

# Guía docente de Instrumentación Nuclear

## I. DATOS INICIALES DE IDENTIFICACIÓN

<b>Nombre de la asignatura:</b>	Instrumentación Nuclear
<b>Número de créditos:</b>	9
<b>Carácter:</b>	Optativa
<b>Titulación:</b>	Licenciatura en Física
<b>Año / Duración:</b>	5º año / anual
<b>Departamento:</b>	Física Atómica, Molecular y Nuclear
<b>Profesores responsables:</b>	

## II. INTRODUCCIÓN A LA ASIGNATURA

Esta asignatura va dirigida a aquellos estudiantes que deseen dedicarse a la Física Nuclear y de Partículas a través de su vertiente experimental. 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

La asignatura Instrumentación Nuclear consta de 4.5 créditos impartidos en el aula y 4.5 créditos de laboratorio. Los 4.5 créditos de aula se dedican fundamentalmente a la explicación de los temas de teoría. Dichos temas se completan con una colección de problemas, lo que implica clasificar como clases prácticas a una parte de las impartidas en el aula. Una fuerte componente del volumen de trabajo corresponde al análisis de los datos obtenidos en el laboratorio y a la elaboración de las memorias. Así mismo, es muy importante para alumnos de este nivel la asistencia a seminarios y conferencias, en particular aquellos dedicados a experimentos de Física Nuclear y de Partículas. En la siguiente tabla se presenta un desglose del volumen de trabajo.

<b>Actividades presenciales</b>	<b>Horas/curso</b>	<b>Cr. ECTS</b>
Asistencia a clases teóricas	40	1,6
Asistencia a clases prácticas	50	2,0
Asistencia a tutorías	5	0,2
Realización de exámenes y pruebas de evaluación	5	0,2
Asistencia a seminarios y actividades	5	0,2
<b>Trabajo del estudiante</b>		
Estudio de los fundamentos teóricos	20	0,8
Estudio-preparación prácticas de laboratorio	15	0,6
Preparación de trabajos teórico-prácticos	15	0,6
Elaboración memorias de laboratorio	45	1,8
Preparación de exámenes	25	1,0
<b>Total Volumen de Trabajo</b>	<b>225</b>	<b>9</b>

#### 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. CONTENIDOS

Paso de la radiación a través de la materia. Interacciones fundamentales. Detectores de radiación y partículas. Electrónica nuclear. Adquisición y tratamiento de datos experimentales.

#### VI. DESTREZAS A ADQUIRIR

- 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

- 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 para la comunicación científica tanto oral como escrita, en el ámbito académico y en el plano divulgativo.
- Actitudes y valores que establezcan condiciones para desarrollar un comportamiento ético en el desarrollo de la actividad profesional.

## VIII. TEMARIO Y PLANIFICACIÓN TEMPORAL

TEMA	TÍTULO Y CONTENIDO	SEMANAS
1	<b>El paso de la radiación a través de la materia.</b> Introducción. Conceptos básicos. Pérdida de energía de las partículas en colisiones atómicas. Fórmula de Bethe y Bloch. Alcance. Radiación de Cerenkov. Pérdida de energía de electrones y positrones. Difusión culombiana múltiple. Straggling energético. Distribución de pérdida de energía. Interacción de fotones. La interacción de los neutrones.	3.0
2	<b>Características generales de los detectores.</b> Fundamentos básicos. Sensibilidad. Respuesta del detector. Resolución en energía. Factor de Fano. Función respuesta de un detector. Tiempo de respuesta de un detector. Eficiencia de un detector. Tiempo muerto.	1.0

3	<b>Detectores de ionización en gases.</b> Principio básico de operación. Detectores gaseosos de ionización. Fenómenos de ionización y transporte en gases. Transporte de electrones e iones en gases. Formación de la avalancha. Contadores gaseosos. Cámaras proporcionales de multihilos. Cámaras de deriva (Drift Chambers). Cámaras de proyección temporal (TPC). Detectores líquidos de ionización (L.I.D.).	1.5
4	<b>Detectores de centelleo.</b> Introducción. Características generales. Centelleadores orgánicos. Cristales inorgánicos. Centelleadores gaseosos. Vidrios. Respuesta luminosa. Eficiencia intrínseca para radiaciones.	1.0
5	<b>Fotomultiplicadores.</b> Elementos básicos. Espectro de un fotoelectrón. Parámetros de operación. Respuesta y resolución temporales. Ruido de los PMs. Factores externos. Estabilidad de la ganancia.	1.0
6	<b>Montaje y operación de centelleadores.</b> Introducción. Recolección de la luz. Acoplamiento centelleador-PM. Montaje de un centelleador. Operación de los contadores de centelleo. Ejemplos.	0.5
7	<b>Tratamiento estadístico de datos experimentales.</b> Introducción. Errores sistemáticos y accidentales. Estimación del error de una magnitud. Función densidad de probabilidad. Distribuciones de probabilidad. Estimación de parámetros. Ejemplos y aplicaciones. Ajuste de curvas.	2.5
8	<b>Señales en Física Nuclear.</b> Terminología. Señales analógicas y digitales. Señales rápidas y lentas. Ancho de banda.	0.5
9	<b>El estándar NIM.</b> Módulos NIM. Señales lógicas NIM. Señales lógicas TTL y ECL.	0.3
10	<b>Transmisión de señales.</b> Impedancia de los instrumentos. El cable coaxial. Ecuación ondulatoria en una línea coaxial. El cable ideal. Reflexiones. Terminación de cables. Ajuste de impedancias. Pérdida de señal en un cable coaxial.	0.8
11	<b>Electrónica para el procesado de señales.</b> Preamplificadores. Amplificadores. Filtrado y conformación de señales. Redes conformadoras en amplificadores. Amplificadores sesgados. Dilatadores de pulsos. Puertas lineales. Módulos Fan out y Fan in. Líneas de retraso. Discriminadores. Discriminadores diferenciales	1.5

	(SCA). Conversores analógico-digitales (ADC). Analizadores multicanales. Conversores digital-analógicos. Conversores temporales a amplitud (TAC). Frecuencímetros. Unidades de coincidencia. Unidades lógicas. Flip-flops. Registros. Generadores de puertas y retrasos. Circuitos simples.	
<b>12</b>	<b>Selección de pulsos y técnicas de coincidencia.</b> Sistemas de recuento. Selección de altura de pulsos. Espectroscopía con analizadores multicanales. Técnicas de coincidencia. Determinación simultánea de coincidencias y selección de altura de pulsos. Discriminación por forma del pulso.	<b>0.5</b>
<b>13</b>	<b>Electrónica lógica para experimentos.</b> Introducción. Puertas lógicas. Leyes de Bool. Identidades. Señal de ocupación o inhibición. Triggers.	<b>0.4</b>
<b>14</b>	<b>Métodos de medida de intervalos temporales.</b> Introducción. Tiempo de tránsito y jitter. Métodos de determinación temporal. Métodos analógicos de determinación temporal. Métodos digitales de determinación temporal. Calibración del sistema de medidas temporales.	<b>0.5</b>
	<b>Total Semanas Clases Teórico-Prácticas</b>	<b>15</b>

Práctica	TÍTULO Y CONTENIDO	Sesiones de 3 horas
1	<p><b>Estudio del efecto Compton.</b></p> <p><u>Objetivos generales:</u> Manejo de centelleadores y fotomultiplicadores. Uso de sistemas informáticos y lenguajes de programación. Fuentes de radiación gamma. Electrónica NIM. Fuentes de alta tensión. Determinación de la tensión de polarización. Resolución en función de la energía y de la tensión. Calibración energética. Linealidad: integral y diferencial. Eficiencia: absoluta e intrínseca. Circuitos de coincidencias. Adquisición y análisis de datos. Ajustes de funciones lineales y no lineales. Errores de los parámetros.</p> <p><u>Objetivos específicos:</u> Verificación de la ley de Compton. Constante <math>\lambda_c</math> de Compton. Sección eficaz diferencial en función del ángulo (fórmula de Klein-Nishina). Medida de la energía del electrón de retroceso.</p>	8
2	<p><b>Espectroscopía beta mediante un detector de Silicio.</b></p> <p><u>Objetivos generales:</u> Detectores de Silicio de barrera superficial. Uso de sistemas informáticos y lenguajes de programación. Fuentes de radiación beta. Electrónica NIM. Fuentes de alta tensión. Determinación de la tensión de polarización. Resolución en función de la energía y de la tensión. Corriente de fugas. Calibración energética. Linealidad: integral y diferencial. Eficiencia: absoluta e intrínseca. Adquisición y análisis de datos. Ajustes de funciones lineales y no lineales. Errores de los parámetros.</p> <p><u>Objetivos específicos:</u> 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.</p>	7
3	<p><b>Espectroscopía alfa mediante un detector de Silicio.</b></p> <p><u>Objetivos generales:</u> Detectores de Silicio de barrera superficial. Uso de sistemas informáticos y lenguajes de programación. Fuentes de radiación alfa. Electrónica NIM. Fuentes de alta tensión. Determinación de la tensión de polarización. Resolución en función de la energía y de la tensión. Corriente de fugas. Calibración energética. Linealidad: integral y diferencial. Eficiencia: absoluta e intrínseca. Adquisición y análisis de datos. Ajustes de funciones lineales y no lineales. Errores de los parámetros.</p>	7

	<p><u>Objetivos específicos:</u> 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.</p>	
4	<p><b>Estudio de la radiación cósmica y determinación de la vida media del muon.</b></p> <p><u>Objetivos generales:</u> Manejo de centelleadores y fotomultiplicadores. Uso de sistemas informáticos y lenguajes de programación. Electrónica NIM rápida. Fuentes de alta tensión. Determinación de los puntos de trabajo: voltaje y nivel de discriminación. Curvas plateau. Calibración. Eficiencias. Circuitos de coincidencias. Adquisición y análisis de datos. Ajustes de funciones lineales y no lineales. Errores de los parámetros.</p> <p><u>Objetivos específicos:</u> Dependencia angular del flujo de rayos cósmicos. Componente dura y blanda de la radiación. Medidas temporales: determinación de la vida media del muón.</p>	8
5	<p><b>Coincidencias <math>\gamma\text{-}\gamma</math> y correlaciones angulares con una fuente de <math>^{60}\text{Co}</math>. Medida de vidas medias de estados nucleares.</b></p> <p><u>Objetivos generales:</u> Manejo de centelleadores y fotomultiplicadores. Uso de sistemas informáticos y lenguajes de programación. Fuentes de radiación gamma. Electrónica NIM. Fuentes de alta tensión. Determinación de la tensión de polarización. Resolución en función de la energía y de la tensión. Calibración energética. Linealidad: integral y diferencial. Eficiencia: absoluta e intrínseca. Circuitos de coincidencias. Adquisición y análisis de datos. Ajustes de funciones lineales y no lineales. Errores de los parámetros.</p> <p><u>Objetivos específicos:</u> Estudio de correlaciones de la radiación gamma: angular direccional y temporal. Transiciones y paridad de los estados. Técnicas de coincidencias: módulo de coincidencias, coincidencia retrasada (TAC), la técnica de la puerta lineal. Efectos del tamaño del detector. Vida media del estado <math>(3/2)^-</math> del <math>^{57}\text{Fe}</math> (fuente de <math>^{57}\text{Co}</math>).</p>	8
6	<p><b>Coincidencias <math>\gamma\text{-}\gamma</math> y correlaciones angulares con una fuente de <math>^{22}\text{Na}</math>. Medida de vidas medias de estados nucleares.</b></p> <p><u>Objetivos generales:</u> Manejo de centelleadores y fotomultiplicadores. Uso de sistemas informáticos y lenguajes de programación. Fuentes de radiación gamma. Electrónica NIM. Fuentes de alta tensión.</p>	7

	<p>Determinación de la tensión de polarización. Resolución en función de la energía y de la tensión. Calibración energética. Linealidad: integral y diferencial. Eficiencia: absoluta e intrínseca. Circuitos de coincidencias. Adquisición y análisis de datos. Ajustes de funciones lineales y no lineales. Errores de los parámetros.</p> <p><u>Objetivos específicos:</u> Emisores <math>\beta^+</math>. Verificación experimental de la desintegración <math>\gamma-\gamma</math> del positronio. 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. Vida media del estado <math>(3/2)^-</math> del <math>^{57}\text{Fe}</math> (fuente de <math>^{57}\text{Co}</math>).</p>	
7	<p><b>Espectroscopía de Rayos-X mediante un contador proporcional.</b></p> <p><u>Objetivos generales:</u> Manejo de detectores gaseosos: el contador proporcional. Tubo de rayos-X. Uso de sistemas informáticos y lenguajes de programación. Fuentes de radiación X y gamma. Electrónica NIM. Fuentes de alta tensión. Determinación de las condiciones de funcionamiento del detector. Resolución en función de la energía y de la tensión. Calibración energética. Linealidad: integral y diferencial. Eficiencia: absoluta e intrínseca. Ajustes de funciones lineales y no lineales. Errores de los parámetros.</p> <p><u>Objetivos específicos:</u> Características físicas de la emisión de rayos-X. Ley de Moseley. Fluorescencia de rayos-X. Interpretación de los espectros. Identificación de materiales.</p>	8

## IX. BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

- 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.
- R.C. Fernow. "Introduction to experimental particle physics." Cambridge University Press, 1992.
- R. Guardiola, E. Higón, J. Ros. "Mètodes Numèrics per a la Física." Ed. Universitat de València, 1995.
- L. Lyons. "Statistics for nuclear and particle physics" Ed. Cambridge University Press.
- A.G. Frodesen, O. Skjeggstad and H. Tofte "Probability and statistics in particle physics" Ed. Universitetsforlaget, 1979.

- N. Tsoulfanidis "Measurement and detection of radiation" Hemisphere Publishing Corporation. 1983.
- W.F. Horniak "Nuclear structure" Academic Press. 1975.
- Ph.D. Bevington. "Data reduction and error analysis for the physical sciences" Mc Graw Hill Book Co. 1969, 1995.
- K. Siegbahn. "Alpha, beta and gamma ray spectroscopy" North Holland, Amsterdam, 1965. Vols 1 y 2.

## **X. METODOLOGÍA**

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 problemas**

Los créditos de teoría y problemas se estructuran en clases de una hora, a razón de tres clases por semana a lo largo del primer 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. Los estudiantes tienen acceso a las diapositivas de los temas a través del Aula Virtual (<http://aulavirtual.uv.es/>). Cada tema contiene los conceptos y explicaciones necesarias para la posterior resolución de problemas y para ser aplicados en la parte de laboratorio.

#### **(ii) Resolución de problemas**

Esta parte tiene una doble vertiente, contempla 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 de cada tema) 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 están estructuradas en 15 sesiones de 3 horas, a razón de dos sesiones por semana. El período de prácticas comienza al inicio del segundo cuatrimestre, cuando los alumnos ya han visto los temas de teoría. Los alumnos, en grupos de dos, realizan dos prácticas completas, es decir, 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.

## **XI. EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE**

La calificación de la asignatura se obtendrá como media de la nota de los créditos teóricos y de problemas, y los de laboratorio. Los créditos teóricos se evaluarán mediante un examen que incluye: test, cuestiones cortas y la resolución de un problema. Los créditos de laboratorio se evaluarán mediante el trabajo desarrollado en el propio laboratorio, las memorias de las prácticas y una entrevista posterior a la corrección de las memorias. Si fuera necesario se efectuaría un examen práctico en el laboratorio. Los alumnos tienen la posibilidad de mejorar su calificación participando en la resolución de los problemas en clase y realizando un trabajo complementario que esté relacionado con el contenido de la asignatura, este trabajo deberá ser expuesto en el aula dentro del horario de la asignatura.