

Obsah

Úvod | 17

1 Fyzikální základy dnešního světa | 21

1.1	Počátky vesmíru	22
1.2	Elementární částice	25
1.3	Měřítko času	30
1.4	Vznik hmoty	33
1.5	Vznik a vývoj Země	38
1.6	Období v dějinách lidstva	42

2 Objev RTG záření a radioaktivity na začátku 20. století | 47

2.1	Stav vědy na konci 19. století a začátku 20. století	48
2.2	Objev RTG záření	50
2.2.1	Konstrukce prvních rentgenek a RTG přístrojů	57
2.2.2	Počátky využití RTG záření	65
2.3	Objev radioaktivity	69
2.4	Památník obětem z řad rentgenologů a radiologů	79

3 Stavba atomů | 83

3.1	Modely atomů	84
3.1.1	Thomsonův model atomu	84
3.1.2	Rutherfordův model atomu	85
3.1.3	Bohrův model atomu	87
3.1.4	Sommerfeldův model atomu	90
3.1.5	Heisenbergův–Ivaněnkův model atomu	91
3.1.6	Kvantově mechanický model atomu	92
3.1.7	Standardní částicový model	93
3.2	Vlastnosti jader	102
3.2.1	Velikost jádra	104
3.2.2	Modely atomových jader	106
3.2.3	Hmotnost jádra	107
3.2.4	Stabilita atomových jader	110
3.2.5	Elektron a elektronový obal	114
3.3	Hmotnost a počet atomů	120

4 Radioaktivní přeměna | 123

4.1	Typy radioaktivní přeměny	127
4.1.1	Přeměna alfa	130
4.1.2	Přeměna β^-	133
4.1.3	Přeměna β^+	135
4.1.4	Elektronový záchyt	138
4.1.5	Emise protonů	139
4.1.6	Emise neutronů	141
4.1.7	Samovolné štěpení	142
4.1.8	Emise těžkých jader	144
4.1.9	Emise záření gama	145
4.1.10	Vnitřní konverze	146
4.1.11	Procesy probíhající v elektronovém obalu	148
4.2	Jaderné reakce	149
4.3	Zákon radioaktivní přeměny	152
4.4	Radioaktivní rovnováha	156
4.5	Alternativní jaderné přeměny	160

5 Vlastnosti ionizujícího záření | 163

5.1	Rozdělení ionizujícího záření	164
5.2	Přímo ionizující záření	168
5.2.1	Těžké nabitě částice	168
5.2.2	Lehké nabitě částice	170
5.3	Nepřímo ionizující záření	172
5.3.1	Záření elektromagnetické	172
5.3.2	Neutronové záření	179

6 Fyzikální veličiny v radiační fyzice | 183

6.1	Veličiny charakterizující zdroje ionizujícího záření	184
6.2	Veličiny popisující pole ionizujícího záření v prostoru	186
6.3	Veličiny popisující interakce ionizujícího záření s látkou	188
6.4	Veličiny popisující interakce nepřímo ionizujícího záření s látkou	188
6.5	Veličiny popisující interakce přímo ionizujícího záření s látkou	192
6.6	Veličiny dozimetrie ionizujícího záření	194

7 Fyzikální účinky ionizujícího záření | 199

7.1	Interakce přímo ionizujícího záření	200
7.1.1	Těžké nabitě částice	201
7.1.2	Lehké nabitě částice	202
7.2	Interakce nepřímo ionizujícího záření	203
7.2.1	Elektromagnetické záření	203
7.2.2	Neutronové záření	215

7.3	Ionizační účinky ionizujícího záření	218
7.4	Tepelné, luminiscenční a kolorizační účinky ionizujícího záření	219
8	Chemické účinky ionizujícího záření 221	
8.1	Radiačně-chemické reakce	222
8.2	Ozařování vodných roztoků	223
8.3	Vliv záření na polymery	224
8.4	Účinky ionizujícího záření na pevné látky, kovy a slitiny	225
8.5	Účinky na fotografický materiál	227
9	Biologické účinky ionizujícího záření 231	
9.1	Základní mechanismus biologického účinku ionizujícího záření	232
9.1.1	Účinky ionizujícího záření na molekulární úrovni	233
9.1.2	Účinky ionizujícího záření na úrovni buněk	234
9.1.3	Účinky ionizujícího záření na úrovni tkání	235
9.1.4	Účinky ionizujícího záření na úrovni organismu	236
9.2	Účinky ionizujícího záření na člověka	238
9.2.1	Akutní nemoc z ozáření	239
9.2.2	Akutní lokální změny	240
9.2.3	Nenádorová pozdní poškození	241
9.2.4	Účinky na vývoj plodu a zárodku	241
9.2.5	Nádorová pozdní poškození	242
9.2.6	Genetické změny	243
9.3	Účinky ionizujícího záření na vybrané živé organismy	244
9.3.1	Účinky ionizujícího záření na mikroorganismy	244
9.3.2	Účinky ionizujícího záření na hmyz	245
9.3.3	Účinky ionizujícího záření na rostliny	245
10	Veličiny v radiační ochraně 247	
10.1	Veličiny pro hodnocení vnějšího ozáření	248
10.1.1	Veličiny určené pro měření a výpočty	248
10.1.2	Veličiny určené k limitování dávek	250
10.2	Veličiny pro hodnocení vnitřního ozáření osob	254
10.3	Veličiny pro hodnocení vnějšího ozáření populace	256
10.4	Operační veličiny	256
10.5	Rozdělení veličin radiační fyziky a radiační ochrany	257
11	Principy detekce ionizujícího záření 261	
11.1	Detekce založená na primárních účincích	263
11.1.1	Detekce založená na ionizaci v plynné fázi	263
11.1.2	Detekce založená na ionizaci v pevné fázi	269
11.1.3	Detekce založená na excitaci v pevné a kapalně fázi	270

11.1.4	Detekce založená na jaderných reakcích	272
11.2	Detekce založená na sekundárních účincích	272
11.2.1	Fotografické metody detekce	272
11.2.2	Chemické metody detekce	273
11.2.3	Dozimetrie pevnou fází	273
11.2.4	Bublínkové a mlžné komory	274

12 Přírodní zdroje ionizujícího záření a radionuklidů | 277

12.1	Přírodní zdroje ionizujícího záření	278
12.1.1	Kosmické záření	279
12.1.2	Přírodní radionuklidy	284
12.2	Antropogenní radionuklidy	290
12.3	Přirozeně se vyskytující radioaktivní materiál – NORM	292
12.3.1	Uran v životním prostředí	296
12.3.2	Radon v životním prostředí	302
12.3.3	Radonový program České republiky	316
12.4	Ionizující záření z přírodních zdrojů včetně NORM a legislativa	320
12.5	Evropský atlas přírodního pozadí	324

13 Umělé zdroje ionizujícího záření | 327

13.1	Umělé radionuklidy	328
13.2	Generátory radionuklidů	329
13.3	Generátory ionizujícího záření	331
13.4	Zdroje neutronů	342
13.5	Jaderný reaktor	346

14 Využití ionizujícího záření ve zdravotnictví | 353

14.1	Radiografie	358
14.1.1	Generátor RTG záření	362
14.1.2	Katoda	366
14.1.3	Anoda	367
14.1.4	Řídicí jednotka se zdrojem elektrické energie	372
14.1.5	Konstrukční řešení RTG přístrojů	374
14.1.6	Primární a sekundární clony	377
14.1.7	Kolimační, filtrační a lokalizační systém	379
14.2	Analogové zobrazovací systémy	382
14.2.1	Fotografické zobrazovací systémy	382
14.3	Digitální zobrazovací systémy	389
14.3.1	Nepřímá digitální radiografie	390
14.3.2	Přímá digitální radiografie	392
14.4	Radiodiagnostika	396
14.4.1	Skioskopie a skiografie	398
14.4.2	Radiografie měkkých tkání	399

14.4.3	Dentální radiografie	405
14.4.4	Konvenční tomografie	408
14.4.5	Výpočetní tomografie	410
14.4.6	Základy radiační ochrany v radiodiagnostice	430
14.5	Radioterapie	432
14.5.1	Zdroje ionizujícího záření používané v radioterapii	433
14.5.2	Brachyterapie	442
14.5.3	Teleterapie	444
14.5.4	Stereotaktická radiochirurgie a radioterapie	448
14.5.5	Tomoterapie	455
14.5.6	Neutronová záchyťová terapie	458
14.5.7	Radiační ochrana v radioterapii	459
14.6	Nukleární medicína	464
14.6.1	Radiofarmaka	466
14.6.2	Zobrazovací metody nukleární medicíny	472
14.6.3	Cílená terapie otevřenými radionuklidovými zářiči	484
14.6.4	Radiační ochrana v nukleární medicíně	487

15 Využití ionizujícího záření v průmyslu | 493

15.1	Průmyslová radiografie	494
15.2	RTG defektoskopie	495
15.3	Bezpečnostní rentgeny	497
15.4	Využití radionuklidů v průmyslu	502
15.5	Radiační technologie	506
15.6	Radiační sterilizace	507
15.7	Přehled průmyslově využívaných radionuklidů	509
15.8	Radiouhlíková metoda určování stáří	510

16 Využití ionizujícího záření v potravinářském průmyslu a zemědělství | 513

16.1	Ozařování potravin	514
16.2	Ozařování hmyzu	519
16.3	Šlechtění rostlinných mutací	520

17 Radioaktivní odpad | 521

17.1	Vznik radioaktivního odpadu	522
17.2	Klasifikace radioaktivního odpadu	529
17.3	Nakládání s radioaktivním odpadem	531
17.3.1	Shromažďování a třídění radioaktivního odpadu	536
17.3.2	Zpracování a úprava radioaktivního odpadu	537
17.3.3	Přeprava radioaktivních odpadů a obalové soubory	540
17.4	Skladování a ukládání radioaktivního odpadu	546
17.5	Nakládání s vyhořelým jaderným palivem	553

18 Radiační a jaderné mimořádné události | 557

18.1	Klasifikace radiačních mimořádných událostí	559
18.2	Stupnice INES	562
18.3	Nehody a havárie v jaderných elektrárnách.	570
18.3.1	Havárie v Jaslovských Bohunicích (1976, 1977)	576
18.3.2	Havárie v Černobylu (1986)	578
18.3.3	Havárie ve Fukušimě (2011)	588
18.4	Radiobiologické události	595
18.5	Radiační nehody a havárie v průmyslových provozech	598
18.6	Radioaktivní materiál mimo regulační kontrolu	599
18.7	Havarijní plánování	603
18.8	Zvládání radiačních mimořádných událostí	609
18.8.1	Zavádění neodkladných ochranných opatření	611
18.8.2	Zavádění následných ochranných opatření	613

19 Zneužití radiačních a jaderných technologií | 615

19.1	Základní kameny historie objevu uvolnění jaderné energie	616
19.2	Jaderné zbraně	623
19.2.1	Počátky vývoje jaderných zbraní	623
19.2.2	První použití jaderných zbraní	632
19.2.3	Závody v jaderném zbrojení	642
19.2.4	Testy jaderných zbraní	655
19.2.5	Ničivé faktory jaderných výbuchů	661
19.3	Radioaktivní spad	667
19.4	Zákazy jaderných zbraní	671
19.5	Ztráta kontroly nad jadernými hlavicemi	673
19.6	Radiologické zbraně a radiobiologický terorismus	676

20 Radiační ochrana | 681

20.1	Historie radiační ochrany	682
20.2	Vývoj veličin dávky a jejich jednotek	683
20.3	Základní principy ochrany před ionizujícím zářením	684
20.3.1	Cíle a principy radiační ochrany	684
20.3.2	Ochrana před vnějším ionizujícím zářením	693
20.3.3	Ochrana před vnitřní kontaminací	695
20.4.	Kategorizace v oblasti zajišťování radiační ochrany	696
20.4.1	Kategorizace zdrojů ionizujícího záření	697
20.4.2	Kategorizace ZIZ pro účely přeshraničního pohybu a zabezpečení	698
20.4.3	Kategorizace pracovišť se zdroji ionizujícího záření	700
20.4.4	Kategorizace radiačních pracovníků	702
20.4.5	Kategorizace v oblasti zvládání radiační mimořádné události	703
20.4.6	Vymezení sledovaného a kontrolovaného pásma	704

21 Monitorování radiační situace | 709

21.1	Osobní monitorování	711
21.2	Monitorování pracoviště	723
21.3	Monitorování výpustí a okolí pracoviště	726
21.4	Havarijní monitorování	728
21.5	Národní program monitorování	728
21.6	Radiační monitorovací síť – MonRaS	739
21.7	Monitorování umělých radionuklidů na území ČR	741
21.8	Monitorování radiační situace v Evropské unii	743

22 Radiační zátěž obyvatelstva | 749

22.1	Radiační zátěž z přírodních zdrojů	754
22.1.1	Radiační zátěž z kosmického záření a kosmogenních radionuklidů	755
22.1.2	Radiační zátěž z přírodních radionuklidů (terestriální radionuklidy)	761
22.2	Radiační zátěž z umělých zdrojů	769
22.2.1	Radiační zátěž z antropogenních radionuklidů	769
22.2.2	Radiační zátěž z lékařských aplikací	771
22.2.3	Radiační zátěž z průmyslových aplikací	788
22.3	Celková radiační zátěž	791

23 Mezinárodní a národní instituce zabývající se problematikou ionizujícího záření | 795

23.1	Mezinárodní agentura pro atomovou energii – IAEA	796
23.2	Vědecký výbor OSN pro účinky atomového záření – UNSCEAR	796
23.3	Mezinárodní komise pro radiační jednotky a měření – ICRU	797
23.4	Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu – ICRP	798
23.5	Evropské společenství pro atomovou energii – Euratom	799
23.6	Národní dozorové úřady a národní legislativa	805
23.6.1	Státní úřad pro jadernou bezpečnost – SÚJB	805
23.6.2	Státní ústav radiační ochrany – SÚRO	808
23.6.3	Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany – SÚJCHBO	808
23.6.4	Správa úložišť radioaktivních odpadů – SÚRAO	809
23.6.5	Zákon č. 263/2016 Sb. – tzv. atomový zákon	810

Literatura | 813

Summary | 823