

Fisica e Ingegneria Nucleare

a cura del prof. MATTEO PASSONI – PHYS-04/A

Descrizione del corso

Nello sviluppo delle competenze di fisica acquisite nelle scuole è facile imbattersi nello studio dell'atomo e della sua struttura, costituita dagli elettroni e dal nucleo. Tuttavia, quasi sempre si trascura la fisica dei nuclei atomici i quali, a differenza degli elettroni, presentano una struttura molto complessa e ricca di proprietà. Tali proprietà, del tutto inedite rispetto ad altri sistemi fisici, aprono all'esplorazione di fondamentali capitoli della fisica moderna e – se adeguatamente comprese e sfruttate – permettono lo sviluppo di applicazioni di grande rilevanza ingegneristica e sociale nei campi più disparati, come la medicina, l'archeologia, la cosmologia e la produzione di energia. Il corso affronterà le nozioni di base relative alla struttura e ai costituenti del nucleo atomico e alle dinamiche che ne regolano il comportamento nel tempo e l'interazione con altri nuclei e sistemi fisici. A questo scopo, si presenteranno i diversi modelli nucleari che ne descrivono le proprietà. Si studieranno poi i fenomeni radioattivi e i principali tipi di reazioni nucleari, evidenziando la loro presenza e rilevanza in natura, la loro possibile realizzazione in laboratorio e il loro sfruttamento per lo sviluppo di alcune importanti applicazioni ingegneristiche.

Organizzazione

Il corso è suddiviso in **4 moduli**; durante ogni modulo gli studenti avranno accesso a diversi **materiali didattici online**, tra cui dispense, video ed esercizi da svolgere e consegnare per la valutazione. Gli studenti saranno in contatto costante con docenti e tutor del Politecnico. Inoltre, grazie a un **forum online** potranno lavorare insieme agli altri iscritti all'interno di una classe virtuale. È prevista infine anche la partecipazione a un **webinar**, tenuto direttamente da un docente del corso. Al termine del corso, gli studenti che avranno partecipato a tutti i webinar e completato tutti gli esercizi e le attività proposte dai docenti riceveranno un **attestato di partecipazione** e un **badge digitale** da inserire nel proprio CV.

Altri docenti coinvolti nello sviluppo del corso:

Prof. Andrea Pola – Misure e Strumentazione Nucleari.

Dott. Francesco Casamichiela – Ingegneria Nucleare.

Struttura del corso

Modulo 1 – Introduzione alla fisica nucleare

Forniremo alcune nozioni fisiche di base, imprescindibili per affrontare lo studio della fisica nucleare e i concetti più avanzati sviluppati nei moduli successivi. Partiremo dall'introduzione delle unità di misura, dei metodi sperimentali e di alcune nozioni fondamentali di relatività speciale, elettromagnetismo e meccanica quantistica, per poter investigare il comportamento dei nuclei nello spazio-tempo. Passeremo poi in rassegna le principali tipologie di nuclei e le loro caratteristiche osservabili sia in natura

sia in laboratorio, con particolare riferimento all'esistenza di nuclei stabili e instabili e alle loro proprietà elettromagnetiche ed energetiche.

Tra gli esempi trattati:

- Misurare su scala nucleare.
- Nuclei stabili e instabili, sulla Terra e nell'Universo.
- Relatività speciale e fisica nucleare (difetti di massa, vita dei muoni cosmici).
- Positroni: l'antimateria del quotidiano.
- Dallo spin dei nuclei alla Risonanza Magnetica Nucleare.

Modulo 2 – I modelli nucleari

In questo modulo ci concentreremo sui costituenti del nucleo, o *nucleoni* (cioè protoni e neutroni) e sulla *forza nucleare forte*, responsabile dell'esistenza stessa dei nuclei. Verranno poi introdotti alcuni modelli utilizzati per descrivere la complessa struttura e il comportamento fisico dei nuclei: il *modello a goccia di liquido* – utile per spiegare le masse dei nuclei e la fissione nucleare – e il *modello a shell* (a guscio), in cui si prevede che i nucleoni si muovano occupando orbitali, in modo analogo agli elettroni in un atomo. Secondo questo modello, la particolare stabilità osservata sperimentalmente per alcuni nuclei si spiega tramite specifiche configurazioni nucleari, descritte dai cosiddetti *numeri magici*.

Tra gli esempi trattati:

- Nuclei di dimensioni astronomiche: le stelle di neutroni.
- I nuclei doppi magici: dalla particella alfa al Piombo-208.
- Predizione di isole di stabilità e ricerca di nuovi elementi super-pesanti.

Modulo 3 – La radioattività

La *radioattività* è presente da sempre sulla Terra. Esistono alcuni nuclei instabili in grandi quantità in natura, come il Potassio-40, il Torio-232 e l'Uranio-238, che emettono lentamente *radiazioni*, modificando la loro struttura e trasformandosi in nuclei più stabili, dando luogo alla formazione di elementi con proprietà fisico-chimiche completamente differenti. Tale processo si chiama *decadimento radioattivo*, responsabile non solo dell'energia geotermica, ma anche dell'esistenza di un *fondo di radioattività naturale*, nel quale siamo immersi. Durante questo modulo, affronteremo lo studio dei processi di decadimento radioattivo ed esempi di radioattività in natura con la loro applicazione pratica in diversi campi.

Tra gli esempi trattati:

- La radioattività del cielo, della terra, del corpo umano.
- Radioisotopi per la medicina nucleare: Tecnezio-99m, Fluoro-18.
- Utilizzo della radioattività per la datazione: il Carbonio-14.
- Fisica fondamentale e radioattività: decadimento del Trizio e massa del neutrino, decadimento del neutrone e modello standard.

Modulo 4 – Le reazioni nucleari

Nel quarto modulo discuteremo le *reazioni nucleari*, processi – come la fissione e la fusione – che portano alla trasformazione del nucleo di un elemento in quello di un altro elemento. Processi di questo tipo avvengono in ogni istante nel Sole e nelle stelle, producendo calore, luce e altre particelle, ma anche sulla Terra. Studieremo le principali tipologie di reazioni nucleari, le condizioni e i metodi che portano alla loro realizzazione in natura e in laboratorio, insieme ad alcuni modelli per la loro descrizione. Concluderemo con esempi di reazioni nucleari, presenti in natura o prodotte dall'uomo per lo sviluppo di

fondamentali applicazioni, dalla “medicina nucleare” alla produzione di energia.

Tra gli esempi trattati:

- Reazioni nucleari naturali in atmosfera.
- Il cuore a fusione nucleare delle stelle.
- Reazioni nucleari per lo studio dei beni culturali.
- Reattori nucleari a fissione come fonte di energia.
- Le ricerche sulla fusione termonucleare controllata.
- Macchine per realizzare reazioni nucleari: gli acceleratori di particelle.

Note biografiche

MATTEO PASSONI – È Professore ordinario di Fisica della Materia presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano, dove insegna Fisica Nucleare e Fisica dei Plasmi. E' delegato della Rettrice per l'orientamento dello studente.

È stato preside vicario della Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione (2019-2024) e coordinatore del Corso di Studi in Ingegneria Nucleare (2018-2023). Tra articoli su riviste scientifiche e capitoli di libri, ha all'attivo oltre 150 pubblicazioni. I suoi interessi di ricerca spaziano dalla fisica dei plasmi alle nanotecnologie, dalla scienza dei materiali alle applicazioni della fisica nucleare. È stato responsabile scientifico dei progetti ERC (European Research Council) ENSURE, INTER e PANTANI, dedicati allo studio di tecniche innovative di accelerazione di particelle, e delle attività svolte al Politecnico sulla fusione termonucleare, anche nell'ambito del consorzio europeo EUROfusion. Collabora con prestigiosi istituti di ricerca come il CNR, L'ENEA e l'INFN. È stato invitato come conferenziere e relatore in numerosi istituti di ricerca nazionali e internazionali.

ANDREA POLA – E' Professore ordinario di Misure e Strumentazione Nucleari presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano, dove insegna Radioattività e Laboratorio di Fisica del Nucleo. È coordinatore del Corso di Studi in Ingegneria Nucleare e coordinatore della sezione di Ingegneria Nucleare del Politecnico di Milano. Ha all'attivo oltre 130 pubblicazioni, tra articoli editi su riviste scientifiche e atti di convegno. E' inoltre autore del volume “Energia dal Nucleo”, della collana Oscar Saggi Accademia di Mondadori. I suoi interessi di ricerca spaziano dalla fisica delle radiazioni, la dosimetria dei campi di particelle, i rivelatori di campi di radiazione complessi, la fisica nucleare applicati agli ambiti medicale, industriale e di ricerca. È stato ed è coinvolto in numerosi esperimenti e progetti scientifici nazionali ed internazionali ed è stato relatore in numerose conferenze. È titolare di una società spin-off del Politecnico di Milano dedicata allo sviluppo di sistemi di rivelazione e misura innovativi. Collabora con prestigiosi istituti di ricerca, come l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, e di cura, come l'Istituto Nazionale dei Tumori, oltre che con molte aziende del settore nucleare.

FRANCESCO CASAMICIELLA – È laureato in Ingegneria Nucleare presso il Politecnico di Milano. La sua tesi di laurea, supervisionata dal Prof. Andrea Pola, riguarda un metodo alternativo per rivelare in modo efficace dei fasci di protoni prodotti da una tipologia innovativa di acceleratori di particelle. In laurea triennale, ha studiato Ingegneria dei Materiali e Nanotecnologie, focalizzandosi soprattutto sulle proprietà e le applicazioni dei materiali nanostrutturati. Ha scoperto una vivida passione per l'insegnamento, anche grazie alle lezioni private (in Matematica, Fisica e Meccanica delle Strutture)

fornite a diversi studenti liceali ed universitari. Crede fortemente nell'importanza della comunicazione scientifica per il grande pubblico, effettuata in maniera chiara, efficace ed accessibile.