



GUÍA DOCENTE

INSTRUMENTACIÓN NUCLEAR Y DE PARTÍCULAS

Grado en Física

Cuarto Curso

I.- DATOS INICIALES DE IDENTIFICACIÓN

Nombre de la asignatura:	Instrumentación Nuclear y de Partículas
Nombre de la materia:	Complementos de Física
Carácter:	Optativo
Titulación:	Graduada/o en Física
Unidad temporal	Segundo cuatrimestre, Cuarto Curso
Créditos ECTS:	4,5 ECTS
Clases de teoría:	1,5 ECTS
Prácticas en el laboratorio:	3 ECTS
Departamento:	Física Atómica, Molecular y Nuclear

II.- INTRODUCCIÓN A LA ASIGNATURA

La Instrumentación Nuclear y de Partículas es una asignatura de carácter optativo que se imparte en el segundo cuatrimestre de cuarto curso de los estudios del Grado en Física. Consta de un total de 4,5 créditos ECTS, de los cuales 1,5 son teóricos y 3 son de laboratorio. Esta asignatura forma parte de la materia Complementos de Física y permitirá al graduado/a adquirir conocimientos básicos sobre las principales técnicas de detección y análisis de datos en Física Nuclear y de Partículas.

La asignatura va dirigida a aquellos estudiantes que deseen dedicarse a la Física Nuclear y de Partículas a través de su vertiente experimental. Se debe resaltar también la importancia de la asignatura en la formación de buenos profesionales en campos como la detección de la radiación, las técnicas nucleares, y las medidas de dosis por las muchas aplicaciones tecnológicas en las que la Física Nuclear y las radiaciones inciden, como por ejemplo: la medicina (formación de radiofísicos hospitalarios), las centrales nucleares, etc. Los estudiantes interesados en tener un primer contacto conceptual y práctico con la radiación, sus métodos de medida e instrumentación propia, tienen la oportunidad de hacerlo en esta asignatura y en particular en su laboratorio.

La detección y medida de cualquier tipo de radiación (fotones, neutrones, partículas cargadas, iones pesados, etc.) requiere, en primer lugar, de un conocimiento básico de los procesos fundamentales que tienen lugar cuando la radiación atraviesa la materia. Estos procesos son la base de todos los sistemas de detección de partículas y al mismo tiempo determinan cuál ha de ser el detector idóneo en cada caso, así como su sensibilidad y eficiencia. En la asignatura se estudian de forma minuciosa diferentes técnicas y tipos de detectores. Asimismo, se explican en las clases teóricas y se manejan en el laboratorio los módulos electrónicos necesarios para la conformación, transporte y análisis de los pulsos eléctricos generados en los detectores. Una parte importante de la asignatura está dedicada a la adquisición y análisis de datos, y a la obtención de resultados experimentales.

III.- VOLUMEN DE TRABAJO

Semanas de trabajo: se considera que el cuatrimestre tiene 15 semanas ideales (13-14 reales)

Horas de trabajo del alumno: 25 horas por crédito ECTS.

Horas totales: 115 horas totales, distribuidas como aparece en la tabla:

ACTIVIDAD		h/sem.	Nº sem	Total h
TEORÍA	Asistencia a clases teóricas	2	7,5	15
	Resolución de ejercicios propuestos			5
	Estudio y preparación de contenidos teóricos			15
	Estudio y preparación de exámenes			10
	Realización de exámenes			3
	Asistencia a Seminarios y Conferencias			3
	Asistencia a tutorías			2
LABORATORIO	Estudio y preparación de las prácticas			10
	Asistencia a las sesiones de laboratorio	6	5	30
	Preparación de memorias			20
	Asistencia a tutorías			2
TOTAL VOLUMEN DE TRABAJO				115

IV.- OBJETIVOS GENERALES

Conocer las técnicas de detección de la radiación tanto en Física Nuclear y Espectroscopía, como en Física de Partículas. En el laboratorio se ponen en práctica las técnicas aprendidas en el curso de teoría.

V.- DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

A continuación se establecen los contenidos de la parte teórica, así como los contenidos del laboratorio.

Los contenidos teóricos se estructuran en ocho temas, que a su vez pueden agruparse en tres categorías:

- El primer tema es introductorio, repasando conceptos ya vistos en la asignatura *Física Nuclear y de Partículas*, y que serán abordados con mayor detalle en la asignatura *Física Atómica y de las Radiaciones*.
- Los temas 2 al 5 corresponden al estudio de los detectores básicos que actualmente se utilizan en experimentos de Física Nuclear y de Partículas (detectores de ionización,

centelleadores, detectores de semiconducción), y que los estudiantes tendrán la oportunidad de utilizar en las sesiones de laboratorio.

- En los temas 6 al 8 se estudia la Electrónica Nuclear, empezando por la descripción de las señales eléctricas que proporcionan los detectores y el modo en que éstas se transmiten, describiendo a continuación los distintos módulos del estándar NIM que se utilizan para su tratamiento. Finalmente se explican algunas de las técnicas básicas de medida (selección de pulsos, sistemas de recuento, técnicas de coincidencias, medida de intervalos temporales)

En el laboratorio se ponen en práctica las técnicas aprendidas en el curso de teoría, allí se aprenden a manejar los sistemas más modernos de detección, material equivalente al que se utiliza en los grandes experimentos que actualmente se están desarrollando tanto en Física Nuclear como de Partículas. El tratamiento de los datos que se requiere hace, así mismo, que el alumno necesite utilizar y por tanto aprender técnicas informáticas y sistemas de adquisición de datos totalmente punteros.

TEMAS DE TEORÍA

- **Tema 1. Introducción**
 - Conceptos básicos: sección eficaz, recorrido libre medio, longitud reducida. Pérdida de energía de las partículas en colisiones atómicas: Fórmula de Bethe-Bloch. Alcance. Pérdida de energía de electrones y positrones: energía crítica y longitud de radiación. Interacción de los fotones. Formación de la cascada electromagnética. La interacción de los neutrones.
- **Tema 2. Características generales de los detectores**
 - Sensibilidad. Respuesta del detector. Resolución energética. Función respuesta: desconvolución de los espectros. Eficiencia. Tiempo muerto.
- **Tema 3. Detectores gaseosos de ionización**
 - Principio básico. Difusión y deriva de electrones e iones. Formación de la avalancha y factor de multiplicación. Cámara de ionización. Detector proporcional. Cámara de multihilos (MWPC). Cámara de deriva. Cámara de proyección temporal (TPC). Ejemplos.
- **Tema 4. Detectores de centelleo**
 - Características generales. Centelleadores orgánicos e inorgánicos. Respuesta luminosa y linealidad. Eficiencia intrínseca para radiaciones. Elementos básicos de un tubo fotomultiplicador (PM). Parámetros de operación: tensión de alimentación y ganancia. Linealidad. Corriente oscura. Factores externos. Acoplamiento centelleador-PM. Ejemplos.
- **Tema 5. Detectores de semiconducción**
 - Propiedades básicas de los semiconductores. Semiconductores dopados. La unión p-n: formación de la región de desertización. Detectores de barrera superficial.
- **Tema 6. Señales eléctricas en Física Nuclear**
 - Terminología. Señales analógicas y digitales. Señales rápidas y lentas. Dominio de frecuencias. Ancho de banda.

- **Tema 7. Electrónica para el procesamiento de señales**
 - El estándar NIM. Transmisión de señales mediante cables coaxiales. Impedancia característica del cable coaxial. Reflexión de la señal y ajuste de impedancias. Preamplificadores. Amplificadores. Filtros de pulsos: circuitos CR y RC. Redes conformadoras en amplificadores: circuitos CR-RC y CR-RC-CR. Módulos de Electrónica Nuclear: generadores de pulsos, puertas lineales, líneas de retrasos, discriminadores, conversores analógico-digital (ADC), conversores tiempo-amplitud (TAC), unidades de coincidencias, generadores de puertas y retrasos.
- **Tema 8. Técnicas de medida en Instrumentación Nuclear**
 - Puertas lógicas. Selección de altura de pulsos y sistemas de recuento. Técnicas de coincidencias. Ajuste de retrasos. Coincidencias accidentales. Ejemplos de "triggers". Métodos de medida de intervalos temporales.

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

- **Bloque 1. Detectores de centelleo y fotomultiplicadores**
 - Estudio del efecto Compton.
 - Verificación de la ley de Compton. Constante de Compton. Medida de la sección eficaz diferencial en función del ángulo (fórmula de Klein-Nishina). Medida de la energía del electrón de retroceso.
 - Coincidencias γ - γ y correlaciones angulares.
 - Estudio de correlaciones de la radiación gamma: angular y temporal. Técnicas de coincidencias: módulo de coincidencias, coincidencia retrasada (TAC), la técnica de la puerta lineal. Efectos del tamaño del detector. Medida de vidas medias de estados nucleares.
 - Estudio de la radiación cósmica y determinación de la vida media del muón.
 - Dependencia angular del flujo de rayos cósmicos. Componente dura y blanda de la radiación. Medidas temporales: determinación de la vida media del muón.
- **Bloque 2. Detectores gaseosos de ionización y detectores de semiconducción**
 - Espectroscopía de Rayos-X mediante un contador proporcional.
 - Características físicas de la emisión de rayos-X. Ley de Moseley. Fluorescencia de rayos-X. Interpretación de los espectros. Identificación de materiales.
 - Espectroscopía beta mediante un detector de Silicio.
 - Desintegración beta nuclear. Electrones de conversión interna. La función respuesta. Desconvolución de los espectros. Tratamiento de la señal y del fondo. Plots de Kurie. Coeficientes de conversión interna. Masa de núclidos.
 - Espectroscopía alfa mediante un detector de Silicio.
 - Desintegración alfa nuclear. Pérdida de energía de partículas alfa: cobre, níquel y aire. Poder de frenado. Curva alcance-energía. Distribución de Landau. Convolución con la función respuesta del detector.

VI.- DESTREZAS A ADQUIRIR

Con esta asignatura los alumnos deberán adquirir las siguientes destrezas específicas:

- Conocer los procesos, técnicas, detectores e instrumentos de medida en el campo de la Física Nuclear, Espectroscopía y Física de Partículas.
- Aprender a plantear y llevar a cabo un experimento.
- Aplicar el método científico en la resolución de trabajos experimentales.
- Interpretar las medidas obtenidas en el laboratorio y efectuar los análisis pertinentes para la obtención de los resultados finales y las magnitudes físicas que se pretende obtener.
- Expresar las magnitudes físicas de forma correcta y evaluar sus errores. Distinguir entre errores sistemáticos y errores aleatorios e instrumentales. Aplicar la propagación de errores y determinar la precisión de los resultados obtenidos.
- Ajustar distribuciones estadísticas y de probabilidad a los datos experimentales. Extraer magnitudes físicas de los parámetros obtenidos en los ajustes. Aplicar criterios sobre la bondad de los datos y ajustes obtenidos.
- Elaborar una memoria relativa al proceso de medida, el análisis de los datos y la interpretación de los resultados.
- Utilizar con soltura aplicaciones y equipos informáticos para el tratamiento y análisis de los datos, así como para la presentación de los resultados y memorias.

VII.- HABILIDADES SOCIALES

Además de las propias de la titulación:

- Capacidad para comprender y sintetizar los problemas planteados con el fin de llegar a su solución. Aportar soluciones originales.
- Aprender a trabajar de forma organizada. Establecer planes de trabajo que permitan obtener los resultados deseados de la forma más directa.
- Habilidad en la búsqueda de información a partir de la bibliografía recomendada.
- Trabajo individual y en equipo. Capacidad para trabajar en un grupo experimental.
- Uso de nuevas tecnologías.
- Capacidad de elaborar textos y memorias sobre los trabajos realizados de forma comprensible y organizada.
- Rigor a la hora de valorar el trabajo realizado por uno mismo. Fomentar el espíritu crítico e incentivar el espíritu de superación ante resultados erróneos.
- Capacidad de identificar y valorar la importancia de los conceptos y recursos científicos estudiados con sus aplicaciones a otros campos de la ciencia y a la mejora del bienestar social.
- Capacidad para la comunicación científica, tanto oral como escrita, en el ámbito académico y en el plano divulgativo.
- Habilidad para argumentar desde criterios racionales y científicos, tanto en el ámbito académico como divulgativo, evitando prejuicios de índole social.
- Actitudes y valores que establezcan condiciones para desarrollar un comportamiento ético en el desarrollo de la actividad profesional.

VIII.- TEMARIO Y PLANIFICACIÓN TEMPORAL

La planificación que se muestra a continuación es lógicamente orientativa ya que, dependiendo del ritmo de adquisición de competencias de los alumnos y del grado de madurez de sus conocimientos previos, puede resultar conveniente (o necesario) reajustar el cronograma siguiente.

TEMAS DE TEORÍA	Número de horas
1. Introducción	2
2. Características generales de los detectores	1
3. Detectores gaseosos de ionización	2
4. Detectores de centelleo	2
5. Detectores de semiconducción	1
6. Señales eléctricas en Física Nuclear	1
7. Electrónica para el procesado de señales	4
8. Técnicas de medida en Instrumentación Nuclear	2
Total	15

PRÁCTICAS DE LABORATORIO	Número de sesiones de 3 h
Bloque 1. Detectores de centelleo y fotomultiplicadores	5
Bloque 2. Detectores gaseosos de ionización y detectores de semiconducción	5
Total	10

IX.- BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

a) Bibliografía básica (¿Se podría reducir a 3?)

- W.R. Leo. **Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments**. Springer-Verlag, 1987, Segunda edición 1994.
- G.F. Knoll. **Radiation Detection and Measurement**. John Wiley and Sons, 1979. Segunda Edición 1989.
- N. Tsoulfanidis. **Measurement and Detection of Radiation**. Hemisphere Publishing Corporation. 1983.

b) Bibliografía del laboratorio

- M.V. Castillo, E. Higón. **Manual de Prácticas de Instrumentación Nuclear** (incluye bibliografía específica de cada práctica)
- Manuales de operación de los distintos módulos y detectores.
- **Photomultiplier Tube. Principle to Application**. Editado por Hamamatsu, 1994.
- J.F. Ziegler. **Helium. Stopping Powers and Ranges in All Elemental Matter**. Vol 4 of "The Stopping and Ranges of Ions in Matter". Pergamon Press, 1977.

- **A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures**. NCRP Report N. 58, second Edition, 1989.
- G. Lutz. **Semiconductor Radiation Detectors**. Springer-Verlag, 1999.
- W.J. Price. **Nuclear Radiation Detection**. Mc Graw Hill, 1964.
- K. Siegbahn. **Alpha, Beta and Gamma Ray Spectroscopy**. North Holland, Amsterdam, 1965. Vols 1 y 2.
- R.B. Firestone et al. **Table of Isotopes**. John-Wiley & Sons Inc., 8th Edition 1996. Updated 1999. <http://ie.lbl.gov/toi.htm>
- Particle Data Grup. **Review of Particle Physics**. Physics Letters B. (Edición bianual). <http://pdg.lbl.gov/>
- Manual de ROOT. <http://root.cern.ch>

c) Bibliografía complementaria

- R.C. Fernow. **Introduction to Experimental Particle Physics**. Cambridge University Press, 1992.
- W.F. Horniak. **Nuclear Structure**. Academic Press. 1975.
- D.H. Perkins. **Introduction to High Energy Physics**. Addison-Wesley, 1987.
- D. Green. **The Physics of Particle Detectors**. Ed. Cambridge University Press, 2000.
- **Instrumentation in Elementary Particle Physics**. VIII ICFA School, Istanbul (Turkey) 1999.
- **Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics**. Editado por Thomas Ferbel. World Scientific. 1987, Reprinted 1999.
- R. Guardiola, E. Higón, J. Ros. **Mètodes Numèrics per a la Física**. Ed. Universitat de València, 1995.
- L. Lyons. **Statistics for Nuclear and Particle Physicists**. Ed. Cambridge University Press. 1989.
- A.G. Frodesen, O. Skjeggstad and H. Tofte. **Probability and statistics in particle physics**. Ed. Universitetsforlaget, 1979.
- Ph.D. Bevington. **Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences**. Mc Graw Hill Book Co. 1969, 1995.

d) Pàginas web de interés

- CERN (European Laboratory for Particle Physics), <http://www.cern.ch/>
- Fermilab (Fermi National Laboratory), <http://www.d0.fnal.gov/>
- SLAC (Stanford Linear Accelerator Center), <http://www.slac.stanford.edu/>
- LBNL particle adventure, <http://ParticleAdventure.org/>
- Links to particle physics sites , <http://sg1.hep.fsu.edu/~wahl/Quarknet/index.htm>
- Fermilab particle physics tour, <http://www.fnal.gov/pub/tour.html>
- Brookhaven Nuclear data base, <http://www.nndc.bnl.gov/>
- PDG, Particle Data Group, <http://pdg.lbl.gov/>
- Lund/LBNL Nuclear Data Search, <http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/>
- Lund/LBNL Table of Isotopes, <http://ie.lbl.gov/toi.htm>

X.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y COMPLEMENTOS

Los conocimientos mínimos que los alumnos han adquirido previamente y que son necesarios para el desarrollo de la asignatura son los siguientes:

- Tratamiento estadístico de datos, propagación de errores y métodos de cálculo numérico, orientados a la física (curso de "Métodos Estadísticos y Numéricos" y laboratorios de los tres primeros cursos del Grado).
- Técnicas Informáticas.
- Electromagnetismo.
- Física Cuántica y Mecánica Cuántica.
- Física Nuclear y de Partículas, incluyendo el laboratorio.
- Estado sólido.

Es conveniente que al mismo tiempo que se desarrolla la asignatura, los alumnos adquieran conocimientos de Electrónica (optativa) y cursen la asignatura "Física Atómica y de las Radiaciones", también optativa e impartida por este departamento.

Por tanto, los alumnos han de llegar al curso de Instrumentación Nuclear y de Partículas con una buena formación teórica, obtenida en las asignaturas anteriormente mencionadas, y una buena formación de índole experimental conseguida a través del laboratorio de Física Nuclear y de Partículas de 4º curso y de su contacto con los laboratorios de los primeros cursos correspondientes a las distintas Técnicas Experimentales que conforman el plan de estudios. Es de suponer asimismo, que los alumnos tienen conocimientos, (aunque muy básicos) de algún lenguaje de programación (ej: C++) y que han utilizado hojas de cálculo y aplicaciones para la representación y ajuste de gráficas.

XI.- METODOLOGIA

La asignatura tiene dos partes con una metodología bien diferenciada: 1) Teoría y problemas (clases de pizarra) y 2) Laboratorio, donde se aprenden a manejar los sistemas de detección, tratamiento de datos y técnicas informáticas. El desarrollo de las clases es el siguiente:

1) Teoría y cuestiones de carácter práctico

Los créditos de teoría y cuestiones prácticas se estructuran en clases de una hora, un total de 15 clases a razón de dos clases por semana al inicio del octavo cuatrimestre. La metodología de trabajo se puede clasificar en los siguientes apartados:

(i) Temas de teoría

Las lecciones o temas propiamente dichos serán explicados por el profesor según el modelo de lección magistral. Cada tema contiene los conceptos y explicaciones necesarias para la posterior resolución de problemas y para ser aplicados en la parte de laboratorio.

El uso de las nuevas tecnologías (presentaciones electrónicas) es especialmente apropiado para esta asignatura, dado el elevado contenido de esquemas, tablas, gráficos presentando resultados experimentales y/o comparaciones con las predicciones teóricas, diagramas, fotografías de

dispositivos experimentales y aplicaciones prácticas, y todo tipo de material visual que permita al alumno relacionar los contenidos con sus aplicaciones. Estas presentaciones pueden ser utilizadas como apuntes del profesor, pero de ninguna manera el trabajo individual del alumno debe restringirse a ellos. El uso de la bibliografía resulta fundamental para comprender los contenidos y alcanzar los objetivos de la asignatura. Los estudiantes tendrán acceso, con antelación al inicio de cada tema, a las diapositivas del profesor a través del Aula Virtual (<http://aulavirtual.uv.es/>).

(ii) Resolución de problemas y cuestiones prácticas

Esta parte tiene una doble vertiente, contempla fundamentalmente el estudio individual y la participación de los estudiantes en clase. Los estudiantes disponen de una colección de problemas que deben resolver y exponer (al menos aquellos más significativos) a sus compañeros. Los alumnos pueden plantear ejercicios que consideren interesantes y que no formen parte de la colección.

2) Prácticas de laboratorio

Las prácticas de laboratorio son la mejor herramienta docente para complementar e ilustrar los contenidos de la asignatura discutidos en las clases teórico-prácticas y al mismo tiempo familiarizar a los alumnos con equipos y técnicas de medida, así como instruirlos en el método científico. Las prácticas se realizarán en 10 sesiones de 3 horas, a razón de dos sesiones por semana, una vez hayan finalizado las clases de teoría, es decir en las semanas 9 a 13 del cuatrimestre. Los alumnos, en grupos de dos o tres, realizarán dos prácticas completas (una de cada bloque), desde su montaje inicial hasta obtener todos los resultados e información que de ellas se pueda extraer, pasando por la calibración y determinación de las eficiencias de los instrumentos, la adquisición de datos y su análisis, ajustes de las distribuciones, análisis exhaustivo de los errores y obtención de resultados. Todo ello debe quedar plasmado en la memoria que de las prácticas se debe presentar.

Los alumnos dispondrán, con la antelación suficiente, de un manual de prácticas que les servirá de guía para la realización de los experimentos. El profesor supervisará la comprensión de dicho guión y orientará a los estudiantes sobre aquellos aspectos conceptuales o técnicos necesarios para realizar correctamente el montaje, adquisición y análisis de datos. Cada alumno deberá tener una libreta de laboratorio en la que quedará reflejada toda la información correspondiente al trabajo realizado.

La asistencia a las clases de laboratorio es obligatoria y la presentación de las memorias es condición necesaria para superar la asignatura

XII.- EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE

La evaluación de los conocimientos adquiridos por el estudiante constará de las siguientes partes:

1. **Examen escrito.** Constituirá el 30% de la nota final. Dado que se trata de una asignatura cuatrimestral se realizará un único examen. El examen constará de: test de 15 preguntas (en cada pregunta una opción correcta frente a tres falsas) y 5 cuestiones cortas de carácter teórico-práctico. El valor del test y de cada una de las cuestiones se especificará en el propio examen. Para la realización del examen no se permitirá el uso de libros ni apuntes, salvo que explícitamente y con la suficiente antelación se indique lo contrario y se especifique que tipo de material se puede utilizar.
2. **Prácticas de Laboratorio.** Constituirá el 60% de la nota final. Los créditos de laboratorio se evaluarán mediante el seguimiento del trabajo desarrollado en el propio laboratorio, las memorias de las prácticas y si fuera necesario una entrevista posterior a la corrección de las memorias. Las memorias de las prácticas deberán incluir: breve introducción, fundamento teórico, instrumental utilizado, metodología, tratamiento de los datos (tablas, errores, gráficas, ajustes, etc.), resultados, conclusiones y bibliografía.
3. **Trabajo personal teórico-práctico.** Contará el 10% de la nota final. Se propondrán cuestiones y problemas, a realizar individualmente, relacionados con los contenidos de la asignatura. Los alumnos deberán presentar (voluntariamente) las resoluciones durante la semana siguiente a la finalización de las clases de teoría.
4. **Actividades complementarias.** Se evaluará la asistencia a una conferencia organizada por la Facultad de Física y cuyo tema guarde estrecha relación con la asignatura. Los estudiantes deberán entregar un resumen argumentado de la misma. Se valorará positivamente.

La calificación mínima para poder promediar la nota del examen y la del laboratorio será: 4/10 y 5/10, respectivamente. La calificación final ha de ser igual o superior a 5/10 para superar la asignatura.