

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



026000265548



153

ΜΠΛΕ

Η ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΥΛΗΣ ΣΤΗΝ Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Νικόλαος Μ. Βραζιτούλης
Φυσικός

Επίβλεψη: Αναπληρωτής Καθηγητής Ν. Μάνθος

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:
Νέες Τεχνολογίες και Έρευνα στη Διδακτική της Φυσικής

Τμήμα Φυσικής
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Ιωάννινα, Ιανουάριος 2008



Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διδακτική μεταφορά (didactical transposition) εννοιών της Σύγχρονης Φυσικής για τη δομή της ύλης σε μαθητές της Γ' Γυμνασίου. Σύμφωνα με το τρέχον αναλυτικό πρόγραμμα, οι μαθητές, τελειώνοντας το Γυμνάσιο, ελάχιστα έχουν διδαχθεί σχετικά με στοιχεία της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων και αρχές που διέπουν τον επιστημονικό αυτόν κλάδο. Με την παρούσα διδακτική παρέμβαση επιχειρήθηκε η μετάδοσή τους μέσα από μια σειρά μαθημάτων τα οποία περιλάμβαναν:

- 1) Στοιχεία σχετικά με την ιστορική εξέλιξη των αντιλήψεων για τη δομή του κόσμου.
- 2) Τις απαραίτητες έννοιες από την Κβαντομηχανική και τη Σχετικότητα.
- 3) Το καθιερωμένο πρότυπο για τη δομή της ύλης.
- 4) Στοιχεία σχετικά με τα πειραματικά εργαλεία έρευνας και παρατήρησης του μικρόκοσμου.
- 5) Στοιχεία Κοσμολογίας (ενότητα αναγκαία για την κατανόηση της σύνδεσης του κόσμου των σωματιδίων με αυτόν των γαλαξιών και του Σύμπαντος)

Η διδασκαλία έγινε με τη χρήση εποπτικού υλικού από το διαδίκτυο. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης προσομοιώσεις, αρκετές από τις οποίες έδιναν τη δυνατότητα παρέμβασης (interactive) στους μαθητές.

Τα αποτελέσματα της εμπειρικής μελέτης που διεξήχθη, έδειξαν ότι η διδακτική μεταφορά βασικών αρχών και εννοιών της Φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων είναι εν μέρει εφικτή για μαθητές της ηλικίας των 14 -15 ετών, βάσει γνώσεων που έχουν προηγουμένως αποκτήσει σύμφωνα με την εφαρμογή του αναλυτικού προγράμματος.

Didactic Transposition of the Modern Physics Concepts related to the Structure of the Matter, to the Intermediate School – 3rd Grade Students

Abstract

The aim of the present diploma work is the didactic transposition of the Modern Physics concepts concerning the structure of the matter to the lower secondary school students-3rd grade. According to the current Curriculum in the Greek education system, the students, finishing the lower secondary school, have been informed very little about the principles of the elementary particle physics.

With this didactical intervention the transposition of this knowledge has been tried through a series of lectures including:

1. Rudiments related to the historical development of the concepts about the Cosmos structure.
2. The necessary concepts of Quantum-Mechanics and Relativity.
3. The basic concepts about the Structure of Matter (Standard Model).
4. Elements relevant to the experimental instrumentation used in the research and the observation of microcosm.
5. Elements of Cosmology (a necessary lecture for understanding the relation of the elementary particles and the galaxies - Universe).

Visual material taken from the Internet has been used in the teaching procedure. In addition, several simulations of the related Physics processes were also used, giving to the students the possibility of interacting.

The present empirical study has showed that the didactical transposition of the basic principles and the elementary particle concepts to the 14-15 years old students is possible and their previous knowledge, according to the Curriculum, is almost enough.

Ευχαριστίες

Φθάνοντας στο τέλος της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που συνέβαλαν σημαντικά με τη βοήθειά τους στην πραγματοποίησή της:

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή Νίκο Μάνθο, μέλος του Εργαστηρίου Φυσικής Υψηλών Ενεργειών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, επιβλέποντα της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής μου Εργασίας (ΜΔΕ), για τους δρόμους της γνώσης που μου άνοιξε.

Τα μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής Καθηγητή Κώστα Βαγιονάκη και Καθηγητή Κώστα. Σκορδούλη.

Τον Επιστημονικό Υπεύθυνο του Π.Μ.Σ. «Νέες Τεχνολογίες και Έρευνα στη Διδακτική της Φυσικής» Καθηγητή Ευάγγελο Μάνεση για την συνεργασία που είχαμε.

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή Πάνο Κόκκα για τα μαθήματα Γλωσσών Προγραμματισμού που παρακολούθησα.

Τον Βασίλη Λάμπρη για την ανεκτίμητη βοήθειά του σε θέματα Πληροφορικής.

Τον Άλκη Γεωργόπουλο, για τη βοήθειά του σε θέματα Γλωσσών Προγραμματισμού.

Τον Δημήτρη Τσαούση, Σχολικό Σύμβουλο ΠΕ4, που με ώθησε σε Μεταπτυχιακές Σπουδές.

Τον Στάθη Μπλέτσα, Μεταπτυχιακό Φοιτητή, για την τεχνική του βοήθεια στο Εργαστήριο Φ. Υ. Ε.

Τις Διευθύνσεις και το Διδακτικό Προσωπικό του Γυμνασίου Βροσίνας και του Γυμνασίου της Ιεράς Μονής Δουραχάνης του Σχολικού Έτους 2005-2006.

Τους Μαθητές της Γ΄ Τάξης των ανωτέρω Σχολείων για την προθυμία τους και την ενεργό συμμετοχή τους στη διεξαγωγή της παρούσας Διδακτικής Παρέμβασης.

Όλους τους δασκάλους μου στη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών.

Τέλος να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές μου του Π.Μ.Σ. για τις καλές και δημιουργικές μέρες που περάσαμε μαζί.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ.....	12
Κεφάλαιο Α.....	15
1. Για τη διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής στο Γυμνάσιο.....	15
1.1. Η αναγκαιότητα της εισαγωγής της Σύγχρονης Φυσικής στο Γυμνάσιο.....	15
1.2. Χαρακτηριστικά και δυνατότητες της σκέψης κατά το στάδιο της εφηβικής ηλικίας.....	16
1.3. Η Ιστορία και η Φιλοσοφία των Επιστημών ως αναγκαία στοιχεία για τη διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής.....	17
1.4 Η εισαγωγή του εκπαιδευτικού λογισμικού στη διδασκαλία της Φυσικής.....	19
Κεφάλαιο Β.....	21
2. Η Δομή της Ύλης.....	21
2.1. Ιστορική αναδρομή στις θεωρίες για τη δομή της ύλης.....	21
2.1.1. Η ερμηνεία μέσω των μύθων.....	21
2.1.2 Η ερμηνεία μέσω του φιλοσοφικού λόγου.....	23
2.1.3. Μεσαίωνας και Αναγέννηση.....	27
2.1.4. Η αποδοχή της ατομικής θεωρίας.....	28
2.2. Οι ενοποιητικές αντιλήψεις στη φυσική κατά το παρελθόν.....	29
2.2.1 Από τον Αι Βίγνι στον Maxwell.....	29
2.2.2. Εικοστός αιώνας.....	30
2.3. Τα Στοιχειώδη Σωματίδια.....	36
2.3.1. Οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις στη φύση.....	36
2.3.2 Τα αντισωματίδια.....	37
2.3.3. Τα μεσόνια.....	38
2.3.4. Τα διαγράμματα Feynmann.....	39
2.3.5. Ταξινόμηση των σωματιδίων.....	39
2.3.6 Νόμοι διατήρησης.....	40
2.3.7. Η παραδοξότητα (strangeness) S.....	41
2.3.8. Ισοσπίν I.....	42
2.3.9. Τα Κουάρκ.....	42
2.4. Το Καθιερωμένο Πρότυπο (The Standard Model).....	44
2.4.1. Το χρώμα.....	44
2.4.2. Η κβαντική χρωμοδυναμική (QCD).....	44
2.4.3. Η ασθενής αλληλεπίδραση.....	45
2.4.4. Η ηλεκτρασθενής θεωρία.....	46
2.4.5. Θεώρηση των 4 Αλληλεπιδράσεων.....	47
2.4.6. Αδυναμίες της Θεωρίας. Το σωματίδιο Higgs.....	51
2.4.7. Η θεωρητική συγκρότηση του καθιερωμένου προτύπου.....	52
2.4.8. Μεγαλοενοποιημένες Θεωρίες Πεδίου.....	53
2.5. Εργαλεία της Φυσικής των Στοιχειωδών Σωματιδίων.....	57
2.5.1. Επιταχυντές.....	57
2.5.2. Ανιχνευτές σωματιδίων.....	61
2.5.3. Τα Σύγχρονα Μεγάλα Πειράματα.....	65
2.5.4. Κοσμική ακτινοβολία - Νετρίνα.....	70
2.6. Κοσμολογία.....	72
2.6.1 Η μεγάλη έκρηξη.....	72
2.6.2 Σχετικά με την εξέλιξη του Σύμπαντος.....	77
2.6.3 Το πληθωριστικό Σύμπαν.....	79
2.6.4 Οι φάσεις της εξέλιξης.....	81
2.6.5 Η σκοτεινή ύλη.....	82
2.6.6 Η σκοτεινή ενέργεια.....	83
2.6.7 Συνέπειες της κοσμολογικής σταθεράς στην εξέλιξη του Σύμπαντος.....	83

2.6.8 Εργαλεία Κοσμολογίας	84
2.7 Μικρόκοσμος-Μακρόκοσμος: Οι δύο όψεις του Σύμπαντος	85
2.8 Σχόλια σχετικά με τους φυσικούς νόμους και το Σύμπαν	86
Κεφάλαιο Γ	91
3. Σχεδιασμός και πραγματοποίηση της Διδακτικής Παρέμβασης.....	91
3.1 Προϋποθέσεις για την πραγματοποίηση της διδασκαλίας	91
3.2 Στόχοι της διδασκαλίας.....	91
3.4. Πλαίσιο Διδασκαλίας	92
3.5 Δομή της Διδασκαλίας	93
3.6 Γνωστικό υπόβαθρο των μαθητών	98
3.7 Διδακτικές λειτουργίες.....	99
3.8 Διεξαγωγή	100
Κεφάλαιο Δ.	107
4.Διερεύνηση Κατανόησης του Διδακτικού Αντικειμένου.....	107
4.1. Μέθοδοι - Τρόποι Διερεύνησης.	107
4.1.2. Έλεγχος για προϋπάρχουσα γνώση.....	107
4.1.3. Τα ερωτηματολόγια.....	107
4.2. Παρατηρήσεις κατά τη διεξαγωγή του μαθήματος.....	108
4.3. Τα τεστ και η επίδοση των μαθητών σ' αυτά.	110
4.4. Ερωτήσεις διερεύνησης κοινωνικών-προσωπικών παραμέτρων και στάσης απέναντι στο μάθημα.	137
4.5. Αξιολόγηση των ερωτηματολογίων	144
4.5.1.Συνολικά αποτελέσματα των τεστ κατανόησης.....	144
4.5.2. Η αποδοχή του νέου διδακτικού αντικειμένου και η στάση των μαθητών ως προς το μάθημα της Φυσικής.	144
4.5.3. Ερωτηματολόγιο διερεύνησης κοινωνικών-προσωπικών παραμέτρων και στάσης απέναντι στο μάθημα.	145
Κεφάλαιο Ε.	147
5. Συμπεράσματα και Προτάσεις	147
5.1.Η εισαγωγή της Σύγχρονης Φυσικής στο Γυμνάσιο	147
5.2. Προτάσεις για μια αναπροσαρμογή του Αναλυτικού Προγράμματος.	148

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. Παρουσιάσεις μαθημάτων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 Προσομοίωση Matrix

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 Πηγές εκπαιδευτικού – εποπτικού υλικού



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε μια εποχή ραγδαίων εξελίξεων στον χώρο της επιστήμης και της τεχνολογίας, σε μια εποχή όπου η τελευταία ανακάλυψη ή η τελευταία πειραματική επιβεβαίωση στο CERN ή στις άλλες ανά τον κόσμο μεγάλες πειραματικές εγκαταστάσεις της Φυσικής Υψηλών Ενεργειών (Fermilab, Desy, Serpukof, KEK, κλπ) μπορεί να επηρεάσει την καθημερινότητα του οποιουδήποτε ανυποψίαστου πολίτη, επιτακτική καθίσταται η ανάγκη της διδασκαλίας βασικών εννοιών της σύγχρονης επιστήμης στο ευρύ κοινό. Κατά πολύ περισσότερο δε αναγκαία η διδασκαλία των σύγχρονων αντιλήψεων για τη δομή της ύλης στις χαμηλότερες βαθμίδες της εκπαίδευσης, όπως π.χ. στο Γυμνάσιο.

Αντιφατικές οι απόψεις γύρω από αυτό το θέμα. Κυρίως αναφέρονται στην ικανότητα των παιδιών, να συλλάβουν και να επεξεργαστούν αφηρημένες έννοιες, και πρότυπα, θεωρητικά τεχνάσματα, αφηρημένες επινοήσεις οι οποίες κάλλιστα μπορούν να ερμηνεύσουν πειράματα που συντελούνται στα μεγαλύτερα εργαστήρια φυσικής υψηλών ενεργειών του κόσμου. Οι επινοήσεις αυτές, θεωρητικά μοντέλα, προς το παρόν βολικά και χρήσιμα εργαλεία για την ερμηνεία αυτού του μυστηρίου του οποίου αποτελούμε μέρος και εντός του οποίου «ζώμεν και κινούμεθα και εσμέν», προϊόντα καθαρά του πολιτισμού μας, κληρονομίες των αρχαίων Ελλήνων, του Νεύτωνα και όλων αυτών που τους ακολούθησαν, αποτελούν πλέον μία πραγματικότητα στο χώρο της Επιστήμης της Φυσικής, διαμορφώνουν νέους κώδικες και γλώσσες, δημιουργούν μίαν άλλην αντίληψη για αυτό που ονομάζουμε υλική πραγματικότητα.

Το ζήτημα της μετάδοσης αυτής της γνώσης, με λόγο απλό αλλά και συνάμα ακριβή, κατανοητό αλλά και μέσα στα πλαίσια της επιστημονικής γλώσσας, αποτέλεσε μία αφορμή-πρόκληση για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Αποδέκτες οι μαθητές της Γ' Γυμνασίου, παιδιά στα οποία η αφαιρετική ικανότητα βρίσκεται στα πρώτα της ακόμη στάδια και τα οποία έχουν μέχρι τώρα διδαχθεί το μοντέλο του ατόμου με τα περιφερόμενα γύρω από τον πυρήνα του ηλεκτρόνια. Το ερώτημα αν στα παιδιά αυτής της ηλικίας μπορούν να διδαχθούν έννοιες της Σύγχρονης Φυσικής από τον χώρο των κβάντων, των κουάρκ, της Σχετικότητας, των κοσμολογικών μοντέλων, παραμένει ανοιχτό, μία πρόκληση για τους δασκάλους της Φυσικής. *Αφού τα παιδιά μπορούν να συλλάβουν την έννοια του ατόμου, των ηλεκτρονίων και των νουκλεονίων, γιατί να μη μπορούν να ωθήσουν τη φαντασία τους ένα βήμα πιο πέρα, στα κουάρκ και στα λεπτόνια, στα γλιόνια και στις διεργασίες εκείνες που τις ονομάσαμε «αλληλεπιδράσεις»;*

Η πορεία μου μέσα από τη διαδικασία αυτού του μεταπτυχιακού, μου έδωσε την ευκαιρία της δοκιμής. Με αυτή τη διδακτική μου παρέμβαση προσπάθησα να ερευνήσω τη δυνατότητα μετάδοσης βασικής γνώσης από το χώρο της σύγχρονης φυσικής σε μαθητές της Γ' Γυμνασίου. Οι ώρες των μαθημάτων, η συμμετοχή των μαθητών, το ενδιαφέρον τους για κάτι το πρωτόγνωρο, μου

χάρισαν αν μη τι άλλο, τουλάχιστον τη χαρά του παιδαγωγικού πειραματισμού. Παρόλες τις αδυναμίες που θα εκτεθούν στα περαιτέρω, τα αποτελέσματα της εργασίας μου με κάνουν να αισιοδοξώ για αυτό που αρχικά ετέθη ως υπόθεση: *ότι τα παιδιά της ηλικίας των 15 ετών, μπορούν να διδαχθούν για την υποατομική πραγματικότητα. Το ίδιο απλά, όπως μαθαίνουν για τη δύναμη Coulomb, να μάθουν για την ισχυρή και την ασθενή αλληλεπίδραση. Αρκεί ο λόγος διδασκαλίας να είναι απλός, κατανοητός και κυρίως παραστατικός.*

Το καθιερωμένο πρότυπο για τη δομή της ύλης, δόθηκε όχι ως ένα νέο θέμα, ξεκομμένο απ' ό,τι μέχρι τώρα οι μαθητές είχαν διδαχθεί, αλλά μέσα στα πλαίσια που διαμορφώνονται από την ιστορική συνέχεια και από άλλους κλάδους της Φυσικής Επιστήμης. Η διδακτική αυτή παρέμβαση οργανώθηκε σ' ένα πλάνο πέντε διδακτικών ωρών. Ανεξάρτητα από τα αποτελέσματά της, αποτέλεσε μια θετική εμπειρία, τόσο για τον διδάσκοντα, όσο και για τους μαθητές.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Βασικός στόχος αυτής της διδακτικής παρέμβασης ήταν να εξεταστεί η δυνατότητα της διδακτικής μετάθεσης θεμάτων της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων σε παιδιά της ηλικίας των 15-16 ετών (Γ' Γυμνασίου).

Η διδασκαλία θα έπρεπε να γίνει σε περιορισμένα χρονικά πλαίσια λόγω του μικρού διαθέσιμου χρόνου για την διδασκαλία της φυσικής στην αντίστοιχη τάξη. Έτσι δρομολογήθηκε ένα πλάνο 5 διδακτικών ωρών, το οποίο, χωριζόμενο σε πέντε διδακτικές ενότητες, περιλάμβανε:

- α) Την ιστορική εξέλιξη των θεωριών για τη δομή της ύλης
- β) Στοιχεία από την κβαντομηχανική και τη σχετικότητα, η γνώση των οποίων κρίνεται απαραίτητη για την κατανόηση των σύγχρονων θεωριών για τη δομή της ύλης
- γ) Στοιχεία του καθιερωμένου προτύπου (*Standard model*) για τη δομή της ύλης
- δ) Στοιχεία κοσμολογίας, μέσω των οποίων γίνεται σύνδεση του μικρόκοσμου με τον μακρόκοσμο.
- ε) Σύντομη περιγραφή των μέσων και του εξοπλισμού με τα οποία είναι δυνατόν να αναπαραχθούν και να ανιχνευτούν καταστάσεις του μικρόκοσμου. Δηλαδή περιγραφή των βασικών αρχών λειτουργίας των επιταχυντών και ανιχνευτών.

Η χρήση νέων τεχνολογιών, δηλαδή η χρήση υλικού από το διαδίκτυο (εικόνων, video, παιχνιδιών interactive κλπ) είναι λίγο έως πολύ αναγκαία. Στη διάρκεια των παραδόσεων θα έπρεπε να δίνεται στους μαθητές δυνατότητα αυτενέργειας με τη χρήση του υπολογιστή, ώστε αυτοί να αποκτήσουν ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα και μελέτη.

Η εισαγωγή στοιχείων από την Ιστορία της Επιστήμης στην συγκεκριμένη διδασκαλία κρίθηκε αναγκαία ώστε οι διδασκόμενοι να μπορέσουν να εννοήσουν την έννοια του μοντέλου, και



του τρόπου με τον οποίο θεωρίες που κάποια στιγμή ανατρέπονται, μπορούν και επιβιώνουν για μεγάλη χρονική περίοδο. Από τους μαθητές έπρεπε να γίνει κατανοητό ότι το Καθιερωμένο Πρότυπο για τη δομή της ύλης αποτελεί την σύγχρονη εξήγηση για τη δομή του κόσμου, η οποία όμως, μετά από χρόνια μπορεί να θεωρείται ξεπερασμένη και ανεπαρκής.

Τέλος, η δομή των παραδόσεων θα έπρεπε να διαπνέεται από μια ολιστική αντίληψη ώστε μικρόκοσμος και μακρόκοσμος να εννοηθούν ως δύο μορφές της ίδιας πραγματικότητας.

1. Για τη διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής στο Γυμνάσιο.

1.1 Η αναγκαιότητα της εισαγωγής της Σύγχρονης Φυσικής στο Γυμνάσιο

Σήμερα η Σύγχρονη Φυσική και ιδιαίτερα η Κβαντομηχανική βρίσκεται στην καρδιά των τελευταίων τεχνολογικών επιτευγμάτων: ηλεκτρονική με τις εφαρμογές της στις επικοινωνίες, επιστήμη υπολογιστών και πληροφορικής, συσκευές παρατήρησης, όλα αυτά βασίζονται σε φυσικά φαινόμενα τα οποία μόνο η Σύγχρονη Φυσική μπορεί να ερμηνεύσει. Σε καθημερινή βάση ο άνθρωπος στις αρχές του 21ου αιώνα βομβαρδίζεται από τα ΜΜΕ με εικόνες της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας, ανήμπορος πολλές φορές να ερμηνεύσει στοιχειωδώς τα δρώμενα. Η εξοικείωση με στοιχειώδεις γνώσεις της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας, είναι αναγκαία και επιβάλλεται να αρχίσει από τις κατώτερες βαθμίδες της εκπαίδευσης.

Με τη διδασκαλία της σύγχρονης φυσικής οι μαθητές θα αποκτήσουν μια διαφορετική ιδέα για την επιστήμη της Φυσικής. Σε αρκετούς επικρατεί η άποψη ότι η Φυσική ως επιστήμη έχει τελειώσει. Γνωρίζουν για τις μεγάλες ανακαλύψεις και πώς, κάτω από μεγάλα πειράματα και παρατηρήσεις, δημιουργήθηκαν νέες θεωρίες. Εσφαλμένα μπορεί να δημιουργηθεί σ' αυτούς η ιδέα ότι η Φυσική δεν διακρίνεται πλέον από κάποια αβεβαιότητα και το πεδίο δράσης της έχει πλέον κλείσει. Η σύγχρονη Φυσική απεναντίας, μας παρέχει αντίθετα παραδείγματα. Οι προβλέψεις για την ύπαρξη σωματιδίων τα οποία δεν έχουν βρεθεί ακόμη, οι διαφωνίες των κοσμολόγων για τη φύση της σκοτεινής ύλης, τα διάφορα θεωρητικά μοντέλα, η ανάπτυξη του καθιερωμένου προτύπου και η ανάπτυξη προτύπων για την κοινή περιγραφή όλων των αλληλεπιδράσεων που εμφανίζονται στη φύση, δείχνουν ότι *η δημιουργική σκέψη έχει ένα σημαντικό ρόλο να παίζει στη φυσική σήμερα όπως και στο παρελθόν*¹.

Η ευρεία διάδοση βιβλίων εκλαϊκευμένης επιστήμης και η προβολή συναφών θεμάτων από την τηλεόραση και η παρουσίασή τους στον τύπο, συνηγορούν υπέρ της διδασκαλίας θεμάτων της Σύγχρονης Φυσικής στο Γυμνάσιο. Δεν είναι λίγοι οι μαθητές που διαβάζουν βιβλία όπως μεταφράσεις των έργων του Hawking και αντίστοιχες εκλαϊκεύσεις έργων μεγάλων σύγχρονων φυσικών και απογοητεύονται, διαπιστώνοντας ένα κενό ανάμεσα στη φυσική του σχολείου και σ' αυτά τα συναρπαστικά θέματα².

Συχνά η Σύγχρονη Φυσική παρουσιάζεται σαν κάτι που δεν μπορεί να κατανοηθεί εύκολα. Μια λανθασμένη αντίληψη είναι ότι η σπουδή της απαιτεί βαθιές μαθηματικές ικανότητες και

γνώσεις. Η μεταφορά της διδασκαλίας της Σύγχρονης Φυσικής όμως στο Γυμνάσιο μπορεί να γίνει με την χρήση ελάχιστων νέων μαθηματικών εννοιών.

Ένα πρόβλημα που προκύπτει είναι αυτό των πειραμάτων. Πολλά πειράματα που μπορεί να εκτελέσει ένας μαθητής σε σχολικό εργαστήριο αφορούν την κλασική μηχανική, κανένα όμως τη Σύγχρονη Φυσική. Τα κενά όμως αυτά, μπορούν να καλυφθούν με τη χρήση προσομοιώσεων-πειραμάτων. Με την παρέμβαση με απεικονίσεις (visualization) και προσομοιώσεις (simulation) στον υπολογιστή είναι δυνατόν να βελτιωθεί η εννοιολογική κατανόηση των μαθητών. Ιδιαίτερα η δυνατότητα για το μαθητή να χειρισθεί έστω και εικονικά το πείραμα, του επιτρέπει μια ριζικά νέα προσέγγιση στα πειράματα Φυσικής³. Άφθονο υλικό παρέχεται σήμερα στο διαδίκτυο. Αυτό αποτελεί μία αναγκαστική λύση, όχι κακή, με δεδομένο την εξοικείωση των παιδιών στην σημερινή εποχή με τους υπολογιστές και την καθημερινή ενασχόλησή τους μ' αυτούς.

Τέλος, επιχειρηματολογώντας υπέρ της εισαγωγής της Σύγχρονης Φυσικής στις χαμηλότερες βαθμίδες της εκπαίδευσης, πρέπει αυτή να την δούμε ως την Φυσική του 20^{ου} αιώνα. Και όπως ακριβώς όταν τα παιδιά διδάσκονται Ιστορία δεν σταματούν στο τέλος του 19^{ου} αιώνα, έτσι και η Φυσική που διδάσκεται στο Γυμνάσιο, δεν μπορεί να σταματά στην κλασική Μηχανική και τον Ηλεκτρομαγνητισμό, στη Φυσική δηλαδή του 19^{ου} αιώνα⁴.

1.2 Χαρακτηριστικά και δυνατότητες της σκέψης κατά το στάδιο της εφηβικής ηλικίας.

Η αφαιρετική σκέψη αποτελεί, σύμφωνα με τον Jean Piaget, ένα από τα χαρακτηριστικά της εφηβείας⁵. Η απελευθέρωση της σκέψης από το συγκεκριμένο της περιεχόμενο, συνεπάγεται μία συλλογιστική η οποία μπορεί να γίνεται επί αφηρημένου συμβολικού υλικού.

Καθώς γίνεται η μετάβαση από τη συγκεκριμένη σκέψη του παιδιού της σχολικής ηλικίας στην τυπική σκέψη του εφήβου εμφανίζονται και σταθεροποιούνται νέες γνωστικές δομές-σχήματα. Οι κυριότερες απ' αυτές είναι:

A) Η ανακάλυψη του δυνατού- του πιθανού

B) Χρήση υποθετικοπαραγωγικού συλλογισμού.

Γ) Χρήση συνδυαστικών συστημάτων και της επιστημονικής-πειραματικής μεθόδου.

Δ) Χρήση της προτασιακής λογικής

Ο έφηβος έχει πλέον αποκτήσει τη δυνατότητα να διατυπώνει αλληλένδετες κρίσεις. Έχει επίσης τη δυνατότητα του παραγωγικού συλλογισμού, να καταλήγει δηλαδή σε λογικό συμπέρασμα κινούμενος από το γενικό στο μερικό. Αυτά τον καθιστούν ικανό να μπορεί να ανταποκριθεί στα τρία βασικά στάδια της επιστημονικής μεθόδου τα οποία ορίζονται ως:



α) Διατύπωση υποθέσεων για όλους τους πιθανούς παράγοντες που προσδιορίζουν το φαινόμενο.

β) Πειραματισμός

γ) Επισκόπηση των επιμέρους διαπιστώσεων και διατύπωση του κανόνα.

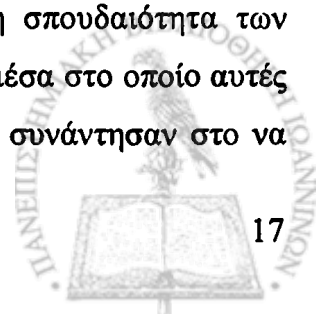
Στη διατύπωση των υποθέσεων, το αναπτυσσόμενο άτομο, για πρώτη φορά στην έφηβεία επιχειρεί να καθορίσει και να ελέγξει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς μεταξύ των μεταβλητών. Μπορεί επίσης να κάνει χρήση συμβόλων σε τελείως αφηρημένο επίπεδο για την επίλυση προβλημάτων.

Οι νέες λειτουργικές εξελίξεις στη σκέψη του εφήβου έχουν ως συνέπεια να αναπτυχθούν τα λεγόμενα *τυπικά γνωστικά σχήματα*. Αυτά καθορίζουν και νέες στρατηγικές για την επίλυση προβλημάτων. Τυπικά γνωστικά σχήματα είναι τα *συνδυαστικά σχήματα*, οι *αναλογικές σχέσεις*, η έννοια της *αρχής της ισότητας δράσης και αντίδρασης*, η έννοια της *συνάφειας*, η έννοια της *διατήρησης του όγκου*. Το παιδί στο στάδιο της αφαιρετικής σκέψης δεν έχει ανάγκη από εξωτερικά ερεθίσματα για την ενεργοποίηση της σκέψης του. Διατυπώνει πρωτότυπες ιδέες. Έχει τη δυνατότητα να σκέφτεται αναστοχαστικά. Η αφαιρετική σκέψη τον βοηθάει να κάνει υποθέσεις και να καταλήγει σε συμπεράσματα.

Στη διαμόρφωση της τυπικής σκέψης θα πρέπει βέβαια να ληφθούν υπόψη τόσο οι *ατομικοί παράγοντες* (γενική νοημοσύνη, αντιληπτικός τύπος, στάση απέναντι στη ζωή κ.ά.) όσο και οι *κοινωνικοί* (το περιβάλλον στο οποίο ζει και δρα το άτομο με τα ερεθίσματα που αυτό του παρέχει, επίπεδο σπουδών, επάγγελμα κλπ), παράγοντες οι οποίοι διαφοροποιούν τους μαθητές σε ατομικό και ομαδικό επίπεδο⁶.

1.3 Η Ιστορία και η Φιλοσοφία των Επιστημών ως αναγκαία στοιχεία για τη διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής.

Η διδασκαλία των Φυσικών επιστημών πρέπει να έχει ως βασικό στόχο την κατανόηση από μέρους των παιδιών του τι είναι αυτό που ονομάζεται «επιστημονική σκέψη» και πώς αυτή εξελίσσεται μέσα στο χρόνο. Η υιοθέτηση ενός μοντέλου διδασκαλίας που συμπεριλαμβάνει την ιστορία και φιλοσοφία της επιστήμης κρίθηκε ήδη προ πολλού ως απαραίτητη στην διδασκαλία της φυσικής⁷. Η εισαγωγή της Ιστορίας της Επιστήμης στη διδασκαλία της Επιστήμης, βοηθά ώστε αυτή να μη γίνεται αντιληπτή ως ένα καθιερωμένο σώμα γνώσεων και τεχνικών το οποίο απαιτεί την ελάχιστη αιτιολόγηση. Με την εισαγωγή της Ιστορίας της Επιστήμης γίνεται ευκολότερα κατανοητή η φύση της Επιστήμης. Για να κατανοήσουμε τη σπουδαιότητα των επιστημονικών ιδεών είναι ουσιαστικό να γνωρίζουμε το κοινωνικό πλαίσιο μέσα στο οποίο αυτές αναπτύχθηκαν, την κυρίαρχη ιδεολογία καθώς και τις δυσκολίες που αυτές συνάντησαν στο να



πεισθεί η εκάστοτε επιστημονική κοινότητα ή σε παλαιότερες περιόδους οι λόγιοι της εποχής, για την ισχύ κάθε νέας θεωρητικής ερμηνείας. *Η Ιστορία της Φυσικής υπάρχει ήδη μέσα στη Φυσική*⁸.

Με την εισαγωγή της Ιστορίας της Φυσικής στη διδασκαλία της δίνεται η δυνατότητα στους μαθητές:

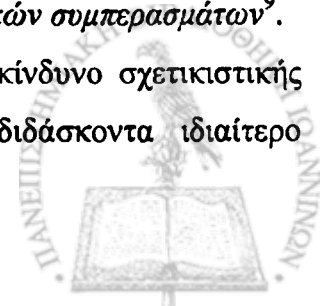
α) να μπορέσουν να κατανοήσουν το πώς επιστημονικές ιδέες γίνονται αποδεκτές και απορρίπτονται στη βάση της εμπειρικής-πειραματικής απόδειξης και πώς επιστημονικές διαμάχες μπορούν να προκύψουν από διαφορετικούς τρόπους ερμηνείας τέτοιας απόδειξης. Να μάθουν συνεπώς ότι η έκφραση της πιθανής αντίθετης άποψης, η διαμάχη και η δημόσια συζήτηση είναι κομμάτι της επιστημονικής προόδου.

β) να θεωρήσουν τρόπους κατά τους οποίους επιστημονικές ιδέες μπορεί να επηρεαστούν από κοινωνικά και ιστορικά πλαίσια στα οποία αναπτύσσονται και πώς αυτά τα πλαίσια μπορούν να επηρεάσουν ή όχι τις ιδέες που γίνονται αποδεκτές.

Ένας επιπλέον σημαντικός λόγος, που συνηγορεί υπέρ της Ιστορίας της Επιστήμης είναι ότι, μέσα από ένα τέτοιο διδακτικό μοντέλο, οι μαθητές ανακαλύπτουν ομοιότητα ανάμεσα σε δικές τους ιδέες και σε ιδέες που στο παρελθόν αποτελούσαν την επίσημη κυρίαρχη επιστημονική θεώρηση. Η σύγχρονη Φυσική είναι η Φυσική των αφηρημένων αναπαραστάσεων, των μαθηματικών σχέσεων, και των φανταστικών οντοτήτων. Μεγάλη σημασία από παιδαγωγική άποψη έχει η ενθάρρυνση που θα αποκτήσει ο μαθητής όταν αντιληφθεί ότι και άλλοι έχουν σκεφθεί με ένα παρόμοιο τρόπο και ότι οι απόψεις του δεν ήταν τόσο απλοϊκές όσο εκ πρώτης όψεως φάνηκαν. Θα αντιληφθεί λοιπόν ότι η σύγχρονη σκέψη αποτελεί απλώς ένα βελτιωμένο τρόπο θέασης και ερμηνείας του κόσμου, και ότι ο ρόλος του επιστήμονα δεν περιορίζεται μόνο στην ανακάλυψη των επιστημονικών γεγονότων, αλλά και στην κατασκευή τους μέσω της χρήσης της δημιουργικής του φαντασίας. Αυτό συντελεί στο να εξοικειωθούν τα παιδιά με την Επιστήμη και να διατηρούν ζωντανό το ενδιαφέρον τους γι' αυτή.

Σε ένα πλαίσιο λοιπόν, το οποίο περιλαμβάνει πρότυπα που υπερβαίνουν την άμεσα αισθητή εμπειρία, οι μαθητές με την βοήθεια του διδάσκοντα είναι δυνατόν να παρακολουθήσουν και να εξετάσουν τις αποδείξεις που εδραίωναν την πίστη των διανοουμένων και επιστημόνων στην ασυνέχεια της ύλης, στην ύπαρξη του κόσμου των ατόμων και των μορίων, στην ύπαρξη των κουάρκ και των λεπτονίων. Οι μαθητές πρέπει να ενθαρρύνονται στη διατύπωση των όποιων αμφιβολιών τους (όπως αμφιβολίες υπήρχαν και μεταξύ εκείνων που πρώτοι ασχολήθηκαν μ' αυτά τα θέματα), και στην έκφραση των ανησυχιών τους για τον τρόπο ερμηνείας ορισμένων δεδομένων. *Η νέα γνώση για τη φυσική του μικρόκοσμου θα γίνει κατανοητή όταν δοθεί μέσα από την ιστορική συνέχεια και όχι αποσπασματικά με τη μορφή διακηρύξεων τελικών συμπερασμάτων*⁹.

Γεννάται βέβαια το ερώτημα κατά πόσο το εγχείρημα αυτό εμπεριέχει κίνδυνο σχετικιστικής διολίσθησης. Πρόκειται για το πλέον λεπτό ζήτημα που απαιτεί από τον διδάσκοντα ιδιαίτερο



χειρισμό. Η παρουσίαση της επίσημης επιστημονικής άποψης δεν πρέπει να έχει τον χαρακτήρα της «σωστής» άποψης αλλά αυτόν μιας ερμηνείας η οποία έχει ευρύτερη εφαρμογή, δίνει περισσότερο επακριβείς προβλέψεις ή μία καθαρότερη σημασία¹⁰.

1.4 Η εισαγωγή του εκπαιδευτικού λογισμικού στη διδασκαλία της Φυσικής

Στο σύγχρονο σχολείο ο ηλεκτρονικός υπολογιστής (HY) από απλό μέσο αλφαριθμητισμού σε βασικά θέματα της πληροφορικής που ήταν κάποτε, έχει μετατραπεί σε αναπόσπαστο τμήμα της εκπαιδευτικής τεχνολογίας¹¹.

Το πλαίσιο διδασκαλίας έχει εκ των πραγμάτων αλλάξει ριζικά με τη χρήση του HY. Με την χρήση του η συμμετοχή των μαθητών είναι ενεργητική σε αντίθεση με την πιθανή παθητική παρακολούθηση της παρουσίασης του αντικειμένου από τον διδάσκοντα ή το βιβλίο¹². Σήμερα παρέχονται πολλές δυνατότητες χρήσης των HY στη διδασκαλία της Φυσικής αν λάβουμε υπόψη, πέρα από τα εξελληνισμένα προγράμματα Interactive Physics¹³ και Modellus¹⁴, τις δυνατότητες που παρέχουν τα εργαλεία πολυμέσων όπως το Toolbook¹⁵, η Visual Basic¹⁶, η Java¹⁷ κλπ.

Η εισαγωγή και χρήση λογισμικού στη παρούσα διδακτική παρέμβαση έγινε με βασικό στόχο τη δημιουργία μιας διάθεσης ενδιαφέροντος για το διδακτέο αντικείμενο, έτσι ώστε το μάθημα: α) να ξεφεύγει από τη ρουτίνα της παραδοσιακής διδασκαλίας, β) να δίνει περιθώρια στο μαθητή να συλλογίζεται μόνος του (ή να ανταλλάσσει γνώμες με τους συμμαθητές του) πάνω στο γνωστικό αντικείμενο. Σε καμία περίπτωση οι HY δεν θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τον διδάσκοντα, αλλά ούτε και το πείραμα. Θα μπορούσαν όμως να ενθαρρύνουν την ενεργητικότητα και να καλλιεργήσουν πνεύμα συνεργασίας μεταξύ των μαθητών και αυτό θα πρέπει, μέσα στις σχολικές διαδικασίες, να αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους της χρήσης τους. Η χρήση των HY έγινε με γνώμονα τους προβληματισμούς που δημιουργούνται σχετικά με τη χρήση τους στη διδασκαλία της Επιστήμης στο Σχολείο, προβληματισμοί οι οποίοι αφορούν:

α) Τον κίνδυνο καλλιέργειας από μέρους των μαθητών μιας απόλυτης πίστης σ' αυτά που παρουσιάζει ο υπολογιστής. Οι μαθητές πρέπει να εννοήσουν ότι, όπως από τον υπολογιστή παρουσιάζεται η Φυσική του Νεύτωνα, θα μπορούσε το ίδιο, αν αυτός ήταν κατάλληλα προγραμματισμένος, να παρουσιάζεται η Φυσική του Αριστοτέλη¹⁸.

β) Τον περιορισμό των περιθωρίων για τη διδασκαλία της εξελικτικής πορείας της Επιστήμης και της Ιστορίας των ιδεών.



γ) Τον περιορισμό των περιθωρίων λάθους, με συνέπεια τον περιορισμό των συζητήσεων μέσα στην τάξη που προκύπτουν από λαθεμένες απόψεις. Οι συζητήσεις αυτές συντελούν στη μαθησιακή διαδικασία.

δ) Το ερώτημα αν η παροχή γνώσεων με έτοιμες εικόνες συντελεί στη διεύρυνση της δημιουργικής φαντασίας των μαθητών ή απεναντίας στον περιορισμό της ¹⁹.



2. Η Δομή της Ύλης

2.1 Ιστορική αναδρομή στις θεωρίες για τη δομή της ύλης.

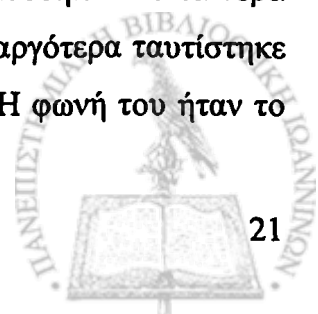
Από τη στιγμή που ο άνθρωπος άρχισε να συναισθάνεται το κοσμικό θαύμα, σημαντικά ερωτήματα άρχισαν να τον απασχολούν: Πώς έγινε ο κόσμος, ποιος τον έκανε και πώς, με τι τον έφτιαξε;

2.1.1 Η ερμηνεία μέσω των μύθων.

Ο άνθρωπος μέσα από τους μύθους προσπάθησε να δώσει απαντήσεις σε αυτά τα κύρια ερωτήματα, απαντήσεις που θα τον βοηθούσαν να κατανοήσει τον κόσμο και να ορίσει τη δική του θέση μέσα σ' αυτόν. Η γένεση, η ανάπτυξη και στο τέλος ο θάνατος και η φθορά αποτελούν την πραγματικότητα του κάθε όντος στη φύση. Η γένεση του Σύμπαντος ήταν ένα από τα προβλήματα που πάντα απασχόλησαν την ανθρώπινη σκέψη. Μαζί μ' αυτά και τα ερωτήματα για τη δομή του κόσμου, για το πώς φτιάχτηκε η ύλη, ποιο ήταν το πρωταρχικό υλικό, με μετατροπές του οποίου φτιάχτηκαν όλα τα όντα του κόσμου που τον περιβάλλει. Συνάμα αναζητούσε και αναζητά απάντηση στο ερώτημα για κάποια αρχή, μια δύναμη από την οποία δημιουργήθηκαν τα πάντα και η οποία κινεί τα πάντα. Μέσω των μύθων αποδίδει την αρχή αυτή στους θεούς, είτε ανέκαθεν προϋπάρχοντες, είτε γέννημα κι αυτοί κάποιας άλλης αρχής.

Σύμφωνα με τη μυθολογία των Βαβυλωνίων, στην αρχή υπήρχε μόνο το χάος. Παντού βασιλευε το απόλυτο σκοτάδι. Από αυτό προήλθαν ο Αψού (το γλυκό νερό, το αρσενικό στοιχείο), ο γεννήτορας του κόσμου, και η Τιαμάτ (το αλμυρό νερό, το θηλυκό στοιχείο). Από την ένωση αυτών προήλθε ο κόσμος.

Στην Αιγυπτιακή παράδοση, ένας αρχέγονος ωκεανός, ο Νουν, μια άμορφη σκοτεινή έκταση από λιμνάζοντα νερά γέμιζε το Σύμπαν. Σ' αυτόν εμπεριέχονται τα σπέρματα όλων των πραγμάτων και όλων των όντων. Όπως τα νερά του Νείλου υποχωρούσαν μετά την πλημμύρα και άφηναν πίσω τους εύφορη γη, κατά τον ίδιο τρόπο ένα αρχέγονο ύψωμα αναδύθηκε από τα νερά του Νουν. Το ύψωμα αυτό ήταν ο ίδιος ο Ατούμ. Ο Ατούμ (= πλήρης) που αργότερα ταυτίστηκε με τον Ρα (Ατούμ-Ρα) ήταν προαιώνιος θεός και δημιουργός του κόσμου. Η φωνή του ήταν το



πρώτο στοιχείο της Δημιουργίας. Δημιούργησε τον κόσμο μόνο με το λόγο του, με τον οποίο έκανε να γεννηθεί το φως, να δημιουργηθεί ο αέρας, η γη, το νερό, η βλάστηση, η έρημος²⁰.

Στη βεδική φιλολογία έχουμε πολλές απόψεις για τη δημιουργία του Σύμπαντος. Στο τελευταίο βιβλίο της Ριγκβέδα, στον ύμνο προς το Πρωταρχικό Πρόσωπο αναφέρεται: «Στην αρχή ήταν το μη υπάρχον από το οποίο προέκυψε το υπάρχον». Στην Ουπανισάδα Τσαντόγκυα αναφέρεται ότι το Υπάρχον (το Ένα, το αυτοκινούμενο, το Ον, το Βράχμα) χρησιμοποιώντας τον Ουρανό, τη Γη και την Ατμόσφαιρα (τριαδικό χώρο), και τις τρεις εποχές, το καλοκαίρι, τις βροχές και τη συγκομιδή (τριαδικό χρόνο), δημιούργησε το Σύμπαν.

Στα κοσμολογικά πρότυπα της αρχαίας Κίνας, ο Ουρανός (Τ'ιεν) και η Γη (Τι) αποτελούσαν τις δύο βασικές αρχές. Μεταξύ τους τοποθετήθηκε ο άνθρωπος που μαζί με το Τ'ιεν και Τι αποτελούσαν μία άρρηκτη τριάδα. Η κυρίαρχη ιδέα στην κινέζικη σκέψη για την υλική πραγματικότητα του κόσμου είναι αυτή των «Γιν και Γιαγκ» και των πέντε στοιχείων (νερό, αέρας, γη, φωτιά, ξύλο). Όμως ούτε το Γιν και το Γιαγκ, ούτε και τα πέντε στοιχεία είναι στην πραγματικότητα σταθερές οντότητες. Το Γιν και Γιαγκ είναι θεωρητικά η πρώτη διάσπαση του όντος σε δύο αντιτιθέμενες σύμφυτες ροπές. Τα πέντε στοιχεία είναι η παραπέρα κατάτμηση των δύο στοιχειωδών ροπών σε πέντε άλλες, κι από το συνεχώς μεταβαλλόμενο ρυθμό τους παράγεται η απειρία των πραγμάτων που και αυτά δεν είναι σταθερά²¹.

Το «τίποτα», με τη μορφή μια απέραντης χαίνουσας αβύσσου που πλημμύριζε ολόκληρο το χώρο αποτελεί την προ της Δημιουργίας πραγματικότητα στους κοσμολογικούς μύθους των γερμανικών φύλων. Ξαφνικά μέσα στην ερεβώδη αυτή κατάσταση παρουσιάστηκε ένας ολόκληρος κόσμος από νεφέλες και έρεβος, το Νιφλχάϊμ. Στο μέσον του Νιφλχάϊμ σχηματίστηκε η πηγή Χβεργκελμίρ....²².

Στη Θεογονία του Ησίοδου τα πρωταρχικά όντα αποτελούν το Χάος μαζί με τη Γαία και τον Έρωτα : «Πρώτα-πρώτα το Χάος έγινε, ύστερα η πλατύστηθη η Γη, το αιώνια στέρεο βάθρο όλων.....και ο Έρωσ που μέσα στους αθανάτους ο πλέον ωραίος είναι...».²³ Το Χάος, κατά τον Ησίοδο, είναι ένα διάστημα που περιέχει «εν σπέρματι» όλα όσα θα αποτελέσουν το Σύμπαν. Το χάος είναι πρωταρχικό και δημιουργικό στοιχείο. Ο Έρωτας είναι ένα αξίωμα, μια αρχή. Είναι η ελκτική δύναμη που οδηγεί τα στοιχεία να συνενώνονται και να συνδυάζονται²⁴.



2.1.2 Η ερμηνεία μέσω του φιλοσοφικού λόγου.

Οι απαντήσεις αυτές όμως, δεν θα μπορέσουν να ικανοποιήσουν από κάποια στιγμή και μετά το στοχασμό που άρχισε να αναπτύσσεται στον Ελληνικό χώρο και κυρίως στην Ιωνία. Η φιλοσοφία που αναπτύχθηκε εκεί και που χαρακτηρίζεται ως Ιωνική Φυσική, έχει στόχο όχι να περιγράψει τον κόσμο αλλά να τον κατανοήσει. Οι Προσωκρατικοί φιλόσοφοι ψάχνουν να βρουν την αρχή και την ουσία του κόσμου. Βλέπουν τον κόσμο ως ένα ενιαίο και αδιαίρετο σύνολο. Πιστεύουν σε μία ενότητα και σταθερότητα που υπάρχει πίσω από την ποικιλότητα και την αταξία, και η σταθερότητα αυτή οφείλεται σε μια θεμελιώδη αρχική ουσία. Η πρωταρχική αυτή ουσία βασίζεται αποκλειστικά σε φυσικά αίτια. Το υπερφυσικό δεν έχει καμιά θέση σ' αυτή. Ο κόσμος λοιπόν μπορεί να διερευνηθεί από τον άνθρωπο με τρόπο ορθολογικό.

Ο πρώτος φιλοσοφικός λόγος αρθρώνεται από τους τρεις Μιλήσιους Φιλοσόφους: Τον Θαλή, τον Αναξίμανδρο και τον Αναξίμενη. «Πρώτη αρχή» για τον Θαλή είναι το «ύδωρ», για τον Αναξίμανδρο το «άπειρον» και για τον Αναξίμενη ο «αήρ». Και οι τρεις στην πρωταρχική ουσία αποδίδουν την ικανότητα αλλαγής και εξέλιξης. Η πρωταρχική ουσία είναι αιώνια. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι η κίνηση, μία κίνηση που εκπορεύεται απ' αυτήν την ίδια.

Την ίδια εποχή με τους Μιλήσιους ο Πυθαγόρας ακολουθεί διαφορετική κατεύθυνση. Δεν αναζητά την «πρώτη αρχή» στην ύλη αλλά στη μορφή και τις σχέσεις των όντων. Οι σχέσεις αυτές διατυπώνονται ποσοτικά με αριθμούς. Το αναλλοίωτο και αιώνιο ο Πυθαγόρας το βλέπει σ' αυτές τις σχέσεις και όχι στη φθαρτή ύλη.

Η θεωρία των Μιλησίων για την «πρώτη αρχή» θα δημιουργήσει και τα πρώτα ερωτήματα για τη σχέση του «είναι» προς το «γίνεσθαι». Δύο κορυφαίες μορφές της Προσωκρατικής Φιλοσοφίας, ο Ηράκλειτος και ο Παρμενίδης θα δώσουν δύο διαμετρικά αντίθετες απαντήσεις σ' αυτό.

Για τον Ηράκλειτο η μόνη πραγματικότητα είναι η αέναη κυκλική αλλαγή και κίνηση. Ο κόσμος είναι ένα ενιαίο όλο, ένα ον που βρίσκεται σε αδιάκοπη αλλαγή παρουσιάζοντας συνεχώς νέες μορφές. Η ύλη δεν έχει πραγματική υπόσταση. Πραγματική υπόσταση έχουν οι διεργασίες. Η φαινομενική σταθερότητα παρουσιάζεται σε στιγμές ισορροπίας κατά τη σύγκρουση και σύνθεση αντίθετων τάσεων. Το κατεξοχήν φυσικό φαινόμενο που εκφράζει την αέναη κίνηση και αλλαγή είναι το «πυρ». Το πυρ, διαρκώς αυτοαναλισκόμενο και πάλι αναζωπυρούμενο, στον Ηράκλειτο δεν έχει την έννοια ενός άλλου πρωταρχικού στοιχείου. Μπορεί να θεωρηθεί ως σημείο αναφοράς, μετατροπής, σύγκρουσης και συνένωσης των υλικών στοιχείων. Μέσω αυτού αναδεικνύεται η αφανής νομοτέλεια που διέπει το αέναο γίνεσθαι²⁵. Συγχρόνως όμως, πίσω από

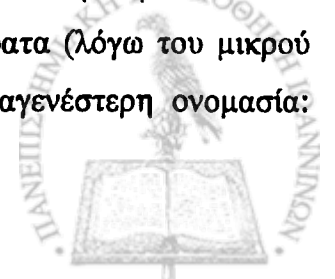
τον κόσμο των φαινομένων, ο Ηράκλειτος έβλεπε και το Αμετάβλητο, το Διαρκές. Αυτό ήταν ο «Λόγος»²⁶.

Ο Παρμενίδης υπήρξε ο φυσικός αντίποδας του Ηράκλειτου. Δέχεται και αυτός ότι ο κόσμος είναι ενιαίος και ότι την πραγματικότητα την αντιλαμβανόμαστε με τη νόηση και όχι με τις αισθήσεις. Κατ' αυτόν ο κόσμος είναι ένας, ομογενής, αδιαίρετος, ακίνητος, αμετάβλητος. Ξεκινάει από την έννοια «ον» σε αντίθεση με το «μη ον». Λέγοντας «ον» εννοεί την ύλη που γεμίζει το χώρο, ενώ με το «μη ον» εννοεί τον άδειο χώρο. Το «ον» ούτε ποτέ ήταν, ούτε θα είναι, γιατί τώρα είναι όλο μαζί ένα, συνεχές, ακίνητο, χωρίς αρχή και χωρίς τέλος. Μόνο το ον υπάρχει (εστί), το μη ον δεν υπάρχει (ουκ εστί), ούτε μπορούμε να το σκεφτούμε. Το «ον» ούτε αρχή ούτε τέλος μπορεί να έχει, γιατί δεν μπορεί να γίνει από το μη ον, ούτε να καταντήσει «μη ον». Είναι αδιαίρετο, ακίνητο και αμετάβλητο, παντού ίδιο με τον εαυτό του, μονογενές, περατό, τέλειο. Το όριο, το πέρας, έχει εδώ την έννοια της απόλυτης τελειότητας και ακεραιότητας. Το άπειρο θεωρείται ατελεύτητο και ελλιπές. Το πεπερασμένο «είναι» είναι πλήρες. Εξαιτίας αυτής της πληρότητας δε δημιουργείται καμία ανάγκη για κίνηση ή μεταβολή²⁷. Κατά τον Feyerabend η συλλογιστική βάση «εστί», είναι ο πρώτος ρητά διατυπωμένος νόμος της διατήρησης, υποστηρίζει τη διατήρηση του Όντος. Διατυπωμένος στην μορφή ότι τίποτα δεν προέρχεται από το τίποτα, υπεδείκνυε κι άλλους νόμους της διατήρησης όπως την διατήρηση της ύλης (Antoine Lavoisier) ή την διατήρηση της ενέργειας (Robert von Mayer)... Η ομοιομορφία τού Όντος επιβίωσε σαν ιδέα ότι οι βασικοί νόμοι πρέπει να είναι ανεξάρτητοι από το χώρο, το χρόνο και τις περιστάσεις²⁸

Η βασική αντίθεση του είναι και του γίνεσθαι, όπως την παρουσίασε ο Ηράκλειτος και ο Παρμενίδης οδήγησε στα τρία συμβιβαστικά συστήματα: του Εμπεδοκλή, του Αναξαγόρα και των Ατομικών.

Στην ερμηνεία του φυσικού κόσμου, ο Εμπεδοκλής²⁹ προσπάθησε να συμβιβάσει τον Ηράκλειτο με τον Παρμενίδα. Θέλησε να συνδυάσει την αιώνια αλλαγή με την αιώνια σταθερότητα. Γένεση και φθορά δεν υπάρχει (Παρμενίδης) και όλα βρίσκονται σε μια συνεχή αλλαγή (Ηράκλειτος). Η γένεση και η φθορά είναι στην πραγματικότητα ένωση (μίξις) και χωρισμός (διάλλαξις) από αιώνιες και αναλλοίωτες βασικές ουσίες. Τις ουσίες αυτές τις ονομάζει «ριζώματα πάντων» και αυτές είναι η γη, το νερό, ο αέρας, η φωτιά. Η ποικιλία των συνδυασμών των στοιχείων αυτών σε διάφορες αναλογίες μας δίνει την πολλαπλότητα του κόσμου. Η ένωση και ο χωρισμός των στοιχείων γίνεται με δύο κινητικές αρχές, τη Φιλότητα (αγάπη = έλξη) και το Νείκος (μίσος = απώθηση). Τα στοιχεία βρίσκονται σε μια ατέλειωτη αλλαγή. Άλλοτε τα ενώνει η Φιλότης και άλλοτε τα χωρίζει το Νείκος.

Την ίδια περίπου εποχή με τον Εμπεδοκλή, ο Αναξαγόρας θεωρεί ότι η ύλη αποτελείται από ένα σωρό από αναρίθμητα, αγέννητα, αναλλοίωτα και άφθαρτα, αόρατα (λόγω του μικρού μεγέθους) σωματίδια. Αυτά τα ονομάζει «σπέρματα» ή «χρήματα» (μεταγενέστερη ονομασία:



«ομοιομερή»). Κινούσα αρχή γι' αυτά είναι ο *Νους* που διευθύνει και ελέγχει το Σύμπαν. Ο *Νους* βρίσκεται σε αντιδιαστολή με την ύλη. Έχουμε εδώ για πρώτη φορά έκφραση ενός δυϊσμού πνεύματος-ύλης.

Η Ατομική θεωρία, όπως εκφράστηκε από τον Λεύκιππο και τον Δημόκριτο, θα αποτελέσει το τρίτο συμβιβαστικό σύστημα ανάμεσα στην Ηρακλειτική και Παρμενίδεια θεωρία. Οι ατομιστές δέχονται, όπως και ο Παρμενίδης, πως απόλυτη γένεση και φθορά είναι κάτι αδύνατο. Δεν θέλουν όμως να αρνηθούν την πολλαπλότητα των όντων, την κίνηση, την γένεση και τη φθορά των σύνθετων όντων, και επειδή αυτά, όπως έδειξε ο Παρμενίδης δεν μπορούν να νοηθούν χωρίς το «μη ον», γι' αυτό καταλήγουν στη σκέψη να δεχτούν πως το «μη ον» υπάρχει, όπως και το «ον». Κατά τον Παρμενίδη, το «ον» είναι αυτό που γεμίζει το χώρο, ενώ το «μη ον» είναι το κενό. Γι' αυτό οι ατομικοί δέχονται ως βασικά συστατικά του κόσμου το *πλήρες* και το *κενό*. Το πλήρες το φανταζόταν χωρισμένο σε αναρίθμητα, μικρά, μη αντιληπτά λόγω μεγέθους σωματίδια, τα άτομα (*ατόμους*). Τα άτομα είναι αγέννητα, άφθαρτα, ομοιόμορφα, διαφέρουν μόνο στο σχήμα και στο μέγεθος. Κάθε γένεση ενός σύνθετου σώματος είναι ένωση χωρισμένων ατόμων. Κάθε φθορά είναι χωρισμός ενωμένων ατόμων. Τα άτομα μέσα στο κενό βρίσκονται σε στροβιλοειδή κίνηση. Η κίνηση αυτή δημιουργεί συγκεντρώσεις και συμπλέγματα ατόμων, δηλαδή κόσμους. Επειδή η κίνηση δεν έχει αρχή και το πλήθος των ατόμων είναι άπειρο και ο χώρος δεν έχει όρια έπεται πως οι κόσμοι αυτοί είναι αναρίθμητοι. Ένας απ' αυτούς είναι αυτός που ανήκουμε εμείς.

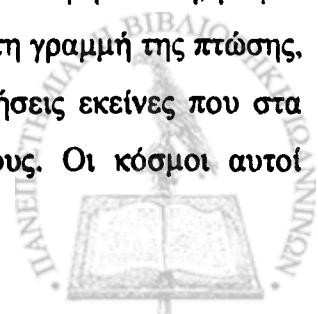
Για τον Δημόκριτο, τα πάντα ρυθμίζονται από την *ανάγκη*, η οποία εκφράζει έναν φυσικό νόμο που πηγάζει από την ίδια την ύπαρξη των όντων. Με την εισαγωγή της απόλυτης αιτιοκρατίας στο φυσικό του σύστημα αποκλείει οποιαδήποτε επέμβαση εξωτερικών δυνάμεων, του θείου, του τυχαίου και κάθε τελεολογική αρχή³⁰. Κατά τον Bailey «η *ανάγκη* ως σύλληψη του φυσικού νόμου έμελλε να αποτελέσει τον ακρογωνιαίο λίθο του συστήματός του.... Στη σφαίρα του φυσικού στοχασμού εισήγαγε για πρώτη φορά τη δυνατότητα μιας αυστηρά επιστημονικής σύλληψης του κόσμου, και με τον τρόπο αυτό ενίσχυσε πάρα πολύ την ατομική του θεωρία ως σύστημα»³¹.

Με τη Σωκρατική φιλοσοφία, η έρευνα της φύσης παραμελείται. Για τον Πλάτωνα ο μόνος προσιτός δρόμος στην αληθινή γνώση του κόσμου ήταν υπεραισθητός, νοητικός. Για τη φύση μπορούμε να έχουμε μόνο κάποια αφερέγγυα φαινομενική παράσταση (*δόξα*), δοσμένη με τη μεσολάβηση των αισθήσεων. Η Φυσική του βασίζεται πάνω στη δυϊστική του αντίληψη για τη θεωρία των δύο κόσμων: του υπερβατικού κόσμου των ιδεών και του αισθητού κόσμου των φαινομένων. Η ιδέα είναι αιώνια και αμετάβλητη, τα όντα που υπάγονται σ' αυτήν είναι πρόσκαιρα και βρίσκονται σε αιώνια αλλαγή. Η ατέλεια των αισθητών εξηγείται κατά τον Πλάτωνα μόνο από το ότι ένα μέρος τους μόνο στηρίζεται στην ιδέα ενώ το άλλο μέρος στηρίζεται σε μία άλλη αρχή, την ύλη. Η ύλη γι' αυτόν είναι κάτι το ασχημάτιστο (*άμορφον*), άφαντο

(*αόρατον*) που δέχεται μέσα του όλα, *πανδέκτης*. Αν για τον Δημόκριτο τα υλικά άτομα αποτελούν το πραγματικό ον, για τον Πλάτωνα είναι *βοηθητικά αίτια* (συναίτια) στο σχηματισμό του κόσμου³². Τον πραγματικό κόσμο αποτελούν οι ιδέες. Ο ορατός κόσμος είναι φτιαγμένος με μορφές και αριθμούς. Ακολουθώντας την επιστήμη της Στερεομετρίας αποδίδει ως βασικές μορφές στο χρώμα τον κύβο, στη φωτιά το τετράεδρο, στον αέρα το οκτάεδρο, στο νερό το εικοσάεδρο, ενώ σ' ολόκληρο το Σύμπαν το δωδεκάεδρο. Τα στερεομετρικά σχήματα αυτά ανάγονται σε επιφάνειες, οι επιφάνειες σε γραμμές, οι γραμμές σε σημεία είτε άκοφτες γραμμές (άτομοι γραμμαί). Με τη διάλυση αυτή των ατόμων σε πολύ μικρά γεωμετρικά σχήματα γίνεται δυνατό το πέρασμα από το ένα στοιχείο στο άλλο. Όλος αυτός ο μηχανισμός παίζει στην κατασκευή του κόσμου το ρόλο *βοηθητικών αιτίων* (*συναίτια*). Η καθαυτό δημιουργική δύναμη είναι το *λογικό*.

Στη φυσική του Αριστοτέλη οι απλούστατες επί της γης μορφές του όντος είναι τα τέσσερα στοιχεία: *γη, ύδωρ, αήρ, πυρ*³³. Χαρακτηρίζει αυτά τα στοιχεία από τις ιδιότητες που παρουσιάζουν. Είναι οι ιδιότητες του *θερμού* και του *ψυχρού*, του *ξηρού* και του *υγρού*. Ο Αριστοτέλης εξετάζει τους συνδυασμούς τούτων των ιδιοτήτων και τους αποδίδει στα τέσσερα στοιχεία. Έτσι χαρακτηρίζει το πυρ ως θερμό και ξηρό, τον αέρα ως θερμό και υγρό, το ύδωρ ως ψυχρό και υγρό και τη γη ως ψυχρό και ξηρό. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να μεταβάλλονται αμοιβαία καθώς και τα σώματα μπορούν να μετατρέπονται το ένα στο άλλο λόγω των κοινών ιδιοτήτων των στοιχείων τα οποία τα αποτελούν. Τα στοιχεία καταστρέφονται αμοιβαία επειδή βρίσκονται μεταξύ τους σε σχέση ενέργειας και παθητικότητας. Η φθορά του ενός στοιχείου είναι η γένεση άλλου, η γένεση και η φθορά εμφανίζεται ως κυκλική και έτσι ατελείωτη. Τα στοιχεία έχουν τις ιδιότητες του *ελαφρού* και του *βαρέος*, ιδιότητες οι οποίες επακολουθούν την κίνηση την οποία από τη φύση τους έχουν τα σώματα. Η κίνηση αυτή είναι ευθύγραμμη. Για τα ουράνια σώματα που εκτελούν κυκλική κίνηση επινόησε μια Πέμπτη ουσία, τον *αιθέρα*. Η ουσία αυτή δεν υπόκειται σε γένεση και φθορά. Κατά τον Αριστοτέλη κενό δεν υπάρχει, ο κόσμος είναι παντού πλήρης. Η αντιπαράθεση του γήινου προς το ουράνιο θα καθορίσει τον τρόπο σκέψης στους αιώνες που ακολούθησαν³⁴.

Η ατομική θεωρία επανέρχεται με τον Επίκουρο. Ο Επίκουρος δέχεται για βασικά συστατικά του κόσμου τα άτομα και τον άδειο χώρο³⁵. Όλα τα όντα αποτελούνται είτε από αθροίσματα είτε από συμπλοκές ατόμων που ανάμεσά τους έχουν άδεια διαστήματα. Κατ' αυτόν, το κάθε άτομο αποτελείται από μικρότατα κομμάτια, αδιαίρετα (κατά μαθηματική και φυσική έννοια). Αντί της δίνης που υποστηρίζει ο Δημόκριτος, τα άτομα κάνουν ελεύθερη πτώση, με μία κίνηση όμως που απορρέει από αυτά τα ίδια, αποκλίνουν λίγο από την κάθετη γραμμή της πτώσης, συγκρούονται και μπλέκονται μεταξύ τους και έτσι γεννώνται οι περιδινήσεις εκείνες που στα διάφορα μέρη του άπειρου χώρου παράγουν τους αναρίθμητους κόσμους. Οι κόσμοι αυτοί



χωρίζονται μεταξύ τους από άδειους διάμεσους κόσμους, γεννώνται και καταστρέφονται μέσα στο χώρο.

2.1.3 Μεσαίωνας και Αναγέννηση.

Η Ατομική θεωρία δεν θα μπορέσει να επιβιώσει για πολύ. Για αιώνες θα περάσει στην αφάνεια. Σ' όλη τη διάρκεια του Μεσαίωνα θα κυριαρχήσει η Αριστοτελική αντίληψη για τη φύση και τη δομή της. Ο Κόσμος πλέον αποτελείται από τέσσερα στοιχεία (*γη, νερό, αέρα, φωτιά*) και από τον *αιθέρα*. Η μεσαιωνική επιστήμη δεν μπορεί να αποσπαστεί από τη Φυσική και Κοσμολογία του Αριστοτέλη. Οι πολυάριθμες όμως μεταφράσεις Ελληνικών και Αραβικών συγγραμμάτων, προκαλούν μια επανάσταση στο χώρο της γνώσης, η οποία άρχισε να εκδηλώνεται στον ύστερο Μεσαίωνα με τη σύγκρουση της Αριστοτελικής θεωρίας με τις νέες αντιλήψεις που η μελέτη των συγγραμμάτων αυτών διαμόρφωνε.

Τον 14^ο αιώνα ο Νικόλαος ντ' Ωτρεκούρ, ριζοσπάστης διανοητής, απορρίπτει όλες τις προτάσεις της Αριστοτελικής φιλοσοφίας³⁶. Επιχείρησε να παρουσιάσει μια διαφορετική άποψη από τη φυσική του Αριστοτέλη βασισμένη στον ελληνικό ατομισμό. Υποστήριξε ότι η κίνηση και η αλλαγή, μπορούσαν να εξηγηθούν με βάση την κίνηση των αόρατων και αδιαίρετων ατόμων. Τη διακριτότητα της ύλης θα υποστηρίξει και ο Νικόλαος Κουζάνος³⁷.

Η μυστικιστική επιστήμη της Αλχημείας που κυριάρχησε σ' όλη τη διάρκεια του Μεσαίωνα έπαιξε σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της φιλοσοφικής και επιστημονικής σκέψης. Οι έρευνες των αλχημιστών εστιάζονται στην αναζήτηση, μέσω μιας πνευματικής εσωτερικής έμπνευσης, του ελιξίριου της νεότητας και της φιλοσοφικής λίθου, με την οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν μετάλλαξη της ύλης, κυρίως μεταστοιχείωση των ταπεινών μετάλλων σε χρυσό. Η αλχημεία θα αποτελέσει τον πρόδρομο της επιστήμης της Χημείας.

Στην εποχή της Αναγέννησης, με το πρόσχημα της αναβίωσης της Αρχαιότητας, παγανιστικές δοξασίες, καββαλιστικά στοιχεία, μαγικές τέχνες, έρχονται να αναμιχθούν με τη φιλοσοφία. Οι επιδράσεις αυτές, βοήθησαν να αναδειχθούν απόψεις για το Σύμπαν παλαιότερες από τη φιλοσοφία του Αριστοτέλη. Την εποχή της Αναγέννησης, η μαγεία δεν ανήκε απλώς στις λαϊκές δοξασίες, αλλά και στον κόσμο των διανοουμένων της εποχής εκείνης. Κυριαρχεί μία τάση που αποβλέπει σε μια ενοποιημένη ιδέα του Σύμπαντος³⁸.

Το 1460 μεταφράζονται στη Φλωρεντία τα κείμενα του Ερμή του Τρισμέγιστου. Ο *Jordano Bruno*, επηρεασμένος από τα κείμενα αυτά, βλέπει το Σύμπαν σαν ένα ενιαίο σύνολο. Για την ύλη δέχεται ότι αποτελείται από την συνάφεια των «έσχατων στοιχείων» (*minima*). Η

συνάφεια αυτή συντελείται με τη βοήθεια της ενέργειας της θείκης δύναμης. Για τον Bruno ο ατομισμός ήταν η μεταφυσική αρχή στη βάση της οποίας μπορούσε να αποδειχθεί η βαθύτερη ενότητα όλης της Φύσης³⁹.

Με τον Pierre Gassendi η ατομική θεωρία τον 17^ο αιώνα επανέρχεται στο προσκήνιο⁴⁰. Ο Gassendi εκφράζει το θαυμασμό του για τη φιλοσοφία του Επίκουρου, του Λεύκιππου και του Δημόκριτου. Ο κόσμος αποτελείται από τα άτομα (συμπαγή και αδρανή σωμάτια), και τον κενό χώρο. Ο θεός έδωσε στα άτομα την πρώτη κίνηση με την έναρξη του χρόνου. Η ύπαρξη του κενού χώρου αποτελεί προϋπόθεση της κίνησης. Διότι εάν η ύλη δεν είχε ατομική σύσταση αλλά ήταν συνεχής τότε η κίνηση θα ήταν αδύνατη.

Την ατομική θεωρία θα υποστηρίξει και ο Γαλιλαίος. Τα φυσικά σώματα, κατ' αυτόν, συντίθενται από άπειρα αδιαίρετα σωμάτια⁴¹.

2.1.4 Η αποδοχή της ατομικής θεωρίας.

Με τον John Dalton (1766-1844) η ατομική θεωρία θα επανέλθει οριστικά, θα επιβληθεί και θα αποτελέσει μία από τις βάσεις της σύγχρονης Φυσικής και Χημείας⁴². Ο Dalton παρέλαβε από τους Αρχαίους την υπόθεση περί του αδιαιρέτου της ύλης και της προσέδωσε επιστημονική βάση και μαθηματική διατύπωση. Ξεκινώντας από την αρχή ότι όλα τα απλά σώματα αποτελούνται από ομοειδή άτομα, παρατήρησε ότι η θεωρία αυτή μπορούσε να ερμηνεύσει τις φυσικές ιδιότητες των αερίων και να εξηγήσει τους νόμους που διέπουν τις χημικές συνθέσεις. Κατά την θεωρία του όλα τα άτομα ενός δεδομένου στοιχείου είναι όμοια. Τα άτομα ενός δεδομένου στοιχείου είναι διαφορετικά από αυτά οποιουδήποτε άλλου στοιχείου. Τα άτομα ενός στοιχείου μπορούν να συνδεθούν με άτομα άλλων στοιχείων και να σχηματίσουν ενώσεις. Μία δεδομένη ένωση έχει πάντα τον ίδιο σχετικό αριθμό των τύπων των ατόμων. Τα άτομα είναι άορατα στις χημικές αντιδράσεις, δεν δημιουργούνται και δεν καταστρέφονται σ' αυτές. Αυτό που γίνεται σε μία χημική αντίδραση είναι ότι απλώς αλλάζει ο τρόπος ομαδοποίησης των ατόμων. Με την κατάταξη των στοιχείων σε διάφορες ομάδες που προέκυψε με τον περιοδικό πίνακα του Mendelejev, ανοίγει ο δρόμος για τη μελέτη της ύλης σε ατομικό επίπεδο⁴³.



2.2 Οι ενοποιητικές αντιλήψεις στη φυσική κατά το παρελθόν

Η θεώρηση του κόσμου, ως ενιαίο σύνολο, που είναι φτιαγμένος από την ίδια ύλη παντού, προϋποθέτει την ύπαρξη νόμων με συμπαντική-παγκόσμια ισχύ που καθορίζουν την συμπεριφορά της. Η προσπάθεια για την ανακάλυψη αυτών των νόμων αποτέλεσε τον άξονα γύρω από τον οποίο αναπτύχθηκε η σκέψη μεγάλων φυσικών.

2.2.1 Από τον Al Biruni στον Maxwell.

Στις πρώτες ενοποιητικές αντιλήψεις που διατυπώνονται στη φυσική, πρέπει να συμπεριληφθεί και η άποψη που, πριν χίλια περίπου χρόνια, διατύπωσε ο Al Biruni⁴⁴. Κατ' αυτόν, τα φυσικά φαινόμενα στον Ήλιο στη Γη και στη Σελήνη υπακούουν στους ίδιους νόμους. Την ίδια ιδέα διατύπωσε και απέδειξε ο Γαλιλαίος εξακόσια χρόνια αργότερα, όταν παρατηρώντας με το τηλεσκόπιό του τις σκιές των βουνών στη Σελήνη κατάφερε να επιβεβαιώσει ότι ο νόμος σχηματισμού της σκιάς ήταν ο ίδιος στη Σελήνη όπως και στη Γη. Περί το 1680, ο Newton υποστήριξε ότι η δύναμη της γήινης βαρύτητας που κάνει τα μήλα να πέφτουν είναι η ίδια με την ουράνια βαρύτητα, τη δύναμη δηλαδή που διατηρεί την κίνηση των πλανητών γύρω από τον Ήλιο⁴⁵. Μέσα από τις εργασίες του Γαλιλαίου και του Νεύτωνα η ατομική θεωρία ενισχύθηκε με την αποσαφήνιση των νόμων της κίνησης των υλικών σωμάτων. Έγινε πλέον αντιληπτό ότι ακόμη και η κίνηση των ατόμων υπακούει σε σαφείς φυσικούς νόμους. Σε όλα τα στοιχεία της επιστημονικής εξέλιξης που αναφέρθηκαν προηγουμένως υπάρχουν τα σπέρματα της προσπάθειας για μία θεωρία των πάντων. Αυτό όμως είναι εμφανές περισσότερο στην εξέλιξη της επιστημονικής σκέψης τον 19^ο και 20^ο αιώνα⁴⁶.

Πριν από το 1820, ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός θεωρούνταν ως δύο διακριτές δυνάμεις. Ο Faraday και ο Ampère ήταν οι πρώτοι που έδειξαν ότι ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός είναι οι δύο όψεις μίας και μοναδικής αλληλεπίδρασης, της ηλεκτρομαγνητικής⁴⁷. Αυτό που διακρίνει τον ηλεκτρισμό από τον μαγνητισμό είναι ένας περιβαλλοντικός παράγοντας, το αν δηλαδή το ηλεκτρικό φορτίο κινείται ή όχι. Η ενοποίηση αυτή αποτέλεσε και τη βάση της ανάπτυξης της τεχνολογίας του ηλεκτρισμού του 19^{ου} αιώνα. Το επόμενο βήμα ήταν αυτό του Maxwell: Της ενοποίησης του ηλεκτρισμού με την οπτική. Ο Maxwell έδειξε ότι αν ένα ηλεκτρικό φορτίο επιταχύνεται, τότε εκπέμπει ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ενοποίηση αυτή αποτέλεσε τη βάση της ανάπτυξης της τεχνολογίας του 20^{ου} αιώνα.. Η σημασία

της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας του Maxwell για τη φυσική επιστήμη προσεγγίζει τη σημασία της θεωρίας του Newton⁴⁸.

Στη συνέχεια στον εικοστό αιώνα με τον Einstein, γίνεται η ενοποίηση του χώρου και του χρόνου και η γενίκευση της βαρύτητας.

2.2.2 Εικοστός αιώνας.

Από την αρχαιότητα βλέπουμε να διαμορφώνονται δύο αντιλήψεις για τη σύσταση της ύλης: η ατομιστική και η πεδιακή. Η πρώτη ξεκινώντας από το Δημόκριτο, μέσω του Επίκουρου, Λουκρήτιου, Gassendi, Newton, Dalton καταλήγει στη φυσική και χημεία του 19^{ου} αιώνα. Η αντίληψη αυτή αποτέλεσε τη βάση της σύγχρονης χημείας και υπήρξε η αφετηρία της κβαντικής αντίληψης για το φως, της ατομικής και πυρηνικής φυσικής και της φυσικής των μικροσωματίων. Η δεύτερη αρχίζει από τον Ηράκλειτο και τον Αριστοτέλη, ξανασυναντάται στον Καρτέσιο και καταλήγει στις σύγχρονες πεδιακές θεωρίες. Η σύγχρονη φυσική χαρακτηρίζεται από συνθετικές τάσεις, που στοχεύουν στη γεφύρωση της αντίθεσης ανάμεσα στη συνέχεια και την ασυνέχεια, ανάμεσα στα σωμάτια και τα πεδία, ανάμεσα στο τοπικό και στο μη-εντοπίσιμο⁴⁹.

Η αρχή του εικοστού αιώνα έφερε μία επανάσταση στο χώρο της Φυσικής. Η θεώρηση της δομής της ύλης πραγματοποιείται με ένα διαφορετικό τρόπο απ' ό,τι πριν. Δύο θεωρίες συνιστούν τη νέα κοσμοθεώρηση. Η θεωρία της σχετικότητας και η κβαντομηχανική.

2.2.2.1 Η θεωρία της σχετικότητας

Με τη διατύπωση της θεωρίας της Σχετικότητας επέρχεται μία ριζική αλλαγή στον τρόπο θεώρησης του κόσμου. Η ειδική θεωρία της σχετικότητας συμπυκνώνεται στα δύο θεμελιώδη αξιώματα:

Όλοι οι νόμοι της φύσης είναι οι ίδιοι για όλους τους παρατηρητές που κινούνται με σταθερή ταχύτητα (σε μέτρο και κατεύθυνση) μεταξύ τους.

Η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια και έχει πάντοτε την τιμή $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές ανεξάρτητα από την σχετική τους κίνηση.

Έτσι τα μεγέθη της χρονικής διάρκειας, του μήκους και η έννοια του ταυτόχρονου δεν είναι απόλυτα στη θεωρία της Σχετικότητας. Ο σχετικιστικός ορισμός της ορμής ενός σωματίου που κινείται με ταχύτητα v είναι:



$$p = mv/\sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma mv \text{ όπου } \gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Η σχετικιστική έκφραση για την κινητική ενέργεια ενός σώματος είναι:

$$K = \gamma mc^2 - mc^2$$

Όπου η ποσότητα mc^2 είναι η *μάζα ηρεμίας* του σώματος.

Η σχετικιστική ορμή συνδέεται με την ολική ενέργεια μέσω της σχέσης:

$$E^2 = p^2 c^2 + (mc^2)^2.$$

Η Σχετικότητα έδωσε μια ώθηση στην Φυσική Επιστήμη προς τα μπρος με τη σύνδεση ιδεών που προηγουμένως θεωρούνταν άσχετες μεταξύ τους. Ο χώρος και ο χρόνος συνενώνονται στην έννοια του χωροχρόνου. Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο συνενώνονται στον τανυστή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Η μάζα θεωρείται πλέον ως μία άλλης μορφής ενέργεια. Η ορμή συνδέθηκε με την ενέργεια. Από τη Σχετικότητα προήλθε και η έννοια του *αναλλοιώτου*.

Μία από τις δυσκολίες της αποδοχής της θεωρίας αυτής υπήρξε η παραβίαση της κοινής λογικής. Αν ο άνθρωπος μπορεί να φανταστεί το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο, δυσκολεύεται να αντιληφθεί τη σχετικότητα του χρόνου, την ταχύτητα του φωτός ως το ανώτατο όριο ταχύτητας. Δυσκολεύεται στην έννοια του τετραδιάστατου του χωροχρόνου και ο λόγος γι' αυτό είναι προφανής: ως τρισδιάστατα όντα που είμαστε αδυνατούμε να αντιληφθούμε φαινόμενα που είναι έξω από το όριο της παρατήρησής μας.

Η θεωρία της Σχετικότητας έχει να κάνει με δύο έννοιες που φαίνονται αντίθετες: Τη *σχετικότητα* και το *αναλλοίωτο*. Η σχετικότητα αναφέρεται στην παρατήρηση και κατά συνέπεια στη διαφωνία. Το αναλλοίωτο αναφέρεται σε περιοχές συμφωνίας, στις όψεις εκείνες ενός φαινομένου που είναι οι ίδιες για διάφορους παρατηρητές. Η θεωρία της Σχετικότητας έχει προσθέσει περισσότερη σχετικότητα και περισσότερο αναλλοίωτο στην επιστήμη. Ο Einstein ανύψωσε στο επίπεδο ενός θεμελιώδους αξιώματος της επιστήμης την αρχή ότι, παρά τη σχετικότητα των παρατηρήσεων των φαινομένων, οι νόμοι που κυβερνούν τα φαινόμενα αυτά πρέπει να είναι αναλλοίωτοι⁵⁰. Αυτό δημιουργεί στη συνέχεια ένα ερώτημα: Κατά πόσον ένας συνδυασμός όλων των αρχών του αναλλοίωτου θα περιορίσει τόσο πολύ τους νόμους της φύσης, ώστε οι αληθινοί νόμοι να καθορίζονται μονοσήμαντα μόνο από τις απαιτήσεις του αναλλοίωτου; Σημαντικές συνέπειες της θεωρίας αυτής είναι:

α) Ο τύπος της διαστολής του χρόνου, σύμφωνα με τον οποίο, όσο ταχύτερα κινείται ένα σώμα, τόσο περισσότερο ζει, όπως φαίνεται σε έναν ακίνητο παρατηρητή.

β) Η σχέση ανάμεσα στη μάζα και στην ενέργεια, όπως διατυπώθηκε παραπάνω.

γ) Η γενική θεωρία της Σχετικότητας: Ο Einstein αντικατέστησε το βαρυτικό πεδίο του Νεύτωνα-Πουασόν με τον μετρικό τανυστή Ρίμαν $g_{\mu\nu}$ και την αντίστοιχη πυκνότητα ύλης με τον τανυστή ενέργειας-ορμής $T_{\mu\nu}$. Έτσι κατέληξε στην εξίσωσή του



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

που αντικατέστησε την κλασική εξίσωση της βαρύτητας. Στην εξίσωση αυτή το R είναι παράμετρος που εξαρτάται από το χρόνο. Ο Einstein αναγκάστηκε να προσθέσει τον όρο με το Λ , ώστε το σύμπαν που περιέγραφε με την εξίσωσή του να μην καταρρέψει στον εαυτό του λόγω της έλξης αλλά να έχει μικρή επίπτωση σε τοπικά φαινόμενα όπως κινήσεις πλανητών κλπ., και μεγάλη επίπτωση σε τεράστιες αποστάσεις, θεωρώντας ότι το σύμπαν είναι στατικό. Η παράμετρος Λ ονομάστηκε αργότερα κοσμολογική σταθερά αλλά λίγο αργότερα όταν ο Hubble, μετά από τις αστρονομικές παρατηρήσεις που έκανε έδειξε ότι το σύμπαν διαστέλλεται, ο Einstein αναγνώρισε ότι η κοσμολογική σταθερά ήταν αταίριαστη στην εξίσωσή του και την εγκατέλειψε. Σύμφωνα με την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας η βαρύτητα είναι συνέπεια του γεγονότος ότι ο χωρόχρονος δεν είναι επίπεδος, όπως στην Ευκλείδεια Γεωμετρία, αλλά καμπύλος. Η μάζα μέσω της εξίσωσης βαρύτητας οδηγεί σε μια μη Ευκλείδεια Γεωμετρία, στην οποία η καμπύλη τροχιά συμπίπτει με μια γραμμή ελάχιστου μήκους (γεωδαισιακή). Την καμπυλότητα του χώρου την προκαλεί η παρουσία της ύλης, δηλαδή της μάζας (ή ενέργειας). Έτσι τα σώματα κινούνται όχι λόγω κάποιας βαρυτικής δύναμης αλλά κινούνται στις τροχιές του καμπύλου χωρόχρονου, που λέγονται γεωδαισιακές. Η γεωδαισιακή είναι η καμπύλη με το μικρότερο μήκος, όπως η ευθεία στον επίπεδο Ευκλείδειο χώρο.

Το μεγάλο όνειρο του Einstein για την ενοποίηση της γενικής σχετικότητας με τον ηλεκτρομαγνητισμό, θεωρώντας ότι ο τανυστής ενέργειας-ορμής της εξίσωσής του οφειλόταν στον ηλεκτρομαγνητισμό, δεν μπόρεσε να αποδώσει αποτελέσματα. Μία προσπάθεια προς αυτή την κατεύθυνση έγινε από τους Kaluza και Klein. Σύμφωνα με την πρότασή του, ο Kaluza ισχυρίζεται ότι στην προσπάθειά μας για (γεωμετρική) ενοποίηση του ηλεκτρομαγνητισμού με τη βαρύτητα θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε ένα χωροχρόνο με 5 (πέντε) διαστάσεις. Επαλήθευσε το γεγονός ότι η καμπύλωση που αντιστοιχεί στην επιπλέον 5^η διάσταση δίνει την ηλεκτρομαγνητική δύναμη, όπως ακριβώς η καμπύλωση στον συνήθη χώρο των 3 διαστάσεων συν τη διάσταση του χρόνου μας δίνει τη βαρύτητα⁵¹.



2.2.2.2 Η κβαντομηχανική

Η κβαντομηχανική είναι η θεωρία που εισάγει στην επιστήμη ένα αναπόφευκτο στοιχείο αδυναμίας πρόβλεψης και τυχαιότητας⁵².

Η κβαντομηχανική είναι η θεωρία του μικρόκοσμου. Είναι η θεωρία που πέτυχε να εξηγήσει την ατομική δομή και έδωσε δυνατότητα στον άνθρωπο να προβλέπει και να περιγράφει ποσοτικά από τον μοριακό μέχρι τον υποατομικό και τον υποπυρηνικό χώρο. Η μελέτη του υπομικροσκοπικού χώρου είναι αναγκαία για την κατανόηση του εσωτερικού των άστρων και επομένως η θεωρία της κβαντομηχανικής επέκτεινε τα σύνορα της αστρονομίας.

Όπως και η σχετικότητα έτσι και η κβαντομηχανική εισήγαγε νέες έννοιες οι οποίες έρχονταν σε αντίθεση με την κοινή λογική και την κλασική φυσική. Οι έννοιες αυτές είναι:

Το Διάκριτο. Το μεγαλύτερο μέρος της φύσης στο μικρόκοσμο είναι διάκριτο, τόσο τα υλικά του κομμάτια όσο και οι φυσικές του μεταβλητές.

Η Πιθανότητα. Η πιθανότητα και όχι η βεβαιότητα είναι αυτή που χαρακτηρίζει τους θεμελιώδεις νόμους της κβαντομηχανικής.

Δημιουργία και καταστροφή. Σωματίδια μπορούν να δημιουργηθούν ή να καταστραφούν.

Κύματα και Σωματίδια. Η ύλη και η ακτινοβολία μπορεί να έχουν συγχρόνως κυματικές και σωματιδιακές ιδιότητες.

Επαλληλία Κυματοσυναρτήσεων. Ένα σωματίδιο σε μία δεδομένη χρονική στιγμή μπορεί να βρίσκεται σε δύο ή περισσότερες καταστάσεις κίνησης.

Η Αρχή της Αβεβαιότητας. Πέρα από τους περιορισμούς που προέρχονται από τις ανθρώπινες δυνατότητες, η φύση θέτει κι άλλους θεμελιώδεις περιορισμούς στην ακρίβεια με την οποία μπορούμε να μετρήσουμε ορισμένες φυσικές ποσότητες⁵³.

Το φωτόνιο είναι σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις ένα κάπως ειδικό σωματίδιο διότι δεν έχει ούτε μάζα ούτε φορτίο. Μεταφέρει μία κβαντική μονάδα σπιν (μιας διάκριτης μεταβλητής που μετριέται σε μονάδες \hbar), μεταφέρει ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις, αλληλεπιδρά με όλα τα φορτισμένα σωματίδια καθώς και με μερικά ουδέτερα. Το κάθε άτομο εκπέμπει και απορροφά φωτόνια ορισμένων ενεργειών και συχνοτήτων. Η σχέση του φωτονίου με την ιδέα του διάκριτου είναι προφανής. Αντικαθιστά τη συνεχή κυματική ενέργεια με διάκριτα πακέτα ενέργειας. Αντικαθιστά τη συνεχή εκπομπή και απορρόφηση της ακτινοβολίας με ακαριαία εκπομπή και απορρόφηση. Σ' αυτό βλέπουμε την ιδέα της δημιουργίας και της καταστροφής καθότι είναι ένα σωματίδιο που εμφανίζεται και εξαφανίζεται. Με το φωτόνιο εισήχθη η έννοια της δυαδικής υφής κύματος – σωματίου και είχε σαν συνέπεια ότι η πιθανότητα πρέπει να παίζει κάποιο ρόλο στις θεμελιώδεις διαδικασίες. Το ότι το φως είναι και κύμα και σωματίδιο, ήταν μια ιδέα δύσκολη για να

γίνει εύκολα αποδεκτή, γι' αυτό και έτυχε αποδοχής μετά το πείραμα του Compton. Η ύπαρξη των φωτονίων δίνει διάκριτο χαρακτήρα και στην ορμή της ακτινοβολίας. Από τη σχέση $E = pc$ και την $E = h\nu$ συνάγεται η σχέση $p = h/\lambda$, σχέση στην οποία μέσω της σταθεράς του Planck h , συνδυάζεται μία σωματιδιακή ιδιότητα (p), με μία κυματική (λ).

Η σταθερά του Planck h είναι η θεμελιώδης σταθερά της κβαντομηχανικής, όπως η ταχύτητα του φωτός είναι η θεμελιώδης σταθερά της σχετικότητας. Καθορίζει όλη την κλίμακα του μικρόκοσμου, όπως την ενέργεια των φωτονίων, το σπιν των σωματίων και το μέγεθος των ατόμων. Για τη σταθερά h ο Bohr θεώρησε ότι θα έπρεπε να παίζει κάποιο σημαντικό ρόλο στη μηχανική του ατόμου, ώστε να μπορέσει να ερμηνευτεί η κίνηση των ηλεκτρονίων και τα φαινόμενα εκπομπής και απορρόφησης με μια ενοποιημένη θεωρία. Εκτίμησε ότι χωρίς τη σταθερά αυτή δεν θα υπήρχε καμία λογική βάση για την ατομική κλίμακα μήκους. Ο συνδυασμός $4\pi e^2/me^2$ είναι ένα μήκος με σωστή τάξη μεγέθους για το άτομο (της τάξης του 1\AA), ενώ χωρίς το h κανένας συνδυασμός του m και του $e^2/4\pi\epsilon_0$ δεν μπορεί να δώσει μια ποσότητα που να έχει διαστάσεις μήκους.

Προσπαθώντας να εξηγήσει το φάσμα του υδρογόνου με βάση το πρότυπο του Rutherford ο Bohr πρότεινε το μοντέλο του το οποίο στηρίζεται στις εξής ιδέες-αξιώματα:

Την ιδέα της στάσιμης κατάστασης. Τα ηλεκτρόνια στα άτομα μπορούν να βρίσκονται σε διάφορες ενεργειακές καταστάσεις κίνησης, κάθε μία από τις οποίες είναι διακριτή και χαρακτηρίζεται από μια καθορισμένη ενέργεια.

Την ιδέα του κβαντικού άλματος. Η ακτινοβολία εκπέμπεται ή απορροφάται με αιφνίδια κβαντικά άλματα μεταξύ στασίμων καταστάσεων.

Ο νόμος διατήρησης της ενέργειας ισχύει αυστηρά και στα άτομα.

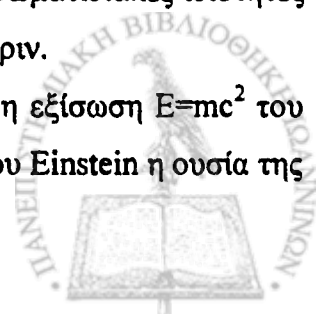
Η αρχή της αντιστοιχίας. Η ιδέα αυτή ένωσε τον κόσμο της κλασικής φυσικής με τον κβαντικό κόσμο. Σύμφωνα με την αρχή αυτή, η κβαντομηχανική πρέπει να έχει ένα κλασικό όριο. Η νέα θεωρία θα πρέπει να συμφωνεί με την παλιά, εκεί που ξέρουμε ότι η παλιά είναι σωστή. Όταν οι κλασματικές μεταβολές των κβαντισμένων μεταβλητών είναι μικρές τα κβαντικά αποτελέσματα θα πρέπει να συμφωνούν με τα κλασικά αποτελέσματα⁵⁴.

Το 1924 ο Louis de Broglie έθεσε το αξίωμα ότι οποιοδήποτε σωματίο ορμής p είναι συνδεδεμένο με ένα κύμα μήκους κύματος λ τα p και λ συνδέονται με τη σχέση:

$$\lambda = h/p$$

Η ιδέα ότι οι στοιχειώδεις οντότητες μπορούν να έχουν και κυματικές και σωματιδιακές ιδιότητες προέκυπτε βέβαια από τη θεωρία του Einstein, διατυπωμένη 20 χρόνια πιο πριν.

Η εξίσωση αυτή του de Broglie έχει συνέπειες τόσο σημαντικές όσο και η εξίσωση $E=mc^2$ του Einstein. Αν συγκρίνουμε τις εξισώσεις αυτές βλέπουμε ότι στην εξίσωση του Einstein η ουσία της



είναι η αναλογία της ενέργειας προς τη μάζα με το c^2 σταθερά αναλογίας. Στην εξίσωση του de Broglie εκφράζεται η αναλογία του μήκους κύματος προς το αντίστροφο της ορμής. Η h εδώ είναι σταθερά αναλογίας. Έτσι, όπως η εξίσωση του Einstein συνδέει δύο έννοιες που προηγουμένως θεωρούνταν χωρισμένες (ενέργεια-μάζα), έτσι και η εξίσωση του de Broglie συνδέει δύο έννοιες που φαινομενικά ήταν άσχετες μεταξύ τους, μια κυματική ιδιότητα λ και μια σωματιδιακή ιδιότητα p .

Η αρχή της αβεβαιότητας υπήρξε μία από τις πιο σημαντικές έννοιες που προτάθηκαν από την Κβαντομηχανική. Η γενική αυτή αρχή μπορεί να γραφεί με διάφορες μορφές μία από τις οποίες είναι: $\Delta x \Delta p_x \geq h/2$ με όμοιες σχέσεις για τις y και z συνιστώσες. Το σύμβολο Δ σημαίνει «αβεβαιότητα σε». Επειδή το h είναι πάρα πολύ μικρή ποσότητα, τα Δx και Δp μπορεί να είναι μακροσκοπικά τόσο κοντά στο μηδέν που για πρακτικούς λόγους δεν θα υπάρχει θεμελιώδης αβεβαιότητα στη θέση και την ορμή των μεγάλων αντικειμένων. Στο μικρόκοσμο όμως, οι μάζες και οι αποστάσεις είναι τόσο μικρές ώστε η αρχή της αβεβαιότητας είναι σημαντική. Σε πολλές από τις μικροσκοπικές εφαρμογές το πραγματικό γινόμενο των αβεβαιοτήτων δεν είναι πολύ μεγαλύτερο από το κατώτερο θεωρητικό όριο. Έτσι συχνά μπορούμε να αντικαταστήσουμε τον ανωτέρω τύπο με την κατά προσέγγιση ισότητα $\Delta x \Delta p_x \cong h$.

Μία άλλη μορφή της αβεβαιότητας είναι η $\Delta E \Delta t \geq h/2$. Σύμφωνα μ' αυτή, το γινόμενο της αβεβαιότητας ΔE σε μια μέτρηση ενέργειας και η αβεβαιότητα Δt στο χρόνο στον οποίο γίνεται η μέτρηση είναι μεγαλύτερη ή ίση του $h/2$.

Όταν συνδυαστούν κβαντικά και σχετικιστικά φαινόμενα συμβαίνει η δημιουργία και η καταστροφή των υποατομικών σωματιδίων. Ένα σωματίδιο αδρανειακής μάζας m_0 μπορεί να δημιουργηθεί αν παρέχεται η ενέργεια $m_0 c^2$. Η ενέργεια μπορεί να προέλθει από την κινητική ενέργεια των προϊόντων της σύγκρουσης δύο άλλων σωματιδίων, τη θερμική ενέργεια, την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, ή την ενέργεια ηρεμίας κάποιου άλλου σωματιδίου. Παρόλο που η μόνιμη δημιουργία ενός νέου σωματιδίου μάζας ηρεμίας m_0 απαιτεί μία προσφορά ενέργειας $m_0 c^2$, ένα αντίστοιχο εν δυνάμει σωματίδιο είναι δυνατόν να δημιουργηθεί πρόσκαιρα χωρίς παροχή ενέργειας. Σύμφωνα με την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg επιτρέπεται αναστολή του νόμου διατήρησης της ενέργειας για χρόνο Δt κατά ένα ποσό ΔE : $\Delta E \Delta t \sim h$. Επομένως για χρόνο $\Delta t \sim h/m_0 c^2$ μπορεί να δημιουργηθεί ένα εν δυνάμει σωματίδιο, το οποίο ακόμη και με την ταχύτητα του φωτός να ταξιδέψει, θα διανύσει διάστημα $h/m_0 c$. Κατ' αυτόν τον τρόπο το μήκος κύματος Compton έχει την έννοια της μέγιστης εμβέλειας ενός «εν δυνάμει» σωματιδίου⁵⁵.

2.3 Τα Στοιχειώδη Σωματίδια

Με την επικράτηση της ατομικής θεωρίας που αναβίωσε ο Dalton, κυριάρχησε η αντίληψη ότι τα άτομα ήταν τα αδιαίρετα συστατικά της ύλης, δηλαδή τα στοιχειώδη σωματίδια. Προς το τέλος του 19^{ου} αιώνα υπήρχαν ενδείξεις ότι τα άτομα δεν ήταν αδιαίρετα. Το πρότυπο του Thomson με (τα ηλεκτρόνια διάσπαρτα μέσα στη θετική μάζα του ατόμου) που αντικατέστησε αυτό του Dalton, αντικαταστάθηκε με τη σειρά του από το πρότυπο του Rutherford με τον θετικά φορτισμένο πυρήνα και τα ηλεκτρόνια που περιφέρονται γύρω του. Το πρότυπο Bohr με τα ηλεκτρόνια να κινούνται σε καθορισμένες τροχιές ήλθε να δώσει λύση στα αδιέξοδα του προτύπου του Rutherford. Μέχρι το 1932 η ύλη θεωρούνταν ότι αποτελείται από τριών ειδών σωματίδια: τα πρωτόνια και τα νετρόνια που συγκροτούν τον πυρήνα και τα περιφερόμενα σε τροχιές γύρω απ' αυτόν ηλεκτρόνια. Από το 1945 ανακαλύφθηκαν πολλά καινούργια σωματίδια σε πειράματα συγκρούσεων υψηλών ενεργειών μεταξύ γνωστών σωματιδίων και ανίχνευσης σωματιδίων κοσμικής ακτινοβολίας. Με τη κατασκευή πολλών επιταχυντών σωματιδίων ανά τον κόσμο, άρχισε να αποκαλύπτεται ο υποατομικός κόσμος. Μέχρι τη δεκαετία του 1960 είχε ανακαλυφθεί ένας τεράστιος αριθμός υποατομικών σωματιδίων. Η ανάγκη για την επινόηση ενός μοντέλου, βάσει του οποίου θα ταξινομούσαν όλα αυτά τα σωματίδια, οδήγησαν στα κουάρκ.

2.3.1 Οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις στη φύση

Στη φύση εμφανίζονται τέσσερις αλληλεπιδράσεις (και αντίστοιχες δυνάμεις). Οι αλληλεπιδράσεις είναι:

1. Η **ισχυρή**: Είναι αυτή που συγκρατεί τα νουκλεόνια στους πυρήνες. Η εμβέλειά της είναι περίπου 10^{-14} m.
2. Η **ηλεκτρομαγνητική**: Η δύναμη αυτή είναι 100 φορές μικρότερη από την ισχυρή και είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό των ατόμων και των μορίων. Έχει άπειρη εμβέλεια και είναι ανάλογη του $1/r^2$ όπου r είναι η απόσταση μεταξύ των αλληλεπιδρώντων σωματιδίων.
3. Η **ασθενής**: έχει την τάση να αποσταθεροποιήσει ορισμένους πυρήνες. Είναι υπεύθυνη για τη διάσπαση β. Έχει ισχύ 10^5 μικρότερη από αυτήν της ισχυρής δύναμης.
4. Η **βαρυτική**: Είναι μεγάλης εμβέλειας, μεταβάλλεται ανάλογα με το $1/r^2$ και κι είναι 10^{38} φορές ασθενέστερη από την ισχυρή δύναμη.



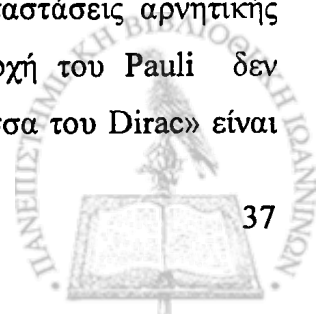
Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων περιγράφονται με την ανταλλαγή σωματιδίων πεδίου ή κβάντων. Τα σωματίδια αυτά είναι για την περίπτωση της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης τα φωτόνια, για την ισχυρή τα γλοιόνια (gluons), για την ασθενή τα μποζόνια W και Z , και για τη βαρυτική τα γκραβιτόνια.

ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ			
ΕΙΔΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ (ΚΒΑΝΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ)	ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΙΣΧΥΡΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-1	8 ΓΚΛΟΥΟΝΙΑ (ΑΜΑΖΑ)	ΑΤΟΜΙΚΟΥΣ ΠΥΡΗΝΕΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-10^{-3}	ΦΩΤΟΝΙΟ (ΑΜΑΖΟ)	ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΤΙΒΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ
ΑΣΘΕΝΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-10^{-5}	ΜΠΟΖΟΝΙΑ Z, W^+, W^- (ΒΑΡΙΑ)	ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΟ ΔΙΑΣΠΑΣΗ Β
ΒΑΡΥΤΗΤΑ	-10^{-38}	ΓΚΡΑΒΙΤΟΝΙΑ (;)	ΟΥΡΑΝΙΑ ΣΩΜΑΤΑ

Εικόνα 1. Οι 4 αλληλεπιδράσεις.

2.3.2 Τα αντισωματίδια

Το 1928 ο P.A.M. Dirac είχε αναπτύξει μία σχετικιστική γενίκευση της εξίσωσης του Schrödinger για το ηλεκτρόνιο, βάσει της οποίας περιγραφόταν η προέλευση του σπιν και η μαγνητική ροπή του ηλεκτρονίου. Η θεωρία αυτή αντιμετώπιζε μια μεγάλη δυσκολία: Η εξίσωσή του απαιτούσε λύσεις που αντιστοιχούσαν σε αρνητικές ενεργειακές καταστάσεις, ακόμη και για ελεύθερα σωματίδια. Όμως, αν υπήρχαν καταστάσεις αρνητικής ενέργειας, τότε ένα ηλεκτρόνιο που βρίσκεται σε κατάσταση θετικής ενέργειας, θα μετέβαινε σε μία απ' αυτές τις καταστάσεις εκπέμποντας ένα φωτόνιο. Ο Dirac μπόρεσε να παρακάμψει τη δυσκολία αυτή με την ερμηνεία ότι όλες οι καταστάσεις αρνητικής ενέργειας είναι συμπληρωμένες με ηλεκτρόνια που για κάποιο λόγο δεν είναι παρατηρήσιμα. Τα ηλεκτρόνια που καταλαμβάνουν τις καταστάσεις αρνητικής ενέργειας αποτελούν τη λεγόμενη «θάλασσα Dirac». Η απαγορευτική αρχή του Pauli δεν επιτρέπει μεταβάσεις σε τέτοιες ήδη συμπληρωμένες καταστάσεις. Η «θάλασσα του Dirac» είναι



το κενό της θεωρίας, Το κενό, που αποτελεί μια βασική έννοια της κβαντικής θεωρίας, είναι όχι το «τίποτα» αλλά μια «άπειρη θάλασσα» από ηλεκτρόνια αρνητικής ενέργειας⁵⁶. Τα ηλεκτρόνια στη θάλασσα Dirac δεν μπορούν να αλληλεπιδράσουν με εξωτερικές δυνάμεις και γι' αυτό δεν μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα. Αν όμως μία από τις θέσεις αυτές είναι κενή, η οπή μπορεί να αλληλεπιδράσει με εξωτερικές δυνάμεις και ως εκ τούτου να παρατηρηθεί. Η δεύτερη ισοδύναμη ερμηνεία αυτής της θέσης ήταν ότι για κάθε σωματίδιο υπάρχει επίσης ένα αντισωματίδιο. Το αντισωματίδιο πρέπει να έχει μάζα ίση με τη μάζα του σωματιδίου, αλλά τα φορτία τους είναι αντίθετα.

Το 1932 η ανακάλυψη του ποζιτρονίου από τον Anderson επιβεβαίωσε τη θεωρία αυτή. Οι οπές του Dirac ήταν τα ποζιτρόνια. Όταν ένα ηλεκτρόνιο σε καταστάσεις αρνητικής ενέργειας απορροφάει ένα φωτόνιο με ενέργεια $>2m_e c^2$ μεταβαίνει σε κατάσταση θετικής ενέργειας και γίνεται παρατηρήσιμο. Η οπή που αφήνει πίσω του παρατηρείται σαν ποζιτρόνιο, το αποτέλεσμα λοιπόν είναι η δημιουργία ενός ζεύγους ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου. Ομοίως όταν ένα ηλεκτρόνιο θετικής ενέργειας πέφτει πάνω σε μία οπή, το ηλεκτρόνιο και η οπή εξαφανίζονται και εκπέμπονται φωτόνια. Έτσι, σύμφωνα με τη θεωρία του Dirac⁵⁷, τα ηλεκτρόνια και τα φωτόνια μπορούν να δημιουργούνται και να καταστρέφονται: $e + \bar{e} \rightarrow 2\gamma$

2.3.3 Τα μεσόνια

Ένα από τα μεγάλα ερωτήματα στην πορεία της εξέλιξης της Φυσικής του μικρόκοσμου ήταν η σταθερότητα του πυρήνα παρά τις απωστικές δυνάμεις μεταξύ των πρωτονίων του. Η παραδοχή της ισχυρής δύναμης απαιτούσε την ερμηνεία της και μία πρώτη απάντηση δίνεται από τον Hideki Yukawa το 1935⁵⁸. Ο Yukawa υπέθεσε ότι η ισχυρή δύναμη μεταξύ των νουκλεονίων γίνεται με την ανταλλαγή ενός σωματιδίου, του μεσονίου και ότι η εμβέλεια της δύναμης αυτής είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη μάζα του σωματιδίου (περίπου 10^{-15} m).

Η έρευνα για το μεσόνιο στο χώρο των κοσμικών ακτίνων, οδήγησε στην ανακάλυψη δύο σωματιδίων με μάζα 207 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου που ονομάστηκαν σωματίδια μ ή μίονια. (Το μ^- έχει φορτίο ίσο με του ηλεκτρονίου και το αντισωματίδιό του, το μ^+ θετικό ίδιου μέτρου). Όμως τα σωματίδια αυτά αλληλεπιδρούσαν ασθενώς με την ύλη, συνεπώς δεν μπορούσαν να είναι τα σωματίδια Yukawa.



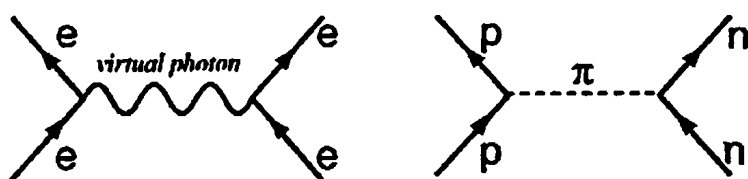
Το 1947 ανακαλύφθηκαν 3 σωματίδια τα π^+ , π^- , π^0 (πιόνια), με φορτία $+e$, $-e$, και 0 αντίστοιχα. Τα πιόνια αλληλεπιδρούν ισχυρά με την ύλη και είναι τα σωματίδια του Yukawa. Τα πιόνια και τα μιόνια είναι ασταθή σωματίδια και διασπώνται ως ακολούθως:

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu, \quad \mu^- \rightarrow e + \nu_\mu + \bar{\nu}_e.$$

2.3.4 Τα διαγράμματα Feynmann.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων μπορεί να παρασταθεί με τα διαγράμματα Feynmann⁵⁹.

Όπως για παράδειγμα στην εικόνα 2:



Εικόνα 2. Διαγράμματα Feynmann για την ηλεκτρομαγνητική και ισχυρή αλληλεπίδραση.

Ένα εν δυνάμει φωτόνιο διαδίδει την ηλεκτρομαγνητική δύναμη μεταξύ δύο αλληλεπιδρώντων ηλεκτρονίων. Η δημιουργία του φωτονίου εκ πρώτης όψεως δείχνει να παραβιάζει την αρχή της διατήρησης της ενέργειας. Αυτό όμως επιτρέπεται λόγω της αρχής της απροσδιοριστίας. Λόγω της πολύ μικρής διάρκειας ζωής Δt , η ενέργεια του φωτονίου είναι μικρότερη από την απροσδιοριστία στην ενέργειά του που δίνεται από τη σχέση: $\Delta E \approx \hbar/\Delta t$.⁶⁰

Στο δεύτερο σχήμα η ισχυρή δύναμη μεταξύ πρωτονίου και νετρονίου αναπτύσσεται μέσω της ανταλλαγής ενός μεσονίου.

2.3.5 Ταξινόμηση των σωματιδίων

Όλα τα σωματίδια (εκτός των φωτονίων), μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες σύμφωνα με τις αλληλεπιδράσεις στις οποίες υπόκεινται: Τα *αδρόνια* και τα *λεπτόνια*.

Τα *αδρόνια* διακρίνονται στα *μεσόνια* και *βαρυόνια*

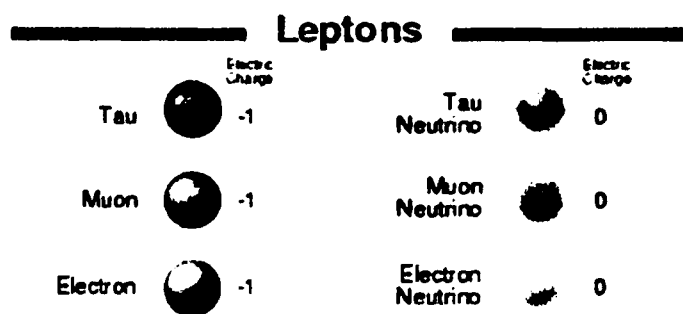
Τα *μεσόνια* συμμετέχουν στις ισχυρές αλληλεπιδράσεις, δεν είναι σημειακά έχουν σπιν 0 ή 1 και μάζες μεταξύ m_e και m_p . Όλα τα μεσόνια τελικά διασπώνται σε ηλεκτρόνια, μίονια, νετρίνα και φωτόνια. Το ελαφρύτερο είναι το πόνιο.

Τα *βαρυόνια* συμμετέχουν στις ισχυρές αλληλεπιδράσεις, έχουν μάζα $m \geq m_p$, δεν είναι σημειακά και έχουν σπιν μη ακέραιο ($1/2$ ή $3/2$). Εκτός του p όλα διασπώνται έτσι ώστε τα τελικά προϊόντα να περιλαμβάνουν ένα p .

Τα *λεπτόνια* έχουν όλα σπιν $1/2$. Συμμετέχουν στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις, είναι σημειακά και δεν αλληλεπιδρούν μέσω των ισχυρών δυνάμεων. Είναι 6 λεπτόνια και 6 αντιλεπτόνια σε 3 οικογένειες (Εικ. 3):

$$[e^-, \nu_e], \quad [\mu^-, \nu_\mu], \quad [\tau^-, \nu_\tau].$$

Το τ που ανακαλύφθηκε το 1975 έχει μάζα ≈ 2 μάζες πρωτονίου. Υπάρχουν πειραματικές ενδείξεις ότι στη φύση υπάρχουν μόνο τα συγκεκριμένα λεπτόνια.



Εικόνα 3. Τα λεπτόνια (τα σχήματα είναι απλές καλλιτεχνικές αναπαραστάσεις).

2.3.6 Νόμοι διατήρησης

Για τη μελέτη των διασπάσεων των στοιχειωδών σωματιδίων και των αντιδράσεών τους είναι σημαντικοί κάποιοι νέοι νόμοι διατήρησης που προέκυψαν από την πειραματική παρατήρηση όπως:

Διατήρηση του βαρυονικού αριθμού: Δίνοντας βαρυονικό αριθμό $B=1$ σε κάθε βαρυόνιο, $B=-1$ σε κάθε αντιβαρυόνιο και $B=0$ σε κάθε άλλο σωματίδιο, ισχύει: Το άθροισμα των βαρυονικών αριθμών σε κάθε αντίδραση διατηρείται σταθερό.

Διατήρηση του λεπτονικού αριθμού: Στα 3 είδη λεπτονίων αντιστοιχούν οι 3 λεπτονικοί αριθμοί: L_e , L_μ και L_τ .

Ισχύει η αρχή: Σε όλες τις αλληλεπιδράσεις κάθε λεπτονικός αριθμός διατηρείται σταθερός.



2.3.7 Η παραδοξότητα (strangeness) S

Η έννοια αυτή γεννήθηκε από την ανάγκη να ερμηνευθεί η συμπεριφορά ορισμένων σωματιδίων όπως τα K, Λ και Σ. Τα σωματίδια αυτά:

1. Παράγονται ανά ζεύγη:

$$(\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda^0, \text{ ενώ δεν παρατηρείται η αντίδραση : } \pi^- + p \rightarrow K^0 + n).$$

2. Αν και παράγονται από ισχυρές αλληλεπιδράσεις με υψηλούς ρυθμούς (10^{-23} s), διασπώνται πολύ αργά (10^{-8} s - 10^{-10} s), χαρακτηριστικό της ασθενούς αλληλεπίδρασης.

Με την εισαγωγή της παραδοξότητας S μπορεί να εξηγηθεί η παραγωγή των παράδοξων σωματιδίων αν δοθεί $S=+1$ στο ένα και $S=-1$ στο άλλο. Τα μη παράδοξα σωματίδια έχουν $S=0$.

Αρχή διατήρησης: Σε κάθε πυρηνική αντίδραση ή διάσπαση, το άθροισμα των αριθμών παραδοξότητας διατηρείται σταθερό.

Η παραδοξότητα διατηρείται στις ισχυρές αλληλεπιδράσεις αλλά μπορεί να μεταβληθεί κατά μία μονάδα ή καθόλου στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις. Μία ταξινόμηση των σωματιδίων με τους αντίστοιχους κβαντικούς αριθμούς φαίνεται στον πίνακα I.

ΠΙΝΑΚΑΣ I. Ταξινόμηση των στοιχειωδών σωματιδίων

Category	Particle Name	Symbol	Anti-particle	Rest Mass (MeV/c ²)	B	L _e	L _μ	L _τ	S	Lifetime (s)	Principal Decay Modes ^a	
Photon	Photon	γ	Self	0	0	0	0	0	0	Stable		
Leptons	Electron	e ⁻	e ⁺	0.511	0	+1	0	0	0	Stable		
	Neutrino (e)	ν _e	$\bar{\nu}_e$	0(?)	0	+1	0	0	0	Stable		
	Muon	μ ⁻	μ ⁺	105.7	0	0	+1	0	0	2.20×10^{-6}	e ⁻ ν _e ν _μ	
	Neutrino (μ)	ν _μ	$\bar{\nu}_\mu$	0(?)	0	0	+1	0	0	Stable		
	Tau	τ ⁻	τ ⁺	1784	0	0	0	-1	0	$< 4 \times 10^{-13}$	μ ⁻ ν _μ ν _e , e ⁻ ν _e ν _τ , hadrons	
Hadrons	Neutrino (τ)	ν _τ	$\bar{\nu}_\tau$	0(?)	0	0	0	-1	0	Stable		
	Mesons	Pion	π ⁺	π ⁻	139.6	0	0	0	0	0	2.60×10^{-8}	μ ⁺ ν _μ
			π ⁰	Self	135.0	0	0	0	0	0	0.83×10^{-16}	2γ
	Kaon	K ⁺	K ⁻	495.7	0	0	0	0	0	+1	1.24×10^{-8}	μ ⁺ ν _μ , π ⁺ π ⁰
		K _S ⁰	\bar{K}_S^0	497.7	0	0	0	0	0	+1	0.89×10^{-10}	π ⁺ π ⁻ , 2π ⁰
		K _L ⁰	\bar{K}_L^0	497.7	0	0	0	0	0	+1	5.2×10^{-8}	π [±] e [±] (ν), π [±] μ [±] (ν) _μ
												3π ⁰
	Baryons	Eta	η ⁰	Self	548.8	0	0	0	0	0	$< 10^{-18}$	2γ, 3π
		Proton	p	\bar{p}	938.3	+1	0	0	0	0	Stable	
		Neutron	n	\bar{n}	939.6	+1	0	0	0	0	920	pe ⁻ ν _e
Lambda		Λ ⁰	$\bar{\Lambda}^0$	1115.6	+1	0	0	0	-1	2.6×10^{-10}	pπ ⁻ , nπ ⁰	
		Sigma	Σ ⁺	Σ ⁻	1189.4	+1	0	0	0	-1	0.80×10^{-10}	pπ ⁰ , nπ ⁺
		Σ ⁰	Σ ⁰	1192.5	+1	0	0	0	-1	6×10^{-20}	Λ ⁰ γ	
		Σ ⁻	Σ ⁺	1197.3	+1	0	0	0	-1	1.5×10^{-10}	nπ ⁻	
Xi		Ξ ⁰	Ξ ⁰	1315	+1	0	0	0	-2	2.9×10^{-10}	Λ ⁰ π ⁰	
	Ξ ⁻	Ξ ⁺	1321	+1	0	0	0	-2	1.64×10^{-10}	Λ ⁰ π ⁻		
Omega	Ω ⁻	Ω ⁺	1672	+1	0	0	0	-3	0.82×10^{-10}	Ξ ⁰ π ⁰ , Λ ⁰ K ⁻		

^a A notation in this column such as pπ⁺, nπ⁰ means two possible decay modes. In this case, the two possible decays are Λ⁰ → p + π⁻ or Λ⁰ → n + π⁰.



2.3.8 Ισοσπίν I

Το ισοσπίν είναι ένας όρος που εισάγεται για να περιγράψει τις ομάδες των σωματιδίων που παρουσιάζονται π.χ. σε δύο ή τρεις μορφές. Πχ το νουκλεόνιο παρουσιάζεται σε δύο μορφές που έχουν σχεδόν την ίδια μάζα, όπως το πρωτόνιο και το νετρόνιο (938,27 MeV το πρωτόνιο και 939,56 MeV το νετρόνιο). Μπορούμε να αναθέσουμε λοιπόν ένα νέο κβαντικό αριθμό στο νουκλεόνιο το ισοσπίν I, με τιμή 1/2. Επειδή αποτελείται από δύο σωματίδια, στο πρωτόνιο αντιστοιχεί η τιμή +1/2 και η τιμή -1/2 στο νετρόνιο.

Το Ισοσπίν συνδέεται με το γεγονός ότι η ισχυρή αλληλεπίδραση είναι ανεξάρτητη από το ηλεκτρικό φορτίο. Πρόκειται για ένα άνυσμα με τρεις συνιστώσες I_1, I_2, I_3 .

Παρόμοια με το σπιν, παρατηρήσιμες ποσότητες είναι το μέτρο του διανύσματος (I^2) και η συνιστώσα I_3 . Και οι δύο αυτές ποσότητες είναι κβαντισμένες.

Το I^2 μπορεί να πάρει τις τιμές $i(i+1)$, όπου $i = 1/2, 1, 3/2, 2, \dots$

Για δοσμένη τιμή του i , η I_3 μπορεί να πάρει τις $(2i+1)$ τιμές $-i, -i+1, \dots, i-1, i$.

Έτσι για πολλαπλότητες που αποτελούνται από δύο σωματίδια (π.χ. πρωτόνιο, νετρόνιο) $i = 1/2$, και επομένως η I_3 παίρνει τις τιμές $\pm 1/2$ (όπου στο πρωτόνιο αντιστοιχεί η τιμή $+1/2$ και στο νετρόνιο η τιμή $-1/2$). Ομοίως, το πόνιο παρουσιάζεται τρεις μορφές, που συνθέτουν ένα τρίδυμο, ένα θετικό, ένα ουδέτερο κι ένα αρνητικό πόνιο. Στο πόνιο το Ισοσπίν $I=1$, άρα στα πόνια αποδίδονται οι τιμές Ισοσπίν $+1$ για το θετικό, 0 για το ουδέτερο και -1 για το αρνητικό πόνιο

2.3.9 Τα Κουάρκ

Το 1963 οι Murray Gell-Mann και George Zweig πρότειναν ότι τα αδρόνια είναι σύνθετα συστήματα αποτελούμενα από μικρότερα σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά είναι τα κουάρκ. Τα αρχικώς 3 κουάρκ: *up*, *down* και *strange* έγιναν στην πορεία 6: *up*, *down*, *charm*, *strange*, *top*, *bottom* (Εικ. 4). Τα διαφορετικά είδη των κουάρκ αποδίδονται με τον όρο γεύσεις.

Quarks	
Bottom	Electric Charge $-1/3$
Strange	Electric Charge $-1/3$
Down	Electric Charge $-1/3$
Top	Electric Charge $2/3$
Charm	Electric Charge $2/3$
Up	Electric Charge $2/3$

Εικόνα 4. Τα 6 είδη των κουάρκ (τα σχήματα είναι απλές καλλιτεχνικές αναπαραστάσεις)



2.3.9.1 Ιδιότητες των κουάρκ

Τα κουάρκ έχουν σπιν $\frac{1}{2}$ (φερμιόνια) και κλασματικό ηλεκτρικό φορτίο με τιμές $+(2/3)e$ ή $-(1/3)e$.

Η έμμεση παρατήρηση των υπολοίπων 3 κουάρκ επέβαλε καινούριες ιδιότητες όπως η χάρη (C), η ομορφιά (B) και η αλήθεια (T)..

ΠΙΝΑΚΑΣ II. Ιδιότητες των κουάρκ και αντικουάρκ

Όνομα	Σύμβολο	Σπιν	Φορτίο	Βαρυονικός				
				αριθμός	Παραδοξότητα	Χάρη	Ομορφιά	Αλήθεια
Πάνω	u	$\frac{1}{2}$	$+\frac{2}{3}e$	0	0	0	0	0
Κάτω	d	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{3}e$	0	0	0	0	0
Παράδοξο	s	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{3}e$	0	-1	0	0	0
Χαριτωμένο	c	$\frac{1}{2}$	$+\frac{2}{3}e$	0	0	+1	0	0
Όμορφο	b	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{3}e$	0	0	0	+1	0
Αληθινό (:)	t	$\frac{1}{2}$	$+\frac{2}{3}e$	0	0	0	0	+1
Αντικουάρκ								
Πάνω	\bar{u}	$\frac{1}{2}$	$-\frac{2}{3}e$	0	0	0	0	0
Κάτω	\bar{d}	$\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{3}e$	0	0	0	0	0
Παράδοξο	\bar{s}	$\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{3}e$	0	+1	0	0	0
Χαριτωμένο	\bar{c}	$\frac{1}{2}$	$-\frac{2}{3}e$	0	0	-1	0	0
Όμορφο	\bar{b}	$\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{3}e$	0	0	0	-1	0
Αληθινό (:)	\bar{t}	$\frac{1}{2}$	$-\frac{2}{3}e$	0	0	0	0	-1

Οι κβαντικοί αριθμοί των κουάρκ φαίνονται στον πίνακα II και σχετίζονται με την σχέση:

$$Q = I_3 + \frac{B+S+C+B+T}{2}$$

Όπου Q είναι το φορτίο, I_3 είναι η τρίτη συνιστώσα του Ισοσπίν, B είναι ο Βαρυονικός αριθμός, S η Παραδοξότητα, C η Χάρη, B η Ομορφιά και T η Αλήθεια.

Τα αδρόνια σχηματίζονται από συνδυασμούς 3 κουάρκ (βαρυόνια), ή από έναν συνδυασμό ενός κουάρκ και ενός αντικουάρκ (μεσόνια) (Εικ.5).



Εικόνα 5. Σύσταση αδρονίων από κουάρκ.

Μεμονωμένα κουάρκ δεν έχουν ανακαλυφθεί ποτέ. Τα κουάρκ είναι μονίμως δέσμια μέσα στα στοιχειώδη σωματίδια λόγω της ισχυρής αλληλεπίδρασης (δύναμης). Η δύναμη αυτή (δύναμη χρώματος), αυξάνεται όσο αυξάνει η μεταξύ τους απόσταση.

2.4 Το Καθιερωμένο Πρότυπο (The Standard Model)

2.4.1 Το χρώμα.

Το γεγονός ότι πειραματικά παρατηρήθηκαν σωματίδια με συνδυασμούς κουάρκ που παραβίαζαν την απαγορευτική αρχή του Pauli (π.χ. το βαρυόνιο Ω^- [sss]), οδήγησε στην ανάγκη εισαγωγής μιας επιπλέον ιδιότητας, του χρώματος. Το χρώμα εμφανίζεται σε 3 ποικιλίες, κόκκινο πράσινο μπλε. Η απαγορευτική αρχή ισχύει για κάθε χρώμα χωριστά.

Κάθε βαρυόνιο περιέχει ένα κόκκινο, ένα πράσινο και ένα μπλε κουάρκ

Κάθε μεσόνιο αποτελείται από ένα κουάρκ ενός χρώματος και ένα αντικουάρκ του αντίστοιχου αντιχρώματος

Τα παρατηρούμενα μεσόνια-βαρυόνια είναι άχρωμα.

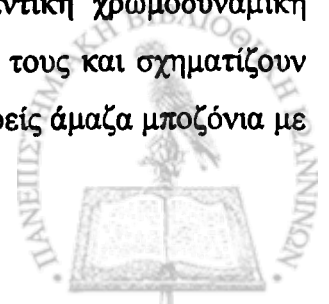
Η εικόνα 6. μας δίνει το σύνολο των κουάρκ και λεπτονίων.

fam.	I	II	III
	quarks		
loading			
+2/3	u u u up	c c c charm	t t t top
-1/3	d d d down	s s s strange	b b b
0	ν_e e-neutrino	ν_μ μ -neutrino	ν_τ τ -neutrino
-1	e electron	μ muon	τ tau
	leptons		

Εικόνα 6. Τα κουάρκ και τα λεπτόνια

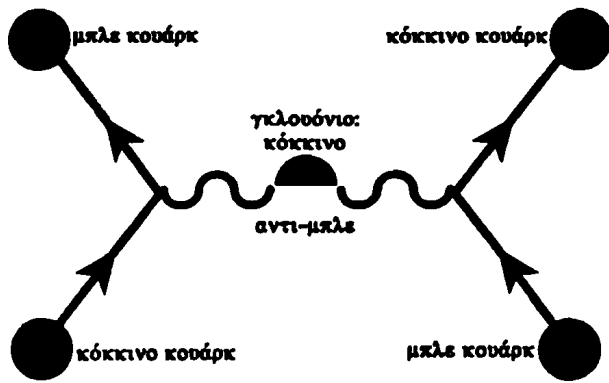
2.4.2 Η κβαντική χρωμοδυναμική (QCD)

Η θεωρία της αλληλεπίδρασης των κουάρκ ονομάζεται κβαντική χρωμοδυναμική (QCD). Λόγω του χρωματικού τους φορτίου, τα κουάρκ έλκονται μεταξύ τους και σχηματίζουν σύνθετα σωματίδια. Οι ελκτικές αλληλεπιδράσεις των κουάρκ έχουν ως φορείς άμαζα μποζόνια με σπιν 1, τα γλοιόνια (gluons).



Όταν ένα κουάρκ εκπέμπει ή απορροφά ένα γλοϊόνιο αλλάζει το χρώμα του (Εικ.7.).

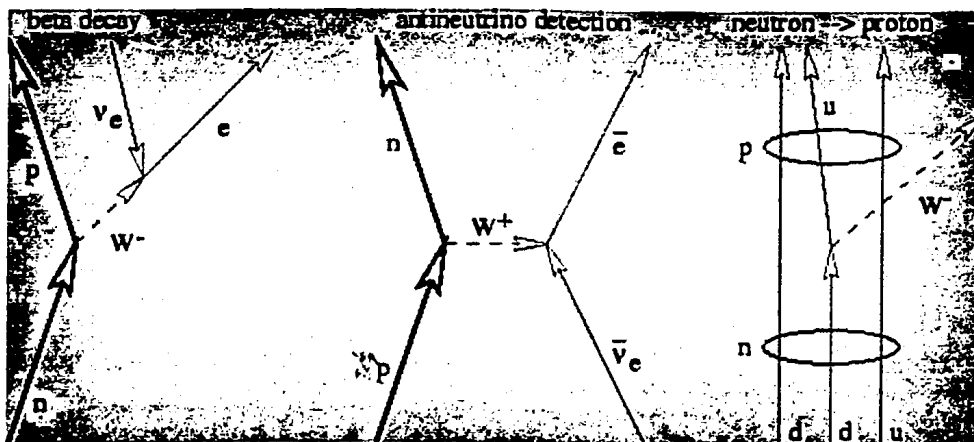
Υπάρχουν 8 γλοϊόνια, 6 από τα οποία έχουν φορτίο χρώματος. Κουάρκ του ίδιου χρώματος απωθούνται. Κουάρκ χρώματος με κουάρκ αντίστοιχου αντιχρώματος έλκονται. Τα διαφορετικού χρώματος κουάρκ έλκονται με μικρότερη δύναμη απ' ό,τι τα κουάρκ χρώματος-αντιχρώματος. Κάθε βαρυόνιο περιέχει ένα «κόκκινο», ένα «πράσινο» και ένα «μπλε» κουάρκ. Έτσι θεωρείται άχρωμο. Με την ανταλλαγή των γλοϊονίων μεταβάλλονται τα χρώματα των κουάρκ έτσι ώστε να βρίσκεται πάντα ένα κουάρκ από κάθε χρώμα σε κάθε βαρυόνιο. Κάθε μεσόνιο συνίσταται από ένα κουάρκ ενός χρώματος και ένα κουάρκ αντίστοιχου αντιχρώματος. Σε κάθε εκπομπή και απορρόφηση το χρώμα διατηρείται, όμως το ζεύγος χρώμα-αντιχρώμα θα μετατραπεί σε διαφορετικό ζεύγος χρώματος - αντιχρώματος.



Εικόνα 7. Σύνδεση των κουάρκ μέσω του γλοϊονίου

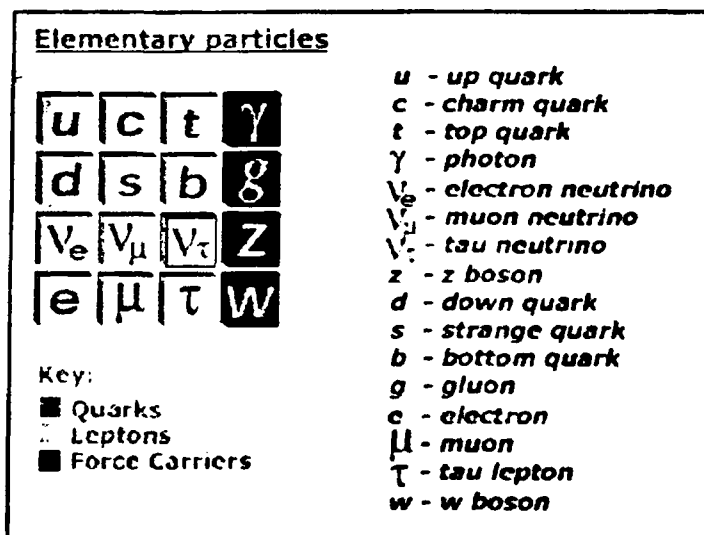
2.4.3 Η ασθενής αλληλεπίδραση

Η αλληλεπίδραση αυτή πραγματοποιείται μέσω των μποζονίων W^+ , W^- και Z^0 (Εικ. 8.). Λέγεται ότι αυτά τα σωματίδια έχουν ασθενές φορτίο.

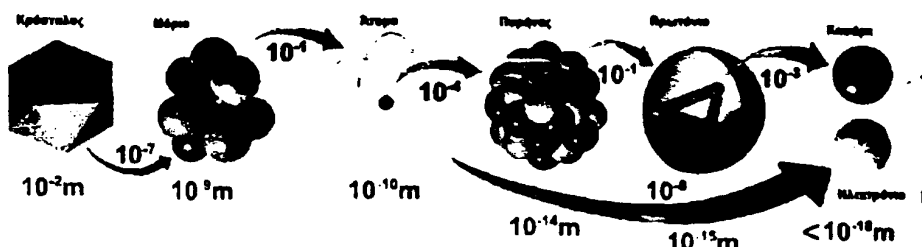


Εικόνα 8. Παραστάσεις ασθενών αλληλεπιδράσεων

Τελικά, συνοψίζοντας όσα παρατέθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους ως στοιχειώδη σωματίδια θεωρούνται αυτά που φαίνονται στην Εικ. 9. Η εικόνα 10 αναπαριστά την κλίμακα του μικρόκοσμου.



Εικόνα 9. Τα στοιχειώδη σωματίδια



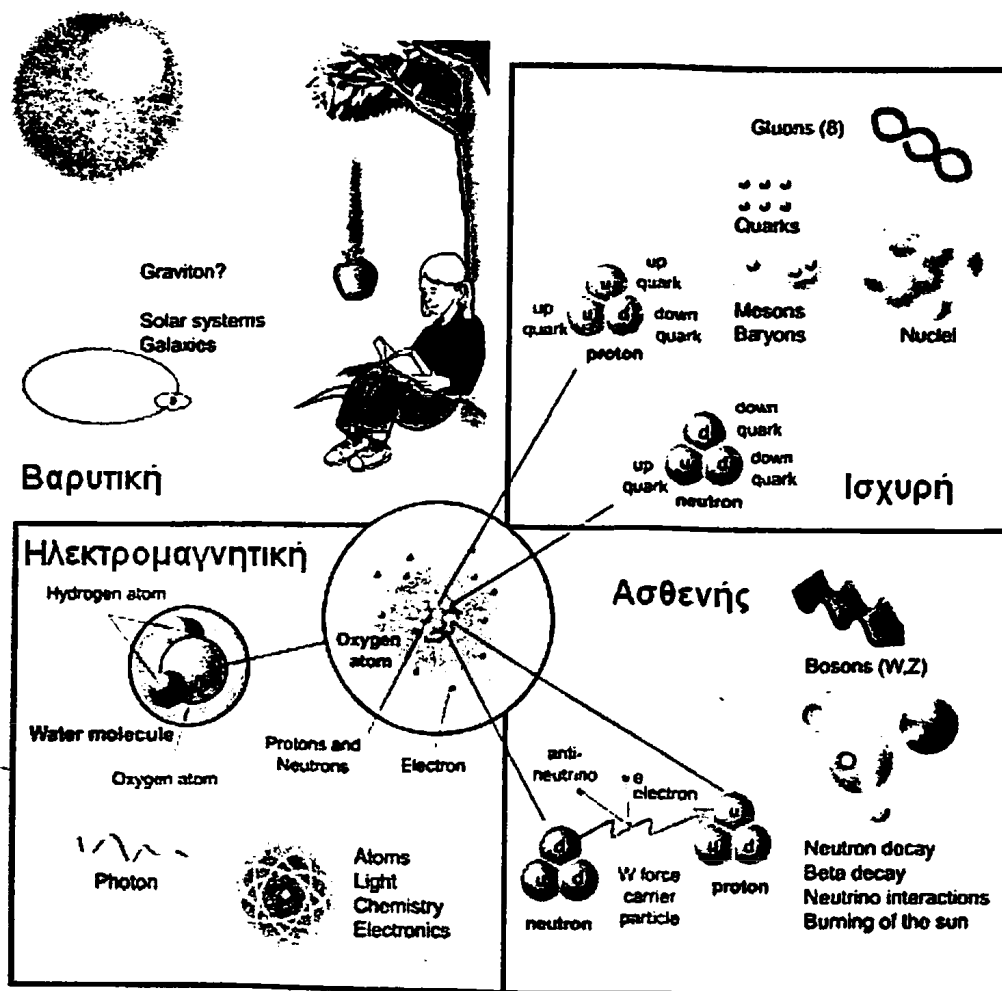
Εικόνα 10. Η κλίμακα του μικρόκοσμου

2.4.4 Η ηλεκτρασθενής θεωρία

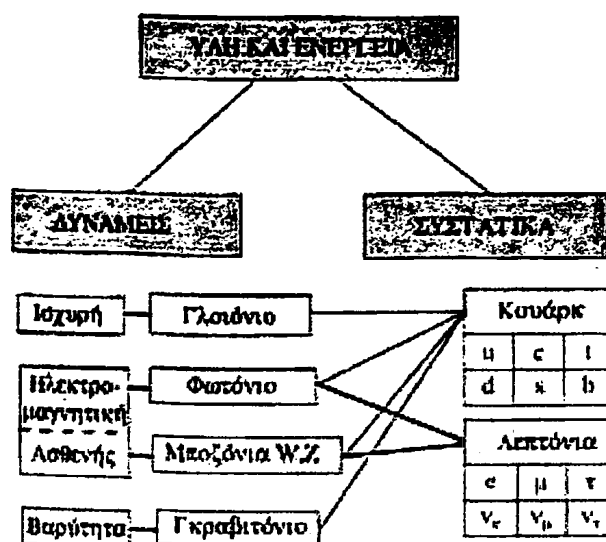
Κατά την ηλεκτρασθενή θεωρία (Glashow, Salam, Weinberg, 1967), οι ασθενείς και οι ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις έχουν την ίδια ισχύ σε υψηλές ενέργειες, έτσι ώστε να θεωρούνται ως δύο εκφάνσεις μιας και μόνο ενιαίας ηλεκτρασθενούς αλληλεπίδρασης. Η ηλεκτρασθενής θεωρία και η QCD απαρτίζουν το Καθιερωμένο Πρότυπο.



2.4.5 Θεώρηση των 4 Αλληλεπιδράσεων



Εικόνα 11.. Οι 4 αλληλεπιδράσεις



Εικόνα 12: Τα θεμελιώδη συστατικά της ύλης και οι αλληλεπιδράσεις.

Τα χαρακτηριστικά των 4 αλληλεπιδράσεων συνοψίζονται στις εικόνες 11. και 12. Κάποιες λεπτομέρειες που πρέπει να αναφερθούν γι' αυτές είναι οι εξής:

I. Η βαρυτική.

Σύμφωνα με την θεωρία του Newton δύο ιδανικές σημειακές μάζες ασκούν η μία στην άλλη, κατά την κατεύθυνση της ευθείας που τις ενώνει, δύναμη

$$F_{\text{βαρυτική}} = - Gm_1m_2/r^2. \quad (m_1, m_2 \text{ οι δύο μάζες, } r \text{ η μεταξύ τους απόσταση}).$$

$$\text{Αν } m_1 = m_2 = 1\text{kg, } r = 1\text{m τότε } F = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N.}$$

Αν το G ήταν μεγαλύτερο, τότε αυτή η δύναμη θα ήταν μεγαλύτερη κατ' αναλογία. Η ποσότητα G αποτελεί μία σημαντική σταθερά της φύσης που καθορίζει τη δομή των βαρυτικών συστημάτων.

Στην περίπτωση των ισχυρών βαρυτικών πεδίων, οι εξισώσεις της γενικής σχετικότητας που περιγράφουν την βαρύτητα, διαφέρουν από εκείνες της θεωρίας του Newton. Οι δύο θεωρίες όμως συμπίπτουν στα όρια των ασθενών πεδίων. Έτσι ο νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου και η σπουδαιότητα της σταθεράς G παραμένουν σε ισχύ στη θεωρία του Einstein.

Στη γενική θεωρία της σχετικότητας η εξίσωση περιέχει ένα επιπλέον όρο: Ο όρος αυτός αντιστοιχεί σε μία επιπρόσθετη δύναμη της συνήθους έλξης του αντιστρόφου τετραγώνου. Αυτή η επιπλέον δύναμη έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Είναι δύναμη απώθησης
2. Η ισχύς της απώθησης αυξάνεται με την απόσταση.

$$H^2 = \frac{8\pi G\rho}{3c^2} - \frac{k}{R^2} + \frac{\Lambda c^2}{3} \quad \text{όπου } \Lambda = \frac{\text{κοσμολογική σταθερά}}$$

Στην εξίσωση αυτή, G είναι η σταθερά της βαρύτητας, ρ η πυκνότητα, k παράμετρος καμπυλότητας (δείχνει αν το Σύμπαν είναι ανοιχτό ή κλειστό), R αδιάστατη παράμετρος εξαρτώμενη από τον χρόνο, H είναι η σταθερά του Hubble.

Ο Einstein, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τον εισήγαγε για να εξηγήσει το γεγονός της μη κατάρρευσης του Σύμπαντος λόγω των ελκτικών αμοιβαίων δυνάμεων της παγκόσμιας έλξης. Τον όρο αυτόν, τον απέρριψε αργότερα. Όμως η σύγχρονη κβαντική θεωρία πεδίου προϋποθέτει σαφώς έναν τέτοιο όρο. Η ισχύς της απώθησης είναι πολύ μικρή: $F_{\text{κοσμική}} = \Lambda mc^2$ (m : μάζα απωθούμενου αντικειμένου, r = απόσταση από το σώμα που το απωθεί, c = ταχύτητα φωτός, Λ = σταθερά με μονάδες m^{-2} , η δύναμη είναι ανεξάρτητη από την απωθούσα μάζα). Πρόσφατες παρατηρήσεις τοποθετούν το ανώτατο όριο της Λ σε $10^{-53} m^{-2}$. Η Λ θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μία παγκόσμια σταθερά θεμελιώδους σημασίας⁶¹.

II. Η ηλεκτρομαγνητική που είναι υπεύθυνη για τα «εξωπυρηνικά» φαινόμενα στη φυσική. Λόγω αυτής υπάρχουν οι δέσμιες καταστάσεις ατόμων και μορίων.



Τόσο ο ηλεκτρισμός όσο και ο μαγνητισμός έχουν την προέλευσή τους στο ηλεκτρικό φορτίο. Αν τα μεγέθη των φορτίων είναι e_1 και e_2 και επί πλέον σημειακά, τότε η αμοιβαία δύναμη μεταξύ τους είναι καθαρά ηλεκτρική και δίνεται από τη σχέση: $F_{\text{ηλεκτρική}} = e_1 e_2 / 4\pi \epsilon^2$.

Η ϵ είναι παγκόσμια σταθερά με τιμή $8,85 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$.

Το αριθμητικό ποσό του φορτίου του ηλεκτρονίου είναι πάντα το ίδιο: $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ δηλ είναι κβαντισμένο. Η τιμή του είναι μια παγκόσμια σταθερά της φύσης. Οι μαγνητικές δυνάμεις παράγονται από κινούμενα ηλεκτρικά φορτία. Η ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης καθορίζεται από το μέγεθος της ηλεκτρομαγνητικής σταθεράς σύζευξης (coupling constant) $\alpha = e^2/4\pi$. Για χαμηλές ενέργειες $\alpha = 1/137$.

III. Η ασθενής (χαρακτηριστικό παράδειγμα η εξαιρετικά αργή διαδικασία της β -διάσπασης των πυρήνων).

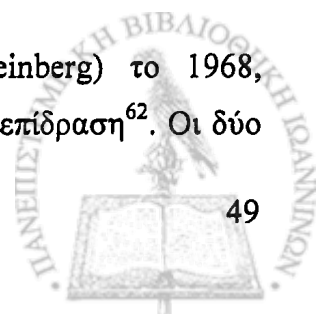
Η αλληλεπίδραση αυτή εκδηλώνεται περισσότερο διαμέσου αλλαγών στην ταυτότητα των σωματιδίων παρά διαμέσου των κινήσεων των σωματιδίων. Η ισχύς της καθορίζεται από την σταθερά F_{Fermi} , $G_F = 1,167 \cdot 10^{-5} \text{ GeV}$ για ενέργειες πολύ μικρότερες από την μάζα του διανυσματικού μποζονίου βαθμίδος,

IV. Η ισχυρή. Συγκρατεί μαζί τα κουάρκ στα αδρόνια και τα εναπομένοντα αποτελέσματά της φαίνονται υπεύθυνα για τις αλληλεπιδράσεις νετρονίων και πρωτονίων, δηλαδή για την πυρηνική δύναμη. Σε αντίθεση με την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση, η ισχύς της ισχυρής αλληλεπίδρασης ελαττώνεται με την ενέργεια. Αυτό οφείλεται στην αλληλεπίδραση των γλοιονίων μεταξύ τους που οδηγεί στον περιορισμό των κουάρκ μέσα στα αδρόνια. Η ισχύς καθορίζεται από την σταθερά σύζευξης g_s ή ισοδύναμα από την σταθερά $\alpha_s = g_s^2/4\pi$ και μεταβάλλεται μεταξύ των τιμών $\alpha_s \sim 1$ για μικρές ενέργειες, μέχρι το ασυμπτωτικό όριο $\alpha_s \sim 0$ για πολύ μεγάλες ενέργειες. Το όριο αυτό υποδεικνύει ότι τα quarks συμπεριφέρονται σαν ελεύθερα σωματίδια όταν παρατηρούνται σε απείρως μεγάλες ενέργειες ή, ισοδύναμα, σε απείρως μικρές αποστάσεις. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι γνωστό ως *ασυμπτωτική ελευθερία*

Φορέας του βαρυτικού πεδίου είναι το *βαρυτόνιο* (ή *γκραβιτόνιο*). Θεωρείται άμαζο, σταθερό, με spin 2 και κινείται με την ταχύτητα του φωτός. Η μηδενική του μάζα απορρέει από το γεγονός της άπειρης εμβέλειας των βαρυτικών δυνάμεων.

Στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις μεσολαβούν τα βαριά μποζόνια W^\pm και Z^0 σε αναλογία με την ανταλλαγή φωτονίων που πραγματοποιείται στις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Οι μάζες των W^\pm και Z^0 είναι $80,4 \text{ GeV}/c^2$ και $91,187 \text{ GeV}/c^2$ αντίστοιχα. Ανταλλαγή του W^\pm οδηγεί στη μεταβολή των φορτίων του λεπτονίου και αδρονίου που συμμετέχουν στην αντίδραση, ενώ ανταλλαγή του Z^0 δεν συνοδεύεται από μεταβολή φορτίου.

Με τη διατύπωση της ηλεκτρασθενούς θεωρίας (Glashow, Salam, Weinberg) το 1968, πραγματοποιήθηκε η ενοποίηση της ηλεκτρομαγνητικής με την ασθενή αλληλεπίδραση⁶². Οι δύο



αλληλεπιδράσεις έχουν την ίδια ισχύ σε πολύ υψηλές ενέργειες σωματιδίων, και θεωρούνται ως δύο εκφάνσεις μίας και μόνο ενιαίας ηλεκτρασθενούς αλληλεπίδρασης.

Η θεωρία των Weinberg και Salam εμφανίζει μία χαρακτηριστική ιδιότητα που αποκαλείται *αυθόρμητη ρήξη συμμετρίας*. δηλαδή τα διαφορετικά είδη σωματιδίων που παρατηρούμε σε χαμηλές ενέργειες, σε μεγαλύτερες ενέργειες συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο. Το φαινόμενο αυτό μοιάζει με τη συμπεριφορά της μπίλιας της ρουλέτας. Σε υψηλές ενέργειες, όταν δηλαδή η ρουλέτα γυρίζει γρήγορα, η μπίλια συμπεριφέρεται με έναν μόνο τρόπο – στριφογυρίζει μέσα στη ρουλέτα. Καθώς όμως η ρουλέτα επιβραδύνεται, η ενέργεια της μπίλιας γίνεται μικρότερη και τελικά η μπίλια πέφτει μέσα σε μία από τις τριάντα επτά εγκοπές. Με άλλα λόγια στις μικρές ενέργειες υπάρχουν τριάντα επτά διαφορετικές καταστάσεις όπου μπορεί να βρεθεί η μπίλια. Αν για κάποιο λόγο μπορούσαμε να παρατηρήσουμε τη μπίλια μόνο στις μικρές ενέργειες, θα νομίζαμε πως υπάρχουν τριάντα επτά είδη μπίλιας! ⁶³

Σύμφωνα με τη θεωρία των Weinberg και Salam τα τρία νέα σωματίδια (W^+ , W^- , Z^0) και το φωτόνιο συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο σε πολύ μεγάλες ενέργειες – πολύ πιο μεγάλες από τα 100GeV. Αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, όπου η ενέργειες είναι μικρότερες η συμμετρία μεταξύ των σωματιδίων καταστρέφεται. Τα W^+ , W^- , Z^0 έχουν μεγάλες μάζες με αποτέλεσμα οι αλληλεπιδράσεις που οφείλονται σε αυτά να έχουν μικρή εμβέλεια.

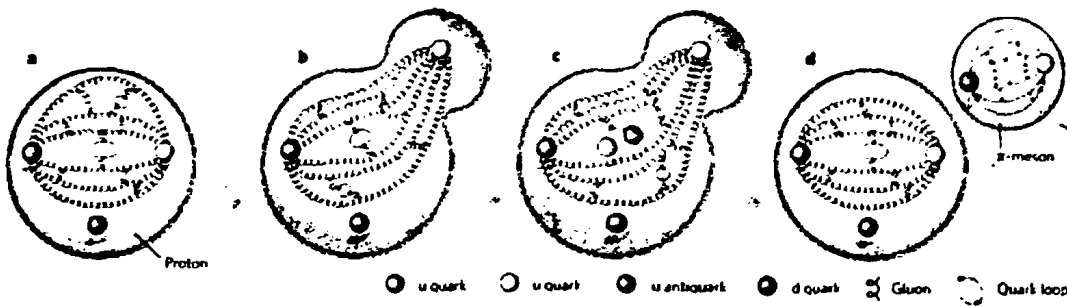
2.4.5.1 Η Κβαντική Χρωμοδυναμική (QCD)

Η μορφή του δυναμικού μεταξύ δύο κουάρκ που χρησιμοποιείται συνηθέστερα είναι:

$$V_s = -4d_s/3r + kr$$

Ο πρώτος όρος που επικρατεί σε μικρές αποστάσεις r , προέρχεται από την ανταλλαγή ενός γλοιονίου (όρος ανάλογος με το δυναμικό Coulomb: $V_{em} = -a/r$). Ο δεύτερος όρος σχετίζεται με τον εγκλωβισμό των κουάρκ στα μεγάλα (μεγαλύτερα από την ακτίνα ενός μεσονίου ή βαρυονίου) r . Εξαιτίας του γραμμικού όρου στην εξίσωση όλες οι προσπάθειες για την απελευθέρωση ενός κουάρκ από κάποιο αδρόνιο καταλήγουν στην παραγωγή ενός νέου ζεύγους q, \bar{q} (μεσόνια). Η φύση της QCD είναι τέτοια, ώστε οι δυναμικές γραμμές του πεδίου του χρώματος, πλησιάζουν μεταξύ τους εξαιτίας της ισχυρής αλληλεπίδρασης γλοιονίου-γλοιονίου, σχηματίζοντας ένα σωλήνα ροής ή χορδή. Τεντώνοντας τη χορδή αυτή, η αποθηκευμένη ενέργεια kr στην ανωτέρω σχέση φτάνει τελικά στο όριο όπου είναι ενεργειακά πιο πιθανή η δημιουργία ενός ζεύγους q, \bar{q} και η ύπαρξη δύο κοντών χορδών παρά μιας μακριάς .





Εικόνα 13. Το αποτέλεσμα της προσπάθειας απομόνωσης ενός κουάρκ

Οι υπολογισμοί που απαιτούνται για να διερευνηθούν οι προβλέψεις της κβαντικής χρωμοδυναμικής παρουσιάζουν ιδιαίζουσες δυσκολίες. Το βασικό πρόβλημα έγκειται στο ότι η QCD περιγράφει τις ισχυρές δυνάμεις με βάση τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα κουάρκ, όμως ελεύθερα κουάρκ δεν έχουμε δει ποτέ, ούτε και αναμένουμε να δούμε. Αντιθέτως πιστεύεται ότι οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα κουάρκ είναι ρυθμισμένες έτσι ώστε να μην έχουμε τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε παρά μόνο καταστάσεις 3 κουάρκ ή ενός κουάρκ και ενός αντικουάρκ. Αυτή η ιδιότητα της μη παρατηρησιμότητας των ελεύθερων κουάρκ ονομάζεται *εγκλωβισμός των κουάρκ*.

Η ενοποιημένη θεωρία της ασθενούς και ηλεκτρομαγνητικής δύναμης μαζί με την κβαντική χρωμοδυναμική συγκροτούν το **καθιερωμένο πρότυπο**.

2.4.6 Αδυναμίες της Θεωρίας. Το σωματίδιο Higgs

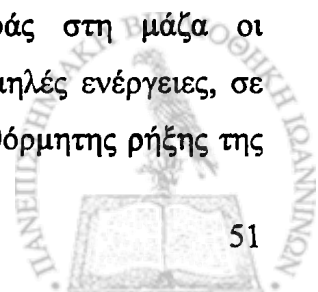
Το καθιερωμένο πρότυπο, αν και επιτυχής μέχρι τώρα θεωρία και έχοντας υποστεί τους περισσότερους πειραματικούς ελέγχους που έχει υποστεί οποιαδήποτε θεωρία φυσικής μέχρι σήμερα, εμφανίζει ορισμένες ατέλειες όπως:

A) δεν περιλαμβάνει τα φαινόμενα των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων

B) δεν απαντά στα ερωτήματα:

α) γιατί να υπάρχουν 3 ζεύγη κουάρκ και 3 ζεύγη λεπτονίων; Στην καθημερινή μας ζωή παρατηρούμε μόνο σωματίδια της πρώτης γενιάς (ηλεκτρόνιο, νεutrίνο ηλεκτρονίου και κουάρκ up και down). Τι «χρειάζονται» οι άλλες δύο γενιές;

β) γιατί ενώ το φωτόνιο έχει μηδενική μάζα, τα αντίστοιχα κβάντα W και Z των ασθενών αλληλεπιδράσεων έχουν τόσο μεγάλες μάζες; Λόγω αυτής της διαφοράς στη μάζα οι ηλεκτρομαγνητικές και οι ασθενείς δυνάμεις είναι πολύ διαφορετικές σε χαμηλές ενέργειες, σε πολύ υψηλές ενέργειες όμως, γίνονται παραπλήσιες. Για την ερμηνεία της αυθόρμητης ρήξης της



συμμετρίας προτάθηκε ένα σωματίδιο, το μποζόνιο Higgs και το οποίο παρέχει έναν μηχανισμό που ερμηνεύει το φαινόμενο αυτό. Ο μηχανισμός Higgs εμπλέκει εκτός του πρόσθετου σωματιδίου, και ένα πρόσθετο πεδίο, το πεδίο Higgs. Το καθιερωμένο μοντέλο, μαζί με το μηχανισμό Higgs ερμηνεύει ικανοποιητικά τη μεγάλη μάζα των μποζονίων W και Z. Η μάζα του σωματιδίου Higgs αναμένεται να είναι μικρότερη από $1 \text{ TeV}/c^2$. Το μποζόνιο Higgs μπορεί να παραχθεί κατά την σύγκρουση δύο κουάρκ ενέργειας τουλάχιστον $\sim 1 \text{ TeV}$ το καθένα.

2.4.7 Η θεωρητική συγκρότηση του καθιερωμένου προτύπου.

Το καθιερωμένο πρότυπο, δημιούργημα των τελευταίων 3 δεκαετιών του 20^{ου} αιώνα, έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Μία συμμετρία βαθμίδας G.

Η συμμετρία βαθμίδας G είναι το γινόμενο τριών επιμέρους συμμετριών:

$$G = SU_C(3) \otimes SU_L(2) \otimes U_Y(1).$$

Η $SU_C(3)$ διέπει τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις. Είναι η ειδική μοναδιακή συμμετρία στις 3 διαστάσεις και αφορά τον κβαντικό αριθμό χρώμα. Χαρακτηρίζεται από $n^2-1 = 3^2-1 = 8$ γεννήτορες που αντιστοιχούν στα 8 γλοΐνια ($g_i = 1, 2, \dots, 8$).

Η $SU_L(2)$ είναι ειδική μοναδιακή συμμετρία στις 2 διαστάσεις. Έχει $2^2-1 = 3$ γεννήτορες. Οι καταστάσεις που αντιστοιχούν σ' αυτήν περιγράφονται από το ασθενές ισότοπικό σπιν I_w και την προβολή του I_3 . Χαρακτηρίζεται από τα 3 σωματίδια W^+ , W^- , Z^0 .

Η συμμετρία $U_Y(1)$ αντιστοιχεί σ' έναν απλό πολλαπλασιασμό με μια βαθμωτή συνάρτηση. Έχει ένα ηλεκτρικά ουδέτερο σωματίδιο βαθμίδας B και έναν γεννήτορα Y. Ο Y ορίζεται έτσι ώστε για κάθε σωματίδιο να ισχύει η σχέση: $Q = I_3 + Y/2$, $Q = \text{φορτίο}$. Συνεπώς όλα τα σωματίδια βαθμίδας (g_i, W^+, W^-, Z^0) έχουν $Y = 0$.

2. Ένα σύνολο στοιχειωδών φερμιονίων

Τα σωματίδια αυτά χαρακτηρίζονται από τον αντίστοιχο κβαντικό αριθμό χρώματος και τα I, I_3 και Y. Τα φερμιόνια που αποτελούν τα συστατικά της ύλης χωρίζονται σε τρεις οικογένειες με παρόμοιες ιδιότητες εξαιρούμενης της μάζας



$$1^{\text{η}} \text{οικογένεια: } \begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}_L, e_R^-, \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L, u_R, d_R$$

$$2^{\text{η}} \text{οικογένεια: } \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}_L, \mu_R^-, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}_L, c_R, s_R$$

$$3^{\text{η}} \text{οικογένεια: } \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}_L, \tau_R^-, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}_L, t_R, b_R$$

Για κάθε γενιά υπάρχουν 15 στοιχειώδη φερμιόνια. Τα αριστερόστροφα και τα δεξιόστροφα στοιχειώδη σωματίδια κατατάσσονται διαφορετικά, γιατί με αυτόν τον τρόπο εκφράζεται η παραβίαση της συμμετρίας αναστροφής του χώρου (parity) από τις ασθενείς αλληλεπιδράσεις. Τα στοιχειώδη σωματίδια που συμμετέχουν στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις είναι μόνο αριστερόστροφα σωματίδια ή τα δεξιόστροφα αντισωματίδια τους, ενώ τα δεξιόστροφα σωματίδια και τα αριστερόστροφα αντισωματίδια τους δεν συμμετέχουν σε αυτές. Η απουσία των δεξιόστροφων νετρίνων (και των αριστερόστροφων αντινετρίνων) από τις οικογένειες των φερμιονίων, είναι δυνατή μόνο αν τα νετρίνα αυτά έχουν μάζα ηρεμίας μηδέν.

3. Ένα σύνολο σωματίων Higgs – Ένα μηχανισμό Higgs.

Τα σωματίδια Higgs είναι βαθμωτά ($s = 0$) και άχρωμα. Μέσω του μηχανισμού της αυθόρμητης ρήξης συμμετρίας (μηχανισμός Higgs), όλα τα σωματίδια της θεωρίας, εφόσον πρόκειται για θεωρία βαθμίδας, έχουν αρχικά μάζα μηδενική, αποκτούν μάζα.⁶⁴

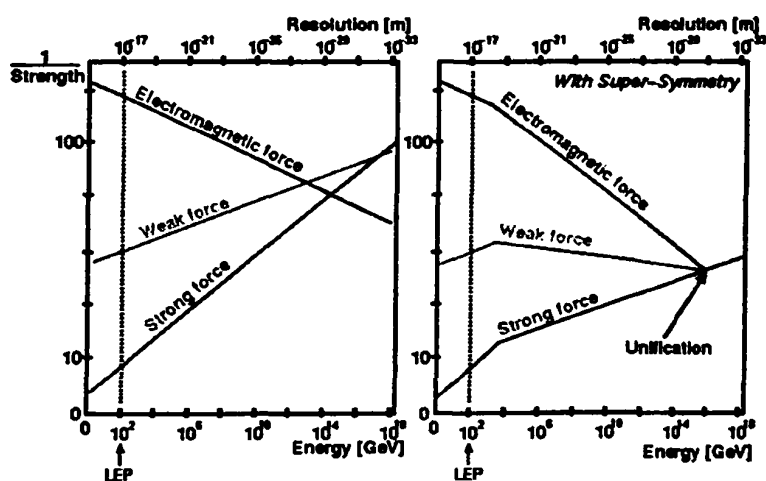
2.4.8 Μεγαλοενοποιημένες Θεωρίες Πεδίου

Μελετώντας την Ιστορία των επιστημών, βλέπουμε τα σημαντικά άλματα να επιτυγχάνονται με τη συνένωση κατ'αρχήν άσχετων θεωριών. Έτσι, η ειδική θεωρία της σχετικότητας του Einstein προέκυψε από την επιθυμία να συνενωθούν η θεωρία του ηλεκτρισμού του Maxwell και η μηχανική του Νεύτωνα. Ομοίως η γενική θεωρία της σχετικότητας προέκυψε από την προσπάθεια συνένωσης της ειδικής σχετικότητας με τη βαρύτητα του Νεύτωνα. Τέλος, η κβαντική θεωρία πεδίου προήλθε από την προσπάθεια να συνενωθεί η μη σχετικιστική κβαντική μηχανική με την ειδική σχετικότητα. Πολλές λοιπόν από τις μεγαλύτερες επιτυχίες της φυσικής του 20^{ου} αιώνα προήλθαν από το γεγονός ότι κάποιες θεωρίες δεν ήταν μεταξύ τους συμβατές⁶⁵. Οι έρευνες στρέφονταν στο τέλος του 20^{ου} αιώνα στο συνδυασμό των τριών αλληλεπιδράσεων σε Μεγαλοενοποιημένες Θεωρίες (Grand Unified Theory –GUT). Σε κάποια πολύ μεγάλη ενέργεια, την ενέργεια της Μεγάλης Ενοποίησης και οι τρεις αυτές αλληλεπιδράσεις θα έχουν την ίδια ισχύ.

Έτσι θα είναι δυνατό να θεωρηθούν ως διαφορετικές εκδηλώσεις μίας και μοναδικής αλληλεπίδρασης. Οι Μεγάλες Ενοποιημένες Θεωρίες προβλέπουν επίσης ότι σε αυτήν την ενέργεια τα διαφορετικά σωματίδια ύλης με σπιν $\frac{1}{2}$, όπως τα ηλεκτρόνια και τα κουάρκ, θα είναι ουσιαστικά παρόμοια σωματίδια, ολοκληρώνοντας έτσι την ενοποίηση των αλληλεπιδράσεων. Απώτερος στόχος είναι μια θεωρία η οποία θα εμπεριέχει και τη βαρύτητα. Οι προσπάθειες αυτές εκδηλώνονται σε θεωρίες όπως οι υπερσυμμετρικές θεωρίες και οι θεωρίες των χορδών.

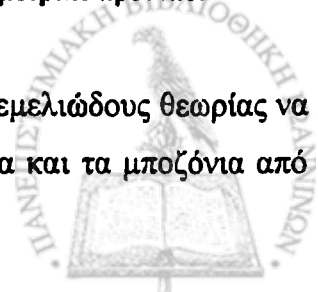
2.4. 8.1 Υπερσυμμετρία

Η ενεργειακή εξάρτηση των σταθερών σύζευξης των ηλεκτρομαγνητικών, ασθενών και ισχυρών αλληλεπιδράσεων, στα πλαίσια του Καθιερωμένου Προτύπου, δείχνει μια ενεργειακή περιοχή στην οποία αυτές «σχεδόν» συγκλίνουν (Εικ.14). Εάν πράγματι συγκλίνουν σε ένα σημείο, μπορεί να υποθεθεί ότι σε αυτή την ενεργειακή περιοχή συμβαίνει ενοποίηση των τριών θεμελιωδών αλληλεπιδράσεων. Ως εκ τούτου τα στοιχειώδη σωματίδια και οι αλληλεπιδράσεις τους θα μπορούσαν να περιγραφούν από μία ενιαία θεωρία (Grand Unified Theory) . Όμως, στα πλαίσια του Καθιερωμένου Προτύπου, η προέκταση των πειραματικών μετρήσεων σε υψηλοενεργειακές περιοχές δεν καταλήγει σε ακριβή σύμπτωση. Συνεπώς επιβάλλεται τροποποίηση του Καθιερωμένου Προτύπου για να επιτευχθεί η ενοποίηση αυτή. Μια πιθανή τροποποίηση είναι αυτή που προτείνουν οι Υπερσυμμετρικές θεωρίες με την εισαγωγή νέων στοιχειωδών σωματιδίων, των υπερσυμμετρικών. Με την υπερσυμμετρία επιχειρείται να καταργηθεί ο σαφής διαχωρισμός των σωματιδίων σε φερμιόνια και μποζόνια.



Εικόνα 14. Οι προεκτάσεις των σταθερών σύζευξης στο καθιερωμένο και στο υπερσυμμετρικό πρότυπο.

Η υπερσυμμετρία, ως ένα νέο είδος συμμετρίας, απαιτεί οι εξισώσεις της θεμελιώδους θεωρίας να παραμένουν αμετάβλητες όταν τα φερμιόνια αντικαθίστανται από μποζόνια και τα μποζόνια από



φερμιόνια. Σύμφωνα με τις θεωρίες αυτές, σε κάθε στοιχειώδες φερμιόνιο αντιστοιχεί ένα υπερσυμμετρικό σωματίο, το οποίο είναι μποζόνιο και αντίστροφα. Δηλαδή οι δύο αυτές φαινομενικά διαφορετικές κατηγορίες σωματιδίων στην πραγματικότητα να είναι διαφορετικές όψεις του ίδιου πράγματος. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια συμμετρία μεταξύ του φερμιονίων και μποζονίων η οποία δεν υπάρχει στο Καθιερωμένο Πρότυπο. Η απαίτηση αυτή συνεπάγεται ότι υπάρχουν πολλά νέα «υπερσωματίδια» των οποίων αναμένεται να διαπιστωθεί η ύπαρξή τους. Μία δυνατή αναπαράσταση των σωματιδίων και των υπερσυμμετρικών εταίρων τους φαίνονται στον πίνακα III.

ΠΙΝΑΚΑΣ III. Τα υπερσυμμετρικά σωματίδια

SM Particles	SUSY Particles	
quarks: q	q	squarks: \tilde{q}
leptons: l	l	sleptons: \tilde{l}
gluons: g	g	gluino: \tilde{g}
charged weak boson: W^\pm	W^\pm	Wino: \tilde{W}^\pm
Higgs: H^0	H^\pm h^0, A^0, H^0	charged higgsino: \tilde{H}^\pm neutral higgsino: \tilde{h}^0, \tilde{A}^0
neutral weak boson: Z^0	Z^0	Zino: \tilde{Z}^0
photon: γ	γ	photino: $\tilde{\gamma}$

}

}

}

$\tilde{\chi}_{1,2}^\pm$

\tilde{H}^0

$\tilde{\chi}_{1,2,3,4}^0$

} chargino

} higgsino

} neutralino

Ένα επακόλουθο των Υπερσυμμετρικών Θεωριών είναι ότι το ελαφρύτερο υπερσυμμετρικό σωματίο δεν μπορεί να διασπαστεί. Το σωματίο αυτό ανήκει στην κατηγορία WIMPs (Weak Interacting Massive Particles). Τα WIMPs αλληλεπιδρούν ασθενώς ή καθόλου με την συνήθη ύλη και δεν ακτινοβολούν. Εικάζεται ότι τα σωματία αυτά συγκροτούν τη Σκοτεινή Ύλη του Σύμπαντος.

Στην ανακάλυψη των υπερσυμμετρικών σωματίων στρέφει τις προσπάθειές της η νέα γενιά των επιταχυντών στο Fermilab των ΗΠΑ καθώς και ο LHC στο CERN ⁶⁶.

55

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΕΘΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ

2.4. 8.2 Υπερχορδές

Οι Υπερχορδές αποτελούν μια θεωρία η οποία συνδυάζει την υπερσυμμετρία με μια νέα αντίληψη για το στοιχειώδες πεδίο. Στις μέχρι τώρα θεωρίες ένα στοιχειώδες σωματίο αντιστοιχούσε ένα σημείο του χωροχρόνου. Αυτό όμως δημιουργεί προβλήματα για πολύ μικρές αποστάσεις (της τάξης των 10^{-33} cm) ή ενέργειες της τάξης της μάζας Planck ($M_p \approx 1.2 \times 10^{19}$ GeV). Η έννοια του σημειακού σωματιδίου δεν μας επιτρέπει να φτάσουμε σε μια κβαντική θεωρία της βαρύτητας

Σύμφωνα με τη θεωρία των υπερχορδών, σε μικρές αποστάσεις οι στοιχειώδεις φυσικές οντότητες δεν είναι τα σημεία του χωροχρόνου αλλά χορδές. Τη χορδή, εξ ορισμού την θεωρούμε ως ένα αντικείμενο με έκταση στο χώρο. Ο χώρος όμως αυτός πρέπει να νοηθεί διαφορετικά. Μία χορδή πρέπει να την θεωρήσουμε ως μία ολόκληρη τυλιγμένη διάσταση.

Όλα αυτά τα σωματίδια που προηγουμένως τα θεωρούσαμε στοιχειώδη, δηλαδή σημειακά, χωρίς καμία εσωτερική δομή, πρέπει να τα θεωρήσουμε μικρούς βρόχους χορδών που κινούνται στο χώρο και ταυτόχρονα πάλλονται. Εφόσον λοιπόν οι χορδές έχουν κάποια έκταση, οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις δεν συμβαίνουν σε μηδενική απόσταση. Τα σωματίδια δεν είναι παρά οι διάφορες διεγέρσεις της χορδής.

(Κάνοντας ένα παραλληλισμό, όπως στην περίπτωση της χορδής του βιολιού οι διαφορετικές αρμονικές αντιστοιχούν σε διαφορετικούς ήχους, έτσι στην περίπτωση μιας υπερχορδής οι διαφορετικές αρμονικές αντιστοιχούν σε διαφορετικά στοιχειώδη σωματίδια. Το ηλεκτρόνιο, το βαρυτόνιο, το φωτόνιο, το νεutrίνο και όλα τα υπόλοιπα σωματίδια αποτελούν διαφορετικές αρμονικές μιας θεμελιώδους χορδής, όπως, ακριβώς, οι διάφοροι ανώτεροι απλοί ήχοι της χορδής ενός βιολιού αντιστοιχούν στις διάφορες αρμονικές της χορδής⁶⁷. Κατά συνέπεια, αυτό που ονομάζουμε ηλεκτρικό φορτίο είναι μια ιδιότητα ολόκληρης της χορδής ως συνόλου. Όταν η χορδή πάλλεται με διάφορους τρόπους παρουσιάζεται και με διαφορετικό ηλεκτρικό φορτίο. Με άλλα λόγια πρέπει να δούμε το ηλεκτρικό φορτίο ως ιδιότητα οφειλόμενη στην κίνηση της χορδής παρά σαν κάτι που απλώς το επισυνάπτουμε στο σωματίδιο, ή σαν μια θεμελιώδη «οντότητα»).



2.5 Εργαλεία της Φυσικής των Στοιχειωδών Σωματιδίων

2.5.1 Επιταχυντές

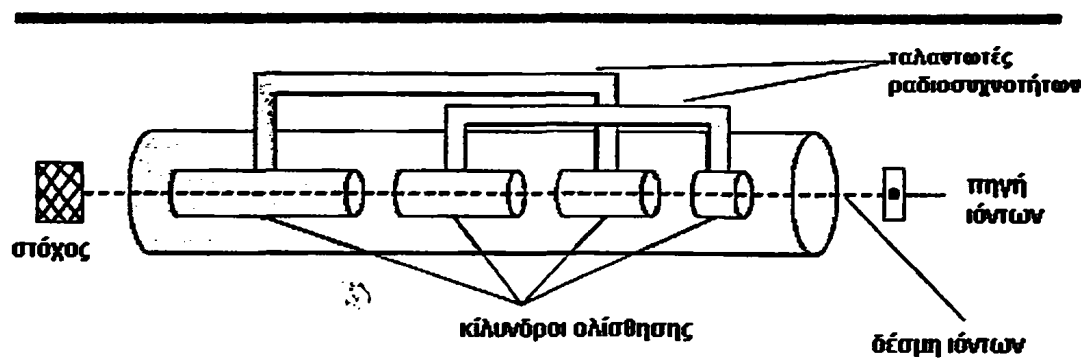
Για τη μελέτη των μικρότερων συστατικών της ύλης χρησιμοποιούμε τους επιταχυντές. Αυτοί επιταχύνουν σωματίδια σε τεράστιες ενέργειες και κατόπιν τα αναγκάζουν να συγκρουσθούν είτε με σταθερούς στόχους είτε μεταξύ τους, με αποτέλεσμα την παραγωγή πληθώρας νέων σωματιδίων.

2.5.1.1 Βασικές παράμετροι ενός επιταχυντή

Οι επιταχυντές έχουν παρόμοια βασικά μέρη: Ένα μηχανισμό επιτάχυνσης φορτισμένων σωματιδίων, ένα μηχανισμό που να καμπυλώνει την τροχιά τους στην περίπτωση των κυκλικών επιταχυντών, να τα εστιάζει, και ένα κενό χώρο μέσα στον οποίο ταξιδεύουν. Φυσικά ανεξάρτητα από τον επιταχυντή υπάρχουν ανιχνευτικές συσκευές που ανιχνεύουν τα προϊόντα των συγκρούσεων.

Οι επιταχυντές διακρίνονται σε γραμμικούς και κυκλικούς. Στους γραμμικούς επιταχυντές τα φορτισμένα σωματίδια επιταχύνονται σε ευθεία γραμμή. Στους κυκλικούς επιταχυντές τα σωματίδια γυρίζουν σε κυκλική τροχιά αποκτώντας όλο και περισσότερη ενέργεια σε κάθε περιστροφή. Έτσι σε κάθε επιταχυντή διακρίνουμε τα εξής στοιχεία(Εικ. 15):

- 1) Μία πηγή σωματιδίων
- 2) Ηλεκτρόδια επιτάχυνσης
- 3) Ηλεκτρομαγνητικά πεδία για να εκτρέπουν τα σωματίδια



Εικόνα15. Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας επιταχυντή.

Όλες οι δέσμες σωματιδίων ξεκινούν από μία πηγή σωματιδίων. Στο γραμμικό επιταχυντή, τα σωματίδια επιταχύνονται από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο, κερδίζοντας ενέργεια στο διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων που περνούν. Εναλλασσόμενο (>100MHz) ηλεκτρικό πεδίο επιταχύνει τα σωματίδια στα διάκενα. Μετά από n επιταχύνσεις το σωματίδιο έχει ενέργεια $E=nqV_0$. Εντός των κυλίνδρων η επιτάχυνση είναι μηδενική. Μέχρι το σωματίδιο να φτάσει στο επόμενο κενό αλλάζει η πολικότητα του κυλίνδρου. Το μήκος των κυλίνδρων ακολουθεί την αυξανόμενη ταχύτητα $L=uT/2$ του σωματιδίου. Σε υψηλότερες ενέργειες όπου $L=cT/2$ απαιτείται προεπιταχυντής

Στην περίπτωση των επιταχυντών ηλεκτρονίων, τα ηλεκτρόνια που έχουν ενέργεια πάνω από μερικά MeV, ουσιαστικά ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός, οπότε δεν έχει νόημα το διαφορετικό μήκος των κυλίνδρων. Στην πράξη χρησιμοποιούνται μικροκυματικές συντονισμένες κοιλότητες συχνοτήτων μήκους μερικών εκατοστών που τροφοδοτούνται από μια σειρά μικροκυματικών πηγών (klystron) συγχρονισμένες ώστε να επιτυγχάνεται συνεχής επιτάχυνση⁶⁸.

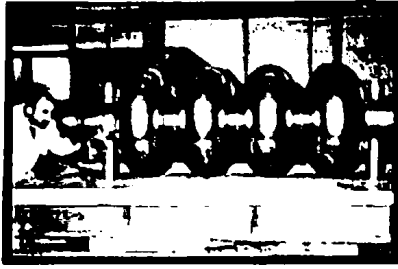
2.5.1.2 Κυκλικό επιταχυντές (σύγχροτρα).

Στα σύγχροτρα τα σωματίδια περιορίζονται σ' ένα σωλήνα κενού στο εσωτερικό ενός δακτυλίου που διαθέτει μια σειρά από ηλεκτρομαγνήτες με σκοπό τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου κάθετου στο επίπεδο της τροχιάς. Στην περίπτωση πρωτονίου ορμής p σε GeV/c η τιμή του πεδίου B (σε Tesla) ικανοποιεί τη σχέση $p = 0,3Br$ όπου r η ακτίνα του δακτυλίου σε m. Τα σωματίδια σε κάθε περιστροφή επιταχύνονται μία ή περισσότερες φορές από κοιλότητες ραδιοσυχνότητας (RF). Το μαγνητικό πεδίο B και η συχνότητα RF πρέπει να αυξάνουν σε συγχρονισμό με την αυξανόμενη ταχύτητα του σωματίου (εξ ου και σύγχροτρο)⁶⁹.



2.5.1.3 Βασικά κατασκευαστικά στοιχεία ενός επιταχυντή

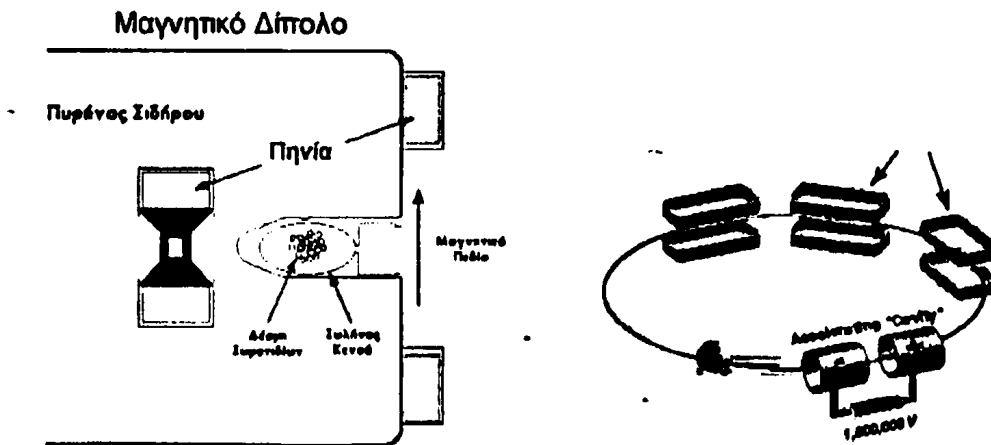
1) Η ηλεκτρομαγνητική κοιλότητα:



Εικόνα 16. Ηλεκτρομαγνητική κοιλότητα.

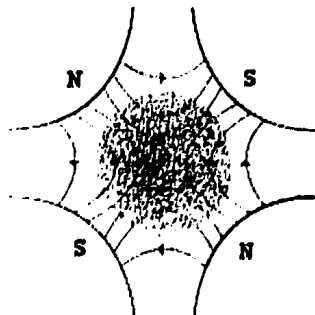
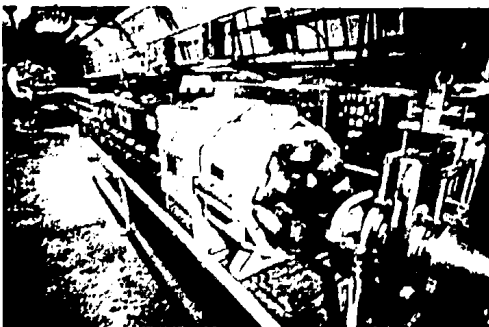
Είναι ο χώρος στον οποίο γίνεται η επιτάχυνση των σωματιδίων (Εικ.16). Στις κοιλότητες ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μεταφέρεται στα σωματίδια κάθε φορά που αυτά περνούν μέσα απ' αυτές.

2) Διπολικοί μαγνήτες: Ο ρόλος τους είναι να καμπυλώνουν την τροχιά των σωματιδίων και να τα αναγκάζουν να κινούνται σε κυκλική τροχιά (Εικ. 17).



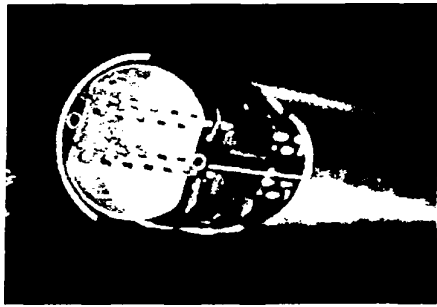
Εικόνα 17. Οι διπολικοί μαγνήτες καμπυλώνουν την τροχιά των σωματιδίων

3) Τετραπολικοί - ν-πολικοί μαγνήτες: Χρησιμοποιούνται για να κρατήσουν τα σωματίδια σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους στη δέσμη, δηλαδή να τα εστιάζουν, ώστε το προφίλ της δέσμης να είναι πολύ μικρό.



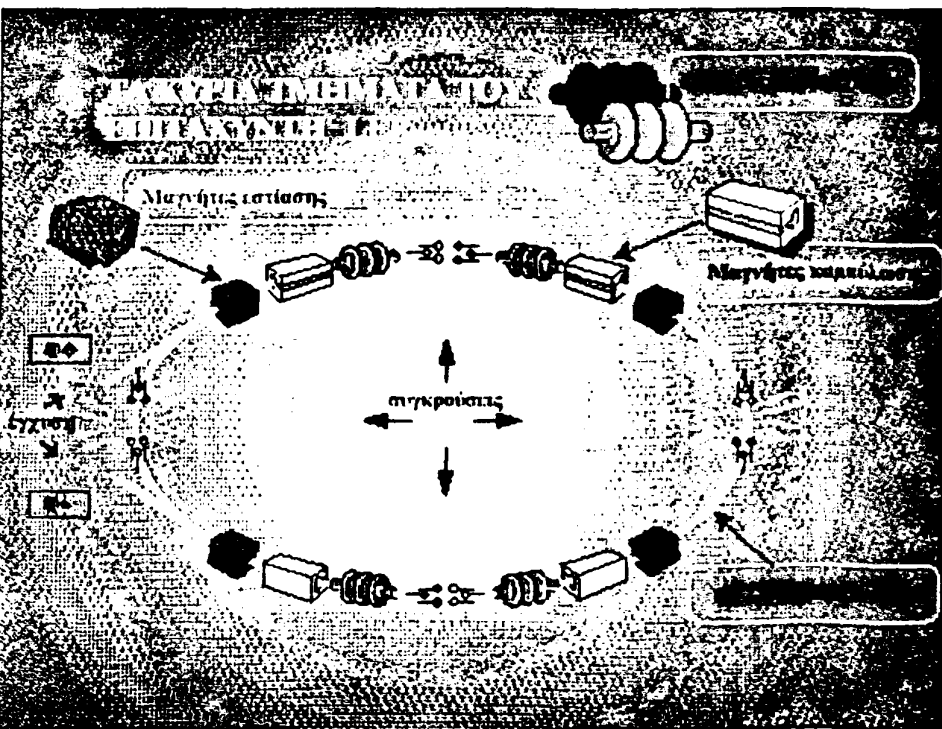
Εικόνα18. ν-πολικός μαγνήτης και σχηματικό διάγραμμα μαγνητικών δυνάμεων σ' ένα τετράπολο.

4) Ο σωλήνας κενού: Ο σωλήνας μέσα στον οποίο κινούνται τα σωματίδια είναι κενός για να αποφευχθούν συγκρούσεις με μόρια του αέρα που μειώνουν τον αριθμό των σωματιδίων της δέσμης (Εικ. 19). Το κενό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ισχυρών αντλιών κενού⁷⁰.



Εικόνα 19. Σωλήνας κενού.

Η εικόνα 20. δείχνει σε σχηματικό διάγραμμα τον επιταχυντή LEP στο CERN.

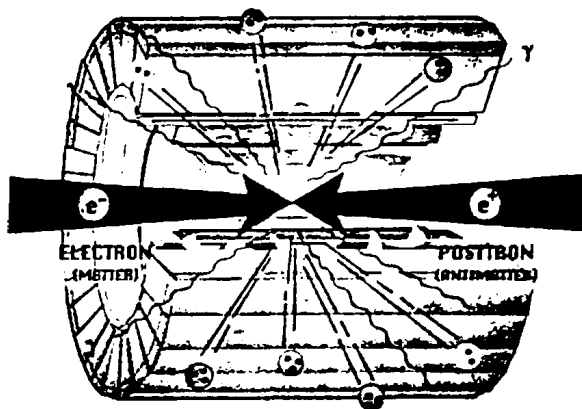


Εικόνα 20. Τα κύρια τμήματα του επιταχυντή LEP.



2.5.2 Ανιχνευτές σωματιδίων

Οι ανιχνευτές σωματιδίων είναι τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για να ερευνηθούν τα συστατικά της ύλης. Όταν δύο σωματίδια πολύ μεγάλης ενέργειας συγκρούονται τότε μπορούν να δημιουργηθούν οι ειδικές συνθήκες που χρειαζόμαστε για να εξερευνήσουμε τη δομή της ύλης ή τη δημιουργία νέας μορφής ύλης (Εικ.21).



Εικόνα 21. Αναπαράσταση λειτουργίας ανιχνευτή.

Με τους ανιχνευτές μπορούμε να παρατηρήσουμε τα νέα σωματίδια ή τις νέες μορφές ύλης. Οι ανιχνευτές είναι συσκευές που περιβάλλουν το σημείο σύγκρουσης. Με τους σημερινούς σύνθετους ανιχνευτές πετυχαίνουμε:

- να αναγνωρίσουμε τα σωματίδια,
- να μετρήσουμε την ενέργειά τους,
- να προσδιορίσουμε την κατεύθυνσή τους.

Οι πληροφορίες αυτές μας δίνουν τη δυνατότητα να εξάγουμε συμπεράσματα για το μηχανισμό της σύγκρουσης και τη δομή της ύλης.

2.5.2.1 Αλληλεπιδράσεις σωματιδίων με την ύλη

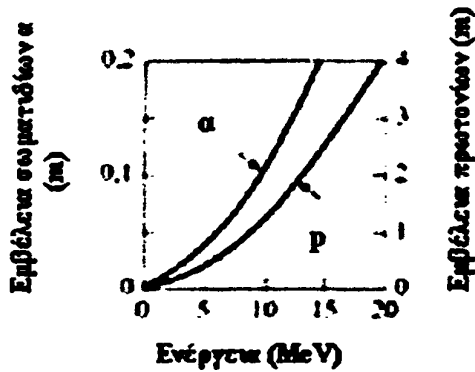
Η κατασκευή και λειτουργία των ανιχνευτών στηρίζεται στις αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων με την ύλη. Διακρίνουμε τις περιπτώσεις:

α) Βαριά φορτισμένα σωματίδια: Χάνουν ενέργεια λόγω διέγερσης και ιονισμού. Ένα μέρος χάνεται λόγω ελαστικής κρούσης με τους πυρήνες. Η ενέργεια χάνεται σε μικρές δόσεις και έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι το βαρύ σωματίδιο υφίσταται συνεχή απώλεια ενέργειας απομένοντας στο τέλος μόνο με τη θερμική ενέργεια ανάλογα βέβαια με το πάχος του υλικού που διέρχεται. Η απόσταση που διανύει μέχρι να φτάσει σε κατάσταση ηρεμίας (εμβέλεια) εξαρτάται από το

φορτίο, τη μάζα την ενέργεια και την πυκνότητα του μέσου, το έργο ιονισμού και τον ατομικό αριθμό των ατόμων του μέσου (Εικ. 22). Ο ρυθμός απώλειας ενέργειας ή ισχύς ανάσχεσης είναι:

$-dE/dx \propto 1/E$ για $v < c$ και ανεξάρτητος του E για $v \rightarrow c$.

Το $-dE/dx$ είναι ανάλογο της πυκνότητας του μέσου και ανάλογο του τετραγώνου του φορτίου του σωματιδίου.



Εικόνα 22. Η εμβέλεια των σωματιδίων άλφα και των πρωτονίων στον αέρα υπό συνήθεις συνθήκες.

β) Ηλεκτρόνια: Ηλεκτρόνιο με ενέργεια μικρότερη από 1 MeV χάνει ενέργεια κατά παρόμοιο τρόπο με τα βαριά φορτισμένα σώματα αλλά η εμβέλεια δεν είναι προκαθορισμένη επακριβώς. Τούτο οφείλεται στην εξής διαφορά: Ένα βαρύ σώμα χάνει μόνο ένα απειροελάχιστο ποσοστό της ενέργειάς του σε κάθε αλληλεπίδραση με ατομικό ηλεκτρόνιο που συναντά στην τροχιά του. Όταν όμως το προσπίπτον σώματιο είναι ηλεκτρόνιο ένα μεγάλο μέρος της ενέργειάς του μπορεί να χαθεί σε μια απλή σύγκρουση με άλλο ηλεκτρόνιο. Έτσι το μήκος της τροχιάς ηλεκτρονίων με την ίδια αρχική ενέργεια μπορεί να ποικίλλει σημαντικά. Στα ηλεκτρόνια επίσης παρατηρείται μεγαλύτερη ακτινοβολία πέδησης (bremsstrahlung) επειδή ως ελαφρύτερα επιταχύνονται περισσότερο.

γ) Φωτόνια: Οι ακτίνες X και γ όταν διέρχονται από την ύλη χάνουν ενέργεια με τους ακόλουθους 3 τρόπους: 1) Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, 2) Σκέδαση Compton 3) Δίδυμη γένεση σε υψηλές ενέργειες.

Η ένταση της ακτινοβολίας ελαττώνεται με το πάχος x του απορροφητή σύμφωνα με τη σχέση: $I = I_0 e^{-\mu x}$ (I_0 είναι η ένταση της προσπίπτουσας δέσμης μετρούμενη σε φωτόνια/ m^2s και μ είναι ο γραμμικός συντελεστής απόσβεσης. Εξαρτάται από την ενέργεια των φωτονίων και από τη φύση του απορροφητικού μέσου).

Το πάχος υποδιπλασιασμού της έντασης δίνεται από τη σχέση $x = \ln 2 / \mu$.



2.5.2.2 Είδη, Δομή και Τρόπος Λειτουργίας των Ανιχνευτών

Τα τμήματα των ανιχνευτών είναι τοποθετημένα σε στρωματική διάταξη (Εικ.23). Τα παραγόμενα σωματίδια διασχίζουν λιγότερα ή περισσότερα στρώματα ανάλογα με την ταυτότητά τους και την ενέργειά τους (Εικ. 24). Το κάθε επιμέρους τμήμα του ανιχνευτή επιτελεί και μία διαφορετική διεργασία. Ο συνδυασμός των πληροφοριών από όλα τα επιμέρους τμήματα μπορεί να μας δώσει λεπτομερή εικόνα της σύγκρουσης.

Είδη ανιχνευτών.

Διακρίνουμε 3 κύριες ομάδες:

A) Ανιχνευτές τροχιών: Καταγράφουν και δίνουν την δυνατότητα ανακατασκευής των τροχιών των φορτισμένων σωματιδίων που τους διασχίζουν.

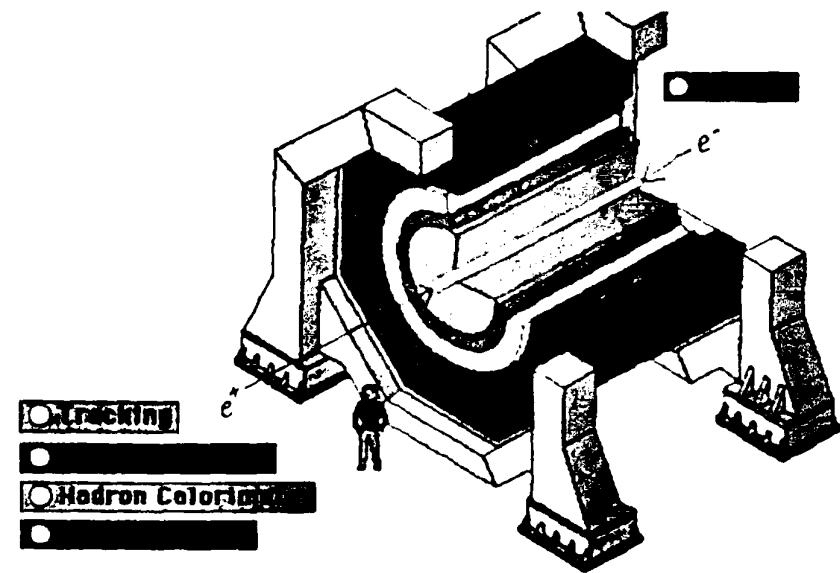
B) Θερμιδόμετρα (καλορίμετρα): Με την βοήθειά τους δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού της ενέργειας ουδέτερων και φορτισμένων σωματιδίων. Τα θερμιδόμετρα σχεδιάζονται ώστε να γίνεται απορρόφηση της ενέργειας των σωματιδίων και τα σωματίδια να σταματούν μέσα στο θερμιδόμετρο. Διαφορετικά θερμιδόμετρα χρησιμοποιούνται για τα ηλεκτρόνια και τα φωτόνια που αλληλεπιδρούν με την ύλη ηλεκτρομαγνητικά και διαφορετικά για τα αδρόνια που αλληλεπιδρούν με την ύλη σύμφωνα με τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις. Έτσι διακρίνονται στα:

α) Ηλεκτρομαγνητικά θερμιδόμετρα: Σ' αυτά, ο συνδυασμός των φαινομένων της ακτινοβολίας πέδησης και της δίδυμης γένεσης για ηλεκτρόνια και φωτόνια υψηλών ενεργειών έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση καταιγισμών σωματιδίων. Το αρχικό ηλεκτρόνιο εκπέμπει φωτόνια τα οποία μετατρέπονται σε ζεύγη σωματίων, που με τη σειρά τους ακτινοβολούν και παράγουν νέα ζεύγη, οπότε τελικά ο αριθμός των σωματίων αυξάνει εκθετικά με το βάθος του υλικού (καταιγισμός).

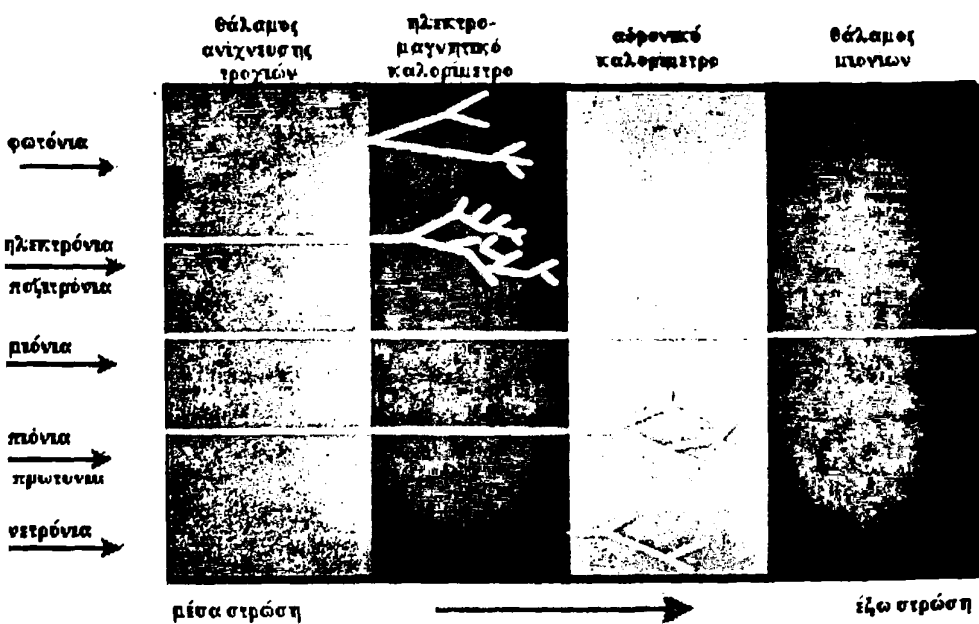
β) Θερμιδόμετρα αδρονικών καταιγισμών: Αδρονικός καταιγισμός προκαλείται όταν σε ένα προσπίπτον αδρόνιο συμβαίνει μη ελαστική πυρηνική σκέδαση με αποτέλεσμα την παραγωγή δευτερογενών αδρονίων, τα οποία στη συνέχεια αλληλεπιδρούν ανελαστικά, παράγουν νέα γενιά αδρονίων κ.ο.κ. Το μήκος απορρόφησης εδώ είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με τα ΗΜ θερμιδόμετρα. Κατά συνέπεια τα αδρονικά θερμιδόμετρα είναι αρκετά μεγαλύτερα από τα ΗΜ.

Γ) Ανιχνευτές μιονίων: τα μόνια επειδή δεν αλληλεπιδρούν έντονα με την ύλη μπορούν να διασχίσουν τα διαφορετικά στρώματα ανιχνευτών και να φτάσουν στους ανιχνευτές που είναι απομακρυσμένοι από το σημείο σύγκρουσης. Εκδηλώνουν την παρουσία τους και την ταυτότητά τους με ένα σήμα στους εξωτερικούς ανιχνευτές στους οποίους δεν φτάνουν τα υπόλοιπα φορτισμένα σωματίδια.

Τα νετρίνα είναι τα μόνα από τα γνωστά σωματίδια που διαφεύγουν από όλους τους ανιχνευτές. Η παρουσία τους μπορεί να διαπιστωθεί μόνο από τη μη διατήρηση της εισερχόμενης/εξερχόμενης ενέργειας και ορμής. Η συνολική πληροφορία που μας δίνει ο ανιχνευτής καταγράφεται ηλεκτρονικά και κάθε γεγονός αλληλεπίδρασης ανακατασκευάζεται με τη χρήση του υπολογιστή εν ευθέτω χρόνω.⁷¹



Εικόνα 23. Αναπαράσταση της δομής ανιχνευτή.



Εικόνα 24. Τα διαδοχικά στρώματα ενός ανιχνευτή.



2.5.3 Τα Σύγχρονα Μεγάλα Πειράματα

Οι δραστηριότητες στον τομέα της φυσικής των υψηλών ενεργειών επικεντρώνονται γύρω από τα κύρια πειράματα τα οποία σχεδιάστηκαν σε επιταχυντές στα ακόλουθα εργαστήρια: Στο CERN, το Ευρωπαϊκό Εργαστήριο Σωματιδιακής Φυσικής στη Γενεύη σχεδιάστηκαν να εκτελεστούν σύντομα στον μεγάλο επιταχυντή αδρονίων Large Hadron Collider (LHC) τέσσερα πειράματα:

Το **ATLAS** (A Toroidal LHC Apparatus) και το **CMS** (Compact Muon Solenoid experiment) που σχεδιάστηκαν για να παρατηρηθούν φαινόμενα στα οποία συμμετέχουν σωματίδια μεγάλης μάζας, τα οποία δεν μπορούσαν να παραχθούν με τη χρήση των εν λειτουργία επιταχυντών χαμηλότερων ενεργειών και μπορεί να ρίξουν φως σε νέες θεωρίες των στοιχειωδών σωματίων πέρα από το Standard Model. Κατά την λειτουργία των εν λόγω πειραμάτων αναμένεται να προκύψουν ενδείξεις για την ύπαρξη ή μη του σωματίου Higgs καθώς και των υπερσυμμετρικών σωματιδίων.

Το **LHC-B** (Large Hadron Collider – Beauty): Είναι ένα ειδικό πείραμα με στόχο τη μέτρηση των παραμέτρων της παραβίασης CP στις αλληλεπιδράσεις αδρονίων τα οποία περιέχουν κουάρκ bottom.

Το **ALICE** (A Large Ion Collider Experiment): Στο ALICE θα μελετηθούν συγκρούσεις βαρέων ιόντων αναπαράγοντας το Σύμπαν κατά τη μεγάλη έκρηξη. Η προκύπτουσα θερμοκρασία και πυκνότητα αναμένεται να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να δημιουργηθεί ένα πλάσμα κουάρκ- γλοιονίων.

Στο **DESY** (Deutsches Elektronen Synchrotron) στο Αμβούργο, στο σύγχροτρο **HERA** τα πειράματα:

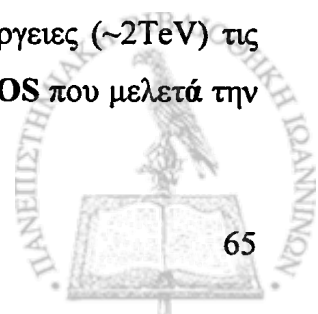
ZEUS και **H1**, στα οποία μελετάται η βαθειά ανελαστική σκέδαση ηλεκτρονίων και πρωτονίων, και επομένως μελετάται η δομή του πρωτονίου, καθώς και αλληλεπιδράσεις περίθλασης φωτονίου/πρωτονίου.

Στο **SLAC** (Stanford Linear Accelerator Centre) στις ΗΠΑ:

Το **Babar**, στόχος του οποίου είναι η μελέτη η παραβίαση της συμμετρίας CP στις διασπάσεις των μεσονίων B. Η παραβίαση της συμμετρίας CP είναι μια πιθανή αιτία της απόλειας της αντιύλης στο σύμπαν.

Στο **FNAL** (Fermi National Laboratory) USA στον επιταχυντή Tevatron τα πειράματα:

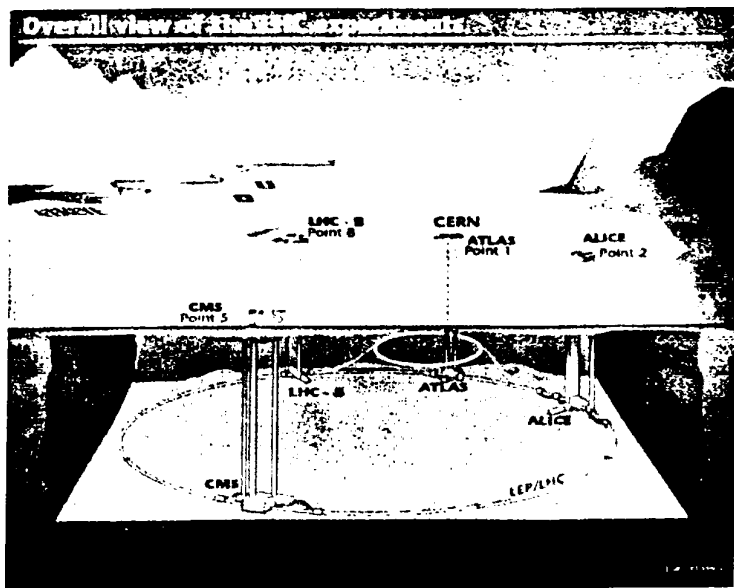
CDF και **D0**, τα οποία μελετούν στις υψηλότερες προς το παρόν ενέργειες (~2TeV) τις αλληλεπιδράσεις πρωτονίου-αντιπρωτονίου καθώς και το πείραμα **MINOS** που μελετά την φυσική των νετρίνων.



Τέλος υπάρχουν και άλλες εγκαταστάσεις επιταχυντών στον κόσμο (KEK-Ιαπωνία, RAL-UK, ILL-Γαλλία) στις οποίες γίνονται διάφορα πειράματα για την μελέτη της δομής της ύλης⁷².

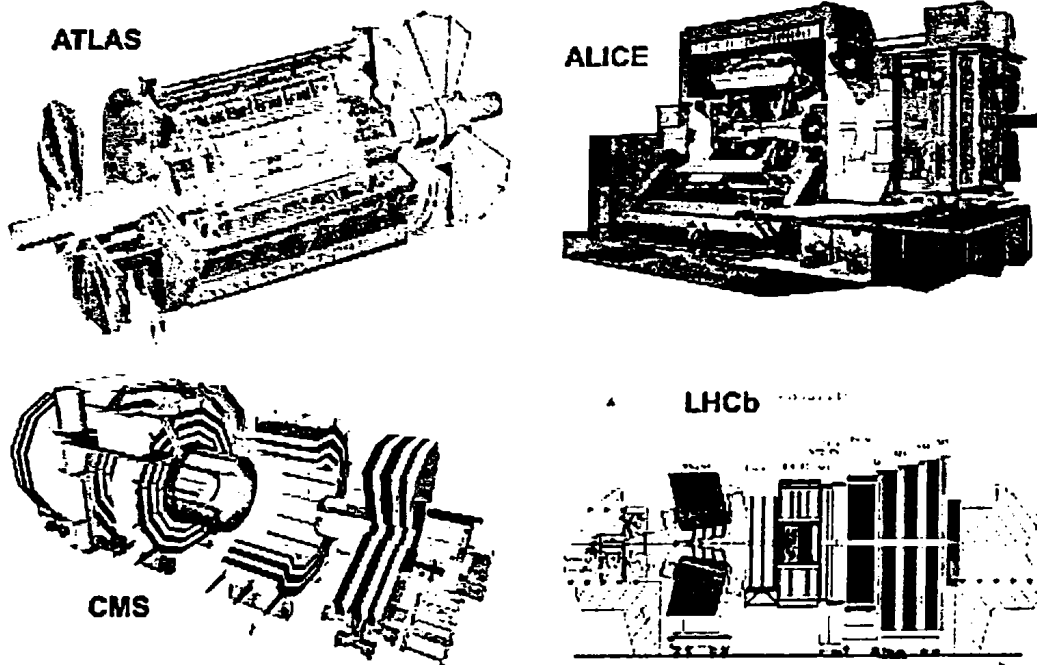
2.5.3.1 Ένα παράδειγμα μεγάλου πειράματος για την μελέτη της δομής της ύλης. Το CMS και το LHC.

Το CERN, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Πυρηνική Έρευνα, ιδρύθηκε το 1954. Έγινε το πρώτο παράδειγμα διεθνούς συνεργασίας και σήμερα αριθμεί 20 κράτη μέλη. Είναι το μεγαλύτερο εργαστήριο σωματιδιακής φυσικής στον κόσμο και εκτείνεται στα Γαλλο-Ελβετικά σύνορα στην περιοχή της Γενεύης. Το CERN κατασκευάζει τον μεγαλύτερο και τον πιο ισχυρό επιταχυντή σωματιδίων στον κόσμο, τον επιταχυντή συγκρουομένων δεσμών πρωτονίων LHC, μήκους 27 km.. Πρόκειται για μία μηχανή που επιταχύνει δύο δέσμες σωματιδίων, πρωτονίων στην αρχική φάση, που κινούνται με αντίθετες κατευθύνσεις, με ταχύτητα μεγαλύτερη από το 99,9% της ταχύτητας του φωτός. Οι φυσικοί μελετούν την πληθώρα των νέων σωματιδίων που δημιουργούνται από τη σύγκρουση των δύο δεσμών. Ενεργώντας για λογαριασμό των κρατών-μελών του, το CERN επενδύει δισεκατομμύρια ελβετικά φράγκα στο LHC. Ωστόσο, το LHC είναι ένα παγκόσμιο πρόγραμμα και περίπου το 10% του κόστους του προσφέρεται από άλλες χώρες εκτός των κρατών μελών. 10.000 επιστήμονες και μηχανικοί, από περίπου 500 ακαδημαϊκά ινστιτούτα και βιομηχανίες ανά τον κόσμο, συνεισφέρουν στο πρόγραμμα του LHC.



Εικόνα 25. Αναπαράσταση του LHC.





Εικόνα 26. Οι 4 ανιχνευτικές διατάξεις του LHC.

Το LHC είναι στη φάση της ολοκλήρωσης σε μία υπόγεια σήραγγα περιφέρειας 27 km σε βάθος 50-150 m κάτω από την επιφάνεια της γης (Εικ. 25). Η σήραγγα η οποία βρίσκεται ανάμεσα στην Γαλλική οροσειρά Γιούρα και τη λίμνη της Γενεύης στην Ελβετία, κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1980 για να φιλοξενήσει τον προηγούμενο μεγάλο επιταχυντή του CERN, τον Μεγάλο Επιταχυντή Συγκρουομένων Δεσμών ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων (Large Electron Positron-LEP).

Στο LHC θα λαμβάνουν χώρα μετώπικές συγκρούσεις ανάμεσα σε δύο δέσμες όμοιων σωματιδίων: πρωτονίων ή ιόντων μετάλων. Οι δέσμες θα παράγονται στην ήδη υπάρχουσα αλυσίδα επιταχυντών του CERN και στην συνέχεια θα διοχετεύονται στον LHC, όπου θα επιταχύνονται μέσα σε κενό συγκρίσιμο με εκείνο του διαστήματος. Υπεραγωγιμοί μαγνήτες, που λειτουργούν σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, καθοδηγούν τις δέσμες κατά μήκος του δακτυλίου. Κάθε δέσμη αποτελείται από περίπου 3000 πακέτα σωματιδίων ενώ κάθε πακέτο περιλαμβάνει γύρω στα 100 δισεκατομμύρια σωματιδίων. Λόγω του μεγέθους των πρωτονίων, η πιθανότητα δύο από αυτά να συγκρουστούν είναι πολύ μικρή. Όταν δύο πακέτα διασταυρώνονται αναμένεται να υπάρχουν 20 περίπου συγκρούσεις ανάμεσα στα 200 δισεκατομμύρια σωματίδια. Ωστόσο, τα πακέτα θα διασταυρώνονται περίπου 30 εκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο και έτσι στον LHC θα παράγονται περίπου 600 εκατομμύρια συγκρούσεις ανά δευτερόλεπτο. Από αυτές ένα μικρό ποσοστό αποθηκεύονται για περαιτέρω ανάλυση. Το σύστημα επιλογής-απόρριψης (σκανδαλισμού, trigger) σε ελάχιστο χρόνο δίνει τη δυνατότητα να αποθηκευτούν περίπου 100.000 χρήσιμες αλληλεπιδράσεις. Με ταχύτητες κοντά σ' αυτήν του φωτός, ένα πρωτόνιο μέσα στον επιταχυντή LHC θα κάνει 11 245 περιφορές το δευτερόλεπτο. Η δέσμη αναμένεται να

περιστρέφεται για 10 ώρες μέχρι να μειωθεί η έντασή της αφού καλύψει περισσότερα από 10 δισεκατομμύρια χιλιόμετρα.

Κατά την έναρξη της λειτουργίας του, ο επιταχυντής LHC θα παρέχει συγκρούσεις στις υψηλότερες ενέργειες που έχουν επιτευχθεί ποτέ σε εργαστηριακές συνθήκες και οι φυσικοί ανυπομονούν να δουν τα αποτελέσματα των συγκρούσεων. Τέσσερις τεράστιες ανιχνευτικές διατάξεις – ALICE, ATLAS, CMS, και LHCb – θα καταγράφουν τις συγκρούσεις, έτσι ώστε οι φυσικοί να μπορέσουν να ερευνήσουν καινούργιες περιοχές της ύλης, της ενέργειας, του χώρου και του χρόνου (Εικ. 26). Ένα δίκτυο υπολογιστών, διάσπαρτο σε όλο τον κόσμο, θα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση ενός τεράστιου ποσού δεδομένων

2.5.3.1.1 Η ισχύς του LHC

Ο επιταχυντής LHC είναι μια μηχανή που μπορεί να συγκεντρώνει ενέργεια σε πολύ μικρό χώρο. Οι ενέργειες των σωματιδίων στον επιταχυντή LHC μετριοούνται σε τερα-ηλεκτρονιοβόλτς (TeV). Κάθε πρωτόνιο που κινείται στον LHC θα έχει τελική ενέργεια 7 TeV, έτσι όταν δύο πρωτόνια συγκρούονται η ενέργεια της σύγκρουσης στο κέντρο μάζας θα είναι 14 TeV. Τα ιόντα μολύβδου έχουν πολλά πρωτόνια που όλα μαζί έχουν ακόμα μεγαλύτερη ενέργεια. Οι δέσμες ιόντων μολύβδου θα έχουν ενέργεια σύγκρουσης 1150 TeV. Σε πλήρη ισχύ κάθε δέσμη θα έχει τόση ενέργεια όση περίπου ένα αυτοκίνητο κινούμενο με 1600 χιλιόμετρα την ώρα. Η ενέργεια που θα αποθηκεύεται στους μαγνήτες θα είναι αρκετή για να λιώσει 50 τόνους χαλκού.

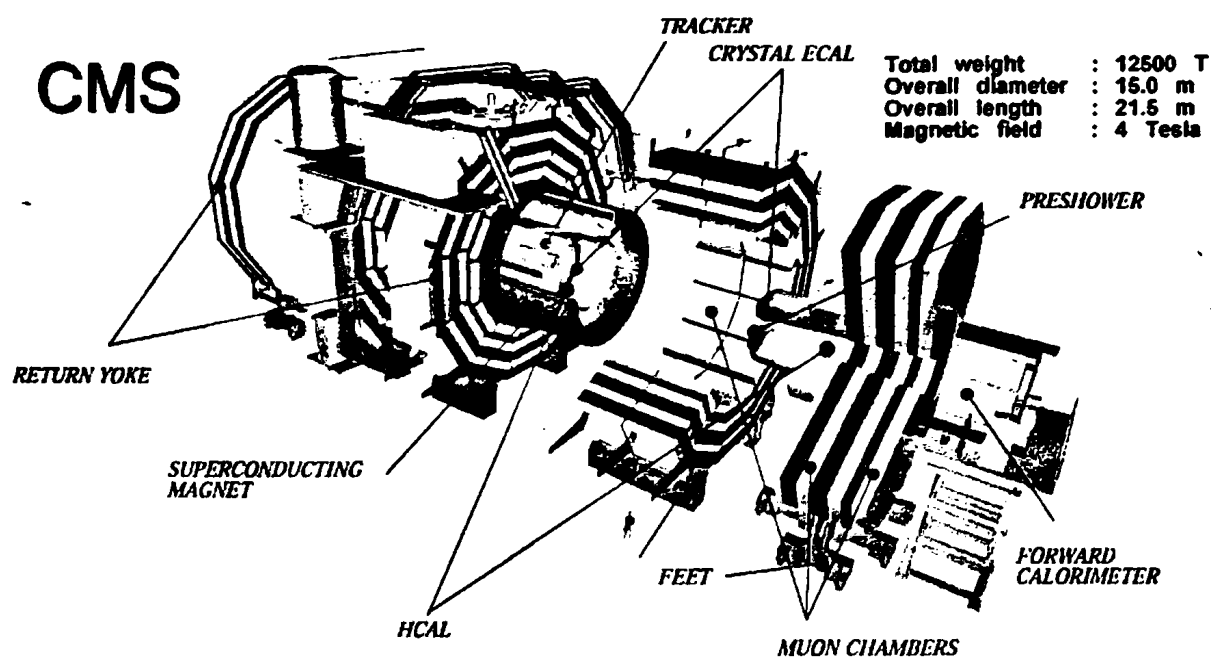
2.5.3.1.2 Ο τρόπος λειτουργίας του LHC.

Οι δέσμες, αφού αποκτήσουν ενέργεια 0.45 TeV μέσα στην αλυσίδα επιταχυντών του CERN, οδηγούνται στο δακτύλιο του LHC, όπου πραγματοποιούν εκατομμύρια περιφορές. Ειδικές κοιλότητες προσφέρουν το κατάλληλο ηλεκτρικό πεδίο που ωθεί, σε κάθε περιφορά, τα σωματίδια κάθε δέσμης ως την τελική ενέργεια των 7 TeV. Για να διατηρούνται οι δέσμες σε κυκλική τροχιά σε τόσο υψηλές ενέργειες, στο LHC χρησιμοποιούνται 1800 υπεραγωγία μαγνητικά συστήματα. Οι ηλεκτρομαγνήτες κατασκευάζονται από υπεραγωγία υλικά τα οποία, σε χαμηλές θερμοκρασίες, άγουν τον ηλεκτρισμό χωρίς αντίσταση και έτσι μπορούν να δημιουργούν πολύ ισχυρότερα μαγνητικά πεδία συγκριτικά με τους συνήθεις ηλεκτρομαγνήτες. Ο επιταχυντής LHC θα λειτουργήσει σε περίπου 8 tesla, ενώ οι συνηθισμένοι μαγνήτες μπορούν να επιτύχουν μέγιστο μαγνητικό πεδίο περίπου 2 tesla.⁷³



2.5.3.2 Το CMS

Το CMS είναι ένα μεγάλο πείραμα που κατασκευάζεται και θα λειτουργήσει στον LHC και αποτελείται από ένα σύστημα σύγχρονων ανιχνευτικών διατάξεων γενικών προδιαγραφών (Εικ. 27), σχεδιασμένο να λειτουργεί στην υψηλότερη δυνατή φωτεινότητα στον μεγάλο επιταχυντή αδρονίων LHC. Οι κύριοι επιστημονικοί στόχοι του πειράματος είναι η κατανόηση του αυθόρμητου μηχανισμού σπασίματος συμμετρίας ή άλλων συναφών μηχανισμών, μέσω των οποίων προσδίδεται μάζα σε όλα τα στοιχειώδη σωματίδια δηλ. η ανίχνευση του σωματιδίου Higgs, καθώς επίσης και αναζήτηση νέας φυσικής πέραν από το Καθιερωμένο Πρότυπο (π.χ. Υπερσυμμετρία, Στοιχειοθέτηση δημιουργίας της ύλης σε πιο θεμελιώδες επίπεδο, μελέτη Απαγορευμένων και Σπανίων αντιδράσεων). Επιπρόσθετα, το CMS θα συμβάλει σημαντικά, παράλληλα με άλλα ερευνητικά κέντρα, στο πεδίο έρευνας βαρέων ιόντων.



Εικόνα 27 Η δομή του CMS

Κατασκευαστικά στοιχεία του CMS:

Αξονικό μαγνητικό πεδίο 4 Tesla. Απαιτείται ρεύμα στο πηνίο ~ 20kA. Επομένως απαιτείται υπεραγώγιμο υλικό. Επιλέχθηκε NbTi με κάλυψη Cu. Θερμοκρασία λειτουργίας 4K. Το ατσάλινο Return yoke (5 κεντρικά δακτυλίδια και 3+3 δίσκοι), 11Kt επιστρέφει τις μαγνητικές γραμμές εξωτερικά του σωληνοειδούς και λειτουργεί ως φίλτρο στα μόνια.

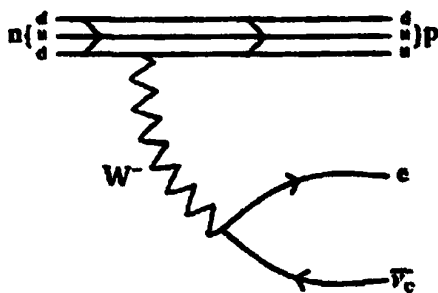
2.5.4. Κοσμική ακτινοβολία - Νετρίνα

Από το 1912 οι εργασίες του Victor Hess και άλλων φυσικών κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το Σύμπαν ολόκληρο είναι "διαποτισμένο" από μία ισοτροπική ακτινοβολία, για την οποία υπήρχαν υπόνοιες ότι αποτελείται από ηλεκτρόνια και ακτίνες-γ με μεγάλη ενέργεια. Η ακτινοβολία αυτή ονομάστηκε *κοσμική ακτινοβολία*.

Η κοσμική ακτινοβολία είναι μία κατηγορία ακτινοβολίας που αποτελείται από σωματίδια υψηλών ενεργειών (που κινούνται δηλαδή με σχετικιστικές ταχύτητες), τα οποία παράγονται σε κάποιο μέρος του Σύμπαντος μακριά από τη Γη και προσκρούουν στην ατμόσφαιρα της Γης με ανιχνεύσιμα αποτελέσματα.

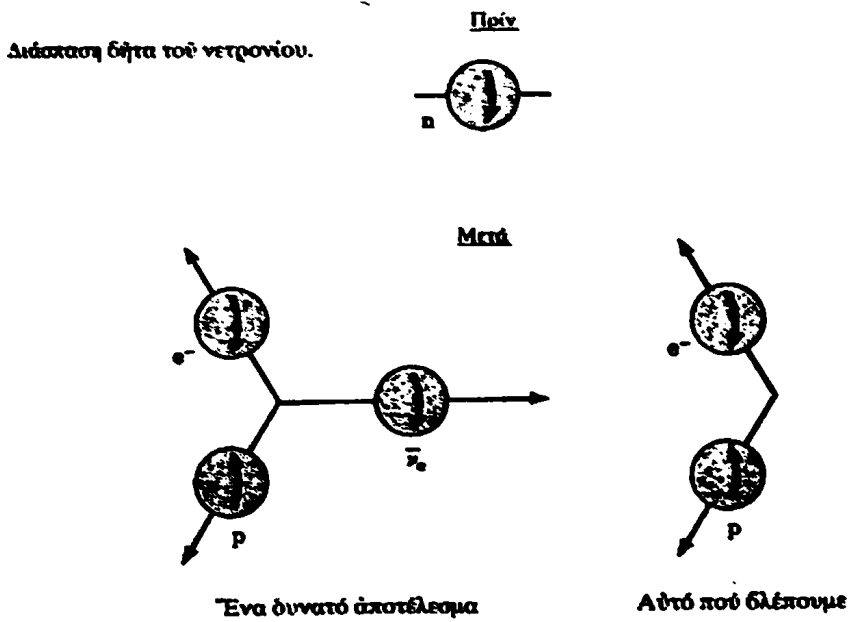
Οι κοσμικές ακτίνες αποτελούνται κυρίως από ατομικούς πυρήνες, περίπου 87% πρωτόνια, 12% σωματία άλφα (πυρήνες ηλίου) και λίγους βαρύτερους πυρήνες. Ωστόσο, ένα μικρό ποσοστό των κοσμικών ακτίνων είναι ακτίνες γ (φωτόνια) πολύ υψηλών ενεργειών, ηλεκτρόνια και νετρίνα. Οι κινητικές ενέργειες των σωματίων των κοσμικών ακτίνων εκτείνονται σε 14 τάξεις μεγέθους με τη ροή (αριθμός σωματίων ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου) στην περιοχή της Γης να είναι ανάλογη του αντιστρόφου του κύβου της ενέργειας. Η μεγάλη αυτή διαφορά στις ενέργειες υποδεικνύει τη μεγάλη ποικιλία των πηγών της κοσμικής ακτινοβολίας: Οι διαδικασίες παραγωγής εκτείνονται από ηλιακά φαινόμενα μέχρι μυστηριώδεις διαδικασίες υψηλών ενεργειών στα βάθη του Σύμπαντος. Μία κοσμική ακτίνα (1 σωματίο) μπορεί να φθάσει σε ενέργεια τα 10^{20} eV .

Μέρος της κοσμικής ακτινοβολίας αποτελούν τα νετρίνα. Τα νετρίνα αλληλεπιδρούν ασθενώς. Δεν έχουν φορτίο, μάζα και δεν υφίστανται ηλεκτρομαγνητικές ή ισχυρές αλληλεπιδράσεις. Έχουν ενέργεια, ορμή, στροφορμή και λεπτονικό κβαντικό αριθμό αυτόν της οικογένειας του ηλεκτρονίου ή του μιονίου ή του ταυ αντίστοιχα. Η ύπαρξή τους έγινε αντιληπτή λόγω της απαίτησης ισχύος των 4 νόμων διατήρησης σε αλληλεπιδράσεις όπως για παράδειγμα στη διάσπαση του ελεύθερου νετρονίου (Εικ. 28): $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$.



Εικόνα 28. Η διάσπαση του νετρονίου.

Στην πραγματικότητα σ' αυτή την αντίδραση δεν βλέπουμε το νεutrίνο. Όμως η παρουσία του κρίνεται αναγκαία για την διατήρηση της ενέργειας, ορμής στροφορμής και οικογένειας του ηλεκτρονίου, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 29. Πώς δικαιολογείται η παρουσία του αντινεutrίνου στη διάσπαση του νεutrονίου.

Το νεutrίνο είναι παρατηρήσιμο μόνο όταν αντιδρά με την ύλη αλλά η πιθανότητα είναι πολύ μικρή (η μέση απόσταση διείσδυσης ενός 1MeV είναι 1000 έτη φωτός)⁷⁴. Το γεγονός ότι τα νεutrίνα δεν αλληλεπιδρούν παρά μόνο με ασθενείς και βαρυτικές αλληλεπιδράσεις τα καθιστά ιδανικούς φορείς πληροφορίας. Τα νεutrίνα δεν απορροφώνται από την διαστρική ύλη, και δεν αλληλεπιδρούν με το κοσμικό υπόβαθρο της μικροκυματικής ακτινοβολίας, αντίθετα με τα φωτόνια και τα φορτισμένα σωμάτια.

Δύο μεγάλα πειράματα για την ανίχνευση των νεutrίνων που προέρχονται από το Σύμπαν είναι το Super Kamiookande, ένα παρατηρητήριο νεutrίνου στην Ιαπωνία και το SNO (The Sudbury Neutrino Observatory) στον Καναδά, αλλά και άλλα νεότερα όπως το Antares στη Γαλλία, το NESTOR στην Πύλο κλπ.

2.6 Κοσμολογία

Η εξέλιξη του Σύμπαντος είναι η εξέλιξη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στοιχειωδών σωματιδίων. Οι δεσμοί μεταξύ των αντικειμένων της μικρότερης και μεγαλύτερης γνωστής κλίμακας είναι στενοί.

2.6.1 Η μεγάλη έκρηξη

«Απαρχή» του σύμπαντος αποτελεί η μεγάλη έκρηξη (Big Bang) που έγινε πριν περίπου 14 δισεκατομμύρια χρόνια. Η μεγάλη έκρηξη έγινε ταυτόχρονα και παντού σε όλα τα σημεία του χώρου. Οι έννοιες του χώρου και του χρόνου δημιουργούνται τη στιγμή της μεγάλης έκρηξης. Αδυνατούμε να υποθέσουμε με βάση την υπάρχουσα γνώση τι συνέβη από τη στιγμή της έκρηξης μέχρι τη χρονική στιγμή 10^{-43} s. Αιτία γι' αυτό είναι η έλλειψη μιας κβαντικής θεωρίας της βαρύτητας. Τα διαδοχικά στάδια της εξέλιξης του Σύμπαντος όπως είναι σήμερα γνωστά (Εικ. 30), αρχίζουν να καταμετρώνται απ' αυτήν τη χρονική στιγμή.

Στο καθιερωμένο μοντέλο της μεγάλης έκρηξης η θερμοκρασία του σύμπαντος τη χρονική στιγμή $t = 10^{-43}$ s (χρόνος Planck) ήταν περίπου 10^{32} K. Χρησιμοποιώντας την αρχή της ισοκατανομής $E=3/2KT$ βρίσκουμε πως η μέση ενέργεια ανά σωματίδιο ήταν της τάξης των 10^{19} GeV. Στις θεωρίες ενοποίησης, αυτή περίπου είναι η ενέργεια κάτω από την οποία η βαρύτητα αρχίζει να συμπεριφέρεται σαν ξεχωριστή δύναμη. Αυτός ο χρόνος, επομένως, σημαδεύει το τέλος οποιασδήποτε Θεωρία των Πάντων (theory of everything). Με τη θεωρία της μεγάλης ενοποίησης (GUT) που συνδέει την ισχυρή, την ηλεκτρομαγνητική και την ασθενή αλληλεπίδραση μπορούμε να υποθέσουμε τι θα μπορούσε να έχει συμβεί μετά τα πρώτα 10^{-43} s. Μετά τη μεγάλη έκρηξη, η αρχική συμπαγής, πυκνή και μεγάλης θερμοκρασίας ποσότητα μάζας και ακτινοβολίας άρχισε να ψύχεται. Καθώς συνέβαινε αυτό λάβαινε χώρα μια σταδιακή αποσύζευξη των βασικών αλληλεπιδράσεων (Εικ.31).



2.6.1.1 Ο διαχωρισμός ισχυρής - ηλεκτρασθενούς αλληλεπίδρασης

Από το 10^{-43} s ως το 10^{-35} s η θερμοκρασία του σύμπαντος έπεσε από τα 10^{28} eV στα 10^{23} eV. Σε τέτοιες ενέργειες η ισχυρή και η ηλεκτρασθενής αλληλεπίδραση ήταν συγχωνευμένες σε μία απλή αλληλεπίδραση. Το σύμπαν αποτελούνταν από ένα μείγμα κουάρκ και λεπτονίων που μετασχηματίζονταν το ένα στο άλλο με τόσο ταχείς ρυθμούς ώστε θα ήταν αδύνατος ο διαχωρισμός ανάμεσα σε αυτά τα δύο είδη σωματιδίων. Στα 10^{-35} s οι ενέργειες των σωματιδίων έγιναν τόσο χαμηλές ώστε η ισχυρή αλληλεπίδραση να διαχωριστεί από την ηλεκτρασθενή. Τα quarks και τα λεπτόνια άρχισαν να εμφανίζονται ως ανεξάρτητα σωματίδια.

Με τον διαχωρισμό αυτόν προέκυψε ένα μικρό πλεόνασμα ύλης ως προς την αντιύλη. Μέχρι εκείνη τη στιγμή οι ποσότητες ύλης και αντιύλης ήταν ίσες. Με την πάροδο του χρόνου η ύλη εξαυλώθηκε με την αντιύλη ώστε το σύμπαν που προέκυψε περιείχε μόνον ύλη.

2.6.1.2 Ο διαχωρισμός ηλεκτρομαγνητικής - ασθενούς αλληλεπίδρασης.

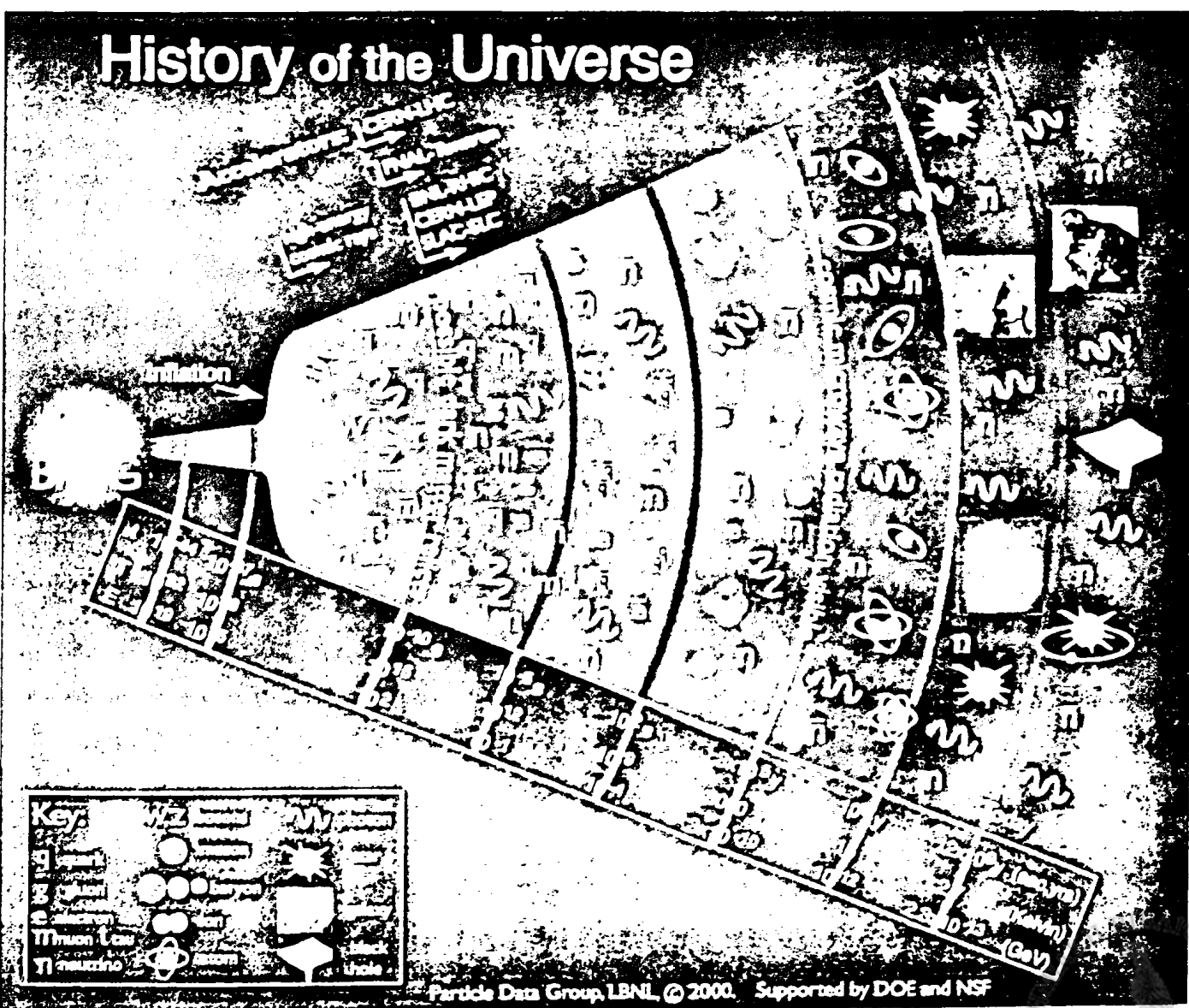
Στο χρονικό διάστημα 10^{-35} s - 10^{-10} s η μορφή που εμφανίζει το σύμπαν είναι ένα μείγμα quarks και λεπτονίων των οποίων η συμπεριφορά καθορίζεται από την ισχυρή, την ηλεκτρασθενή και τη βαρυτική αλληλεπίδραση. Η πτώση της θερμοκρασίας επέφερε τη χρονική στιγμή 10^{-10} s το διαχωρισμό της ηλεκτρασθενούς αλληλεπίδρασης σε ηλεκτρομαγνητική και ασθενή. Η κινητική ενέργεια των σωματιδίων δεν επαρκούσε ώστε με τις κρούσεις μεταξύ τους να δημιουργηθούν ελεύθερα μποζόνια W και Z που χαρακτηρίζουν την ηλεκτρασθενή αλληλεπίδραση.

2.6.1.3 Η ψύξη της ασθενούς αλληλεπίδρασης και ο σχηματισμός του ηλίου.

Γύρω στα 10^{-6} s άρχισαν τα quarks να συμπυκνώνονται σε αδρόνια. Περίπου στο 1s μετά την μεγάλη έκρηξη οι ενέργειες των νετρίνων είχαν μειωθεί αρκετά ώστε να μη μπορούν πλέον να αλληλεπιδράσουν με το μείγμα αδρονίων - λεπτονίων, και έτσι «πάγωσε» η ασθενής αλληλεπίδραση. Τα νετρίνα και αντινετρίνα που υπήρχαν παρέμειναν στο σύμπαν αλλά δεν έλαβαν μέρος στην παραπέρα εξέλιξή του. Από το σημείο αυτό και έπειτα τα πρωτόνια δεν μπορούσαν να μετασχηματισθούν σε νετρόνια με αντίστροφη αποδιέγερση β , τα ελεύθερα νετρόνια όμως μπορούσαν να αποδιεγερθούν σε πρωτόνια. Όμως τα νετρόνια είχαν αρχίσει να δεσμεύονται μέσω πυρηνικών αντιδράσεων σε πυρήνες ηλίου, πριν προλάβουν να αποδιεγερθούν. Η πυρηνική σύνθεση σταμάτησε 3min μετά την μεγάλη έκρηξη όταν ο λόγος των πρωτονίων προς

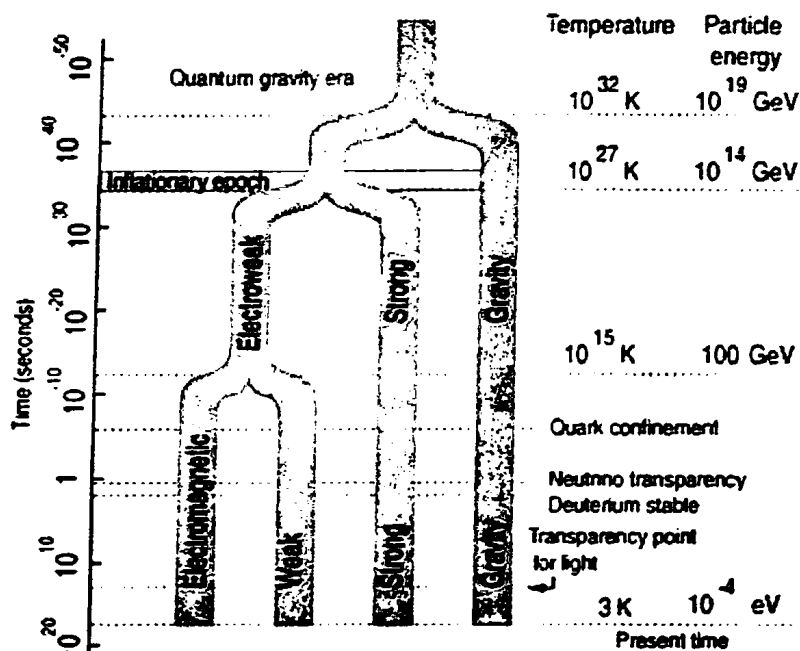
τα σωματΙΑ α (πυρήνες ${}^2\text{He}^4$), έγινε περίπου 3:1, που είναι ίσος με το λόγο που παρατηρείται σήμερα στο σύμπαν.

Από τα 3 min έως περίπου 100.000 έτη μετά τη μεγάλη έκρηξη το σύμπαν εμφανίζεται με τη μορφή ενός πλάσματος πυρήνων υδρογόνου και ηλίου καθώς και ηλεκτρονίων σε θερμική ισορροπία με την ακτινοβολία. Με τη πτώση της θερμοκρασίας κάτω από 13,6 eV (ενέργεια ιονισμού του υδρογόνου) άρχισαν να σχηματίζονται άτομα υδρογόνου. Στο σημείο αυτό η ακτινοβολία διαχωρίστηκε από την ύλη. Όπως συνέβη προηγουμένως με την ισχυρή και την ασθενή αλληλεπίδραση έτσι και τώρα «πάγωσε» η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση καθώς τα φωτόνια δεν είχαν την ελάχιστη ενέργεια ώστε να μπορέσουν να υλοποιηθούν σε ζεύγη σωματίων-αντισωματίων. Ούτε ακτινοβολία πέδησης μπορούσε να παραχθεί από επιταχυνόμενα ιόντα σε ένα σύμπαν ουδετέρων πλέον ατόμων.



Εικόνα 30. Οι διαδοχικές φάσεις της εξέλιξης του Σύμπαντος.

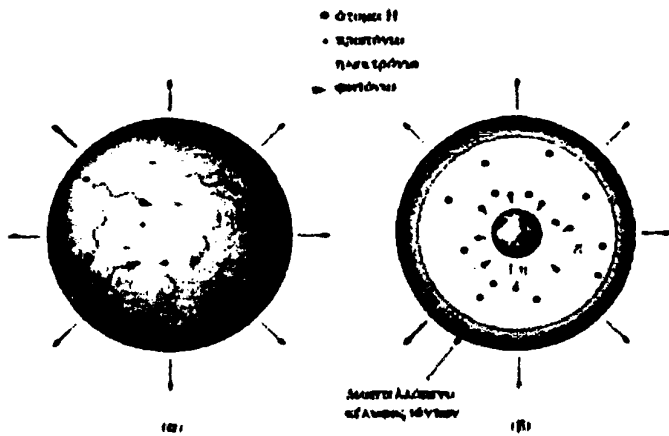




Εικόνα 31. Ο διαχωρισμός των 4 αλληλεπιδράσεων.

2.6.1.4 Υπολειπόμενη ακτινοβολία

Η ακτινοβολία που απέμεινε συνέχισε να απλώνεται με το υπόλοιπο σύμπαν παρουσιάζοντας μετατόπιση Doppler σε όλο και μεγαλύτερα μήκη κύματος. Το 1965 οι Arno Penzias και Robert Wilson ανακάλυψαν στην περιοχή μικροκυμάτων ακτινοβολία άγνωστης προέλευσης που δεν προερχόταν από ορισμένη προτιμητέα κατεύθυνση. Παραπέρα έρευνα απέδειξε ότι αυτή η ακτινοβολία έχει φάσμα συχνοτήτων που συμφωνεί με το νόμο ακτινοβολίας μέλανος σώματος του Planck. Το μήκος κύματος για το οποίο η ένταση γίνεται μέγιστη είναι 1,1mm (περιοχή μικροκυμάτων), που αντιστοιχεί σε απόλυτη θερμοκρασία $T=2,7K$. Αναγνωρίστηκε σύντομα πως η ακτινοβολία αυτή είναι υπόλειμμα της αρχικής εξέλιξης του σύμπαντος. Τα φωτόνια από το Big Bang που φθάνουν σε μας σήμερα προήλθαν από ένα κέλυφος πλάσματος που διαστελλόταν προς τα έξω από τη σημερινή θέση της Γης με ταχύτητα παραπλήσια αυτής του φωτός (Εικ. 32). Λόγω της σχετικής κίνησης, η ακτινοβολία παρατηρείται με μετατόπιση προς το ερυθρό λόγω φαινομένου Doppler κατά ένα παράγοντα 1000 περίπου. Αν η παρατήρηση γινόταν από ένα σύστημα αναφοράς ακίνητο σε σχέση με τα ιόντα που εξέπεμψαν την ακτινοβολία, το μήκος κύματος θα παρέμεινε αναλλοίωτο. Στην περίπτωση αυτή η ακτινοβολία έχει κατανομή μέλανος σώματος θερμοκρασίας 3000K με μήκος κύματος μέγιστης έντασης 1μm περίπου. Για ένα παρατηρητή πάνω στη Γη το μήκος κύματος μέγιστης έντασης εμφανίζεται 1000 φορές μεγαλύτερο και αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ακτινοβολία προέρχεται από ένα σώμα 1000 φορές ψυχρότερο (3K).



Εικόνα 32. Στάδια εξέλιξης του Σύμπαντος: (α) Κυριαρχία της ακτινοβολίας, (β) Κυριαρχία της ύλης .

Ας θεωρήσουμε την ενέργεια ανά μονάδα όγκου των φωτονίων με μήκος κύματος μεταξύ λ και $\lambda+d\lambda$ τη χρονική στιγμή που το Σύμπαν έγινε διαπερατό στα φωτόνια (400.000y μετά τη Μεγάλη Έκρηξη). Αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$du = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \left[\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right] d\lambda.$$

Υποθέτοντας ότι από τότε μέχρι τώρα το Σύμπαν διαστέλλεται κατά έναν παράγοντα F σε μία γραμμική διάσταση και λαμβάνοντας υπόψη ότι το αρχικό μήκος κύματος του φωτονίου υφίσταται μετατόπιση Doppler από λ σε λ' ($\lambda' = F\lambda$) επιπλέον δε ότι

$$\lambda' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \left(1 + \frac{v}{c}\right) \lambda,$$

αποδεικνύεται ότι η ακτινοβολία από ένα μέλαν σώμα που απομακρύνεται διατηρεί την ίδια φασματική κατανομή:

$$du' = \frac{8\pi hc}{\lambda'^5} \left[\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT'}} - 1} \right] d\lambda'$$

όπου $T' = T/F$ και $\lambda' = F\lambda$.

Η θερμοκρασία του μέλανος σώματος φαίνεται ότι είναι μικρότερη κατά τον συντελεστή διαστολής F . Σε ένα σύστημα αναφοράς κινούμενο με τα ιόντα που σκέδασαν για τελευταία φορά την ακτινοβολία η χαρακτηριστική θερμοκρασία της ακτινοβολίας είναι 3000K περίπου. Σύμφωνα με τα ανωτέρω, στο δικό μας σύστημα αναφοράς η ακτινοβολία έχει χαρακτηριστική θερμοκρασία $(3000K)/F$ ή 3K, εφόσον ξέρουμε ότι $F \approx 1000$. Επιβεβαιώθηκε έτσι μία υπόθεση για την εξέλιξη του Σύμπαντος⁷⁵.



2.6.1.5 Υπερίσχυση της βαρύτητας

Μετά το διαχωρισμό ύλης και ακτινοβολίας η βαρύτητα επικράτησε κατά την εξέλιξη του σύμπαντος. Διακυμάνσεις πυκνότητας οδήγησαν στο σχηματισμό γαλαξιών και αστερών.

2.6.2 Σχετικά με την εξέλιξη του Σύμπαντος.

Ο παρών ρυθμός διαστολής του Σύμπαντος δείχνει ότι η αρχή της εξέλιξης έλαβε χώρα περίπου 13,86 δισεκατομμύρια χρόνια πριν. Η κοσμική ύλη κατανέμεται ομοιόμορφα. Ο ρυθμός διαστολής είναι επίσης ομοιόμορφος.

Η διαστολή ενός Σύμπαντος που παραμένει ομοιογενές και ισότροπο, περιγράφεται από έναν μοναδικό παράγοντα κλίμακας $a(t)$, ο οποίος είναι ανάλογος προς την απόσταση μεταξύ δύο τυπικών σημείων γαλαξιών. Καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται το $a(t)$ αυξάνει με το χρόνο t . Η ακριβής μορφή της συνάρτησης $a(t)$ εξαρτάται από τη δυναμική του Σύμπαντος, η οποία διέπεται από τη βαρύτητα. Με τη χρήση της γενικής σχετικότητας μπορεί να υπολογιστεί το $a(t)$, το αποτέλεσμα θα εξαρτηθεί από την υπόθεση που θα υιοθετηθεί. Αν υποθεθεί ότι τα επικρατούντα βαρυτικά φαινόμενα οφείλονται στους γαλαξίες και το t δεν είναι πάρα πολύ μεγάλο, τότε:

$$a(t) \propto t^{2/3}.$$

Αν η ενέργεια της μάζας του Σύμπαντος κυριαρχούνταν από ακτινοβολία τότε:

$$a(t) \propto t^{1/2}.$$

Και στις δύο περιπτώσεις η αρχική συνθήκη $a(t) = 0$ έχει επιλεγεί για να ανταποκρίνεται σε μια μοναδική πηγή άπειρης συμπίεσης σε $t = 0$.

Ως γνωστόν, το Σύμπαν λούζεται από θερμική ακτινοβολία θερμοκρασίας 3K. Το μέτρο ενός τυπικού μήκους κύματος ακτινοβολίας μεταβάλλεται όπως το $\lambda \propto a(t)$ και συνεπώς η θερμοκρασία της ακτινοβολίας πέφτει καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται $T \propto a^{-1}(t)$.

Η πυκνότητα ρ_γ της ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας καθορίζεται από το νόμο του Stefan $\rho_\gamma = uT^4$ συνεπώς $\rho_\gamma \propto a^{-4}(t)$.

Αντίθετα για την ενεργειακή πυκνότητα της ύλης σε μορφή μάζας $\rho_m \propto a^{-3}(t)$.

Συνεπώς καθώς $a \rightarrow 0$, $\rho_\gamma > \rho_m$.



Το σύμπαν λοιπόν στα πρώτα χρόνια κυριαρχούνταν από ενέργεια ακτινοβολίας. Κάποια χρονική στιγμή t_{equal} συνέβη $\rho_\gamma = \rho_m$. Έχει βρεθεί ότι $t_{\text{equal}} \approx 10^5$ years.

Θεωρώντας τη σχέση $a(t) \propto t^{-1/2}$ για $t < t_{\text{equal}}$ βρίσκουμε: $T \propto 1/t^{1/2}$ Επιπλέον ο ρυθμός διαστολής είναι:

$H \equiv (da/dt)/a \propto 1/t$ ο οποίος αποκλίνει καθώς $t \rightarrow 0$.

Έτσι το Σύμπαν στις πρώτες του στιγμές χαρακτηρίζονταν από τεράστιες θερμοκρασίες και εκρηκτική διαστολή. Εξ αιτίας αυτού καθιερώθηκε ο όρος «μεγάλη έκρηξη».

Η σταθερά αναλογίας στη σχέση $T \propto 1/t^{1/2}$ εξαρτάται από τη λεπτομερή δομή της κοσμολογικής ύλης. Προσεγγιστικά ισχύει: $T \approx 10^{10} \text{K} / t_{\text{sec}}^{1/2}$ (t_{sec} σημαίνει ότι η εποχή πρέπει να εκφραστεί σε δευτερόλεπτα).

Όταν η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή η θερμική ενέργεια μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή σωματιδίου – αντισωματιδίου (όταν $kT \geq 2m_0c^2$). Κοντά στη στιγμή της δημιουργίας υπήρχε αφθονία από όλα τα είδη σωματιδίων και αντισωματιδίων. Η διαστολή του Σύμπαντος σήμανε πτώση της θερμοκρασίας. Τα σωματίδια εκμηδενίζονταν από τα αντισωματίδια χωρίς να ξαναδημιουργηθούν. Παράχθηκε έτσι μία μεγάλη ποσότητα ακτινοβολίας και αυτή είναι η ακτινοβολία που υπάρχει σήμερα με τη μορφή της θερμότητας του κοσμικού υποβάθρου στα 3K.

Η ποσότητα της αντύλης προφανώς δεν θα ήταν ίση με την ποσότητα της ύλης, διαφορετικά δεν θα υπήρχε υπόλοιπη μάζα για να δημιουργηθούν οι γαλαξίες.

Το κοσμολογικό υλικό ξεκίνησε σε μία κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας. Καθώς η διαστολή συνεχιζόταν προέκυψε πτώση των ρυθμών αντίδρασης και δεν μπορούσαν πλέον να συναγωνιστούν το ρυθμό διαστολής. Έτσι π.χ. στην αντίδραση $e^+ + e^- \rightleftharpoons 2\gamma$ αφού η θερμοκρασία έπεσε κάτω από τους 10^{10} K η ενέργεια των φωτονίων δεν επαρκούσε για τη δημιουργία ζευγών e^+ , e^- . Γι' αυτό το αριστερής κατεύθυνσης τόξο αφαιρέθηκε. Ύστερα από ένα σύντομο χρονικό διάστημα απέμεινε μία ελάχιστη ποσότητα ηλεκτρονίων.

Το στατιστικό θεώρημα του Boltzman καθορίζει και τις σχετικές αφθονίες δύο ειδών σωματιδίων στη θερμοδυναμική ισορροπία. Αν δύο καταστάσεις έχουν ενέργειες E_1 και E_2 , η σχετική αφθονία των σωματιδίων χαρακτηρίζεται από τον λόγο:

$$\exp(-E_1/kT)/\exp(-E_2/kT).$$

Αν τα σωματίδια του ενός είδους έχουν μάζα ηρεμίας m_1 ενώ εκείνα ενός άλλου είδους έχουν μάζα ηρεμίας m_2 τότε: $E_1 = m_1c^2$, $E_2 = m_2c^2$ και λαμβάνοντας υπόψη ότι σε ισορροπία τα σωματίδια αυτά δημιουργούνται με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο καταστρέφονται τότε:

$$(\text{αφθονία είδους } m_1) / (\text{αφθονία είδους } m_2) = \exp[(m_2 - m_1)c^2/kT] \geq 1 \text{ εάν } m_2 \geq m_1.$$



Σύμφωνα μ' αυτά ευνοούνται τα σωματίδια μικρότερης μάζας. Για τον λόγο αυτό, το Σύμπαν αποτελείται κυρίως από πρωτόνια, στη μορφή υδρογόνου, καθότι το νετρόνιο είναι ελαφρώς βαρύτερο από το πρωτόνιο⁷⁶.

2.6.3 Το πληθωριστικό Σύμπαν

Σύμφωνα με τη θεωρία του Πληθωριστικού Σύμπαντος (Inflationary Universe) το παρελθόν του Σύμπαντος διαφέρει από το παρελθόν που περιγράφει το καθιερωμένο πρότυπο της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης σε μια πολύ μικρή χρονική περίοδο διάρκειας 10^{-32} s.

Το Σύμπαν που προβλέπει η θεωρία του πληθωριστικού Σύμπαντος είναι τουλάχιστον 10^{26} φορές μεγαλύτερο απ' αυτό που μας δίνει το καθιερωμένο πρότυπο.

Το καθιερωμένο πρότυπο αφήνει αναπάντητα μερικά σοβαρά κοσμολογικά ερωτήματα όπως:

1. *Η ομογένεια του Σύμπαντος.* Στην κλίμακα των εκατοντάδων εκατομμυρίων ετών φωτός η κατανομή των γαλαξιών στο Σύμπαν είναι ομογενής.

Η κοσμική ακτινοβολία των μικροκυμάτων των 3K είναι ισότροπη με σχετική ακρίβεια 1:10000. Το Σύμπαν όμως όχι μόνον δεν όφειλε να είναι ομογενές αλλά είναι και πολύ παράξενο το ότι είναι κι αυτό γιατί στο καθιερωμένο πρότυπο το Σύμπαν εξελίσσεται πάρα πολύ γρήγορα ώστε να μπορεί να επιτευχθεί τέτοια ομοιογένεια. Όπως και η ισοτροπία της κοσμικής ακτινοβολίας δημιουργεί το ερώτημα πώς έγινε και κατά την τελευταία σκέδαση τη χρονική στιγμή $t \approx 500000$ χρόνια οι αντιδιαμετρικές στο σύμπαν περιοχές έτυχε να βρίσκονται στην ίδια ακριβώς θερμοκρασία.

2. *Το ερώτημα γιατί το σύμπαν είναι σχεδόν επίπεδο (almost flat);*

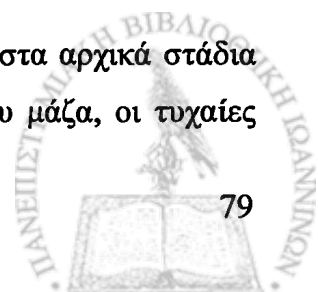
Σύμφωνα με τη γενική θεωρία της Σχετικότητας, η σύγκριση της μέσης πυκνότητας του Σύμπαντος με την κρίσιμη πυκνότητα ($\rho_0 = 5 \times 10^{-30} \text{g/cm}^3$), καθορίζει αν το Σύμπαν είναι κλειστό ή ανοικτό (Αν $\rho > \rho_0$ τότε κλειστό, αν $\rho < \rho_0$ ανοικτό). Η τιμή της παρατηρούμενης πυκνότητας είναι τόσο κοντά στο ρ_0 , ώστε να μη μπορούμε να αποφασίσουμε εύκολα για τη μορφή του Σύμπαντος.

3. *Τα μαγνητικά μονόπολα.*

Οι ενοποιημένες θεωρίες προβλέπουν την ύπαρξή τους. Το καθιερωμένο μοντέλο προβλέπει το σχηματισμό πολλών μονόπολων στα αρχικά στάδια της μεγάλης έκρηξης. Η πρόβλεψη αυτή δεν συμβιβάζεται με τα πειραματικά αποτελέσματα.

4. *Η ομοιότητα των γαλαξιών.*

Στο καθιερωμένο πρότυπο⁷⁷ οι γαλαξίες εξηγούνται ως τυχαίες ανομοιογένειες στα αρχικά στάδια του βασικά ομογενούς Σύμπαντος. Επειδή οι γαλαξίες έχουν την ίδια περίπου μάζα, οι τυχαίες

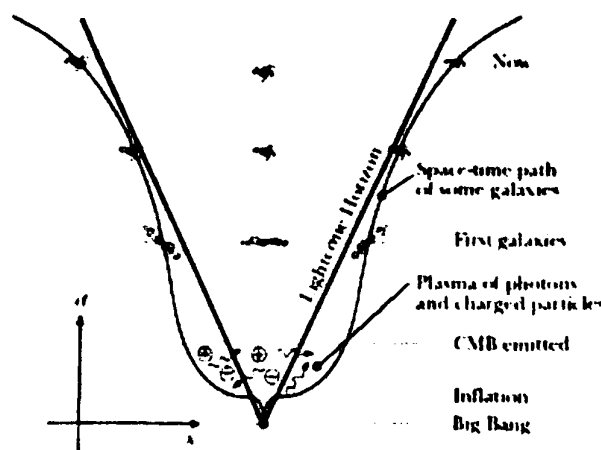
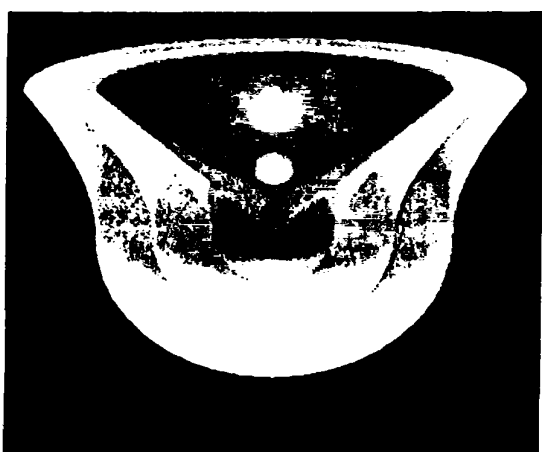


αυτές ανομοιογένειες βρίσκεται ότι θα πρέπει να ήταν ομοιόμορφες με πάρα πολύ μεγάλη ακρίβεια. Η ομοιομορφία αυτή αποτελεί ένα ερώτημα.

2.6.3.1 Η θεωρία του Πληθωριστικού Σύμπαντος

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, κατά τη χρονική στιγμή $t = 10^{-35}s$ από τη Μεγάλη Έκρηξη, όταν η θερμοκρασία ήταν $10^{27}K$, στην οποία η συμμετρία (και ενοποίηση) μεταξύ των ισχυρών αλληλεπιδράσεων από τη μια μεριά με τις ασθενείς και τις ηλεκτρομαγνητικές από την άλλη σπάει, το Σύμπαν υπέστη μια αλλαγή φάσης περίπου σαν τη μετατροπή ενός υγρού σε στερεό. Για το κλειστό Σύμπαν, τη χρονική αυτή στιγμή οι διαστάσεις του ήταν όσο μιας μπάλας ποδοσφαίρου (περίπου 10 cm).

Σύμφωνα με τη θεωρία του Πληθωριστικού Σύμπαντος, προβλέπεται ότι τη χρονική στιγμή $t = 10^{-35}s$ και για $10^{-32}s$ το Σύμπαν πέρασε από την πληθωριστική φάση, κατά την οποία η διαστολή του έγινε με εκθετικό ρυθμό (Εικ. 33). (Το καθιερωμένο πρότυπο προβλέπει «πολυωνυμική» μόνο διαστολή με $R \sim t^{1/2}$ ή $R \sim t^{2/3}$). Το Σύμπαν τροφοδοτούνταν συνεχώς με την ενέργεια που εκλύεται κατά την αλλαγή φάσεων από το σπάσιμο της συμμετρίας μεταξύ των ισχυρών και ασθενών αλληλεπιδράσεων. Από την ενέργεια αυτή προήλθε η ύλη και η ακτινοβολία του Σύμπαντος. Αν και οι διαστάσεις του αυξήθηκαν κατά 20-50 τάξεις μεγέθους, η θερμοκρασία του έπεσε μόνο κατά 5 τάξεις μεγέθους.



Εικόνα 33. Μοντέλο της πληθωριστικής διαστολής του Σύμπαντος.

Το καθιερωμένο και το πληθωριστικό μοντέλο του Σύμπαντος συμπίπτουν στις υποθέσεις τους για την εξέλιξη του από $t = 10^{-30}s$ και δώθε.

Το ορατό Σύμπαν μας φαίνεται σχεδόν επίπεδο, όπως επίπεδο φαίνεται ένα πολύ μικρό τμήμα μιας επιφάνειας σφαίρας⁷⁷.



2.6.4 Οι φάσεις της εξέλιξης

Εν κατακλείδι την εξέλιξη του σύμπαντος από τη χρονική στιγμή 10^{-43} s μέχρι σήμερα μπορούμε να τη χωρίσουμε στις εξής περιόδους⁷⁸:

10^{-43} s - 10^{-32} s *Εποχή των κουάρκ και των γλοιονίων*

Στη φάση αυτή υπήρχε πυκνή συγκέντρωση ύλης και αντιύλης. Η βαρύτητα αποτελούσε χωριστή δύναμη. Υπάρχουν περισσότερα κουάρκ από αντικουάρκ. Πληθωριστική περίοδος (10^{-35} s): ταχεία διαστολή, η ισχυρή δύναμη διαχωρίζεται από την ηλεκτρασθενή.

10^{-32} s - 10^{-6} s. *Εποχή των λεπτονίων*

Τα λεπτόνια διακρίνονται από τα κουάρκ. Τα μποζόνια W^+ , W^- και Z^0 είναι οι φορείς της ασθενούς αλληλεπίδρασης (10^{-32} s).

10^{-6} s - 225s. *Εποχή των νουκλεονίων και των αντινουκλεονίων.*

Τα κουάρκ συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν νουκλεόνια και αντινουκλεόνια. Σε χρόνο $t=10^{-2}$ s η ενέργεια είναι ήδη πολύ χαμηλή για τη δημιουργία ζευγών νουκλεονίου - αντινουκλεονίου.

225s - 10^3 s. *Εποχή της πυρηνοσύνθεσης.*

Ευσταθή δευτερόνια. Η ύλη αποτελείται από 74% H, 25% He, 1% βαρύτερους πυρήνες.

10^3 s - 10^{13} s. *Εποχή των ιόντων.*

Διαστελλόμενο, ψυχόμενο αέριο από ιονισμένο H και He.

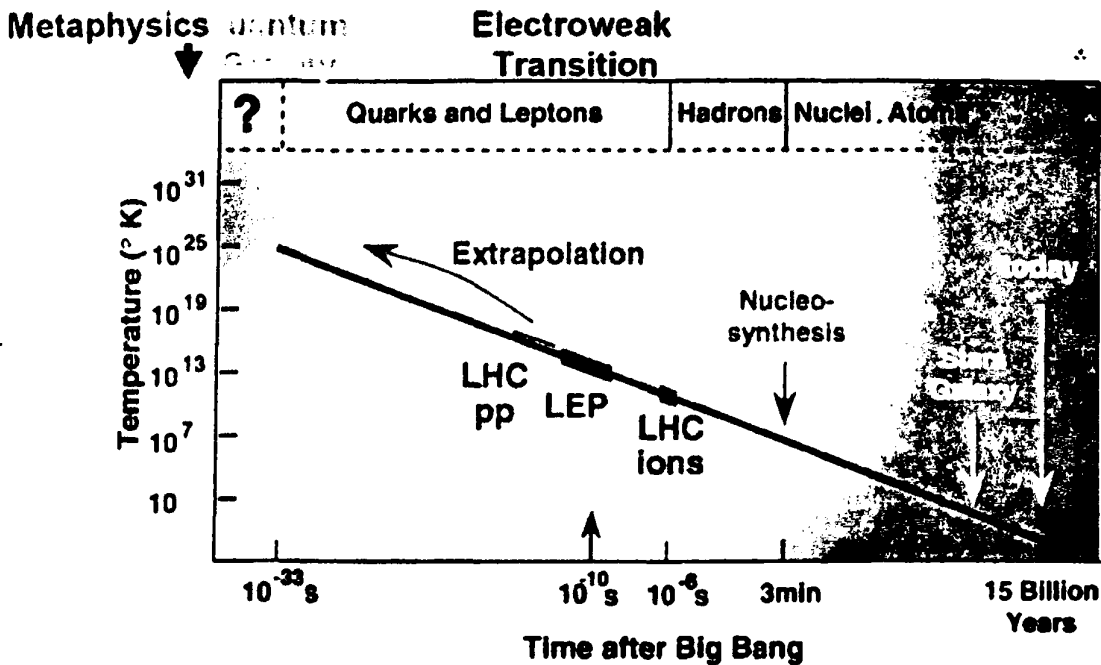
10^{13} s - 10^{15} s. *Εποχή των ατόμων.*

Σχηματίζονται ουδέτερα άτομα που έλκονται μεταξύ τους από τη βαρύτητα. Το σύμπαν είναι διαφανές για το μέγιστο μέρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

10^{15} s - ΣΗΜΕΡΑ. *Εποχή των αστέρων και των γαλαξιών.*

Αρχίζει η θερμοπυρηνική σύντηξη στους αστέρες που οδηγεί στο σχηματισμό βαρύτερων πυρήνων.

Με το διαχωρισμό ύλης και ακτινοβολίας η βαρύτητα επικράτησε κατά την εξέλιξη του σύμπαντος. Διακυμάνσεις στην πυκνότητα είχαν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό γαλαξιών και αστέρων. Το διάγραμμα της εικόνας 34 δείχνει τη μεταβολή της θερμοκρασίας με το χρόνο μετά τη μεγάλη έκρηξη.



Εικόνα 34. Οι φάσεις μετά τη μεγάλη έκρηξη σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία .

2.6.5 Η σκοτεινή ύλη.

Αρκετές ενδείξεις επιβάλλουν την ανάγκη επέκτασης του Καθιερωμένου Προτύπου. Μεταξύ αυτών είναι η ασυμμετρία ύλης και αντιύλης στο Σύμπαν και η σκοτεινή ύλη. Το καθιερωμένο Πρότυπο αδυνατεί να εξηγήσει πώς ένα Σύμπαν αρχικά συμμετρικό ως προς την ύλη και αντιύλη μπορεί να εξελιχθεί στη σημερινή ασύμμετρη κατάσταση, όπου η ύλη υπερέχει της αντιύλης.

Η ύπαρξη της σκοτεινής ύλης συνάγεται από τις αστρονομικές παρατηρήσεις σπειροειδών γαλαξιών σαν το δικό μας. Οι γαλαξίες αυτοί αποτελούν συγκεντρώσεις άστρων και αερίων οι οποίες έχουν σχήμα δίσκων και περιφέρονται γύρω από το κέντρο τους. Ο ρυθμός περιστροφής τους όμως είναι πάρα πολύ γρήγορος για να μπορεί να διατηρηθεί η συνοχή του γαλαξία αν θεωρηθεί ότι αυτός περιέχει μόνο τη μάζα των άστρων και των αερίων που παρατηρούμε. Το ίδιο ισχύει και για τα σμήνη γαλαξιών. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνουμε για την ύπαρξη κάποιου είδους σκοτεινής ύλης, η οποία θα παρέχει την αναγκαία βαρυτική έλξη, ώστε να διατηρείται η συνοχή των γαλαξιών και των σμηνών γαλαξιών. Τίθεται το ερώτημα από τι θα μπορούσε να συνίσταται η σκοτεινή ύλη. Η υπερσυμμετρία μπορεί εν μέρει να δώσει απάντηση στο παραπάνω ερώτημα⁷⁹.



2.6.6 Η σκοτεινή ενέργεια.

Αν η φωτεινή και η σκοτεινή ύλη αποτελούν το 27% της υλικής πραγματικότητας του Σύμπαντος, το 73% αποτελεί η σκοτεινή ενέργεια. Με την ενέργεια αυτή μπορούμε να ερμηνεύσουμε την επιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος. Για την ερμηνεία της χρησιμοποιούμε την κοσμολογική σταθερά του Einstein Λ που πρόσθεσε ο Einstein το 1917 στις εξισώσεις της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας για να δώσει λύση στην υποτιθέμενη τότε στατικότητα του Σύμπαντος (πριν τον Hubble). Η κοσμολογική σταθερά μπορεί να θεωρηθεί ως σταθερή θετική πυκνότητα ενέργειας μάζας, $\rho_\Lambda = \Lambda/8\pi G$ που ενυπάρχει σε ολόκληρο τον χώρο ανεξάρτητα από το αν ο χώρος είναι κενός. Για το λόγο αυτό και αποκαλείται και «Ενέργεια Κενού». Αποτέλεσμα της ενέργειας κενού είναι η άσκηση αρνητικής πίεσης p_Λ . Η σχέση που συνδέει την p_Λ με την ρ_Λ είναι: $p_\Lambda = -\rho_\Lambda c^2$ ⁸⁰.

2.6.7 Συνέπειες της κοσμολογικής σταθεράς στην εξέλιξη του Σύμπαντος

Μέσω της αρνητικής πίεσης που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο μπορούμε με ένα διαφορετικό τρόπο να δούμε τα σενάρια της εξέλιξης του Σύμπαντος. Η πίεση p , όπως και η πυκνότητα $\rho_{ολ}$, αποτελεί πηγή δυνάμεων, τόσο στη Νευτώνεια Μηχανική, όσο και στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας. Εάν η πίεση είναι αρνητική, τότε ασκεί δυνάμεις που επιταχύνουν τη διαστολή. (Με την έννοια αρνητική πίεση εννοούμε ότι καθώς η νοητή σφαίρα διογκώνεται, η ύλη που την περιβάλλει προσφέρει θετικό έργο στην ύλη που βρίσκεται μέσα στη νοητή σφαίρα και έτσι ασκεί επιταχυντικές δυνάμεις προς την κατεύθυνση της ακτινικής ταχύτητας διαστολής). Έτσι αν dR/dt είναι ο ρυθμός αύξησης της ακτίνας R μιας περιοχής (νοητής σφαίρας) εντός του Σύμπαντος και d^2R/dt^2 η επιτάχυνση αυτού του ρυθμού, τότε σύμφωνα με τη γενική θεωρία της σχετικότητας ισχύει:

$$d^2R/dt^2 = - (4\pi/3)G(\rho_{ολ} + 3p/c^2)R.$$

Όταν $p > -(1/3)\rho_{ολ}c^2$ η διαστολή της σφαίρας επιβραδύνεται.

Όταν $p < -(1/3)\rho_{ολ}c^2$, η διαστολή της σφαίρας επιταχύνεται.

Στην πυκνότητα $\rho_{ολ}$, συμβάλλουν όλες οι διάφορες μορφές μάζας, ακτινοβολίας και Ενέργειας Κενού, στην πίεση συνεισφέρει μόνο η αρνητική πίεση της Ενέργειας του Κενού. Οι παρατηρήσεις των υπερκαινοφανών δείχνουν ότι το Σύμπαν έχει περάσει στο στάδιο της επιταχυνόμενης διαστολής εδώ και 7 δισεκατομμύρια χρόνια. Την ίδια χρονική περίοδο έχει αρχίσει να υπερισχύει η πυκνότητα της ενέργειας του Κενού της πυκνότητας μάζας.

2.6.8 Εργαλεία Κοσμολογίας

Η ανίχνευση της ακτινοβολίας από το διάστημα, γίνεται με τη χρήση των τηλεσκοπίων.

Τηλεσκόπια υπάρχουν διαφόρων ειδών (Εικ. 35), όπως:

1 Οπτικά τηλεσκόπια (Διοπτρικά-Κατοπτρικά)

Επιτελούν δύο λειτουργίες: αφενός μεν συλλέγουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αφετέρου σχηματίζουν την εικόνα του παρατηρούμενου αντικειμένου. Τα πρώτα αναπτύχθηκαν από τον Γαλιλαίο και το Νεύτωνα.

2 Τηλεσκόπια στο Υπέρυθρο

Λειτουργούν στο υπέρυθρο. Διακρίνονται σε *τηλεσκόπια εδάφους* και *τηλεσκόπια που δε βρίσκονται στο έδαφος*. (Με τα δεύτερα αποφεύγουμε προβλήματα που προκύπτουν από την υψηλή θερμική εκπομπή της ατμόσφαιρας. Το πρόβλημα εξαφανίζεται αν το τηλεσκόπιο τοποθετηθεί μέσα σε δορυφόρο)

3 Ραδιοτηλεσκόπια.

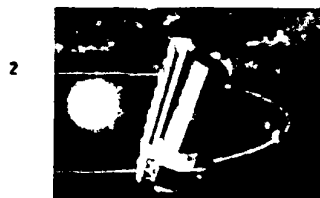
Η ραδιοαστρονομία ξεκίνησε από το 1945 όταν ο Jansky ανίχνευσε ραδιοκύματα από τον Γαλαξία. Ως γνωστό η γήινη ατμόσφαιρα είναι διαφανής για μήκη κύματος από 10mm μέχρι 10m (ραδιοφωνικό παράθυρο).

4 Τηλεσκόπια υπεριώδους (10-300nm) και ακτίνων X (0,01-10nm).

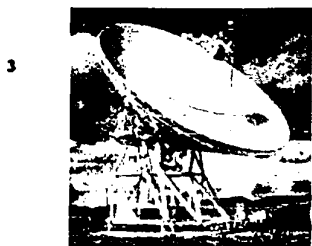
Η ατμόσφαιρα της Γης είναι αδιαφανής σε ακτινοβολία μήκους κύματος μικρότερο από 320-350nm. Επομένως οι παρατηρήσεις στο υπεριώδες, τις ακτίνες X και τις ακτίνες γ γίνονται από όργανα που είτε μεταφέρονται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας με αερόστατα, είτε έξω από την ατμόσφαιρα με πυραύλους και δορυφόρους. ⁸¹



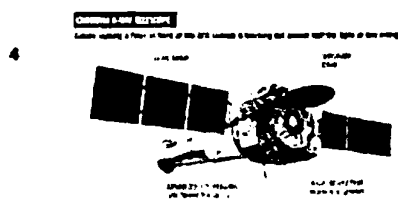
1 Nordic Optical Telescope



2 The Spitzer Space Telescope
(τηλεσκόπιο υπέρυθρου)



3 Ραδιοτηλεσκόπιο στο
Goldstone



4 Το τηλεσκόπιο Ακτίνων X Chandra

Εικόνα 35. Είδη τηλεσκοπίων.



2.7 Μικρόκοσμος-Μακρόκοσμος: Οι δύο όψεις του Σύμπαντος

Η θεώρηση της δομής του κόσμου αναγκαστικά μας παραπέμπει από τη μελέτη της δομής του μικρόκοσμου, στις βασικές αρχές που διέπουν το μακρόκοσμο. Η φυσική του μικρόκοσμου και η Κοσμολογία είναι δύο παράλληλες επιστήμες, παράλληλες ωστόσο που συγκλίνουν⁸².

Ερωτήματα για τις αρχές που καθορίζουν τους κόσμους αυτούς, στην πραγματικότητα δύο όψεις του ίδιου κόσμου, βρίσκουν απάντηση κατά τη μελέτη των σχέσεων που υφίστανται μεταξύ των διαφόρων μεγεθών. Η δομή του σύμπαντος καθορίζεται από τις τιμές που η φύση προσδιόρισε στις θεμελιώδεις σταθερές. *Ο κόσμος μας θα ήταν τελείως διαφορετικός αν η φύση είχε προκρίνει μια διαφορετική σειρά στις τιμές των θεμελιωδών σταθερών*⁸³.

Με την παρούσα εργασία επιχειρήθηκε να δειχθεί στους μαθητές αυτή η σχέση των δύο όψεων του κόσμου. Να δουν τις όψεις αυτές, ως δύο τρόπους θέασης της ίδιας πραγματικότητας, η οποία καθορίζεται από τις 4 αλληλεπιδράσεις. Σε ένα πιο φιλόδοξο πλάνο διδασκαλίας θα πρέπει να γνωρίσουν τον ρόλο των θεμελιωδών σταθερών στη δομή του Σύμπαντος, το οποίο Σύμπαν, οφείλεται σε κάποιες αριθμητικές τιμές που η φύση προσδιόρισε στις θεμελιώδεις σταθερές. Με τη διδασκαλία του καθιερωμένου μοντέλου για τη δομή της ύλης οφείλουμε να δείξουμε ότι το σύμπαν θα ήταν τελείως διαφορετικό αν το φορτίο του ηλεκτρονίου ή η σταθερά της βαρύτητας είχαν διαφορετική τιμή, όσο μικρή κι αν ήταν αυτή η διαφορά.

Το Σύμπαν είναι ομοιόμορφο ως προς την κατανομή της ύλης και της ακτινοβολίας. Η ομοιομορφία αυτή παρουσιάζεται ταυτόχρονα ως ισοτροπία και ομοιογένεια. Τα μεγαλύτερα συστήματα (γαλαξίες και σμήνη γαλαξιών) περιστρέφονται. Η κατάρρευση εξισορροπείται από τις φυγόκεντρες δυνάμεις. Η διαστολή του Σύμπαντος, όπως την είδε ο Edwin Hubble, είναι απροσδόκητα ομοιόμορφη και περιγράφεται ως συνεχής διόγκωση του ίδιου του χώρου. Η κίνηση του συνόλου χαρακτηρίζεται από μία απλή παράμετρο: το ρυθμό με τον οποίο απομακρύνονται δύο τυπικοί γαλαξίες που βρίσκονται σε μια συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους. Αυτή είναι η σταθερά του Hubble: $H=10^{-18}s^{-1}$. Η αντιστροφή της σταθεράς H μας δίνει το χρόνο του Hubble $t_H=H^{-1}=10^{10}$ χρόνια.

Οι ενδογαλαξιακές περιοχές δεν είναι εντελώς άδειες. Σ' αυτές υπάρχει αραιή σκοτεινή ή διαφανής ύλη. Ολόκληρο το διάστημα είναι γεμάτο με θερμική ακτινοβολία 3K περίπου. Η ακτινοβολία αυτή αποτελεί πηγή πληροφοριών για το τι συνέβη στη διάρκεια της κοσμικής διαδρομής της. Η ισοτροπία της αποτελεί σαφή ένδειξη της ομοιομορφίας του Σύμπαντος. Καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται η θερμοκρασία πέφτει. Εντούτοις ο λόγος του αριθμού των θερμικών

φωτονίων προς τον αριθμό των πρωτονίων ή ηλεκτρονίων σε ένα μεγάλο όγκο του διαστήματος διατηρείται αμετάβλητος από την κοσμική διαστολή και είναι $S = 10^9$.

Το μέγεθος του πρωτονίου είναι περίπου 10^{-15} m. Αυτή η απόσταση μετατρέπεται σε μία θεμελιώδη μονάδα χρόνου: Τη διάρκεια που απαιτείται μέχρι το φως να διασχίσει ένα πρωτόνιο. Η ταχύτητα του φωτός είναι η μεγαλύτερη με την οποία μπορούν να ταξιδέψουν οι πληροφορίες. Ο χρόνος ταξιδιού από τη μια ως την άλλη άκρη του πρωτονίου είναι 10^{-24} s. Άρα έχουμε 2 φυσικές κλίμακες χρόνου:

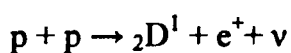
1. Το χρόνο του Hubble $t_H \sim 10^{10}$ χρόνια.

2. Τον πυρηνικό χρόνο $t_N \sim 10^{-24}$ s.

Ο λόγος αυτών των δύο αριθμών είναι 10^{41} .

2.8 Σχόλια σχετικά με τους φυσικούς νόμους και το Σύμπαν

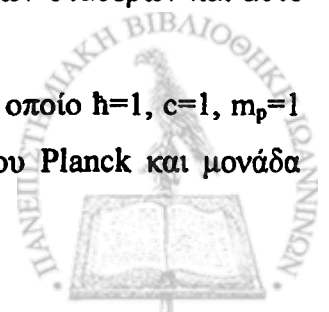
Οι φυσικοί νόμοι έχουν καθοριστικό ρόλο στη δυναμική του Σύμπαντος. Χωρίς αυτούς δεν θα υπήρχαν οι προϋποθέσεις για τη δημιουργία της ζωής. Η ζωή δεν θα μπορούσε να υπάρξει σε ένα Σύμπαν το οποίο καθορίζεται από τους νόμους της κλασικής Μηχανικής. Η μορφή του θα ήταν αυτή μιας άναρχης κίνησης σωματιδίων. Η ενεργειακή κβάντωση προϋποτίθεται για τη δημιουργία σταθερών ατόμων και μορίων. Οι κβαντικοί νόμοι αποτελούν μια αναγκαιότητα για τη δημιουργία ενός κόσμου στον οποίο το φαινόμενο της ζωής θα είναι δυνατό. Όπως π.χ. οι ασθενείς πυρηνικές δυνάμεις: Λόγω της δυνατότητας μετατροπής των νετρονίων σε πρωτόνια έχουμε μία αλυσίδα θερμοπυρηνικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στα άστρα όπως η:



Υπεύθυνες γι' αυτές είναι οι ασθενείς πυρηνικές δυνάμεις, τυπικό παράδειγμα κατά το οποίο αυτές εκδηλώνονται αποτελεί η διάσπαση του νετρονίου: $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$.

Οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις των άστρων μπορούν να γίνουν μόνο χάρη στο συνδυασμό ισχυρών και ασθενών πυρηνικών δυνάμεων. Στη δημιουργία και ύπαρξη του κόσμου συντελούν και οι τέσσερις δυνάμεις. Οι ισχυρές και ασθενείς είναι υπεύθυνες για τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις των άστρων, οι ηλεκτρομαγνητικές για το σχηματισμό των μορίων και των ατόμων και οι βαρυτικές για το σχηματισμό των άστρων και των πλανητών. Η μορφή του κόσμου θα ήταν τελείως διαφορετική αν ήταν άλλες οι τιμές των θεμελιωδών σταθερών και αυτό ενδεικτικά μπορούμε να το δούμε στα κατωτέρω παραδείγματα.

Ας υποθέσουμε κατ' αρχή ένα «φυσικό» σύστημα μονάδων στο οποίο $\hbar=1$, $c=1$, $m_p=1$ (μονάδα ταχύτητας η ταχύτητα του φωτός, μονάδα δράσης η σταθερά του Planck και μονάδα



μάζας η μάζα του πρωτονίου). Αν n είναι ο συνολικός αριθμός των φυσικών παραμέτρων που θεωρούνται θεμελιώδεις το πλήθος αυτών που παραμένουν ελεύθερες ύστερα από τον καθορισμό των μονάδων είναι $N = n - 3$. Μικρές μεταβολές στις τιμές των ελεύθερων θεμελιωδών παραμέτρων θα είχαν ως συνέπεια έναν κόσμο τελείως διαφορετικό. Όπως για παράδειγμα σε ό,τι αφορά τις σωματιδιακές μάζες. Γνωρίζουμε ότι το νετρόνιο είναι ελαφρώς βαρύτερο από το πρωτόνιο έτσι ώστε $m_n - m_p = 1,3\text{MeV}$. Αν ίσχυε $m_p > m_n$ τότε το πρωτόνιο θα ήταν ασταθές σωματίδιο αφού θα ίσχυε $p \rightarrow n + e^+ + \nu$. Τότε στο Σύμπαν δεν θα υπήρχαν σταθερά άτομα υδρογόνου με ό,τι αυτό συνεπάγεται.

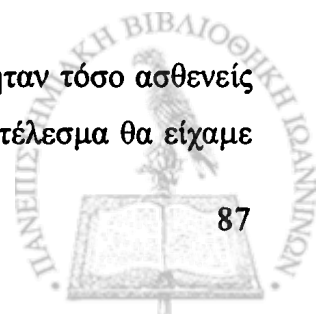
Άλλο παράδειγμα αποτελεί αυτό με τη μάζα του ηλεκτρονίου. Το ηλεκτρόνιο έχει πολύ μικρή μάζα σε σύγκριση με αυτές των άλλων σωματιδίων. Αν υποθέσουμε ότι η μάζα του ηλεκτρονίου ήταν μεγαλύτερη από τη διαφορά μαζών $\Delta m = m_n - m_p$ δηλαδή $m_e > 1,3\text{MeV}$, τότε δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η ασθενής διάσπαση του νετρονίου $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$. Αυτό σημαίνει ότι το ελεύθερο νετρόνιο θα ήταν ευσταθές σωματίδιο όπως και το πρωτόνιο. Τότε η ασθενής αλληλομετατροπή πρωτονίου-νετρονίου θα μπορούσε και πάλι να γίνει στο εσωτερικό των πυρήνων με δαπάνη της εσωτερικής τους ενέργειας (κάτι που γίνεται κατά την αντίδραση $p \rightarrow n + e^+ + \nu$ ενώ αυτή είναι αδύνατη για ελεύθερα πρωτόνια). Όμως αν ίσχυε $m_e > 1,3\text{MeV}$ τότε θα ήταν δυνατή η ασθενής αντίδραση $p + e \rightarrow n + \nu$ η οποία προκύπτει από την $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$. Έτσι ηλεκτρόνια θα συλλαμβάνονταν από πρωτόνια στο άτομο του υδρογόνου με αποτέλεσμα τη μετατροπή τους σε ένα νετρόνιο και ένα νεutrino. Στην περίπτωση αυτή το άτομο του υδρογόνου θα ήταν ασταθές με ό,τι και πάλι αυτό συνεπάγεται για τη μορφή του κόσμου. Βλέπουμε λοιπόν το φαινόμενο της ζωής να εξαρτάται καίρια από τις τιμές των σωματιδιακών μαζών.

Σε παρόμοια συμπεράσματα θα καταλήξουμε κι αν εξετάσουμε τις σταθερές σύζευξης των θεμελιωδών πεδίων. Μία απ' αυτές αποτελεί η σταθερά της λεπτής υφής $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$. Η σταθερά αυτή εκφράζει την ισχύ του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στο φυσικό σύστημα μονάδων. Η ισχύς του πεδίου βαρύτητας χαρακτηρίζεται από τη σταθερά G η οποία έχει διαστάσεις $[G]=[e^2/m^2]$ (Προκύπτει αν συγκρίνουμε το νόμο του Coulomb με το νόμο της έλξης των μαζών). Η φυσική μονάδα μέτρησης για μια ποσότητα που έχει τις διαστάσεις του G είναι $G_0 = \hbar c / m_p^2$. Η ισχύς του πεδίου βαρύτητας (σε φυσικές μονάδες) θα χαρακτηρίζεται από τον αδιάστατο αριθμό: $\alpha_g = G/G_0 = Gm_p^2 / \hbar c = 0,3 \times 10^{-40}$.

Αντ' αυτού θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε το λόγο της βαρυτικής προς την ηλεκτρική έλξη πρωτονίου-ηλεκτρονίου:

$$Gm_p m_e / e^2 = 4 \times 10^{-40}.$$

Οι δυνάμεις βαρύτητας είναι ασθενείς σε αντίθεση με τις ηλεκτρικές. Αν δεν ήταν τόσο ασθενείς τότε η ισχύς τους σε μακροσκοπικό επίπεδο θα ήταν τόσο μεγάλη που ως αποτέλεσμα θα είχαμε



την κατάρρευση της ύλης. Τούτο ερμηνεύεται από το γεγονός ότι οι δυνάμεις βαρύτητας χαρακτηρίζονται από ένα μόνο είδος «φορτίου», τη μάζα, ενώ οι ηλεκτρικές από δύο. Έτσι όσο αυξάνει το ποσό της ύλης αυξάνουν και οι δυνάμεις βαρύτητας, ενώ στις ηλεκτρικές δυνάμεις τα δύο είδη ηλεκτρικού φορτίου μπορούν με την αλληλοεξουδετέρωσή τους να σχηματίσουν ηλεκτρικά ουδέτερη ύλη και το αποτέλεσμα να μην είναι συσσωρευτικό.

Η βαρύτητα γίνεται συγκρίσιμη με τις άλλες δυνάμεις μόνο για μακροσκοπικά μεγάλες μάζες. Τυπική μακροσκοπική μάζα είναι η $m \approx 10^{20} m_p$. Για μια τέτοια μάζα η σταθερά σύζευξης της βαρύτητας θα ήταν:

$\alpha_g(\text{μακροσκοπική}) = Gm^2 / \hbar c = (Gm_p^2 / \hbar c) m^2 / m_p^2 = \alpha_g(\text{μικροσκοπική}) \times 10^{40} \approx 10^{-40} \times 10^{40} = 1$, συγκρίσιμη με τις σταθερές σύζευξης των άλλων δυνάμεων.

Εκ των ανωτέρω συνάγεται ότι για να έχει η βαρύτητα ανεκτές τιμές στο μακρόκοσμο, πρέπει η σταθερά σύζευξής της να είναι τουλάχιστον 40 τάξεις μικρότερη από τις σταθερές σύζευξης των άλλων θεμελιωδών δυνάμεων (θα μπορούσαμε εδώ να πούμε ότι $\alpha_g \approx (10^{-N})^2 = 10^{-2N}$ όπου 10^N είναι αριθμός της τάξης μεγέθους του αριθμού του Avogadro).

Οι ποσότητες \hbar , c και G συνδυαζόμενες μας δίνουν μία θεμελιώδη μονάδα, το μήκος *Planck*:

$$l_p = (G\hbar/c^3)^{1/2} \approx 10^{-35} \text{ m}$$

ή χρόνου, τον χρόνο *Planck*.

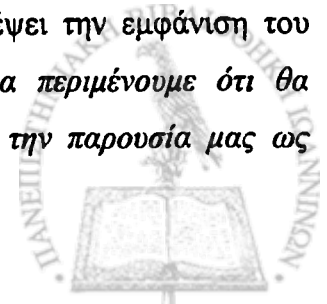
$$t_p = (G\hbar/c^5)^{1/2} \approx 10^{-43} \text{ s.}$$

Ενδιαφέρον είναι ότι αν t_H είναι η ηλικία του Σύμπαντος και t_N είναι ο πυρηνικός χρόνος ισχύει:

$$t_N / t_p \sim 10^{20} = (10^{40})^{1/2} \quad \text{και} \quad t_H / t_N \sim 10^{40} \quad t_H / t_p \sim 10^{60} = (10^{40})^{3/2}$$

Οι συμπτώσεις αυτές δεν είναι μοναδικές. Ο αριθμός των πρωτονίων στο Σύμπαν είναι $N \sim 10^{80} \sim (10^{40})^2$. Ο αριθμός των άστρων σε ένα γαλαξία N_g και ο αριθμός των γαλαξιών στο Σύμπαν N_g είναι: $N_g \sim N_g \sim (10^{40})^{1/4}$.

Η δομή του κόσμου λοιπόν, εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό αριθμητικών τυχαίων συμπτώσεων. Πολλά από τα χαρακτηριστικά του Σύμπαντος καθορίζονται από τις τιμές των θεμελιωδών σταθερών της φύσης. Ο προβληματισμός που προκύπτει από τις επιλογές αυτές της φύσης των συγκεκριμένων τιμών για τις θεμελιώδεις σταθερές είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των λεγόμενων *ανθρωπικών αρχών*, σύμφωνα με τις οποίες η ύπαρξη του φαινομένου τις ζωής επιβάλλει αυστηρούς περιορισμούς στους φυσικούς νόμους, καθώς και στις τιμές των φυσικών σταθερών. Μία παρέκκλιση από τους νόμους αυτούς, μπορεί να αποτρέψει την εμφάνιση του φαινομένου της ζωής. Κατά την αρχή αυτή: «αυτό που μπορούμε να περιμένουμε ότι θα παρατηρήσουμε, πρέπει να περιορίζεται από τις αναγκαίες συνθήκες για την παρουσία μας ως



παρατηρητών» (ασθενής ανθρωπική αρχή) ή «Το Σύμπαν πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε να επιδέχεται τη δημιουργία παρατηρητών μέσα του, σε κάποιο στάδιο» (ισχυρή ανθρωπική αρχή).

Μία τέτοια εκδοχή της ισχυρής ανθρωπικής αρχής αποδίδεται στον Wheeler, ο οποίος ξεκινά τη θεωρία του από το ότι ένα κβαντικό γεγονός συνδέεται με την πράξη της παρατήρησής του, με την εγγραφή του στη συνείδηση του παρατηρητή. Ο παρατηρητής γίνεται αναγκαίος για την ύπαρξη του φαινομένου. Κατά τον Wheeler, εφόσον τα φαινόμενα ενός κβαντικού κόσμου αποκτούν νόημα μόνο με την παρατήρησή τους, ο κόσμος είναι υποχρεωμένος να φτιάξει τα όντα τα οποία θα τον παρατηρήσουν, ώστε έτσι αυτός να υπάρξει. Ένα Σύμπαν φτάνει σ' αυτή την κατάσταση της αυτοπαρατήρησης με τη μέθοδο της δοκιμής και του λάθους. Ένα κλειστό και ταλαντευόμενο Σύμπαν θα δοκιμάσει σε κάθε κύκλο τις διαφορετικές τιμές των φυσικών σταθερών και διαφορετικούς νόμους μέχρι να πετύχει εκείνον τον συνδυασμό ο οποίος θα παραγάγει τους «συνειδητούς» παρατηρητές του. Το Σύμπαν στην οικοδόμησή του διέπεται από αυτή τη φυσική αρχή, την αναγκαιότητα της δημιουργίας των συνειδητών παρατηρητών του⁸⁴.

Η αποδοχή της φιλοσοφίας της ανθρωπικής αρχής σημαίνει αναγκαστικά αποδοχή κάποιας τελεολογίας στους φυσικούς νόμους, εξαιτίας της οποίας η φύση θα στραφεί προς εκείνη την κατεύθυνση όπου τελικά η ύλη θα αποκτήσει συνείδηση της ύπαρξής της. Η μη αποδοχή αυτής της τελεολογικής αρχής, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το σύμπαν στο οποίο ζούμε είναι εκείνο που προέκυψε σ' έναν από τους άπειρους κύκλους του, όπου οι τιμές των φυσικών σταθερών έτυχε να πάρουν τις συγκεκριμένες τιμές. Η ιδέα αυτή όμως μας οδηγεί σε σχεδόν μηδενική πιθανότητα για την εμφάνιση σταθερών με αυτές τις τιμές.

Άλλη άποψη που αντίκειται στην ανθρωπική αρχή είναι αυτή της δημιουργίας όλων των δυνατών συμπάντων που επιτρέπουν οι νόμοι της Φύσης. Ένα από αυτά είναι αυτό στο οποίο ζούμε. Η Φύση, δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο όλα τα δυνατά σύμπαντα, δημιουργεί κι εκείνο, στο οποίο η ύλη θα μπορέσει να φτάσει στην αυτογνωσία. Οι εξελίξεις στο μέλλον ίσως δώσουν ερμηνείες για κάποιες από τις αριθμητικές συμπτώσεις για τις οποίες μιλήσαμε προηγουμένως. Για παράδειγμα, ο λόγος των εντάσεων των δυνάμεων θα μπορούσε να ερμηνευτεί με την ανάπτυξη της Υπερενοποιημένης θεωρίας. Μπορεί τότε να διαπιστώσουμε ότι οι διαδικασίες εκείνες που συντελούνταν στις πρώτες στιγμές της εξέλιξης του Σύμπαντος ίσως καθόρισαν γι' αυτό μία απρόσμενα συμμετρική συμπεριφορά. Τότε, όπως καταλήγει και ο P. C. W. Davies, *Με δεδομένη μια τέτοια μελλοντική επιτυχία στην παροχή φυσιολογικής αιτιολογίας για τον φαινομενικά συμπτωματικό διακανονισμό του κόσμου, η ανθρωπική αρχή θα έχανε οποιαδήποτε ερμηνευτική ισχύ. Παρ' όλα αυτά, είναι εξίσου αξιοπρόσεκτο ότι η βασική φυσική θα βρεθεί οργανωμένη με έναν τρόπο τόσο ευμενή για την ίδια τη ζωή. Ακόμη κι αν αποδειχτεί ότι οι νόμοι της φύσης επιβάλλουν τις συμπτώσεις στο σύμπαν, το γεγονός ότι αυτές οι σχέσεις είναι αναγκαίες για*

την ίδια μας την ύπαρξη, αποτελεί μια από τις πιο συναρπαστικές ανακαλύψεις της σύγχρονης επιστήμης⁸⁵.

11



3. Σχεδιασμός και πραγματοποίηση της Διδακτικής Παρέμβασης

3.1 Προϋποθέσεις για την πραγματοποίηση της διδασκαλίας

Βασικές προϋποθέσεις για τον σχεδιασμό και τη διαμόρφωση της σειράς των πέντε αυτών μαθημάτων υπήρξαν:

1. Η συμφωνία με τον βασικό στόχο.

Θα έπρεπε η ύλη που αναφέρεται σε ένα τόσο ευρύ πεδίο, να παρουσιαστεί σε 5 διδακτικές ώρες. Μέσα από τις παραδόσεις αυτές οι μαθητές θα έπρεπε να αποκτήσουν μία σφαιρική εικόνα, για τη δομή της ύλης όπως αυτή θεωρείται αποδεκτή σήμερα, λαμβάνοντας υπόψη την ιστορική εξέλιξη της διαμόρφωσης των αντιλήψεων αυτών από την αρχαία εποχή μέχρι σήμερα. Η παρουσίαση των διαφορετικών αντιλήψεων, όπως αυτές διαμορφώνονταν με το πέρασμα του χρόνου θα έπρεπε να έχει συνάφεια χωρίς να περιορίζεται σε απλές αναφορές γεγονότων.

2. Διέγερση ενδιαφέροντος.

Η παρουσιάσεις των μαθημάτων θα έπρεπε να διατηρούν ενεργό το ενδιαφέρον των μαθητών, τόσο κατά την παρακολούθηση του θεωρητικού μέρους όσο και με παρεμβάσεις τους σε προσομοιώσεις interactive.

3. Απλοποίηση φυσικών εννοιών.

Το ύφος και η γλώσσα θα έπρεπε να είναι προσαρμοσμένα στο στάδιο αντίληψης μαθητών αυτής της ηλικίας όσο και στο γνωστικό υπόβαθρό τους στο τομέα της Φυσικής.

3.2 Στόχοι της διδασκαλίας.

Με την εισαγωγή της διδασκαλίας του Καθιερωμένου Μοντέλου στη Γ' Γυμνασίου παρέχεται η δυνατότητα στους μαθητές να λάβουν μία ιδέα για ένα χώρο της Επιστήμης, ο οποίος ίσως φαντάζει σ' αυτά απόμακρος και μυθοποιημένος. Τα παιδιά αυτής της ηλικίας, έχουν δεχθεί πολλά ερεθίσματα από την τηλεόραση και τον κινηματογράφο για θέματα που άπτονται της Σύγχρονης Φυσικής. Αρκεί να αναλογιστούμε μόνο, πόσο το Star Wars επηρέασε μια ολόκληρη γενιά. Συχνά τα παιδιά βρίσκονται σε σύγχυση όσον αφορά σχετικά επιστημονικά θέματα. Πολλές

φορές, από την πρώτη ακόμα Γυμνασίου απευθύνουν ερωτήσεις στους διδάσκοντες σχετικά με τις μαύρες τρύπες, το Big Bang, τη θεωρία του Χάους κ.α. Το ζήτημα της απλοποίησης και επεξήγησης εννοιών της Σύγχρονης Φυσικής για τον καθηγητή του Γυμνασίου καθίσταται λοιπόν επιτακτικό. Σίγουρα όμως αποτελεί ένα δύσκολο ζήτημα, καθότι η απλοποίηση εμπεριέχει τον κίνδυνο παραποίησης της αλήθειας. Με τη διδασκαλία του Καθιερωμένου Μοντέλου και των μεθόδων έρευνας και ανίχνευσης των στοιχειωδών σωματίων γίνεται μία πρώτη εξοικείωση των μαθητών με ένα χώρο που εκ πρώτης όψεως δείχνει γι' αυτούς απροσπέλαστος. Η παρουσίαση εννοιών και φαινομένων από το χώρο της Σύγχρονης Φυσικής δεν θα πρέπει να είναι αυθαίρετη και ξεκομμένη από τον υπόλοιπο χώρο της Φυσικής. Στη διάρκεια της διδασκαλίας θα πρέπει να δοθεί έμφαση στη σημασία της έννοιας του μοντέλου ως μιας νοητικής κατασκευής μέσω της οποίας δίνονται λύσεις ή γενικεύσεις σε πειραματικές παρατηρήσεις. Μία μεγάλη δυσκολία για το δάσκαλο της Φυσικής, κυρίως όσον αφορά τη χρήση μοντέλων της Σύγχρονης Φυσικής έγκειται σε τούτο: Πώς, χωρίς να κλονιστεί η εμπιστοσύνη του μαθητή στην πρόοδο και εξέλιξη του επιστημονικού κλάδου, μπορεί να γίνει αποδεκτή η άποψη ότι τα σημερινά μοντέλα αύριο μπορεί να είναι ανεπαρκή, ότι π.χ. μετά από κάποια χρόνια τα κουάρκ μπορεί να θεωρούνται το ίδιο ξεπερασμένα όπως και το «σταφιδόψωμο» του Thomson, τα μοντέλα όμως αυτά θα έχουν μέχρι τότε βοηθήσει την Επιστήμη να κάνει άλματα προς τα μπρος. Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε απαραίτητη για τη διδασκαλία της δομής της ύλης σύμφωνα -με την τρέχουσα επιστημονική άποψη, η παράθεση της ιστορικής εξέλιξης των θεωριών γύρω απ' αυτή.

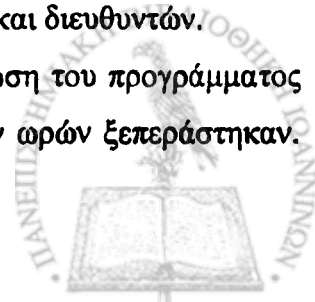
Η χρήση των υπολογιστών, μέσω των οποίων δόθηκε η δυνατότητα, στη διάρκεια αυτών των παραδόσεων, στους μαθητές να χειριστούν προσομοιώσεις μοντέλων και πειραμάτων επιλεγμένες από το διαδίκτυο, αποτελούν αφορμή περαιτέρω εξοικείωσης με αυτούς ώστε να μπορούν στο μέλλον να χειρίζονται παρόμοια θέματα.

3.4 Πλαίσιο Διδασκαλίας

Η σειρά των προτεινόμενων μαθημάτων διδάχθηκε σε δύο σχολεία:

1. Στο Γυμνάσιο Βροσίνας Ιωαννίνων (σύνολο μαθητών Γ' Τάξης 7).
2. Στο Γυμνάσιο της Ιεράς Μονής Δουραχάνης Ιωαννίνων (σύνολο μαθητών Γ' Τάξης 18).

Ο λόγος για τον οποίο επελέγησαν αυτά τα σχολεία ήταν ότι ήταν ήδη γνωστά, λόγω προηγούμενης εργασίας σε αυτά και προσωπικής γνώσης των διδασκόντων και διευθυντών. Έτσι, πρακτικές δυσκολίες που μπορούν να προκύψουν από την αναστάτωση του προγράμματος με την παρεμβολή μιας διδακτικής παρέμβασης τουλάχιστον 6 διδακτικών ωρών ξεπεράστηκαν.



Στο Γυμνάσιο Βροσίνας τα μαθήματα έγιναν σε ώρες που παραχωρήθηκαν από διδάσκοντες διαφόρων ειδικοτήτων. Στο Γυμνάσιο της Ι. Μ. Δουραχάνης οι παραδόσεις έγιναν σε ώρες εκτός σχολικού προγράμματος, κατά τη διάρκεια της απογευματινής μελέτης (οι μαθητές είναι εκεί οικότροφοι).

Τα μαθήματα έπρεπε να γίνουν μέσα στα χρονικά όρια των 5 διδακτικών ωρών ανά κάθε σχολείο. Στο Γυμνάσιο Ι. Μ. Δουραχάνης ο χρονικός περιορισμός ήταν πιο ελαστικός καθώς τα μαθήματα γίνονταν σε ώρες εκτός σχολικού προγράμματος.

Τα μαθήματα διεξήχθησαν μέσα στις αίθουσες υπολογιστών των σχολείων. Οι μαθητές ήταν αρκετά εξοικειωμένοι με τη χρήση των υπολογιστών.

Σε κάθε υπολογιστή αντιστοιχούσε 1 και σε ορισμένες περιπτώσεις 2 μαθητές.

Χρονική περίοδος διεξαγωγής των παραδόσεων ήταν Απρίλιος-Μάϊος 2006. Ο χρόνος αυτός επιλέχθηκε ώστε να έχουν ήδη διδαχθεί οι μαθητές στοιχεία ηλεκτρομαγνητισμού, βασική προϋπόθεση για την κατανόηση των νέων ιδεών.

3.5 Δομή της Διδασκαλίας

Το διδακτέο αντικείμενο χωρίστηκε σε 5 ενότητες, η κάθε ενότητα προορισμένη να παρουσιαστεί σε 1 διδακτική ώρα. Οι ενότητες που σχηματίστηκαν είναι οι ακόλουθες:

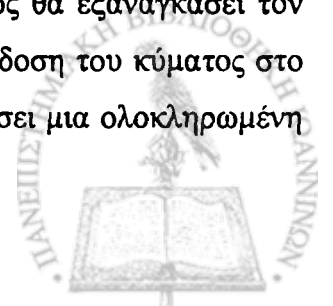
1. Θεωρίες για τη δομή της ύλης.
2. Στοιχεία από την Σχετικότητα και την Κβαντομηχανική.
3. Το Καθιερωμένο Πρότυπο.
4. Κοσμολογία.
5. Επιταχυντές-Ανιχνευτές.

Πριν την έναρξη της διδασκαλίας έγινε συζήτηση με τους μαθητές σχετικά με τις απόψεις τους για τη δομή της ύλης, τα μόρια, τα άτομα κλπ. Όπως προέκυψε, στους περισσότερους ήταν εμπεδωμένες οι έννοιες «άτομο», «πυρήνας», «πρωτόνια», «νετρόνια», «ηλεκτρόνια». Η ιστορική εξέλιξη της ατομικής θεωρίας τους ήταν άγνωστη.

1. Στην πρώτη ενότητα γίνεται αναφορά στις αντιλήψεις για τη δομή της ύλης όπως αυτές σώζονται στους μύθους για την Κοσμογονία αρχαίων λαών (Αιγύπτιοι, Ινδοί, Κινέζοι). Στη συνέχεια η διδασκαλία επικεντρώθηκε στην αρχαία Ελληνική σκέψη, έτσι όπως αυτή εκφράστηκε στη Θεογονία του Ησίοδου και πέρασε στην ανάπτυξη του φιλοσοφικού στοχασμού. Εδώ παρουσιάζονται κατά πρώτον οι απόψεις των Προσωκρατικών. Η φιλοσοφία τους αναζητά την

γενεσιουργό αρχή και την ουσία των όντων. Η πίστη τους στην αυτοδυναμία της ύλης είναι αυτή που χαρακτηρίζει την σκέψη τους ως επιστημονική. Στη διδασκαλία παρατίθενται επιγραμματικά οι απόψεις του Θαλή, Αναξίμανδρου, Αναξίμενη, του Ηράκλειτου και του Παρμενίδη. Ο κύριος λόγος για τον οποίο πρέπει να παρουσιαστούν οι απόψεις αυτές είναι το γεγονός ότι στον ίδιο χώρο και χρόνο μπορούν και συνυπάρχουν διαφορετικές απόψεις-μοντέλα για τη δημιουργία και τη δομή του κόσμου. Σημαντικότερο είναι όμως το γεγονός ότι με τη σύνθεση διαμετρικά αντίθετων απόψεων (βλέπε Ηράκλειτου-Παρμενίδη), γεννώνται νέες θεωρίες όπως αυτές του Εμπεδοκλή, του Αναξαγόρα και των ατομικών. Στη συνέχεια παρατίθενται οι απόψεις του Πλάτωνα, του Αριστοτέλη και του Επίκουρου, οι αντιλήψεις που κυριαρχούσαν τον Μεσαίωνα με την επικράτηση της Αριστοτελικής σκέψης και το πέρασμα στην αφάνεια της ατομικής θεωρίας, καθώς και ο ρόλος των αλχημιστών, που στην προσπάθειά τους για την αναζήτηση της φιλοσοφικής λίθου, έθεσαν τα θεμέλια της επιστήμης της Χημείας. Θεωρήθηκε σημαντικό να γίνει αναφορά στις μεταβολές της επιστημονικής σκέψης κατά την Αναγέννηση, με την εκδήλωση διαφορετικών απόψεων όπως αυτές του Roger Bacon, του Κουζάνου και άλλων, απόψεις επαναστατικές για την εποχή εκείνη, με κόστος μερικές φορές και αυτό της ζωής των στοχαστών (Giordano Bruno). Από τους υποστηρικτές της ατομικής θεωρίας τον 17^ο αιώνα, έγινε αναφορά στον Gassendi και στον Γαλιλαίο ώστε να δοθεί στους μαθητές η ιστορική εξέλιξη της ατομικής θεωρίας, καθώς η προσωπική διδακτική εμπειρία έχει δείξει ότι, η ατομική θεωρία, εκλαμβάνεται από την πλειοψηφία των μαθητών ως μία απλή επινόηση του Dalton, ή μία ξαφνική επαναφορά από το Παρελθόν. Τέλος δείχθηκε το ιστορικό και επιστημονικό υπόβαθρο μιας θεωρίας όπως αυτή εκφράστηκε από τον Dalton και τον Medelejev.

2. Στη δεύτερη ενότητα παρατίθενται στοιχεία από την Κβαντομηχανική και τη Σχετικότητα. Τούτο θεωρήθηκε αναγκαίο καθώς οι δύο αυτοί κλάδοι της Φυσικής απετέλεσαν τη βάση της επιστημονικής σκέψης που οδήγησε στο Καθιερωμένο Πρότυπο. Σ' αυτό που πρέπει να δοθεί έμφαση είναι οι λόγοι που οδήγησαν στην διατύπωση της Κβαντικής Θεωρίας, κι αυτοί δεν ήταν παρά οι ανεπάρκειες της Φυσικής να εξηγήσει ορισμένα φαινόμενα του μικρόκοσμου, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, η ακτινοβολία του μέλανος σώματος, το φαινόμενο Compton. Οι καινούργιες απόψεις, όσο και αν φαίνονται ανατρεπτικές για την εποχή τους, θα πρέπει ναδειχθεί ότι δεν προέκυψαν από το πουθενά. Ήδη, οι δισταγμένες απόψεις για τη φύση του φωτός (κύμα/σωματίδιο), αποτέλεσαν τη βάση για μια μελλοντική σύνθεση αυτών, στο μοντέλο του κυματοσωματιδιακού δυισμού. Η αποδοχή της κυματικής φύσης του φωτός θα εξαναγκάσει τον Maxwell να διατυπώσει τις εξισώσεις του θέλοντας να ερμηνεύσει τη μετάδοση του κύματος στο κενό, και η διατύπωση από τον Planck της θεωρίας των quanta θα αποτελέσει μια ολοκληρωμένη μορφή της θεωρίας του Αριστοτέλη και του Νεύτωνα για το φως.



Για την κατανόηση του προβλήματος που προκύπτει από το ατομικό πρότυπο του Rutherford, έπρεπε να γίνει μία ιδιαίτερη εισαγωγή στους μαθητές αναφορικά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από επιταχυνόμενο ηλεκτρικό φορτίο. Πρόκειται για ένα σημείο στο οποίο η διδασκαλία συνάντησε δυσκολίες καθότι η κυκλική κίνηση δεν διδάσκεται αρκετά στο Γυμνάσιο ώστε να κατέχουν οι μαθητές την έννοια της κεντρομόλου επιτάχυνσης. Προφανώς είναι ένα θέμα που προϋποθέτει γνώσεις Λυκείου αλλά μία σύντομη αναφορά σ' αυτό αρκεί για να γίνει κατανοητή η αδυναμία του προτύπου του Rutherford. Το σημείο τούτο θεωρήθηκε κομβικό στη διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής. Το ατομικό πρότυπο του Bohr υπήρξε ένα άλμα για το ξεπέραςμα της αδυναμίας του Rutherford και αποτελεί μία ευκαιρία προβληματισμού και συζήτησης γύρω από το επιστημολογικό ζήτημα της επιστημονικής επανάστασης. Παρομοίως και ο κυματοσωματιδιακός χαρακτήρας της ύλης όπως διατυπώθηκε από τον De Broglie, μια ιδέα ανατρεπτική για την εποχή της που σηματοδοτεί έναν διαφορετικό τρόπο θέασης του Κόσμου. Οι θεωρίες αυτές μας δείχνουν ότι, όπως μας λέγει ο Κuhn «η μετάβαση από ένα Παράδειγμα σε κρίση σε ένα νέο, απ' όπου θα αναδυθεί μια νέα παράδοση φυσιολογικής έρευνας, είναι κάτι πολύ διαφορετικό από μια συσσωρευτική διαδικασία, μια διαδικασία που επιτυγχάνεται με τη διάρθρωση και την επέκταση του παλιού Παραδείγματος. Πρόκειται μάλλον για μια ανακατασκευή που τροποποιεί ορισμένες από τις πιο στοιχειώδεις θεωρητικές γενικεύσεις του πεδίου, όπως και πολλές από τις μεθόδους και τις εφαρμογές του Παραδείγματος»⁸⁶.

Στην ενότητα αυτή δόθηκε και η αρχή της αβεβαιότητας, ως μία βασική αρχή της Κβαντικής θεωρίας. Η δυσκολία που προκύπτει με την φαινομενικά απλή στη διατύπωσή της αρχή, συνίσταται στο ότι αυτή συνεπάγεται μία άλλη θεώρηση του κόσμου και έρχεται σε αντίθεση με πάγιες για την κίνηση αντιλήψεις της κλασικής μηχανικής. Είναι όμως από τα θέματα που διεγείρουν το ενδιαφέρον και δίνουν λαβή για συζήτηση.

Όσον αφορά το κεφάλαιο της Σχετικότητας, το ζητούμενο στο παρόν διδακτικό σχήμα ήταν να γίνει κατανοητή η ισοδυναμία μάζας και ενέργειας. Η σχέση αυτή δίνεται περιληπτικά, μέσα στο πλαίσιο των αλλαγών που επέφερε η θεωρία της σχετικότητας στις έννοιες χρόνος, ταχύτητα, μάζα ώστε η τελευταία ως μάζα αδρανείας να γίνει πιο κατανοητή⁸⁷.

3. Στην τρίτη ενότητα υπό τον τίτλο «Το καθιερωμένο πρότυπο», έγινε εισαγωγή στον κόσμο των στοιχειωδών σωματίων. Καταρχήν δόθηκε μια ιστορική ανασκόπηση των ανακαλύψεων των σωματιδίων, ξεκινώντας από το ηλεκτρόνιο, όπως αυτό θεωρείται στο μοντέλο του Thomson και φτάνοντας μέχρι τα κουάρκ και λεπτόνια. Το μάθημα αυτό αποτελεί μια αφορμή για να αναπτυχθεί στα παιδιά η έννοια του μοντέλου. Ένα μοντέλο δεν πρέπει ποτέ να το δούμε σαν μια πιστή απόδοση της πραγματικότητας παρά ως μια αναλογία, μια παρομοίωση. Είναι μία ανθρώπινη κατασκευή για την περιγραφή και ερμηνεία φυσικών φαινομένων με βάση κάποιους

θεμελιώδεις νόμους. Αποτελεί έναν οδηγό της σκέψης, ή ακριβέστερα ένα πλαίσιο για μια μαθηματική ερμηνεία ανεξήγητων φαινομένων⁸⁸. Κάθε μοντέλο έχει όρια: τα οποία γίνονται προφανή όταν αυτό παύει πλέον να είναι εφαρμόσιμο. Η συζήτηση αυτή μπορεί να διευρύνει την άποψη των μαθητών για την επιστήμη της Φυσικής, ως ένα ανθρώπινο δημιούργημα που εξελίχθηκε βάσει διαδοχικών μοντέλων που το καθένα έρχεται να εκτοπίσει το προηγούμενό του ως ανεπαρκές.

Στην ενότητα αυτή, έγινε αναφορά στην αντύλη, και στις αλληλεπιδράσεις.

Διασαφηνίσθηκε επίσης ότι η έννοια της αλληλεπίδρασης δεν περιορίζεται μόνο στην έλξη-άπωση αλλά και στην διάσπαση β. Δόθηκε, όσο πιο παραστατικά γίνεται, ο τρόπος με τον οποίο ενεργούν τα σωματίδια-φορείς δύναμης. Έτσι η απωστική δύναμη δόθηκε με το παράδειγμα δύο παιδιών που ευρισκόμενα το καθένα σε μία βάρκα πετούν μπάλα το ένα στο άλλο, η δε ελκτική δύναμη δόθηκε με παρόμοιο παράδειγμα αλλά με την ανταλλαγή μεταξύ τους ενός μπουμεραγκ. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο με τον οποίο έγινε αναφορά στις «γεύσεις» και «χρώματα» των κουάρκ ώστε να νοηθούν ως καθαρά συμβατικές έννοιες οι οποίες απλώς εξυπηρετούν την διάκριση των κουάρκ και γλοιονίων μεταξύ τους.

4. Στην τέταρτη ενότητα παρουσιάσθηκε η συσχέτιση μικρόκοσμου-μακρόκοσμου.

Δόθηκε μια σύντομη παρουσίαση των σχέσεων των αλληλεπιδράσεων των θεμελιωδών σωματιδίων και της πρώιμης ιστορίας του Σύμπαντος. Διερευνώντας στην τάξη για τυχόν προϋπάρχουσα γνώση σχετικά με τη στατικότητα ή μη του Σύμπαντος διαπιστώθηκε ότι οι περισσότεροι μαθητές γνώριζαν για το Big Bang.

Αποδόθηκε η διαστολή του Σύμπαντος με την εικόνα ενός μπαλονιού που φουσκώνει και παρουσιάστηκε η εξέλιξή του η οποία, σύμφωνα με το καθιερωμένο πρότυπο της εξέλιξης του Σύμπαντος, χωρίζεται σε 7 εποχές.

Αυτό που τονίστηκε ιδιαίτερα, είναι η άγνοιά μας για το χρονικό διάστημα των πρώτων 10^{-43} s. Στη συνέχεια δόθηκε το διάγραμμα της εξέλιξης του Σύμπαντος από το οποίο φαίνεται ο διαχωρισμός των δυνάμεων.

Θεωρήθηκε απαραίτητο στην ενότητα αυτή να γίνει αναφορά στη σκοτεινή ύλη, ως μία άλλης μορφής ύλη που θεωρείται ότι υπάρχει στο Σύμπαν. Πρόκειται για τα υποθετικά σωματίδια ύλης, άγνωστης σύνθεσης, που δεν εκλύουν, ούτε αντανακλούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και η παρουσία τους μπορεί να εξηγήσει τις ανωμαλίες στην ταχύτητα των άστρων στις παρυφές των γαλαξιών. Επίσης αναφέρθηκε το μοντέλο του Πληθωρισμού, ως απαραίτητο συμπλήρωμα στη σύγχρονη θεωρία της Κοσμολογίας και η φάση του Πλάσματος. Στο τέλος της διδακτικής ενότητας αναφέρονται τα εργαλεία παρατήρησης του Σύμπαντος (είδη τηλεσκοπίων).



5. Η Πέμπτη ενότητα υπό τον τίτλο «Επιταχυντές – Ανιχνευτές» κρίθηκε αναγκαία να διδαχθεί, αφενός μεν για να απαντήσει στο ερώτημα «πώς τα παρατηρούμε όλα αυτά;», και να διασκεδάσει εσφαλμένες αντιλήψεις σχετικά με την παρατήρηση του μικρόκοσμου (στους περισσότερους μαθητές η παρατήρηση του μικρόκοσμου είναι ταυτισμένη με το μικροσκόπιο), αφετέρου δε για να εισαγάγει τα παιδιά σε ένα τομέα της σύγχρονης τεχνολογίας.

Καταρχήν αναπτύχθηκε το πείραμα του Rutherford, που αποτελεί και την πρώτη πειραματική διάταξη. Το πείραμα αυτό, που συνοδεύεται και από επιλεγμένες από το διαδίκτυο προσομοιώσεις, φάνηκε στα παιδιά λογικό και αποκαλυπτικό, αποτέλεσε δε μια αφορμή για συζήτηση σχετικά με το πώς τα αποτελέσματα ενός πειράματος μπορούν να ανατρέψουν μία θεωρία, ή να την οδηγήσουν αλλού.

Στη συνέχεια τέθηκε το ερώτημα σχετικά με το «πώς βλέπουμε τον κόσμο;», αναφερόμενοι στο γεγονός ότι υπάρχουν ζώα που «βλέπουν» τον κόσμο όχι με τα μάτια τους (π.χ. οι νυχτερίδες). Σε όλες τις περιπτώσεις απαιτείται ένας πομπός κύματος (πηγή), ένα κύμα που θα προσπέσει στο στόχο, και ένας ανιχνευτής που θα συλλάβει το ανακλώμενο από το στόχο κύμα. Ακολούθως έγινε υπενθύμιση κάποιων εννοιών από τα κεφάλαια των κυμάνσεων («τι είναι κύμα»), και της κβαντομηχανικής (αρχή του de Broglie).

Για να τονιστεί η σημασία του μήκους κύματος για τον προσδιορισμό της δομής της ύλης, δόθηκε η κλίμακα των διαφόρων μεγεθών, από τον μικρόκοσμο των κουάρκ, μέχρι το μακρόκοσμο των γαλαξιών. Στη συνέχεια εξηγήθηκε η ανάγκη της χρήσης των επιταχυντών, με τους οποίους είναι δυνατόν να :

- 1) Να φανερωθεί το εσωτερικό των σύνθετων σωματιδίων.
- 2) Να μελετηθούν οι αλληλεπιδράσεις σε μεγαλύτερες ενέργειες, γεγονός που περιλαμβάνει και την δημιουργία σωματίων μεγαλύτερης μάζας.

Εξηγήθηκε ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να δούμε τα πράγματα του μικρόκοσμου, βάζοντας σωματίδια στον επιταχυντή, επιταχύνοντάς τα κοντά στην ταχύτητα του φωτός (μεγάλη ορμή συνεπώς μικρό μήκος κύματος) και ρίχνοντάς τα στο στόχο. Για τη δημιουργία σωματιδίων μεγάλης μάζας, έγινε υπενθύμιση της αρχής ισοδυναμίας μάζας – ενέργειας ($E=mc^2$) αιτιολογώντας έτσι, πώς, όταν φέρουμε σε σύγκρουση δύο σωματίδια με μεγάλη κινητική ενέργεια, τότε δημιουργούνται σωματίδια με μεγάλη μάζα.

Στο κεφάλαιο των επιταχυντών αναφέρθηκαν τα είδη των επιταχυντών (σταθερού στόχου/συγκρουόμενων δεσμών, Γραμμικοί / Σύγχροτρα) και ο τόπος χρήσης τους.

Όσον αφορά τους Ανιχνευτές, μέσα στη σύντομη παρουσίαση δόθηκε η σημασία τους για τη μελέτη των φαινομένων των συγκρούσεων σωματιδίων, τα είδη τους (ανιχνευτές σταθερού στόχου και συγκρουόμενων δεσμών) και σε απλές γραμμές οι αρχές λειτουργίας τους. Στους μαθητές δεν είχε διδαχθεί κίνηση φορτισμένου σωματίου μέσα σε μαγνητικό πεδίο, γι' αυτό θα έπρεπε να γίνει

μια μικρή εισαγωγή, όσον αφορά τη δύναμη Laplace και τις συνέπειές της στην κίνηση του φορτισμένου σωματιδίου.

Δόθηκε και έγινε κατανοητή η σημασία των διαφορετικών στρωμάτων των ανιχνευτικών συστημάτων, όπως αυτά δίνονται στο σχέδιο κάθετης τομής. Τέλος παρατέθηκαν εικόνες από σύγχρονους ανιχνευτές και φωτογραφίες αναπαράστασης γεγονότων με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Βασικός στόχος αυτής της ενότητας ήταν να σχηματισθεί μία άποψη στους μαθητές για τους τρόπους ανίχνευσης των σωματιδίων.

3.6 Γνωστικό υπόβαθρο των μαθητών

Εξετάζοντας την ύλη Φυσικής που μέχρι τότε είχαν διδαχθεί τα παιδιά διαπιστώθηκε ότι:

A) Όσον αφορά το φως έχουν διδαχθεί μόνο γεωμετρική οπτική στη Β' Γυμνασίου. Αναφορά στα φωτόνια γίνεται στο τελευταίο κεφάλαιο της Φυσικής της Β' τάξης υπό τον τίτλο: « η δομή της ύλης» και αυτή η ύλη συνήθως δε προλαβαίνεται να διδαχθεί⁸⁹.

Η διαδικασία με την οποία ένα αντικείμενο γίνεται αντιληπτό είναι γνωστή στα παιδιά.: πηγή φωτός – αντανάκλαση του φωτός στο αντικείμενο – σύλληψη φωτός από ανιχνευτή (μάτι).

B) Τα υποατομικά σωματίδια και το μοντέλο του ατόμου συμπεριλαμβάνονται στη διδακτέα ύλη της Β' Γυμνασίου.

Γ) Όσον αφορά τον ηλεκτρομαγνητισμό ελάχιστα στοιχεία είχαν διδαχθεί. Η διδακτέα ύλη φτάνει μέχρι το κεφάλαιο περί ηλεκτρεγερτικής δύναμης. Με βάση όμως αυτά, είναι δυνατόν να κατανοηθεί η επιταχυνόμενη κίνηση σωματιδίου μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο.

Δ) Σχετικά με τα κύματα, αυτά αποτελούν ένα από τα τρωτά σημεία στο παρόν εγχείρημα. Ενώ η ύλη υπάρχει στο σχολικό βιβλίο της Γ' Γυμνασίου δεν προβλέπεται ως διδακτέα στο αναλυτικό πρόγραμμα⁹⁰ Οι μαθητές τελειώνουν το Γυμνάσιο χωρίς στοιχειώδη γνώση κυματικής θεωρίας. Ως αναγκαία προϋπόθεση για την εκτέλεση του παρόντος προγράμματος κρίθηκε ένα εισαγωγικό μάθημα περί κυμάτων ώστε να μπορεί στοιχειωδώς να γίνεται κατανοητή οποιαδήποτε αναφορά σ' αυτά.

Απαιτείται μία διδακτική αναγωγή στο υπάρχον υπόβαθρο, ώστε το νέο περιεχόμενο διδασκαλίας να προσαρμοστεί στο επίπεδο των μαθητών της Γ' Γυμνασίου. Το νέο γνωστικό αντικείμενο δεν θα έπρεπε να λειτουργήσει ως μία επιπλέον επιβάρυνση στο ήδη φορτωμένο πρόγραμμα, έτσι ώστε να χαθεί το ενδιαφέρον γι' αυτό. Σ' αυτό βοηθά το γεγονός ότι οι ελάχιστοι τύποι που



υπεισέρχονται εκφράζονται από απλές αλλά πολύ σημαντικές από φυσικής άποψης μαθηματικές σχέσεις (π.χ. $\lambda = h/p$, $E = mc^2$)

Το επίπεδο των μαθητών, όπως προέκυψε από τους βαθμούς της ετήσιας επίδοσης χαρακτηρίζεται ως μέτριο: Ο μέσος όρος στη Φυσική είναι 12,16 ο δε μέσος όρος της γενικής βαθμολογίας; είναι: 13,39. Στον πίνακα IV παρατίθενται οι βαθμοί Φυσικής και μέσης ετήσιας επίδοσης.

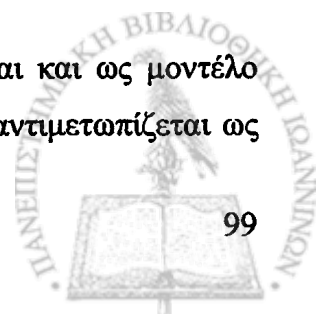
ΠΙΝΑΚΑΣ IV. Βαθμοί μαθητών

Μ.Ο. Φυσικής	Γενικός Βαθμός Ετήσιας Επίδοσης
9	10 11/12
13	9 6/12
16	15 2/12
11	12 2/12
9	11 6/12
10	13 3/12
10	13 2/12
10	12 1/12
15	16 1/12
8	11 3/12
13	12 6/12
14	13 8/12
14	15 10/12
17	17 3/12
9	12 2/12
10	13 5/12
9	12 8/12
14	15 3/12
16	17 1/13
12	13 5/13
16	16 1/13
10	11 9/13
10	11 4/13
17	17 6/13
12	12 12/13
Βαθμοί ετήσιας επίδοσης των μαθητών στη Φυσική και μέσος όρος γενικής ετήσιας επίδοσης	

3.7 Διδακτικές λειτουργίες

Ο τρόπος διδασκαλίας που ακολουθήθηκε ήταν βασικά ο παραδοσιακός με την καινοτομία της χρήσης νέων τεχνολογιών, η οποία έδινε δυνατότητα αυτενέργειας στα παιδιά, μέσω προσομοιώσεων με διαδραστική διαδικασία.

Χρησιμοποιήθηκε το παραδοσιακό μοντέλο διδασκαλίας, το οποίο αναφέρεται και ως μοντέλο μεταφοράς της γνώσης. Σύμφωνα με αυτό, η γνώση των φυσικών επιστημών αντιμετωπίζεται ως



"πακέτο" το οποίο είναι δυνατό να μεταφερθεί από το διδάσκοντα στους μαθητές. Ο διδάσκων δηλαδή θεωρείται κάτοχος ενός συνόλου γνώσεων και δεξιοτήτων, τις οποίες επιχειρεί να μεταφέρει στους μαθητές. Ο λόγος προτίμησης του μοντέλου αυτού υπήρξε ο περιορισμένος χρόνος των πέντε διδακτικών ωρών μέσα στον οποίο θα έπρεπε να μεταδοθεί μία σημαντική ποσότητα νέων γνωστικών αντικειμένων.

Ο χειρισμός των υπολογιστών από τους μαθητές, αποτέλεσε αφορμή για πρακτικές εφαρμογές γνώσεων από το χώρο της πληροφορικής. Η διδασκαλία με τη χρήση των υπολογιστών διήγειρε το ενδιαφέρον, ώστε το μάθημα να ξεκινήσει ευχάριστα.

Για την εκτέλεση του όλου προγράμματος ακολουθήθηκαν όλες οι διδακτικές λειτουργίες όπως Σχεδιασμός Εργασίας, Εκτέλεση, Αξιολόγηση των γεγονότων.

3.8 Διεξαγωγή

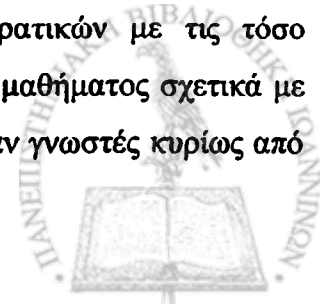
Στους μαθητές έγινε από την αρχή σαφές ότι:

- επρόκειτο να διδαχθούν μία σειρά μαθημάτων εκτός της διδακτέας ύλης και ότι αυτό γινόταν στα πλαίσια μιας μεταπτυχιακής εργασίας.
- η απόδοσή τους στα τεστ αξιολόγησης που θα έγραφαν στο τέλος της κάθε ενότητας, δεν επρόκειτο να έχει καμία επίπτωση στη συνολική τους βαθμολογία αλλά θα παρέμεινε αποκλειστικά προς χρήση του διδάσκοντα.
- επρόκειτο να διδαχθούν ένα θέμα το οποίο μέχρι τώρα θεωρούνταν δύσκολο και κατάλληλο για διδασκαλία μόνο σε ανώτερες τάξεις (στο Λύκειο). Αυτό εκτιμήθηκε ότι διήγειρε περισσότερο την περιέργειά τους.
- Οι προσομοιώσεις που θα χρησιμοποιούσαν, καθώς και άλλες παρόμοιες, μπορούσαν να βρεθούν από τους ίδιους στο διαδίκτυο.

Οι προσομοιώσεις που δόθηκαν, ήταν άλλες προς απλή θέαση και άλλες για αλληλεπίδραση. Προέκυψε έτσι, κάποια φάση του μαθήματος να εμπεριέχει είδος παιχνιδιού, πράγμα που κατέστησε το μάθημα πιο ενδιαφέρον.

Ενότητα 1^η: Οι θεωρίες για τη δομή της ύλης.

Η ενότητα αυτή καταρχήν προκάλεσε έκπληξη καθότι δεν φαινόταν για μάθημα Φυσικής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκάλεσαν οι απόψεις των Προσωκρατικών με τις τόσο διαφορετικές θέσεις τους. Σε μία σύντομη συζήτηση που προηγήθηκε του μαθήματος σχετικά με αρχαίες αντιλήψεις για την ύλη, οι μαθητές εξέθεσαν απόψεις που τους ήταν γνωστές κυρίως από



το μάθημα της Χημείας. Το μάθημα δεν συνοδεύτηκε από προσομοιώσεις, θεωρήθηκε αρκετό να δοθούν οι απόψεις των αρχαίων μέσα από περιληπτικά – επιγραμματικά σχήματα και να αφηθεί κάποιος χρόνος για συζήτηση και προβληματισμό.

Ενότητα 2^η: Στοιχεία από την Κβαντομηχανική και τη Σχετικότητα.

Η ενότητα αυτή ανέδειξε θέματα πρωτόγνωρα για τους μαθητές. Του μαθήματος προηγήθηκε μία εισαγωγή για την έννοια του κύματος. Παρουσιάστηκαν όλες οι αντιλήψεις για τη φύση του φωτός για να γίνει στο τέλος αποδεκτή η θεωρία του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού. Αυτή ήταν και η καινοτομία στο χώρο της φυσικής, όπως συζητήθηκε στη συνέχεια.

Η έμφαση σε κλασικά ανάλογα κρίθηκε απαραίτητη για την αντιμετώπιση δυσκολιών στην κατανόηση της σωματιδιακής φύσης του φωτός⁹¹.

Για τις αδυναμίες του προτύπου του Rutherford, έπρεπε να γίνει μία εισαγωγή στην έννοια της *κεντρομόλου επιτάχυνσης* και την *εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από επιταχυνόμενο ηλεκτρικό φορτίο*.

Το μοντέλο του Bohr δεν συνάντησε δυσκολίες ως προς την κατανόηση, εφόσον προηγουμένως είχε κατανοηθεί η έννοια του φωτονίου.

Ο κυματοσωματιδιακός χαρακτήρας της ύλης και οι απόψεις του de Broglie χαρακτηρίστηκαν από τους μαθητές ως άλλη μεγάλη καινοτομία.

Με την αρχή της αβεβαιότητας επισημάνθηκε ότι ο τρόπος σκέψης της Σύγχρονης Φυσικής είναι τελείως διαφορετικός από αυτόν της Κλασικής Φυσικής. Στη συζήτηση που επακολούθησε εκφράστηκαν ερωτηματικά όπως π.χ. α) *μπορούμε να αντιληφθούμε την αρχή της αβεβαιότητας στην καθημερινή μας ζωή;* β) *αν ένα σωματίδιο το δούμε ως κύμα τότε πού χάνεται η μάζα του;*, ενδεικτικά της δυσκολίας που προκύπτει να θεωρηθεί ο μικρόκοσμος ως ένας κόσμος που λειτουργεί πέρα από τις αρχές της κλασικής Μηχανικής⁹².

Ενότητα 3^η: Το καθιερωμένο Πρότυπο (The Standard Model).

Η ενότητα αυτή ήταν το κεντρικό θέμα της σειράς μαθημάτων. Η χρονική διάρκεια ξεπέρασε την μία διδακτική ώρα (Απαιτούνται τουλάχιστον δύο διδακτικές ώρες).

Η παρουσίαση ξεκίνησε από το μοντέλο του Thomson και στη συνέχεια του Rutherford.

Στην παρουσίαση έγινε μία ιστορική αναφορά στην πορεία των γεγονότων για την έρευνα της δομής του ατόμου από το 1874 μέχρι τις πρόσφατες έρευνες. Δεν υπήρχε λόγος εμμονής σε λεπτομέρειες, που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν απωθητικά για τους μαθητές, απλώς η βούληση ήταν να δειχθεί ότι το καθιερωμένο πρότυπο, στη μορφή που το γνωρίζουμε σήμερα, προέκυψε μετά από μια σειρά συνεχών ανακαλύψεων και υποθέσεων.



Η αντιύλη ήταν ένα από τα ενδιαφέροντα θέματα που παρουσιάστηκαν - όπως φάνηκε από τις αντιδράσεις των μαθητών - μία έννοια σχετικά γνωστή σε αυτούς από τα ντίες επιστημονικής φαντασίας.

Προκειμένου αφηρημένες έννοιες να γίνουν όσο το δυνατόν πιο παραστατικές έγινε χρήση διαφόρων προσομοιώσεων. Έτσι, για παράδειγμα, για την παρουσίαση των κουάρκ και λεπτονίων χρησιμοποιήθηκε η προσομοίωση, όπως δίνεται από το *particle adventure* (ένα πρόγραμμα εκλαΐευσης της Φυσικής Υψηλών Ενεργειών του CERN) των κοινωνικών ελεφάντων (κουάρκ) και των μοναχικών αιλουροειδών (λεπτόνια).⁹³

Με τον πίνακα των σωματιδίων (λεπτονίων - κουάρκ), δόθηκε μία σύνοψη της υποενότητας.

Στην υποενότητα με θέμα τις αλληλεπιδράσεις επιχειρήθηκε να δοθεί, με όσο το δυνατόν απλό τρόπο, το θέμα της μετάδοσης των δυνάμεων με τα σωματίδια φορείς - δύναμης. Επειδή τέτοιες έννοιες είναι δύσκολο να κατακτηθούν από παιδιά αυτής της ηλικίας, χρησιμοποιήθηκε η προσομοίωση με το μηχανικό ανάλογο των βαρκάρηδων, όπως αυτό περιγράφηκε στα προηγούμενα.

Μία σχετική δυσκολία εμφάνισε το θέμα της εναπομένουσας ισχυρής δύναμης και της συμφωνίας της με την θεώρηση των μεσονίων του Yukawa.

Για τα κουάρκ έγινε σαφής ο διαχωρισμός τους σύμφωνα με τις γεύσεις και τα χρώματα. Σχετικά εύκολα ως προς την κατανόηση, μετά την παρουσίαση του μηχανικού μοντέλου των βαρκάρηδων, φάνηκαν να γίνονται και τα γλοιόνια, ως φορείς δύναμης. Η εικόνα αυτή, με την οποία δόθηκε η έννοια της αλληλεπίδρασης, μπορεί να κάνει διαισθητικά αληθοφανές το γεγονός ότι η ανταλλαγή ενός σωματιδίου θα μπορούσε να προκαλέσει απωστικές ή ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των αντικειμένων που το ανταλλάσσουν. Πρόκειται για μια αναλογία η οποία δίνεται με σχετική επιφύλαξη ως προς την εκδοχή να λειτουργήσει εν μέρει παραπλανητικά⁹⁴. Διότι, βασιζόμενος στους νόμους του Νεύτωνα, δεν μπορεί κάποιος να σχηματίσει τη βάση μιας αυστηρής περιγραφής της διαδικασίας η οποία είναι δυνατή μόνο με τη χρήση ειδικής σχετικότητας και κβαντομηχανικής. Αποτελεί όμως ένα αναγκαίο βήμα προς την κατανόηση του φαινομένου.

Η ασθενής αλληλεπίδραση γίνεται σχετικά εύκολα κατανοητή εφόσον χρησιμοποιείται αυτός ο όρος δηλ. αλληλεπίδραση. Ο όρος ασθενής δύναμη που χρησιμοποιείται συνήθως, μάλλον δημιουργεί σύγχυση καθότι η έννοια της δύναμης ταυτίζεται στην κοινή αντίληψη με έλξεις ή απώσεις. Η έννοια της διάσπασης των θεμελιωδών σωματιδίων δημιουργεί μία άλλη σύγχυση επίσης, διότι, κατά την κοινή αντίληψη, η διάσπαση προϋποθέτει σύνθεση από μικρότερα μέρη τα οποία βρίσκονται ενωμένα μεταξύ τους και κάποια στιγμή απελευθερώνονται. Εδώ δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην έννοια της διάσπασης αυτής, ως μίας μετατροπής του σωματιδίου σε άλλα σωματίδια



Η έννοια της βαρύτητας είναι από αυτές που γίνονται εύκολα κατανοητές από το κεφάλαιο της Μηχανικής. Η έννοια του βαρυτονίου αποτελεί κάτι καινούργιο, προφανώς δυσκολοκατανόητο. Η παράσταση της ανταλλαγής σωματιδίων-φορέων μεταξύ σωματιδίων του μικρόκοσμου μπορεί να νοηθεί πιο εύκολα. Όταν πρόκειται όμως για δυνάμεις που γίνονται αντιληπτές στο μακρόκοσμο τότε ευλόγως το μοντέλο δεν μπορεί να γίνει εύκολα αποδεκτό. Η έννοια αυτή ίσως αποτελεί και ένα από τα δυσκολότερα σημεία στη διδασκαλία του παρόντος κεφαλαίου, τόσο όσον αφορά το επίπεδο αφαιρετικής ικανότητας των μαθητών, όσο και αυτή των ενηλίκων, για μια φανταστική παράσταση ενός κόσμου που θα πλέει σε μια θάλασσα βαρυτονίων.

Η έννοια της εξαϋλωσης σε οποιοδήποτε επίπεδο κι αν διδαχθεί δεν παύει να είναι συναρπαστική. Για τα παιδιά αυτής της ηλικίας στα οποία το μυστηριώδες και φανταστικό πάντα διεγείρει το ενδιαφέρον, η έννοια αυτή έρχεται να συμπληρώσει και ερμηνεύσει παραστάσεις που μπορεί να έχουν αποκομίσει από έργα επιστημονικής φαντασίας.

Η ενότητα δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς τη διατύπωση κάποιων καίριων ερωτημάτων: *Είναι το καθιερωμένο μοντέλο η τελική απάντηση για τη δομή της ύλης; Αυτά που λέμε σήμερα περιγράφοντας την δομή της ύλης θα ισχύουν μετά από κάποια χρόνια; Κι αν δεν ισχύουν αυτό σημαίνει ότι όλα αυτά που λέμε είναι άχρηστα; Πώς είμαστε σίγουροι ότι τα κουάρκ δεν αποτελούνται από άλλα μικρότερα σωματίδια;*

Οι ερωτήσεις αυτές προκαλούν το ενδιαφέρον και δίνουν αφορμή για συζήτηση. Το θέμα αυτό χρήζει ιδιαίτερης προσοχής ώστε να προλάβουμε σχετικιστική διολίσθηση, και το καθιερωμένο μοντέλο να νοηθεί ως ένα σκαλοπάτι προς τα άνω στην πορεία της επιστημονικής σκέψης. Η αναφορά στον Αριστοτέλη αποτελεί ένα καλό παράδειγμα. Η «εσφαλμένη» του θεωρία που διδάσκονταν επί αιώνες δεν εμπόδισε την εξέλιξη και πρόοδο της επιστημονικής σκέψης.

Ενότητα 4^η: Κοσμολογία-Πώς προήλθε ο κόσμος.

Η παρουσίαση της ενότητας αυτής κρίθηκε ως απαραίτητο συμπλήρωμα της προηγούμενης. Κάποτε ο κόσμος αποτελούνταν μόνο από τα στοιχειώδη σωματίδια και αυτό συνέβη κατά αρχική εξέλιξή του. Μέσω της ενότητας αυτής δίνεται το πέρασμα από το μικρόκοσμο στο μακρόκοσμο. Γίνεται έτσι κατανοητή η σχέση μεταξύ των δύο αυτών κόσμων, ώστε για τους μαθητές ο μικρόκοσμος να μην αποτελεί έναν κόσμο που ανήκει στο χώρο της φαντασίας και μόνο.

Η εισαγωγή στο μάθημα γίνεται με τη διαστολή του Σύμπαντος και το νόμο του Hubble, ώστε με δεδομένο την ισχύουσα πραγματικότητα της διαστολής να θεωρηθεί πιο λογικοφανής η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης. Για να γίνει αντιληπτός ο τρόπος διαστολής

χρησιμοποιούμε το παράδειγμα του μπαλονιού που φουσκώνει. Όσο το μπαλόνι φουσκώνει τόσο πιο γρήγορα απομακρύνονται το ένα από το άλλο διάφορα σημεία στην επιφάνεια του μπαλονιού.

Το καθιερωμένο μοντέλο για την εξέλιξη του Σύμπαντος παρουσιάζεται σε επτά εποχές:

1. Εποχή των κουάρκ και γλοιονίων (10^{-43} s - 10^{-35} s)
2. Εποχή των λεπτονίων (10^{-32} s - 10^{-6} s)
3. Εποχή των νουκλεονίων και αντινουκλεονίων (10^{-6} s - 225s)
4. Εποχή της πυρηνοσύνθεσης (225s - 10^3 s)
5. Εποχή των ιόντων (10^3 s - 10^{13} s)
6. Εποχή των ατόμων (10^{13} s - 10^{15} s)
7. Εποχή των αστερών και των γαλαξιών (10^{15} s - σήμερα).

Έννοιες που αφορούν τα συμβάντα της κάθε εποχής είναι στους μαθητές γνωστές από τις προηγούμενες ενότητες, έτσι δεν αντιμετώπισαν ιδιαίτερες δυσκολίες στην κατανόηση των φαινομένων, αποτέλεσε δε η ενότητα αυτή κατά κάποιον τρόπο μια εφαρμογή των γνώσεων αυτών. Δυσκολίες όμως, όπως φάνηκε από τη συζήτηση που επακολούθησε, υπήρξαν ως προς την κατανόηση των χρονικών υποδιαιρέσεων και περιόδων. Άλλη δυσκολία επίσης είχαν με την έννοια της διαστολής του χώρου.

«Ο χώρος λογικά είναι απέραντος, πώς είναι δυνατόν να διαστέλλεται;» (Ερώτηση μαθητών).

Όσον αφορά τα διαγράμματα που δίνονται, τα οποία παριστούν την εξέλιξη του Σύμπαντος, αυτά βοηθούν από τη μια στο διαχωρισμό των διαφόρων σταδίων, προκαλούν δυσχέρειες όμως όσον αφορά την αντίληψη των μικρών χρονικών υποδιαιρέσεων και αυτό συνιστά ένα επιπλέον θέμα το οποίο θα πρέπει να διαλευκάνει ο διδάσκων.

Συμπληρωματικά γίνεται αναφορά στο μοντέλο του Πληθωρισμού και στη φάση του Πλάσματος, έννοιες οι οποίες απαντώνται συχνά στο χώρο της Κοσμολογίας, αλλά πιθανόν δεν είναι απαραίτητες σε μία εισαγωγή αυτού του επιπέδου.

Στο τέλος της ενότητας αυτής, αφού έγινε αναφορά στα ηλιακά νετρίνα, ως ένα νέο μέσο με το οποίο μπορούμε και βλέπουμε το εσωτερικό των άστρων, παρουσιάστηκε ο τρόπος με τον οποίο αποκτάται η γνώση για τον κόσμο (ανίχνευση της ακτινοβολίας, συγκέντρωση δεδομένων, τελική ανάλυσή τους) καθώς και τα είδη των τηλεσκοπίων που υπάρχουν σήμερα.

Ενότητα 5^η: Επιταχυντές, Ανιχνευτές.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάστηκαν οι τρόποι με τους οποίους γίνεται γνωστός ο μικρόκοσμος. Δόθηκαν οι βασικές αρχές λειτουργίας των επιταχυντών και ανιχνευτών, ξεκινώντας από τα πρώτα πειράματα που έγιναν αρχές του 20^{ου} αιώνα (πείραμα του Rutherford, 1909) και φτάνοντας μέχρι τα πειράματα που γίνονται σήμερα.



Το πείραμα του Rutherford είναι εύκολο στη κατανόηση και μέσω αυτού αντιλαμβάνεται κανείς την ανάγκη βομβαρδισμού με σωματίδια, προς εξερεύνηση της δομής της ύλης. Έγινε κατανοητό λοιπόν, ότι ο τρόπος για να μελετηθεί κάτι, είναι σ' αυτό το κάτι (στόχος) να προσπέσει μια ακτινοβολία-δέσμη σωματίων από κάποια πηγή και η ακτινοβολία αυτή, αφού αλληλεπιδράσει, τα προϊόντα της αλληλεπίδρασης να προσπέσουν σε έναν ανιχνευτή. Η ακτινοβολία αυτή, μπορεί να είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φως), μπορεί να είναι υπέρηχοι (παράδειγμα νυχτερίδας), μπορεί να είναι και σωματιδιακή.

Αναφέρθηκε ότι σύμφωνα με τον de Broglie, ένα σωματίδιο μάζας m που κινείται με ταχύτητα v μπορεί να θεωρηθεί ως κύμα με μήκος κύματος λ , όπου $\lambda = h/mv$. Μπορούμε λοιπόν έτσι να πετύχουμε μικρό μήκος κύματος, δηλαδή μεγάλη συχνότητα-ενέργεια αυξάνοντας την ταχύτητα των σωματιδίων. Αυτό το πετυχαίνουμε με τους επιταχυντές, εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούμε για να δούμε στο εσωτερικό των ατόμων. Αυτή είναι η μία βασική λειτουργία των επιταχυντών. Με την μεγαλύτερη ταχύτητα-ενέργεια των αλληλεπιδρώντων σωματίων είναι δυνατή η δημιουργία σωματιδίων μεγαλύτερης μάζας-ενέργειας με σκοπό τη μελέτη τους. Για να κατανοήσουμε αυτό θα πρέπει από τα προηγούμενα να θυμηθούμε τη σχέση $E = mc^2$ του Einstein (ισοδυναμία μάζας - ενέργειας). Δύο μικρά σωματίδια, συγκρουόμενα με πολύ μεγάλη κινητική ενέργεια, μπορούν να μας δώσουν μία πληθώρα άλλων σωματιδίων. Από τη στιγμή που οι μαθητές έχουν κατανοήσει τις βασικές αρχές που δίνονται από τους δύο παραπάνω τύπους ($\lambda = h/mv$ και $E = mc^2$) μπορούν να κατανοήσουν τη χρησιμότητα των επιταχυντών, καθώς επίσης και τους ρόλους των διαφόρων ειδών τους).

Στους μαθητές εξηγήθηκε η επιταχυνόμενη κίνηση φορτισμένου σωματιδίου μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο. Η έννοια του ηλεκτρικού πεδίου συνδέθηκε με τις έννοιες της ανόδου και καθόδου καθώς και με αυτήν της τάσης. Στο πλαίσιο αυτό αναλύθηκε και η έννοια του eV ως μονάδας ενέργειας.

Με την προσομοίωση της «αρκούδας στη σπηλιά» επιχειρήθηκε να εξηγηθεί η σχέση ανάμεσα στο μέγεθος του στόχου, τη δομή του οποίου θέλουμε να ερευνήσουμε, και στο μέγεθος των σωματιδίων με τα οποία βομβαρδίζουμε τον στόχο.

Από τα παραδείγματα που παραθέσαμε στην ερώτηση για το πώς «βλέπουμε», έγινε κατανοητή η σημασία των ανιχνευτών ως των συσκευών εκείνων στις οποίες συλλαμβάνονται τα ανακλώμενα κύματα-παραγόμενα σωματίδια, με ό,τι πληροφορίες αυτά κουβαλούν μαζί τους. Έτσι εδώ οι ανιχνευτές παρουσιάστηκαν ως οι συσκευές εκείνες οι οποίες καταγράφουν το τι συμβαίνει κατά τις συγκρούσεις των σωματιδίων. Η μορφή που θα πρέπει να έχουν οι συσκευές αυτές έχει να κάνει με το είδος του πειράματος. Στα πειράματα σταθερού στόχου οι ανιχνευτές έχουν σχήμα κωνικό διότι τα περισσότερα παραγόμενα σωματίδια έχουν την κατεύθυνση της δέσμης. Στα πειράματα συγκρουόμενων δεσμών, τα σωματίδια που θα παραχθούν φεύγουν προς

όλες τις κατευθύνσεις. Λογικό θα ήταν ο ανιχνευτής να έχει σχήμα σφαιρικό, πρακτικοί όμως λόγοι μας αναγκάζουν σε κατασκευή ανιχνευτή κυλινδρικής μορφής.

Όσον αφορά τη δομή του ανιχνευτή, σε ένα σχήμα που παριστάνει την κάθετη τομή του δείχνονται τα διαδοχικά στρώματα από τα οποία αυτός αποτελείται και τις ιδιότητες που το κάθε τμήμα εξετάζει. Μία από τις αδυναμίες που η διδασκαλία αυτής της παραγράφου εμπεριέχει είναι η άγνοια των μαθητών σχετικά με την κίνηση φορτισμένου σωματιδίου μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Στα σχήματα που ακολουθούν δείχτηκαν αναπαραστάσεις συσκευών ανιχνευτών από γνωστά παγκοσμίως παλαιότερα και σύγχρονα πειράματα, καθώς και εικόνες από αναπαραστάσεις των γεγονότων με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Με τις εικόνες αυτές έκλεισε και η τελευταία ενότητα της διδακτικής παρέμβασης.

Με το τέλος της παράδοσης προέκυψαν και κάποια ερωτήματα όπως:

1) Γιατί πρέπει οπωσδήποτε να επιδιώκουμε μικρό μήκος κύματος για να «δούμε» τη δομή των ατόμων; 2) Πώς μπορούμε και επιταχύνουμε τα σωματίδια;

Η απάντηση δόθηκε με τις δύο προσομοιώσεις που υπάρχουν στο διαδίκτυο, καθώς και από προσομοίωση δικής μας επινόησης (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.). Οι κύριες πηγές από τις οποίες λήφθηκε το υλικό για προσομοιώσεις και εικόνες δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.

Σε μια υποτιθέμενη κατ' οίκον εργασία, οι μαθητές οφείλουν, καταφεύγοντας στο διαδίκτυο, να μάθουν που βρίσκονται σήμερα ανά τον κόσμο οι μεγαλύτεροι επιταχυντές και ανιχνευτές και η πρόοδος της φυσικής της δομής της ύλης.



4.Διερεύνηση Κατανόησης του Διδακτικού Αντικειμένου

4.1 Μέθοδοι - Τρόποι Διερεύνησης.

Η διδακτική παρέμβαση αξιολογήθηκε , ώστε να δοθεί απάντηση στο ερώτημα αν η διδασκαλία στοιχείων Σύγχρονης Φυσικής και Φυσικής της δομής της ύλης ενδείκνυται να διδαχθεί στην ηλικία των 14-15 ετών. Ως κριτήρια στην αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκαν:

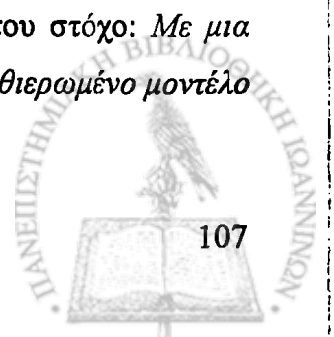
- Η παρατήρηση του τρόπου με τον οποίο το διδακτέο αντικείμενο έγινε δεκτό από τους μαθητές
- Οι ερωτήσεις αξιολόγησης.
- Το ερωτηματολόγιο διερεύνησης κοινωνικών-προσωπικών παραμέτρων και στάσης απέναντι στο μάθημα καθώς και οι συζητήσεις με τους μαθητές που επακολούθησαν.

4.1.2 Έλεγχος για προϋπάρχουσα γνώση

Από έλεγχο που προηγήθηκε σχετικά με τις γνώσεις των μαθητών γύρω από τα στοιχειώδη σωμάτια, καθώς και σχετικά με τη μέχρι τότε διδαχθείσα ύλη, προέκυψε ότι αυτοί ήταν εξοικειωμένοι με έννοιες του μικρόκοσμου όπως πρωτόνια, νετρόνια, ηλεκτρόνια και φωτόνια (γνωστές, τόσο από το προηγούμενο έτος όσο και από το μάθημα της Χημείας).

4.1.3 Τα ερωτηματολόγια

Μέσα από τα ερωτηματολόγια επιχειρήθηκε να εκτιμηθεί το ενδιαφέρον των μαθητών για τα θέματα που αναπτύχθηκαν, ο βαθμός δυσκολίας που είχαν στην κατανόησή τους, να αξιολογηθεί επίσης εάν το εγχείρημά μπόρεσε να ανταποκριθεί στο βασικό του στόχο: *Με μια σειρά μαθημάτων πέντε διδακτικών ωρών να δοθεί μία σφαιρική εικόνα για το καθιερωμένο μοντέλο και τους τρόπους με τους οποίους το μελετούμε.*



Τα ερωτηματολόγια μπορούσαν να είναι και ανώνυμα, αλλά εφόσον δόθηκε η διαβεβαίωση ότι τα αποτελέσματα των απαντήσεων δεν επρόκειτο να επηρεάσουν την βαθμολογία του μαθήματος της Φυσικής, τα περισσότερα παιδιά προτίμησαν να απαντήσουν επώνυμα. Οι ερωτήσεις ήταν ως επί το πλείστον ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, ώστε να μπορεί να γίνει η εξέταση εντός των χρονικών ορίων της διδακτικής ώρας. Οι μαθητές δέχτηκαν τα ερωτηματολόγια ευχαρίστως και προσπάθησαν να απαντήσουν σε όλες σχεδόν τις ερωτήσεις. Στο τέλος δόθηκαν και ερωτήσεις διερεύνησης κοινωνικών-προσωπικών παραμέτρων και στάσης απέναντι στο μάθημα, μέσω των οποίων διερευνάται το ενδιαφέρον που προκάλεσαν τα μαθήματα καθώς και οι δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι μαθητές.

4.2 Παρατηρήσεις κατά τη διεξαγωγή του μαθήματος.

Η αξιολόγηση με βάση τον τρόπο που οι μαθητές δέχονται το καινούργιο μάθημα και συμμετέχουν σ' αυτό, σαφώς και δεν μπορεί να αποτελεί μια αντικειμενική μέθοδο καθότι στηρίζεται στις υποκειμενικές εκτιμήσεις του δασκάλου και στη συνολική εντύπωση που αποκομίζει προς το τέλος της διδασκαλίας. Στη προκειμένη περίπτωση δεν έγινε χρήση κάποιου αντικειμενικού παρατηρητή, δηλ. ηχογράφηση ή βιντεοσκόπηση, ώστε να μη διαταραχθεί το κλίμα της αίθουσας αλλά και να μη αποθαρρυνθούν οι αδύναμοι μαθητές να θέσουν ερωτήσεις. Κριτήρια για τη δεκτικότητα ή μη από μέρους των μαθητών, του νέου γνωστικού αντικειμένου ήταν:

- Η προθυμία συμμετοχής
- Η προθυμία να απαντήσουν σε ερωτήματα που προέκυπταν στη πορεία της διδασκαλίας.
- Το ενδιαφέρον για τη χρήση των interactive μικρών βιντεο-παιχνιδιών που τους δόθηκαν

Σ' όλα αυτά η ανταπόκριση υπήρξε ιδιαίτερα θετική, όπως παρατίθεται στη συνέχεια.

I. Υπήρξε ενεργός συμμετοχή κατά τη διάρκεια όλων των μαθημάτων είτε αυτά γινόταν εντός του σχολικού προγράμματος (Γυμνάσιο Βροσύνας) είτε εκτός (Γυμνάσιο Δουραχάνης). Ερμηνεύτηκε η εν λόγω προθυμία ως ανταπόκριση σε μία νέα διδασκαλία, τόσο ως προς το αντικείμενο, όσο και ως προς τον τρόπο διεξαγωγής της. Το μάθημα δεν επηρεαζόταν από το άγχος της αξιολόγησης και χαρακτηριζόταν από αυτενέργεια των μαθητών. Οι περισσότεροι μαθητές έθεταν διευκρινιστικές ερωτήσεις ή και ερωτήσεις οι οποίες ξέφευγαν από το περιεχόμενο του μαθήματος. Κάποια θέματα προκάλεσαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον όπως π.χ. αυτά της αντιύλης και της Κοσμολογίας όπου οι μαθητές ήθελαν να εκφράσουν τις απόψεις τους γύρω από πράγματα που είχαν ακούσει ή διαβάσει.



II. Σε ερωτήματα που μερικές φορές τέθηκαν από τον διδάσκοντα και είχαν σχέση είτε με προηγούμενη διδαχθείσα ύλη, είτε με την παρούσα, υπήρξε ιδιαίτερη προθυμία από μερικούς να απαντήσουν.

III. Η χρήση των υπολογιστών για την εκτέλεση των προσομοιώσεων δεν προκάλεσε κανένα πρόβλημα, τα παιδιά αυτής της ηλικίας είναι εξοικειωμένα. Αντιθέτως αυτή αποτέλεσε και το πιο ενδιαφέρον μέρος της όλης διδασκαλίας σε σημείο ώστε μερικές φορές να αναγκάζεται ο διδάσκων να τους διακόψει κάπως απότομα για να συνεχιστεί η παράδοση. Τυχόν δυσκολίες που μπορεί να προέκυψαν σε μερικούς, λύθηκαν από τους συμμαθητές τους. Οι εικόνες και παραστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν, αποδείχθηκαν αρκετά επεξηγηματικές. Δυσκολίες υπήρξαν στην κατανόηση της λειτουργίας των ανιχνευτών. Αυτές οφείλονται εν μέρει στην έλλειψη κάποιων βασικών γνώσεων από διάφορους τομείς της φυσικής (π.χ. ηλεκτρομαγνητισμός: κίνηση φορτισμένου σωματιδίου σε μαγνητικό πεδίο).

Στην τάξη επικράτησε μία ατμόσφαιρα συνεργασίας και συγκέντρωσης πάνω στο γέο αντικείμενο διδασκαλίας. Η σειρά μαθημάτων έγινε από τους μαθητές δεκτή ως κάτι το νέο και γι' αυτό το ενδιαφέρον παρέμεινε ενεργό μέχρι την ολοκλήρωσή της. Γενικώς οι μαθητές έδειξαν ότι ήταν σε θέση να αφομοιώσουν εύκολα το καινούργιο γνωστικό πεδίο και να αποδεχτούν καινούργιες έννοιες (ονομασία των στοιχειωδών σωματιών). Τα μαθήματα αυτά πρόσθεσαν στο λεξιλόγιό τους νέες λέξεις, ονομασίες νέων εννοιών.

Οι απαντήσεις στα ερωτηματολόγια έδειξαν ότι οι έννοιες αυτές είναι αφομοιώσιμες

4.3 Τα τεστ και η επίδοση των μαθητών σ' αυτά.

Τα αποτελέσματα αναφέρονται συνολικά στους μαθητές και των δύο σχολείων, στα οποία έγινε εφαρμογή της διδασκαλίας.

Το σύνολο των μαθητών ήταν 25 (15 αγόρια, 10 κορίτσια).

Σύνολο μαθητών που συμμετείχαν ανά ενότητα:

Ενότητα 1^η: 25

Ενότητα 2^η: 25

Ενότητα 3^η: 23

Ενότητα 4^η: 25

Ενότητα 5^η: 24

Οι ερωτήσεις συνοδεύονταν από εικόνες, έτσι ώστε και ο εξεταζόμενος να διευκολύνεται, αλλά και μέσω της εξέτασης να δώσει βαρύτητα σε εικόνες και σχήματα που στα μαθήματα αυτά παίζουν πρωτεύοντα ρόλο. Σε πολλές ερωτήσεις ζητείται μία λανθασμένη πρόταση μεταξύ σωστών. Ο λόγος για το οποίο προτιμήθηκε η τακτική αυτή ήταν η ανάγνωση των σωστών προτάσεων να έχει χαρακτήρα επαναληπτικό στη ζητούμενη θεωρία, έτσι ώστε το τεστ να λειτουργήσει εποικοδομητικά στη διαδικασία της μάθησης

Ενότητα 1^η. Θεωρίες για τη δομή της ύλης από τα αρχαία χρόνια μέχρι το τέλος του 19^{ου} αιώνα

Ερ. 1.

Ποιο όνομα δεν ανήκει στην ίδια ομάδα όσον αφορά τις απόψεις του για τη δομή της ύλης;

α. Δημόκριτος β. Επίκουρος γ. Πλάτων δ. Dalton.

Διδακτικός στόχος: Στην ερώτηση αυτή ο μαθητής καλείται να ομαδοποιήσει τους τρεις από τους τέσσερις στοχαστές σε σχέση με τις απόψεις τους για το άτομο. Μέσω της ερώτησης αυτής δίνεται η διαχρονικότητα της ατομικής θεωρίας.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 12 ΛΑΘΟΣ: 13

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: δ: 6, β: 5, α: 1.

Ερ. 2.

Η κυρίαρχη άποψη για τη δομή της ύλης στη διάρκεια του Μεσαίωνα είναι:



α. Του Αριστοτέλη.

β. Του Δημόκριτου, Λεύκιππου και Επίκουρου.

γ. Του Πλάτωνα.

δ. Της Πυθαγόρειας Σχολής.

Διδακτικός στόχος: Μέσω της ερώτησης αυτής ο μαθητής καλείται να μάθει για την διάρκεια και ισχύ της Αριστοτελικής θεωρίας, κάτι που τονίστηκε ιδιαίτερα στην ανάπτυξη της θεωρίας.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 13 ΛΑΘΟΣ: 12

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: β: 6, γ: 3 δ: 3.

Ερ. 3.

Ποια από τις παρακάτω απόψεις ανήκει στην ατομική θεωρία;

α. Η ύλη μπορεί να διαιρεθεί άπειρες φορές.

β. Ο κόσμος αποτελείται από τον κενό χώρο και τα άτομα.

γ. Τα θεμελιώδη συστατικά του κόσμου είναι η φωτιά, ο αέρας, το νερό, η γη.

δ. Δεν υπάρχουν πρωταρχικά στοιχεία που δε διαλύονται και δεν αλλοιώνονται ποτέ.

Διδακτικός στόχος: Η ερώτηση αυτή στοχεύει στην κατανόηση της ατομικής θεωρίας και στη σαφή διαφοροποίησή της από άλλες θεωρίες κατά την αρχαιότητα.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 16 ΛΑΘΟΣ: 9

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: α : 2, γ: 7, δ: 0.

Ερ. 4.

Σημειώστε τη σωστή πρόταση:

α. Η Αλχημεία υπήρξε μία παραεπιστήμη στη διάρκεια του Μεσαίωνα, η οποία υπήρξε πρόδρομος της επιστήμης της Χημείας.

β. Οι αλχημιστές, στην προσπάθειά τους να ανακαλύψουν τη φιλοσοφική λίθο, ασχολήθηκαν με τη μελέτη των υλικών.

γ. Κατά την άποψη των αλχημιστών, τα πάντα στη φύση αλληλοεπηρεάζονται.

δ. Όλα τα παραπάνω.

Διδακτικός στόχος: Στην πορεία της ιστορικής εξέλιξης της Επιστήμης, οι αλχημιστές έπαιξαν τον πιο σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη της επιστήμης της Χημείας και την επαναφορά της Ατομικής Θεωρίας. Τον ρόλο αυτό επισημαίνει η ερώτηση.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24 ΣΩΣΤΕΣ: 10 ΛΑΘΟΣ: 14

Σχολιασμός αποτελέσματος:

Όλες οι προτάσεις είναι σωστές, η δ αποτελεί τη γενίκευσή τους. Από τις «μη σωστές απαντήσεις» υπάρχει προτίμηση προς την α (10).



Ερ. 5.

Σημειώστε τη λανθασμένη πρόταση:

Η ατομική θεωρία, όπως διατυπώθηκε από τον Δημόκριτο και τον Επίκουρο, δέχεται:

α. Την αρχή της διατήρησης της ύλης.

β. Τη συνεχή κίνηση της ύλης.

γ. Την παραδοχή ότι η ύλη δεν υπήρχε πάντοτε αλλά κάποια στιγμή δημιουργήθηκε.

δ. Κάθε άτομο είναι αδιαίρετο και αδιαπέραστο γιατί δεν υπάρχει μέσα του κενός χώρος.

Διδακτικός στόχος: Οι προτάσεις που συνιστούν την ατομική θεωρία χαρακτηρίζονται από μία συνέπεια και συνάφεια μεταξύ τους, και ο μαθητής καλείται να βρει την πρόταση η οποία δεν αρμόζει στην ατομική θεωρία.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 12 ΛΑΘΟΣ: 13

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: α : 1 , β: 2, δ: 7, (β, δ): 1, (α, β, γ): 2.

Ερ. 6.

Σημειώστε με **Π** τις απόψεις που ανήκουν στον Παρμενίδη και με **Η** αυτές που ανήκουν στον Ηράκλειτο.

..... Ο κόσμος είναι στατικός. Τίποτα δεν μπορεί να αλλάξει.

..... Οι εντυπώσεις που φτάνουν ως εμάς μέσω των αισθήσεών μας είναι αληθινές και ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

..... Οι εντυπώσεις που φτάνουν έως εμάς μέσω των αισθήσεών μας είναι λανθασμένες.

..... Όλα αλλάζουν (τα πάντα ρει).

Διδακτικός στόχος: Στην ερώτηση αυτή καλούνται οι μαθητές να ξεχωρίσουν τις απόψεις των δύο κορυφαίων Προσωκρατικών φιλοσόφων, του Ηράκλειτου και του Παρμενίδη, απόψεις εκ πρώτης όψεως διαμετρικά αντίθετες.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 16 ΛΑΘΟΣ: 09

Αναλυτικά:

20 ορθές απαντήσεις στην πρόταση 1. (Π) , 20 ορθές απαντήσεις στην πρόταση 2. (Η) ,

18 ορθές απαντήσεις στην πρόταση 3. (Π) , 20 ορθές απαντήσεις στην πρόταση 1. (Η) .

Ερ. 7.

Ποια από τις παρακάτω προτάσεις δεν είναι σωστή;

Σύμφωνα με τους Προσωκρατικούς φιλοσόφους:

1. Η αιτία οποιασδήποτε μεταβολής βρίσκεται μέσα στη φύση των πραγμάτων.

2. Η μεταβολή μπορεί να οφείλεται σε εξωτερικά αίτια (π.χ. θεϊκές δυνάμεις).



3. Η ύλη είναι αυτοτελής και αυτοδύναμη.
4. Η απάντηση στα ερωτήματα για το πώς είναι φτιαγμένη η ύλη βοηθά στην ερμηνεία των λόγων για τις διάφορες αλλαγές που συμβαίνουν στη φύση.

Διδακτικός στόχος: Με την ερώτηση αυτή διερευνάται αν οι μαθητές έχουν αντιληφθεί ως ένα βασικό στοιχείο της Προσωκρατικής φιλοσοφίας για την ύλη την αυτοδυναμία της και αυτοτέλειά της, αποκλεισμένης οποιασδήποτε έξωθεν παρέμβασης σ' αυτή.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 12 ΛΑΘΟΣ: 13

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: 1.: 3 , 3.: 4 , 4.: 5 , (2,4): 1.

Ερ. 8.

Τοποθετείστε στις παρενθέσεις τα ονόματα των στοχαστών που διατύπωσαν τις απόψεις: ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΠΛΑΤΩΝ ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΣ GASSENDI

1. (.....) Εάν η ύλη δεν είχε ατομική σύσταση αλλά ήταν συνεχής, τότε η κίνηση θα ήταν αδύνατη.
2. (.....) Τα πάντα ρει.
3. (.....) Τα πάντα είναι αριθμοί.
4. (.....) Όλα όσα αντιλαμβάνονται οι αισθήσεις μας μπορούν να κτιστούν με τη βοήθεια δύο ορθογωνίων τριγώνων: Ενός ισοσκελούς με πλευρές 1,1, $\sqrt{2}$ και ενός σκαληνού με πλευρές 1, $\sqrt{3}$, 2.

Διδακτικός στόχος: Η ερώτηση αφορά μερικές κεντρικές σκέψεις σχετικά με τις απόψεις κάποιων σημαντικών φιλοσόφων που αναφέρονται στο μάθημα.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 10 ΛΑΘΟΣ: 15

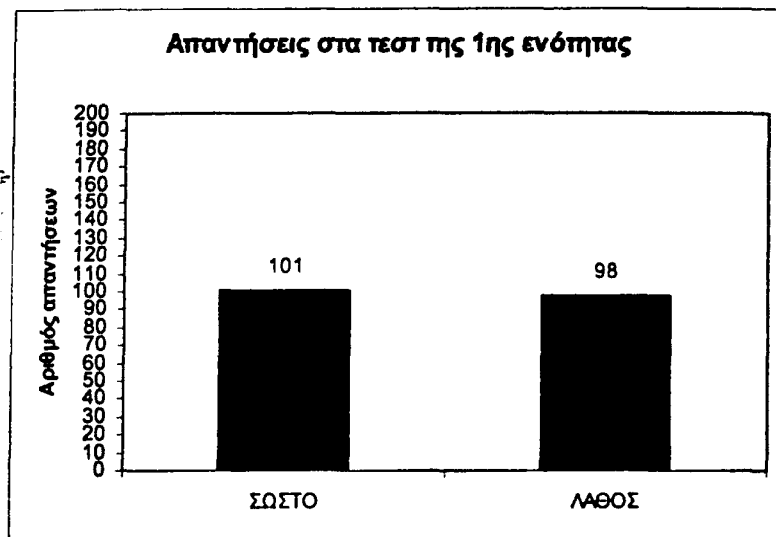
Αναλυτικά:

- 12 ορθές απαντήσεις στην πρόταση 1. (Gassendi) ,
21 ορθές απαντήσεις στην πρόταση 2. (Ηράκλειτος) ,
21 ορθές απαντήσεις στην πρόταση 3. (Πυθαγόρας) ,
12 ορθές απαντήσεις στην πρόταση 1. (Πλάτων) .

Το συνολικό αποτέλεσμα για την 1^η ενότητα έχει ως εξής:

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 199 ΣΩΣΤΕΣ: 101 ΛΑΘΟΣ: 98

ΓΡΑΦΗΜΑ 1.



Ενότητα 2^η. Στοιχεία από τη θεωρία της Κβαντομηχανικής και της Σχετικότητας

Ερ. 1.

Σύμφωνα με το ατομικό πρότυπο του Bohr:

1. Το ηλεκτρόνιο περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα σε οποιαδήποτε τροχιά.
2. Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται διάσπαρτα μέσα στο άτομο, όπως οι σταφίδες στο σταφιδόψωμο.
3. Το ηλεκτρόνιο όπως περιφέρεται εκπέμπει ακτινοβολία.
4. Το ηλεκτρόνιο εκπέμπει ακτινοβολία μόνο όταν μεταπηδήσει από μια τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας σε μια τροχιά μικρότερης ενέργειας.

Σημειώστε τη σωστή πρόταση.

Διδακτικός στόχος: Η ερώτηση αφορά το πρότυπο του Bohr. Η κατανόηση του προτύπου αποτελεί βασική γνώση για τα περαιτέρω.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 18 ΛΑΘΟΣ: 07

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: 1.- 4, 2.- 2, 3.- 0, (1.,4.)- 1.

Ερ. 2.

Αντιστοιχίστε τα ονόματα:

1. Maxwell
2. Planck
3. Newton
4. Young και Huygens

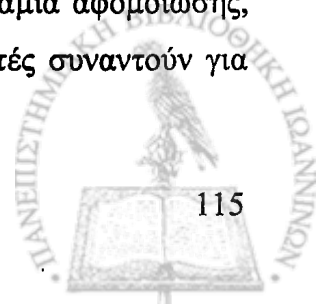
με τις ακόλουθες αντιλήψεις για τη φύση του φωτός:

- I. Το φως είναι κύμα.
- II. Το φως είναι σωματίδια.
- III. Το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα
- IV. Το φως μπορεί να θεωρηθεί και κύμα και σωματίδιο.

Διδακτικός στόχος: Στην ερώτηση αυτή ζητείται αντιστοίχιση των απόψεων για τη φύση του φωτός με τα ονόματα των φυσικών που υποστήριξαν τις απόψεις αυτές. Η ερώτηση αποσκοπεί στο να αντιληφθεί ο μαθητής τη σημασία των διαφορετικών μοντέλων για την ερμηνεία του ίδιου φυσικού φαινομένου αλλά και να γνωρίσει την ιστορική εξέλιξη της θεωρίας του φωτός.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 05 ΛΑΘΟΣ: 20

Σχολιασμός αποτελέσματος: Ο μικρός αριθμός των μαθητών που έδωσαν τη σωστή απάντηση (I.- Young και Huygens, II.- Newton, III.- Maxwell, IV.- Planck) δείχνει αδυναμία αφομοίωσης, μέσα σε μία διδακτική ώρα, λεπτομερειών όπως π.χ. ονομάτων, που οι μαθητές συναντούν για πρώτη ίσως φορά.



Ερ. 3.

Σημειώστε την απάντηση που θεωρείτε λανθασμένη.

Σύμφωνα με τη θεωρία του de Broglie κάθε σωματίδιο μπορεί να θεωρηθεί και ως κύμα. Τότε αν:

E = ενέργεια, h = παγκόσμια σταθερά του Planck, f = συχνότητα, m = μάζα,

v = ταχύτητα,

1. $f = E/h$

2. $p = h/\lambda$

3. $\lambda = h/mv$

4. $\lambda = mv/h$.

Διδακτικός στόχος: Στις σχέσεις $E=hf$ και $\lambda=h/p$ συμπυκνώνεται η θεωρία του κυματοσωματιδιακού δυισμού και αποτελούν βασικά στοιχεία του μαθήματος. Τις σχέσεις αυτές, σε διαφορετική μορφή, καλούνται να δώσουν οι εξεταζόμενοι.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 09 ΛΑΘΟΣ: 16

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: 1.- 2, 2.- 5, 3.- 9.

Σχολιασμός αποτελέσματος:

α) Η επιλογή της σχέσης $p = h/\lambda$ ως λανθασμένης σε σχέση με την $\lambda = h/p$ δείχνει αδυναμία μαθηματικού συλλογισμού.

β) Η επιλογή της σχέσης $\lambda = h/mv$, αναδεικνύει μία σημαντική αδυναμία του μαθήματος που προκύπτει από την ελλιπή γνώση του φυσικού μεγέθους της ορμής.

Ερ. 4.

Σημειώστε την πρόταση που θεωρείτε λανθασμένη.

Σύμφωνα με τη γενική θεωρία της σχετικότητας:

1. Η βαρυτική και η αδρανειακή μάζα είναι ισοδύναμες.

2. Η παρουσία μιας μάζας προκαλεί γύρω της καμπύλωση του χωροχρόνου.

3. Οι φωτεινές ακτίνες που περνούν κοντά από σώματα μεγάλης μάζας εξακολουθούν να κινούνται ευθύγραμμα.

4. Εξαιτίας των μεταβολών στο χωροχρόνο που προκαλούν μεγάλα ουράνια σώματα, κάποια άστρα δεν τα βλέπουμε στην κανονική τους θέση.

Διδακτικός στόχος: Η ερώτηση αφορά τη γενική θεωρία της σχετικότητας όπου μέσα στις 3 σωστές απαντήσεις συνοψίζεται όλη η προτεινόμενη διδακτέα θεωρία για μαθητές της ηλικίας αυτής.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24 ΣΩΣΤΕΣ: 10 ΛΑΘΟΣ: 14

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: 1.- 2, 2.- 5, 4.- 9.



Σχολιασμός αποτελέσματος: Οι απαντήσεις υποδηλώνουν αδυναμία κατανόησης της έννοιας της καμπύλωσης του χωροχρόνου.

Ερ. 5.

Σημειώστε με ένα N και ένα A αντίστοιχα τις προτάσεις που αντιστοιχούν στη Φυσική του Νεύτωνα και αυτές που αντιστοιχούν στη Φυσική του Αϊνστάιν:

1. Ο χρόνος σχετίζεται με το χώρο
2. Ο χώρος και ο χρόνος θεωρούνται ανεξάρτητα μεταξύ τους.
3. Το χρονικό διάστημα και η απόσταση είναι απόλυτα και η ταχύτητα του φωτός είναι σχετική.
4. Η ταχύτητα του φωτός είναι απόλυτη, ο χρόνος και η απόσταση είναι σχετικά.

Διδακτικός στόχος: Με την ερώτηση αυτή ζητείται από το μαθητή να διαχωρίσει βασικές αρχές της φυσικής του Νεύτωνα και αυτής του Αϊνστάιν.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 11 ΛΑΘΟΣ: 14

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.-16 2.- 18 3.- 14 4.- 16.

Σχολιασμός αποτελέσματος:

Όπως εκτιμήθηκε από συζήτηση που ακολούθησε με τους μαθητές, η δυσκολία στην κατανόηση της ερώτησης οφείλεται στις έννοιες του «απόλυτου» και «σχετικού», έννοιες ασυνήθιστες γι' αυτούς.

Ερ. 6.

Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι λάθος:

Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία:

1. Κάθε κύμα μπορεί να θεωρηθεί ως σωματίδιο.
2. Κάθε σωματίδιο μπορεί να θεωρηθεί ως κύμα.
3. Μπορούμε να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου.
4. Δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου με αρκετή ακρίβεια.

Διδακτικός στόχος: Η ερώτηση αφορά την αρχή της αβεβαιότητας και τον κυματοσωματιδιακό δυϊσμό.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 19 ΛΑΘΟΣ: 06

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: 1.- 0, 2.- 0, 4.- 6.

Σχολιασμός αποτελέσματος: Ο ικανοποιητικός αριθμός των σωστών απαντήσεων δείχνει κατανόηση της έννοιας του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού.



Ερ. 7.

Ποια πρόταση είναι λάθος:

Σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας, όταν σ' ένα σώμα ενεργεί συνεχώς μία δύναμη τότε:

1. Το σώμα θα αποκτήσει άπειρη ταχύτητα.
2. Όσο η ταχύτητα του σώματος πλησιάζει προς την ταχύτητα του φωτός, αυτό γίνεται όλο και πιο βαρύ.
3. Η προσφερόμενη ενέργεια μετατρέπεται σε αύξηση της αδράνειας του σώματος.
4. Το σώμα δεν μπορεί να αποκτήσει άπειρη ταχύτητα.

Διδακτικός στόχος: Με την ερώτηση αυτή το ζητούμενο είναι αν στους μαθητές έχει γίνει σαφές το θέμα της ταχύτητας του φωτός στο κενό ως της μέγιστης τιμής ταχύτητας.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 13 ΛΑΘΟΣ: 12

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: 2.- 2 3.- 1 4.- 8. (1,2) - 1.

Ερ. 8.

Βρείτε τη σωστή απάντηση στην ερώτηση: Για ποιο λόγο δεν θα μπορούσαμε να «δούμε» ποτέ σωστά ένα ηλεκτρόνιο «φωτίζοντάς» το με μία δέσμη φωτονίων;

1. Τα ηλεκτρόνια είναι πολύ μικρά.
2. Όταν φωτόνιο προσπέσει πάνω σε ηλεκτρόνιο τότε αλλάζει ὁρμή. Η αλλαγή της ὁρμής του φωτονίου αλλάζει και την ὁρμή του ηλεκτρονίου.
3. Η τεχνολογία είναι ανεπαρκής.
4. Το φωτόνιο δεν έχει μάζα.

Διδακτικός στόχος: Το θέμα της ερώτησης ανατρέπει τα ισχύοντα στην κλασική φυσική και αφορά τις δυσκολίες προσέγγισης του μικρόκοσμου. Μέσω της ερώτησης αυτής δημιουργείται στους μαθητές προβληματισμός σχετικά με την παρατήρηση των σωματιδίων.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 19 ΛΑΘΟΣ: 06

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: 1. - 2 3.- 2 4.- 2.



Ερ. 9.

Συμπληρώστε τα κενά στην πρόταση:



Η αδυναμία της κλασικής μηχανικής να εξηγήσει το πρότυπο του Ράδερφορντ οφείλεται στο ότι:

Σ' αυτό τα ηλεκτρόνια πρέπει να κινούνται γύρω από τονσε τροχιές. Όμως, σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία, κάθε επιταχυνόμενο φορτίο εκπέμπει Το ηλεκτρόνιο θα διαγράψει τροχιά, η ακτίνα θα συνεχώς και τελικά το ηλεκτρόνιο θα στον πυρήνα.

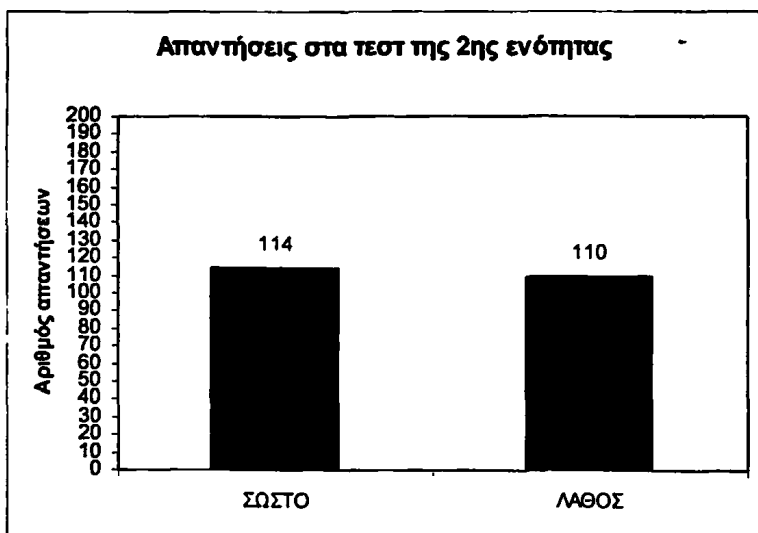
Διδακτικός στόχος: Ναδειχθεί η αδυναμία της κλασικής φυσικής να αποδεχτεί το πρότυπο του Rutherford. Το θέμα ενέχει σημαντικό βαθμό δυσκολίας ως προς την κατανόησή του από τους μαθητές καθότι αφορά ύλη που δεν την έχουν διδαχθεί.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 10 ΛΑΘΟΣ: 15

Το συνολικό αποτέλεσμα για την 2^η ενότητα έχει ως εξής:

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 224 ΣΩΣΤΕΣ: 114 ΛΑΘΟΣ: 110

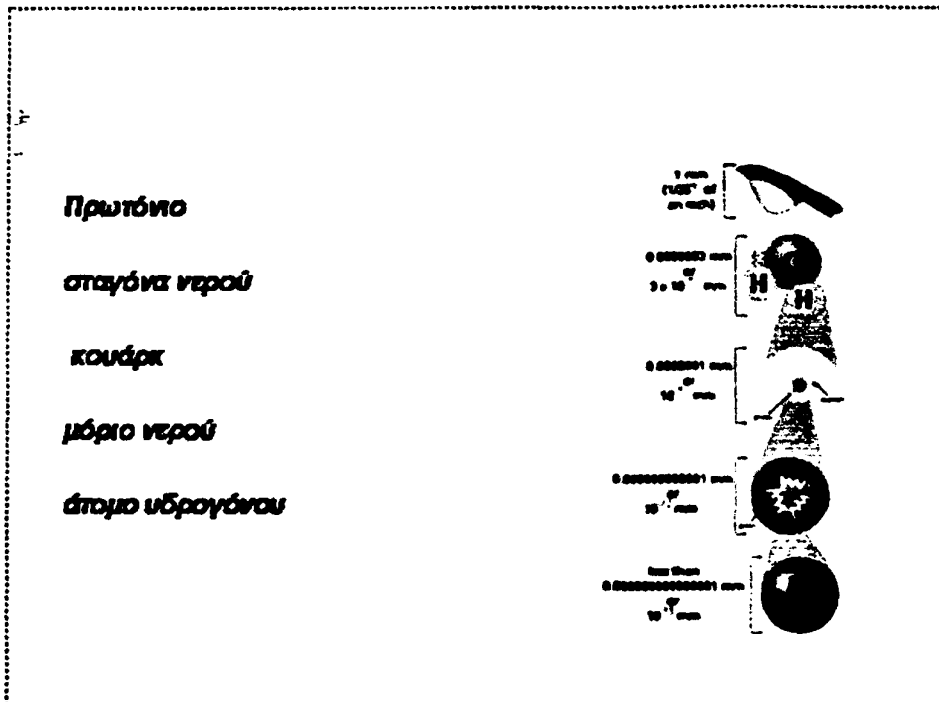
ΓΡΑΦΗΜΑ 2.



Ενότητα 3^η. Το καθιερωμένο πρότυπο.

Ερ. 1.

Αντιστοιχίστε τις έννοιες με τα μέρη του σχήματος που τις απεικονίζουν:



Διδακτικός στόχος: Εδώ ζητείται συσχετισμός ανάμεσα σε έννοιες του μικρόκοσμου και εικόνες που τις αναπαριστούν. Η άσκηση στηρίζεται σε παραστάσεις που στο μάθημα οι μαθητές έχουν δεχτεί, αλλά και σε μία λογική σειρά με την οποία θα πρέπει να τοποθετηθούν τα διάφορα σωματίδια ανάλογα με το μέγεθός τους.

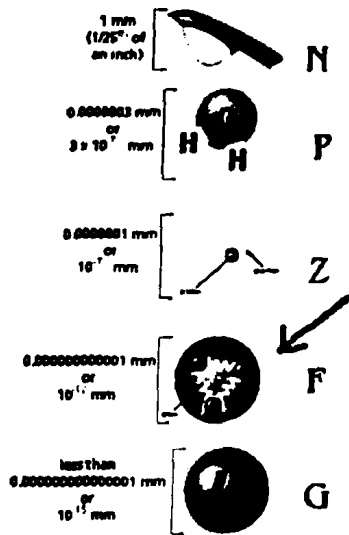
ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 05 ΛΑΘΟΣ: 18

Σχολιασμός αποτελέσματος:

Η μεγάλη αποτυχία στην απάντηση της άσκησης πρέπει να οφείλεται στην περιπλοκότητα του σχήματος, όπου οι μαθητές δυσκολεύονταν να ξεχωρίσουν τα διάφορα τμήματα με ό,τι αυτά παριστάνουν.

Ερ. 2.

(Αναφορά στην εικόνα της προηγούμενης ερώτησης).



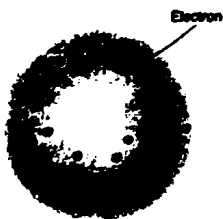
Στη εικόνα F, οι γραμμές σχήματος σπιδάλ παριστάνουν:

α. Μεσόνια β. Φωτόνια γ. Γλοιόνια δ. Βαρυτόνια

Διδακτικός στόχος: Οι μαθητές οφείλουν να σκεφτούν τι μπορεί να παριστάνει μία γραμμή σαν ελατήριο, η οποία συγκρατεί συνδεδεμένα τα κουάρκ. Προβληματισμός ο οποίος θα πρέπει να παραπέμψει στα γλοιόνια, σωματίδια με τον αντίστοιχο ρόλο.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ : 23 ΣΩΣΤΕΣ: 21 ΛΑΘΟΣ : 02

Ερ. 3.



Η εικόνα θα μπορούσε να παριστάνει το μοντέλο του ατόμου όπως το φαντάστηκε ο:

α. Thomson, β. Δημόκριτος, γ. Rutherford, δ. Bohr.

Διδακτικός στόχος: Να επισημανθεί η έννοια του μοντέλου και ο ρόλος του στην εξέλιξη της επιστήμης. Η εικόνα παραπέμπει στο μοντέλο του σταφιδόψωμου του Thomson, ένα από τα πρώτα ατομικά μοντέλα.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 17 ΛΑΘΟΣ: 06

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: β - 2, γ - 2, (β, γ, δ) - 1, (α, δ) - 1

Σχολιασμός αποτελέσματος:

Το αποτέλεσμα είναι ενδεικτικό του πώς η χρήση παραδειγμάτων ή μοντέλων από την καθημερινή ζωή (π.χ. σταφιδόψωμο) προκαλεί το ενδιαφέρον των μαθητών.

Ερ. 4.



Ο συνδυασμός των κουάρκ του διπλανού σχήματος αντιστοιχεί σε:

- α. βαρυόνιο
- β. λεπτόνιο
- γ. μεσόνιο
- δ. σωματίδιο φορέα της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης.

Διδακτικός στόχος: Η δομή των αδρονίων. Η εικόνα παριστάνει συνδυασμό κουάρκ-αντικουάρκ, και παραπέμπει στο μεσόνιο.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 19 ΛΑΘΟΣ: 04

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: β-2, (α,γ)-1, (α,δ)-1

Ερ. 5.



Αν τα δύο σωματίδια του μοντέλου της διπλανής εικόνας έλθουν σε επαφή το άμεσο αποτέλεσμα θα είναι:

- α. Δημιουργία ενός νέου σωματιδίου με μάζα ίση με το άθροισμα των 2 μαζών.
- β. Δημιουργία δύο νέων σωματιδίων.
- γ. Εξαφάνιση των μαζών με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας.
- δ. Τίποτε απ' όλα αυτά

Διδακτικός στόχος: Η έννοια της εξαύλωσης. Η εικόνα παριστάνει σύγκρουση σωματιδίου-αντισωματιδίου, θέμα το οποίο αναπτύχθηκε στη θεωρία, έγινε κατανοητό και προκάλεσε ενδιαφέρον.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 18 ΛΑΘΟΣ: 05

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: β-3, δ-1, (α,γ)-1.

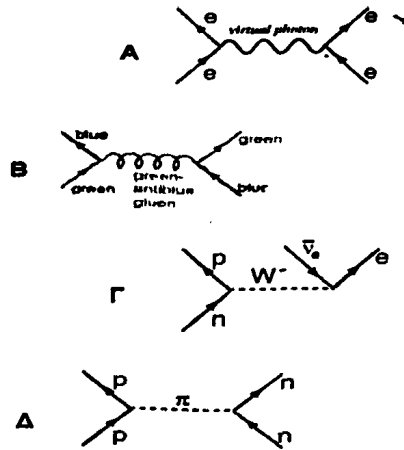
Σχολιασμός αποτελέσματος: Ο μεγάλος αριθμός των σωστών απαντήσεων είναι ενδεικτικός του ενδιαφέροντος που προκαλεί η έννοια της εξαύλωσης. Αυτό φάνηκε και στη διάρκεια των παραδόσεων και συζητήσεων σχετικά με το θέμα.



Ερ. 6.

Χαρακτηρίστε τις αλληλεπιδράσεις όπως αυτές δίνονται από τα διαγράμματα του Feynman (ισχυρή ΙΣ, ασθενής ΑΣ, ηλεκτρομαγνητική ΗΜ).

- A.....
- B.....
- Γ.....
- Δ.....



Διδακτικός στόχος: Μία δοκιμή για το αν τα διαγράμματα του Feynman μπορούν να γίνουν κατανοητά από μαθητές αυτής της ηλικίας.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 03 ΛΑΘΟΣ: 20

Σχολιασμός αποτελέσματος:

Από το σύνολο των λανθασμένων απαντήσεων, 9 αποδίδουν σωστά τις 3 μορφές αλληλεπίδρασης αδυνατούν όμως να εννοήσουν ότι η ισχυρή αλληλεπίδραση εμφανίζεται στο σχήμα με δύο μορφές (ανταλλαγή γλοιονίων μεταξύ των κουάρκ, και μεσονίων μεταξύ των νουκλεονίων). Κρίνεται ότι ο περιορισμένος χρόνος διδασκαλίας δεν επέτρεψε την αφομοίωση του θέματος, παρόλα αυτά το θέμα μπορεί να διδαχθεί.

Ερ. 7.

Ο λόγος για τον οποίο ο πυρήνας παραμένει σταθερός και δε διασπάται οφείλεται:

- α. Στην ασθενή αλληλεπίδραση.
- β. Στην ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση.
- γ. Στη βαρυτική αλληλεπίδραση.
- δ. Στην ισχυρή αλληλεπίδραση.

Μία απλή ερώτηση σχετικά με την αναγνώριση των αλληλεπιδράσεων.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 18 ΛΑΘΟΣ: 05

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: β - 3, γ - 2.

Ερ. 8.



Πόσο είναι το ηλεκτρικό φορτίο των σωματιδίων που προκύπτουν από τους συνδυασμούς των κουάρκ και αντικουάρκ;

Διδακτικός στόχος: Υπολογισμός των φορτίων των νουκλεονίων και μεσονίων όταν είναι γνωστά τα είδη των κουάρκ από τα οποία αποτελούνται.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 03 ΛΑΘΟΣ: 20

Σχολιασμός αποτελέσματος:

Όπως φαίνεται από τον τρόπο που δίνονται οι απαντήσεις αλλά και όπως διαπιστώθηκε εκ των υστέρων σε επακολουθήσασα συζήτηση, οι μαθητές απέφυγαν την ερώτηση καθότι αυτή απαιτούσε μαθηματικές πράξεις.

Ερ. 9.

Αναφορά στην εικόνα της προηγούμενης ερώτησης.

Πώς θα σχεδιάζαμε τα αντισωματίδια των σωματιδίων που παριστάνονται ανωτέρω;

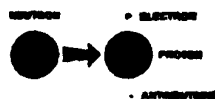
Διδακτικός στόχος: Η κατανόηση της σύνθεσης των σωματιδίων και αντισωματιδίων.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 20 ΣΩΣΤΕΣ: 12 ΛΑΘΟΣ: 08

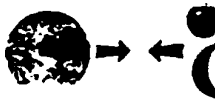
Ερ. 10.

Αντιστοιχίστε τα ονόματα των αλληλεπιδράσεων με τις προτεινόμενες εικόνες

1. Βαρυπική



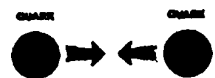
2. Ισχυρή



3. Ασθενής



4. Ηλεκτρομαγνητική



Άσκηση αντιστοίχισης ανάμεσα στα είδη των αλληλεπιδράσεων και σε εικόνες που αναπαριστούν τις αλληλεπιδράσεις αυτές.

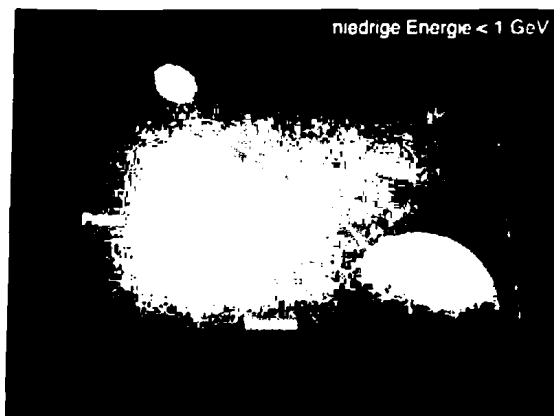


ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 15 ΛΑΘΟΣ: 08

Αναλυτικά οι σωστές απαντήσεις όσον αφορά την καθεμία αλληλεπίδραση:

1.(Βαρυτική) -22 2.(Ισχυρή)- 16 3.(Ασθενής)- 17 4.(Ηλεκτρομαγνητική)- 16.

Ερ. 11.



Η αλληλεπίδραση που παριστάνει το μοντέλο του ανωτέρω σχήματος είναι:

α. ασθενής β. βαρυτική γ. ηλεκτρομαγνητική δ. ισχυρή.

Διδακτικός στόχος: Το κατά τον Yukawa μοντέλο της σύνδεσης νουκλεονίων με την ανταλλαγή μεσονίων. Η εικόνα παριστάνει την κίνηση ενός σωματιδίου μεταξύ ενός πρωτονίου και ενός νετρονίου.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 15 ΛΑΘΟΣ: 08

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: α - 1, β - 3, γ - 4.

Ερ. 12.

Να αντιστοιχίσετε τις έννοιες στην αριστερή στήλη με αυτές της δεξιάς:

Γλοϊόνιο	α. Ισχυρή αλληλεπίδραση
Γκραβυτόνιο	β. Ασθενής αλληλεπίδραση
Φωτόνιο	γ. Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση
W^+ , W^- , Z^0	δ. Βαρυτική αλληλεπίδραση

Διδακτικός στόχος: Τα σωματίδια φορείς της κάθε αλληλεπίδρασης.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 11 ΛΑΘΟΣ: 12

Αναλυτικά οι σωστές αντιστοιχίσεις:

Γλοϊόνιο - Ισχυρή: 13.

Γκραβιτόνιο - Βαρυτική: 15.

Φωτόνιο - Ηλεκτρομαγνητική: 16.

W^+ , W^- , Z^0 - Ασθενής: 14.

Ερ. 13.

Να κατατάξετε τα ονόματα σε δύο ομάδες (Α και Β):

up, e, ν_e , charm, ν_c , strange, top, μ , bottom, τ , down, ν_μ

Διδακτικός στόχος: Η κατάταξη των στοιχειωδών σωματιδίων στις ομάδες των κουάρκ και των λεπτονίων.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23

ΣΩΣΤΕΣ: 16

ΛΑΘΟΣ: 07

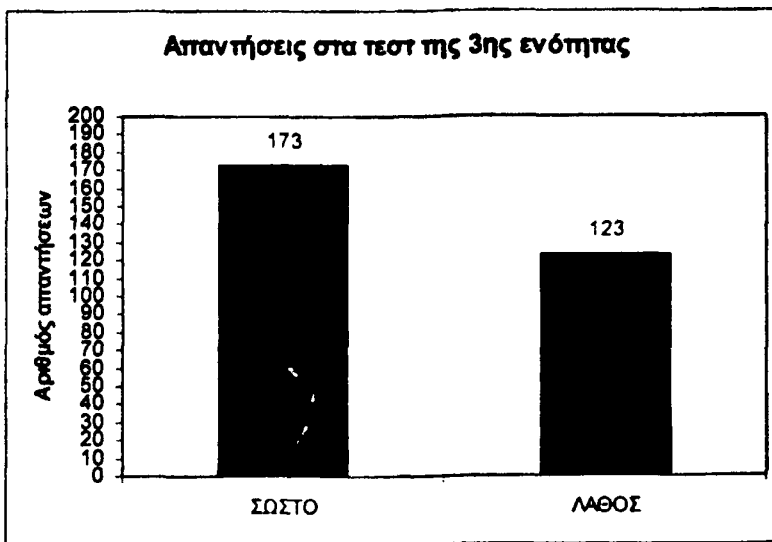
Το συνολικό αποτέλεσμα για την 3^η ενότητα έχει ως εξής:

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 29

ΣΩΣΤΕΣ: 173

ΛΑΘΟΣ: 123

ΓΡΑΦΗΜΑ 3.



Ενότητα 4^η. Κοσμολογία.

Ερ. 1.

Δώστε τη σωστή απάντηση: Σύμφωνα με τη Θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης (Big Bang):

1. Όλη η ύλη του Σύμπαντος ήταν αρχικά συγκεντρωμένη σε μια μικρή περιοχή, από την οποία διασκορπίστηκε προς κάθε κατεύθυνση.
2. Το Σύμπαν είναι στατικό.
3. Το Σύμπαν διαστέλλεται συνεχώς.
4. Τα 1 και 3.

Διδακτικός στόχος: Η κατανόηση του Big Bang και της έκτοτε διαστολής του Σύμπαντος.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 15 ΛΑΘΟΣ: 10

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 6, 2.- 3, 3.- 1, 4.- 15.

Ερ. 2.

Σημειώστε τη σωστή πρόταση:

Κατά την άποψη του Hubble:

- α. Η ταχύτητα απομάκρυνσης ενός γαλαξία είναι περίπου ανάλογη της απόστασής του από εμάς.
- β. Ανεξάρτητα από την κατεύθυνση παρατήρησης, οι μακρινοί γαλαξίες φαίνονται να απομακρύνονται από το δικό μας.
- γ. Το Σύμπαν φαίνεται να είναι λίγο – πολύ το ίδιο, από όποια θέση κι αν το παρατηρήσουμε.
- δ. Όλες οι ανωτέρω προτάσεις.

Διδακτικός στόχος: Οι απόψεις του Hubble για τη διαστολή του Σύμπαντος.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ : 25 ΣΩΣΤΕΣ : 05 ΛΑΘΟΣ: 20

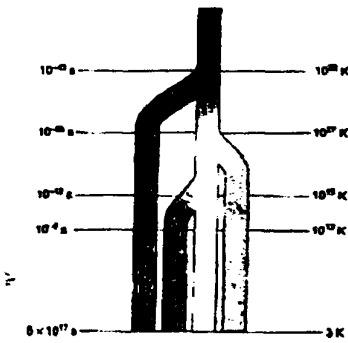
Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 8, 2.- 6, 3.- 6, 4.- 4. (1,2,3) – 1.

Σχολιασμός αποτελέσματος:

Όλες οι προτάσεις είναι σωστές, οι μαθητές όμως προτιμούν να χαρακτηρίσουν ως σωστή την α πρόταση η οποία είναι και η κυρίαρχη στη θεωρία του Hubble.

Ερ. 3.



Σύμφωνα με το καθιερωμένο μοντέλο της δημιουργίας του Σύμπαντος ο διαχωρισμός των αλληλεπιδράσεων έγινε με την εξής σειρά:

1. ισχυρή \rightarrow βαρυτική \rightarrow ασθενής — H/M
2. ισχυρή \rightarrow ασθενής \rightarrow H/M — βαρυτική
3. ασθενής \rightarrow ισχυρή \rightarrow H/M — βαρυτική
4. βαρυτική \rightarrow ισχυρή \rightarrow H/M — ασθενής

Διδακτικός στόχος: Η εξέλιξη του διαχωρισμού των αλληλεπιδράσεων.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 18 ΛΑΘΟΣ: 07

ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ: 1.- 3, 2.- 4.

Ερ. 4.

Σημειώστε τη σωστή πρόταση:

Η σκοτεινή ύλη:

1. Είναι μια μορφή ύλης που όταν έρθει σε επαφή με την ορατή ύλη εξαυλώνεται.
2. Είναι σε ποσότητα ίση με την ορατή ύλη.
3. Η αποδοχή της μπορεί να ερμηνεύσει κινήσεις πλανητών στα άκρα των γαλαξιών που διαφορετικά παραβιάζουν αρχές της Μηχανικής.
4. Αποτελεί το 4% της συνολικής μάζας του Σύμπαντος.

Διδακτικός στόχος: Η σκοτεινή ύλη ως μια άλλη υλική πραγματικότητα. Στους μαθητές γίνεται σύγκριση μεταξύ σκοτεινής ύλης και αντιύλης.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 12 ΛΑΘΟΣ: 13

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 3, 2.- 0, 3.- 12, 4.- 10

Σχολιασμός αποτελέσματος: Στις απαντήσεις διακρίνεται εν μέρει σύγκριση μεταξύ σκοτεινής ύλης και αντιύλης. Το ποσοστό 4% που αφορά την αντιληπτή ύλη αποδίδεται από 10 μαθητές στη σκοτεινή.



Ερ. 5.

Σημειώστε τη σωστή πρόταση:

Ο καλύτερος προς το παρόν τρόπος για να γνωρίσουμε το τι συμβαίνει στο εσωτερικό του ήλιου είναι:

1. Η μελέτη της φωτεινής ακτινοβολίας.
2. Η μελέτη των ακτίνων Χ.
3. Η ανίχνευση των κοσμικών ακτίνων.
4. Η ανίχνευση των νετρίνων που εκπέμπονται από τον ήλιο.

Διδακτικός στόχος: Η ερώτηση δίνεται για να τονιστεί η σημασία του νετρίνου στις σύγχρονες κοσμολογικές μελέτες.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 20 ΛΑΘΟΣ: 05

Ερ. 6.

Σημειώστε τη σωστή πρόταση:

Το χρονικό διάστημα μετά τη μεγάλη έκρηξη για το οποίο δεν μπορούν να γνωρίζουν οι επιστήμονες τι συνέβη είναι:

1. Ένα εκατομμύριο χρόνια
2. 10^{43} s
3. 15 min
4. 10^{10} s

Διδακτικός στόχος: Να τονιστεί ιδιαίτερα η σημαντική για την κοσμολογία χρονική περίοδος των 10^{43} s.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 23 ΛΑΘΟΣ: 02

Ερ. 7.

Τι υπήρχε πριν τη Μεγάλη Έκρηξη;

1. Στερεή συμπαγής ύλη
2. Κουάρκ και λεπτόνια
3. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
4. Δεν γνωρίζουμε.

Πρόκειται για ένα ερώτημα που πάντοτε γεννάται κατά τη διδασκαλία του κοσμολογικού μοντέλου.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 ΣΩΣΤΕΣ: 14 ΛΑΘΟΣ: 11

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 1, 2.- 9, 3.- 1, 4.- 14.



Ερ. 8.

Τοποθετείστε με τη σωστή χρονολογική σειρά τις εποχές εξέλιξης του Σύμπαντος:

Εποχή νουκλεονίων, αντινουκλεονίων.

Εποχή κουάρκ και γλοιονίων.

Εποχή πυρηνοσύνθεσης.

Εποχή λεπτονίων.

Εποχή αστερών, γαλαξιών.

Εποχή ιόντων.

Εποχή ατόμων.

Διδακτικός στόχος: Η κατανόηση της χρονολογικής εξέλιξης του Σύμπαντος.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24 **ΣΩΣΤΕΣ:** 12 **ΛΑΘΟΣ:** 12

Σχολιασμός αποτελέσματος: Από τις 12 λανθασμένες απαντήσεις οι 7 οφείλονται σε παρανόηση της εκφώνησης, οι μαθητές προσπαθούν να βρουν τις χρονικές περιόδους κάθε εποχής.

Ερ. 9.

Σημειώστε τη σωστή πρόταση:

Τα πρώτα ιόντα που σχηματίστηκαν ήταν:

- 1. Ιόντα όλων των γνωστών στοιχείων.*
- 2. Ιόντα υδρογόνου και ηλίου*
- 3. Υδρογόνου και οξυγόνου.*
- 4. Μετάλλων και αμετάλλων.*

Διδακτικός στόχος: Δίνεται έμφαση στην πρωταρχική μορφή της ύλης υπό μορφή ιόντων υδρογόνου και ηλίου.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24 **ΣΩΣΤΕΣ:** 19 **ΛΑΘΟΣ:** 05

Ερ. 10.

Πότε σύμφωνα με τις σύγχρονες απόψεις, θεωρείται ότι γεννήθηκε το Σύμπαν;

- 1. Στις 4 Οκτώβρη 4004 π.Χ.*
- 2. Πριν 13,82 δισεκατομμύρια χρόνια.*
- 3. Πριν 15 εκατομμύρια χρόνια.*
- 4. Ποτέ.*

Διδακτικός στόχος: Η εκτίμηση των μαθηματικών μεγεθών που αφορούν το χρόνο.

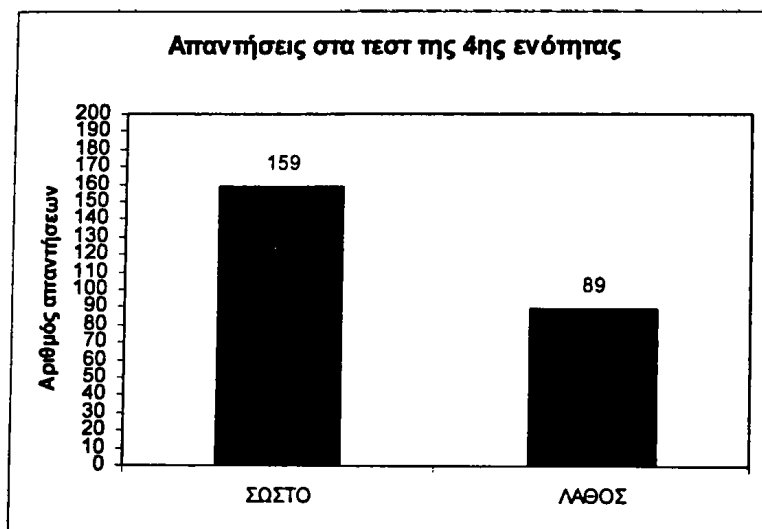
ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 25 **ΣΩΣΤΕΣ:** 21 **ΛΑΘΟΣ:** 04



Το συνολικό αποτέλεσμα για την 4^η ενότητα έχει ως εξής:

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 248 ΣΩΣΤΕΣ: 159 ΛΑΘΟΣ: 89

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.



Ενότητα 5^η. Επιταχυντές – ανιχνευτές.

Ερ. 1.

Σημειώστε τη σωστή πρόταση:

Ο λόγος για τον οποίο επιταχύνουμε σωματίδια στους επιταχυντές είναι:

1. Για να δούμε στο εσωτερικό των ατόμων.
2. Για να δημιουργήσουμε σωματίδια τα οποία θέλουμε να μελετήσουμε.
3. Για να αυξήσουμε την ορμή τους ώστε να μειωθεί το μήκος κύματος.
4. Όλοι οι ανωτέρω λόγοι.

Διδακτικός στόχος: Η ερώτηση αποβλέπει στο να ελεγχθεί αν οι μαθητές έχουν κατανοήσει τον σκοπό λειτουργίας και χρήσης των επιταχυντών.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24 ΣΩΣΤΕΣ: 02 ΛΑΘΟΣ : 22

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 10, 2.- 3, 3.- 9, 4.- 2.

Σχολιασμός αποτελέσματος: Καθώς όλες οι απαντήσεις είναι σωστές, οι μαθητές δεν εμμένουν στη μελέτη της ερώτησης, επιλέγοντας την απάντηση που τους φαίνεται πιο οικία. Ο μικρός αριθμός της απάντησης 2., σημαίνει ότι στο φαινόμενο της δημιουργίας σωματιδίων στους επιταχυντές θα έπρεπε να δοθεί κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, μεγαλύτερη έμφαση.

Ερ. 2.

Σημειώστε τη σωστή πρόταση:

Με το πείραμά του ο Rutherford απέδειξε ότι:

1. Το άτομο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο.
2. Η μάζα του ατόμου και το θετικό φορτίο είναι συγκεντρωμένα στον πυρήνα.
3. Το θετικό φορτίο του ατόμου είναι ίσο με το αρνητικό.
4. Ο πυρήνας περιέχει νετρόνια

Διδακτικός στόχος: Το πείραμα του Rutherford έδωσε για πρώτη φορά στοιχεία για την δομή των ατόμων, δηλ. ότι το άτομο είναι σύνθετο αντικείμενο και αποτέλεσε την απαρχή των επιταχυντών.

Στόχος της ερώτησης είναι να συγκρατήσει ο μαθητής την κεντρική ιδέα του πειράματος.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 22 ΣΩΣΤΕΣ: 11 ΛΑΘΟΣ: 11

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 3, 2.- 11, 3.- 1, 4.- 7.

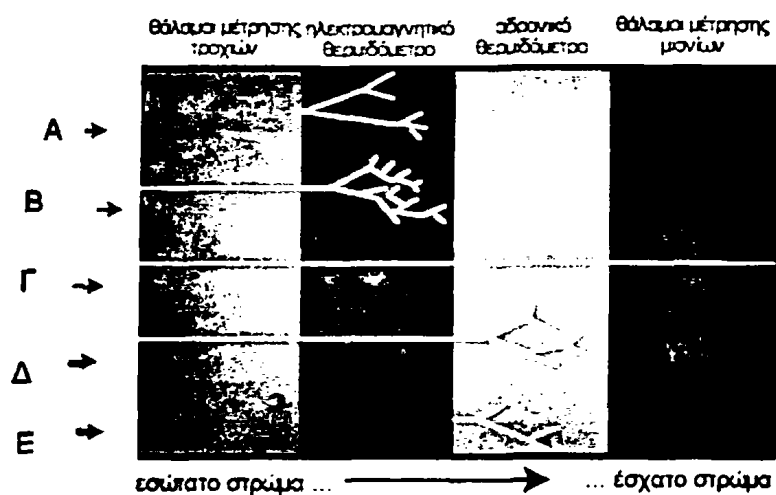
Ερ. 3.

Αντιστοιχίστε τα σωματία:



1. p
2. e
3. Φωτόνια
4. μίονια
5. n

στα γράμματα A, B, Γ, Δ, E της εικόνας:



Διδακτικός στόχος: Μέσω της ερώτησης αυτής ελέγχεται αν έχει γίνει κατανοητός ο τρόπος κατασκευής ενός ανιχνευτικού συστήματος και ο ρόλος των διαφόρων στρωμάτων που το απαρτίζουν.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24 ΣΩΣΤΕΣ: 15 ΛΑΘΟΣ: 09

Σχολιασμός αποτελέσματος: Το θέμα χαρακτηρίστηκε, σε επακολουθήσασα συζήτηση, ως δύσκολο από τους μαθητές καθότι περιέχει πολλούς νέους τεχνικούς όρους, οι οποίοι δεν μπορούν να μαθευτούν μέσα σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό που βασικά έχουν κατανοήσει είναι ότι το κάθε στρώμα, με διαφορετικό τρόπο, ανιχνεύει διαφορετικά είδη σωματιδίων.

Ερ. 4.

Γιατί στους ανιχνευτές τα θερμιδόμετρα πρέπει να είναι έξω από τον θάλαμο ανίχνευσης φορτισμένων σωματιδίων;

1. Γιατί απορροφούν τα σωματίδια.
2. Από κατασκευαστική συνήθεια.
3. Για λόγους προστασίας της συσκευής.
4. Γιατί πρέπει να είναι μεγαλύτερα σε όγκο.

Διδακτικός στόχος: Πληροφορίες σχετικά με κατασκευαστικά στοιχεία του ανιχνευτή και το ρόλο του θερμιδομέτρου.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 23 ΣΩΣΤΕΣ: 11 ΛΑΘΟΣ: 12

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 11, 2.- 0, 3.- 5, 4.- 7.

Σχολιασμός αποτελέσματος:

Οι λόγοι αποτυχίας κρίνονται οι ίδιοι με τους προηγούμενους, τουτέστιν πολλοί νέοι τεχνικοί όροι και λεπτομέρειες που δεν μπορούν να προκαλέσουν το άμεσο ενδιαφέρον των μαθητών, ίσως δε λειτουργούν και αποθαρρυντικά ως προς τη προσέγγιση του εν λόγω θέματος.

Ερ. 5.

Σημειώστε τη σωστή πρόταση:

Είμαστε σε ένα χώρο όπου υπάρχει μία φωτεινή λάμπα και εμείς βλέπουμε ένα αντικείμενο. Ποια είναι η διαδρομή του φωτός καθώς βλέπουμε;

1. Λάμπα → αντικείμενο → μάτι
2. Αντικείμενο → λάμπα → μάτι
3. Αντικείμενο → μάτι → λάμπα
4. Μάτι → αντικείμενο → λάμπα

Διδακτικός στόχος: Με την ερώτηση αυτή εξετάζεται αν οι μαθητές έχουν κατανοήσει την λειτουργία με την οποία «βλέπουμε» τον κόσμο, τη σχέση δηλαδή «ακτινοβολία – στόχος – ανιχνευτής».

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24 ΣΩΣΤΕΣ: 20 ΛΑΘΟΣ: 04

Ερ. 6.

Γιατί οι ανιχνευτές κατασκευάζονται με διαδοχικά στρώματα υλικών, το ένα γύρω από το άλλο;

1. Για περισσότερη αντοχή.
2. Διότι κάθε στρώμα έχει διαφορετική δουλειά να εκτελέσει.
3. Διότι ένα τέτοιο εργαλείο δεν μπορεί να κατασκευαστεί με ένα μοναδικό υλικό.
4. Για οικονομικούς λόγους.

Διδακτικός στόχος: Εξετάζεται αν έχει γίνει κατανοητός ο κατασκευαστικός σχεδιασμός των ανιχνευτών και ο ρόλος των διαδοχικών επάλληλων στρωμάτων.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 22 ΣΩΣΤΕΣ: 14 ΛΑΘΟΣ: 08

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 4, 2.- 14, 3.- 4, 4.- 0.

Ερ. 7.

Πώς ανιχνεύονται τα νετρίνα;

1. Στο αδρονικό θερμιδόμετρο.



2. Στο ηλεκτρομαγνητικό θερμιδόμετρο.
3. Τα νετρίνα δεν ανιχνεύονται, διαφεύγουν. Η παρουσία τους γίνεται αντιληπτή από το έλλειμμα ενέργειας.

4. Στο θάλαμο ανίχνευσης φορτισμένων σωματιδίων

Διδακτικός στόχος: Τονίζεται η αλληλεπίδραση των νετρίνων με την ύλη και η ιδιαιτερότητα του σωματίου αυτού.

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24 ΣΩΣΤΕΣ: 16 ΛΑΘΟΣ: 08

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 2, 2.- 4, 3.- 16, 4.- 2.

Σχολιασμός αποτελέσματος:

Ο σχετικά καλός αριθμός των επιτυχών απαντήσεων έχει να κάνει με την εντύπωση που προκαλεί το σωματίδιο αυτό καθώς μπορεί να διαπεράσει τεράστια ποσότητα ύλης χωρίς να αλληλεπιδράσει μ' αυτήν.

Ερ. 8.

Οι φυσικοί βλέπουν τις συγκρούσεις των σωματιδίων απευθείας;

1. - Ναι, χρησιμοποιώντας νανοτεχνολογίες.
2. Όχι, εξετάζουν τα αποτελέσματα των συγκρούσεων.
3. Βλέπουν μόνο τις συγκρούσεις των μεγάλων σωματίων.
4. Εξαρτάται από τις συνθήκες του πειράματος.

Διδακτικός στόχος: Επισημαίνεται ο έμμεσος τρόπος με τον οποίο παρατηρούμε τα γεγονότα των αλληλεπιδράσεων

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24 ΣΩΣΤΕΣ: 16 ΛΑΘΟΣ: 08

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 2, 2.- 16, 3.- 2, 4.- 3.

Ερ. 9.

Τι κάνει ο μαγνήτης σ' έναν επιταχυντή;

1. Προστατεύει από μεταλλική σκόνη το εσωτερικό του επιταχυντή.
2. Προκαλεί καμπύλωση της τροχιάς των φορτισμένων σωματιδίων.
3. Εξαναγκάζει τα ουδέτερα σωματίδια να καμπυλώνουν την τροχιά τους.
4. Χρησιμοποιείται για τη στήριξη της συσκευής.

Διδακτικός στόχος: Εξετάζεται η λειτουργία των μαγνητών ως βασικών κατασκευαστικών στοιχείων ενός επιταχυντή.

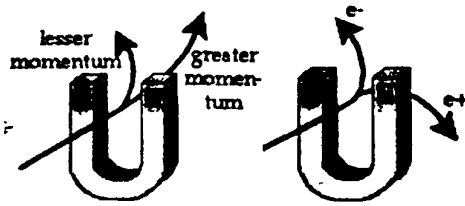
ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24 ΣΩΣΤΕΣ: 16 ΛΑΘΟΣ: 08



Αναλυτικά οι απαντήσεις:

1.- 0, 2.- 16, 3.- 7, 4.- 1.

Ερ. 10



Τι μπορούμε να εντοπίσουμε από τις τροχιές των σωματιδίων που κινούνται μέσα σε μαγνητικό πεδίο;

1.....

2.....

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 24

ΣΩΣΤΕΣ: 07

ΛΑΘΟΣ: 17

Αναλυτικά οι απαντήσεις:

(1.- διαφορετική ορμή, 2.- διαφορετικό ηλεκτρικό φορτίο) – 7.

(1.-..... 2.- διαφορετικό ηλεκτρικό φορτίο) – 11.

(1.- διαφορετική «φόρα» 2.- ηλεκτρικό φορτίο) – 3.

Σχολιασμός αποτελέσματος:

Προφανώς η αποτυχία αφορά το πρώτο σκέλος της ερώτησης. Κρίνεται ότι οφείλεται στην ελλιπή γνώση στοιχείων ηλεκτρομαγνητισμού, αλλά και της ορμής. Η χρήση της λέξης «φόρα», όπως χρησιμοποιείται από 3 μαθητές, υποδηλώνει αντίληψη ορμής

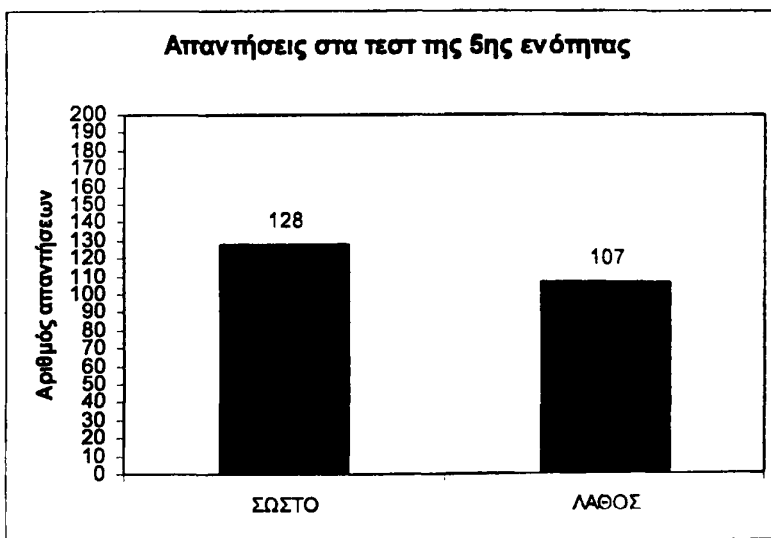
Το συνολικό αποτέλεσμα για την 5^η ενότητα έχει ως εξής:

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 235

ΣΩΣΤΕΣ: 128

ΛΑΘΟΣ: 107

ΓΡΑΦΗΜΑ 5.



4.4 Ερωτήσεις διερεύνησης κοινωνικών-προσωπικών παραμέτρων και στάσης απέναντι στο μάθημα.

Με το πέρας των παρουσιάσεων των μαθημάτων, δόθηκε στους μαθητές ένα ερωτηματολόγιο μέσω του οποίου επιδιώχθηκε η αξιολόγηση της παρούσας διδακτικής παρέμβασης αναφορικά με την αποδοχή της από αυτούς. Στόχος του ερωτηματολογίου ήταν να διερευνηθεί ο βαθμός δυσκολίας ως προς την κατανόηση τέτοιων θεμάτων και το κατά πόσο αυτά θα μπορούσαν να ανήκουν στη σφαίρα των γνωστικών ενδιαφερόντων των μαθητών. Μέσω του ερωτηματολογίου διερευνώνται στοιχεία που αφορούν το οικογενειακό, κοινωνικό και ευρύτερο πολιτιστικό περιβάλλον των παιδιών. Οι ερωτήσεις δόθηκαν μετά το τέλος της τελευταίας παράδοσης, και μετά το ερωτηματολόγιο που αφορούσε την τελευταία ενότητα. Στους μαθητές τονίστηκε ότι η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου είναι προαιρετική. Έτσι οι περισσότεροι συμπλήρωσαν τις μονολεκτικές απαντήσεις και απέφυγαν γενικότερες περιγραφές. Συμμετείχαν στη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου συνολικά **24 από τους μαθητές**. Οι ερωτήσεις, με τη σειρά που δόθηκαν είναι οι εξής:

Ερ. 1.

Ποιο είναι το σημαντικότερο ερώτημα που έχεις μετά την παρακολούθηση των μαθημάτων;

.....

Δόθηκαν δύο απαντήσεις:

1. Αν οι επιστήμονες θα συνεχίσουν να κάνουν ακόμα πιο δύσκολα πειράματα.
2. Πριν γίνει η έκρηξη, πώς δημιουργήθηκε αυτό το κέντρο του μικρόκοσμου;

Ερ. 2

Βρίσκεις ενδιαφέρον το αντικείμενο; (σημειώστε με X)

ΝΑΙ..... ΟΧΙ..... Γιατί;

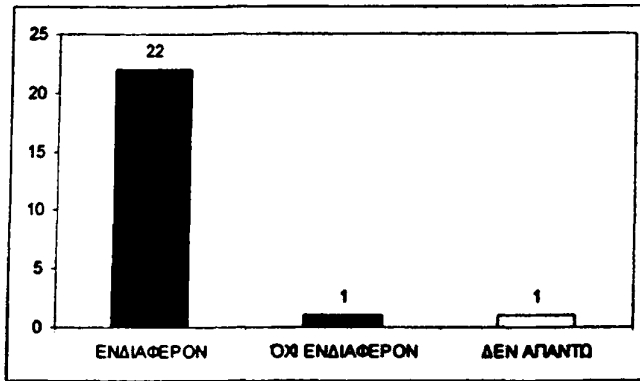
.....

Απάντησαν: ΝΑΙ: 22

ΟΧΙ: 01

ΑΝΑΠΑΝΤΗΤΑ: 01

ΓΡΑΦΗΜΑ 6.



Δόθηκαν οι ακόλουθες εξηγήσεις:

Γιατί μπορούμε να εξετάσουμε πώς δημιουργήθηκε η αρχή και το τέλος του κόσμου στη γη.

Τα μαθήματα που κάναμε ήταν ενδιαφέροντα και πήραμε μια ιδέα από Φυσική με ένα διαφορετικό τρόπο.

Ναι, γιατί μας βοηθάει να μάθουμε πιο καλά για αυτά που δεν ξέραμε για τη Φυσική και για άλλα πράγματα που μας απασχολούσαν.

Γιατί μαθαίνω πράγματα.

Γιατί μου εξηγεί...

Γιατί μου αρέσει να ασχολούμαι με αυτό

Μαθαίνεις κάτι που δεν ήξερες, πιστεύω ότι σου κάνει καλό

Ερ. 3.

Τα μαθήματα αυτά κατά τη γνώμη σου ήταν ως προς την κατανόηση: (σημειώστε με X)

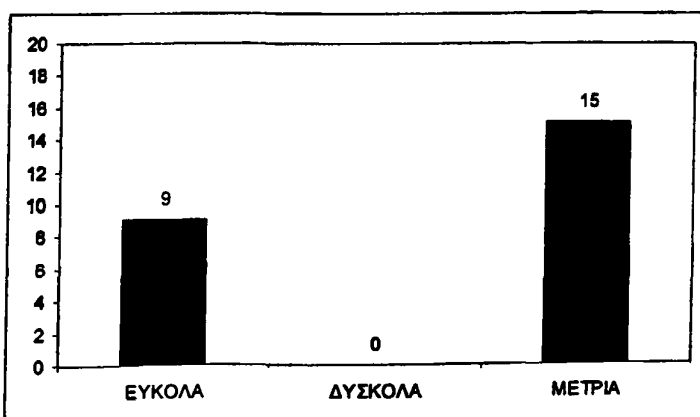
ΕΥΚΟΛΑ.....

ΔΥΣΚΟΛΑ.....

ΜΕΤΡΙΑ.....

Απάντησαν 24: ΕΥΚΟΛΑ: 09 ΔΥΣΚΟΛΑ: 00 ΜΕΤΡΙΑ: 15

ΓΡΑΦΗΜΑ 7.



Ερ. 4

Οι δυσκολίες στην κατανόηση των μαθημάτων αυτών οφείλονται σε: (Βάλε σε κύκλο τον αριθμό της σωστής απάντησης)

- 1. Δεν επαρκούν οι γνώσεις της Φυσικής που έχω για να μπορώ να κατανοήσω τέτοιες έννοιες.*
- 2. Ήταν λίγος ο χρόνος.*
- 3. Ήταν πολλά μαζί μαζεμένα.*
- 4. Δεν με ενδιέφεραν οπότε δεν μπορούσα να τα παρακολουθήσω.*
- 5. Ήταν πράγματα πολύ αφηρημένα και δύσκολα να τα φανταστώ.*
- 6. Άλλος λόγος: (αναπτύξτε τον)*

Απάντησαν 23 ως εξής:

1. 01
2. 08
3. 11
4. 01 (απάντησε και στη 2)
5. 01
6. 02 (ήτανε πολύ ωραία/μου άρεσαν πολύ).

Ερ. 5.

Πιστεύεις πως τα μαθήματα αυτά (σημειώστε με X):

- 1. ... Θα έπρεπε να είναι πιο απλά.*
- 2. ... Θα ήταν καλύτερα αν περιείχαν περισσότερες εικόνες και βίντεο.*
- 3. ... Αρκούν όπως είναι*
- 4. ... Άλλη άποψη (Διατύπωσέ την με λίγα λόγια).*

.....
Απάντησαν 24:

1. 03
2. 08
3. 12
4. 01 (ασαφής απάντηση).

Ερ. 6

Διαβάζεις τέτοια θέματα από εφημερίδες, περιοδικά; (σημειώστε με X).

ΝΑΙ..... ΟΧΙ.....

Απάντησαν 24

ΝΑΙ: 06

ΟΧΙ: 18

Ερ. 7

Διαβάζεις βιβλία επιστημονικής φαντασίας; (σημειώστε με X)

ΝΑΙ..... ΟΧΙ.....

Απάντησαν 24

ΝΑΙ: 13

ΟΧΙ: 11

Ερ. 8

Παρακολουθείς στην τηλεόραση σχετικά θέματα; (σημειώστε με X)

ΝΑΙ..... ΟΧΙ....

Απάντησαν 24

ΝΑΙ: 11

ΟΧΙ: 13

Ερ. 9

Το μάθημα της φυσικής κατά τη γνώμη σου ανήκει στα μαθήματα που θα τα χαρακτήριζες ως:
(σημειώστε με X)

ΕΥΚΟΛΑ....., ΜΕΤΡΙΑ....., ΔΥΣΚΟΛΑ.....

Απάντησαν 24

ΕΥΚΟΛΑ: 04

ΜΕΤΡΙΑ: 15

ΔΥΣΚΟΛΑ: 05

Ερ. 10

Ο τόπος κατοικίας σου είναι: (Βάλε σε κύκλο τη σωστή απάντηση)

1. Μικρό Χωριό (Πληθυσμός < 300 κάτοικοι)
2. Μεγάλο Χωριό (πληθυσμός 300-1000 κάτοικοι)
3. Κωμόπολη (Πληθυσμός 1000 – 5000 κάτοικοι)
4. Πόλη (5.000-30.000 κάτοικοι)
5. Πόλη (πληθυσμός > 30.000 κάτοικοι)

Απάντησαν 24:

1. 11
2. 06
3. 02



4. 04

5. 01

Ερ. 11

Τι επάγγελμα θα ακολουθήσεις όταν μεγαλώσεις;.....

Απάντησαν 22:

Δεν γνωρίζω ακόμη (5)

Μαγείρισσα

Διοίκηση επιχειρήσεων σε Στρατιωτικές Σχολές

Αστυνομικός

Ηλεκτρολόγος αυτοκινήτων (2)

Επαγγελματικό (;)

Ψυκτικός (2)

Κομμωτική

Δικηγόρος (2)

Ψυχολόγος

Οδοντοτεχνίτης

Μηχανικός αυτοκινήτων

Μηχανικός αυτοκινήτων και αστυνομικός

Νοσηλεύτρια

Νοσηλεύτρια ή κοινωνικός φροντιστής

Ερ. 12

Ποια ομάδα μαθημάτων προτιμάς;

1. Φυσική-Μαθηματικά-Χημεία

2. Νέα Ελληνικά-Ιστορία-Αρχαία

Απάντησαν 24 Ομάδα 1: 11 Ομάδα 2: 12

(Ένας απάντησε: Μαθηματικά, Χημεία, Ιστορία)

Ερ. 13

Επάγγελμα γονέων:

ΠΑΤΕΡΑ:.....

ΜΗΤΕΡΑΣ:.....

Απάντησαν 22 ως εξής:

Οικοδόμος -.....



Κτηνοτρόφος –Κτηνοτρόφος
Οικοδόμος – άνεργη
Οικοδόμος – Μαγείρισσα
Χτίστης – Οικιακά
Σερβιτόρος – Οικιακά
Σιδεροκολλητής -
Έργολάβος – δασκάλα
Κτηνοτρόφος – κτηνοτρόφος
..... - Δημόσιος υπάλληλος
Ελαιοχρωματιστής -
Αρτοποιός – Αρτοποιός
Κτηνοτρόφος και Δημόσιος υπάλληλος – Δημόσιος υπάλληλος
Οικοδόμος – Νοικοκυρά
Εστιάτορας – Οικιακά
Σιδεροκολλητής -
Χειριστής σκαφτικών μηχανημάτων – άνεργη
Κτηνοτρόφος – Κτηνοτρόφος
Οικοδόμος – Μαγείρισσα
Σιδεράς – Οικιακά
Οδηγός λεωφορείου – Οικιακά
Κηπουρός -

Ερ. 14

Μορφωτικό επίπεδο γονέων: (σημειώστε με X)

Πατέρας

..... Δεν τελείωσε το Δημοτικό
.....Απολυτήριο Δημοτικού
.....Απολυτήριο Γυμνασίου
.....Απολυτήριο Λυκείου
.....Πτυχίο Ανώτερης Σχολής

Μητέρα

..... Δεν τελείωσε το Δημοτικό,
.....Απολυτήριο Δημοτικού
.....Απολυτήριο Γυμνασίου



.....Απολυτήριο Λυκείου

.....Πτυχίο Ανώτερης Σχολής

Απάντησαν 22 κατά τους ακόλουθους συνδυασμούς (Πατέρας/Μητέρα):

(4) Απολυτήριο Λυκείου/ Απολυτήριο Λυκείου

(8) Απολυτήριο Γυμνασίου/ Απολυτήριο Γυμνασίου

Απολυτήριο Δημοτικού/ Δεν τελείωσε το Δημοτικό

Απολυτήριο Δημοτικού/ Απολυτήριο Γυμνασίου

Απολυτήριο Γυμνασίου/

Δεν τελείωσε το Δημοτικό/.....

Απολυτήριο Λυκείου/ Πτυχίο Ανώτερης Σχολής

(2) Απολυτήριο Δημοτικού/ Απολυτήριο Δημοτικού

(2) Απολυτήριο Γυμνασίου/ Απολυτήριο Δημοτικού

Απολυτήριο Δημοτικού/ Απολυτήριο Λυκείου



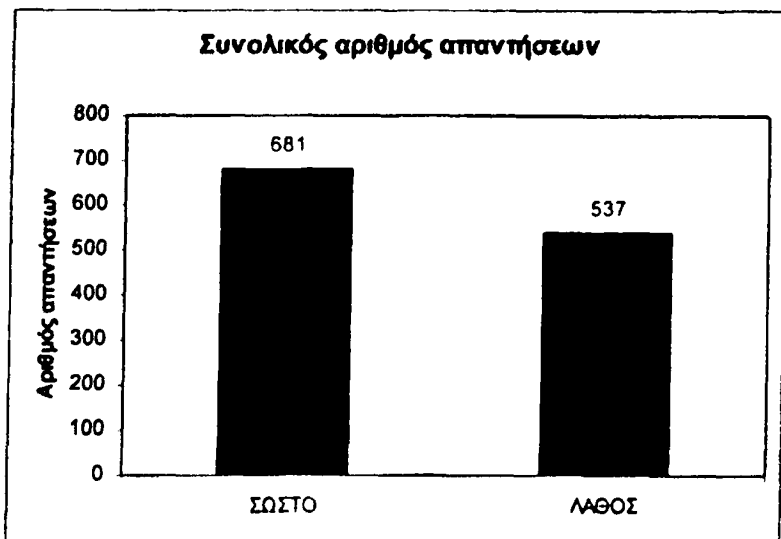
4.5 Αξιολόγηση των ερωτηματολογίων

4.5.1 Συνολικά αποτελέσματα των τεστ κατανόησης

Όπως προκύπτει από την καταμέτρηση των απαντήσεων τα συνολικά αποτελέσματα έχουν ως εξής:

ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ: 1218 ΣΩΣΤΕΣ: 681 (56%) ΛΑΘΟΣ: 537 (44%)

ΓΡΑΦΗΜΑ 8.



4.5.2 Η αποδοχή του νέου διδακτικού αντικειμένου και η στάση των μαθητών ως προς το μάθημα της Φυσικής.

Ερ.1. Οι μαθητές αποφεύγουν να δώσουν περιφραστικές απαντήσεις και αυτό ήταν αναμενόμενο. Η διδασκαλία είχε υπερβεί την μία ώρα, ήδη είχαν απαντήσει σε ένα ερωτηματολόγιο, προσπάθησαν λοιπόν να τελειώσουν όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Ωστόσο, έστω και οι δύο απαντήσεις δείχνουν ότι η διδασκαλία προκάλεσε ενδιαφέροντα και έδωσε αφορμή για μια επαφή με ένα τομέα της επιστήμης, άγνωστο σ' αυτούς μέχρι τώρα.

Ερ.2. Οι απαντήσεις στην ερώτηση αυτή έδειξαν να ικανοποιούν έναν από τους βασικούς στόχους της παρούσας εργασίας: Την πρόκληση του ενδιαφέροντος γι' αυτόν τον χώρο της Φυσικής επιστήμης. Οι αιτιολογήσεις υποδηλώνουν την αποδοχή των μαθημάτων ως ένα νέο ενδιαφέρον στοιχείο.

Ερ.3. Ο χαρακτηρισμός των θεμάτων ως μετρίων από τα 2/3 των μαθητών και ως εύκολων από το 1/3 τους, αποτελεί ένα ενδεικτικό στοιχείο που συνηγορεί υπέρ της διδασκαλίας του συγκεκριμένου αντικειμένου στους μαθητές αυτής της ηλικίας.

Ερ.4. Οι περισσότερες απαντήσεις αφορούν τον σχετικά μικρό χρόνο μέσα στον οποίο διεξήχθησαν οι παραδόσεις. Κρίθηκε από τους μαθητές λίγος ώστε, μέσα σ' αυτόν, να μπορέσουν να δεχθούν και να αφομοιώσουν όλα τα καινούργια στοιχεία.

Ερ.5. Το υλικό παρουσίασης όσον αφορά εικόνες και video κρίθηκε επαρκές, ως έχει, από τους περισσότερους. 8 δήλωσαν ότι θα το επιθυμούσαν πιο εμπλουτισμένο.

Ερ.6 και 7. Η πλειοψηφία των μαθητών δεν διαβάζει σχετικά θέματα στο τύπο, οι μισοί όμως τα παρακολουθούν στην τηλεόραση και διαβάζουν επιστημονική φαντασία.

Ερ.9. Για τους περισσότερους το μάθημα της Φυσικής χαρακτηρίζεται ως προς το βαθμό δυσκολίας *μέτριο*.

Ερ.12 Το ενδιαφέρον των μισών μαθητών στρέφεται προς τα μαθήματα θετικής κατεύθυνσης.

4.5.3 Ερωτηματολόγιο διερεύνησης κοινωνικών-προσωπικών παραμέτρων και στάσης απέναντι στο μάθημα.

Με τις **Ερ.10, 13,14.** ερευνήθηκε το κοινωνικό και πολιτιστικό υπόβαθρο των μαθητών. Όπως προκύπτει, οι μαθητές προέρχονται από την επαρχία, και στην πλειονότητα από μικρά χωριά. Οι γονείς ανήκουν στα κατώτερα οικονομικά στρώματα, το δε μέσο μορφωτικό τους επίπεδο αντιστοιχεί στο απολυτήριο Γυμνασίου. Τα επαγγέλματά τους είναι κυρίως τεχνικής και αγροτικής φύσεως.

Με την **Ερ. 11** ερευνήθηκε ο επαγγελματικός προσανατολισμός των μαθητών. Πέντε δεν είχαν αποφασίσει ενώ από τους υπόλοιπους μόνο τέσσερις έδειξαν να ενδιαφέρονται για ανώτερες σπουδές. Οι περισσότεροι στοχεύουν σε τεχνικά επαγγέλματα, όπως επίσης κομμωτική και νοσηλευτική.

41



5 Συμπεράσματα και Προτάσεις

5.1 Η εισαγωγή της Σύγχρονης Φυσικής στο Γυμνάσιο

Η μετάδοση εννοιών της Σύγχρονης Φυσικής ενέχει δυσκολίες οι οποίες εστιάζονται κυρίως στην εννοιολογική σύγκρουση νέων αντιλήψεων με αντιλήψεις οι οποίες είναι παγιωμένες στα παιδιά. Η δυσκολίες αυτές είναι εμφανείς στην προσπάθεια μετάδοσης εννοιών όπως ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός, η σχετικότητα του χρόνου και του μήκους, η μεγάλη έκρηξη, η εκ του μηδενός δημιουργία⁹⁵.

Παρόλα αυτά, η εισαγωγή της διδασκαλίας του Καθιερωμένου Προτύπου για τη δομή της ύλης σε συνδυασμό με στοιχεία από την Κβαντομηχανική και τη Σχετικότητα καθώς και με στοιχεία της Κοσμολογίας, στη Γ' Γυμνασίου είναι εφικτή και μείζονος σημασίας για την εποχή μας. Η εμπειρία από αυτή τη σειρά μαθημάτων, έδειξε ότι οι μαθητές της ηλικίας των 15 ετών μπορούν να κατανοήσουν έννοιες της Σύγχρονης Φυσικής. Η άποψη αυτή έρχεται σε συμφωνία με τα συμπεράσματα παρόμοιων εργασιών.⁹⁶ Τα οφέλη από τη διδασκαλία αυτή είναι σημαντικά. Οι μαθητές θα προσεγγίσουν ένα χώρο που εκ πρώτης όψεως φαίνεται απρόσιτος, θα προβληματιστούν γύρω από τις έννοιες που άπτονται της φιλοσοφίας και θα δουν τη Φυσική με μία περισσότερο κριτική ματιά. Θα μπορούν να κατανοούν καλύτερα κάποια φαινόμενα που συχνά μπορεί να συναντούν στον τύπο και στην τηλεόραση. Τα θέματα της Φυσικής της εποχής μας δείχνουν για τα παιδιά αυτής της ηλικίας ενδιαφέροντα και μπορούν να αποτελούν αφορμές για συζητήσεις.

Τα θέματα της Φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων, μπορούν να συνδεθούν με προϋπάρχουσες γνώσεις των μαθητών. Για την καλύτερη κατανόησή τους, απαιτείται μία αναπροσαρμογή του Αναλυτικού Προγράμματος της Β' και Γ' Γυμνασίου.

Η εισαγωγή της Ιστορίας των θεωριών της Δομής της Ύλης, δίνει μία σφαιρική εικόνα στο κεφάλαιο αυτό, καθιστώντας το περισσότερο αυτόνομο ως επιστημονική ενότητα στην διδασκαλία, έτσι ώστε να μπορεί να διδαχθεί ως μία ανεξάρτητη σειρά μαθημάτων Φυσικής στα πλαίσια είτε κάποιου μαθήματος Επιλογής (Φυσικών Επιστημών), είτε σ' αυτά της διδακτέας ύλης του αναλυτικού προγράμματος.

Ένα σύστημα προσομοιώσεων είναι απαραίτητο για να μπορέσουν οι μαθητές να αντιληφθούν έννοιες αρκετά αφηρημένες και σχετικά δύσκολες για το στάδιο νήπιτικής ανάπτυξης στο οποίο βρίσκονται. Μία βελτιωμένη εκδοχή της παρούσας διδακτικής παρέμβασης θα αποτελούσε η άμεση πρόσβαση σε προσομοιώσεις που βρίσκονται στο διαδίκτυο, χωρίς να χρειάζεται αυτές να συγκεντρωθούν σε CD. Παρέχεται κατ' αυτόν τον τρόπο περισσότερη πρωτοβουλία αυτενέργειας στους μαθητές. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί στο άμεσο μέλλον, όταν διάφορα τεχνικά προβλήματα που εμφανίζονται, όσον αφορά τη χρήση των υπολογιστών και του Διαδικτύου στα σχολεία, θα εκλείψουν.

Σε ένα πρόγραμμα διδασκαλίας όπως αυτό της Φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων ο ρόλος της εικόνας είναι σημαντικός, καθότι υποκαθιστά σε μεγάλο βαθμό το εργαστήριο. Ταυτόχρονα με την παροχή εικόνων στους μαθητές θα πρέπει να γίνεται σαφές ότι πρόκειται για μοντέλα και όχι για τις ίδιες τις οντότητες. Θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην έννοια του μοντέλου και στο ρόλο του για την αναπαράσταση της πραγματικότητας. Προγράμματα Σύγχρονης Φυσικής που παρέχονται στο διαδίκτυο όπως το Hands on CERN⁹⁷, Physics on Stage⁹⁸ κλπ θα πρέπει να παρουσιάζονται με την κάθε ευκαιρία στους μαθητές και θα πρέπει αυτοί να παροτρύνονται προς αυτά. Αποτελούν ένα καλό μέσο μάθησης εξ αποστάσεως και φέρνουν τους μαθητές σε επαφή με τις σύγχρονες επιστημονικές εξελίξεις. Καθιστούν κατ' αυτόν τον τρόπο τον κόσμο των μεγάλων ερευνητικών κέντρων προσιτό στους μαθητές με ό,τι αυτό συνεπάγεται στη διαδικασία της μάθησης. Οι μαθητές θα πρέπει να ενθαρρύνονται για έρευνα και περιήγηση στους χώρους των αντίστοιχων δικτυακών τόπων και αυτό να αποτελεί μέρος τόσο της σχολικής όσο και της κατ' οίκον εργασίας.

5. Προτάσεις για μια αναπροσαρμογή του Αναλυτικού Προγράμματος.

Μία αναπροσαρμογή του Αναλυτικού Προγράμματος με στόχο την Εισαγωγή των Ενοτήτων της παρούσας διδακτικής παρέμβασης στη διδασκαλία της Φυσικής της Γ' Γυμνασίου θα έπρεπε να συμπεριλάβει στην ύλη της Β' και Γ' Γυμνασίου τις εξής ενότητες:

1. Ορμή. Η έννοια αυτή, έννοια που χρησιμοποιείται στον καθομιλούμενο λόγο, δεν θα συνιστούσε ιδιαίτερη δυσκολία στα πλαίσια του μαθήματος της Μηχανικής. Είναι μία έννοια η οποία μπορεί να γίνει κατανοητή όσον αφορά θέματα καθημερινής πρακτικής. Αποτελεί μία από τις προϋποθέσεις για την κατανόηση του ρόλου των επιταχυνόμενων σωματιδίων και της χρήσης τους στους επιταχυντές.



2. Στοιχεία ηλεκτρομαγνητισμού - Κίνηση φορτισμένων σωματιδίων σε μαγνητικό πεδίο. Η αφαιρετική ικανότητα των μαθητών αυτής της ηλικίας καθιστά δυνατή την κατανόηση του φαινομένου. Μπορούν να φανταστούν την κίνηση φορτίου μέσα σε μαγνητικό πεδίο και την απόκλιση που αυτό δέχεται. Μπορούν να κάνουν χρήση των κανόνων του δεξιού χεριού και των τριών δακτύλων για να βρουν την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου και της δύναμης Lorentz. Η διάταξη του αναλυτικού προγράμματος αλλά και πρακτικοί λόγοι που αφορούν τη λειτουργία του Σχολείου, έχουν ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της διδακτέας ύλης στα κεφάλαια της Μηχανικής. Έτσι ένα μεγάλο μέρος της διδασκαλίας στη Γ' Γυμνασίου αναλώνεται σε θέματα κινητικής.

3. Κύματα. Το κεφάλαιο αυτό (υπάρχει στο βιβλίο Φυσικής της Γ' Γυμνασίου), απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση του κυματοσωματιδιακού дуΐσμού και της λειτουργίας των επιταχυντών, θα έπρεπε να διδαχθεί ώστε να γίνει κατανοητή η έννοια του κύματος ως ενός μηχανισμού μετάδοσης ενέργειας.

4. Ενέργεια. Αν και η έννοια περιλαμβάνεται στην ύλη της Γ' Γυμνασίου ωστόσο, έτσι όπως παρουσιάζεται, έχει το χαρακτήρα ενός επιπλέον γνωστικού αντικειμένου. Πρόκειται προφανώς για τη σημαντικότερη έννοια στο μάθημα της Φυσικής η μετάδοση της οποίας στους μαθητές πρέπει να επιδιώκεται όχι μόνο μέσω της νοητικής αλλά και της διαισθητικής τους ικανότητας. Η έννοια της ενέργειας με τις μορφές και μετατροπές της θα πρέπει να εμφανίζεται παντού, στην κάθε ενότητα ώστε να αφομοιωθεί όσο το δυνατό νωρίτερα .

Όλα τα ανωτέρω αναφερθέντα θέματα θα πρέπει να διδαχθούν με τη χρήση των ελάχιστων δυνατών μαθηματικών σχέσεων ώστε να μην προκαλείται αποθάρρυνση στην προσέγγιση του νέου αντικειμένου.

Μία αναπροσαρμογή προς αυτή την κατεύθυνση θα θέσει τις βάσεις ώστε ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια της Φυσικής, προϊόν των μεγαλύτερων επιτευγμάτων της ανθρώπινης σκέψης, να μπορεί να διδαχθεί στα πλαίσια της υποχρεωτικής εκπαίδευσης και οι μαθητές από νωρίς να εξοικειώνονται με τις βασικές αρχές και έννοιες της Σύγχρονης Φυσικής, της Φυσικής του 20^{ου} και 21^{ου} αιώνα.

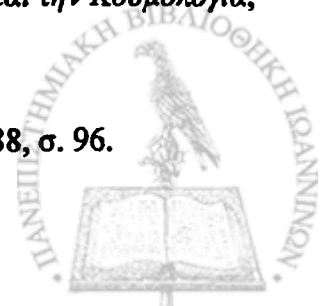
Αναφορές – Βιβλιογραφία.

- ¹ Swinbank E., *Particle physics: a new course for schools and colleges*, Phys. Educ. 27(1992)
Printed in the UK.
- ² Barlow R., *Particle physics: from school to university*, Phys. Educ. 27(1992) Printed in the UK.
- ³ Oss, S and Lopez-Arias, T. *Teaching Modern Physics at High School: New Methodologies and Technics to look at Nature with Quantum Eyes*.
<http://www-phys.science.unitn.it/lcosfi/index.html>.
- ⁴ Ostili M., *Perché insegnare Astrofisica e Cosmologia nella Scuola Superiore*,
http://www.treccani.it/site/Scuola/nellascuola/area_scienze_sperimentali/astrofisica/ostili.htm
- ⁵ Piaget J., *Η ψυχολογία της νοημοσύνης*, Μετ. Ε. Βέλτσου, Εκδ. Καστανιώτη, Αθήνα 1988, σ. 170.
- ⁶ i. Παρασκευόπουλος Ι., *Εξελεκτική Ψυχολογία*, Τόμος 4: εφηβική ηλικία, Εκδ. Αθηνά
ii. Κόκκοτας Π., *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Μέρος Ι*, Εκδ. Γρηγορή, Αθήνα 2004, σ.122
- ⁷ Σκορδούλης Κ., *Για το 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο – Ιστορικές Αναφορές, Στόχοι, Προοπτικές, Πρακτικά 2^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου: Η συμβολή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*, Αθήνα 8-11/5/2003.
- ⁸ Niaz M. and Rodrigez M., *Improving learning by discussing controversies in 20th century Physics*,
www.iop.org/journal/phised
- ⁹ Arons A. B., *Οδηγός Διδασκαλίας της Φυσικής*, Μετ. Α. Βαλαδάκης, Τροχαλία 1992, σ.466.
- ¹⁰ Monk M., Osborne J., *Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy*, Science Education, July 1997
- ¹¹ Arons A. B., *Computer-based instructional dialogs in science courses*,
Science 224, 1051, 1984.
- ¹² Reif F., 1986, *Scientific approaches to science education*. Physics Today, Nov, 48
- ¹³ <http://edsoft.cti.gr/edsoft/logismika/interactivephysics.html>
- ¹⁴ <http://odysseia.cti.gr/kirki/2ndProductGroup/Modellus.htm>
- ¹⁵ <http://www.toolbook.com/>
- ¹⁶ <http://visualbasic.about.com/>



- ¹⁷ <http://www.java.com/en/>
- ¹⁸ Τσαούσης Δ., *Δυσκολίες στη διδασκαλία της Φυσικής - Προσομοίωση πειραμάτων*, <http://users.ioa.sch.gr/dtsaousis/>
- ¹⁹ Δαπόντες Ν.: *Η καλλιέργεια της δημιουργικής φαντασίας με ανοιχτά περιβάλλοντα*, Επιθεώρηση Φυσικής Νο 30, Άνοιξη 1999.
- ²⁰ Ions V., *Παγκόσμια Μυθολογία*, Μετ. Π. Μάτεσις, Εκδ. Ακμή, Αθήνα 1974.
- ²¹ Βελισσαρόπουλος Δ., *Ιστορία της Κινέζικης Φιλοσοφίας*, Εκδόσεις Δωδώνη, Αθήνα 1981, Τόμος Α, σ. 33.
- ²² Δανέζης Μ., Θεοδοσίου Σ., *Η Κοσμολογία της Νόησης*, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα 2003, σ 230.
- ²³ Ησίοδος, *Θεογονία*, Μετ. Π. Λεκατσάς, Εκδόσεις Ι. Ζαχαρόπουλος, σ. 116.
- ²⁴ Ρίσπεν Ζ., *Μεγάλη Ελληνική Μυθολογία*, Μετ. Κ. Πολίτη, Εκδ. Φυτράκης- Κουτσούμπος, Αθήνα 1965.
- ²⁵ Βαμβακάς Κ., *Οι Θεμελιωτές της Δυτικής Σκέψης*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 2001, σ.250.
- ²⁶ Schroedinger E., *Η Φύση και οι Έλληνες*, Μετ. Θ. Γραμμένος, Εκδ. Π. Τραυλός, Αθήνα 2003, σ. 112.
- ²⁷ Βαμβακάς Κ., *ό.π.*, σ. 312.
- ²⁸ Feyrerabend P., *Ιστορία της Φιλοσοφίας της Επιστήμης*, (λήμμα στο λεξικό *Oxford companion to Philosophy*), <http://www.mikrosapoplous.gr/articles/feyerabend.html>
- ²⁹ Τσέλλερ – Νέστλε, *Ιστορία της Ελληνικής Φιλοσοφίας*, Μετ. Χ. Θεοδωρίδη, Βιβλιοπωλείο της «Εστίας», Αθήνα 1980, σ. 312.
- ³⁰ Βαμβακάς Κ., *ό.π.*, σ. 463.
- ³¹ Bailey C., *The Greek Atomists and Epicurus*, Russel& Russel Inc., New York 1964, σ. 122.
- ³² Τσέλλερ – Νέστλε, *ό.π.*, σ.188.
- ³³ Τσέλλερ – Νέστλε, *ό.π.*, σ.232.
- ³⁴ Bernhardt J., *Αριστοτέλης, Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ*, Τόμος Α', *Από τον Πλάτωνα ως τον Θωμά Ακινάτη* Επιμέλεια Φ. Σατελέ, Μετ. Ήπαγαγόρηγης Κ., Εκδ. Γνώση, Αθήνα 1989, σ. 97.
- ³⁵ Θεοδωρίδης Χ., *Επίκουρος*, Βιβλιοπωλείον της Εστίας, Αθήνα 1981, σ. 301.

- ³⁶ Grant E., *Οι Φυσικές Επιστήμες τον Μεσαίωνα*, Μετ. Ζ. Σαρίκας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 1994, σ. 50.
- ³⁷ John L. Parks Chem Team, *Atomic Structure from Democritus to Dalton*,
<http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/AtomicStructure/Democritus-to-Dalton.html>
- ³⁸ Butterfield H., *Η καταγωγή της Σύγχρονης Επιστήμης (1300-1800)*, Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης, Αθήνα 1994, σ. 43.
- ³⁹ Kargon R., *Atomism in the seventeenth century*, (dictionary of the history of ideas),
<http://etext.virginia.edu/cgi-local/DHI/dhi.cgi?id=dv1-22>
- ⁴⁰ Τριανταφυλλόπουλος Η., *Η ιστορία της φυσικής από τον Αριστοτέλη έως το Γαλιλαίο*, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 1999, σ. 116.
- ⁴¹ Τριανταφυλλόπουλος Η., *ό.π.*, σ. 288.
- ⁴² Holton G., Brush S.G., *Εισαγωγή στις Έννοιες και τις Θεωρίες της Φυσικής Επιστήμης*, Μετάφραση Μαρκολέφας Η., Σκουρλά Α., Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε. Μ. Π., 2002, σ. 400.
- ⁴³ Holton G., Brush S.G., *ό.π.*, σ. 425.
- ⁴⁴ Salam A., *Ενοποίηση των Θεμελιωδών Δυνάμεων*, Μετ. Ι. Χρησιτίδη, Θ. Χρησιτίδης, Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αθήνα 1991, σ.15.
- ⁴⁵ Holton G., Brush S.G., *ό.π.*, σ. 179.
- ⁴⁶ Davies P., Brown J., *Υπερχορδές, η θεωρία των πάντων*, Μετ. Α. Βαλαδάκης, Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αθήνα 1989, σ. 19.
- ⁴⁷ Halliday – Resnich, *Φυσική μέρος Β*, Μετ. Γ. Πνευματικός, Γ. Πεπονίδης, Εκδ. Γ. Α. Πνευματικός, Αθήνα 1976
- ⁴⁸ Holton G., Brush S.G., *ό.π.*, σ. 532.
- ⁴⁹ Μπιτσάκης Ε., *Το Είναι και το Γίνεσθαι*, Εκδ. Δωδώνη, Αθήνα 1975, σ.63
- ⁵⁰ Ford K., *κλασική και σύγχρονη Φυσική*, τόμος Γ, Μετ. Γ. Θεοδώρου – Α. Θεοδώρου, Εκδ. Γ. Πνευματικού, Αθήνα 1980, σελ.106.
- ⁵¹ Βέργαδος Ι., Τριανταφυλλόπουλος Η., *Εισαγωγή στα Στοιχειώδη Σωματίδια και την Κοσμολογία*, Εκδ. Συμεών, Αθήνα 2000, σ.111.
- ⁵² Hawking S., *Το χρονικό του χρόνου*, Μετ. Κ. Χάρακας, Εκδ. Κάτοπτρο, 1988, σ. 96.



- ⁵³ Ford K., *ό.π.*, σ. 157.
- ⁵⁴ Ford K., *ό.π.*, σ. 217
- ⁵⁵ Davies, P.C.W. *The accidental universe*, Cambridge University Press, 1982, σ. 19.
- ⁵⁶ Βαγιονάκης Κ.Ε., *Σωματιδιακή Φυσική και Κοσμολογία*, Ιωάννινα 1997, σ. 74
- ⁵⁷ Serway R., Moses C., Moyer C., *Σύγχρονη Φυσική*, Μετ. Ζουπάνος Γ, Λιαροκάκης Ε., Παπαδόπουλος Σ., Ράπτης Κ., Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 2004, σ. 516.
- ⁵⁸ Pickering A., *Constructing Quarks*, The University of Chicago Press, Chicago, 1984.
- ⁵⁹ Feynman Diagrams and Forces between Particles
<http://www.egglescliffe.org.uk/physics/particles/parts/parts1.html>
- ⁶⁰ Feynman R., *QED*, Μετ. Τσουκαλαδάκης Θ., Εκδ. Τροχαλία, Αθήνα 1988.
- ⁶¹ Davies, P.C.W., *ό.π.*, σ.11
- ⁶² Pickering A., *ό.π.*, σ. 171.
- ⁶³ Hawking S., *ό.π.*, σ. 116.
- ⁶⁴ Βέργαδος Ι., *Μία σύντομη περιήγηση στη Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Ιωάννινα, Ιανουάριος 2000, σ.159.
- ⁶⁵ Witten E., στο βιβλίο: Davies P., Brown J., *Υπερχορδές, η θεωρία των πάντων*, σ.128.
- ⁶⁶ Βέργαδος Ι., *ό.π.*, σ. 168.
- ⁶⁷ Witten E., *ό.π.*, σ. 123.
- ⁶⁸ Perkins D. H., *Εισαγωγή στη Φυσική Υψηλών Ενεργειών*, Μετ. Κ. Σαρηγιάννης, Εκδ. Τυπωθήτω, Αθήνα 2001, σ. 47.
- ⁶⁹ Perkins D. H., *ό.π.*, σ. 48.
- ⁷⁰ <http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/articles/accelerators.html>
- ⁷¹ <http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/articles/detectors.html>
- ⁷² www.particlephysics.ac.uk/explore/experiments.html
<http://www.fnal.gov/pub/ferminews/ahep.html>
<http://members.tripod.com/~IgorIvanov/physics/hep-ex-future.html>

⁷³ www.physics.ntua.gr/POPPHYS/LHC/FIGS/LHC_Greek_sm.pdf

⁷⁴ Ford K., *ό.π.*, σ. 413

⁷⁵ Serway R., Moses C., Moyer C., *Σύγχρονη Φυσική*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 2004, σ.545.

⁷⁶ Davies, P.C.W. *ό.π.* σ.26

⁷⁷ Ξανθόπουλος Β, *Κοσμολογία: Ιστορία, δομή και μέλλον του Σύμπαντος*, Η Φυσική σήμερα, Τόμος Β, επιμέλεια Ν. Οικονόμου σ.436

⁷⁸ Young, H. D., *Φυσική, Τόμος Β' (Ηλεκτρομαγνητισμός, Οπτική, Σύγχρονη Φυσική)*, Εκδ. Παπαζήσης, Αθήνα, 1994, σελ. 1313.

⁷⁹ Krauss L. *Σκοτεινή ύλη*, Μετ. θ. Γραμμένος, Εκδ. Τραυλός, Αθήνα 2005

⁸⁰ Ξανθόπουλος Β, *ό.π.* σ.460

⁸¹ Αλυσσανδράκης Κ., Νίντος Α., *Παρατηρησιακή Αστροφυσική*, Ιωάννινα 2001

⁸² Γραμματικάκης Γ., *Η κόμη της Βερενίκης*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 1997, σ.42

⁸³ Davies, P.C.W. *ό.π.* preface.

⁸⁴ Τραχανάς Σ., *Σκέψεις και εικασίες*, Η Φυσική σήμερα, Τόμος Β, επιμέλεια Ν. Οικονόμου σ.501.

⁸⁵ Davies, P.C.W. *ό.π.*, σ.130.

⁸⁶ Kuhn T., *Η δομή των επιστημονικών επαναστάσεων*, Μετ. Γ. Γεωργακόπουλος, Β. Κάλφας, Εκδ. Σύγχρονα Θέματα, Θεσσαλονίκη 1987, σ. 159.

⁸⁷ Rinaudo G. *Fisica moderna – relatività, La Fisica moderna nella Scuola Secondaria*, Didattica della Fisica, Corso SIS – Indirizzo fisico-matematico-a.a. 2006/07; <http://www.iapht.unito.it/fsis>

⁸⁸ Ziman J., *Η αξιοπιστία της Γνώσης*, Μετ Ν. Ταμπάκης, Εκδ. Κωσταράκη, Αθήνα 1992, σ. 45.

⁸⁹ http://athena.pi.ac.cy/2005/analytika/b_gymnasiou_final.pdf

⁹⁰ http://athena.pi.ac.cy/2005/analytika/c_gymnasiou_final.pdf

⁹¹ Matti Heikkinen, *Student teachers learning about the quantum nature of light and the photon concept: A case study of research based design of teaching in teacher education*, Helsinki 2005 http://didactical.physics.helsinki.fi/kirjasto/ont/mheikkinen/MH_Lthesis.pdf

⁹² i. Hewitt P. G., *Οι Έννοιες της Φυσικής*, Μετ. Ε. Σηφάκη, Ι. Παπαδόγκονας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 2005.



- ii. Renzetti R., *Un esperimento di insegnamento di fisica quantistica e struttura della materia nel liceo sperimentale di Via Panzini a Roma*. <http://www.fisicamente.net/index/658.htm>.
- iii. Rinaudo G. *La Meccanica Quantistica nella Scuola Secondaria*, Didattica della Fisica, Corso SIS – Indirizzo fisico-matematico-a.a. 2005/06; <http://www.iapht.unito.it/fsis>
- ⁹³ www.particleadventure.org/frameless/hadrons.html
- ⁹⁴ Farmelo G., *Teaching particle physics in The Open University's science foundation course*, Phys. Educ. 27(1992) Printed in the UK.
- ⁹⁵ Pimblet K. A., *Ex nihilo: obstacles surrounding teaching the Standard Model*, Phys. Educ. 37(6), November 2002.
- ⁹⁶ i. Gläßner D., *Erprobung einer Unterrichtsreihe zur Elementarteilchenphysik zur Weiterentwicklung des Lehrplans SI unter Einsatz eines Websystems*, Bonn, August 2002.
<http://pi.physik.uni-bonn.de/outreach/schnupper/Glaessner/Arbeit.doc>
- ii. Schmitz D., *Konzeption und Erstellung von Interaktiven Multimedialen Lehrmaterial über Atom-, Kern- und Teilchenphysik für die Sekundarstufe I*, Bonn, 2001.
http://pi.physik.uni-bonn.de/outreach/schnupper/Schmitz/Examensarbeit_komplett.doc
- ⁹⁷ <http://hands-on-cern.physto.se/>
- ⁹⁸ <http://physicsonstage.web.cern.ch/physicsonstage/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. Παρουσιάσεις μαθημάτων

Οι παρουσιάσεις των μαθημάτων σε power point.

Τα μαθήματα χωρίζονται σε 5 ενότητες:

- α) Θεωρίες για τη δομή της ύλης από την Αρχαιότητα μέχρι το τέλος του 19^{ου} αιώνα
- β) Στοιχεία από την Κβαντομηχανική και τη Σχετικότητα.
- γ) Το Καθιερωμένο Πρότυπο για τη Δομή της Ύλης.
- δ) Κοσμολογία
- ε) Επιταχυντές, Ανιχνευτές

Η δομή της ύλης

Θεωρίες για τη δομή της ύλης από τα αρχαία χρόνια μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα.



Τα μεγάλα ερωτήματα

Από τα πανάρχαια χρόνια ο άνθρωπος άρχισε να θέτει ερωτήματα σχετικά με τον κόσμο

- Πώς δημιουργήθηκε ο κόσμος.
- Γιατί συμβαίνουν τα διάφορα φαινόμενα στη φύση;
- Από τι είναι φτιαγμένος ο κόσμος, ποια είναι η σύσταση και η δομή της ύλης.

Όλοι οι αρχαίοι λαοί προσπάθησαν, να ερμηνεύσουν τη δημιουργία του κόσμου και τον τρόπο με τον οποίο αυτός είναι δομημένος.

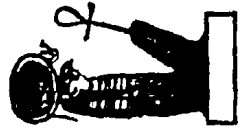
Οι ερμηνείες αυτές δίνονται μέσα από διάφορους μύθους.



Αρχαία Αίγυπτος

Η Αιγυπτιακή Κοσμογονία ξεκινάει από την ανάδυσση του Θεού Ατούμ-Ρα από τον αρχέγονο υκεανό που ονομαζόταν Νουν. Ο Ατούμ-Ρα μέσα στις εκτυφλωτικές φωτοχυσίες της πρώτης εμφάνισής άρχισε να βάζει σε τάξη το πρωταρχικό χάος.

Από τον ίδιο τον εαυτό του ο Θεός γέννησε τον Σου, ο οποίος ταυτίζεται με τον άνεμο, και την Τεφνούτ η οποία ταυτίζεται με την υγρασία. Όταν ο Σου έσμιξε με την Τεφνούτ γεννήθηκε ο Γκεμπ, θεός του ουρανού και η Νουτ, θεά της γης...



Σύμφωνα με τους κοσμογονικούς μύθους των Ινδών

...Πριν τη δημιουργία, πριν τη διαίρεση σε Ου και μη-Ου, θάνατο και μη-θάνατο, υπήρχε ο Ένας, ο αυτεκρινόμενος, αυτός που είναι το Απόλυτο και για τον οποίο δεν μπορούν να υπάρξουν έννοιες και χαρακτηρισμοί...

...αυτό το Ου είναι ο άρχοντας των πλανημάτων και από τη θύρα του δημιουργείται ο Κόσμος, τα διάφορα μέρη του και όλα τα όντα...

(Ριγκ Βέδα)

Ο κόσμος δημιουργείται και καταστρέφεται από το χάος «πανταθα» του Θεού Σίβα-Ναταράγια.



Σύμφωνα με την Κινέζικη Μυθολογία...

...αρχικά υπήρχε το Χάος, μια άμορφη και αδιαφοροποίητη αρχή.

Το Χάος χωρίστηκε σε Γιν και Γιανγκ, ένα σακαυριστό αντιθετικό ζεύγος δυνάμεων, δύο θεμελιώδεις αρχές του Σίρπαντος.

Η συνθήκη τους συγκροτεί τη Μεγάλη Αρχή της Κόσμησης Τάξης που ονομάζεται Τάο και βλάπτει με τις δύο αυτές μορφές που βλάπτουν σε αντίθεση και ταυτόχρονα αλληλοεμπλουτίζονται:

- Γιν Πανγκ
- άγριο περιττό
- σκέτος φως
- ψυχρό θερμό
- παθητικότητα ενεργητικότητα
- θλιμμένο αρσενικό

...λέντε είναι τα πρώτα φυσικά στοιχεία: το νερό, το χώμα, ο αέρας, η φωτιά και το ξύλο.



Πηγή: Π. Μανωλάκης, Η Κινέζικη Μυθολογία, εκδόσεις Πατάκης, 2004.

Στην Αρχαία Ελλάδα ...

Σύμφωνα με την αρχαία Ελληνική Μυθολογία, όπως αυτή αναπτύσσεται στη Θεογονία του Ησίοδου, πρωταρχικά όντα υπήρξαν το Χάος, η Γαία και ο Έρως. Το Χάος ήταν η αρχή κάθε χωριστή εννοσημικής μορφής (όσο έζω από τον κόσμο όσο και μέσα σ' αυτόν).

Η Γαία ήταν η αρχή των στοιχειωδών μερών του κόσμου, εφόσον αυτή πρώτα πρώτα μόνη, χωρίς ερωτική ένωση γέννησε τον Ουρανό και τον Πόντο.

Από το Χάος γεννήθηκαν πρώτα με Παρθενογένεση το Έρεβος (σκοτάδι) και η Νύχτα κι ύστερα από την ένωση αυτών των δύο ο Αιθέρας (το φως ή ο επάνω φυσικώς χώρος) και η Ημέρα.

Όμως από τον 6^ο αιώνα π.Χ. αρχίζει ο προβληματισμός γύρω από βασικά ζητήματα Φιλοσοφίας. Μεταξύ αυτών (βεβαί και το ερώτημα « αν ο κόσμος είναι φτιαγμένος από κάποια πρωταρχική ουσία, πόσων θεμελιώδη δομικά υλικά».



Πηγή: Π. Μανωλάκης, Η Κινέζικη Μυθολογία, εκδόσεις Πατάκης, 2004.

Τα ερωτήματα αυτά αποτέλεσαν την αιτία για την ανάπτυξη του φιλοσοφικού στοχασμού.

Οι φιλοσοφικές θεωρίες που διατυπώνονται από τις αρχές του 6^{ου} π.Χ. αιώνα μέχρι τα μέσα του 5^{ου} π.Χ. αιώνα αποτελούν το πηλίκο της φιλοσοφίας που χαρακτηρίζεται ως Προσωκρατική ή Σιωνική.

Η Προσωκρατική φιλοσοφία:

- Στρέφονται όχι στον άνθρωπο αλλά στο φυσικό κόσμο.
- Αναζητούν τη γενεσιουργό αρχή και τη βεβαιότερη ουσία του κόσμου (Πώς φτιάχτηκε ο κόσμος; Ποια είναι η αρχική ουσία των όντων; Από τι αποτελείται η ύλη;)
- Πιστεύουν ότι η απάντηση στις ερωτήσεις αυτές θα δοθείται στην ερμηνεία των λόγων που προκαλούν τις απελευθερωτικές αλλαγές που γίνονται γύρω μας.
- Δέχονται ότι οι διάφορες αλλαγές είναι εκδηλώσεις και ιδιότητες της υλικής πραγματικότητας. Η αιτία οποιασδήποτε μεταβολής βρίσκεται μέσα στη φύση των πραγμάτων.
- Πιστεύουν στην αυτοτελή και αυτοδύναμη ύπαρξη της ύλης.



Πηγή: Π. Μανωλάκης, Η Κινέζικη Μυθολογία, εκδόσεις Πατάκης, 2004.

Οι φιλόσοφοι

Σημαντικές μορφές στοχαστών όπως



- ο Θαλής,
 - ο Αναξίμανδρος,
 - ο Αναξίμανης,
 - ο Ηράκλειτος,
 - ο Παρμενίδης
- μας έδωσαν διαφορετικές απόψεις για τη δομή του κόσμου. Οι αντιλήψεις τους τους κατατάσσουν σε διάφορες φιλοσοφικές σχολές.



Πηγή: Π. Μανωλάκης, Η Κινέζικη Μυθολογία, εκδόσεις Πατάκης, 2004.



Σπουδαίοι εκπρόσωποι της Ιωνικής Σχολής είναι:
I. Οι Μιλήσιοι: Θαλής, Αναξίμανδρος, Αναξίμανης.



Θαλής ο Μιλήσιος (624-546 π.Χ.)
 Ολόκληρη η φυσική πολυπλοκότητα μπορεί να παραχθεί μόνο από ένα στοιχείο: το νερό
 Νερό = «*το αεί ον*»

Όλα τα υλικά σώματα μπορούν να φτιαχτούν από αυτό και σ' αυτό διαλύονται.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
 ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΟΛΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
 ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΣΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
 ΕΠΙΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
 Αθήνα, 2001

9

Αναξίμανδρος (610 - 547 π.Χ.)

Ως πρώτη αρχή θεωρούσε το Άπειρο που περιέχει τα πάντα.
 Όλα προέρχονται από το άπειρο

Άπειρο = μια άπειρη υλική πραγματικότητα, αθάνατη και ανώλεθη



Το άπειρο γεννάει τα πάντα και σ' αυτό ξαναγυρίζουν τα πάντα. Είναι θερμό και ψυχρό, υγρό και ξηρό, ιδιότητες που αναμειγνύονται μεταξύ τους και μας δίνουν το γνωστό φυσικό κόσμο που περιγράφουν οι αισθήσεις μας.

Άπειρο = Ένας παντοδύναμος υλικός Θεός

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
 ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΟΛΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
 ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΣΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
 ΕΠΙΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
 Αθήνα, 2001

10

Αναξίμανης (585 - 525 π.Χ.)



Θεωρούσε ως αρχή των πάντων τον αέρα.

- Αυτός είναι απεριόριστος (άπειρος) και σε ατελείωτη κίνηση.
- Με τη κίνηση του παθαίνει αραίωση και πυκνωση
- Με την αραίωση γίνεται φωτιά, με την πυκνωση άνεμος → σύννεφο → νερό → χύμα → πέτρα.
- Ο αέρας είναι αυτός που κρατά στη ζωή όλα τα όντα.
- Η σχανής μαζί του αέρα εκτός από τον κόσμο μας περιέχει ταυτόχρονα γεννώνται και πεθαίνουν επιστρέφοντας στο αρχικό άπειρο νεφέλωμα.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
 ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΟΛΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
 ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΣΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
 ΕΠΙΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
 Αθήνα, 2001

11

II. Οι Πυθαγόρειοι
Ο Πυθαγόρας (580 - 500 π.Χ.)

Σε αντίθεση με τους υλιστές Έλληνες ο Πυθαγόρας ήταν ένας από τους κύριους εκφραστές της ιδεαλιστικής φιλοσοφίας. Δεν δέχεται σαν αρχή των πάντων κάτι το υλικό.

- Η πρωταρχική ουσία θα έπρεπε να είναι άυλη και αναλλοίωτη.
- «τα πάντα είναι αριθμοί».
- Αρχή των πάντων είναι η μονάδα.
- Το σύμπαν κτίζεται είτε από διαίρεσεις της μονάδας είτε από επαναλήψεις της.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
 ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΟΛΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
 ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΣΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
 ΕΠΙΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
 Αθήνα, 2001

12



Ο Ηράκλειτος (540 - 480 π.Χ.)



Ο κόσμος είναι ένα ενιαίο όλο. Ούτε γεννήθηκε ούτε θα χαθεί ποτέ.
 Ο κόσμος είναι ένα όν που βρίσκεται σε αδιάκοπη αλλαγή και παραμορφάζεται όλο και με νέες μορφές.
 «*Όλα τρέχουν και τίποτα δεν είναι σταθερό.*»
 Πρωταρχικό στοιχείο και ουσία όλων των όντων είναι το *πυρ*.
 Από τη φωτιά γεννιούνται τα όντα με τη μεταμόρφωσή της σε άλλα στοιχεία κι από τον ίδιο δρόμο ξαναγυρίζουν πάλι σ' αυτήν.

Ο Παρμενίδης (515 - 440 π.Χ.)



Από το τίποτα τίποτα δε γεννιέται
 Ποτέμπε την Ίωλική Φυλακή, την έννοια της κίνησης και της αλλαγής, ιδιαίτερα τον Ηράκλειτο.
 Ο Παρμενίδης θέλει τον κόσμο στατικό.
 «Μόνο το *όν* υπάρχει, το μη *όν* δεν υπάρχει ούτε μπορούμε να το σκεφτούμε».
Ον: Η ύλη που γεμίζει το χώρο. Δεν έχει ούτε αρχή ούτε τέλος γιατί δεν μπορεί να γίνει από το μη *όν* ούτε να κατατμήσει μη *όν*. Είναι ακίνητο και αμετάβλητο, παντού ίδιο με τον εαυτό του, όμοιο με μία καλοστρογγυλεμένη σφαίρα, απλωμένο από το κέντρο, συμμετρικά προς όλες τις μεριές.
 Κάθε κίνηση, κάθε αλλαγή είναι φαινόμενο των αισθήσεων είναι χρώματα ψάχοι μυρωδιές κλπ.

Οι απόψεις των δύο αυτών κορυφαίων φιλοσόφων δείχνουν να είναι διαμετρικά αντίθετες.

- Παρμενίδης:**
- Τίποτα δεν μπορεί να αλλάξει.
 - Επομένως οι εντυπώσεις που φτάνουν έως εμάς μέσω των αισθήσεών μας θα πρέπει να είναι λανθασμένες.
- Ηράκλειτος:**
- Όλα αλλάζουν («*τα πάντα ρεε*»).
 - Οι εντυπώσεις που φτάνουν ως εμάς μέσω των αισθήσεών μας είναι αληθινές και ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.
- Η βασική αυτή αντίθεση θα οδηγήσει σε 3 συμβιβαστικά ουστήματα του 5^{ου} π.Χ. αιώνα.
1. Του Εμπειδοκλή
 2. Του Αναξάгора
 3. Των Ατομικών

Ο Εμπειδοκλής (490 - 430 π.Χ.)





4 είναι τα βασικά στοιχεία από τα οποία είναι κατασκευασμένος ο κόσμος:

1. η φωτιά,
2. ο αέρας,
3. το νερό
4. η γη

Τα στοιχεία αυτά είναι αγέννητα.
 Τα αναμειγνύει «φιζώματα» εόντων.
 Αυτό που λέμε γένεση και φθορά είναι στην πραγματικότητα ένωση (*μίξις*) και χωρισμός (*διάσπασις*) από αιώνες και αναλόωτες βασικές ουσίες.
 Η ένωση και ο χωρισμός των στοιχείων γίνεται εξαιτίας δύο κινητικών δυνάμεων. Η μία που ενώνει: *φιλότης* (= αγάπη) και μία που χωρίζει *Νείκος* (= μίσος)



Ο Αναξαγόρας (500-428 π.Χ.)

Πίστευε ότι τη φύση την αποτελούσαν μικροσκοπικά κομμάτια που δε φάνινονταν με γυμνό μάτι. Όλα μπορούσαν να χωριστούν σε ακόμα μικρότερα κομμάτια, όλα τους όμως περιείχαν κάτι και από τα 4 στοιχεία. Τα κομμάτια αυτά τα ονομάζει ή «σπερμάτα» ή «χρήματα».



Την κίνηση την προκαλεί ένα όν που η μάθηση και η δύναμή του απλώνονται πάνω σ' όλα: ο Νους.

Ο Νους είναι ιδιαίτερα απλάς, η ύλη ολότελα συνθετή.

Ο Νους όλα τα ξέρει και όλα τα μπορεί.

Ατομική Θεωρία



Εκφραστής της Θεωρίας αυτής είναι ο Δημόκριτος και ο μαθητής του Δημόκριτος (460-370 π.Χ.)

Κατά τον Δημόκριτο:

- Ολόκληρη η φυσική πραγματικότητα χτίζεται από το κενό (χώρο χωρίς ύλη) και από άπειρο αριθμό μικρών άτηλων στοιχείων - τα άτομα.
- Άτομο: Αυτό που δε μπορεί να κοπεί.
- Κάθε άτομο είναι αδιαιρέτο και αδιαιρέταστο γιατί δεν υπάρχει μέσα του κενός χώρος.
- Τα άτομα δεν έχουν καθορισμένο σχήμα.
- Δεν καταστρέφονται ποτέ.
- Είναι ευκίνητα και ταξιδεύουν παντού.
- Διαθέτουν ακίβηστια (εδυνάμεις) που πάνονται μεταξύ τους.

Πλάτων (427-347 π.Χ.)

Όλα όσα βλέπουμε και όλα αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις στον κόσμο αυτό είναι παραδείγματα και μεταβολές στοιχείων που δεν διακρίνονται ή δεν αλληλοκάνονται ποτέ.

Το Αίθριο και σταθερό είναι διανοητικό και σημαντικό σχήματα που δίνουν μορφή σε όλα τα φυσικά φαινόμενα.

Όλα όσα αντιλαμβανόμαστε οι αισθήσεις μας μπορούν να κτιστούν με τη βοήθεια δύο ορθογώνιων τριγώνων:

Ένα κομμάτι ορθογώνιο τρίγωνο με πλευρές 1,1,√2



Ένα ολόκληρο ορθογώνιο τρίγωνο με πλευρές 1,√3,2

Τα τρίγωνα αυτά συνδυάζονται μες θύσαν κανονικά στερεά.

Ο κόσμος λοιπόν κτίζεται με βάση τα 4 κανονικά στερεά που αντιστοιχούν στα 4 υλικά στοιχεία:

Βυθιά → Άκρην
 Αίθρας → Βελύρον
 Νερό → 20εδρο ενώ στο 12εδρο αντιστοιχεί η μορφή του αβήεντος.

Αριστοτέλης (384 - 322 π.Χ.)

- Κάποιο χαρακτηριστικό της φύσης είναι η κίνηση.
- Ολόκληρος ο κόσμος φτιάχνεται από 4 στοιχεία (Γη, Νερό, Αέρας, Ψυχή).
- Τα στοιχεία αυτά είναι φθαρτά και δέχονται μεταβολές.
- Εκτός αυτών υπάρχει και ένα 5ο στοιχείο αθάνατο και αμεταβλήτο επιστήμιος τέλειο: Ο Αιθέρας. Είναι αυτό από το οποίο φτιάχνονται τα ουράνια σώματα.
- Τα τέλεια αυτά σώματα εκτελούν την τέλεια κίνηση: την κυκλική.
- Η ύλη κάθε γήινο σώματος θεωρείται μίγμα και των 4 στοιχείων αναγράφοντας τα οποία περιέχονται σε ποσότητες αναλογίες.
- Δεν υπάρχει κενό, ο κόσμος είναι ένα πλῆρες, παντού γεμάτο στην υποστάθμη περιοχή.

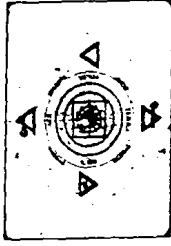


Ο Επίκουρος (341 - 270 π.Χ.)



- Υποστήριξε την Ατομική Θεωρία.
- Υπάρχουν τα άτομα και το κενό.
- Από το συνδυασμό των ατόμων σχηματίζεται ο κόσμος.
- Τα άτομα δεν έχουν χρώμα, γεύση, οσμή κλπ.
- Τα άτομα εκτός από σχήμα και μέγεθος έχουν και βάρος.
- Όλα είναι ύλη. Η ύλη διατηρείται.
- « Τίποτε δεν γίνεται από το μηδέν»

Μεσαίωνας



Στη διάρκεια του Μεσαίωνα κυριαρχεί στο χώρο της φυσικής Επιστήμης η Αντίληψη του Αριστοτέλη.

Ο κόσμος αποτελείται από τα 4 στοιχεία (γη, νερό, αέρα, φωτιά) και τον αέρα.

Οποιοδήποτε αντίληψη στη Θεωρία αυτή χαρακτηρίζεται ως αιρετική.



Ο Roger Bacon διδάξε ότι για να ιχθεί κανείς το μυστικό της φύσης θα πρέπει πρώτα να κάνει παρατηρήσεις.

Το 14^ο αιώνα ο Νικόλαος από την Οτρεκούρτ και το 15^ο αιώνα ο Νικόλαος Κοπέρνικος αναφέρονται στη διακριτότητα της ύλης.

Ο Ερημίσιμος



Στα 1460 μεταφράζονται στη Φλωρεντία τα κείμενα του Ερήμ του Τριεβέστιου. Σύμφωνα μ' αυτό:

Ολόκληρο το Σύμπαν είναι ένα ενιαίο σύνολο κάθε δε πράγμα που κινείται μέσα σ' αυτό μπορεί να το κάνει επιδίωξη είναι διαποτισμένο από ένα «παγκόσμιο πνεύμα», μια παγκόσμια κίνουσα αιτία.

Πολλοί φυσικοί επηρεάζονται από τον ερημίσιμό

Οπαδός του Ερημίσιμου ήταν και ο φιλόσοφος J ordano Bruno (1548-1600) που απέρριψε την Αριστοτελική αντίληψη του πεπερασμένου σύμπαντος για να καταλήξει σ' ένα πανθεϊστικό ομνισισμό.

Θεωρούσε ότι τα έσχατα στοιχεία είναι τα ελάχιστα (μήλιμα) η μονάδες που πρέπει να νοηθούν σαν ζωντανά και έμφυχα. Η μεταξύ τους συνάρεια συντελείται με την ενέργεια της θείκης δύναμης που διαπλάθει τις άπειρες μορφές του κόσμου.

Η Αλχημεία



Παράλληλα στη διάρκεια του Μεσαίωνα κυριαρχεί η μαγικιστική επιστήμη της Αλχημείας. Οι όρευνες των αλχημιστών κατάγονται στην αναζήτηση μέσω μιας πνευματικής εσωτερικής έντασης, ενός κίβωτος (ελίξιριου, πανακείας, φιλοσοφικής λίθου). Αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει μεταλλαγή της ύλης, ιδίως μεταστροφή των ταπεινών μετάλλων σε χρυσό. Η Αλχημεία θα αποτελέσει τον πρόδρομο της επιστήμης της Χημείας.



Το έθι που γράφει την ουσία του συμβαίνει κατά τους αλχημιστές την ανακάλυψη της ύλης. Το «εν το πο» των αρχαίων Ελλήνων φιλοσοφών σημαίνει ότι όλα προέρχονται από κάποια πρωτογενή ουσία και πως τα πάντα στη φύση αλληλεπηρεάζονται.



Pierre Gassendi (1592-1655)

Η ατομική θεωρία θα επανέλθει στο προσκήνιο τον 17^ο αιώνα



Ο Pierre Gassendi (Γάλλος γάλλος μαθηματικός, φυσικός φιλόσοφος) επιτίμησε στην φιλοσοφία τον Άριστοτέλη και εισήγαγε το θεώρημά του για τη φύση του Επικούρου του Αιλικού και του Δημόκριτου.

«Αμφίβολος η ίδια η ύπαρξη της κίνησης σημαίνει πως υπάρχει κενός χώρος». Εάν η ύλη δεν είχε η κίνησή της ήταν αδύνατη».

Τα άτομα είναι σωματίδια και αβρανή σωματίδια που κινούνται στο κενό. Η πρώτη κίνηση στα άτομα δόθηκε στην αρχή του χρόνου από το Θεό.

Ο Γαλιλαίος επίσης δήλωσε σταδός της ατομικής θεωρίας: «τα φυσικά σώματα συντίθενται από άπειρα αδιαίρετα σωματίδια».



Η ατομική θεωρία του John Dalton (1766-1844)



Το 1808 ο John Dalton μας δίνει την ατομική του θεωρία με τη δημοσίευση του πρώτου τόμου του έργου του: «Ένα νέο σύστημα χημικής φιλοσοφίας».

Τα στοιχεία αποτελούνται από μικρά σωματίδια που ονομάζονται άτομα.

Όλα τα άτομα ενός δεδομένου στοιχείου είναι όμοια. Τα άτομα ενός δεδομένου στοιχείου είναι διαφορετικά από αυτά οποιαδήποτε άλλου στοιχείου.

Τα άτομα ενός στοιχείου μπορούν να συνδεθούν με άλλα άλλων στοιχείων για να σχηματίσουν ενώσεις. Μια δεδομένη ένωση έχει πάντοτε το ίδιο σχετικό αριθμό των τύπων των ατόμων.

Τα άτομα είναι αδρανή στις χημικές διαδικασίες. Τα άτομα δεν δημιουργούνται και δεν καταστρέφονται στις χημικές αντιδράσεις. Μια χημική αντίδραση απλά αλλάζει τον τρόπο ομαδοποίησης των ατόμων.



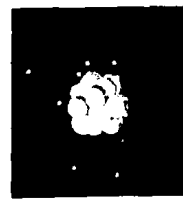
Ο Περιοδικός Πίνακας

Μεγάλη ώθηση στη μελέτη της δομής της ύλης δόθηκε από τον Ντμίτρι Ιβάνοβιτς Μεντελέγιεφ (1834 - 1907). Αυτός επιτόμησε την ταξινόμηση των χημικών στοιχείων κατ' αύξουσα σειρά των ατομικών τους αριθμών. Στον πίνακα που μας έδωσε ομαδοποιεί κατά στήλη τα στοιχεία που τα άτομά τους έχουν την ίδια ηλεκτρονική δομή.



1	2											3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Η αποδοχή της ατομικής θεωρίας...



...απέτέλεσε την αφετηρία για τη ραγδαία εξέλιξη των Επιστημών της Φυσικής και της Χημείας.

Μια θεωρία η οποία παρέμεινε αποκλεισμένη για 2000 χρόνια επανέρχεται και προκαλεί επανάσταση στο χώρο των επιστημών.

Με μια σειρά υποθέσεων και πειραμάτων οι επιστήμονες προσπάθησαν να μπουν όλο και πιο βαθιά στη δομή του ατόμου ανακαλύπτοντας συνθετες δομές από απλούστερα σωματίδια.



Στοιχεία από την κβαντομηχανική και τη σχετικότητα



1

Η Κβαντομηχανική

Είναι ένας κλάδος της Μαθηματικής φυσικής που ασχολείται με την κίνηση των ηλεκτρονίων, πρωτονίων, νετρονίων και άλλων υποστασιμικών σωματιδίων.

Είναι προϊόν ερευνών που είχαν διεξαχθεί σ' ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (1924-27) από μια σειρά μεγάλων φυσικών όπως οι Werner Heisenberg, Louis de Broglie, Erwin Schrodinger, Max Born, Paul Dirac.

Μερικές βασικές ανακαλύψεις που βοήθησαν στη δημιουργία της κβαντομηχανικής έγιναν από τους Max Plank, Albert Einstein, Niels Bohr. (Πρώτο τέταρτο του εικοστού αιώνα).



2

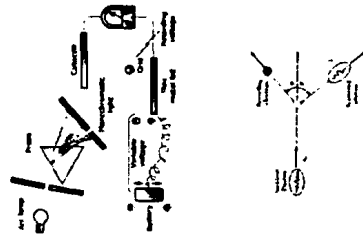
Πώς προέκυψε η κβαντομηχανική

Η ανεπάρκεια της κλασικής φυσικής να εξηγήσει ορισμένα φαινόμενα του μικρόκοσμου δημιούργησε την ανάγκη ενός νέου μοντέλου παραγωγής του χώρου αυτού.

Τέτοια φαινόμενα είναι η ακτινοβολία του μέλανος σώματος, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, και το φαινόμενο Compton.

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: Όταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια ενός μετάλλου, από το μέταλλο αποσπώνται ηλεκτρόνια. Όμως: Η εξάγνη ηλεκτρονίων από το μέταλλο είναι δυνατή μόνον όταν η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από μια κρίσιμη τιμή.

Φαινόμενο Compton: Όταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σκεδάζεται σε ελεύθερα ηλεκτρόνια ενός μετάλλου, η ακτινοβολία αλλάζει συχνότητα.



3

Η κβαντομηχανική έφερε καινούργιες αντιλήψεις στο χώρο της φυσικής που από πρώτη ματιά έδειχναν παράξενα.

Όπως π.χ.: ο κυματισμομηχανικός δισμός του φωτός

Το φως είναι κύματα ή σωματίδια;

Από τα πολύ παλιά χρόνια οι σοφοί προσπαθούσαν να κατανοήσουν τη φύση του φωτός.

Κατά τον Αριστοτέλη, το φως που εκπέμπει ο Ήλιος και κάθε φωτεινή πηγή αποτελείται από σωματίδια.

Την άποψη αυτή δέχτηκε και ο Newton.

Κάποιοι άλλοι όμως είχαν διαφορετική άποψη



Ποτέ να θεωρεί την εκπομπή του φωτός από οποιαδήποτε πηγή ως διακριτά σωματίδια.



Το φως αποτελείται από κύματα.



Wave Nature of Light



Την άποψη για την κυματική φύση του φωτός θα υποστηρίξει το 1865 ο Maxwell με τις περιφημες εξισώσεις του.


Η θεωρία του περιγράφει και ερμηνεύει τα φαινόμενα της δημιουργίας και διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Το βασικό υλικό που χρησιμοποίησε ο Maxwell για τη θρυμμίωση της θεωρίας του ήταν οι κλασικοί νόμοι και τα θεωρήματα του Ηλεκτρισμού και του Μαγνητισμού που είχαν ήδη διατυπωθεί από τους μεγάλους φυσικούς του 19ου αιώνα.

Στα πρώτα βήματα του Ηλεκτρομαγνητισμού διαπιστώθηκε ότι τα κινούμενα φορτία δημιουργούν μαγνητικό πεδίο.

Η ανακάλυψη του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής έδειξε ότι και το χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο μπορεί να δημιουργήσει ηλεκτρικό πεδίο.

Ο Maxwell με τη θεωρία του εννοεί τα δύο πεδία.

Το φως είναι γρήγορο ηλεκτρομαγνητικό κύμα αόρατο




$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$




Όμως το 1900 ο Max Planck επαναφέρει τη σωματιδιακή θεωρία με τη μορφή των κβαντα

Κάθε άτομο εκπέμπει ή απορροφά στοχευμένα ποσά ενέργειας που λέγονται κβάντα ή φωτόνια. Κάθε φωτόνιο έχει ενέργεια $E = hf$ ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$) και ορμή $p = h/\lambda$.

Το φως λοιπόν μπορεί να θεωρηθεί και κύμα και σωματίδιο

Η ενέργεια και η ορμή των φωτονίων αυξάνεται όταν αυξάνεται και η συχνότητά.

Αρα σε φως μεγάλης συχνότητας υπέρχεται ο σωματιδιακός χαρακτήρας ενώ σε φως μικρής συχνότητας υπέρχεται ο κυματικός.

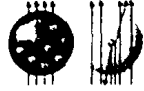



Το πείραμα του Rutherford (1909)

Μέχρι την εποχή του η ιδέα που επικρατούσε για το άτομο ήταν αυτή του Thomson (1897): Το άτομο θεωρούνταν σαν μια σφαιρα θλιτικού φορτίου ομοιόμορφα καταμετρημένου, μέσα στο οποίο είναι ενσωματωμένα τα ηλεκτρόνια όπως οι σταφίδες σε ένα σφαιρικό ψωμάκι. Ήταν επίσης γνωστό και το φυτόνιο (Röntgen 1897).

Ο Rutherford, αντίθετα αυτή την ιδέα με το πείραμά του: Σε ένα φύλλο χρυσού που περιβαλλόταν από μία σφαιρική οθόνη τριζέ με διάκριση ακτίνων αλφα. Ενώ περίμενε τα σωμάτια να διέλθουν ανεπηρέαστα από το χρυσό ειλθε πολλά απ' αυτά να ανακλίνονται σε διάφορες γωνίες, μερικά δε προς τα πίσω.

Συμπέρασμα: Το άτομο δεν μπορεί να είναι ομοιόμορφο αλλά αποτελείται από τον πυρήνα και τα περιεχόμενα σε κυκλικές τροχιές γύρω απ' αυτόν ηλεκτρόνια.


Το πρόβλημα με το ατομικό πρότυπο του Rutherford

Πριν την ανακάλυψη των αρχών της κβαντομηχανικής οι φυσικοί προσπαθούσαν να ερμηνεύσουν τις κινήσεις των σωματιδίων σε ατομικό επίπεδο με τη βοήθεια της Κλασικής Μηχανικής.

Η κλασική Μηχανική όμως δε μπορούσε να εξηγήσει όλα τα φαινόμενα του μικροκόσμου π.χ. το πρότυπο του Rutherford.

Σ' αυτό το πρότυπο πρέπει να κινούνται γύρω από τον πυρήνα σε κυκλικές τροχιές, όπως οι πλανήτες γύρω από τον ήλιο.


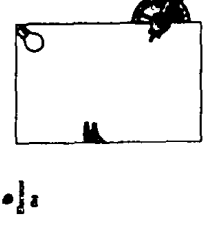
Όμως σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία κάθε επιταχυνόμενο φορτίο εκπέμπει ακτινοβολία, δηλαδή ακτινοβολεί ενέργεια. Η ενέργεια του ηλεκτρονίου θα πρέπει να μειώνεται συνεχώς. Το ηλεκτρόνιο θα διασπαρεί σε κυκλική τροχιά με διαρκώς μειούμενη ακτίνα και μεταβαλλόμενη συχνότητα και θα πέσει στο πυρήνα.




Τη λύση έρχεται να δώσει το ατομικό πρότυπο του Bohr.

Αρχικά μιλάμε για το άτομο του υδρογόνου με βάση την κβαντική θεωρία του Planck και του Einstein :

1. Το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου περιφέρεται γύρω από τον θετικό φορτισμένο πυρήνα υπό την επίδραση της δύναμης Coulomb που δέχεται απ' αυτόν.
2. Το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται μόνο σε ορισμένες τροχιές, τις «επιτρεπόμενες τροχιές».
3. Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται σε ορισμένη επιτρεπόμενη τροχιά δεν εκπέμπει ακτινοβολία. Όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταπηδάει από μια επιτρεπόμενη τροχιά σε άλλη μικρότερης ενέργειας, τότε εκπέμπεται ένα φωτόνιο με ενέργεια ίση με τη διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής ενέργειας: $E_1 - E_2 = hf$

Μία σημαντική αρχή της Κβαντομηχανικής: Η αρχή της Αρβειλοποίησης.

«Δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε συγχρόνως τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου με αρκετή ακρίβεια».

Πώς αυτό;

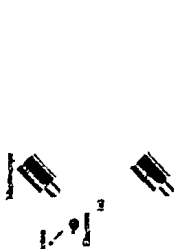
Υποθέστε ότι θέλουμε να «δούμε» ένα ηλεκτρόνιο.

Τότε πάνω σ' αυτό θα πρέπει να προσπέσει μία δέση φωτονίων.

Μερικά φωτόνια περνούν ανεπηρέαστα, ενώ άλλα σκέδάζονται προς διάφορες κατευθύνσεις.

Όταν ένα φωτόνιο όμως αλλάξει διεύθυνση τότε αλλάζει και ορμή.

Η αλλαγή της ορμής του φωτονίου αλλάζει και την ορμή του ηλεκτρονίου.



Κυματισμοσωματιδιακός χαρακτήρας της ύλης.

Είδαμε ότι το ψωσ-κύμα μπορεί να θεωρηθεί και ως σωματίδιο.


Ο Louis de Broglie κάποιος στιγμή διερωτήθηκε για το αν και το σωματίδιο θα μπορούσε να θεωρηθεί ως κύμα.

Η απάντησή στην ερώτησή αυτή μας έδωσε την αρχή του κυματισμοσωματιδιακού διευρού της ύλης:

« Όλα τα φυσικά σωματίδια έχουν και κυματική συμπεριφορά παράλληλα με τη σωματιδιακή. Είναι σωματίδια και κύματα ταυτόχρονα. Οι σχέσεις που συνδέουν τα σωματιδιακά χαρακτηριστικά Ενέργεια (E) και Ορμή (p) με τα κυματικά f και λ είναι:

$$f = E/h \quad \lambda = h/p »$$

Από το κύμα μπορεί να θεωρηθεί μερικές περιπτώσεις να είναι και το σωματίδιο»



Οι κβαντικοί αριθμοί

Τα άτομα και τα υποατομικά σωματίδια είναι κατά τη σύγχρονη επιστήμη τελέως διαφορετικά απ' ό,τι έχουμε συνθίσει να εννοούμε με τη λέξη «σωματίδια». Δεν είναι μικρές σφαιρές που αναπηδούν τριγύρω μας αλλά έχουν κυματικές ιδιότητες.

Για να περιγράψουν αυτά τα μικρά σωματίδια χρησιμοποιούμε το όρο «κβαντικός» = διαιρεμένο σε πακέτα.

Αυτό συμβαίνει γιατί μερικές ιδιότητες των σωματιδίων μπορούν να πάρουν διακριτές τιμές.

Π.χ. το ηλεκτρικό φορτίο μπορεί να πάρει ακέραιες τιμές του φορτίου του ηλεκτρονίου (ή την τιμή $+1/3, -1/3, +2/3, -2/3$ για τα κουάρκ).

Μερικοί σημαντικοί κβαντικοί αριθμοί των σωματιδίων είναι:

- Το ηλεκτρικό φορτίο (e, e/3, -e/3, 2e/3, -2e/3).
- Το φορτίο χρώματος. Κάθε κουάρκ έχει ένα από τα τρία φορτία χρώματος και κάθε γλουόνιο ένα από τα οκτώ φορτία χρώματος- αντιχρώματος. Όλα τα άλλα σωματίδια έχουν ουδέτερο φορτίο χρώματος.
- Η γέωση για τα κουάρκ και ο λεπτονικός αριθμός για τα λεπτόνια.
- (Η ιδιοστροφορμή (Spin). Μπορεί να πάρει 0, 1/2, 1, 3/2 (τη σταθερά του Planck h/2π)

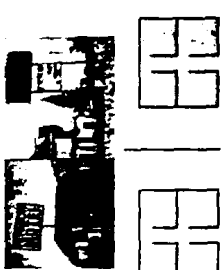


Η απαγορευτική αρχή του Pauli

Κατά τον Pauli δύο σωματίδια της ίδιας εφάντικης κατάστασης δεν μπορούν να βρεθούν συγχρόνως στο ίδιο μέρος.

Ανακαλύφθηκε όμως και μια ομάδα σωματιδίων που δεν υπακούουν στην αρχή αυτή. Τα σωματίδια που υπακούουν στην αρχή του Pauli ονομάζονται φερμιόνια (Fermions), ενώ όλα δεν υπακούουν στην αρχή αυτή ονομάζονται Μποζόνια (Bosons).

Ας φανταστούμε τα σωματίδια αυτά σαν δύο σκονιέντες αδελφών από Φερμόνια και Μποζόνια που σχεδιάζουν να διανυκτερεύσουν στο Fermion Motel και Boson Inn αντίστοιχα. Πώς θα τακτοποιηθούν στα δωμάτια;




13

Σχετικότητα (Βασικές αρχές και έννοιες)

Οι δύο απόψεις για τη φύση του φωτός (συμβασιδιακή - κλαστική) εξακολουθούν να συνυπάρχουν και να προβληματίζουν τους φυσικούς παρόλη την προσπάθεια εναποποίησης τους. Οι δυσκολίες που προέκυπταν οφείλονταν στο ότι οι θεμελιώδεις νόμοι της ορθολογικής μηχανικής δεν φαίνονταν να εφαρμόζονται τέλεια στο φαινόμενο της διάδοσης του φωτός.

Το 1887 οι Albert Michelson και Edward William Morley εκτέλεσαν ένα πείραμα για τη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός.

Συμπέρασμα: Η διάδοση του φωτός αποτελεί μια ιδιαιτέρη περίπτωση που περιφρονάει τους νόμους της κλασικής φυσικής και την οδηγούσε σε απαστοχία.



14

Ο Einstein


Ο Newton πίστευε ότι οι δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των σωμάτων διαδίδονται ακαριαία.

Ο Einstein δέχεται ότι τέτοιοι ειδικοί δράση δεν υπάρχει.

Αν εκτελέσουμε κάποια πράξη σ' ένα σημείο A το αποτέλεσμα της χρειάζεται κάποιον πεπερασμένο χρόνο για να διαδοθεί σ' ένα σημείο B που βρίσκεται σε πεπερασμένη μη μηδενική απόσταση από το A.

Πεπερασμένος χρόνος σημαίνει ότι δεν υπάρχει άμεση ταχύτητα.

Συμπέρασμα: Πρέπει να υπάρχει κάποια ταχύτητα που να αντιπροσωπεύει το ανώτατο όριο όλων των ταχυτήτων σ' ολόκληρο το σύμπαν.



15

Το πείραμα των Michelson και Morley έδειξε ότι η ταχύτητα του φωτός είναι ανεξάρτητη από το σύστημα αναφοράς.

Συμπέρασμα: Η ταχύτητα του φωτός στο κενό $c=300.000\text{km/s}$ μπορεί να θεωρηθεί ανώτατο όριο όλων των ταχυτήτων.

Αυτό επέφερε μια ανατροπή στο χώρο της φυσικής.

Κλασική φυσική: Ο χώρος και ο χρόνος θεωρούνται ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Θωρία του Einstein: Ο χρόνος σχετίζεται με το χώρο.

Ο χρόνος δεν είναι αναλλοίωτος.

Ο χώρος δεν είναι αναλλοίωτος.

Ο τρόπος με τον οποίο αλλάζουν είναι τέτοιος ώστε η ταχύτητα του φωτός να παραμένει σταθερή.

16



Και τότε, αφού ο χρόνος δεν είναι αναλλοίωτος, πώς αυτός μεταβάλλεται;

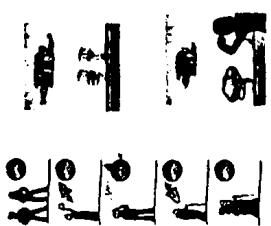
Το παράδειγμα στη διπλανή εικόνα είναι χαρακτηριστικό. Δύο αδέρφια Ο Άδμ και η Εύα χωρίζουν. Η Εύα μπαίνει σε ένα διαστημόπλοιο και με πολύ μεγάλη ταχύτητα υ φεύγει για άλλους κόσμους. Όταν επιστρέφει βρίσκει τον Άδμ γέρο! Αν για τον Άδμ πέρασε χρόνος t_0 για την Εύα πέρασε t .

Ισχύει:

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

Όσον αφορά δε τη μεταβολή του μήκους: Αν ο Superman που έχει μήκος l_0 πετάει με ταχύτητα u ένας παρατηρητής που είναι ακίνητος στη γη τον βλέπει κάπως κοννότερο, να έχει μήκος l .

Τα δύο μήκη συνδέονται με τη σχέση:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$$


17


Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα:

Άρα αν χρειάζεται έργο για να αποκτήσει το σύμα περισσότερη αδράνεια.....

...αυτό συνεπάγεται ότι η αδράνεια περιέχει ενέργεια!

Τότε η αδράνεια παράγει ενέργεια!!!

Έτσι ο Einstein μας έδωσε την περίφημη εξίσωση που συνδέει τη μάζα με την ενέργεια ενός σώματος:

$$E = mc^2$$


19

Και η μάζα:

Καθ' τον Einstein η μάζα δεν είναι αναλλοίωτη. Άρα και ο νόμος του Newton πρέπει να επανεξεταστεί. Πώς;

Όταν δύναμη F ασκείται σ' ένα σώμα μάζας m αυτό αποκτά επιτάχυνση a . Ισχύει $F = ma$.


Αφού κανένα σώμα στο σάλαρο δεν μπορεί να ξεπεράσει την ταχύτητα του φωτός, η ενέργεια που μεταβιβάζεται στο σώμα όταν η ταχύτητά του πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός θα πρέπει να πάει να προσεγγίσει επ'αόριστον.

Τι γίνεται λοιπόν με την ενέργεια που προσφέρεται στο σώμα; Η ενέργεια αυτή αυξάνει τη μάζα του σώματος έτσι ώστε να μη ξεπεραστεί ποτέ το ανώτατο όριο ταχύτητας.

Και η σημαντική αλλαγή της μάζας:

Ένα βάρυ συντηρημένο χρειάζεται μεγαλύτερη δύναμη για να μπορέσουμε να το μετακινήσουμε. Άλλε ότι το βάρυτερο έχει μεγαλύτερη αδράνεια.

Έτσι λοιπόν όταν η ταχύτητα ενός σώματος πλησιάζει προς αυτήν του φωτός, όσο περισσότερο ενέργεια και να προσφέρουμε σ' αυτό, αντί να γίνεται γρηγορότερα θα γίνεται όλο και πιο βάρυ. Δηλαδή θα αυξάνει η αδράνεια του.




18

Δίδυμη γέννηση

Εξάλωση

$E = mc^2$



20



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. β) Στοιχεία από την κβαντική και την σχετικότητα


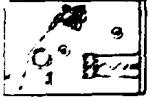
Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Η θεωρία αυτή στηρίζεται στην ισοδυναμία της βαρυτικής και της αδρανειακής μάζας δηλαδή της μάζας που δημιουργεί βαρυτικό πεδίο ή δέχεται δύναμη απ' αυτό ($F = G \frac{Mm}{r^2}$) και της μάζας μέτρο της αδράνειας ενός σώματος ($F = ma$).

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η παρουσία μιας μάζας δημιουργεί γύρω της ένα βαρυτικό πεδίο που καμπυλώνει το χωροχρόνο.

Έτσι, όταν φωτεινές ακτίνες περνούν σε περιοχές σημαντικά μεγάλων μαζών παρακλίνουν.

Αποτέλεσμα: Κάποια άστρα να μην τα βλέπουμε στην κανονική τους θέση.

Εικόνα 1.10

21

Παράρτημα

Προθέματα μονάδων:

Ταχύτητα του φωτός στο κενό:
 $c = 300.000 \text{ km/sec}$
 (για την ακρίβεια $c = 299792458 \text{ m/s}$)

eV (ηλεκτρονβόλτ): Μονάδα μέτρησης της ενέργειας. Είναι η ενέργεια που αποκτήσει ηλεκτρονικό φορτίο 1e όταν ανεβεί σε διαφορά δυναμικού 1 V.
 (eV = $1,60217646 \times 10^{-19} \text{ Joule}$).

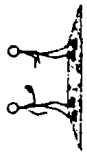
10 ⁿ	10 ⁿ m	10 ⁿ s	10 ⁿ kg	10 ⁿ A	10 ⁿ C	10 ⁿ V	10 ⁿ W	10 ⁿ J
10 ⁰	1 m	1 s	1 kg	1 A	1 C	1 V	1 W	1 J
10 ¹	10 m	10 s	10 kg	10 A	10 C	10 V	10 W	10 J
10 ²	100 m	100 s	100 kg	100 A	100 C	100 V	100 W	100 J
10 ³	1000 m	1000 s	1000 kg	1000 A	1000 C	1000 V	1000 W	1000 J
10 ⁴	10000 m	10000 s	10000 kg	10000 A	10000 C	10000 V	10000 W	10000 J
10 ⁵	100000 m	100000 s	100000 kg	100000 A	100000 C	100000 V	100000 W	100000 J
10 ⁶	1000000 m	1000000 s	1000000 kg	1000000 A	1000000 C	1000000 V	1000000 W	1000000 J
10 ⁷	10000000 m	10000000 s	10000000 kg	10000000 A	10000000 C	10000000 V	10000000 W	10000000 J
10 ⁸	100000000 m	100000000 s	100000000 kg	100000000 A	100000000 C	100000000 V	100000000 W	100000000 J
10 ⁹	1000000000 m	1000000000 s	1000000000 kg	1000000000 A	1000000000 C	1000000000 V	1000000000 W	1000000000 J
10 ¹⁰	10000000000 m	10000000000 s	10000000000 kg	10000000000 A	10000000000 C	10000000000 V	10000000000 W	10000000000 J

Εικόνα 1.11

22

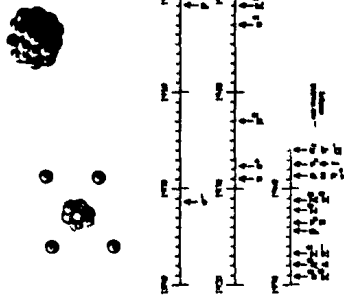


Το Καθιερωμένο Πρότυπο The Standard Model



Από τον πυρήνα και τα ηλεκτρόνια σε μια πληθώρα σωματιδίων

Τέλη της δεκαετίας του 1920 ο Διευκρινισμένος η θεωρία της σχετικότητας του Einstein και την κβαντομηχανική προέβλεπε την ύπαρξη της αντήλιας. Το 1931 ο Chadwick ανακάλυψε το νετρόνιο. Μέχρι το 1932 οι φυσικοί θεωρούσαν ότι η ύλη αποτελείται από 3 είδη σωματιδίων: τα ηλεκτρόνια, τα πρωτόνια και τα νετρόνια. Το 1932 ο Anderson ανακάλυψε το θετικό ηλεκτρόνιο ή ποζιτρόνιο. Το 1930 ο Pauli υπέθεσε την ύπαρξη του νετρίνου το οποίο ανακαλύφθηκε πειραματικά το 1953. Αρχίζοντας από το 1945 ανακαλύφθηκαν πολλά κανάλια σωματιδίων (ακτίνες με πολύ σύντομη διάρκεια ζωής από 10⁻¹⁴ μέχρι 10⁻²⁴) από τις οποίες προέκυψε η ανάγκη ταξινόμησης με βάση την ύπαρξη κλάσεων σωματιδίων. Μέχρι τη δεκαετία του 60 ο αριθμός γίνεται πολύ μεγάλος.



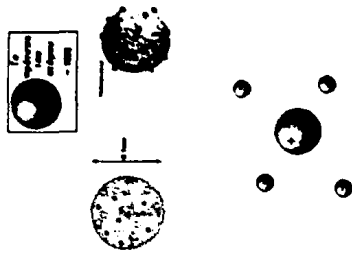
Το καθιερωμένο πρότυπο για τη δομή του ατόμου. (the standard model)

Το 1900 το άτομο θεωρούνταν σαν μία μικρή σφαιρικής σφαίρας.

Με την ανακάλυψη του ηλεκτρονίου ο J. J. Thomson μας δίνει το μοντέλο του «σταφιδόψυμου». (Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται διάσπαρτα μέσα στη θετική μάζα του ατόμου όπως οι σταφίδες στο κέικ).

Ο E. Rutherford μας έδωσε το μοντέλο του θετικά φορτισμένου πυρήνα και των ηλεκτρονίων που περιφέρονται γύρω απ' αυτόν.

Το καθιερωμένο πρότυπο είναι μια θεωρία που εξηγεί το τι είναι ο κόσμος και πως διατηρεί τη συνοχή του, βάσει ενός μικρού αριθμού σωματιδίων.



Το καθιερωμένο πρότυπο: φασκ και λεπτόνια

Στα τέλη της δεκαετίας του 60 επασημάρθηκε το πρότυπο του Barthelemy στο Station (USA) σε μεγάλης κλίμακας και διαξέχωρησαν ότι αποτελείται από 3 ύλη μικρότερα σωματιδία.

Οι παραπάνω έρευνες μας οδήγησαν στο μοντέλο που είναι σήμερα αποδεκτό: τα q και η αποτελούνται από μικρότερα σωματιδία: Τα φασκ

Πρόκειται για τα μικρότερα σωματιδία της ύλης τα οποία χαρακτηρίζονται ως θεμελιώδη.

Στα θεμελιώδη ανήκουν επίσης και κάποια άλλα μικρά σωματιδία τα λεπτόνια.



Τα είδη των κουάρκ

Διακρίνουμε 6 είδη quark με τα περιγραφα ονόματά τους: up, down, charm, strange, top, bottom

Κάτι περίγραφο α' αυτά: Το κλασματικό τους φορτίο: Τα u, c, t έχουν φορτίο 2e/3 Τα d, s, b -1e/3 (e = η στοιχειώδη τιμή του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου)

Οι διαστάσεις τους είναι περίπου 10⁻¹⁶m

Η αντίωση

Μια άλλη μορφή ύλης παρουσιάζει στο Σάουαν σπογγώδη ή ασημένια. Για κάθε σωματίδιο υλής υπάρχει και ένα αντίστοιχο αντισωματίδιο αντίθετης σπογγώδους υλής, όπως το ηλεκτρικό φορτίο είναι αντισυμβαλλόμενο (π.χ. e⁻, e⁺). Το σάουαν του αντισωματιδίου είναι το σάουαν του σωματιδίου με μία παύλα (π.χ. \bar{u}).

Συνήκως για κάθε quark υπάρχει και ένα αντισκουάρκ όπως και για κάθε λεπτόνιο υπάρχει ένα αντίστοιχο αντισλεκτόνιο. Όταν ένα σωματίδιο υλής ενωθεί με ένα αντίστοιχο αντισωματίδιο, αυτό εξαφανίζεται παρρησιως ενόψει. Αντιστρωφά: από την ενόψει ύλης ως πρσώπει υλή με τη μορφή σωματιδίου και αντισωματιδίου.

ANTIQUARKS

\bar{u}	\bar{c}	\bar{t}
\bar{d}	\bar{s}	\bar{b}

Τα κουάρκ ενώνονται για να σχηματίσουν σωματίδια

Τα κουάρκ υπάρχουν μόνο σε ομάδες με άλλα κουάρκ και ποτέ μόνο τους. Είναι κοινωμένα όπως οι ελεφαντίνες. Συνδύαζονται στο ώστε τα σωματίδια που σχηματίζονται να έχουν άκτασιο ηλεκτρικό φορτίο.

Αυτά ονομαζονται αδρόνια. Υπάρχουν δύο κατηγορίες αδρόνων: Τα βαριόνια και τα μεσόνια. Τα βαριόνια αποτελούνται από 3 κουάρκ (π.χ. p και n είναι βαριόνια). Τα μεσόνια αποτελούνται από ένα κουάρκ και ένα αντισκουάρκ.

Ενα πλαν ύλης υέως τις υέως των αδρόνων οφείλεται ότι κουάρκ που πρσέχει



Τα λεπτόνια

Υπάρχουν ξέι επί πλέον στοιχειώδη σωματίδια τα οποία εμφανίζονται μοναχικά (όπως... τα αλληλορρέιδη και οι ψάλιοι αντίθετα με τους κοινωνικούς ελέφαντες):

Τα λεπτόνια:

- 3 ηλεκτρικά φορτισμένα: το ηλεκτρόνιο (e), το ταν (γ), το μιονίο (μ) και 3 αφορτίστα: τα 3 νετρίνα (ν_e, ν_μ, ν_τ).

Για κάθε λεπτόνιο υπάρχει και το αντίστοιχο αντιλεπτόνιο.

Τα νετρίνα

Τα νετρίνα δεν φορτίο χρώματος ούτε ηλεκτρικό φορτίο. Συννεπώς δεν αντιδρούν σχεδόν ποτέ με άλλα σωματίδια.

Για παράδειγμα τα νετρίνια νετρίνα διασπείρονται αλλοκλήρη τη νη χωρίς να αλληλοεπιδράσουν ούτε με ενυδρίο.

Παράγονται κυρίως κατά τις διασπάσεις σωματιδίων.

Η ύπαρξη για την ύπαρξη τους έγινε μέσω προυσκειτικής μελέτης ραδιενεργών διασπάσεων. (Όπως π.χ. με τη διάσπαση του n: Για να ισχύει η αρχή της διατήρησης της σπής χρειάστηκε να υποθέσουμε ένα σωματίδιο σαν το νετρίνο).

Οι γενεές της ύλης

Τα κουάρκ και τα λεπτόνια χωρίζονται σε τρεις ομάδες (γενεές I, II, III).

Κάθε διαδοχική γενεά, έχει μεγαλύτερη μάζα από την προηγούμενη.

Η ορατή ύλη στο Σύμπαν είναι εξ ολοκλήρου φτιαγμένη από σωματίδια της πρώτης γενεάς: u, d, e, ν_e.

Τα σωματίδια που αποτελούν τη δεύτερη και την τρίτη γενεά είναι ασταθή και διασπώνται πολύ γρήγορα σε σωματίδια της πρώτης γενεάς.

Οι διασπάσεις των λεπτονίων

Τα βαρύτερα λεπτόνια όπως το μιονίο και το ταν δεν τα βρίσκουμε στη συννησιμένη ύλη καθόλου. Όταν παράγονται διασπώνται πολύ γρήγορα και μετατρέπονται σε ελαφρύτερα λεπτόνια.

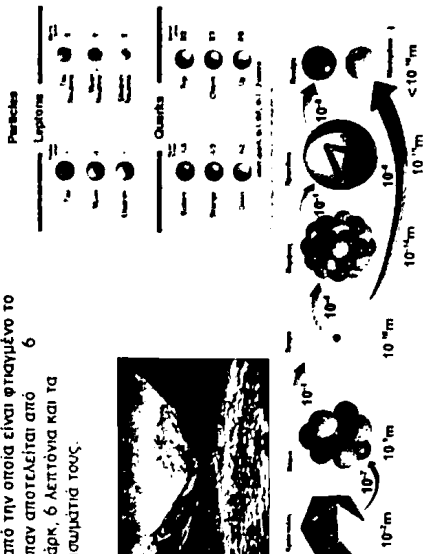
Τα ηλεκτρόνια και οι τρεις τύποι νετρίνο δεν διασπώνται και αυτό τα κάνει τα είδη λεπτονίων που συναντάμε πιο συχνά γύρω μας.

Εββασα θα δερωιθούμε αφού πρκαταί για θεμελιώδη σωματίδια πως αυτά διασπώνται. Την έννοια της διασπάσης αυτής θα τη δούμε στη συνέχεια



Συμπέρασμα

Η ύλη από την οποία είναι φτιαγμένο το σύμπαν αποτελείται από 6 κούερκ, 6 λεπτόνια και τα αντισωματίά τους.



Τι συγκρατεί τον κόσμο ενωμένο;

Γνωρίσαμε τα θεμελιώδη σωματίδια από τα οποία αποτελείται η ύλη. Το ερώτημα που μπαίνει είναι: *Τι συγκρατεί αυτά τα σωματίδια ώστε να σχηματίζουν πρωτόνια, νετρόνια, και αυτά με τη σειρά τους άτομα, μόρια κλπ.;*

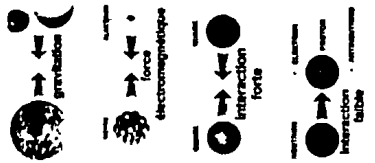


Οι 4 αλληλεπιδράσεις

Το Σύμπαν υπάρχει γιατί τα θεμελιώδη σωματίδια αλληλεπιδρούν: έλκονται, απωθούνται, διασπννται, εξισώνονται.

Υπάρχουν 4 θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων και όλες οι δυνάμεις μπορούν να αποδοθούν σ' αυτές.

1. Η βαρύτητα
2. Ο ηλεκτρομαγνητισμός
3. Η ισχυρή αλληλεπίδραση
4. Η ασθενής αλληλεπίδραση



Πώς μεταδίδονται οι δυνάμεις;



Με ποιον τρόπο η γη ασκεί δύναμη στα σώματα και τα έλκει; Πώς δύο μαγνήτες έλκονται ή απωθούνται μεταξύ τους; Ξέρουμε ότι τα πράγματα αλληλεπιδρούν χωρίς να αλληλεπιδρούν το ένα πάνω στο άλλο. Πώς ένας μαγνήτης «αισθάνεται» την παρουσία κάποιου άλλου; Με ποιον τρόπο ο ήλιος έλκει τους πλανήτες;



Οι δυνάμεις μεταδίδονται με τα σωματίδια φορείς δύναμης

Σύμφωνα με το καθημερινό μοντέλο όλες οι αλληλεπιδράσεις συμβαίνουν εξ αιτίας κάποιων άλλων σωματιδίων, των σωματιδίων φορέων δύναμης. Πώς;

Περίπου το 1935 οι φυσικοί ήπιαν ότι η δύναμη μεταδίδεται με τη βοήθεια σωματιδίων. Κατά τον τον τρόπο σκεπάζονται αλληλεπιδράσεις.

Αντίστοιχα: Μεταξύ των σωματιδίων της ύλης ασκούνται δυνάμεις με την ανταλλαγή κατάλληλων σωματιδίων, των «σωματιδίων φορέων δύναμης».

Συνεπώς αυτό που σκεφτόμαστε ως «δυνάμεις» είναι η επίδραση των σωματιδίων φορέων δύναμης πάνω στα σωματίδια.

Τα σωματίδια φορείς της δύναμης μπορούν να απορροφηθούν από ένα σωματίδιο και να εκπέμψουν από το συγκεκριμένο σωματίδιο. Π.χ. τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια που έχουν ηλεκτρικό φορτίο μπορούν να παροήκουν ή να απορροφήσουν φωτόνια, πράγμα που δε συμβαίνει με τα νετρόνια.

17

Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη

Δύο φορτισμένα σωματίδια έλκονται ή απωθούνται. Το σωματίδιο φορέας δύναμης σ' αυτήν την περίπτωση είναι το φωτόνιο.

Όμως...

Πώς τα άτομα σχηματίζουν μόρια εξαιτίας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης;

Απάντηση: Εξαιτίας της ελαστικότητας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης.

Η ανταλλαγή των σωματιδίων φορέων δύναμης γίνεται με την ανταλλαγή των σωματιδίων φορέων δύναμης.

Ανακάλυψη από τον Γερμανό φυσικό Max Planck

18

Τι κρατά τον πυρήνα ενωμένο;

Ένα ερώτημα που απασχολούσε τους επιστήμονες ήταν η συνοχή του πυρήνα. Μεταξύ των πρωτονίων ασκούνται απωστικές δυνάμεις Coulomb. Θα έπρεπε λοιπόν ο πυρήνας να διασπαστεί. Παρόλα αυτά αυτός παραμένει συμπαγής. Τι τον κρατά ενωμένο;

19

Μια πρώτη ερμηνεία για την ισχυρή δύναμη μεταξύ των νουκλεονίων ενός ατόμου έδωσε ο Hideki Yukawa...

Σύμφωνα με τη θεωρία που διατύπωσε το 1935, η ισχυρή δύναμη στον πυρήνα παράγεται με την ανταλλαγή μεταξύ των νουκλεονίων ενός σωματιδίου που το ονόμασε μεσόνιο.

Η δύναμη αυτή έχει εμβέλεια περίπου 10⁻¹⁵ m (της τάξης της πυρηνικής διαμέτρου).

Υποστήριξε επίσης ότι η εμβέλεια της δύναμης είναι αντιστρόφως ανάλογη της μάζας του μεσονίου.


Έτσι, όπως φαίνεται στην εικόνα, η ισχυρή δύναμη μεταξύ ενός πρωτονίου και ενός νετρονίου πραγματοποιείται με την ανταλλαγή ενός μεσονίου, του πιονίου.

Ανακάλυψη από τον Γερμανό φυσικό Hideki Yukawa με το 1935

20



Η ισχυρή αλληλεπίδραση ασκείται μεταξύ των κουάρκ



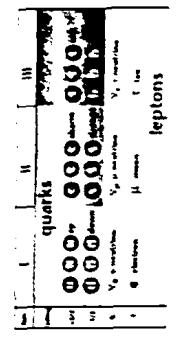
Σύμφωνα με τις σημερινές αντιλήψεις η ισχυρή δύναμη ασκείται μεταξύ των κουάρκ . Τα κουάρκ είναι 6 τύπων. Οι τύποι αυτοί ονομάζονται γεύσεις.

Τα κουάρκ εκτός από το ηλεκτρικό φορτίο διαθέτουν και ένα άλλο είδος φορτίου, το φορτίο χρώματος. Η δύναμη ανάμεσα στα φορτισμένα με χρώμα κουάρκ είναι πολύ μεγάλη και ονομάζεται Ισχυρή.

Πώς εκδηλώνεται η δύναμη αυτή;
Τα σωματίδια φορείς δύναμης στην περίπτωση αυτή είναι τα γλιούνια (gluons) (glue=κόλλα)

21

Κουάρκ: 6 γεύσεις, 3 χρώματα



Κάθε γεύση έχει 3 «χρώματα»: «κόκκινο», «πράσινο» «μπλε».

Για τα αντικουάρκ: «αντικόκκινο», «αντιπράσινο», «αντιμπλε».

Βασική Αρχή: Και τα τρία κουάρκ σ' ένα βαρύνιο πρέπει να έχουν διαφορετικά χρώματα

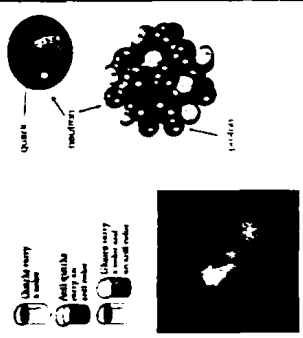
Το μεσόνιο αποτελείται από ένα κουάρκ ενός χρώματος και ένα αντικουάρκ του αντίθετου αντιχρώματος.

Ενώ τα κουάρκ έχουν φορτίο χρώματος, τα σφαιρικά σωματίδια που αποτελούνται από κουάρκ δεν έχουν συνολικά φορτίο χρώματος.

Τα Δεφάνια και τα μεσόνια είναι πάντοτε άχρωμα.

22

Τα γλιούνια (ή γλιούνια).



Τα γλιούνια έχουν φορτίο χρώματος, κάτι που δεν συμβαίνει αντίστοιχα με τα φωτόνια (φορείς της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης), τα οποία δεν έχουν ηλεκτρομαγνητικό φορτίο.

Η ισχυρή δύναμη αναπτύσσεται μόνο μεταξύ των κουάρκ.

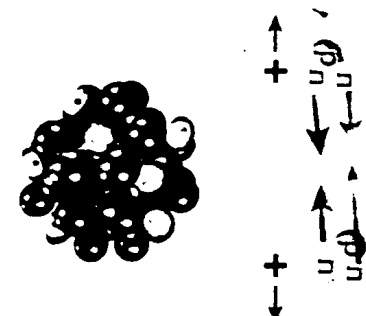
Όταν ένα κουάρκ εκπέμπει ή απορροφά ένα γλιούνιο αλλάζει το χρώμα του.

Τα γλιούνια χρώματα απωθούνται και τα ετερώνυμα έλκονται.

Διαφορετικά χρωματισμένα κουάρκ έλκονται μεταξύ τους αλλά με μικρότερη ένταση απ' ό,τι τα αντίθετα χρώματα των κουάρκ και αντικουάρκ.

23

Η εναπομένουσα Ισχυρή δύναμη



Τα κουάρκ λοιπόν ενώνονται μέσω των γλιονίων μεταξύ τους και σχηματίζουν τα πρωτόνια και νετρόνια λόγω της ισχυρής δύναμης.

Τα πρωτόνια και νετρόνια όμως πώς συνδέονται και σχηματίζουν τον πυρήνα;

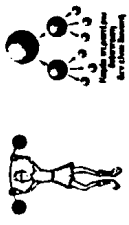
Απάντηση: Λόγω της εναπομένουσας Ισχυρής δύναμης

Η ισχυρή δύναμη μεταξύ των κουάρκ ενός πρωτονίου με τα κουάρκ ενός άλλου πρωτονίου είναι ισχυρότερη από την ηλεκτρομαγνητική δύναμη. Έτσι τα νεκλιούνια συγκρατούνται ενωμένα στον πυρήνα.

24

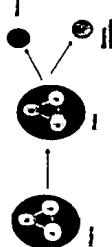


Η ασθενής αλληλεπίδραση



Υπάρχουν έξι είδη κουάρκ και έξι λεπτόνια. Όλα όμως η σπασμένη για σπασμένη φέρει ότι από τα έξι από δύο κουάρκ τα επ και άνω και από τα έξι λεπτόνια φερμένο λεπτόνιο, το ηλεκτρόνιο.

Τα βαρέα κουάρκ και λεπτόνια λοιπόν, διασπώνται σε ελαφύτερα κουάρκ και λεπτόνια. Ένα μέρος από την μάζα του αρχικού σωματίδιου, μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των νέων σωματιδίων που παράγονται.



Όταν ένα κουάρκ ή ένα λεπτόνιο αλλάζουν τύπο τότε λέμε ότι αλλάζουν γένη.

Αιτία για την αλλαγή γένους είναι η ασθενής αλληλεπίδραση.

Τα σωματίδια φορείς της ασθενούς αλληλεπίδρασης είναι τα W⁺, W⁻ και Z⁰ (η θεωρία του καθιερωμένου πρότυπου έχει ενσωματήσει τις ηλεκτρομαγνητικές και τις ασθενείς αλληλεπιδράσεις σε μια αλληλεπίδραση που ονομάζεται ηλεκτροασθενής).

25

Τι είναι οι «διασπάσεις» των θεμελιωδών σωματιδίων;

Ένα άτομο όταν διασπάται σπάζει σε μικρότερα κομμάτια.

Ένα θεμελιώδες σωματίδιο όμως μπορεί να διασπαστεί.

Ναι, κατά μία διαφορετική έννοια:

Όταν λέμε ότι ένα θεμελιώδες σωματίδιο διασπάται, τότε αυτό μετατρέπεται σε ένα σωματίδιο με μικρότερη μάζα και ένα σωματίδιο φορέα δύναμης (γλοΐνιο ή W/Z).

Αυτό με τη σειρά του διασπάται σε άλλα σωματίδια.

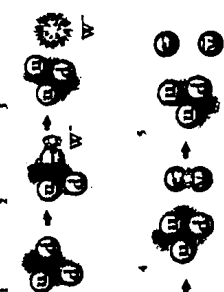
Τα W,Z σπύκουν σε μια κατηγορία σωματιδίων που ονομάζονται Μποζόνια.

Αυτά τα σωματίδια (W/Z), λέμε ότι έχουν ασθενές φορτίο ακριβώς όπως τα κουάρκ έχουν χρωματικό φορτίο.

Κάθε στοιχειώδες σωματίδιο λοιπόν μπορεί να έχει: Μάζα, ηλεκτρικό φορτίο, χρωματικό φορτίο, ασθενές φορτίο.

26

Πιο αναλυτικά η διάσπαση του νετρονίου



Ας δούμε το παράδειγμα της «διάσπασης» του νετρονίου. Η «διάσπαση» αυτή σημαίνει μεταβολή του νετρονίου (n) σε πρωτόνιο (p), ηλεκτρόνιο και αντινεutrino.

Εικ.1 Το νετρόνιο (ηλεκτρικά ουδέτερο).

Εικ.2 Ένα κουάρκ d μετατρέπεται τώρα σε ένα κουάρκ u. Συγκεκριμένα, φορτίο πύρα: $2/3 \rightarrow 1/3 - (-1/3) = 1$. Για να διατηρηθεί το φορτίο παράγεται ταυτόχρονα ένα σωματίο W⁻ (με φορτίο -1). Συνολικό φορτίο: $1 - 1 = 0$.

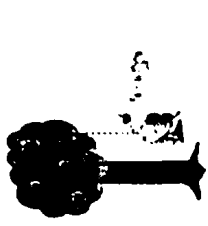
Εικ.3 Το νέο κουάρκ u αποσπώνεται από το W⁻. Έχει ήδη σχηματιστεί πρωτόνιο.

Εικ.4 Από το W⁻ σχηματίζεται ένα ηλεκτρόνιο και ένα αντινεutrino.

Εικ.5 Το πρωτόνιο το ηλεκτρόνιο και το αντινεutrino απομακρύνονται μεταξύ τους.


27

Η ΒΑΡΥΤΗΤΑ



Μια από τις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις είναι η βαρύτητα για την οποία το καθιερωμένο πρότυπο δεν μπορεί να δώσει μια ικανοποιητική εξήγηση.

Το σωματίδιο - φορέας της δύναμης αυτής που δεν έχει βρεθεί ακόμη, ονομάζεται βαρυτόνιο (ή γκβαρίτιονο)



9

28



Πότε σε μια διάσπαση μια αλληλεπίδραση χαρακτηρίζεται ως ισχυρή και τότε ως ασθενής;

Αυτό καθορίζεται από κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των σωματιδίων. Αυτές είναι:
 Η γέννηση: Αναφέρεται στο είδος του σωματιδίου.
 Όταν ένα θεμελιώδες σωματίδιο μετατρέπεται σε ένα άλλο τότε λέμε ότι αλλάζει η γέννηση

Το ηλεκτρομαγνητικό φορτίο ενός σωματιδίου: Έχει σωματίδια αντίθετου φορτίου και απωθεί σωματίδια ίδιου φορτίου.

Το φορτίο χρώματος: Η ισχυρή αλληλεπίδραση προκαλεί ελξη μεταξύ χρωματικά φορτισμένων σωματιδίων.

Μια διάσπαση με...	Μια γέννηση με...
αλλαγή χρώματος (πλευρικού φορτίου) χωρίς (πλευρική) αλλαγή	το γλυκόνομο (ισχυρή) ή
αλλαγή χρώματος (πλευρικού φορτίου) χωρίς αλλαγή χρώματος και πλευρικού φορτίου	τη W^+ ή W^- (ασθενής)

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

29

Ανακεφαλαίωση

Τα θεμελιώδη σωματίδια και οι τέσσερις αλληλεπιδράσεις συνοψίζονται στους πίνακες.

I	II	III
quarks		leptons
u, d, s, c, b, t	e, μ , τ	ν_e, ν_μ, ν_τ

30

Η εξάλυση

Όταν ένα σωματίδιο ύλης και ένα αντίστοιχο σωματίδιο αντίθετης έλξης σε επαφή, τότε εξάλυνονται μετατρέποντας εξ ολοκλήρου σε ενέργεια.

Στην περίπτωση της διάσπασης από ένα αρχικό σωματίδιο ένα μέρος της μάζας του μετατρέπεται σε ενέργεια ενώ το υπόλοιπο σε μάζες νέων σωματιδίων που σχηματίζονται.

Κατά τη διάρκεια της εξάλυσης το σωματίδιο και το αντίστοιχο αντισωματίδιο αλληλεπιδρούν και μετατρέπονται όλη τους την ενέργεια σε σωματίδια φορέα δύναμης (π.χ. γκλόουον, φωτόνιο, ή W/Z). Τα σωματίδια φορέας δύναμης μπορούν με τη σειρά τους να διασπαστούν σε άλλα σωματίδια.

MATIERE	ATOME	NOYAU	PROTON
electron	neutrino electron	bas (down)	haut (up)
muon	neutrino muon	étrange (strange)	charm (charm)
tau	neutrino tau	beauté (beauty)	sommet (top)
photon	bosons vecteurs	B gluons	graviton ?


Une antiparticule pour chaque fermion

31




Παραδείγματα Διασπάσεων

Εξάλωση ηλεκτρονίου,
ποζιτρονίου σε D^+ , D^- .

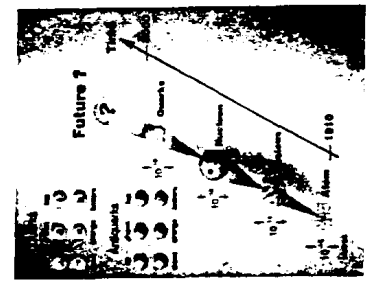


Εξάλωση q , αντι- $q \rightarrow t$



35

Γνωρίσαμε το καθιερωμένο πρότυπο. Μας δίνει αυτό την τελική απάντηση για τη δομή της ύλης;



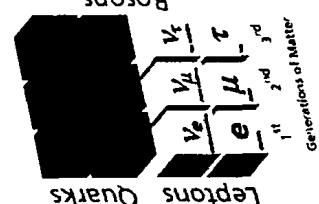
Το καθιερωμένο πρότυπο, με τα ξη, κομμάκι, τα ξη, λεπτόνα και τις τέσσερις αλληλεπιδράσεις προσπαθεί να μας δώσει μια ερμηνεία για τη δομή της ύλης. Ωστόσο παραμένουν ακόμη αρκετά ασάφητα ερωτήματα. Όπως:

- Είναι τα κομμάκι πρόγνωση ή μικρότερα σωματίδια, ή μήπως και αυτά αποτελούνται από άλλα ακόμη μικρότερα;
- Γιατί βρίσκουμε περισσότερη ύλη από αντιύλη στο Σύμπαν ενώ θα έπρεπε να υπάρχουν ίσες ποσότητες;
- Πώς εμπλέκεται η βαρύτητα με όλα αυτά;
- Ποιες όρασε θα είναι οι απάντες μας για τη δομή της ύλης μετά 50, 100, 500 χρόνια;
- Αν οι απάντες μας τότε είναι τελείως διαφορετικές αυτό σημαίνει ότι το καθιερωμένο πρότυπο είναι άχρηστο;
- Το πρότυπο όρασε που μας έδωσε ο Αριστοτέλης αποτέλεσε κρηδίο για την πρόοδο της επιστημονικής σκέψης;

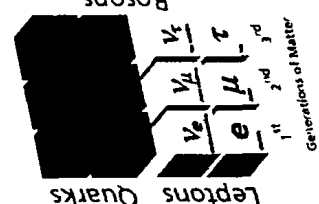
34

Elementary Particles


Quarks



Leptons



Boosons

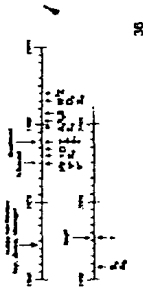


ΤΕΛΟΣ

35

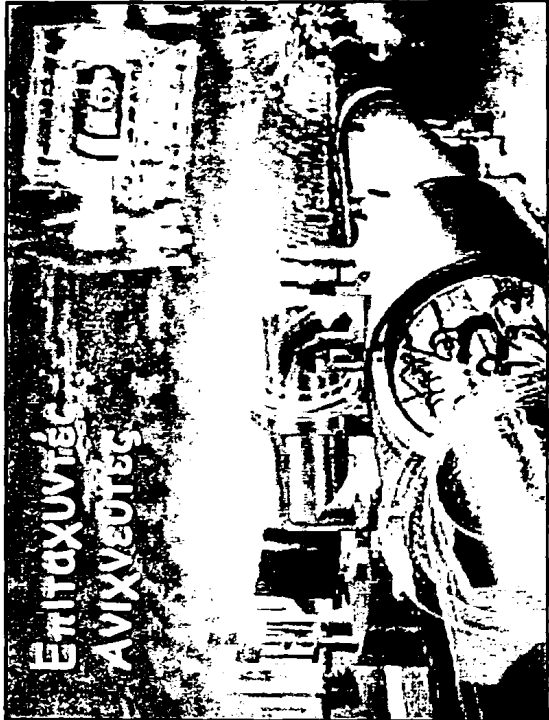
Ιστορικές αναφορές

- 1874: Ο George Stoney αναπτύσσει τη θεωρία του ηλεκτρονίου.
- 1898: Ο Josef Thomson μετράει το μέγεθος και ανιχνεύει τη θεωρία του „ατομικού κελύφους“.
- 1911: Ο Ernest Rutherford αναπτύσσει την θεωρία του κελύφους.
- 1916: Ο Niels Bohr αναπτύσσει την θεωρία του κελύφους.
- 1926: Υποθέτουν μόνο 3 στοιχειώδη σωματίδια: Τα πρωτόνια, τα ηλεκτρόνια και τα νετρόνια.
- 1930: Ο Wolfgang Pauli αναπτύσσει το νετρόνιο (μεταγενέστερα αποκαλύπτεται το νετρόνιο).
- 1933 - 34: Ο Hideki Yukawa μετράει για τα νετρόνια.
- 1937: Ανακαλύπτεται ένα σωματίδιο με μάζα 200 φορές τη μάζα του ηλεκτρονίου: Το μιονόνιο.
- 1947: Ανακαλύπτεται το νετρόνιο στις κοσμικές ακτίνες.
- 1948: Ανακαλύπτεται το σωματίδιο C.
- 1958: Ανακαλύπτεται το σωματίδιο νετρόνιο.
- 1951: Ανακαλύπτεται στις κοσμικές ακτίνες το σωματίδιο N και Z.
- 1952: Ανακαλύπτεται το σωματίδιο Δ (Δ⁺, Δ⁻).
- Μέχρι το έτος του 1960 έχουμε μετρήσει σφαιρικά και ημισφαιρικά υποατομικά σωματίδια. Αλλάζει το σωματίδιο αν το σωματίδιο από σφαιρικό με τη μορφή σφαιρικού σωματίδιου.
- 1962: Το νετρόνιο ανακαλύπτεται ως τμήμα νετρόνιο (μυονονόμιο).
- 1964: Οι Cecil Alan και Zsigmond Nagy ανακαλύπτουν το quark u, d, s.
- 1964: Οι Glashow και Jordan αναπτύσσουν τη θεωρία C.
- 1964: Οι Glashow, Weinberg, Salam μετράνε την κρούση των σωματιδίων και ανακαλύπτουν τα σωματίδια W⁺, W⁻, Z.
- 1977: Ο Leon Lederman ανακαλύπτει το σωματίδιο τ.
- 1998: Στο Fermilab ανακαλύπτεται το σωματίδιο B.



36





Η υπόθεση και το πείραμα

Το καθιερωμένο πρότυπο αποτελεί μία θεωρία με την οποία ερμηνεύουμε τη δομή και τις ιδιότητες της ύλης. Σπρήχθηκε πάνω σε μια σειρά υποθέσεων και πειραματικών ενδείξεων, σε μια διαλεκτική σχέση θεωρητικής υπόθεσης και πειράματος. Η υπόθεση προκαλεί το πείραμα και το πείραμα οδηγεί σε επιβεβαίωση ή αμφισβήτηση της θεωρίας ή πάλι από το πείραμα προκύπτει μία νέα θεωρία.

Πολλές φορές απορρέουν θεωρητικά αποτελέσματα οδηγούν σε άλλες θεωρητικές υποθέσεις.

Τα εργαλεία με τα οποία μπορούμε να δομή το άτομο και να γνωρίσουμε τη δομή του είναι οι **επιταχυντές** και οι **ανιχνευτές**.

Από: Ν. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. ε) ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ - ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ 2

Τα πρώτα βήματα για την ανακάλυψη της δομής του ατόμου

Μέχρι το 1900 επικρατούσε η αντίληψη ότι τα άτομα ήταν παρόμοιες σφαίρες. Ωστόσο το 1909 οι Γεώργιος και Μαρσέλ με την επίβλεψη του ΚATHERLING έκαναν το πείραμα με το χρυσόχαρτιο.

Πείραμα: Σε ένα φύλλο χρυσού που περιβαλλόταν από μία αφορική σόδη έριξαν μία δέση σωμάτων άδρα (Πυρήνες πλίου που αποτελούνται από δύο p και δύο n).

Περιμέναν, εφόσον κατά τη γνώμη τους τα σώματα άδρα θα περνούσαν όπως στο παρακάτω σχήμα:

Αποτέλεσμα των πειραμάτων: Ορισμένοι σωματοειδή σωματίδια.

Μέχρι το 1900 επικρατούσε η αντίληψη ότι τα άτομα ήταν παρόμοιες σφαίρες. Ωστόσο το 1909 οι Γεώργιος και Μαρσέλ με την επίβλεψη του ΚATHERLING έκαναν το πείραμα με το χρυσόχαρτιο.

Πείραμα: Σε ένα φύλλο χρυσού που περιβαλλόταν από μία αφορική σόδη έριξαν μία δέση σωμάτων άδρα (Πυρήνες πλίου που αποτελούνται από δύο p και δύο n).

Περιμέναν, εφόσον κατά τη γνώμη τους τα σώματα άδρα θα περνούσαν όπως στο παρακάτω σχήμα:

Τα αποτελέσματα όμως ήταν διαφορετικά. Γιατί:

Το αποτέλεσμα όμως ήταν διαφορετικό. Γιατί:

Από: Ν. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. ε) ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ - ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ 3

Πώς άραγε να διέρχονταν τα σωμάτια άδρα;

Σε ποια συμπερίσπασμα λοιπόν πρέπια να οδηγίστε το αποτέλεσμα του πειράματος;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: Κάποια σωματοειδή ανακάλυπταν πάνω σε κάτι μικρό σκληρό και θετικά φορτισμένο. Άρα τα άτομα δεν είναι παρόμοιες σφαίρες. Αυτό στο οποίο ανακάλυπταν είναι ο πυρήνας.

Από: Ν. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. ε) ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ - ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ 4



Ένα παιχνίδι - προσομοίωση με το πείραμα του Rutherford

Υποθέτουμε ότι δίνουμε σε κάποιον σε ορισμένο μέτρο να πετάξει τις μπάλες τυχαία προς το κέντρο, χωρίς να γνωρίζει για την ύπαρξή του εκεί. Τι μπορεί να υποθέσει μετά το τέλος του παιχνιδιού;

Αυγούστου 2009

Ένα υποθετικό πείραμα

Χτυπάμε δύο στόχους με διάφορα σωματίδια που ανακλίνονται παίρνοντας την κατεύθυνση όπως στο σχήμα. Μπορείτε να υποθέσετε τι σχήμα έχουν οι στόχοι;

Αυγούστου 2009

ΑΠΛΑΝΤΗΣΕΙΣ

Αυγούστου 2009

Πώς μπορούμε να δούμε το μικρόκοσμο;

Ο τρόπος με τον οποίο βλέπουμε μία μπάλα: Το φως (φωτόνια) φεύγει από τη Λάμπα (πηγή), ανακλάται στη μπάλα (στόχος) και έρχεται στο μάτι (αντηρακτής).
 Διότι: Τα ανακλινόμενα φωτεινά κύματα πέφνουν στο στόχο μας δίνοντάς τους πληροφορίες για τη μορφή του στόχου.
 Ανάλογες πληροφορίες μπορούμε να παίρνουμε όχι μόνο με την ανάλυση φωτεινών κυμάτων αλλά κάθε είδους κύματος.
 (Για να θυμηθούμε τη ζωολογία: Πώς βλέπει η νυχτερίδα?)
 Απάντηση: Τα αυτιά της λειτουργούν σαν ραντάρ. Εκπέμπει υπέρηχους κύματα και συλλέγονται τα ανακλινόμενα.

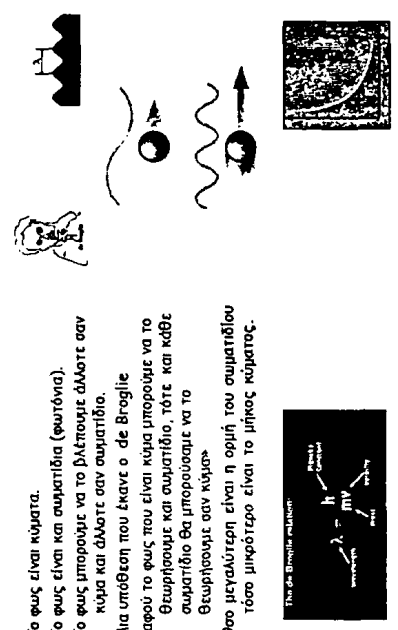
Αυγούστου 2009



Ας θυμηθούμε κάποια πράγματα από την Κβαντομηχανική.

Το φως είναι κύματα.
 Το φως είναι και σωματίδια (φωτόνια).
 Το φως μπορούμε να το βλέπουμε άλλοτε σαν κύμα και άλλοτε σαν σωματίδιο.
 Μια υπόθεση που έκανε ο de Broglie «εφού το φως που είναι κύμα μπορούμε να το θεωρήσουμε και σωματίδιο, τότε και κάθε σωματίδιο θα μπορούσαμε να το θεωρήσουμε σαν κύμα».

Όσο μεγαλύτερη είναι η ορμή του σωματιδίου τόσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος.



$\lambda = \frac{h}{mv}$

$p = mv$

$\lambda = \frac{h}{p}$

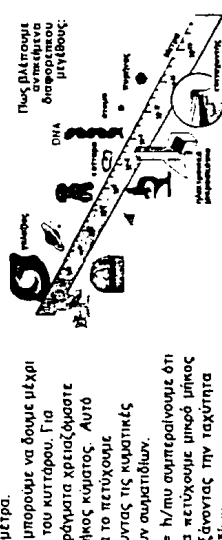
Και ποια είναι η σημασία του μήκους κύματος για να δούμε τη δομή της ύλης;

Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος τόσο μικρότερα αντικείμενα μπορούμε να ανιχνεύσουμε. Τα μόρια μας είναι εμφανισιμένα με το φως το οποίο έχει μήκος κύματος περίπου 0,0000005 μέτρα.

Μ' αυτό το φως μπορούμε να δούμε μέχρι την περιοχή του κυττάρου. Για μικρότερα πράγματα χρειαζόμαστε μικρότερο μήκος κύματος. Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε χρησιμοποιώντας τις κυματικές ιδιότητες των σωματιδίων.

Από το τύπο $\lambda = h/p$ συμπεραίνουμε ότι μπορούμε να πετύχουμε μικρό μήκος κύματος αυξάνοντας την ταχύτητα των σωματιδίων.

Την αύξηση της ταχύτητας των σωματιδίων την πετυχαίνουμε με τους επιταχυντές.



Πως βλέπουμε ανέρχεται στο μέγεθος

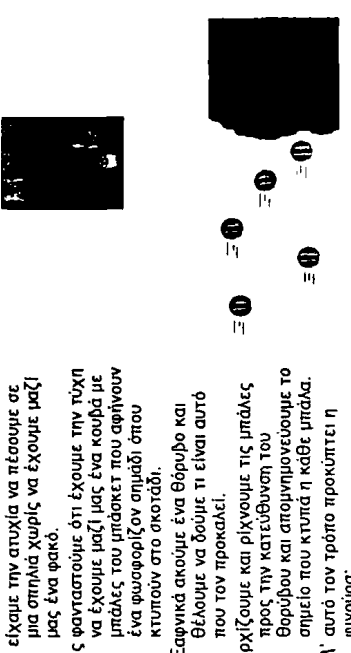
Για παράδειγμα ας φανταστούμε ότι...

... είχαμε την απίχια να πέσουμε σε μια απηλιά χωρίς να έχουμε μαζί μας ένα φακό.

Ας φανταστούμε ότι έχουμε την τύχη να έχουμε μαζί μας ένα κουβά με μπάλες του μπάσκετ που αφήνουν ένα φωσφορίζον σημάδι όπου κτυπούν στο σκοτάδι.

Ξαφνικά ακούμε ένα θόρυβο και θέλουμε να δούμε τι είναι αυτό που τον προκαλεί.

Αρχίζουμε και ρίχνουμε τις μπάλες προς την κατεύθυνση του θορύβου και απαιθμιωνούμε το σημείο που κτυπά η κάθε μπάλα. Μ' αυτό τον τρόπο προκύπτει η φιγούρα:

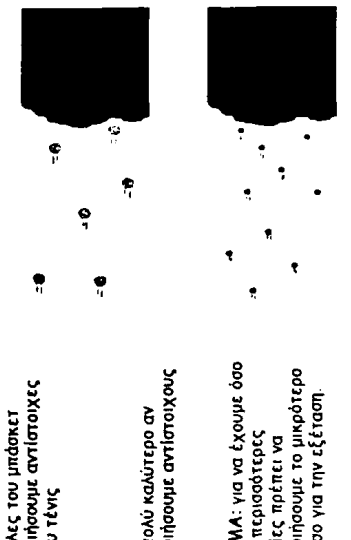


Το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό αν ...


...αντί για μπάλες του μπάσκετ χρησιμοποιήσουμε αντιστοιχές μπάλες του τένις

...και σαφώς πολύ καλύτερο αν χρησιμοποιήσουμε αντιστοιχές βύλους

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: για να έχουμε όσο το δυνατό περισσότερες πληροφορίες πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το μικρότερο δυνατό μέσο για την εξέταση.




Τι πετυχαίνουμε με τους επιταχυντές:



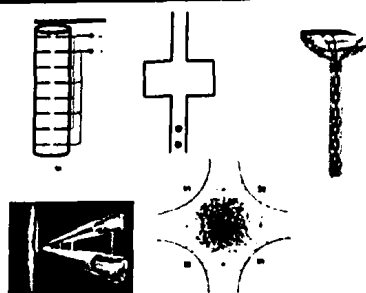
1. Να «δούμε» στο ευρύτερο των ορίων.
2. Να δημιουργήσουμε σωμάτια μεγαλύτερης μάζας για να τα μελετήσουμε.

ΕΡΩΤΗΣΗ: Με ποιους τρόπους μπορούμε να πάρουμε τα σωμάτια που θα χρησιμοποιήσουμε στους επιταχυντές;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: Τα ηλεκτρόνια με θέρμανση μετάλλου
 Τα πρωτόνια με ιονισμό ατόμων υδρογόνου
 Τα αντισωματίδια: Χτυπάμε στόχο με σωμάτια μεγάλης ενέργειας οπότε παραγονται σωμάτια και αντισωματίδια.

Αριθμός 2008

Έτσι όταν θέλουμε να «δούμε» πράγματα του μικρόκοσμου..




1. Βάζουμε τα σωμάτια σ' έναν επιταχυντή.
2. Δίνουμε στα σωμάτια πολύ μεγάλη ορμή επιταχύνοντας τα κατά την ταχύτητα του φωτός. Οι επιταχυντές λειτουργούν με τον τρόπο που κινούνται τα ηλεκτρικά φορτισμένα σωμάτια μέσα σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Τα ηλεκτρικά πεδία δίνουν ενέργεια στα σωμάτια και έτσι τα επιταχύνουν, ενώ τα μαγνητικά πεδία προκαλούν σπείρωση στα σωμάτια και τα εστιάζουν σε διευθείς.
3. Τα σωμάτια εφόσον έχουν μεγάλη ορμή έχουν μικρό μήκος κύματος ($\lambda = h/p$).
4. Ρίχνουμε τα σωμάτια πάνω στο στόχο και εξετάζουμε το τι συμβαίνει.

Επίσης Γνωρίζουμε ήδη καλώς επιταχυντή Αισθητήρα Η σωμάτια της τμήματός σας. Επιταχυντήρα ηλεκτρόνια προετοιμάσει στην αίθουα και προσέλευση επιταχυντήρα.

Αριθμός 2009

Τίως δημιουργούμε σωμάτια μεγάλης μάζας.



Ο Einstein μας έδειξε ότι η μάζα και η ενέργεια είναι δύο μορφές του ίδιου πράγματος. Η θεωρία αυτή επικρατεί στη σχέση:

$$E = mc^2$$

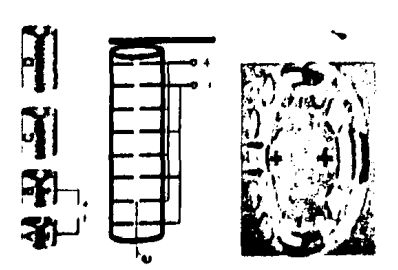
Όταν εξοφανίζεται ύλη, τότε αυτή μετατρέπεται σε ενέργεια και αντιστρόφως από την ενέργεια, μπορεί να προκύψει ύλη.

Έτσι όταν φέρουμε σε σύγκρουση δύο σωμάτια με μεγάλη κινητική ενέργεια θα δημιουργηθούν σωμάτια με μεγάλη μάζα.

Εικόνα 1. Διαφορετικά είδη σωμάτων που παράγονται σε σύγκρουση υψηλής ενέργειας.
 Εικόνα 2. Αντικείμενα που παράγονται σε σύγκρουση υψηλής ενέργειας.
 Εικόνα 3. Αντικείμενα που παράγονται σε σύγκρουση υψηλής ενέργειας.

Αριθμός 2010

Τίως σχεδιάζουμε έναν επιταχυντή



Υπάρχουν διάφοροι τρόποι σχεδίασης επιταχυντών. Οι επιταχυντές μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να παράγουν δύο ή και περισσότερα σωμάτια.

Σταθερούς μήκους επιταχυντήρα

Οι επιταχυντές έχουν συνήθως ένα από τα δύο είδη:

Γραμμικό. Τα σωμάτια ξεκινούν από το ένα άκρο και κινούνται στο άλλο.

Στρογγυλό. Τα σωμάτια κινούνται σε κυκλική πορεία μέσα σε αποστάσιο της καταλληλής ταχύτητας.

Αριθμός 2011



Πώς χρησιμοποιούνται οι επιταχυντές

A. Οι γραμμικοί (linacs) επιταχυντές χρησιμοποιούνται για:

1. Πειράματα σταθερού στόχου
2. Ως τροφοδότες σε κυκλικούς επιταχυντές.
3. Ως γραμμικοί επιταχυντές συγκροημένων δεσμών.

B. Οι κυκλικοί επιταχυντές (σύγχροτρο) χρησιμοποιούνται:

1. Για συγκροημένες δέσμες.
2. Για εξαρτηγή της δέσμης ώστε να χτυπήσει σταθερό στόχο.

ΕΡΩΤΗΣΗ: Πώς μπορούν τα σωματίδια στους κυκλικούς επιταχυντές να περιφέρονται συνεχώς σε κυκλική τροχιά;
Απάντηση: Με τη βοήθεια μαγνητών.

Ανάλυση: 17

Πώς πειραματίζομαστε με τους επιταχυντές

1. Τα περφόρα σταθερού στόχου. Εδώ ένα φορτισμένο σωματίδιο επιταχύνεται από ένα ηλεκτρικό πεδίο και συγκρούεται με ένα στόχο.
2. Τα περφόρα συγκροημένων δεσμών: Εδώ δύο δέσμες σωματιδίων με μεγάλη κινητική ενέργεια συγκρούονται. Αποτέλεσμα της σύγκρουσης είναι να γεννηθούν σωματίδια με μεγαλύτερη μάζα απ' ό,τι σε μία σύγκρουση σταθερού στόχου.

ΕΡΩΤΗΣΗ: Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των κυκλικών και ποια των γραμμικών επιταχυντών;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: Γραμμικοί: Είναι πιο εύκολο στην κατασκευή.
Κυκλικοί: Τα σωματίδια περφορούνται πολλές φορές και σε κάθε περφόρηση κερδίζουν ενέργεια. Έτσι μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια με μικρότερη σωματίδια περφορούνται πολλές φορές. Υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα σύγκρουσης στην περίπτωση των συγκροημένων δεσμών όταν αυτές διασταυρώνονται.

Ανάλυση: 18

Πώς λειτουργούν οι ανιχνευτές (1).

Ένα παράδειγμα από την καθημερινότητα:

- [1] Ένα αέριο λαμπυράκι προσελκύει μια αερίδα από καταρραφές κατά το πέρασμά του μέσα από ένα χαρτί.
- [2] Οι ένοικοι των κατοικημένων σπιτιών τρέχουν στο πλησιέστερο τμήμα για να ελαττώσουν την αεριοαίρα.
- [3] Η αστυνομία καταγράφει τον χρόνο και τη θέση των λάμπων.
- [4] Από τον χρόνο που μετράμετε μέχρι να φτάσει το αυτοκίνητο στο τμήμα, μπορείτε να υπολογίσετε την ταχύτητα των καταρραφών και ανακαταγράψετε τη πορεία του λαμπυράκιου.

Ανάλυση: 19

Πώς λειτουργούν οι ανιχνευτές (2).

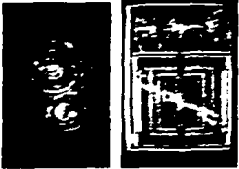
Κάπως αντίστοιχα στους ανιχνευτές:

- [1] Ένα σωματίδιο δέχεται από τον ανιχνευτή συγκρούεται με άτομα και εκβάλλει ηλεκτρόνια.
- [2] Τα ηλεκτρόνια λύνονται από το πλησιέστερο δέσμη φορτισμένου αερίου.
- [3] Ο ηλεκτρικός αετός στο καλώδιο ενεργεί και οδηγεί στην ενεργοποίηση.
- [4] Από τη θέση του αερίσιου και το χρόνο άφιξης του σήματος, ο υπολογιστής εντορίζει τη θέση της σύγκρουσης.


Ανάλυση: 20



Ερευνώντας τα ίχνη των σωματιδίων



Ο τρόπος για να μελετήσουμε τα σωματίδια είναι να αποσυνθέσουμε τη δέση που αυτά αφήνουν ή να γίνουν φασάκι τα ίχνη των σωματιδίων, πρέπει να ανακαλύψουμε τα σωματίδια να περάσουν μέσα από έναν ανιχνευτή, που περιέχει το κατάλληλο υλικό. Αυτό μπορεί να είναι σπινθηρογόνο υλικό, υγρό ή αέριο. Αρχικά χρησιμοποιούνταν ο βλαύριος νέφους ή βλαύριος Wilson 3^{ος} τύπου σφαιρικοί ζωντανί (ζην από σφαιρίδια κατά μήκος της τροχιάς των σωματιδίων). Προκειμένου να μελέτησε για τα σωματίδια πρέπει να μπορούμε να αναγνωρίζουμε τις τροχιές τους. Ένας τρόπος για να γίνει αυτό είναι να οδοντώσουμε τα σωματίδια μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Τότε τα σωματίδια με θετικό φορτίο θα αποκλίνουν προς τη μία κατεύθυνση ενώ αυτά με αρνητικό προς την άλλη.



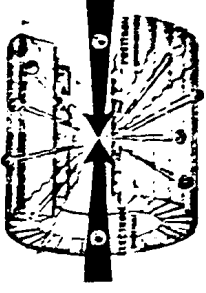
21

ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ

Το γεγονός (event) Η κάθε συγκρούση σωματιδίων είτε με ακίνητο στόχο είτε με άλλα σωματίδια, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σωματιδίων πολλά από τα οποία έχουν πολύ μικρό χρόνο ζωής. Κάθε μια από αυτές τις συγκρούσεις ονομάζεται «γεγονός».

Με κατάλληλες συσκευές που αναμείζονται «ανιχνευτές» προσπαθούμε να απορροφήσουμε το κάθε γεγονός και να καταγράψουμε το τι συμβαίνει σ' αυτό.

Κάθε μέρος ενός συγκρούσεως ανιχνευτή χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ενέργειας και της ορμής των σωματιδίων και έχει τη δυνατότητα να μπορεί να ξεχωρίσει τα διάφορα σωματίνα μεταξύ τους.





22

Οι μορφές των ανιχνευτών

Οι συσκευές αυτές τοποθετούνται στην περιοχή όπου θα λάβει χώρα το γεγονός, εκεί δηλαδή που θα δημιουργηθούν τα σωματίδια που θα προκύψουν από τη συγκρούση. Γι' αυτό ανάλογα με το είδος των συγκρούσεων έχει το κατάλληλο σχήμα και ο ανιχνευτής.

Παραβαίνει οριζόντιοι ούλοι: Τι παραβαίνει τα σωματίδια έχουν την κατεύθυνση της δέσης γ' αυτό και οι ανιχνευτές έχουν σχήμα ούλου.



Τα παραβαίνει σωματιδίων φέρουν προς όλες τις κατευθύνσεις, γ' αυτό και ο ανιχνευτής θα έπρεπε να είχε σχήμα σφαιρικό αλλά για λόγους πρακτικούς είναι κυλινδρικό.

23

Ανασκόπηση του μεγάλου ανιχνευτή του SLAC (Stanford Linear Accelerator Center). Η ανιχνευτή στο σούαλο της ζώνης οι 4.000 πόρους και έχει ύψος 6 μέτρων.


Ο ανιχνευτής ΚΟΡΠΙΟ στο Brookhaven σε ένα περίοδο που επιχείρησε να μελετήσει την απώλεια σωματιδίων μεταξύ ενός και οριζόντιος στο Σλάιμιν

24



Πώς είναι κατασκευασμένος ένας ανιχνευτής



Ο κύριος γύρω από τον οποίο αναδύονται τα γεγονότα περιβάλλεται από διάφορα στρώματα καθένα από τα οποία εξετάζει μια διαφορετική όψη του γεγονότος.

Κάθε τμήμα εξετάζει μια ειδική ομάδα των ιδιοτήτων των σωματιδίων.

Τα σωματίδια περνούν από διαδοχικά στρώματα.

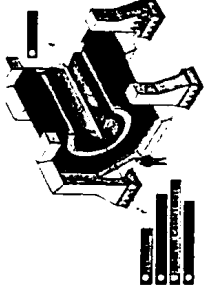
Το κάθε σωματίδιο γίνεται αντιληπτό από τη στιγμή που θα συναντήσει με τον ανιχνευτή με κάποιο συγκεκριμένο τρόπο ή θα διασυνταχτεί σε σωματίδια που μπορούν να ανιχνευθούν.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Μια από τις χημικά τριτογενείς ιδιότητες των σωματιδίων είναι η μέτρηση του φορτίου και της ορμής. Η μέτρηση μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του μηχανισμού που είναι ο πυρήνας κατασκευασμένος όπως λέγονται οι οργανικοί πύλοι. Ο πιο μεγαλύτερη είναι η ορμή του φορισμένου σωματιδίου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα καμπυλότητας της τροχιάς που διαγράφουν.

Α. Ν. 2006

Τα τμήματα από τα οποία αποτελείται ένας ανιχνευτής:




- Tracking (Θάλαμος ανιχνεύσεως φορισμένων σωματιδίων) Καθορίζονται με μεγάλη ακρίβεια οι τροχιές των φορισμένων σωματιδίων.
- Ε-Η Calorimeter (Ηλεκτρομαγνητικό Θερμιδομέτρο) Μέτρον την ολική ενέργεια των e⁻ και των positron. Τα σωματίδια αυτά δημιουργούν καταπονήζ ζεύγους e⁺ μέσα στο υλικό.
- Hadron Calorimeter (Αδρονικό Θερμιδομέτρο) Μέτρον την ολική ενέργεια των αδρονίων. Τα αδρόνια αλληλεπιδρούν με το πυκνό υλικό που βρίσκεται αμέσως την περιοχή παραπάνω ένα καταπονήζ από φορισμένα σωματίδια. Στο τέλος η ενέργεια που εναπομένει απ' αυτά τα φορισμένα σωματίδια μετρείται.
- Muon Chambers (Θάλαμος ανιχνεύσεως μιονίων) Μόνο τα μίονα και τα νετρίνια μπορούν να περάσουν τόσο μακριά. Εάν τα μίονα ανιχνευθούν, τα νετρίνια θεωρούνται ή παραοδεύ τους γίνεται αντιληπτή από άλλους ανιχνευτές.

Α. Ν. 2006

Η κάρθητη τομή ενός ανιχνευτή


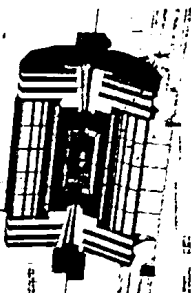
Η τομή ενός ανιχνευτή, με τις τροχιές σωματιδίων



- Θάλαμος της δίοσης (jet trigger)
- Θάλαμος μετρούσης τροχιάων
- μηχανήτης
- Η-Η θερμιδομέτρο
- Αδρονικό θερμιδομέτρο
- Μεταγνητισμός στήλης
- Θάλαμος μετρούσης μιονίων

Α. Ν. 2006

Με το πέρας ΑΤΛΑΣ θα μελετηθούν οι αλληλεπιδράσεις τριτονίου-πρωτονίου στον Large Hadron Collider (LHC) στο Ευρωπαϊκό Εργαστήριο Φυσικής Σωματιδίων (CERN) που βρίσκεται στη Γενεύη

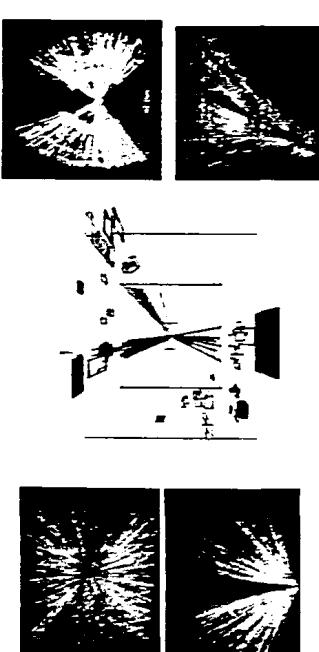



Ο Compact Muon Solenoid (CMS) ανιχνευτής αναμένεται να αρχίσει να λειτουργεί στο LHC στο CERN ΤΟ 2007. Θα μελετηθούν συγκρούσεις p-p σε ενέργειες 14 TeV.

Α. Ν. 2006



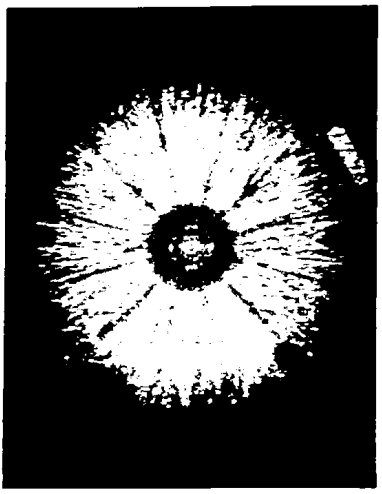
Αναπαράσταση των γεγονότων με ηλεκτρονικό υπολογιστή



Οι ανιχνευτές καταγράφουν καταγραφών δεδομένων από σημεία κατά την διάρκεια των γεγονότων από ανιχνευτές 1^η από το άλλο. Είναι απαραίτητο να σφραγιστεί πρώτα ένας ηλεκτρονικό υπολογιστή να αναλάβει τα δεδομένα, και να βρει τις πιο πιθανές τροχιές των ακτινοδίων τις διαπιστώνει από τις οποίες προέρχονται, καθώς και αποδείξει από τα αναμενόμενα φαινόμενα

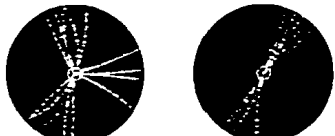
29

Αναπαράσταση των γεγονότων με ηλεκτρονικό υπολογιστή
 ΧΑΛΚΙΔΑΣ συμμετέχει από το σημείο συγκρούσεως δύο σφαιρικών ιδοντων
 χροσίου στην ανιχνεύση - ΓΙΑΚ και Κολαλιάνης - Henry Jon C. Hillier



30

Δύο παραδείγματα



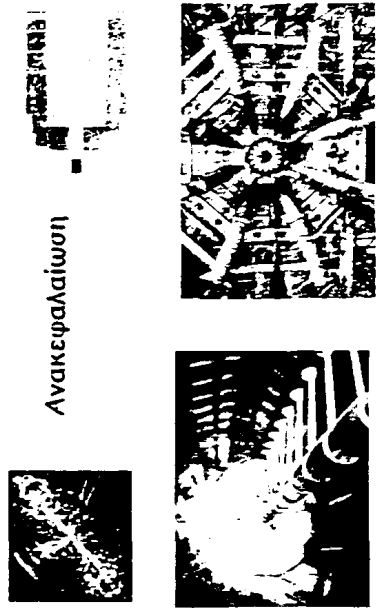
Οι επόμενες προέκυψαν όταν δόθηκε α και ε' συγκροτήθηκαν μεταξύ τους. Τα κούφρα και ανιχνεύρα που κεράθησαν συγκροτήσαν μεσόνια και βρωδία στα οποία σφελονται οι τροχιές που βλέπουμε.

Στην πάνω εικόνα: Τρεις ομάδες τροχιών που ξεκίνησαν από ένα κούφρα, το ανιχνεύρα του και ένα γλυδάνιο.

Στην κάτω εικόνα: Δύο ομάδες τροχιών που σφελονται στην παραγωγή ενός κούφρα και του ανιχνεύρα του.

31

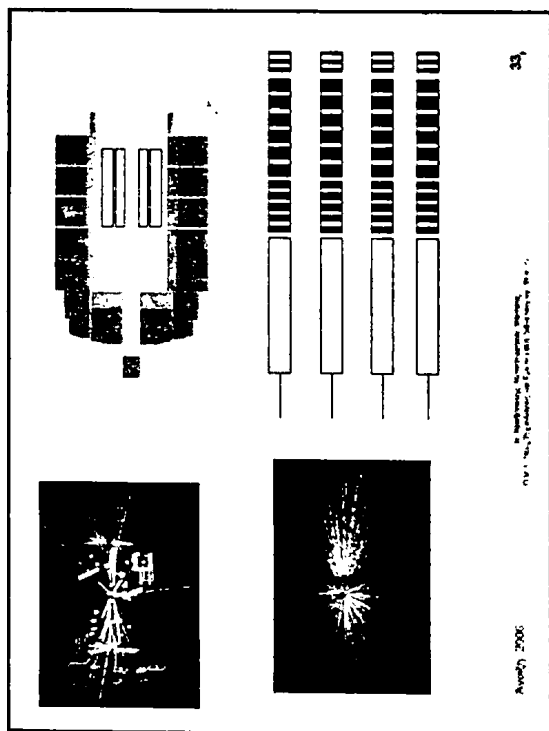
Ανακεφαλαίωση



Οι φυσικοί χρησιμοποιούν τους επιταχυντές για να εξετασουν την δομή των σφαιριδίων. Οι ανιχνευτές σφαιρικών δεδομένα τα οποία πρώτα αναλύονται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές και μετά από τους ανθρώπους

32



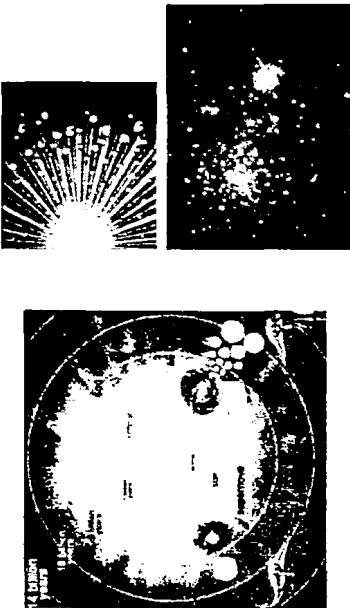


33



Πώς προήλθε ο κόσμος;

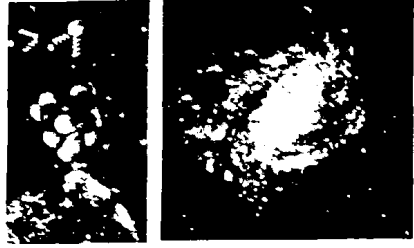
Μια σύντομη διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ της πρώιμης ιστορίας του Σύμπαντος και των αλληλεπιδράσεων των θεμελιωδών σωματιδίων



... ο κόσμος, ο μικρός, ο Μέγας...

Είναι εκπληκτικό το γεγονός ότι υπάρχουν τόσο στενοί δεσμοί μεταξύ της μικρότερης (10¹⁸ m) και της μεγαλύτερης κλίμακας (10²⁶ m) που γνωρίζουμε.

Οι βαρυτικές αλληλεπιδράσεις παίζουν σημαντικό ρόλο. Και τα μεγαλύτερα αστρονομικά συστήματα (αστέρες, γαλαξίες, νεφελώματα) ελέγχονται από την ίδια βαρυτική αλληλεπίδραση.

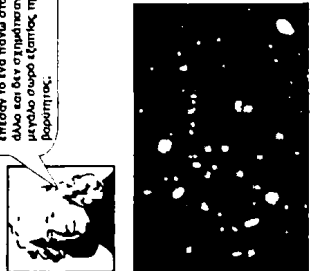


Στατικό ή μεταβαλλόμενο;

Ως τις αρχές του 20^{ου} αιώνα το σύμπαν θεωρούνταν *στατικό*. Εμπνεύσε όμως ένα ερώτημα που απασχόλησε και τον ίδιο το Newton:

Γύρω στα 1930 όμως έχουμε ενδείξεις ότι το σύμπαν δεν είναι στατικό. Από την ακτινοβολία που εκπέμπουν οι γαλαξίες φαίνεται ότι αυτοί απομακρύνονται ο ένας απ' τον άλλον.

Αν όλα τα αντικείμενα του σύμπαντος βρίσκονταν οριστά σε ηρεμία, γιατί δεν έπεσαν το ένα πάνω στο άλλο αφού υπήρχαν για μερκό χρόνο έλξεις της βαρύτητας;



Ο νόμος του Hubble

Ο αστρονόμος Edwin Hubble κατέληξε στο συμπέρασμα:

$$\text{Νόμος του Hubble: } v = H_0 \cdot r$$

($H_0 = 1,8 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$, r = απόσταση του γαλαξία)

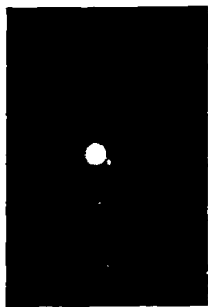
Άλλη παρατήρηση του Hubble: «αυξάνεται από την κατεύθυνση παρατήρησης, οι μακριά γαλαξίες φαίνονται να απομακρύνονται από το ίδιο μας το γαλαξία».

Διηγήσι:
«το Σύμπαν φαίνεται να είναι λίγο-πολύ το ίδιο, σε όποια θέση κι αν το παρατηρήσουμε»

Η ασυμμετρία απομακρύνει τους γαλαξία από το κέντρο του σύμπαντος από μας



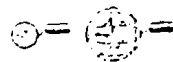
Η μεγάλη έκρηξη (Big Bang)



Μια ιδέα που υιοθετεί ο νόμος του Hubble είναι πως κάποια στιγμή στο παρελθόν όλη η ύλη του Σύμπαντος ήταν συγκεντρωμένη σε μια μικρή περιοχή και διασπορίστηκε προς κάθε κατεύθυνση με μια τρομερή Έκρηξη.
Αυτό συνέβη πριν περίπου 14 δισεκατομμύρια χρόνια.

Πώς διαστέλλεται το Σύμπαν:

Ας φανταστούμε ένα μπαλόνι που φυσάμε. Όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ δύο σημείων στην επιφάνεια του μπαλονιού, με τόσο μεγαλύτερη ταχύτητα αυτά απομακρύνονται μεταξύ τους. Κάτι αντίστοιχο σε φασματωμαίε για τους γαλαξίες και τα σμήνη γαλαξιών.



5

Το καθιερωμένο μοντέλο της ιστορίας του Σύμπαντος

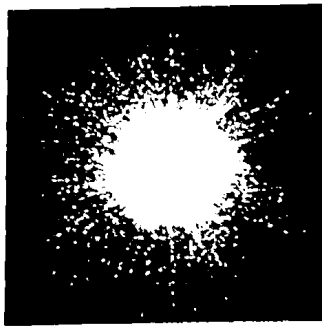
Μας είναι ακόμη άγνωστο το τι συνέβη από τη χρονική στιγμή μηδέν μέχρι τη στιγμή $t = 10^{-43}$ s (χρόνος του Planck).

Μέχρι αυτόν το χρόνο όλες οι αλληλεπιδράσεις ήταν ενωσιποιημένες.

Τη στιγμή αυτή η μέση ενέργεια ανά σωματίδιο ήταν της τάξης του 10^{16} GeV.

Από την ενέργεια αυτή και κάτω η βαρύτητα αρχίζει να συμπεριφέρεται ως ξεχωριστή αλληλεπίδραση.

Την εξέλιξη του σύμπαντος θα μπορούσαμε να τη χωρίσουμε σε 7 εποχές:



6

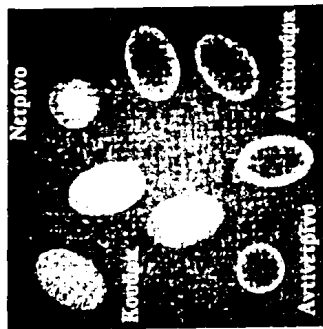
1. Εποχή των κουάρκ και των γλιονίων (10^{-43} s - 10^{-35} s).

Η ισχυρή και η ηλεκτροσθεής δύναμη εξασοκωθούν να είναι ενωσιποιημένες. Υπάρχει πυκνή συγκέντρωση ύλης και σπινύλης.

Η βαρύτητα αποτελεί χωριστή δύναμη. Υπάρχουν περισσότερα κουάρκ από αντικουάρκ.

Τα κουάρκ και τα λεπτόνια μετασχηματίζονται το ένα στο άλλο με τόσο ταχείς ρυθμούς ώστε θα ήταν αδύνατος ο διαχωρισμός αναμεσα στα δυο είδη σωματιδίων.

Στο χρόνο 10^{-35} s η ισχυρή δύναμη ξεχώρισε από την ηλεκτροσθενή.

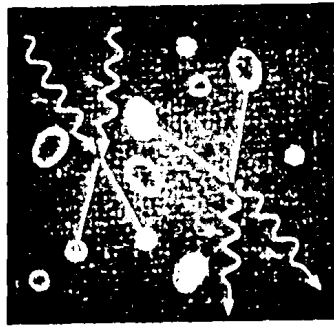


7

2. Εποχή των λεπτονίων (10^{-32} s - 10^{-6} s)

Το Σύμπαν είναι ένα μίγμα από κουάρκ, λεπτόνια και μποζόνια φορέων αλληλεπίδρασης (γλιόνια, φωτόνια, σθενή μποζόνια W, W, Z).

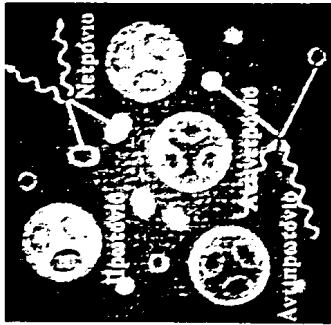
Συνέχισε να ψυχεται μέχρι $t=10^{-6}$ s



8

3. Εποχή των νουκλεονίων και αντινουκλεονίων ($10^{-8}s - 225s$).

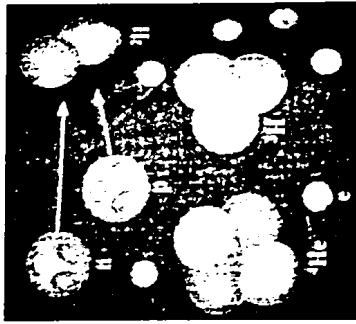
Τα κουάρκ συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν νουκλεόνια και αντινουκλεόνια. Σε χρόνο $10^{-2}s$ η ενέργεια είναι ήδη πολύ χαμηλή για τη δημιουργία ζευγών νουκλεονίου - αντινουκλεονίου.



9.

4. Εποχή της πυρηνοσύνθεσης ($225s - 10^3s$)

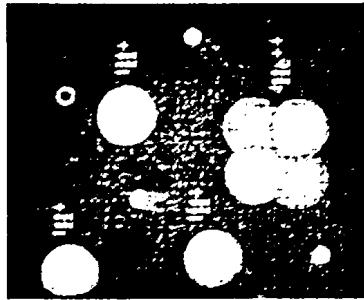
Σχηματίζονται ευσταθή δευτερόνια. Η ύλη αποτελείται από 74% H, 25% He, 1% βαρύτερους πυρήνες.



10.

5. Εποχή των ιόντων ($10^3s - 10^{11}s$).

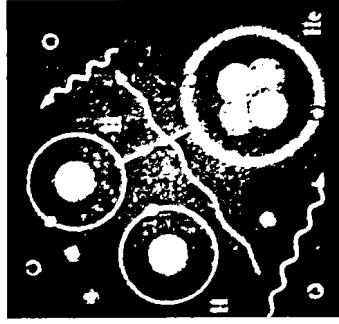
Διασεπλόμενα, ψυχόμενα αέρια από ιονισμένα άτομα H και He.



11.

6. Εποχή των ατόμων ($10^{11}s - 10^{15}s$).

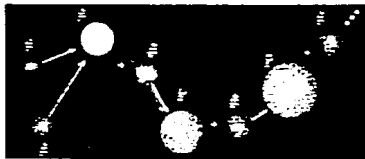
Σχηματίζονται ουδέτερα άτομα που έλκονται μεταξύ τους από τη βαρύτητα.



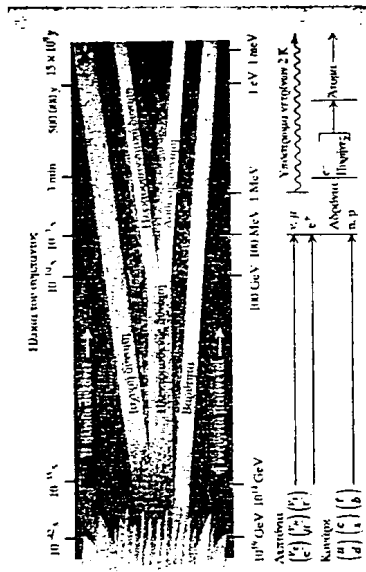
12.

7. Εποχή των αστέρων και των γαλαξιών ($10^{15} s$ - σήμερα).

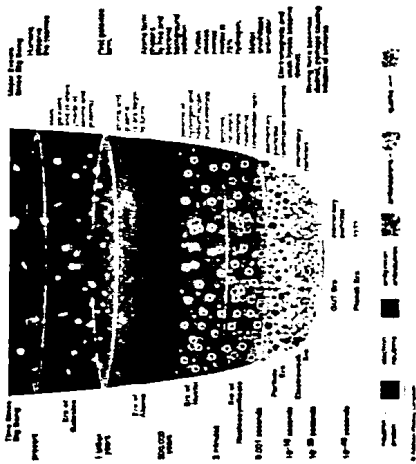
Αρχίζει η θερμοπυρηνική σύντηξη στους αστέρες που οδηγεί στο σχηματισμό βαρύτερων πυρήνων.



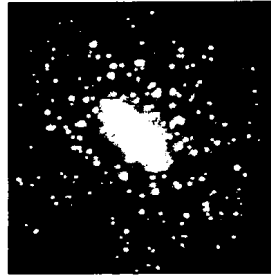
Διάγραμμα της εξέλιξης του σύμπαντος



Διάγραμμα της εξέλιξης του Σύμπαντος



Η σκοτεινή ύλη



Μια άλλη μορφή ύλης που θεωρείται ότι υπάρχει στο σύμπαν είναι η σκοτεινή ύλη. Πρόκειται για υποθετική ουσιώδη ύλη, άγνωστη σύστασης, το οποίο δεν εκλύει ούτε αντανακλάει αρκετή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ώστε να μπορούμε να γίνουμε αντιληπτά. Διαφορεύεται από τα βαρυτικά αποτελέσματα της ύλης όπως τα:

- Όπου η ύλη συρματίζεται στην ταχύτητα περιστροφής των αστέρων στις κοσμικές τους γαλαξίες. Η ταχύτητα αυτή είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη. Αυτό σημαίνει:
- *Είτε η βαρύτητα μας για τη βαρύτητα είναι αδύναμη (νόμος που δεν γίνεται δεκτός)*
- *Είτε υπάρχει μία μεγάλη ποσότητα μάζας που προς το παρόν δε μπορούμε να τη δούμε.*

Δεκτέ η δεύτερη πρόταση.

Στη φωτογραφία εμφανίζονται τα μίλιας γαλαξίες. Η ελαφρώς μη εμβαδμιαία φωτεινότητα σε αυτή κρύβει την σκοτεινή ύλη που περιβάλλει αυτές.



Η σκοτεινή ενέργεια



Η σκοτεινή ενέργεια είναι ένα υποθετικό είδος ενέργειας που διατρέχει όλο το διάστημα και έχει δύναμη αρνητική πίεση. Σύμφωνα με τη θεωρία της γενικής σχετικότητας, η σκοτεινή ενέργεια αντιστοιχεί σε μια δύναμη που δρα σε αντίθεση με τη βαρύτητα σε μεγάλη κλίμακα.

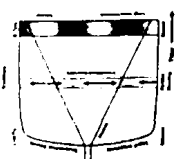
Το μοντέλο αυτό βοηθά στην εξήγηση των παρατηρήσεων ενός επιταχυνόμενου σύμφοτος όπως ερίκος και στον υπολογισμό ενός μεγάλου τμήματος της συνολικής μάζας του Σύμπαντος.

Μόνο 4% της συνολικής μάζας του σύμπαντος μπορεί να γίνει άμεσα αντιληπτό. Περίπου 23% αποτελείται από σκοτεινή ύλη και 73% από σκοτεινή ενέργεια.

Η σκοτεινή ενέργεια θα δοκιμαστεί το 2011 για να μετρηθεί ο ρυθμός επιτάχυνσης



Το μοντέλο του Πληθωρισμού



Το μοντέλο της μεγάλης έκρηξης εξηγεί με ακρίβεια πολλές από τις ιδιότητες του σύμπαντος. Εντούτοις μένουν μερικά κενά, π.χ. η εξαιρετική ομοιομορφία του σύμπαντος.

Η θεωρία του Πληθωρισμού (Alan Guth, 1980) προσαρτάει να απαντήσει σ' αυτά: Σύμφωνα με αυτή, το Σύμπαν πέρασε για περίοδο τοχούστης διαστολής, όπου διπλασιαζόταν το μέγεθος του ανά 10^{-34} κανονός το νανόμετρο. Η διαστολή αυτή ξεκίνησε όταν το σύμπαν ήταν ηλικίας μόλις 10^{-35} s και θερμοκρασίας 10^{32} K.

Συνέπεις της αλλαγής αυτής: Το σύμπαν είναι 10⁶ φορές μεγαλύτερο απ' ό,τι μέχρι τώρα νομίζαμε σύμφωνα με το καθιερωμένο Πρότυπο.

Η φάση του πλάσματος

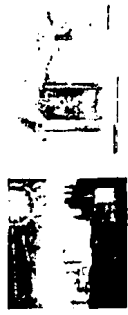
Πρόκειται για μία σημαντική φάση στην εξέλιξη του σύμπαντος. Μετά την πτώση της θερμοκρασίας στους 10^8 °K, δηλαδή ένα τέταρτο της ώρας περίπου μετά τη μεγάλη έκρηξη, αρχίζει η σύνθεση των πρώτων πυρήνων των ατόμων, η νουκλεοσύνθεση με τη σύνθεση πρωτονίων και νετρονίων προς σχηματισμό υδρογόνου, δευτερίου και τηλίου.

Η ύλη όμως παραμένει ιονισμένη εφόσον η θερμοκρασία παραμένει μεγαλύτερη από 10^4 °K περίπου και αυτό διαρκεί μερικές χιλιάδες χρόνια.

Η φάση αυτή καλείται φάση του πλάσματος ή εποχή του πλάσματος και σταματάει όταν η πυκνότητα της ύλης γίνεται μεγαλύτερη από την πυκνότητα της ακτινοβολίας.

Αυτό συμβαίνει για $T=1000$ °K (1.000.000 χρόνια περίπου μετά τη μεγάλη έκρηξη). Τότε τελειώνει η εποχή της ακτινοβολίας και αρχίζει η τελευταία φάση που ζούμε η αστρική φάση ή φάση της ύλης.

Τα ηλιακά νετρίνα



Το κάθε άστρο είναι μια άφθονη πηγή νετρίνων. Όμως η γη παίρνει το περισσότερα φωτόνια από τον ήλιο έτσι παύσει και τα περισσότερα από τα νετρίνα της από τον ήλιο.

Για κάθε εκατομμύριο νετρίνα που μπαίνουν στην επιφάνεια της γης προάγειται από το έδαφος διάσπαση και τα υπόλοιπα 999.999 από τον ήλιο. Τα νετρίνα κερδίζουν ακριβώς τον ελάττωμα με τη νέα μετατόπιση ενέργειας για το σωματίδιο του ήλιου που δεν μπορούν να μεταφέρουν τα φωτόνια.

Οι ανιχνευτές των νετρίνων τοποθετούνται σε μεγάλα βάθος στη γη ώστε ενδιόφερα να γίνεται φιλτράρισμα άλλων σωματιδίων.

Ενα από τα πειράματα ανίχνευσης νετρίνων είναι αυτό που κατασκευάστηκε στο Καλιφόρνια της Καλιφόρνια, σε βάθος 1000 μέτρων




Πώς βλέπουμε τον κόσμο

Η απόκτηση γνώσεων για τον κόσμο περνά συνήθως από 3 φάσεις:

1. Ανίχνευση της ακτινοβολίας από το διάστημα (τηλεσκοπία).
2. Συγκέντρωση όλων των δεδομένων (φωτογραφική ή μαγνητική ταινία).
3. Τελική ανάλυση τους (εφαρμογή των νόμων της φυσικής για τη δημιουργία ενός κοητικού μοντέλου που να εξηγεί τα δεδομένα).

Είδη τηλεσκοπίων:
 Οπτικά τηλεσκοπία,
 Ραδιοτηλεσκοπία
 Τηλεσκοπία Υπερύθρου
 Τηλεσκοπία ακτίνων Χ, γ,
 υπερύδους.



Αυγούστου 2009

Η Βιβλιοθήκη, Μουσείο και Γραφείο
 1104 Σ. Πάρι, 15701 Πάρι, Γαλλία

21

Τέλος

Αυγούστου 2009

Η Βιβλιοθήκη, Μουσείο και Γραφείο
 1104 Σ. Πάρι, 15701 Πάρι, Γαλλία

22

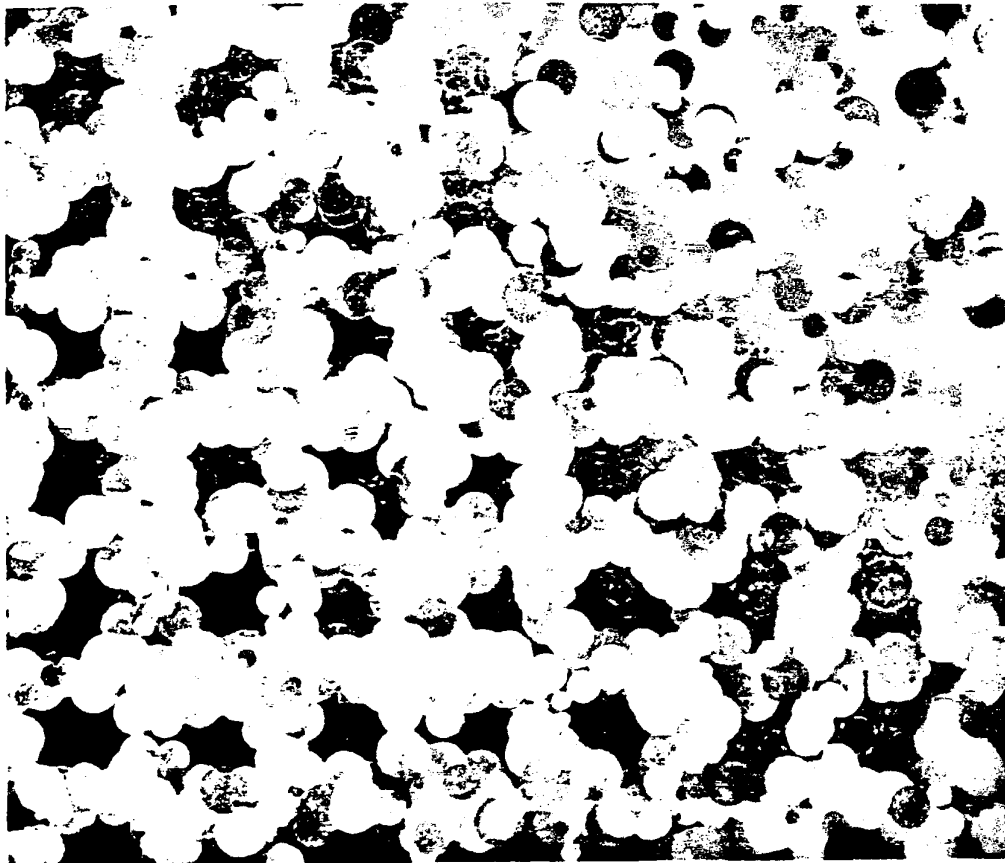


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. Προσομοίωση Matrix

1. Εκπαιδευτικός στόχος: Με την προσομοίωση αυτή επιχειρείται να γίνει κατανοητή στους μαθητές η σχέση του μήκους κύματος μιας ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει σε ένα στόχο για τη διερεύνηση της δομής του, με τις διαστάσεις του στόχου. Όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος, τόσο λεπτομερέστερη είναι η εικόνα που έχουμε για τη δομή του αντικειμένου-στόχου. Στην προκειμένη περίπτωση, το μήκος κύματος υποκαθίσταται από το μέγεθος του σωματιδίου-βλήματος. Η προσομοίωση παριστάνει ένα άρατο πλέγμα, πάνω στο οποίο προσπίπτουν σφαίρες. Το μέγεθος των σφαιρών μπορεί να μεταβάλλεται. Οι σφαίρες προσπίπτουν και προσκολλώνται πάνω στο πλέγμα. Όταν οι διαστάσεις του πλέγματος είναι μεγάλες μπορούμε να έχουμε μία αντίληψη για τη δομή του και με τη χρήση μεγάλων σφαιρών. Όσο μικραίνουν οι διαστάσεις του πλέγματος, τότε για να εκτιμηθεί η δομή του, πρέπει να γίνει χρήση μικρών σφαιρών. Γενικώς, η χρήση σφαιρών μικρού μεγέθους οδηγεί σε λεπτομερέστερη περιγραφή του πλέγματος.

Ο χρήστης της προσομοίωσης έχει τη δυνατότητα μεταβολής του μεγέθους των σφαιρών και του πλέγματος (Εικ. I, II)

Applet



Εμφάνιση γραμμών πλέγματος:

Πλάτος γραμμών πλέγματος: 10

Πλάτος πλέγματος: 100

Ελάχιστο μέγεθος μπαλιών: 10

Μέγιστο μέγεθος μπαλιών: 40

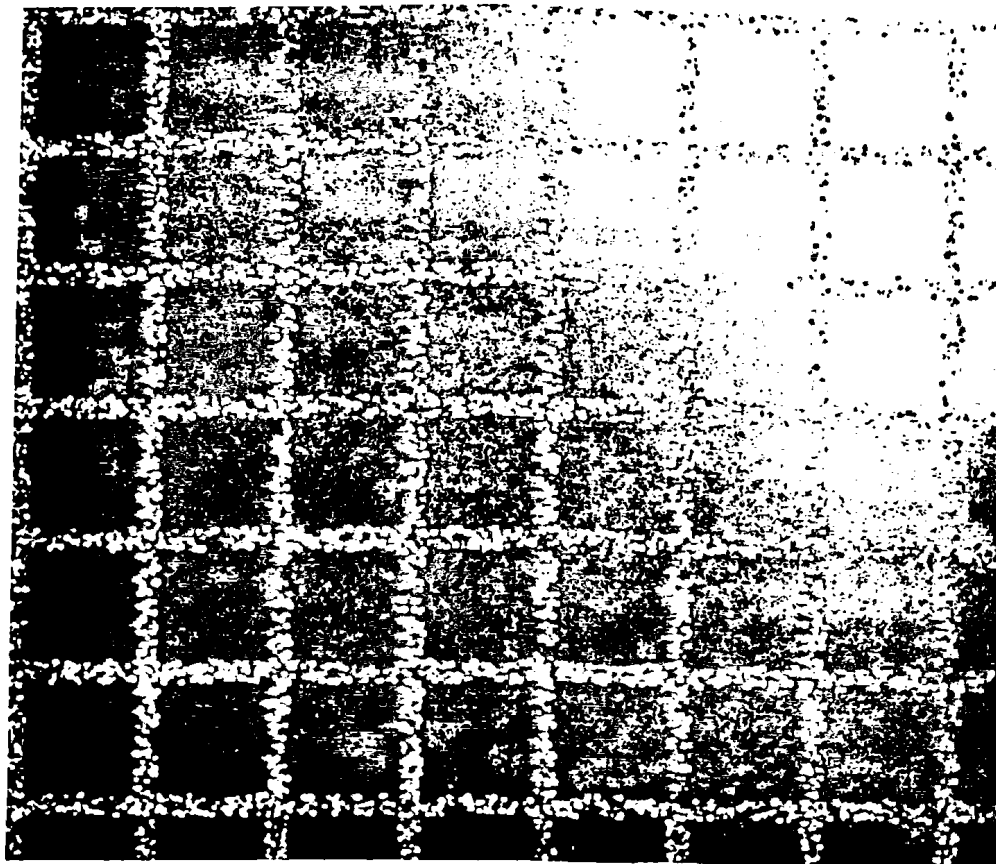
Ταχύτητα: 37

Εκκίνηση προεμφάνιση!

Applet started.

Εικόνα Ι, Ο σχηματισμός του πλέγματος με την επικόλληση σφαιρών μεγάλου μεγέθους





Εμφάνιση γραμμών πλέγματος:

Πάχος γραμμών πλέγματος:

Πλάτος πλέγματος:

Ελάχιστο μέγεθος μπαλών:

Μέγιστο μέγεθος μπαλών:

Ταχύτητα:

Applet started.

Εικόνα Π, Ο σχηματισμός του πλέγματος με την επικόλληση σφαιρών μικρού μεγέθους

2. Ο κώδικας της εφαρμογής Matrix

```
import java.awt.*;
import java.awt.geom.RoundRectangle2D;
import java.awt.event.ActionEvent;
import java.awt.event.ActionListener;
import java.util.Random;
import javax.swing.SpinnerNumberModel;
import javax.swing.Timer;
```

```
/*
 * Matrix.java
 *
 * Created on 2 Απρίλιος 2007, 4:03 μμ
 */
```

```
/**
 *
 * @author nikos
```



```

*/
public class Matrix extends javax.swing.JApplet implements ActionListener {
    boolean simRunning = false;
    Timer timer = new Timer(10, this); //100 times per second
    Dimension d;
    Graphics2D g2;
    Random rand = new Random(0);
    int gridLineWidth, gridLineHeight, gridWidth, gridHeight;

    /** Initializes the applet Matrix */
    public void init() {
        try {
            java.awt.EventQueue.invokeAndWait(new Runnable() {
                public void run() {
                    initComponents();
                }
            });
        } catch (Exception ex) {
            ex.printStackTrace();
        }
    }

    final class BufferedCanvas extends java.awt.Canvas {
        public Image offscreenImage = null;

        public void update(Graphics g) { //overriden to prevent flickering
            paint(g);
        }

        public void paint(Graphics g) {
            if (offscreenImage != null) {
                Rectangle r = g.getClipBounds();
                // spGridWidth.setValue(g.getClipBounds().width);
                g.drawImage(offscreenImage, 0, 0, this);
                // g.drawImage(offscreenImage, r.x, r.y, r.x+r.width, r.y+r.height, r.x, r.y,
                r.x+r.width, r.y+r.height, this);
            } else
                g.clearRect(0, 0, getWidth(), getHeight());
        }
    }

    /** Adds a ball and calls repaint */
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        for (int i = (Integer)spBallsPerSec.getValue(); i > 0; i--) {
            int radius = rand.nextInt((Integer)spBallMaxSize.getValue() -
            (Integer)spBallMinSize.getValue() + 1)
            + (Integer)spBallMinSize.getValue();
            int x = rand.nextInt(d.width) - radius/2;
            int y = rand.nextInt(d.height) - radius/2;
            int x1 = (x + 2*gridWidth) % gridWidth; //x could be negative

```



```

int y1 = (y + 2*gridHeight) % gridHeight; //y could be negative
int x2 = x1 + radius;
int y2 = y1 + radius;

if (x1 > gridLineWidth && y1 > gridLineHeight && x2 < gridWidth && y2 <
gridHeight) {
    if ((Integer)spBallMaxSize.getValue() > 5) {
        g2.setColor(new Color(rand.nextFloat()/2 + 0.5f, rand.nextFloat()/2 + 0.5f,
rand.nextFloat()/2 + 0.5f, 0.3f));
        g2.drawOval(x, y, radius, radius);
    }
    } else {
        g2.setColor(new Color(rand.nextFloat()/2 + 0.5f, rand.nextFloat()/2 + 0.5f,
rand.nextFloat()/2 + 0.5f, 0.8f));
        g2.fillOval(x, y, radius, radius);
    }
}
canvas1.repaint();
}

/** This method is called from within the init() method to
* initialize the form.
* WARNING: Do NOT modify this code. The content of this method is
* always regenerated by the Form Editor.
*/
// <editor-fold defaultstate="collapsed" desc=" Generated Code ">
private void initComponents() {
    canvas1 = new BufferedCanvas(); //nikos
    lbShowGrid = new javax.swing.JLabel();
    chShowGrid = new javax.swing.JCheckBox();
    lbGridLineWidth = new javax.swing.JLabel();
    spGridLineWidth = new javax.swing.JSpinner(new SpinnerNumberModel(10, 0,
100, 1));
    lbGridWidth = new javax.swing.JLabel();
    spGridWidth = new javax.swing.JSpinner(new SpinnerNumberModel(100, 0,
1000, 1));
    lbBallMinSize = new javax.swing.JLabel();
    spBallMinSize = new javax.swing.JSpinner(new SpinnerNumberModel(10, 1,
1000, 1));
    lbBallMaxSize = new javax.swing.JLabel();
    spBallMaxSize = new javax.swing.JSpinner(new SpinnerNumberModel(40, 1,
1000, 1));
    lbBallsPerSec = new javax.swing.JLabel();
    spBallsPerSec = new javax.swing.JSpinner(new SpinnerNumberModel(10, 1,
100, 1));
    btStart = new javax.swing.JButton();

    canvas1.setBackground(new java.awt.Color(204, 204, 255));

    lbShowGrid.setLabelFor(chShowGrid);

```



```
lbShowGrid.setText("\u0395\u03bc\u03c6\u03ac\u03bd\u03b9\u03c3\u03b7  
\u03b3\u03c1\u03b1\u03bc\u03bc\u03ce\u03bd  
\u03c0\u03bb\u03ad\u03b3\u03bc\u03b1\u03c4\u03bf\u03c2:");
```

```
chShowGrid.setSelected(true);  
chShowGrid.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createEmptyBorder(0, 0, 0,  
0));
```

```
chShowGrid.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.LEADING);  
chShowGrid.setMargin(new java.awt.Insets(0, 0, 0, 0));
```

```
lbGridLineWidth.setLabelFor(spGridLineWidth);  
lbGridLineWidth.setText("\u03a0\u03ac\u03c7\u03b6\u03bf\u03c2  
\u03b3\u03c1\u03b1\u03bc\u03bc\u03ce\u03bd  
\u03c0\u03bb\u03ad\u03b3\u03bc\u03b1\u03c4\u03bf\u03c2:");
```

```
spGridLineWidth.addChangeListener(new javax.swing.event.ChangeListener() {  
    public void stateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {  
        spGridLineWidthStateChanged(evt);  
    }  
});
```

```
lbGridWidth.setLabelFor(spGridWidth);  
lbGridWidth.setText("\u03a0\u03bb\u03ac\u03c4\u03bf\u03c2  
\u03c0\u03bb\u03ad\u03b3\u03bc\u03b1\u03c4\u03bf\u03c2:");
```

```
spGridWidth.addChangeListener(new javax.swing.event.ChangeListener() {  
    public void stateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {  
        spGridWidthStateChanged(evt);  
    }  
});
```

```
lbBallMinSize.setLabelFor(spBallMinSize);  
lbBallMinSize.setText("\u0395\u03bb\u03ac\u03c7\u03b6\u03b9\u03c3\u03c4\u03bf  
\u03bc\u03ad\u03b3\u03b5\u03b8\u03bf\u03c2  
\u03bc\u03c0\u03b1\u03bb\u03ce\u03bd:");
```

```
spBallMinSize.addChangeListener(new javax.swing.event.ChangeListener() {  
    public void stateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {  
        spBallMinSizeStateChanged(evt);  
    }  
});
```

```
lbBallMaxSize.setLabelFor(spBallMaxSize);  
lbBallMaxSize.setText("\u0393\u03ad\u03b3\u03b9\u03c3\u03c4\u03bf  
\u03bc\u03ad\u03b3\u03b5\u03b8\u03bf\u03c2  
\u03bc\u03c0\u03b1\u03bb\u03ce\u03bd:");
```

```
spBallMaxSize.addChangeListener(new javax.swing.event.ChangeListener() {  
    public void stateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {
```



```

        spBallMaxSizeStateChanged(evt);
    }
});

lbBallsPerSec.setLabelFor(spBallsPerSec);

lbBallsPerSec.setText("\u03a4\u03b1\u03c7\u03cd\u03c4\u03b7\u03c4\u03b1:");

spBallsPerSec.addChangeListener(new javax.swing.event.ChangeListener() {
    public void stateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {
        spBallsPerSecStateChanged(evt);
    }
});

btStart.setText("\u0395\u03ba\u03ba\u03af\u03bd\u03b7\u03c3\u03b7
\u03c0\u03c1\u03b9\u03c3\u03b9\u03bc\u03b9\u03af\u03c9\u03c3\u03b7\u03c2!");
btStart.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
    public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
        btStartActionPerformed(evt);
    }
});

javax.swing.GroupLayout layout = new
javax.swing.GroupLayout(getContentPane());
getContentPane().setLayout(layout);
layout.setHorizontalGroup(
    layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
        .addGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.TRAILING,
layout.createSequentialGroup()
            .addComponent(canvas1, javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, 263,
Short.MAX_VALUE)

.addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED)

.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.TRAILING)
            .addGroup(layout.createSequentialGroup()
                .addComponent(lbGridLineWidth)
                .addComponent(lbGridWidth)
                .addComponent(lbBallMinSize)
                .addComponent(lbBallMaxSize)
                .addComponent(lbBallsPerSec))

.addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED)

```

```

.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
G)
        .addComponent(spGridLineWidth)

.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING, false)
        .addComponent(spBallMaxSize)
        .addComponent(spBallMinSize)
        .addComponent(spGridWidth)
        .addComponent(spBallsPerSec))))
.addGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING,
layout.createSequentialGroup()
        .addComponent(lbShowGrid)

.addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED,
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE)
        .addComponent(chShowGrid,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 13,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE))
        .addComponent(btStart,
javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING,
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, 168, Short.MAX_VALUE))
        .addContainerGap()
);
layout.setVerticalGroup(
    layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
        .addGroup(layout.createSequentialGroup()
            .addComponent(lbShowGrid,
                javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE)
            .addComponent(lbShowGrid,
                javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE)
            .addComponent(lbShowGrid,
                javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE))
        .addGroup(layout.createSequentialGroup()
            .addComponent(lbShowGrid,
                javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE)
            .addComponent(lbShowGrid,
                javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE)
            .addComponent(lbShowGrid,
                javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE))
        .addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
G)
        .addComponent(canvas1, javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
278, Short.MAX_VALUE)
        .addGroup(layout.createSequentialGroup()

.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING, false)
        .addComponent(chShowGrid,
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE)
        .addComponent(lbShowGrid,
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE))

.addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED)

.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.BASELINE)
NE)
        .addComponent(lbGridLineWidth)

```



```

        .addComponent(spGridLineWidth))

    .addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED)

    .addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.BASELINE)
        .addComponent(lbGridWidth)
        .addComponent(spGridWidth,
            javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
            javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
            javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE))

    .addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED)

    .addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.BASELINE)
        .addComponent(lbBallMinSize)
        .addComponent(spBallMinSize,
            javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
            javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
            javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE))

    .addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED)

    .addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.BASELINE)
        .addComponent(lbBallMaxSize)
        .addComponent(spBallMaxSize,
            javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
            javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
            javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE))

    .addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED)

    .addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.BASELINE)
        .addComponent(lbBallsPerSec)
        .addComponent(spBallsPerSec,
            javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
            javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
            javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE))

    .addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED)
        .addComponent(btStart)
        .addGap(105, 105, 105)))
    .addContainerGap()
    );
} // </editor-fold>

private void spBallMaxSizeStateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {

```

```

int ballMaxSize = (Integer)spBallMaxSize.getValue();
if ((Integer)((SpinnerNumberModel)spBallMinSize.getModel()).getMaximum() !=
ballMaxSize)
    ((SpinnerNumberModel)spBallMinSize.getModel()).setMaximum(ballMaxSize);
}

```

```

private void spBallMinSizeStateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {
int ballMinSize = (Integer)spBallMinSize.getValue();
if ((Integer)((SpinnerNumberModel)spBallMaxSize.getModel()).getMinimum() !=
ballMinSize)
    ((SpinnerNumberModel)spBallMaxSize.getModel()).setMinimum(ballMinSize);
}

```

```

private void spGridWidthStateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {
gridWidth = (Integer)spGridWidth.getValue();
gridHeight = gridWidth;
if ((Integer)((SpinnerNumberModel)spGridLineWidth.getModel()).getMaximum()
!= gridWidth - 1)
    ((SpinnerNumberModel)spGridLineWidth.getModel()).setMaximum(gridWidth -
1);
}

```

```

private void spGridLineWidthStateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {
gridLineWidth = (Integer)spGridLineWidth.getValue();
gridLineHeight = gridLineWidth;
if ((Integer)((SpinnerNumberModel)spGridWidth.getModel()).getMinimum() !=
gridLineWidth + 1)
    ((SpinnerNumberModel)spGridWidth.getModel()).setMinimum(gridLineWidth +
1);
}

```

```

private void spBallsPerSecStateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {
timer.setDelay(1000 / (Integer)spBallsPerSec.getValue());
}

```

```

private void btStartActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
chShowGrid.setEnabled(simRunning);
spGridLineWidth.setEnabled(simRunning);
spGridWidth.setEnabled(simRunning);
simRunning = !simRunning;
if (simRunning) {
    btStart.setText("Τέλος προσομοίωσης");
    timer.start();
} else {
    timer.stop();
    btStart.setText("Εκκίνηση προσομοίωσης!");
    return;
}
}

```

```

spGridLineWidthStateChanged(null);

```



```

spGridWidthStateChanged(null);

d = canvas1.getSize();
int gridCols = d.width / gridWidth + 1;
int gridRows = d.height / gridHeight + 1;

((BufferedCanvas)canvas1).offscreenImage = createImage(d.width, d.height);
g2 = (Graphics2D)((BufferedCanvas)canvas1).offscreenImage.getGraphics();
g2.setRenderingHint(RenderingHints.KEY_ANTIALIASING,
RenderingHints.VALUE_ANTIALIAS_ON);

g2.setPaint(new GradientPaint(0, d.height, Color.blue, d.width, 0, Color.white));
g2.fill(new RoundRectangle2D.Double(0, 0, d.width, d.height, 2, 2));
if (chShowGrid.isSelected()) {
    g2.setBackground(Color.yellow);
    g2.setColor(Color.yellow);
    for (int x = 0; x < gridCols; x++)
        g2.fill3DRect(x*gridWidth, 0, gridLineWidth, d.height, true);
    for (int y = 0; y < gridRows; y++)
        g2.fill3DRect(0, y*gridHeight, d.width, gridLineHeight, true);
}
canvas1.repaint();
}

// Variables declaration - do not modify
private javax.swing.JButton btStart;
private java.awt.Canvas canvas1;
private javax.swing.JCheckBox chShowGrid;
private javax.swing.JLabel lbBallMaxSize;
private javax.swing.JLabel lbBallMinSize;
private javax.swing.JLabel lbBallsPerSec;
private javax.swing.JLabel lbGridLineWidth;
private javax.swing.JLabel lbGridWidth;
private javax.swing.JLabel lbShowGrid;
private javax.swing.JSpinner spBallMaxSize;
private javax.swing.JSpinner spBallMinSize;
private javax.swing.JSpinner spBallsPerSec;
private javax.swing.JSpinner spGridLineWidth;
private javax.swing.JSpinner spGridWidth;
// End of variables declaration
}

```


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3. Πηγές εκπαιδευτικού - εποπτικού υλικού.

HANDS ON CERN
<http://hands-on-cern.physto.se/>

the particle adventure
<http://www.particleadventure.org/>

the ATLAS experiment
<http://atlas.ch/>

Welt der Physik
<http://www.weltderphysik.de/index.php>

Teilchenphysik Deutschland
<http://www.teilchenphysik.org/tpids.htm>

DESY's KworkQuark
<http://www.kworkquark.net/start/wissensdurst2.html>

ALICE
<http://aliceinfo.cern.ch/Public/index.html>

LHC Communication
<http://www.interactions.org/LHC/index.html>

Teaching Standard Model at high school
<http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2003/publish/standard%20model/History/index.htm>

Teilchenphysik für die Sekundarstufe I
<http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/bonn2/de/titelseite.htm>

Eine Tour durch die Welt der kleinen Teilchen
<http://www.physik.uni-mainz.de/lehramt/lehrsystem/Tour/Tour.html>

Teilchenphysik für die Sekundarstufe I
<http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/bonn1/de/teilchenphysik.htm>

physics 2000 (A University of Colorado at Boulder Website)
<http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl>

Teilchenphysik in der Schule
<http://www.physicsmasterclasses.org/unischule/titel.html>

Σωματιδιακή Φυσική από το πανεπιστήμιο του Stanford
<http://www2.slac.stanford.edu/vvc/default.htm>



Grundlagen der Teilchenphysik

http://www.solstice.de/grundl_d_tph/titelseite.html

CERN

<http://public.web.cern.ch/Public/Welcome.html>

der-kosmos.de

<http://www.der-kosmos.de/>

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΟΜΑΔΑ ΕΚΔΑΪΚΕΥΣΗΣ

<http://hep.physics.uoc.gr/DOC/OUTREACH/indexpop.html>

Hands on Particle Physics (International Masterclasses for High School Students)

<http://www.physicsmasterclasses.org/mc.htm>

the universe adventure

<http://www.universeadventure.org/>

Antimatter: Mirror of the Universe

<http://livefromcern.web.cern.ch/livefromcern/antimatter/>

CPEP (Contemporary Physics Education Project)

<http://www.cpepweb.org/>

Physik-Interaktiv

<http://www.schulphysik.de/java/physlet/index.html>

