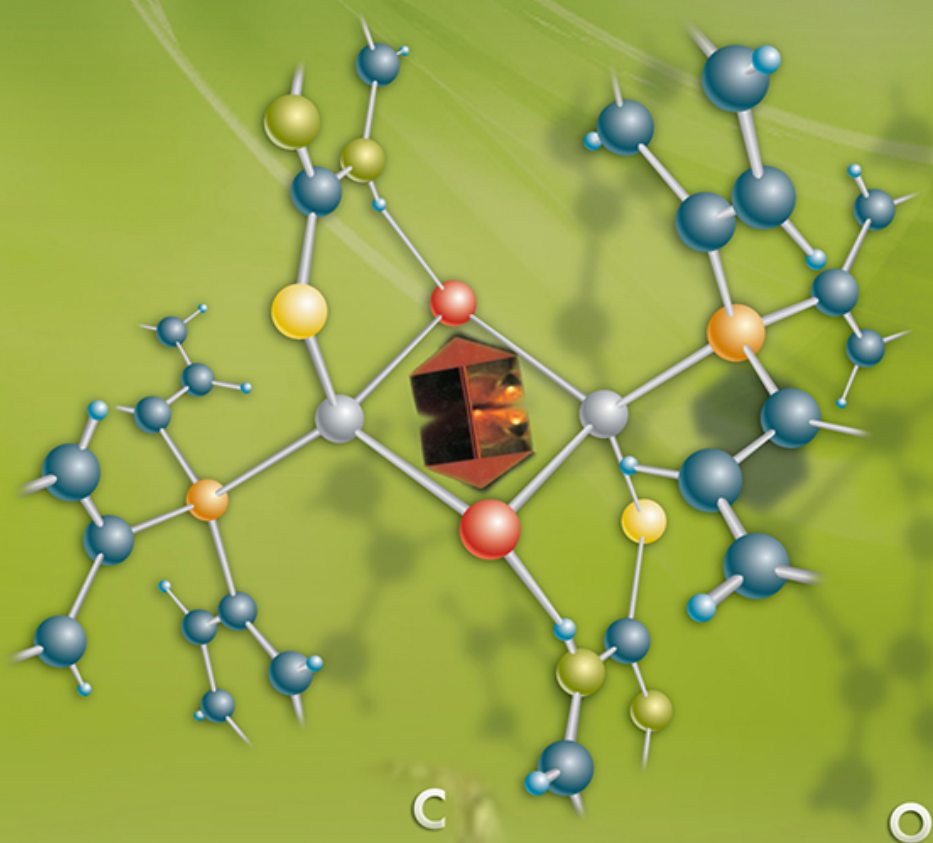


ΠΕΤΡΟΣ Π. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΙΔΗΣ

ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΧΗΜΕΙΑ



Στο εξώφυλλο: *Η μεγάλη έκρηξη.
Σχηματισμός πυρήνων H, CN και O.*

ISBN 978-960-456-469-9

© Copyright: Π. Καραγιαννίδης, Εκδόσεις Ζήτη,
Δ' έκδοση: Σεπτέμβριος 2016

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Φωτοστοιχειοθεσία

Εκτύπωση

Βιβλιοδεσία

Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ

18° χλμ Θεσσαλονίκης - Περαιάς

Τ.Θ. 4171 • Περαιά Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19

Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



www.ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:

Αρμενοπούλου 27 - 546 35 Θεσσαλονίκη • Τηλ.: 2310-203.720 • Fax 2310-211.305

e-mail: sales@ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ:

Χαριλάου Τρικούπη 22 - Τ.Κ. 106 79, Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210-3816.650

e-mail: athina@ziti.gr

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ: www.ziti.gr

Πρόλογος

Ο σκοπός και η οργάνωση της ύλης παραμένουν ίδια όπως με την προηγούμενη έκδοση.

Όλα τα κεφάλαια έχουν ξαναγραφεί και έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις και βελτιώσεις με την προσθήκη με νεότερα δεδομένα που αφορούν τον εκσυγχρονισμό του περιεχομένου της ύλης.

Θέλω να ευχαριστήσω για ακόμη μια φορά τον εκδοτικό οίκο Ζήτη για το μεγάλο ενδιαφέρον που έδειξε για την αρτιότερη παρουσίαση της νέας έκδοσης.

Υποδείξεις σχετικά με παραλείψεις ή αβλεψίες και προτάσεις για βελτίωση της ύλης και του κειμένου είναι ευπρόσδεκτες.

Σεπτέμβριος, 2016

Π. Καραγιαννίδης

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	15
Διεθνές μετρικό σύστημα.....	16

Κεφάλαιο 1. Δομή του Ατόμου

1.1	Φάσματα και Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία.....	19
1.2	Μήκος κύματος και συχνότητα ακτινοβολίας.....	20
1.3	Ατομικό φάσμα του υδρογόνου.....	23
1.4	Φωτόνιο και ενέργεια των κβάντα.....	25
1.5	Θεμελιώδη συστατικά του ατόμου.....	26
1.6	Θεωρία του Rutherford. Ατομικό πρότυπο του Rutherford.....	28
1.7	Δυναμική φύση του φωτός.....	29
1.8	Πρότυπο του Bohr. Πρώτος κβαντικός αριθμός.....	30
1.9	Τα μαθηματικά για το άτομο του Bohr.....	33
1.10	Επέκταση της θεωρίας του Bohr. Δευτερεύων κβαντικός αριθμός.....	35
1.11	Τρίτος κβαντικός αριθμός.....	37
1.12	Τέταρτος κβαντικός αριθμός.....	38
1.13	Κυματική φύση του ηλεκτρονίου. Αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.....	39
1.14	Εξίσωση Schrödinger.....	40
1.15	Εξαγωγή της εξίσωσης Schrödinger.....	41
1.16	Σημασία και ιδιότητες του Ψ	43
1.17	Λύση της κυματικής εξίσωσης του Schrödinger.....	45
1.18	Δομή του ατομικού πυρήνα.....	48
1.19	Ενεργειακές στάθμες και σπιν των πυρήνων.....	49
1.20	Νεώτερες απόψεις για τη δομή του πυρήνα.....	49
	Προβλήματα.....	52

Κεφάλαιο 2. Ατομικά τροχιακά.

Ηλεκτρονιακή διαμόρφωση των ατόμων

2.1	Ατομικά τροχιακά	59
2.2	Ατομικό τροχιακό 1s.....	61
2.3	Ατομικό τροχιακό 2s.....	64
2.4	Ατομικά τροχιακά 2p.....	65
2.5	Ατομικά τροχιακά 3s, 3p και 3d	68
2.6	Διείσδυση ηλεκτρονιακών νεφών.....	71
2.7	Βασικές έννοιες ηλεκτρονιακής διαμόρφωσης των ατόμων	76
2.8	Κανόνες Pauli και Hund	78
2.9	Αρχή δόμησης των ηλεκτρονίων των ατόμων.....	79
2.10	Κανόνες Slater	85
2.11	Ευσταθείς ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις.....	88
	<i>Προβλήματα</i>	90

Κεφάλαιο 3. Περιοδικό Σύστημα

3.1	Περιοδικός Πίνακας του Mendeleev	93
3.2	Σύγχρονος Περιοδικός Πίνακας	97
3.3	Περιοδικές ιδιότητες των στοιχείων	98
3.4	Ενέργεια ιονισμού.....	99
3.5	Ηλεκτρονιοσυγγένεια	106
3.6	Ηλεκτραρνητικότητα	110
3.7	Ατομικές και ιοντικές ακτίνες των στοιχείων.....	114
3.8	Αριθμοί Οξείδωσης και Περιοδικός Πίνακας.....	117
3.9	Ανωμαλίες στον Περιοδικό Πίνακα	118
3.10	Διαγωνιακή συσχέτιση.....	119
	<i>Προβλήματα</i>	120

Κεφάλαιο 4. Χημικός Δεσμός

4.1	Το μόριο.....	127
4.2	Τα ηλεκτρόνια στα μόρια	128
4.3	Θεωρία Lewis. Κανόνας των οκτάδων	128
4.4	Πολυατομικά ιόντα	132
4.5	Αποκλίσεις από τον κανόνα των οκτάδων.....	133

4.6	Τυπικό φορτίο	135
4.7	Σύγχρονες απόψεις για το χημικό δεσμό	136
4.8	Θεωρία των Μοριακών Τροχιακών	137
4.9	σ-μοριακά τροχιακά. Ομοιοπολικός δεσμός.....	140
4.10	Απεικόνιση των μοριακών τροχιακών	142
4.11	Άλλα είδη σ-μοριακών τροχιακών. Ομοπυρηνικά διατομικά μόρια	144
4.12	π-μοριακά τροχιακά	147
4.13	Ενεργειακές στάθμες μοριακών τροχιακών.....	151
4.14	Παραδείγματα απεικόνισης των μοριακών τροχιακών.....	153
4.15	Ετεροπυρηνικά διατομικά μόρια	158
4.16	Πολυατομικά μόρια	160
4.17	Θεωρία του δεσμού σθένους. Διατομικά μόρια.....	161
4.18	Ενέργεια δεσμού	164
4.19	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ομοιοπολικού δεσμού. Μήκη δεσμών.....	168
4.20	Τάξη δεσμού	170
4.21	Σύγκριση των δύο θεωριών.....	171
	<i>Προβλήματα</i>	173

Κεφάλαιο 5. Ιοντικές Ενώσεις

5.1	Δεσμός ιοντικών ενώσεων	181
5.2	Ενέργεια κρυσταλλικού πλέγματος	183
5.3	Ιοντικές ακτίνες.....	187
5.4	Γεωμετρία κρυσταλλικών πλεγμάτων	189
5.5	Εφαρμογές των ενεργειών πλέγματος.....	192
5.6	Υπολογισμός του λόγου των ακτίνων των ιόντων.....	194
5.7	Πολωσιμότητα του δεσμού	196
5.8	Πολωσιμότητα του δεσμού και Ηλεκτραρνητικότητα.....	197
	<i>Προβλήματα</i>	199

Κεφάλαιο 6. Άλλα είδη Δεσμών

6.1	Δεσμός ή γέφυρα υδρογόνου	205
6.2	Δεσμοί ελλειπείς ηλεκτρονίων	210
6.3	Ασθενείς δεσμοί μεταξύ ομοιοπολικών μορίων.	211

Διαμοριακές δυνάμεις ή δυνάμεις van der Waals.....	211
6.4 Γενικά χαρακτηριστικά των μετάλλων. Μεταλλικός δεσμός.....	216
6.5 Φύση του δεσμού στα μέταλλα	217
6.6 Αγωγιμότητα των μετάλλων	219
6.7 Ενέργεια ατομικοποίησης των μετάλλων	221
<i>Προβλήματα.....</i>	<i>223</i>

Κεφάλαιο 7. Υβριδισμένα τροχιακά – Συντονισμός

7.1 Γενικά για τον υβριδισμό.....	231
7.2 Κανόνες υβριδισμού	233
7.3 Είδη υβριδισμένων τροχιακών.....	235
7.4 Συμμετοχή των d τροχιακών στον υβριδισμό.....	238
7.5 Υβριδισμός με πολλαπλό δεσμό	241
7.6 Συντονισμός (Μεσομέρεια)	244
7.7 Φύση του πολλαπλού δεσμού στο συντονισμό	248
<i>Προβλήματα.....</i>	<i>250</i>

Κεφάλαιο 8. Στερεοχημεία

8.1 Γενικά για τη δομή των μορίων	259
8.2 Θεωρία της ηλεκτρονιακής άπωσης (VSEPR).....	260
8.3 Στερεοχημεία των ενώσεων με πολλαπλούς δεσμούς	264
8.4 Αποκλίσεις από τις ιδανικές γωνίες.....	265
8.5 Πολικότητα των μορίων και Διπολική Ροπή	269
8.6 Ισοηλεκτρονιακά μόρια	272
8.7 Μαγνητισμός των απλών ενώσεων.....	273
<i>Προβλήματα.....</i>	<i>277</i>

Κεφάλαιο 9. Σύμπλοκες ενώσεις

9.1 Γενικές έννοιες και ορισμοί.....	287
9.2 Ταξινόμηση των συναρμοτών	288
9.3 Χημική ισορροπία στα σύμπλοκα	290
9.4 Σταθερότητα Συμπλόκων Ενώσεων	292
9.5 Αριθμός συναρμογής και στερεοχημεία	298
9.6 Πολυπυρηνικά σύμπλοκα	303

9.7	Ισομέρεια ενώσεων συναρμογής	303
9.8	Στερεοϊσομέρεια	304
9.9	Ισομέρεια δομής.....	308
9.10	Παρασκευή συμπλόκων ενώσεων	309
9.11	Ευκίνητα και αδρανή σύμπλοκα	313
9.12	Θεωρίες δεσμού στα σύμπλοκα	314
9.13	Θεωρία του δεσμού σθένους (VBT) στα σύμπλοκα.....	316
9.14	Θεωρία του κρυσταλλικού πεδίου (Crystal Field Theory)	320
9.15	Θεωρία των μοριακών τροχιακών	321
9.16	Θεωρία του πεδίου των συναρμοστών (Ligand Field Theory).....	325
9.17	Ενέργεια σταθεροποίησης. Ενέργεια σύζευξης	327
9.18	Χρώμα των συμπλόκων	332
9.19	Το μέγεθος Δ_o . Φασματοχημική σειρά.....	334
9.20	Σύμπλοκα εσωτερικών και εξωτερικών τροχιακών.....	337
9.21	Μαγνητικές ιδιότητες συμπλόκων	338
	<i>Προβλήματα</i>	346

Κεφάλαιο 10. Οξέα - Βάσεις - Άλατα

10.1	Γενικά.....	353
10.2	Θεωρία της ηλεκτρολυτικής διάστασης.....	353
10.3	Θεωρία των Brønsted - Lowry	354
10.4	Ορισμός οξέων και βάσεων κατά Lewis.....	355
10.5	Ορισμός κατά Lux - Flood.....	355
10.6	Μέτρηση της ισχύος οξέων και βάσεων	356
10.7	Ασθενείς ηλεκτρολύτες. Βαθμός διάστασης.....	357
10.8	“Σκληρά” και “μαλακά” οξέα και βάσεις	358
10.9	Σύγχρονες απόψεις οξέων - βάσεων	360
10.10	Παράγοντες που επηρεάζουν την ισχύ των οξέων και των βάσεων	360
10.11	Πρωτονιοσυγγένεια.....	366
10.12	Διάσταση του νερού. pH.....	367
10.13	Δείκτες	369
10.14	Ισοδύναμο σημείο. Εξουδετέρωση	371
10.15	Υδρόλυση των αλάτων.....	373
10.16	Ρυθμιστικά διαλύματα	376
10.17	Γινόμενο διαλυτότητας	379
	<i>Προβλήματα</i>	382

Κεφάλαιο 11. Ονοματολογία ανοργάνων ενώσεων

11.1	Γενικά για την Ονοματολογία.....	387
11.2	Ονόματα και σύμβολα των στοιχείων	391
11.3	Αριθμοί και πολλαπλασιαστικά προθέματα	391
11.4	Χημικοί τύποι.....	393
11.5	Ονομασία συστατικών	393
11.6	Ονομασία ιόντων και ριζών	395
11.7	Ονομασία οξέων	399
11.8	Άλατα και αλατοειδείς ενώσεις	402
11.9	Ονομασία ενώσεων συναρμογής	404
11.10	Ονομασία συναρμοτών	406
11.11	Σύντμηση ονομάτων συναρμοτών	410
11.12	Στερεοχημική περιγραφή	411
11.13	Ονομασία πολυπυρηνικών συμπλόκων	413

Κεφάλαιο 12. Χημική θερμοδυναμική

12.1	Γενικά.....	415
12.2	Πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής.....	416
12.3	Ενθαλπία	419
12.4	Μεταβολές της ενθαλπίας κατά τις χημικές αντιδράσεις	421
12.5	Θερμοχημεία	424
12.6	Πρότυπες ή κανονικές θερμοδυναμικές καταστάσεις	425
12.7	Δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής. Εντροπία	425
12.8	Τρίτος νόμος της θερμοδυναμικής.....	429
12.9	Ελεύθερη ενέργεια	429
12.10	Χημική ισορροπία.....	432
12.11	Αμφίδρομες αντιδράσεις.....	434
12.12	Ελεύθερη Ενέργεια και σταθερά ισορροπίας	436
	Προβλήματα.....	437

Κεφάλαιο 13. Χημική κινητική

13.1	Γενικά.....	447
13.2	Ταχύτητα αντίδρασης	448
13.3	Ταχύτητα στην αρχή της αντίδρασης.....	450
13.4	Νόμος ταχύτητας των αντιδράσεων.....	452

13.5	Εξάρτηση της ταχύτητας από τη συγκέντρωση των αντιδραστηρίων	453
13.6	Αντιδράσεις πρώτης τάξης.....	455
13.7	Χρόνος υποδιπλασιασμού μιας αντίδρασης	457
13.8	Αντιδράσεις δεύτερης τάξης	458
13.9	Αντιδράσεις μηδενικής τάξης	459
13.10	Θερμοκρασία και ταχύτητα αντίδρασης	460
13.11	Θεωρία των συγκρούσεων	460
13.12	Προσανατολισμός των μορίων	461
13.13	Ενέργεια ενεργοποίησης	462
13.14	Εξίσωση Arrhenius	463
13.15	Κατάλυση.....	465
13.16	Ένζυμα	468
<i>Προβλήματα.....</i>		<i>470</i>

Κεφάλαιο 14. Οξείδωση – Αναγωγή – Ηλεκτροχημεία

14.1	Γενικά.....	477
14.2	Αριθμός οξείδωσης	478
14.3	Ισοστάθμιση οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων	479
14.4	Ηλεκτροχημικά στοιχεία.....	481
14.5	Γαλβανικά στοιχεία.....	482
14.6	Θεωρία της ηλεκτροδιαλυτικής τάσης. Εξίσωση του Nernst	484
14.7	Ημιστοιχείο υδρογόνου.....	486
14.8	Κανονικά δυναμικά ημιστοιχείων και ηλεκτροχημική σειρά.....	487
14.9	Δυναμικά οξειδοαναγωγής.....	489
14.10	Διαγράμματα προτύπων δυναμικών αναγωγής.....	491
14.11	Ελεύθερη ενέργεια και δυναμικό στοιχείου.....	493
14.12	Ηλεκτρόδιο καλομέλα.....	493
14.13	Ηλεκτρόδια με επιλεγμένα ιόντα. Ηλεκτρόδιο υάλου	494
14.14	Ηλεκτρόδια οξειδοαναγωγής	495
14.15	Ηλεκτρολυτικά στοιχεία	496
14.16	Ηλεκτροχημικές εφαρμογές.....	498
14.17	Μπαταρίες επαναφορτιζόμενες.....	500
14.18	Στοιχεία καύσης (Fuel cells).....	502
14.19	Διάβρωση	503
14.20	Μέθοδοι προστασίας από τη διάβρωση	505
<i>Προβλήματα.....</i>		<i>507</i>

Κεφάλαιο 15. Φασματοσκοπία

15.1	Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και φασματοσκοπικές μέθοδοι	515
15.2	Νόμοι της φωτοχημείας	517
15.3	Φασματοσκοπία ορατού - υπεριώδους	518
15.4	Φασματοσκοπία υπερύθρου.....	524
15.5	Φασματοσκοπία Raman.....	530
15.6	Φάσματα περιστροφής.....	532
15.7	Φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού.....	534
	<i>Προβλήματα.....</i>	<i>542</i>

Κεφάλαιο 16. Στερεή κατάσταση

16.1	Γενικά.....	549
16.2	Ιδιότητες των στερεών	549
16.3	Ταξινόμηση των κρυστάλλων.....	551
16.4	Υγροί κρύσταλλοι.....	554
16.5	Κρυσταλλικά συστήματα.....	555
16.6	Συμπαγής συσσώρευση.....	558
16.7	Ατέλειες Κρυστάλλων	560
16.8	Μέθοδοι περίθλασης.....	561
16.9	Περίθλαση ακτίνων Χ.....	561
16.10	Μοριακή συμμετρία.....	563
16.11	Θεωρία ομάδας	564
16.12	Στοιχεία συμμετρίας	565
16.13	Πίνακες πολλαπλότητας	568
	<i>Προβλήματα.....</i>	<i>570</i>

<i>Παράρτημα Α: Παράσταση f τροχιακών</i>	<i>575</i>
--	------------

<i>Παράρτημα Β: Διαγράμματα δυναμικών αναγωγής ορισμένων στοιχείων.....</i>	<i>576</i>
---	------------

<i>Βιβλιογραφία</i>	<i>581</i>
---------------------------	------------

<i>Ευρετήριο όρων.....</i>	<i>585</i>
----------------------------	------------



Στο ερώτημα τι είναι χημεία, θα μπορούσε να δοθεί απλά η απάντηση ότι χημεία είναι η επιστήμη που εξετάζει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των διαφόρων ουσιών και τον τρόπο με τον οποίο επιδρά μια ουσία πάνω στην άλλη. Για την ολοκληρωμένη μελέτη των ιδιοτήτων των ουσιών και την κατανόηση των φαινομένων που τα επηρεάζουν είναι απαραίτητη η γνώση των ατόμων και των μορίων όπως επίσης και η ηλεκτρονιακή τους δομή. Με τη βοήθεια αυτής της γνώσης και κατανόησης είναι δυνατό να γίνουν σημαντικές προβλέψεις.

Η χημεία όμως δεν είναι απλά μόνο ένα σύνολο γνώσεων αλλά χρειάζεται επίσης και μια δραστηριότητα του χημικού που θα τον οδηγήσει ν' απομονώσει και να σχεδιάσει την παρασκευή των ουσιών. Οι χημικοί απομονώνουν τα υλικά από τη φύση και το ζωϊκό κόσμο με διάφορες τεχνικές καθαρισμού. Στη συνέχεια, με διάφορες τεχνικές, γίνεται η παρασκευή και κατόπιν ακολουθεί η σύνθεσή τους. Με τη σύνθεση ο χημικός παρασκευάζει μια ουσία που προηγούμενα ήταν άγνωστη ή ήταν γνωστή μόνο από κάποιο φυσικό προϊόν. Σ' αυτήν την περίπτωση δύο παράγοντες συνδυάζονται, η θεωρητική και η πειραματική κατάρτιση. Με τις φυσικές μεθόδους θα βρει τη δομή του μορίου, θα φανεί πως είναι ταξινομημένα τα άτομα και με ποιους δεσμούς ενώνονται μεταξύ τους. Έτσι ο χημικός μπορεί να σχεδιάσει ένα ανάλογο μόριο και μετά να το συνθέσει. Σ' αυτήν την κατεύθυνση μεγάλη ώθηση έδωσε η ανάπτυξη της μοριακής θεωρίας και η ανακάλυψη της φυσικής τεχνικής. Τα δύο τελευταία οδήγησαν στο νέο κλάδο της σύγχρονης φυσικής χημείας.

Η ανάπτυξη της φυσικής χημείας βοήθησε τους χημικούς να εξαλείψουν την παραδοσιακή ταξινόμηση της χωριστής μελέτης της Χημείας σε ανόργανη, σε οργανική και σε φυσικοχημεία. Σ' αυτό συνετέλεσαν η αυξανόμενη χρησιμοποίηση των φυσικών μεθόδων σ' όλους τους κλάδους της χημείας, η μεγάλη ποικιλία των οργανομεταλικών ενώσεων, η χρησιμοποίηση της δομής για την κατανόηση των ιδιοτήτων και τέλος η εφαρμογή των μηχανιστικών ιδεών στην κατανόηση των χημικών αντιδράσεων. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι προσπάθειες γίνονται για μια νέα ταξινόμηση που περιλαμβάνει "σύνθεση, δομή και δυναμικά". Αυτό έχει ως πλεονέκτημα στην προσπάθεια μιας γενικής ταξινόμησης της χημείας στα διάφορα πεδία και στροφής της προσοχής σε σύγχρονα γενικά ενδιαφέροντα.

Διεθνές Μετρικό Σύστημα

Ως μετρικό σύστημα ορίζεται ένα σύνολο μονάδων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση διαφόρων μεγεθών, όπως για παράδειγμα είναι η μάζα, το μήκος, ο χρόνος κ.ά. Παλιότερα υπήρχαν πολλά μετρικά συστήματα και γι' αυτό πολλές φορές για το ίδιο φυσικό μέγεθος είχαν χρησιμοποιηθεί διάφορες μονάδες, γεγονός που προκαλούσε σύγχυση.

Το 1960 δημιουργήθηκε το Διεθνές Σύστημα Μονάδων που συμβολίζεται με SI από τα αρχικά της γαλλικής ονομασίας Systeme Internationale d' unités. Στο σύστημα αυτό υπάρχουν επτά **βασικές μονάδες** (πίνακας I). Το μέγεθος κάθε βασικής μονάδας έχει προσδιορισθεί με μεγάλη ακρίβεια.

Πίνακας I. Βασικές μονάδες στο σύστημα SI

Μέγεθος	Μονάδα	Σύμβολο
Μήκος	μέτρο (meter)	m
Μάζα	κιλο (kilogram)	kg
Χρόνος	δευτερόλεπτο (second)	s
Ποσότητα ουσίας	γραμμομόριο (mole)	mol
Θερμοκρασία	βαθμός Κέλβιν (Kelvin)	K
Ηλεκτρικό ρεύμα	αμπέρ (Ampere)	A
Ένταση ακτινοβολίας	κερί (candela)	cd

Εκτός από τις βασικές μονάδες το σύστημα περιλαμβάνει και ένα σύνολο από παράγωγες μονάδες που δίνονται στον πίνακα II. Παράδειγμα η μονάδα της επιφά-

Πίνακας II. Παράγωγοι μονάδες διαφόρων μεγεθών.

Μέγεθος	Μονάδα	Σύμβολο
Δύναμη	Νιούτον (Newton)	$N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Ενέργεια	Τζάουλ (Joule)	$J = N \cdot \text{m}$
Ισχύς	Βατ (Watt)	$W = J \cdot \text{s}^{-1}$
Συχνότητα	Χερτζ (Hertz)	$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$
Ηλεκτρικό φορτίο	Κουλόμπ (Coulomb)	$C = A \cdot \text{s}$
Δυναμικό	Βόλτ (Volt)	$V = W \cdot A^{-1}$
Ηλεκτρική Αντίσταση	Ωμ (Ohm)	$\Omega = V \cdot A^{-1}$
Ηλεκτρική χωρητικότητα	Φάραντ (Farad)	$F = A \cdot \text{s} \cdot V^{-1}$

νειας είναι το τετραγωνικό μέτρο, m^2 , και του όγκου το κυβικό μέτρο, m^3 .

Στο βιβλίο αυτό για ορισμένα μεγέθη χρησιμοποιούνται εκτός από τις μονάδες SI και μονάδες όπως δίνονται στη χημική βιβλιογραφία. Παράδειγμα για την ενέργεια εκτός από το Joule χρησιμοποιούνται η θερμίδα (calory), το ηλεκτρονιοβόλτ (electron volt) ή ο αριθμός κυμάτων (wave numbers, cm^{-1}).

Για το μήκος χρησιμοποιείται το Άγκστρομ (angstrom, Å) 10^{-8} cm, ή το νανόμετρο (nanometer), 10^{-9} m ή το πικόμετρο (pikometer), 10^{-12} m. Στον πίνακα III δίνονται οι συντελεστές μετατροπής και σταθερές.

Πίνακας III. Συντελεστές μετατροπής και σταθερές.

Μονάδα	Συντελεστής Μετατροπής
Θερμίδα (cal)	4,184 Joules (J)
Ηλεκτρονιοβόλτ ανά γραμμομόριο ($eV \text{ mol}^{-1}$)	96,485 kJ mol^{-1} 23,06 kcal mol^{-1}
Κιλοτζάουλ ανά mol ($kJ \text{ mol}^{-1}$)	83,54 cm^{-1}
Μονάδα ατομικής μάζας (amu)	$1,66 \times 10^{-27}$ kg 931,5 MeV
Σταθερές	
Αριθμός Avogadro (N)	$6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Σταθερά αερίων (R)	$8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ $1,987 \text{ cal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ $0,082 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Ταχύτητα φωτός	$2,998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Σταθερά Planck (h)	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ $6,626 \times 10^{-27} \text{ erg s}$
Σταθερά Boltzmann (k)	$1,38 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
Σταθερά Rydberg (R)	$1,09737 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$
Μάζα ηλεκτρονίου (m_e)	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 0,511 MeV
Μάζα πρωτονίου (m_p)	$1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 1,007 amu
Φορτίο ηλεκτρονίου	$1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Διηλεκτρική σταθερά (ϵ_0)	$8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ m}^{-1} \text{ J}^{-1}$
Μαγνητόνη Bohr (μ_B)	$9,274 \times 10^{-24} \text{ J T}^{-1}$
Ντεμπάι, Debye	$3,34 \times 10^{-30} \text{ C m}$

νονται ορισμένοι χρήσιμοι συντελεστές μετατροπής και οι Αριθμητικές Σταθερές διαφόρων μεγεθών.

Στον πίνακα IV δίνονται τα πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια των μονάδων των διαφόρων μεγεθών.

Πίνακας IV. Πολλαπλάσια και Υποπολλαπλάσια μονάδων.

<i>Πρόθεμα</i>	<i>Σύμβολο</i>	<i>Υποπολλαπλάσιο</i>
φέμτο (femto)	f	10^{-15}
πίκο (pico)	p	10^{-12}
νάνο (nano)	n	10^{-9}
μίκρο (micro)	μ	10^{-6}
χιλιοστό (mili)	m	10^{-3}
εκατοστό (centi)	c	10^{-2}
δέκατο (decì)	d	10^{-1}
<i>Πρόθεμα</i>	<i>Σύμβολο</i>	<i>Πολλαπλάσιο</i>
δέκα (deka)	da	10
εκατό (hecto)	h	10^2
χίλιο (kilo)	k	10^3
μέγα (mega)	M	10^6
γίγα (giga)	G	10^9
Τέρα (tera)	T	10^{12}

1^ο

Κεφάλαιο

Δομή του Ατόμου

1.1 Φάσματα και Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Όλα τα άτομα αποτελούνται από ένα κεντρικό πυρήνα γύρω από τον οποίο περιφέρονται ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που υπάρχουν και ο τρόπος ταξινόμησής τους γύρω από τον πυρήνα προσδιορίζει τη δομή του ατόμου. Μέχρι το 1913 σημαντικό μέρος των γνώσεων στην κατανόηση της ατομικής δομής προσέφερε η **φασματοσκοπία** (spectroscopy). Ο όρος αυτός αναφέρεται στην ανάλυση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπουν ή απορροφούν οι διάφορες ουσίες και τα άτομα.

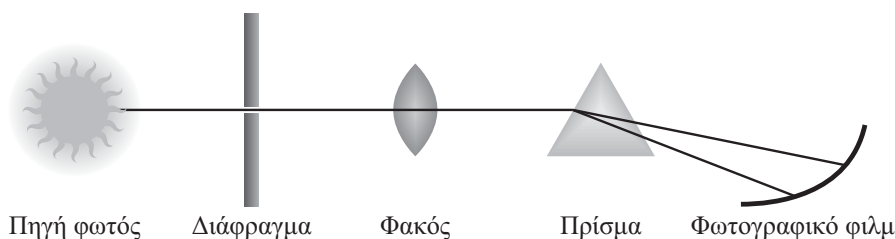
Ο Newton έδειξε ότι όταν το λευκό φως περάσει μέσα από πρίσμα διαχωρίζεται σε ορισμένες **δέσμες** ή **ζώνες** (bands) με διαφορετικό χρώμα. Αυτή η ανάλυση αποτελεί το **φάσμα της ακτινοβολίας** και μπορεί να αποτυπωθεί πάνω σε φωτογραφική πλάκα με τη μορφή έγχρωμης ταινίας. Επειδή τα όρια μεταξύ των διαφόρων χρωμάτων δεν είναι σαφή, το **φάσμα** που προκύπτει είναι μια συνεχής σειρά χρωμάτων που αρχίζει από το κυανό και καταλήγει στο κόκκινο. Το φάσμα αυτό ονομάζεται **συνεχές φάσμα**. Το κυανό έχει τα πιο μικρά μήκη κύματος (περίπου 4000 Å). Το φως ενός μόνο μήκους κύματος ονομάζεται **μονοχρωματικό**.

Η ανάλυση του φάσματος των αερίων, με πρίσμα ή διάφραγμα, δείχνει ότι δεν είναι συνεχές αλλά αποτελείται από ορισμένο αριθμό διακριτών γραμμών, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε διαφορετικό μήκος κύματος. Αυτό είναι το **γραμμικό φάσμα**. Το συνεχές και το γραμμικό φάσμα προέρχονται από την εκπομπή φωτός από τα άτομα και ονομάζονται **φάσματα εκπομπής**. Όταν το λευκό φως περάσει μέσα από ένα αέριο τότε στο φάσμα του εξερχομένου φωτός σχηματίζονται πάλι χαρακτηριστικές γραμμές στις ίδιες θέσεις αντίστοιχα με τις γραμμές του φάσματος εκπομπής. Το φάσμα αυτό ονομάζεται **φάσμα απορρόφησης**.

Προσεκτική ανάλυση με φασματογράφο δείχνει ότι το φως που εκπέμπεται από κάθε στοιχείο, έχει μήκη κύματος και ένταση (σε κάθε μήκος κύματος) που είναι

χαρακτηριστικά για κάθε στοιχείο. Δηλαδή κάθε στοιχείο έχει το δικό του χαρακτηριστικό φάσμα εκπομπής. Στην περίπτωση που ως πηγή φωτός χρησιμοποιείται λάμπα με ατμούς νατρίου στη σειρά των γραμμών του φάσματος επικρατούν οι δύο χαρακτηριστικές κίτρινες γραμμές του νατρίου, 5890 και 5895 Å.

Στο σχήμα 1.1 δίνονται τα κύρια μέρη του φασματογράφου. Τα μέρη αυτά είναι η πηγή, η σχισμή, ο φακός για τη συγκέντρωση του φωτός, το πρίσμα για την ανάλυση στα διάφορα μήκη κύματος και η διάταξη για την ανίχνευση (φωτογραφικό φιλμ).



Σχήμα 1.1. Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ενός φασματογράφου.

1.2 Μήκος κύματος και συχνότητα ακτινοβολίας

Ένα σώμα θεωρείται ότι εκτελεί περιοδική κίνηση όταν έχει διαγράψει έναν ολόκληρο κύκλο ή έχει πραγματοποιήσει μια πλήρη ταλάντωση. Ο χρόνος που χρειάζεται για να επανέλθει στην αρχική του θέση ή κατάσταση ονομάζεται **περίοδος**. Η **συχνότητα** εκφράζει τον αριθμό των κύκλων ή των ταλαντώσεων που πραγματοποιούνται στη μονάδα του χρόνου. Η συχνότητα συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα ν. Ως μονάδα συχνότητας χρησιμοποιείται το Hertz, σύμβολο Hz, που είναι ίσο με 1 κύκλο ανά δευτερόλεπτο.

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$$

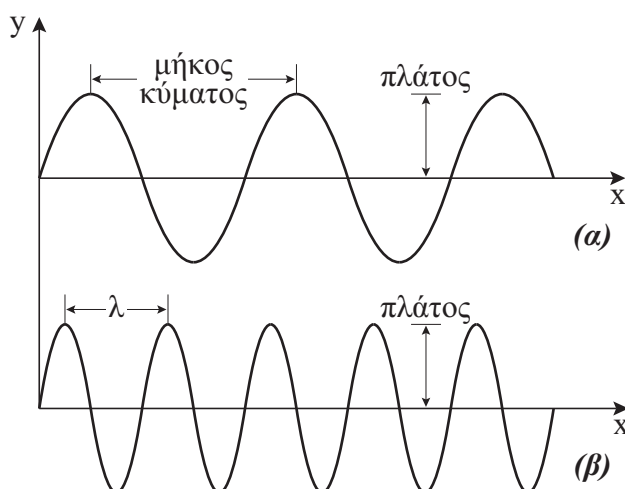
Η συχνότητα του φωτός προσδιορίζει το χρώμα του. Όταν η ταλάντωση της ακτινοβολίας βρίσκεται στα $6,4 \times 10^{14}$ Hz, το χρώμα αντιστοιχεί στο κυανό μέρος του φάσματος. Το φως ενός σηματοδότη (κυανό) αλλάζει συχνότητα από $5,7 \times 10^{14}$ σε $5,2 \times 10^{14}$ και στη συνέχεια σε $4,3 \times 10^{14}$ Hz που αντιστοιχεί στις μεταβολές από το πράσινο στο κίτρινο και τελικά στο κόκκινο χρώμα.

Η ακτινοβολία χαρακτηρίζεται επίσης από το **μήκος κύματος**, λ , που είναι η μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο σημείων που βρίσκονται στην ίδια φάση σε δύο διαδοχικούς παλμούς (ή ταλαντώσεις) μιας περιοδικής ταλάντωσης. Παράδειγμα η

απόσταση από μια κορυφή στην άλλη ή από κοιλία σε κοιλία. Το μήκος κύματος και η συχνότητα της ακτινοβολίας συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (1.1)$$

Το c παριστάνει την **ταχύτητα του φωτός** που στο κενό θεωρείται ότι είναι ίση με $2,999 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Στο κενό όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος διαδίδονται με αυτήν την ταχύτητα. Στο σχήμα 1.2 δίνεται η σχέση ανάμεσα στο μήκος κύματος και τη συχνότητα της ακτινοβολίας.



Σχήμα 1.2. Σχηματική παράσταση ενός κύματος. α) Δύο πλήρεις κύκλοι. β) Το μήκος κύματος είναι το μισό του μήκους κύματος του (α). Η συχνότητα είναι διπλάσια του (α).

Στον πίνακα 1.1 δίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά στοιχεία του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Το **πλάτος κύματος**, A , μιας ταλάντωσης εκφράζεται με τη μέγιστη απόκλιση από τη θέση ισορροπίας (σχ. 1.2). Για την περίπτωση ενός κύματος αυτό δίνεται από το μέγιστο ύψος μιας κορυφής. Η **ένταση ακτινοβολίας** ή **κύματος** είναι ανάλογη με το τετράγωνο του πλάτους.

Στη φασματοσκοπία αντί της συχνότητας χρησιμοποιείται συχνά ο **κυματαριθμός** ή **αριθμός κυμάτων** ή **αντίστροφα μήκη κύματος** (wave number, cm^{-1}) που εκφράζει τον αριθμό των μηκών κύματος που υπάρχουν στη μονάδα 1 cm και που συμβολίζεται με το $\bar{\nu}$. Η μονάδα cm^{-1} σε ορισμένες περιπτώσεις ονομάζεται kayser και συμβολίζεται με k .

Στον πίνακα 1.2 δίνονται τα φασματοσκοπικά χαρακτηριστικά, χρώμα συχνότητα και μήκος κύματος του λευκού φωτός.

Πίνακας 1.2. Χρώμα, συχνότητα και μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του ορατού φωτός.

Χρώμα	Συχνότητα 10^{14} Hz	Μήκος κύματος, nm	Ενέργεια 10^{-19} J <i>photon</i> ⁻¹
ιώδες	7,1	420	4,7
κυανό	6,4	470	4,2
πράσινο	5,7	530	3,7
κίτρινο	5,2	580	3,4
πορτοκαλί	4,8	620	3,2
κόκκινο	4,3	700	2,8

Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να ανιχνεύσει ακτινοβολίες με μήκη κύματος στην περιοχή 700 nm (κόκκινο) μέχρι 400 nm (υπεριώδες). Η ακτινοβολία σ' αυτήν την περιοχή ονομάζεται **ορατό φως** και το φάσμα της αντίστοιχα **ορατό φάσμα**. Το λευκό φως, στο οποίο συμπεριλαμβάνεται και το ηλιακό φως, είναι μίγμα όλων αυτών των μηκών κύματος του ορατού φωτός.

1.3 Ατομικό φάσμα του υδρογόνου

Η μελέτη του φάσματος του υδρογόνου αρχικά έδειξε ότι υπάρχουν τρεις ομάδες γραμμών, η μία από τις οποίες βρίσκεται στο ορατό. Πολύ πριν κατανοηθεί η σημασία των γραμμών αυτών στη δομή, βρέθηκε ότι υπάρχει μαθηματική σχέση μεταξύ του μήκους κύματος και των γραμμών του φάσματος. Η πρώτη ομάδα γραμμών αναφέρεται στην ορατή περιοχή του φάσματος. Αυτή ονομάζεται **σειρά Balmer** φέροντας το όνομα του Balmer που πρώτος πρότεινε τη σχέση το έτος 1885. Μαθηματικά αυτή η σχέση είναι πολύ απλή και δίνεται από την εξίσωση

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1.2)$$

όπου λ είναι το μήκος κύματος

n είναι ένας ακέραιος αριθμός που σ' αυτή την περίπτωση παίρνει τιμές 3, 4, 5, κ.λ.π., και

R είναι η σταθερά γνωστή ως “σταθερά Rydberg” που για την περίπτωση του υδρογόνου είναι ίση με 109678 cm^{-1} .

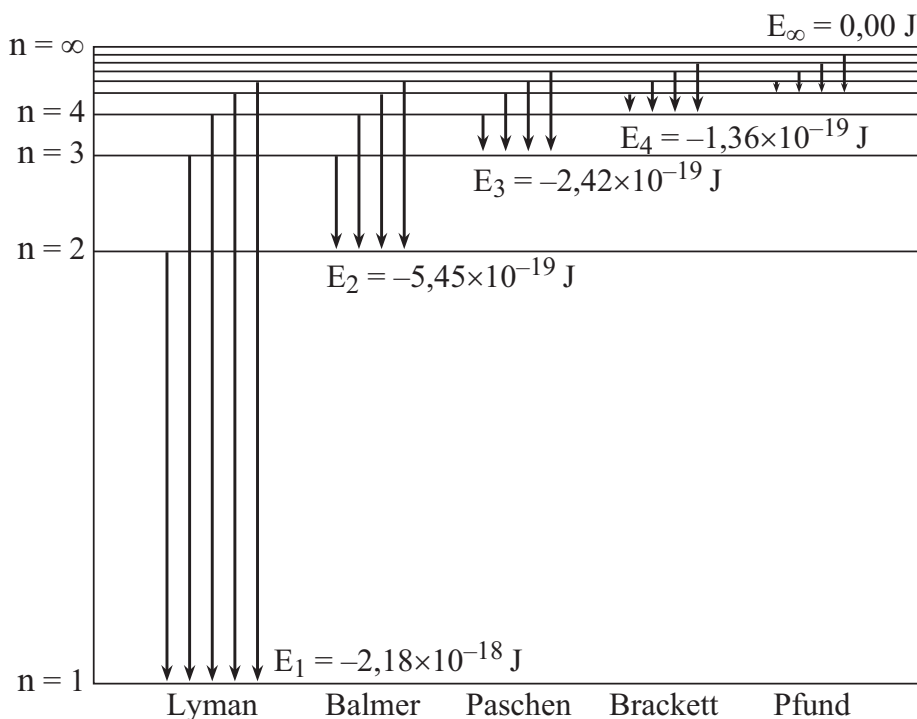
Οι δύο άλλες σειρές είναι η **σειρά Lyman** στην υπεριώδη περιοχή για την οποία η αντίστοιχη σχέση δίνεται από τον τύπο

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1.3)$$

και η **σειρά Paschen** στην υπέρυθο περιοχή που είναι

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1.4)$$

Για τη σειρά Lyman ο n έχει τιμές 2, 3, 4, 5 κ.λ.π. και για την Paschen 4, 5, 6, κ.λ.π. Στη συνέχεια βρέθηκαν παρόμοιες εξισώσεις για $n \geq 5$ (σειρά **Brackett**) και $n \geq 6$ (σειρά **Pfund**). Στο σχήμα 1.3 δίνεται το διάγραμμα των ενεργειακών μεταπτώσεων για τις σειρές Lyman, Balmer, Paschen, Brackett και Pfund.



Σχήμα 1.3. Ενεργειακές στάθμες των ηλεκτρονίων στα άτομα. Διακρίνονται οι φασματικές μεταπτώσεις για τις σειρές Lyman, Balmer, Paschen, Brackett και Pfund.

1.4 Φωτόνιο και ενέργεια των κβάντα

Ο Planck μελετώντας τη διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, διαπίστωσε ότι η ενέργεια στα άτομα ή άλλα σωματίδια δεν βρίσκεται σε οποιαδήποτε αυθαίρετη ποσότητα, αλλά μόνο σε συγκεκριμένα ποσά τα οποία ονόμασε **κβάντα**. Σύμφωνα με τις απόψεις του το σωματίδιο δεν μεταβάλλει την ενέργειά του συνεχώς αλλά μόνο σε ακέραια πολλαπλάσια ενός μοναδιαίου κβάντου (quantum = ποσό, ποσότητα). Αυτά τα κβάντα ονομάζονται **φωτόνια**.

Η μονοχρωματική ακτινοβολία συχνότητας ν αποτελείται από σύνολο φωτονίων καθένα από τα οποία έχει ενέργεια $h\nu$. Όσο πιο έντονο είναι το φως τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των φωτονίων της δέσμης. Μια ασθενής πηγή φωτός εκπέμπει λίγα φωτόνια. Μια λαμπερή πηγή εκπέμπει ισχυρό ρεύμα φωτονίων. Η ζέστη που στέλνει ο Ήλιος οφείλεται στην ενέργεια των φωτονίων της υπέρυθρης ακτινοβολίας του.

Η έννοια του φωτονίου συμβαδίζει με την ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας. Η θεωρία αυτή διατυπώθηκε από τον M. Planck για να εξηγήσει τη μεταβολή της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα σώμα. Η φωτεινή ενέργεια (χρώμα ακτινοβολίας) που ακτινοβολείται από το θερμαινόμενο σώμα (ακτινοβολία μέλανος σώματος) δεν εκπέμπεται συνεχώς αλλά κατά διάκριτα ποσά, τα κβάντα.

Η ύπαρξη των φωτονίων πειραματικά διαπιστώθηκε με το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο**. Η ερμηνεία του φαινομένου που δόθηκε από τον Einstein βασίστηκε στην κβαντική θεωρία του Planck. Όταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ορισμένης συχνότητας, όχι μικρότερης από μια οριακή τιμή ν_0 , προσπέσει πάνω σε μεταλλική επιφάνεια, τότε προκαλείται εκπομπή ηλεκτρονίων. Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων που αποσπώνται από τη μεταλλική πλάκα δίνεται από τη σχέση

$$\frac{1}{2} m\nu^2 = h\nu - h\nu_0 \quad (1.5)$$

όπου m η μάζα του ηλεκτρονίου, ν η ταχύτητά του και ν η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Το ν_0 ονομάζεται **κατώφλι συχνότητας**. Για να αποσπασθεί ένα ηλεκτρόνιο χρειάζεται να καταναλωθεί ενέργεια που εξαρτάται από τη φύση του μετάλλου και τη θερμοκρασία. Με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο επιβεβαιώνεται ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στην ενέργεια των φωτονίων και τη συχνότητα της ακτινοβολίας.

Η ερμηνεία των διαφορών φαινομένων με βάση τον ηλεκτρομαγνητισμό στην κλασική φυσική, αντικαθίσταται στην κβαντική με την ιδέα της ανταλλαγής φωτονίων Σύμφωνα με την κβαντική κάθε φορτισμένο σωματίδιο εκπέμπει φωτόνια που μπορούν να απορροφηθούν από ένα άλλο. Κατά συνέπεια τα φωτόνια είναι οι φο-

ρείς των ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων. Από τα παρακάτω παραδείγματα φαίνεται ότι η έκφραση

$$E = h\nu \quad (1.6)$$

δίνει την ενέργεια ενός μόνο φωτονίου. Η σταθερά Planck εκφράζεται ως $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \text{phot}^{-1}$.

Παράδειγμα 1. Ζητείται να υπολογισθεί η ενέργεια σε Joule ενός φωτονίου στο υπεριώδες που έχει συχνότητα $6,15 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$.

Απάντηση

$$E = h\nu = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \text{phot}^{-1} \times 6,15 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} = 4,07 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot \text{phot}^{-1}.$$

Παράδειγμα 2. Από πηγή laser παράγεται κόκκινο φως μήκους κύματος 632,8 nm. Να υπολογισθεί η ενέργεια αυτής της ακτινοβολίας σε kJ για ένα γραμμομόριο φωτονίων.

Απάντηση

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}.$$

Για να βρεθεί η ενέργεια ενός γραμμομορίου πρέπει η ενέργεια που αντιστοιχεί στο 1 φωτόνιο να πολλαπλασιασθεί με τον αριθμό του Avogadro. Έτσι είναι

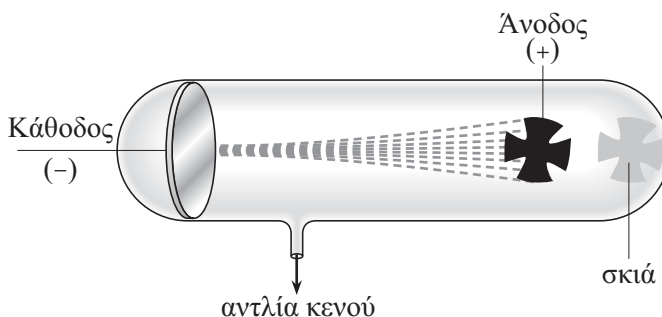
$$\begin{aligned} E &= \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 3,0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{\text{phot} \left(632,8 \text{ nm} \times \frac{1 \times 10^9}{1 \text{ mm}} \right)} \times \frac{6,022 \times 10^{23} \text{ phot}}{1 \text{ mol phot}} = \\ &= 1,89 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1} \text{ phot}^{-1} = 189 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ phot}^{-1}. \end{aligned}$$

Στην πράξη για απλούστευση η σταθερά Planck λαμβάνεται ότι είναι ίση με $6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$, επειδή η ενέργεια $h\nu$ αναφέρεται στην κβαντική ενέργεια του φωτονίου.

1.5 Θεμελιώδη συστατικά του ατόμου

Στις αρχές του εικοστού αιώνα έγιναν προσπάθειες από τους διάφορους ερευνητές να δώσουν μια φυσική εικόνα του ατόμου με την εφαρμογή ηλεκτρικών εκ-

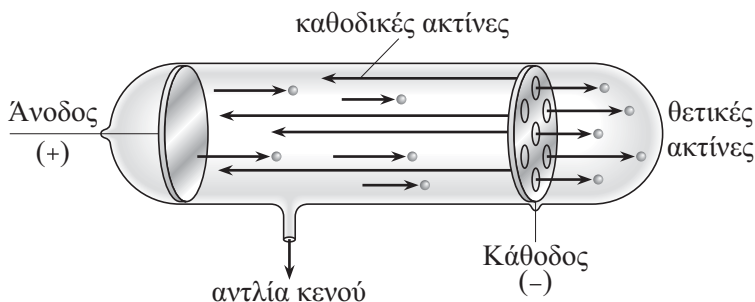
κενώσεων σε αέρια. Ο Thomson το 1896 έδειξε ότι η ακτινοβολία που εκπέμπουν τα αέρια όταν βρίσκονται σε σωλήνες Crookes (**καθοδική ακτινοβολία**) έχει σωματιδιακή υπόσταση (σχ. 1.4) και εκτρέπεται προς το θετικό πόλο μαγνητικού πεδίου. Κατά συνέπεια τα σωματίδια έχουν αρνητικό φορτίο. Τα σωματίδια ο Thomson τα ονόμασε **ηλεκτρόνια**.



Σχήμα 1.4. Διάταξη που δείχνει την ευθύγραμμη πορεία της καθοδικής ακτινοβολίας.

Στο μοντέλο που έδωσε ο Thomson, το άτομο θεωρείται μια σφαίρα με θετικό φορτίο και μέσα σ' αυτό το χώρο τα ηλεκτρόνια είναι διασκορπισμένα για να ισοσταθμίσουν το φορτίο. Το 1909 ο R. Millikan προσδιόρισε το φορτίο και τη μάζα του ηλεκτρονίου. Η μάζα του βρέθηκε ότι είναι $9,11 \times 10^{-28}$ g και το φορτίο του $1,60 \times 10^{-19}$ C. Η ελάχιστη αυτή τιμή του φορτίου αποτελεί το **στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο** του ηλεκτρονίου.

Στη συνέχεια ανακαλύφθηκε το πρωτόνιο με ηλεκτρικές εκκενώσεις σε ειδικούς σωλήνες που περιείχαν υδρογόνο σε υψηλό κενό (σχ. 1.5). Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται από τη μια οι καθοδικές ακτίνες που κινούνται από την κάθοδο προς την άνοδο και από την άλλη οι **θετικές ακτίνες** που είναι σωματίδια με θετικό φορτίο και κινούνται από την άνοδο προς την κάθοδο. Ορισμένα από αυτά



Σχήμα 1.5. Παραγωγή θετικών ακτίνων.

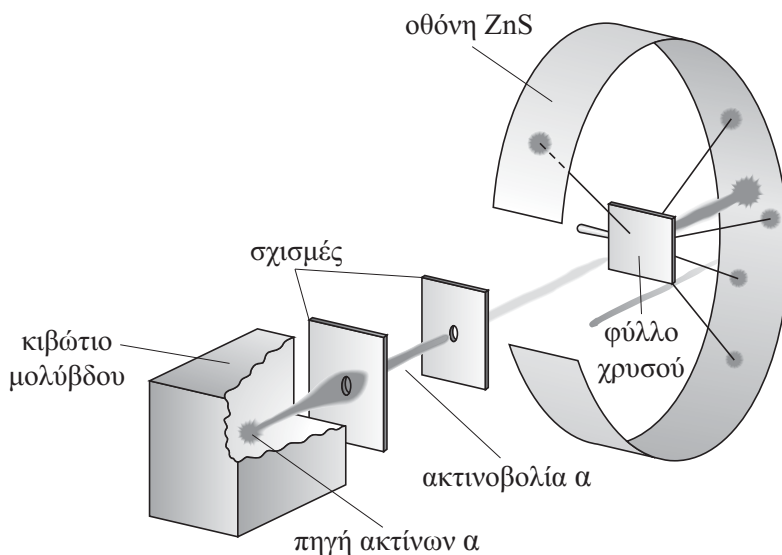
τα θετικά ιόντα μπορούν να περάσουν μέσα από οπές (διαύλους) που υπάρχουν πάνω στο αρνητικό ηλεκτρόδιο (**διαυλικές ακτίνες**). Αυτά τα θετικά ιόντα, **τα πρωτόνια**, έχουν μάζα σχεδόν ίση με τη μάζα του ατόμου του υδρογόνου και φορτίο θετικό ίσο με το φορτίο του ηλεκτρονίου.

Ο Rutherford το 1920 για θεωρητικούς λόγους είχε προβλέψει την παρουσία ενός επιπλέον συστατικού του ατόμου ως αποτέλεσμα αλληλεξουδετέρωσης του πρωτονίου και του ηλεκτρονίου. Το αφόρτιστο αυτό σωματίδιο ονομάστηκε **νετρόνιο**. Η ανακάλυψή του έγινε αργότερα από το Chadwick (1932) στα προϊόντα διάσπασης ορισμένων πυρηνικών αντιδράσεων. Η μάζα του είναι λίγο μεγαλύτερη από τη μάζα του πρωτονίου και έχει φορτίο μηδέν.

1.6 Θεωρία του Rutherford. Ατομικό πρότυπο του Rutherford

Ο Rutherford και οι μαθητές του (H. Geiger, E. Marsden) μετά από μεγάλο αριθμό σημαντικών πειραμάτων έδωσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη των νέων θεωριών σχετικά με τη δομή του ατόμου. Σύμφωνα με τις απόψεις τους το άτομο παρουσιάζεται σαν μικρογραφία του πλανητικού συστήματος.

Στο συμπέρασμα αυτό κατέληξαν με “βομβαρδισμό” λεπτών φύλλων μετάλλου (χρυσού ή αργιλίου) με ακτίνες α (σχ. 1.6). Οι ακτίνες α είναι πυρήνες του ατόμου ήλιου (${}^4_2\text{He}$) και προέρχονται από τη διάσπαση του στοιχείου ράδιο. Με τη



Σχήμα 1.6. Πείραμα Rutherford.

χρησιμοποίηση οθόνης με θειούχο ψευδάργυρο ή φωτογραφικής πλάκας ο Rutherford διαπίστωσε την εκτροπή των σωματιδίων. Επίσης, διαπίστωσε ότι τα περισσότερα σωματίδια α διαπερνούν το μεταλλικό φύλλο και υφίσταντο μικρή εκτροπή από την ευθύγραμμη πορεία τους. Σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις ένας μικρός αριθμός από τα σωματίδια α είχαν υποστεί πολύ μεγάλη εκτροπή. Ο Rutherford για να εξηγήσει τις σπάνιες εκτροπές υποστήριξε ότι τα θετικά φορτισμένα σωματίδια α πλησιάζουν σε ισχυρά θετικά ηλεκτρικά φορτία που στην περίπτωση αυτή είναι συγκεντρωμένα στον **πυρήνα**. Η σπανιότητα των μεγάλων εκτροπών δείχνει τον εξαιρετικά μικρό όγκο του πυρήνα, όπου είναι συγκεντρωμένο και το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ατόμου.

Για να εξηγήσει την ουδετερότητα του ατόμου ο Rutherford υποστήριξε ότι ο θετικός πυρήνας που κατέχει το κέντρο του ατόμου περιβάλλεται από τα αρνητικά ηλεκτρόνια που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα σ' όλο τον όγκο της ατομικής σφαίρας και κινούνται γύρω από τον πυρήνα σε διάφορες τροχιές. Αυτά τα ονόμασε **πλανητικά** ή **περιφερειακά ηλεκτρόνια**. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων είναι ίσος με τον αριθμό των θετικών φορτίων του πυρήνα. Η διάταξή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το άτομο στο σύνολό του να είναι σφαιρικό και ακόμη από την άποψη των φορτίων του ουδέτερο.

1.7 Δυναδική φύση του φωτός

Η σημασία της έκφρασης $E = h\nu$ πρέπει να εξετασθεί προσεκτικά. Το E είναι μεγάλο όταν η συχνότητα είναι υψηλή. Η ενέργεια συνδέεται με το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η ολική ενέργεια εξαρτάται από τη συχνότητα και τον αριθμό των κβάντα. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα της φωτεινής ακτινοβολίας τόσο πιο ενεργά είναι τα φωτόνιά της. Όταν το άτομο απορροφήσει ένα φωτόνιο συχνότητας ν η ενέργειά του αυξάνει κατά $h\nu$. Παρόμοια, όταν το άτομο εκπέμπει ένα φωτόνιο, η ενέργεια του ατόμου ελαττώνεται κατά $h\nu$. Αυτό πάντοτε πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν συσχετίζονται η ενέργεια και η συχνότητα ταλάντωσης. Τα πιο ενδιαφέροντα συμπεράσματα της θεωρίας του Planck είναι ότι συνδέει τις “υλικές ιδιότητες” και τις “κύματικές ιδιότητες” του ηλεκτρονίου ή πιο σωστά συνδυάζει τη δυναδική φύση της ύλης και της ακτινοβολίας.

Η σχέση της ενέργειας με τη μάζα δίνεται από την εξίσωση του Einstein

$$E = mc^2 \quad (1.7)$$

όπου m η μάζα και c η ταχύτητα του φωτός. Το μήκος κύματος, σε μέτρα, συν-

δέεται με τη συχνότητα ν σε Hertz (κύκλος sec^{-1}) με τη σχέση

$$c = \lambda \nu \quad (1.8)$$

Συνδυασμός της εξίσωσης (1.8) με την (1.6) δίνει

$$mc^2 = h\nu,$$

$$\text{ή} \quad mc = \frac{h}{\lambda} \quad (1.9)$$

Στη φασματοσκοπία, η συχνότητα γενικά εκφράζεται ως **αριθμός κύματος**, $\bar{\nu}$, που είναι $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} \text{ m}^{-1}$.

Η εξίσωση (1.9) συσχετίζει την ορμή ενός σωματιδίου με το ισοδύναμό του, το μήκος κύματος και είναι γνωστή ως εξίσωση De Broglie. Αυτή μπορεί να γραφεί

$$\text{“κυματική φύση”} \rightarrow \lambda = \frac{h}{mv} \leftarrow \text{“σωματιδιακή φύση”}$$

Το κινούμενο ηλεκτρόνιο (mv) συνδέεται με τα παραγόμενα υλοκύματα (λ).

1.8 Πρότυπο του Bohr. Πρώτος κβαντικός αριθμός

Η κβαντική θεωρία αναπτύχθηκε πρώτη φορά το έτος 1913 από το Δανό φυσικό N. Bohr για να εξηγήσει το φάσμα του ατόμου του υδρογόνου. Το άτομο του Bohr δεν χρησιμοποιείται σήμερα συχνά ως πρότυπο αλλά είναι χρήσιμο γιατί δίνει σε πρώτη προσέγγιση την εξήγηση του φάσματος του ατόμου του υδρογόνου και συμβάλλει αρκετά στην κατανόηση της ατομικής δομής. Αυτό το πρότυπο στηρίζεται ουσιαστικά στη θεωρία των κβάντα του Planck που λέει ότι η μεταβολή της ενέργειας γίνεται κατά ορισμένα ποσά.

Δύο εξισώσεις ορίζουν την κίνηση του ηλεκτρονίου στο πρότυπο του Bohr. Η πρώτη εξάγεται από τη θεωρία του Planck. Η μεταβολή της ενέργειας μεταξύ δύο καταστάσεων δίνεται από τον τύπο

$$\Delta E = h\nu$$

Η δεύτερη εξίσωση ορίζει τη στροφορμή του ηλεκτρονίου

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (1.10)$$

όπου m η μάζα του ηλεκτρονίου, v η ταχύτητά του, r η ακτίνα της τροχιάς και n ακέραιος θετικός αριθμός (1, 2, 3, κ.λ.π.). Ο n είναι γνωστός ως κύριος ή πρώτος κβαντικός αριθμός. Η στροφορμή μπορεί να πάρει ορισμένες μόνο τιμές, που είναι πολλαπλάσια της μονάδας $h/2\pi$ και η οποία είναι γνωστή ως **μονάδα κβάντωσης**.

Σταθερή τροχιά σύμφωνα με τη θεωρία των κυμάτων είναι αυτή στην οποία το μήκος της περιφέρειάς της είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος. Αυτό μαθηματικά δίνεται από τη σχέση

$$n\lambda = 2\pi r \quad (1.11)$$

όπου n είναι ένας ακέραιος αριθμός και r η ακτίνα της τροχιάς. Αντικατάσταση της τιμής λ από τη σχέση (1.9) καταλήγει στη γνωστή σχέση (1.10).

Τα χαρακτηριστικά του πρότυπου Bohr αποδίδονται από τα δύο παρακάτω αξιώματα.

1^ο αξίωμα

Το άτομο δεν ακτινοβολεί όταν το ηλεκτρόνιο κινείται σε ορισμένες τροχιές, τις **στάσιμες τροχιές (στοιβάδες ή φλοιούς)**. Κάθε μια από τις τροχιές αυτές αντιστοιχεί σε ορισμένη ενέργεια και αναφέρεται συνήθως ως **ενεργειακή στάθμη** ή **ενεργειακή κατάσταση** ή **ενεργειακό επίπεδο**, (energy level). Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται στις επιτρεπόμενες αυτές τροχιές η στροφορμή του είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του $h/2\pi$. Σύμφωνα με την κλασική μηχανική και τη κβαντική θεωρία, η ενέργεια του ηλεκτρονίου που κινείται σε κυκλική τροχιά γύρω από τον πυρήνα εκφράζεται με τη σχέση

$$E_n = - \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} \quad (1.12)$$

όπου ε_0 η διηλεκτρική σταθερά του κενού ($8,854 \times 10^{-12} \text{ J}^{-1} \text{ C}^2 \text{ m}^{-1}$), e το φορτίο του ηλεκτρονίου και C η στοιχειώδης μονάδα του ηλεκτρικού φορτίου, Coulomb.

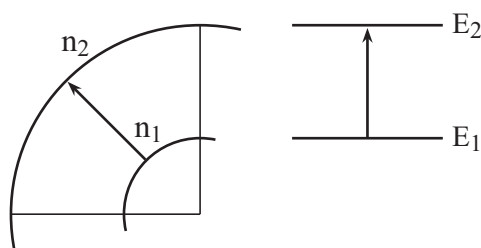
Όσο χρόνο το ηλεκτρόνιο παραμένει πάνω στις προκαθορισμένες αυτές τροχιές δεν ανταλλάσσει ενέργεια με το εξωτερικό του περιβάλλον. Τις τροχιές αυτές ο Bohr τις ονόμασε στοιβάδες και τις είχε παραστήσει με τα κεφαλαία γράμματα K, L, M, N, O, P, Q. Σύμφωνα με την άποψη του Bohr, ενώ οι τροχιές που μπορεί να κινηθούν τα ηλεκτρόνια είναι άπειρες πρακτικά η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο n αντιστοιχεί στη στοιβάδα Q, δηλαδή $n = 7$.

2^ο αξίωμα

Όταν το ηλεκτρόνιο περνά από μια σταθερή τροχιά σε άλλη, η ενέργεια του

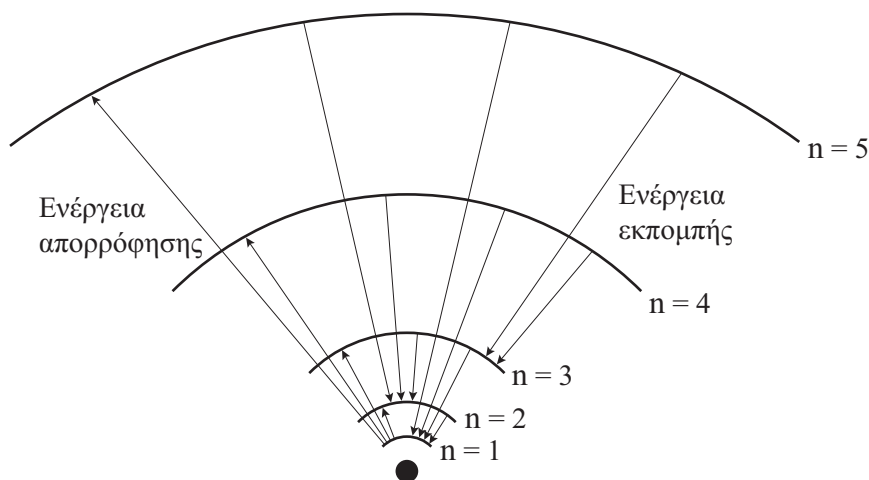
ατόμου παθαίνει απότομη μεταβολή. Η ανύψωση του ηλεκτρονίου από την τροχιά n_1 στην n_2 , για να περάσει δηλαδή από την ενεργειακή στάθμη E_1 στην πιο πάνω στάθμη E_2 γίνεται με απορρόφηση από το άτομο μονοχρωματικής ακτινοβολίας συχνότητας ν (σχ. 1.7). Όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει από την τροχιά n_2 στην n_1 τότε εκπέμπει μονοχρωματική ακτινοβολία συχνότητας ν .

$$E_2 - E_1 = h\nu$$



Σχήμα 1.7. Μετάπτωση ηλεκτρονίου από την τροχιά n_1 στη n_2 .

Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία η ενέργεια του ατόμου δεν μπορεί να πάρει παρά μόνο ορισμένες τιμές E_n . Αυτές οι ενέργειες παριστάνονται με ένα σύνολο γραμμών που τείνουν προς το άπειρο (σχ. 1.8).



Σχήμα 1.8. Κυκλικές τροχιές του Bohr ($n=1 \dots \infty$). Το τόξο παριστάνει ένα μέρος μιας κυκλικής τροχιάς.

1.9 Τα μαθηματικά για το άτομο του Bohr

Από τη Νευτώνεια μηχανική είναι γνωστό ότι η φυγόκεντρη δύναμη ισούται με την ηλεκτροστατική έλξη που ασκείται ανάμεσα στο ηλεκτρόνιο και το πρωτόνιο

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{r^2} \quad (1.13)$$

Από την (1.10) είναι
$$v = \frac{nh}{2\pi mr}$$

Αντικατάσταση της τιμής v από την τελευταία εξίσωση στην (1.13) δίνει

$$\frac{m}{r} \left(\frac{nh}{2\pi mr} \right)^2 = \frac{e^2}{r^2} \quad (1.14)$$

και
$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2} = n^2 \alpha_0 \quad (1.15)$$

Αυτή η σχέση δίνει τις ακτίνες των τροχιών πάνω στις οποίες μπορούν να κινούνται τα ηλεκτρόνια. Στο άτομο του υδρογόνου για $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ οι ακτίνες αντίστοιχα είναι $\alpha_0, 4\alpha_0, 9\alpha_0, 16\alpha_0, \dots$

Όταν οι γνωστές τιμές των h, π, m και e αντικατασταθούν στην εξίσωση (1.15) τότε για $n=1$ θα δώσουν τιμή για το $r = 0,53 \text{ \AA}$, δηλαδή περίπου $0,5 \text{ \AA}$. Πραγματικά, μετρήσεις του ξώδους στο αέριο υδρογόνου δίνουν για το μόριο του υδρογόνου διάμετρο ίση με 1 \AA . Η τιμή $r = 0,53 \text{ \AA}$ ονομάζεται **ακτίνα του Bohr** και γράφεται α_0 .

Η συχνότητα της ακτινοβολίας βρίσκεται από την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου που είναι το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής του ενέργειας.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{e^2}{r}$$

Με τη βοήθεια της (1.13) γίνεται

$$E = \frac{1}{2} \frac{e^2}{r} - \frac{e^2}{r} = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{r} \quad (1.16)$$

Αντικατάσταση του r από την εξίσωση (1.15) δίνει

$$E = -\frac{1}{2}e^2 \left(\frac{4\pi^2 m e^2}{n^2 h^2} \right) = -\frac{2\pi^2 m e^4}{n^2 h^2} \quad (1.17)$$

Η μεταβολή της ενέργειας ΔE από το ενεργειακό επίπεδο E_1 , που αντιστοιχεί σε $n=n_1$ στο ενεργειακό επίπεδο E_2 που αντιστοιχεί σε $n=n_2$ ($n_2 > n_1$) είναι

$$\Delta E = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1.18)$$

Επειδή $\Delta E = h\nu$ θα είναι

$$\nu = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1.19)$$

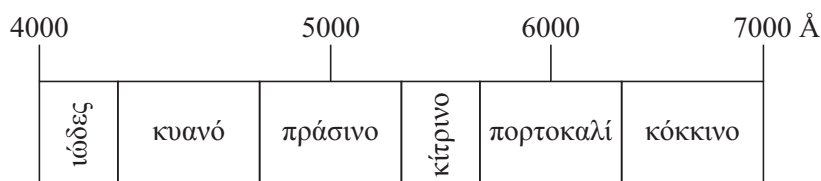
Η επιτυχία της θεωρίας του Bohr έγκειται στο γεγονός ότι η αντικατάσταση των n_1 και n_2 στην εξίσωση 1.19 με αριθμητικές τιμές προκύπτουν τιμές συχνότητας που συμπίπτουν με μεγάλη ακρίβεια με αυτές που βρίσκονται πειραματικά από το φάσμα του υδρογόνου. Είναι πολύ σημαντικό που η τιμή της σταθεράς R , που υπολογίζεται θεωρητικά από τις γνωστές τιμές m , e και h , είναι ίση με την πειραματική τιμή. Η θεωρία του Bohr εξηγεί ικανοποιητικά την ύπαρξη των γραμμών στο φάσμα εκπομπής, μόνο για το άτομο του υδρογόνου και τα υδρογονοειδή. **Υδρογονοειδή** είναι τα ιόντα που έχουν γύρω από τον πυρήνα τους ένα μόνο ηλεκτρόνιο ανεξάρτητα από τον ατομικό αριθμό του στοιχείου. Παράδειγμα Li^{2+} , Na^{10+} , κ.ά.

Η θεωρία του Bohr δεν δίνει ικανοποιητική εξήγηση για το φάσμα των άλλων ατόμων. Η κίνηση των ηλεκτρονίων σε κυκλικές τροχιές, γεγονός που δεν συμβαίνει, πρέπει να δίνει ένα φάσμα συνεχές και όχι γραμμικό (ταινιών). Κάθε στοιχείο έχει το δικό του χαρακτηριστικό γραμμικό φάσμα.

Η παραδοχή ότι η κίνηση του ηλεκτρονίου γίνεται μόνο σε κυκλικές τροχιές αποτελεί μειονέκτημα της θεωρίας του Bohr επειδή έχει ως συνέπεια τη μεταβολή της ηλεκτρομαγνητικής του ακτινοβολίας. Σύμφωνα με την κλασική θεωρία το κινούμενο ηλεκτρόνιο επειδή εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πρέπει να χάνει συνεχώς ενέργεια και συνεπώς εκτελώντας σπειροειδή τροχιά πρέπει να πέσει στον πυρήνα πράγμα που δεν συμβαίνει επειδή το ηλεκτρόνιο έχει και κυματική υπόσταση. Άλλωστε πειραματικά βρέθηκε ότι το φάσμα δεν είναι συνεχές, αλλά γραμμικό.

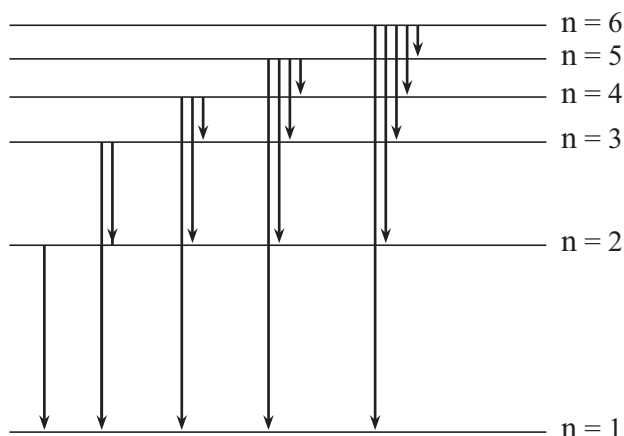
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- 1.1. Πόση ενέργεια υπάρχει σε ένα φωτόνιο που έχει $\lambda = 6500 \text{ \AA}$.
- 1.2. Ποιο είναι το μήκος κύματος του ηλεκτρονίου που έχει ενέργεια 13,6 eV. Δίνεται ότι $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-12} \text{ erg}$.
- 1.3. Τα μήκη κύματος των διαφόρων χρωμάτων του ορατού φάσματος δίνονται στο σχήμα:



- α) Τι χρώμα θα δείξει το χλωριούχο κάλιο όταν θερμανθεί πάνω στη φλόγα του λύχνου Bunsen. Η συχνότητα της ακτινοβολίας του είναι $\nu = 7,41 \times 10^{14} \text{ sec}^{-1}$.
- β) Στη φλόγα του λύχνου Bunsen τα άτομα του βαρίου δίνουν μια ηλεκτρονιακή μετάπτωση ενέργειας ίση με $3,62 \times 10^{-12} \text{ erg}$. Σύμφωνα με το σχήμα ποιο χρώμα δείχνει την παρουσία του βαρίου;
- 1.4. Σε ποια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αντιστοιχεί η μετάπτωση από το δέκατο ενεργειακό επίπεδο στο άτομο του υδρογόνου.
- 1.5. α) Ποιοι από τους παρακάτω συνδυασμούς των κβαντικών αριθμών δεν παριστάνουν επιτρεπτές λύσεις στην εξίσωση Schrödinger.
- β) Τι είδους τροχιακά περιλαμβάνονται στη σωστή απάντηση;

	n	l	m_l	m_s
α.	3	0	1	-1/2
β.	2	2	0	+1/2
γ.	4	3	-4	-1/2
δ.	5	2	2	+1/2
ε.	3	2	-2	-3/2



Απάντηση:

Οι γραμμές εκπομπής προκύπτουν από μεταπτώσεις ηλεκτρονίων από στάθμες με υψηλή ενέργεια σε στάθμες χαμηλότερης ενέργειας. Οι δυνατές μεταπτώσεις για το άτομο του υδρογόνου όταν $n = 1, 2, 3, 4, 5$ ή 6 φαίνονται στο σχήμα. Υπάρχουν 15 μεταπτώσεις. Κατά συνέπεια ο μέγιστος αριθμός που αναμένεται είναι 15 γραμμές εκπομπής. Γενικά, ο συνολικός αριθμός των γραμμών εκπομπής δίνεται από τη σχέση: $\frac{1}{2} 6(6 - 1) = 15$.

- 1.11.** Σύμφωνα με το μοντέλο του Bohr για το άτομο, ποιο είναι το μέγεθος του ιόντος Ne^{9+} ; Ποια είναι η ενέργεια ιονισμού γι' αυτό το ιόν. Ποια είναι η ενέργεια διέγερσης για την πρώτη διεγερμένη κατάσταση;

Απάντηση:

Το ιόν Ne^{9+} είναι υδρογονοειδές. Έχει ένα ηλεκτρόνιο και πυρηνικό φορτίο $10+$. Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr η ακτίνα γι' αυτά τα άτομα είναι ανάλογη με το n^2/z και η ενέργεια με το z^2/n^2 . Έτσι η ακτίνα είναι $(1/10) a_0$ ή $0,1 a_0$ και η ενέργεια ίση με $-(10)^2/1^2 E_0$ όπου a_0 και E_0 είναι οι ατομικές μονάδες ίσες με τις βασικές καταστάσεις της ακτίνας και της ενέργειας του ατόμου του υδρογόνου.

Η ενέργεια ιονισμού είναι $1,36 \times 10^3 (1/1^2 - 1/2^2) \text{ eV} = 1020 \text{ eV}$.

- 1.12.** Να υπολογισθεί η ενέργεια που εκλύεται όταν ένα ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου μεταπίπτει από την τροχιά $n=3$ στη $n=1$. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται σε αυτήν τη μετάπτωση δίνεται από

τη σχέση λ (σε Å) = 12398/E (eV). Συνήθως για απλούστευση λαμβάνεται $\lambda = 12345/E$ (eV).

Απάντηση:

Ο τύπος είναι $\Delta E = \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{1^2} \right) E_0$ και $E_0 = -13,6$ eV.

1.13. Με τη βοήθεια της θεωρίας του Bohr να βρεθεί η σταθερά Rydberg του υδρογόνου και να αποδειχθεί ότι εκφράζεται σε αντίστροφα μήκη κύματος.

Απάντηση:

Ο τύπος του Balmer περιέχει τη σταθερά του Rydberg

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Επειδή τα n_1 και n_2 είναι καθαροί αριθμοί, το R_H θα έχει τις ίδιες διαστάσεις με το $1/\lambda$ δηλαδή cm^{-1} .

1.14. Να υπολογισθούν σε eV οι ενέργειες που αντιστοιχούν στις τέσσερις πρώτες στάθμες E_1, E_2, E_3, E_4 και στο E_∞ .

Απάντηση:

Αντικατάσταση των τιμών στη σχέση 1.12 δίνει

$$E = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$$

$$E = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{21,81 \times 10^{-19}}{1,602 \times 10^{-19}} \text{ eV} \quad \text{και} \quad E = -\frac{13,60}{n^2} \text{ eV}$$

Οι ενέργειες για $n=1, 2, 3$ και 4 είναι αντίστοιχα

$$\begin{array}{lll} E_1 = -13,60 \text{ eV} & E_2 = -3,40 \text{ eV} & E_3 = -1,51 \text{ eV} \\ E_4 = -0,85 \text{ eV} & E_\infty = -0. & \end{array}$$

1.15. Ποια είναι η μικρότερη ποσότητα ενέργειας που πρέπει να απορροφήσει το άτομο του υδρογόνου για να περάσει από τη θεμελιώδη κατάσταση στη διεγερμένη. Ποιο μήκος κύματος αντιστοιχεί σ' αυτή τη διέγερση; Ποια μαθηματική σχέση δίνει τη μετάπτωση του ηλεκτρονίου από τη διεγερμένη στη θεμελιώδη κατάσταση;

Απάντηση:

Το άτομο βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση όταν η ενέργεια του συστήματος πυρήνας - ηλεκτρόνιο είναι πιο χαμηλή. Το ηλεκτρόνιο βρίσκεται σε τροχιά με $n=1$. Όταν προσλάβει μικρή ενέργεια τότε πηγαίνει σε άλλη τροχιά και λέγεται ότι το άτομο είναι διεγερμένο. Η πιο μικρή ποσότητα ενέργειας που είναι ικανή να διεγείρει το άτομο του υδρογόνου είναι

$$(-3,40) - (-13,6) = 10,21 \text{ eV}$$

Το ηλεκτρόνιο πηγαίνει από την τροχιά $n=1$ στην $n=2$. Αυτή η ενέργεια ισοδυναμεί με $10,21 \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ Joule}$. Από την εξίσωση του Planck θα είναι

$$\nu = \frac{16356}{h}$$

$$\lambda = \frac{hc}{16356} = 1215 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = 1215 \text{ \AA}.$$

Αυτή η ακτινοβολία βρίσκεται στην περιοχή του υπεριώδους και ανήκει στη σειρά Lyman.

1.16. Να υπολογισθούν οι τιμές των τεσσάρων πρώτων ενεργειών διέγερσης του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου. Ποια είναι η μέγιστη τιμή ενέργειας που μπορεί να φθάσει;

Απάντηση:

Όταν το ηλεκτρόνιο πηγαίνει από μια εξωτερική τροχιά στην $n=1$ εκλύεται ενέργεια που δίνεται από τη σχέση

$$E_n - E_1 = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{1} \right)$$

Αντικατάσταση των τιμών m , e , ε_0 και h θα δώσει

$$E_n - E_1 = 13,60 \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \text{ eV}$$

Οι τέσσερις πρώτες τιμές ενέργειας είναι

$$E_2 - E_1 = 13,60 \left(1 - \frac{1}{4} \right) = 10,20 \text{ eV}$$

$$E_3 - E_1 = 13,60 \left(1 - \frac{1}{9} \right) = 12,09 \text{ eV}$$

$$E_4 - E_1 = 13,60 \left(1 - \frac{1}{16} \right) = 12,75 \text{ eV}$$

$$E_5 - E_1 = 13,60 \left(1 - \frac{1}{25} \right) = 13,06 \text{ eV}$$

Η μέγιστη τιμή της ενέργειας διέγερσης είναι $E_\infty - E_1 = 13,60 \text{ eV}$.

1.17. α) Ποιες είναι οι σταθερές διαστάσεων του h/mv .

β) Ποια είναι η τιμή του h/mv για μια κυκλική τροχιά του Bohr. Εάν θεωρηθεί ότι ένα κύμα διαδίδεται πάνω στην περιφέρεια του κύκλου ποια είναι η συνθήκη για να είναι στάσιμο κύμα.

Απάντηση:

α) Το h έχει διαστάσεις δύναμης, που είναι ίσο με το γινόμενο του έργου επί το χρόνο (ML^2T^{-1}). Οι διαστάσεις της ταχύτητας είναι LT^{-1} .

Κατά συνέπεια οι διαστάσεις του h/mv είναι $ML^2T^{-1}L^{-1}T \cdot M^{-1} = L$.

Δηλαδή το h/mv έχει διαστάσεις μήκους.

β) Από τη συνθήκη του Bohr είναι

$$\frac{h}{mv} = \frac{2\pi r}{n}$$

Το $2\pi r$ είναι το μήκος l της περιφέρειας, δηλαδή $\frac{h}{mv} = \frac{l}{n}$.

Για να είναι στάσιμο ένα κύμα πρέπει όταν κάνει ένα κύκλο να βρίσκεται στην ίδια κατάσταση ταλάντωσης. Αυτό δεν είναι δυνατόν παρά μόνο όταν το μήκος της περιφέρειας l ισούται με ακέραιο αριθμό μηκών κύματος δηλαδή $l = n\lambda$ ή $\lambda = l/n$.

1.18. Η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg λέει ότι είναι αδύνατο να μετρηθεί με ακρίβεια η θέση ενός σωματιδίου και η ορμή του. Θεωρείται ότι ένα σωματίδιο μάζας ίση με 1 g κινείται πάνω σε μια γραμμή. Εάν μπορεί να μετρηθεί η θέση του με ακρίβεια 1μ , να υπολογισθεί η αβεβαιότητα στην ταχύτητά του.

Απάντηση:

Επειδή η σταθερά του Planck είναι $6,62 \times 10^{-34} \text{ J sec}$ από τη σχέση της αβεβαιότητας θα είναι

$$\Delta p_x \cdot \Delta x = h/2\pi$$

Επειδή $\Delta x = 10^{-6} \text{ m}$ και η μάζα είναι 10^{-3} kg η εξίσωση $\Delta p_x = m\Delta v$ θα δώσει

$$\Delta v = \frac{1,05 \times 10^{-34}}{10^{-3} \times 10^{-6}}$$

$$\Delta v = 10^{-25} \text{ ms}^{-1}.$$

Κανένα όργανο δεν μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια τόσο μικρή ταχύτητα. Στη μακροσκοπική κλίμακα η αρχή της αβεβαιότητας δεν έχει καμιά φυσική σημασία.

1.19. Ένα ηλεκτρόνιο κινείται ευθύγραμμα. Εάν είναι γνωστή η θέση του με προσέγγιση 1 \AA ποια είναι η αβεβαιότητα στην ταχύτητά του.

Απάντηση:

Επειδή η μάζα του ηλεκτρονίου είναι $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ και $\Delta x = 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ θα είναι

$$\Delta v = \frac{1,05 \times 10^{-34}}{9,1 \times 10^{-31} \times 10^{-10}}$$

$$\Delta v \approx 1,1 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}.$$

1.20. Για ένα ηλεκτρόνιο που έχει ταχύτητα 1 ms^{-1} ποια είναι η αβεβαιότητα της θέσης του.

Απάντηση:

$$\Delta x = \frac{1,05 \times 10^{-34}}{9,1 \times 10^{-31} \times 1} = 0,11 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{ή} \quad \Delta x = 0,11 \text{ mm}.$$

1.21. Με ποια ταχύτητα πρέπει να κινείται ένα νετρόνιο για να εμφανίζει ακτινοβολία μήκους κύματος 440 pm ;

Δίνεται η μάζα του νετρονίου $1,675 \times 10^{-24} \text{ g}$.

1.22. Να δοθούν οι δυνατές τιμές του l για ένα ηλεκτρόνιο με κύριο κβαντικό αριθμό $n = 4$. Για την τιμή $l = 3$ ποιες είναι οι δυνατές τιμές του n .