Curso | 2019-2020

Guía Docente del Master Interuniversitario en Física Nuclear

Facultad de Ciencias Físicas
Universidad Complutense de Madrid

Máster en Física Nuclear
Curso 2019-2020

1. Descripción del Título. Características Generales

1.1. Denominación

Física Nuclear

1.2. Universidad Solicitante y Centro, Departamento o Instituto responsable del Título

Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Físicas Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear. Se trata de una propuesta de Máster Interuniversitario, coordinado por la Universidad de Sevilla y con participación de la Universidad Complutense de Madrid, UAM, U. Salamanca, U. Santiago de Compostela, U. de Granada, U. Barcelona, Instituto de Estructura de la Materia (CSIC), Instituto de Física Corpuscular (CSIC) y CIEMAT.

1.3. Tipo de enseñanza

Presencial

1.4. Número de plazas de nuevo ingreso ofertadas

40

1.5. Número de créditos y requisitos de matriculación

Los estudiantes habrán de cursar 60 ECTS, 36 ECTS con asignaturas presenciales y 24 ECTS con el trabajo de fin de máster. Se realizará una oferta máxima de 60 ECTS configurada por ejemplo como 10 asignaturas de 6 ECTS.

Podrán ser admitidos al máster estudiantes que hayan cursado estudios previos preferentemente en la licenciatura o grado en Física, Ciencias Físicas u otros grados con denominación y contenidos similares. Licenciatura o grado en Química y licenciatura o grado en Ingeniería.

2. Justificación

2.1 Justificación del título propuesto, argumentando el interés académico, científico o profesional del mismo.

Este máster resulta de la adaptación en la UCM a la nueva regulación de los estudios de posgrado (máster y doctorado) indicada en el decreto 1393/2007, del programa interuniversitario en Física Nuclear, que se viene impartiendo con mención de calidad (MCD2005-0251) desde su creación. Dicho programa, a su vez, tenía como antecedente el programa de doctorado interuniversitario “Escuela de Doctorado de Física Nuclear”, también con mención de calidad (MCD2004-0059).

El Máster en Física Nuclear surge de estos programas de doctorado interuniversitarios que dieron continuidad a los cursos que el Grupo Especializado de Física Nuclear (GEFN) de la Real Sociedad Española de Física viene organizando desde 1998 y que han sido seguidos por estudiantes de todo el estado para completar sus programas de doctorado. Sus objetivos fundamentales son potenciar los estudios de posgrado en Física Nuclear a nivel nacional y favorecer el intercambio científico entre los estudiantes de doctorado y entre los profesores del área. El programa de doctorado en Física Nuclear aporta a los estudiantes una formación sólida que abarca tanto aspectos fundamentales de la disciplina como aplicados.

Durante los últimos cursos académicos el programa de doctorado ha tenido un promedio de 22 alumnos que iniciaban los estudios por primera vez. La singularidad más significativa del máster que se plantea probablemente sea la consideración con igual importancia de los aspectos teóricos de estructura y reacciones nucleares con los aspectos aplicados y experimentales. Desde el curso 2017-2018 este máster coexiste con el European Master in Nuclear Physics, con mención Erasmus Mundus de la UE, con participación de las mismas universidades españolas que el máster en Física Nuclear, y además las universidades de Caen (Francia), y Catania y Padova (Italia). Por ese motivo, en el curso 2017-2018 algunas asignaturas optativas del máster en

Física Nuclear podrán tener estudiantes de ambos másteres y se impartirán, en tal caso, en inglés.

3. OBJETIVOS

El máster de Física Nuclear aportará a los alumnos una formación sólida, en el ámbito de la Física Nuclear, que abarca tanto los aspectos fundamentales de la disciplina como los aspectos aplicados, y tanto los aspectos teóricos como los aspectos experimentales.

3.1 Competencias generales y específicas.

Los alumnos que cursen este máster adquirirán las siguientes Competencias Generales:

G1: Saber aplicar los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas nuevos en contextos amplios (o multidisciplinares) relacionados con la Física Nuclear.

G2: Ser capaces de integrar conocimientos y formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

G3: Saber comunicar sus conclusiones (y los conocimientos y razones últimas que las sustentan) en elcampo de la Física Nuclear y aplicaciones a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

G4: Poseer las habilidades de aprendizaje que permitan continuar estudiando en el campo de la FísicaNuclear de un modo en gran medida autodirigido o autónomo.

G5 Fomentar el espíritu emprendedor.

G6 Fomentar y garantizar el respeto a los Derechos Humanos y a los principios de accesibilidad universal,igualdad, no discriminación y los valores democráticos y de la cultura de la paz.

G7 Conocer la influencia de los procesos nucleares sobre el entorno medioambiental y conocer las consideraciones éticas derivadas.

Y las siguientes competencias específicas:

E1: Capacidad para el estudio e investigación en temas abiertos en la frontera del conocimiento en los campos de la Física Nuclear, tanto teórica como experimental, y sus aplicaciones tecnológicas y médicas.

E2: Poseer una visión global del conocimiento actual de los procesos de generación de materia y energía en el Universo, de la exploración del Universo usando partículas y radiación de alta energía, de la descripción de la estructura de los núcleos atómicos y de sus interacciones y de la conexión de éstos con estructuras más fundamentales.

E3 Capacidad para el uso de las principales herramientas y métodos de computación y programación utilizadas en la actualidad en los experimentos de Física Nuclear, y para el manejo de las técnicas experimentales que son de uso generalizado tanto en física medioambiental como en medicina, en el ámbito diagnóstico y terapéutico de las radiaciones ionizantes.

E4: Capacidad para desarrollar el trabajo de investigación científica en el marco de grandes internacionales en el que se combinan labores tanto teóricas como experimentales y tecnológicas.

4. DESTINATARIOS

El máster está dirigido a todos aquellos licenciados en Física, Química, Ingeniería, etc. interesados en adquirir una formación de calidad en los ámbitos relacionados con la Física Nuclear y con la Tecnología Nuclear y, especialmente, combinando ambos aspectos. En particular, el máster será útil para:

- Futuros investigadores en el campo de Física Nuclear.
- Física Médica en sus aspectos más relacionados con la Física Nuclear.
- Radiactividad ambiental.
- Instrumentación nuclear
- Técnicas nucleares de análisis de materiales.

- Técnicas nucleares de datación.
- Centrales nucleares, fisión y fusión.

5. PLANIFICACIÓN DOCENTE DEL MÁSTER

5.1. Distribución del plan de estudios en créditos ECTS por tipo de materia

Formación básica: 0

Obligatorias: 18

Optativas: 18

Prácticas externas: 0

Trabajo de fin de grado: 24

Total: 60

5.2. Aspectos académico-organizativos generales

El alumnado deberá realizar 60 ECTS divididos en dos semestres. Típicamente en el primer cuatrimestre cursarán 18 ECTS de materias obligatorias. El Trabajo de Fin de Máster, de 24 ECTS, se podrá realizar a lo largo de todo el curso.

El resto de créditos hasta 60 corresponde a materias optativas a distribuir entre los dos semestres a elegir entre las ofertadas en cada semestre.

La filosofía del Máster Interuniversitario es el reparto más equilibrado posible entre todas las Universidades participantes tanto de los recursos docentes como de las sedes en las que se impartirán las materias. En el primer semestre de cada año, la Comisión Académica del Máster programa las sedes del curso siguiente y el profesorado correspondiente, atendiendo en el medio plazo al equilibrio antes mencionado. Este esquema viene funcionando a plena satisfacción desde que se implantó como periodo formativo del Programa de Doctorado Interuniversitario "Física Nuclear", que ostentó la mención de calidad del Ministerio desde sus orígenes en 2004 y aún antes en la denominada Escuela de Doctorado de Física Nuclear.

Más adelante se detallan los módulos/materias correspondientes del periodo de docencia y los créditos del periodo de investigación tutelada, indicando en su caso a título orientativo la Universidad en la que se impartirán preferentemente. Las sedes de los cursos se deciden cada año haciendo las rotaciones oportunas para que en promedio todas las Universidades participantes contribuyan por igual. La distribución de sedes y profesores la fijará, como se ha mencionado arriba con la debida antelación para cada curso académico, la comisión Académica del Máster y se reflejará en la suscripción los correspondientes informes que serán remitidos a todas las Universidades participantes para que lo pongan en conocimiento de los potenciales alumnos. En esta guía se indican las sedes para el curso 19-20.

5.3. Créditos a superar por el estudiante

El trabajo fin de Máster lo realiza cada estudiante en la Universidad en la que se matricula bajo la dirección o codirección de un profesor o investigador de esa Universidad. Por ello, se han puesto los 24 créditos de dicho trabajo en todas las Universidades participantes.El total de 60 créditos del máster se configura con 36 créditos de cursos más 24 créditos del trabajo fin de Máster que realiza el alumno en su Universidad.

5.4. Planificación de las enseñanzas para la consecución de los objetivos y la adquisición de competencias

La planificación de las enseñanzas de este Máster está basada, de cara a la consecución de los objetivos y a la adquisición de competencias, en la impartición de tutorías presenciales, clases presenciales de teoría, problemas y laboratorio en su caso, y en la tutela personalizada de los alumnos matriculados. De acuerdo con la memoria de verificación del máster, un crédito ECTS equivaldrá generalmente a 8 horas presenciales del estudiante, que han de impartirse en su mayoría de forma intensiva en cursos concentrados en una única sede para cada asignatura.

Teniendo esto presente, el reparto de horas presenciales del alumno para cada materia de 6 créditos ECTS se ajustará a las necesidades de cada asignatura y a las disponibilidades y número de estudiantes en cada sede. En general, las tutorías se realizarán en la universidad en la que se matricule el estudiante que, asimismo, podrá dirigirse para las dudas que surjan durante el transcurso de las asignaturas tanto a los

profesores que la impartan, como a sus tutores en la universidad de matrícula. El alumno en su Universidad y bajo la supervisión de su tutor preparará y estudiará el material necesario para seguir los cursos presenciales con aprovechamiento. En esta fase, el tutor es el responsable del seguimiento formativo del alumno y antes de la impartición de los cursos para prepararlos. En una fase posterior, de docencia intensiva, el alumno asiste a los cursos programados. Algunos de estos cursos se concentran en una semana y en una sede determinada. En el caso de los cursos concentrados, durante la semana de dicho curso los alumnos y profesores responsables se desplazan a la sede correspondiente.Los alumnos reciben en esa semana las clases del curso, aprovechan las tutorías ofrecidas por los profesores e inician la resolución/preparación de los problemas/memorias que los profesores les soliciten para superar el curso. En esta fase, los profesores de la asignatura son los responsables de la valoración del aprendizaje del alumno. En la fase intensiva el alumno recibirá típicamente un mínimo de 25 horas presenciales de exposiciones y 5 horas presenciales de seminarios, tutoríasy problemas con los profesores. En las asignaturas que por su naturaleza lo requieran, se añadirán prácticas en el laboratorio o ejercicios y simulaciones en aulas de informática. Tras esta fase intensiva el alumno ya de vuelta a su Universidad y bajo la supervisión de su tutor y el asesoramiento de los profesores del curso por correo electrónico o videoconferencias, finalizan los problemas/memorias solicitadas durante el curso y se las remiten a los profesores para su evaluación. En esta fase, el tutor y los profesores de la asignatura conjuntamente son los responsables de valorar el aprovechamiento del alumno. En cualquier caso se tratará de evitar una carga de trabajo presencial del estudiante superior a 8 horas por ECTS.

Por su especial naturaleza y dado el elevado número de estudiantes que se matricula en el máster en los últimos cursos (cercano a los 40 alumnos), la asignatura de Física Experimental se ha desdoblado en dos grupos, uno que se imparte en Madrid, para al menos los estudiantes de Madrid (UAM y UCM) y otro que se imparte en Sevilla para el resto de estudiantes. Se procurará un balance equilibrado de estudiantes entre ambas sedes.

El criterio general de evaluación para todas las materias, salvo mención expresa en la ficha del módulo, estará basado en la evaluación continua del trabajo personal de cada alumno, en la realización de ejercicios y/o trabajos por parte todos los alumnos matriculados, y en el informe razonado e individualizado del tutor de cada alumno.

La indicación metodológica para cada materia será por regla general, y salvo que se especifique lo contrario en la correspondiente ficha, de clases magistrales, resolución de problemas, prácticas de laboratorio y la elaboración de los informes de prácticas correspondientes y, en su caso de impartición de seminarios avanzados.

5.5. Tabla-Resumen del Plan de Estudios

Todas las asignaturas ***tienen carácter anual***, ya que se evalúan en la convocatoria de junio.

SEMESTRE	ASIGNATURA	TIPO	ECTS	ORIENTACIÓN		
				TEÓRICA	EXPTAL.	TÉCNICA
Anual, S1(***)	Teoría Cuántica Relativista: procesos nucleares (Mecánica Cuántica Avanzada)	MOp	6	X		
	Estructura Nuclear, Propiedades y Modelos	MOb	6	X		
	Introducción a las Reacciones Nucleares	MOb	6	X	X	
	Física Nuclear Experimental	MOb	6	X	X	X
	Física Nuclear Aplicada I (Materiales y Medioambiente)	MOp	6	X		X
	Técnicas Experimentales Avanzadas en Física Nuclear	MOp	6	X	X	X
Anual, S2(***)	Física Hadrónica	MOp	6	X		

	Astrofísica Nuclear	MOp	6	X		
	Física Nuclear Aplicada II (Energía y Aplicaciones Biomédicas)	MOp	6	X	X	X
	Interacciones Débiles	MOp	6	X		
	Teoría de Muchos Cuerpos en Física Nuclear	MOp	6	X		
	Trabajo Fin de Máster	TFM	24	X	X	X

Descripción de códigos utilizados:**MOb**(materia obligatoria), **MOp**(materia optativa), **TFM** (Trabajo Fin de Máster).

(***) En la tabla, el semestre indica el periodo de impartición de la parte presencial de la asignatura. La calificación final de todas las asignaturas no se realizará hasta el final del primer curso, es decir, durante la convocatoria de junio.

El ***Trabajo de Fin de Máster*** se podrá desarrollar durante todo el curso.

Las materias propuestas cubren ampliamente lo que internacionalmente se entiende por Física Nuclear. Se incluyen los distintos modelos nucleares en Estructura Nuclear, la forma en la que interaccionan los núcleos en Reacciones Nucleares, los experimentos que se realizan y previsiblemente se realizarán en Física Nuclear Experimental, las principales aplicaciones (a materiales, médicas, medioambientales y energéticas) de la Física Nuclear en Física Nuclear Aplicada, la relación de la Física Nuclear con constituyentes fundamentales más elementales en Física Hadrónica, la importancia de los fenómenos nucleares en los procesos astrofísicos en Astrofísica Nuclear y en Interacciones Débiles, y, por último, el desarrollo de un tema de investigación original en el Trabajo Fin de Máster.

5.6. Página web y correo de contacto del máster

http://nuclear.fis.ucm.es/fisica_nuclear/

master@nuclear.fis.ucm.es

5.7. Indicadores

Tasa de graduación - 80.00%Tasa de abandono - 20.00% Tasa de eficiencia - 80.00%

6. Descripción de los Módulos o Materias. Contenidos de las Asignaturas.

6.1. Calendario (provisional)

NOMBRE	CRÉDITOS	LUGAR	FECHAS	CARÁCTER	LÍMITE ENTREGA TRABAJOS/EJERCIOS/..
Estructura Nuclear: Propiedades y Modelos	6	Salamanca /Granada	14-18Octubre 2019	**Obligatoria**	31/10/2018 (examen)
Introducción a las Reacciones Nucleares	6	Sevilla	4-8 Noviembre 2019	**Obligatoria**	22/11/ 2019 (EXAMEN)
Física Nuclear Experimental	6	Madrid/Sevilla*	25-29 Noviembre, 12 Diciembre de 2019	**Obligatoria**	18/12/2019(EXAMEN)
Teoría Cuántica Relativista: procesos nucleares	6	Sevilla	20-24 Enero 2020	Optativa	14/02/ 2020
Técnicas Experimentales Avanzadas en Física Nuclear	6	Valencia	13-17 Enero 2020	Optativa	14/02/2020
Física Nuclear Aplicada	6	Sevilla	27-31 Enero 2020	Optativa	22/02/2020

I(MATERIALES Y MEDIOAMBIENTE) **					
INTERACCIONES DÉBILES	6	GRANADA	3-7 FEBRERO 2020	OPTATIVA	28/02/2020
FÍSICA NUCLEAR APLICADA II (ENERGÍA Y APLICACIONES BIOMÉDICAS)**	6	MADRID	24-28 FEBRERO 2020	OPTATIVA	21/03/2020
TEORÍAS DE MUCHOS CUERPOS EN FÍSICA NUCLEAR **	6	MADRID	2-6 MARZO 2020	OPTATIVA	15/04/2020
FÍSICA HADRÓNICA	6	BARCELONA	23-27 MARZO 2020	OPTATIVA	30/04/2020
ASTROFÍSICA NUCLEAR **	6	BARCELONA	25-29 MARZO 2020	OPTATIVA	7/05/ 2020

(*) Esta asignatura, básicamente con iguales contenidos y estructura, tendrá dos sedes el curso 2019-2020: Madrid y Sevilla. Se harán dos grupos de alumnos, los matriculados en Madrid y Salamanca harán esta asignatura en Madrid y los matriculados en Sevilla, Barcelona y Granada la harán en Sevilla.

(**) Estas asignaturas se impartirán en inglés para todos los alumnos.

6.2. Descripción de los Módulos. Contenidos de las Asignaturas

(Ver también las fichas detalladas al final de la guía docente)

Módulo: Trabajo de Investigación Tutelado

Asignatura:

Trabajo Fin de Máster

Módulo: Fundamental

Asignaturas:

Estructura Nuclear: Propiedades y Modelos

Introducción a las Reacciones Nucleares

Física Nuclear Experimental

Módulo: Física Nuclear Aplicada

Asignaturas:

Física Nuclear Aplicada I

Física Nuclear Aplicada II

Módulo: Complementario

Asignaturas:

Física Hadrónica

Astrofísica Nuclear

Teoría Cuántica Relativista: Procesos Nucleares (Mecánica Cuántica Avanzada)

Interacciones Débiles

Técnicas Experimentales Avanzadas en Física Nuclear

Teorías de Muchos Cuerpos en Física Nuclear

MÓDULO: Trabajo de Investigación Tutelado (Fin de Máster)

Créditos ECTS: 24

Carácter: Obligatoria

Unidad temporal: Anual

Materias y Asignaturas asociadas a este Módulo:

Trabajo Fin de Máster

Requisitos previos

Requisitos previos recomendados: Haber cursado o estar cursando las asignaturas de este Máster.

Sistemas de evaluación

Criterio de evaluación específico para la asignatura:

Cada Universidad nombrará un tribunal para valorar los trabajos fin de Máster con los criterios y composición que cada Universidad decida. Una composición generalmente adoptada es tres miembros doctores de la Universidad nombrados por el Consejo de Departamento del Departamento responsable del Máster en cada Universidad. Entre esos miembros puede haber doctores externos al Máster. El tribunal valorará: la presentación escrita del trabajo, la exposición oral del estudiante y el debate que tendrá lugar después de la exposición en el que el tribunal preguntará cuantas cuestiones estime oportuno sobre el tema de investigación (desarrollo, presentación escrita y oral).

Actividades formativas con su contenido en ECTS, su metodología de enseñanza y aprendizaje, y su relación con las competencias que debe adquirir el estudiante: Actividades formativas con su contenido en horas del alumnado

Para el cálculo de los créditos ECTS se ha supuesto que 1 ECTS equivale a 25 horas de trabajo del estudiante. Este módulo tiene 24 ECTS, luego implica un total de 600 horas de trabajo del estudiante. Ello implica unas 15 semanas de trabajo a tiempo completo. La mayor parte de este tiempo corresponde a trabajo autónomo.

Objetivos

Profundizar en una de las líneas de investigación del Programa. Aprender a desarrollar autónomamente un tema de investigación. Aprender a hacer búsquedas bibliográficas sobre temas de interés. Aprender a redactar textos científicos. Aprender a presentar un trabajo original ante un público especializado

Indicación metodológica específica este trabajo de investigación:

El tutor del estudiante propondrá un trabajo de investigación dentro de alguna de las líneas de investigación del Programa. El alumno debe familiarizarse con la literatura previa sobre el tema. Sigue una fase de estudio y desarrollo del trabajo planteado. En esta fase el estudiante siempre contará con el asesoramiento del tutor. Luego, los resultados de la investigación deben ser plasmados por escrito en una memoria. Finalmente, dicha memoria debe ser defendida oralmente ante un tribunal especializado.

Contenidos:

El trabajo de investigación tutelado será elegido por el estudiante en alguna de las líneas de investigación del Máster.

El trabajo será dirigido por un profesor del Máster. Las líneas de investigación del Máster son:

Estructura Nuclear, Reacciones Nucleares, Física Hadrónica, Física Nuclear Experimental, Física Nuclear Aplicada, Astrofísica Nuclear.

Descripción de las competencias:

G1: Saber aplicar los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas nuevos en contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con la Física Nuclear.

G2: Ser capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de

una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

G3: Saber comunicar sus conclusiones (y los conocimientos y razones últimas que las sustentan) en el campo de la Física Nuclear y aplicaciones a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

G4: Poseer las habilidades de aprendizaje que permitan continuar estudiando en el campo de la Física Nuclear de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

G5: Fomentar el espíritu emprendedor.

G6: Fomentar y garantizar el respeto a los Derechos Humanos y a los principios de accesibilidad universal, igualdad, no discriminación, y los valores democráticos y de la cultura de la paz.

G7: Conocer la influencia de los procesos nucleares sobre el entorno medioambiental y conocer las consideraciones éticas derivadas.

E1: Capacidad para el estudio e investigación en temas abiertos en la frontera del conocimiento en los campos de la Física Nuclear, tanto teórica como experimental, y sus aplicaciones tecnológicas y médicas.

E2: Poseer una visión global del conocimiento actual de los procesos de generación de materia y energía en el Universo, de la exploración del Universo usando partículas y radiación de alta energía, de la descripción de la estructura de los núcleos atómicos y de sus interacciones y de la conexión de éstos con estructuras más fundamentales.

E3 Capacidad para el uso de las principales herramientas y métodos de computación y programación utilizadas en la actualidad en los experimentos de Física Nuclear, y para el manejo de las técnicas experimentales que son de uso generalizado tanto en física medioambiental como en medicina, en el ámbito diagnóstico y terapéutico de las radiaciones ionizantes.

E4: Capacidad para desarrollar el trabajo de investigación científica en el marco o formando parte de grandes colaboraciones internacionales en el que se combinan labores tanto teóricas como experimentales y tecnológicas.

Materias y asignaturas asociadas a este módulo

Trabajo de Fin de Máster

Créditos:24

Obligatorio

MÓDULO: Fundamental

Créditos ECTS: 18

Carácter: Obligatorias

Unidad temporal: Anual

Materias y Asignaturas asociadas a este Módulo:

Estructura Nuclear: Propiedades y Modelos

Introducción a las Reacciones Nucleares

Física Nuclear Experimental

Requisitos previos

Sistemas de evaluación

Criterio de evaluación específico para las asignaturas:

Asistencia y participación en el curso presencial, elaboración de ejercicios y problemas planteados por los profesores, elaboración de prácticas de laboratorio. Informe del tutor.

Actividades formativas con su contenido en ECTS, su metodología de enseñanza y aprendizaje, y su relación con las competencias que debe adquirir el estudiante

Objetivos:

Introducir al alumnado a los principales modelos nucleares. Introducir al estudiante en los métodos experimentales básicos para medir propiedades relacionadas con la estructura del núcleo atómico. Conocer los métodos de campo medio aplicados a sistemas de muchos fermiones en interacción. Introducir al alumnado a los principales esquemas y aproximaciones para el estudio de las reacciones nucleares. Conocer la instrumentación y montajes más usuales en un laboratorio de Física Nuclear. Conocer los sistemas de adquisición y tratamiento de datos en un experimento de Física Nuclear. Planificar y llevar a cabo un experimento.Aprender algunos métodos de simulación numérica.

Indicación metodológica específica para el módulo:

La docencia de todas las materias de este módulo se organiza en tres fases:

a) tutorías previas del estudiante con su tutor asignado (uno para cada estudiante del programa),

b) clases magistrales de teoría o problemas, y prácticas en el laboratorio, incluyendo clases de resolución de los problemas y cuestiones planteadas durante las clases magistrales, en grupos reducidos.

c) tutorías posteriores al curso con el tutor asignado para planificar los problemas y/o trabajos que el alumno debe elaborar y entregar.

La docencia de las asignaturas será secuencial en el tiempo, es decir, las tres fases de una asignatura serán seguidas de las tres fases de la siguiente, etc. Se evitará el solape de la docencia de más de una asignatura. Una de las materias del módulo tiene un gran componente experimental por lo que se realizará en gran parte en los laboratorios. Algunas de las prácticas serán: Montaje de detectores de centelleo, espectroscopía alfa, beta y gamma, medidas de coincidencias.

Contenidos del Módulo

Introducción a los principales modelos nucleares, tanto colectivos como de partícula independiente. Los temas a tratar serán:

El modelo colectivo. Los modelos de partícula independiente. El modelo unificado de Bohr-Mottelson. Bases microscópicas de los modelos nucleares. Correlaciones de apareamiento. Vibraciones nucleares. Más allá del campo medio. Modelos algebraicos.

Introducción a la teoría cuántica de la dispersión y su aplicación a la dispersión de núcleos atómicos. Los temas a tratar serán:Fenomenología de las reacciones nucleares. Dispersión elástica. Teoría clásica de la dispersión. Teoría cuántica de la dispersión. Dispersión inelástica. Métodos aproximados. Otros canales de reacción.

Características generales de los detectores de radiación: Materiales aislantes y semiconductores. Movilidad electrónica e iónica. Deriva y difusión. Señal intrínseca y factor de Fano. Resolución en energía. Eficiencia. Mecanismo de centelleo, centelleadores, dispositivos de fotomultiplicación. Detectores gaseosos de radiación: deriva y multiplicación. Detectores proporcionales y no proporcionales. Detectores de semiconductor. Unión p-n. Diodo. Detectores de micropistas y pixeles. El detector como dispositivo electrónico. Modelización eléctrica del contador. Electrónica de amplificación (voltaje, corriente eléctrica y carga eléctrica). Circuitos de acondicionamiento de señal. El amplificador de instrumentación. Instrumentación de espectrometría. Medida de tiempos. Sistemas de detección en Física Nuclear y de Altas Energías. Espectrómetro magnético. Calorímetro.

Descripción de las competencias

G1: Saber aplicar los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas nuevos en contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con la Física Nuclear.

G2: Ser capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

G4: Poseer las habilidades de aprendizaje que permitan continuar estudiando en el campo de la Física Nuclear de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

G7: Conocer la influencia de los procesos nucleares sobre el entorno medioambiental y conocer las consideraciones éticas derivadas.

E1: Capacidad para el estudio e investigación en temas abiertos en la frontera del conocimiento en los campos de la Física Nuclear, tanto teórica como experimental, y sus aplicaciones tecnológicas y médicas.

E3 Capacidad para el uso de las principales herramientas y métodos de computación y programación utilizadas en la actualidad en los experimentos de Física Nuclear, y para el manejo de las técnicas experimentales que son de uso generalizado tanto en física medioambiental como en medicina, en el ámbito diagnóstico y terapéutico de las radiaciones ionizantes.

E4: Capacidad para desarrollar el trabajo de investigación científica en el marco o formando parte de grandes colaboraciones internacionales en el que se combinan labores tanto teóricas como experimentales y tecnológicas.

Materias y asignaturas asociadas a este módulo

Estructura Nuclear: Propiedades y Modelos

Fechas: 14-18 de octubre de 2019

Lugar: Salamanca/Granada

Obligatoria

Contenidos:

ESTADO FUNDAMENTAL DEL NÚCLEO. Números cuánticos. Tamaño, forma y energía.

ESTADOS EXCITADOS DE UN NÚCLEO. Espectroscopía nuclear. Desexcitación gamma. Desintegración beta.

MODELOS COLECTIVOS Dinámica de la gota líquida. Vibraciones y rotaciones nucleares.

MODELOS DE PARTÍCULAS INDEPENDIENTES.El modelo de capas esférico. El modelo de capas deformado (Nilsson).

EL MODELO UNIFICADO DE BOHR Y MOTTELSON

Energías de excitación y transiciones electromagnéticas en núcleos deformados.

BASES MICROSCÓPICAS DE LOS MODELOS DE PARTÍCULAS INDEPENDIENTES.

El método de Hartree-Fock. La interacción efectiva nucleón-nucleón en el medio nuclear. Correlaciones y rotura de simetrías.

BibliografíaFundamental

``The Nuclear Shell Model", K. Heyde (Springer-Verlag, 1994).

Otros:

“Simple Models of Complex Nuclei", I. Talmi (Harwood Academic Publishers, 1993).

Física Nuclear Experimental (ver ficha al final de esta guía)

Planificación para el grupo que se imparte en la UCM
Fechas: 25-29 de Noviembre, 12 de Diciembre de 2019

Lugar: Esta asignatura, básicamente con iguales contenidos y estructura, tendrá dos sedes el curso 2019-2020: Madrid y Sevilla. Se harán dos grupos de alumnos, los matriculados en Madrid y Salamanca harán esta asignatura en Madrid y los matriculados en Sevilla, Barcelona y Granada la harán en Sevilla.

Obligatoria

Contenidos:

El objetivo del curso es introducir al estudiante en las técnicas instrumentales mas comunes utilizadas en la investigación experimental de las propiedades del núcleo atómico y en las diversas aplicaciones de la Física Nuclear. El curso incluye una introduccióna la instrumentación nuclear (15 horas), seminarios especializados sobre técnicas experimentales en Física Nuclear y preparación de informes de prácticas y experimentos (15 horas) y prácticas de laboratorio (14 horas).

Introducción a la instrumentación nuclear

En esta sección se introducirán: 1) los conceptos básicos de interacción de la radiación y la materia, 2) los principios de funcionamiento de los detectores más comunes: detectores gaseosos de ionización, detectores de semiconductor y detectores de centelleo, 3) su aplicación a la detección de la radiación gamma, de partículas cargadas y de neutrones, y 4) una introducción a la electrónica nuclear y los sistemas de adquisición de datos.

Seminarios especializados

En esta sección se presentarán varios seminarios que exploran el uso de diferentes técnicas experimentales en temas actuales de investigación en Física Nuclear. Los tópicos incluyen: 1) Espectroscopía gamma de alta resolución en haz, 2) Desintegración radioactiva por emisión de partículas cargadas, 3) Emisión de neutrones retardados en la desintegración beta, 4) Espectroscopía gamma por absorción total, 5) Reacciones nucleares con haces de baja energía, 6) Medida de secciones eficaces de reacciones en cinemática inversa, 7) Medida de masas nucleares con alta precisión, 8) Producción y uso de haces radioactivos en experimentos de desintegración

Prácticas de Laboratorio

En este apartado se incluye:

Prácticas con ordenador: 1) Simulación Monte Carlo de detectores,

Practicas de laboratorio: 2) Montaje de detectores de centelleo, 3) Calibración de detectores de HPGe para radiación gamma, 4) Calibración de detectores de Si para partículas alfa y beta. Técnicas de vacío. 5) Detección de neutrones, 6) Medida de coincidencias temporales. Coincidencias gamma-gamma.

Bibliografía:

Introduction to Experimental Particle Physics, R. Fernow, Cambridge University Press, Radiation Detection and Measurement, G.F. Knoll, Wiley

Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, W.R. Leo, Springer Verlag

New Detector Developments for Nuclear Radiation, R. Mossbauer (J. Phys. G S1-S13 (1991))

Particle accelerators and their uses, W. Scharf,

Instrumentación Nuclear, A. Tanarro Sanz,

Nucleon and particle physics simulations: the consortium for upper-level physics software" Bigelow et al., John Wiley 1995.

Introducción a las Reacciones Nucleares

Profesores:

Fechas:4-8 de Noviembre de 2019

Lugar: Sevilla

Obligatoria

Contenidos:

1 INTRODUCCIÓN

Fenomenología de las reacciones nucleares. Tipos de reacciones nucleares. Leyes de conservación. Magnitudes experimentales. Secciones eficaces. Espectro de energías. Función de excitación. Características cualitativas de las reacciones nucleares. Reacciones nucleares directas. Reacciones de núcleo compuesto.

2 REACCIONES DE NÚCLEO COMPUESTO

Fusión. Penetración de barrera. Modelo estadístico del núcleo compuesto.

3 TEORÍA CLÁSICA DE LA DISPERSIÓN.

Función de deflexión. Sección eficaz diferencial. Ejemplos.

4 TEORÍA CUÁNTICA DE LA DISPERSIÓN.

Ecuación de Schrödinger. Potenciales de corto alcance. Desarrollo en ondas parciales. Condiciones de contorno. Corrimiento de fase: Matriz S. Amplitud de dispersión. Secciones eficaces. Tratamiento del potencial coulombiano.

5 FENOMENOLOGÍA DE LA DISPERSIÓN

Potenciales nucleón-nucleón y núcleo-núcleo. Potencial nuclear fenomenológico. Potencial de convolución. Potencial imaginario. Potenciales de transición. Potenciales coulombianos. Potenciales deformados. Radio y momento angular en colisión rasante. Distribuciones Fresnel, Fraunhofer y otras. Matriz S. Fusión por debajo y por encima de la barrera. Sección eficaz de reacción.

6 DISPERSIÓN INELÁSTICA

El método de canales acoplados (CC). Condiciones de contorno y amplitud de dispersión. Aproximación de Born de onda plana (PWBA). Aproximación DWBA.

7 REACCIONES DE TRANSFERENCIA

Método de canales acoplados de reacción (CRC). Aproximación DWBA. Factores espectroscópicos. Fenomenología: dependencia con la energía de colisión, energía de ligadura, momento angular.

8. REACCIONES CON NÚCLEOS HALO

El método CDCC. Aproximación adiabática. Reacciones de transferencia con núcleos halo.

9. PRÁCTICAS: PROGRAMA DE CÁLCULO DE SECCIONES EFICACES

Datos de entrada y su conexión con el formalismo. Obtención de secciones eficaces clásica y cuánticamente. Análisis de los resultados.

Bibliografía:

[Sat] ``Introduction to Nuclear Reactions'', G.R. Satchler.

[Joa] "Quantum Collision Theory", C.J. Joachain

[F&L] "Theory of Nuclear Reactions", P. Frobrich y R. Lipperheide (Oxford Studies in Nuclear Physics)

[Sat2] "Direct Nuclear Reactions", G.R. Satchler.

[Fes] ``Nuclear Reaction Theory'', H. Feschbach.

[Bri] ``Semiclassical Methods for Nucleus-Nucleus Scattering'', D.M. Brink.

[Bro] ``Heavy Ion Reactions'', R. Broglia and A. Winther.

MÓDULO: Física Nuclear Aplicada

Créditos ECTS: 12

Carácter: Optativa

Unidad temporal: Anual

Materias y Asignaturas asociadas a este Módulo:

Física Nuclear Aplicada I

Física Nuclear Aplicada II

Requisitos previos

Requisitos previos recomendados: Haber cursado o estar cursando las asignaturas obligatorias de este Programa: Estructura Nuclear, Reacciones Nucleares y Física Nuclear Experimental.

Sistemas de evaluación

Criterio de evaluación específico para la asignatura

Asistencia y participación en el curso presencial, elaboración de ejercicios y prácticas planteados por los profesores, Informe del tutor.

Actividades formativas con su contenido en ECTS, su metodología de enseñanza y aprendizaje, y su relación con las competencias que debe adquirir el estudiante

Objetivos:

Conocer las características y principales procesos de la interacción radiación-materia. Conocer los principales métodos nucleares de análisis y caracterización de materiales. Aprender las bases físicas de la radioterapia y algunas técnicas de imagen en física médica. Conocer los fundamentos de la generación de energía nuclear por fisión y por fusión.

Conocer la dinámica de una instalación profesional de Física Nuclear, sus aplicaciones y los principios básicos sobre radioprotección y la legislación sobre radiaciones ionizantes.

Familiarizarse con las técnicas de detección de radiación, dosimetría, los montajes más elementales y el tratamiento de datos correspondiente.

La docencia se organiza en tres fases: a) tutorías previas del estudiante con su tutor asignado (uno para cada estudiante del programa), b) clases magistrales de teoría o problemas, y prácticas en el laboratorio, concentradas en una semana para cada asignatura, incluyendo clases de resolución de los problemas y cuestiones planteadas durante las clases magistrales, en grupos reducidos. c) tutorías posteriores al curso con el tutor asignado para planificar los problemas y/o trabajos que el alumno debe elaborar y entregar. La docencia de las asignaturas será secuencial en el tiempo, es decir, las tres fases de una asignatura serán seguidas de las tres fases de la siguiente, etc. Se evitará el solape de la docencia de más de una asignatura. Esta asignatura tiene un gran componente experimental por lo que se realizará en gran parte en los laboratorios. Algunas de las prácticas serán: Análisis de una muestra medioambiental, Aplicación de la técnica PIXE para el análisis de muestras de interés arqueológico, Aplicación de la técnica RBS para el análisis y caracterización de materiales. Para el desarrollo profesional de estas prácticas contamos con las instalaciones de aceleradores de partículas en Sevilla (CNA) y Madrid (CMAM).

Contenidos:

Introducción a distintas aplicaciones de los métodos nucleares: análisis y caracterización de materiales, médicos y biológicos y energéticos y medioambientales. Los temas a tratar son:

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, Principios básicos de dosimetría y radioprotección, Datación con radionúclidos, Espectrometría de masas con aceleradores de partículas, Técnicas nucleares de análisis, Energía nuclear: fusión y fisión. También incluirá una introducción a la legislación sobre radiaciones ionizantes.

Esta materia también tiene un gran componente experimental. Entre las prácticas que harán los

alumnos están: Análisis de una muestra medioambiental, Aplicación de la técnica PIXE para el análisis de muestras de interés arqueológico, Aplicación de la técnica RBS para el análisis y caracterización de materiales. Para el desarrollo profesional de estas prácticas contamos con las instalaciones de aceleradores de partículas en Sevilla (CNA) y Madrid (CMAM).

Descripción de las competencias:

G1: Saber aplicar los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas nuevos en contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con la Física Nuclear.

G2: Ser capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

G5: Fomentar el espíritu emprendedor.

G6: Fomentar y garantizar el respeto a los Derechos Humanos y a los principios de accesibilidad universal, igualdad, no discriminación, y los valores democráticos y de la cultura de la paz.

G7: Conocer la influencia de los procesos nucleares sobre el entorno medioambiental y conocer las consideraciones éticas derivadas.

E1: Capacidad para el estudio e investigación en temas abiertos en la frontera del conocimiento en los campos de la Física Nuclear, tanto teórica como experimental, y sus aplicaciones tecnológicas y médicas.

E2: Poseer una visión global del conocimiento actual de los procesos de generación de materia y energía en el Universo, de la exploración del Universo usando partículas y radiación de alta energía, de la descripción de la estructura de los núcleos atómicos y de sus interacciones y de la conexión de éstos con estructuras más fundamentales.

E3 Capacidad para el uso de las principales herramientas y métodos de computación y programación utilizadas en la actualidad en los experimentos de Física Nuclear, y para el manejo de las técnicas experimentales que son de uso generalizado tanto en física medioambiental como en medicina, en el ámbito diagnóstico y terapéutico de las radiaciones ionizantes.

Física Nuclear Aplicada I (Materiales y Medioambiente)

Fechas: 27-31 de enero de 2020

Lugar: Sevilla

Optativa

Contenidos:

Programa Teórico

1. UTILIZACIÓN DE ACELERADORES DE PARTÍCULAS PARA LA INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINAR.
2. Fluorescencia de rayos X y sus aplicaciones.
3. Análisis de materiales mediante reacciones nucleares.
4. Retrodispersión Rutherford y sus aplicaciones.
5. ERDA y sus aplicaciones.
6. Canalización iónica.
7. Emisión de rayos X inducida por protones y sus aplicaciones.
8. Programas de cálculo para técnicas de análisis basadas en haces de iones.
9. Fechado mediante isótopos radiactivos.
10. Espectrometría de masas con aceleradores.

Prácticas de Laboratorio

1. ANÁLISIS MEDIANTE XRF DE MUESTRAS DE INTERÉS PARA EL PATRIMONIO CULTURAL.

2. ANÁLISIS MEDIANTE TÉCNICAS IBA DE MUESTRA DE INTERÉS TECNOLÓGICO O MEDIOAMBIENTAL.

Visitas a instalaciones

1. Centro Nacional de Aceleradores (CNA)
2. Centro de Investigación, Tecnología e Innovación de la Universidad de *Sevilla* (*CITIUS*)

Bibliografía:

[Sat] ``Introduction to Nuclear Reactions", G.R.Satchler.

[Joa] "Quantum Collision Theory", C.J. Joachain

[F&L] "Theory of Nuclear Reactions", P. Frobrich y R. Lipperheide (Oxford Studies in Nuclear Physics)

[Sat2] "Direct Nuclear Reactions", G.R. Satchler.

[Fes] ``Nuclear Reaction Theory", H. Feschbach.

[Bri] ``Semiclassical Methods for Nucleus-Nucleus Scattering", D.M. Brink.

[Bro] ``Heavy Ion Reactions", R. Broglia and A. Winther.

Física Nuclear Aplicada II (Energía, Aplicaciones Biomédicas)

Fechas: 24-28 de Febrero de 2020

Lugar: Madrid

Optativa

Contenidos:

Parte I: Tecnología nuclear y energía

1) Las reacciones nucleares como fuente de energía

Fusión termonuclear

Fisión nuclear

2) Energía Nuclear

Perspectivas sobre la energía nuclear de fusión: fusión por confinamiento magnético y fusión inercial.

Energía nuclear de fisión

Tipos de centrales nucleares en operación

Ciclo de combustible nuclear

Residuos radiactivos

3) Neutrónica y cinética de reactores

Neutrónica y cinética de reactores

Procesos físicos en un reactor nuclear de fisión: fisión, absorción y moderación

Ecuación de transporte

Ecuación de difusión

Cinética de reactores

Control de reactores

4) Actividades de I+D en energía nuclear de fisión

Separación y transmutación

Reactores de Generación IV

¿Algo aquí de reactores miniatura?

Sistemas subcríticos asistidos por acelerador

Datos nucleares: experimentos tipo e instalaciones.

Parte II. Aplicaciones en Medicina

5) Física de la radiación

Principios de radiobiología

Efectos biológicos de la radiación

6) Protección Radiológica

Instrumentación para radioterapia

Aceleradores lineales

Ciclotrones

Sincro-ciclotrones

7) Principios de radioterapia

Braquiterapia

Teleterapia

8) Imagen médica

Rayos X. MRI

Imagen nuclear

Radiofármacos

Imagen planar

Imagen funcional e imagen molecular.

9) Tomografía computerizada

Equipamiento para CT, PET y SPECT

Técnicas de reconstrucción de imagen

Tomografía con trazadores radioactivos.

Parte III. Prácticas

i) Determinación de la masa crítica para diferentes tipos de materiales y configuraciones geométricas mediante métodos MC

ii) Simulación MC de un detector para PET o SPECT

iii) Introducción a los programas de cálculo de dosis en radioterapia

iv) Reconstrucción de imagen tomográfica

Bibliografía básica

Ingeniería de Reactores Nucleares. Samuel Glasstone y Alexander Sesonske. Ed. Reverté. 1968

Nuclear Reactor Physics. Weston M. Stacey. 2007 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.

ISBN 978-3-527-40679-1

Radiation detection and measurement. Glenn F. Knoll. John Wiley & Sons LTD (2ª),

ISBN 978-0-471-07338-3

World Energy Outlook 2008, International Energy Agency, ISBN 978-92-64-04560-6.

The elements of neutron interaction theory. Anthony Foderaro. MIT Press Classic. ISBN 0-262-56160-3

Farr's Physics for Medical Imaging. Penelope J. Allisy-Roberts, Jerry Williams, Saunders Ltd.; 2 edition

(25 Oct 2007), ISBN-10: 0702028444, ISBN-13: 978-0702028441

Walter & Miller's textbook of radiotherapy. C. K. Bomford, I. H. Kunkler, Churchill Livingstone eds., 6 edition (1 Oct 2002), ISBN-10: 0443062013, ISBN-13: 978-0443062018.

MÓDULO: Complementos

Carácter: Optativo

Unidad temporal: Anual

Materias y Asignaturas asociadas a este Módulo:

Física Hadrónica

Astrofísica Nuclear

Teoría Cuántica Relativista: Procesos Nucleares (Mecánica Cuántica Avanzada)

Interacciones Débiles

Técnicas Experimentales Avanzadas en Física Nuclear

Teorías de Muchos Cuerpos en Física Nuclear

Requisitos previos

Requisitos previos recomendados: Haber cursado o estar cursando las asignaturas obligatorias de este Máster.

Sistemas de evaluación

Criterio de evaluación específico para la asignatura: Asistencia y participación en el curso presencial, elaboración de ejercicios y problemas planteados por los profesores, Informe del tutor.

Actividades formativas con su contenido en ECTS, su metodología de enseñanza y aprendizaje, y su relación con las competencias que debe adquirir el estudiante:

Objetivos:

Conocer los métodos avanzados en Física hadrónica, para acercarse a la descripción de los distintos aspectos de la multiproducciónhadrónica en colisiones hadrón-núcleo y núcleo-núcleo a grandes energías. Se adquirirán los conocimientos básicos sobre la estructura de los hadrones. Los temas a tratar son: Formalismo y conceptos básicos. Hadrones y sus constituyentes. Interacciones entre hadrones. Aplicaciones a sistemas nucleares. Instalaciones relevantes en la física de hadrones.

Adquirir una visión global del conocimiento que se tiene actualmente sobre los procesos de generación de materia y energía en el Universo y que a su vez son responsables de las distintas fases de la evolución estelar. En particular se estudiarán las principales reacciones termonucleares responsables de los procesos de nucleosíntesis primordial y estelar, así como el papel de la ecuación de estado de la materia nuclear en la evolución de los cuerpos estelares.

Familiarizar al alumno con la fenomenología de la interacción débil y que comprenda el modelo estándar de la interacción electrodébil siendo capaz de calcular cualquier tipo de proceso débil a nivel árbol. Introducir al alumno en los conceptos básicos de la Mecánica Cuántica Relativista.

Indicación metodológica específica para cada materia: La docencia se organiza en tres fases:

a) tutorías previas del estudiante con su tutor asignado (uno para cada estudiante del programa),

b) clases magistrales de teoría o problemas, y prácticas en el laboratorio, concentradas en una semana para cada asignatura, incluyendo clases de resolución de los problemas y cuestiones planteadas durante las clases magistrales, en grupos reducidos.

c) tutorías posteriores al curso con el tutor asignado para planificar los problemas y/o trabajos que el alumno debe elaborar y entregar.

La docencia de las asignaturas será secuencial en el tiempo, es decir, las tres fases de una asignatura serán seguidas de las tres fases de la siguiente, etc. Se evitará el solape de la docencia de más de una asignatura.

Contenidos:

Interacciones hadrónicas a alta energía: cinemática, teoría de Regge-Gribov. Colisiones hadrón-núcleo y núcleo-núcleo: teoría de Glauber-Gribov. Dispersión profundamente inelástica: modelo de partones, Cromodinámica Cuántica, distribuciones partónicas en nucleones y en núcleos, jets. Modelos de producción múltiple: modelo dual de partones, generadores Monte Carlo.

Introducir los conceptos fundamentales de Astrofísica nuclear. Los temas a tratar son:

- Conceptos generales de astrofísica. Nucleosíntesis y evolución estelar. Ecuación de estado de la materia nuclear. Estrellas de neutrones.
- Desintegración beta nuclear: teoría de Fermi. Violación de la paridad en la desintegración beta.
- Desintegración débil de partículas extrañas: teoría de Cabbibo. Teoría gauge de la interacción débil. Rotura espontánea de simetría. El modelo estándar. Oscilaciones de neutrinos.
- Ecuaciones relativistas para partículas de espín cero. Propagadores. Partículas de espín 1. Ecuación de onda para partículas de espín 1/2. Ecuación de onda para estados ligados de dos partículas.

Descripción de las competencias

G1: Saber aplicar los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas nuevos en contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con la Física Nuclear.

G2: Ser capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

G3: Saber comunicar sus conclusiones (y los conocimientos y razones últimas que las sustentan) en el campo de la Física Nuclear y aplicaciones a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

G4: Poseer las habilidades de aprendizaje que permitan continuar estudiando en el campo de la Física Nuclear de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

G5: Fomentar el espíritu emprendedor.

G7: Conocer la influencia de los procesos nucleares sobre el entorno medioambiental y conocer las consideraciones éticas derivadas.

E1: Capacidad para el estudio e investigación en temas abiertos en la frontera del conocimiento en los campos de la Física Nuclear, tanto teórica como experimental, y sus aplicaciones tecnológicas y médicas.

E2: Poseer una visión global del conocimiento actual de los procesos de generación de materia y energía en el Universo, de la exploración del Universo usando partículas y radiación de alta energía, de la descripción de la estructura de los núcleos atómicos y de sus interacciones y de la conexión de éstos con estructuras más fundamentales.

E3 Capacidad para el uso de las principales herramientas y métodos de computación y programación utilizadas en la actualidad en los experimentos de Física Nuclear, y para el manejo de las técnicas experimentales que son de uso generalizado tanto en física medioambiental como en medicina, en el ámbito diagnóstico y terapéutico de las radiaciones ionizantes.

E4: Capacidad para desarrollar el trabajo de investigación científica en el marco o formando parte de grandes colaboraciones internacionales en el que se combinan labores tanto teóricas como experimentales y tecnológicas.

Física Hadrónica

Fechas: 23-27 de Marzo de 2020

Lugar: Barcelona

Optativa, 6 ECTS

Contenidos

1. Leptones y quarks. Hadrones: bariones y mesones. Interacciones elementales. Introducción a las teorías de gauge: simetrías y leyes de conservación.

2. Ecuaciones de Klein-Gordon y Dirac.

3. Colisiones relativistas y diagramas de Feynman.

4. Ejemplos (cálculo de amplitudes de colisión y secciones eficaces).

5. Espectroscopíahadrónica. Modelo de quark. Status actual. Instalaciones.

6. Dispersión inelástica de electrones. Partones. Quark-gluon plasma.

7. Fenomenología de la interacción n-n. Modelo de intercambio de mesones.

8. Introducción a las teorías efectivas. Lagrangianosquirales.

9. Interacción mesón-mesón y mesón-barión.

10. Interacción barión-barión.

11. Ecuación de Bethe-Goldstone: interacción en el medio nuclear.

12. Hadrones en materia nuclear.

13. Física de kaones.

14. Hipernúcleos.

15. Física del Charm.

Bibliografía básica

[MS] ``Quantum Field Theory'', F. Mandl y G. Shaw, Wiley and Sons Ltd, 1984.

[B] ``Models of the nucleon: from quarks to solitons", R.K. Bhaduri, Addison- Wesley, 1988.

[HM] ``Quarks and Leptons: an introductory course in modern particle physics", F. Halzen and A.D. Martin, Wiley and Sons Ltd., 1984.

[EW] ``Pions and Nuclei", T.E.O. Ericson, W. Weise. Oxford-Clarendon Press,1988.

[S] ``Electroweak and Strong Interactions", F. Scheck.

[W] ``Theoretical Nuclear and Subnuclear Physics", J.D. Walecka. Oxford UniversityPress, 1995.

[AH] "Gauge theories in Particle Physics", I.J.R.Aitchison and A.J.G.Hey

[FS] "Introduction to the Quark Model of Elementary Particles", D. Flamm and F. Schöberl. Gordon and Breach, SciencePublishers Inc. 1982.

[FW] "Quantum Theory of Many Particle Systems", A.L. Fetter y J.D. Walecka, Dover, 2003.

[Ma] "A Guide to Feynman Diagrams in the Many Body Problem", R.D. Mattuck (Dover, New York, 1992), Second Edition.

[M] "The Meson theory of nuclear forces and nuclear structure", R. Machleidt, Adv. Nucl. Phys. 19 (1989) 189-376.

[BMZ] "Production, structure and decay of hypernuclei", H. Bando, T. Motoba, J. Zofka, Int. J. Mod. Phys. A5 (1990) 4021-4198.

[FG] "In-medium nuclear interactions of low-energy hadrons", E. Friedman, A. Gal, Phys. Rept. 452 (2007) 89-153.

Astrofísica Nuclear

Fechas: 30 de Marzo a 3 de Abril de 2020

Lugar: Barcelona

Optativa, 6 ECTS

Contenidos

A.1. Breve historia del Universo. Ciclo vital de las estrellas. Equilibrio hidrostático.

A.2. Formación de estrellas. El Sol: densidad, presión y temperatura. Diagrama de Hertzsprung-Russell.

A.3. Nucleosíntesis primordial.

A.4. Nucleosíntesis estelar.

A.5. Nucleosíntesis explosiva supernova.

B.1. Ecuación de estado de un gas ideal: electrones y fotones.

B.2. Ecuación de estado de la materia nuclear simétrica, asimétrica y neutrónica.

B.3. Modelos fenomenológicos de la materia nuclear (I): interacciones de Skyrme.

B.4. Modelos fenomenológicos de la materia nuclear (II): interacciones relativistas.

B.5. Ecuación de estado de la materia beta-estable.

C.1. Enanas blancas. Masa y tamaño.

C.2. Estrellas de neutrones (I): masa y tamaño.

C.3. Estrellas de neutrones (II): composición.

C.4. Aplicaciones numéricas (I): ecuación de estado.

C.5. Aplicaciones numéricas (II): estrellas de neutrones.

Bibliografía

“The Physics of Stars”, A. C. Phillips, John Wiley & Sons, 2004.

“Particle Astrophysics”, D. H. Perkins, Oxford University Press, 2003.

“Fundamentals in Nuclear Physics: from Nuclear Structure to Cosmology”, J. L. Basdevant, J. Rich, M. Spiro, Springer, 2004.

“Introductory Nuclear Physics”, P. E. Hodgson, E. Gadioli, E. GadioliErba, Oxford University Press, 2003.

Teoría Cuántica Relativista: Procesos Nucleares (Mecánica Cuántica Avanzada)

Fechas: 20-24 de Enero de 2020

Lugar: Sevilla

Optativa, 6 ECTS

Contenidos

1. Transformaciones espacio-temporales: el grupo de Poincaré

2. Ecuaciones relativistas

3. Colisiones relativistas: Reglas de Feynman.

Bibliografía

"Advanced Quantum Theory", M. D. Scadron, Springer Verlag.

Teoría de Muchos Cuerpos en Física Nuclear

Fechas: 2-6 de Marzo de 2020

Lugar: Madrid

Optativa, 6 ECTS

Contenidos

CORRELACIONES DE APAREAMIENTO

La aproximación BCS: las ecuaciones del gap. El método de Hartree-Fock-Bogolyubov.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE LAS VIBRACIONES NUCLEARES.

El método de Tamm-Damcoff. La aproximación de las fases aleatorias.

MÁS ALLÁ DEL CAMPO MEDIO El modelo de capas con mezcla de configuraciones. Restauración de las simetrías; métodos de proyección. El método de la coordenada generatriz.

MODELOS ALGEBRAICOS. Núcleos deformados, rotaciones y el modelo SU(3) de Elliott.

Bibliografía:

``The Nuclear Many Body Problem", P. Ring y P. Schuck (Springer 1980).

"From Nucleons to Nucleus", J. Suhonen (Springer 2007).

"Shell Model applications in Nuclear Spectroscopy", P.J. Brussaard y P.W.M. Glaudemans (North Holland 1977).

A. Bohr and B.R. Mottelson Nuclear Structure. Vol. I, II WorldScientific

Técnicas Experimentales Avanzadas en Física Nuclear

Fechas: 13-17 de Enero de 2020

Lugar: Valencia

Optativa, 6 ECTS

Contenidos

1.) Experimentos avanzados: digitalizadores, detectores phoswich, calorimetría, coincidencias gamma, detección de neutrones.
2.) Seminarios: Instalaciones internacionales de física nuclear, espectroscopia gamma, experimentos de absorción total, haces radioactivos, haces de neutrones, fisión, estructura nuclear vía decaimiento beta, y otros.

Bibliografía

Gamma- and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, K. Debertin and R.G.Helmer, http://www.amazon.com/Gamma-X-Ray-Spectrometry-Semiconductor-Detectors/dp/0444871071#reader_0444871071

Interacciones Débiles

Fechas: 3-7 de febrero de 2020

Lugar: Granada

Optativa, 6 ECTS

Contenidos

1. Teoría de Fermi de la desintegración beta.

2. Teoría electrodébil.

3. Modelo estándar: Interacción débil en Física Hadrónica.

4. Interacción neutrino-nucleón y oscilaciones de neutrinos.

BIBLIOGRAFÍA

T. William Donnelly, Joseph A. Formaggio, Barry R. Holstein, Richard G. Milner, and Bernd Surrow, FOUNDATIONS OF NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS, Cambridge University Press, 2017.

E. SEGRÉ, NUCLEOS Y PARTÍCULAS, EDITORIAL REVERTÉ, 1972.

F.MANDL AND G. SHAW, QUANTUM FIELD THEORY, JOHN WILEY &SONS, 1984.

P. RENTON, ELECTROWEAK INTERACTIONS, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1990

Máster Interuniversitario en Física Nuclear — Curso 2019-20

Ficha de la asignatura:	Física Nuclear Experimental			Código	68620
Materia:	Física Nuclear		Módulo:	Fundamental	
Carácter:	Obligatoria		Curso:	1º	Semestre: Anual
Créditos (ECTS)	6.0	Teóricos:		Problemas:	Laboratorio:
Horas Totales[1]	37	Teóricos:	13	Problemas: 10	Laboratorio: 14

Profesor/a Coordinador/a:	Luis Mario Fraile Prieto		Dpto:	EMFTEL
	Despacho:	230	e-mail	lmfraile@ucm.es

Grupo	Profesores	T/P*	Dpto.	e-mail
único	Luis Mario Fraile Prieto	T/P	EMFTEL	lmfraile@ucm.es
	José Manuel UdíasMoinelo	T/P	EMFTEL	jose@nuc2.fis.ucm.es
	Víctor Sánchez-Tembleque Verbo	P	EMFTEL	victosan@ucm.es

*: T:teoría, P:prácticas

Grupo	Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)[1]
	Día	Horas	Aula	
único	L,M, X,J	10:30-14:30		M, J 15:00 a 16:30 José Manuel Udías (227, 3ª)
	V	10:30-13:30		L,X, 10:00 a 11:30 Luis Mario Fraile (229, 3ª)

Grupo	Laboratorio			Profesores
	Días	Horas	Lugar	
L1	L,M,X J	15:00 – 18:30	Laboratorio de Física Atómica y Nuclear	Luis Mario Fraile, José Manuel Udías, Víctor Sánchez-Tembleque

[1]La normativa de la UCM indica que los profesores estatutarios estarán disponibles al menos 6 horas a la semana para tutorías, de las cuales un máximo de tres horas semanales serán tutorías no presenciales. Los horarios de tutorías presenciales de los profesores estatutarios de la UCM que imparten clase en esta asignatura se encuentran expuestos al público en el departamento de EMFTEL. No obstante, lo establecido en dicha norma y horarios, acordando cita previa con cualquiera de los profesores, se atenderán tutorías presenciales y remotas en cualquier momento.

Breve descripción de contenidos

Técnicas experimentales utilizadas en el estudio del núcleo atómico.

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

El objetivo del curso es introducir al estudiante en las técnicas instrumentales más comunes utilizadas en la investigación experimental de las propiedades del núcleo atómico y en las diversas aplicaciones de la Física Nuclear. El curso incluye una introducción a la instrumentación nuclear, seminarios especializados sobre técnicas experimentales en Física Nuclear y prácticas de laboratorio.

Conocimientos previos necesarios

Se requieren fundamentos de Física Nuclear

Programa de la asignatura

Interacción radiación-materia

Teoría y tratamiento de errores.

Electrónica nuclear yprocesado de pulsos:energía, tiempo, coincidencias

PMTs y SiPM, Detectores de centelleo, Detectores gaseosos,Detectores desemiconductor

Aceleradores de partículas, Introducción a la simulación MC dedetectores
GEANT4, MCNP, SRIM)

Bibliografía ordenada alfabéticamente

1. Introduction to Experimental Particle Physics, R. Fernow, Cambridge University Press,
2. Radiation Detection and Measurement, G.F. Knoll, Wiley
3. Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, W.R. Leo, Springer Verlag
4. New Detector Developments for Nuclear Radiation, R. Mossbauer (J. Phys. G S1-S13 (1991))
5. Particle accelerators and their uses, W. Scharf,
6. Instrumentación Nuclear, A. Tanarro Sanz,
7. Nucleon and particle physics simulations: the consortium for upper-level physics software, Bigelow et al., John Wiley 1995.

Recursos en internet

En Campus Virtual de la UCM: https://cv.ucm.es/CampusVirtual/jsp/index.jsp

Metodología

Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:

• Lecciones de teoría donde se explicarán los principales conceptos de lamateria, incluyéndose ejemplos y aplicaciones.

• Clases prácticas de problemas y actividades dirigidas.

• Prácticas de laboratorio, seminarios sobre análisis de experimentos de Física Nuclear Experimental y guía sobre la realización de guiones de prácticas.

En las lecciones de teoría y problemas se utilizarán proyecciones con ordenador. Se suministrarán a los estudiantes enunciados de problemas con antelación a su resolución

en la clase, que losencontrarán en el Campus Virtual.

Como parte de la evaluación continua, los estudiantes tendrán que hacerentregas de ejercicios tales como problemas resueltos y/o trabajos específicos.

Las prácticas se realizarán en el laboratorio de Física Atómica y Nuclear de la UCMy con equipos de investigación del Grupo de Física Nuclear, y en el aula de informática. La asistencia a todas las clases presenciales es obligatoria. El alumno deberá presentar informes de las prácticas realizadas.

Evaluación		
Realización de exámenes (N_{Final})	**Peso:**	40%
Se realizará un examen final. El examen constará de una serie de problemas y/o cuestiones teóricas (de nivel similar a los resueltos en clase). Para la realización de la parte del examen no se podrán utilizar apuntes ni libros.		
Otras actividades (N_{lab})	**Peso:**	40%
Asistencia, actitud y otras habilidades demostradas en las sesiones de laboratorio y calidad de los informes presentados de cada práctica. La realización de las prácticas de laboratorio y la correspondiente presentación de los informes es obligatoria.		
Otras actividades (N_{ec})	**Peso:**	20%
Los profesores podrán tener en cuenta las siguientes actividades: − Problemas entregados a lo largo del curso de forma individual o en grupos. − Participación en clase, ejercicios hechos en la pizarra por los alumnos. − Presentación, oral o por escrito, de trabajos. − Trabajos voluntarios.		
Calificación final		
La calificación final será la resultante de la siguiente fórmula: $C_{Final} = 0.4 \cdot N_{ex} + 0.4 \cdot N_{lab} + 0.2 \cdot N_{ec}$ donde N_{ex} es la calificación correspondiente al examen final, N_{ec} es la calificación correspondiente a la evaluación continua y N_{lab} es la calificación de las prácticas de laboratorio. En cualquiera de los casos, para aprobar la asignatura será necesario obtener un mínimo de 4 sobre 10 en la calificación correspondiente al examen final.		

Máster Interuniversitario en Física Nuclear Curso 2019-20

Ficha de la asignatura:	Física Nuclear Aplicada II			Código	603759
Materia:	Física Nuclear Aplicada		Módulo:	Optativo	
Carácter:	Optativo		Curso:	1º	Semestre: 2
Créditos (ECTS)	6	Teóricos		Problemas		Laboratorio	
Horas Totales[2]	34.5	Teóricos	12	Problemas	10.5	Laboratorio	12

Profesor/a Coordinador/a:	José Manuel UdíasMoinelo		Dpto:	EMFTEL
	Despacho:	227	e-mail	jose@nuc2.fis.ucm.es

Grupo	Profesores	T/P*	Dpto.	e-mail
único	José Manuel UdíasMoinelo	T/P	EMFTEL	jose@nuc2.fis.ucm.es
	Joaquín López Herraiz	T/P	EMFTEL	jlopezhe@ucm.es
	Daniel Sánchez Parcerisa	T/P	EMFTEL	dsparcerisa@ucm.es
	Daniel Cano Ott (2h)	T/P	EMFTEL/ CIEMAT	Daniel.cano@ciemat.es

*: T:teoría, P:prácticas

Grupo	Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)[2]
	Día	Horas	Aula	
único	L, M, X, J, V	9-13:30	Se imparte en un aula del CIEMAT	Daniel Sánchez Parcerisa J: 10:00-13:00 235. 3ª Joaquín López Herraiz. M: 15:00-17:00 J: 11:00-13:00, 235. 3ª Planta José Manuel Udías; M, J 15:00 a 16:30 (227, 3ª) Daniel Cano (confirmar por email)

[2]La normativa de la UCM indica que los profesores estatutarios estarán disponibles al menos 6 horas a la semana para tutorías, de las cuales un máximo de tres horas semanales serán tutorías no presenciales. Los horarios de tutorías presenciales de los profesores estatutarios de la UCM que imparten clase en esta asignatura se encuentran expuestos al público en el departamento de EMFTEL. No obstante lo establecido en dicha norma y horarios, acordando cita previa con cualquiera de los profesores, se atenderán tutorías presenciales y remotas en cualquier momento.

Grupo	Laboratorio y Seminarios			Profesores
	Días	Horas	Aula	
L1	L,M,X,J	15-18	15 (L y X) y Laboratorios del Centro Nacional de Fusión	Joaquín López Herraiz Daniel Sánchez Parcerisa José Manuel Udías Daniel Cano Ott (6h)

Breve descripción de contenidos
Aplicaciones de la Física Nuclear para la obtención de energía (fusión y fisión nuclear), y en medicina (principalmente radiodiagnóstico y radioterapia).

Esta asignatura se imparte íntegramente en inglés.

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
• Capacidad para el estudio e investigación en temas abiertos en la frontera del conocimiento en los campos de la Física Nuclear, tanto teórica como experimental, y sus aplicaciones tecnológicas y médicas.

Conocimientos previos necesarios
Los adquiridos al cursar las asignaturas del módulo obligatorio del máster.

Programa de la asignatura
Parte I: Tecnología nuclear y energía 1) Las reacciones nucleares como fuente de energía Fusión termonuclear. Fisión nuclear 2) Energía Nuclear Perspectivas sobre la energía nuclear de fusión: confinamiento magnético e inercial Energía nuclear de fisión. Tipos de centrales nucleares en operación Ciclo de combustible nuclear. Residuos radiactivos 3) Neutrónica y cinética de reactores Procesos físicos en un reactor nuclear de fisión: fisión, absorción y moderación Ecuación de transporte. Ecuación de difusión. Cinética de reactores. Control de reactores 4) Actividades de I+D en energía nuclear de fisión Separación y transmutación. Reactores de Generación IV. Sistemas subcríticos asistidos por acelerador. Datos nucleares: experimentos tipo e instalaciones. **Parte II. Aplicaciones en medicina** 5) Física de la radiación Principios de radiobiología. Efectos biológicos de la radiación. Protección radiológica. 6) Instrumentación Instrumentación para radioterapia. Aceleradores lineales. Ciclotrones. Sincro-ciclotrones

7) Principios de radioterapia
Braquiterapia. Teleterapia. Protonterapia

8) Imagen médica
Imagen por Rayos X. Imagen nuclearplanar. Gammagrafía. Radiofármacos
Imagen funcional e imagen molecular.

9) Tomografía
Equipamiento para CT, PET y SPECT. Técnicas de reconstrucción de imagen.
Tomografía con trazadores radioactivos. Otras técnicas de imagen.

Parte III. Prácticas

Se realizarán en el aula de informática de la Facultad de Ciencias Físicas

i) Determinación de la masa crítica para diferentes tipos de materiales y configuraciones geométricas mediante métodos MC
ii) Simulación MC de un detector para PET o SPECT
iii) Introducción a los programas de cálculo de dosis en radioterapia
iv) Reconstrucción de imagen tomográfica.
v) Análisis de imágenes médicas

Bibliografía

- Ingeniería de Reactores Nucleares. Samuel Glasstone y Alexander Sesonske. Ed. Reverté. 1968.
- Nuclear Reactor Physics. Weston M. Stacey. 2007 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. ISBN 978-3-527-40679-1.
- Radiation detection and measurement. Glenn F. Knoll. John Wiley & Sons LTD (2ª), ISBN 978-0-471-07338-3.
- World Energy Outlook 2008, International Energy Agency, ISBN 978-92-64-04560-6.
- The elements of neutron interaction theory. Anthony Foderaro. MIT Press Classic. ISBN 0-262-56160-3.
- Farr's Physics for Medical Imaging. Penelope J. Allisy-Roberts, Jerry Williams, Saunders Ltd.; 2 edition (25 Oct 2007), ISBN-10: 0702028444, ISBN-13: 978-0702028441.
- Walter & Miller's textbook of radiotherapy. C. K. Bomford, I. H. Kunkler, Churchill Livingstone eds., 6 edition (1 Oct 2002), ISBN-10: 0443062013, ISBN-13: 978-0443062018.

Recursos en internet

En Campus Virtual de la UCM: https://cv.ucm.es/CampusVirtual/jsp/index.jsp

Metodología

Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:

• Lecciones de teoría donde se explicarán los principales conceptos de lamateria, incluyéndose ejemplos y aplicaciones.

• Clases prácticas de problemas y actividades dirigidas.

• Sesiones de laboratorio computacional

Parte de las clases presenciales se realizarán en el CIEMAT, en el laboratorio de imagen médica del CIEMAT y en el Stellarator TJ-II del Centro Nacional de Fusión.

En las lecciones de teoría se utilizarán proyecciones con ordenador y en lasclases de problemas se utilizará la pizarra. Se suministrarán a los estudiantes enunciados de problemas con antelación a su resolución en la clase, que losencontrarán en el Campus Virtual. Se reaizarán prácticas en el aula de informáticapara reforzar de un modo práctico lo aprendido en las sesiones de teoría y para dotar a la asignatura de mejores capacidades prácticas. La asistencia a todas las clases presenciales es obligatoria.

Evaluación		
Examen (N_{Exam})	**Peso:**	25%
Se facilitará a los alumnos un examen tipo test sobre la primera parte de la asignatura.		
Entrega de problemas(N_{Prob})	**Peso:**	50%
Se facilitará a los alumnos una lista de problemas que deberán entregar posteriormente a la fecha de finalización de las clases. En estos problemas habrá una mitad relacionada con la primera parte de la asignatura (energía nuclear) y otra sobre la segunda parte (aplicaciones médicas).		
Actividades de laboratorio(N_{lab})	**Peso:**	25%
Asistencia, actitud y otras habilidades demostradas en las sesiones de laboratorio y calidad de los informes presentados de cada práctica. La realización de las prácticas de laboratorio y la correspondiente presentación de los informes es obligatoria.		
Calificación final		
La calificación final será la media ponderada de las dos actividades: $C_{Final} = 0.25N_{Exam} + 0.5 \cdot N_{Prob} + 0.25 \cdot N_{lab}$ Este criterio de puntuación es válido para las dos convocatorias del curso académico.		