

**RADIOCHEMIA
ŚRODOWISKA**

Bogdan Skwarzec

**RADIOCHEMIA
ŚRODOWISKA**

Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego
Gdańsk 2021

Recenzent
prof. dr hab. Jerzy W. Mietelski

Redaktor Wydawnictwa
Justyna Widzicka

Projekt okładki i stron tytułowych
Maksymilian Biniakiewicz

Skład i łamanie
Maksymilian Biniakiewicz

Publikacja dofinansowana ze środków
Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego

© Copyright by Uniwersytet Gdański
Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego

ISBN 978-83-8206-111-6

Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego
ul. Armii Krajowej 119/121, 81-824 Sopot
tel.: 58 523 11 37; 725 991 206
e-mail: wydawnictwo@ug.edu.pl
www.wyd.ug.edu.pl

Księgarnia internetowa: www.kiw.ug.edu.pl

Druk i oprawa
Zakład Poligrafii Uniwersytetu Gdańskiego
ul. Armii Krajowej 119/121, 81-824 Sopot
tel. 58 523 14 49

Spis treści

| | |
|---|-----------|
| Podziękowania | 11 |
| Przedmowa | 13 |
| 1. Zagadnienia wstępne | 15 |
| 1.1. Budowa materii | 15 |
| 1.2. Liczba atomowa i masowa | 17 |
| 1.3. Izotopy i izobary | 18 |
| 1.4. Masa i energia | 19 |
| 2. Promieniotwórczość | 21 |
| 2.1. Rozpad promieniotwórczy i zjawiska towarzyszące | 21 |
| 2.1.1. Samorzutne przemiany jądrowe | 21 |
| 2.1.2. Promieniotwórczość naturalna i sztuczna | 22 |
| 2.1.3. Prawo przesunięć promieniotwórczych – prawo Soddy’ego i Fajansa | 24 |
| 2.1.4. Prawo rozpadu promieniotwórczego | 24 |
| 2.1.5. Aktywność i jej jednostki, aktywność właściwa, równowaga promieniotwórcza | 26 |
| 2.1.6. Reakcje jądrowe | 28 |
| 3. Oddziaływanie promieniowania jonizującego z materią | 31 |
| 3.1. Przenikliwość promieniowania jonizującego | 31 |
| 3.2. Radioliza | 32 |
| 3.3. Dawki promieniowania jonizującego – dozymetria | 35 |
| 3.3.1. Wpływ promieniowania jonizującego na materię żywą | 37 |
| 3.3.2. Wpływ małych dawek promieniowania jonizującego na życie organizmów | 44 |
| 4. Normy ochrony radiologicznej | 47 |
| 5. Naturalne tło promieniowania | 55 |

| | |
|---|------------|
| 6. Radionuklidy naturalne i sztuczne | 58 |
| 6.1. Naturalne pierwiastki promieniotwórcze | 59 |
| 6.1.1. Długożyjące nuklidy promieniotwórcze powstałe w procesie tworzenia materii pierwotnej. | 59 |
| 6.1.2. Nuklidy promieniotwórcze kosmogeniczne | 59 |
| 6.1.3. Szeregi promieniotwórcze | 61 |
| 6.1.4. Ciepło radiogeniczne Ziemi | 63 |
| 6.2. Pochodzenie sztucznych pierwiastków promieniotwórczych w środowisku przyrodniczym. | 65 |
| 6.2.1. Próbne wybuchy jądrowe | 65 |
| 6.2.2. Fabryki przerobu wypalonego paliwa jądrowego. | 67 |
| 6.2.3. Materiały promieniotwórcze stosowane w przemyśle jądrowym | 68 |
| 6.2.4. Katastrofy satelitów oraz samolotów wojskowych | 68 |
| 6.2.5. Energetyka jądrowa. | 69 |
| 6.2.6. Katastrofa jądrowa w Czarnobylu i Fukushima | 71 |
| 7. Analiza nuklidów promieniotwórczych | 89 |
| 7.1. Metody radiometryczne | 89 |
| 7.1.1. Spektrometria promieniowania gamma | 91 |
| 7.1.2. Spektrometria promieniowania beta | 93 |
| 7.1.3. Spektrometria promieniowania alfa | 95 |
| 7.1.4. Neutronowa analiza aktywacyjna | 96 |
| 7.2. Zastosowanie metod radiochemicznych w badaniach środowiska – aspekty analityczne. | 97 |
| 7.2.1. Pomiar aktywności naturalnych i sztucznych emiterów promieniowania gamma i beta ^{40}K , ^{90}Sr i ^{137}Cs | 97 |
| 7.2.2. Pomiar produktów aktywacji neutronowej ^{55}Fe , ^{60}Co i ^{63}Ni | 103 |
| 7.2.3. Pomiar aktywności naturalnych i sztucznych emiterów promieniowania alfa ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu i ^{241}Pu | 105 |
| 7.3. Ocena błędów stosowanych metod radioanalitycznych | 117 |
| 8. Radionuklidy w organizmie człowieka. | 119 |
| 8.1. Występowanie. | 119 |
| 8.2. Pobieranie z wodą pitną | 122 |
| 8.3. Pobieranie z żywnością | 124 |
| 8.4. Pobieranie z powietrza | 128 |
| 8.4.1. Radon ^{222}Rn | 128 |
| 8.4.2. Pobieranie z dymem papierosowym | 130 |
| 9. Radionuklidy w ekosystemach lądowych, wodnych i morskich. | 135 |
| 9.1. Radionuklidy w środowisku lądowym | 135 |
| 9.2. Skażenie radiochemiczne środowiska przyrodniczego wokół hałdy fosfogipsów w Wiślinie w pobliżu Gdańska | 143 |

| | |
|---|------------|
| 9.3. Radionuklidy w środowisku wodnym, morskim i ekosystemie Morza Bałtyckiego. | 156 |
| 9.3.1. Radionuklidy w wodach i organizmach południowego Bałtyku. | 161 |
| 9.3.2. Polon, uran i pluton w ptakach morskich | 175 |
| 9.4. Radionuklidy w osadach dennych Morza Bałtyckiego | 177 |
| 9.4.1. Radionuklidy w osadach dennych południowego Bałtyku. | 180 |
| 9.5. Oddziaływanie i migracja polonu, uranu i plutonu w ekosystemie południowego Bałtyku | 193 |
| 9.6. Spływ radionuklidów z dorzecza Wisły, Odry i rzek Przymorza | 196 |
| 10. Zastosowanie radionuklidów w technice, medycynie i nauce. | 210 |
| 10.1. Energetyka jądrowa | 210 |
| 10.2. Broń jądrowa, termojądrowa i neutronowa. | 215 |
| 10.3. Medycyna nuklearna. | 218 |
| 10.4. Geochronologia izotopowa | 223 |
| 10.5. Przykłady innych zastosowań radionuklidów | 235 |
| 11. Odpady promieniotwórcze | 238 |
| Bibliografia. | 243 |
| Piśmiennictwo. | 243 |
| Strony internetowe | 249 |
| Wykaz skrótów oraz słownik stosowanych terminów i pojęć. | 251 |
| Spis rysunków | 255 |
| Spis tabel | 259 |
| Dodatek | |
| Maria Skłodowska-Curie (1867–1934) – rodowód, życie i odkrycia naukowe oraz naukowa spuścizna. | 263 |