2021 – May 2024

*Objectives:*Lifetime of hypertriton. Existence of nnΛ. Development deep learning techniques for tracking in magnetic field & ion-optics. Development of electronic readout for silicon micro vertex detector.

NewHyp - New developments based on machine learning techniques in the search for hypernuclear signals in the 6Li-12C and 12C-12C collisions of WASA-FRS HypHI experiment

Reference: CNS2022-135768

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Inovación - Consolidación Investigadora - 2022

Main Researcher: Christophe Rappold

*Duration:*July 2023 – July 2025

*Objectives:*identify and reconstruct 3ΛH, 4ΛH, nnΛ, 9ΛB in 6Li-12C and 12C-12C collisions. Development deep learning techniques for improving signal-to-background ratio of hypernuclear signals. Development new backend electronics for silicon detectors and improvement of DAQ with data compressor method for flash ADC based on machine learning.

DeepHyp 5º - Deep learning techniques for the study of exotic hypernuclei

*Reference:*2023-5A/TIC-28925

Funding Institution: Comunidad de Madrid

Main Researcher: Christophe Rappold

Duration: February 2024 - February 2025

*Objectives:*Analysis of WASA-FRS and JPARC E07 experiments for study of hypernuclei by means of machine learning algorithm. Improvement of the primary vertex determination with AI. Segmentation model for nuclear emulsion images for search hypertriton and double strangeness hypernuclei. Development of tracking trigger for micro-vertex system.

AI for hypernuclear event search

*Reference:*MMT24-IEM-2

Funding Institution: CSIC - Programa Momentum

Main Researcher: Christophe Rappold, Luis Acosta Sanchez

Duration: December 2024 – December 2028

Objectives: Enhancement the signal-to-background ratio of the hypernuclear signal with AI

implementation of deep learning techniques. Segmentation and track recognition in nuclear emulsion using AI techniques. Reconstruction 3ΛH, 4ΛH, nnΛ, and 9ΛB in 6Li-12C and 12C-12C collisions data. Study the decay of double-strangeness hypernuclei. Development a tracking algorithm based on a transformer model for a foundational model of event topology. Optimal design of a Cherenkov detector array for the WASA central detector.

R&D on digital electronics for Timestamp and Analog-Digital Convertor with FPGA chips

*Reference:*INV23-IEM-M2-14

Funding Institution: Comunidad de Madrid - Programa INVESTIG2023

Main Researcher: Christophe Rappold

Duration: October 2024 – October 2025

Objectives: FPGA programming with high-level language for the integrated readout electronics of silicon sensors that will be connected to the data acquisition system of the GSI-FAIR research center.

Nucleosísntesis estelar en fases avanzadas de combustión y escenarios explosivos: combustión de oxígeno, núcleos cosmogénicos, nucleosíntesis más allá del hierro.

Reference: PID2023-147569NB-C21

Funding Institution: Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

Main Researcher: Luis Acosta y Teresa Kurtukian Nieto.

Duration: September 2024 – August 2027.

Objectives: Study of fundamental properties of the atomic nuclei and nuclear reactions that allow obtaining inputs of interest for stellar nucleosynthesis. In particular we aim to study the oxygen burning 16O+16O fusion reaction case, direct and indirect measurements of cosmogenic nuclei 26Al and 10Be cases, measurement of thermonuclear (p,gamma) reaction rates for the production of 44Ti in type II supernova explosions, as well as the nucleosynthesis of trans-iron elements, including r-process seeds, the 6He case, the first (N~50) and last (N~126) waiting points, and the optical potentials for the astrophysical p-process.

Nucleosísntesis estelar en fases avanzadas de combustión y escenarios explosivos: combustión de oxígeno, núcleos cosmogénicos, nucleosíntesis más allá del hierro.

Reference: PID2023-150056NB-C42

Funding Institution: Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

Main Researcher: Andrea Jungclaus.

Duration: September 2024 – August 2027.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Pollutants and greenhouse gases in the atmosphere - understanding gas-gas and gas-solid interactions towards a cleaner atmosphere (ATMOS)

Code or Reference: H2020-MSCA-RISE-2019-87208

Funding Institution: EUROPEAN COMMISSION. Horizon 2020 Research and Innovation Framework Programme

Main Researcher: Mª Luisa Senent Díez

Duration: April 2020-January 2026

Objectives: Collaborative effort on scientific problems related to atmosphere pollution elements, with an emphasis on training graduated students in atmospheric sciences, in state-of-the art experimental and theoretical studies of gas phase molecular systems, and their interactions with solids.

Diagnóstico Raman avanzado: Microfuídica, colisiones moleculares y procesos fuera del equilibrio

Code or Reference: PID2021-123752NB-I00

Funding Institution: MICINN (Ministerio de Ciencia e Innovación)

Main Researcher: Guzmán Tejeda Gala y José M. Fernández Sánchez

*Duration:*September 2022-August 2025

*Objectives:*Experimental study of inelastic intermolecular collisions involving small molecules that play important roles in atmospheric, astrophysical, and combustion processes, and development of non-intrusiveRaman diagnostics in rarefied gas microflows.

Caracterización estática y dinámica de CO_2 atmosférico: una contribución a mejores modelos climáticos

Code or Reference: TED2021-129619B-I00

Funding Institution: MICINN (Ministerio de Ciencia e Innovación)

Main Researcher: José M. Fernández Sánchez

Duration: December 2022-June 2025

Objectives: Quantitative characterization of vib-rotational Raman spectrum of CO_2 for remote sensing by Raman-LIDAR, and relaxation of hot CO_2 by inelastic collisions with N_2 and O_2.

Ligando gas, hielo y polvo: Astrofísica de laboratorio

Code or Reference: PID2020-113084GB-I00

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Innovación

Main Researchers: María Belén Maté and José Luis Doménech Martínez

Duration: 01/09/2021 – 31/08/2024

Objectives: Astronomical observations with cutting-edge instrumentation, laboratory high level experiments, theoretical work and models provide the tools to unveil our astrochemical origins. Expert teams in all these disciplines join forces in this project to study interstellar carbonaceous materials, ices and molecules, as they are key ingredients in astrochemical and astrophysical processes, as well as precursors of life on Earth.

Sólidos y plasmas en astrofísica de laboratorio

Code or Reference: PID2023-146415NB-I00

Funding Institution: Ministerio de Ciencia, Innovación y UniVersidades

Main Researchers: José Luis Doménech Martínez and María Belén Maté

Duration: 01/09/2024 – 31/12/2027

Objectives: To understand how matter makes the entire journey from small isolated molecules to stars and planetary systems and, eventually, to life. We will use experimental and theoretical methods to help i) understand the observations made from state of the art telescopes, and ii) refine models of chemical evolution in the Universe.

SENTINEL: Sulfur ChEmistry iN The INterstELlar medium

Code or Reference: ILINK23017

Funding Institution: CSIC

Main Researchers: Izaskun Jiménez Serra

Duration: 01/01/2024 – 31/12/2025

Objectives: Investigation of the sulfur depletion problem using an interdisciplinary approach where astronomical observations, cutting-edge instrumentation, laboratory high level experiments, theoretical work and models will be used.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Procesado ecológico de seda regenerada mediante estructuración a escala múltiple: de los fundamentos a las aplicaciones.

Code or Reference: TED2021-129845B-I00

Funding Institution: AEI, MICINN.

Main Researcher: Mari Cruz García Gutiérrez, Aurora Nogales Ruiz

Duration:1/12/2022-30/11/2024 (prórroga hasta 30/09/2025).

Objectives: Investigation of natural silk processing methods aimed at obtaining certain functionalities by means of nanostructuring.

Micro y nanoprocesado avanzado de materiales polímeros: Interrelaciones entre la estructura, las propiedades y las aplicaciones

Code or Reference: PID2022-138635NB-I00

Funding Institution: AEI, MICINN.

Main Researcher: Aurora Nogales Ruiz, Mari Cruz García Gutiérrez

Duration: September 2023-August 2026.

Objectives: Study of the relationships between structure, properties and applications in functional polymers subjected to advanced processing.

Ciencia inclusiva con TeatrIEM: Teatro con-Ciencia.

Code or Reference: FCT-23-19120

Funding Institution: FECYT

Main Researcher: Mari Cruz García Gutiérrez

Duration:1/10/2024-30/09/2025.

Objectives: Dissemination of science through theater and encouragement of STEM careers in adolescents.

Eco-Design of Packaging Commodity Polymers by Validated Multiscale Modelling (EcoPOL)

Funding Institution: MICINN

Main Researchers: Javier Ramos and Juan Francisco Vega

Other Participants: Víctor L. Cruz, Maria T. Expósito and Virginia Souza-Egipsy

Duration: 1st June 2020 – 29th February 2024

Objectives: Understanding of the interactions between the polymeric components usually found in multilayer films used in packaging by means of the multiscale modeling at different length-time scales.

Circularidad de los residuos plásticos de automoción: reciclado mecánico (CIRCLAPAR)

Funding Institution: MICINN

Main Researchers Rafael García y Rafael van Rieken (ESCET/URJC)

Other Participants: Javier Ramos and Juan Francisco Vega

Duration: 1st December 2022 – 30th September 2025

Objectives: Mechanical recycling of polymeric residues from automotive industry.

Nuevos polímeros bacterianos: aprovechando los recursos eco-renovables (BACTOPOL)

Funding Institution: MICINN

Main Researchers: Daniel Pérez Mendoza y Juan Sanjuan Pinilla (EEZ/CSIC)

Other Participants: Javier Ramos and Juan Francisco Vega

Duration: 1st December 2022 – 30th June 2025

Objectives: Obtention and characterization of new biopolymers obtained form sustainable resources.

Experiments and modeling applied to the rheology of polymers with complex molecular topology

Funding Institution: CSIC (PIE202250E035)

Main Researchers: Juan Francisco Vega

Other Participants: Javier Ramos and Andrés Cardil

Duration: 1st march 2022 – 29th February 2026

Objectives: Understanding of the viscoelastic properties of polymers and the relationship with the molecular architecture.

Design of the viscoelastic properties of artificial tears by combining experiments, high-performance computing, and artificial intelligence. Momentum Contract.

Funding Institution: CSIC (OTR12845)

Main Researchers: Javier Ramos and Itxaso Calafel (EHU/POLYMAT)

Other Participants: Carlos García García

Duration: 20th November 2024 – 19th December 2028

Objectives: This project addresses the study of the viscoelactic properties of biopolymeric solutions with main objective of advancing the design of artificial drops through a multidimensional approach.

PROYECTOS CON LA INDUSTRIA / PROJECTS WITH INDUSTRIAL COMPANIES

In-silico evaluation of the by-stander killing effect of antibody drug conjugates in the treatment of breast cancer

Code or Reference: Research Agreement Nº 20230008

Company: Fundación Contigo contra el cáncer de la mujer

Main Researchers: Juan Francisco Vega and Javier Ramos

Other Participants: Víctor L. Cruz

Duration: 27th December 2022 – 30th June 2024

Budget: 73.0 k€

Objectives: In-silico study of antibody-drug conjugates used in breast cancer therapies

Molecular characterization of commercial polyolefins

Code or Reference: Services Agreement Nº 20238570

Company: Total Energies One Tech Belgium

Main Researchers: Juan Francisco Vega

Other Participants: Javier Ramos and Andrés Cardil

Duration: 1st September 2023 – 30th August 2024

Budget: 85.0 k€

Objectives: Rheological characterization and computational analisys of polymeric samples

Misiles moleculares contra el cáncer de mama: complejos conjugado-antígeno y efecto "bystander"

Code or Reference: Research Agreement Nº OTR13083

Company: Fundación Contigo contra el cáncer de la mujer

Main Researchers: Juan Francisco Vega and Javier Ramos

Other Participants: Virginia Souza-Egipsy

Duration: 1st December 2024 – 30th November 2026

Budget: 85.0 k€

Objectives: In-silico and experimental study of antibody-drug conjugates used in HER2+ breast cancer therapies

CAPÍTULO 4 – COOPERACIÓN CIENTÍFICA

CHAPTER 4 – SCIENTIFIC COOPERATION

CONGRESOS Y REUNIONES - *Congresses and Meetings*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

XI Tux Workshop on Quantum Gravity (*Interational non-UE congress***)**, Tux (Austria), 19th-23rd of February 2024.

- *A Black Hole Interior Model in Loop Quantum Cosmology* (Invited contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Andrés Mínguez Sánchez.
- *Axial Scalar Perturbations in Kantowski-Sachs* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Andrés Mínguez Sánchez.
- *Uniqueness of the Fock Quantization of a Massless Scalar Field in Kantowski-Sachs Spacetime and its Hamiltonian* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Álvaro R. Torres Caballeros.
- *Effects of the Inflaton Potential on the Primordial Power Spectrum in Loop Quantum Cosmology* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Jesús Yébana Carrilero.

2024 APS March Meeting *(International non-UE congress)*, Minneapolis (USA), 4th-8th of March 2024.

- *Competition between valley symmetry breaking and intervalley coherence, and their respective routes to Kohn-Luttinger superconductivity in twisted bilayer graphene* (Oral contribution), José González, Tobias Stauber and Miguel Sánchez Sánchez.

LISA Consortium Constituent Council Meeting (*International non-UE congress***)**, Barcelona (Spain), 15th-16th of April 2024.

- *CCC Membership: discussion of key issues and task definition* (Plenary talk), Gianluca Calcagni.

CATCH22+2 (*International non-UE congress***)**, Dublin (Ireland), 1st-5th of May 2024.

- *Imminent test of quantum gravity with gravitational waves* (Oral contribution), Gianluca Calcagni.

LOOPS'24 (*Interational non-UE congress***)**, Fort Lauderdale (FL, USA), 6th-10th of May 2024.

- *Axial Perturbations in Kantowski-Sachs Spacetime* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Andrés Mínguez Sánchez.
- *Quantization of a Black Hole Interior Model in Loop Quantum Cosmology* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Andrés Mínguez Sánchez.
- *Uniqueness of the Fock Quantization of a Massless Scalar Field in Kantowski-Sachs Spacetime and its Hamiltonian* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Álvaro R. Torres Caballeros.

Fifth International Workshop on State of the Art in Nuclear Cluster Physics" (*International non-UE congress***),** Hvar (Croatia), 10-14th of June 2024

- *Three-body calculations of beta-decay applied to ^{11}Li* (Invited talk), E. Garrido.

International Workshop on Disordered Systems 2024 (*Interational non-UE congress***)**, Salamanca (Spain), 17-21th of June 2024.

- *Topology and disorder in Semidirac materials* (Oral contribution), Rafael A. Molina, M. García-Olmos, Y. Baba, M. Amado.
- *General theory for discrete symmetry-breaking equilibrium states in quantum systems* (Oral contribution), Ángel L. Corps.

International Symposium on Molecular Spectroscopy 78st- Champaign-Urbana, Illinois *(International non-UE congress*), 17th-21th of June, 2024.

- *The large amplitude motions of methoxy-methanol (CH3-O-CH2OH). A theoretical study.* D. Missaoui, S. Brahem, F. Najar, O. Yazidi, and M.L. Senent (Oral contribution).
- *Vibrational Spectra of Acetone*, S. Dalbouha, C. Alvarez, G. Tejeda, J.M. Fernández and M.L. Senent (Oral contribution).

FAU^2 Focus Workshop on Quantum Black Holes and the Relation to Asymptotic Infinity (*International non-UE congress***)**, Erlangen (Germany), 25th-27rh of June 2024.

- *Axial Perturbations in Hybrid Loop Quantum Cosmology* (Plenary Talk), Guillermo A. Mena Marugán.

Quantum Gravity and Cosmology 2024 (*International non-UE congress***)**, Shanghai (China), 1st-5th of July 2024.

- *Nonlocal quantum gravity and the early Universe: imminent test with gravitational waves* (Plenary talk), Gianluca Calcagni.

Encuentros Relativistas Españoles y Portugueses 2024. *(International non-UE congress)*, Coimbra (Portugal), 22-26 of July 2024

- *The self dual action: Ashtekar variables without gauge fixing*, (plenary speaker) Jesús Fernando Barbero González.

International Symposium on The 27th International Conference on High Resolution Molecular Spectroscopy, Bologna, Italy, *(International non-UE congress*). September 2-6, 2024

- *Theoretical structural and spectroscopic characterization of peroxyacetic acid (CH3-CO-OOH) and dimethyl peroxide (CH3 −O−O−CH3). Study of the far infrared region.* M.L. Senent, S. Brahem, D. Missauoia, O. Yazidi, and F. Najar (Oral contribution).
- *Theoretical Vibrational Analysis and Raman Spectra of Acetone Isotopologues*, S. Dalbouha, C. Alvarez, G. Tejeda, J.M. Fernández and M.L. Senent (Oral contribution).

Encuentro sobre Fronteras de la Ciencia 2024, Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca, 19th-20th of September, 2024

Aplicación del cálculo ab initio altamente correlacionado al estudio de sistemas moleculares en fase gas. Aplicaciones a la detección de moléculas en nubes extraterrestres y de contaminantes atmosféricos. M.L. Senent (Invited talk).

TOPOMAG 2024 (*National congress***)**, Salamanca (Spain), 3rd-4th of October 2023.

- *Topology and disorder in Semidirac materials* (Invited talk), Rafael A. Molina, M. García-Olmos, Y. Baba, M. Amado.

LISA Spain Meeting 2024 (*National congress***)**, Barcelona (Spain), 15th-16rh of October 2024.

- *Global Quantum Effects on Gravitational Radiation in the Era of the LISA Mission* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán.
- *Perturbative Gauge Invariants in the Hamiltonian Formalism for Spherically Symmetric Backgrounds* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Andrés Mínguez Sánchez.

Mexilazos 2024 (*Interational non-UE congress***)**, Morelia (Mexico) + online, 7th-8rh of November 2024.

- *Perturbations of Spherically Symmetric Spacetimes in Loop Quantum Cosmology* (Plenary Talk), Guillermo A. Mena Marugán.
- *The Gotay-Nester-Hinds approach to the Hamiltonian analysis of constrained systems*, (two hours minicourse, plenary speaker) Jesús Fernando Barbero González.

JUGAR II Workshop *(International non-UE congress)*, Madrid (Spain), 3rd-5th of December 2024.

- *Imminent test of quantum gravity with gravitational waves* (Plenary talk), Gianluca Calcagni.
- *Analytical Studies of Cosmological Perturbations in the Preiflationary Era, Black Hole Interior Model in Loop Quantum Cosmology* (Invited contribution), Almudena Guillén Sánchez and Guillermo A. Mena Marugán.
- *Loop Quantization of Bianchi I Model: Lorentzian Term and Inverse Triad* (Oral contribution), Saúl Guzmán Coca, Guillermo A. Mena Marugán and Hugo Morales Técotl.
- *Choice of Vacuum State and Power Suppression in the Primordial Power Spectrum* (Plenary Talk), Maciej Kowalczyk and Guillermo A. Mena Marugán.
- *Background-Dependent Coupling for Detecting a Massive Scalar Field in de Sitter* (Oral contribution), Jorma Louko, Guillermo A. Mena Marugán and Álvaro R. Torres Caballeros.
- *Perturbative Gauge Invariants in the Schwarzschild Interior for Hybrid Quantization* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Andrés Mínguez Sánchez.
- *Comparing Analytic and Numerical Studies of Tensor Perturbations in LQC* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán, Antonio Vicente-Becerril and Jesús Yébana Carrilero.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADO / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

SuperFRS Experiment collaboration meeting 2024 *(International non-UE congress)* Waldorf, (Germany) 17 - 19th of Juanuary 2024 (Participant) Christophe Rappold, Samuel Escrig.

70th Anniversary CN-Van de Graaff Accelerator Workshop. IFUNAM, Ciudad de México, México, January 2024 (**Ponencia Invitada**). "*The Mexican devices for nuclear studies and applications*", Luis Acosta

XLV Symposium on Nuclear Physics, Cocoyoc, Morelos, México, January 2024 (**Ponencia Invitada**). "*Recent approaches for the study of weakly bound nuclei dynamics at barrier energies*", Luis Acosta

Photooptics 2024 (NanoPlasMeta24), *(International non-UE congress*), Rome (Italy), February 21st-23th of 2024,

Active Tuning of Bound States in the Continuum in Graphene Metasurface (Invited talk), J.L. Pura, J. R. Deop-Ruano, A. Manjavacas, V. Giannini, J. A. Sánchez-Gil.

Technologies and applied research at the future Valencian facility (Valencia, 21-23 February):

A. N. Nerio *Talk* "Tests of the IEM proton-scanner prototype"

NUSTAR Annual Meeting 2024 *(International non-UE congress)* Darmstadt, (Germany) February 26 - March 1 2024 (Participant, online) Christophe Rappold, Andrea Jungclaus.

NuPECC LRP 2024 – Town Meeting, Bucarest, Rumania, April 15-17, 2024

- Reporting on Thematic Working Group 10: Nuclear Science - People and Society (invited) M.J: G. Borge

MAGISOL (international) meeting CERN 11-14 March, O. Tengblad and MJG Borge.

European AI for Fundamental Physics Conference (*Interational non-UE congress***)** Amsterdam (Holland) Apr 30th - May 3, 2024

- *Deep learning techniques in the study of the hypertriton puzzle* (accepted contribution) Christophe Rappold for Emulsion-ML Collaboration & WASA-FRS / SuperFRS Experiment Collaboration

CPAN Network on Instrumentation and Detectors (CNID) (National) Valencia (Spain), 8 – 10 May.

- *Micro-vertex detection system for the WASA-FRS HypHI Experiments* (oral contribution) Christophe Rappold For WASA-FRS and Super-FRS Experiment collaborations
- *(Participant) O. Tengblad*

"**12th International Conference on Direct Reactions with Exotic Beams DREB** (Wiesbaden, Germany) desde 24/05/2024 hasta 28/05/2024.,

- Presentación oral **Carlos Ferrera**
- Participant **Jaime Acosta Lozano**

International Conference on Nuclear Structure and Dynamics NSD2024 (May 27-31, 2024.).

- D. Fernandez Ruiz Poster (Presented by MJG Borge): *Accurate characterization of the beta decay of ^{8}B to ^{8}Be.*

- " Beta-decay as a probe of the isospin doublet of 8Be" (Oral Presentation) M.J.G. Borge, D. Fernandez Ruiz, K. Riisager, O. Tengblad, S. Viñals

7th International Workshop of the Hellenic Institute of Nuclear Physics under the auspices of HNPS on Nuclear Structure, Astrophysics and Reaction Dynamics, Ioannina, Grecia, may 2024. (**Ponencia Invitada**). "*Recent results for the dynamics of halo nuclei at barrier energies*", Luis Acosta

"**V International Conference on Nuclear Structure & Dynamics**" (Valencia, Spain) 27-31 May (Participant) **Andrea Jungclaus**

- Presentación oral. **Carlos Ferrera**

First IANNA-IReNA workshop on new reaction rates for Nuclear Astrophysics, Notre Dame, South Bend, Indiana, E.E.U.U. junio 2024 (**Ponencia Invitada**). "*Present Facilities and instrumentation for nuclear physics in Mexico: More than 70 years of nuclear studies*", Luis Acosta

HaloWeek´24 – (international) Nuclei beyond the driplines, Göteborg, Sweden 10 -14 June,

- (participants) MJ. García Borge, O**.** Tengblad
- Scattering of halo nuclei with heavy targets at energies near the Coulomb Barrier" (invited talk) M.J.G. Borge

Sustainable HEP 2024 — 3rd Edition (*Interational non-UE congress***)** online 10 - 12th of June 2024

- (Participant) Christophe Rappold

First IANNA-IReNA workshop on new reaction rates for Nuclear Astrophysics, Notre Dame, South Bend, Indiana, E.E.U.U. (june 2024). (chair) Luis Acosta

The XIV Latin American Symposium on Nuclear Physics and Applications (LASNPA'2024), Ciudad de México, México, junio 2024 (Plenaria Invitada). "*Approaching interesting nuclear processes from the developing of new instrumentation*", Luis Acosta

The 10th International Conference on Quarks and Nuclear Physics, Barcelona, July, 8-11
"IUPAP and Nuclear Physics" (invited talk), M.J.G. Borge

XXVIII Reunión Nacional de Espectroscopía / XII Congreso Ibérico de Espectroscopía, *(National congress*), Granada (Spain), 25th – 28th June of 2024

- *Raman and Surface-Enhanced Raman scattering analysis of iron gall inks employed in historic manuscripts (Oral Communication)* S. Sanchez-Cortes, M. V. Ojeda, Z. Jurasekova.
- *Surface-enhanced Raman spectroscopy analysis of blue early synthetic dyes on wool* (Poster) M. Rampa, S. Sanchez-Cortes, M. V. Cañamares**.**

AES 2024, *(International non-UE congress*), Rome (Italy), June 25th-28th of 2024, *Tunable Bound States in the Continuum in Magneto-Optic and Graphene Metasurfaces* (Invited talk), J.L. Pura, J. R. Deop-Ruano, D.R. Abujetas, A. Manjavacas, V. Giannini, A. García-Martín, J. A. Sánchez-Gil.

XIV Reunión Nacional de Óptica, *(National congress*), Murcia (Spain), 3th -5th July of 2024:

- *Superchiral light emerging from quasi-Bound States in the Continuum in Si nanorod dimer metasurfaces n* (Contributed talk), B. Castillo López de Larrinzar, J.L. Pura, M. Liang, A. García-Martín, J. Gómez-Rivas, J. A. Sánchez-Gil.
- *Long-range molecular energy transfer mediated by strong coupling to plasmonic topological edge states* (Contributed talk), A. Buendía, V. Giannini, J. A. Sánchez-Gil, W.L. Barnes, M.S. Rider.
- *Brewster quasi-Bound States in the Continuum in Silicon Nanodisk Metasurfacess* (poster), L. Hidalgo-Arteaga, J. A. Sánchez-Gil.

- *Optical sensor based on surface-enhanced Raman scattering coupled to plasmon catalysis applied in the detection of pollutants (Oral Communication)* S. Sanchez-Cortes, F. Celis, F. Fuenzalida, P. Miskovsky, Z. Jurasekova.

The XXXIX RSEF Physics Biennial *(National congress*), Donostia- San SEbatian (Spain), 15th-19th July of 2024. *Hysteretic adsorption of Molecular Hydrogen in Double Wall Carbon Nanotubes bundles* (Contributed talk),C. Cabrillo, R. Fernández-Perera, F.J. Bermejo, M.A. González, F. Fernandez-Alonso, E. Enciso, M.L. Saboungi

Complex Nanophotonics Science Camp 2024, *(International non-UE congress*), Windsor Great Park (UK), 30th July -2nd August of 2024, *Long-range molecular energy transfer mediated by strong coupling to plasmonic topological edge states* (póster)**,** Álvaro Buendía, J.A. Sánchez-Gil, V. Giannini, M.S. Rider.

META 2024, *(International non-UE congress*), Toyama (Japan), 16th-19th July of 2024, *Condensation and Transport of Organic Exciton-Polaritons from Bound States in the Continuum* (Contributed talk), A. M. Berghuis, J. L. Pura, G. W. Castellanos, M. Ramezani, D. R. Abujetas, S. Murai, E. van Heist, J. A. Sánchez-Gil, J. Gómez-Rivas.

EMMI Physics Day 2024 (*Interational non-UE congress**) Darmstadt (Germany) July 16, 2024*

- *(Participant) Christophe Rappold*

The international workshop MNT2024*, 2-5 July, 2024, RIKEN, Wako, Japón.*

- *(Participant) Teresa Kurtukian Nieto. Invited talk. "Prospects of MNT studies at N = 126 for r-process nucleosynthesis with the CERN ISOLDE Superconducting Recoil Separator".*

The 23rd International Conference on Few-Body Problems in Physics (FB23) (*Interational non-UE congress**) Beijing, (China) 22-27th of September, 2024*

- *Status of the lifetime and binding energy measurements for light hypernuclei in the WASA-FRS and E07 emulsion experiments (Invited talk) Christophe Rappold for ML-Emulsion collaboration & WASA-FRS / Super-FRS Experiment collaboration*

Fourth MODE Workshop on Differentiable Programming for Experiment Design *(International non-UE congress), Valencia (Spain). 23 - 25th of September 2024.*

- *"Optimal design for experimental production of exotic hypernuclei". C. Rappold and S. Escrig.*

NUSTAR Week 2024 (*Interational non-UE congress) Darmstadt (Germany) 7 - 9th of October 2024*

- *(Participant) Christophe Rappold*

FRS User Meeting 2024 (*Interational non-UE congress) Darmstadt (Germany) 9 - 11th of October 2024*

- *(Participant) Christophe Rappold*

EURO-LABS 3rd Annual Meeting, Geneva, Switzerland, October 27-30, 2024
Talk as coordinator on WP5: Open, Diverse and Inclusive Science (invited) M.J.G. borge

Super-FRS Experiment Collaboration Meeting 2024 (*Interational non-UE congress) Waldorf, (Germany) 30th of October 1st of November 2024*

- *Status of WASA-FRS S447 hypernuclei studies (Invited talk) Christophe Rappold For HypHI WASA-FRS collaboration*

2024 IEE Photonics Conference, *(International non-UE congress*), Toyama (Japan), 10th-14th November of 2024, *Organic Exciton-Polariton Condensation in Metasurfaces* (Invited talk), J. Gómez-Rivas, A. M. Berghuis, J. L. Pura, J. A. Sánchez-Gil.

R3B-meeting *(international) Paris 12-14 November, (participant) O. Tengblad*

1rst IRN ASTRANUCAP Workshop*, 18-19 Noviembre 2024, IEM-UCM, Madrid.*

- *(Participant) Teresa Kurtukian Nieto, Comité Organizador. https://indico.in2p3.fr/event/33761/*

"SSNET'24 Conference *– Shapes and Symmetries in Nuclei: From Experiment to Theory" (Paris, France) desde 04/11/2024 hasta 08/11/2024. (Invited talk)* ***Andrea Jungclaus***

QCD at FAIR Workshop 2024 (*Interational non-UE congress) Darmstadt (Germany) 11 - 14th of November 2024*

- *WASA @ FRS: from past to current status of nuclear and hadron physics at FRS (Invited talk) Christophe Rappold and Christoph Scheidenberger.*

XVI CPAN Days *(National) Madrid (Spain). 19th November 2024*

- *(Participant) Christophe Rappold*
- *Status of WASA@FRS HypHI Experiment. Study of light hypernuclei. (Oral contribution) Samuel Escrig for WASA-FRS collaboration*
- *Momentum Inference of the Ion-optics of WASA-FRS based on machine learning models (poster) David Calonge González, Christophe Rappold for WASA-FRS collaboration*
- ***A. N. Nerio*** *Talk "Performance tests of the IEM-CSIC proton scanner prototype"*
- *D. Fernandez Ruiz Poster Exploring the excited structure of ^{11}Li through t,p reactions at the upgraded SEC Device. (Best psoter award)*
- *"Proton range determination at relevant energies for proton therapy", talk, J.F. González Linares*
- *Póster,* ***Carlos Ferrera***

ISRS Collaboration Meeting *and Physics Workshop, CERN, Ginebra, Suiza, noviembre 2024. (Ponencia Invitada). "Focal Plane Detector for ISRS" Luis Acosta*

1er Encuentro Chileno de Espectroscopía Raman (National congress), Valparaíso (Chile), 5th December of 2024 *Espectroscopia Raman aplicada al studio de materiales del Patrimonio Cultural (Invited Lecture)* S. Sanchez-Cortes.

***Jornadas Doctorandos de UCM**, (Local) Madrid (Spain), 10-12 of December, 2024.*

- *(Participant) David Calonge Gonzalez*

***The 2nd International African Symposium on Exotic Nuclei IASEN2024**, Cape Town, Sudáfrica, December 2024 (Ponencia Invitada). "Recent achievements regarding the dynamics of weakly bound nuclei at energies around the Coulomb barrier", Luis Acosta*

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

European Conference On Non-Linear Optical Spectroscopy (ECONOS) 2024 (International UE), Vienna (Austria), 21st – 24th April 2024

- Attendant: Raúl Z. Martínez.

Workshop: Radiation-Driven Chemistry in Astrophysics and Planetary Science (International UE), Debrecen, Hungary, 25th – 26th April 2024

- *Hydroxylamine in ices: Cosmic Rays radiolysis yields and induced chemistry. (Conferencia invitada).* Belén Maté, Ramón J. Peláez, Germán Molpeceres, Juan Ortigoso, Richárd Rácz, Zoltán Juhász, Sándor T. S. Kovács, Péter Herczku, Béla Sulik, Duncan V. Mifsud, Sándor Biri, Nigel J. Mason, Robert W. McCullough, Víctor M. Rivilla, and Sergio Ioppolo

77th International Symposium on Molecular Spectroscopy (International non-UE), Urbana-Campaign (USA), 17th – 21st June 2024

- *Vibrational Spectra of Acetone*, (Oral contribution), Samira Dalbouha, Carlos Álvarez, Guzmán Tejeda, José M. Fernández, and Mª Luisa Senent.
- *High-Resolution Vibrational And Rotational Spectroscopy Of* CH_2Cl^+ (Oral Contribution), Weslley G. D. P. Silva, Oskar Asvany, José Luis Doménech, Philipp C Schmid, Mariyam Fatima, Stephan Schlemmer, Sven Thorwirtz.
- *High Resolution Rovibrational Spectroscopy of the* ν_6 *and* $\nu_3+\nu_7$ *Bands of* H_2CCCH^+. (Oral contribution) J.L. Doménech, V. J. Herrero, I. Tanarro, R. Peláez, V. Timón, B. Maté.

TNOS2024. The Trans-Neptunian Solar System (International non-UE), Taipei. Taiwan, 23rd - 28th June 2024.

- *Astrophysical ices: laboratory experiments to help in the interpretation of JWST observations of TNOS.* (conferencia invitada). *Belén Maté, Victor J. Herrero, J. Ortigoso.*

European Astronomical Society Annual Meeting (International UE), Padova, Italy, 1st – 5th July 2024.

- *Hydroxylamine in ices: IR spectra, Cosmic Rays destruction cross sections, and induced chemistry . (Poster)* Belén Maté, Ramón J. Peláez, Germán Molpeceres, Juan Ortigoso, Richárd Rácz, Zoltán Juhász, Sándor T. S. Kovács, Péter Herczku, Béla Sulik, Duncan V. Mifsud, Sándor Biri, Nigel J. Mason, Robert W. McCulloug, Víctor M. Rivilla, and Sergio Ioppolo.
- *Optical constants of binary and ternary H_2O, CO_2 and CO ice mixtures*. Victor J. Herrero, Belén Maté, José Luis Domenech, Ramón J. Peláez, Juan Ortigoso, Isabel Tanarro, Jennifer Noble, EmmanuelDartois and the Ice Age team.

50th EPS Conference on Plasma Physics (International UE), Salamanca. Spain, 8th – 12th July 2024.

- *Drastic effects of N_2 addition in the ion composition of C_2H_2 glow discharges*. (Invited Lecture). Isabel Tanarro, Ramón J. Peláez, Miguel Jiménez-Redondo, Víctor J. Herrero.

Europhysics Conference on the Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases, ESCAMPIG 2024 (International UE), Brno, Czech Republic, 9th – 13th July 2024

- *Cold plasmas and ion traps for laboratory astrochemistry.* (Invited Lecture) M. Jiménez-Redondo, R. J. Peláez, B. Maté, I. Tanarro, V. J. Herrero, P. Dohnal, P. Jusko, P. Caselli

33rd International Symposium on Rarefied Gas Dynamics (International non-UE), Göttingen (Germany), 15th-19th July 2024

- *Raman Thermometry of Confined Gas Micro-Flows*, (Oral contribution), José M. Fernández, Carlos Álvarez, and Guzmán Tejeda.
- *Rotational relaxation kinetics of CO_2 by Raman spectroscopy*, (Oral contribution), Carlos Álvarez, José M. Fernández, and Guzmán Tejeda.
- *Flow field inside a capillary nozzle probed by Raman spectroscopy*, (Poster), Guzmán Tejeda, Carlos Álvarez, and José M. Fernández.

27th International Conference of High Resolution Molecular Spectroscopy (International non-UE), Bologna (Italy), 2nd - 6th September 2024

- *High Temperature Measurements of Polarizability Transition Moments of CO_2*, (Oral contribution), Carlos Álvarez, Guzmán Tejeda, and José M. Fernández.
- *Raman Thermometry of Confined Gas Micro-Flows*, (Oral contribution), Guzmán Tejeda, Slaven Bajic, Carlos Álvarez, and José M. Fernández.
- *The Raman Spectrum of Diacetyl Revisited*, (Poster), Marco de Lucas, Francisco Gámez, Slaven Bajic, Carlos Álvarez, Guzmán Tejeda, and José M. Fernández.
- *Theoretical Vibrational Analysis and Raman Spectra of Acetone Isotopologues*, (Oral contribution), Samira Dalbouha, Carlos Álvarez, Guzmán Tejeda, José M. Fernández, and Mª Luisa Senent.
- *High resolution rotational and rovibrational spectroscopy of H_2CCl^+* (Oral contribution) O. Asvany, W. G. D. P. Silva, M. Fatima, P. C. Schmid, S. Schlemmer, S. Thorwirth, J. L. Doménech
- *High resolution rotational and rovibrational spectroscopy of H_2CCCH^+* (Poster) O. Asvany, W. G. D. P. Silva, D. Gupta, S. Thorwirth, S. Schlemmer, J. L. Doménech

18ª Reunión de la Red Española de Supercomputación (18th RES Users Meeting) (Nacional), Málaga, 17th – 19th September 2024.

- *Ab Initio Supercomputing Study of Hyperhydrates and Hydrates on Europa's Surface via Visible Spectroscopic Analysis of NaCl* (Poster). V.Timón, MA Moreno.

i-LINK+ workshop, **Sulfur Chemistry in the interstellar medium** (International non-UE), Madrid (Spain), 28th - 29th November 2024.

- *Sulfur-Rich Hydrocarbon Films under Cosmic Rays* (Oral contribution) R. J. Peláez, I. Tanarro, B. Maté, V. J. Herrero, I. Topala, I.Mihaila and C. Gerber.
- *High resolution rotational and vibro-rotational spectroscopy of $HOCS^+$ and $HSOC^+$*. José Luis Doménech.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Polymers for a Safe and Sustainable Future *(International non-UE congress)***,** Athens, 28-31 of May 2024

- The processing, structure, and properties relationship of silk fibroin: a sustainable biopolymer. (Oral contribution). MC García-Gutiérrez, I Horcajo, G Santoro, J Sena, TA Ezquerra, E Rebollar, E Solano.

Dust Ice Gas (DIG) Astrochemistry - 2: Icy Dust Workshop *(International non-UE congress)***,** Aarhus (Denmark), 25 of September 2024

- Carbonaceous cosmic dust: formation in C-rich ABG stars and UV-processing in the ISM. (Invited Talk), G. Santoro.

XVII Congreso nacional de materiales CNMAT 2024 (*National congress***),** Málaga, 25-28 of June 2024

- Probing structure development during 3-D printing using "operando" simultaneous Small and Wide Angle X-ray Scattering measurements with synchrotron radiation (Invited talk), TA Ezquerra, A Nogales, MC García-Gutiérrez, E Rebollar, I Sics, Marc Malfois.
- Nanostructuring of silk fibroin thin films by laser irradiation. (Poster), I Horcajo, MC García-Gutiérrez, E Rebollar.
- Nanoestructuración selectiva en mezclas poliméricas mediante irradiación con láseres pulsados. (Oral Contribution) A Nogales, E Rebollar
- Poli(3-hexiltiofeno) como agente degradante para colorantes orgánicos. (Oral Contribution) J Sena-Fernández, E Rebollar, TA. Ezquerra, A Nogales
- On the use of laser processed nano and micro structured templates for 3D Printing Assisted Nano Imprint Lithography of polymers. (Oral Contribution) TA. Ezquerra, P. Martínez-García, E. Rebollar.
- Influencia del sustrato y del espesor en la formación de LIPSS en películas poliméricas delgadas. (Oral Contribution) J. Prada-Rodrigo, R.I. Rodriguez-Beltrán, TA Ezquerra, P. Moreno, E. Rebollar.

XI AUSE Conference and VI ALBA User Meeting *(International non-UE congress)***,** Oviedo, 2-6 of September 2024

- Applications of synchrotron radiation in polymers science: techniques and sample environments. (Keynote talk). MC García-Gutiérrez.
- Structure development during "in-operando" 3-D printing using simultaneous Small and Wide Angle X-ray Scattering measurements. (Oral contribution). TA. Ezquerra, A Nogales, MC García-Gutiérrez, E Rebollar, I Šics, M Malfois.

VI Nano meets Soft *(Regional meeting)***,** Madrid, 13 of December 2024

- Estrategias y sorpresas en la nanoestructuración de seda regenerada mediante láser. (Oral contribution). A Alegre, E Rebollar, T Ezquerra, J Hernández, E Solano, MC García-Gutiérrez.
- Structure and morphology of ultrathin polymer films of PVDF-TrFE prepared by dip coating. (Oral Contribution) A Nogales, E Rebollar.
- Looking for polar phases in 3D printed polymers: "An author's approach" (Oral Contribution) TA Ezquerra, A Nogales1, MC García-Gutiérrez, E Rebollar, O Gálvez.

XII Conference on Broadband Dielectric Spectroscopy and its Applications (BDS2024) *(International Non UE congress)* Lisbon, 1-6 September2024

- Dielectric Spectroscopy on vitrimers based on transesterification reactions (Invited talk) N Ayensa, J Rodriguez-Hernández, H Reinecke, A Sanz, A Nogales.
- Hydrogen bonding during cold crystallization of Poly(alkylene 2,5-furanoate)s. (Invited talk) TA. Ezquerra, O Toledano, O Gálvez, M Sanz, E Rebollar, A Nogales, G Santoro, MC García-Gutiérrez.

PPS 2024. Meeting of the Polymer Processing Society (International Non-Eu Congress) Ferrol 30 September-2 October

- Fluorescence lifetime studies on P3HT nanoparticles (Keynote talk) A Nogales

SPIE High-Power Laser Ablation VIII Meeting (Santa Fe, USA, 26-2-2024)

- Effect of laser induced periodic surface structures on the wettability and surface energy of polymers. P Martínez-García, J. Prada-Rodrigo, R.I. Rodriguez-Beltrán, P. Moreno, TA. Ezquerra, E Rebollar

Anual European Rheology Conference - AERC 2024 (*International congress*) Leeds (UK) *9th - 12th April 2024*

- *The study of the human tear film: a microrheological approach (oral controbution)*. Andrés Cardil Tornos, Javier Ramos, Mercedes Fernández, Itxaso Calafel, Arantxa Acera and Juan Francisco Vega.

Poly-Char 2024: Polymer for our future (*International non-UE congress*) Madrid (Spain) 28th – 31st May of 2024

- *Nanoindentation and rheological properties of sustainable graphene-based nanocomposites for multilayer packaging* (Oral contribution), Andres Cardil, Juan Francisco Vega, Helga Seyler, Susana Quiles-Díaz, Horacio Salavagione, Marian Gómez-Fatou, Araceli Flores.
- *Evaluation of recycled polypropylene from end-of-life vehicle bumpers as strategic for an improved circular economy* (Oral contribution), Rafael Juan, Daniel Lechuga, Beatriz Paredes, Teresa Expósito, Javier Ramos, Carlos Domínguez, Juan Francisco Vega, Rafael A. García-Muñoz.
- *Long chain branching fractionation of polyethylene aided by computational rheology* (Flash contribution), Andrés Cardil, Sandeep Garrepally, Javier Ramos, Olivier Lhost, Juan Francisco Vega.

II PhDay Serrano, Madrid (Spain) 5th of June 2024

- *Tears don´t fall, they flow* (Poster). Andrés Cardil, Mercedes Fernandez, Itxaso Calafel, Itziar Martínez-Soroa, Ane Pérez Sarriegui, Javier Ramos, Arantxa Acera and Juan Francisco Vega

The Iberian Meeting on Rheology, IBEREO 2024 (*International congress***)** Lisbon (Portugal) 4-6th of September 2024

- *Viscoelastic insights into human tears and artificial teardrops* (Oral contribution), J.F. Vega, A. Cardil, J. Ramos

XVII Reunión del Grupo Especialozado de Poñímeros de las RSFE y RSQE - GEP-2024 (*National congress*), Madrid (Spain) 16th – 19 th of september 2024

- *Modelos atomísticos y de grano grueso para la modelización dedisoluciones de polisacáridos de origen bacteriano (Oral contribution).* Javier Ramos, Andres Cardil, Lucia Ruiz-Saez, Juan Sanjuan, Daniel Perez, Juan Francisco Vega
- *Using indentation to study the creep behaviour of sustainable polyurethane adhesives (Oral contribution).* Araceli Flores, Juan Francisco Vega, Andrés Cardil, Marián Gómez-Fatou, Horacio J. Salavagione
- *propiedades viscoelásticas de las lágrimas humanas y artificiales: una visión microrreológica (Oral contribution).* Juan Francisco Vega, Andrés Cardil, Javier Ramos, Mercedes Fernández, Itxaso Calafel, Arantxa Acera.
- *Estudio molecular y conformacional de nuevos biopolímeros bacterianos (Poster),* Andres Cardil, Juan Francisco Vega, Javier Ramos, Juan Sanjuan, Daniel Perez

ESTANCIAS DE INVESTIGADORES EN EL INSTITUTO *Visitors*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

- **Ikram Hadj Said,** USTHB, Algeria, 1st of January-15rd of January 2024.
- **Dr. Fabio Briscese**, U. Roma 3, Italy, 1st-7th of March 2024.
- **Ayad Bellili,** USTHB, Algeria, 11th of March-5th of April 2024.
- **Rahma Boussassi,** USTHB, Algeria, 11th of March-6th of April 2024.
- **Kahina Sidi Said,** USTHB, Algeria, 9th of April-10th of October 2024.
- **Samira Dalbouha**, UMV Rabat, Morocco, 14th of May-22th of September 2024.
- **Prof. Gustavo Scuseria**, Rice University, Houston, USA, 20th-24th of May 2024.
- **Prof. Thomas Thiemann,** FAU-Erlangen, Germany, 18th-20th of June 2024.
- **Nadia Djebra,** USTHB, Algeria, 15th of October-29th of October 2024.
- **Dorsal Missoussi**, LSAMA Tunis-El Manar University, 15th of November-1st of December 2024.
- **Sinda Brahem**, LSAMA**,** Tunis-El Manar University, 17th of November-18st of December 2024.
- **Prof. Rodrigo Vicencio,** Universidad de Chile, Santiago, Chile, 21st-22th of November 2024
- **Prof. Damiano Anselmi**, U. Pisa, Italy, 4th-6th of December 2024.
- **Prof. Paolo Pani**, U. Roma La Sapienza, Italy, 2nd-4th of December 2024.
- **Amal Dalbouha**, UIZ Agadir, Morocco, 2nd of December-31st of Dicember 2024.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

- **Prof. Jaime Gómez Rivas, Technical University of Eindhoven, The Netherlands, 13-16th of February, 17-20th of December 2024.**
- **Paloma Berrocal Sancho, Estudiante en Prácticas. Universidad Europea, 1st February-30th April of 2024.**
- **Francisco José Gómez Fernández, Estudiante en Prácticas. Universidad Europea, 5st February-5th May of 2024.**
- **Dr. Daniel López Blanco, Materials Physics Center EHU, Spain, 11-15th of March 2024.**
- **Prof. Felix Fernandez-Alonso, Materials Physics Center EHU, Spain, 12-15th of June 2024.**
- **Dr. Belén Hernández Associated Professor, Université Sorbonne Paris Nord, Paris (France), 14th -16th June of 2024.**
- **Oumaima Douass, Pre-doctoral Researcher. Université Abdelmarek Essaadi, Tetouan (Morocco), 6th October- 31st December of 2024.**
- **Daniele Gonçalves Mesquita. Universidad Federal de Pelotas (Pelotas/Brasil). Desarrollo de centelleadores rápidos basados en perovskytes de BaZrO3 para medida de tiempo vuelo. Desde 07 de Octubre de 2024 Hasta 31 de diciembre de 2024.**
- **Lucía Pereira Pardo, Investigadora Ramon y Cajal, Instituto de Patrimonio Cultural (INCIPIT) Santiago de Compostela, 1st October-10th December of 2024.**

CONFERENCIAS DE INVESTIGADORES INVITADOS

Invited Researchers Conferences

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Prof. Rodrigo Vicencio.

Universidad de Chile (Santiago, Chile).

Dipolar and non-reciprocal photonic lattices.

21th November 2024.

Polygonal Gravity Seminars **Series (https://sites.google.com/view/polygrav/schedule):**

Prof. Renate Loll

Radboud Univ. (Netherlands)

Causal Dynamical Triangulations as a Gateway to Nonperturbative Quantum Gravity.

12th February 2024.

Dr. Carlos Fernández Sopuerta

ICE, CSIC

Symmetries in Scattering Processes around Black Holes.

12th February 2024.

Prof. Thomas Thiemann.

FAU-Erlangen (Germany).

Symmetry Reduction, Gauge Reduction, Backreaction and Consistent Higher Order Perturbation Theory.

19th June 2024.

Dr. Beatriz Elizaga Navascués.

LSU (USA).

Entangled Pairs in Evaporating Black Holes.

19th June 2024.

Prof. Paolo Pani.

La Sapienza (Italy).

No-Horizon Physics on the Horizon? Recent Developments and Challenges in Tests of Dark Compact Objects.

4th December 2024.

Prof. Mar Bastero Gil.

Granada Univ. (Spain).

Dark Photons Dark Matter & Schwinger Production.

4th December 2024.

Prof. Damiano Anselmi

U. Pisa (Italy)

Complete sets of invariant fields in gauge theories and gravity from purely virtual particles

5th December 2024.

"Journey through the Universe. Gravity and Advanced Relativity" JUGAR II Workshop

Organized by Gianluca Calcagni and Guillermo A. Mena Marugán

IEM, CSIC

3rd-5th December 2024.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

- **Dra. Izaskun Sierra** (Tenured Scientist),
  Centro de Astrobiología (CSIC-INTA), Torrejón de Ardoz, Madrid.
  Towards prebiotic chemistry in the interstellar medium.
  Part of the official program of IEM seminars
  21stJune 2024.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Dr. Gustavo Ariel Schwartz

Centro de Física de Materiales CSIC-UPV/EHU

La ciencia de la cultura: Redes complejas y analítica cultural.

4th April 2024.

VISITAS DE INVESTIGADORES A CENTROS INTERNACIONALES - *Visits to Foreing Institutions*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Gianluca Calcagni.

- Center for Astrophysics, Sexten, Italy, 24th -28th of June 2024.

Rafael Alejandro Molina Fernández.

Universität Regensburg, Regensburg, Germany, 28th of July- 3rd of August 2024.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

José A. Sánchez Gil.

- Technology Innovation Institute, Abu Dhabi (UAE), 18th-23th November of 2024.

Santiago Sánchez Cortés.

- Group of Nanomaterials, Laboratory for Vascular Traslational Science. Université Sorbonne de Paris Nord, Paris (France). 7th – 21st April 2024.
- Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari. Università degli Studi di

Bologna (Italy), 13th – 19th February, 10th -21st February, 19th -25th June, 3rd -11th September 2024.

- Center for Interdisciplinary Biosciences, Technology and Innovation Park of P. J. Šafárik University in Košice (Slovakia), 24th -28th November of 2024.
- Universidad de Playa Ancha, Valparaíso (Chile), 3rd – 17th December of 2024

J. Sánchez Prieto (PhD student)

- 3-month research stay at ISOLDE, CERN (4 March – 8 June 2024).

D. Fernández Ruiz.

- ISOLDE, CERN
  - IS690 preparations
    - Short internships to prepare for experiment IS690 (15-20 September 2024 and 17-21 June
  - FPI Internships.
    - 1 month internship for experiment IS690 (1 October - 1 November 2024), D. Fernández Ruiz.
    - 1 month internship for experiments IS733 and IS659 (13 May- 13 June), D. Fernández Ruiz.
- Aarhus, Denmark
  - Internship in the University of Aarhus (1 of December 7 of December) D. Fernández Ruiz
    - Small visit to collaborators to prepare future articles cantered on out ^{8}B research
- Edinburgh, Scotland
  - **Attendance to the Azure2 R-Matrix school** (23 June -28 June 2024).

O. Tengblad

- ISOLDE, CERN
  - IS659 experiment (24 May – 7 June)
  - IS690 experiment (24 June – 7 July , 13 - 23 August, 15-24 October)
  - GSI/FAIR (Darmstadt, Germany): R3B experimental campaign, R3B (S073,S118, S091) 5-29 February.

Carlos Ferrera

- RIKEN (Tokyo, Japan) desde 18/04/2024 hasta 22/05/2024 -> Experimento SHARAQ12 ,
- TRIUMF (Vancouver, Canada) desde 28/11/2024 hasta 06/12/2024 -> Experimento S2196,

Jaime Acosta Loza

- Estancia de tres semanas en RIBF @ RIKEN (Japón) para participar en el experimento RIBF211, para la medida de núcleos de ^{100}Sn con el espectrómetro DALI2+,

Andrea Jungclaus

- RIKEN (Tokyo, Japan) Mayo 2024 -> Experimento SHARAQ12
- RIKEN (Tokyo, Japan) Junio 2024 -> Experimento RIBF211 (^{100}Sn)
- GSI (Darmstadt, Alemania) Abril 2024 -> Experimento S100

Luis Acosta:

- 28/11/2024-05/12/2024; **Extreme Light Infrastructure-Nuclear Physics (ELI-NP),**

Magurele, Rumania: Participación en el experimento "p-11B fusion reaction cross section measured with ELISSA", Luis Acosta

- 14-23/10/2024; **Participación en el experimento HIE-ISOLDE CERN**, Ginebra Suiza: Participación en el experimento IS690 “Kinematics of 9Li(t,p)” y test de detectores para ISRS.
- 10-13/09/2024; **Politécnico di Milano**, Milán Italia: Caracterización de detectores SiC y ASIC adaptada para el proyecto ISRS en el laboratorio de detectores del Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria. Luis Acosta
- 14-24/07/2024; **Laboratorio TRIUMF**, Vancouver, Canadá: Participación en el experiment S2006 ADONIS (Aluminum DestructiON In Stars). Luis Acosta
- 25-30/06/2024; **Grand Accelerateur National d'Ions Lourds**, Caen Francia: Participación en la medida experimental E870: Cluster structure of the ground state of light exotic nuclei beyond alpha-clustering. Luis Acosta
- 5-12/04/2024; **Laboratório de Acelerdores e Tecnologias de Radiação, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa,** Lisboa, Portugal**:** Characterization of a set of enriched ^{208}Pb self supported targets used in scattering experiment at Nuclear Science Laboratory of the Univ. of Notre (USA). Luis Acosta
- 11-17/03/2024; **GSI Helmholtzzentrum Für Schwerionenforschung**, Darmstadt, Alemania: Participación en la etapa de Test del Experimento S122-R3B ASYEOS II, asistiendo al test de detectores SiC. Luis Acosta

Samuel Esrig

- GSI-FAIR (Germany). R3B & FRS experimental campaign: R3B (S073, S118, S091) and FRS (S111). 10th-16th & 25th-28th February 2024.

Christophe Rappold

- GSI/FAIR (Darmstadt, Germany): R3B and FRS experimental campaign, R3B (S073,S118, S091) and FRS (S111) from 7/02/2024 to 22/02/2024

A. N. Nerio

- **Warsaw, Poland, Basic Training School on Accelerators 2024. Summer school organized by the Heavy Ion Laboratory (HIL) and the Institute of Nuclear Chemistry and Technology (INCT), June 18th – 27th, 2024.**

- Warsaw, Poland, Basic Training School on Accelerators 2024. Summer school organized by the Heavy Ion Laboratory (HIL) and the Institute of Nuclear Chemistry and Technology (INCT), June 18th – 27th, 2024.

M.J.G. Borge

- **CNRS, Paris, Conseil scientifique IN2P3 15-17/1/2024**
- **GSI, Germany, Writing team of the Nuclear Physics Long Range Plan, 7-9 /2/2024**
- **CNRS, Paris, Conseil scientifique IN2P3 13-14/2/2024**
- **J-PARK, Japon, Scientific Committee, 29/2-2/3/2024**
- **Nantes, France, Subatech scientific Committee meeting (Chair), 29-30/4/2024**
- ISOLDE, CERN, IS659 experiment (18-21/5/ 2024)

- **Valencia, Spain "Nuclear Structure and Dynamics Conference, Oral presentation 27-31 /5/2024**
- **CERN, Organiser of the Advanced school of Accelerators of EURO-LABS, 2-7/6/2024**
- **Göteborg, Sweden,"Halo week", Invited conference, 10-14/6/2024**
- **CNRS, Strasbourg, Conseil scientifique IN2P3 24-25/6/2024**
- **Barcelona, Spain, The 10th Int Conference on Quarks and Nuclear Physics, 8-12/7/2024, talk about IUPAP**
- ISOLDE, CERN, IS690 experiment (3-5/7, 13 – 23/8, 12-24 /10)
- **INFN, Florence Italy, Scientific Evaluation Committee of INFN, 9-11/10/2024**
- **ISAB, Bucarest, Rumania, Scientific Evaluation Committee of ISAB, 13-15/11/2024**
- **Brussels, Belgium, ERC Advance grant evaluation Panel, 26-29/11/2025**

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

José Luis Doménech Martínez.

- I. Physikalisches Institut, Universität zu Köln, Germany, October 20th to November 15th 2024.

CAPÍTULO 5 – LABOR DOCENTE, DIFUSIÓN DE LA CIENCIA Y OTRAS ACTIVIDADES

TEACHING, OUTREACH AND OTHER ACTIVITIES

DOCENCIA

Teaching

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Guillermo A. Mena Marugán.

- Prácticas de Grado "Loop Quantum Gravity: Cosmología y Agujeros Negros"– Grado en Física-- UCM
  29 February 2024/13 May 2024 –150 horas.

Jesús Fernando Barbero González.

- El Siglo de la Física – Bachelor program in Engineering (humanities course), National/Official program, Universidad Carlos III (Madrid) 11 hours imparted from January 31 to March 6, 2024.

Gianluca Calcagni.

- Internship tutoring ("Prácticas en Empresa") of the degree in Physics of UCM.

Students: Alicia Pérez Rodrigo and Almudena Guillén Sánchez. Contents: gravitational waves. Duration: 2024 (165 hours and 150 hours, respectively).

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Belén Maté Naya

- Tutor Prácticas Externas Curriculares – Grado en CC. Químicas (National Official) – Universidad Complutense de Madrid. 1th September 2024 – 20th December 2024 – 300 horas. Estudiante: Noa Pinto Martínez.

Isabel Tanarro y Ramón J. Peláez

- Tutores Prácticas Externas Curriculares – Máster Erasmus Mundus en Ciencia de Fusión y Física.Universidad: Aix Marseille Université (Francia) (International Official) – 22 April 2024 - 7 June 2024 – 175 horas. Student: David Vaquero Cerezo

Vicente Timón Salinero

- Tutor Prácticas Externas Curriculares – Grado en CC. Químicas (National Official) – Universidad Complutense de Madrid. 1th September 2024 – 22th December 2024 – 300 horas. Estudiante: David Sánchez Mera.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Mari Cruz García Gutiérrez

- Tutora de Prácticas Curriculares (Alejandro Alegre Peñalva) – Física – Grado – National Official – Universidad Europea de Madrid.
  5th of February 2024-31st of March 2024 – 300 h
- Tutora de Trabajo Fin de Grado (Alejandro Alegre Peñalva) – Física – Grado – National Official – Universidad Europea de Madrid.
  1st of March 2024-22nd of May 2024

Aurora Nogales Ruiz

- Tutora de Prácticas Curriculares (Lucía Galván Cobo) – Química – Grado – National Official – Universidad Complutense de Madrid.
  9th of September 2024-14th of January 2025 – 300 h

Javier Ramos

- Tutor de Prácticas Curriculares (Mateo) – Materiales – Grado – National Official – Universidad de Alcalá de Henares.
  11th of november 2024-20th of January 2025 – 390 h
- Asignatura de Simulación Molecular - Máster en Alta Especialización en Plásticos y Cauchos – Internacional - Universidad Internacional Menéndez Pelayo - Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
  22th of February 2024-1th of April 2024 – 14 hours.

Juan Francisco Vega

- Tutor de Prácticas Curriculares (Laura Valentina Robaina Osuna) – Química– Grado – National Official – Universidad de Alcalá de Henares.
  9th of August 2024 – 400 h
- Tutor de Trabajo Fin de Grado (Lola Aguilera Villegas) – Ingemiería Física – Grado – National Official – Universidad Carlos III.
  6th of June 2024
- Asignatura de Reología (Profesor Responsable) - Máster en Alta Especialización en Plásticos y Cauchos – Internacional - Universidad Internacional Menéndez Pelayo - Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
  12th February-1th March 2024 – 12 hours.

CURSOS, CONFERENCIAS Y SEMINARIOS
Courses, Conferences and Seminars

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

José González Carmona.

- El grafeno como laboratorio de materiales topológicos, XX Curso de Iniciación a la Investigación, Instituto de Estructura de la Materia, Madrid, 22nd of March 2024.

Rafael Alejandro Molina Fernández.

- Transporte cuántico, XX Curso de Iniciación a la Investigación, Instituto de Estructura de la Materia, Madrid, 22nd of March 2024.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Carlos Cabrillo García.

- *La física de la materia desordenada. XX Curso de Iniciación a la investigación en Estructura de la Materia. Madrid, 20th March of 2024.*

Santiago Sánchez Cortés.

- *Raman and Surface-enhanced Raman spectroscopy*. University of Bologna (Italy). 16th February of 2024
- *Técnicas espectroscópicas aplicadas al estudio de materiales. XX Curso de Iniciación a la investigación en Estructura de la Materia. Madrid, 20th March of 2024.*
- *Molecular Detection based on Surface-Enhanced Raman Applied in Environment, Bioanalysis and Cultural Heritage Diagnostics.* Université Sorbonne Paris Nord (France), 17th April of 2024
- *Espectroscopía Raman Intensificada por nanoestructuras y sus aplicaciones en detección molecular, bioanálisis y Patrimonio Cultural.* Universidad Austral de Valdivia (Chile). 11th December of 2024

Álvaro Buendía Gallego.

- *Topological arrays of plasmonic nanoparticles*, Curso de iniciación a la investigación del Instituto de Estructura de la Materia, 21st of March 2024, Madrid, Spain.
- *Long-range molecular energy transfer mediated by strong coupling to plasmonic topological edge states*. Serrano Mini Workshop Series on Nanophotonics, Quantum Technologies and Information: Bound States in the Continuum. 4th of June 2024. Madrid, Spain.

Beatriz Castillo López de Larrinzar.

- *Superchiral Light Emerging from BICs in Metasurfaces of Si Nanorod Dimers*. Serrano Mini Workshop Series on Nanophotonics, Quantum Technologies and Information: Bound States in the Continuum. 4th of June 2024. Madrid, Spain.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

José M. Fernández Sánchez

- Espectroscopía: una potente herramienta para conocer el Universo. Conferencia a estudiantes de Bachillerato, Catálogo de Conferencias Científicas del CSIC dirigidas al Sistema Educativo de la Comunidad de Madrid, IES Emilio Castelar (Madrid), 18th of March 2024
- Espectroscopía: una potente herramienta para conocer el Universo. Conferencia a estudiantes de Bachillerato, Catálogo de Conferencias Científicas del CSIC dirigidas al Sistema Educativo de la Comunidad de Madrid, IES La Serna (Fuenlabrada, Madrid), 20th of March 2024
- Visit to the Laboratory of Molecular Fluid Dynamics. Part of "XX Curso de Iniciación a la Investigación enEstructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, 20th – 22ndof March 2024.

Guzmán Tejeda Gala

- Visit to the Laboratory of Molecular Fluid Dynamics. Part of "XX Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, 20th – 22ndof March 2024.

Carlos Álvarez Nicolás

- Espectroscopía de microchorros: gases y líquidos fuera del equilibrio. Part of "XX Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, 20th – 22ndof March 2024.
- Visit to the Laboratory of Molecular Fluid Dynamics. Part of "XX Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, 20th – 22ndof March 2024.

Belén Maté Naya.

- Espectroscopía infrarroja como técnica de estudio de la interacción de moléculas con superficies. "Caracterización químico física de superficie de absorbentes y catalizadores II". Curso organizado por Sociedad Española de Adsorción | Grupo Especializado de Adsorción (RR.SS. EE. de Física y de Química) | Departamento Postgrado CSIC. 11-14 junio 2024. Jarandilla de la Vera, Cáceres.

José Luis Doménech Martínez.

- Laboratory astrophysics, molecular ions and spectroscopy. Instituto Universitario CINQUIMA, Universidad de Valladolid. Valladolid, 3 de diciembre de 2024

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

José Sena

- Poli(3-hexiltiofeno) como agente degradante de tintes orgánicos, Instituto de Estructura de la Materia, Madrid, 20th of March 2024.

Óscar Toledano

- Propiedades de materiales poliméricos mediante simulaciones ab initio, Instituto de Estructura de la Materia, Madrid, 20th of March 2024.

Juan Francisco Vega Borrego

- Biofísica macromolecular: experimentos y simulación por ordenador. XX Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia: de las partículas elementales a los sistemas de alto peso molecular, Madrid 20th March 2024.
- Presentación del Grupo BIOPHYM en la Asamblea General de la Plataforma SUSPLAST, Madrid 21st November 2024

Javier Ramos Díaz

- Aplicación de cálculos HPC en el trabajo científico. Jornada para estudiantes del instituto IES Salamanca organizadas por la SGAI, Madrid 8th-9th February 2024.
- Terapias contra el cáncer basadas en anticuerpos monoclonales: una mirada "in silico". XX Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia: de las partículas elementales a los sistemas de alto peso molecular, Madrid 20th March 2024.
- Ejemplos propios en cálculos y supercomputación de sistemas químicos, polímeros y materiales. Curso de ciencia digital, supercomputación, IA y Etica, Organizado por el IQOG y la plataforma PTI de Ciencia Digital, Madrid 4th-5th de November 2024.

PREMIOS Y OTROS MÉRITOS
Awards

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Guillermo Antonio Mena Marugán.

- Editor of *Frontiers in Astronomy and Space Sciences* as Review Editor in Cosmology.
- Member of the Editorial Board of the journal *Universe*.
- External Member for the Quality Committee of the Doctorate Program in Physics of the Universidad Complutense de Madrid.
- President Elect of the International Society on Loop Quantum Gravity.

María Luisa Senent Diez.

- Member of the Scientific Advisory Committee of the International Conference International Symposium on Molecular Spectroscopy. Urbana-Champaign Illinois (USA).

Jesús Fernando Barbero González.

- President of the Sociedad Española de Gravitación y Relatividad (SEGRE).
- Associate Editor for the Journal of Geometry and Mechanics (American Institute of Mathematical Sciences).

Gianluca Calcagni.

- Field Chief Editor of *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*.
- Chair of the LISA Membership Management Team.
- Member of the LISA Internal Networking Committee for Science.
- Member of the steering committee, the membership committee and the transition committee of the LISA Consortium Constituent Council.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

José A. Sánchez Gil.

- Optics Express (Optica Journal) Associate Editor.

Santiago Sánchez Cortés.

- Member of the Scientific Advisory Committee of the Journal of Raman Spectroscopy.
- Member of the Scientific Advisory Committee of the Chemisensor journal.
- Member of the Scientific Advisory Committee of the Vibrational Spectroscopy journal.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

José M. Fernández Sánchez

- Member of the International Advisory Committee of *International Symposium on Rarefied Gas Dynamics.*

Víctor José Herrero Ruiz de Loizaga

- Member of the *Scientific Advisory Committee of the Europhysics Conferences on Atomic and Molecular Processes in Ionized Gases (ESCAMPIG)*.

Belén Maté Naya

- Member of the *Editorial Board of the Revista Española de Física de la Real Sociedad Española de Física,* since February 2023.

Mari Cruz García Gutiérrez

- Spanish Delegate of the European Synchrotron Radiation Facility Council (Grenoble, France).

Aurora Nogales Ruiz

- Member of the Proposal Review Panels C08 of the European Synchrotron Radiation Facility
- Member of the executive committee of the CSIC Hub on Photocatalysis.

Tiberio Ezquerra Sanz

- Member of the Scientific Advisory Committee (SAC) ALBA Spanish Synchrotron (Cerdanyola del Vallés, Barcelona, Spain)
- Chair of the Proposal Review Panel Board ALBA Spanish Synchrotron. (Cerdanyola del Vallés, Barcelona, Spain)

Andrés Cardil Tornos

- Member of the Organizing Committee (Logistics) of the POLY-CHAR 2024 conference. Madrid (Spain) 27th- 31st May 2024
- Member of the Organizing Committee of II PhD Day Serrano 2024. Madrid (Spain) 6th June 2024

Carlos García García

- Member of the Organizing Committee (Logistics) of the POLY-CHAR 2024 conference. Madrid (Spain) 27th- 31st May 2024

Javier Ramos Díaz

- Member of the Organizing Committee (co-Chair) of the POLY-CHAR 2024 conference. Madrid (Spain) 27th- 31st May 2024

Virginia Souza-Egipsy Sánchez

- Member of the Organizing Committee (Logistics) of the POLY-CHAR 2024 conference. Madrid (Spain) 27th- 31st May 2024

Juan Francisco Vega Borrego

- Member of the Organizing Committee (co-Chair) of the POLY-CHAR 2024 conference. Madrid (Spain) 27th- 31st May 2024
- Guest Editor of the Issue "Polymers and advanced characterization techniques for new societal demands at POLY-CHAR2024“ (https://www.sciencedirect.com/special-issue/108VBLTRLVR). A Special issue of Polymer – Elsevier 2024.

ACTIVIDADES Y MATERIAL DE DIVULGACIÓN
Outreach Activities and Material

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Guillermo A. Mena Marugán

- Series of online outreach seminars *Café con*.
  Collaboration with the Real Sociedad Económica Extremeña de Amigos del País in the organization of the following seminars in the series (and participation in one of them):

  Isabel Márquez Pérez, Instituto de Astrofísica de Andalucía, CSIC, *El monstruo que habita en el corazón de las galaxias* (https://www.youtube.com/watch?v=Y0ZBgKkmeDo), 7th of February 2024.

  Juan José de Damborenea González, Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC, *Materiales y sostenibilidad* (https://www.youtube.com/watch?v=HUfmxbX0n1w), 5th of June 2024.

  Online seminars, recorded and available at
  https://www.facebook.com/conoce.cafecon/
  https://www.youtube.com/@rseeap/streams

Jesús Fernando Barbero González

- *¿Qué es la relatividad?* Semana de la Ciencia en el IEM. Madrid 6th of November 2024.
- I.E.S. Margarita Salas (Majadahonda, Madrid), February 6th, 2024, *Ahora que caigo ¿qué es la gravedad?*
- I.E.S. Margarita Salas (Majadahonda, Madrid), February 6th, 2024, *Materiales asombrosos.*
- *Del Cosmos al nano... y más allá. Escape room para estudiantes.* Madrid 15th of November 2024.

Gianluca Calcagni

- *El universo para todos*, IES Emilio Castelar, Madrid, Spain, 18th of March 2024.
- *La Tierra es plana: gravedad cuántica para todos*, Agrupación Astronómica de Madrid, Madrid, Spain, 7th of May 2024.
- *El observatorio astronómico "Colina de los Chopos"*, III Jornadas de Cultura Científica y Ciencia Ciudadana del CSIC', Madrid, Spain, 20th of June 2024.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Álvaro Buendía Gallego

Taller "Descubriendo la luz":

- Instituto Palomeras en Vallecas, Madrid (9th of February 2024).
- Semana de la Ciencia, Madrid (15th of November 2024).

IV edition of **CAMINO** (CAreer Mentoring Initiative for New Opportunities) program (from September 2024 to February 2025).

Carlos Cabrillo García

Conferencia divulgativa y observación astronómica nocturna una vez al mes desde mayo de 2024, observatorio Colina de los Chopos, Instituto de estructura de la Materia (CSIC), Madrid.

Conferencia divulgativa y observación astronómica diurna una vez al mes desde mayo de 2024, observatorio Colina de los Chopos, Instituto de estructura de la Materia (CSIC), Madrid.

Conferencia divulgativa y observación astronómica diurna para alumnos del Insituto Ramiro de Maeztu los días 24, 25 de abril y 23 de mayo de 2024, observatorio Colina de los Chopos, Instituto de estructura de la Materia (CSIC), Madrid.

Seis conferencias divulgativas y observaciónes astronómicas diurnas durante la Semana de la Ciencia, 4-13 de noviembre 20214, observatorio Colina de los Chopos, Instituto de estructura de la Materia (CSIC), Madrid.

Cuatro conferencias divulgativas y observaciónes astronómicas nocturnas durante la Semana de la Ciencia, 4-13 de noviembre 20214, observatorio Colina de los Chopos, Instituto de estructura de la Materia (CSIC), Madrid.

Visitas guiadas al observatorio Colina de los Chopos como parte del Escape Room “Del Cosmos al nano … y más allá”, Semana de la Ciencia, 15 de novienre de 2024, Instituto de estructura de la Materia (CSIC), Madrid.

Beatriz Castillo López de Larrinzar

Taller "Descubriendo la luz":

- Semana de la Ciencia, Madrid (15th of November 2024).

“XX Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia”, Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, 20 a 22 de marzo de 2024.

Christophe Rappold

- Machine Learning en el programa de FísicaNuclear en GSI-FAIR ,

Luis Acosta

- Producción de núcleos exóticos.

Bruno Olaizola

- Por Estudio de núcleos exóticos. Por

Teresa Kurtukian Nieto,

- "Transporte de haz en un acelerador de iones", en el curso: RADIACIONES IONIZANTES: APLICACIONES Y SEGURIDAD, Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del 5 al 26 de abril de 2024.

Amanda N. Nerio

- Uso de instrumentación nuclear en protonterapia, part of the "XX Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia"

Characterization of a novel proton-CT scanner for protontherapy, part of the "Jornadas de doctorandos UCM, sesión de invierno 2024-2025". **Amanda N. Nerio**

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Guzmán Tejeda Gala, Vicente Timón Salinero y Ramón Peláez de Fuentes

Volamos y levitamos

Taller de experimentos caseros dirigidos a estudiantes de 5º y 6º de primaria y 1º de ESO – Semana de la Ciencia y la Innovación.

IES Renacimiento, Colegio San Francisco (Fundación Virgen de la Almudena), CP Pablo Picasso, CEIP Jorge Guillén, Colegio Santa María de Orcasitas, IES Felipe II, IES Parque de Lisboa, Centro educativo López Vicuña, IES Gomez Moreno, Colegio Trabenco, IES Francisco de Goya y CP Breogán.

Ámbito regional de la Comunidad de Madrid.

Entre el 4 y 21 de noviembre de 2024.

Guzmán Tejeda Gala, Belén Maté Naya y Vicente Timón Salinero

Del cosmos al nano y más allá

"Escape Room"

Instituto de Estructura de la Materia CSIC, Madrid
15 de noviembre de 2024, como parte de Semana de la Ciencia y la Innovación.

Vicente Timón Salinero.

Locutor y presentador del programa semanal de ciencia Locuciencia en la emisoria comunitaria Radio Almenara, 106.7 FM Madrid Norte (https://radioalmenara.net/spip.php?rubrique117)

Responsable de Cultura Científica del Instituto de Estructura de la Materia. Organización de todo tipo de seminarios, coordinación actividades de divulgación, visitas estudiantes, grabación programa Curiósity "Los estados de la materia".

Raúl Z. Martínez Torres.

Visit to the Laser Spectroscopy Laboratory.

Part of "XX Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, 20th-22th of April 2024. Semana de la Ciencia de la Comunidad de Madrid. IEM-CSIC, 2024.

José Luis Doménech Martínez.

2ª *Mesa redonda de instituciones públicas,*

Primer Congreso de Formación y Empleo en Ciencias. Valladolid, October 17th-19th, 2024.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR

MACROMOLECULAR PHYSICS

Mari Cruz García Gutiérrez

- Actress in "Ciencia y escena: Diez años de TeatrIem". Scientific theater TeatrIEM:
  - 18th of February 2024. Residencia de Estudiantes. Madrid
  - 23th of January 2024. Centro Cultural Viñagrande. Alcorcón, Madrid

- Actress in "Mayorga para minutos". Scientific theater TeatrIEM:
  - 27th of Sepetember2024. Real Jardín Botánico. Madrid

- Actress in "De la investigación y otras soledades". Scientific theater TeatrIEM:
  - 14th, 15th and 16th of November 2024. Museo nacional de Ciencias Naturales in the framework of Semana de la Ciencia.

- Member of the jury of the IV TeatrIEM contest of short theatrical texts with a scientific subject.
- Organizer of the V TeatrIEM contest of short theatrical texts with a scientific subject.

Tiberio Ezquerra Sanz

- Actor in "Ciencia y escena: Diez años de TeatrIem". Scientific theater TeatrIEM:
  - 18th of February 2024. Residencia de Estudiantes. Madrid
  - 23th of January 2024. Centro Cultural Viñagrande. Alcorcón, Madrid

- Actor in "Mayorga para minutos". Scientific theater TeatrIEM:
  - 27th of Sepetember2024. Real Jardín Botánico. Madrid

- Actor in "De la investigación y otras soledades". Scientific theater TeatrIEM:
  - 14th, 15th and 16th of November 2024. Museo nacional de Ciencias Naturales in the framework of Semana de la Ciencia.

Aurora Nogales Ruiz

- Coloquio y encuesta a alumnos en centros de educación secundaria:
  - Biblioteca Pública 'José del Hierro'-Usera, Madrid (8/02/2024)
  - IES Vicente Aleixandre, Pinto, Madrid (9/2/2024)
  - IES Cervantes (Madrid) (13/02/2024)

    - CEIPSO Navas del Rey (15/02/2023)
- Scape Room. Del Cosmos al Nano y Mas Allá (enmarcado en la semana de la ciencia del Instituto de Estructura de la Materia)
- Comisión organizadora Coloquios Curie. Coloquios Organizados durante 2024:
    - La paleogenómica y la desigualdad del pasado. Carles Lalueza-Fox – Instituto de Biología Evolutiva (CSIC-UPF) 15/02/2024
    - Globalización de las invasiones biológicas. Montserrat Vilà. Estación Biológica de Doñana. 10/4/2024
    - El futuro de la energía. Antonio Turiel. Instituto de Ciencias del Mar. 11/6/2024

Dr. Javier Ramos Diaz.

- Proyecto de docencia en colaboración con la UAH "Visualiza la simetría" Página web: https://visualiza-simetria.web.uah.es/ 2024

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
Transfer of Technology

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Reuniones de transferencia de tecnología
Título de la reunión: PE characterization topics
Meeting attendees: Juan Francisco Vega, Andrés Cardil, Armelle Sigwald and Olivier Lhost
Collaboration: Total RC/R&D Polymers
Place: Madrid (Spain) and Seneffe (Belgium) - Online
Dates: 13th – 14th December 2024

Conferencias de transferencia tecnológica impartidas u organizadas por el Instituto
Speaker: Juan Francisco Vega and Andrés Cardil.
Title: Molecular characterization by elongation rheological modelling
Colaboration: Total RC/R&D Polymers.
Place: Madrid (Spain) and Seneffe (Belgium) - Online.
Dates:13th - 14th December 2024

Informes de transferencia tecnológica
Juan Francisco Vega and Andrés Cardil.
Molecular characterization by elongation rheological modelling
Total SE (March, July and December 2024).

UNIDADES ASOCIADAS Y OTRAS ACTIVIDADES
Associated Units and Other Activities

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

María Luisa Senent Díez.

- Associated Unit of Molecular, Atomic and Nuclear Physics (GIFMAN), IEM-CSIC/University of Huelva.

Jesús Fernando Barbero González

- Grupo de Teorías de Campos y Física Estadística, Universidad Carlos III de Madrid, Unidad Asociada al IEM-CSIC. The Members of the IEM participating in this Associated Unit are: Jesús Fernando Barbero González and José González Carmona.
- Popularizing talks on astronomy in public observations of the "Colina de los Chopos" observatory:
  - El Sistema Solar para niños, 24 de abril de 2024.
  - El Sistema Solar para niños, 25 de abril de 2024.
  - El cielo diurno, 12 de mayo de 2024.
  - El cielo nocturno, 14 de mayo de 2024.
  - El Sistema Solar para niños, 23 de mayo de 2024.
  - El cielo diurno, 30 de mayo de 2024.
  - El cielo diurno, 4 de noviembre de 2024 (Semana de la Ciencia).
  - El cielo diurno, 5 de noviembre de 2024 (Semana de la Ciencia).
  - El cielo diurno, 6 de noviembre de 2024 (Semana de la Ciencia).
  - El cielo nocturno, 8 de noviembre de 2024 (Semana de la Ciencia).
  - El cielo nocturno, 10 de noviembre de 2024 (Semana de la Ciencia).

Gianluca Calcagni

- Direction and coordination of the CFMAC astronomical observatory "Colina de los Chopos" and of the program of popularizing activities for the public (https://observatorio.cfmac.csic.es), during the whole year and also in Semana de la Ciencia 2024. Maintenance of its website.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

UNIDAD ASOCIADA DE I+D+i CSIC IEM - UHU GIFMAN

- LÍNEA 3: Física experimental con núcleos radiactivos. Mecanismos de reacción a energías en torno a la barrera de Coulomb. Medida de tasas de reacción de interés astrofísico.

Participantes: IEM-CSIC: M. J. G. Borge, O. Tengblad, T. Kurtukian Nieto, Luis Acosta

UHU: I. Martel y A. M. Sánchez Benítez

UNIDAD ASOCIADA DE I+D+i CSIC IEM – UAM CMAM

- OBJETIVO: es crear un grupo interdisciplinar de trabajo entre el grupo de Física Nuclear experimental, FNEXP y el Centro de Microanálisis de Materiales CMAM, institucionalizando la larga colaboración existente entre ambos equipos mediante el intercambio de conocimientos y de colaboración en proyectos y actividades en física nuclear.

Participantes: IEM-CSIC: M. J. G. Borge, O. Tengblad, T. Kurtukian Nieto, Luis Acosta, A. Perea, CMAM: G. García, V. García Tavora

Otras actividades / Other activities:

- C. Rappold y T. R. Saito IPs for the Memorandum of Understanding / Protocolo General de Actuación between IEM-CSIC and HENP-RIKEN for research activities on the study of hypermatter from 1 August 2022 to July 31st 2027.

- Non-Proprietary User Agreement: Michigan State University, Operator of Facility for Rare Isotope Beams (hereinafter "Facility") under U.S. Department of Energy Cooperative Agreement No. DE-SC0000661 and Instituto de Estructura de la Materia IEM – CSIC, firmado 21.01.2024 .

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Unidades Asociadas / *Associated Units*:

- *Molecular Physical Chemistry*, comprising IEM-CSIC, IQFR-CSIC, IFF-CSIC and Departamento Química Física I, Universidad Complutense de Madrid.
  Responsible person UCM: Luis Bañares. Responsible person CSIC: Belén Maté.
  Members of the IEM participating in this Associated Unit:
  Isabel Tanarro, José Luis Doménech, BelénMaté, José M. Fernández, Víctor Herrero, Viente Timón, María Luisa Senent, y Guzmán Tejeda.

- *Grupo de Investigación en Física Molecular, Atómica y Nuclear (GIFMAN)*, comprising IEM-CSIC and Universidad de Huelva

Responsible person UHU: Miguel Carvajal Zaera. Responsible person CSIC: María Luisa Senent Diez.
Members of the IEM participating in this Associated Unit:
María Luisa Senent, Jorge Dukelsky Bercovich, María José García Borge, Guzmán Tejeda Gala, Olof Erik Tengblad, José M. Fernández Sánchez

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Otras actividades / Other activities

Tiberio A. Ezquerra, Mari Cruz García Gutiérrez, Aurora Nogales, Gonzalo Santoro

- **Unidad Asociada Nanoestructura de la Materia (NANOesMAT):** This unit is a common scientific meeting place between different groups of the CSIC (SOFTMATPOL of the Institute of Structure of Matter and LANAMAP of the Institute of Physical Chemistry "Blas Cabrera") and the UNED (Raman and Infrared Spectroscopy and Modeling). The main objective is to share experience and to carry out a coordinated effort around research in soft and polymeric condensed matter.

Mari Cruz García Gutiérrez

- Member of the Art and Science working group in scientific culture and citizen science at CSIC.

CAPÍTULO 6 – PUBLICACIONES Y PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

CHAPTER 6 – PUBLICATIONS AND SCIENTIFIC PRODUCTION

PUBLICACIONES EN REVISTAS Y PROCEEDINGS ISI
ISI Publications

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

1. J.F. Barbero G., M. Basquens, and E.J.S. Villaseñor.
   Euclidean self-dual gravity: Ashtekar variables without gauge fixing.
   Physical Review D **109**, 064047 (2024).

2. J.F. Barbero G.
   Free scalar field theory on a Sobolev space over a bounded interval.
   Gen. Rel. Grav. **56**, 69 (2024).

3. J.F. Barbero G., J. Margalef-Bentabol, A. Vicente-Cano and E.J.S. Villaseñor.
   Dynamical time and Ashtekar variables for the Husain-Kuchar model.
   Physical Review D **110**, 124072 (2024).

4. I. Ben-Dayan, G. Calcagni, M. Gasperini, A. Mazumdar, E. Pavone, U. Thattarampilly, and A. Verma.
   Gravitational-wave background in bouncing models from semi-classical, quantum and string gravity.
   Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **09**, 058 (2024).

5. M. Braglia, …, G. Calcagni, et al. [LISA Cosmology Working Group].
   Gravitational waves from inflation in LISA: reconstruction pipeline and physics interpretation.
   Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **11**, 032 (2024).

6. S. Brahem, D. Missaoui, O. Yazidi, and M.L. Senent
   Theoretical structural and spectroscopic characterization of peroxyacetic acid (CH_3-CO-O-OH). Study of the Far Infrared region.
   Physical Chemistry Chemical Physics, **26**, 12600 (2024).

7. F. Briscese, G. Calcagni, L. Modesto, and G. Nardelli.
   Form factors, spectral and Källén-Lehmann representation in nonlocal quantum gravity.
   Journal of High Energy Physics **08**, 204 (2024).

8. G. Calcagni, M. Frasca, and A. Ghoshal.
Effective potential in non-perturbative gauge theories.
International Journal of Modern Physics D **33**, 2350111 (2024).

9. G. Calcagni and L. Modesto.
Path integral and conformal instability in nonlocal quantum gravity.
Journal of High Energy Physics **07**, 277 (2024).

10. G. Calcagni and L. Modesto.
Testing quantum gravity with primordial gravitational waves.
Journal of High Energy Physics **12**, 024 (2024).

11. S. Chawananon, M. Goubet, R. Georges, A. Roucou, I. Hadj Said, M.L. Senent, A. Cuisset, and P. Asselin.
High resolution Far-Infrared synchrotron spectroscopy of 2-furfural conformers.
The Journal of Chemical Physics, **161**, 014308 (2024).

12. Á.L. Corps, A. Relaño, and J.C. Halimeh.
Unifying finite-temperature dynamical and excited-state quantum phase transitions.
Physical Review Research **6**, 043080 (2024).

13. Á.L. Corps, and A. Relaño.
General theory for discrete symmetry-breaking equilibrium states in quantum systems.
Physical Review E **110**, 034137 (2024).

14. Á.L. Corps, J. Dukelsky, and A. Relaño.
Constants of motion characterizing continuous symmetry-broken phases.
Physical Review E **109**, 064102 (2024).

15. J. Cortez, G.A. Mena Marugán, A. Torres-Caballeros and J.M. Velhinho.
Time-Dependent Scalings and Fock Quantization of a Massless Scalar Field in Kantowski-Sachs.
Classical & Quantum Gravity **41**, 195002 (2024).

16. E. Garrido and A.S. Jensen.
Confinement of N-body systems and non-integer dimensions.
Few-body Systems **65**, 35 (2024).

17. E. Garrido, A. Kievsky, M. Gattobigio, M. Viviani, L.E. Marcucci, R. del Grande, L. Fabbietti, and D. Melnichenko.
nΛ and ppΛ correlation functions.
Physical Review C **110**, 054004 (2024).

18. A. Kievsky, E. Garrido, M. Viviani, L.E. Marcucci, L. Serksnyte, and R. del Grande.
nnn and ppp correlation functions.
Physical Review C **109**, 034006 (2024).

19. A. Kievsky, E. Garrido, M. Viviani, and M. Gattobigio.

The ppp correlation function with a screened Coulomb potential.
Few-body Systems **65**, 23 (2024).

20. M. Kowalczyk and G.A. Mena Marugán.
Choice of Vacuum State and the Relation between Inflationary and Planck Scales.
Physical Review D **110**, 103502 (2024).

21. G.A. Mena Marugán and A. Mínguez-Sánchez.
Axial Perturbations in Kantowski-Sachs Spacetimes and Hybrid Quantum Cosmology.
Physical Review D **109**, 106009 (2024).

22. G.A. Mena Marugán, A. Vicente-Becerril, and J. Yébana Carrilero.
Comparing Analytic and Numerical Study of Tensor Perturbations in Loop Quantum Cosmology.
Universe **10**, 090365 (2024).

23. G.A. Mena Marugán, A. Vicente-Becerril, and J. Yébana Carrilero.
Analytic and Numerical Study of Scalar Perturbations in Loop Quantum Cosmology.
Physical Review D **110**, 043508 (2024).

24. D. Missaoui, S. Brahem, F. Najar, O. Yazidi, and M. L. Senent.
Ab initio study of the large amplitude motions of methoxy-methanol (CH_3-O-CH_2OH).
ACS Earth and Space Chemistry, **8**, 1236 (2024).

25. L. Modesto and G. Calcagni.
Early universe in quantum gravity.
Journal of High Energy Physics **08**, 194 (2024).

26. M.G. Olmos, Y. Baba, M. Amado, and R.A. Molina.
Zero momentum topological insulator in 2D semi-Dirac materials.
Journal of Physics: Materials **7**, 045008 (2024).

27. S. Pinto, R.A. Molina, and P.A. Orellana.
Bound states in the continuum in asymmetric crossbar junctions in one-dimensional waveguides.
Physical Review A **110**, 013501 (2024).

28. M. Salah, K. Marachi, N. Komiha, and M.L. Senent.
Theoretical spectroscopic study of isopropyl alcohol (CH_3-CHOH-CH_3).
Astrophysical Journal, **963**, 143 (2024).

29. J. Salvador-Sánchez, L.M. Canonico, A. Pérez-Rodríguez, T. P. Cysne, Y. Baba, V. Clericò, M. Vila, D. Vaquero, J.A. Delgado-Notario, J.M. Caridad, K. Watanabe, T. Taniguchi, R.A. Molina, F. Domínguez-Adame, S. Roche, E. Diez, T. G. Rappoport, and M. Amado.
Generation and control of nonlocal chiral currents in graphene superlattices by orbital Hall effect.
Physical Review Research **6**, 023212 (2024).

30. M. Sánchez Sánchez, I. Díaz, J. González, and T. Stauber.
Nematic versus Kekulé phases in twisted bilayer graphene under hydrostatic pressure.
Physical Review Letters **133**, 266603 (2024).

31. P. Sarriguren
Elastic electron scattering from deformed and oriented odd-A nuclei.
Physical Review C **109**, 024312 (2024).

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS

NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY

1. I.B. Becerril-Castro, M.C. Turino, N. Pazos-Perez, X. Xiaofei, T. Levato, S.A. Maier, R. Alvarez-Puebla, V. Giannini.
Wet Chemical Engineering of Nanostructured GRIN Lenses.
Adv. Opt. Mat. **12**, 2400485 (2024).

2. Á. Buendía, J.A. Sánchez-Gil, V Giannini, W.L. Barnes, M.S. Rider.
Long-range molecular energy transfer mediated by strong coupling to plasmonic topological edge states.
Nanophotonics **13**, 4555–4568 (2024).

3. C. Cabrillo, R. Fernández-Perea, F.J. Bermejo, C. Mondelli, M.A. González, F. Fernández-Alonso, E. Enciso, M. L. Saboungi.
Large hysteretic hydrogen adsorption in Double Wall Carbon Nanotubes bundles
Carbon **219**, 118766 (2024).

4. M. Liang, L.C. Andreani, A.M. Berghuis, J.L. Pura, S. Murai, H. Dong, J.A. Sánchez-Gil, J. Gómez Rivas.
Tailoring directional chiral emission from molecules coupled to extrinsic chiral quasi-bound states in the continuum.
Photonics Research **12**, 2462-2473 (2024).

5. J.L. Pura, B. Castillo López de Larrinzar, M. Liang, J. Gómez Rivas, J.A. Sánchez-Gil.
Superchiral Light Emerging from Bound States in the Continuum in Metasurfaces of Si Nanorod Dimers.
ACS Photonics **11**, 4090−4100 (2024).
6. G. Terrones-Morey, X. Xiao, V. Giannini, A. Fragoso, L. Guerrini, N. Pazos-Perez.
Comparative SERS Activity of Homometallic and Bimetallic Core–Satellite Assemblies.
Nanomaterials **14**, 1506 (2024).

7. R.J.G. Rubira, L.N. Furini, M.E. Tuttolomondo, C.J.L. Constantino, S. Sanchez-Cortes.
Advancing on ametrine pesticide detection through surface-enhanced Raman spectroscopy and Ag colloid: Understanding the pH effect and the adsorption mechanism supported by theoretical calculation.
J. Raman Spectrosc. 55, 1044-1056 (2024).

8. L. Maestro-Guijarro, S. Martínez-Ramírez, S. Sanchez-Cortes, J.F. Marco, J. de la Figuera, M. Castillejo, M. Oujja, P.M. Carmona-Quiroga.
Assessment of silver-based calcium silicate hydrate as a novel SERS sensor.
Appl. Surf. Sci. 662, 160107 (2024).

9. O. Douass, B. Samoudi, S. Sanchez-Cortes.
Sensitive Detection of Fungicide Folpet by Surface-Enhanced Raman Scattering: Experimental and Theoretical Approach.
Chemosensors. 12, 176(2024).

10. Z. Jurašeková, A. Crespo, S. Sanchez-Cortes.
Surface-Enhanced Raman Scattering Analysis of Iron Gall Inks.
J. Phys. Chem. C. 128, 17492-17502 (2024).

11. B. Hernández, Y.M. Coïc, S.G. Kruglik, S. Sanchez-Cortes, M. Ghomi.
The relationship between the tyrosine residue 850–830 cm^{-1} Raman doublet intensity ratio and the aromatic side chain χ1 torsion angle.
Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc. 308, 123681 (2024).

12. O. Douass, M.M. Al-Mogren, M. Touil, S. Dalbouha, M. Belmouden, B. Samoudi, S. Sanchez-Cortes. *Integrating molecular modeling methods to study the interaction between Azinphos-methyl and gold nanomaterials for environmental applications.*
AIMS Environ. Sci. 11, 776–796 (2024).

13. B. Hernández, Y.M. Coïc, S.G. Kruglik, S. Sanchez-Cortes, M. Ghomi.
Relationships between conformational and vibrational features of tryptophan characteristic Raman markers.
Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc. 316, 124377 (2024).

14. F.B. Fuenzalida, P. Slepcíková, M. Repovská, A. Jutková, M. Vega Cañamares, P. Miskovský, Z. Juraseková, S. Sanchez-Cortes.
Selective and ultrasensitive detection of the herbicide glyphosate by means of plasmon catalysis on Ag nanoparticles.
Spectrochim. Acta. A. Mol. Biomol. Spectrosc. 323, 124845 (2024).

15. M.J. S Oliveira, I. Bianchi-Carvalho, R.J. G Rubira, S. Sánchez-Cortés, C.J. L Constantino.
Plasmonic Ag Nanoparticles: Correlating Nanofabrication and Aggregation for SERS Detection of Thiabendazole Pesticide.
ACS Omega 9, 42571-42581 (2024).

16. B. Hernández, Y.M. Coïc, S.G. Kruglik, S. Sanchez-Cortes, M. Ghomi.
Conformation Dependence of Phenylalanine Characteristic Raman Markers.
J. Raman Spectrosc. 0, 1–16 (2024).

17. S. Escrig, C. Rappold, J. Bernabeu, J. Herranz, C. Lacasta Llacer, A. Navarrete, C. Solaz Contell, V. Drodz, H. Ekawa, D. Fernández Ruiz, Y. Gao, M.J. García Borge, V. García Távora, Y. He, S. Horta Muñoz, A. Kasagi and Rikkyo U., E. Liu, N. Maldonado Gavilán, S. Minami, M. Nakagawa, A. Nerio Aguirre, Á. Perea Martínez, T.R. Saito, J. Sánchez-Prieto, R. Sekiya, M.C. Serna Moreno, Y.K. Tanaka, O. Tengblad, S. Viñals Onsès, H. Wang, A. Yanai.
First test of energy response of the micro-vertex detection system for the WASA-FRS Experiment.
Nucl. Instrum. Meth. A 1064 169392 (2024).

18. E. Liu, V. Drozd, H. Ekawa, S. Escrig, Y. Gao, Y. He, A. Kasagi, M. Nakagawa, H. Ong, C. Rappold, R. Sekiya, T.R. Saito, X. Tang, Y.K. Tanaka, H. Wang, A. Yanai, P. Achenbach, H. Alibrahim Alfaki, F. Amjad, … V. Serdyuk, M. Skurzok, B. Streicher, K. Suzuki, B. Szczepanczyk, N. Tortorelli, M. Vencelj, T. Weber, H. Weick, M. Will, K. Wimmer, A. Yamamoto, J. Yoshida, J. Zhao.
HypHI experiment, A compact start time counter using plastic scintillators readout with MPPC arrays for the WASA-FRS
Nucl. Instrum. Meth. A 1064 169384 (2024).

19. R. Sekiya, K. Itahashi, Y.K. Tanaka, H. Alibrahim, Alfaki, F. Amjad, M. Armstrong, K.H. Behr, J. Benlliure, … D.J. Morrissey, P. Moskal, I. Mukha, M. Nakagawa, M. Nanova, C. Nociforo, H.J. Ong, S. Pietri, S. Purushothaman, C. Rappold, E. Rocco, … H. Weick, M. Will, K. Wimmer, .. A. Yanai, J. Zhao.
Search for η'-mesic nuclei in 1212C(p, dp) reaction with the WASA detector at GSI-FRS.
Nuovo Cim.C 47 4, 230 (2024).

20. S. Escrig for the WASA-FRS/Super-FRS Experiment Collaboration.
Status of the WASA-FRS HypHI Experiment: Study of Light Hypernuclei at GSI-FAIR.
Acta Phys. Pol. B Proc. Suppl. 17, 3-A19 (2024).

21. Z. Yue a,∗, A. N. Andreyev, … M. J. G. Borge i, D. Brugnaraf, .. B. Olaizol … O. Tengblad.
Magnetic moments of thallium isotopes in the vicinity of magic N = 126.
Physics Letters B 849 (2024) 138452.

22. Wamers, C. Lehr, … M. J. G. Borge, .. A. Perea, .. O. Tengblad.
New insight into knockout reactions from the two-proton halo nucleus 17Ne
Phys. Rev. C 109, 054602.

23. F. Sk M. Ali, D. Gupta, K. Kundalia, S. Maity, Swapan K. Saha, O. Tengblad, J.D. Ovejas , A. Perea , I. Martel, J. Cederkall, J. Park, A.M. Moro.
Study of the 7Be(d,3He)6Li reaction at 5 MeV/u.*
Physics Letters B 853 (2024)

24. R. Spartà, A. DiPietro, P. Figuera, O. Tengblad, A. M. Moro, J. Lei, I. Martel, J. P. Fernandez Garcia, L. Acosta, M. J. G. Borge, J. Cederkäll, T. Davinson, B. Diana, J. Diaz Ovejas, L. M. Fraile, D. Galaviz, J. Halkjaer Jensen, B. Jonson, M. La Cognata, M. Lattuada, A. Perea, A. M. Sanchez Benitez, N. Soic, S. Viñal Onses.
8B reaction dynamics researched at HIE-ISOLDE-
Il Nuovo Cimento 47 C (2024).

25. K. Blaum and M. J. G. Borge.

Precision nuclear physics experiments and theory.
Eur. Phys. J. A (2024) 60:94.

26. L Ponnath a 1, T. Aumann …. M.J.G. Borge … O. Tengblad, .. for R3B Collaboration.
Measurement of nuclear interaction cross sections towards neutron-skin thickness.
Physics Letters B855 (2024) 138780.

27. V.G. Távora , J.D. Ovejas , I. Martel, N. Keeley, L. Acosta, M.J.G. Borge , O. Tengblad , … T. Kurtukian-Nieto a, M. Madurga o, G…., A. Perea a, T. Pérez-Alvarez b, R. Raabe e, M. Renaud e, K. Riisager j, K. Rusek q, A.M. Sánchez-Benítez r, J. Sánchez-Segovia b, P. Teubig k, S. Viñals, …
Strong coupling effects on near-barrier 15C + 208Pb elastic scattering.
Physics Letters B 855 (2024) 138770.

28. J. Benito , L. M. Fraile, A. Korgul, … M. J. G. Borge, M. Carmona, .. A. Perea, V. Pucknell,… O. Tengblad.
Detailed structure of 131 Sn populated in the β decay of isomerically purified 131 In states.
Phys. Rev. C 110, 014328 (2024).

29. E. Nácher , J. A. Briz A. N. Nerio, A. Perea, V. G. Távora, O. Tengblad, M. Ciemala, N. Cieplicka-Orynczak, A. Maj, K. Mazurek, P. Olko, M. Zieblinski, M. J. G. Borge
Characterization of a novel proton-CT scanner based on Silicon and LaBr3 (Ce) detectors,
Eur. Phys. J. Plus 139:404 (2024).

30. Z. Y. Xu , R. Grzywacz , A. Gottardo , M. Madurga , I. M. Alonso, A. N. Andreyev , G. Benzoni, M. J. G. Borge , T. Cap, C. Costache, H. De Witte, B. I. Dimitrov, J. E. Escher , A., .. A. Perea, .. O. Tengblad.
Compound-Nucleus and Doorway-State Decays of β-Delayed Neutron Emitters 51;52;53K.
Phys. Rev. Lett. 133, 042501 (2024).

31. B. Andel , A. N. Andreyev, A. Blazhev , R. Lica , …, M. J. G. Borge , .., A. Perea, .. O. Tengblad.
B-decay of the ground state and of a low-lying isomer in 216Bi,
Phys. Rev. C 109, 064321 (2024).

32. , E. A. M. Jensen, S. T. Nielsen, A. Andreyev, M. J. G. Borge, J. Cederkäll, L. M. Fraile, H. O. U. Fynbo , L. J. Harkness-Brennan, B. Jonson , D. S. Judson, O. S. Kirsebom , R. Lica , M. V. Lund, M. Madurga, N. Marginean , C. Mihai , R. D. Page, A. Perea, K. Riisager, O. Tengblad.
Detailed study of the decay of 21 Mg.
Eur. Phys. J. A 60, 153 (2024).

33. R. S. Lubna , A. B. Garnsworthy, Vandana Tripathi, G. C. Ball, C. R. Natzke, M. Rocchini, C. Andreoiu, S. Bhattacharjee, I. Dillmann, F. H. Garcia, S. A. Gillespie, G. Hackman, C. Griffin, G. Leckenby, T. Miyagi, B. Olaizola, C. Porzio, M. M. Rajabali, Y. Saito, P. Spagnoletti, S. L. Tabor, 3 R. Umashankar, V. Vedia, A. Volya, J. Williams.
Cross-shell excited configurations in the structure of 34 Si.
Phys. Rev. C 109, 014309 (2024).

34. Z. Yue A. E. Barzakh , A. N. Andreyev , .. M. J. G. Borge , D. Brugnara , .. O. Tengblad, .. N. Warr, W. Wojtaczka,
Charge radii of thallium isotopes near the N = 126 shell closure,
Phys. Rev. C 110, 034315 (2024).

35. Ludovic Mathieu, Mourad Aïche, Paola Marini, Olivier Bouland, Carole Chatel, Serge Czajkowski, Deby Kattikat-Melcom, Teresa Kurtukian Nieto, Stephan Oberstedt and Igor Tsekhanovich,
Measurement of 242Pu(n,f) in the 1-2 MeV energy range,
EPJ Web of Conf., 294, 01006 (2024).

36. A. Spatafora, F. Cappuzzello, D. Carbone, M. Cavallaro, G. De Gregorio, J. A. Lay, L. Acosta, C. Agodi, P. Amador-Valenzuela, J. I. Bellone, et. al.,
Multichannel experimental and theoretical approach to the $^{12}C(^{18}O,^{18}F)^{12}B$ single-charge-exchange reaction at 275 MeV. II. Competition between the meson exchange and the sequential transfer in the reaction mechanism.
Physical Review C 110, 064612 (2024).

37. G. Cardella, N.S. Martorana, L. Acosta, G. D'Agata, E. De Filippo, E. Geraci, B. Gnoffo, C. Guazzoni, C. Maiolino, A. Pagano et. al.,
Pixelation method for the FARCOS array.
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 1069 169961 (2024).

38. S. Sandoval-Hipólito, E. Andrade, C. Esquivel-Carrillo, A. Huerta, L. Acosta, D.J. Marín-Lámbarri, J. Mas-Ruiz, G. Reza, M. Rodríguez-Ceja, C. Solís, A.O. Valdéz-Guerrero, E. Chávez
Isotopically selected implanted targets for nuclear reaction studies.
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 555 165485 (2024).

39. D. Kostyleva, X.-D. Xu, I. Mukha, L. Acosta, M. Bajzek, E. Casarejos, A.A. Ciemny, D. Cortina-Gil, W. Dominik, J.A. Dueñas, J. M. Espino, et. al.,
"*Observation and spectroscopy of the proton-unbound nucleus ^{21}Al*"
Physical Review C 110, L031301 (2024).

40. Karen De Los Ríos, Paulina Ordoñez, Gabriele P. Stiller, Piera Raspollini, Marco Gai, Kaley A. Walker, Cristina Peña-Ortiz, and Luis Acosta
"*Comparison of the H2O, HDO and δD stratospheric climatologies between the MIPAS-ESA V8, MIPAS-IMK V5 and ACE-FTS V4.1/4.2 satellite datasets*"
Atmospheric Measurement Techniques 17, 3401–3418, (2024).

41. K. Palli, A. Pakou, P. D. O'Malley, L. Acosta, A. M. Sánchez-Benítez, G. Souliotis, A. M. Moro, E. F. Aguilera, E. Andrade, D. Godos, et. al.,
"*Elastic scattering of $^{8}B+^{nat}Zr$ at the sub-barrier energy of 26.5 MeV*"
Physical Review C 109, 064614 (2024).

42. I. Ciraldo, F. Cappuzzello, M. Cavallaro, D. Carbone, A. Gargano, G. De Gregorio, H. Garcia-Tecocoatzi, E. Santopinto, R. I. Magaña-Vsevolodovna, L. Acosta, et. al.,

"*Analysis of one-proton transfer reaction in $^{18}O+^{76}Se$ collisions at 275 MeV*"
Physical Review C 109, 024615 (2024).

43. Rebeka Sultana Lubna, AB Garnsworthy, Vandana Tripathi, GC Ball, CR Natzke, M Rocchini, C Andreoiu, SS Bhattacharjee, I Dillmann, FH Garcia, SA Gillespie, G Hackman, CJ Griffin, G Leckenby, T Miyagi, B Olaizola, C Porzio, MM Rajabali, Y Saito, P Spagnoletti, SL Tabor, R Umashankar, V Vedia, A Volya, J Williams, D Yates.
Cross-shell excited configurations in the structure of ^{34} Si.
Physical Review C 109, 014309 (2024).

44. M Llanos-Expósito, LM Fraile, J Benito, J Acosta, A Algora, B Andel, AN Andreyev, S Antalic, RA Bark, C Bernerd, N Bernier, B Bhengu, D Bittner, MJG Borge, JA Briz, K Chrysalidis, TE Cocolios, C Costache, JG Cubiss, H De Witte, N Encina, A Esmaylzadeh, Z Favier, D Fernández, C Ferrera, HOU Fynbo, V García-Távora, G Georgiev, M Górska, R Heinke, JL Herraiz, A Illana, P Jones, DS Judson, A Jungclaus, M Karny, A Korgul, U Köster, Th Kröll, M Labiche, S Lalkovski, B Lesch, M Ley, R Lică, M Madurga, N Mărginean, BA Marsh, K Miernik, C Mihai, M Mikolajczuk, J Mišt, JR Murias, E Nácher, C Neacsu, VM Nouvilas, S Ntshangase, B Olaizola, JN Orce, C Page, J Pakarinen, P Papadakis, A Perea, M Piersa-Siłkowska, Zs Podolyak, J Rog, S Rothe, B Rozwoda, V Sánchez-Tembleque, K Solak, S Stegemann, M Stepaniuk, A Stoica, M Stryjczyk, O Tengblad, A Turturica, G Turturica, JM Udías, S Ujeniuc, P Van Duppen, M von Tresckow, I Vasilev, N Warr, Z Yue, S Zajda.
Fast-timing Investigation of A= 128 Isobars Populated in the β-decay of 128Cd.
Acta Physica Polonica B 17, 3-A7 (2024).

45. Z. Yue A. E. Barzakh , A. N. Andreyev , I. N. Borzov , J. G. Cubiss , A. Algora, M. Au , M. Balogh, S. Bara, R. A. Bark, C. Bernerd, M. J. G. Borge, D. Brugnara , K. Chrysalidis, T. E. Cocolios,6 H. De Witte, Z. Favier, L. M. Fraile , H. O. U. Fynbo, A. Gottardo, R. Grzywacz, R. Heinke, A. Illana , P. M. Jones, D. S. Judson, A. Korgul, U. Köster, M. Labiche, L. Le, R. Liˇca, M. Madurga, N. Marginean, B. A. Marsh, C. Mihai, E. Nácher, C. Neacsu, C. Nita, B. Olaizola J. N. Orce, C. A. A. Page , R. D. Page , J. Pakarinen, P. Papadakis, A. Perea, M. Piersa-Siłkowska, Zs. Podolyák , E. Reis, S. Rothe, M. Sedlak, C. Sotty, S. Stegemann, O. Tengblad, S. V. Tolokonnikov, J. M. Udías, P. Van Duppen, N. Warr, W. Wojtaczka.
Charge radii of thallium isotopes near the N = 126 shell closure.
Phys. Rev. C 110, 034315 (2024),

46. R. Magro Hernández, A. Muñoz-Noval, J. A. Briz, J. R. Murias, A. Espinosa-Rodríguez,e L. M. Fraile, F. Agulló-Rueda, M. D. Ynsa, C. Tavares de Sousa, B. Cortés-Llanos, G. García López, E. Nácher, V. García-Tavora, N. Mont i Geli,i A. Nerio, V. V. Onecha, M. Pallàs, A. Tarifeño, O. Tengblad, M. Manso Silván, S. Viñals,
Iodine-substituted hydroxyapatite nanoparticles and activation of derived ceramics for range verification in proton therapy,
J. Mater. Chem. B, 2024,12, 12030-12037 (2024).

47. C. Clisu, A. N. Andreyev, C. R. Nita , R. Lica, H. Naïdja, B. Andel, S. Antalic, T. A. Berry, M. J. G. Borge, T. E. Cocolios, C. Costache, J. G. Cubiss H. De Witte, L. M. Fraile, H. Fynbo, V. M. Gadelshin, C. Granados, P. Greenlees, R. Heinke, M. Huyse, I. Lazarus, D. Leimbach, N. Marginean, R. Marginean, B. A. Marsh, C. Mihai, P. Mosat, E. Nacher, A. Negret, J. D. Ovejas, R. D. Page, S. Pascu, A.

Perea, P. Rahkila, K. Rezynkina, R. E. Rossel, C. O. Sotty, L. Stan, D. Studer, O. Tengblad, P. Van Duppen, V. Vedia, and N. Warr.
Observation of the J≤7/2 low-spin states in Fr 213 populated in the electron capture of the 1/2- ground state of Ra 213
Physical Review C, 110(6), 064315 (2024).

48. A. Jungclaus, M. Górska, M. Mikolajczuk, J. Acosta et al.
Excited-state half-lives in ^{130}Cd and the isospin dependence of effective charges
Physical Review Letters 132, 222501 (2024).

49. Jungclaus, P. Doornenbal, J. Acosta et al.
Position of the single-particle 3/2$^-$ state in ^{135}Sn and the N=90 subshell closure
Physical Review Letters 132, 222501 (2024).

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

1. C. Adjal, N. Guechtouli, V. Timón, F. Colmenero, D. Hammoutène.
Theoretical Study of Copper Squarate as a Promising Adsorbent for Small Gases Pollutants.
Molecules, 29(13), 3140 (2024).

2. C. Álvarez, G. Tejeda, J. M. Fernández.
Experimental Polarizability Transition Moments of CO_2 for Excited Vibrational States.
Molecules. 29, 5103-5103 (2024). DOI: 10.3390/molecules29215103

3. C. Álvarez; G. Tejeda, J. M. Fernández.
Laboratory study of rotationally inelastic collisions of CO_2 at low temperatures.
Journal of Chemical Physics. 160, 164307 (2024). DOI: 10.1063/5.0202588

4. E. Dartois , J. A. Noble , P. Caselli , H. J. Fraser , I. Jiménez-Serra , B. Maté , M. K. McClure, G. J. Melnick, Y. J. Pendleton , T. Shimonishi, Z. L. Smith, J. A. Sturm , A. Taillard , V. Wakelam, A. C. A. Boogert , M. N. Drozdovskaya , J. Erkal , D. Harsono , V. J. Herrero, S. Ioppolo , H. Linnartz , B. A. McGuire , G. Perotti , D. Qasim, W. R. M. Rocha.
Spectroscopic sizing of interstellar icy grains with JWST.
Nat Astron **8**, 359–367 (2024). https://doi.org/10.1038/s41550-023-02155-x

5. José Luis Doménech, Weslley G. D. P. Silva, Ernest A. Michael, Stephan Schlemmer, Oskar Asvany.
High Resolution Rovibrational Spectroscopy of the ν_6 and $\nu_3 + \nu_7$ Bands of H_2CCCH^+.
J. Phys. Chem. A 128, (48) 10322–10327 (2024). DOI 10.1021/acs.jpca.4c03628

6. Juan Carlos Gómez Martín, Olga Muñoz, Belén Maté, Julia Martikainen, Miguel Jiménez-Redondo, Daniel Guirado, Víctor J. Herrero, Isabel Tanarro, Marco Peiteado, Ramón J. Peláez, Teresa Jardiel.

Experimental Phase Function and Degree of Linear Polarization of Light Scattered by Hydrogenated Amorphous Carbon Circumstellar Dust Analogs.
The Astrophysical Journal Supplement Series, 270:2 (16pp), 2024. **DOI** 10.3847/1538-4365/ad0379. *Erratum: 271:2* DOI 10.3847/1538-4365/ad3335.

7. Miguel Jiménez-Redondo, Isabel Tanarro, Victor J. Herrero.
Corrigendum: Time evolution of neutral and charged species in Ar/C_2H_2 capacitively-coupled RF discharges
Plasma Sources Sci. Technol. 31, 065003 (16pp) (2024) DOI 10.1088/1361-6595/ad36de

8. T. Le, J.L. Doménech, N.H. Ngo, H. Tran.
Spectral profile of ro-vibrational transitions of HCl broadened by He, Ar and SF_6: Testing the β-correction to the Hartmann-Tran profile and the speed dependent (complex) hard collision model.
J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transf. 320, 108977 (2024). DOI 10.1016/j.jqsrt.2024.108977

9. Belén Maté, Isabel Tanarro, Ramón J. Peláez, José Cernicharo, Victor Herrero.
Indene energetic processing in ice mantles in the interstellar medium
A&A, 682, A158 (2024) https://doi.org/10.1051/0004-6361/202347889

10. E. Nieto-Pinero, S. Negrete-Aragón, I. Muñoz-Ochando, M. Vondracek, B. Galiana, R. J. Peláez, B. Maté, S. Lopez-Andrés, R. Serna,
Building nanoplatelet α-MoO_3 films: A high quality crystal anisotropic 2D material for integration.
Applied Surface Science, 672 (2024) 160871. DOI: 10.1016/j.apsusc.2024.160871

11. J. A. Noble, H. J. Fraser, Z. L. Smith, E. Dartois, A. C. A. Boogert, H. M. Cuppen, H. J. Dickinson, F. Dulieu , E. Egami, J. Erkal, B. M. Giuliano, B. Husquinet, T. Lamberts, B. Maté, M. K. McClure, M. E. Palumbo, T. Shimonishi, F. Sun, J. B. Bergner, W. A. Brown, P. Caselli, E. Congiu, M. N. Drozdovskaya, V. J. Herrero, S. Ioppolo, I. Jimenez-Serra, H. Linnartz, G. J. Melnick, B. A. McGuire, K. I. Oberg, G. Perotti, D. Qasim, W. R. M. Rocha, R. G. Urso.
Detection of the elusive dangling OH ice features at ~2.7 μm in Chamaeleon I with JWST NIRCam.
Nature Astronomym 8, 1169–1180 (2024). https://doi.org/10.1038/s41550-024-02307-7

12. R. J. Peláez, M. Jiménez-Redondo, B. Maté, V. J. Herrero, I. Tanarro.
Multi-diagnostic of dust growth in a capacitive Ar/C_2H_2 plasma
Plasma Sources Science and Technology, 33(10), 105006. (2024) DOI:c10.1088/1361-6595/ad7c79

13. F. Thibault, D. Paredes-Roibás, A. Viel, R. Z. Martínez.
Measurements and calculations of collisional line parameters for Raman lines of CO perturbed by H_2.
J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer 315, 108874 (2024). DOI: 10.1016/j.jqsrt.2023.108874.

14. Weslley G. D. P. Silva, Divita Gupta, Eline Plaar, José Luis Doménech, Stephan Schlemmer, Oskar Asvany.

High resolution rovibrational and rotational spectroscopy of H_2CCCH^+.
Molecular Physics, 122 (15-16) e2296613 (2024). DOI 10.1080/00268976.2023.2296613

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

1. P. Merino, L. Martínez, G. Santoro, J.I. Martínez, K. Lauawet, M. Accolla, N. Ruíz del Árbol, C. Sánchez-Sánchez, A. Martín-Jiménez, R. Otero, M. Piantek, D. Serrate, J.E. Lebrón-Aguilar, J.E. Quintanilla-López, J. Méndez, P. de Andrés, J.A. Martín-Gago.
   n-Alkanes formed by methyl-methylene addition as a source of meteoritic aliphatics.
   Communications Chemistry 7, 165 (2024).

2. P. Fernández-García, N. Merino, L. González-Rodríguez, M. Martínez, J. del Pozo, Prieto, Blanco, G. Santoro, C. Quintana, M.D. Petit-Domínguez, E. Casero, L. Vázquez, J.I. Martínez, J.A. Martín-Gago.
   Enhanced Electrocatalysis on Copper Nanostructures: role of the Oxidation State in Sulfite Oxidation
   ACS Catalysis. 14, 11522-11531 (2024).

3. P. Posadas, P. Bernal Ortega, M.M. Bernal, A. Nogales, R. Navarro, J. Lopez Valentín
   From nanoscale to macroscale characterization of Sulfur modified-Oxidized Carbon Nanotube in Styrene Butadiene Rubber compounds.
   ACS Omega 9(29): 31669-31683. (2024).

4. J. Möller, A. Schottelius, M. Caresana, U. Boesenberg, C. Kim, F. Dallari, T.A. Ezquerra, J.M. Fernández, L. Gelisio, A. Glaesener, C. Goy, J. Hallmann, A. Kalinin, R.P. Kurta, D. Lapkin, F. Lehmkühler, F. Mambretti, M. Scholz, R. Shayduk, F. Trinter, I.A. Vartaniants, A. Zozulya, D.E. Galli, G. Gruulmbel, A. Madsen, F. Caupin, R.E. Grisenti
   Crystal Nucleation in Supercooled Atomic Liquids.
   Physical Review Letters 2024, 132, 206102.

5. G. Tajuelo-Castilla, J.I. Mendieta-Moreno, M. Accolla, J.M. Sobrado, S. Canola, P. Jelinek, G.J. Ellis, J.A. Martín-Gago, G. Santoro
   Photocleavage of Aliphatic C-C Bonds in the Interstellar Medium.
   The Astrophysical Journal 2024, 95(2) 184.

6. S.K. Drakopoulos, J. Cui, M. Asandules, P.W.M. Blom, A. Nogales, K. Asadi
   Universal Scaling of DC Conductivity with Dielectric Interfacial Polarization in Conjugated Polymers
   Macromolecules 2024, 57(6), 2661-2668.

7. O. Toledano, O. Gálvez, M. Sanz, C. García-Arcos, E. Rebollar, A. Nogales, M.C. García-Gutiérrez, G. Santoro, I. Irska, S. Paszkiewicz, A. Szymczyk, T.A. Ezquerra *Study of the Crystal Structure and Hydrogen Bonding during Cold Crystallization of Poly (trimethylene 2, 5-furandicarboxylate).*
   Macromolecules 57 (5), 2218-2229.

8. R. de Nalda, M.E. Corrales, P. Recio, I.M. Casasús, L. Bañares, T.A. Ezquerra, E. Rebollar.
   Laser-induced periodic surface structures in polymers with tailored laser fields.

Physica Status Solidi A 2024 2300721.

9. F.M. Oliveira, T.A. Ezquerra, Z.Z. Denchev.
Broadband electrical conductivity of metal/carbon nanotubes polyamide 6 composites fabricated by reactive encapsulation.
Journal of Materials Science 59 (4), 1348-1363 (2024).

10. A. Fernández-Tena, M. Fernández, A.J Sandoval, I. Calafel, A. Aguirre, N. Aranburu, G. Guerrica-Echevarria, M. Laura Di Lorenzo, A. Longo, Juan Francisco Vega, Alejandro J Müller
Enhancing melt strength and crystallization kinetics in polylactide: Influence of chain topology
International journal of biological macromolecules **282**, 136783 (2024).

11. E. Franco-Mateos, V. Souza-Egipsy, L. García-Estévez, J. Pérez-García, M. Gion, L. Garrigós, P. Cortez, C. Saavedra, P. Gómez, C. Ortiz, V. L. Cruz, J. Ramos, J. Cortés, J.F. Vega.
Exploring the Combined Action of Adding Pertuzumab to Branded Trastuzumab versus Trastuzumab Biosimilars for Treating HER2+ Breast Cancer.
International Journal of Molecular Sciences **25** (7), 3940 (2024).

12. R. Juan, M. T. Expósito, B. Paredes, D. Lechuga, C. Martínez, A. Cardil, L. Aguilera-Villegas, J. Ramos, C. Domínguez, J. F Vega, R. van Grieken, R.A García-Munoz.
Enhancing the recyclability of ELV plastic bumpers: Characterization of molecular, morphological, rheological, mechanical properties and ageing degradation.
Polymer Degradation and Stability **230**, 111024 (2024).

13. F. Rubio-Senent, A. Bermúdez-Oria, J. Ramos, G. Rodríguez-Gutiérrez, J. Fernández-Bolaños.
Inclusion complex of trans-p-coumaroyl-secologanoside (comselogoside) with β-cyclodextrin. Part I. structural characterization and study of solubilization and stabilization.
Food Hydrocolloids **155**, 110166 (2024).

14. J. Vinueza-Vaca, E. Franco-Mateo, V. Sessini, M.E.G. Mosquera, V. Souza-Egipsy, J. Ramos, J.F. Vega, G. Jiménez, V. Tabernero
Titanium-catalyzed synthesis of polymyrcene and polyanethol and application as sustainable additives for poly (lactic acid).
Polymer **290**, 126494 (2024).

LIBROS, ACTAS Y OTRAS PUBLICACIONES / *BOOKS, PROCEEDINGS AND OTHER PUBLICATIONS*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

A. Bas i Beneito, G. Calcagni and L. Rachwal.
Classical and quantum nonlocal gravity.
In: C. Bambi, L. Modesto and I.L. Shapiro (eds.). *Handbook of Quantum Gravity* (Springer, Singapore, 2024). ISBN 978-981-19-3079-9.

DPTO. DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

1. Fabio Risitano, Brunilde Gnoffo, Marina Trimarchi, Luis Acosta, Giuseppe Cardella, Enrico De Filippo, Daniele Dell'Aquila, Elena Geraci, Ivano Lombardo, Concetta Maiolino, et. al., "*Neutron-rich clustering investigation at LNS with FARCOS detectors*" EPJ Web of Conferences **311**, 00031 (2024).
2. K. Palli, A. Pakou, A. M. Moro, P. D. O' Malley, L. Acosta, A. Sántzez-Bénitez, G. Souliotis, E. F. Aguilera, E. Andrade, D. Godos, et. al., "*Breakup of ^{8}B+^{nat}Zr at the sub-barrier energy of 26.5 MeV*" EPJ Web of Conferences **304**, 03004 (2024).
3. D. Godos, L. Acosta, J. P. Fernández-García, P. O'Malley, A. M. Sánchez-Benítez, A. Di Pietro, A. Tumino, A. Vicente, C. Boomershine, C. Dembski, et. al., "*Experimental study of 6He Coulomb breakup as an indirect measurement of $^{4}He(2n,\gamma)^{6}He$ reaction rate for the astrophysical r-process*" EPJ Web of Conferences **304**, 02003 (2024).
4. Massimo Papa, Concettina Maiolino, Luis Acosta, Giuseppe Cardella, Enrico De Filippo, Elena Geraci, Brunilde Gnoffo, Chiara Guazzoni, Nunzia Martorana, Angelo Pagano, et. al., "*Isospin Dynamics and Dipolar degrees of freedom in Heavy Ion collisions*" EPJ Web of Conferences **301**, 02007 (2024).
5. R. Spartà, A. DiPietro, P. Figuera, O. Tengblad, A. M. Moro, J. Lei, I. Martel, J. P. Fernandez Garcia, L. Acosta, M. J. G. Borge, et. al., "*^{8}B reaction dynamics researched at HIE-ISOLDE*" IL NUOVO CIMENTO **47 C** 34 (2024).
6. F. Risitano, B. Gnoffo, M. Trimarchi, L. Acosta, G. Cardella, E. De Filippo, D. Dell'Aquila, E. Geraci, I. Lombardo, C. Maiolino, et. al., "*^{10}Be clustering states investigation at LNS*" IL NUOVO CIMENTO **47 C** 43 (2024).
7. N. S. Martorana, L. Acosta, C. Altana, A. Amato, G. Cardella, A. Caruso, L. Cosentino, M. Costa, G. D'Agata, E. De Filippo, et. al., "*Latest results on a SiC detector system for RIBs and posible physics cases*" IL NUOVO CIMENTO **47 C** 56 (2024).
8. I. Ciraldo, F. Cappuzzello, M. Cavallaro, D. Carbone, A. Gargano, G. De Gregorio, H. Garcia-Tecocoatzi, E. Santopinto, R. I. Magaña-Vsevolodovna, L. Acosta, et. al., "*Investigation of $^{76}Se(^{18}O, ^{17}O)^{75}Se$ and $^{76}Se(^{18}O, ^{19}F)^{75}As$ transfer reactions at 15 MeV/u in a multi-channel approach within the NUMEN Project*" IL NUOVO CIMENTO **47 C** 28 (2024).
9. C. Zagami, E. V. Pagano, P. Russotto, E. De Filippo, L. Acosta, T. Cap, G. Cardella, F. Fichera, E. Geraci, B. Gnoffo, et. al., "*FARCOS detector in the CHIFAR experiment*" IL NUOVO CIMENTO **47 C** 62 (2024).
10. D. Carbone, C. Agodi, J. I. Bellone, S. Burrello, F. Cappuzzello, M. Cavallaro, M. Colonna, G. De Gregorio, J. L. Ferreira, A. Gargano, …, L. Acosta, et. al., "*Multichannel approach for the analysis of ^{18}O + ^{40}Ca network of nuclear reactions within the NUMEN Project*" IL NUOVO CIMENTO **47 C** 355 (2024).

11. V. Soukeras, F. Cappuzzello, D. Carbone, M. Cavallaro, C. Agodi, L. Acosta, I. Boztosun, G. A. Brischetto, D. Calvo, E. R. Chávez Lomelí, I. Ciraldo, et. al., "*^{20}Ne + ^{130}Te collision in a multi-channel approach: Recent results and experimental challenges towards the NUMEN next phase*" IL NUOVO CIMENTO **47 C** 376 (2024).

Otras Publicaciones

1. Capítulo de Libro: "*Incógnitas recientes de la Física Nuclear Experimental: la dinámica de los núcleos exóticos y el desarrollo tecnológico asociado*". MEMORIAS DE LA XXX ESCUELA DE VERANO EN FÍSICA JUNIO 19 - 30, 2023. Editores: José Récamier Rocío Jáuregui. universidad nacional autonoma de méxico (2024) ISSN: 2594-2697.

BASES DE DATOS Y CÓDIGOS INFORMÁTICOS DE ACCESO ABIERTO/ *OPEN ACCESS DATA BASES AND COMPUTER CODES*

DPTO. DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

1. C. Rappold, E. Escrig, H. Ekawa, Y. Gao for WASA-FRS collaboration, analysis code https://doi.org/10.5281/zenodo.14849762 (2024)

2. C. Rappold, E. Escrig, H. Ekawa, Y. Gao, for the WASA-FRS collaboration, simulation code, https://doi.org/10.5281/zenodo.14849959 (2024)

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

1. https://doi.org/10.5281/zenodo.10953349 : Experimental data for the article "High Resolution Rovibrational Spectroscopy of the ν_6 and $\nu_3+\nu_7$ Bands of H_2CCCH^+"
2. https://doi.org/10.5281/zenodo.10853655 : Experimental absorption spectra used in "Spectral profile of ro-vibrational transitions of HCl broadened by He, Ar and SF_6: testing the β-correction to the Hartmann-Tran profile and the speed dependent (complex) hard collision model"

TESIS DOCTORALES / *Ph.D. Theses*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Title: Chaos and thermalization in collective and strongly correlated quantum systems.

University: Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.

Date: 28 October 2024.

Mark: Sobresaliente “cum laude”.

Candidate: Ángel López Corps.

Supervisor: Rafael Alejandro Molina Fernández and Armando Relaño Pérez.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Title: Topological Nanophotonics: Symmetry-protected states of arrays of plasmonic nanoparticles.

University: Dpto. de Física Teórica de la Materia Condensada, Universidad Autónoma de Madrid.

Date: 12 December 2024.

Mark: Sobresaliente “cum laude”.

Candidate: Álvaro Buendía Gallego.

Supervisor: José A. Sánchez-Gil and Vincenzo Giannini.

Title: "Estudio de las concentraciones de H2O, HDO Y δD en la estratósfera a partir de la comparativa de bases de datos provenientes de los instrumentos satelitales MIPAS y ACE-FTS".

University: Doctorado en Ciencias de la Tierra, UNAM.

Date: 12 September 2024

Mark: APROBADO

Candidate: Karen Patricia Gaitán de los Ríos

Supervisor: L. Acosta

DPTO. DEFÍSCA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Title: “Medida de Perfiles de Líneas Espectrales mediante Espectroscopía Raman de Alta Resolución: Ensanchamientos Colisionales en Mezclas de CO”

Type: Ph. D. thesis.

University: Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

Date: 2nd February 2024.

Mark: Sobresaliente cum laude.

Candidate: Denís Paredes Roibás.

Supervisor: Raúl Z. Martínez Torres.

.

TRABAJOS DE MÁSTER, GRADO Y OTRAS TITULACIONES
Master, Grade and other Degrees Theses

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Title: The Vacuum State of Primordial Perturbations in Loop Quantum Cosmology: Analytical Approximations with Inflationary Potential.

Type: Master thesis

University: Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.

Date: 10 September 2024.

Mark: Sobresaliente.

Candidate: Pablo Santo-Tomás Ros.

Supervisor: Guillermo Antonio Mena Marugán.

DPTO. DE ESPECTROSCOPIA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Title: Computation of Optical Properties of Metasurfaces in the Terahertz Regime.

Type: Bachelor thesis

University: Escuela de Ingeniería Física, Universidad Carlos III de Madrid.

Date: 8 March 2024.

Mark: 9.9.

Candidate: Lucía Hidalgo Areteaga.

Supervisor: José A. Sánchez-Gil.

Title: "Determinación del rango de un haz de protones a energías relevantes para protonterapia mediante la detección de radiación gamma secundaria / Proton beam range determination at relevant energies for proton therapy by detecting secondary gamma radiation"

Type: Master

University:. Universidad Complutense de Madrid

Candidate:. TFM Juan Francisco González Linares

Supervisor:María José García Borge y José Antonio Briz Monago (UCM)

Title: ¨Pruebas y optimización de sistema experimental para verificación de rango en protonterapia¨

Type: Master

University:. Universidad de Granada

Candidate: TFM Carlota Miranda Junco 2024

Supervisor: Jose Antonio Briz Monago (UCM), Antonio Miguel Lallena Rojo (UG) y Olof Tengblad (IEM)

Title: “Estudio de viabilidad de la creación de una línea de irradiaciónvertical en CMAM / Study of the viability of creating a vertical irradiation line at CMAM”

Type: Master

University: Universidad Complutense de Madrid

Candidate: TFM Javier Luis Correa Laorden

Supervisor: T.Kurtukian Nieto, G.García López (CMAM-UAM), Da.Sánchez Parcerisa (UCM)

Title: “Desintegración beta del 95Rb al 95Sr medida en IDS”

Type: Master

University:. Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid.

Candidate: TFM Miguel Gonzalez de Pablo 2024

Supervisor: B. Olaizola, A. Illana (UCM)

Title: “Evaluación del comportamiento de detectores delgados de silicio ante su interacción con un blanco en chorro supersónico”

Type: Grade

University:. Licenciatura en Física, Facultad de Ciencias, UNAM

Date: 28 october 2024

Mark:. APROBADO

Candidate: TFG Montserrat Fabiola Silva García

Supervisor: L. Acosta

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Title: **Películas delgadas de seda regenerada con aplicaciones en nanotecnología.**
Type: **Grade Thesis**
University: Universidad Europea de Madrid
Date: 25th June 2024
Mark: Sobresaliente
Candidate: **Alejandro Alegre Peñalva**
Supervisor: **Mari Cruz García Gutiérrez**

Title: **Study of a novel polysaccharide obtained via bacterial synthesis with potential biomedical applications.**
Type: **Grade Thesis**
University: Universidad Rey Juan Carlos.
Date: 1st June 2024
Mark: Sobresaliente.
Candidate: **Lola Aguilera Villegas.**
Supervisor: **Juan Francisco Vega Borrego.**

CAPÍTULO 7 – TABLAS Y DATOS

CHAPTER 7 – TABLES AND DATA

INDICADORES DE PUBLICACIONES Y FORMACIÓN / *PUBLICATIONS AND TRAINING INDICATORS*

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Number of ISI publications	146	156	156	134	88	96	109
Number of non-ISI publications	2	3	3	0	8	10	13
Total stock of PhD fellowships and contracts	17	19	19	19	15	22	30
Number of PhD Theses defended	4	3	3	4	2	6	4

RESUMEN DE PUBLICACIONES EN REVISTAS JCR-ISI / *SUMMARY OF PUBLICATIONS IN JCR-ISI-JOURNALS*

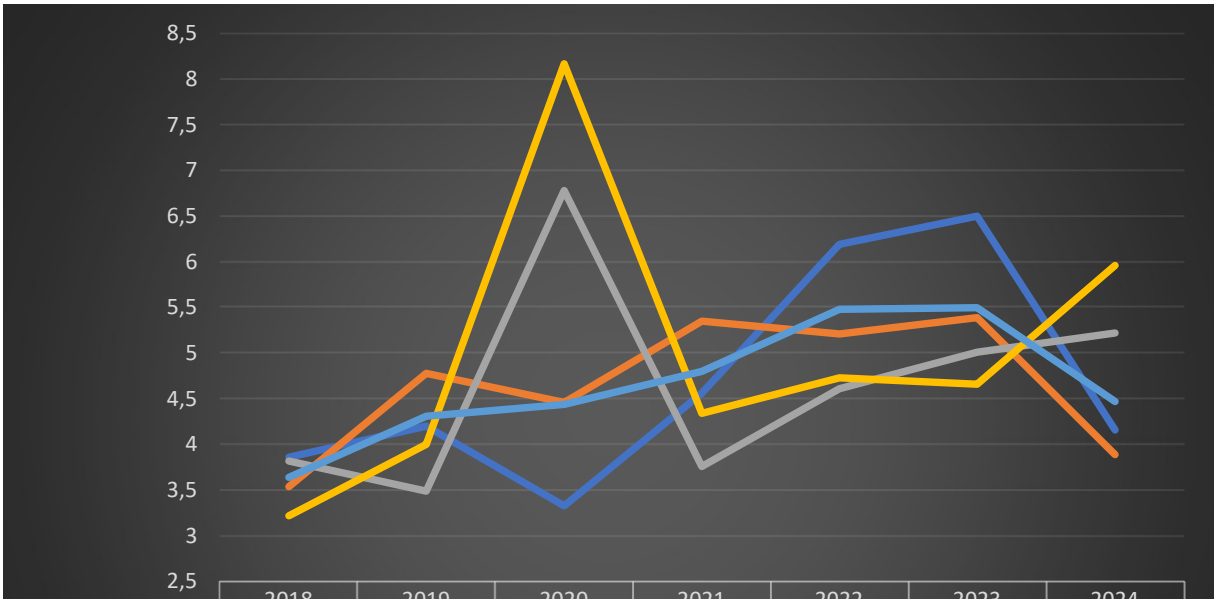
JOURNAL	IMPACT FACTOR (JCR-2024)	NUMBER OF PAPERS
Nature Astronomy	14,3	2
ACS Catalysis	13,1	1
Carbon	11,6	1
Physical Review Letters	9,0	5
Applied Surface Science	8,7	2
Astrophysical Journal Supplement Series	8,5	1
International journal of biological macromolecules	8,5	1
Polymer Degradation and Stability	7,4	1
Advanced Optical Materials	7,2	1
Photonics Research	7,2	1
ACS Photonics	6,7	1
Nanophotonics	6,6	1
Communications Chemistry	6,2	1
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	5,9	2
Astronomy and Astrophysics	5,8	1
Journal of Materials Chemistry B	5,7	1
Journal of High Energy Physics	5,5	4
Astrophysical Journal	5,4	2
Physical Review D	5,3	5
Macromolecules	5,2	2
Food Hydrocolloids	5,1	1
International Journal of Molecular Sciences	4,9	1
Spectrochimica Acta Part A-Molecular and Biomolecular Spectroscopy	4,6	3
Molecules	4,6	2
Physics Letters B	4,5	4
Polymer	4,5	1
Journal of Physics-Materials	4,3	1
Nanomaterials	4,3	1
ACS Omega	4,3	2
Physical Review Research	4,2	2
Journal of Materials Science	3,9	1
Chemosensors	3,7	1
Classical and Quantum Gravity	3,7	1
Physical Review C	3,4	15
Plasma Sources Science and Technology	3,3	2
Atmospheric Measurement Techniques	3,3	1

Journal of Physical Chemistry C	3,2	1
The Journal of Chemical Physics	3,1	2
ACS Earth and Space Chemistry	2,9	1
Physical Chemistry Chemical Physics	2,9	1
Physical Review A	2,9	1
European Physical Journal Plus	2,8	1
Journal of Physical Chemistry A	2,8	1
European Physical Journal A	2,8	2
General Relativity and Gravitation	2,8	1
Universe	2,6	1
Physical Review E	2,4	2
International Journal of Modern Physics D	2,1	2
Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer	1,9	2
Journal of Raman Spectroscopy	1,9	2
Few-body Systems	1,8	2
Molecular Physics	1,8	1
Acta Physica Polonica B	1,4	2
Nuclear Instruments & Methods In Physics Research Section B-Beam Interactions With Materials and Atoms	1,3	1
AIMS Environmental Science	1,2	1
Nuclear Instruments & Methods In Physics Research Section A-Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment	1,167	3
Physica Status Solidi (A) Applied Research	0,86	1
Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C	0,310	2
EPJ Web of Conferences		1
TOTAL	**Average Impact Factor: 4.47**	**109**

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE IMPACTO (REVISTAS JCR-ISI) POR DEPARTAMENTOS / *EVOLUTION OF THE IMPACT FACTOR (JCR-ISI-JOURNALS) BY DEPARTMENTS*

Department Key:

Theoretical Physics and Chemistry **(QFT)**
Molecular Physics **(FM)**
Macromolecular Physics **(FMM)**
Nuclear, Vibrational and Disordered Media Spectroscopy **(ENVYMED)**



	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
QFT	3,86	4,2	3,33	4,56	6,19	6,5	4,16
ENVYMED	3,54	4,78	4,46	5,35	5,21	5,39	3,89
FM	3,82	3,49	6,78	3,76	4,61	5,01	5,22
FMM	3,22	4	8,17	4,34	4,73	4,66	5,96
IEM	3,64	4,31	4,44	4,8	5,48	5,5	4,47

PERSONAL POR DEPARTAMENTOS
PERSONNEL BY DEPARTMENTS

Department	Scientific Staff		"Ramón & Cajal" and PostDoc		Adjoint Researchers [1]		Rest of the Scientific Personnel [2]		Support Staff		Total		
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	TOTAL
QFT	9	1					4	2			13	3	**16**
ENVYMED	7	5	4				10	3	1	1	22	9	**31**
FM	9	2					1		2		12	2	**14**
FMM	6	3	1			1	5		1	1	13	5	**18**
ADMON.													
IEM	**31**	**11**	**5**	**0**	**0**	**1**	**20**	**5**	**4**	**2**	**60**	**19**	**79**

[1]" *Adjoint doctors (doctors from another institution, especially the university, who have a non-contractual relationship with the CSIC)*

[2]" *Students, research contracts associated with projects, etc.Authorized Stay*" excluded

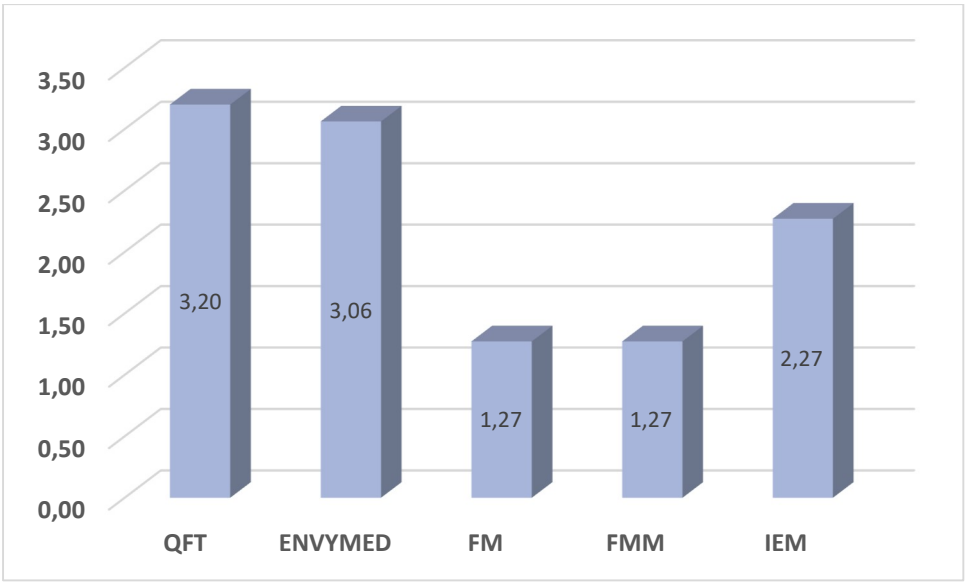
(M: Male, F: Female.See also the "Department Key" in section 7.3)

Personal del IEM sin incluir Doctores Vinculados / 78
***Personnel of the IEM excluding the Adjoint Researchers*: 78**

NÚMERO DE PUBLICACIONES POR DEPARTAMENTOS
NUMBER OF PAPERS BY DEPARTMENTS

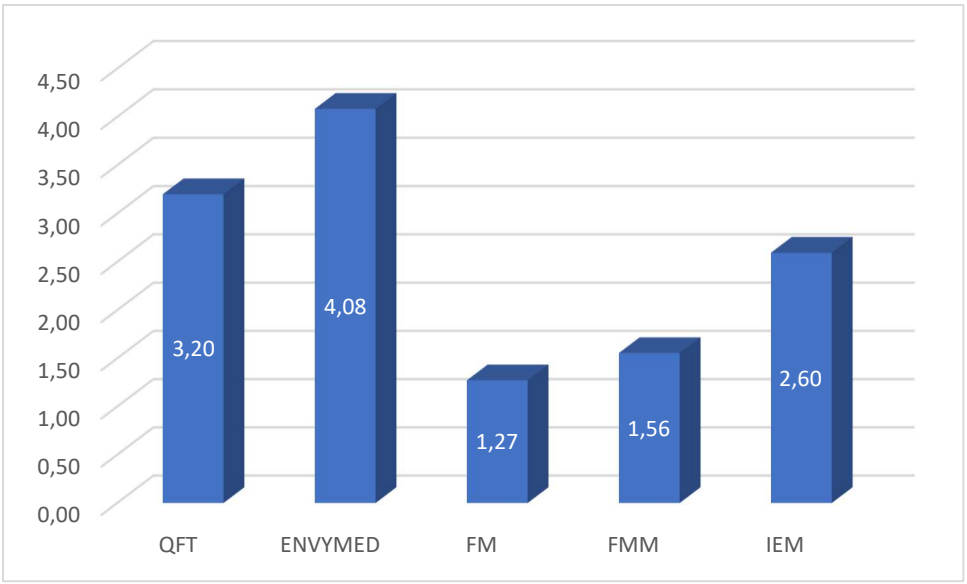
	QFT	ENVYMED	FM	FMM
ISI publications	**32**	**49**	**14**	**14**
Other publications	**1**	**12**		

RATIO DE PUBLICACIONES JCR-ISI POR DEPARTAMENTOS
RATIO OF JCR-ISI PUBLICATIONS BY DEPARTMENTS



Ratio por investigador SENIOR (personal de plantilla más contratados "R&C", doctores vinculados y "PostDoc")

Ratio by senior researcher (staff plus "R&C", adjoint researchers and "PostDoc")



Ratio por personal científico (sin incluir personal de apoyo)

Ratio by scientific staff *(excluding support staff)*

- **Ratio de publicaciones ISI del IEM por personal investigador senior (plantilla): 2,53**
  Ratio of ISI publications of IEM per senior staff researcher