

Guia docent

240NU011 - 240NU011 - Fonaments de l'Enginyeria Nuclear i Protecció Radiològica

Última modificació: 13/03/2025

Unitat responsable: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

Unitat que imparteix: 748 - FIS - Departament de Física.

Titulació: MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA NUCLEAR (Pla 2012). (Assignatura obligatòria).
MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL (Pla 2014). (Assignatura optativa).
MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL (Pla 2025). (Assignatura optativa).

Curs: 2025

Crèdits ECTS: 8.0

Idiomes: Anglès

PROFESSORAT

Professorat responsable: FRANCISCO CALVIÑO TAVARES

Altres: Calviño Tavares, Francisco
Batet Miracle, Lluís
De Blas Del Hoyo, Alfredo
Casanovas Hoste, Adria
Duch Guillen, Maria Amor
Mont Geli, Nil

COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

Específiques:

1. Coneixement dels fonaments de física nuclear necessaris per a comprendre la producció d'energia mitjançant la fissió nuclear en cadena i la fusió.
2. Coneixement dels mecanismes d'interacció de la radiació ionitzant amb la matèria i la seva relació amb els diferents fenòmens i aplicacions d'interès en la tecnologia nuclear.
3. Capacitat d'utilitzar detectors de radiació ionitzant, adequats a l'aplicació requerida, juntament amb la instrumentació associada.
4. Capacitat d'aplicar tècniques de protecció radiològica per reduir els riscos derivats de l'ús de les radiacions ionitzants.
5. Capacitat de fer ús de forma eficaç, comprendre el funcionament i rangs de validesa, i interpretar els resultats de codis de càlcul del transport de radiació electromagnètica, partícules carregades i neutrons.

METODOLOGIES DOCENTS

MD.1. Contracte d'aprenentatge: Acord entre els professors, i estudiants per a la consecució d'uns resultats d'aprenentatge, i unes competències, mitjançant una seqüència d'accions a realitzar, tant pel professor, com per l'estudiant, al llarg del període de durada de la matèria. A nivell pràctic és un resum d'aquest document.

MD.2. Lliçons magistrals: Presentació del professor de síntesi sobre un tema, procés, mètode, etc. Les exposicions cobreixen conceptes teòrics, resolució de problemes tipus, descripció de processos o procediments estàndard, ús d'instruments i codis de càlcul, etc.

MD.3. Aprenentatge autònom pautat. Desenvolupament, seguint unes instruccions o pautes preestablertes, que realitza l'estudiant amb la supervisió del professor

MD.4. Aprenentatge cooperatiu. Desenvolupament de tasques per part d'un grup reduït d'alumnes que requereix -necessàriament- del treball de tots i cadascun dels membres del grup

OBJECTIUS D'APRENENTATGE DE L'ASSIGNATURA

L' alumne serà capaç de:

- Fer servir els models de l' estructura atòmica i nuclear per explicar l' origen i naturalesa de les radiacions atòmiques i nuclears, i justificar l' obtenció d' energia d' origen nuclear.
- Utilitzar les lleis que regeixen l' evolució temporal de les substàncies radioactives per al càlcul de la seva activitat i les principals radiacions emeses
- Descriure els principals mecanismes d' interacció de les radiacions atòmiques i nuclears amb la matèria, i calcular i utilitzar les magnituds relacionades amb aquestes interaccions.
- Analitzar la cinemàtica de processos nuclears i derivar les expressions que permeten calcular les energies i moments lineals dels productes de reaccions i desintegracions radioactives
- Tractar amb normalitat el concepte, i els valors recollits en bases de dades internacionalment reconegudes, de secció eficaç, per realitzar càlculs de taxa de reacció, probabilitat d' interacció i altres magnituds derivades, aplicant-los als processos d' interacció de la radiació amb la matèria i reaccions nuclears produïdes per neutrons.
- Deduir i aplicar les equacions que regeixen la formació i evolució temporal de radionúclids en el si d'un reactor nuclear
- Explicar els processos físics bàsics de cada tipus de detector de radiacions ionitzants
- Analitzar com influeixen els processos d'interacció de les partícules ionitzants en la seva detecció
- Realitzar mesures experimentals de les radiacions ionitzants, analitzar els resultats i determinar els errors estadístics i sistemàtics associats
- Adoptar criteris que permetin determinar amb precisió les característiques d' una font radioactiva separant la contribució del fons associat a la mesura
- Seleccionar el sistema de detecció més adequat en funció del tipus de radiació ionitzant, i les magnituds que es pretenen mesurar.
- Identificar les magnituds emprades en l' àrea de la protecció radiològica i definir-les.
- Explicar, a nivell bàsic, els riscos biològics de les radiacions ionitzants i la necessitat de la limitació de dosis i de les tècniques d'optimització
- Fer servir els principis bàsics de justificació, limitació i optimització, del sistema internacional de protecció radiològica, per argumentar que les pràctiques que impliquen radiacions ionitzants són compatibles amb el benestar global aconseguit, enfront dels riscos individuals i la sostenibilitat.
- Calcular la dosi deguda a radiacions ionitzants més habituals en l'emplaçament d'una central nuclear o una instal·lació radioactiva.
- Realitzar correctament càlculs simples de blindatges de les radiacions, i contribuir treballant en equip a la realització de projectes de blindatge complexos.
- Aplicar tècniques de protecció radiològica per reduir els riscos derivats de l'ús de les radiacions ionitzants.
- Seleccionar justificadament les tècniques adequades per a la realització de la vigilància dosimètrica individual del personal professionalment exposat.
- Identificar els principals codis disponibles per al càlcul de transport de les radiacions ionitzants, el tipus de partícules que són capaços de manejar, el rang de validesa i la precisió dels mateixos. Realitzar càlculs senzills utilitzant aquests codis de càlcul.

HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup petit	8,0	4.00
Hores grup gran	64,0	32.00
Hores aprenentatge autònom	128,0	64.00

Dedicació total: 200 h

CONTINGUTS

1. Fonaments de la física atòmica i nuclear. Radioactivitat.

Descripció:

Fonaments

- 1.1. Models atòmics. Nivells d' energia
- 1.2. Ionització i excitació
- 1.3. Radiacions atòmiques
- 1.4. Fluorescència i fosforescència
- 1.5. Raigs X
- 1.6. Massa, ràdio i càrrega nuclears
- 1.7. Models nuclears. Nivells d' energia
- 1.8. Forces nuclears
- 1.9. Estabilitat nuclear
- 1.10. Energia d'enllaç nuclear

Radioactivitat

- 1.11. Processos radioactius
- 1.12. Lleis de l'emissió radioactiva
- 1.13. Cadenes de desintegració
- 1.14. Radioactivitat artificial. Activació
- 1.15. Radioactivitat alfa
- 1.16. Radioactivitat beta
- 1.17. Emissió de raigs gamma
- 1.18. Isomerisme nuclear i conversió interna

Exposició i exercicis sobre estructura atòmica i nuclear. Fent èmfasi en els conceptes de nivells energètics i estats fonamental i excitat.

Exposició i exercicis sobre radioactivitat, processos radioactius, llei d' evolució temporal i emissions de radionúclids

Objectius específics:

Fer servir els models de l' estructura atòmica i nuclear per explicar l' origen i naturalesa de les radiacions atòmiques i nuclears, i justificar l' obtenció d' energia d' origen nuclear.

Utilitzar les lleis que regeixen l' evolució temporal de les substàncies radioactives per al càlcul de la seva activitat i les principals radiacions emeses

Activitats vinculades:

Classes expositives

Resolució d' exercicis a classe

Treball autònom. Exercicis teòrics i pràctics

Dedicació: 20h

Grup gran/Teoria: 6h

Grup mitjà/Pràctiques: 2h

Aprenentatge autònom: 12h

2.1 Interaccions EM de partícules carregades i fotons amb la matèria

Descripció:

- 2.1.1 Mecanismes de pèrdua d' energia de les partícules carregades
- 2.1.2 Ionització i excitació. Radiació de frenat
- 2.1.3 Poder de frenat. Transferència lineal d' energia
- 2.1.4 Abast
- 2.1.5 Interacció dels fotons amb la matèria
- 2.1.6 Interacció de les partícules alfa amb la matèria
- 2.1.7 Interacció de les partícules beta amb la matèria
- 2.1.8 Efecte fotoelèctric
- 2.1.9 Efecte Compton
- 2.1.10 Producció de parells
- 2.1.11 Atenuació i absorció de la radiació gamma

Descripció de les magnituds que, en termes generals, caracteritzen els camps de radiació i els seus efectes sobre la matèria (flux, fluència, secció eficaç, etc.).

Presentació dels mecanismes principals d' interacció entre les partícules carregades i la matèria, i entre els fotons i la matèria, posant èmfasi en les bases de dades disponibles en el domini públic, en la seva interpretació i en el seu ús pràctic.

Resolució de problemes

Objectius específics:

Descriure els principals mecanismes d' interacció de les radiacions atòmiques i nuclears amb la matèria, i calcular i utilitzar les magnituds relacionades amb aquestes interaccions.

Distingir entre radiació directament i indirectament ionitzant, i descriure les seves propietats.

Identificar i descriure els principals mecanismes d' interacció entre les partícules carregades i la matèria.

Definir poder de frenat de les partícules carregades i la seva relació amb l' energia dipositada en un medi material.

Identificar i descriure els principals mecanismes d' interacció entre els fotons i la matèria

Activitats vinculades:

Classes expositives

Resolució d'exercicis a classe

Treball autònom. Exercicis teòrics i pràctics

Dedicació: 20h

Grup gran/Teoria: 6h

Grup mitjà/Pràctiques: 2h

Aprenentatge autònom: 12h

2.2 Interacció dels neutrons amb la matèria

Descripció:

Relacions nuclears

2.2.1 Descripció.

2.2.2 Lleis de conservació.

2.2.3 Secció eficaç.

2.2.4 Ressonàncies. Fórmules de Breit-Wigner.

2.2.5 Models per a l'estudi de les reaccions nuclears.

2.2.6 Model del nucli compost.

2.2.7 Model òptic.

2.2.8 Model de Feshback.

2.2.9 Reaccions directes.

2.2.10 Fonts de neutrons.

Interaccions neutròniques

2.2.11 Classificació dels neutrons segons la seva energia.

2.2.12 Interaccions dels neutrons amb la matèria.

2.2.13 Difusió elàstica i inelàstica.

2.2.14 Captura radiant.

2.2.15 Captura amb emissió de partícules carregades.

Introducció als conceptes més rellevants per l'estudi de les reaccions nuclears induïdes per neutrons. Descripció dels models bàsics d'interacció nuclear que permeten entendre qualitativament el comportament de la secció eficaç en funció de l'energia del neutró incident.

Objectius específics:

- Descriure els principals mecanismes d'interacció de les radiacions atòmiques i nuclears amb la matèria, i calcular i utilitzar les magnituds relacionades amb aquestes interaccions.
- Analitzar la cinemàtica de processos nuclears i derivar les expressions que permeten calcular les energies i moments lineals dels productes de reaccions i desintegracions radioactives
- Tractar amb normalitat el concepte, i els valors recollits en bases de dades internacionalment reconegudes, de secció eficaç, per realitzar càlculs de taxa de reacció, probabilitat d'interacció i altres magnituds derivades, aplicant-los als processos d'interacció de la radiació amb la matèria i reaccions nuclears produïdes per neutrons.
- Deduir i aplicar les equacions que regeixen la formació i evolució temporal de radionúclids en el si d'un reactor nuclear

Activitats vinculades:

Classes expositives

Resolució d'exercicis a classe

Treball autònom. Exercicis teòrics i pràctics

Encàrrec de llarga durada: Repte

Dedicació: 48h

Grup gran/Teoria: 6h

Grup mitjà/Pràctiques: 2h

Activitats dirigides: 40h

3. Detecció de la radiació ionizant

Descripció:

Estadística aplicada a la detecció de la radiació

- 3.1. Naturalesa de les radiacions ionitzants
- 3.2. Caracterització de les dades
- 3.3. Models estadístics aplicables a la detecció de la radiació
- 3.4. Error estadístic en les dades experimentals
- 3.5. Error estadístic a la mesura de la detecció
- 3.6. Límits de detecció. Criteri de Currie
- 3.7. Distribució de probabilitat d'interval·ls de temps.

Característiques generals dels detectors de la radiació ionitzant

- 3.8. Introducció.
- 3.9. Model de detector de la radiació. Detector com transductor elèctric
- 3.10. Règims d'operació dels detectors
- 3.11. Eficiència
- 3.12. Temps mort
- 3.13. Fonaments d'espectrometria

Detectors de les radiacions ionitzants

- 3.14. Introducció. Estructura del tema
- 3.15. Detectors de ionització gasosa
- 3.16. Detectors de centelleig
- 3.17. Detectors de semiconductor

Descripció dels principis de la detecció de la radiació ionitzant, tipus de mesurament, estat de l'art, naturalesa estocàstica de la radiació i la seva influència en la seva detecció, fonts d'incertesa, fonts de fons de radiació i influència. Introducció a la instrumentació bàsica requerida per detectar la radiació ionitzant i els diversos modes de funcionament. Mesures d'activitats, atenuacions i característiques espectromètriques de diverses fonts usant diversos tipus de detectors.

Objectius específics:

- Explicar los procesos físicos básicos de cada tipo de detector de radiaciones ionizantes
- Analizar cómo influyen los procesos de interacción de las partículas ionizantes en su detección
- Realizar medidas experimentales de las radiaciones ionizantes, analizar los resultados y determinar los errores estadísticos y sistemáticos asociados
- Adoptar criterios que permitan determinar con precisión las características de una fuente radiactiva separando la contribución del fondo asociado a la medida
- Seleccionar el sistema de detección más adecuado en función del tipo de radiación ionizante, y las magnitudes que se pretenden medir.

Activitats vinculades:

Classes expositives
Resolució d'exercicis a classe
Treball a laboratori
Treball autònom. Exercicis teòrics, pràctics, informes
Encàrrec de llarga durada: Repte

Dedicació: 47h 20m

Grup gran/Teoria: 6h

Grup mitjà/Pràctiques: 8h

Grup petit/Laboratori: 33h 20m

4. Fonaments de Protecció Radiològica

Descripció:

Magnituds i unitats radiològiques

- 4.1. Introducció, classificació de les magnituds
- 4.2. Magnituds que defineixen el camp de radiació ionitzant

- 4.3. Coeficients d'interacció (secció eficaç, coeficients d'interacció i transferència d'energia, transferència lineal d'energia)
- 4.4. Magnituds dosimètriques utilitzades en protecció radiològica
- 4.5. Magnituds utilitzades en dosimetria externa i en dosimetria interna

Efectes biològics de la radiació ionitzant

- 4.6. Interacció de les radiacions ionitzants sobre el material biològic
- 4.7. Efectes de les radiacions ionitzants sobre les cèl·lules i els teixits
- 4.8. Efectes estocàstics de les radiacions: carcinogènesis i efectes hereditaris
- 4.9. Radiobiologia y radioprotecció

Sistema internacional de protecció radiològica

- 4.10. Principis de protecció dels treballadors
- 4.11. Protecció radiològica de la població
- 4.12. Emergències radiològiques. Intervencions
- 4.13. Límits de dosis

Determinació de la dosi per irradiació externa

- 4.14. Dosimetria de partícules carregades
- 4.15. Dosimetria de fotons
- 4.16. Dosimetria de neutrons

Càlcul de blindatges (models analítics i semiempírics)

- 4.17. Blindatge de partícules carregades
- 4.18. Blindatge de radiació electromagnètica
- 4.19. Blindatge de neutrons
- 4.20. Codis de càlcul

Protecció contra la irradiació externa

- 4.21. Termes font a l'emplaçament
- 4.22. Tècniques bàsiques de protecció contra la irradiació externa

Vigilància individual

- 4.23. Sistemes per la vigilància de la dosimetria personal externa
- 4.24. Sistemes per la vigilància de la dosimetria personal interna

Descripció dels principis teòrics en els que es sustenta la protecció radiològica. Determinació experimental de magnituds d'interès radiològic. Resolució de problemes i casos típics. Càlcul numèric de blindatges.

Objectius específics:

- Identificar les magnituds emprades en l'àrea de la protecció radiològica i definir-les.
- Explicar, a nivell bàsic, els riscos biològics de les radiacions ionitzants i la necessitat de la limitació de dosis i de les tècniques d'optimització
- Fer servir els principis bàsics de justificació, limitació i optimització, del sistema internacional de protecció radiològica, per argumentar que les pràctiques que impliquen radiacions ionitzants són compatibles amb el benestar global aconseguit, enfront dels riscos individuals i la sostenibilitat.
- Calcular la dosi deguda a radiacions ionitzants més habituals en l'emplaçament d'una central nuclear o una instal·lació radioactiva.
- Realitzar correctament càlculs simples de blindatges de les radiacions, i contribuir treballant en equip a la realització de projectes de blindatge complexos.
- Aplicar tècniques de protecció radiològica per reduir els riscos derivats de l'ús de les radiacions ionitzants.
- Seleccionar justificadament les tècniques adequades per a la realització de la vigilància dosimètrica individual del personal professionalment exposat.
- Identificar els principals codis disponibles per al càlcul de transport de les radiacions ionitzants, el tipus de partícules que són capaçes de manejar, el rang de validesa i la precisió dels mateixos. Realitzar càlculs senzills utilitzant aquests codis de càlcul.

Activitats vinculades:

Classes expositives
Resolució d'exercicis i casos a classe
Treball a laboratori
Treball autònom. Exercicis teòrics, pràctics, numèrics, informes

Dedicació: 64h

Grup gran/Teoria: 14h

Grup mitjà/Pràctiques: 10h

Aprenentatge autònom: 40h

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

Instruments:

IE. 1. Exàmens Escrits individuals o de grup. Preguntes de desenvolupament, Preguntes de resposta múltiple (test), Resolució de problemes, etc.

IE. 3. Mini informes. Informes simples redactats individualment o en grup.

IE. 4. Informes formals. Documents amb una estructura definida en els quals s'aborden anàlisis de resultat experimentals, de codis de càlcul, desenvolupament d'aspectes teòrics, resolució de problemes complexos, etc. S'elaboraran en grup. Alguns inclouran presentacions, de durada acotada, per part dels estudiants dels continguts rellevants de l'informe.

IE.7. Valoració discrecional. Judici de valor dels professors sobre la globalitat del procés d'aprenentatge de l' alumne

Esquema de qualificació:

20%: Encàrrecs curts. Mini informes (10-15 en total)

30%: Encàrrecs llargs. Informes formals (5-7 en total) i presentacions

10%: Encàrrecs llargs. Exàmens escrits individuals, després d'alguns dels informes formals.

40%: Exàmens de mínims. Sobre conceptes bàsics de l' assignatura. S' ha d' obtenir una qualificació de 8 o més en cada pregunta. Hi haurà dues oportunitats per superar cada examen. Tres exàmens de mínims

10%: Valoració discrecional. Aquest apartat s'usarà per millorar la qualificació en funció de la implicació de l'estudiant en l'assignatura.

BIBLIOGRAFIA

Complementària:

- Knoll, Glenn F. Radiation detection and measurement. 4th ed. Hoboken: Wiley, cop. 2010. ISBN 9780470131480.

- Carron, N. J. An Introduction to the passage of energetic particles through matter [en línia]. Boca Raton: Taylor & Francis, cop. 2007 [Consulta: 01/10/2024]. Disponible a:

<https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=283193>. ISBN 0429137397.

- International Commission on Radiation Units and Measurements. Fundamental quantities and units for ionizing radiation. Bethesda: ICRU, 1998. ISBN 0913394599.

- Stopping powers for electrons and positrons. Bethesda, Maryland: ICRU, 1984. ISBN 0913394475.

- Tsoulfanidis, Nicholas; Landsberger, Sheldon. Measurement and detection of radiation. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press / Taylor & Francis Group, cop. 2011. ISBN 9780913392713.

- HS - Office of Health, Safety and Security. DOE-HDBK-1019/1-93, DOE Fundamentals Handbook, Nuclear Physics and Reactor Theory : Volume 1 of 2 [en línia]. Last updated. Washington: US DEpartment of Energy, 2015 [Consulta: 20/06/2024]. Disponible a: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1019-bhdbk-1993-v1/@images/file>.

- HS - Office of Health, Safety and Security. DOE-HDBK-1019/2-93, DOE Fundamentals Handbook, Nuclear Physics and Reactor Theory, Volume 2 of 2 [en línia]. Last updated. Washington: U.S. Department of Energy, 2015 [Consulta: 20/06/2024]. Disponible a: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1019-bhdbk-1993-v2/@images/file>.