

**Universitatea Babeş–Bolyai Cluj–Napoca**  
**Facultatea :** Facultatea de Fizică  
**Anul universitar :** 2018-2019  
**Semestrul:** II

## **I. Informații generale despre curs, seminar, lucrare practică sau laborator**

**Titlul disciplinei:** *Reactori si Materiale Nucleare*

**Codul:** 0054

**Numărul de credite:** 5

**Limba de predare:** Română, engleză, franceză

**Locul de desfășurare:** Facultatea de Fizică

**Programarea în orar a activităților:**

**Curs:** 2 ore saptaminal

**Laborator:** 2 ore saptaminal

## **II. Informații despre titularul de curs, seminar, lucrare practică sau laborator**

**Nume, titlul științific:** Prof.univ.Dr. Ciurchea Decebal-Radu

**Informații de contact:**

- **E-mail:** [ciurchea@phys.ubbcluj.ro](mailto:ciurchea@phys.ubbcluj.ro) [dr.ciurchea@academic.ro](mailto:dr.ciurchea@academic.ro) [dcicurchea@yahoo.com](mailto:dcicurchea@yahoo.com)
- **Web:** <http://www.academic.ro> <http://www.duci.ro>

**Ore de consultații și audiență:** luni 16-18, vineri 11-13 , sala 215-clădirea centrală

## **III. Descrierea disciplinei:**

### ***Obiectivele cursului:***

Încălzirea globală și epuizarea resurselor continentale de combustibil au determinat o revigorare a domeniului energiei nucleare. În context european, România este singura deținătoare de tehnologie CANDU (apă grea și combustibil cu îmbogățire naturală) iar vecinii țării noastre dețin reactori de tip PWR. Tehnologia utilizată este foarte complexă fiind asociată cu măsuri ecologice speciale.

Cursul va furniza studenților cunoștințele referitoare la construcția și funcționarea reactorilor nucleari și materialele nucleare pentru reactorii nucleari termici, cu accent pe reactorii CANDU-PHWR și PWR: European Power Reactor și VVER.

## **IV. Bibliografia obligatorie:**

- 1) Ursu "Fizica și tehnologia materialelor nucleare", Ed. Academiei, București, 1982.
- 2) Guido Milano, "Elementi de energetica nucleare", Appunti per le lezioni dei corsi, Genova 2006, [http://www.ditec.unige.it/gmilano/ENU\\_DITEC\\_GM\\_PARTE1.pdf](http://www.ditec.unige.it/gmilano/ENU_DITEC_GM_PARTE1.pdf)
- 3) Berinde, "Elemente de fizica și calculul reactorilor nucleari", Ed. Tehnică, București, 1977.
- 4) US Department of Energy Fundamentals Handbook, 1993 ( <http://www.tpub.com> ):
  - a) Material Science, vol. 1 and 2, DOE-HDBK-1017/1-93 și DOE-HDBK-1017/2-93
  - b) Nuclear Physics and Nuclear Theory, vol. 1 and 2, DOE-HDBK-1019/1-93 și DOE-HDBK-1019/2-93
- 5) M. Peculea, "Apa grea", Ed. Scrisul Românesc, Craiova, 1984.

**Obs:** titlurile pot fi accesate la filiala Facultății de Fizică a Bibliotecii Centrale Universitare “Lucian Blaga” sau în internet. Studenții primesc un CD cu material documentar complementar, inclusiv multimedia, pentru studiu individual.

## V. Materiale folosite în cadrul procesului educațional specific disciplinei:

- Laptop, proiector, calculatoare.
- Software specializat furnizat de Agentia Internationala pentru Energie Atomica, Viena, 2006.
- Software și material experimental creat de titularul de curs.
- Organizarea unor excursii de studii la CNE-Cernavodă și SCN Pitești.
- Studenții primesc un CD cu material documentar complementar, inclusiv multimedia, pentru studiu individual.

## VI. Planificarea /Calendarul întâlnirilor și a verificărilor/examinărilor intermediare:

### Curs

#### I. Introducere

8 ore

- Modelul în pături și modelul picatură. Modelul nucleului compus și secțiunea eficace în reacțiile nucleare.

- Fisiunea nucleară. Izotopi stabili, fisili și fertili. Modelul Bohr-Wheeler și fisiunea  $^{236}\text{U}$ .

- Fisiunea indusă în  $^{235}\text{U}$ .

- Produși de fisiune

- Neutroni prompti și întârziați.

- Reactorul termic cu uraniu natural.

- Filiere de reactori și cicluri combustibile.

**Cuvinte cheie:** Modele nucleare, energia de legătură nucleară, reacții nucleare, fisiune, fisiune spontană, fisiune indusă

**Bibliografia:** CD cu material complementar, Ref. [2] p. 9-77; Ref. [1] p.17-32; Ref. [4b] vol.1, p. 1-62

#### II. Elemente de fizica reactorului

8 ore

- Ecuația reactorului nestaționar.

- Formula celor 4 factori.

- Reactivitatea reactorului și otrăvirea reactorilor.

- Prima teoremă fundamentală a teoriei reactorului.

- Difuzia neutronilor.

- Moderarea neutronilor în aproximația vârstei.

- Reactorul sferic omogen. Masa critică.

- Ansamblul subcritic. Evaluarea experimentală a dimensiunilor critice. Surse de neutroni.

- A doua teoremă fundamentală a reactorului

- Reactorul termic heterogen în aproximația monogrup

- Reactorul avansat și reactorul rapid. Filiere de reactori și cicluri combustibile.

- Descrierea reactorului CANDU-PHWR

- Descrierea reactorului PWR
- Descrierea reactorului FBR.
- Generația IV de reactori nucleari și GIF (Generation IV Initiative Forum)

**Cuvinte cheie:** Bilantul neutronilor, formula celor 4(6) factori, difuzia neutronilor, aproximația difuziei, aproximația vârstei, vârsta Fermi, masă critică, reactor termic, reactor rapid, ciclul combustibil, reactor avansat, Generația IV, GIF

**Bibliografia:** CD cu material complementar, Ref. [2] p. 78-179; Ref. [1] p.33-48; Ref. [4b] vol. 2, p. 1-49

### III. Combustibili nucleari si cicluri combustibile

12 ore

- Proprietățile și obținerea apei grele.
- Proprietățile mecanice, fizice și chimice ale UO<sub>2</sub>
- Purificarea uraniului și obținerea UO<sub>2</sub> - nuclear grade.
- Proprietățile mecanice, fizice și chimice ale Zircaloy-2 și Zircaloy-4
- Dehafniera zirconului și laminarea tuburilor de zircaloy. Textura și anizotropia Zircaloy.
- Criterii de îmbogățire și grade de ardere în designul combustibilului nuclear.
- Fabricarea combustibilului nuclear.
- Comportarea la iradiere a combustibilului nuclear. Analiza post- iradiere.
- Reprocesarea combustibilului nuclear și separarea izotopilor utili.

**Cuvinte cheie:** apă grea, procesul H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>S, dioxid de uraniu (UO<sub>2</sub>), Zircaloy, textura, anizotropie, hidrurarea Zr, efect Diabolo, șanfren, dish, interacțiunea combustibil-teacă, restructurarea combustibilului, balonarea combustibilului, accident LOCA

**Bibliografia:** CD cu material complementar, Ref. [1] p. 162-176, 215-230, 317-362; Ref. [4a] vol. 2, p. 1-44

## Laborator

### 1. Analiza izotopilor și produșilor de fisiune folosind programul "Isotope Explorer"

2 ore

**Cuvinte cheie:** harta nuclizilor, izotopi, secțiune eficace, dezintegrare beta, dezintegrare alfa, fisiune, izotop fisil, izotop fertil, produși de fisiune, randamentul produșilor de fisiune.

**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator

2 ore

### 2. Determinarea gradului de ardere al combustibilului ars

**Cuvinte cheie:** izotopii uraniului, îmbogățire, sărăcire, grad de ardere, factor de conversie, MWd/t

**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator

2 ore

### 3. Analiza procesului de restructurare în combustibilii nucleari oxidici (U,Th)O<sub>2</sub>

Codul ROD (MIT) pentru calculul istoriei de iradiere a combustibilului mixt.  
**Cuvinte cheie:** porozitate, difuzie, profil de temperatură, restructurare, distribuția oxigenului, distribuția plutoniului, dimensiunea de grăunte, grăunți echiacși, grăunți columnari

**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator

2 ore

### 4. Determinarea porozității combustibililor nucleari oxidici

**Cuvinte cheie:** porozitate, porozimetru, tensiune superficială, metoda penetrației mercurului, pori cilindrici, raza medie a porilor, distribuție de pori uni/multi-modală.

- Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator 2 ore
- 5. Indexarea structurii dioxidului de uraniu**  
**Cuvinte cheie:** precizia măsurătorilor prin DRX, structură cubică, structuri izomorfe, oxidarea UO<sub>2</sub>, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> și U<sub>4</sub>O<sub>9</sub>  
**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator 2 ore
- 6. Analiza orientării preferențiale în Zircaloy-4.**  
**Cuvinte cheie:** textură cristalografică, orientare preferențială, figuri polare directe, figuri polare inverse, factor f, factor Kearns, orientarea hidrurilor.  
**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator 2 ore
- 7. Analiza Monte-Carlo a criticității unor reactori experimentali.**  
**Cuvinte cheie:** metode Monte Carlo pentru bilanțul neutronilor, reactor nestacionar, ansamblu subcritic, factor de multiplicare, folosirea surselor de neutroni la pornire.  
**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator 2 ore
- 8. Simularea funcționării unui reactor de tip PWR-VVER**  
**Cuvinte cheie:** Secțiunea convențională a centralei nuclear-electrice, generator de aburi, circuit primar, circuit secundar, otrăvire cu Xenon, grad de ardere, bare de control, bare de ajustarea reactivității  
**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator 2 ore
- 9. Analiza funcționării și comportării tranziente a unui reactor de tip CANDU - PWR**  
**Cuvinte cheie:** Secțiunea convențională a centralei nuclear-electrice, generator de aburi, circuit primar, circuit secundar, otrăvire cu Xenon, grad de ardere, bare de control, bare de ajustarea reactivității  
**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator 2 ore
- 10. Analiza accidentului LOCA de la Three Miles Island (SUA) folosind PCTTRAN**  
**Cuvinte cheie:** Secțiunea convențională a centralei nuclear-electrice, generator de aburi, circuit primar, circuit secundar, otrăvire cu Xenon, Grad de ardere, bare de control, bare de ajustarea reactivității  
**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator 2 ore
- 11. Fitarea unui spectru experimental prin metoda celor mai mici pătrate**  
**Cuvinte cheie:** interacțiunile hiperfine în efectul Moesbauer, metoda Gauss-Newton, forma liniei la rezonanța gama.  
**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator 2 ore
- 12. Structura și proprietățile moderatorului Zr-H**  
**Cuvinte cheie:** Combustibil TRIGA, moderator intern, conductibilitate termică, precipitați  
**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator 2 ore
- 13. Structura și proprietățile aliajului U-Zr**  
**Cuvinte cheie:** metode de obținere a aliajului U-Zr, topire, omogenitate, dependența structurii de compoziție, puritate.  
**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator

**14. Analiza contaminării piscinei de calmare a comb. ars folosind PCTTRAN**

**Cuvinte cheie:** bazin de stocare a combustibilului ars, monitorizarea contaminării radioactive, calculul dozei.

**Bibliografie:** CD cu material complementar, manualul softului, referat de laborator

- La fiecare lucrare de laborator studentul trebuie să întocmească un referat care să conțină considerațiile teoretice, rezultatele experimentale și interpretarea rezultatelor.
- Rezultatele vor fi obținute utilizând calculatoarele existente în laborator.

**VII. Modul de evaluare:**

- Examen scris de semestru și testarea aptitudinilor experimentale în laborator.
- Ponderea examenului scris este de 80% iar cea a activității desfășurate în laborator de 10%, 10% activitatea din timpul anului.
- Nota minimă la evaluări trebuie să fie 5.

**VIII. Detalii organizatorice, gestionarea situațiilor excepționale:**

- Prezentă la curs este facultativă.
- Prezentă la lucrările de laborator este obligatorie.
- Recuperarea lucrărilor de laborator se face în cursul semestrului (cu excepția ultimelor două săptămâni) pe baza unui program stabilit în funcție de desfășurarea altor activități experimentale în laborator.
- Condițiile de prezentare la examen: efectuarea tuturor lucrărilor de laborator și evaluarea aptitudinilor experimentale.
- Copierea în timpul examenului de la colegi sau din cursuri atrage după sine anularea examenului și excluderea din examen.
- Contestatiile se pot rezolva în termen de 24 ore după afișarea rezultatelor. Lucrarea va fi prezentată studentului fiind evidențiate lipsurile prin care se certifică nota.

**IX. Bibliografia opțională:**

- 1) D. Ciurchea, "Textura și anizotropia aliajului Zircaloy-4 pentru reactorii nucleari", Bit, Iași, 2000.
- 2) I.G. Murgulescu, J. Paun, "Introducere în chimia fizică", vol I/3, Ed. Academiei, 1980.
- 3) A.M. Weinberg și E.P. Wigner, "The physical Theory of Neutron Chain Reactors", Univ. Chicago Press, 1959.
- 4) Cuculeanu, "Fizica și calculul reactorilor nucleari cu neutroni rapizi", Ed. Tehnică, București, 1982.
- 5) "Handbook of Nuclear Reactors", Ed. H. Soodak, Wiley, 1962.
- 6) S. Râpeanu și al., "Tehnici și măsurători la reactorii nucleari", Ed. Academiei, București, 1983.
- 7) Znamirovski, R. Câmpeanu, "Interacțiuni nucleare", litografiat, Univ. din Cluj-Napoca, 1976.

**Titular de disciplină**

Prof.univ.dr. D. Ciurchea