

# Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
<b>1. ΚΛΑΣΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ, ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΣ, ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ</b>	<b>19</b>
1.1. Ιοντίζουσες ακτινοβολίες	21
1.2. Στοιχεία Μηχανικής – Μονάδες	21
1.3. Θεωρία σχετικότητας	22
1.4. Σωματιδιακή φύση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	23
1.5. Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	24
1.6. Αρχή της αβεβαιότητας	24
<b>2. ΔΟΜΗ ΑΤΟΜΟΥ</b>	<b>25</b>
2.1. Ατομικό πρότυπο Rutherford	27
2.2. Φάσματα ατόμων	27
2.3. Ατομικό πρότυπο Bohr	28
2.4. Διέγερση και ιονισμός	29
2.5. Παράμετροι του προτύπου Bohr	29
2.6. Επέκταση – συμπλήρωση του ατομικού προτύπου Bohr	30
2.7. Άτομα με πολλά ηλεκτρόνια	31
2.8. Κβαντομηχανική θεώρηση του ατόμου	31
2.9. Parity	32
<b>3. ΔΟΜΗ ΠΥΡΗΝΟΣ ΑΤΟΜΟΥ</b>	<b>33</b>
3.1. Γενικά	35
3.2. Έλλειμμα μάζας και ενέργεια συνδέσεως	35
3.3. Πυρηνικές δυνάμεις	36
3.4. Κβαντικοί αριθμοί των νουκλεονίων	36
3.5. Spin πυρήνα	37
3.6. Μαγνητική ροπή πυρήνα	37
3.7. Υπόδειγμα πυρήνα	37
3.7.1. Υπόδειγμα υγρής σταγόνας	37
3.7.1. Υπόδειγμα πυρηνικών φλοιών	38
3.7.3. Σύνθετο ή ενοποιημένο υπόδειγμα	38
3.8. Στοιχειώδη σωματίδια και δυνάμεις	38
<b>4. ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ</b>	<b>41</b>
4.1. Γενικά	43
4.2. Μηχανισμοί ραδιενεργών διασπάσεων	43
4.2.1. Νόμοι των ραδιενεργών διασπάσεων και πυρηνικών αντιδράσεων	43
4.2.2. α-διάσπαση	43
4.2.3. β-διάσπαση	44
4.2.4. Εσωτερική μετάπτωση	45

4.2.5. Εσωτερική μετατροπή	45
4.3. Ποσοτική σχέση ραδιενέργειας	45
4.4. Σειρές φυσικών ραδιενεργών νουκλιδίων	46
4.4.1. Μετασηματισμός ραδιενεργών πυρήνων σε σειρά	46
4.4.1.1. Πατρικός πυρήνας με μικρό χρόνο υποδιπλασιασμού ( $T_1 < T_2$ ή $\lambda_1 > \lambda_2$ )	46
4.4.1.2. Πατρικός πυρήνας με εξαιρετικά μεγάλο χρόνο υποδιπλασιασμού ( $T_1 \gg T_2$ ή $\lambda_1 \ll \lambda_2$ )	47
4.4.1.3. Πατρικός πυρήνας με απλώς μεγάλο χρόνο υποδιπλασιασμού ( $T_1 > T_2$ ή $\lambda_1 < \lambda_2$ )	47
<b>5. ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ</b>	49
5.1. Γενικά	51
5.2. Κατηγορίες πυρηνικών αντιδράσεων	51
5.3. Φράγμα δυναμικού πυρήνων	51
5.4. Σύνθετος πυρήνας	52
5.5. Ενεργός διατομή πυρηνικής αντιδράσεως	52
5.6. Γενικά στοιχεία για τα νετρόνια	53
5.6.1. Πηγές νετρονίων ( $\alpha, n$ )	53
5.6.2 Πηγές νετρονίων ( $\gamma, n$ )	53
5.7. Παραδείγματα πυρηνικών αντιδράσεων	54
5.7.1. Βομβαρδισμός με φορτισμένα σωματίδια	54
5.7.2. Βομβαρδισμός με νετρόνια	54
5.7.3. Σχάση πυρήνων	54
5.7.4. Σύντηξη πυρήνων	54
5.8. Πυρηνικός αντιδραστήρας	54
<b>6. ΑΚΤΙΝΕΣ X</b>	57
6.1. Γενικά	59
6.2. Λυχνία Coolidge παραγωγής ακτίνων X	59
6.3. Φυσικοί μηχανισμοί παραγωγής ακτίνων X	59
6.3.1. Συνεχές φάσμα	60
6.3.2. Φάσμα χαρακτηριστικής ακτινοβολίας X	60
6.4. Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την εκπομπή της ακτινοβολίας X	60
6.4.1. Υψηλή τάση	60
6.4.2. Υλικό ανόδου	61
6.4.3. Κυματομορφή υψηλής τάσεως	61
6.4.4. Ρεύμα λυχνίας	61
6.4.5. Ηθμός ή φίλτρο	61
<b>7. ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ</b>	63
7.1. Επιταχυντής Cockcroft – Walton και Van De Graaff	65
7.2. Ευθύγραμμος επιταχυντής ηλεκτρονίων	65
7.3. Βητατρόνιο ή Βήτατρο	67
7.4. Κύκλοτρο ή κυκλοτρόνιο	67
Βιβλιογραφία Κεφ. 1-7	68
<b>8. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ <math>\gamma</math>, X ΦΩΤΟΝΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ</b>	71
8.1. Εισαγωγή	73
8.2. Εξασθένηση δέσμης φωτονίων $\gamma$ ή X	73
8.3. Ενεργός διατομή συγκρούσεως	75

8.4. Μηχανισμοί απορροφήσεως	76
8.4.1. Φωτοηλεκτρική απορρόφηση	76
8.4.2. Δίδυμος γένεση	77
8.4.3. Πυρηνική φωτοδιάσπαση	78
8.5. Μηχανισμοί σκεδάσεως	78
8.5.1. Σκέδαση Rayleigh (σύμφωνος σκέδαση)	78
8.5.2. Σκέδαση Compton (ασύμφωνος σκέδαση)	79
8.6. Ολική απορρόφηση – Συντελεστές μεταφοράς ενέργειας – Ανακεφαλαίωση	81
8.6.1. Ολική απορρόφηση	81
8.6.2. Συντελεστές μεταφοράς ενέργεια	82
8.6.3. Ανακεφαλαίωση	82
<b>9. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΥΛΗΣ</b>	<b>85</b>
9.1. Εισαγωγή – Βασικές έννοιες	87
9.1.1. Ισχύς ανασχέσεως	87
9.2. Απώλεια ενέργειας λόγω συγκρούσεως	88
9.2.1. Ακτίνες δ	89
9.3. Απώλεια ενέργειας λόγω ακτινοβολίας	89
9.4. Σκέδαση Rutherford	89
9.5. Αλληλεπιδράσεις με τον πυρήνα	90
9.6. Εμβέλεια και ενέργεια σωματιδίων εντός της ύλης	90
9.6.1. Ορισμοί	90
9.6.2. Εμβέλεια βαρέων φορτισμένων σωματιδίων	90
9.6.3. Εμβέλεια ηλεκτρονίων	91
9.6.4. Καμπύλη Bragg	91
<b>10. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ ΥΛΗΣ</b>	<b>93</b>
10.1. Εισαγωγή	95
10.2. Εξασθένηση νετρονίων	95
10.2.1. Μικροσκοπική και μακροσκοπική ενεργός διατομή συγκρούσεως	95
10.2.2. Συντονισμός	96
10.2.3. Εξασθένηση μονοενεργειακής δέσμης νετρονίων	96
10.3. Μηχανισμοί αλληλεπιδράσεων νετρονίων ύλης	97
10.3.1. Δυναμική σκέδαση	97
10.3.1.1. Θερμικά νετρόνια	98
10.3.2. Αλληλεπιδράσεις συλλήψεως	98
10.3.2.1 Σκέδαση εκ συλλήψεως	98
10.3.2.2 Ραδιενεργός ενσωμάτωση	99
10.3.2.3. Μη ελαστικές συλλήψεις	99
10.4. Αλληλεπιδράσεις νετρονίων – ιστών	100
10.4.1. Κατανομή της απορροφούμενης ενέργειας εντός του σώματος	100
10.5. Σημασία των νετρονίων στην Ιατρική	101
10.5.1. Ανάλυση με ενεργοποίηση με νετρόνια	101
Βιβλιογραφία Κεφ. 8-10	102
<b>11. ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ</b>	<b>103</b>
11.1. Εισαγωγή	105
11.2. Πηγές και πεδία ακτινοβολιών	105
11.3. Μεταφορά ενέργειας	106
11.3.1 Ενεργός διατομή	106
11.3.2 Συντελεστές εξασθενήσεως	106

11.3.3. Γραμμικώς μεταφερομένη ενέργεια (LET, linear energy transfer)	106
11.4. Μετατροπή ενέργειας	107
11.4.1 Kerma	107
11.4.2. Σχέση μεταξύ ροής σωματιδίων και Kerma	108
11.4.3. Έκθεση	108
11.4.4. Σχέση μεταξύ εκθέσεως και kerma	108
11.4.5. Cema	109
11.5. Εναπόθεση και απορρόφηση της ενέργειας	109
11.5.1. Εναπόθεση και μεταφορά της ενέργειας	109
11.5.2. Απορρόφηση ενέργειας	109
11.5.2.1 Στοχαστική φύση της εναποτιθέμενης ενέργειας	109
11.5.2.2 Ορισμός απορροφουμένης δόσεως	110
11.6. Ηλεκτρονική ισορροπία – Σχέση μεταξύ Kerma και απορροφουμένης δόσεως	111
11.7. Θεωρίες κοιλότητας	112
11.8. Ανιχνευτής ακτινοβολίας – Γενική θεώρηση	112
<b>12. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ</b>	<b>115</b>
12.1. Ανιχνευτές ιοντιζουσών ακτινοβολιών με αέριο	117
12.1.1. Αρχή λειτουργίας	117
12.1.2. Ένταση ηλεκτρικού πεδίου ανιχνευτή με αέριο	117
12.1.3. Μεταβολή του παράγοντα ενισχύσεως με την τάση	118
12.1.4. Θάλαμοι ιονισμού	119
12.1.5. Σύστημα μετρήσεως θαλάμου ιονισμού	119
12.1.6. Μετρητής Geiger-Muller	120
12.1.7. Αναλογικός απαριθμητής	120
12.2. Θερμιδόμετρα	120
12.3. Χημική Δοσιμετρία	121
12.4. Δοσιμετρία φωταύγειας	121
12.5. Δοσιμετρία με ανιχνευτές σπινθηρισμών	123
12.5.1. Υγροί σπινθηριστές	123
12.5.2. Ανόργανοι κρυσταλλικοί σπινθηριστές	123
12.5.3. Πλαστικοί σπινθηριστές	124
12.5.4. Οργανικοί κρύσταλλοι	124
12.5.5. Σύστημα ανιχνεύσεως με ανιχνευτή σπινθηρισμών	124
12.5.6. Φωτοπολλαπλασιαστής	124
12.6. Φασματοσκοπία $\gamma$ , X με ανιχνευτές σπινθηρισμών	125
12.7. Δοσιμετρία θερμοφωταύγειας (TLD)	127
12.7.1. Υλικά TLD	128
12.7.2. Εφαρμογές της TL Δοσιμετρίας στην Ιατρική	128
12.8. Δοσιμετρία με ημιαγωγούς	129
12.9. Δοσιμετρία με φιλμ	130
12.10. Δοσιμετρία με πηκτές (gel dosimetry)	132
12.11. Ανιχνευτές νετρονίων	132
12.12. Δοσιόμετρα προσωπικού	133
Βιβλιογραφία Κεφ. 11-12	133
<b>13. ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ</b>	<b>135</b>
13.1. Εισαγωγή	137
13.2. Ακτινογραφία	137
13.2.1. Ακτινογραφικό μηχάνημα	138
13.2.2. Ακτινογραφικό φιλμ	139

13.3. Ψηφιακή ακτινολογία	140
13.4. Ακτινοσκόπηση	142
13.5. Υπολογιστική Αξονική Τομογραφία	143
13.5.1. Αρχή λειτουργίας του αξονικού τομογράφου	144
13.5.2. Ανακατασκευή και παρουσίαση της εικόνας	145
13.5.3. Ελικοειδής αξονική τομογραφία	145
Βιβλιογραφία	146
<b>14. ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ</b>	<b>149</b>
15.1. Γενικά	151
14.2. Ραδιονουκλίδια – Ραδιοφάρμακα	151
14.3. Διαγνωστική Πυρηνική Ιατρική	153
14.3.1. Κατάταξη των διαγνωστικών εξετάσεων	153
14.3.2. Η βιολογική βάση των in vivo εξετάσεων	153
14.4. Επίπεδη γ-Camera	154
14.5. Τομογραφική γ-Camera	155
14.6. Ποζιτρονική Τομογραφία Εκπομπής (Positron Emission Tomography, PET)	157
14.7. Μη απεικονιστικά όργανα της Πυρηνικής Ιατρικής	158
14.7.1. Εξωτερικοί ανιχνευτές για θυρεοειδή και αιματολογικές μετρήσεις	158
14.7.2. Ανιχνευτής τύπου φρέατος	158
14.7.3. Δοσίμετρα και ανιχνευτές περιοχών (area monitors)	159
14.7.4. Ανιχνευτές για διεγχειρητική πυρηνική ιατρική	159
14.8. In vitro διαγνωστικές εξετάσεις	160
14.9. Θεραπευτική Πυρηνική Ιατρική	160
14.10. Εσωτερική Δοσιμετρία	161
Βιβλιογραφία	162
<b>15. ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ</b>	<b>163</b>
15.1. Εισαγωγή	165
15.2. Σκοπός της Ακτινοθεραπείας	165
15.3. Μέθοδοι Ακτινοθεραπείας	166
15.4. Πηγές Ακτινοθεραπείας με εξωτερικές δέσμες	166
15.4.1. Γραμμικοί επιταχυντές	166
15.4.2. Μονάδες Co-60	167
15.4.3. Μηχανήματα παραγωγής ακτινοβολίας X χαμηλής ενέργειας	168
15.5. Ακτινοβολήση με εξωτερικές δέσμες φωτονίων	168
15.6. Βασικές παράμετροι ακτινοβολήσεως με δέσμες φωτονίων	169
15.6.1. Γενικά	169
15.6.2. Παράγων Εξόδου (FOF)	169
15.6.3. Επί τοις εκατό δόση βάθους (PDD)	169
15.6.4. Λόγος Ιστών Αέρος (TAR)	170
15.6.5. Νόμος των αντιστρόφων τετραγώνων των αποστάσεων	171
15.6.6. Άλλες παράμετροι ακτινοβολήσεως	171
15.6.7. Γωνιακά φίλτρα	171
15.6.8. Τοξοειδής και περιστροφική θεραπεία	171
15.7. Παραδείγματα Ακτινοθεραπείας	171
15.8. Σύμμορφη Ακτινοθεραπεία	172
15.9. Ακτινοθεραπεία διαμορφωμένης έντασης (IMRT)	173
15.10. Ραδιοχειρουργική	174
15.11. Ακτινοθεραπεία με ηλεκτρόνια	174

15.12.	Θεραπεία με νετρόνια	175
15.12.1	Θεραπεία με ταχεία νετρόνια	175
15.12.2.	Θεραπεία με θερμικά ή επιθερμικά νετρόνια	175
15.13	Ακτινοθεραπεία με πρωτόνια και βαρέα ιόντα	176
	Βιβλιογραφία	177
<b>16.</b>	<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ</b>	<b>179</b>
16.1.	Εισαγωγή	181
16.2.	Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας – βιολογικής ύλης	181
16.2.1.	Φυσικό στάδιο	181
16.2.2.	Χημικό στάδιο	182
16.2.3.	Βιολογικό στάδιο	182
16.3.	Ακτινική βλάβη στο DNA	183
16.4.	Ακτινοπροκλητές μεταλλάξεις	183
16.5.	Ακτινοπροκλητές χρωματοσωμιακές αλλοιώσεις	184
16.6.	Καμπύλες επιβίωσης κυττάρων μετά από ακτινοβολήση	184
16.7.	Πρότυπα καμπύλων επιβίωσης	185
16.7.1.	Αρχικά βασικά πρότυπα	185
16.7.2.	Γραμμικό-Τετραγωνικό (LQ) πρότυπο	187
16.8.	Παράγοντες που επιδρούν στο αποτέλεσμα της ακτινοβολήσεως	188
16.8.1	Φυσικοί τροποποιητικοί μηχανισμοί	188
16.8.2.	Χημικοί τροποποιητικοί μηχανισμοί	189
16.8.3.	Βιολογικοί τροποποιητικοί μηχανισμοί	190
16.8.4.	Τελικό αποτέλεσμα της ακτινοβολίας στα κύτταρα	191
16.8.5.	Βιολογικοί τροποποιητικοί μηχανισμοί στον άνθρωπο	192
16.9.	Ακτινοβολήση ανθρώπου	192
16.9.1.	Δεδομένα απο ακτινοβολήση ανθρώπων	192
16.9.2	Κατάταξη ιστών	193
16.9.3.	Κατάαξη βιολογικών αποτελεσμάτων στον άνθρωπο	193
16.9.4.	Αντίδραση ιστών (καθορισμένα αποτελέσματα)	194
16.9.5.	Άμεσα καθορισμένα αποτελέσματα από υψηλές δόσεις	195
16.9.6.	Στοχαστικά αποτελέσματα, μηχανισμός ακτινικής καρκινογένεσης	196
16.9.7.	Στοχαστικά κληρονομικά αποτελέσματα	197
16.10.	Εφαρμογή της Ακτινοβιολογίας στην Ακτινοθεραπεία	198
16.10.1.	Γενικά	198
16.10.2.	Τοπικός έλεγχος καρκίνου	198
16.10.3.	Ακτινοευαισθησία ανθρώπινων καρκινικών κυττάρων	198
16.10.4.	Θεραπευτικός δείκτης	199
16.10.5.	Το πρότυπο LQ στην Ακτινοθεραπεία	199
16.10.6.	Ιστόγραμμα δόσης-όγκου	200
16.10.7.	Υπολογισμός της ισοδυνάμου ομοιογενούς δόσης	201
16.10.8.	Πρότυπα πρόβλεψης τοπικού ελέγχου καρκίνου και επιπλοκών υγιών ιστών	201
	Βιβλιογραφία	202
<b>17.</b>	<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ</b>	<b>203</b>
17.1.	Γενικά	205
17.2.	Ποσότητες, μονάδες δοσιμετρίας στην Ακτινοπροστασία	205
17.2.1.	Απορροφούμενη δόση, D	205
17.2.2.	Γραμμικώς μεταφερομένη ενέργεια, LET	205
17.2.3.	Σχετική βιολογική δραστικότητα, RBE	205

17.2.4. Παράγων βαρύτητας ακτινοβολίας $w_R$ .....	205
17.2.5. Ισοδύναμη δόση, $H_{T,R}$ .....	206
17.2.6. Παράγων βαρύτητας ιστού $w_T$ .....	206
17.2.7. Ενεργός Δόση, $E$ .....	206
17.2.8. Δεσμευμένη ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας .....	207
17.2.9. Συλλογικό ισοδύναμο δόσεως ακτινοβολίας, $S_T$ .....	207
17.3. Ακτινοβολήση από φυσικές πηγές .....	207
17.3.1. Κοσμική ακτινοβολία .....	207
17.3.2. Ακτινοβολία Γής .....	208
17.3.3. Εσωτερική ακτινοβολήση (ραδόνιο) .....	208
17.3.4. Μεταβολή της ακτινοβολήσεως από φυσικές πηγές ακτινοβολίας λόγω επιδράσεως της Τεχνολογίας .....	209
17.4. Ακτινοβολήση από τεχνητές πηγές .....	210
17.4.1. Διαγνωστικές ιατρικές εξετάσεις με ακτίνες X .....	211
17.4.2. Διαγνωστικές εξετάσεις με ραδιοφάρμακα .....	211
17.4.3. Οδοντιατρικές διαγνωστικές εξετάσεις με ακτίνες X .....	212
17.4.4. Ακτινοθεραπεία .....	212
17.4.5. Ανακεφαλαίωση των ενεργών δόσεων λόγω διαγνωστικής χρήσεως των ακτινοβολιών στην Ιατρική .....	212
17.4.6. Δόσεις οφειλόμενες στις δοκιμές πυρηνικών όπλων στην ατμόσφαιρα .....	212
17.4.7. Δόσεις οφειλόμενες στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικούς σταθμούς ..	213
14.4.7. Πυρηνικό ατύχημα Chernobyl .....	213
17.5. Ακτινοπροστασία .....	214
17.5.1. Έννοιες Ακτινοπροστασίας .....	215
17.5.2. Βιολογικές παραδοχές της Ακτινοπροστασίας .....	215
17.5.3. Καθορισμένα αποτελέσματα ή αντιδράσεις ιστών .....	215
17.5.4. Στοχαστικά αποτελέσματα (Κίνδυνος καρκινογένεσης, Κίνδυνος κληρονομικών αποτελεσμάτων, Ολικές τιμές συντελεστών εισαγωγής στοχαστικών αποτελεσμάτων, Ακτινοβολήση εμβρύων) .....	215
17.6. Βασικό σύστημα Ακτινοπροστασίας .....	218
17.6.1. Περιορισμός δόσης .....	218
17.6.2. Όρια δόσεων στοχαστικών αποτελεσμάτων .....	219
17.6.3. Έλεγχος καθορισμένων αποτελεσμάτων ή αντίδρασης ιστών .....	220
17.7. Ιατρική Έκθεση .....	220
17.8. Η πρακτική εφαρμογή της Ακτινοπροστασίας .....	220
Βιβλιογραφία .....	221
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ .....	223