

Octubre de 2015

Instituto Carlos I de Física Teórica y Computacional



Acerca del Instituto Carlos I

El Instituto Carlos I de Física Teórica y Computacional de la Universidad de Granada (IC1) se fundó en el año 1991. Desde su creación, el IC1 cultiva la investigación fundamental con un marcado énfasis en los campos de la física teórica y de la física computacional. En la actualidad, dispone del supercomputador Proteus, orientado al cálculo intensivo y que da servicio a medio centenar de investigadores de

varios países, entre ellos España, Italia, México y Estados Unidos. Por su carácter universitario, el iC1 desempeña también labores docentes que comprenden aspectos básicos e interdisciplinares de la Física.

A fecha de hoy el iC1 está integrado por los grupos de Física cuántica y matemáticas, Física estadística, Astrofísica y Física hadrónica.

Conferencia: "50 años escudriñando y descifrando el Universo"

El desarrollo de la Astrofísica española en el último medio siglo ha sido espectacular. Este espectacular avance ha venido impulsado por el nacimiento y la consolidación de importantes institutos de investigación y observatorios en España, lo que ha propiciado también grandes progresos en el desarrollo de la instrumentación astronómica. Todo ello ha permitido una tremenda mejora en nuestra capacidad observacional e investigadora en esta rama de la ciencia.

Este año se cumplen, en particular, 40 años de la creación del Instituto de Astrofísica de Canarias y del Instituto de Astrofísica de Andalucía, así como de la instalación del primer telescopio en Calar Alto (Almería). Se cumplen también 30 años de la creación del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma, Canarias), que aloja el mayor telescopio del rango visible del mundo, el GTC.

Durante el pasado mes de septiembre hemos celebrado una reunión en Granada, en la que hemos dirigido una mirada retrospectiva para reflexionar sobre el progreso de la Astrofísica en los últimos 50 años. Hemos contado para ello con

algunas de las personas más relevantes e incluso responsables de que este espectacular avance se haya hecho realidad. Una figura destacada de este elenco es el profesor Eduardo Battaner, que ha cumplido 70 años en estos días y casi 50 de dedicación a la docencia e investigación Astrofísica en esta facultad, y que ha recibido en dicha reunión un merecido homenaje en reconocimiento a su brillante carrera.

La conferencia "50 años Escudriñando y Descifrando el Universo", a la que han asistido más de 40 personas, ha tenido una duración de dos días. Ha sido organizada por el grupo de Astrofísica Galáctica de la UGR (miembros del IC1) y se ha celebrado en el Palacio de la Madraza. Se ha revisado la evolución de nuestra investigación en diversos aspectos de la Astrofísica que, sin ser exhaustivos, han cubierto todas las escalas del universo, desde las atmósferas planetarias hasta la Cosmología, pasando por el estudio de las galaxias, áreas todas ellas en las que Eduardo Battaner ha tenido un papel destacado a nivel internacional.

Más información en <http://www.ugr.es/~edu50/>

SALUDO

Me es grato presentar este primer Boletín de noticias del Instituto Carlos I de Física teórica y computacional que, con periodicidad aproximadamente semestral, pretende cumplir con los compromisos divulgativos propios de toda institución científica. Aquí se recogerán las actividades más destacadas del Instituto y se difundirán algunos de sus resultados científicos más importantes. Ante cualquier duda o sugerencia, pueden ponerse en contacto con los responsables, Pablo Hurtado (phurtado@onsager.ugr.es) y Francisco de los Santos (dlsantos@onsager.ugr.es).

Elvira Romera
Directora



Red de comunicación de baja latencia para PROTEUS

El pasado mes de febrero, el Ministerio de Economía y Competitividad publicó la lista definitiva de subvenciones para equipamiento científico-técnico correspondiente a la convocatoria de 2013. El iC1 acudió a dicha convocatoria, exponiendo la necesidad de mantener PROTEUS actualizado y haciendo notar la gran demanda que tiene tanto por miembros del iC1 como por colaboradores externos. Nos complace comunicar la aprobación de esta solicitud y la concesión asociada de 97.000€.

Tras un largo proceso burocrático que ha durado meses y que terminará con la publicación de la empresa ganadora del concurso de licitación, la firma del contrato y la entrega e instalación de los nuevos dispositivos, se espera que la renovación de PROTEUS esté acabada en diciembre. Una vez concluida, contaremos con 12 nodos nuevos de 20 núcleos cada uno y 64 GB de RAM DDR4, y un nodo especial con 32 núcleos y 256 GB de RAM. Estos nuevos nodos

y los 15 equipos de anterior ampliación estarán conectados por una red de baja latencia Infiniband FDR de 56 Gbps. En total, contaremos con 450 núcleos conectados por una red de baja latencia, lo que supone un 35% de los núcleos totales. La potencia de computación máxima teórica aumentará en un 60%.

La principal novedad de esta ampliación es precisamente la red de baja latencia, que permite una comunicación rápida entre nodos. Hasta ahora, se contaba con una red GigaEthernet que era más que suficiente para el acceso al sistema de archivos distribuido y para leer y escribir datos, pero demasiado lenta para el intercambio de información entre nodos. Con esta red se abre la puerta a usar programación distribuida, que hace posible dividir un problema en partes que se resuelven en máquinas diferentes, y se responde a las peticiones que en este sentido han venido



haciendo algunos usuarios desde hace tiempo.

Esta solución técnica permite atacar problemas que de otra manera serían inabordable, bien por exceso de computación o porque no cabían en la memoria de un solo nodo. El cluster también podrá seguir usándose con programas secuenciales como hasta ahora. Los detalles concretos de las nuevas colas específicas para programas paralelos se irán definiendo en función de la demanda y necesidades de los investigadores.

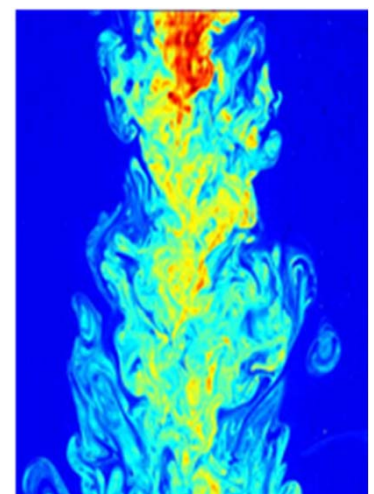
A esta reforma en la arquitectura de PROTEUS la acompañarán una serie de talleres prácticos en los que se dará una introducción al desarrollo de aplicaciones paralelas y distribuidas.

CICLO "FRONTERAS DE LA FÍSICA"

Ha arrancado el cuarto ciclo de conferencias "Fronteras de la Física" que promueve el Instituto Carlos I de Física Teórica y Computacional sobre problemas abiertos en distintos campos de la Física en general y sus posibles conexiones con otras disciplinas. Las charlas tienen lugar en viernes alternos, alrededor de las 12:30, son de 45 minutos de duración más otros 15 adicionales de preguntas y están orientadas a un auditorio de investigadores no especialistas y estudiantes interesados. Más información en <http://ic1.ugr.es/cicloconferencias>.

Mecánica estadística de la turbulencia

Las turbulencias hidrodinámicas son un fenómeno caótico. Esto quiere decir que la evolución temporal de un fluido turbulento está regida por una dinámica determinista sensible a las condiciones iniciales. Hemos estudiado numéricamente un modelo de turbulencia desarrollado recientemente por D. Ruelle. La cascada de energía que en el régimen turbulento recorre desde las escalas macroscópicas a las microscópicas se describe mediante un modelo matemático equivalente al de transporte de calor. Este modelo contiene la teoría no fluctuante de Kolmogorov-Obukov y permite estudiar la estructura estadística de la turbulencia hidrodinámica. En particular estudiamos la distribución de los gradientes radiales de la velocidad en el caso de la turbulencia isotrópica y homogénea y la comparamos con los resultados experimentales de Schumacher et al. Para más información, pgarrido@onsager.ugr.es.



Evolución galáctica: efecto de las barras

Aproximadamente la mitad de las galaxias espirales poseen una estructura alargada que atraviesa el centro galáctico y que se denomina *barra*. Las barras están constituidas fundamentalmente de estrellas y son un elemento importante para la evolución de las galaxias. Se piensa que dicha evolución, en un periodo inicial del universo, fue rápida y estaba dominada por fusiones de galaxias y acrecimiento de gas externo para formar estructuras cada vez mayores. Sin embargo, en tiempos más recientes la evolución de las galaxias parece haber sido más lenta, denominándose *secular*.

Las barras galácticas son consideradas elementos clave en esta evolución secular debido a que su potencial gravitatorio afecta de modo importante la dinámica del gas y las estrellas, redistribuyendo el material del disco galáctico. En particular, según simulaciones numéricas, la barra es capaz de dirigir gas del disco, desde una distancia aproximadamente igual al radio de la barra, hacia los centros de las galaxias. Este flujo de gas hace que aumente la concentración de gas en el centro galáctico, donde puede formar nuevas estrellas y/o formar un núcleo activo. En definitiva, puede alterar las propiedades físicas iniciales.

Las observaciones astronómicas han permitido medir los flujos inducidos por las barras e incluso estimar la cantidad de gas transportado a los centros en algunas galaxias concretas. Sin embargo, hay aún controversia en cuanto a los efectos que las barras tienen en los centros galácticos, pues las observaciones, hasta la fecha, no muestran claramente

los efectos que se predicen con las simulaciones. Investigadores del área de Astrofísica del Carlos I hemos llevado a cabo un trabajo que trata de aportar luz sobre los efectos de las barras en las propiedades del gas ionizado de los centros de las galaxias espirales. Este trabajo ha consistido en el análisis de los espectros de una muestra de más de 500 galaxias espirales cercanas (*redshift* $0.02 \leq z \leq 0.07$), orientadas de cara y con masas mayores de 10^{10} masas solares. Los espectros proceden del *Sloan Digital Sky Survey*, e incluyen la emisión en el rango óptico de la zona central de las galaxias (entre 2 y 4 kiloparsecs). Se han analizado razones de flujos de líneas espectrales de emisión correspondientes a elementos químicos presentes en la fase gaseosa (hidrógeno, oxígeno, nitrógeno o azufre en distintos estados ionizados) para trazar distintas propiedades físicas del gas.

La diferencia más importante aparece en la razón entre el flujo de la línea de nitrógeno ionizado, a 6583\AA , y el flujo en la línea H alfa de la serie de Balmer del hidrógeno. Esta razón es, en promedio, un 25% más alta en galaxias barradas, y sólo parece explicarse si los centros de estas galaxias tienen un mayor contenido de nitrógeno relativo al oxígeno que las que no tienen barra, posiblemente por una distinta historia de formación estelar provocada por los flujos de gas inducidos por la barra hacia los centros.

Además, encontramos diferencias en otras propiedades físicas entre los centros de las galaxias con y sin barra. Aunque las diferencias son menores, las barradas



Imagen de la galaxia espiral barrada NGC 1097

presentan una mayor tasa de formación de estrellas en la actualidad, mayor densidad, y mayor concentración de polvo en sus centros.

Con este trabajo se ha obtenido una de las evidencias observacionales más claras hasta la fecha de que las barras alteran las propiedades de los centros galácticos, y además, que las diferencias en las propiedades del gas ionizado son más evidentes en las galaxias más tardías (con bulbos menos masivos). Estos resultados han sido recientemente aceptados para su publicación en la revista *Astronomy & Astrophysics*.

Más información en: "Central enhancement of the nitrogen-to-oxygen abundance ratio in barred galaxies", 2015, E. Florido, A. Zurita, I. Pérez, E. Pérez-Montero, P. Coelho, D. Gadotti, <http://fr.arxiv.org/abs/1507.03465>

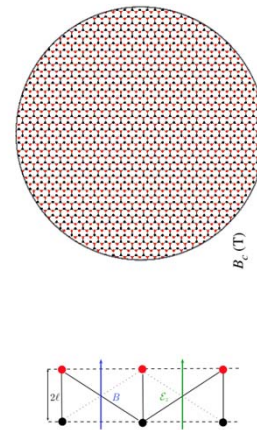
BECAS ÍCARO DEL iC1

Se ha abierto la convocatoria de ayudas para el plan de Formación Interno de Prácticas de la UGR que puede ser realizado en el iC1 (Becas Ícaro) http://cpep.ugr.es/pages/practicas/_doc/pfi_2015_16. El iC1 financiará el 25% de la beca, debiendo el resto cofinanciarlo el grupo de investigación al que pertenezca el tutor de la propuesta y el vicerrectorado de estudiantes. El plazo de solicitudes finaliza el 4 de noviembre. Las consultas sobre el procedimiento a seguir pueden dirigirse a la Secretaría del Instituto (958 242 860).

Transiciones de fase aislante topológico-aislante de banda

En los últimos años está emergiendo una nueva categoría de materiales llamados "aislantes topológicos" (diferentes de los tradicionales "aislantes de banda"), que introducen nueva física y nuevas oportunidades para nanodispositivos electrónicos sintonizables con campos eléctricos externos. Estos materiales exhiben el llamado "efecto Hall cuántico de espín", así como otras propiedades electrónicas exóticas que los hacen particularmente atractivos. Algunos de ellos son isoestructurales con el grafeno (siliceno, germaneno, etc), pero con un acoplamiento espín-órbita mucho mayor, lo que permite una conducción de electricidad robusta (aun en presencia de impurezas) y sin disipación en los bordes, unido esto a las propiedades físicas extraordinarias que, ya de por sí, tiene el grafeno.

En nuestro grupo hemos estudiado la caracterización de las transiciones de fase topológicas en este tipo de materiales, en particular en puntos cuánticos de siliceno en presencia de campos magnéticos y eléctricos externos. Además hemos encontrado que aparece lo que se denominan "inversiones de banda" (entre la banda de conducción y la de valencia) para valores críticos de la intensidad del campo magnético (ver figura) dependiendo del tamaño (radio R) del punto cuántico de siliceno. (Contacto: Elvira Romera eromera@ugr.es y Manuel Calixto calixto@ugr.es).



Silicene quantum dot in electric and magnetic fields

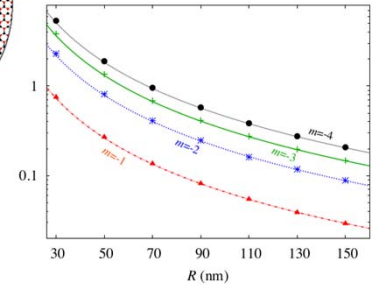


Ilustración del punto cuántico de siliceno (similar al grafeno, pero con una estructura en "cremallera") en presencia de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares, así como de los valores críticos del campo magnético para los que se produce la inversión de banda, dependiendo del tamaño del punto cuántico.

JORNADAS CIENTÍFICAS DEL iC1

El 23 de octubre de 2015 se celebraron las segundas jornadas científicas del iC1, que son una plataforma de intercambio de ideas entre los miembros del instituto. El programa de charlas fue:

- Mecánica estadística lejos del equilibrio de la turbulencia.
- Aislantes topológicos y caracterización de sus fases.
- Análisis de la distribución espectral de energía de regiones de formación estelar.
- Potencial óptico protón-protón en la Tierra como en el Cielo.
- Estudiando quásares y galaxias mediante el efecto de microlente gravitatoria.
- Caracterización del orden de las transiciones de fase cuánticas en el espacio de las fases.
- Medidas de efectos relativistas en sistemas atómicos.
- Evolución en tiempo real: modelos eco-evolucionarios y cambios catastróficos.
- Divergencias moleculares.
- Formación estelar fuera de galaxias.
- Violación de escala y masa efectiva relativista a partir de colisiones casi elásticas de electrones: implicaciones en las reacciones de neutrinos.
- Medidas de complejidad generalizadas. Aplicación al cuerpo negro multidimensional.
- Relaciones de incertidumbre entrópicas generalizadas de sistemas de N fermiones en d dimensiones basadas en espines.



La interacción de los neutrinos energéticos

El premio Nobel de Física de 2015 ha sido concedido a Takaaki Kajita y Arthur McDonald "por el descubrimiento de las oscilaciones de neutrinos, que demuestran que los neutrinos tienen masa". Actualmente las oscilaciones de neutrinos son uno de los campos más activos en la Física, con múltiples experimentos midiendo las probabilidades de oscilación con precisión creciente (figura 1). El propósito de estos experimentos es desvelar los secretos de las interacciones fundamentales, la estructura de la materia y el espacio, y el origen del universo.

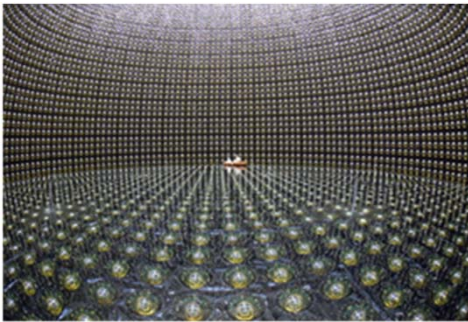


Figura 1: Interior del detector de neutrinos Super-Kamiokande.

En el seno del grupo de física hadrónica del Instituto Carlos I de la Universidad de Granada se investiga desde hace años sobre la interacción de los neutrinos con los núcleos atómicos, una cuestión que es esencial para medir con precisión la oscilación de los neutrinos. Recientemente, **J.E. Amaro, E. Ruiz Arriola e I. Ruiz Simo** han desarrollado un modelo teórico que permite describir la interacción de neutrinos con la materia en un rango de energías que alcanza los 100 GeV (un Giga-electrón-voltio

equivale a mil millones de electrón-voltios). El artículo ha sido aceptado recientemente en Physical Review C:

Scaling violation and relativistic effective mass from quasielastic electron scattering: implications for neutrino reactions (2015), arXiv:1505.05415.

En dicho artículo se ha calculado la probabilidad de interacción de neutrinos contra un núcleo de Carbono-12 (figura 2). Mediante una compleja reacción nuclear se emiten protones de gran energía. Las predicciones del modelo han sido comparadas con datos experimentales de los experimentos de oscilación de neutrinos MiniBooNE y NOMAD (figura 2).

El Detector de neutrinos NOMAD en el CERN fue diseñado para buscar neutrinos tauónicos. NOMAD son las siglas de Neutrino Oscillation Magnetic Detector, es decir, detector magnético de oscilación de neutrinos. Su principal objetivo fue la búsqueda de oscilaciones de neutrinos muónicos en tauónicos. Se conocen tres tipos distintos de neutrinos, cada uno emparejado con un electrón, un muon o un tau, que son partículas elementales con carga negativa llamadas comúnmente leptones.

La relación entre un electrón y su neutrino se describe en el modelo standard asociando a ambas partículas dos estados cuánticos del mismo ente. El electrón y el neutrino se consideran distintos estados de la misma partícula. La interacción débil puede transformar un electrón en neutrino y viceversa.

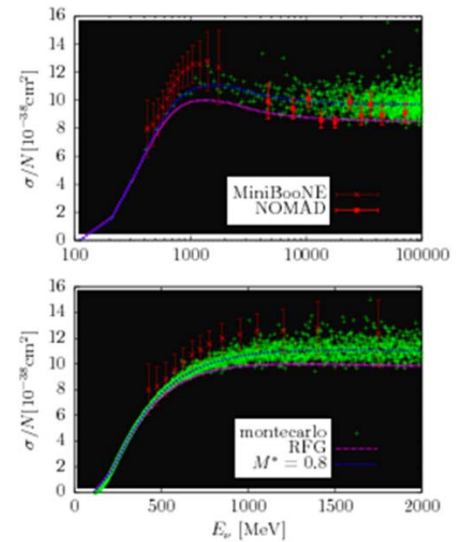


Figura 2: Simulación Monte Carlo de la sección eficaz cuasielástica de neutrinos, calculada en este trabajo, comparada con los datos experimentales de MiniBooNE y NOMAD.

La descripción de dicha interacción es matemáticamente peculiar, pues entra en juego una propiedad de las partículas denominada espín.

Cuando un neutrino muónico penetra en la materia, es posible, aunque poco probable, que choque contra un neutrón del núcleo atómico, comunicándole carga positiva y convirtiéndolo en un protón, que sale despedido del núcleo a gran velocidad. El neutrino, por su parte, sufre otra transformación y se convierte en un muon. Cuando este evento ocurre se dice que ha tenido lugar una dispersión cuasielástica con cambio de carga.

Instituto Carlos I de Física
Teórica y Computacional
Universidad de Granada

[Avda. Fuentenueva]
[18071, Granada, España]

[<http://ic1.ugr.es>]

Directora:
Elvira Romera

Secretario:
**Miguel Ángel
Muñoz**