



Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας

Μεταπτυχιακή Ειδίκευση Καθηγητών Φυσικών Επιστημών

Διπλωματική Εργασία:

«Εισαγωγή στοιχείων κβαντομηχανικής και σύγχρονης φυσικής στην
δευτεροβάθμια εκπαίδευση»

Αλέξανδρος Γ. Θεοχάρης

Επιβλέπων καθηγητής: Αλέξανδρος Κεχαγιάς

Πάτρα , Ιούνιος 2022

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Εισαγωγή στοιχείων κβαντομηχανικής και σύγχρονης φυσικής στην
δευτεροβάθμια εκπαίδευση»

Αλέξανδρος Γ. Θεοχάρης

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Αλέξανδρος Κεχαγιάς

Καθηγητής, ΕΜΠ

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Αντώνιος Λεϊσος

Αναπληρωτής καθηγητής, ΕΑΠ

Πάτρα , Ιούνιος 2022

*Στην μνήμη των γονιών μου
Γεώργιου και Δέσποινας Θεοχάρη.*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει σαν στόχο να παρουσιάσει με μορφή προγράμματος σπουδών, τους άξονες γύρω από τους οποίους ο εκπαιδευτικός θα οργανώσει την μαθησιακή-εκπαιδευτική διαδικασία για την διδασκαλία της Φυσικής στην Γ τάξη Λυκείου, ερμηνεύοντας τα φαινόμενα της σύγχρονης φυσικής και παρουσιάζοντας τις τεχνολογικές εφαρμογές της, με βάση τις αρχές και τους νόμους της κβαντομηχανικής.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα φαινόμενα που αδυνατεί να ερμηνεύσει η κλασική φυσική δηλαδή, η ακτινοβολία μέλανος σώματος, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, το φαινόμενο Compton, η ευστάθεια των ατόμων και προκύπτει η ανάγκη για την ,κατά Thomas Kuhn, «Αλλαγή Παραδείγματος». Έτσι, αναπτύσσονται οι έννοιες και οι αρχές της νέας μηχανικής του μικρόκοσμου, ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός της ύλης, η αρχή αβεβαιότητας, η εξίσωση Schrödinger και η στατιστική της ερμηνεία. Στη συνέχεια μελετώνται κάποια βασικά κβαντικά συστήματα και παρουσιάζονται οι λύσεις της εξίσωσης Schrödinger λαμβάνοντας υπόψιν το μαθηματικό υπόβαθρο των μαθητών της Γ΄ Λυκείου. Έπειτα, εντάσσονται στη διδασκαλία της φυσικής θέματα που διδάσκονταν στην Χημεία όπως η δομή του Περιοδικού Πίνακα, οι υβριδισμοί στους χημικούς δεσμούς, ο απεντοπισμός των π-δεσμών στον βενζολικό δακτύλιο, οι δυνάμεις Van der Waals τα οποία ερμηνεύονται με ενιαίες αρχές και νόμους. Από την σωματιδιακή φυσική παρουσιάζονται τα σωματίδια ύλης, τα σωματίδια φορείς των αλληλεπιδράσεων και τα quark ως δομικοί λίθοι των αδρονίων. Τέλος, παραθέτονται στοιχεία της κοσμολογίας που αφορούν την δομή και εξέλιξη του σύμπαντος.

Λέξεις-κλειδιά: Κβαντομηχανική, Δευτεροβάθμια εκπαίδευση , Σύγχρονη φυσική , Schrödinger

Abstract

The aim of this work is to compose the main features of a physics curriculum, which has to do with the teaching of Modern Physics in the third class of the Greek Lyceum. There are suggested some ways that a physics-teacher could follow, to design his lessons on two basic axes: a) the description of a number of phenomena taking place in the micro-world and should be interpreted in the context of Quantum Theory, and b) the outline of some applications in other disciplines of science and technology, that have come up from the theoretical structure of Quantum Mechanics.

In the first part, there are described the most famous experiments whose results were in contradiction with the predictions of Classical Physics: the black-body radiation, the photoelectric effect, the atoms' stability. From these contradictions, by following the Kuhn's views about the "paradigm change", the students are driven to the construction of the new concepts and principles that govern the microcosm and constitute the foundation of Quantum Mechanics. They gradually get acquainted with the particle-wave duality of the matter, the Heisenberg uncertainty principle, the statistical interpretation of the state-function and the Schrodinger equation. Then, some simple quantum systems are studied, and the solutions of the corresponding Schrodinger equations are figured out. The implications of these solutions are discussed, by taking into account the mathematical background of the students.

In the second part, some items known from Chemistry are included in the teaching process like the followings: a) the structure of the periodic table, b) the hybridism of the chemical bonds, c) the non-local nature of the p-bonds in the benzene ring, d) the Van der Waals forces. The interpretation of these phenomena is to be achieved by following a more descriptive attitude and using a common set of principles and concepts which have been emerged from the language of Quantum Theory.

From the part of Quantum Physics which is concerned with the elementary particles, the photons and other carriers of interaction-processes are outlined, as well as the quarks which are to be depicted as the building stones of the hadrons.

Finally, concerning Cosmology, some fundamental ideas about the structure and the evolution of the Universe are presented.

Keywords: Quantum Mechanics , Secondary Education , Modern Physics , Schrödinger

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας εικόνων	4
1. Εισαγωγή	6
2. Κυματοσωματιδιακός Δυϊσμός του Φωτός	7
2.1. Ακτινοβολία Μέλανος Σώματος	7
2.1.1. Περιγραφή του φαινομένου	7
2.1.2. Καμπύλη Εντάσεως Ακτινοβολίας	7
2.1.3. Νόμος Stefan-Boltzmann	7
2.1.4. Νόμος Μετατόπισης του Wein	7
2.1.5. Εμπειρικός Νόμος του Planck	8
2.1.6. Η υπεριώδης καταστροφή	8
2.1.7. Εισαγωγή της έννοιας του φωτεινού κβάντου	8
2.1.8. Εφαρμογές στα κβάντα φωτός	9
2.2. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	9
2.2.1. Περιγραφή του φαινομένου	9
2.2.2. Εμπειρικοί νόμοι	10
2.2.3. Η εξίσωση του Einstein	10
2.2.4. Η χημική δραστηριότητα της Η/Μ ακτινοβολίας	11
2.3. Το φαινόμενο Compton	11
2.3.1. Η Ενέργεια και η Ορμή των φωτονίων	11
2.3.2. Περιγραφή του φαινομένου Compton	12
3. Κυματοσωματιδιακός δυϊσμός της ύλης	13
3.1. Ατομικά Πρότυπα	13
3.2. Πείραμα Rutherford και πλανητικό πρότυπο	13
3.3. Πρότυπο του Bohr	13
3.4. Υπόθεση de Broglie	14
3.5. Εφαρμογή στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο	15
3.6. Αρχή της Αβεβαιότητας	15
3.6.1. Η Αρχή αβεβαιότητας Θέσης- Ορμής	15
3.6.2. Η αρχή αβεβαιότητας Χρόνου-Ενέργειας	16
4. Κυματοσυναρτήσεις και εξίσωση Schrödinger	17
4.1. Σωματίδιο σε σωληνάκι μήκους L	17
4.2. Από την εξίσωση των υλικών κυμάτων στην εξίσωση Schrödinger.	17

4.3.	Εξίσωση Schrödinger.....	18
4.4.	Σωματίδιο σε πηγάδι δυναμικού.....	19
4.4.1.	Πηγάδι Δυναμικού Απείρου Βάθους.....	19
4.4.2.	Πηγάδι Δυναμικού Πεπερασμένου Βάθους.....	20
4.4.3.	Φαινόμενο Σήραγγας.....	21
5.	Το άτομο του Υδρογόνου.....	23
5.1.	Κβαντικοί Αριθμοί n, l, m	24
5.2.	Το άτομο σε εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.....	27
5.2.1.	Φαινόμενο Zeeman.....	27
5.2.2.	Πείραμα Stern-Gerlach.....	28
5.2.3.	Τι είναι spin;.....	29
5.2.4.	Απαγορευτική Αρχή Pauli.....	31
5.3.	Laser.....	32
6.	Δόμηση Περιοδικού Πίνακα.....	33
6.1.	Αρχές ηλεκτρονιακής δόμησης των ατόμων.....	33
6.2.	Δομή του Περιοδικού Πίνακα.....	33
6.3.	Μεταβολή Περιοδικών Ιδιοτήτων.....	33
7.	Χημικοί δεσμοί με κβαντομηχανική θεώρηση.....	35
7.1.	Κβαντομηχανικές θεωρίες δεσμών.....	35
7.2.	Δεσμοί στα μόρια των H_2, He_2, Li_2	37
7.3.	Δεσμοί στα μόρια των O_2, N_2 – Διπλοί δεσμοί.....	39
7.4.	Τα μόρια H_2O, NH_3	41
7.5.	Δυνάμεις Van der Waals.....	42
7.5.1.	Δυνάμεις διπόλου-διπόλου.....	42
7.5.2.	Δυνάμεις διασποράς ή London.....	43
7.5.3.	Δυνάμεις ιόντος-διπόλου & πολικών- μη πολικών μορίων.....	44
7.5.4.	Δεσμός Υδρογόνου.....	44
7.5.5.	Επίδραση των διαμοριακών δυνάμεων στις φυσικές ιδιότητες των ουσιών.....	45
7.6.	Υβριδισμός ατομικών τροχιακών.....	45
7.6.1.	sp Υβριδισμός.....	45
7.6.2.	sp^2 υβριδισμός.....	47
7.6.3.	sp^3 υβριδισμός.....	47
7.6.4.	Υβριδισμός με συμμετοχή d τροχιακών.....	48
7.7.	Εφαρμογή του υβριδισμού στα μόρια C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2	49
7.8.	Απεντοπισμένοι χημικοί δεσμοί.....	50

7.8.1.	Απεντοπισμένοι χημικοί δεσμοί πάνω σε κλειστές αλυσίδες	50
7.8.2.	Απεντοπισμένοι χημικοί δεσμοί σε ανοικτές αλυσίδες	51
8.	Στοιχειώδη σωματίδια και Κοσμολογία	53
8.1.	Στοιχειώδη σωματίδια	53
8.1.1.	Τα αντισωματίδια	53
8.1.2.	Κβαντική Ηλεκτροδυναμική	54
8.1.3.	Ταξινόμηση των σωματίων	54
8.1.4.	Αδρόνια & quarks	55
8.1.5.	Οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις ως δυνάμεις ανταλλαγής σωματίων φορέων	57
8.2.	Κοσμολογία	60
8.2.1.	Μονάδες μήκους- Κοσμολογική Αρχή- Νόμος του Hubble	60
8.2.2.	Ακτινοβολία υποβάθρου	61
8.2.3.	Κρίσιμη πυκνότητα	62
9.	Συμπεράσματα	64
Παράρτημα Ι : «ΦΕΚ: Προγράμματος Σπουδών του μαθήματος της Φυσικής της Γ' τάξης Γενικού Λυκείου»		65
Βιβλιογραφία		74
Βιβλιογραφικές πηγές από το διαδίκτυο		75

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1 : Πηγάδι Δυναμικού Απείρου Βάθους	20
Εικόνα 2 : Πηγάδι Δυναμικού Πεπερασμένου Βάθους	20
Εικόνα 3 : Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σήραγγας	22
Εικόνα 4	24
Εικόνα 5	25
Εικόνα 6	26
Εικόνα 7	26
Εικόνα 8	26
Εικόνα 9	27
Εικόνα 10	28
Εικόνα 11	28
Εικόνα 12	29
Εικόνα 13	29
Εικόνα 14	31
Εικόνα 15	32
Εικόνα 16	34
Εικόνα 17	35
Εικόνα 18	36
Εικόνα 19	36
Εικόνα 20	36
Εικόνα 21	37
Εικόνα 22 (σχήμα Α & Διάγραμμα Β)	38
Εικόνα 23	38
Εικόνα 24	39
Εικόνα 25	40
Εικόνα 26	40
Εικόνα 27	41
Εικόνα 28	42
Εικόνα 29	43
Εικόνα 30	43
Εικόνα 31	44
Εικόνα 32	45
Εικόνα 33	46
Εικόνα 34	46
Εικόνα 35	47
Εικόνα 36	48
Εικόνα 37	49
Εικόνα 38	49
Εικόνα 39	50
Εικόνα 40	50
Εικόνα 41	51

Εικόνα 42	52
Εικόνα 43	54
Εικόνα 44	55
Εικόνα 45	56
Εικόνα 46	56
Εικόνα 47	57
Εικόνα 48	58
Εικόνα 49	58
Εικόνα 50	58
Εικόνα 51	59
Εικόνα 52	59
Εικόνα 53	62

1. Εισαγωγή

Με απόφαση του Υπουργείου Παιδείας (ΦΕΚ Τεύχος Β' 5381/19.11.2021) αναμορφώνεται το πρόγραμμα σπουδών του μαθήματος της φυσικής των Α', Β' και Γ' τάξεων Γενικού Λυκείου. Για την Γ' Λυκείου προγραμματίζεται η διδασκαλία της κβαντομηχανικής από το έτος 2025-2026.

Ο σύγχρονος πολίτης κατακλύζεται καθημερινά από τα μέσα ενημέρωσης με πληροφορίες για τις προόδους της επιστήμης τόσο στην έρευνα, όσο και στις τεχνολογικές εφαρμογές. Παράλληλα, όμως υπάρχουν και διαδίδονται ψευδείς ειδήσεις και ψευδοεπιστημονικές θεωρίες οι οποίες έχουν μεγάλη επιρροή και οδηγούν πολλούς σε λανθασμένες πρακτικές επιλογές. Το Υπουργείο Παιδείας, η επιστημονική κοινότητα, οι εκπαιδευτικοί πρέπει να οπλίσουν τους μαθητές με εκείνες τις γνώσεις των αρχών και νόμων της Σύγχρονης φυσικής ώστε να τους προστατεύσουν από την επίδραση λανθασμένων και επικίνδυνων θεωριών.

Ιδιαίτερα γύρω από τον όρο «κβαντικός» έχουμε μία έκρηξη της σύγχρονης ψευδοεπιστήμης με βιβλία και διαλέξεις όπου τίτλοι όπως κβαντική κάθαρση ψυχής, κβαντική ίαση, κβαντική θεολογία αποδίδουν σπουδαιοφάνεια σε ακατάληπτες λεκτικές κατασκευές. Η εισαγωγή λοιπόν της κβαντομηχανικής στη διδασκαλία της Φυσικής Γ' Λυκείου είναι αναγκαία όχι μόνο για την καλλιέργεια των ικανοτήτων των μαθητών, για την εισαγωγή τους στο Πανεπιστήμιο και την εξειδίκευσή σε συναφείς επιστημονικούς τομείς, αλλά και για να έχουν τον απαιτούμενο επιστημονικό γραμματισμό ώστε να αναδεικνύεται ο κοινωνικός και ανθρωπιστικός ρόλος του ενεργού πολίτη.

2. Κυματοσωματιδιακός Δυϊσμός του Φωτός

2.1. Ακτινοβολία Μέλανος Σώματος

2.1.1. Περιγραφή του φαινομένου

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να περιγράψουν τι είναι “ακτινοβολία μέλανος σώματος”.
- Να σχεδιάζουν μια κοιλότητα μέλανος σώματος και να γνωρίζουν ότι μετά από επανειλημμένες απορροφήσεις και επανεκπομπές η ακτινοβολία εξέρχεται πλήρως θερμοποιημένη.
- Να γνωρίζουν ότι όλα τα σώματα σε θερμοκρασία από ελάχιστους έως και πολύ υψηλούς βαθμούς Kelvin, εκπέμπουν ακτινοβολία.
- Να αναγνωρίζουν ότι, η ακτινοβολία διαφόρων υλικών (κάρβουνα, πυρακτωμένη ράβδος σιδήρου, ήλιος, γυαλί) δίνουν το ίδιο συνεχές φάσμα (τα αέρια δίνουν γραμμικό φάσμα).

2.1.2. Καμπύλη Εντάσεως Ακτινοβολίας

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να ορίζουν την ένταση της ακτινοβολίας και να εξάγουν τις μονάδες της.
- Να γνωρίζουν την μορφή της καμπύλης της έντασης της ακτινοβολίας με την συχνότητα και το γεγονός ότι αυτή προκύπτει από πειραματικές μετρήσεις.

2.1.3. Νόμος Stefan-Boltzmann

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι ο νόμος S-B είναι πειραματικός και ότι η σταθερά σ δεν εξαρτάται από το υλικό του σώματος.
- Να μπορούν να υπολογίζουν την θερμοκρασία, εφαρμόζοντας τον νόμο S-B (ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο υπολογισμός της θερμοκρασίας ενός λαμπτήρα ή της εστίας της κουζίνας).

2.1.4. Νόμος Μετατόπισης του Wein

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν τη διατύπωση του πειραματικού νόμου του Wein.
- Να σχεδιάζουν καμπύλες J-f για διαφορετικές θερμοκρασίες T_1, T_2 .
- Να υπολογίζουν την θερμοκρασία του ήλιου σύμφωνα με την νόμο του Wein θεωρώντας ότι το λ_{max} της κατανομής αντιστοιχεί στο μέσο περίπου της περιοχής του ορατού φάσματος.

2.1.5. Εμπειρικός Νόμος του Planck

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι οι νόμοι Stefan-Boltzman & Wein προκύπτουν από τον εμπειρικό τύπο του Planck χωρίς απόδειξη.
- Να γνωρίζουν τι είναι ακτινοβολία υποβάθρου και πώς με τον νόμο του Wein ερμηνεύεται η μείωση της θερμοκρασίας του σύμπαντος καθώς αυτό διαστέλλεται.

2.1.6. Η υπεριώδης καταστροφή

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να μπορούν να σχεδιάσουν τις δύο καμπύλες (J-f) των Rayleigh & Janes (κλασσική ερμηνεία) και Planck (κβαντική ερμηνεία).
- Να γνωρίζουν ότι η κλασσική φυσική εφαρμοζόμενη στην περίπτωση του μέλανος σώματος οδηγεί σε αναληθή αποτελέσματα.

2.1.7. Εισαγωγή της έννοιας του φωτεινού κβάντου

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι, για να υπερβεί την αδυναμία της κλασσικής φυσικής, ο Planck θεώρησε ότι η H/M ακτινοβολία αποτελεί μια «βροχή» φωτονίων, δηλαδή είναι κβαντωμένη.
- Να γνωρίζουν ότι η ενέργεια ενός φωτονίου ,όπως δίνεται από τον Planck, λύνει το πρόβλημα των υψηλών συχνοτήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, δεν μπορούν να υπολογιστούν ,από την θερμική ενέργεια μέλανος σώματος, τόσο υψηλές ενέργειες ($E=h*f$) ,με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό η ένταση της ακτινοβολίας.

2.1.8. Εφαρμογές στα κβάντα φωτός

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να υπολογίσουν τις ενέργειες των κβάντων σε όλο το Η/Μ φάσμα.
- Να διακρίνουν την διαφορά χαμηλών-υψηλών συχνοτήτων.

Αναλυτικότερα :

- Χαμηλές συχνότητες $\rightarrow E=h\cdot f$ μικρή \rightarrow Δεν είναι αντιληπτή η κβαντική φύση της ακτινοβολίας.
- Υψηλές συχνότητες $\rightarrow E=h\cdot f$ μεγάλη \rightarrow Είναι ευδιάκριτη η κβαντική φύση της ακτινοβολίας.

Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι θα ήταν χρήσιμο να δοθεί στους μαθητές ένα παράδειγμα όσον αφορά την τάξη μεγέθους των κβάντων, όπως αυτό που ακολουθεί:

- Κβάντα χαμηλών συχνοτήτων ισοδυναμούν με κόκκους άχνης ζάχαρης.
- Κβάντα συχνοτήτων στο φάσμα του ορατού φωτός ισοδυναμούν με κόκκους άμμου.
- Κβάντα συχνοτήτων στο φάσμα του υπεριώδους φωτός ισοδυναμούν με βότσαλα μικρού μεγέθους.
- Κβάντα συχνοτήτων στο φάσμα της ακτινοβολίας Χ ισοδυναμούν με πέτρες μεγάλου μεγέθους.
- Κβάντα συχνοτήτων στο φάσμα της ακτινοβολίας γ ισοδυναμούν με βράχους.

2.2. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

2.2.1. Περιγραφή του φαινομένου

Θα πρέπει οι μαθητές:

- Να γνωρίζουν ότι, ως φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αναφέρεται η απόσπαση δέσμιων ηλεκτρονίων από ένα φυσικό σύστημα, κατά την πρόσπτωση ακτινοβολίας στην επιφάνειά του και όχι η απόσπαση ηλεκτρονίων αποκλειστικά από ένα μεταλλικό σώμα κατά την πρόσπτωση ακτινοβολίας.
- Να μπορούν να σχεδιάζουν μια πειραματική διάταξη για την μελέτη του φαινομένου και να περιγράφουν την λειτουργία της.

- Να γνωρίζουν τι είναι το «δυναμικό αποκοπής» καθώς και το «έργο εξαγωγής», του μετάλλου.

2.2.2. Εμπειρικοί νόμοι

Θα πρέπει οι μαθητές :

- Να γνωρίζουν ότι το Φωτοηλεκτρικό ρεύμα παράγεται μόνο όταν η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι $f \geq f_0$, όπου f_0 : η χαρακτηριστική συχνότητα ακτινοβολίας του μετάλλου ανεξαρτήτως της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.
- Να κατανοούν τον μηχανισμό της κλασσικής θεωρίας του ηλεκτρομαγνητισμού βάση της οποίας, ένα Η/Μ κύμα μέσω του ηλεκτρικού του πεδίου ασκεί στα ηλεκτρόνια δύναμη τέτοια ώστε να τα επιταχύνει και να αυξήσει την κινητική τους ενέργεια.
- Να διαπιστώνουν το ανεξήγητο του κατωφλίου συχνότητας από την κλασσική φυσική, καθώς και με την συνεχή δράση της έντασης (E) του Η/Μ κύματος, το ηλεκτρόνιο θα αποκτούσε την απαιτούμενη ενέργεια για να αποσπασθεί από το άτομο, φαινόμενο το οποίο δεν συμβαίνει.

Επιπλέον, οι μαθητές θα πρέπει να μπορούν να επεξεργασθούν πειραματικά τα παραπάνω συμπεράσματα της θεωρίας. Ειδικότερα:

- Με την αύξηση της φωτεινής έντασης μιας προσπίπτουσας ακτινοβολίας $f < f_0$, να διαπιστώνουν ότι δεν δημιουργείται φωτοηλεκτρικό ρεύμα.
- Να αποδεικνύουν πειραματικά ότι το φωτοηλεκτρικό ρεύμα θα εμφανιστεί αμέσως μετά την πρόσπτωση της ακτινοβολίας, ενώ, σύμφωνα με τον κλασσικό μηχανισμό θα υπήρχε ένα ενδιάμεσο χρονικό διάστημα (η τάξη μεγέθους του υπολογίζεται σε sec).

2.2.3. Η εξίσωση του Einstein

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν το ιστορικό γεγονός ότι, ο Einstein το 1905 δημοσίευσε τρεις εργασίες οι οποίες βραβεύθηκαν η καθεμία ξεχωριστά με βραβείο Νόμπελ.
- Να γνωρίζουν την φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein και να σχεδιάζουν την καμπύλη k-f.
- Να μπορούν με βάση την εξίσωση Einstein να εξηγούν τους πειραματικούς νόμους.

- Να χαράξουν την καμπύλη k-f (με δεδομένες τις τιμές του k από το δυναμικό αποκοπής), να υπολογίζουν την κλίση της γραφικής παράστασης και να αναγνωρίζουν τις πληροφορίες που λαμβάνονται από την κλίση της καμπύλης.

2.2.4. Η χημική δραστηριότητα της Η/Μ ακτινοβολίας

Θα πρέπει οι μαθητές να μπορούν:

- Να γενικεύουν τα συμπεράσματα από την θεωρία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στην δράση του φωτός πάνω στην ύλη.
- Να ερμηνεύσουν την αύξηση της μελανίνης στο δέρμα του ανθρώπινου σώματος ως αποτέλεσμα της συχνότητας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και όχι της έντασής της.
- Να αντιλαμβάνονται ότι, χωρίς την κβάντωση της Η/Μ ακτινοβολίας τα ηλεκτρόνια των ατόμων και των μορίων κατά την συνεχή απορρόφηση ενέργειας από την ακτινοβολία οποιασδήποτε συχνότητας, θα απομακρύνονταν από τα άτομα με συνέπεια την απώλεια του υλικού κόσμου.
- Να αντιλαμβάνονται την εξής αντιστοιχία:
 - Φως => Μεγάλο λ => Χαμηλή E => Μικρή χημική δραστηριότητα
 - Ακτίνες X => Μικρό λ => Υψηλή E ($\approx 10\text{keV}$) => Πολύ μεγάλος αριθμός χημικών αντιδράσεων.

2.3. Το φαινόμενο Compton

2.3.1. Η Ενέργεια και η Ορμή των φωτονίων

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να κατανοούν ότι τα κβάντα φωτός ως σωματίδια έχουν ενέργεια και ορμή.
- Να γνωρίζουν ότι τα φωτόνια δεν έχουν μάζα ηρεμίας διότι δεν μπορούν να υπάρξουν ακίνητα ή να κινηθούν με οποιαδήποτε άλλη ταχύτητα εκτός από αυτήν του φωτός.
- Να εξάγουν την σχέση που συνδέει την ορμή του φωτονίου με το μήκος κύματος.
- Να επιβεβαιώνουν την σωματιδιακή φύση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με ένα πείραμα σύγκρουσης (π.χ. με τα ηλεκτρόνια ενός υλικού)

2.3.2. Περιγραφή του φαινομένου Compton

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να περιγράφουν σχηματικά την σκέδαση Compton.
- Να εφαρμόζουν τις Αρχές Διατήρησης της Ενέργειας και Ορμής στην σκέδαση Compton, αναγνωρίζοντας την σχετικιστική διάσταση των μεγεθών.
- Να αναγνωρίζουν την σχέση που δίνει την μεταβολή στο μήκος κύματος χωρίς να την αποδεικνύουν, εξηγώντας το κάθε μέγεθος ξεχωριστά.
- Να γνωρίζουν ότι το φαινόμενο Compton παρέχει μετρήσιμα αποτελέσματα μόνο όταν η ενέργεια του προσπίπτοντος ηλεκτρονίου είναι συγκρίσιμη με την ενέργεια ηρεμίας του ηλεκτρονίου. Ειδικότερα, θα πρέπει να αναγνωρίζουν ότι το φαινόμενο Compton αναμένεται να παρατηρηθεί με την συμβολή ακτίνων X κι όχι με την σκέδαση του φωτός. Για παράδειγμα, δεν θα πρέπει να αναμένεται η σκέδαση του μπλε φωτός και η αλλαγή του μήκους κύματος της ακτινοβολίας ώστε αυτό να μετατραπεί σε κόκκινο.
- Να γνωρίζουν ότι η πειραματική επιβεβαίωση του φαινομένου Compton καθιστά την υπόθεση του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού του φωτός αναντίρρητη πραγματικότητα.

3. Κυματοσωματιδιακός δυϊσμός της ύλης

3.1. Ατομικά Πρότυπα

Οι μαθητές να μπορούν να περιγράφουν και να σχεδιάζουν τα ατομικά πρότυπα Thomson και Nagaoka.

3.2. Πείραμα Rutherford και πλανητικό πρότυπο

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να περιγράφουν αναλυτικά το πείραμα του Rutherford δίνοντας έμφαση στα λεπτά φύλλα Au που χρησιμοποίησε για την σκέδαση και στην οπισθοσκέδαση ενός όχι αμελητέου ποσοστού σωματιδίων α.
- Να αναγνωρίζουν ότι το πρόβλημα της σταθερότητας των πυρήνων υφίσταται ακόμη κι αν θεωρήσουμε ότι οι νόμοι της H/M ακτινοβολίας ισχύουν σε μακροσκοπικά συστήματα και όχι στον μικρόκοσμο. Αν ένα «θεϊκό χέρι» διέλυε το πλανητικό μας σύστημα και «ξαναέριχνε» τους πλανήτες δεν θα έφτιαχνε το ίδιο πλανητικό σύστημα. Αντίθετα, στο εργαστήριο, εάν διαλυθεί ένα άτομο (χωρίς να διαλυθεί ο πυρήνας του) και επανατοποθετηθούν τα ηλεκτρόνια, θα προκύψει το ίδιο ακριβώς άτομο.
- Να γνωρίζουν ότι η σταθερότητα του ατόμου δεν ερμηνεύεται με την κλασική φυσική, γεγονός το οποίο αποτέλεσε την μεγαλύτερη κρίση της ιστορίας της.

3.3. Πρότυπο του Bohr

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν τις συνθήκες που εισήγαγε για το άτομο ο Bohr και να αναγνωρίζουν τον αξιωματικό χαρακτήρα της (ιδίως της 1^{ης} συνθήκης), με την πλήρη εξήγηση να δίνεται από την κβαντομηχανική.
- Με εφαρμογή της 1^{ης} συνθήκης του Bohr και του δεύτερου Νόμου του Νεύτωνα, να βρίσκουν τον τύπο των ακτίνων των τροχιών, των ενεργειών και των ταχυτήτων των ηλεκτρονίων.
- Να αντιληφθούν τον τεράστιο κενό χώρο στο άτομο μεταξύ πυρήνα και ηλεκτρονίων με παραδείγματα της άμεσης αντίληψής τους για τον μακρόκοσμο. Δηλαδή, αν ο πυρήνας ήταν ένας κόκκος ζάχαρης το άτομο θα ήταν ένα δωμάτιο. Το άτομο κατά 99.999% είναι «κούφιο».

- Να γνωρίζουν ως καταλληλότερες μονάδες μήκους για το άτομο το 1 Å και για την ενέργεια το 1eV.
- Να προσδιορίζουν το μήκος κύματος και την συχνότητα των εκπεμπόμενων ή απορροφούμενων φωτονίων με τις συνθήκες του Bohr, καθώς και την ενέργεια ιοντισμού των ατόμων του υδρογόνου.
- Να αναγνωρίζουν ότι το πρότυπο του Bohr έχει κβαντικά χαρακτηριστικά (συνθήκες του Bohr) αλλά και κλασσικά χαρακτηριστικά, όπως η τροχιά. Επομένως, σχοινοβατεί ανάμεσα στην κλασσική Φυσική και την κβαντομηχανική.
- Να σχεδιάζουν τα ενεργειακά διαγράμματα και να αναγνωρίζουν το φάσμα εκπομπής του H της σειράς Lyman, Balmer, Paschen-Back. Επίσης θα πρέπει να γνωρίζουν ότι ένα ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να ανέβει ενεργειακό επίπεδο παίρνοντας βαθμιαία ενέργεια, οι ενέργειες είναι κβαντωμένες.
- Με βάση τα ενεργειακά διαγράμματα για το άτομο του υδρογόνου να γνωρίζουν γενικότερα ότι για $n \rightarrow \infty$ ισχύουν οι κλασσικοί νόμοι.

3.4. Υπόθεση de Broglie

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι τα χαρακτηριστικά ενός κύματος είναι η συχνότητα και το μήκος κύματος, ενώ του σωματιδίου, είναι η ενέργεια και η ορμή. Στην κλασσική Φυσική, ένα σωματίδιο είναι εντοπισμένο και αδιαίρετο, ενώ ένα κύμα είναι εκτεταμένο και αδιαίρετο.
- Να γνωρίζουν την αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού της ύλης του de Broglie και να διατυπώνουν τις ακόλουθες σχέσεις:
 - $E = h \cdot f$, $p = h/\lambda$ αν πρόκειται για H/M κύματα
 - $f = E/h$, $\lambda = h/p$ αν πρόκειται για σωματίδια
- Να γνωρίζουν ότι για μεγάλα σώματα το μήκος κύματος είναι πολύ μικρό, επομένως αυτά δεν έχουν κυματική συμπεριφορά.
- Να γράφουν σε έναν μικρό πίνακα τα φαινόμενα που το φως συμπεριφέρεται ως κύμα και φαινόμενα στα οποία συμπεριφέρεται ως δέσμη σωματιδίων.
- Να γνωρίζουν σε τι πειράματα εκδηλώνεται η κυματική συμπεριφορά των σωματιδίων και ότι το μήκος κύματός τους πρέπει να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με οπές ή εμπόδια που τα σωματίδια συναντούν.
- Υποθέτοντας ότι το ηλεκτρόνιο δημιουργεί στάσιμα κύματα κατά μήκος της κυκλικής τροχιάς στο άτομο, να εξαχθεί η συνθήκη κβάντωσης της στροφορμής του Bohr. Η πλήρης εξήγηση θα δοθεί αργότερα με την κβαντομηχανική.

- Να περιγράψουν το πείραμα Davisson-Germer και να εξάγουν τις σχετικές σχέσεις μήκους κύματος της προσπίπτουσας δέσμης ηλεκτρονίων και γωνίας σκέδασης. Η πειραματική επαλήθευση αυτής της σχέσης επιβεβαιώνει την αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού.

3.5. Εφαρμογή στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι από την σχέση $d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda$ αν το μήκος κύματος λ είναι γνωστό και υπολογιστεί η γωνία θ είναι δυνατή η εύρεση της πλεγματικής σταθεράς d .
- Να γνωρίζουν ότι με όλους τους τύπους μικροσκοπίων οι λεπτομέρειες που διακρίνονται στα αντικείμενα είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος κύματος της χρησιμοποιούμενης ακτινοβολίας.
- Να αναγνωρίζουν ότι με την εφαρμογή μικροσκοπίων τα οποία χρησιμοποιούν ορατό φως, με $\lambda=6000 \text{ \AA}$, δεν δυνατός ο εντοπισμός λεπτομερειών της τάξης του 1 \AA . Ωστόσο, τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια, ανάλογα με την ενέργεια της δέσμης των ηλεκτρονίων, προσφέρουν την δυνατότητα εντοπισμού λεπτομερειών της τάξης των μm ή των \AA .

3.6. Αρχή της Αβεβαιότητας

3.6.1. Η Αρχή αβεβαιότητας Θέσης- Ορμής

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να διατυπώνουν την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg, να γράφουν την μαθηματική σχέση $\Delta p \cdot \Delta x \geq h/2\pi$ και να γνωρίζουν την στατιστική έννοια της αβεβαιότητας.
- Να αναγνωρίζουν την αρχή της αβεβαιότητας ως μια από τις μεγαλύτερες επιστημονικές ανακαλύψεις όλων των εποχών, καθότι ερμηνεύει το γεγονός της ύπαρξης της ύλης.
- Να δίνουν την φυσική εξήγηση της αρχής της αβεβαιότητας ως συνέπεια της κυματικής φύσης των σωματιδίων. Από την περίθλαση ενός κύματος πάνω σε σχισμή να εξάγουν σχέση, όπου μεγαλώνοντας την σχισμή, θα έχουμε ευθύγραμμη διάδοση άρα θα μικραίνει η εγκάρσια συνιστώσα της ορμής, ενώ μικραίνοντας την σχισμή θα μεγαλώνει η εγκάρσια συνιστώσα της ορμής.

- Να γνωρίζουν ότι η αρχή της αβεβαιότητας εξηγεί το γεγονός ότι τα άτομα είναι σταθερά έναντι των συμπίεσεων και κρούσεων. Αναλυτικότερα, εάν ελαττωθεί το μέγεθος του ατόμου, δηλαδή, εάν μειωθεί η αβεβαιότητα της θέσεως, θα αυξηθεί η αβεβαιότητα της ορμής, και κατ'επέκταση η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων. Αντίστοιχα, αν αυξηθεί το μέγεθος του ατόμου θα μειωθεί η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων. Συνεπώς, τα ηλεκτρόνια «επιλέγουν» τη βέλτιστη απόσταση από τον πυρήνα. Την συνθήκη αυτή οι μαθητές θα πρέπει να μπορούν να την εκφράσουν με βάση την γραφική παράσταση ενέργειας ηλεκτρονίου και απόστασης από τον πυρήνα. Ενδεικτικά, θα πρέπει να γνωρίζουν ότι για την ελάττωση του μεγέθους του ατόμου απαιτούνται εκατομμύρια atm
- Να γνωρίζουν ότι οι τεράστιες ενέργειες των πυρήνων των ατόμων δεν προκύπτουν από την εξίσωση του Einstein ($E=mc^2$), αλλά από το γεγονός ότι τα σωματίδια του πυρήνα βρίσκονται σε πολύ μικρές περιοχές. Επομένως, με βάση την αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg, τα σωματίδια του πυρήνα έχουν πολύ μεγάλη ενέργεια.
- Να αναγνωρίζουν ότι με την αρχή απροσδιοριστίας για την ορμή και την θέση του ηλεκτρονίου, δεν έχει νόημα η έννοια της τροχιάς στο ατομικό πρότυπο.
- Να ελέγξουν την αρχή απροσδιοριστίας για ηλεκτρόνιο και για ένα μπαλάκι του τένις, όπου $\Delta x/x \rightarrow 0$, $\Delta p/p \rightarrow 0$, να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι στον μακρόκοσμο κυριαρχεί η κλασσική φυσική.

3.6.2. Η αρχή αβεβαιότητας Χρόνου-Ενέργειας

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να αναγνωρίζουν ότι, η αβεβαιότητα στη μέτρηση της ενέργειας ενός σωματιδίου το οποίο βρίσκεται σε μία κατάσταση και ο χρόνος για τον οποίο αυτό βρίσκεται σε αυτή την κατάσταση, συνδέονται με τη σχέση $\Delta E \cdot \Delta t = h/2\pi$.
- Να κατανοούν ότι, με βάση την παραπάνω σχέση της αρχής της αβεβαιότητας, όταν το ηλεκτρόνιο βρίσκεται σε καταστάσεις που μεταβάλλονται αργά με τον χρόνο θα έχουν μικρότερες απροσδιοριστίες στην ενέργεια, αν βρίσκεται σε καταστάσεις που μεταβάλλονται γρήγορα με τον χρόνο (σε διεγερμένη $\Delta t=10^{-8}$ s) θα παρουσιάζεται απροσδιοριστία στην ενέργεια, σε αυτήν οφείλεται το γεγονός ότι οι φασματικές γραμμές δεν είναι αυστηρά καθορισμένες αλλά η κάθε μία εμφανίζει ένα φυσικό εύρος. Τα τελευταία μπορούν να τα αναπαραστήσουν με ένα διάγραμμα $\Delta E = \hbar/\Delta t$.

4. Κυματοσυναρτήσεις και εξίσωση Schrödinger

4.1. Σωματίδιο σε σωληνάκι μήκους L

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να περιγράφουν τις ομοιότητες μιας πακτωμένης στα άκρα της χορδής, στην οποία έχουν δημιουργηθεί στάσιμα κύματα και ενός σωματιδίου εγκλωβισμένου σε μονοδιάστατο σωληνάκι μήκους L.
- Να εφαρμόζουν τις παραδοχές του κυματοσωματιδιακού δυΐσμου και της δημιουργίας στάσιμων κυμάτων και να εξάγουν τις επιτρεπόμενες ενεργειακές στάθμες.
- Να διαπιστώνουν ότι δεν υπάρχει κατάσταση ηρεμίας για το σωματίδιο, δηλαδή ότι δεν μηδενίζεται η ενέργειά του.
- Να σχεδιάζουν ένα ενεργειακό διάγραμμα και να αντιλαμβάνονται ότι οι ενέργειες είναι κβαντωμένες, δηλαδή ότι δεν επιτρέπονται οι βαθμιαίες μεταβολές αλλά μόνο τα κβαντικά άλματα.

4.2. Από την εξίσωση των υλικών κυμάτων στην εξίσωση Schrödinger.

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γράφουν την εξίσωση ενός υλικού κύματος της κλασσικής θεωρίας με την αρμονική και την μιγαδική μορφή.
- Να γνωρίζουν ότι η ταλάντωση μιας χορδής περιγράφεται από την εξίσωση $U(x,t) = U(x) \cdot \cos(\omega t)$ η οποία επαληθεύει την διαφορική εξίσωση $U_{xx} - (1/C^2)U_{tt} = 0$ και καταλήγει στην $U''(x) + \kappa^2 U(x) = 0$ όπου $\kappa = \omega/c = 2\pi/\lambda$ όπου c η ταχύτητα διάδοσης του κύματος. Για όλα τα μεγέθη να δοθεί αναλυτική περιγραφή¹.
- Να γνωρίζουν ότι η λύση της διαφορικής εξίσωσης $U''(x) + \kappa^2 U(x) = 0$ είναι της μορφής $U(x) = A\sin(kx) + B\cos(kx)$ (χωρίς αυστηρή μαθηματική απόδειξη) και εφαρμόζοντας τις συνοριακές συνθήκες να καταλήγουν στην σχέση $L = n \cdot (\lambda/2)$ ή $f_n = n \cdot (c/2L)$.

¹ Τα παραπάνω θα πρέπει να διδαχθούν εφόσον έχει προηγηθεί η διδασκαλία των μιγαδικών αριθμών και των παραγώγων στα μαθηματικά.

4.3. Εξίσωση Schrödinger.

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να αναγνωρίζουν τις ομοιότητες που υπάρχουν ανάμεσα στη διαφορική εξίσωση για τα υλικά κύματα και στην εξίσωση Schrödinger.

Προτείνεται η εξής αλληλουχία :

$$U''(x) + \kappa^2 U(x) = 0 \quad \xRightarrow{U(x) \rightarrow \Psi(x)} \quad \Psi''(x) + \kappa^2 \Psi(x) = 0 \quad \xRightarrow{\substack{P = \hbar \kappa \\ E = \hbar \omega}} \quad \Psi''(x) + \kappa^2 \Psi(x) = 0$$

$$\Psi''(x) + (p^2/\hbar^2) \Psi(x) = 0 \quad \xRightarrow{\substack{(P^2/2m) + V(x) = E \\ P^2 = 2m [E - V(x)]}} \quad \Psi''(x) + (2m/\hbar^2) [E - V(x)] \cdot \Psi(x) = 0$$

- Να γνωρίζουν ότι η κυματοσυνάρτηση Ψ δεν αντιπροσωπεύει ένα κλασσικό κύμα (δεν υπάρχει τίποτα που να κυμαίνεται), αλλά ένα κύμα πιθανότητας και πιο συγκεκριμένα ένα κύμα πλάτους πιθανότητας.
- Να αναγνωρίζουν όλα τα μεγέθη που εμφανίζονται στην χρονοανεξάρτητη εξίσωση του Schrödinger για μια διάσταση.
- Να γνωρίζουν ότι η δεδομένη διαφορική εξίσωση αποτελεί για την κβαντική μηχανική ότι η εξίσωση του Νεύτωνα για την κλασσική Μηχανική².
- Να γνωρίζουν ότι το γινόμενο $|\Psi|^2 \cdot dx$ εκφράζει την πιθανότητα του σωματιδίου να βρίσκεται σε μήκος dx την δεδομένη χρονική στιγμή (για προβλήματα στον χώρο επεκτείνουμε στις τρεις διαστάσεις), $P(x) = |\Psi(x)|^2$ ή $P(x) = \Psi(x)$ (το απόλυτο χρησιμοποιείται διότι το $\Psi(x)$ μπορεί να πάρει και μιγαδικές τιμές).
- Να αντιλαμβάνονται ότι το άθροισμα των πιθανοτήτων που έχει το σωματίδιο να βρίσκεται σε όλο το μήκος (στην περίπτωση του χώρου σε όλο τον όγκο) ισούται με ένα, δηλαδή: $\int |\Psi(x)|^2 dx = 1$
- Για την κυματοσυνάρτηση θα πρέπει να γνωρίζουν τη συνθήκη κανονικοποίησης της $\int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi(x)|^2 dx = 1$, αφού το σωματίδιο πρέπει κάπου να βρίσκεται. Εφόσον το αποτέλεσμα του ανωτέρω ολοκληρώματος είναι η μονάδα, η κυματοσυνάρτηση θα πρέπει να μηδενίζεται στο άπειρο δηλαδή $\Psi(-\infty) = \Psi(+\infty) = 0$
- Να αντιληφθούν ότι η αντίφαση σωματιδίου (το οποίο είναι εντοπισμένο και αδιαίρετο) και κύματος (το οποίο είναι εκτεταμένο και διαιρετό), αίρεται με την παραδοχή της κυματοσυνάρτησης ως κύμα πιθανότητας. Από το

² Σε αυτό το σημείο οι διδάσκοντες θα πρέπει να διδάξουν ή να υπενθυμίσουν στους μαθητές τις βασικές έννοιες της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης ή αβεβαιότητας για την κβαντομηχανική. Προτείνεται να προηγηθεί η διδασκαλία των διακριτών στατιστικών κατανομών κι έπειτα, των συνεχών κατανομών με έμφαση στην Γκαουσιανή κατανομή.

τετράγωνο της κυματοσυνάρτησης υπολογίζεται η πιθανότητα του σωματιδίου να βρίσκεται στο σημείο A ή στο σημείο B. Είναι αδύνατον να βρίσκεται ταυτόχρονα και στο A και στο B.

4.4. Σωματίδιο σε πηγάδι δυναμικού.

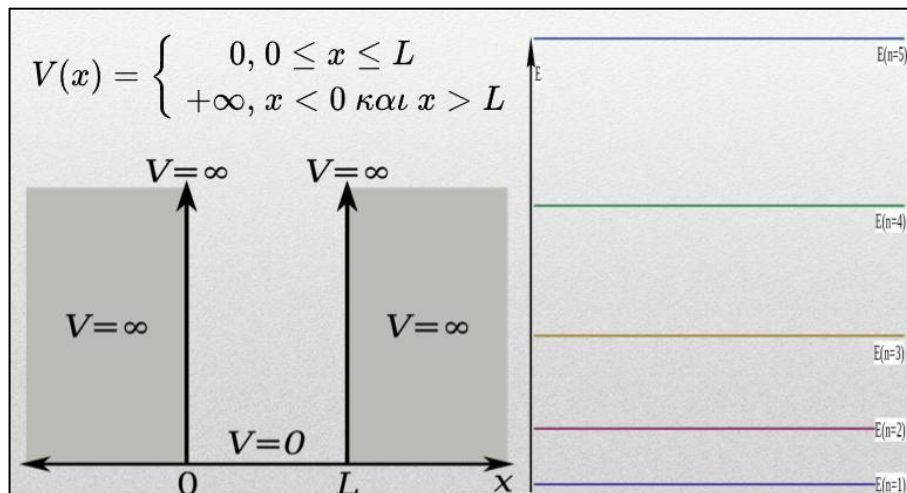
Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να περιγράψουν ένα σωματίδιο παγιδευμένο σε μία περιοχή του χώρου, για παράδειγμα, ένα ηλεκτρόνιο θεωρείται ότι λόγω ελκτικών δυνάμεων από τον πυρήνα είναι παγιδευμένο στην περιοχή του ατόμου.

4.4.1. Πηγάδι Δυναμικού Απείρου Βάθους

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να μπορούν να διατυπώσουν μαθηματικά και να αποδώσουν γραφικά την δυναμική ενέργεια σε συνάρτηση με το μήκος, για ένα ηλεκτρόνιο παγιδευμένο σε σωληνάκι.
- Να γνωρίζουν ότι όπως σε κάθε πρόβλημα της κβαντομηχανικής, έτσι και σε αυτό, ο σκοπός είναι να λυθεί η εξίσωση του Schrödinger.
- Να αντιληφθούν ότι για $V(x)=0$, η εξίσωση του Schrödinger γίνεται $\Psi'' + \left(\frac{2mE}{\hbar^2}\right)\Psi=0$ και τελικά $\Psi'' + \kappa^2 \Psi = 0$, η οποία είναι ίδια με την εξίσωση της ταλαντευόμενης χορδής.
- Να γνωρίζουν ότι η λύση της διαφορικής εξίσωσης είναι $\Psi(x) = A \sin(\kappa x) + B \cos(\kappa x)$ και με εφαρμογή των συνοριακών συνθηκών $\Psi(0)=0$ και $\Psi(L)=0$ έχουμε $E_n = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} n^2$.
- Να εξάγουν το συμπέρασμα ότι η ενέργεια του σωματιδίου είναι κβαντωμένη και το σωματίδιο δεν βρίσκεται ποτέ σε κατάσταση ηρεμίας.
- Να μπορούν να σχεδιάζουν στο διάστημα $0-L$, στο οποίο είναι εγκλωβισμένο το σωματίδιο, την ημιτονοειδή μορφή με μήκος κύματος $\lambda=2L/n$, όπου $n=1,2,3,\dots$ καθώς και το ενεργειακό διάγραμμα για τις κβαντισμένες τιμές της ενέργειας $E_1, E_2=4E_1, E_3=9E_1,\dots$
- Να αντιληφθούν ότι οι μαθηματικές σχέσεις για τα κβαντικά κύματα, οι σχέσεις που δίνουν την κβάντωση συχνότητας και κβάντωση ενέργειας για $\hbar \rightarrow 0$ και $m \rightarrow +\infty$, δίνουν το κλασικό όριο. Σε αυτήν την περίπτωση θα ισχύει $E_1=0$.

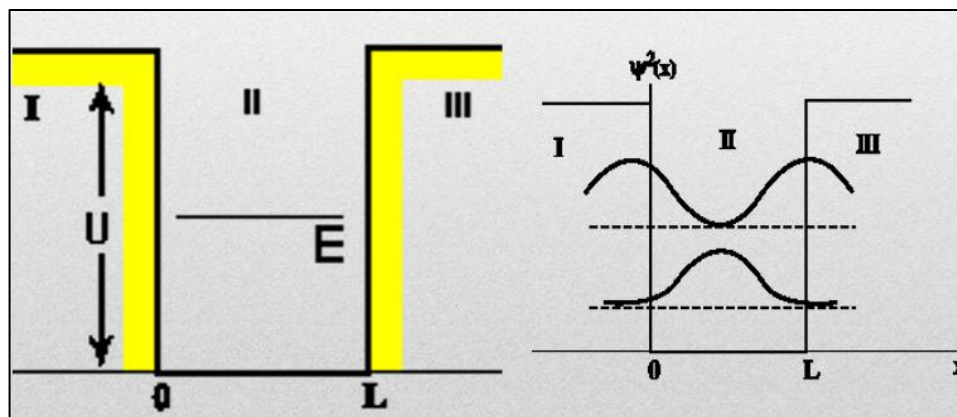


Εικόνα 1 : Πηγάδι Δυναμικού Απειρού Βάθους

4.4.2. Πηγάδι Δυναμικού Πεπερασμένου Βάθους

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να κατανοούν την διαφορά μεταξύ απειρόβαθου πηγαδιού και πηγαδιού πεπερασμένου βάθους και να μπορούν να τα αποδώσουν σχηματικά.
- Να γνωρίζουν την μορφή που θα έχει η κυματοσυνάρτηση $\Psi(x)$, η οποία προκύπτει από την επίλυση της εξίσωσης Schrödinger, ιδιαιτέρως στα άκρα $x=0$ & $x=L$ όπου η $\Psi(x)$ είναι μια εκθετικά φθίνουσα συνάρτηση του x και όχι μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι το σωματίδιο ,παρά το γεγονός ότι, δεν έχει την απαιτούμενη κινητική ενέργεια ώστε να «βγει» από το πηγάδι σύμφωνα με την κλασική θεωρία, έχει μικρή πιθανότητα να βρεθεί εκτός του πηγαδιού.

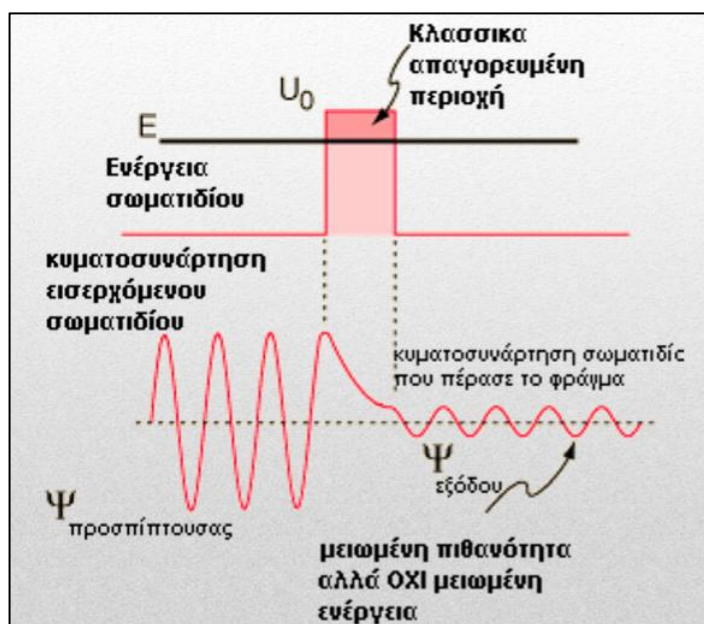


Εικόνα 2 : Πηγάδι Δυναμικού Πεπερασμένου Βάθους

4.4.3. Φαινόμενο Σήραγγας

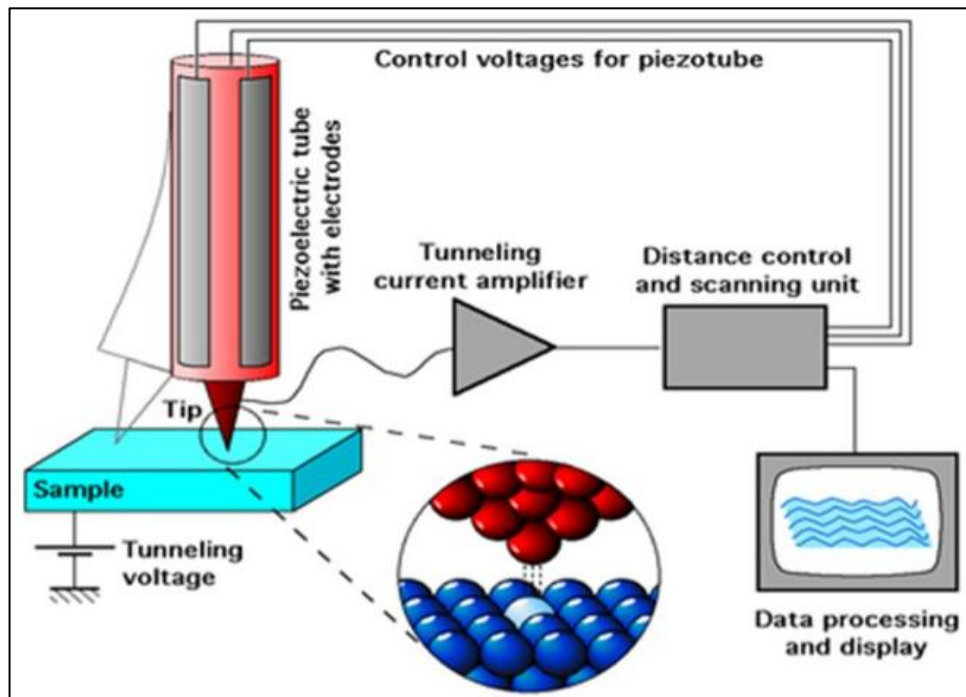
Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι το παραπάνω κι ιδιαίτερα σημαντικό φαινόμενο της κβαντομηχανικής δεν βρίσκει εφαρμογές στα σώματα του μακρόκοσμου (π.χ. μπαλάκια να διαπερνούν τοίχους). Τέτοιου είδους αντιστοιχίσεις δημιουργούν παρανοήσεις και διαστρεβλώνουν τις αρχές της κβαντομηχανικής. Οι διδάσκοντες χρησιμοποιούν παραδείγματα από τον μακρόκοσμο ,προκειμένου οι μαθητές να κατανοήσουν το φαινόμενο, άλλωστε, ο ίδιος ο όρος «φαινόμενο σήραγγας» παραπέμπει στον μακρόκοσμο. Θα πρέπει λοιπόν, να επισημαίνεται στους μαθητές ότι τέτοια φαινόμενα συμβαίνουν με κβαντικά σωματίδια και όχι με σώματα του μακρόκοσμου.
- Να περιγράφουν, τόσο σχηματικά όσο και με γραφικές παραστάσεις, το φαινόμενο κατά το οποίο, για ένα ηλεκτρόνιο που προσπίπτει σε ένα «σκαλοπάτι» υψηλότερου δυναμικού από την ενέργειά του, προβλέπεται μόνο η ανάκλασή του, σύμφωνα με την κλασική θεωρία. Αντίθετα, με βάση την κβαντική θεωρία, προβλέπεται η πιθανότητα του ηλεκτρονίου να διαπεράσει το «σκαλοπάτι», πρόβλεψη η οποία επιβεβαιώνεται πειραματικά.
- Να μπορούν να σχεδιάζουν την γραφική παράσταση μιας κυματοσυνάρτησης $\Psi(x)$, πριν το φράγμα δυναμικού (που είναι ημιτονοειδής), στο εσωτερικό του φράγματος (που είναι φθίνουσα) και μετά το φράγμα (που είναι ημιτονοειδής μικρότερου πλάτους).



Διάγραμμα 1

Όσον αφορά τα παραδείγματα τα οποία θα πρέπει να αναφέρουν οι διδάσκοντες σχετικά με το φαινόμενο της σήραγγας για την κατανόησή του από τους μαθητές, θα πρέπει να αναφερθούν κάποιες από τις σημαντικότερες εφαρμογές του φαινομένου. Τέτοιες είναι η κίνηση ηλεκτρονίων μέσα από το μονωτικό οξειδίο του χαλκού μεταξύ δύο χάλκινων συρμάτων. Έπειτα, είναι η εκπομπή σωμάτων άλφα κατά την ραδιενεργό διάσπαση άλφα. Τέλος, είναι η πυρηνική αντίδραση σύντηξης και η λειτουργία του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σήραγγας.

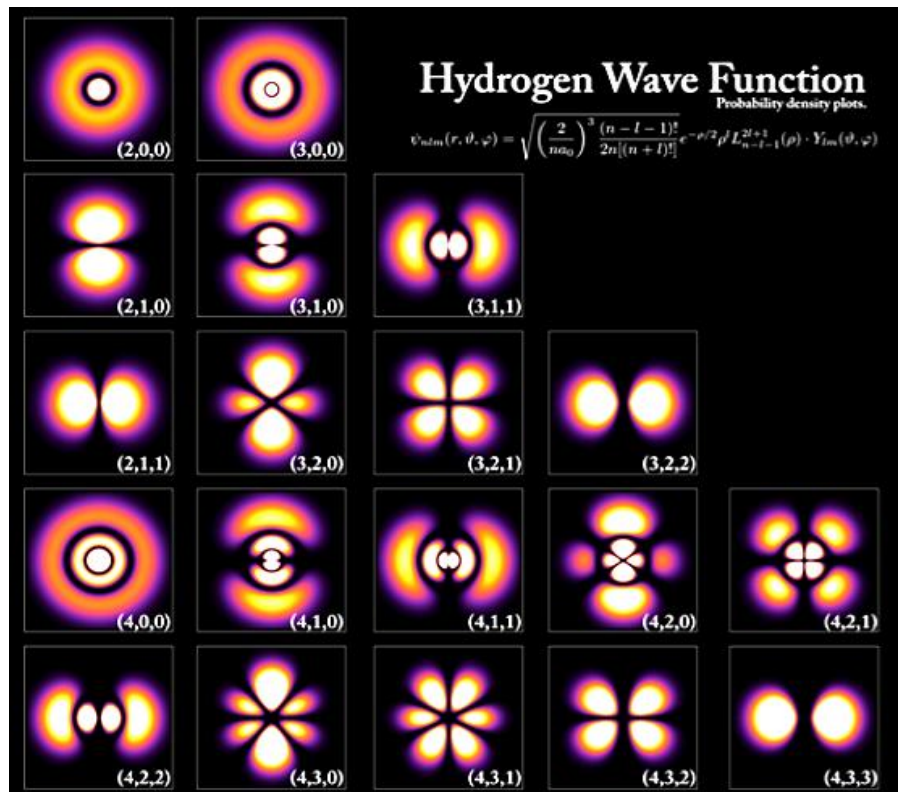


Εικόνα 3 : Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σήραγγας

5. Το άτομο του Υδρογόνου

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι από το άτομο του υδρογόνου ξεκίνησε η κβαντική θεωρία και επιστρέφει στο υδρογόνο για να προσφέρει ,με τις λύσεις της χρονοανεξάρτητης εξίσωσης του Schrödinger για την δέσμια κίνηση του ηλεκτρονίου, τις κβαντωμένες ενέργειες και τις αντίστοιχες κυματοσυναρτήσεις.
- Να γνωρίζουν ως πληροφορία (χωρίς μαθηματικές αποδείξεις), ότι οι κβαντωμένες τιμές της ενέργειας, που θα προκύψουν από την λύση της εξίσωσης του Schrödinger, είναι ίδιες με αυτές που προκύπτουν από το πρότυπο του Bohr.
- Να αναγνωρίζουν τις κυματοσυναρτήσεις $\Psi(x)$ που αποτελούν λύσεις της ακτινικής εξίσωσης Schrödinger και να γνωρίζουν ότι από αυτές προκύπτει πώς είναι κατανομημένα τα νέφη πιθανότητας για την εύρεση του ηλεκτρονίου. Αυτά τα νέφη πιθανότητας ονομάζονται τροχιακά, προκειμένου να συμβιβάσουν την παλιά με τη νέα θεωρία για το άτομο.
- Να αντιλαμβάνονται την εικόνα του τροχιακού, την πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου και να γνωρίζουν ότι εκτός του ορίου του δεν μηδενίζεται απότομα αυτή η πιθανότητα.
- Να γνωρίζουν ότι ,παρόλο που το πρότυπο του Bohr και το κβαντομηχανικό πρότυπο δίνουν την ίδια ενέργεια, έχουν μια σημαντική διαφοροποίηση. Ειδικότερα, στο ατομικό πρότυπο του Bohr το ηλεκτρόνιο έχει στροφορμή στην θεμελιώδη κατάσταση ενώ, στο κβαντομηχανικό πρότυπο έχει μηδενική στροφορμή στη θεμελιώδη κατάσταση και αυτό υπόκειται σε πειραματικό έλεγχο. Αυτή η διαφορά καθιστά το κβαντομηχανικό πρότυπο προτιμητέο έναντι του ατομικού προτύπου του Bohr.



Εικόνα 4

5.1. Κβαντικοί Αριθμοί n, l, m

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι οι κυματοσυναρτήσεις από την πλήρη λύση της εξίσωσης Schrödinger καθορίζονται, άρα και η κατάσταση του ηλεκτρονίου καθορίζεται από τους τρεις κβαντικούς αριθμούς n,l,m_l.
- Να γνωρίζουν ότι:
 - Ο κύριος κβαντικός αριθμός (n) εμφανίζεται στον τύπο υπολογισμού της ενέργειας $E_n = -\frac{me^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}$, δηλαδή καθορίζει την ενέργεια του ηλεκτρονίου και παίρνει τιμές n= 1,2,..., +∞.
 - Ο δευτερεύον κβαντικός αριθμός, καθορίζει τις δυνατές τιμές του μέτρου της στροφορμής μέσω της σχέσης $\vec{l}^2 = \hbar^2 l(l+1)$ που είναι κβαντωμένη ποσότητα και παίρνει τιμές l=0,1,...,n-1
 - Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός, καθορίζει τις δυνατές τιμές της προβολής της στροφορμής στον zζ', $l_z = \hbar m$ που είναι κβαντωμένη

ποσότητα και παίρνει τιμές $m=-1, \dots, +1$. Με βήμα κατά μονάδα έχει $2l+1$ τιμές.

- Να γνωρίζουν ότι ,οι κβαντωμένες τιμές της στροφορμής θα είναι:

➤ Για $l=0 \Rightarrow |\vec{l}| = 0$

➤ Για $l=1 \Rightarrow |\vec{l}| = \hbar\sqrt{2}$

➤ Για $l=2 \Rightarrow |\vec{l}| = \hbar\sqrt{6}$

Και οι κβαντωμένες τιμές για τον προσανατολισμό θα είναι για $l=1$:

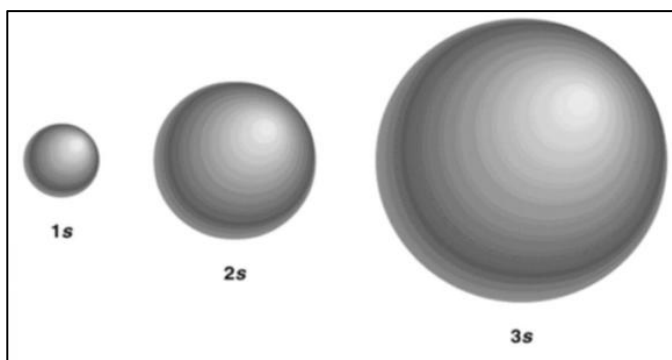
➤ Για $m_l=-1 \Rightarrow l_z = -\hbar$

➤ Για $m_l=0 \Rightarrow l_z = 0$

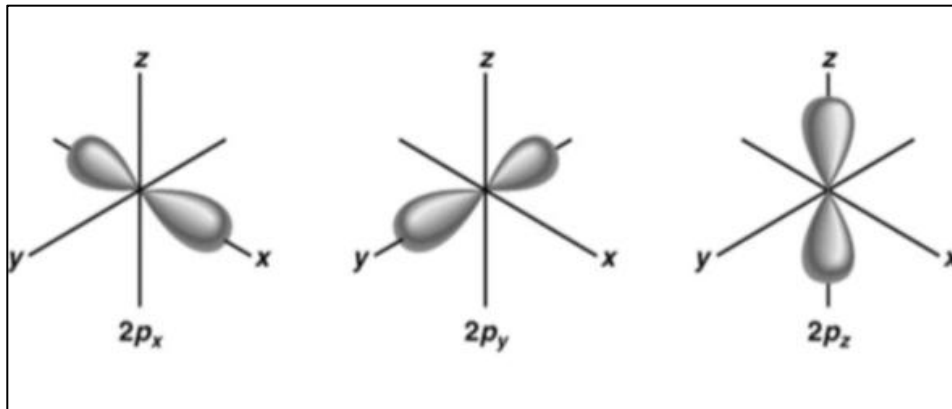
➤ Για $m_l=1 \Rightarrow l_z = \hbar$

Ομοίως για $l=2$.

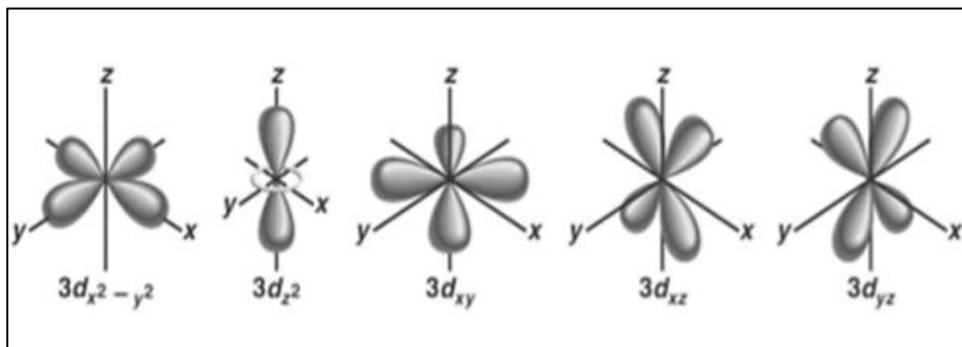
- Να γνωρίζουν ότι δεν είναι δυνατόν να είναι γνωστές δύο προβολές της στροφορμής l ταυτόχρονα. Οι αρχές της αβεβαιότητας διέπουν τις συνιστώσες της στροφορμής, έτσι είναι γνωστά με ακρίβεια το μέτρο του διανύσματος της στροφορμής και μία μόνο προβολή του.
- Να μπορούν να γράφουν τις κυματοσυναρτήσεις και να αναγνωρίζουν τον συμβολισμό Ψ_{nlm_l} . Για παράδειγμα Ψ_{200} σημαίνει κυματοσυνάρτηση για $n=2$, $l=0$, $m_l=0$.
- Να γνωρίζουν τον φασματοσκοπικό συμβολισμό :
 - $l=0 \rightarrow s$ τροχιακό \rightarrow σχήμα εικόνας 5
 - $l=1 \rightarrow p$ τροχιακό \rightarrow σχήμα εικόνας 6
 - $l=2 \rightarrow d$ τροχιακό \rightarrow πολύπλοκο σχήμα εικόνας 7
 - $l=3 \rightarrow f$ τροχιακό \rightarrow σχήμα εικόνας 8



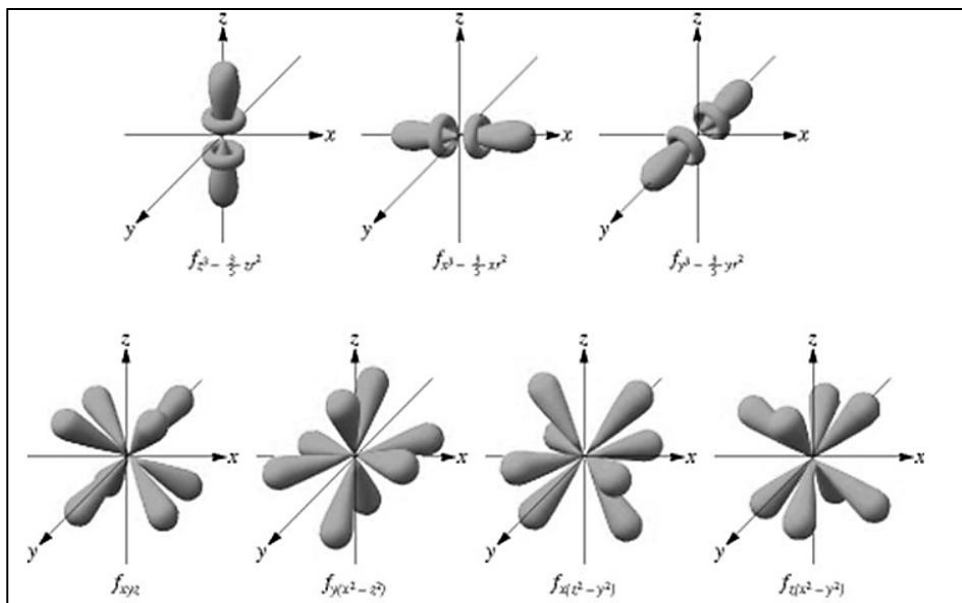
Εικόνα 5



Εικόνα 6



Εικόνα 7



Εικόνα 8

- Να μπορούν να συσχετίζουν την μορφή του τροχιακού με την ύπαρξη στροφορμής. Έτσι, ηλεκτρόνια του τροχιακού s δεν έχουν στροφορμή και μπορούν να «ακουμπήσουν» στον πυρήνα. Για τον λόγο αυτό, τα τροχιακά p έχουν σχήμα λοβού όπου η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο στον πυρήνα μηδενίζεται.

Διαίρεση ενεργειακών σταθμών σε τροχιακά					
Κβαντικοί αριθμοί			Τροχιακά		Σύμβολο τροχιακού
n	l	m _l	Είδος	Αριθμός	
1	0	0	s	1	1s
2	0	0	s	1	2s
	1	-1,0,+1	p	3	2p _x 2p _y 2p _z
3	0	0	s	1	3s
	1	-1,0,+1	p	3	3p _x 3p _y 3p _z
	2	-2,-1,0,+1,+2	d	5	3d _{yz} 3d _{xz} 3d _{xy} 3d _{x²-y²} 3d _{z²}
4	0	0	s	1	4s
	1	-1,0,+1	p	3	4p _x 4p _y 4p _z
	2	-2,-1,0,+1,+2	d	5	4d _{yz} 4d _{xz} 4d _{xy} 4d _{x²-y²} 4d _{z²}
	3	-3,-2,-1,0,+1,+2,+3	f	7	... 7 τροχιακά

n = 1,2,3,4, ...

l = 0,1,2,3, ..., (n-1)

m_l = -l, -l+1, -l+2, ..., l, l+1, l+2

Εικόνα 9

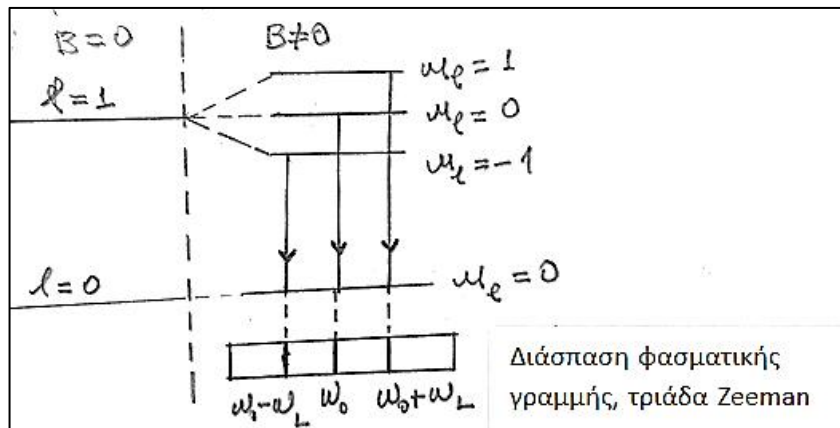
5.2. Το άτομο σε εξωτερικό μαγνητικό πεδίο

5.2.1. Φαινόμενο Zeeman

Θα πρέπει οι μαθητές :

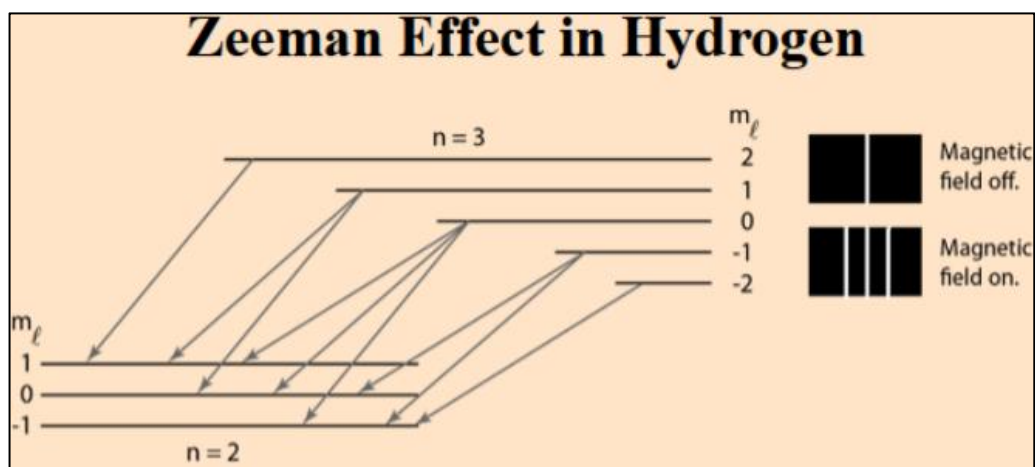
- Να γνωρίζουν ότι η περιστροφή του ηλεκτρονίου στο άτομο του H δημιουργεί μια μαγνητική ροπή με μέτρο της προβολής της στον άξονα zz' ίσο με $|\mu_z| = \frac{e \cdot l_z}{2m_e c} \Rightarrow |\mu_z| = \frac{e\hbar}{2m_e c} m$. Αν το άτομο βρεθεί σε ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο θα αλληλεπιδράσει με αυτό μέσω της μαγνητικής ροπής. Τότε στα γνωστά ενεργειακά επίπεδα του ατόμου θα προστεθεί και ο όρος :

$$U = \mu \cdot B = -\mu_z \cdot B = \frac{e}{2m_e c} \cdot B \cdot l_z$$
 (φαινόμενο Zeeman)
- Να μπορούν μέσω διαγράμματος να αντιληφθούν ότι η παρουσία του μαγνητικού πεδίου διαφοροποιεί το φάσμα εκπομπής των ατόμων.



Εικόνα 10

- Να γνωρίζουν ότι με το πείραμα Zeeman δεν μπορούμε να επιβεβαιώσουμε με τα φασματοσκοπικά δεδομένα τις $2l+1$ ενεργειακές στάθμες γιατί μελετάμε μόνο μεταβάσεις και λόγω των κανόνων επιλογής $\Delta l = \pm 1$, $\Delta m_l = 0, \pm 1$ θα είχαμε μόνο τις τρεις φασματικές γραμμές.



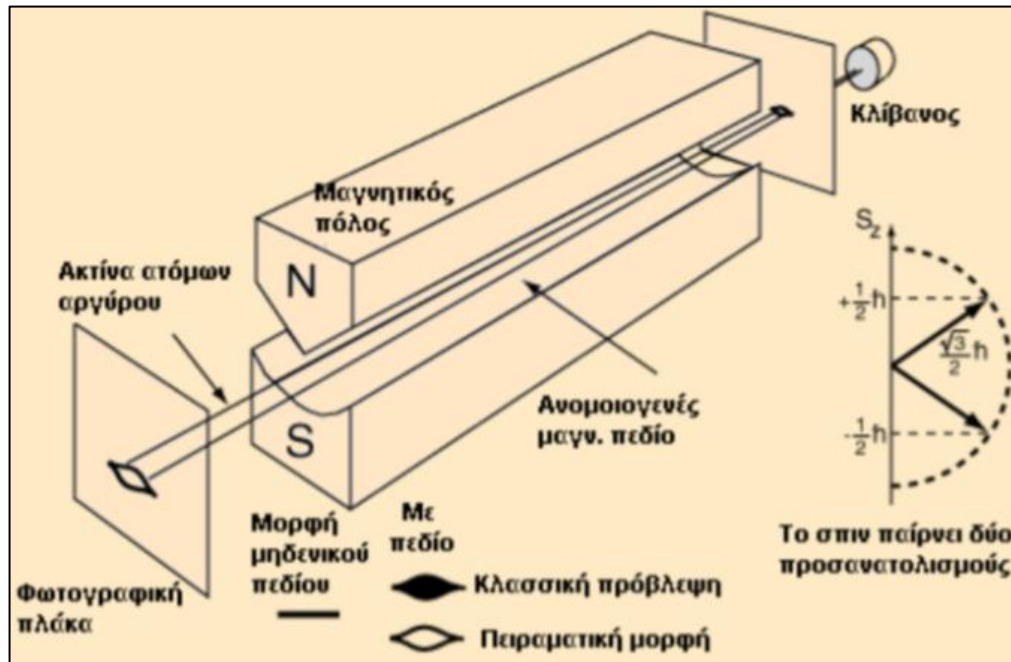
Εικόνα 11

5.2.2. Πείραμα Stern-Gerlach

Θα πρέπει οι μαθητές :

- Να γνωρίζουν ότι οι Stern-Gerlach σχεδίασαν ένα πείραμα για να ξεπεράσουν τις αδυναμίες του πειράματος Zeeman που προαναφέρθηκαν. Αυτοί οδήγησαν μια δέσμη ατόμων σε ένα ανομοιογενές Μαγνητικό πεδίο (το μαγνητικό πεδίο δημιουργήθηκε από οξύπολο και μια επίπεδη πλάκα) όπου τα άτομα απέκτησαν

ενέργεια $U(z) = \mu_B \cdot B \cdot m_l$ και δέχτηκαν δύναμη $F_z = -\frac{dU}{dz} = -\mu_B \frac{dB}{dz} m_l$. Τα άτομα αυτά έδωσαν τόσα ίχνη σε ένα φιλμ, όσοι και οι κβαντικοί αριθμοί, δηλαδή $2l+1$, επιβεβαιώνοντας την κβάντωση της προβολής της στροφορμής.

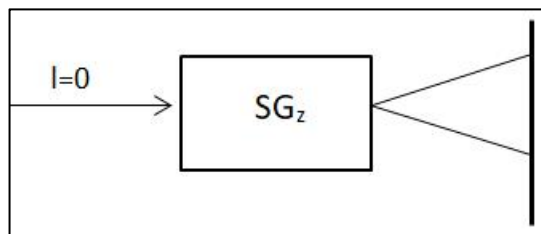


Εικόνα 12

5.2.3. Τι είναι spin;

Θα πρέπει οι μαθητές:

- Να γνωρίζουν το πείραμα με την συσκευή Stern-Gerlach, βάση του οποίου υπάρχουν ενδείξεις για μια στροφορμή διαφορετική της τροχιακής.



Εικόνα 13

Εφόσον το πλήθος των τιμών του m_l είναι $2l + 1$ αναμένεται ένα ίχνος και όχι δύο. Άρα, εκτός της τροχιακής στροφορμής υπάρχει και άλλη κβαντισμένη στροφορμή.

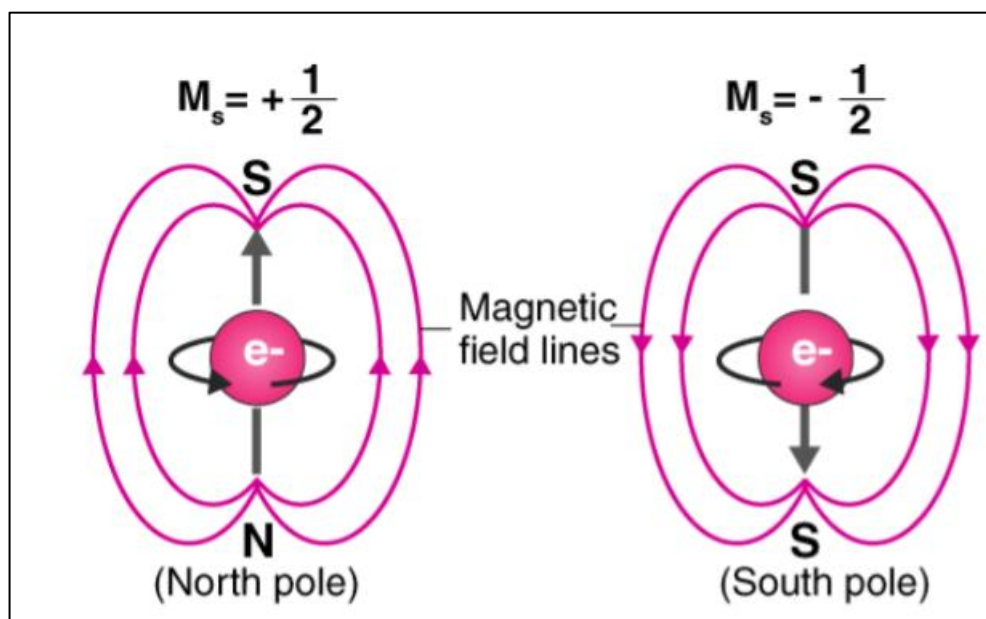
- Να μπορούν, με βάση τις αντιστοιχίες τροχιακής στροφορμής και spin, να διακρίνουν τις ομοιότητες και τις διαφορές τους, οι οποίες αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1

\vec{l}	\vec{s}
$\vec{l}^2 = \hbar^2 l(l+1)$	$\vec{s}^2 = \hbar^2 s(s+1)$
$l_z = \hbar m_l$	$s_z = \hbar m_s$
$m_l = -l, \dots, +l$	$m_s = -s, \dots, +s$

Θα είναι $2s$ ακέραιος, άρα s ακέραιος ή ημιακέραιος. Επίσης, αφού το πλήθος των τιμών του m_s είναι 2 (2 ίχνη από το πείραμα S-G) θα είναι $2s+1=2 \Rightarrow s=1/2$.

- Να γνωρίζουν ότι για $s=1/2$, θα είναι $m_s = -1/2, 1/2$ από το οποίο προκύπτει $s_z = \hbar/2$ spin πάνω και $s_z = -\hbar/2$ spin κάτω, ενώ $|\vec{s}| = \hbar\sqrt{s(s+1)} \Rightarrow |\underline{s}| = \hbar\frac{\sqrt{3}}{2}$. Δεν υπάρχει παραλληλισμός των \vec{l} και s_z , αφού αυτά γίνονται παράλληλα στο όριο των μεγάλων κβαντικών αριθμών.
- Να έχουν πλήρως αντιληφθεί ότι το spin δεν είναι μια στροφορμή αντίστοιχη της ιδιοπεριστροφής π.χ. της γης. Αναλυτικότερα, αν το ηλεκτρόνιο θεωρηθεί μια φορτισμένη περιστρεφόμενη σφαίρα και υπολογιστεί η ταχύτητα των σημείων του ισημερινού της, θέτοντας $s_z = \hbar/2$, προκύπτει ότι αυτή είναι 10^6 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός.
- Να γνωρίζουν ότι το spin είναι 2 φορές πιο «μαγνητογόνο» από την τροχιακή στροφορμή.



Εικόνα 14

5.2.4. Απαγορευτική Αρχή Pauli

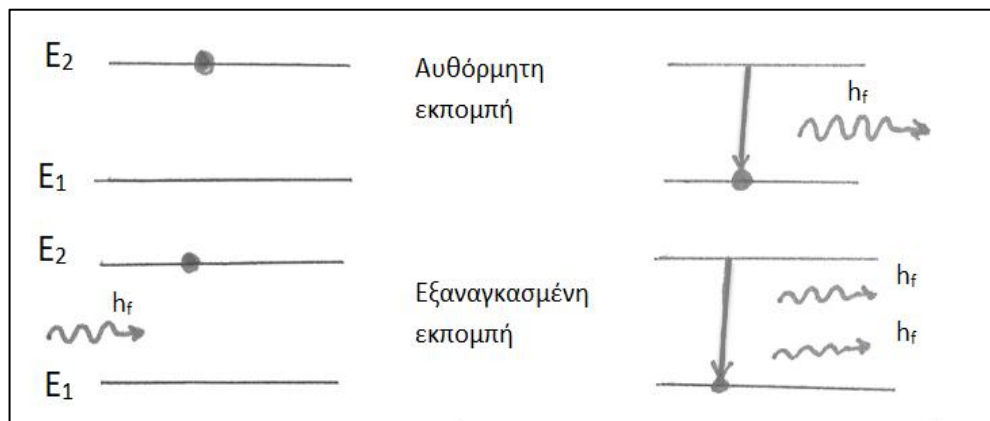
Κρίνεται απαραίτητο οι μαθητές:

- Να γνωρίζουν ότι δύο ηλεκτρόνια του ίδιου ατόμου δεν μπορούν να έχουν την ίδια τετράδα κβαντικών αριθμών (απαγορευτική αρχή του Pauli) και ότι με βάση αυτή την αρχή γίνεται η ηλεκτρονιακή δόμηση των ατόμων.
- Να αναφέρουν ότι η τριάδα των κβαντικών αριθμών n, l, m_l καθορίζει την κυματοσυνάρτηση Ψ_{nlm_l} και ο m_s καθορίζει την προβολή του spin.
- Να γνωρίζουν ότι υπάρχουν δύο ειδών σωματίδια, τα φερμιόνια, τα οποία έχουν ημιακέραιο spin ($s=1/2, 3/2, 5/2, \dots$), υπακούν στην απαγορευτική αρχή του Pauli και είναι δομικοί λίθοι της ύλης. Τέτοια είναι τα πρωτόνια, τα νετρόνια, τα ηλεκτρόνια και τα κουάρκς. Έπειτα, είναι τα μποζόνια τα οποία έχουν ακέραιο spin ($s=0, 1, 2, 3$), δεν υπακούν στην απαγορευτική αρχή του Pauli και είναι τα σωματίδια φορείς των θεμελιωδών δυνάμεων της φύσης. Τέτοια είναι τα φωτόνια των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων, τα γλιόνια των ισχυρών πυρηνικών δυνάμεων, τα W, Z των ασθενών πυρηνικών δυνάμεων και τα βαρυτόνια των βαρυτικών δυνάμεων.

5.3. Laser

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να κατανοούν ότι, το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υφίσταται ενεργειακή μεταβολή μόνο εφόσον ο κύριος κβαντικός αριθμός n μεταβάλλεται κατά ακέραιο αριθμό. Έτσι, διεγείρεται με απορρόφηση φωτονίου ενέργειας ίσης με την διαφορά ενέργειας των δύο ενεργειακών επιπέδων και αποδιεγείρεται με εκπομπή φωτονίου, όταν το ηλεκτρόνιο μεταβαίνει σε χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Η εκπομπή μπορεί να γίνει αυθόρμητα από το διεγερμένο άτομο ή με «προτροπή» σε αποδιέγερση.
- Να γνωρίζουν ότι ένα διεγερμένο άτομο παραμένει στην κατάσταση αυτή για μικρό χρονικό διάστημα ($\approx 10^{-8}$ s), μέχρι να αποδιεγερθεί αυθόρμητα, εκπέμποντας φωτόνιο ενέργειας $\Delta E = h \cdot f$. Αν κατά την διάρκεια της διέγερσης το άτομο δεχθεί δεύτερο φωτόνιο ενέργειας ΔE , τότε αυτό εξαναγκάζεται σε εκπομπή, με αποτέλεσμα να προκύπτουν δύο φωτόνια ίδιας συχνότητας. Τα παραπάνω αποδίδονται σχηματικά στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 15

- Να γνωρίζουν ότι ένας σωλήνας laser θα περιέχει ένα ενεργό μέσο, όπου τα διεγερμένα άτομα θα είναι περισσότερα από τα άτομα που βρίσκονται στην βασική κατάσταση (αντιστροφή πληθυσμών), γεγονός που συμβαίνει με παροχή ενέργειας στον σωλήνα που ονομάζεται ενέργεια άντλησης. Το αρχικό φωτόνιο που θα ξεκινήσει την εξαναγκασμένη αποδιέγερση, προέρχεται από την αυθόρμητη εκπομπή, μεταξύ των σταθμών που επιθυμείται να λειτουργήσει το Laser.
- Να γνωρίζουν τις εξής ιδιότητες του Laser: μονοχρωματικότητα, κατευθυντικότητα, συμφωνία φάσης όλων των φωτονίων και πολύ υψηλή ένταση σε μια μικρή περιοχή συχνοτήτων. Χάρη σε αυτές τις ιδιότητες η τεχνολογία του Laser βρίσκει εφαρμογές σε μεγάλο εύρος της αγοράς από την ιατρική μέχρι και την πολεμική βιομηχανία.

6. Δόμηση Περιοδικού Πίνακα

6.1. Αρχές ηλεκτρονιακής δόμησης των ατόμων

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν με βάση ποιες αρχές πραγματοποιείται η δόμηση των πολυηλεκτρονιακών ατόμων. Δηλαδή την απαγορευτική αρχή του Pauli, την αρχή ελάχιστης ενέργειας και τον κανόνα του Hund.
- Να γνωρίζουν ότι ενώ στο υδρογόνο υπάρχει εκφυλισμός ($E_{2s} = E_{2p}$, $E_{3s} = E_{3p} = E_{3d}$ κλπ.), στα πολυηλεκτρονιακά άτομα αίρεται ο υδρογονικός εκφυλισμός και διαφοροποιούνται ενεργειακά οι υποστοιβάδες της ίδιας στοιβάδας.
- Να αναφέρουν ότι η άρση του υδρογονικού εκφυλισμού οφείλεται στο φαινόμενο της θωράκισης από τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων.
- Να μπορούν να κάνουν ηλεκτρονιακή δόμηση σε ένα άτομο, βασιζόμενοι στον μνημονικό κανόνα για τη διαδοχική συμπλήρωση των ατομικών τροχιακών.

6.2. Δομή του Περιοδικού Πίνακα

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

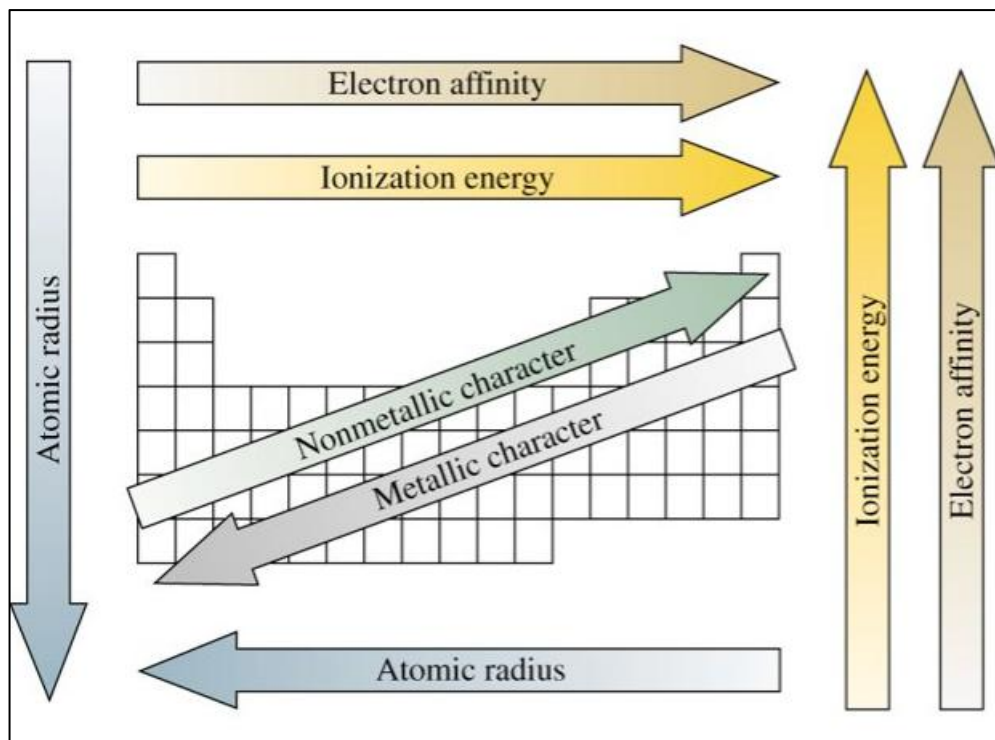
- Να γνωρίζουν ότι για τα στοιχεία που ανήκουν στις κύριες ομάδες, ο αριθμός των στοιβάδων που χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση ηλεκτρονίων, ταυτίζεται με τον αριθμό της περιόδου στην οποία ανήκει το άτομο και ο αριθμός των ηλεκτρονίων της εξωτερικής στοιβάδας, είναι ίδιος με τον αριθμό της ομάδας στην οποία ανήκει το στοιχείο.
- Να γνωρίζουν ότι εκτός της κλασσικής αρίθμησης και τοποθέτησης των στοιχείων σε ομάδες και περιόδους, ο περιοδικός πίνακας διαιρείται σε τέσσερις τομείς s,p,d,f ανάλογα με την υποστοιβάδα που τοποθετείται το ηλεκτρόνιο με την μεγαλύτερη ενέργεια.

6.3. Μεταβολή Περιοδικών Ιδιοτήτων

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν πώς ορίζεται η ατομική ακτίνα ενός ατόμου και πώς μεταβάλλεται σε μία ομάδα και μία περίοδο του Π.Π.

- Να μπορούν να συγκρίνουν τις ατομικές ακτίνες ατόμων και να γνωρίζουν τους ατομικούς τους αριθμούς.
- Να αναφέρουν τι είναι ενέργεια ιοντισμού (πρώτου, δεύτερου κλπ), ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την τιμή της και τέλος, πώς μεταβάλλεται αυτή σε μία ομάδα και μία περίοδο του Π.Π.
- Να διατυπώνουν τον ορισμό της ηλεκτροαρνητικότητας και ηλεκτροθετικότητας και να περιγράψουν πως αυτές μεταβάλλονται στον Π.Π.



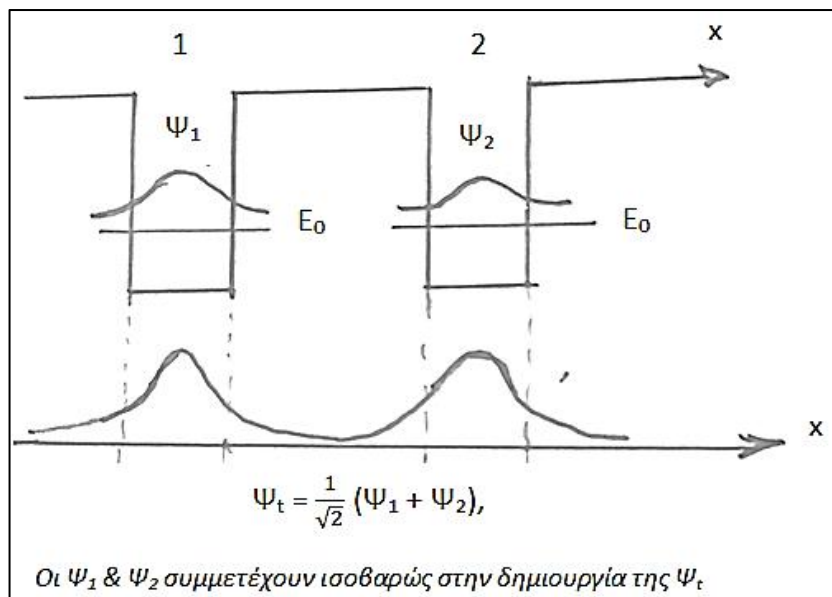
Εικόνα 16

7. Χημικοί δεσμοί με κβαντομηχανική θεώρηση

7.1. Κβαντομηχανικές θεωρίες δεσμών

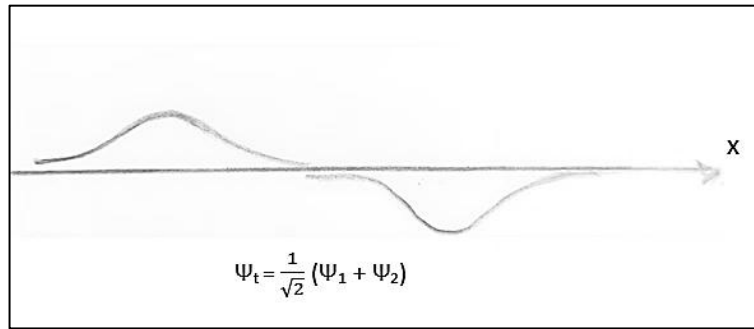
Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν τις προκβαντικές αντιλήψεις για την ηλεκτρονιακή θεωρία του σθένους και τους ηλεκτρονιακούς τύπους Lewis.
- Να γνωρίζουν ότι ο σχηματισμός μορίων που αποτελούνται από τα ίδια άτομα (π.χ. O₂, H₂, N₂ κλπ), ερμηνεύεται από το μοντέλο του συμμετρικού διπλού πηγαδιού, όπου ο σχηματισμός των μορίων είναι δυνατός εξαιτίας του φαινομένου σήραγγας. Αναλυτικότερα, τα ηλεκτρόνια κινούνται από το ένα άτομο στο άλλο λόγω του φαινομένου σήραγγας και καταυτών τον τρόπο μειώνεται η ενέργεια του μορίου, σε σχέση με την ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων.
- Να μπορούν να αντιστοιχίζουν τα δυναμικά των όμοιων πυρήνων με το συμμετρικό διπλό πηγάδι δυναμικού και να γνωρίζουν ότι η επιδίωξη της ελάχιστης ενέργειας, οδηγεί τα ηλεκτρόνια να «φτιάξουν» μια μοριακή κυματοσυνάρτηση της μορφής που φαίνεται παρακάτω.



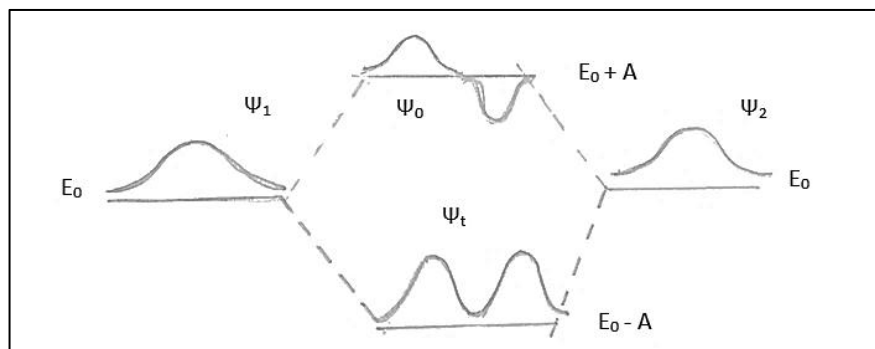
Εικόνα 17

Η κυματοσυνάρτηση της πρώτης διεγερμένης κατάστασης θα είναι της μορφής:



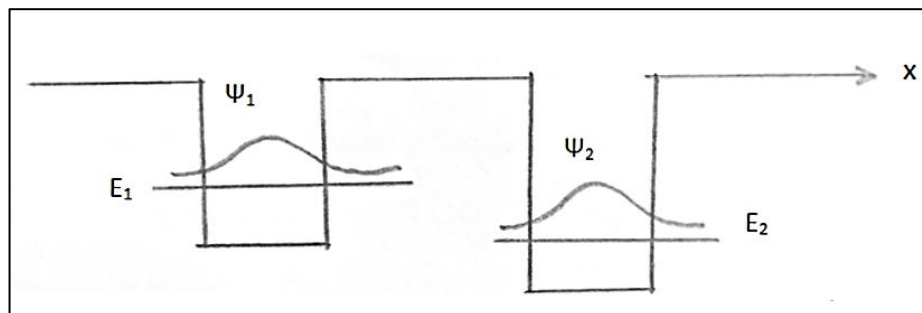
Εικόνα 18

Τα αντίστοιχα ενεργειακά επίπεδα θα είναι της μορφής:



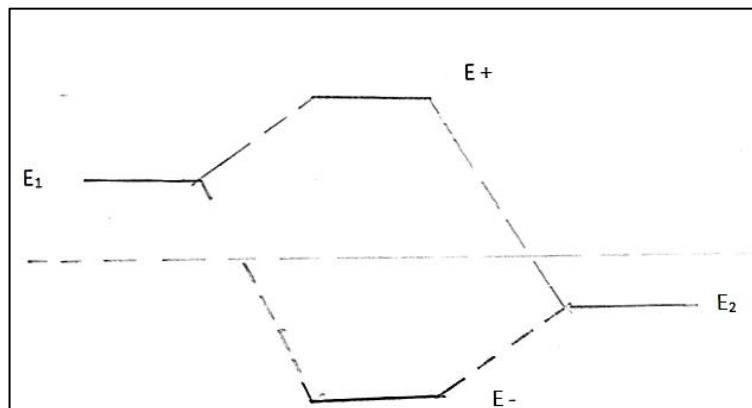
Εικόνα 19

- Να γενικεύουν, για τα διατομικά μόρια ανόμοιων ατόμων, με ένα ασύμμετρο διπλό πηγάδι με βάση το σχήμα :



Εικόνα 20

Σε αυτή την περίπτωση η μοριακή κυματοσυνάρτηση θα είναι $\Psi = C_1 \Psi_1 + C_2 \Psi_2$, όπου μεγαλύτερο βάρος έχει η κυματοσυνάρτηση βαθύτερου πηγαδιού ($C_1 < C_2$). Τα ενεργειακά επίπεδα για το ασύμμετρο διπλό πηγάδι θα είναι της μορφής:



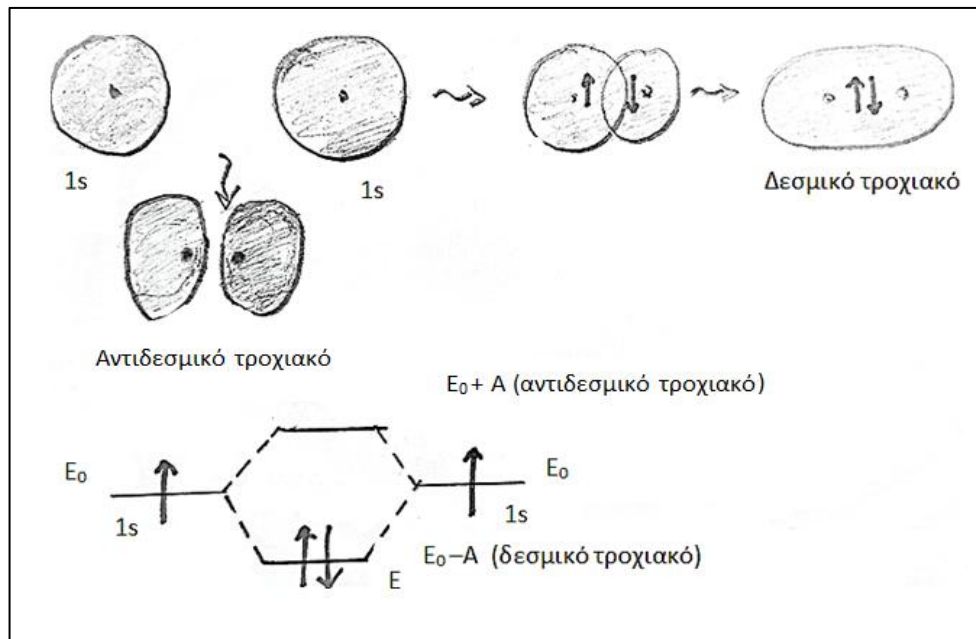
Εικόνα 21

Έτσι, ένα ηλεκτρόνιο που κινείται και στα δύο άτομα, μειώνει την ενέργειά του σε τιμές χαμηλότερες από αυτές που θα είχε εάν έμενε στο άτομο με την χαμηλότερη ενέργεια.

7.2. Δεσμοί στα μόρια των H_2 , He_2 , Li_2

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

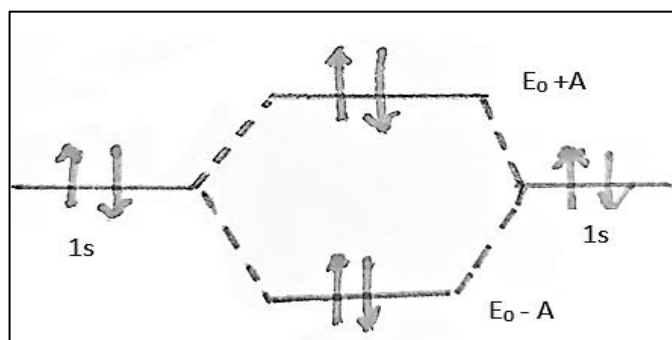
- Να γνωρίζουν ότι κατά τον σχηματισμό του μορίου του H_2 , τα ατομικά τροχιακά των δύο ατόμων με ενέργεια E_0 , μπορούν να σχηματίσουν ένα δεσμικό τροχιακό με ενέργεια $E_0 - A$, με το ηλεκτρονιακό νέφος (πλάτος πιθανότητας) να συσσωρεύεται ανάμεσα στους δύο πυρήνες και ένα αντιδεσμικό τροχιακό με υψηλότερη ενέργεια $E_0 + A$, με τα τροχιακά να μην επικαλύπτονται.
- Να μπορούν να σχεδιάζουν την γραφική παράσταση της ενέργειας του συστήματος δύο ατόμων, σε συνάρτηση με την απόσταση των πυρήνων των δύο ατόμων υδρογόνου (H), και να βγάζουν συμπεράσματα για την ελάχιστη ενέργεια του συστήματος.
- Να είναι σε θέση να σχεδιάζουν και να ερμηνεύουν τα σχήματα για το μόριο του H_2 .



Εικόνα 22 (σχήμα Α & Διάγραμμα Β)

Το μόριο πραγματοποιείται γιατί το σύστημα σταθεροποιείται σε χαμηλότερη εσωτερική ενέργεια κατά $2A$.

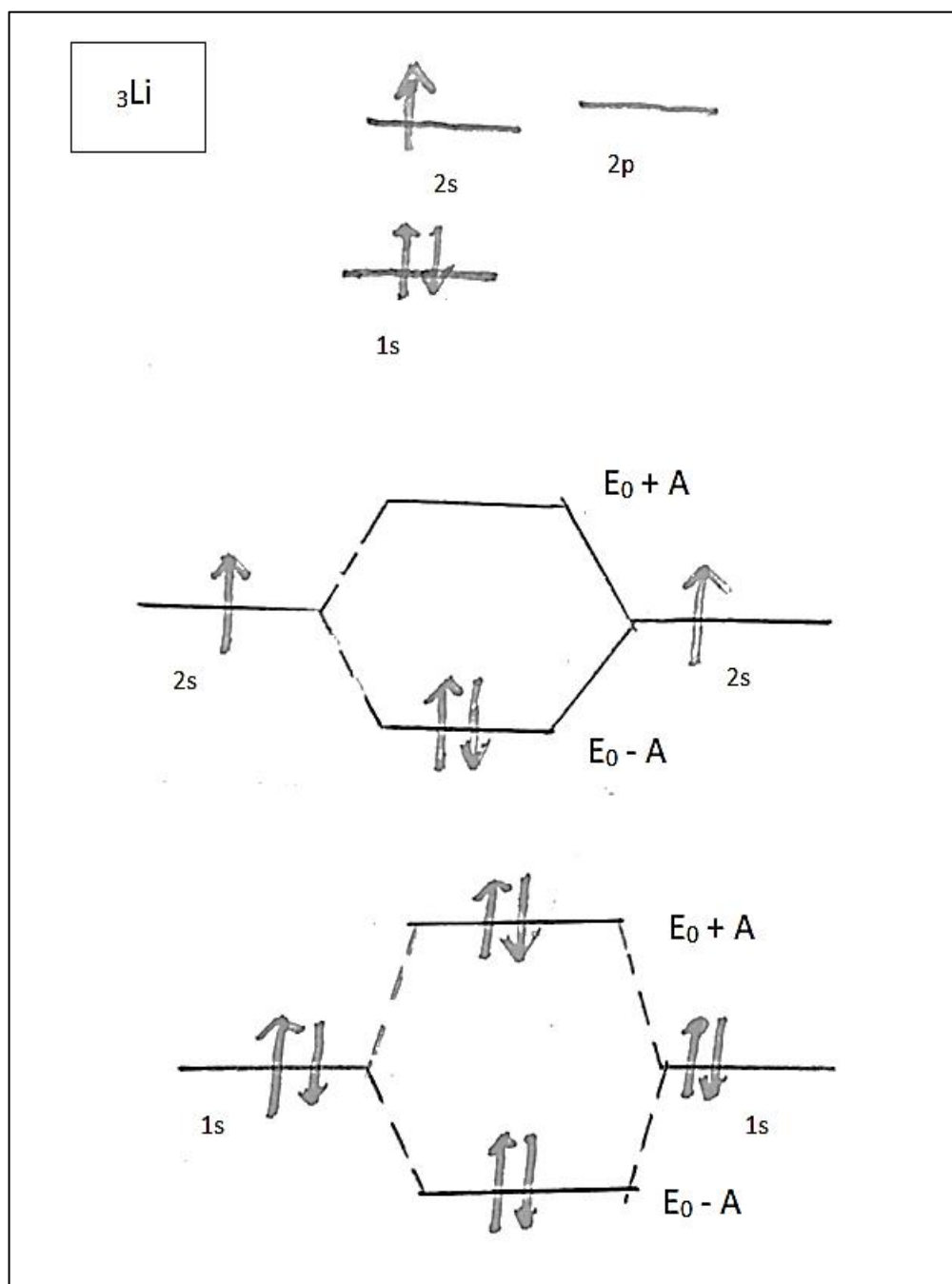
- Να γνωρίζουν γιατί το μόριο του He_2 δεν υφίσταται παραθέτοντας το παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 23

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα δεν προκύπτει ενεργειακό όφελος.

- Να μπορούν, παραθέτοντας τα δεσμικά και αντιδεσμικά τροχιακά για το μόριο του Li_2 , να εξηγούν γιατί στον χημικό δεσμό δεν συνεισφέρουν στην ενεργειακή σταθερότητα του σχηματιζόμενου μορίου τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων, παρά μόνο αυτά της εξωτερικής στοιβάδας.



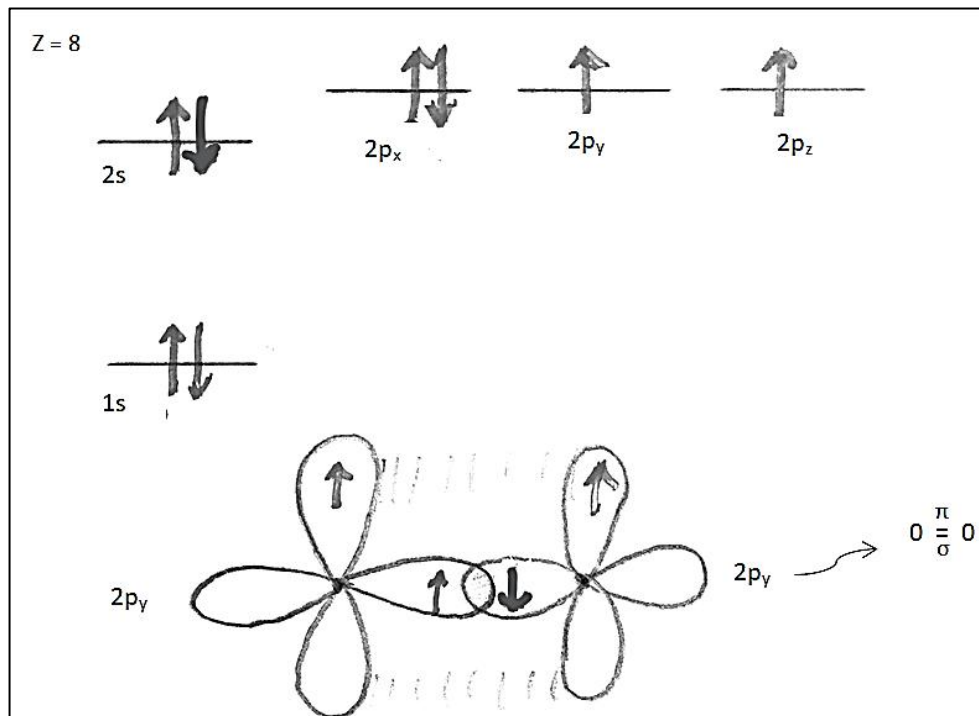
Εικόνα 24

Όπως φαίνεται στην εικόνα 24 δεν προκύπτει ενεργειακό όφελος από τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων.

7.3. Δεσμοί στα μόρια των O_2 , N_2 – Διπλοί δεσμοί

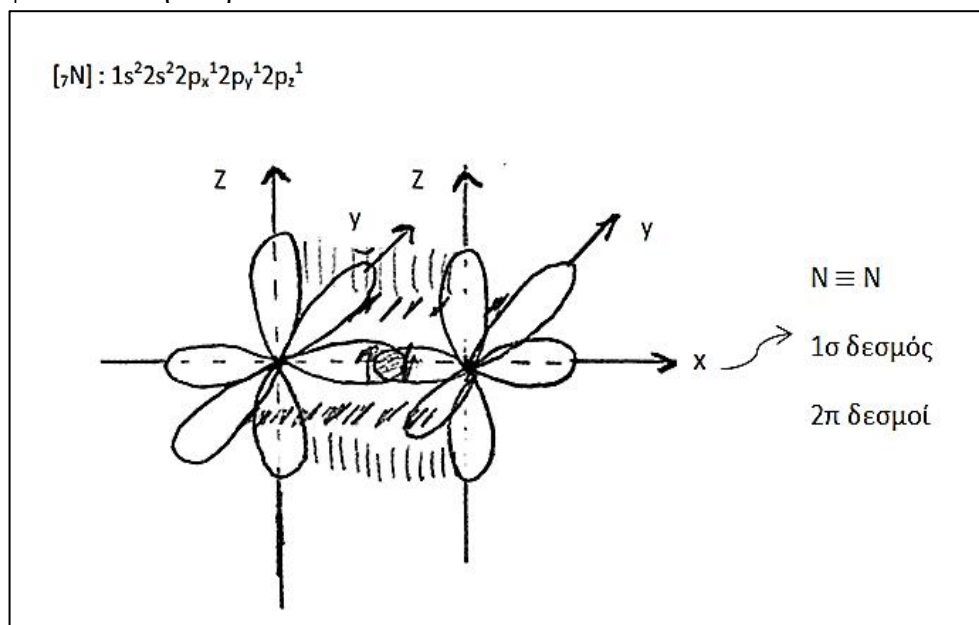
Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να μπορούν με δεδομένο τον ατομικό αριθμό $Z=8$ του οξυγόνου, να κάνουν την κατανομή των ηλεκτρονίων του ατόμου του, καθώς και να προβλέπουν το είδος των δεσμών που αναπτύσσονται με βάση την κβαντομηχανική θεώρηση. Η κβαντομηχανική θεώρηση παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 25

- Να μπορούν να εφαρμόσουν τα παραπάνω και για το άζωτο με $Z=7$, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



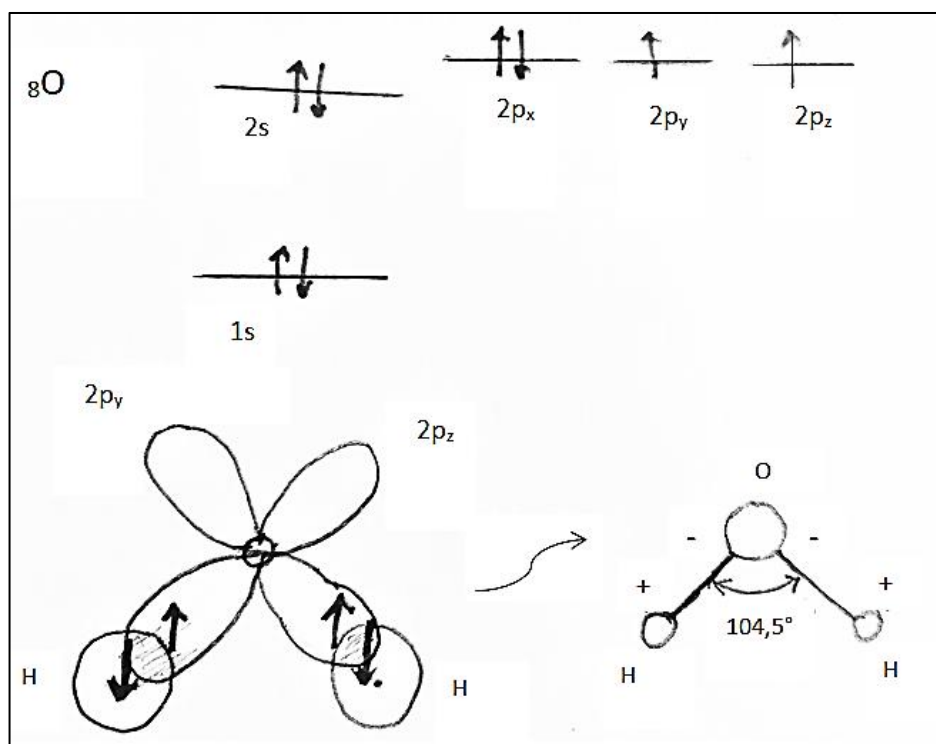
Εικόνα 26

- Να έχουν κατανοήσει ότι οι διπλοί δεσμοί που αναφέρθηκαν είναι πλήρως εντοπισμένοι, δηλαδή τα π ηλεκτρόνια κινούνται αποκλειστικά και μόνο στον χώρο μεταξύ των δύο ατόμων του διπλού δεσμού.

7.4. Τα μόρια H_2O , NH_3

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να μπορούν με δεδομένο τον ατομικό αριθμό του οξυγόνου (O_2) και του υδρογόνου (H_2), να κάνουν την κατανομή των ηλεκτρονίων, να προβλέπουν τους δεσμούς που αναπτύσσονται, να εξάγουν την γεωμετρία του μορίου από την οποία προκύπτει ότι το μόριο του νερού είναι πολικό, όπως παρατίθεται πιο κάτω.



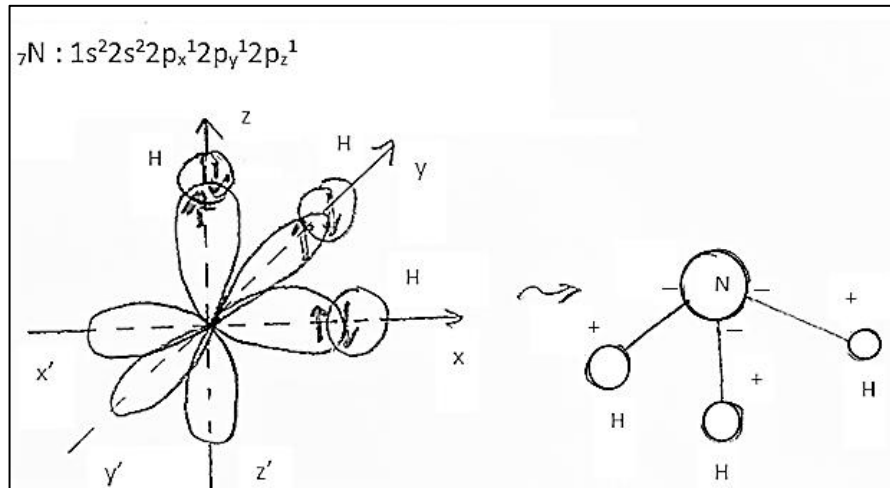
Εικόνα 27

Τα τροχιακά p_y , p_z είναι κάθετα μεταξύ τους, όμως τα φορτία πολώνονται (το O είναι πιο ηλεκτροαρνητικό από το H) και οι θετικοί πόλοι στα H απωθούνται και σχηματίζουν γωνία $104,5^\circ$.

- Να γνωρίζουν ότι ο όρος «μεγαλύτερη ηλεκτροαρνητικότητα», που χρησιμοποιεί η χημεία, αντιστοιχεί στην γλώσσα της κβαντομηχανικής σε

μεγαλύτερη παραμονή του σωματιδίου στο βαθύτερο πηγάδι του ασύμμετρου διπλού πηγαδιού.

- Να μπορούν να εφαρμόσουν τα παραπάνω και για την ένωση NH_3 , με τον τρόπο που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 28

7.5. Δυνάμεις Van der Waals

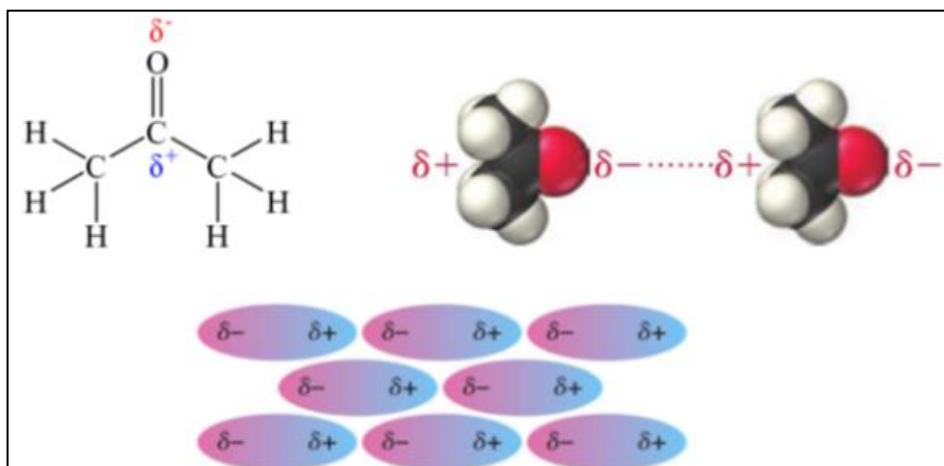
Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι οι Van der Waals είναι δυνάμεις ηλεκτρικής φύσεως που ασκούνται μεταξύ μορίων, και οφείλονται στο γεγονός ότι τα μόρια αποτελούνται από φορτισμένα σωματίδια. Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις διαμοριακών δυνάμεων: μεταξύ πολικών μορίων, μεταξύ πολικών και μη πολικών μορίων και τέλος, μεταξύ ιόντων- διπόλου.
- Να γνωρίζουν πώς ορίζεται η διπολική ροπή σε έναν χημικό δεσμό.

7.5.1. Δυνάμεις διπόλου-διπόλου

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι οι δυνάμεις διπόλου-διπόλου είναι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ πολικών μορίων και η ισχύς τους αυξάνεται με την αύξηση της διπολικής ροπής των μορίων.

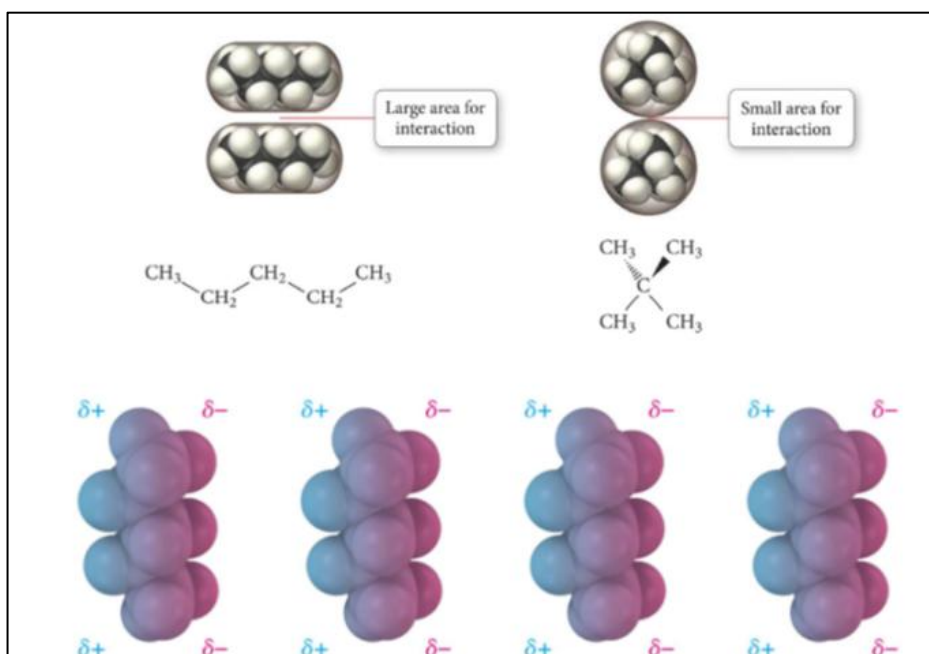


Εικόνα 29

7.5.2. Δυνάμεις διασποράς ή London

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι οι δυνάμεις London ασκούνται μεταξύ μη πολικών μορίων και ότι όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων και όσο πιο εκτεταμένο είναι το ηλεκτρονιακό νέφος στο μόριο, τόσο πιο εύκολα το μόριο μετατρέπεται σε στιγμιαίο δίπολο.
- Να γνωρίζουν ότι η ισχύς των δυνάμεων London αυξάνεται, όταν αυξάνεται η μοριακή μάζα των μορίων και μειώνεται, όσο πιο συμμετρικά είναι τα μόρια.

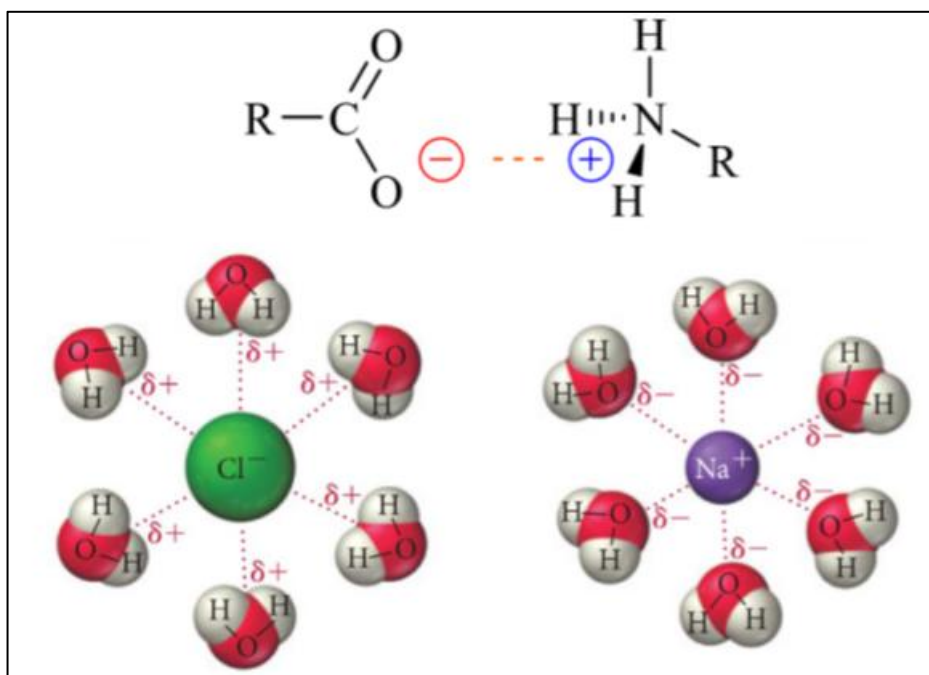


Εικόνα 30

7.5.3. Δυνάμεις ιόντος-διπόλου & πολικών- μη πολικών μορίων

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να αντιλαμβάνονται ότι ,ομοίως με τις προηγούμενες περιπτώσεις, ένα πολικό μόριο αλληλεπιδρά με θετικά ή αρνητικά ιόντα. Επίσης, ένα πολικό μόριο με μόνιμη διπολική ροπή αλληλεπιδρά με μη πολικά μόρια . Αυτές οι δυνάμεις ερμηνεύουν τα διαλύματα ιοντικών ενώσεων σε πολικούς διαλύτες.

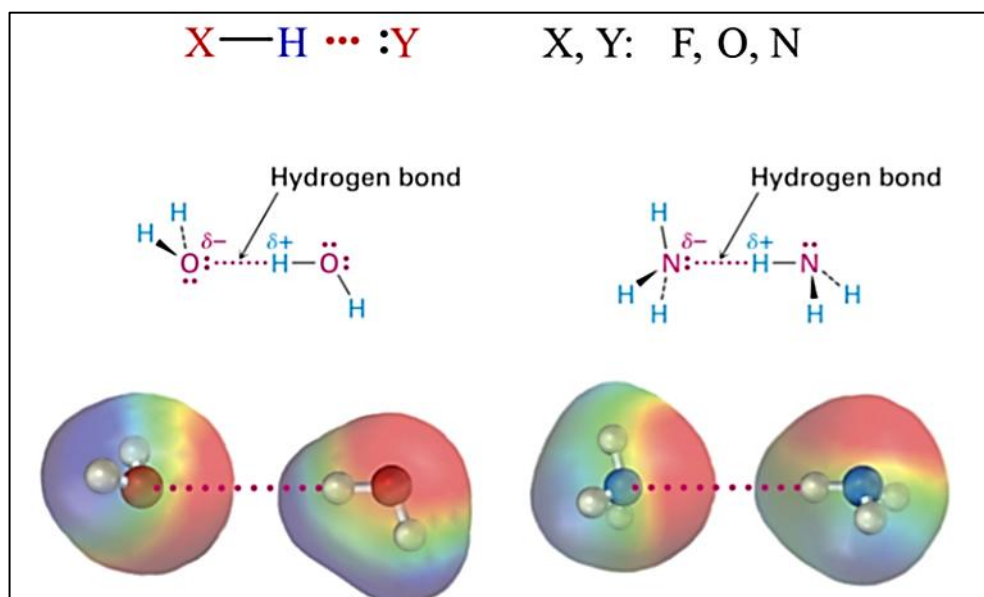


Εικόνα 31

7.5.4. Δεσμός Υδρογόνου

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι ο δεσμός υδρογόνου είναι μια ηλεκτρική αλληλεπίδραση διπόλου-διπόλου, ανάμεσα στο άτομο του υδρογόνου και σε ένα άτομο F,O,N, ενός ισχυρά πολικού μορίου F-H, O-H ή N-H.



Εικόνα 32

7.5.5. Επίδραση των διαμοριακών δυνάμεων στις φυσικές ιδιότητες των ουσιών

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

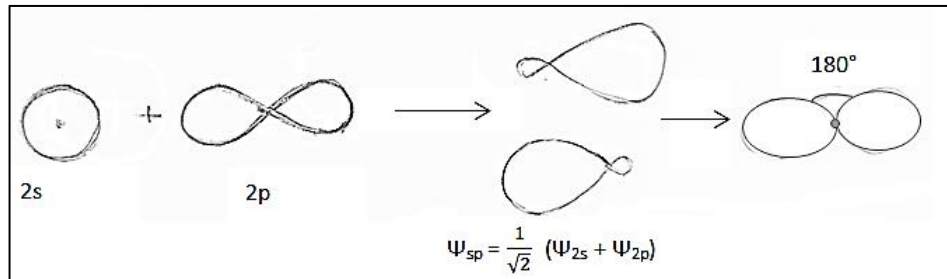
- Να γνωρίζουν τις επιπτώσεις των διαμοριακών δυνάμεων στις φυσικές ιδιότητες των ενώσεων, δηλαδή, στα σημεία ζέσεως και τήξεως, στις λανθάνουσες θερμότητες τήξης και εξάτμισης, στις διαλυτότητες και στις θερμοχωρητικότητές τους.
- Να γνωρίζουν ότι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του νερού ,δηλαδή, το γεγονός ότι υγροποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες, διαλύει ιοντικές ενώσεις, διαθέτει μεγάλη θερμοχωρητικότητα, έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα τήξης, οφείλονται στις κβαντομηχανικές αρχές που προαναφέρθηκαν.

7.6. Υβριδισμός ατομικών τροχιακών

7.6.1. sp Υβριδισμός

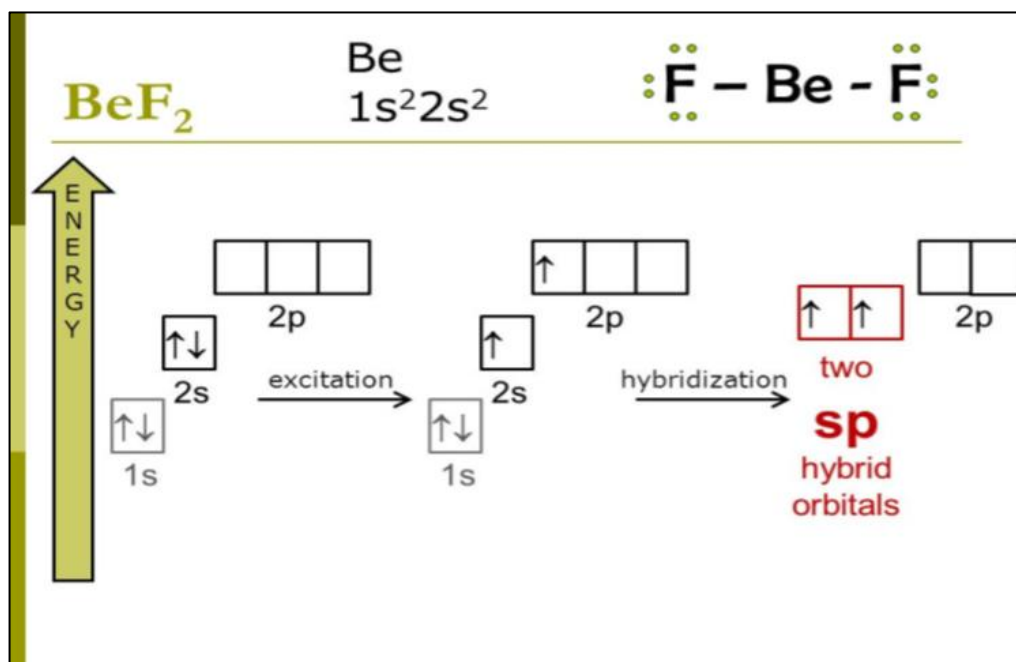
Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να αναπτύξουν την έννοια του υβριδισμού των ατομικών τροχιακών ως μια ανάμιξη των s,p,d,... με διαφορετικές αναλογίες κάθε φορά, που οδηγεί στη δημιουργία υβριδικών τροχιακών όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 33

- Να εξηγήσουν ότι, για την μετάβαση των ηλεκτρονίων από την 2s στην 2p καταναλώνεται ενέργεια αλλά, κατά την ανάμειξη των τροχιακών s και p και την δημιουργία δεσμών με τα υβριδικά τροχιακά, απελευθερώνεται ενέργεια. Η όλη διαδικασία είναι ενεργειακά επιτρεπτή.
- Να περιγράψουν τους δεσμούς και τον προσανατολισμό των υβριδικών τροχιακών στις ενώσεις BeF_2 & HgCl_2 .

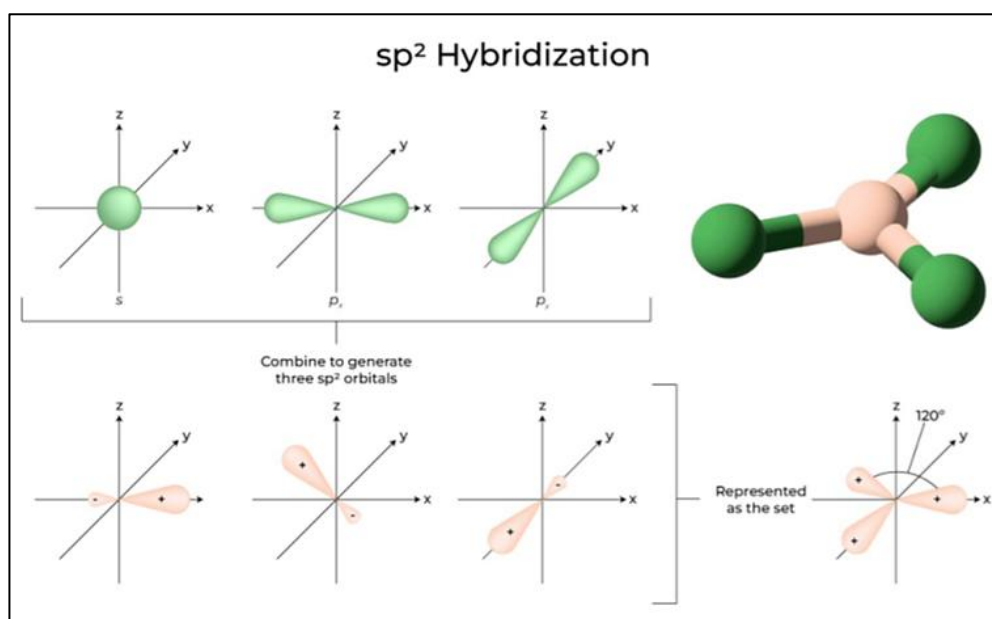


Εικόνα 34

7.6.2. sp^2 υβριδισμός

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι ένα s τροχιακό μπορεί να υβριδιστεί με δύο p τροχιακά και να δώσουν τρία sp^2 υβριδικά τροχιακά, που κατευθύνονται προς τις κορυφές ισόπλευρου τριγώνου με τους άξονές τους να σχηματίζουν γωνία 120° .
- Να μπορούν να περιγράψουν τους δεσμούς στα μόρια των ενώσεων BF_3 , SO_3 , καθώς και την γεωμετρία των μορίων τους.

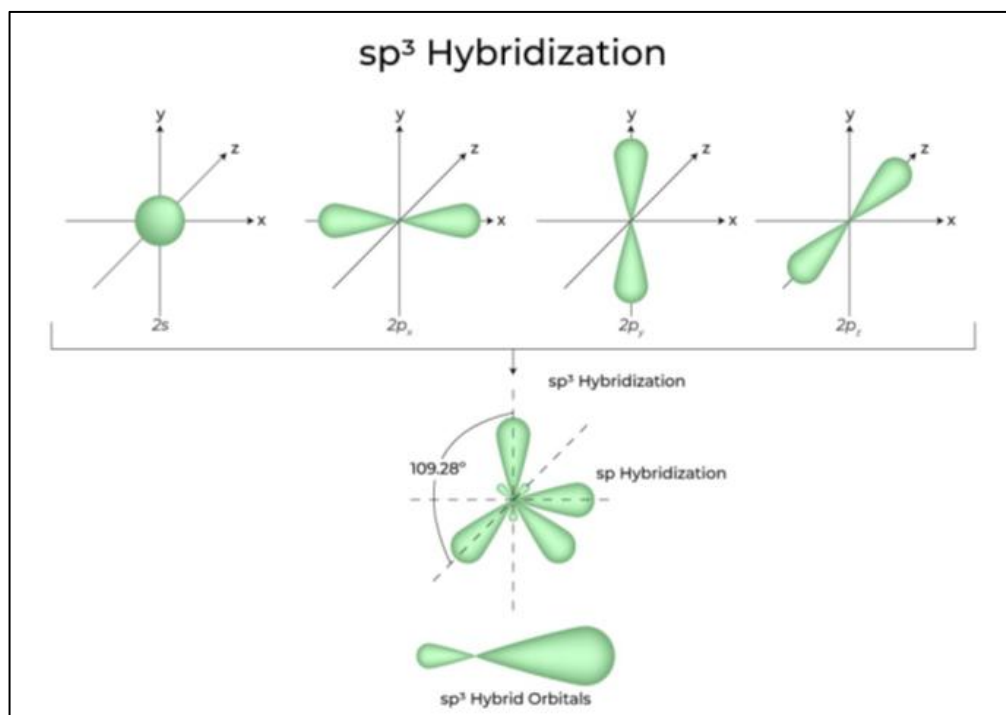


Εικόνα 35

7.6.3. sp^3 υβριδισμός

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι ένα s και τρία p τροχιακά υβριδίζονται και δίνουν τέσσερα sp^3 υβριδικά τροχιακά, που κατευθύνονται προς τις κορυφές του κανονικού τετραέδρου, με τους άξονές τους να σχηματίζουν γωνία $109,5^\circ$.
- Να αντιλαμβάνονται ότι στον υβριδισμό μπορούν να συμμετέχουν και ηλεκτρονιακά ζεύγη, που δεν ανήκουν στους δεσμούς (μονήρη). Αυτό συμβαίνει στα μόρια NH_3 και H_2O , όπου η γωνία $109,5^\circ$ του κανονικού τετραέδρου διαφοροποιείται. Αναλυτικά, οι γωνίες των δεσμών στα μόρια NH_3 και H_2O , είναι 107° και $104,5^\circ$, αντίστοιχα. Ομοίως, sp^3 υβριδισμός υπάρχει στο μόριο του CH_4 με τους άξονες των υβριδικών τροχιακών να σχηματίζουν γωνία $109,5^\circ$.

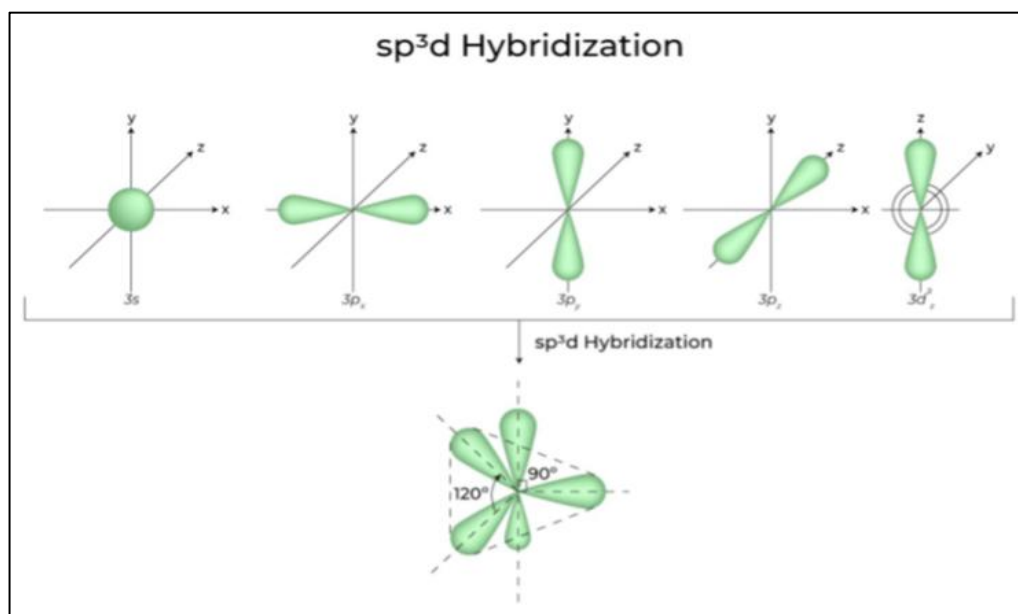


Εικόνα 36

7.6.4. Υβριδισμός με συμμετοχή d τροχιακών

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να κατανοούν ότι υβριδισμός μπορεί να γίνει και όταν συνδυάζονται s,p και d τροχιακά. Έτσι, είναι ο υβριδισμός sp^3d στον οποίο τα τροχιακά κατευθύνονται προς τις κορυφές μιας τριγωνικής διπυραμίδας. Παράδειγμα τέτοιου υβριδισμού είναι η ένωση PF_5 στην οποία ο φωσφόρος (P) χρησιμοποιεί πέντε sp^3d υβριδικά τροχιακά στους δεσμούς του με τα άτομα του φθορίου (F). Επίσης, είναι ο υβριδισμός sp^3d^2 στον οποίο τα έξι τροχιακά έχουν κατεύθυνση προς τις κορυφές ενός κανονικού οκταέδρου. Τέτοιον υβριδισμό χρησιμοποιεί το S στην ένωση SF_6 , όπου τα έξι υβριδικά τροχιακά του σχηματίζουν έξι ισότιμους δεσμούς με τα άτομα F.

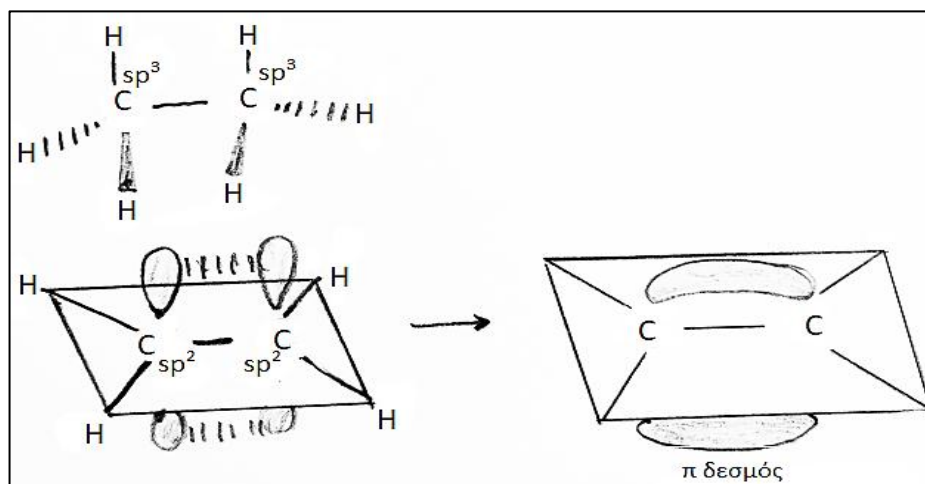


Εικόνα 37

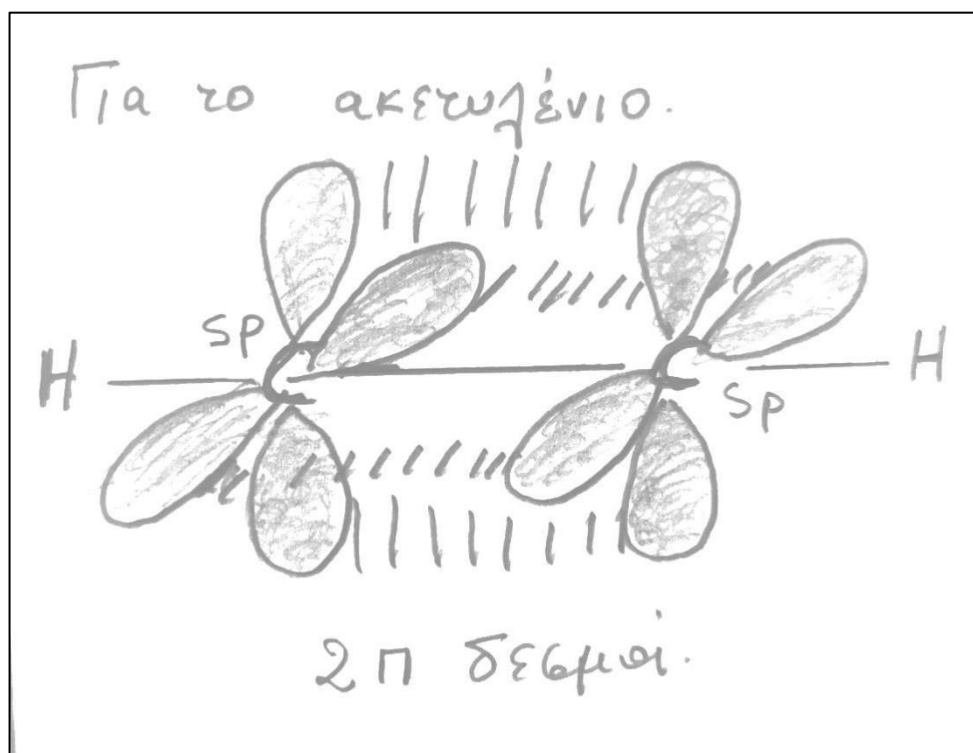
7.7. Εφαρμογή του υβριδισμού στα μόρια C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι για να βρουν το είδος του υβριδισμού αρκεί το πλήθος των απλών δεσμών. Έτσι, τέσσερις απλοί δεσμοί σημαίνει ότι ο άνθρακας (C) έχει sp³ υβριδισμό, τρεις απλοί δεσμοί σημαίνει ότι ο άνθρακας (C) έχει sp² υβριδισμό και δύο απλοί δεσμοί σημαίνει ότι ο άνθρακας (C) έχει sp υβριδισμό. Οι διπλοί και τριπλοί δεσμοί είναι π δεσμοί μεταξύ ανυβριδοποίητων 2p τροχιακών.



Εικόνα 38



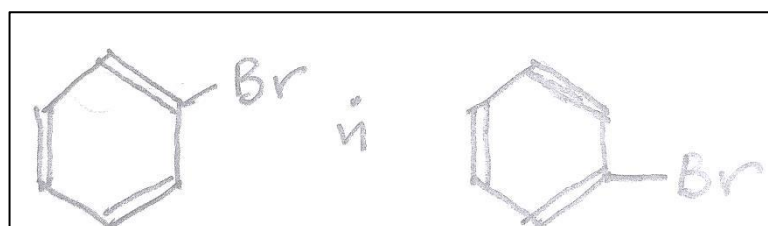
Εικόνα 39

7.8. Απεντοπισμένοι χημικοί δεσμοί

7.8.1. Απεντοπισμένοι χημικοί δεσμοί πάνω σε κλειστές αλυσίδες

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

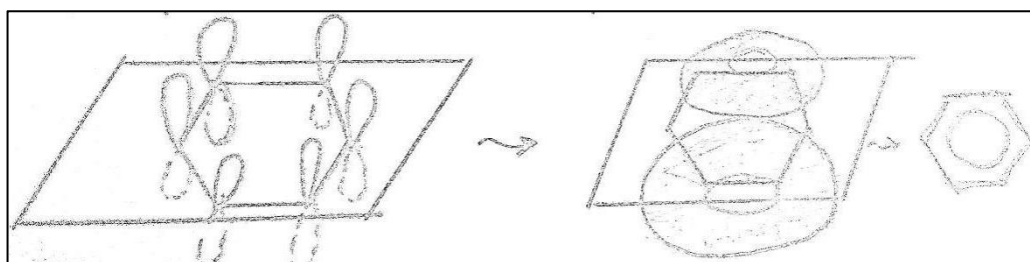
- Να γνωρίζουν ότι το βενζόλιο C_6H_6 αποτελείται από έξι άτομα C , που είναι ενωμένα με σ δεσμούς, σε ένα επίπεδο εξαγωνικό δακτύλιο και κάθε άτομο C συνδέεται με σ δεσμό, με ένα άτομο H και τρεις π δεσμούς μεταξύ των ατόμων C. Μελετήθηκε το 1,2 διβρωμοβενζόλιο και δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφορά στις χημικές ιδιότητες.



Εικόνα 40

Η ισοτιμία όλων των δεσμών, μας οδηγεί σε αναθεώρηση ως προς τον εντοπισμό του π δεσμού.

- Να αναγνωρίζουν ότι τα άτομα του C στο βενζόλιο, χρησιμοποιούν τρία υβριδικά sp^2 υβριδικά τροχιακά και το $2p$ ανυβριδοποίητο, ημισυμπληρωμένο τροχιακό, είναι κάθετο στο επίπεδο του δακτυλίου. Κατά την κβαντομηχανική θεώρηση τα έξι $2p$ τροχιακά, συνδυάζονται μεταξύ τους με πλευρική επικάλυψη και τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν σε όλη την εξάδα. Η μορφή του ηλεκτρονιακού νέφους, θα είναι δύο παράλληλα «σωσίβια», ένα στο πάνω και ένα στο κάτω μέρος του επιπέδου, που ορίζουν τα άτομα C & H όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα της εικόνας.



Εικόνα 41

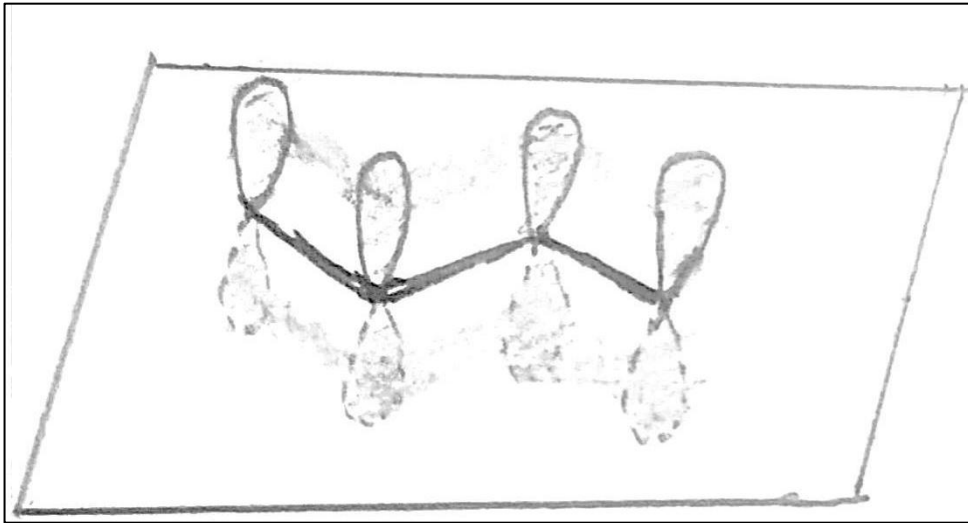
Με τον απεντοπισμό το βενζόλιο βρίσκεται ενεργειακά σε σταθερότερη κατάσταση, γιατί χαμηλώνει η ενέργεια των ηλεκτρονίων, ο π δεσμός γίνεται ισχυρότερος και δεν δίνει αντιδράσεις προσθήκης.

- Να γνωρίζουν ότι λόγω του απεντοπισμού, τα ηλεκτρόνια επιτρέπεται να κινούνται σε περιοχές μεγαλύτερες από εκείνες των εντοπισμένων δεσμών, η ενέργειά τους χαμηλώνει και σαν αποτέλεσμα το ηλεκτρονιακό φάσμα απορρόφησης μετατοπίζεται από το υπεριώδες προς το ορατό, και φτάνει στο ορατό, για αλυσίδες με 10 έως 20 άτομα C. Για αυτό η 11-cis-ρετινάλη που συμμετέχει στην λειτουργία της όρασης του ανθρώπου, η χλωροφύλλη και άλλα μόρια φωτοσυλλέκτες, έχουν στο μόριό τους συζυγιακές αλυσίδες, κλειστές ή ανοικτές. Τέτοιες έχουν στο μόριό τους και διάφορες οργανικές χρωστικές ουσίες.

7.8.2. Απεντοπισμένοι χημικοί δεσμοί σε ανοικτές αλυσίδες

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να κατανοούν ότι στο μόριο του 1,3-βουταδιενίου ο C έχει sp^2 υβριδισμό και τα ανυβριδιστά p τροχιακά, όταν παραλληλιστούν μεταξύ τους τα ηλεκτρόνια, θα μπορούν να έχουν μια απεντοπισμένη κίνηση σε όλη την αλυσίδα χαμηλώνοντας την ενέργεια του μορίου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 42

- Να γνωρίζουν ότι ο απεντοπισμός δεν εμφανίζεται μόνο σε μονοδιάστατες συστοιχίες p τροχιακών, σε κλειστές ή ανοικτές αλυσίδες, αλλά και σε διδιάστατες επαναλαμβανόμενες συστοιχίες p τροχιακών που υπάρχουν σε ενώσεις καθαρού άνθρακα, στον γραφίτη και στα φουλερένια. Έτσι, στο διαμάντι ο άνθρακας εμφανίζει sp^3 υβριδισμό και όλα τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους με ισχυρούς σ δεσμούς. Αυτό εξηγεί την μεγάλη σκληρότητα του διαμαντιού. Στην περίπτωση του γραφίτη, μπορούν να αποκολληθούν επίπεδα φύλλα, λόγω των ασθενών π δεσμών, όπως συμβαίνει όταν γράφουμε με το μολύβι μας.

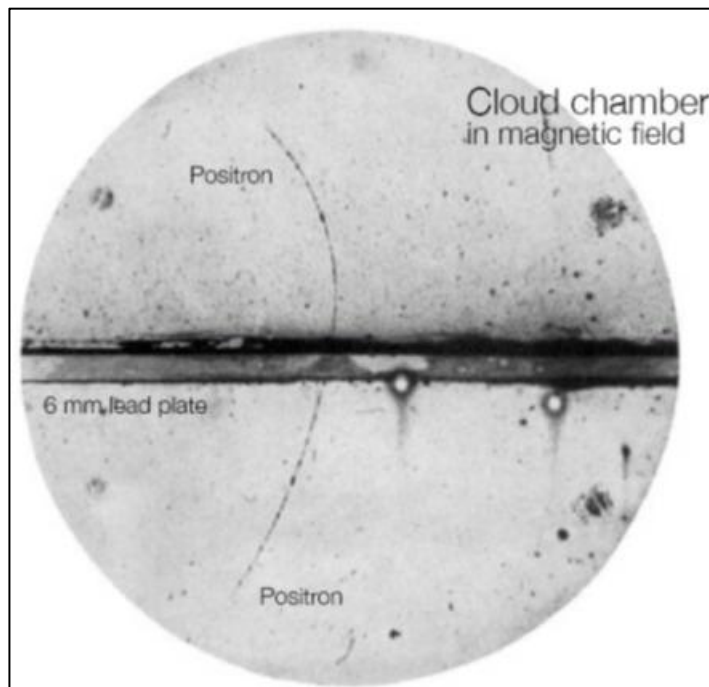
8. Στοιχειώδη σωματίδια και Κοσμολογία

8.1. Στοιχειώδη σωματίδια

8.1.1. Τα αντισωματία

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να αναφέρουν ότι τα ποζιτρόνια φωτογραφήθηκαν σε θάλαμο νέφους (υπέρκορο αέριο), ο οποίος βρισκόταν μέσα σε μαγνητικό πεδίο, το 1932 από τον Carl Anderson δύο χρόνια μετά από την θεωρητική πρόβλεψη του Dirac για την ύπαρξη αντιύλης.
- Να αναφέρουν ότι ο Carl Anderson μελετώντας τα ποζιτρόνια που βρίσκονταν στις κοσμικές ακτίνες, υπολόγισε την μάζα τους που είναι ίση με την μάζα του ηλεκτρονίου και το φορτίο τους που είναι αντίθετο του φορτίου του ηλεκτρονίου, όπως ο Dirac είχε θεωρητικά προβλέψει.
- Να γνωρίζουν ότι σε κάθε αντίδραση μεταξύ σωματιδίων ισχύουν :
 - Η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου
 - Η αρχή διατήρησης της ενέργειας (συμπεριλαμβανομένης και της ενέργειας ηρεμίας που οφείλεται στη μάζα των σωματιδίων)
 - Η αρχή διατήρησης της ορμής
 - Η αρχή διατήρησης της στροφορμής
- Να γνωρίζουν ότι κάθε σωματίο, που υπάρχει στο σύμπαν, έχει το αντίστοιχο αντισωματίο. Επιπλέον να γνωρίζουν ότι, σωματίο-αντισωματίο έχουν: ίδια μάζα, ίσες ενέργειες, αντίθετα φορτία και εάν βρεθούν πολύ κοντά μπορούν να εξαϋλωθούν και να μετατραπούν σε φωτόνια, μεσόνια και πλήθος άλλων σωματιδίων. Ακόμα θα πρέπει να γνωρίζουν ότι, εκτός των ποζιτρονίων, υπάρχουν αντινετρόνια, αντιπρωτόνια και ότι το 1995 στο CERN φτιάχτηκε για πρώτη φορά το αντι-άτομο (αντι-υδρογόνο). Τέλος, θα πρέπει να αναφέρουν τις εφαρμογές της εξαϋλώσεως ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων στην τομογραφία PET (Positron Emission Tomography) που χρησιμοποιεί η διαγνωστική ιατρική.



Εικόνα 43

8.1.2. Κβαντική Ηλεκτροδυναμική

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι το φως αλληλεπιδρά με την ύλη και η θεωρία του Maxwell για τον ηλεκτρομαγνητισμό, δεν μπορεί να ερμηνεύσει αυτήν την αλληλεπίδραση, παρά μόνο αν αναθεωρηθεί σύμφωνα με την σχετικιστική κβαντομηχανική. Έτσι, προέκυψε η κβαντική ηλεκτροδυναμική από τον Feynman και τους συνεργάτες του το 1948.

8.1.3. Ταξινόμηση των σωματίων

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι κάθε στοιχειώδες σωματίο έχει συγκεκριμένο σπιν και ότι τα σωματία με ημιακέραιο σπιν λέγονται φερμιόνια. Τέτοια είναι το ηλεκτρόνιο, το πρωτόνιο, το νετρόνιο και το νετρίνο κι έχουν όλα σπιν ίσο με $\frac{1}{2}$. Τα σωματία με ακέραιο σπιν λέγονται μποζόνια. Παράδειγμα μποζονίου είναι το φωτόνιο με σπιν 1.
- Να αντιλαμβάνονται ότι αν τα ηλεκτρόνια δεν ήταν φερμιόνια, τότε σε ένα πολυηλεκτρονιακό άτομο όλα τα ηλεκτρόνια θα βρίσκονταν στην χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη. Ουσιαστικά, δεν θα υπήρχε αυτή η ποικιλία των στοιχείων

του περιοδικού πίνακα. Αντιστοίχως τα φωτόνια πρέπει να είναι μποζόνια, γιατί διαφορετικά δεν θα μπορούσε να υπάρξει μαζί (ενεργειακά) ένα τεράστιο πλήθος φωτονίων, ώστε να έχουμε διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

- Να γνωρίζουν ότι τα σωματάρια, μεταξύ των οποίων αναπτύσσονται ισχυρές αλληλεπιδράσεις, λέγονται αδρόνια και αυτά έχουν δομή και αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια τα quarks. Αντίθετα, τα σωματίδια που δεν εκδηλώνουν ισχυρές αλληλεπιδράσεις, δεν είναι συστατικά άλλων σωματιδίων και δεν αποτελούνται από άλλα σωματίδια, λέγονται λεπτόνια. Αδρόνια είναι τα πρωτόνια και τα νετρόνια, ενώ λεπτόνια είναι τα ηλεκτρόνια, τα μύονια (μ^-), τα ταυ (τ^-) και τα αντίστοιχα νετρίνα ν_e, ν_μ, ν_τ .

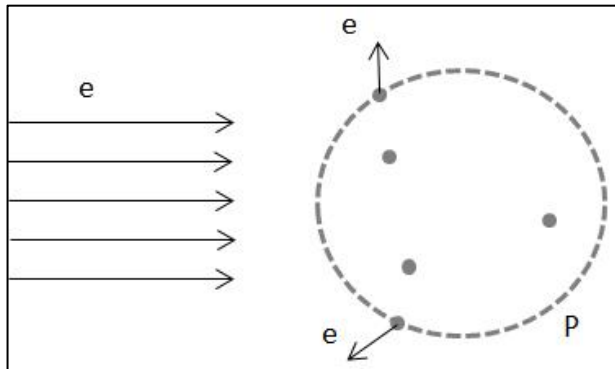


Εικόνα 44

8.1.4. Αδρόνια & quarks

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν ότι όλα τα αδρόνια (βαρυτόνια και μεσόνια), έχουν εσωτερική δομή και αποτελούνται από τα quarks. Αυτά προέβλεψαν θεωρητικά οι Gell-Mann και Zweig το 1964. Εκείνοι είχαν προβλέψει ότι πρέπει να υπάρχουν τρία σωματίδια και τα αντισωματίά τους, από τα οποία φτιάχνονται όλα τα αδρόνια. Τα quarks είναι οι θεμελιώδεις δομικοί λίθοι.
- Να γνωρίζουν ότι οι θεωρητικές προβλέψεις για τα quarks επαληθεύτηκαν με ένα πείραμα, που έγινε στο Stanford (SLAC) το 1968, αντίστοιχο του πειράματος του Rutherford. Σχηματικά το πείραμα αποδίδεται παρακάτω.



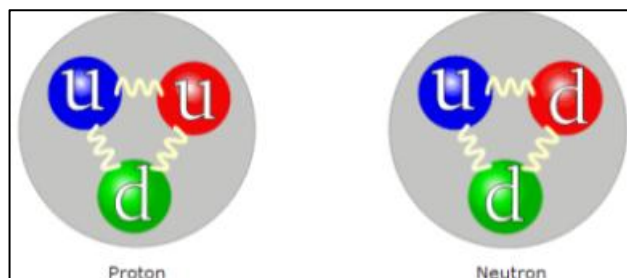
Εικόνα 45

Σε αυτό το πείραμα φάνηκε ότι το πρωτόνιο είναι μία δέσμη κατάσταση 3 σωματιδίων (uud) και όχι ένα gel χωρίς δομή. Το χρονικό ανακάλυψης των quarks έχει ως εξής:

- 1968 → u & d στο πρωτόνιο,
→ s στα «παράδοξα» σωματίδια (SLAC)
- 1974 → c (charm) (SLAC, BNL)
- 1977 → b (bottom) (Fermilab)
- 1995 → t (top) (Fermilab)

Το up έχει φορτίο $(2/3)e$ και τα d,s έχουν $(-1/3)e$. Τα quarks δεν υπάρχουν ποτέ ελεύθερα αλλά σε ομάδες με άλλα quarks. Έτσι, $p \rightarrow (u\bar{u}d)$, $n \rightarrow (u\bar{u}d)$, $p \rightarrow (uud)$.

- Να γνωρίζουν ότι τα πρωτόνια, τα νετρόνια και όλοι οι πυρήνες ονομάζονται βαρυόνια και ότι ο ολικός αριθμός βαρυονίων, ο βαρυονικός αριθμός, παραμένει σταθερός σε κάθε αντίδραση. Τα πρωτόνια και τα νετρόνια έχουν βαρυονικό αριθμό $B=1$, ενώ τα φωτόνια, τα ηλεκτρόνια και τα νετρίνα έχουν $B=0$. Αντίστοιχα, τα ηλεκτρόνια και τα νετρίνα έχουν έναν εσωτερικό κβαντικό αριθμό, τον λεπτονικό αριθμό, ο οποίος επίσης διατηρείται σε κάθε αντίδραση. Τα ηλεκτρόνια και τα νετρίνα έχουν $L=1$ ενώ τα φωτόνια, τα πρωτόνια και τα νετρίνα $L=0$. Η διατήρηση αυτών των δύο αριθμών διασφαλίζει την σταθερότητα του πρωτονίου και κατ'επέκταση των ατόμων, ενώ η σταθερότητα του ηλεκτρονίου διασφαλίζεται από την διατήρηση του φορτίου.

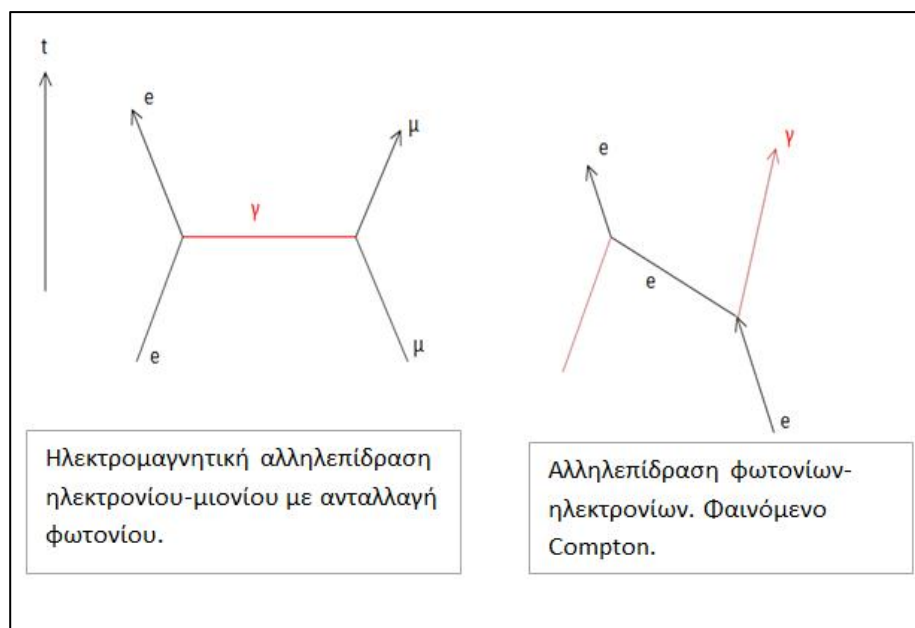


Εικόνα 46

8.1.5. Οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις ως δυνάμεις ανταλλαγής σωματίων φορέων

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

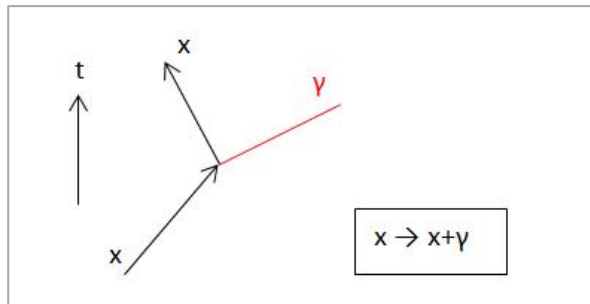
- Να αναφέρουν ότι η ασθενής αλληλεπίδραση είναι υπεύθυνη για την εκπομπή ηλεκτρονίων από τους πυρήνες και για πολλές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των λεπτονίων. Αυτή είναι μικρής εμβέλειας όπως και οι ισχυρές πυρηνικές, αλλά ασθενέστερη από αυτές. Φορείς των ασθενών αλληλεπιδράσεων είναι τα W^+ , W^- , Z^0 και πρόσφατα ανακαλύφθηκε το σωματίο Higgs H . Όλα τα παραπάνω έχουν μηδενική μάζα, και τα W^+ , W^- , Z^0 έχουν spin ίσο με 1, ενώ το H έχει spin=0.
- Να γνωρίζουν ότι οι δυνάμεις ασθενούς αλληλεπίδρασης είναι οι μόνες που μπορούν να αλλάξουν το είδος των σωματιδίων, ενώ οι άλλες τρεις δυνάμεις (ισχυρές, ηλεκτρομαγνητικές, βαρυτικές) δεν αλλάζουν το είδος των σωματιδίων.
- Να αναφέρουν την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση ως δύναμη ανταλλαγής φωτονίων, χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα Feynmann για τις απλές περιπτώσεις όπως αυτές που αναφέρονται παρακάτω:
 - Για σωματίδια με ηλεκτρικό φορτίο, εφόσον μελετώνται οι ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις, ο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης είναι το φωτόνιο που έχει μάζα $m_\gamma=0$ και spin=1.



Εικόνα 47

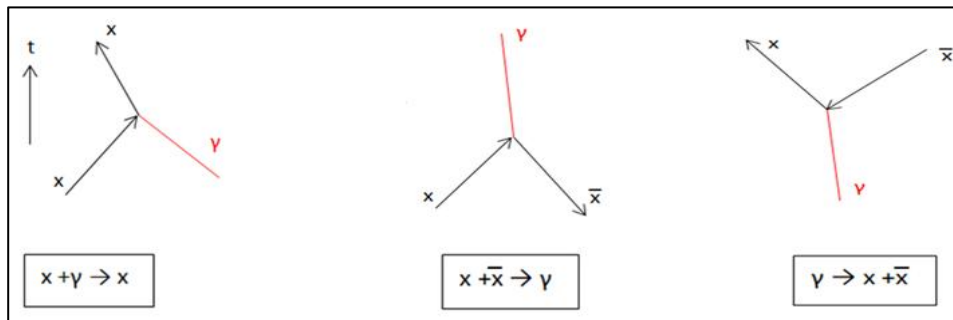
- Να μπορούν να σχεδιάζουν την θεμελιώδη αντίδραση του ηλεκτρομαγνητισμού με το διάγραμμα Feynman όπως φαίνεται παρακάτω.

➤ Για φορτισμένο σωματίδιο x :



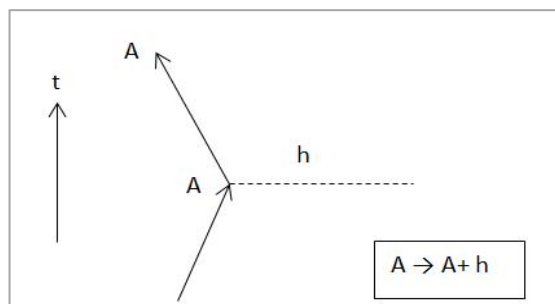
Εικόνα 48

Με βάση την αντίδραση που απεικονίζεται στην εικόνα 48 οι μαθητές θα πρέπει να μπορούν να κατασκευάζουν τα διαγράμματα κι άλλων επιτρεπτών αντιδράσεων όπως είναι αυτές της εικόνας 49.



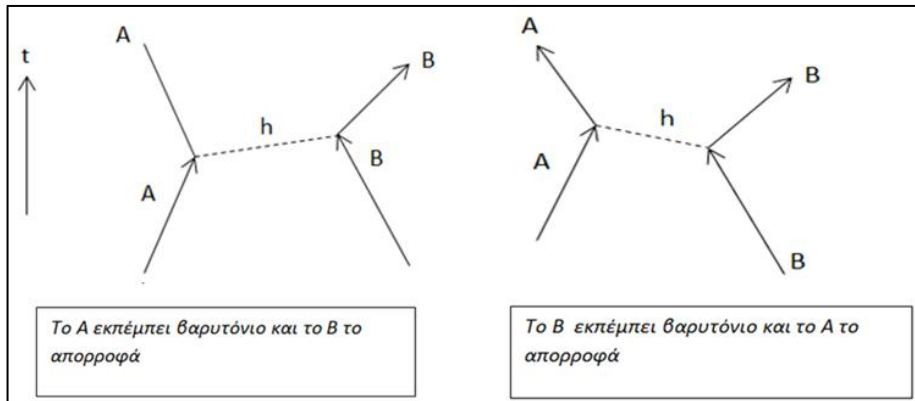
Εικόνα 49

- Να γνωρίζουν ότι η βαρυτική αλληλεπίδραση είναι μια παγκόσμια δύναμη, που την «αισθάνονται» όλα τα σώματα. Ο φορέας της βαρυτικής δύναμης είναι το βαρυτόνιο που έχει μάζα $m_h = 0$ και $spin=2$. Η θεμελιώδης αντίδραση της βαρυτικής αλληλεπίδρασης είναι αυτή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 50

- Με βάση την αντίδραση της εικόνας 50 οι μαθητές θα πρέπει να μπορούν να κατασκευάζουν τα διαγράμματα κι άλλων επιτρεπτών αντιδράσεων όπως είναι οι παρακάτω.



Εικόνα 51

- Να γνωρίζουν ότι οι ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις ανάμεσα στα νουκλεόνια του πυρήνα, αλλά και μεταξύ αδρονίων, είναι αποτέλεσμα της ανταλλαγής 8 γλουονίων (gluons) μεταξύ των quark. Οι θεμελιώδεις αντιδράσεις των ισχυρών πυρηνικών δυνάμεων όπως και των ασθενών αλληλεπιδράσεων, είναι πολύπλοκες και δεν θα γίνει αναφορά σε αυτό το επίπεδο διδασκαλίας.
- Να αναφέρουν ότι το καθιερωμένο πρότυπο της σωματιδιακής φυσικής έχει εντυπωσιακή επιτυχία, καθώς ό,τι είχε προβλεφθεί θεωρητικά, επιβεβαιώθηκε και πειραματικά.
- Να αναφέρουν ότι οι υπερενοποιημένες θεωρίες (Grand Unified Theory) GUT, είναι μια προσπάθεια να ενοποιήσουν τις τρεις αλληλεπιδράσεις, εκτός της βαρυτικής, έτσι ώστε αυτές να είναι διαφορετικές εκφάνσεις μιας θεμελιώδους αλληλεπίδρασης. Δηλαδή, να οριστεί μια θεμελιώδης αντίδραση, έτσι ώστε οι υπόλοιπες τρεις αντιδράσεις να απορρέουν από αυτήν.

mass → ≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge → 2/3	2/3	2/3	0	0
spin → 1/2	1/2	1/2	1	0
u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
-1/3	-1/3	-1/3	0	
1/2	1/2	1/2	1	
d down	s strange	b bottom	γ photon	
0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
-1	-1	-1	0	
1/2	1/2	1/2	1	
e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
0	0	0	±1	
1/2	1/2	1/2	1	
ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
			GAUGE BOSONS	

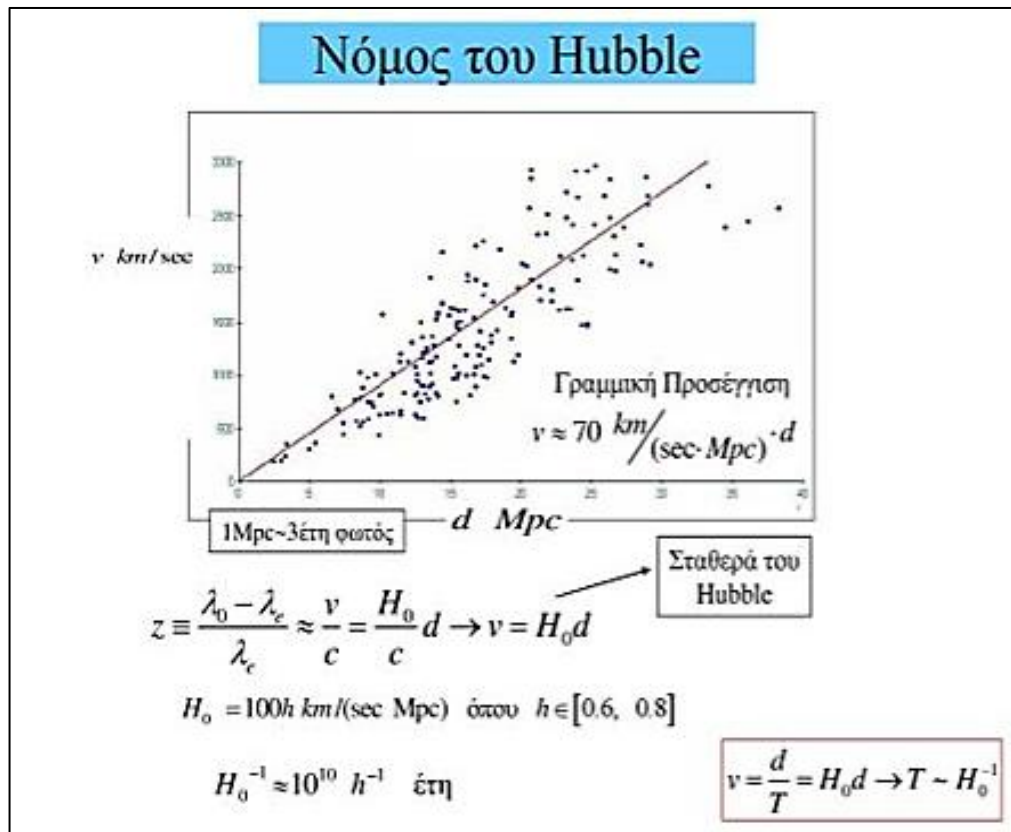
Εικόνα 52

8.2. Κοσμολογία

8.2.1. Μονάδες μήκους- Κοσμολογική Αρχή- Νόμος του Hubble

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν αρχικά, πώς οι ορίζονται αστρονομικές μονάδες 1p.c. και 1 light year και την σχέση τους $1\text{p.c.} \approx 3,26 \text{ lyrs}$. Τέλος, θα πρέπει να γνωρίζουν τις διαστάσεις του γαλαξία μας, καθώς και την απόσταση από τον πιο κοντινό σε εμάς γαλαξία ,την Ανδρομέδα.
- Να κατανοούν την κοσμολογική αρχή βάση της οποίας, πρώτον στο σύμπαν δε υπάρχει προϋπάρχουσα θέση, ούτε κατεύθυνση, και δεύτερον το σύμπαν είναι ομοιογενές και ισότροπο ,γεγονός που επιβεβαιώνεται παρατηρησιακά για περιοχές του της τάξης των 100 Mpc.
- Να γνωρίζουν ότι το σύμπαν δεν είναι στατικό. Το γεγονός αυτό ανακάλυψε πρώτος ο Hubble το 1929. Αναλυτικότερα, ο Hubble παρατηρώντας με τηλεσκόπιο το φως που προερχόταν από μακρινούς γαλαξίες, παρατήρησε αλλαγή στο μήκος κύματος του φωτός, άρα, η πηγή ήταν σε σχετική κίνηση ως προς τον παρατηρητή, δηλαδή: $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{u}{c}$ (Φαινόμενο Doppler). Έπειτα, ο Hubble υπολόγισε την ταχύτητα απομάκρυνσης από την σχέση $u \approx H_0 \cdot d$, όπου d η απόσταση της φωτεινής πηγής από τον παρατηρητή και H_0 μια σταθερά (η επονομαζόμενη σταθερά του Hubble), η οποία είναι ανεξάρτητη του παρατηρητή και σήμερα έχει τιμή $H_0 \approx (68 \pm 1) \frac{\text{km}}{\text{Mpc} \cdot \text{s}}$. Τέλος, η γενικότερη έκφραση του νόμου του Hubble, ο οποίος βρίσκεται σε πλήρη συμβατότητα με την κοσμολογική αρχή, είναι $u(t) = H(t) \cdot d(t)$. Όπως είναι εμφανές και τα τρία μεγέθη της έκφρασης του νόμου του Hubble εξαρτώνται από τον χρόνο παρατήρησης.
- Να συμπεραίνουν από τον νόμο του Hubble ότι διαγράφοντας μια νοητή πορεία στο παρελθόν, το σύμπαν προέρχεται από ένα «σημείο» άπειρης ενέργειας και άπειρης θερμοκρασίας. Αυτό το «σημείο» με το Big Bang άρχισε να διαστέλλεται ,δημιουργώντας τον χώρο, να αραιώνει και να ψύχεται.
- Να κατανοούν ότι, αν στον νόμο του Hubble ($u \approx H_0 \cdot d$) η ταχύτητα θεωρηθεί σταθερή, ισχύει η σχέση $d = u \cdot t$. Από τις δύο αυτές σχέσεις θα προκύψει η ηλικία του σύμπαντος η οποία είναι $t = 1/H_0 = 14,4 \text{ Gyrs}$. Στην σημερινή εποχή είναι γνωστό ,από πληρέστερες κι ακριβέστερες μετρήσεις, ότι η ηλικία του σύμπαντος είναι 13,7Gyrs, καθότι η ταχύτητα δεν μπορεί να θεωρηθεί σταθερή λόγω της βαρυτικής έλξης μεταξύ των γαλαξιών. Παρατηρήσεις των τελευταίων ετών έχουν δείξει ότι τα τελευταία 7,5 δισεκατομμύρια χρόνια, υπάρχει αύξηση της ταχύτητας, σαν κάποια άγνωστη δύναμη να επιταχύνει τους γαλαξίες.

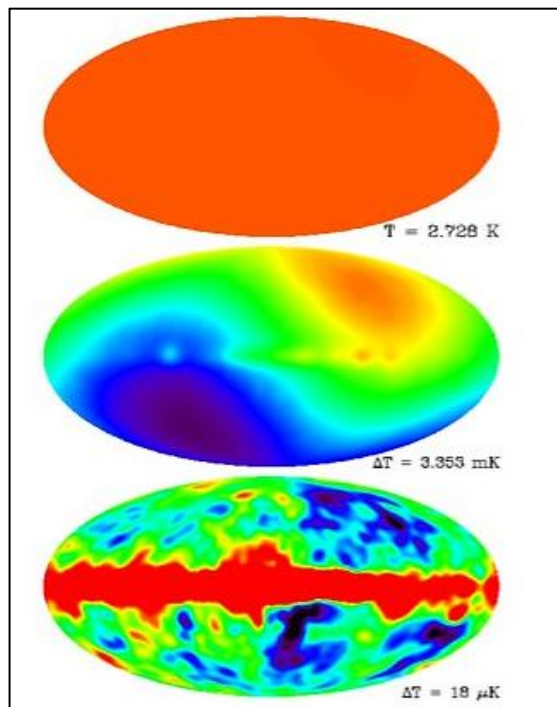


Διάγραμμα 2

8.2.2. Ακτινοβολία υποβάθρου

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να γνωρίζουν τί ονομάζεται ακτινοβολία υποβάθρου και πώς από τον νόμο του Wien : $\lambda \cdot T = 0,3 \text{ cm} \cdot \text{K}$ για την σημερινή θερμοκρασία του σύμπαντος που είναι $T = 2,74\text{K}$, το φάσμα αυτής της ακτινοβολίας βρίσκεται στην περιοχή των μικροκυμάτων. Αυτό πρόέβλεψαν οι Gaimon, Alpher & Herman και επιβεβαίωσαν οι Penzias και Wilson το 1965 οι οποίοι με μία κεραία που κατασκεύασαν, μέτρησαν την ένταση της ακτινοβολίας, βρίσκοντας την ίδια τιμή προς όποια κατεύθυνση κι αν έστρεφαν την κεραία τους.



Εικόνα 53

8.2.3. Κρίσιμη πυκνότητα

Οι μαθητές να είναι σε θέση:

- Να προσδιορίζουν την κρίσιμη πυκνότητα του σύμπαντος από την ταχύτητα διαφυγής, ακολουθώντας την πορεία:

$$u_{\delta} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{2G\rho 4R^3}{3R}} = \sqrt{\frac{8\pi G\rho R^2}{3}} \Rightarrow \rho = \frac{3u_{\delta}^2}{8\pi GR^2} \Rightarrow \rho = \frac{\left(\frac{3u_{\delta}}{R}\right)^2}{8\pi G} \Rightarrow \rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

όπου H η σταθερά του Hubble. Επιπλέον, επειδή η εξέλιξη του σύμπαντος προσιδιάζει με την διαδικασία ενός σώματος το οποίο διαφεύγει από κάποιο πεδίο βαρύτητας, η κρίσιμη πυκνότητα του σύμπαντος δίνεται από την σχέση

$$\rho_c(t) = \frac{3H(t)^2}{8\pi G}.$$

- Να αντιλαμβάνονται ότι στην διαστολή του σύμπαντος αντιτίθεται η βαρύτητα, και ότι την απάντηση στο ερώτημα τι προκαλεί την συστολή, την διαστολή ή και την παραμονή σε σταθερή κατάσταση του σύμπαντος, δίνει η συσχέτιση της πυκνότητας (d) με την κρίσιμη πυκνότητα (d_c) του σύμπαντος:
 - $d < d_c \rightarrow$ το σύμπαν διαστέλλεται
 - $d = d_c \rightarrow$ η διαστολή του σύμπαντος τείνει να σταματήσει
 - $d > d_c \rightarrow$ η διαστολή του σύμπαντος κάποια χρονική στιγμή σταματά και αρχίζει η συρρίκνωση

- Να μπορούν να περιγράψουν τον επιστημονικά παραδεκτό τρόπο δημιουργίας του σύμπαντος και να γνωρίζουν τις εξής δύο σημαντικές χρονικές διάρκειες:
 - $0 - 10^{-43}$ s -> Το χρονικό διάστημα αυτό, ονομάζεται χρόνος του Planck, προκύπτει από την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg και δεν είναι γνωστή ούτε και μπορεί να περιγραφεί κάποια πληροφορία για το σύμπαν. Αυτό είναι το λεγόμενο πρόβλημα της κβαντικής βαρύτητας.
 - $10^{-43} - 10^{-35}$ s -> Οι τέσσερις δυνάμεις της φύσης ήταν ενοποιημένες.
- Να γνωρίζουν τί ονομάζεται σκοτεινή ύλη και ποιά επιχειρήματα συνηγορούν για την ύπαρξή της. Πρώτος ο Zwicky (1933) παρατήρησε τις κινήσεις των γαλαξιών σε σμήνη, γεγονός που δικαιολογείται μόνο εάν υπάρχει μάζα έως και 100 φορές μεγαλύτερη από αυτήν που παρατηρείται. Δεύτερο επιχείρημα είναι ότι οι ταχύτητες των αστέρων ενός γαλαξία, σε συνάρτηση με την απόσταση r , πολύ μακριά από το κέντρο του γαλαξία, είναι $\approx \frac{1}{\sqrt{r}}$. Όμως, σύμφωνα με την θεωρία της βαρύτητας και τα πειραματικά δεδομένα, η ταχύτητα (u) αυξάνεται με αύξηση της απόστασης (r). Τρίτο επιχείρημα αποτελεί το φαινόμενο του μαγνητικού φακού. Το φως ενός μακρινού αντικειμένου δέχεται βαρυτικές δυνάμεις από μεγάλες μάζες που συναντά στην πορεία του και καμπυλώνεται. Ωστόσο, παρατηρείται μεγάλη καμπύλωση η οποία αντιστοιχεί σε μάζα 20 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα των υπαρχόντων γαλαξιών.
- Να γνωρίζουν ότι ο χώρος του σύμπαντος είναι ο Ευκλείδειος χώρος και ότι η ιστορία του σύμπαντος διαιρείται σε τέσσερις περιόδους, την περίοδο των αδρονίων, την περίοδο των λεπτονίων, την περίοδο του πλάσματος (αυτές οι τρεις αποτελούν την περίοδο της ακτινοβολίας) και την περίοδο της ύλης.

9. Συμπεράσματα

Η διδασκαλία της κβαντομηχανικής και σύγχρονης φυσικής στην Γ' Λυκείου είναι ένα φιλόδοξο, δύσκολο αλλά και αναγκαίο εγχείρημα που απαιτεί πολύ καλή προετοιμασία για την επιτυχή του έκβαση.

Πρώτη σημαντική δυσκολία είναι το γεγονός ότι οι μαθητές έχουν ήδη προκατασκευασμένες εμπειρικές γνώσεις οι οποίες θα αποτελούν εμπόδιο για την κατανόηση της σύγχρονης φυσικής. Το ζητούμενο με την διδασκαλία της κβαντομηχανικής είναι το πώς ο εκπαιδευτικός θα ανατρέψει τα συσσωρευμένα από την καθημερινή ζωή εμπόδια και θα αντιμάχεται καθημερινά τις παλιές εμπειρικές γνώσεις των μαθητών οι οποίες θα επανέρχονται συνεχώς.

Δεύτερη σημαντική δυσκολία αποτελεί ο βαθμός ανταπόκρισης των εκπαιδευτικών που θα διδάξουν το μάθημα. Την κατάσταση αποδίδει, με αισιόδοξο τρόπο ο φιλόσοφος Gaston Bachelard (1977).

«Στη διάρκεια της μακράς και ποικιλόμορφης σταδιοδρομίας μου δεν είδα ποτέ έναν εκπαιδευτικό να αλλάζει διδακτική μέθοδο. Ο εκπαιδευτικός, δεν έχει το αίσθημα της αποτυχίας, ακριβώς γιατί θεωρεί τον εαυτό του δάσκαλο. Όποιος διδάσκει διατάζει. Εξού πηγάζουν πλήθος ένστικτα. Οι νοη Μονακουν και Mourgue πολύ σωστά έχουν σημειώσει αυτή τη δυσκολία στις μεθόδους μεταρρυθμίσεων, επικαλούμενοι το βάρος των ενστικτων « υπάρχουν άτομα για τα οποία κάθε συμβουλή για τις εκπαιδευτικές πλάνες που διαπράττουν είναι ολωσδιόλου ανώφελη διότι αυτές οι δήθεν πλάνες, δεν είναι τίποτε άλλο από ενστικτικές συμπεριφορές»

Για να ξεπεραστούν οι δυσκολίες θα πρέπει να δημιουργηθεί έγκαιρα ένα εθνικό πρόγραμμα για την διδασκαλία των Φυσικών επιστημών σε όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης. Σε αυτό το πρόγραμμα πρέπει να συμμετάσχουν εκπαιδευτικοί των συγκεκριμένων ειδικοτήτων από όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης αλλά και ειδικοί της ιστορίας, της φιλοσοφίας και της διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Σκοπός του προγράμματος θα είναι η συγγραφή νέων σχολικών βιβλίων και η μακρά, συνεχής και επίμονη επιμόρφωση του εκπαιδευτικού προσωπικού που θα διδάξει φυσική στην Γ' Λυκείου αλλά και στις υπόλοιπες τάξεις και βαθμίδες της Εκπαίδευσης.

Παράρτημα Ι : «ΦΕΚ: Προγράμματος Σπουδών του μαθήματος της Φυσικής της Γ' τάξης Γενικού Λυκείου»

ΦΥΣΙΚΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ – Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ		
Θεματικά Πεδία	Θεματικές Ενότητες	Προσδοκώμενα Μαθησιακά Αποτελέσματα
	<p>ΕΝΟΤΗΤΑ 4.2: ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΛΑΣΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΣΤΗΝ ΠΡΩΙΜΗ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ακτινοβολία μέλανος σώματος (Συνεχή φάσματα) • Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο • Το φαινόμενο Compton • Το ατομικό μοντέλο του Thomson • Το πείραμα του Rutherford και το ατομικό του μοντέλο • Γραμμικά φάσματα και Ατομικές ενεργειακές στάθμες • Το πρότυπο του Bohr • Παραγωγή και φάσματα ακτίνων Χ 	<ul style="list-style-type: none"> • Να αναγνωρίζουν ότι η θερμή ύλη στη συμπυκνωμένη κατάσταση (στερεά ή υγρή) εκπέμπει ακτινοβολία, της οποίας το φάσμα εμφανίζει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και να ορίζουν την ακτινοβολία του μέλανος σώματος. • Να συσχετίζουν τα πειραματικά δεδομένα, των Wien και Stefan – Boltzmann, της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος, καθώς και το πρόβλημα της πειραματικής καμπύλης που έπρεπε να εξηγηθεί. • Να διαπιστώσουν την αποτυχία της κλασικής θεωρίας να εξηγήσει τη «συμπεριφορά» της καμπύλης του μέλανος σώματος στις υψηλές συχνότητες. • Να αναγνωρίζουν την παραδοχή του Planck στην εξήγηση της πειραματικής καμπύλης του μέλανος σώματος. • Να περιγράφουν λεκτικά την ερμηνεία του Planck και να την αξιοποιούν για την ποιοτική ερμηνεία της μορφής της συνάρτησης της έντασης της ακτινοβολίας $I(\lambda)$ ως συνάρτησης του λ. • Να περιγράφουν το πείραμα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και να σχεδιάζουν το αντίστοιχο κύκλωμα. • Να αντιπαραβάλλουν τα πειραματικά δεδομένα για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο με τις προβλέψεις της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. • Να αναγνωρίζουν τη σύγκρουση της κλασικής θεωρίας με τα πειραματικά δεδομένα. • Να αξιοποιούν την υπόθεση του Einstein για την πλήρη εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και τη χάραξη των χαρακτηριστικών του καμπυλών. • Να ολοκληρώνουν την πρώιμη κβαντική θεωρία για το σωματιδιακό χαρακτήρα του φωτός με την παραδοχή (εξαγωγή) της σχέσης που συνδέει την ορμή του φωτονίου με το μήκος κύματος ($p = \frac{h}{\lambda}$).

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Να περιγράψουν το φαινόμενο (σκέδαση) Compton. ▪ Να εξηγούν τα μεγέθη που υπεισέρχονται στην εξίσωση για τη μεταβολή του μήκους κύματος της ακτινοβολίας: $\lambda' - \lambda = \frac{h}{m \cdot c} \cdot (1 - \cos\theta)$ και να αναγνωρίζουν τον σχετικιστικό της χαρακτήρα. ▪ Να περιγράψουν το πρότυπο του Thomson για τη δομή του ατόμου. ▪ Να περιγράψουν και να ερμηνεύουν πειράματα σκέδασης του Rutherford με έμφαση στην οπισθοσκέδαση μερικών βλημάτων. ▪ Να περιγράψουν το πλανητικό πρότυπο του Rutherford για τη δομή του ατόμου. ▪ Να αναγνωρίζουν την αδυναμία της κλασικής Φυσικής να εξηγήσει τη σταθερότητα των ατόμων. ▪ Να συνδέουν την κβάντωση της στροφορμής με τον μηχανισμό εκπομπής φωτονίων (και λόγω της σταθεράς h που έχει τις ίδιες διαστάσεις). ▪ Να διατυπώνουν τις συνθήκες του Bohr. ▪ Να εφαρμόζουν τις συνθήκες του Bohr για τον προσδιορισμό των ακτίνων των (ευσταθών) τροχιών και των ενεργειακών σταθμών του ατόμου του υδρογόνου. ▪ Να ερμηνεύουν με τις συνθήκες του Bohr τα χαρακτηριστικά των εκπεμπόμενων ή απορροφούμενων φωτονίων. ▪ Να προσδιορίζουν την ενέργεια ιονισμού του ατόμου του υδρογόνου. ▪ Να αναγνωρίζουν την κβάντωση ως κομβική ιδέα στη σταθερότητα της ύλης. ▪ Να αναγνωρίζουν ότι το πρότυπο του Bohr συνδυάζει αρχές της κβαντικής Φυσικής (συνθήκες του Bohr) με τους νόμους της κλασικής μηχανικής (ύπαρξη τροχιάς) και επομένως έχει ημικλασικό χαρακτήρα. ▪ Να περιγράψουν τα βασικά μέρη μιας συσκευής ακτίνων X, να συγκρίνουν την παραγωγή των ακτίνων X με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και να διαπιστώνουν την αναλογία (αντίστροφο του φωτοηλεκτρικού). ▪ Να περιγράψουν το φάσμα των ακτίνων X και να εντοπίζουν την ύπαρξη συνεχούς και γραμμικού τμήματος και να δίνουν τις απαραίτητες εξηγήσεις για τον σχηματισμό τους και τα χαρακτηριστικά τους. ▪ Να προσδιορίζουν το λ_{\min} του συνεχούς φάσματος των ακτίνων X. ▪ Να αναγνωρίζουν εφαρμογές των ακτίνων X.
<p>ΕΝΟΤΗΤΑ 4.3: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός για το φως. Κύματα ύλης: 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Να αναφέρουν τα χαρακτηριστικά ενός σωματιδίου και ενός κύματος και να συμπεραίνουν ότι στην κλασική Φυσική τα σωματίδια και τα κύματα είναι δύο ξεχωριστές οντότητες. ▪ Να αναφέρουν φαινόμενα που έχουν μελετήσει θεωρώντας ότι το φως (ηλεκτρομαγνητική

	<ul style="list-style-type: none"> • Ο κυματοσωματιδιακός διϊσμός για το ηλεκτρόνιο • Η αρχή της Απροσδιοριστίας και εφαρμογές της • Κυματοσυναρτήσεις για σωματίδια σε κουτί • Εξίσωση του Schrödinger (περιγραφή και ερμηνεία των όρων στην χρονοανεξάρτητη εξίσωση σε μια διάσταση) 	<p>ακτινοβολία) συμπεριφέρεται ως κύμα, καθώς και φαινόμενα στα οποία συμπεριφέρεται ως δέσμη σωματιδίων (με μηδενική μάζα ηρεμίας).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Να συνδέουν την ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας $I = \frac{\text{Μεταφερόμενη Ενέργεια}}{(\text{μονάδα χρόνου}) \cdot (\text{μονάδα επιφάνειας})}$ (Κυματική Περιγραφή) με την ένταση $I = \frac{(\text{Αριθμός Φωτονίων}) \cdot E_{\phi}}{(\text{μονάδα χρόνου}) \cdot (\text{μονάδα επιφάνειας})}$ (σωματιδιακή περιγραφή), όπου E_{ϕ} η ενέργεια φωτονίου. • Να συνδέουν την ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που είναι ανάλογη με την Ένταση Ηλεκτρικού πεδίου στο τετράγωνο (E^2) (Κυματική Περιγραφή) με την ένταση που είναι ανάλογη με $\sim \frac{\text{πίθανότητα κύμασης ενός φωτονίου}}{(\text{μονάδα χρόνου}) \cdot (\text{μονάδα επιφάνειας})}$ (σωματιδιακή περιγραφή). • Να διατυπώνουν την υπόθεση De Broglie και να αξιοποιούν τις μαθηματικές σχέσεις για το μήκος κύματος και τη συχνότητα των υλικών κυμάτων. • Να περιγράφουν την κυματική συμπεριφορά των σωματιδίων αποδίδοντάς τους αντίστοιχη συχνότητα και μήκος κύματος. • Να εξηγούν γιατί δεν είναι πειραματικά ανιχνεύσιμο το μήκος κύματος De Broglie στον μακρόκοσμο. • Να αναγνωρίζουν ότι η κυματική συμπεριφορά των σωματιδίων εκδηλώνεται σε πειράματα περίθλασης, συμβολής όταν το λ τους είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με οπές ή εμπόδια. • Να εξάγουν τη συνθήκη του Bohr για την κβάντωση της στροφορμής υποθέτοντας ότι το ηλεκτρόνιο σχηματίζει στάσιμα κύματα κατά μήκος της κυκλικής τροχιάς στο άτομο. • Να αναγνωρίζουν ότι η αρχή της απροσδιοριστίας για την ταχύτητα και τη θέση ενός σωματιδίου $\{ \Delta x \cdot \Delta v_x \geq \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot m} \}$ καταργεί την έννοια της τροχιάς για την περιγραφή της κίνησης ενός σωματιδίου, η οποία είναι βασική έννοια για την κλασική μηχανική. • Να αναγνωρίζουν την αρχή της απροσδιοριστίας θέσης-ορμής ως εγγενή αρχή της φύσης και όχι ως αδυναμία των μετρητικών οργάνων. • Να αναγνωρίζουν ότι η αρχή της απροσδιοριστίας αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητα των νόμων της φύσης και περιορίζει στις περισσότερες περιπτώσεις τις όποιες θεωρητικές προβλέψεις σε πιθανοθεωρητικές ή στατιστικές, σε αντίθεση με τον αυστηρά αιτιοκρατικό χαρακτήρα της κλασικής Φυσικής. • Να αναγνωρίζουν ότι στον μικρόκοσμο, όπου οι διαστάσεις $\{ \Delta x \sim x \}$ και οι μάζες $\{ \Delta p \sim p \}$ είναι πολύ μικρές, η αρχή της απροσδιοριστίας
--	--	---

		<p>/απροσδιοριστίας παίζει κυρίαρχο ρόλο και επομένως επικρατεί η κβαντική περιγραφή, ενώ $\frac{\Delta x}{\lambda} \rightarrow 0$ στον μακρόκοσμο, όπου η οι διαστάσεις $\{ X \}$ και οι μάζες $\frac{\Delta p}{P} \rightarrow 0$ $\{ P \}$ είναι μεγάλες, η αρχή της αβεβαιότητας /απροσδιοριστίας δεν παίζει κανέναν ρόλο και επομένως επικρατεί η κλασική περιγραφή.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Να διατυπώνουν την αρχή της αβεβαιότητας για την ενέργεια και τον χρόνο και να εξηγούν το περιεχόμενο των συμβόλων. • Να περιγράψουν τις καταστάσεις σωματιδίου σε κουτί μήκους L ως στάσιμα κύματα (ικανοποιούν την εξίσωση: $\Psi(x) = A \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot x\right)$), αντίστοιχα με τα στάσιμα κύματα σε χορδή με στερεωμένα τα άκρα και να προσδιορίζουν τις επιτρεπόμενες ενεργειακές στάθμες. • Να γνωρίζουν ότι η ταλάντωση χορδής (μία διάσταση) περιγράφεται από την εξίσωση κύματος που επαληθεύει μία εξίσωση που λέγεται διαφορική. • Να αντιστοιχίσουν την εξίσωση κύματος με την κυματοσυνάρτηση $\psi(x)$ που ικανοποιεί την ίδια εξίσωση. • Να αναγνωρίζουν τα μεγέθη που εμφανίζονται στη γενική μορφή της χρονοανεξάρτητης εξίσωσης του Schrödinger, που αποτελεί τη θεμελιώδη εξίσωση της κβαντικής μηχανικής. • Να ερμηνεύουν το $\Psi(x) ^2$ ως την (πυκνότητα) πιθανότητα εύρεσης του σωματιδίου σε ορισμένη περιοχή του χώρου. • Να εξηγούν ότι το φαινόμενο σήραγγας δεν μπορεί να ερμηνευτεί με τη κλασική Φυσική και να το διερευνούν δίνοντας ποιοτικές εξηγήσεις με βάση την αρχή της απροσδιοριστίας $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2\pi}$.
	<p>ΕΝΟΤΗΤΑ 4.4: ΑΤΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Το άτομο του υδρογόνου: Κβαντικοί αριθμοί • Πειραματική μελέτη της κβάντωσης της στροφορμής • Το σπιν του ηλεκτρονίου • Μποζόνια, φερμιόνια και απαγορευτική αρχή 	<ul style="list-style-type: none"> • Να θεωρούν ως σημείο αφετηρίας της περιγραφής του ατόμου του υδρογόνου την εξίσωση του Schrödinger (SE). • Να πληροφρούνται ότι οι λύσεις της SE είναι συμβατές με την κβάντωση της ενέργειας του Bohr (κύριος κβαντικός αριθμός). • Να αναφέρουν ότι, αν το ηλεκτρόνιο δε βρίσκεται σε σφαιρικό φλοιό, τότε έχει τροχιακή στροφορμή με μη μηδενικό μέτρο και ότι μόνο το

	<p>• Λείζερ</p>	<p>μέτρο της L και μια συνιστώσα της L_z είναι δυνατόν να μετρηθούν συγχρόνως.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Να αναγνωρίζουν ότι τα μεγέθη L και L_z είναι κβαντισμένα και να γράφουν τις τιμές τους εισάγοντας τους αντίστοιχους κβαντικούς αριθμούς l και m_l. ▪ Να αναφέρουν ότι η κβάντωση των L και L_z προκύπτει από την αντίστοιχη εξίσωση του Schrödinger. ▪ Να αναγνωρίζουν ότι η παρουσία του μαγνητικού πεδίου μεταβάλλει το φάσμα εκπομπής των ατόμων και να περιγράψουν σχετικά πειράματα (Stern-Gerlach, φαινόμενο Zeeman). ▪ Να αναγνωρίζουν ότι το άτομο στο μαγνητικό πεδίο αποκτά ενέργεια που οφείλεται στη στροφορμή του ηλεκτρονίου. ▪ Να αναφέρουν τις πειραματικές ενδείξεις που οδήγησαν στην εισαγωγή μιας επιπλέον κβαντισμένης στροφορμής για το ηλεκτρόνιο που ονομάζεται σπιν, και να εξηγούν ότι το σπιν του ηλεκτρονίου δεν είναι αντίστοιχο μέγεθος της κλασικής ιδιοστροφορμής, διότι το ηλεκτρόνιο είναι σημειακό. ▪ Να αναγνωρίζουν ότι η ιδιοστροφορμή ενός σωματιδίου προσδιορίζεται από το μέτρο της (S) από τη συνιστώσα S_z και ότι τα μεγέθη S και S_z είναι κβαντισμένα. ▪ Να προσδιορίζουν τις τιμές των μεγεθών S και S_z εισάγοντας τους αντίστοιχους κβαντικούς αριθμούς του σπιν (s) που παίρνει ακέραιες ή ημιακέραιες τιμές και της συνιστώσας του σπιν (m_s) που παίρνει τιμές από $-s$ έως $+s$. ▪ Να αναγνωρίζουν ότι η κατάσταση ενός ηλεκτρονίου περιγράφεται από την τετράδα των κβαντικών αριθμών: n, l, m_l, m_s. ▪ Να αναγνωρίζουν ότι όλα τα σωματρία έχουν σπιν. Τα σωματρία που αποτελούν τη συνήθη ύλη έχουν σπιν με κβαντικό αριθμό $\frac{1}{2}$, ενώ τα φωτόνια και τα πιόνια έχουν σπιν με κβαντικούς αριθμούς 1 και 0 αντίστοιχα. ▪ Να αναγνωρίζουν ότι στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας η στατιστική που ακολουθούν τα σωματρία εξαρτάται από το σπιν τους και είναι διαφορετική από την κλασική κατανομή Maxwell-Boltzmann. ▪ Να αναγνωρίζουν ότι τα σωματρία με ακέραιο κβαντικό αριθμό σπιν ακολουθούν την κατανομή Bose-Einstein και ονομάζονται μποζόνια. ▪ Να αναγνωρίζουν ότι τα σωματρία με ημιακέραιο κβαντικό αριθμό σπιν ακολουθούν την κατανομή Fermi - Dirac και ονομάζονται φερμιόνια. ▪ Να διατυπώνουν την απαγορευτική αρχή του Pauli. ▪ Να αναγνωρίζουν την εκπομπή και την απορρόφηση του φωτός ως διαδικασίες
--	-----------------	--

		<p>αλληλεπίδρασης ατόμου (ή δομικών λίθων της ύλης) και φωτονίου.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Να διακρίνουν την αυθόρμητη από την εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων από άτομα. ▪ Να εξηγούν την αρχή λειτουργίας ενός λέιζερ ως εξαναγκασμένης εκπομπής φωτός.
	<p>ΕΝΟΤΗΤΑ 4.5: ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ιδιότητες των πυρήνων • Ενέργεια σύνδεσης και σταθερότητα του πυρήνα • Ισχυρή δύναμη και ενεργειακές στάθμες του πυρήνα • Ραδιενεργές μετατροπές • Νόμος των ραδιενεργών διασπάσεων • Πυρηνικές αντιδράσεις • Πυρηνική σχάση • Πυρηνική σύντηξη • Βιολογικές επιπτώσεις της ακτινοβολίας 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Να αναφέρουν με βάση τα εμπειρικά δεδομένα τις ιδιότητες των πυρήνων (περίπου ίδια πυκνότητα και σφαιρική κατανομή φορτίου). ▪ Να εξηγούν ότι το έλλειμμα μάζας των πυρήνων οφείλεται στην αρνητική δυναμική ενέργεια που συνδέεται με την ισχυρή πυρηνική δύναμη μεταξύ των νουκλεονίων. ▪ Να συνδέουν την ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο με τη σταθερότητα των πυρήνων και να αξιοποιούν το αντίστοιχο διάγραμμα για να προσδιορίζουν την περιοχή με τους σταθερότερους πυρήνες και να προβλέπουν πιθανές αυθόρμητες αντιδράσεις σύντηξης ή σχάσης πυρήνων. <p style="text-align: center;">E_B</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Να αναγνωρίζουν ότι το πηλίκο A είναι σχεδόν σταθερό στην περιοχή γύρω από τα $8 MeV$ <p style="text-align: center;"><u>νοκλεονιο</u></p> <p>και να αναγνωρίζουν ότι αυτό οδηγεί στην υπόθεση ότι τα νουκλεόνια του πυρήνα αλληλεπιδρούν με δυνάμεις μικρής εμβέλειας. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Να αναγνωρίζουν στο διάγραμμα SegreN-Z ότι το $\frac{N}{Z}$ αυξάνεται όταν αυξάνεται ο μαζικός αριθμός. ▪ Να περιγράφουν την εκπομπή ενός σωματιδίου α από βαρείς πυρήνες και να αξιοποιούν την έννοια της ενέργειας για να εξηγούν ότι η εκπομπή σωματιδίων α ευνοείται ενεργειακά. ▪ Να περιγράφουν τις διαφορετικές διαδικασίες της β διάσπασης: β^-, β^+ και να τη συνδέουν με τις ασθενείς αλληλεπιδράσεις. ▪ Να γράφουν τις αντίστοιχες εξισώσεις και να διακρίνουν ότι τα ελεύθερα πρωτόνια είναι σταθερά/δε διασπώνται, σε αντίθεση με τα νετρόνια, τα οποία διασπώνται πολύ γρήγορα. Να συνδέσουν τη διάσπαση του νετρονίου με τη μεγαλύτερη μάζα του σε σχέση με το πρωτόνιο. ▪ Να συνδέουν την υπόθεση ύπαρξης των νετρίνων, στις διασπάσεις β, με την αποκατάσταση της ισχύος των αρχών διατήρησης ορμής, ενέργειας και στροφορμής. • Να αναφέρουν ότι τα νετρίνα έχουν πολύ μικρή μάζα, αλλά κρίσιμη για την εξέλιξη του σύμπαντος ▪ Να αναγνωρίζουν ότι μια ραδιενεργός διάσπαση είναι μια κβαντική διαδικασία που περιγράφεται με πιθανότητες και να ορίζουν τη σταθερά </p>

		<p>διάσπασης λ ως την πιθανότητα διάσπασης ενός πυρήνα ανά μονάδα χρόνου.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Να ορίζουν την ενεργότητα ενός δείγματος και τις μονάδες της. ▪ Να εκφράζουν τον νόμο των ραδιενεργών διασπάσεων σε εκθετική μορφή τονίζοντας ότι έχει στατιστικό περιεχόμενο. ▪ Να ορίζουν τον χρόνο υποδιπλασιασμού και να αποδεικνύουν τη σχέση με τη σταθερά διάσπασης. ▪ Να περιγράφουν την αρχή της μεθόδου της ραδιοχρονολόγησης και να αναφέρουν σχετικές εφαρμογές. ▪ Να αναγνωρίζουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης τεχνητών (όχι αυθόρμητων) πυρηνικών αντιδράσεων που οδηγούν σε μεταστοιχείωση. ▪ Να εφαρμόζουν στις πυρηνικές αντιδράσεις τις αρχές διατήρησης του φορτίου, του αριθμού των νουκλεονίων και της ενέργειας – μάζας. ▪ Να διακρίνουν τις πυρηνικές αντιδράσεις σε εξώθερμες και ενδόθερμες και να ορίζουν την ενέργεια κατωφλίου. ▪ Να περιγράφουν την απορρόφηση νετρονίων από βαρείς πυρήνες που οδηγεί στην παραγωγή υπερουράνιων στοιχείων. ▪ Να διακρίνουν την επαγόμενη με απορρόφηση νετρονίων από την αυθόρμητη σχάση. ▪ Να διακρίνουν τη σχάση του ^{235}U από ταχεία νετρόνια από τη σχάση του ^{238}U από βραδέα νετρόνια και να εξηγούν γιατί η τελευταία οδηγεί σε αλυσιδωτή αντίδραση. ▪ Να περιγράφουν τα βασικά μέρη ενός πυρηνικού αντιδραστήρα και να αναφέρουν τον ρόλο τους. ▪ Να περιγράφουν την αλυσίδα πρωτονίου-πρωτονίου ως σειρά αντιδράσεων σύντηξης και να τη συνδέουν με τις τρεις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις. ▪ Να αναφέρουν ότι οι αντιδράσεις σύντηξης αποτελούν την πηγή ενέργειας του Ήλιου και των άλλων αστέρων κατά το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους. ▪ Να εκτιμούν τη θερμοκρασία των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης.
	<p>ΕΝΟΤΗΤΑ 4.6: ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΚΑΙ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Στοιχειώδη σωματίδια • Κβαντική περιγραφή των αλληλεπιδράσεων • Θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις: Τα Μποζόνια • Η ενοποίηση των αλληλεπιδράσεων • Η εξέλιξη του σύμπαντος 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Να αναφέρουν ότι τα ποζιτρόνια (αντισωματίδια του ηλεκτρονίου) ανακαλύφθηκαν στις κοσμικές ακτίνες, ενώ πρωτόνια και αντιπρωτόνια παρήχθησαν από επιταχυντές. ▪ Να περιγράφουν την εξαΰλωση ζεύγους σωματιδίου - αντισωματιδίου και να αναφέρουν εφαρμογές στην ιατρική και την αστροφυσική. ▪ Να αναφέρουν ότι η κβαντική ηλεκτροδυναμική είναι η σχετικιστική κβαντική θεωρία που περιγράφει τις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις και αναπτύχθηκε από τον R. Feynman.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Να αναγνωρίζουν ότι όλα τα σωματίδια έχουν σπιν. Τα σωματίδια που αποτελούν τη συνήθη ύλη έχουν $\frac{1}{2}$ σπιν με κβαντικό αριθμό $\frac{1}{2}$, ενώ τα φωτόνια και τα πιόνια έχουν σπιν με κβαντικούς αριθμούς 1 και 0 αντίστοιχα. ▪ Να αναγνωρίζουν ότι στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας η στατιστική που ακολουθούν τα σωματίδια εξαρτάται από το σπιν τους και είναι διαφορετική από την κλασική κατανομή Maxwell-Boltzmann. ▪ Να αναφέρουν ότι τα βαρύτερα αδρόνια μετασχηματίζονται σε ελαφρύτερα με την επίδραση της ηλεκτρασθενούς δύναμης και ότι το ίδιο ισχύει και για τα λεπτόνια. ▪ Να αναφέρουν ότι στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας πεδίου, οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις πραγματοποιούνται μέσω της ανταλλαγής σωματιδίων-φορέων της αλληλεπίδρασης που είναι μποζόνια (κβάντα του πεδίου). ▪ Να αναφέρουν ότι οι φορείς αλληλεπίδρασης δεν είναι τα πραγματικά (παρατηρήσιμα) σωματίδια, για αυτό ονομάζονται δυνητικά (virtual) (μη παρατηρήσιμα). ▪ Να αναφέρουν τους φορείς των θεμελιωδών αλληλεπιδράσεων, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους. ▪ Να αναφέρουν ότι στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας κάθε πεδίο συνδέεται με σωματίδια που ονομάζονται κβάντα του πεδίου και είναι μποζόνια και να αναγνωρίζουν ότι το φωτόνιο είναι το κβάντο του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. ▪ Να αναφέρουν ότι κάθε κβάντο του πεδίου συνδέεται με ένα διατηρούμενο φυσικό μέγεθος και είναι φορέας της αλληλεπίδρασης που περιγράφει το πεδίο, π.χ. το φωτόνιο συνδέεται με το ηλεκτρικό φορτίο και είναι φορέας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης. ▪ Να αναφέρουν για τις 4 θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις τους φορείς και τα διατηρούμενα φυσικά μεγέθη. ▪ Να αναφέρουν ότι τα μποζόνια/κβάντα των πεδίων αποκτούν μάζα μέσω της αλληλεπίδρασης με ένα άλλο πεδίο, το κβάντο του οποίου είναι το μποζόνιο Higgs. ▪ Να αναφέρουν το χρονικό επιτυχημένων προσπαθειών ενοποίησης των αλληλεπιδράσεων με τις αντίστοιχες πειραματικές επιβεβαιώσεις (από το φωτόνιο στο «σωματίδιο του Θεού»). ▪ Να αναφέρουν τα χαρακτηριστικά (φορτίο, μάζα, σπιν) των 4 μποζονίων βαθμίδας της ηλεκτρασθενούς αλληλεπίδρασης και να ταυτοποιούν το ένα με το δυνητικό φωτόνιο. ▪ Να διατυπώνουν τον νόμο του Hubble για τον ρυθμό απομάκρυνσης δύο γαλαξιών και να εξηγούν τα σύμβολα που εμφανίζονται σε αυτόν.
--	--

		<ul style="list-style-type: none">• Να αναγνωρίζουν ότι ο νόμος του Hubble περιγράφει ένα διαστελλόμενο σύμπαν και να εξηγούν ότι προέκυψε από παρατηρήσεις μετατόπισης προς το ερυθρό φασμάτων φωτός που προέρχονται από μακρινούς γαλαξίες.• Να διατυπώνουν την κοσμολογική αρχή και να συμπεραίνουν ότι ο νόμος του Hubble οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το σύμπαν δεν ήταν αιώνιο, αλλά δημιουργήθηκε από μια αρχέγονη έκρηξη.• Να αναγνωρίζουν ότι η διαστολή του σύμπαντος επιβραδύνθηκε λόγω της βαρυτικής έλξης μεταξύ των γαλαξιών.• Να προσδιορίζουν με βάση τη νευτώνεια μηχανική την κρίσιμη πυκνότητα του σύμπαντος.• Να σχολιάζουν την αναγκαιότητα ύπαρξης της σκοτεινής ύλης και να αναφέρουν πιθανές αιτίες προέλευσής της.• Να ορίζουν τον χρόνο Planck και να περιγράψουν το καθιερωμένο πρότυπο της ιστορίας του σύμπαντος.
--	--	--

Βιβλιογραφία

- A. Arons, A. «Οδηγός Διδασκαλίας της Φυσικής.» Αθήνα: Τροχαλία, 1992.
- B. Bachelard, G. «Για την επιστημολογία.» *Πολίτης*, 1977.
- C. Bliss, J. ,Cooper, G. ,Κοχλιόπουλος, Δ. «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών.» Πάτρα: ΕΑΠ, n.d.
- D. Faymann, R. «QED.» Αθήνα : Τροχαλία, n.d.
- E. Kuhn, T. «Η δομή των επιστημονικών επαναστάσεων .» Θεσσαλονίκη : Σύγχρονα Θέματα, 1981.
- F. Matthews, M. «Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες.» Θεσσαλονίκη: Επίκεντρο, 2007.
- G. Βεργάδος, Ι. «Εισαγωγή στη Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων.» Πάτρα: ΕΑΠ, 2003.
- H. Γαβρίλης, Κ. ,Μεταξά, Μ. Νιάρχος, Π. ,Παπαμηγάλης, Κ. «Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής, Β' τάξη Ενιαίου Λυκείου.» ΥΠ.ΕΘ.Π.Θ., 1999.
- I. Ιωάννου, Α. ,Ντάνος, Γ. ,Πήττας, Α. , Ράπτης, Σ. «Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής Κατεύθυνσης Γ' τάξη Γενικού Λυκείου .» Αθήνα : ΥΠ.ΕΘ.Π.Θ., 2014.
- J. Λιοδάκης, Σ. ,Γάκης, Δ. ,Θεωδωρόπουλος, Δ. ,Θεωδωρόπουλος, Π. ,Κάλλης, Α. «Χημεία Γ' Λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών.» Αθήνα: ΥΠ.ΕΘ.Π.Θ., n.d.
- K. Τραχανάς, Σ. «Κβαντομηχανική Ι.» Ηράκλειο : ΠΕΚ, 2011.

Βιβλιογραφικές πηγές από το διαδίκτυο

- a. Τομαράς, Θ. «Εισαγωγή στη Σχετικότητα και την Κοσμολογία.» 2015.
<https://mathesis.cup.gr/courses/course-v1:Physics+Phys2.1+20A/about>
- b. Τομαράς, Θ. «Στοιχειώδη Σωματίια και Θεμελιώδεις Δυνάμεις.» 2018.
<https://mathesis.cup.gr/courses/course-v1:Physics+Phys2.2+19B/about>
- c. Τραχανάς, Σ. «Εισαγωγή στη Κβαντική Φυσική 2: Οι βασικές εφαρμογές.» 2017.
<https://mathesis.cup.gr/courses/course-v1:Physics+Phys1.2+20D/about>
- d. Τραχανάς, Σ. «Εισαγωγή στην Κβαντική Φυσική 1: Οι βασικές αρχές.» 2016.
<https://mathesis.cup.gr/courses/course-v1:Physics+Phys1.1+18E/about>
- e. Τραχανάς, Σ. «Εφαρμοσμένη Κβαντομηχανική 1: Άτομα .» 2016.
<https://mathesis.cup.gr/courses/course-v1:Physics+Phys3.1+20A/about>
- f. Τραχανάς, Σ. «Εφαρμοσμένη Κβαντομηχανική 2: Μόρια.» 2014.
<https://mathesis.cup.gr/courses/course-v1:Physics+Phys3.2+19B/about>
- g. <https://prog.world/visualization-of-a-particle-in-a-box-quantum-physics-problem/>
- h. <http://www.physics4u.gr/articles/2002/applicationschrodinger.html>
- i. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydrogen_Density_Plots.png
- j. http://www.homepages.ucl.ac.uk/~uccazei/courses/chem021/Chem021_Lecture_02.pdf
- k. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/zeeman.html>
- l. https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-potential-energy-of-two-nuclei-as-a-function-of-their_fig3_275003974
- m. https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-representation-of-an-STM-An-STM-setup-includes-a-scanning-tip-a_fig19_325924015
- n. <https://chemistryvce.weebly.com/periodic-table-trends.html>
- o. <https://slideplayer.gr/slide/2340157/>

- p. <https://slideplayer.gr/slide/1901136/>
- q. <https://byjus.com/physics/electron-spin/>
- r. https://www.desy.de/~garutti/LECTURES/ParticleDetectorWS10/Introduction_HEPdetectors.pdf
- s. http://www.as.utexas.edu/astronomy/education/fall08/scalo/secure/309l_oct02_water.pdf
- t. <https://slideplayer.gr/slide/13773235/>
- u. https://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/cobe_image_table.html
- v. https://www.researchgate.net/figure/The-elementary-particles-in-the-Standard-Model-Taken-from-Ref-20_fig1_344527693
- w. <http://avenirlorraine.canalblog.com/archives/2018/10/19/36793103.html>
- x. <https://slideplayer.com/slide/10840649/>
- y. <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/PHYS107/%CE%A0%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CF%8C%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B1/%CE%9A%CE%9F%CE%9B%20%CE%9A%CE%B5%CF%86%201.pdf>
- z. <https://www.geeksforgeeks.org/hybridization/>
- aa. <https://www.slideshare.net/peilatis/diamoriakes-dynameis>