

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 ćwiczenie 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	Pomysł, 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 scyntylicyjne	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