

Spis treści

Wstęp	15
I Fizyka jądra atomowego	17
1 Energia i jej przemiany	19
1.1 Energia - w jaki sposób rozumiemy to pojęcie?	20
1.2 Energia a świat i ludzie	20
1.3 Ilościowe ujęcie zasady zachowania energii	23
1.4 Energia całkowita, energia wewnętrzna, silniki cieplne i pojęcie sprawności	25
1.5 Praca, moc, uogólnienie pojęcia sprawności	28
1.6 „Odnawialne” źródła energii	33
1.7 Energia i jej przemiany, moc i sprawność - przykłady	35
1.8 Skąd możemy czerpać potrzebną energię?	41
1.9 Wartość energetyczna materiałów	42
1.10 Sprawdź się	43
1.11 Dodatek: Proponowane ćwiczenia laboratoryjne	45
2 Promieniowanie i jego rodzaje	47
2.1 Promieniowanie jako sposób przekazywania energii na odległość	48
2.2 Fale i cząstki	49
2.3 Gdy cząstka ma prędkość zbliżoną do prędkości światła	55
2.4 Sprawdź się	58
2.5 Dodatek: proponowane ćwiczenia laboratoryjne	58
3 Widmo promieniowania elektromagnetycznego	59
3.1 Widmo promieniowania	60
3.2 Podstawowe źródła i odbiorniki fal elektromagnetycznych	61
3.3 Promieniowanie ciała doskonale czarnego	64
3.4 Wykorzystanie fal elektromagnetycznych, widma źródeł światła	68
3.5 Przykładowe zadania	73
4 Budowa atomu i jego promieniowanie	77
4.1 Pierwiastki i atomy, a także trochę historii	78
4.2 Orbity elektronowe - co to jest?	86
4.3 Jak w bardziej precyzyjny sposób opisać elektrony w atomie?	91
4.4 Energia wiązania, poziomy i pasma elektronowe	94
4.5 Sprawdź się	96
5 Jądro atomowe	99
5.1 Małe, ale masywne	100

5.2 Izotopy, nuklidy i ich masy	101
5.3 Energia wiązania	106
5.4 Promieniotwórczość jąder	109
5.4.1 Promieniowanie α	110
5.4.2 Promieniowanie β	113
5.4.3 Promieniowanie γ	116
5.5 Aktywność preparatu promieniotwórczego	117
5.6 Kilka słów o historii odkrycia zjawiska promieniotwórczości	119
5.7 Czy nukleon jest niepodzielny? O skali przedmiotów i dualizmie korpuskularno-falowym	121
5.8 Sprawdź się	123
5.9 Dodatek: proponowane ćwiczenia laboratoryjne	124
6 Źródła i właściwości promieniowania jonizującego	125
6.1 Zjawisko jonizacji. Przykłady średniej energii jonizacji różnych substancji	126
6.2 Jonizacja ośrodków promieniowaniem korpuskularnym	128
6.2.1 Jonizacja ośrodka elektronami	128
6.2.2 Jonizacja protonami i jonami	129
6.2.3 Jonizacja (pośrednia) neutronami	129
6.2.4 Jonizacja fotonami	130
6.2.5 Zasięg różnych rodzajów promieniowania	131
6.2.6 Osłabianie wiązek fotonowych w materii	134
6.3 Źródła promieniowania jonizującego (jądrowego i niejądrowego)	135
6.4 Rozchodzenie się promieniowania w przestrzeni. Prędkości różnych rodzajów cząstek w próżni	137
6.5 Oznaczenia stosowane w pracy ze źródłami promieniowania jonizującego	139
6.6 Sprawdź się	140
Uzupełnienie 1. Zasięgi elektronów	141
Uzupełnienie 2. Zasięgi cząstek α	141
Uzupełnienie 3. Grubości połówkowe dla fotonów w wodzie i ołowiu	142
II Człowiek a promieniowanie jonizujące	143
7 Podstawy ochrony radiologicznej	145
7.1 Uwagi wstępne	146
7.2 Dawka	148
7.3 Dawka równoważna (równoważnik dawki)	149
7.4 Dawka skuteczna	150
7.5 Moc dawki	151
7.6 Ilość materiału promieniotwórczego, równowaga promieniotwórcza	152
7.7 Czy wiemy, w jaki sposób chronić się przed promieniowaniem jonizującym?	154
7.8 Narażenie radiacyjne ludności	155
7.9 Narażenie zawodowe: dawki graniczne	156
7.10 Przykładowe zadania	158
7.11 Sprawdź się	162

7.12 Dodatek: proponowane ćwiczenia laboratoryjne	163
8 Biologiczny wpływ promieniowania na organizmy	165
8.1 Szkodliwość substancji jako efekt dawki	166
8.2 Mechanizm działania promieniowania jonizującego na organizm	172
8.3 Efekty napromienienia organizmu promieniowaniem jonizującym	176
8.3.1 Skutki deterministyczne	177
8.3.2 Skutki stochastyczne (późne)	179
8.4 Pomyśl, podyskutuj	182
8.5 Sprawdź się	183
9 Promieniowanie środowiska	185
9.1 Wstęp	186
9.2 Naturalna promieniotwórczość skał i składników atmosfery	186
9.2.1 Radon	190
9.2.2 Inne substancje promieniotwórcze w atmosferze	191
9.3 Zagadnienia pomiarowe	193
9.4 Naturalna promieniotwórczość wewnętrzna organizmów	195
9.5 Cywilizacyjne źródła promieniowania jonizującego	195
9.6 Sprawdź się	199
Uzupełnienie 1. Dane niektórych izotopów promieniotwórczych	199
Uzupełnienie 2. Opad promieniotwórczy w Polsce	200
Uzupełnienie 3. Roczna dawka dla ludności świata w latach 1945-2000	201
III Pomiary jądrowe	203
10 Detektory promieniowania jonizującego	205
10.1 Podstawowe sposoby klasyfikacji detektorów	206
10.2 Czas martwy, czas żywy i czas rzeczywisty	206
10.3 Klisza światłoczuła	208
10.4 Elektrometr	210
10.5 Komora mgłowa i komora pęcherzykowa	211
10.6 Detektory gazowe	214
10.6.1 Komora jonizacyjna	216
10.6.2 Licznik proporcjonalny	218
10.6.3 Detektor Geigera-Müllera	220
10.7 Detektory scyntylacyjne	223
10.7.1 Scyntylatory nieorganiczne	226
10.7.2 Scyntylatory organiczne	227
10.7.3 Ciekłe scyntylatory	227
10.8 Detektory półprzewodnikowe	228
10.9 Detektory termoluminescencyjne	230
10.10 Detektory neutronów	231
10.11 Sprawdź się	233
11 Pomiar promieniowania jonizującego	235
11.1 Układ pomiarowy	236
11.2 Zasilacze niskiego i wysokiego napięcia	236

11.3 Separacja i przekazywanie impulsów	237
11.4 Wzmacniacze impulsów	241
11.5 Dyskryminatory amplitudy	242
11.6 Liczniki impulsów	242
11.7 Analizatory amplitudy	244
11.8 Układy koincydencji	246
11.9 Wpływ sprzętu na jakość pomiaru	248
11.10 Różne konfiguracje układów pomiarowych	250
11.10.1 Układ pomiarowy z komorą jonizacyjną	250
11.10.2 Układ pomiarowy z detektorem Geigera-Müllera	251
11.10.3 Układ pomiarowy z detektorem scyntylacyjnym	251
11.10.4 Układ pomiarowy z detektorem półprzewodnikowym	252
11.11 Kalibracja energetyczna	252
11.12 Kalibracja wydajnościowa	256
11.13 Kalibracja wskazań dawki i mocy dawki	257
11.14 Sprawdź się	260
12 Opracowywanie danych pomiarowych	261
12.1 Statystyczny charakter pomiaru promieniowania	262
12.2 Metoda najmniejszych kwadratów	263
12.3 Odchylenie standardowe	267
12.4 Histogram	272
12.5 Rozkład jednorodny, rozkład Gaussa, rozkład Poissona	274
12.6 Inne wielkości używane do opisu rozkładów	277
12.6.1 Mediana	277
12.6.2 Średnia ważona	277
12.7 Przedziały ufności i współczynnik poszerzenia	278
12.8 Dopasowywanie funkcji do danych eksperymentalnych	280
12.9 Niepewności pomiarowe	283
12.9.1 Pomiary bezpośrednie	283
12.9.2 Pomiary pośrednie	285
12.10 Sprawdź się	290
12.11 Uzupełnienie	291
12.11.1 Zadanie nadprogramowe: rozpad promieniotwórczy	291
12.11.2 Przykład dopasowania prostej metodą najmniejszych kwadratów	293
13 Czy naszym życiem rządzi chaos?	297
13.1 Nieprzewidywalność w świecie kwantowym	298
13.2 Nieprzewidywalność w świecie makroskopowym	301
13.2.1 Problem wielu ciał	301
13.2.2 Mała zmiana warunków początkowych	302
13.2.3 Zaokrąglanie wyników - chaos deterministyczny	302
13.2.4 Przypadek chaosu deterministycznego z życia zwierząt	306
13.2.5 Hydrozagadka	308
13.3 Procesy stochastyczne a determinizm	310
13.3.1 Błądzenie przypadkowe	310
13.3.2 Katastrofy: lawiny, pożary itp.	310

13.4 Sprawdź się	311
IV Przemiany jądrowe	313
14 Urządzenia wytwarzające promieniowanie jonizujące	315
14.1 Ruch cząstek naładowanych w polu elektrycznym i magnetycznym	316
14.2 Lampa rentgenowska; promieniowanie hamowania	321
14.3 Akceleratory cząstek naładowanych	323
14.3.1 Akceleratory liniowe	323
14.3.2 Akceleratory cykliczne	327
14.4 Źródła neutronowe	334
14.5 Sprawdź się	336
14.6 Dodatek: proponowane ćwiczenia laboratoryjne	336
15 Reakcje jądrowe i sztuczna promieniotwórczość	337
15.1 Wstęp	338
15.2 Reakcja jądrowa jako wymuszona przemiana jądrowa	338
15.3 Ogólny opis reakcji jądrowych	340
15.4 Reakcje z neutronami	344
15.5 Reakcje z protonami	346
15.6 Spalacja, czyli kruszenie jąder atomowych wysokoenergetycznymi protonami	347
15.7 Reakcje z fotonami	348
15.8 Reakcje syntezy źródłem światła gwiazd	348
15.9 Reakcje z ciężkimi jonami	350
15.10 Sprawdź się	351
15.11 Uzupełnienie	352
V Elementy energetyki jądrowej	353
16 Reakcja rozszczepienia	355
16.1 Nuklidy rozszczepialne i paliworodne	356
16.2 Prawdopodobieństwo rozszczepienia - przekroje czynne	360
16.3 Warunki zajścia reakcji rozszczepienia	361
16.4 Co po rozszczepieniu? Neutrony opóźnione	363
16.5 Kilka słów o historii korzystania z energii rozszczepienia	365
16.6 Sprawdź się	369
17 Reaktor jądrowy i jego działanie	371
17.1 Reakcja łańcuchowa	372
17.2 Naturalne reaktory	373
17.3 Elementy konstrukcyjne reaktora jądrowego	375
17.4 Paliwo	378
17.5 Moderator i reflektor	381
17.6 Współczynnik mnożenia neutronów w reaktorze	384
17.7 Rozmiary krytyczne reaktora	389
17.8 Sterowanie reaktorem	391
17.9 Reaktywność i jej wpływ na kinetykę oraz dynamikę reaktora	394

17.10 Elementy paliwowe	397
17.11 Zatrucie reaktora	398
17.12 Chłodzenie reaktora	401
17.13 Wypalanie paliwa	402
17.14 Sprawdź się	404
18 Zastosowania reaktorów jądrowych. Energetyka jądrowa	407
18.1 Podstawy klasyfikacji reaktorów jądrowych	408
18.2 Reaktor wodno-ciśnieniowy PWR	409
18.3 Reaktor z wrzącą wodą BWR	411
18.4 Reaktory kanałowe: RBMK i CANDU	413
18.5 Reaktory chłodzone gazem AGR	417
18.6 Reaktory wysokotemperaturowe	417
18.7 Reaktory powielające	420
18.8 Reaktory ciepłownicze	423
18.9 Reaktory energetyczne w skrócie	425
18.10 Reaktory badawcze	427
18.10.1 Reaktory stacjonarne	427
18.10.2 Spalacyjne źródła neutronów	429
18.10.3 Reaktor impulsowy	432
18.11 Sprawdź się	433
19 Cykl paliwowy	435
19.1 Cykl paliwowy	436
19.2 Transmutacja i spalanie	439
19.3 Układy sterowane akceleratorami (ADS)	443
19.4 Sprawdź się	449
20 Synteza jądrowa	451
20.1 Reakcja syntezy jądrowej i jej bilans energetyczny	452
20.2 Plazma - „czwarty stan materii”	454
20.2.1 Klasyfikacja plazmy	458
20.2.2 Źródła plazmy i metody jej wytwarzania	459
20.2.3 Przykłady technicznych zastosowań plazmy	461
20.3 Reakcja syntezy jądrowej w warunkach ziemskich	465
20.4 Projekt ITER	472
20.5 Energia gwiazd i pochodzenie pierwiastków we Wszechświecie	475
20.6 Sprawdź się	479
VI Wykorzystanie promieniowania jądrowego	481
21 Zastosowania medyczne	483
21.1 Promieniowanie jonizujące i izotopy promieniotwórcze we współczesnej medycynie	484
21.2 Tomografia komputerowa (TK)	488
21.3 Tomografia emisyjna pojedynczych fotonów (SPECT)	491
21.4 Pozytonowa tomografia emisyjna (PET)	493
21.5 Radioterapia nowotworów	496

21.6 Sprawdź się	502
22 Zastosowania naukowe	503
22.1 Poznanie struktury materii	504
22.1.1 Kilka uwag wstępnych	504
22.1.2 Jakie promieniowanie wybrać?	504
22.1.3 Neutrony reaktorowe i promieniowanie rentgenowskie w badaniach strukturalnych	508
22.1.4 Tomografia neutronowa i rentgenowska	515
22.2 Badania własności jąder atomowych i nukleonów	516
22.3 Techniki badań wykorzystujących próbki lokalne	517
22.3.1 Anihilacja pozytonów i efekt Comptona	517
22.3.2 Miony w materii	521
22.3.3 Efekt Mössbauera	522
22.4 Rentgenowska analiza fluorescencyjna	526
22.4.1 Uwagi na temat analizy ilościowej	527
22.4.2 Metody radioizotopowe wzbudzania fluorescencji rentgenowskiej	527
22.4.3 Wykorzystanie promieniowania korpuskularnego	529
22.5 Neutronowa analiza aktywacyjna (NAA)	532
22.6 Analiza aktywacyjna przy użyciu protonów	534
22.7 Datowanie izotopowe	535
22.8 Sprawdź się	538
22.9 Dodatek: proponowane ćwiczenia laboratoryjne	538
23 Zastosowania przemysłowe	539
23.1 Radioizotopowe metody pomiarowe	540
23.1.1 Wstęp	540
23.1.2 Radioznaczniki w akcji	540
23.1.3 Metody transmisyjne	543
23.1.4 Metody rozproszeniowe	543
23.1.5 Utrwalanie żywności promieniowaniem	544
23.1.6 Wykorzystanie elektronów i źródeł promieniowania β	546
23.1.7 Wykorzystanie promieniowania α	549
23.1.8 Napędy jądrowe	551
23.1.9 Techniki radiacyjne - kilka uwag	559
23.2 Energia jądrowa dla produkcji wodoru	560
23.3 Energia jądrowa dla odsalania wody	564
23.4 Neutronowa analiza aktywacyjna (NAA)	569
23.5 Inne przemysłowe zastosowania neutronów	569
23.6 Warto zapamiętać	572
23.7 Sprawdź się	573
24 Odpady promieniotwórcze i ich transport	575
24.1 Odpady promieniotwórcze i ich klasyfikacja	576
24.2 Zasady postępowania z nisko- i średnioaktywnymi odpadami promieniotwórczymi	577
24.3 Wybór miejsca na składowisko odpadów promieniotwórczych	583
24.4 Wypalone paliwo reaktorowe	585

24.5 Składowanie wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych	590
24.6 Transport materiałów promieniotwórczych	591
24.7 Elektrownia jądrowa po okresie eksploatacji	597
24.8 Sprawdź się	598
25 Porównanie różnych źródeł energii elektrycznej	599
25.1 Wprowadzenie	600
25.2 Różne typy elektrowni	600
25.2.1 Elektrownie węglowe i elektrociepłownie	600
25.2.2 Elektrownie gazowe	602
25.2.3 Spalarnie śmieci	602
25.2.4 Elektrownie na biomasę	603
25.2.5 Elektrownie wodne	603
25.2.6 Elektrownie wiatrowe	604
25.2.7 Elektrownie słoneczne	605
25.3 Sytuacja energetyczna Polski	606
25.4 Ekonomiczne aspekty energetyki	608
25.5 Perspektywy rozwoju	609
25.6 Sprawdź się	610
26 Dodatki	611
A Odpowiedzi i podpowiedzi do zadań „Sprawdź się”	613
B Słowniczek najważniejszych pojęć	621
C Literatura	631
D Spis rysunków	635
E Spis tabel	653