

**STUDYING THE PHENOMENON OF RADIOACTIVITY WITHIN NUCLEAR
PHYSICS COURSE**

**STUDIAREA RADIOACTIVITĂȚII ÎN CADRUL CURSULUI DE FIZICĂ
A NUCLEULUI ATOMIC**

Leonid GUȚULEAC, dr., conf. univ.,

UPS „Ion Creangă”, Chișinău,

ORCID ID: 0009-0008-2727-3996

E-mail: gutuleac.leonid@upsc.md

Zinaida ECHIM, masterandă,

UPS „Ion Creangă”, Chișinău,

ORCID ID: 0009-0008-2116-7172

E-mail: zinaida.echim80@gmail.com

CZU: 373.5.016:(53+54)

DOI: 10.46727/c.25-04-2024.p95-103

Abstract. In this paper are presented the results obtained after studying radioactivity in the atomic nucleus physics course. This study states an interdisciplinary link between chemistry and physics. Practical problems related to radioactivity have been solved. A method of processing graphs of attenuation with time of activity of the radioactive preparation was exposed.

Keywords: interdisciplinary links, atomic nucleus, radioactivity, constant decay.

Rezumat. În lucrarea de față sunt expuse rezultatele obținute la studierea radioactivității în cursul de fizică a nucleului atomic. Acest studiu presupune o legătură interdisciplinară dintre chimie și fizică. Au fost rezolvate probleme practice referitoare la radioactivitate. A fost expusă o metodă de prelucrare a graficelor de atenuare cu timpul a activității preparatului radioactiv.

Cuvinte-cheie: legături interdisciplinare, nucleu atomic, radioactivitate, constantă de dezintegrare.

Introducere

Legăturile interdisciplinare joacă un rol crucial în predarea fizicii din mai multe perspective. Conectarea fizicii cu alte discipline precum matematica, chimia, biologia sau ingineria ajută elevii să înțeleagă mai bine conceptele și principiile fizicii în contextul lor real și să înțeleagă cum aceste concepte se aplică în diverse domenii și probleme. Integrarea altor domenii în predarea fizicii poate să facă subiectul mai atractiv și mai accesibil pentru elevi. Abordarea interdisciplinară încurajează gândirea critică și abilitățile de rezolvare a problemelor, deoarece elevii sunt expuși la diverse perspective și modalități de abordare a unei probleme. În lumea reală, mulți profesioniști lucrează în domenii care necesită cunoștințe și abilități interdisciplinare. Prin urmare, pregătirea elevilor și a studenților pentru a înțelege și a aplica conceptele fizicii în contexte interdisciplinare îi poate pregăti mai bine pentru cariere viitoare.

Predarea fizicii și a chimiei poate să aibă multiple legături și suprapuneri, datorită faptului că aceste două discipline explorează proprietățile materiei și interacțiunile dintre ele. Se pot identifica multe exemple de legături între fizică și chimie. În fizică se studiază structura atomică a materiei, inclusiv modelele atomice, particulele subatomice și comportamentul lor. Chimia examinează, de asemenea, structura atomică și legăturile chimice dintre atomi și molecule. Fizica studiază interacțiunile electromagnetice, cum ar fi forțele electromagnetice și câmpurile electrice și magnetice. Aceste concepte sunt esențiale și pentru înțelegerea legăturilor chimice, a desfășurării reacțiilor chimice și a proprietăților materialelor. Termochimia este un domeniu care combină conceptele de fizică și chimie pentru a studia schimburile de energie sub formă de căldură în timpul reacțiilor chimice și transformările de stare ale materiei. Fizica stării solide se ocupă de structura cristalină și comportamentul materialelor solide, chimia fizică poate să analizeze și să explice proprietățile chimice ale acestor materiale. Spectroscopia este utilizată în ambele discipline pentru a analiza structura atomică și moleculară a substanțelor. Acestea sunt doar câteva exemple de legături între fizică și chimie, iar explorarea acestor conexiuni poate să ofere elevilor și studenților o înțelegere mai profundă și mai completă a ambelor discipline.

Printre subiectele studiate la cursul de fizică a nucleului atomic se numără și fenomenul de radioactivitate [1, pp. 518-519]. Studiarea radioactivității este de o importanță majoră. Prin studiarea radioactivității, putem înțelege mai bine natura materiei și procesele care au loc în univers. Radioactivitatea are numeroase aplicații în domeniul medical. Cunoștințele despre radioactivitate sunt esențiale pentru dezvoltarea și utilizarea energiei nucleare. Radioactivitatea poate fi utilizată pentru datarea obiectelor arheologice și a rocilor geologice prin măsurarea concentrației de izotopi radioactivi. În domeniul securității și al protecției mediului, studiarea radioactivității este crucială pentru detectarea și monitorizarea radiațiilor ionizante.

Fundamentarea teoretică

Actualmente este acceptat modelul proton-neutronic al nucleului atomic, propus în anii 30 ai secolului XX. El este o reprezentare conceptuală a nucleului atomic, care explică structura acestuia și comportamentul său în cadrul transformărilor nucleare [2, pp. 390-399]. Conform acestui model, nucleul atomic este compus din protoni și neutroni (împreună se numesc nucleoni). Protonii sunt particule încărcate pozitiv, în timp ce neutronii sunt particule neutre din punct de vedere electric. Interacțiunile dintre protoni și neutroni sunt mediate de forțele nucleare, care sunt responsabile pentru menținerea nucleului atomic ca un tot întreg și pentru stabilitatea acestuia. Numărul atomic Z al unui element este determinat de numărul de protoni din nucleul său, iar numărul de masă A este numărul total de nucleoni din nucleu. Un nucleu atomic este stabil atunci când forțele nucleare sunt suficient de puternice pentru a contracara forțele de respingere electrostatică dintre protoni. În unele nuclee instabile pot avea loc procese precum dezintegrarea radioactivă pentru a atinge o configurație mai stabilă. Modelul proton-neutronic al nucleului atomic a fost esențial pentru dezvoltarea ulterioară a fizicii nucleare și a deschis calea pentru înțelegerea mai profundă a structurii nucleului și a reacțiilor nucleare.

În anumite condiții, unele nuclee atomice pot suporta transformări, modificându-și structura internă. Descoperirea radioactivității de către Antoine Becquerel în 1896 a fost primul proces nuclear de acest fel. Radioactivitatea este un

fenomen în care nucleele atomice se dezintegrează în mod spontan, emițând una sau mai multe particule [3, pp. 292-300]. Nucleele care suferă această dezintegrare sunt denumite radioactive, iar cele care nu se descompun sunt considerate stabile. În timpul procesului de dezintegrare nucleară, atât numărul atomic, cât și numărul de masă pot suferi modificări. Un criteriu crucial, dar nu întotdeauna suficient, pentru ca dezintegrarea să aibă loc, este cel energetic: masa nucleului radioactiv trebuie să fie mai mare decât suma maselor nucleului final și a particulelor emise în timpul procesului. Astfel, sistemul trece într-o stare energetică mai favorabilă. Radioactivitatea poate fi împărțită în două categorii: naturală și artificială. Radioactivitatea naturală apare atunci când nucleele atomice care au fost prezente în natură de la formarea lor, suferă dezintegrare nucleară. Pe de altă parte, radioactivitatea artificială se produce atunci când nucleele atomice create artificial se dezintegrează. În ciuda acestei distincții, nu există diferențe fizice fundamentale între radioactivitatea naturală și cea artificială.

Uneori, nucleul rezultat în urma unei dezintegrări poate fi, de asemenea, radioactiv. Acesta se dezintegrează la rândul său, formând un nou nucleu care este, la fel, radioactiv. Astfel, se formează lanțuri de dezintegrări, care se succed una după alta cu o anumită probabilitate. Nucleele implicate într-un astfel de lanț de dezintegrări formează o familie sau serie radioactivă. În natură, există trei familii radioactive, iar o a patra este artificială.

Dezintegrarea radioactivă este un proces aleatoriu, ceea ce înseamnă că este dificil să prezicem exact momentul în care se va produce dezintegrarea unui nucleu. Cu toate acestea, putem face estimări aproximative cu privire la numărul de nuclee care se vor dezintegra într-un anumit interval de timp. Micșorarea numărului de nuclee radioactive cu timpul este descrisă de legea dezintegrării:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1).$$

Uneori, pentru a descrie ritmul dezintegrării nucleelor, se utilizează conceptul de timp de înjumătățire (sau perioadă de semidezintegrare, notat cu T). Acesta reprezintă intervalul de timp, în care jumătate din numărul inițial de nuclee se descompun. Perioada de semidezintegrare variază pentru diferiți izotopi și poate fi

de la fracțiuni de secundă până la miliarde de ani. Se mai folosește noțiunea de timp mediu de viață (τ) al nucleului. Se poate demonstra:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}, \quad T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2).$$

Pentru a exprima intensitatea dezintegrărilor într-un material radioactiv, se utilizează termenul de activitate. Acesta indică numărul de dezintegrări care au loc într-o unitate de timp:

$$A = \lambda \cdot N \quad (3).$$

Pe baza legii dezintegrării se poate elabora un grafic care arată relația dintre numărul de nuclee și timp. Acest grafic, cunoscut sub numele de curbă de dezintegrare, ilustrează cinetica dezintegrării unui izotop nestabil. Pentru a construi acest grafic, se mai pot efectua măsurători ale activității unui material. Studiarea unui material radioactiv necunoscut începe anume cu obținerea curbei, care descrie atenuarea activității lui pe parcursul unui interval de timp de ordinul timpului mediu de viață.

În cursul de fizică radioactivitatea se poate studia prin rezolvarea problemelor. În procesul de învățare a fizicii accentul pus pe abordarea și rezolvarea problemelor este de o importanță crucială. Aceste activități nu numai că facilitează o înțelegere mai profundă și o memorare mai eficientă a legilor și formulelor fundamentale ale fizicii, ci și ajută la conturarea unei imagini clare despre caracteristicile acestora și despre domeniile lor de aplicare [4, pp. 7-9]. Rezolvarea unor varietăți de probleme contribuie la dezvoltarea abilității de a aplica principiile generale ale fizicii în rezolvarea unor probleme practice și conceptuale relevante. Capacitatea de a aborda și rezolva astfel de probleme reprezintă un indicator esențial al profunzimii înțelegerii conținutului programului și a modului în care acesta a fost asimilat.

Rezultatele cercetării

Am ales să rezolvăm probleme atât din culegeri, cât și probleme proprii. Aici sunt expuse ca exemplu două probleme.

Problema 1 (35.21 [5, p. 185]): Un ecran fluorescent cu o arie a suprafeței de $0,03 \text{ cm}^2$ se află la distanța de 1 cm de la un preparat punctiform de radium $^{226}_{88}\text{Ra}$ cu masa de 18 pg . Câte scintilații se vor produce pe acest ecran timp de un minut?

$$\begin{aligned}
S &= 0,03 \text{ cm}^2 \\
l &= 1 \text{ cm} \\
m &= 18 \cdot 10^{-15} \text{ kg} \\
T &= 1600 \text{ ani} \\
t &= 60 \text{ s} \\
n &=?
\end{aligned}$$

Rezolvare:

Am notat datele problemei, din tabel am luat T . Am exprimat masa unui atom de radiu cu masa atomică relativă $A = 226$, folosind constanta de trecere:

$$m_a = A \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

Am determinat numărul de atomi, care este și numărul inițial de nuclee radioactive. Numărul inițial de nuclee este egal cu raportul dintre masa inițială și masa unui atom:

$$\begin{aligned}
N_0 &= \frac{m}{m_a}, & N_0 &= \frac{m}{A \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}, \\
N_0 &= \frac{18 \cdot 10^{-15} \text{ kg}}{226 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 4,8 \cdot 10^{10}.
\end{aligned}$$

Peste un interval de timp, t rămâne un număr N determinat de legea dezintegrării. Am dezintegrat un număr:

$$\Delta N = N_0 - N, \quad N = N_0 \cdot e^{-\frac{t \cdot \ln 2}{T}}, \quad \Delta N = N_0 \left(1 - e^{-\frac{t \cdot \ln 2}{T}}\right).$$

La dezintegrare se emit ΔN particule în toate direcțiile în mod izotrop (în limitele unghiului solid complet de $\Omega = 4\pi$). Suprafeței ecranului îi corespunde un unghi solid mic $d\Omega$, în care se emite doar o parte de particule (un număr n) și ele provoacă scintilații pe ecran. Numărul căutat este proporțional cu unghiul solid respectiv:

$$d\Omega = \frac{S}{l^2}, \quad \frac{n}{\Delta N} = \frac{d\Omega}{\Omega} = \frac{S}{4\pi l^2}, \quad n = N_0 \left(1 - e^{-\frac{t \cdot \ln 2}{T}}\right) \frac{S}{4\pi l^2}.$$

Am obținut formula finală și am calculat:

$$n = 4,8 \cdot 10^{10} \left(1 - \exp\left(-\frac{60 \text{ s} \cdot 0,693}{1600 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}}\right)\right) \frac{0,03 \text{ cm}^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 1 \text{ cm}^2} = 94.$$

Deci, se vor produce 94 de scintilații.

Tabelul 1. Caracteristicile izotopilor radioactivi

Izotopul	T	λ	τ (calculare)	τ (grafic)
Te-127	9.3 ore	0.07453 ore^{-1}	13.42 ore	13,4 ore
Na-24	14.0 ore	0.04951 ore^{-1}	20.20 ore	20,1 ore
Br-82	36.0 ore	0.01925 ore^{-1}	51.94 ore	51,7 ore
Ba-140	13.0 zile	$0.05332 \text{ zile}^{-1}$	18.76 zile	18,6 zile
Th-234	24.1 zile	$0.00324 \text{ zile}^{-1}$	308.88 zile	34,8 zile
Fe-59	44.5 zile	$0.01558 \text{ zile}^{-1}$	64.20 zile	64,1 zile
Co-60	5.3 ani	0.13078 ani^{-1}	7.65 ani	7,6 ani
H-3	12.3 ani	0.05635 ani^{-1}	17.75 ani	17,7 ani

Problema 2: Construiți curbele de radioactivitate ale unui șir de izotopi radioactivi, folosind din tabele date despre perioadele de înjumătățire. Din graficele construite determinați durata medie de viață a nucleelor radioactive respective.

Rezolvare:

Pentru a compara evoluțiile activităților unor preparate radioactive trebuie ca ele să aibă perioade de înjumătățire comparabile. Am ales trei grupuri de izotopi, incluși în tabelul 1. În coloana a doua am introdus ca date inițiale perioadele T din tabele.

Am calculat cu ajutorul expresiilor (2) constantele de dezintegrare și timpii medii de viață, pe care i-am inclus în coloanele trei și patru. Am construit graficele teoretice pentru numărul relativ de nuclee $\left(\frac{N}{N_0}\right)$ pentru fiecare grup aparte. Am construit linia de reper $\left(\frac{1}{e}, e \approx 2,7183\right)$, care corespunde unui număr de nuclee de e ori mai mic decât cel inițial. La intersecția liniei de reper cu curbele de radioactivitate se determină timpul mediu de viață, pe care l-am inclus în ultima coloană a tabelului.

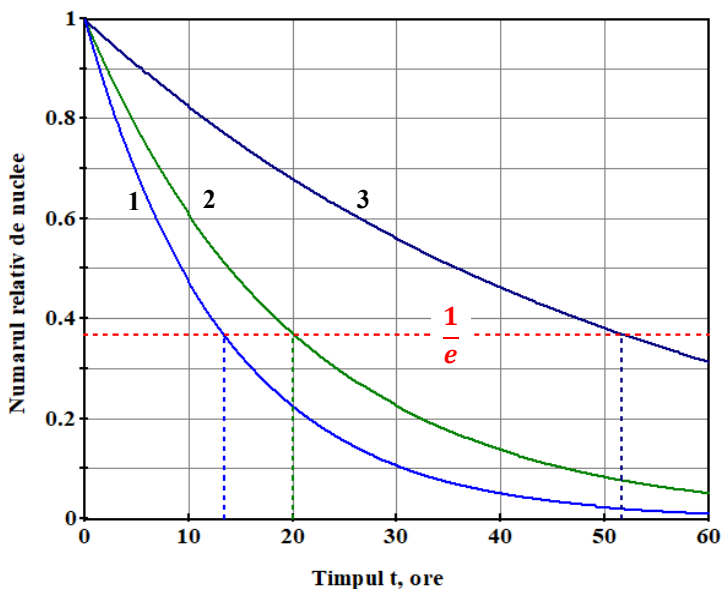


Figura 1. Curbe de radioactivitate pentru trei izotopi radioactivi:
1) Te-127; 2) Na-24; 3) Br-82

În Figura 1 sunt prezentate ca exemplu graficele pentru primul grup de nuclee. În mod similar am lucrat și cu celelalte două grupuri. Rezolvarea problemelor de acest fel permite de a forma deprinderi de prelucrare a datelor experimentale și de lucru cu diferite grafice, din care se poate afla informație utilă.

Fluxurile de particule obținute la dezintegrările nucleelor se numesc radiații nucleare sau radiații ionizante. Aceste particule au energii relativ mari, care le asigură viteze mari. La trecerea printr-o substanță, radiațiile nucleare pot provoca ionizarea atomilor și alte efecte.

Efectul radiațiilor ionizante asupra diferitelor obiecte reprezintă un proces complex. Atunci când energia este absorbită, se declanșează procese de ionizare și excitație a atomilor în organele și țesuturile obiectelor biologice, precum și în orice mediu. Aceste procese stau la baza consecințelor biologice ale radiațiilor. Severitatea acestor consecințe depinde de cantitatea de energie absorbită în organism. Efectele radiației sunt influențate de nivelul de energie absorbită, tipul de radiație, volumul țesutului expus, caracteristicile individuale ale organismului uman, tipul de țesut și organele expuse. Pentru a evalua impactul radiațiilor, se folosește conceptul de doză, care este exprimat prin intermediul unor valori dozimetrice specifice.

Concluzii

În final, pot fi trase mai multe concluzii despre importanța studierii radioactivității:

- Radioactivitatea arată că materia poate suferi transformări fundamentale la nivel atomic și subatomic, evidențiind natura complexă a materiei și a interacțiunilor sale.
- Cunoașterea radioactivității este esențială pentru a evalua și gestiona impactul radiațiilor asupra sănătății umane și a mediului înconjurător, precum și pentru utilizarea lor în diverse domenii, cum ar fi medicina și energia.
- Cercetările în domeniul radioactivității au condus la dezvoltarea unor teorii și tehnologii fundamentale, cum ar fi datarea radioactivă, imagistica medicală cu radiații, și energia nucleară.

- Radioactivitatea este utilizată în medicină pentru diagnosticare și tratament, în producția de energie, în datarea obiectelor arheologice și într-o varietate de alte aplicații industriale și științifice.
- Studiul radioactivității subliniază importanța reglementării adecvate și a protecției împotriva expunerii la radiații pentru a minimiza riscurile asupra sănătății umane și a mediului.

Astfel, studiul radioactivității oferă o înțelegere mai profundă a naturii materiei și a interacțiunilor sale, precum și implicații semnificative în domeniile științei, tehnologiei și sănătății umane. Un rol important în acest context îl are procesul de rezolvare a problemelor.

Bibliografie:

1. DETLAF, A.A., IAVORSKI, V.M. *Curs de fizică*. Chișinău, 1991. 608 p.
2. СИВУХИН, Д.В. *Общий курс физики. Т. 5. Атомная и ядерная физика*. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 784 с.
3. САВЕЛЬЕВ, И.В. *Курс общей физики. Т. 5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц*. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 384 с.
4. КОНДРАТЬЕВ, А.С. и др. *Методы решения задач по физике*. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 312 с.
5. ЦЕДРИК, М.С. *Сборник задач по курсу общей физики*. Москва: Просвещение, 1989. 271 с.