

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica Nucleare
Programma di Strumentazione e Controllo degli Impianti Nucleari (9 cfu)
A.A. 2012-2013

Richiami sull'interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia: Particelle cariche – concetti generali, perdita di energia per ionizzazione e eccitazione, bremsstrahlung, effetto Cerenkov; Radiazione gamma - Effetto fotoelettrico, effetto Compton, creazione di coppie elettrone – positrone, attenuazione della radiazione gamma, trasmissione in buona geometria, build-up; Interazione dei neutroni con la materia – diffusione elastica, diffusione anelastica, reazioni di assorbimento, dipendenza delle sezioni d'urto dall'energia, attenuazione dei neutroni; Fissione nucleare - nuclidi fissili e fissionabili, fissione e cattura radiativa, frammenti di fissione, neutroni di fissione; Reazioni di fissione a catena – moltiplicazione dei neutroni e criticità, assemblaggio critico per neutroni veloci, assemblaggio critico per neutroni termici. (8 ore didattica frontale)

Rivelatori di radiazioni nucleari a gas: Rivelatori a gas – concetti generali, schematizzazione di un rivelatore generico, processo di produzione di coppie di ioni; camera a ionizzazione – a risposta integrale, caratteristica tensione corrente; per impulsi singoli, analisi della forma dell'impulso, camera a griglia; Contatore proporzionale – processo di moltiplicazione delle cariche, valanga di Townsend, zona di moltiplicazione, fattore di moltiplicazione, contributo dei fotoelettroni al fattore di moltiplicazione, contatori proporzionali per neutroni termici al trifluoruro di boro e a elio-3; Contatore Geiger-Mueller, tempo morto, tempo di recupero, pianerottolo; andamento della risposta di un rivelatore cilindrico a gas vs. tensione. (6 ore didattica frontale)

Rivelatori di radiazioni nucleari a scintillazione: Scintillatori organici e inorganici, processo di scintillazione; Proprietà degli scintillatori inorganici, rivelatore NaI(Tl), calcolo del numero di fotoni luminosi emessi per coppia elettrone – lacuna; proprietà della luce emessa, lunghezza d'onda massima, "after glow", indice di rifrazione, efficienza di scintillazione per NaI(Tl), CsI(Na), CsI(Tl), BGO; caratteristiche costruttive dei rivelatori a scintillazione; Fotomoltiplicatori – "Quantum Efficiency", guadagno per dinodo, guadagno totale, calcolo della carica prodotta per energia persa dal quanto di radiazione. (4 ore didattica frontale)

Rivelatori a semiconduttore: Livelli energetici elettronici nei solidi, "Fermi level", "bandgap"; Caratteristiche di germanio, silicio, carburo di silicio, fosforo di alluminio, arseniuro di gallio, tellururo di zinco; Coppie elettrone – lacuna, probabilità di generazione di una coppia elettrone – lacuna per effetto termico, diffusione e ricombinazione, moto in presenza di campo elettrico, velocità di deriva netta; Semiconduttori intrinseci, calcolo della corrente dovuta a elettroni e lacune, resistività, applicazione numerica al silicio intrinseco; Semiconduttori tipo n, conduttività; Semiconduttori tipo p; conduttività; Giunzione p-n, "depletion region" per "zero bias", "forward bias" e "reverse bias"; Giunzione p-i-n; Caratteristiche costruttive dei rivelatori al germanio e al silicio, rivelatori planari e coassiali, HPGe. (6 ore didattica frontale)

Statistica di conteggio: Conteggi di radiazioni nucleari, incertezza di misura, caratterizzazione dei dati sperimentali, distribuzione delle frequenze, media sperimentale e scarto quadratico medio; Modelli statistici, processi binari, probabilità di successo, numero di tentativi e numero di successi, distribuzione binomiale, casi applicativi, distribuzione di Poisson, casi applicativi, distribuzione gaussiana, casi applicativi; Fluttuazione statistica di una singola misura, propagazione degli errori, ottimizzazione del tempo di conteggio, fluttuazione dell'impulso di

una camera a ionizzazione; Risoluzione, concetti generali, risoluzione del contatore proporzionale, risoluzione del rivelatore a scintillazione, risoluzione del rivelatore a semiconduttore. (4 ore didattica frontale)

Cenni di elettronica nucleare: Catene elettroniche per la rivelazione delle radiazioni nucleari, preamplificatori; amplificatori; analizzatore monocanale; scale di conteggio; rateometri; analizzatore multicanale, convertitore analogico- digitale di Wilkinson. (4 ore didattica frontale)

Utilizzazione dei rivelatori (con laboratorio): Conteggi di radiazioni nucleari; efficienza geometrica, efficienza intrinseca, "branching ratio"; laboratorio: utilizzazione di contatori Geiger con sorgente beta-, correzione per il tempo morto, determinazione del pianerottolo, elaborazione statistica dei conteggi; Spettrometria gamma, formazione a analisi dello spettro gamma, "Compton continuum", "Full Energy Peak", "Single Escape Peak", "Double Escape Peak", Effetto somma; laboratorio: spettrometria gamma con rivelatore NaI(Tl), taratura del multicanale, riconoscimento di picchi incogniti, calibrazione in efficienza, determinazione dell'attività di una sorgente puntiforme; esempi di misure assolute $4\pi\beta-\gamma$, conteggi in coincidenza, taratura di sorgenti radioattive e strumenti di misura. (4 ore didattica frontale + 8 ore laboratorio)

Cenni di Teoria dei Controlli: Generalità, circuiti ad anello aperto, circuiti ad anello chiuso, il controllore PID; Sistemi lineari e stazionari; Stabilità, concetti generali e criteri applicativi; Modellizzazione dei sistemi di controllo, strategie di controllo. (4 ore didattica frontale)

Criteri di progettazione e utilizzazione dei sistemi di misura e controllo: Minima quantità rivelabile, cenni sulla teoria statistica dei test di ipotesi, probabilità di errore di prima e seconda specie, teoria di Currie, determinazione del livello critico, della minima quantità misurabile e della minima quantità misurata, potere risolutivo; tecniche di campionamento, applicazione al caso della produzione di rifiuti biomedicali (8 ore didattica frontale)

Rivelazione dei neutroni (con laboratorio): Rivelazione dei neutroni lenti, "cadmium cut-off", reazioni di conversione, Q-valore, reazione $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$, reazione $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$, reazione $^3\text{He}(n,p)^3\text{H}$, reazioni di cattura su ^{157}Gd , reazioni di fissione; Rivelatori basati sulla reazione del ^{10}B , rivelatore BF_3 , effetto parete, caratteristiche costruttive; contatori proporzionali a rivestimento di boro; scintillatori caricati al boro; scintillatori $^6\text{LiI}(\text{Eu})$; contatori proporzionali a ^3He ; camere a fissione; laboratorio: utilizzazione di rivelatori BF_3 , ^3He e camera a fissione con sorgente di fissione spontanea ^{252}Cf ; Rivelazione dei neutroni veloci, concetti generali, rivelatore a Sfere di Bonner, dosimetro sferico, contatore lungo di Hanson, contatori a fissione per neutroni veloci. (8 ore didattica frontale + 4 ore laboratorio)

Spettrometria α : Descrizione dei componenti strumentali, produzione dei campioni; celle di misura; rivelatori a stato solido a barriera superficiale; il sistema OCTET. Discriminazione dei radionuclidi naturali. (4 ore di didattica frontale)

Scintillazione liquida: Preparazione dei campioni; cocktail di scintillazione; principi chimico-fisici della scintillazione; Quenching; correzione del quenching; correlazione con la variazione di efficienza di scintillazione; metodi correttivi - standard esterno - standard interno. Principio di funzionamento di uno scintillatore liquido a due fotomoltiplicatori. Il sistema Quntulus, analisi dello spettro beta. Deconvoluzione di spettri beta-alfa basati sulla trasformata di Fourier. Scintillazione liquida a triple coincidenze (TDCR) (8 ore di didattica frontale.)

Applicazioni industriali e mediche delle radiazioni ionizzanti: Applicazioni industriali - misure di livello, di spessori, di portata, di composizione; sensori di allarme; Applicazioni

mediche – tecniche morfologiche – radiografia, tomografia in trasmissione; tecniche funzionali – scintigrafia, gamma camera, SPECT, PET, PET-CT. (4 ore di didattica frontale)

Strumentazione neutronica per reattori nucleari termici: campi di applicazione dei rivelatori per impulsi singoli e in modo integrale; camere compensate; metodo MSV di Campbell; Controllo del livello di potenza nei PWR e BWR, caso PWR – livello di “start-up”, livello intermedio, “Power Range”, disposizione geometrica dei rivelatori; caso BWR – livello di sorgente, intermedio e “Power Range”; controllo delle oscillazioni locali di flusso neutronico; caratteristiche generali della strumentazione “in-core” e “out of core”, microcamere a fissione, “burn-up” del materiale fissile delle microcamere a fissione, camere rigenerative, “build-up” dei prodotti di fissione nelle microcamere a fissione, effetto memoria. (6 ore didattica frontale)

Misura del flusso neutronico per attivazione (con laboratorio): Misura del flusso neutronico per attivazione – concetti generali e caratteristiche strutturali delle sonde; correlazione tra flusso e attività indotta; misura del flusso termico; misura del flusso epitermico; misura del flusso veloce; analisi delle sonde correntemente utilizzate; laboratorio: misura del flusso neutronico termico, originato da una sorgente di fissione spontanea ^{252}Cf inserita in un sistema moderante, tramite attivazione di una lastrina di vanadio e successiva spettrometria gamma NaI(Tl); caso applicativo: descrizione del sistema “Aeroballs” del reattore EPR. (8 ore didattica frontale + 4 ore di laboratorio).

Caratterizzazione di materiali nucleari e rifiuti radioattivi: Determinazione di plutonio e uranio arricchito in combustibile nucleare tramite spettrometria γ , i codici MGA e FRAME; Determinazione di plutonio e uranio tramite tecniche neutroniche, Neutron Coincidence Counting, Neutron Multiplicity Counting. Caratterizzazione di rifiuti radioattivi; caratterizzazione di materiale allontanabile; fattori di correlazione fra Key Nuclides e Hard to Measure Radionuclides. (10 ore di didattica frontale)