


Είναι δυνατόν να διδαχτεί Κβαντομηχανική στο ελληνικό Λύκειο;

Stelios Tsekouras

19 Φεβρουαρίου 2023

Περίληψη

Σε τούτο το άρθρο ο συγγραφέας καλεί τον αναγνώστη σε μια περιπέτεια διαμόρφωσης προσωπικής διδακτικής στρατηγικής. Στρατηγικής που είναι απαραίτητη αν θέλουμε να αντιμετωπίσουμε και την κατάρρευση της συλλογιστικής δύναμης στην σημερινή βαθειά δομική κρίση του συστήματος αλλά και το καθημερινά επαπειλούμενο και εφιαλτικό burnout.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Δεν χρειάζεται να νάναι κανείς καθηγητής για να έρθει σε επαφή με τις κάθε λογής καινοτομίες των υπουργείων. Τέτοιες καινοτομίες αφορούν πάντοτε και τους μαθητές που τις υφίστανται αλλά και τους γονείς που τις πληρώνουν. Όλοι οι μαθητές του ελληνικού Λυκείου ζούν κάποια στιγμή τις επιπτώσεις τέτοιων καινοτομιών στο πετσί τους. Θα μπορούσε να φανταστεί κανείς ότι με μια μεγάλη δόση υπομονής, που άντε να κρατήσει ένα-δύο χρόνια, τα πράγματα θα επανέλθουν στην φυσική τους κατάσταση. Όμως τίποτα δεν είναι πιά επικίνδυνο από έναν τέτοιο συλλογισμό. Αφού όσοι δάσκαλοι και μαθητές συμμετέχουν με όλο τους το είναι στις κρατικές διαδικασίες αποκομίζουν από αυτές σοβαρά ψυχικά τραύματα. Τραύματα δυσβάστακτα και αφόρητα, που οδηγούν στο ολοένα και πιά συχνά παρατηρούμενο burnout, λες και η ζωή επιμένει να μας υπενθυμίζει ότι *ου δύναται τις δυσίν κυρίοις δουλεύειν* ή, διατυπωμένο με σύγχρονο τρόπο, ότι δεν είναι δυνατόν να καταπατούμε τις αρχές μας χωρίς τραγικές συνέπειες. Η πρόσφατη αιφνιδιαστική ένταξη της Κβαντομηχανικής στην εξεταστέα ύλη των Πανελλαδικών εξετάσεων μας προσφέρει μια πρώτη τάξης ευκαιρία να αφήσουμε κατά μέρος την διαδεδομένη και επικίνδυνη γενικολογία και να εστιάσουμε στο νόημα της αιφνιδιαστικής τούτης κίνησης για τον φυσικό που διδάσκει στο Λύκειο. Οπότε η συζήτησή μας οφείλει να συμπεριλάβει την Φυσική σαν οργανικό στοιχείο της. Κάτι τέτοιο δεν σημαίνει βέβαια ότι ο αναγνώστης θα πρέπει να γίνει (με μαγικό τρόπο) φυσικός. Αφού δεν θέλουμε να δημιουργηθεί αντιπαράθεση ανάμεσα στους φυσικούς και στους άλλους ανθρώπους, τότε οι μεν φυσικοί οφείλουν να περιγράψουν (με κάποια τεκμηρίωση) σε τι συνίσταται η διδασκαλία και η μάθηση της Φυσικής οι δε άλλοι να μελετήσουν με προσοχή την παραπάνω περιγραφή. Εννοείται πως σε μένα αποικλειστικά ανήκει η ευθύνη για όσα λάθη, ανακρίβειες ή αστοχίες εντοπιστούν, την επισήμανση των οποίων καλωσορίζω προκαταβολικά.

Καλό είναι να έχουμε υπόψη μας ότι η Φυσική διαμορφώθηκε μετά την Αναγέννηση οπότε το εγχείρημα της περιγραφής παρουσιάζει (στην Ελλάδα) μια παραπάνω δυσκολία η οποία σχετίζεται και με τον προφορικό χαρακτήρα του νεοελληνικού πολιτισμού αλλά και με την ασφυκτική κυριαρχία της Ορθοδοξίας. Τούτα τα ζητήματα όμως αποτελούν θέματα τρέχουσας έρευνας, οπότε – προκειμένου να μην ξεφύγουμε από τον στόχο μας - καλύτερο είναι να επανέλθουμε στο αρχικό ερώτημα: σε τι συνίσταται η διδασκαλία και η μάθηση της Φυσικής;

Τι θέλουμε να μάθουμε στον μαθητή και τι πρέπει να κάνουμε για να το πετύχουμε αυτό. Στην παρρούσα εργασία θεωρώ ότι αποτελεσματική ήταν η διδασκαλία που γινόταν τον 19ο αιώνα στον δυτικό κυρίως κόσμο, γι' αυτό και τα παραδείγματά μου είναι όλα παρμένα από το αγγλικό εκπαιδευτικό σύστημα εκείνης της εποχής. Στον 19ο αιώνα υπήρχαν τα πλέον εντυπωσιακά παραδείγματα πραγματικών δασκάλων και αυτό θα το αντιληφθεί αβίαστα ο προσεχτικός αναγνώστης στην συνέχεια. Γνωρίζω βέβαια ότι στην υποθεση εργασίας μου θα υπάρξουν πολλές και σφοδρές επικρίσεις. Τις οποίες αφήνω συνειδητά στην άκρη όπως κάποτε έπρεπε να μείνει στην άκρη το ερώτημα *πόσο διάβολοι μπορούν να κάτσουν στην άκρη μιας καρφίτσας* για να μπορέσει να ανατείλει ο λαμπρός ήλιος της Αναγέννησης.

Συνοπτικά: μαθαίνω σημαίνει (ή, πρέπει να σημαίνει) ότι γίνομαι βαθμιαία ικανός να διατυπώνω μόνος μου σκέψεις που να είναι λογικές. Διότι είναι παρατηρημένο και πολύ σημαντικό ότι τέτοιες σκέψεις αξίζουν τον κόπο και δεν τις εγκαταλείπω για 'ψύλλου πήδημα' αφού μου προσφέρουν μια πυξίδα για να προσανατολιζομαι στις πλέον δύσκολες συγκυρίες, για να επιλύω τα πιο αναπάντεχα προβλήματα, για να κάνω τις πιο διαφορετικές επιλογές σε όλη μου τη ζωή .

1.1 Να μάθει να σκέπτεται.

Η σκέψη είναι κουραστική, επώδυνη, δύσκολη. Χρησιμοποιεί την γλώσσα αλλά και τα σχήματα (γεωμετρικά ή μη), τους ήχους (μουσικούς ή μη), τα χέρια μας, τα μάτια μας και τον εγκέφαλό μας. Διδάσκεται αλλά δεν κληρονομείται. Εξελίσσεται επ' άπειρο. Καταργεί τα δόγματα. Η διαμόρφωσή της είναι αυστηρά προσωπική υπόθεση. Μπορεί να μας παραπλανήσει χωρίς καν να το αντιληφθούμε. Μπορεί να μας οδηγήσει σε συμπεράσματα που απορρίπτονται συλλήβδην από την κοινωνία για δεκαετίες (ή, για αιώνες), βλέπε π.χ: Αρίσταρχος ο Σάμιος ή Ludwig Boltzmann (και πολλούς άλλους). Μπορεί να χειραγωγηθεί ή να αποπροσανατολιστεί όπως γίνεται (κατά κόρο!) στις μέρες μας. Αν υποταχθεί στην μόδα, στην αυθεντία, στην εξουσία, στον μετα-μοντερνισμό και στην αποδόμηση δημιουργεί ειτρώματα. Γι' αυτό όσα επιτεύγματα της αντέχουν στον χρόνο είναι αποτελέσματα συνεργασίας και αντιπαράθεσης και όχι προϊόντα μεμονωμένων εγκεφάλων. Δύσκολη δουλειά η δουλειά του δασκάλου. Πως θα τα πετύχει όλα τούτα;;

Πρέπει να μάθει τον μαθητή να κατανοεί την γλώσσα. Μάλλον γιαυτόν τον λόγο, από παλιά το σταθερό μοτίβο της διδασκαλίας ήταν *αρχή μαθήσεως η των ονομάτων επίσκεψις* ή διατυπωμένο διαφορετικά, το λεξικό είναι απαραίτητο όταν μελετάμε! Πράγμα το οποίο δεν σημαίνει, βέβαια, ότι αν γνωρίζει κανείς την σημασία των λέξεων είναι ικανός να γράψει. Σημαίνει μόνον ότι έχει την βασική προϋπόθεση για να γράψει. Ισχύει αυτό στην ελληνική εκπαίδευση; Όχι βέβαια! Στην υπερτριαντάχρονη καριέρα μου δεν βρήκα ούτε μία σχολική αίθουσα που να έχει έστω και ένα Λεξικό της ελληνικής γλώσσας... Οι περισσότεροι μαθητές δεν έχουν ιδέα τι χρειάζεται το λεξικό και υπάρχουν εκπαιδευτικοί που δεν τους μιλούν ποτέ για την αναγκαιότητα του λεξικού και για την χρήση του. Σκεφτείτε πόσο πιο δύσκολη είναι η χρήση της γλώσσας στην Φυσική. Ο μαθητής έρχεται αντιμέτωπος με λέξεις που δεν χρησιμοποιεί στην καθημερινή γλώσσα ή που στην Φυσική έχουν εντελώς διαφορετική σημασία.

Πρέπει να μάθει τον μαθητή να σχεδιάζει σχήματα αλλά και να κατανοεί σχήματα που βλέπει ήδη σχεδιασμένα. Η πρώτη δραστηριότητα κινητοποιεί εκτός από τα χέρια του μαθητή και το μυαλό του, του καλλιεργεί την υπομονή και την προσήλωση. Αναγκαστικό προαπαιτούμενο είναι η εξάσκηση στην ζωγραφική και στο σχέδιο [3]. Η δεύτερη που είναι αδύνατη αν ο μαθητής δεν έχει κατανοήσει την πρώτη απαιτεί δεξιότητα στην χρήση των βασικών γεωμετρικών οργάνων χάρακα, διαβήτη, ορθογώνιου τριγώνου, μοιρογνωμόνιου και μαθαίνει τον μαθητή να βλέπει (να μην αρκείται να κοιτά!). Από αυτό γίνεται κατανοητό ότι ο μαθητής που αρχίζει να μελετά Φυσική (στην δεύτερη τάξη του Γυμνασίου) πρέπει να έχει κάνει κτήμα του τις απλές αρχές της στοιχειώδους Γεωμετρίας. Πρέπει να τις έχει, αλλά άραγε τις έχει κάμει κτήμα του;;; Κι αν δεν τις έχει αφομοιώσει τότε σε ποιούς παράγοντες οφείλεται αυτό; Στο οι δάσκαλοί του δεν του τις δίδαξαν επειδή αδιαφορούσαν ή επειδή δεν τις γνώριζαν ή στο ότι ο ίδιος ήταν μειωμένης

αντίληψης; Μήπως στο ότι η Γεωμετρία υποβαθμίζεται συστηματικά στο ελληνικό σχολείο εδώ και αρκετές δεκαετίες; Τι εννοούμε όταν μιλάμε για υποβάθμιση της Γεωμετρίας; Το ότι οι ώρες διδασκαλίας της μειώνονται, το ότι ταυτόχρονα χειροτερεύουν τα χρησιμοποιούμενα εγχειρίδια, ότι απαγορεύεται (διανόμου) η διδασκαλία και η εξέταση των αποδείξεων, ότι γίνονται ολοένα και πιο δυσνόητα τα προβλήματα και οι ασκήσεις. Όλα τούτα κάτω από τον αυστηρότατο έλεγχο του Κράτους. Οι δάσκαλοι φαίνονται να είναι εξαρτημένα και πρόθυμα εκτελεστικά όργανα. Ευτυχώς που κάτι τέτοιο δεν ισχύει για όλους τους δασκάλους.

Η διδασκαλία της Φυσικής οφείλει να ξεκινά από το πείραμα, από την εξοικείωση με το εργαστήριο. Οφείλει ο μαθητής να κάνει μόνος του τα πειράματα και όχι να τα παρακολουθεί να γίνονται από τον διδάσκοντα. Ούτε είναι αποδεκτό να παρακολουθεί ψηφιακά πειράματα, διότι οτιδήποτε ψηφιακό δεν είναι πείραμα, είναι μόνον μια προσομοίωση. Τα πειράματα πρέπει να ξεκινάνε από απλές καθημερινές εμπειρίες οικείες στον μαθητή. Από τον Ήχο, την Μηχανική, την στοιχειώδη Οπτική (κάτοπτρα, φακούς, τηλεσκόπια και μικροσκόπια, υποτυπώδεις αστρονομικές παρατηρήσεις κ.ο.κ.). Τα πειράματα είναι χρονοβόρα και απαιτούν όχι μόνον κατάλληλα εξοπλισμένα εργαστήρια αλλά και βοηθητικό προσωπικό διότι ο διδάσκων δεν είναι δυνατόν να επιβλέπει 25 ή και περισσότερα άτομα. Αυτή ήταν η πρακτική σε όλες τις πολιτισμένες χώρες πριν την επέλαση του νεοφιλελευθερισμού! Όχι όμως και στην Ελλάδα. Εδώ, το Κράτος, ακόμα και σήμερα, δηλαδή, στην τρίτη δεκαετία του 21ου αιώνα, δεν ξεχωρίζει τους φυσικούς από τους χημικούς, τους βιολόγους, τους γεωλόγους. Απαιτεί από τον φυσικό να κάνει πειράματα Χημείας σε κακοεξοπλισμένα εργαστήρια χωρίς βοηθητικό προσωπικό και με την απειλή ότι σε περίπτωση ατυχήματος θα καταστρέψει την ζωή του! Απαγορεύει την διδασκαλία στο Λύκειο του ζυγού, της τροχαλίας, του απλού εκκρεμούς, της άνωσης, του κοχλία του Αρχιμήδη με το επιχείρημα ότι έχουν διδαχτεί στο Γυμνάσιο ενώ είναι γνωστό στους πάντες ότι οι μαθητές δεν γνωρίζουν απολύτως τίποτα! Αξίζει ίσως να τονισθεί ότι ΟΛΟΙ οι μαθητές του Λυκείου έχουν ακούσει, είτε σε άλλα μαθήματα είτε σε καλοσχεδιασμένες (αλλά αναντίστοιχες με την ηλικία τους) 'επικαιρευτικές' επισκέψεις, για τις Μαύρες Τρύπες, για το Big Bang, τα πειράματα του CERN, το σωματίδιο του Θεού κ.ο.κ. Με άλλα λόγια έχουν στερηθεί θεσμικά κάθε διδασκαλία που θεμελιώνει την μάθηση, ενώ τους έχουν προσφερθεί απλόχερα άχρηστες πληροφορίες που την υπονομεύουν.

1.2 Η στάση της λεγόμενης κοινότητας των φυσικών.

Ας δούμε πως αντιμετωπίζει η λεγόμενη κοινότητα των φυσικών την παραπάνω αντικειμενική πραγματικότητα. Αφού πάμπολλοι φυσικοί δεν ανήκουν στην ΕΕΦ (η οποία, με το να ασπάζεται ακροδεξιές και αντιεπιστημονικές θέσεις, μάλλον γελοιοποιεί τα μέλη της παρά τα τιμά) είναι σαφές ότι τον χώρο των φυσικών λυμαίνονται οι φροντιστές. Δεν υπάρχει βέβαια τίποτα κακό στο να είναι κανείς φροντιστής. Το κακό αρχίζει όταν γίνονται βασιλικότεροι του βασιλέως. Οι πρόσφατες αλλαγές στη ύλη της Φυσικής της Γ Λυκείου φάνηκε αρχικά ότι τους αναστάτωσαν. Λίγη γκρίνια, λίγες διαμαρτυρίες, λίγη αναπόληση του παρελθόντος (όπως ο καθένας το φαντάζεται), ελάχιστες αναφορές στην τραγική κατάσταση της Φυσικής σε όλες τις βαθμίδες του ελληνικού σχολείου, ούτε μιά λέξη για το ότι τα σχολικά εγχειρίδια είναι από κάθε άποψη απαράδεκτα. Έτσι κι αλλιώς γιατί να νοιαστούν αφού η αγορά φροντιστηριακών 'βοηθημάτων' ανθίζει; Γρήγορα επανέρχονται στην κανονική τους κατάσταση και εξαντλούνται στην εκπόνηση θεμάτων των Πανελλαδικών, πριν από αυτές και για αυτές. Άκρα του τάφου σιωπή σχετικά με τον εκμηδενισμό της Φυσικής. Οι παράγραφοι των εγκυκλίων αντιμετωπίζονται όπως αντιμετωπίζονταν παλαιότερα οι Γραφές. Έτσι κι αλλιώς δουλειά μας είναι να κάνουμε μάθημα όχι να κρίνουμε, ξεσπαθώνουν οι διαπρύσιοι υπερασπιστές (συνειδητοί ή φρενοβλαβείς!) της κρατικά σχεδιασμένης αποβλάκωσης.

Είπατε, αποβλάκωσης; Θα αναρωτηθεί με το δικίο του ο γενικός αναγνώστης. Είπα και επιμένω. Οι κρατικές διακηρύξεις μιλούν για την κοινωνία της γνώσης, για την καλλιέργεια της έρευνας, για την προσπάθεια να μην μείνει κανείς πίσω (no one left behind), για τα χέρια στο γλυκό (les mains à la pâte), για

την καταπολέμηση του λεγόμενου κβαντικού αναλφαριθμητισμού (quantum illiteracy) και για αρκετά άλλα βαρύγδουπα. Όμως η αμειλικτη πραγματικότητα (που επιμένει να θάλλει πράσινα, σε αντίθεση με την θεωρία που είναι γκριζα!) μας λέει άλλα. Τα σχολεία **καταργούν** συστηματικά τις πλέον στοιχειώδεις αρχές της διδασκαλίας με αποτέλεσμα να παράγουν ανθρώπους ανίκανους να συλλογιστούν. Έτσι είναι πραγματικά δύσκολο στον μέσο άνθρωπο να καταλάβει πως τέτοια παράφορη κατάργηση είναι δυνατή στα θεωρητικά ευνομούμενα κράτη μας. Κάποιες υπόνοιες έχουν διατυπωθεί συστηματικά από τους μεγάλους επιστήμονες της κάθε εποχής. Οι περισσότεροι από αυτούς δεν ήταν ικανοποιημένοι από το σχολείο που τέλειωσαν και απέδιδαν την επιτυχία τους σε άλλους παράγοντες. Για αυτό και όταν αναφέρονταν σε ζητήματα διδασκαλίας και εκπαίδευσης μας έδιναν αξιοπρόσεκτα κείμενα. Τα σχολεία μας εκπαιδεύουν με αρχές του τύπου (για να το λέει ο καθηγητής κάτι ξέρει) ή (οι απλοί άνθρωποι δεν κρινουν, αλλά εκτελούν εκείνα που τους έχουν μάθει). Ώστε να μην μπορούμε να διακρίνουμε το σημαντικό από το δευτερεύον. Ώστε να είναι αδύνατη η απόκτηση συνολικής άποψης για το αντικείμενο που μελετάμε και αυτό διότι το σχολείο δεν ενδιαφέρεται για την συνολική γνώση αλλά μόνον για τις άμεσα εφαρμόσιμες γνώσεις. Απαραίτητο είναι να συμπληρώσω ότι είναι ελάχιστοι οι επαναστάτες, πραγματικοί ή κατά φαντασίαν, που **έδειξαν με συγκροτημένο τρόπο** το πως αποικτιέται η συνολική γνώση.

1.3 Θα μπορούσε να γίνει κάτι;

Η παρούσα εργασία αντιμετωπίζει τον φυσικό της τάξης σαν μια άκρως ενδιαφέρουσα και αναξιόπαθουσα οντότητα οπότε αρνείται να παραμείνει δέσμια της 'μόδας' και να προσφέρει συνταγές (όπως κάνουν οι κρατικοί υπάλληλοι όπου Γης) αλλά νοιάζεται να δείξει μέσα από σε ποιές αρχές στηριγμένη διδασκαλία μαθαίνονται και (πολύ περισσότερο) αφομοιώνονται οι έννοιες. Προσπαθεί, δηλαδή, να επικαιροποιήσει, των αναλογιών τηρουμένων, σκέψεις, απόψεις και παρατηρήσεις που διατύπωσαν στο παρελθόν κάποιοι σκαπανείς της Επιστήμης. Και επιλέγει, συνειδητά, να ασχοληθεί με τους σκαπανείς όχι από σεβασμό προς την αυθεντία αλλά επειδή οι σκαπανείς είναι εκείνοι που μας δίδαξαν με το παράδειγμά τους τις αρχές στις οποίες αναφέρθηκα, που μόνον αυτονόητες δεν είναι. Επειδή δεν είναι αυτονόητες ο διδάσκων είναι σαν να προσπαθεί να ισορροπήσει μια σφαίρα στην κορυφή ενός κώνου και αφού η ισορροπία αυτή είναι ασταθής η σφαίρα παραμένει εκεί για απειροστό χρονικό διάστημα και έπειτα φεύγει αποκεί απειλώντας να συντρίψει τους αρχικούς του υπολογισμούς και να υπονομεύσει τους διδακτικούς του στόχους. Οπότε και εκείνος υποχρεώνεται να στηριχτεί στην δοκιμή και το αποτέλεσμα της προσπάθωντας να 'βγάλει άκρη'. Στα πάνω από τριάντα χρόνια που διδάσκω στο Λύκειο δεν κατόρθωσα ποτέ να χρησιμοποιήσω αυτούσιες τις σημειώσεις, τις ασκήσεις ή τα παραδείγματα που είχα φτιάξει την προηγούμενη χρονιά.

Έτσι σιγά-σιγά άρχισα να αναζητώ αξιοπίστα βιβλία για να στηριχτώ και μετά να τα εκτιμώ ανάλογα με τον πλούτο των παραδειγμάτων τους, την ισορροπία τους ανάμεσα στην ακριβολογία και την λακωνικότητα καθώς και την ζωντάνια των πορισμάτων τα οποία σημαδεύουν ανεξίτηλα το σκέπτεσθαι. Τι μας βοηθάει να βρούμε τα σωστά βιβλία; Κατά κύριο λόγο το διαδίκτυο! Η συντριπτική πλειονότητα των βιβλίων που - κατά καιρούς - είχαν θεωρηθεί σημαντικά είναι δυνατόν να βρεθεί σε ψηφιακή μορφή (pdf ή djvu) και μάλιστα δωρεάν. Ένας εξωτερικός σκληρός δίσκος είναι εξαιρετικά προσιτός σε τιμή και έχει το πλεονέκτημα ότι μας απαλλάσσει από την δυσκολία αποθήκευσης των βιβλίων σε φυσική μορφή.

Σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα μετά την απόκτηση δέκα το πολύ βιβλίων και καθώς άρχιζα να εξοικειώνομαι με την μελέτη τους κατάλαβα ότι μερικά από αυτά είναι περιττά καθώς επαναλαμβάνουν τα ίδια πράγματα με κάποια άλλα και μάλιστα με χειρότερο τρόπο. Η βάση δεδομένων μου είχε μικρύνει σημαντικά. Χρησιμοποίησα επίσης Video στο Youtube. Π.χ: Τα πειράματα Φυσικής του Julius Sumner Miller. Σε γενικές γραμμές το υλικό του Youtube είναι αξιολογότερο και πλουσιότερο! Υπομονή χρειάζεται και αναζήτηση. Επισκεπτόμουν συχνότατα την επίσημη ιστοσελίδα του βραβείου Nobel: <https://www.nobelprize.org/> Εκεί βρίσκονται οι ομιλίες των Nobel-τιτιλούχων στις τελετές απονομής. Υπάρχουν όλες σε ψηφιακή μορφή και 'κατεβαίνουν' δωρεάν! Αυτό έχει τεράστια σημασία, ιδιαίτερα σε

θέματα Σύγχρονης Φυσικής! Αυτοί οι άνθρωποι έχουν πολλά να προσφέρουν στον ενδιαφερόμενο εκπαιδευτικό. Χρησιμοποίησα επίσης τα δοκίμια μεγάλων επιστημόνων (παλαιών και σύγχρονων). Αν αυτοί έχουν και κάποια οργανική σχέση με την διδασκαλία τόσο το καλύτερο. Ενδεικτικά παραθέτω μερικούς των οποίων τα δοκίμια μου χρησίμευσαν τα μέγιστα. Η λίστα είναι προσωπική για τον κάθε εκπαιδευτικό, διότι οφείλει να απηχεί και τις δικές του 'προτιμήσεις'. Σε ότι με αφορά, στοχαστές στους οποίους ανατρέχω συχνότατα είναι οι (η σειρά των ονομάτων είναι τυχαία): L. Euler, R. Descartes, I. Newton, G. Galilei, E. Torricelli, B. Pascal, G.W. Leibniz, B. Spinoza, J.-L. Lagrange, P.-S. Laplace, J.-V. Poncelet, H. Poincaré, L. Boltzmann, M. Planck, F. Klein, A. Sommerfeld, R. Clausius, Lord Kelvin, J. C. Maxwell, G. Hertz, R. Thom, A. Connes, J. Hadamard, A. Kolmogorov, V.I. Arnol'd, G. Polya, M. Born, I.M. Yaglom, G.H. Hardy, A.N. Whitehead, I. Prigogine, E. Schrödinger, P.A.M. Dirac, L. de Broglie, L.D. Landau, και πολλοί άλλοι...

Έμαθα ακόμα (πράγμα εξίσου σημαντικό) ότι οι προσπάθειες επιτάχυνσης της διαδικασίας της μάθησης προκαλούν σοβαρά ψυχικά τραύματα στους μαθητές τα οποία το σώμα δεν ξεχνά! Κι ας λένε ότι θένε οι διάφοροι υπέρμαχοι των γιγάντιων αλμάτων στην μάθηση. Όποιος διαθέτει, ας είναι και λίγων μηνών διδακτική πείρα αντιλαμβάνεται ότι τέτοιες λεκτικές σαπουνόφουσες σκάνε αμέσως μόλις απελευθερωθούν στον αέρα. Η μάθηση είναι δύσκολη, ας το χωνέψουμε αυτό. Είναι θεμιτό να σιεφτούμε πως θα αντιπαλέψουμε την προαναφερθείσα κατάσταση.

Στην εργασία αυτή θεωρώ ότι η διαμόρφωση προσωπικής διδακτικής στρατηγικής είναι εφικτή και μάλιστα με χαμηλότερο οικονομικό κόστος από το απαιτούμενο για την συμμόρφωση με την παιδαγωγική του συρμού αλλά και με χρονική επιβάρυνση που, αν δεν είναι μικρότερη, είναι πλήρης νοήματος. Αξίζει δηλαδή τον κόπο. Τι ακριβώς όμως εννοώ μιλώντας για διδακτική στρατηγική; Την συστηματοποίηση της εκπαιδευτικής μας εμπειρίας. Που συμπεριλαμβάνει βιβλία που μας σημάδεψαν, εγχειρίδια που αναπτέρωσαν μέσα μας την ελπίδα ότι η δυσκολία της μάθησης είναι δυνατόν να μετριαστεί και τούτο με καταλυτικές επιπτώσεις στην συγκρότηση του μανθάνοντος υποκειμένου, δηλαδή των μαθητών μας. Συμπεριλαμβάνει επίσης την μελέτη καινοτομιών (που υπήρξαν εξαιρετικά βραχύβιες) στην διάρκεια μεγάλων επαναστατικών γεγονότων αλλά κατόρθωσαν να ατσαλώσουν την πεποίθηση των επιγόνων ότι τα εγκύκλια εκπαιδευτικά συστήματα μάλλον δυσχεραίνουν παρά διευκολύνουν την μάθηση. Διότι σε κανέναν συνεπώς εκπαιδευτικό το κεφάλι δεν μπορεί να ευδοκιμήσει η ιδέα ότι η διδασκαλία είναι (ή, οφείλει να είναι) ίδια για όλους τους μαθητές. Όπως δεν μπορεί να εδραιωθεί και η πεποίθηση ότι ο μαθητής είναι δυνατόν να μάθει αν δεν συγλονηστεί από το διδασκόμενο αντικείμενο, κάτι που μόνον ο συνεπής εκπαιδευτικός είναι δυνατόν να πετύχει. *Μ' όποιον δάσκαλο θα κάτσεις τέτοια γράμματα θα μάθεις*, λέει η γνωστή παροιμία.

1.4 Τα ψυχικά τραύματα που το σώμα δεν ξεχνά.

“Κανείς δεν μπορεί να γιατρέψει έναν πόλεμο, έναν βιασμό, μια σωματική ή σεξουαλική κακοποίηση ή, τέλος πάντων, οποιοδήποτε άλλο φρικτό γεγονός- ότι έγινε έγινε δεν μπορεί να αλλάξει. Όμως αυτό που μπορεί να γίνει είναι η προσπάθεια να διαχειριστούμε την εντύπωση που αφήνει το ψυχικό τραύμα στο σώμα, τον νου και την ψυχή: αυτή την συντριπτική αίσθηση στο στήθος, που θα μπορούσε κάποιος να βαφτίσει άγχος ή κατάθλιψη – τον φόβο ότι μπορεί να χαθεί ο έλεγχος – την συνεχή επαγρύπνηση για πιθανούς κινδύνους ή απόρριψη από τους άλλους – τις αυτοκατηγορίες – τους εφιαλτες και τις ακούσιες αναδρομές – εκείνη την ομίχλη του νου που εμποδίζει την συγκέντρωση και την πλήρη αφοσίωση στην όποια εργασία – την αδυναμία ειλικρινούς προσέγγισης ενός άλλου προσώπου.” [10]

Ισχυρίστηκα ότι μαθαίνω σημαίνει (ή, πρέπει να σημαίνει) ότι γίνομαι βαθμιαία ικανός να διατυπώνω μόνος μου σκέψεις που να είναι λογικές. Με άλλα λόγια ότι γίνομαι αυτεξούσιος στην σκέψη, ότι έχω τον

έλεγχό της, ότι μπορώ να αποφασίσω για το πως θα διαμορφώσω τις συνθήκες της ζωής μου. Όμως ο Bessel van der Kork μας τονίζει ότι:

“Το ψυχικό τραύμα επιφέρει ριζική αναδιοργάνωση του τρόπου με τον οποίο ο νους και ο εγκέφαλος επεξεργάζονται τα εξωτερικά ερεθίσματα. Μεταβάλλει όχι μόνον τον τρόπο και το αντικείμενο της σκέψης αλλά και την ίδια την ικανότητα εκτέλεσης της λειτουργίας της σκέψης.”[10], [ο.π.π, σελ: 40].

Επομένως το ψυχικό τραύμα είναι ένα σημαντικό για την εξουσία όπλο, αφού ριζώνει στα έγκατα της ύπαρξης οπότε και δύσκολα θεραπεύεται. Τόσο δύσκολα που χρειάζεται να επιστρατευθεί ένα ολόκληρο εννοιολογικό οπλοστάσιο μέσα στο οποίο ρόλο παίζει η έννοια της ενσυνειδητότητας (mindfulness)

“την οποία μπορούμε να σκεφτούμε σαν έναν μεγεθυντικό φακό που συγκεντρώνει τις διασκορπισμένες και δραστικές ενέργειες του νου και τις κατευθύνει προς μια αδιάσπαστη πηγή ενέργειας, η οποία τροφοδοτεί την ζωή, την επίλυση προβλημάτων, την επούλωση των πληγών.”[10], [ο.π.π, σελ: 337].

Μόνον οι αφελείς είναι δυνατόν να συνεχίζουν να πιστεύουν ότι υπάρχει άλλος τρόπος να αντισταθεί κανείς, με μια σχετική επιτυχία, στα ψυχικά τραύματα χωρίς να εγκαταλείψει το ενδιαφέρον για την διδασκαλία, από την προσπάθεια διαμόρφωσης μιάς προσωπικής διδακτικής στρατηγικής. Διότι μόνον αυτή μας καθιστά σε κάποιο βαθμό αυτεξούσιους και μας προσφέρει ένα νόημα: να χτίσουμε μια αξιόπιστη και αποτελεσματική διδασκαλία η οποία δεν θα καταπατά τις εσωτερικές μας αρχές και συγχρόνως θα είναι υποστηρικτική στους μαθητές μας αφού θα τους προσφέρει αβίαστα μια δυνατότητα αποφυγής των ψυχικών τραυμάτων που θα βίωναν αν υποτάσσονταν στα κελεύσματα των κρατικών επιλογών.

1.5 Ποιά είναι τα κοινωνικά επακόλουθα;

“Ο καθένας μπορεί να ψωνίσει από την διεθνή αγορά βιβλία ή ‘θεραπείες’, με τίτλους όπως: *Κβαντική Θεολογία, Κβαντική Βιοανάδραση, Κβαντική Αστρολογία, Κβαντική Yoga, Κβαντικός Βουδισμός, Κβαντική Διατροφή, Κβαντικό Μάτριξ, Κβαντική Μηχανική της Ψυχής, Κβαντική Πίστη, Κβαντικός Χριστιανισμός, Κβαντική Αγάπη, Κβαντική Πνευματικότητα, Κβαντικός Εαυτός, Κβαντική Ευεξία* κ.ο.κ. Η μηχανιστική μεταφορά της Φυσικής του Μικρόκοσμου στην κοινωνική ζωή μπορεί να γεννήσει τέρατα ανορθολογισμών με αποτελέσματα ολέθρια και χειρότερα από εκείνα που επέφερε ο κοινωνικός δαρβινισμός, η μηχανιστική δηλαδή εφαρμογή της επιστημονικής Θεωρίας της Εξέλιξης των Ειδών και της φυσικής επιλογής στην κοινωνική ζωή.” γράφει πολύ γλαφυρά και εύστοχα ο φίλος Πέτρος Λυμπερόπουλος σε μιά από τις πολλές και ενδιαφέρουσες αναλύσεις του. Για παράδειγμα δείτε και τούτο το αποκαλυπτικό του παραληρήματος που επικρατεί: <https://www.facebook.com/hyperopoulos1/posts/pfbid02k4QbvdxdUHVQb2kSHXxEafivZUXwDNTkNeotudWYaEkPoUnuN1LmEMStuffFqDBI>

Και βέβαια η πινακοθήκη παρόμοιων ηλιθιοτήτων δεν είναι ούτε αποκλειστικά ελληνικό φαινόμενο, ούτε αφορά μόνον την σύνδεση της Επιστήμης με την Μεταφυσική. Αγκαλιάζει ολόκληρο τον πλανήτη μας, από Βορρά σε Νότο και από την Ανατολή μέχρι την Δύση, μολύνει μελέτες που θέλουν να λέγονται επιστημονικές, διαστρέφει σε απίστευτο βαθμό ιστορικές πορείες ρευμάτων σκέψης, κυριαρχεί (συχνά χωρίς αντίπαλο) σε σχολεία, Πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα, δηλητηριάζει στοχαστές που θέλουν να είναι (ή, νομίζουν πως είναι) φορείς της επαναστατικής σκέψης και άλλα πολλά. Τόσα πολλά που η εξαντλητική αποδελτίωσή τους να είναι τεράστιας δυσκολίας και μηδενικής χρησιμότητας έργο. Διότι δεν ασχολείται με την αιτία που κάνει πιστευτές τέτοιες ηλιθιότητες ή, πράγμα που είναι χειρότερο, αποδίδει την αιτία

αυτή είτε στην ασafέστατη *γοητεία του ολοκληρωτισμού*, είτε στην σαφέστατη και πραγματική σήψη του καπιταλισμού αφήνοντας, και στις δυό περιπτώσεις, ανεπηρέαστους τους ανθρώπους που τις ενστερνίζονται. Όμως η αιτία δεν είναι άλλη από την κατάρρευση της συλλογιστικής δύναμης, κατάρρευση η οποία θα μπορούσε να είχε μετριαστεί αν μια συγκροτημένη αντίσταση στις επιταγές είχε απλά επιχειρηθεί. Διότι οι άνθρωποι μιλάνε και γράφουν όπως τους μαθαίνεις. Αν και η μάθηση αυτή προέρχεται (κατά κύριο λόγο) από το εκπαιδευτικό σύστημα το οποίο είναι εστιασμένο ως προς τους στόχους, οργανωμένο ως προς τα προγράμματα και ελεγχόμενο από το Κράτος η στάση του εκπαιδευτικού δεν είναι καθόλου ασήμαντη, διότι εκείνος (και μόνον!) έρχεται σε καθημερινή επαφή με τους μαθητές της σχολικής αίθουσας οπότε είναι δυνατόν να υποσκάψει με το παράδειγμά του τα θεμέλια των κρατικών επιλογών και, σε τέτοια περίπτωση, να αλλάξει την στάση των μαθητών απέναντι στην μάθηση για μια ολόκληρη ζωή. Πάμπολλοι πρώην συμφοιτητές (και νυν συνάδελφοι ή πρόσφατα συνταξιούχοι) μου έχουν εκμυστηρευτεί ότι ένα βασανιστικό ερώτημα που τους κατέτρεχε σε όλη την επαγγελματική τους ζωή ήταν το ακόλουθο: γιατί αφού εγώ τα δίδαξα αυτά τα πράγματα, διαπιστώνω ότι τα παιδιά δεν τα έμαθαν; Στο μέτρο που το ερώτημα αυτό ήταν ειλικρινές, δηλαδή σε αρκετές περιπτώσεις, οι άνθρωποι αυτοί οδηγούνταν αργά ή γρήγορα στο συμπέρασμα ότι ενδεχομένως κάτι ήταν λάθος με τον τρόπο διδασκαλίας. Έκαναν δηλαδή το πρώτο βήμα αλλά, εγκλωβισμένοι στην συνήθεια, σταματούσαν σε αυτό και υιοθετούσαν την ρουτινιάρικη χρήση φροντιστηριακών 'βοηθημάτων'. Απαντούσαν στο ερώτημά τους λέγοντας ότι φταίει το Κράτος, τα αναλυτικά προγράμματα, η κτιριακή κατάσταση των σχολείων, η οικογενειακή και η οικονομική κατάσταση των μαθητών, ο κοινωνικός περίγυρος και άλλα πολλά. Που φταίνε οπωσδήποτε. Δεν αναρωτιόντουσαν όμως: μήπως είναι δυνατόν να αλλάξω τον τρόπο διδασκαλίας; Έτσι οδηγούνταν σε τραγικά αδιέξοδα. Αντί να δείχνουν με την καθημερινή τους διδασκαλία στους μαθητές τους μια αξιόπιστη και λειτουργική εναλλακτική λύση επαναλάμβαναν διαρκώς μέσα στην τάξη ότι οι μαθητές πρέπει να μάθουν αυτά που τους έλεγαν, αφήνοντας να εννοηθεί ότι όφειλαν να τα ξαναλένε όπως τα άκουσαν. Εξαφάνιζαν έτσι και την παραμικρή δυνατότητα ενεργητικής μάθησης προς όφελος της αποβλάκωσης.

2 Τα βιβλία-πηγές για τον Ηλεκτρισμό, για το πέραςμα στην Κβαντομηχανική και η κατακρεούργηση της λογικής δομής στην εγκύκλια εκπαίδευση.

Το ζήτημα δεν είναι να καταγγείλλουμε ή να καλωσορίσουμε την Κβαντομηχανική στο Λύκειο διότι και οι δυό στάσεις αυτές είναι ανεπίτρεπτες για εκπαιδευτικούς. Μου φαίνεται προτιμότερο να εξετάσω πρώτα απ'όλα με ποιό τρόπο επιτυγχάνεται η κατανόηση της Κβαντομηχανικής χωρίς την οποία ο ισχυρισμός ότι την διδάσκουμε είναι γελοίος. Οφείλω, δηλαδή, να δείξω στον γενικό αναγνώστη πόσο βαθείς, δεισδυτικοί και δύσκολοι είναι ακόμα και οι απλούστεροι συλλογισμοί της Επιστήμης, επιδιώκοντας να του κλονίσω την επικίνδυνη (αλλά συστηματικά καλλιεργούμενη από το status quo και τους υπηρέτες του) βεβαιότητα ότι η Επιστήμη μαθαίνεται παίζοντας, και στον φυσικό (και δάσκαλο) ότι τα εργαλεία για την κατανόησή της είναι λίγα. Αλλά εργαλείο δεν σημαίνει μηχανήμα οπότε η χρήση του εργαλείου επανεπιδρά πάνω στον χρήστη και τον αλλάζει. Γι' αυτό λέμε ότι *ο διδάσκων δις διδάσκεται* έτσι ώστε να κατανοεί ότι η επιστημονική γνώση εξελίσσεται. Προκειμένου να το κάμω αυτό κάπως χειροπιαστά, χρησιμοποιώ, των αναλογιών τηρουμένων, σκέψεις, απόψεις και παρατηρήσεις που έκαναν στο παρελθόν κάποιοι σκαπανείς της Επιστήμης. Ο ρόλος του Ηλεκτρισμού στην διδασκαλία της Φυσικής είναι κομβικός. Για να είναι η διδασκαλία της Φυσικής αποτελεσματική (δηλαδή για να βοηθάει τον μαθητή να χτίσει την σκέψη του) ο διδάσκων οφείλει να έχει στην διάθεσή του μια κατάλληλη βιβλιογραφία, από την συνεχή μελέτη και επεξεργασία της οποίας να εμπνέεται. Αφού η Φυσική είναι θετική Επιστήμη αυτή η βιβλιογραφία θα πρέπει, αφενός, να τον ενημερώνει σωστά για τα θεμελιώδη πειράματα που οδήγησαν στην σύγχρονη

δομή του Ηλεκτρισμού, αλλά και να τον καθοδηγεί να αποκτήσει την απαραίτητη μαθηματική ωριμότητα. Για τούτο το καθόλου εύκολο εγχείρημα χρησιμοποίησα τέσσερα κλασικά βιβλία για τον Ηλεκτρισμό σαν προαπαιτούμενο της Κβαντομηχανικής και τρία επίσης κλασικά βιβλία για την εξήγηση του 'περάσματος' από την Κλασική στην Κβαντική Φυσική, δηλαδή τα:

1. J.H. Poynting - J.J. Thomson: *A text-book of Physics, Vol. 4: Electricity and Magnetism (1914)*, [θα αναφέρεται εφεξής σαν **1**, Σ.Τ]. Πρόκειται για τον 4ο Τόμο, του τετράτομου εγχειρίδιου Φυσικής που συνέγραψαν, στις αρχές του 20ου αιώνα, οι κορυφαίοι φυσικοί John Henry Poynting (1852-1914) και Joseph John Thomson (1856-1940), με τα περιεχόμενα κάθε Τόμου να είναι: 1ος τόμος (Ιδιότητες της Ύλης), 2ος τόμος (Ηχος), 3ος τόμος (Θερμότητα), 4ος τόμος (Ηλεκτρισμός και Μαγνητισμός),
2. J.J. Thomson: *Elements of the Mathematical Theory of Electricity and Magnetism (1895, 1897, 1904, 1909, 2009)*, [θα αναφέρεται εφεξής σαν **2**, Σ.Τ]
3. W.C. Dampier-Whetham: *The Theory of Experimental Electricity (1905)*,
4. J.H. Jeans: *The Mathematical Theory of Electricity and Magnetism (1907, 2009)*, [θα αναφέρεται εφεξής σαν **3**, Σ.Τ],
5. P.W. Bridgman: *The Thermodynamics of Electrical Phenomena in Metals... (1925, 1934)*,
6. P.W. Bridgman: *The Logic of Modern Physics (1927)*,
7. P.W. Bridgman: *The Nature of Thermodynamics (1941)*.

Οφείλω να τονίσω εδώ ότι αναφέρομαι στον Ηλεκτρισμό όπως αυτός ήταν **πριν** την ανακάλυψη του ηλεκτρονίου. Σχετικά με το ζήτημα της **ανακάλυψης του ηλεκτρονίου** ο αναγνώστης μπορεί να συμβουλευτεί το αξιόπιστο [6], p: 78-86.

Προσδοκώ ότι ο αναγνώστης της παρούσας εργασίας θα αναρωτηθεί στην πορεία της μελέτης του αν η διδασκαλία της Κβαντομηχανικής σε μαθητές Λυκείου είναι εφικτή. Σε περίπτωση δε που σωστά συμπεράνει ότι δεν είναι, να εξετάσει τα πιθανά αποτελέσματά της σε κοινωνική κλίμακα και να τα συγκρίνει με όσα αναφέρω στην προηγούμενη Ενότητα. Εύχομαι η προσπάθειά μου αυτή να αποβεί δημιουργική αλλά και συλλογικά ωφέλιμη κάτι που εξαρτάται από το πόσο εκτεταμένες θα είναι οι καλόπιστες κριτικές που θα γραφτούν και **θα συζητηθούν** μετά την μελέτη της.

2.1 Ένα αξιοπρόσεκτο κλασικό εγχειρίδιο: Το 1.

Στον Πρόλογο του **1**, οι συγγραφείς γράφουν:

“ Θέλαμε να ενταχθεί το αντικείμενο του Μαγνητισμού και του Ηλεκτρισμού σε έναν τόμο πλήρη καθ'εαυτόν, της σειράς που θα αποτελούσε ένα textbook Φυσικής, αλλά έγινε αναγκαίο να τον χωρίσουμε στα δύο. Ο παρόν Τόμος περιέχει ένα απολογισμό των κύριων φαινομένων των ηλεκτρικών και μαγνητικών συστημάτων όταν είναι φορτισμένα και μαγνητισμένα αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των αλλαγών στα συστήματα εξετάζονται μόνον στατιστικά, αφού γίνουν οι αλλαγές, και τα συστήματα γίνουν ξανά στατικά. Τα φαινόμενα που συνοδεύουν την πρόοδο της αλλαγής ανήκουν στο ηλεκτρικό ρεύμα ή στον ηλεκτρομαγνητισμό και θα τα πραγματευθούμε σε άλλον τόμο.”

Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν φαινόμενα, πειράματα, συσκευές οι οποίες δεν είναι δυνατόν να παραλειφθούν χωρίς μεγάλη βλάβη της (απαραίτητης) γενικότητας! Την γενικότητα αυτή δεν επιθυμούσαν να θυσιάσουν και υπέκυψαν στην ανάγκη ενός παραπάνω Τόμου. Εξάλλου, στον Πρόλογο του *1ου τόμου (Ιδιότητες της Ύλης)* του ογκώδους εγχειριδίου τους επισημαίνουν ότι:

“Όπως έχει ήδη ειπωθεί στον Πρόλογο του Τόμου που αναφέρεται στον Ήχο [δηλαδή τον 2ο, Σ.Τ], το παρόν εγχειρίδιο προορίζεται κατά κύριο λόγο για χρήση από φοιτητές οι οποίοι δίνουν την μεγαλύτερη έμφαση στην μελέτη του πειραματικού τμήματος της Φυσικής, και οι οποίοι δεν έχουν φθάσει ακόμα στο στάδιο στο οποίο η μελέτη προχωρημένων πραγματειών (advanced treatises) σε ειδικά θέματα να είναι επιθυμητή (desirable). Προκειμένου να φέρουμε το αντικείμενο μέσα στην εμβέλεια που έχει με τούτη την σκέψη προβλεφθεί, δίνεται μόνον ο απολογισμός φαινομένων τα οποία είναι ειδικής σημασίας, ή τα οποία φαίνεται ότι φωτίζουν άλλους κλάδους της Φυσικής, και οι μαθηματικές μέθοδοι που υιοθετούνται είναι πολύ στοιχειώδεις. Ο φοιτητής που διαθέτει γνώση προχωρημένων μαθηματικών μεθόδων, και που γνωρίζει πως να τις χρησιμοποιεί θα μπορεί, χωρίς αμφιβολία, να δουλέψει καλά και να θυμάται πολύ εύκολα μια θεωρία η οποία χρησιμοποιεί τέτοιες μεθόδους. Αλλά προς το παρόν ένα μεγάλος αριθμός σοβαρών φοιτητών της Φυσικής δεν είναι τόσο εξοπλισμένοι, και οι συγγραφείς στοχεύουν να δώσουν έναν απολογισμό του αντικειμένου που θα είναι χρήσιμος σε αυτήν την κατηγορία. Ακόμα και για τον αναγνώστη που είναι μαθηματικά εκπαιδευμένος, υπάρχει κάποιο πλεονέκτημα στην μελέτη στοιχειωδών μεθόδων, που επανορθώνει την κάπως δυσκίνητη (cumbrous) μορφή τους. Φέρνουν μπροστά μας με πιο φανερό τρόπο τα σημεία στα οποία γίνονται οι διάφορες υποθέσεις (assumptions) και καθιστούν πιο ευδιάκριτες τις συνθήκες κάτω από τις οποίες η θεωρία στέκει καλά.”

Στην εγκυκλιό μου εκπαίδευση άκουσα πολλές φορές την ρήση elementary does not mean easy (στοιχειώδεις δεν σημαίνει εύκολο)! Χρειάστηκε όμως να περάσω τα πενήντα για να καταλάβω, σκεπτόμενος την άριστη παραπάνω διατύπωση, που μόνον όντα της εμβέλειας αυτών των συγγραφέων μπορούν να δώσουν, ότι μέσα της κρύβεται η ουσία της καλής διδασκαλίας. Φαντάζομαι ότι αν ο φιλότιμος αναγνώστης σημειώσει σε ένα κομμάτι χαρτί τα μέρη του παραπάνω αποσπάσματος που θεωρεί σημαντικά και προσπαθήσει να τα εντάξει σε ένα διάγραμμα θα καταφέρει να οπτικοποιήσει το 'μήνυμα' των συγγραφέων, δηλαδή το σε τι συνίσταται η καλή διδασκαλία! Χρήσιμη μπορεί να αποβεί στον διδάσκοντα και η γνωστή ρήση του Henri Poincaré: *“Κάθε σπίτι αποτελείται από τούβλα. Όμως ένα σωρός από τούβλα δεν είναι σπίτι.”* Όπως το σπίτι το χτίζει ο οικοδόμος έτσι και την διδασκαλία την χτίζει ο διδάσκων. Παίζοντας τον ρόλο του οικοδόμου οι Roynting-Thomson συμπεριλαμβάνουν στο Πρώτο Κεφάλαιο (23 σελίδων) του **1**, με τίτλο: Γενική Επισκόπηση Κοινών Φαινομένων, τα ακόλουθα:

1. Ηλέκτριση με τριβή,
2. δράση ανάμεσα σε σώματα ηλεκτρισμένα με τριβή,
3. δύο είδη ηλεκτρισμού,
4. νόμος της ηλεκτρικής μηχανικής δράσης,
5. οι ηλεκτρικές δράσεις δεν είναι μαγνητικές,
6. αγωγή και μόνωση,
7. ηλεκτροσκόπιο φύλλων χρυσού,

8. φόρτιση με επαγωγή,
9. ανίχνευση είδους φορτίου με το ηλεκτροσκόπιο,
10. φύση της επαγόμενης φόρτισης,
11. μόνο η εξωτερική επιφάνεια αγωγού είναι φορτισμένη,
12. οι δυο φορτίσεις συμβαίνουν πάντοτε μαζί επάγοντας η μία την άλλη,
13. αποφόρτιση,
14. μηχανές τριβής (frictional machines),
15. ευκολία αποφόρτισης από σημεία,
16. αγωγοί του κεραινού,
17. μηχανές επαγωγής (electrophorus),
18. Bennett's doubler,
19. μηχανή του Belli,
20. μηχανή του Holtz,
21. μηχανή του Wimshurst,
22. δοχείο του Leyden,
23. δοχείο του Franklin,
24. residual charge

Δύο στοιχεία πρέπει να προσεχτούν εδώ:

- Ότι η προσέγγιση του Ηλεκτρισμού ξεκινά από τα λεγόμενα Κοινά Φαινόμενα με σκοπό να δοθεί μια πρώτη στοιχειώδης προσέγγιση του Ηλεκτρισμού και τίποτα περισσότερο. Το αξιοσημείωτο είναι ότι μέσα στην δυσκολώτατη αυτή προσέγγιση βρίσκεται η ουσία όχι μόνον της επιστημονικής μεθόδου αλλά και της απαραίτητης διδακτικής στρατηγικής. Καθεμιά από τις παραγράφους αυτές απαιτεί υποδειγματική συγκέντρωση για να κατανοηθεί και αρκετές προσπάθειες για να την διατυπώσει ο αναγνώστης με δικά του λόγια. Όμως όταν το κάνει αυτό αποκτά μια αξιόπιστη ιδέα των δυσκολιών που, κατά μείζονα λόγο, αντιμετωπίζουν οι μαθητές όταν τους ζητάμε να περιγράψουν κάτι με δικά τους λόγια. Αντιλαμβάνεται επίσης ότι κάθε προσπάθεια να παπαγαλιστούν τα συμπεράσματα που έβγαλε οδηγεί μόνον στην αυτογελοιοποίηση. Είναι δε σημαντικό να τονιστεί ότι η πλειονότητα των σύγχρονων εγχειριδίων προσεγγίζει τούτα τα κοινά φαινόμενα με επιδερμικό και βιαστικό τρόπο οπότε και δεν αναδεικνύει καμμία υποκείμενη ιδέα.
- ...και συνεχίζει στο κυρίως θέμα (αναφέρομαι μόνον στον Ηλεκτρισμό!), για 11 ακόμα Κεφάλαια και 150 περίπου σελίδες. Το σύνολο αυτό είναι προαπαιτούμενο για να είναι βέβαιος ο φιλότιμος αναγνώστης ότι έχει τις απαραίτητες γνώσεις για να προχωρήσει σε πιο προχωρημένα θέματα. Τα περιεχόμενα των 11 αυτών Κεφαλαίων είναι: Κεφάλαιο II: Ποσότητα Ηλεκτρικής, Κεφάλαιο III: Προτάσεις οι οποίες εφαρμόζονται στα συστήματα 'αντιστρόφου τετραγώνου', Κεφάλαιο IV:

Το Πεδίο θεωρημένο αναφορικά με την Επαγωγή ή electric strain produced in it, Κεφάλαιο V: Η δύναμη σε ένα μικρό φορτισμένο σώμα στο πεδίο and the pull outwards per unit area on a charged conducting surface, Κεφάλαιο VI: Ηλεκτρικό επίπεδο ή δυναμικό και ενέργεια στα ηλεκτρισμένα συστήματα, Κεφάλαιο VII: Δυναμικό και χωρητικότητα σε μερικά ηλεκτρισμένα συστήματα. Μερικές μέθοδοι μέτρησης του δυναμικού και της χωρητικότητας. Κεφάλαιο VIII: Το διηλεκτρικό. Ειδική επαγωγική χωρητικότητα (specific inductive capacity). Παραμένοντα αποτελέσματα (residual effects), Κεφάλαιο IX: Σχέση της ειδικής επαγωγικής χωρητικότητας με τον συντελεστή διάθλασης. Η μέτρηση της ειδικής επαγωγικής χωρητικότητας, Κεφάλαιο X: STRESSES IN THE DIELECTRIC, Κεφάλαιο XI: Μεταβολές παρατηρούμενες στο διηλεκτρικό όταν υφίσταται ηλεκτρική παραμόρφωση (electric strain), Κεφάλαιο XII: Θερμοηλεκτρισμός και πιεζοηλεκτρισμός.

Όλα τούτα τα Κεφάλαια είναι αδύνατον να παραλειφθούν χωρίς διάλυση της απαιτούμενης λογικής δομής! Κάτι που είναι βέβαιο δεδομένου ότι τα πειράματα της Φυσικής πρέπει να συζητιούνται όσο το δυνατόν πληρέστερα, οι απορίες των μαθητών να δοκίμζονται στην πράξη. Τροποποιημένα πειράματα πρέπει να επιχειρούνται από τους ίδιους τους μαθητές. Καμιά διατύπωση, οσοδήποτε περίτεχνη, δεν μπορεί να υποκαταστήσει αυτή την διαδικασία επιβεβαίωσης του πειράματος από τον πειραματιζόμενο. Η κυρίαρχη όμως παιδαγωγική παρακάμπει αυτήν την απαραίτητη επιβεβαίωση παράγοντας, τελικά, μόνον αμάθεια.

2.2 Τρία αξιοπρόσεκτα κλασικά εγχειρίδια για την μαθηματική και την πειραματική προσέγγιση του Ηλεκτρισμού: 2, 3, και W.C. Dampier-Whetham: The Theory of Experimental Electricity.

Τα 2 και 3 αναφέρονται στο μαθηματικό μέρος του Ηλεκτρισμού έχουν παραπλήσιο περιεχόμενο και εκφράζουν την ίδια διδακτική προσέγγιση. Το βιβλίο του W.C. Dampier-Whetham, που έχει πειραματικό χαρακτήρα, περιέχει στο 2ο Κεφάλαιό του (Μερικά θεωρήματα της Ηλεκτροστατικής) έκταση 18 σελίδων, 20 συνολικά παραγράφους, μνημονεύοντας σαν Αναφορές τα Κεφάλαια I, III, V [έκτασης 139 σελίδων] του 2 κάτι που επισημαίνω διότι αναδεικνύει τον αδιάσπαστο δεσμό πειράματος και Μαθηματικών στην Φυσική. Το μεν 2 [συνολικές σελίδες 550] γράφει:

“ Στο έργο αυτό προσπάθησα να δώσω έναν απολογισμό των θεμελιωδών αρχών της μαθηματικής θεωρίας του Ηλεκτρισμού και του Μαγνητισμού και τις πλέον σημαντικές εφαρμογές τους, χρησιμοποιώντας μόνον απλά Μαθηματικά. Δεν είναι καθόλου αναγκαίο να χρησιμοποιήσει κανείς προχωρημένη Ανάλυση προκειμένου να θεμελιώσει την ύπαρξη μερικών από τα πιο σημαντικά ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα. Η μελέτη αυτών των απλών περιπτώσεων θα μπορούσε, νομίζω, να αποτελεί συχνά πλεονέκτημα ακόμα και για σπουδαστές των οποίων τα μαθηματικά επιτεύγματα είναι επαρκή για να τους κάμουν ικανούς να ακολουθήσουν την λύση των πιο γενικών προβλημάτων. Διότι σε τούτες τις απλές περιπτώσεις η απουσία αναλυτικών δυσκολιών επιτρέπει στην προσοχή να συγκεντρωθεί στις φυσικές πτυχές των ερωτημάτων και έτσι δίνει στον σπουδαστή μια πιο ζωντανή ιδέα και μια πιο διαχειρίσιμη προσέγγιση του αντικειμένου από εκείνη που θα μπορούσε να αποκτήσει αν κοιτούσε τα ηλεκτρικά φαινόμενα μέσα από ένα νέφος αναλυτικών συμβόλων.”

Η εξαιρετική τούτη παράγραφος του J.J.Thomson γίνεται κατανοητή μόνον αν αναγνώστης μελετάει με το στυλό στο χέρι και βέβαια η κατανόηση του πνεύματος της είναι πολύ δύσκολη. Η καθημερινή διδακτική εμπειρία στην Ελλάδα μας διδάσκει ότι αυτή η παράγραφος προκαλεί συχνότατα ανυπόφορους τσακωμούς επειδή οι αναγνώστες εστιάζουν την προσοχή τους στις λέξεις *απλά Μαθηματικά* και έπειτα (στηριγμένοι

στην βολικότατη και εντελώς αυθαίρετη παραδοχή ότι αυτές σημαίνουν¹ καθόλου Μαθηματικά) αποσιωπούν, σαν γνήσιοι εκφραστές της κυρίαρχης προφορικότητας, την πρόταση: *διότι σε τούτες τις απλές περιπτώσεις η απουσία αναλυτικών δυσκολιών επιτρέπει στην προσοχή να συγκεντρωθεί στις φυσικές πτυχές των ερωτημάτων και έτσι δίνει στον σπουδαστή μια πιο ζωντανή ιδέα και μια πιο διαχειρίσιμη προσέγγιση του αντικειμένου από εκείνη που θα μπορούσε να αποκτήσει αν κοιτούσε τα ηλεκτρικά φαινόμενα μέσα από ένα νέφος αναλυτικών συμβόλων.*

Το δε **3** [συνολικές σελίδες 530] ασχολείται με σφαιρικές και ελλειψοειδείς αρμονικές, αρμονικά δυναμικά και ηλεκτρικές εφαρμογές, το θεώρημα του Stokes σε σχέση με το μαγνητικό διανυσματικό δυναμικό, το θεώρημα του Green, την αρμονική ανάλυση, τις μιγαδικές μεταβλητές, τις σειρές Fourier, τις συζυγείς συναρτήσεις, τις καμπυλόγραμμες συντεταγμένες (όλα θέματα προχωρημένων Μαθηματικών) και κλείνει με την ακόλουθη αποκαλυπτική παράγραφο:

“ Κατά συνέπεια, η εργασία συγγραφής του βιβλίου δεν ήταν εργασία με ιδιαίτερο ενδιαφέρον: έγινε με την ελπίδα ότι θα μπορούσε να προσφέρει κάποια υπηρεσία, μικρή εντούτοις, στους επιφορτισμένους να διδάσκουν ή να μελετούν Μαθηματική Φυσική.”

Και οι δύο συγγραφείς θεωρούν την μάθηση αποτέλεσμα δύο παραγόντων: Πρώτα, μιας παρουσίας των γνωστικών αντικειμένων από τον διδάσκοντα η οποία να ξεκινά από το Απλό προκειμένου να καταλήξει (σεβόμενη πάντοτε το συναισθηματικό υπόβαθρο του μαθητή το οποίο – όπως είναι φυσικό – καθορίζει την πορεία της λογικής ωρίμανσής του) στο Σύνθετο και όχι (όπως κατά κόρο γίνεται στην εποχή μας) ορίζοντας το Στοιχειώδες διαμέσου του Πολύπλοκου ή κάνοντας λογικά άλματα. Συμπληρωματικά, θεωρούν ότι η σκληρή, πηγαία και δημιουργική μελέτη του μαθητή (δυνατή μόνον αν υπάρχει το απαραίτητο κίνητρο) παρασάγγες απέχει από την εκτέλεση καταναγκαστικών έργων και, τελικά, είναι η μόνη που οδηγεί στην Εξέλιξη. Με δυο λόγια, ο Άνθρωπος Που Μαθαίνει βρίσκεται στο κέντρο των σκέψεων και των δράσεών τους.

Αν ένα αδιαπραγμάτευτο αξίωμα της επαναστατικής σκέψης είναι ότι η χειραφέτηση των εργαζόμενων, επομένως και των διδασκόντων, πρέπει να είναι έργο των ίδιων, ο επαναστάτης δάσκαλος της εποχής μας, εκείνος δηλαδή που αρνείται να καταργήσει τον ανθρωπιστή μέσα του αλλά και έχει ανάγκη τον μισθό του, θα πρέπει να βρει τρόπους να χρησιμοποιήσει όσα περισσότερα στοιχεία των **1**, **2** και **3** είναι δυνατόν, φροντίζοντας να συνδυάζει στην διδασκαλία του το ανθρωπιστικό με το επιστημονικό περιεχόμενο, κάτι που - δεδομένου του προσωπικού χαρακτήρα κάθε διδασκαλίας - είναι **πάντοτε** εφικτό. Ανέφικτο φαίνεται επειδή μεγάλη μερίδα των διδασκόντων παραμένει δέσμια της συνήθειας, *τις αλυσίδες της οποίας είναι πολύ εύκολο να συνηθίσει κανείς, αλλά πολύ δύσκολο να σπάσει* (Samuel Johnson). Και συνεχίζει να παραμένει δέσμια της συνήθειας επειδή δεν υπάρχει στην χώρα μας κουλτούρα αντιπαραβολής των ιδεών. Πράγματι οι λέξεις *debate* (αγγλικά), *débat* (γαλλικά) δεν υφίστανται στα ελληνικά και το γεγονός αυτό είναι στενά συνδεδεμένο με τον ουσιαστικά προφορικό χαρακτήρα του νεοελληνικού πολιτισμού. Πράγμα που όμως δείχνει ότι η αναζήτηση της αλήθειας μάλλον δεν αποτελεί κοινωνικό αίτημα.

2.3 Τα βιβλία-πηγές και μια σύγκριση με τα σημερινά.

Η Φυσική είναι εξαιρετικά εκτεταμένη επιστήμη. Για να αποκτήσει κανείς μια αξιόπιστη εικόνα της χρειάζεται να της αφιερώσει μια ολόκληρη ζωή. Βέβαια ανταμοίβεται η προσπάθεια διότι η μελέτη της ανοίγει μπροστά μας έναν συναρπαστικό κόσμο. Αυτό δε που της προσδίδει μεγαλύτερη αντικειμενική αξία είναι η συνοχή των επιμέρους κλάδων της, το γεγονός ότι στηρίζεται στο πείραμα αλλά και η συμβολή των Μαθηματικών χάρη στα οποία τα πορίσματα της έχουν έναν πειστικό χαρακτήρα. Η παρατήρηση όμως δείχνει ότι τα εγχειρίδια χάνουν σε ποιότητα από την αρχή κιόλας τους 20ου αιώνα. Τείνουν να εγκαταλείπουν την αίσθηση ολότητας η οποία τα χαρακτήριζε μέχρι το τέλος του 19ου. Υποτάσσονται ολοένα και

¹προσθέτοντας την έκφραση *σε τελευταία ανάλυση*, εκεί όπου δεν έχουν κάμει καμιά ανάλυση!

περισσότερο στον κατακερματισμό των γνωστικών αντικειμένων με τον παραπλανητικό και λανθασμένο ισχυρισμό ότι η γνώση προχωρά πλέον τόσο γρήγορα που δεν είναι δυνατόν να παρακολουθηθεί συνολικά. Παραπλανητικό διότι υπονοεί αφενός ότι η γνώση είναι δυνατόν να αφομοιωθεί χωρίς στέρεα κατανόηση των θεμελίων και, αφετέρου, ότι η διδασκαλία των επιτευγμάτων της έρευνας είναι δυνατόν να 'κατεβαίνει' σε ολοένα και μικρότερες ηλικίες. Και λανθασμένο διότι υπάρχουν στις μέρες μας δάσκαλοι οι οποίοι διαθέτουν αυτή την ολότητα. Η σύγκριση σύγχρονων βιβλίων (π.χ: V. Rojansky: *Electromagnetic fields and waves* (1971, 1979) με κλασικά π.χ: το **1**) είναι χρήσιμη και διδακτική διότι αποκαλύπτει μια τερατώδη διαστρέβλωση (σε χρονικό διάστημα μικρότερο των 70 χρόνων) του τρόπου χρήσης του λεκτικού στοιχείου η οποία φέρνει σε αμηχανία τον φιλότιμο διδάσκοντα αφού δυσχεραίνει (αν δεν κάνει αδύνατη) την δόμηση της διδασκαλίας. Την διαστρέβλωση αυτή επιδεινώνουν οι (κατευθυνόμενες) κριτικές. Για το βιβλίο του V. Rojansky κάποιες από αυτές γράφουν: "... a masterpiece of thoughtful pedagogy (αριστούργημα βαθυστόχαστης παιδαγωγικής)", "[a] thinking student's book! (βιβλίο του σκεπτόμενου φοιτητή)". Χωρίς να αιτιολογούν, βέβαια, τα βαρύγδουπα συμπεράσματά τους και, πολλές φορές, φιμώνοντας τον αντίλογο. Στον Πρόλογο της έκδοσης του 1979 ο V. Rojansky γράφει τα ακόλουθα:

"Στα 1955 άφησα στην άκρη ένα μισοτελειωμένο χειρόγραφο ενός βιβλίου για τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό, και εγκατέλειψα την διδασκαλία για να ενταχθώ, για δέκα χρόνια, στα TRW Εργαστήρια Διαστημικής Τεχνολογίας. Εκεί δούλεψα δίπλα-δίπλα με άλλους φυσικούς και με μηχανικούς, κατά κύριο λόγο σε διάφορα projects – όπως δορυφόροι επικοινωνιών – με τους οποίους κανείς μας δεν είχε προηγούμενη εμπειρία, και κατόρθωσα να δω ακόμα καλύτερα απόσο προηγούμενα πόσο σημαντική είναι η γνώση των θεμελιωδών κάθε χρήσης (plain fundamentals) για την τεχνική προσαρμοστικότητα (versatility) ενός μηχανικού ή ενός επιστήμονα. Καθώς προχωρούσε ο καιρός, αναπτυσσόταν ένα γενικό ενδιαφέρον για την βιοφυσική, την γεωφυσική, την αστροφυσική, την ωκεανογραφία και άλλες σπουδές που περιείχαν τούτη ή την άλλη πτυχή του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού. Τα μαθήματα Μαθηματικών που συνήθως ήταν μαθήματα υπηρεσίας για τους φοιτητές μηχανολογίας και επιστήμης γίνονταν ολοένα και πιο αφηρημένα και λιγότερο βοηθητικά για την οπτικοποίηση (visualizing) των φυσικών εννοιών. Και έτσι όταν ξανάπιασα στα 1965 το παλιό χειρόγραφο είδα ότι είχε χάσει με τον καιρό την επικαιρότητά του. Αυτό που χρειαζόταν, αντίθετα, ήταν ένα εξαμηνιαίο μάθημα αφιερωμένο στην υπομονετική συζήτηση των θεμελίων – μια βάση για πιο περιεκτικά μαθήματα ή για μαθήματα που ζητούσαν ένα αξιόπιστο (sound) αλλά όχι εκτεταμένο υπόβαθρο στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και κύματα. Το παρόν βιβλίο γράφτηκε για να ικανοποιήσει αυτές τις ανάγκες." [9], p: vii.

Αυτή η παράγραφος συγχέει την γνώση των θεμελιωδών κάθε χρήσης, που είναι πάντοτε απαραίτητη, με την προσαρμοστικότητα η οποία αφορά την γρήγορη αξιοποίηση αυτής της γνώσης, θεωρώντας μάλιστα βέβαιο ότι τέτοια αξιοποίηση είναι δυνατή. Παρουσιάζει σαν αναμφισβήτητη την δυνατότητα να υπάρχει αξιόπιστο αλλά όχι εκτεταμένο υπόβαθρο στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και κύματα. Διατυπώνει αστήρικτα συμπεράσματα. "Αυτό που χρειαζόταν ήταν ένα εξαμηνιαίο (sic) μάθημα αφιερωμένο στην υπομονετική (sic) συζήτηση!" Στο 10ο Κεφάλαιο διαβάζουμε: "Σε τούτο το Κεφάλαιο εκφράζουμε σε όρους θεωρίας πεδίου (sic) τον νόμο διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου." Ο συγγραφέας ορίζει το στοιχειώδες διαμέσου του πολύπλοκου! Οι J.H. Poynting - J.J. Thomson διατυπώνουν πολύ εύστοχα και λακωνικά, στον Πρόλογο του **1**, την βασική αρχή του (τετράτομου και ογκωδέστατου!) εγχειριδίου τους: "Η μαθηματική ανάπτυξη προχωράει μόνον τόσο μακριά όσο είναι απαραίτητο για να δοθεί ο απολογισμός των περιγραφόμενων πειραμάτων. Στόχος είναι να χτιστεί στέρεα το θεμέλιο πάνω στο οποίο η μαθηματική θεωρία οφείλει να ανηφωθεί."

Αντίθετα, ο V. Rojansky δεν μπαίνει στον κόπο να μας πει ποιά είναι η δική του αρχή. Φαντάζεται ότι γνωρίζει τι είναι αυτό που χρειαζόταν, στηριγμένος στο μισοτελειωμένο χειρόγραφο που είχε αφήσει πίσω του!

Τα σύγχρονα εγχειρίδια μας παρουσιάζουν μια Επιστήμη η οποία αφενός αποτελείται μόνον από δυσνόητες μαθηματικές σχέσεις και αφετέρου έχει χάσει την επαφή με την καθημερινή πράξη αλλά και με την χειρωνακτική εργασία με αποτέλεσμα να γίνεται παραπλανητική και αφόρητη. Για τους δύσπιστους μπορώ να προσθέσω μια ακόμα ενδιαφέρουσα πηγή. Πρόκειται για το γνωστό βιβλίο του James Clerk Maxwell (1831-1879): *An Elementary Treatise on Electricity* (1881). Στο Απόσπασμα από τον Πρόλογο του συγγραφέα, διαβάζουμε τα ακόλουθα:

“Το αντικείμενο του παρόντος έργου διαφέρει από εκείνο της μεγάλης μου πραγματείας *A Treatise on Electricity and Magnetism* (1873). Σε τούτο το τελευταίο έργο υποθέτω ότι ο αναγνώστης είναι εξοικειωμένος με τις μεθόδους των Ανώτερων Μαθηματικών οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται εδώ και η παρουσίαση του αντικειμένου γίνεται έτσι ώστε να κάμει τον αναγνώστη ικανό να προσεγγίσει την μαθηματική μελέτη των διάφορων φαινομένων της Επιστήμης. Στο μικρό αυτό έργο [που εκδόθηκε στα 1881, δηλαδή μετά τον θάνατο του Maxwell, Σ.Τ], προσπάθησα να εκθέσω, στην πλέον συμπαγή δυνατή μορφή, τα φαινόμενα τα οποία φαίνεται να ρίχνουν περισσότερο φως στην θεωρία του Ηλεκτρισμού, και να τα χρησιμοποιώ, το καθένα στην θέση του, έτσι ώστε να αναπτύσω, στο πνεύμα του αναγνώστη, τις ιδέες του Ηλεκτρισμού. Στην μεγάλη Πραγματεία είχα μερικές φορές χρησιμοποιήσει, μεθόδους τις οποίες δεν θεωρώ τις καλύτερες καθεαυτές, αλλά χωρίς τις οποίες ο αναγνώστης δεν θα μπορούσε να ακολουθήσει τις έρευνες των θεμελιωτών της μαθηματικής θεωρίας του Ηλεκτρισμού. Έκτοτε, πείστηκα περισσότερο για την ανωτερότητα των μεθόδων που είναι ανάλογες με εκείνες του Faraday, και, κατά συνέπεια, τις χρησιμοποίησα ευθύς εξαρχής σε τούτο το μικρό βιβλιαράκι. Στα δύο πρώτα Κεφάλαια, περιγράφω τα πειράματα τα οποία αποδεικνύουν τα κύρια γεγονότα που αναφέρονται στο ηλεκτρικό φορτίο, θεωρούμενο σαν μια ποσότητα που επιδέχεται μέτρηση. Το 3ο Κεφάλαιο, περί του ηλεκτρικού έργου και της ενέργειας, συνίσταται στην εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτά τα γεγονότα.”

Σε τούτο το αποσπασμα γίνονται φανερά και το ενδιαφέρον του Maxwell για τον αναγνώστη αλλά και η εντυπωσιακή ειλικρίνειά του όταν περιγράφει την δική του πορεία ωρίμανσης. Είναι γνωστό ότι ο Maxwell επηρεάστηκε κυρίως από τους Thomas Young (1773-1829) και Michael Faraday (1791-1867). Τόσο η αγγλική όσο και η γαλλική έκδοση του *An Elementary Treatise...* περιέχουν μια πολυσέλιδη και διαφωτιστική Εισαγωγή στις εργασίες πάνω στον Ηλεκτρισμό του Καθηγητή Maxwell, γραμμένη από τον William Garnett ο οποίος επιμελήθηκε την μεταθανάτια έκδοση του βιβλίου! Στις σελίδες vi-vii αυτής της Εισαγωγής βρήκα την ακόλουθη επιστολή της 25ης Μαρτίου 1857 του Faraday στον Maxwell:

“ Αγαπητέ Κύριε, έλαβα την εργασία σας και σας ευχαριστώ πολύ. Δεν λέω ότι σας ευχαριστώ προσωπικά για όσα είπατε για τις δυναμικές γραμμές, διότι γνωρίζω ότι το κάνατε αυτό από ενδιαφέρον για την φιλοσοφική αλήθεια, αλλά οφείλετε να υποθέσετε ότι αυτό μου είναι ευχάριστο και με ενθαρρύνει πολύ να τις σκέπτομαι αυτές. Κατ'αρχάς τρομοκρατήθηκα βλέποντας να συμπυκνώνετε σε αυτές μια τέτοια μαθηματική ισχύς, κατόπιν εντυπωσιάστηκα να την βλέπω να υποστηρίζει τόσο καλά τούτη την προσπάθεια. Σας στέλνω, με την παρούσα επιστολή, μια άλλη εργασία. Είμαι περιεργος να μάθω τι σκέπτεσθε για αυτήν. Ελπίζω ότι θα βρείτε κάποια αιτιολόγηση των ιδεών που αναπτύσσονται σε αυτήν, όσο τολμηρές (hardies) κι αν είναι. Υπολογίζω ότι την άνοιξη θα κατορθώσω να κάμω μερικά πειράματα πάνω στην διάρκεια της μαγνητικής δράσης, ή καλύτερα, στον αναγκαίο χρόνο για την εδραίωση της ηλεκτροτονικής κατάστασης γύρω από ένα ρευματοφόρο σύρμα που θα μπορούσαν να τεκμηριώσουν (étayer) το θέμα. Πολύ πιθανό είναι ότι ο χρόνος αυτός θα είναι πολύ σύντομος, όπως για το φως, αλλά το μέγεθος των αποτελεσμάτων, αν είναι καταφατικά, με εμποδίζει από το να απελπίζομαι. Ίσως θα ήταν καλύτερο να μην έχω πει τίποτα, διότι συχνά είμαι

αργός στην υλοποίηση των σχεδίων μου και μειονεκτώ κατά το ότι έχω ξεχασιάριχη μνήμη (mémoire fugitive). M. FARADAY.”

2.4 Το πέρασμα στην Κβαντομηχανική. Μιά αποσιωπημένη αλλά σημαντική διάσταση!

Επιτρέψτε μου τώρα να προχωρήσω μερικές δεκαετίες μπροστά, προκειμένου να αναδείξω τις σχετικές, με τα ζητήματα της κατανόησης, της μάθησης και της διδασκαλίας της Φυσικής, απόψεις ενός αξιόλογου αμερικανού φυσικού του Percy Williams Bridgman (1882-1961), γόνου μιας βαθύτατα θρησκευόμενης οικογένειας που έγινε, αργότερα, άθεος. Συγκριτικά με τους Roynting και Thomson, ο Bridgman πλεονεκτεί κατά το ότι γράφει μετά την εδραίωση της Κβαντομηχανικής και της Σχετικότητας, των δυο μεγάλων επαναστάσεων της Φυσικής στον 20ο αιώνα, και όχι πριν από αυτές όπως έκαναν εκείνοι. Ήταν επίσης αναγνωρισμένος πειραματικός φυσικός που για τις εργασίες του στην Φυσική των Υψηλών Πιέσεων βραβεύτηκε, στα 1946, με το βραβείο Nobel. Τέλος ήταν εξαιρετικός δάσκαλος, σε βαθμό να γράφει γι αυτόν ο Robert Oppenheimer (που υπήρξε προπτυχιακός του φοιτητής) ότι:

“I found Bridgman a wonderful teacher because he never really was quite reconciled to things being the way they were and he always thought them out. (Θεώρησα τον Bridgman υπέροχο δάσκαλο επειδή ποτέ δεν συμφιλιώθηκε με τα πράγματα όπως ήταν αλλά τα σκεφτόταν πάντα).”(Αναφορά για τον P.W. Bridgman στην αγγλική wikipedia.)

Θεωρώ λογικό να τονίσω ότι - σαν επιστέγασμα των παραπάνω αρετών του - έχει κατακτήσει την δυνατότητα να σκέπτεται την σκέψη ή για όσους προτιμούν το αγγλικό πρωτότυπο το think the thought και να το κάμνει αυτό χωρίς να δίνει την εντύπωση ότι 'πετάει στα σύννεφα"! Αναφέρομαι στα βιβλία του: 1) *The Thermodynamics of Electrical Phenomena in Metals...* (1925, 1934), 2) *The Logic of Modern Physics* (1927), 3) *The Nature of Thermodynamics* (1941). Πνεύμα διεισδυτικό και αριστοτεχνικό στην διατύπωση απόψεων οι οποίες κινητοποιούν το σκέπτεσθαι ο Bridgman δεν αποτελεί εύκολο ανάγνωσμα. Όντας ακριβολόγος και συμπυκνωμένος φαντάζει δυσνόητος σε πρώτη προσέγγιση αλλά ο επίμονος αναγνώστης του θα ανταμοιφθεί πλουσιοπάροχα. Με μια ανταμοιβή, μάλιστα, η οποία κλονίζει συθέμελα το αποικρουστικό οικοδόμημα της σύγχρονης Φυσικής του mainstream το οποίο μας αφήνει με την εντύπωση ότι η Φυσική είναι μόνον ένα σύνολο ακατανόητων μαθηματικών ακροβατισμών. Προσγειωμένος, σταθερά προσηλωμένος στην αξία του πειράματος και της μέτρησης, μεγάλος μάστορας στην παρουσίαση των απαραίτητων μαθηματικών εργαλείων αλλά και ακλόνητος υπερασπιστής της σημασίας του λεκτικού στοιχείου (verbal element) τόσο στην διδασκαλία όσο και στην μάθηση της Φυσικής, μας προσφέρει κείμενα που αποτελούν αναντικατάστατους συνοδοιπόρους του προβληματιζόμενου δασκάλου. Ας παρακολουθήσουμε το ταξίδι του στο δύσβατο μονοπάτι της Επιστήμης. Όπου προσπαθεί να δείξει τι είναι οι έννοιες της Φυσικής και πως τις χειριζόμαστε. Στο *The Logic of Modern Physics* (1927), [σελίδες 3-7] διαβάζουμε:

“ Μέχρι τώρα πολλές από τις έννοιες της Φυσικής είχαν οριστεί με όρους των ιδιοτήτων τους. Ένα άριστο παράδειγμα μας προσφέρει η έννοια του απόλυτου χρόνου... Τώρα, δεν υπάρχει καμιά βεβαιότητα ότι υπάρχει στην Φύση κάτι με ιδιότητες σαν κι εκείνες που υπονοούνται στον Νευτώνειο ορισμό, και η Φυσική όταν ανάγεται σε έννοιες τέτοιου χαρακτήρα γίνεται τόσο καθαρά αφηρημένη επιστήμη (abstract science) και τόσο απομακρυσμένη από την πραγματικότητα όπως απομακρυσμένη είναι η αφηρημένη Γεωμετρία (abstract Geometry) των Μαθηματικών, η χτισμένη πάνω σε αξιώματα (postulates). Είναι καθήκον του πειράματος να ανακαλύψει αν οι έτσι οριζόμενες έννοιες αντιστοιχούν σε κάτι στην Φύση, και οφείλουμε να είμαστε πάντα προετοιμασμένοι να βρούμε ότι οι έννοιες είτε δεν αντιστοιχούν σε τίποτε ή αντιστοιχούν μόνον εν μέρει. Ιδιαίτερα, αν εξετάσουμε τον

ορισμό του απόλυτου χρόνου κάτω από το φως του πειράματος, δεν βρίσκουμε τίποτα στην Φύση που νάχει τέτοιες ιδιότητες. Η νέα στάση απέναντι σε μια έννοια είναι εντελώς διαφορετική. Μπορούμε να επεξηγήσουμε εξετάζοντας την έννοια του μήκους: τι εννοούμε με το μήκος ενός αντικειμένου; Γνωρίζουμε, προφανώς, τι εννοούμε με την λέξη μήκος αν μπορούμε να πούμε τι είναι το μήκος ενός οποιουδήποτε και κάθε αντικειμένου και για τον φυσικό δεν απαιτείται τίποτε περισσότερο. Για να βρούμε το μήκος ενός αντικειμένου, οφείλουμε να εκτελέσουμε ορισμένες φυσικές λειτουργίες. Η έννοια του μήκους είναι, ως εκ τούτου, καθορισμένη όταν καθορισμένες είναι και οι λειτουργίες με τις οποίες μετρείται το μήκος: που σημαίνει ότι η έννοια του μήκους περιέχει ακριβώς τόσες λειτουργίες και τίποτα παραπάνω από το σύνολο των λειτουργιών με τις οποίες προσδιορίζεται το μήκος. Γενικά, με κάθε έννοια εννοούμε ένα σύνολο λειτουργιών και τίποτα παραπάνω. Η έννοια είναι συνώνυμη με το αντίστοιχο σύνολο λειτουργιών. Αν η έννοια είναι φυσική έννοια, όπως η έννοια του μήκους, οι λειτουργίες είναι πραγματικές φυσικές λειτουργίες δηλαδή εκείνες με τις οποίες μετρείται το μήκος, ενώ αν η έννοια είναι νοητική (mental), σαν την έννοια της μαθηματικής συνέχειας, οι λειτουργίες είναι νοητικές λειτουργίες, δηλαδή εκείνες με τις οποίες καθορίζουμε αν ένα δοσμένο σύνολο (aggregate) μεγεθών είναι συνεχές. Δεν έχουμε την πρόθεση να υπονοήσουμε ότι υπάρχει μια απαράβατη (hard and fast) διαίρεση ανάμεσα στις φυσικές και τις νοητικές έννοιες ή ότι ένα είδος εννοιών δεν περιέχει πάντοτε ένα στοιχείο του άλλου είδους, πάντως αυτή η ταξινόμηση των εννοιών δεν είναι σημαντική για τις μελλοντικές σκέψεις μας. Οφείλουμε να απαιτήσουμε να είναι μοναδικό (unique) το σύνολο των λειτουργιών που ισοδυναμεί με μια έννοια, διότι αλλιώς υπάρχουν δυνατότητες αμφισημίας στις πρακτικές εφαρμογές, τις οποίες (δυνατότητες) δεν μπορούμε να αποδεχτούμε. Εφαρμόζοντας τούτη την ιδέα της “έννοιας” για τον απόλυτο χρόνο, δεν καταλαβαίνουμε την σημασία του απόλυτου χρόνου εκτός κι αν μπορούμε να πούμε με ποιό τρόπο θα προσδιορίσουμε τον απόλυτο χρόνο οποιουδήποτε συγκεκριμένου γεγονότος, δηλαδή, εκτός κι αν μπορούμε να μετρήσουμε τον απόλυτο χρόνο. Τώρα απλά οφείλουμε να εξετάσουμε οποιαδήποτε από τις δυνατές λειτουργίες με τις οποίες μετράμε τον χρόνο για να δούμε ότι όλες οι τέτοιες λειτουργίες είναι σχετικές λειτουργίες. Επομένως η προηγούμενη δήλωση ότι ο απόλυτος χρόνος δεν υπάρχει αντικαθίσταται από την δήλωση ότι ο απόλυτος χρόνος είναι χωρίς νόημα (meaningless). Και κάνοντας αυτή την δήλωση δεν λέμε κάτι καινούργιο για την Φύση, αλλά απλά φωτίζουμε συνέπειες που περιέχονται ήδη στις φυσικές λειτουργίες που χρησιμοποιούνται για να μετρήσουμε τον χρόνο. Είναι προφανές ότι αν υιοθετήσουμε αυτή την άποψη απέναντι στις έννοιες, δηλαδή ότι ο κατάλληλος ορισμός μιας έννοιας δεν γίνεται με όρους των ιδιοτήτων της αλλά με όρους πραγματικών λειτουργιών, δεν χρειάζεται να διακινδυνεύσουμε να αναθεωρήσουμε την στάση μας απέναντι στην Φύση. Διότι αν η εμπειρία περιγράφεται πάντοτε με όρους εμπειρίας, οφείλει οπωσδήποτε να υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στην εμπειρία και την δικιά μας περιγραφή της, και δεν είναι ποτέ απαραίτητο να ενοχληθούμε - όπως ενοχληθήκαμε προσπαθώντας να βρούμε στην Φύση το πρωτότυπο (prototype) του Νευτώνειου απόλυτου χρόνου. Παραπέρα, αν θυμόμαστε ότι οι λειτουργίες με τις οποίες μια φυσική έννοια είναι ισοδύναμη είναι πραγματικές φυσικές λειτουργίες, οι έννοιες μπορούν να οριστούν μόνο στο πεδίο του πραγματικού πειράματος ενώ δεν ορίζονται και είναι χωρίς σημασία (meaningless) σε πεδία τα οποία δεν έχουν αγγιχτεί από το πείραμα. Ακριβολογώντας προκύπτει από αυτό ότι δεν μπορούμε να κάνουμε καθόλου δηλώσεις για πεδία ανέγγιχτα μέχρι τώρα από το πείραμα και ότι όταν κάνουμε τέτοιες δηλώσεις, όπως αναπόφευκτα θα κάνουμε, έχουμε κάμει μια συμβατική extrapolation της χαλαρότητας (looseness) της οποίας οφείλουμε να είμαστε πλήρως συνειδητοί και η δικαιολόγηση της οποίας βρίσκεται στο πείραμα του μέλλοντος. Πιθανώς δεν υπάρχει δήλωση, είτε στον Einstein είτε σε άλλους συγγραφείς, ότι η

ως άνω περιγραφείσα αλλαγή στην χρήση της “έννοιας” έχει γίνει μισο-συνειδητά, αλλά το ότι έτσι έχουν τα πράγματα αποδεικνύεται, πιστεύω, από την εξέταση του τρόπου με τον οποίο οι έννοιες χρησιμοποιούνται τώρα από τον Einstein και άλλους. Διότι φυσικά η πραγματική σημασία ενός όρου οφείλει να βρίσκεται παρατηρώντας τι κάνει κανείς με αυτόν, όχι τι λέει κανείς για αυτόν. Οφείλουμε να δείξουμε ότι αυτή είναι η πραγματική σημασία με την οποία η έννοια καταλήγει να χρησιμοποιείται εξετάζοντας ιδιαίτερα τον χειρισμό της έννοιας του ταυτόχρονου (simultaneity) από τον Einstein. Πριν από τον Einstein, η έννοια του ταυτόχρονου οριζόταν με όρους ιδιοτήτων. Ήταν μια ιδιότητα δύο γεγονότων, όταν αυτά περιγράφονταν ανφορικά με την σχέση τους στον χρόνο, όταν το ένα γεγονός συνέβαινε είτε πριν είτε μετά από το άλλο είτε ταυτόχρονα με το άλλο. Η έννοια του ταυτόχρονου ήταν μια ιδιότητα των δύο γεγονότων μονάχα και τίποτε άλλο – είτε δύο γεγονότα ήταν ταυτόχρονα, είτε δεν ήταν. Η δικαιολόγηση για την χρήση αυτού του όρου με αυτόν τον τρόπο ήταν ότι φαινόταν να περιγράφει την συμπεριφορά των υπαρκτών πραγμάτων. Αλλά φυσικά η εμπειρία περιοριζόταν έτσι σε ένα στενό πεδίο. Όταν το πεδίο της εμπειρίας πλάτυνε, όπως συνέβη περνώντας στις υψηλές ταχύτητες, βρέθηκε ότι οι έννοιες δεν εφαρμόζονταν πλέον, επειδή δεν υπήρχε αντίστοιχο (counterpart) στην εμπειρία για τούτη την απόλυτη σχέση ανάμεσα σε δύο γεγονότα. Ο Einstein υπέβαλλε τώρα την έννοια του ταυτόχρονου σε κριτική η οποία ουσιαστικά συνίστατο στο να δείξει ότι οι λειτουργίες που επιτρέπουν σε δύο γεγονότα να περιγραφούν σαν ταυτόχρονα εμπεριέχουν μετρήσεις στα δυο γεγονότα γινομένες από έναν παρατηρητή, έτσι ώστε η “έννοια του ταυτόχρονου” είναι, επομένως, όχι μια απόλυτη ιδιότητα των δύο γεγονότων και τίποτε άλλο, αλλά οφείλει επίσης να εμπεριέχει την σχέση των δύο γεγονότων με τον παρατηρητή. Μέχρι, επομένως, να έχουμε πειραματική απόδειξη του αντιθέτου οφείλουμε να είμαστε προετοιμασμένοι να βρούμε ότι ο ταυτόχρονος χαρακτήρας δύο γεγονότων εξαρτάται από την σχέση τους με τον παρατηρητή και, ιδιαίτερα, με την ταχύτητά τους. Αναλύοντας έτσι ο Einstein ότι εμπεριέχεται σε μια κρίση για την έννοια του ταυτόχρονου και εστιάζοντας στην πράξη του παρατηρητή σαν ουσία της κατάστασης υιοθετεί πραγματικά μια νέα άποψη για το πως θα έπρεπε να είναι οι έννοιες της Φυσικής, δηλαδή, την λειτουργική άποψη. Προφανώς ο Einstein πήγε πράγματι πολύ μακρύτερα από αυτό και βρήκε με ποιόν ακριβώς τρόπο οι λειτουργίες της έννοιας του ταυτόχρονου αλλάζουν όταν ο παρατηρητής κινείται και πέτυχε ποσοτικές εκφράσεις για το αποτέλεσμα της κίνησης του παρατηρητή πάνω στον σχετικό χρόνο των δύο γεγονότων. Οφείλουμε να σημειώσουμε, παρενθετικά, ότι υπάρχει μεγάλη ελευθερία επιλογής στο να επιλέξουμε τις σωστές λειτουργίες – εκείνες που επιλέχθηκαν από τον Einstein χαρακτηρίζονταν από βολικότητα (convenience) και απλότητα (simplicity) σχετικά με τις δέσμες φωτός. Ξέχωρα από τις ακριβείς ποσοτικές σχέσεις της θεωρίας του Einstein ωστόσο, το σημαντικό σημείο για εμάς είναι ότι αν είχαμε υιοθετήσει την λειτουργική άποψη, θα μπορούσαμε, πριν από την ανακάλυψη των πραγματικών φυσικών γεγονότων, να έχουμε δει ότι η έννοια του ταυτόχρονου είναι ουσιαστικά μια σχετική έννοια, και να έχουμε αφήσει χώρο στην σκέψη μας για την ανακάλυψη τέτοιων αποτελεσμάτων σαν κι εκείνα που ανακαλύφθηκαν αργότερα.”.

2.5 Το λεκτικό στοιχείο (verbal element).

Εγκλωβισμένος στο τεράστιο πλήθος των διαθέσιμων μοντέρνων εγχειριδίων (παρόμοιων με εκείνο του V. Rojansky) που κάνουν παραπλανητική, σκοταδιστική χρήση του λεκτικού στοιχείου, ο απελπισμένος διδάσκων στρέφεται συχνά σε δοκίμια γραμμένα από πρώτου μεγέθους φυσικούς ελπίζοντας ότι θα μπορέσει να τα χρησιμοποιήσει (μέσα στα ασφυκτικά χρονικά περιθώρια που του αφήνουν οι εγκύκλιοι) προκειμένου να δείξει στους μαθητές την ορθή χρήση του. Εδώ όμως παραμονεύει ένας κίνδυνος

που μας δίνει να καταλάβουμε για ποιό λόγο λέμε, συχνά, ότι ο εκπαιδευτής οφείλει να επανεκπαιδεύεται διαρκώς! Η αγοραία αντίληψη για την μελέτη θεωρεί ότι διαβάζουμε για την απόλαυση (χωρίς να εξηγήσει πως δημιουργείται αυτή!), για να περνάει η ώρα ή για να απομνημονεύουμε 'ατάκες' χρήσιμες σε πιθανές αντιπαραθέσεις του καφενείου. Ενώ η μελέτη γίνεται για να επιτευχθεί η κατανόηση, πράγμα που απαιτεί *μολύβι και χαρτί, αριετό χρόνο, πάμπολλες προσπάθειες*. Χρειάζονται πάμπολλες προσπάθειες διότι όταν επιχειρούμε να γράψουμε, δηλαδή να εφαρμόσουμε την γνωστή κινέζικη παροιμία *ακούω και ξεχνάω, βλέπω και θυμάμαι, γράφω και καταλαβαίνω*, παρατηρούμε έκπληκτοι ότι ένα κείμενο, στην αρχική του μορφή, είναι γεμάτο ακατανόητες διατυπώσεις. Αυτόνοητο είναι ότι ακατανόητες διατυπώσεις υπάρχουν παντού. Σε εφημερίδες και σε περιοδικά, σε δοκίμια, σε κριτικές, σε κείμενα εκλαίκευσης της Επιστήμης, σε οικονομικά έντυπα. Τις διατυπώσεις αυτές ο Steven Pinker [7] τις αποδίδει σε κείνο που αποκαλεί -με κάποια δόση μεταφυσικής - *κατάρα της γνώσης*' (curse of knowledge), δηλαδή στην δυσκολία του συγγραφέα να φανταστεί τι σημαίνει για κάποιον το να μην γνωρίζει εκείνο το οποίο ο συγγραφέας γνωρίζει. Εξηγεί όμως, στη συνέχεια, ότι η δυσκολία αυτή μπορεί να οφείλεται σε εγωκεντρισμό (όπου δεν μπορούμε να φανταστούμε ότι κάποιος άλλος είναι δυνατόν να έχει διαφορετική προσέγγιση των πραγμάτων από την δική μας), σε λανθασμένη συναίνεση (false consensus) (όταν θεωρούμε ότι η δική μας απάντηση σε κάποιο εξωτερικό ερέθισμα οφείλει νάναι η ίδια και για οποιονδήποτε άλλον), σε ψευδαίσθηση διαφάνειας (illusory transparency) (στην οποία παρατηρητές οι οποίοι γνωρίζουν ο καθένας για τον εαυτό του τα υπονοούμενα ενός ομιλητή θεωρούν ότι όλοι οι άλλοι ακροατές του ομιλητή τα γνωρίζουν επίσης) και, τέλος, σε τυφλότητα του νου (mindblindness) (που είναι απουσία θεωρίας του Νου). Το ζήτημα αυτό ο Pinker το παρουσιάζει με ελκυστικό και, κυρίως, παιδαγωγικό τρόπο ώστε να βοηθάει τον αναγνώστη να αποφύγει στα κείμενά του τις ακατανόητες διατυπώσεις. Να τονίσω, εδώ, ότι όταν καλούμε τους μαθητές μας να διατυπώσουν την θεωρία με δικά τους λόγια θέλουμε ακριβώς να τους βοηθήσουμε να τις αποφεύγουν! Και σε τούτη μας την προσπάθεια έγκειται το μεγαλείο της δουλειάς μας. Που συνοδεύεται σταθερά από την απογοήτευση που μας καταλαμβάνει μπροστά στα ερωτήματα πολλαπλής επιλογής τα οποία έχουν καταστροφική επίδραση πάνω σε τούτη ακριβώς την προσπάθεια!

Αφού όμως τα δοκίμια δεν είναι εγχειρίδια αλλά βιβλία γραμμένα από ανθρώπους που βρίσκονται στο ζενίθ της επιστημονικής τους καριέρας είναι λογικό να παρουσιάζουν τα συμπεράσματά τους **χωρίς να αναλύουν** τα πειράματα και **χωρίς να χτίζουν** τις επιστημονικές έννοιες, αφού η γνώση τόσο των πειραμάτων όσο και των εννοιών είναι ήδη κτήμα των συγγραφέων ενώ δεν είναι κτήμα όλων των αναγνώστων. Έτσι ο μαθητής βρίσκει έτοιμα τα συμπεράσματα τα οποία έπρεπε να αγωνιστεί για να βγάλει, δηλαδή δεν του δίνεται ούτε καν η ευκαιρία να διαμορφώσει **μόνος του** τις σωστές διατυπώσεις αφού του προσφέρονται έτοιμες. Συνεπώς αποκομίζει αβίαστα (αλλά λόγω της λανθασμένης επιλογής των δασκάλων του και όχι λόγω της δικής του εργασίας) την εντύπωση ότι η Επιστήμη είναι γραμμένη μια για πάντα και το μόνο που έχει να κάνει ο ίδιος είναι να παπαγαλίζει τις λέξεις που βλέπει μπροστά του. Έτσι οσοδήποτε αποτελεσματική κι αν είναι η παπαγαλία τα συμπεράσματα δεν έχουν για τον ίδιο καμιά αδιαπραγμάτευτη αξία και επομένως θα εγκαταλειφθούν αμέσως μόλις βρεθεί μια άλλη, ενδεχομένως πιό ελκυστική, διατύπωση! Αφού δε ο εγκέφαλος δεν έχει **διδασχτεί** να διακρίνει το ελκυστικό από το σωστό, ο μαθητής θα γίνει, χωρίς καμιά αντίσταση, έρμαιο απατεώνων.

Επομένως δεν πρέπει να μας παραξενεύει το ότι στην τρίτη δεκαετία του 21ου αιώνα οι άνθρωποι προτιμούν να μιλούν για την *γοητεία του ολοκληρωτισμού* και όχι για την τεράστια δυσκολία της μάθησης.

Αλλά πρέπει να αποφεύγουμε να διαιωνίζουμε την αμάθεια στους μαθητές μας αυξάνοντας, επομένως, την διάρκεια ζωής του καπιταλισμού ενώ νομίζουμε πως τον αντιπαλεύουμε.

Στην συνέχεια του άρθρου παραθέτω αυτούσιο το 8ο Κεφάλαιο του κλασικού εγχειριδίου του David Bohm (1917-1992): *Quantum Theory (1951)*. Το Κεφάλαιο αυτό το επέλεξα επειδή το θεωρώ μια σχετικά εύληπτη και επιστημονικά αξιοπρεπή παρουσίαση των αρχικών ιδεών της Κβαντομηχανικής. Το δε *Quantum Theory* παραμένει ακόμα και στις μέρες μας, δηλαδή 72 χρόνια μετά την συγγραφή του, ένα παγκόσμια αναγνωρισμένο textbook. Γραμμένο από έναν σημαντικό θεωρητικό φυσικό ο οποίος κατά την

συγγραφή του συμμορφώθηκε πλήρως με τις αρχές του Niels Bohr, ενώ λίγο αργότερα άρχισε, στηριζόμενος στις δικές του επιστημονικές έρευνες, να απομακρύνεται από την λεγόμενη 'ορθόδοξη' προσέγγιση της Κβαντομηχανικής. Σημειωτέον ότι παρόμοια πορεία είχε ακολουθήσει τουλάχιστον δύο δεκαετίες πριν από τον David Bohm και ο Louis de Broglie. Η παρόμοια πορεία των δύο μεγάλων φυσικών δείχνει, πέρα από κάθε αμφιβολία, ότι ενδιαφέρονταν για την επιστημονική αλήθεια την οποία δεν θεωρούσαν ούτε στατική ούτε δεδομένη μια για πάντα! Είναι αυτονόητο ότι στην παρούσα εργασία το 8ο Κεφάλαιο θα προσεγγιστεί μόνον από διδακτική σκοπιά αφού κύριο ενδιαφέρον του εκπαιδευτικού είναι να αναζητήσει τους τρόπους δουλειάς που οδηγούν στην σωστή κατανόηση των Θεμελίων. Ας προσέξει ο αναγνώστης ότι ο Bohm αφιερώνει το 3ο Κεφάλαιο του *Quantum Theory* στα Κυματοπακέτα (wave packets) και στα Κύματα de Broglie – έννοιες οι οποίες προϋποθέτουν βαθειά γνώση του Ηλεκτρισμού και όχι μόνον αυτού - ενώ συζητά την Μαθηματική Διατύπωση της Κβαντικής Θεωρίας πολύ αργότερα, στο 9ο μόλις Κεφάλαιο!

3 Το 8ο Κεφάλαιο του *Quantum Theory* (1951).

3.1 Η Ανάγκη για Νέες Έννοιες.

Χαράξαμε, βήμα προς βήμα, την αλυσίδα των συλλογισμών που οδηγούν από την κλασική στην κβαντική Φυσική². Κάνοντάς το αυτό, πετύχαμε μια θεωρία η οποία βρίσκεται σε εξαιρετική ποσοτική συμφωνία με ένα μεγάλο πεδίο πειραμάτων, τα αποτελέσματα των οποίων διαψεύδουν ακόμη και τις ποιοτικές προβλέψεις της κλασικής θεωρίας. Η νέα θεωρία στην οποία οδηγηθήκαμε αντιπροσωπεύει, ωστόσο, όχι μόνον μια μακρόπνοη αλλαγή στο περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης, αλλά επίσης μια ακόμη πιο ριζική αλλαγή στις θεμελιώδεις έννοιες, μέσω των οποίων τούτη η γνώση πρόκειται να εκφραστεί. Οι τρεις κύριες αλλαγές σε τούτες τις έννοιες είναι: (1) Αντικατάσταση της έννοιας της συνεχούς τροχιάς με εκείνη των αδιαίρετων μεταπτώσεων. (2) Αντικατάσταση της έννοιας του πλήρους αιτιοκρατίας με εκείνη της αιτιότητας υπό στατιστική έννοια. (3) Αντικατάσταση της παραδοχής ότι ο κόσμος είναι δυνατόν να αναλυθεί ορθά σε διακριτά μέρη, με το καθένα από αυτά να έχει μια σταθερή 'εσωτερική' φύση (επι του προκειμένου, κύμα ή σωματίδιο), από την ιδέα ότι ο κόσμος είναι ένα αδιαίρετο όλο στο οποίο τα μέρη εμφανίζονται σαν αφαιρέσεις ή προσεγγίσεις, έγκυρες μόνον στο κλασικό όριο. Επειδή το μεγαλύτερο τμήμα της εμπειρίας κερδήθηκε, μέχρι τώρα, σε σύνδεση με φαινόμενα τα οποία περιγράφονται με καλή προσέγγιση από κλασικές έννοιες, οι νέες κβαντικές έννοιες είναι ανοίξιες. Σε τούτο το κεφάλαιο, θα προσπαθήσουμε να κάνουμε αυτές τις νέες έννοιες πιο οικίες και να δείξουμε ότι είναι, τουλάχιστον κατά βάση, τόσο εύλογες όσο εκείνες της κλασικής θεωρίας. Η διαδικασία μας θα είναι, να προσφέρουμε μια κριτική συζήτηση των κλασικών εννοιών της συνέχειας και του πλήρους ντετερμινισμού, προκειμένου να δείξουμε ότι δεν υπάρχει α priori λογικός λόγος για την υιοθέτησή τους. Θα δείξουμε επίσης ότι οι κβαντικές έννοιες των αδιαίρετων μεταπτώσεων και του ελλειπούς ντετερμινισμού είναι όχι μόνον αυτοσυνεπείς κάτω από λογική σκοπιά, αλλά επίσης πολύ περισσότερο ανάλογες με ορισμένες απλοϊκές έννοιες οι οποίες αναδεικνύονται σε αρκετές φάσεις της κοινής εμπειρίας. Θα οδηγηθούμε τότε στην αρχή της συμπληρωματικότητας του Bohr, η οποία υπήρξε η πρώτη ποιοτική διατύπωση των νέων εννοιών των απαιτούμενων για την κατανόηση των κβαντικών ιδιοτήτων της ύλης. Μετά από αυτό, θα συζητήσουμε κριτικά τις κλασικές έννοιες της ανάλυσης ενός συστήματος στα συστατικά του μέρη και την σύνθεση τούτων των μερών στο κβαντικό πεδίο. Έτσι θα οδηγηθούμε να αποτυπώσουμε τον κόσμο σαν ένα αδιαίρετο όλο. Τελικά, θα συζητήσουμε ορισμένες αναλογίες στις κβαντικές έννοιες οι οποίες θάπρεπε να βοηθήσουν τον αναγνώστη να καταλάβει με έναν πιο δημιουργικό τρόπο μερικές από τις επιπτώσεις της κβαντικής θεωρίας.

²Πολλές από τις ιδέες που υπάρχουν σε τούτο το Κεφάλαιο αποτελούν επεξεργασία του υλικού μιάς σειράς διαλέξεων του Niels Bohr. (Δες N. Bohr: Atomic Theory and Description of Nature.)

3.2 Συζήτηση για την Έννοια της Συνέχειας.

Ας ξεκινήσουμε από το πρόβλημα της συνέχειας της κίνησης των σωματιδίων στην κλασική Φυσική. Οι βασικές μεταβλητές, που περιγράφουν ένα κλασικό στοιχειώδες σωματίδιο, είναι η θέση του και η ταχύτητά του (ή, η ορμή του) και οι δύο από τις οποίες υποτίθεται ότι κάθε καθορισμένη στιγμή έχουν ορισμένες τιμές μεταβαλλόμενες συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου. Θα ξεκινήσουμε εξετάζοντας μόνον τις απλούστερες ιδέες μας σχετικά με αυτά τα πράγματα, και αργότερα θα προχωρήσουμε σε πιο εκλεπτυσμένες θεωρίες της συνέχειας και στην χρήση παραγώγων για να περιγράψουμε την ταχύτητα ενός σωματιδίου.

3.3 Απλές και Σχηματικές Ιδέες σχετικές με την Συνέχεια της Κίνησης.

Οι απλούστερες ιδέες μας γύρω από την θέση ενός αντικειμένου φαίνεται να υπονοούν ότι ένα αντικείμενο με καθορισμένη θέση δεν κινείται. Δηλαδή αν προσπαθήσουμε να σχεδιάσουμε την θέση ενός αντικειμένου με τέλεια ακρίβεια, φαίνεται να φανταζόμαστε ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε μιιά σταθερή θέση και όχι σε άλλη. Μπορούμε να προσπαθήσουμε να αναπαραστήσουμε την κίνηση σαν μια διαδοχή αντικειμένων σε ελαφρά διαφορετικές θέσεις, όπως γίνεται στα κινούμενα σχέδια, αλλά μια διαδοχή σταθερών θέσεων δεν περιλαμβάνει όλες τις ιδιότητες που συνήθως αντιστοιχίζονται στην κίνηση. Ιδιαίτερα, δεν φαίνεται να εμπεριέχει την ιδέα ότι ένα πραγματικό κινούμενο αντικείμενο καλύπτει συνεχώς τον χώρο καθώς περνά ο χρόνος. Για να σχεδιάσουμε την πραγματική διαδικασία της κίνησης που λαμβάνει χώρα με συνεχή τρόπο, οφείλουμε να φανταστούμε ένα αντικείμενο το οποίο καλύπτει το οποίο καλύπτει κάποιο χώρο σε κάποιο χρονικό διάστημα. Οφείλουμε να περιορίσουμε το στοιχείο του χρόνου σε μια πολύ μικρή τιμή και έτσι να περιορίσουμε την απροσδιοριστία της θέσης σε μια αντίστοιχα μικρή τιμή. Αλλά δεν μπορούμε να περιορίσουμε την απροσδιοριστία στο μηδέν και εντούτοις να πετύχουμε μια εικόνα ενός κινούμενου αντικειμένου, διότι σχεδιάζοντας ένα αντικείμενο σε μια απόλυτα καθορισμένη θέση στον χώρο δεν μπορούμε να μην το θεωρήσουμε σταθερό. Με άλλα λόγια, δεν μπορούμε να σκεφτούμε ταυτόχρονα την θέση ενός αντικειμένου και την ταχύτητά του. Θα μπορούσε να επιχειρηματολογήσει κανείς ότι μπορούμε να ορίσουμε μια συνεχή τροχιά ενός κινούμενου αντικειμένου και ότι σε κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή έχει κάποια καθορισμένη θέση. Αν αυτό είναι σωστό ή όχι θα συζητηθεί αργότερα, αλλά προς το παρόν ότι αυτή η διαδικασία ουσιαστικά προσδιορίζει μερικά από τα αποτελέσματα της κίνησης αφότου αυτή έχει συμβεί. Δεν δίνεται μια εικόνα του αντικειμένου στην διαδικασία της κίνησης. Για να πετύχουμε μια τέτοια εικόνα, πρέπει να επιτρέψουμε στην θέαση της θέσης να θολώσει ελαφρά. Για παράδειγμα μια θολωμένη φωτογραφία ενός γρήγορα κινούμενου αυτοκινήτου μας υποβάλλει την ιδέα ότι το αυτοκίνητο κινείται, διότι υπονοεί την συνεχή κάλυψη χώρου κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Από την άλλη, μια ευδιάκριτη φωτογραφία ενός κινούμενου αυτοκινήτου, βγαλμένη με μια πολύ γρήγορη μηχανή δεν υποβάλλει κίνηση. Αυτό το κατάλοιπο απροσδιοριστίας στην φωτογραφία μας ενός κινούμενου αντικειμένου μας υποβάλλει πραγματικά να σκεφτούμε ότι ένα τέτοιο αντικείμενο βρίσκεται σε μια κατάσταση μετάβασης από μια θέση στην επόμενη. Όταν βρίσκεται σε τούτη την κατάσταση μετάβασης η φωτογραφία μας δεν μας λέει μάλλον που βρίσκεται αλλά μας δείχνει, αντίθετα, πως η μέση θέση του αλλάζει με τον χρόνο. Σε τούτη την βασική έννοια της κίνησης, φαίνεται να οφείλουμε να συμπεριλάβουμε την ιδέα ότι ένα συνεχώς κινούμενο αντικείμενο έχει ένα κάπως απροσδιόριστο πεδίο θέσεων.

3.4 Ομοιότητα των Απλών Ιδεών της Κίνησης και των Κβαντικών Εννοιών.

Η απλή εικόνα της κίνησης έχει πολλά σημεία ομοιότητας με εκείνη που υποβάλλεται από την κβαντική θεωρία, αν και οι δύο είναι, φυσικά, όχι ακριβώς ίδιες. Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, η ορμή, και ως εκ τούτου η ταχύτητα, μπορεί να αποκτήσει μια ακριβή σημασία μόνον όταν υπάρχει πρόβλεψη για μια κυματοειδή δομή στο χώρο. Όταν αυτή η πρόβλεψη έχει γίνει, το κυματοπακέτο (wavepacket)

είναι σε μια κατάσταση μετάβασης διαμέσου του χώρου, στην οποία η μέση του θέση κινείται από ένα σημείο στο επόμενο με μια αξιόπιστα ορισμένη ταχύτητα. Αλλά η κίνηση του κυματοπακέτου είναι ανάλογη με την απλή εικόνα μας ενός σωματιδίου σε κίνηση επειδή, και στα δυό, το σωματίδιο αντιληπτό να καλύπτει έτσι ένα πεδίο θέσεων σε κάθε στιγμή, ενόσω η μέση θέση αλλάζει ομοιόμορφα με τον χρόνο. Κι βαντική θεωρία, επομένως, δίνει μια εικόνα της διαδικασίας της κίνησης η οποία είναι αισθητά πιο κοντά στις απλούστατες έννοιές μας απόσο είναι η κλασική θεωρία. Δεν μπορούμε να οπτικοποιήσουμε ταυτόχρονα ένα σωματίδιο που να έχει ορισμένη ορμή και θέση. Η βαντική θεωρία ότι δεν είναι αναγκαίο να προσπαθήσουμε να το κάνουμε, διότι τέτοια σωματίδια δεν υπάρχουν.

3.5 Ομοιότητα των Απλών Ιδεών των σχετικών με την Σταθερή Θέση και των Κβαντικών Εννοιών.

Με ποιό τρόπο οι απλοϊκές ιδέες μας της κίνησης μοιάζουν να διαφέρουν από την κβαντική εικόνα; Σύμφωνα με τις απλούστατες ιδέες μας, είναι δυνατόν να έχουμε ένα αντικείμενο σε ακινησία, σε σταθερή θέση, ενώ η αρχή της απροσδιοριστίας μας λέει ότι ένα αντικείμενο σε σε καλά-ορισμένη θέση έχει πολύ αόριστη ορμή. Η προσεκτική μελέτη δείχνει, ωστόσο, ότι αυτή η άποψη είναι πραγματικά σε στενή συμφωνία με την απλή εικόνα μας. Εκείνο που μπορούμε να πούμε είναι ότι, αν σκεφτούμε ένα αντικείμενο σε δοσμένη θέση, τότε απλά δεν μπορούμε να σκεφτούμε την ταχύτητά του την ίδια στιγμή. Έτσι, αν αποφύγουμε την δυνατότητα να σκεφτούμε την κίνηση ενός αντικειμένου με συνεχή τρόπο, μπορούμε να αρχίσουμε απεικονίζοντάς το σε μια ορισμένη θέση, και μετά μπορούμε να φανταστούμε ότι σε έναν σύντομο, αλλά πεπερασμένο, χρόνο αργότερα βρίσκεται κάπου αλλού. Που αλλού, δεν μπορούμε να συνάγουμε από την αρχική μας εικόνα, κάθε θέση είναι εξίσου σύμφωνη με αυτήν. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε ταχύτητα είναι επίσης εξίσου σύμφωνη με την εικόνα μας ενός σωματιδίου σε ορισμένη θέση. Αυτή η ιδέα είναι αξιοσημείωτα κοντά στην κβαντική θεωρητική περιγραφή. Όσο ακριβέστερα ορίζουμε το κυματοπακέτο, τόσο πιο γρήγορα αυτό εξαπλώνεται, και τόσο λιγότερο ικανοί είμαστε να δώσουμε μια προσεγγιστικά συνεχή περιγραφή της κίνησης. Καταλήγουμε οι απλοϊκές μας εικόνες και η κβαντική θεωρία μοιάζουν κατά το ότι έχουν και οι δυό την ακόλουθη ιδιότητα: Είναι δυνατόν να δώσουμε μια συνεχή εικόνα της κίνησης μόνον αν η θέση ξεθωριάζει ή γίνει αόριστη, και είναι δυνατόν να δώσουμε μια εικόνα ενός σωματιδίου σε ορισμένη θέση μόνον αν αποφύγουμε την δυνατότητα να το απεικονίσουμε σε συνεχή κίνηση. Αν και οι απλοϊκές εικόνες μας και η κβαντική θεωρητική περιγραφή μοιάζουν στενά η μια με την άλλη, δεν πρέπει να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η κβαντική θεωρία είναι ολόδια (identical) με την απλοϊκή εικόνα. Τονίζουμε απλά την κοντινή λειτουργική αναλογία στον τρόπο με τον οποίο οι δυό εικόνες αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της κίνησης.

3.6 Πιο Εκλεπτυσμένες (Sophisticated) Ιδέες, Εμπεριέχουσες την Έννοια της Συνεχούς Τροχιάς.

Θα μπορούσε να αναδειχτεί η ένσταση ότι οι απλές ιδέες μας είναι υπερβολικά απλοϊκές για να παρθούν στα σοβαρά. Αντίθετα ας ικανοποιηθούμε με μια περιγραφή με όρους συνεχούς τροχιάς, για την οποία οι συντεταγμένες σε κάθε χρονική στιγμή μπορούν να οριστούν όσο ακριβέστερα επιθυμούμε. Δεν μπορούμε να απεικονίσουμε απευθείας την διαδικασία της κίνησης, δεν οφείλουμε να το κάνουμε αυτό επειδή η έννοια της παραγώγου μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Για να γίνει αυτό, θεωρούμε ένα μικρό χρονικό διάστημα Δt και προσδιορίζουμε μια απόσταση Δx διανυθείσα κατά την διάρκεια του χρονικού αυτού διαστήματος. Πετυχαίνουμε έτσι την μέση ταχύτητα σε τούτο το χρονικό διάστημα Αν επιτραπεί στο Δt να τείνει προς το μηδέν, η θα τείνει σε ένα ορισμένο όριο, το οποίο ορίζουμε σαν ταχύτητα στο ορισμένο σημείο. Έτσι, αν και είμαστε ανίκανοι να φανταστούμε την ταχύτητα αυτή απευθείας μέσω κάποιου είδους νοητικής εικόνας, μπορούμε, αντίθετα, να χρησιμοποιήσουμε τον μαθηματικό ορισμό. Το

ερώτημα αν αυτό το όριο υπάρχει πάντα είναι ερώτημα που οι μαθηματικοί έχουν μελετήσει σε μεγάλο βάθος. Το όριο οπωσδήποτε υπάρχει για κοινές συναρτήσεις όπως η $\sin x$, αλλά οι μαθηματικοί μπορούν εύκολα να ορίσουν συναρτήσεις που είναι παντού ασυνεχείς και οι οποίες δεν έχουν παραγώγους σε κάθε σημείο. Ας θεωρήσουμε για παράδειγμα μια συνάρτηση που έχει την τιμή μηδέν όποτε ο ανεξάρτητη μεταβλητή είναι ρητός αριθμός αλλά την τιμή ένα όταν είναι άρρητος αριθμός. Αυτή η συνάρτηση είναι πλήρως ασυνεχής. Σε κείμενα Φυσικής, ωστόσο, καμιά προσοχή δεν δίνεται σε τέτοιες συναρτήσεις, διότι υποτίθεται σιωπηρά ότι όλες οι συναρτήσεις που περιγράφουν την κίνηση πραγματικών υλικών σωματιδίων είναι συνεχείς και παραγωγίσιμες. Αυτό γίνεται ουσιαστικά επειδή φαίνεται να είναι το πιο φυσικό πράγμα που μπορεί να κάνει κανείς, αλλά γιατί η συνεχής κίνηση μας φαίνεται τόσο φυσική; Πράγματι, πολλοί από τους αρχαίους Έλληνες ήταν ανίκανοι να συλλάβουν την ιδέα της συνεχούς κίνησης, όπως καλά γνωρίζουν όσοι έχουν μελετήσει τα παράδοξα του Ζήνωνα. Ένα από τα πλέον φημισμένα αυτά παράδοξα αφορά ένα βέλος σε κίνηση. Εφόσον σε κάθε χρονική στιγμή το βέλος καταλαμβάνει ορισμένη θέση, δεν μπορεί την ίδια στιγμή να κινείται. Ο Ζήνων, επομένως, συνήγαγε ότι η κίνηση είναι απατηλή. Πολλοί από τους αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους ήταν ανίκανοι να πειστούν ότι η συνεχής κίνηση είναι πράγματι ένα φυσικό πράγμα. Ανάμεσα στους αρχαίους καιρούς και σήμερα οι ιδέες μας για την συνεχή κίνηση αναπτύχθηκαν μέσα από την εμπειρία με τις τροχιές των πλανητών, τις τροχιές των βλημάτων, κλπ., και μέσα από την συνδεμένη με αυτές θεωρία του διαφορικού λογισμού ο οποίος ασχολούταν με αυτές. Αφού μελέτησαν για κάμποσο καιρό τέτοια πράγματα, οι επερχόμενες γενές άρχισαν βαθμιαία να θεωρούν τις βασικές ιδέες εγγυημένες. Αλλά ο μόνος τρόπος να γνωρίζουμε αν η κίνηση των σωματιδίων μπορεί πράγματι να περιγραφεί από συναρτήσεις που έχουν παραγώγους είναι να ελέγξουμε την υπόθεση με πείραμα. Με άλλα λόγια, η κλασική ιδέα ότι ένα σωματίδιο έχει μια τροχιά για την οποία η παράγωγος μπορεί να οριστεί σε κάθε σημείο στηρίζεται στηρίζεται μόνο στα εμπειρικά στοιχεία. Από τις μερες του Νεύτωνα, η μεγάλη επιτυχία της κλασικής θεωρίας πρόσφερε ισχυρή εμπειρική επιβεβαίωση και φαινόταν αναπόφευκτο και μέσα στην φύση των πραγμάτων ότι μια συνεχής τροχιά ήταν το μόνο νοητό είδος το οποίο η πραγματική ύλη θα μπορούσε να ακολουθήσει. Πράγματι, σε καθαρά λογική βάση, δεν υπάρχει λόγος να διαλέξουμε την έννοια της συνεχούς τροχιάς προτιμώντας την από εκείνην μιας ασυνεχούς τροχιάς. Είναι μάλλον δυνατό το ... να προσεγγίζει ένα όριο για λίγο ενόσω το ... γίνεται μικρότερο και, έπειτα, να σταματάει να προσεγγίζει ένα όριο όσο το ... γίνεται ακόμα μικρότερο. Μπορούμε να εξετάσουμε, για παράδειγμα, το πείραμα να μετρήσουμε το ... για ένα πραγματικό αντικείμενο, χρησιμοποιώντας μικρότερο και ολοένα μικρότερο Για λίγο τούτη η διαδικασία μας δίνει αυξανόμενα ακριβή πληροφορία γύρω από την ταχύτητα. Αλλά κάποια στιγμή φθάνουμε σε χρονικά διαστήματα τόσο μικρά που η κίνηση Brown γίνεται σημαντική και το παύει να τείνει σε ορισμένο όριο. Θα μπορούσαμε να επιχειρηματολογήσουμε ότι τούτη η δυσκολία μπορεί να αποφευχθεί αν συνεκτιμήσουμε την κίνηση των μεμονωμένων μορίων. Αλλά τα πειράματα που οδηγούν στην κβαντική θεωρία έχουν δείξει ότι αν γίνει υπερβολικά μικρό, ακόμα και αυτή η προσπάθεια θα αποτύχει. Συμπεραίνουμε ότι, σε μια πολύ ακριβή περιγραφή, η έννοια της συνεχούς τροχιάς δεν εφαρμόζεται σε πραγματικά σωματίδια³.

3.7 Αίτιο και Αποτέλεσμα.

Έχοντας δει μέσα από την προηγούμενη συζήτηση ότι οι ασυνεχείς πτυχές των κβαντικών διαδικασιών δεν είναι κατά βάση παράλογες, ας εξετάσουμε τώρα την έλλειψη πλήρους ντετερμινισμού. Τα προβλήματα του ντετερμινισμού και της αιτιότητας έχουν καταλάβει κεντρική θέση σε όλες τις φιλοσοφικές συζητήσεις από τον καιρό κατά τον οποίο ο άνθρωπος πρωτοπροσπάθησε να πετύχει μια πιο πλήρη γενική κατανόηση του κόσμου από εκείνη που είχε τα περιθώρια να αποκομίσει μέσω επαγωγικών συλλογισμών από την άμεση εμπειρία. Ως εκ τούτου, θα ξεκινήσουμε από μια συνοπτική περιγραφή των ειδών των ιδεών

³Μια παραπέρα συζήτηση της σχέσης ανάμεσα στις συνεχείς και τις ασυνεχείς πτυχές της κίνησης της ύλης δίνεται στο Κεφάλαιο 22, Μέρος 14. Δείτε επίσης την συζήτηση της αρχής της συμπληρωματικότητας στο Κεφάλαιο 8, Μέρος 15.

περι αιτιότητας τις οποίες υποστήριξε ο άνθρωπος και θα δείξουμε πάνω σε ποιά βάση αναπτύχθηκαν οι μοντέρνες ιδέες πάνω σε τούτο το θέμα.

3.8 Αρχαίες Ιδέες για το Αίτιο και το Αποτέλεσμα.

Μερικές από τις πιο ρωτόγονες ιδέες για το αίτιο και το αποτέλεσμα αναδείχτηκαν πιθανόν όταν ο άνθρωπος επισήμανε ότι, εξασκώντας πολλών ειδών δυνάμεις στο περιβάλλον του και παράγοντας έργο, μπορούσε να παράγει επιθυμητά αποτελέσματα και να αποφύγει ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Η πιο πρωτόγονη έννοια της αιτιότητας είναι στενά συνδεδεμένη με τις μηχανικές έννοιες της δύναμης και του έργου. Είναι βεβαίως αλήθεια ότι τα ανθρώπινα όντα μπορούν να παράγουν αποτελέσματα σε άλλα υλικά συστήματα μόνο μέσα από την άσκηση δυνάμεων και την παραγωγή έργου. Αργότερα, αναπτύχθηκε η ιδέα ότι το ανθρώπινο σώμα από το ίδιο είδος ύλης όπως και τα άψυχα αντικείμενα. Ίσως, επιχειρηματολόγησαν, τέτοια αντικείμενα μπορούν να σπρώξουν το ένα το άλλο με τον ίδιο τρόπο που μπορεί και ο άνθρωπος. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούσε κανείς να οδηγηθεί στην έννοια των άψυχων αιτιών (inanimate causes). Με τούτη την σύνδεση οφείλουμε να σημειώσουμε ότι το τελικό αποτέλεσμα δεν βρίσκεται πάντοτε σε αναλογία με την αιτία. Υπάρχουν ασταθή συστήματα-έναν βράχος που στηρίζεται στην πλαγιά ενός βουνού μπορεί να προκαλέσει τρομακτικά αποτελέσματα σαν συνέπειες μικρών συγκριτικά αιτιακών δυνάμεων. Μαζί με την ιδέα των υλικών δυνάμεων σαν αιτίων, πιθανώς αναπτύχθηκε η ιδέα της μαγείας (η οποία κατ'ουσία είναι η παραγωγή αποτελεσμάτων χωρίς την επέμβαση υλικών δυνάμεων και την παραγωγή έργου). Αυτή η ιδέα είναι επίσης αυτο-συνεπής και ελιυστική, αλλά η εμπειρία έδειξε ότι τέτοια μαγικά αίτια δεν δουλεύουν. Κατά συνέπεια αυτό το είδος νόμου αιτίου και αποτελέσματος έχει απορριφθεί. Είναι εύκολο να μαντέψουμε από που πιθανώς ξεκίνησε η έννοια της μαγείας. Ο άνθρωπος ανακάλυψε ότι μπορούσε να επηρεάσει άλλους όχι μόνον μέσω υλικών δυνάμεων, αλλά επίσης μέσω λέξεων και σημάτων τα οποία δεν φαίνεται να προαπαιτούν τέτοιες δυνάμεις. Επεκτείνε φυσικά την ιδέα στα άψυχα αντικείμενα και υπέθεσε ότι κατάλληλες μαγικές λέξεις και σήματα θα μπορούσαν να παράγουν παρόμοια αποτελέσματα με εκείνα που είχαν παραχθεί σε ανθρώπους. Τούτη η ιδέα μπορεί να συνοψιστεί γενικά θεωρώντας ότι η χρήση λέξεων, σημάτων, συμβόλων και ιδεών μπορεί να είναι απευθείας αίτια γεγονότων. Από τότε, βρήκαμε ότι ο ήχος και το φως ασκούν υλικές δυνάμεις, και έχουμε σήμερα την ενοποιημένη άποψη ότι μόνον διαμέσου υλικών δυνάμεων μπορούν να παραχθούν αποτελέσματα σε άλλα αντικείμενα αδιάφορο αν αυτά είναι ζωντανά ή άψυχα. Σε σύνδεση με αυτό πρέπει να θυμηθούμε ότι οι άνθρωποι δρουν σαν πολύ ασταθή συστήματα, έτσι ώστε οι συγκριτικά πολύ μικρές δυνάμεις που εμπεριέχονται στα ηχητικά κύματα και στο φως μπορούν να προκαλέσουν μεγάλα αποτελέσματα. Ήδη τώρα έχουμε συσκευές σαν τα φωτοηλεκτρικά κύτταρα και τα μικρόφωνα οι οποίες, με την βοήθεια σωλήνων κενού, μπορούν επίσης να ανταποκριθούν σε μικρές δυνάμεις στον ήχο και στο φως, και να προκαλέσουν μεγάλα αποτελέσματα. Ένας άλλος τύπος αιτιοκρατικού νόμου που πρέπει να αντληθεί από τούτη την συζήτηση είναι ότι οι ιδέες μας για το αίτιο και το αποτέλεσμα, μαζί με όλες τις υπόλοιπες ιδέες μας, πιθανά ξεκίνησε από την extrapolation των πλέον άμεσων εμπειριών του ανθρώπου σε πολύ πλατύτερες τάξεις φαινομένων. Από τους πολλούς τύπους αιτιοκρατικών νόμων που υποβάλλονται με τούτο τον τρόπο, μόνον η έννοια των υλικών δυνάμεων σαν αιτίων έχει μέχρι στιγμής αντισταθεί στον έλεγχο της γενικής εμπειρίας. Οφείλουμε να θυμόμαστε, ωστόσο, ότι η ακριβής μορφή που αυτή η έννοια έχει πάρει έχει καθοριστεί από μακριά εμπειρία με κλασικά περιγραφίσιμα συστήματα και ότι, αν αξιόπιστα πειράματα στην κβαντική περιοχή δείξουν την ανάγκη για παραπέρα αλλαγές σε τούτους τους νόμους, δεν υπάρχει θεμελιώδης λόγος γιατί να μην γίνουν τέτοιες αλλαγές.

3.9 Απόλυτα Ντετερμινιστικοί σε αντίθεση με Αιτιοκρατικούς Νόμους σαν Τάσεις.

Σε αυτό το σημείο, επιθυμούμε να επιστήσουμε την προσοχή στο γεγονός ότι, ακόμα και στους αρχαίους καιρούς, εμφανίστηκαν δυό εναλλακτικοί γενικοί τύποι αιτιοκρατικών νόμων. Ένας από αυτούς

περιείχε την έννοια του απόλυτου ντετερμινισμού, ο άλλος την έννοια των αιτίων των καθοριζόντων τις γενικές τάσεις αλλά τα οποία δεν καθορίζουν ολοσχερώς την συμπεριφορά ενός συστήματος. Ένα από τα παλαιότερα παραδείγματα πλήρους ντετερμινισμού είναι η ιδέα ότι η ολική ροή των γεγονότων καθορίζεται από την μοίρα – με τρόπο που είναι πέρα από την ισχύ του ανθρώπου να τον αλλάξει. Η απαρχή τέτοιων ιδεών δεν μπορεί να καθοριστεί οριστικά, αλλά δεν είναι απίθανο να έχουν τις ρίζες τους εν μέρει στην έκταση κατά την οποία οι άνθρωποι ένοιωθαν στο έλεος των δυνάμεων της φύσης, οι οποίες φαίνονταν να βρίσκονται πέρα από την ισχύ του ανθρώπινου ελέγχου. Έτσι, έχουμε την ποιητική παρομοίωση της ανθρώπινης ζωής με ένα πλοίο που χτυπιέται από παντού από τα κύματα και τους αέρηδες. Αν και μερικοί από τους αρχαίους φιλοσόφους πράγματι ανέπτυξαν συστηματικά τέτοιες ιδέες, είναι αμφίβολο ότι η έννοια του απόλυτου ντετερμινισμού προχώρησε ποτέ πάρα πολύ μέσα στην πρακτική ζωή. Αντίθετα, η ιδέα η οποία πιο πιθανά είχε χρησιμοποιηθεί σε σύνδεση με την κοινή εμπειρία είναι ότι μια ιδιαίτερη δύναμη ή αιτία παράγει μια τάση προς ένα αποτέλεσμα, αλλά ότι δεν εγγυάται το αποτέλεσμα αυτό. Εκείνη την εποχή η εργασία γινόταν κυρίως με τα χέρια ή με την βοήθεια ζώων. Ο έλεγχος των δυνάμεων δεν είναι ακριβής με αυτές τις μεθόδους. Για να πετύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα στρώχναμε προς την σωστή γενική κατεύθυνση και μετά στρώχναμε προς τα πίσω αν είχαμε προχωρήσει υπερβολικά πολύ. Η δύναμη χρησιμοποιούταν για να παράγει μια γενική τάση προς την κίνηση σε μια ορισμένη διεύθυνση, χωρίς πολύ μεγάλο ενδιαφέρον για το ποιά ήταν τα αποτελέσματα αυτών των δυνάμεων. Πριν την έλευση των μηχανών, ουσιαστικά όλες οι δραστηριότητες ήταν αυτής της γενικής φύσης, εμπεριέχοντας το πολύ την χρήση της κρίσης και της τέχνης μάλλον παρά τον ακριβή έλεγχο της κίνησης. Είναι πολύ πιθανό ότι η μοντέρνα μορφή της ιδέας του απόλυτου ντετερμινισμού υποβλήθηκε, τουλάχιστον εν μέρει, από την ομοιότητά της με περίπλοκες και ακριβέστατα κατασκευασμένες μηχανές, όπως τα ρολόγια. Με τον ερχομό της αστρονομίας και της βαλλιστικής, και της μηχανικής γενικά, όπου επιτεύχθηκαν συστήματα στα οποία οι λειτουργίες των αιτιοκρατικών νόμων μπορούσαν να περιγραφούν με λεπτομέρεια, η ιδέα της ακριβούς αιτιοκρατίας, ή του απόλυτου ντετερμινισμού, άρχισε να αναπτύσσεται ταχύτατα και, με τους Νευτώνιους νόμους της κίνησης, η ιδέα πέτυχε μια ακριβή και ποσοτική έκφραση. Αργότερα έγινε κομμάτι της κοινής εμπειρίας το να ασχολούμαστε με γρήγορα κινούμενες μηχανές, στις οποίες ο ακριβής προσδιορισμός των κινήσεων όλων των μερών ήταν ουσιώδης. Σαν αποτέλεσμα, καθέναν στο πεδίο ήταν πρόθυμος να δεχτεί ότι, στο ατομικό επίπεδο, όλες οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στον κόσμο θα μπορούσαν να κατανοηθούν με όρους τέτοιων μηχανικών αναλογιών και έτσι θα μπορούσαν να θεωρηθούν απόλυτα ντετερμινιστικές. Σε τούτο το στάδιο της ιστορίας (από τον 16ο μέχρι τον 19ο αιώνα) η εικόνα ότι ο κόσμος έμοιαζε με μια τεράστια μηχανή αντικατέστησε την παλαιότερη εικόνα ότι πολλά από τα άψυχα αντικείμενα έμοιαζαν με τους ανθρώπους και τα ζώα⁴.

3.10 Κλασική Θεωρία Ρυθμιστική (Prescriptive) και όχι Αιτιοκρατική.

10. Είναι μια περίεργα ειρωνική ανάπτυξη της ιστορίας ότι, την στιγμή που οι αιτιοκρατικοί νόμοι πέτυχαν μια ακριβή έκφραση με την μορφή των Νευτώνιων εξισώσεων κίνησης, η ιδέα των δυνάμεων σαν αιτίων γεγονότων έγινε μη-αναγκαία και, κατά πολύ, ανούσια. Η τελευταία αυτή ιδέα έχασε τόση πολλή από την σημασία της επειδή τόσο το παρελθόν όσο και το μέλλον του συνολικού συστήματος καθορίζονται ολοσχερώς από τις εξισώσεις της κίνησης όλων των σωματιδίων, συνδεδεμένες με τις θέσεις και τις ταχύτητες των σωματιδίων αυτών σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Έτσι, δεν μπορούμε να πούμε περισσότερο

⁴Υπάρχει μια χτυπητή αντίθεση ανάμεσα στην μηχανική-αιτιοκρατική περιγραφή της κίνησης των πλανητών, δοσμένης από τον Newton, και σε εκείνη που δίνεται από πολλούς φιλοσόφους των αρχαίων και των μεσαιωνικών χρόνων. Η δεύτερη λέει ότι οι πλανήτες κινούνται σε κύκλους. Αυτή η στάση στηριζόταν στην υπόθεση ότι ένας κύκλος το μόνο τέλει γεωμετρικό σχήμα και τέτοια ουράνια σώματα σαν τους πλανήτες οφείλουν με βεβαιότητα να κινούνται μόνο σε τέλει τροχιές. Εδώ, χρησιμοποιήσαν την έννοια των τεικών αιτίων στον αγώνα τους για τελειότητα. Στην Νευτώνια περιγραφή, ωστόσο, χρησιμοποιεί κανείς την αναλογία μιας τεράστιας μηχανής, αναπόφευκτα απαιτούμενης για να δημιουργηθούν ορισμένες κινήσεις.

ότι το μέλλον προκαλείται από το παρελθόν απόσο μπορούμε να πούμε ότι το παρελθόν προκαλείται από το μέλλον. Αντίθετα, λέμε ότι η κίνηση όλων των σωματιδίων στον χωροχρόνο ρυθμίζεται από ένα σύνολο κανόνων, δηλαδή, τις διαφορικές εξισώσεις της κίνησης, οι οποίες περιέχουν μόνον αυτές τις χωροχρονικές κινήσεις. Η χωροχρονική τάξη των γεγονότων καθορίζεται, επομένως, για κάθε χρονική στιγμή, αλλά αυτός ο καθορισμός δεν γίνεται αντιληπτός σαν αποτέλεσμα οποιασδήποτε πράξης σαν την πρωτόγονη ανιμιστική έννοια των “αιτίων”. Προφανώς, η έννοια των δυνάμεων σαν αιτίων μπορεί να διατηρηθεί. Οντως, αυτή η διαδικασία φαίνεται να είναι η πιό βολική για να χρησιμοποιηθεί στην πράξη. Από καθαρά λογική σκοπιά, ωστόσο, η έννοια της δύναμης είναι πλεοναστική, διότι είναι πάντοτε δυνατόν, κατ’αρχήν, να εκφράσουμε όλη την κλασική Φυσική με όρους θέσεων, ταχυτήτων και επιταχύνσεων όλων των σωματιδίων στο σύμπαν. Έτσι, ο νόμος της βαρύτητας μπορεί να εκφραστεί ως εξής: Δύο σώματα υφίστανται αμοιβαία επιτάχυνση, στην διεύθυνση της ευθείας που τα ενώνει, η οποία είναι αντίστροφα ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης ανάμεσά τους. Η επιτάχυνση κάθε σώματος είναι, επίσης, ανάλογη με την μάζα του άλλου. Με παρόμοιο τρόπο, όλοι οι άλλοι νόμοι μπορούν να εκφραστούν χωρίς την βοήθεια της έννοιας της δύναμης. Η δύναμη που ασκείται από μια ζυγαριά ελατηρίου, για παράδειγμα, μπορεί, κατ’αρχήν, να εκφραστεί με όρους των χωρικών συντεταγμένων όλων των μοριών της ζυγαριάς. Η αρχή της οικονομίας των εννοιών θα πρότεινε τότε ότι, εκτός από ένα βολικό όρο ο οποίος τσουβαλιάζει μαζί τα αποτελέσματα των πολλών επιταχύνσεων, η έννοια της δύναμης σαν αιτίας της επιτάχυνσης θα όφειλε να αγνοηθεί και να αντικατασταθεί με την ιδέα ότι τα σωματίδια απλά ακολουθούν κάποιες τροχιές καθορισμένες από τις εξισώσεις κίνησης. Έτσι, η κλασική θεωρία οδηγεί σε μια άποψη που είναι ρυθμιστική και όχι αιτιοκρατική⁵.

3.11 Νέες Ιδιότητες των Κβαντικών Εννοιών: Προσεγγιστική και Στατιστική Αιτιοκρατία.

11. Με την έλευση της κβαντικής θεωρίας, η ιδέα του πλήρους ντετερμινισμού δείχτηκε ότι ήταν λανθασμένη και αντικαταστάθηκε από την ιδέα ότι οι αιτίες καθορίζουν μόνον μια στατιστική τάση, έτσι ώστε μια δοσμένη αιτία οφείλει να γίνει αντιληπτή σαν να παράγει μόνον μια τάση προς ένα αποτέλεσμα. Ακόμα μια φορά, η κβαντική θεωρία υπήρξε ένα βήμα στην κατεύθυνση των λιγότερο εκλεπτυσμένων ιδεών που ανακύπτουν στην καθημερινή εμπειρία, όταν σπάνια συναντά κανείς μια ακριβή σχέση ανάμεσα σε αίτιο και αποτέλεσμα, αλλά αντίθετα σκέφτεται την αιτία σαν να παράγει μια ποιοτική τάση σε δοσμένη κατεύθυνση. Ο πλήρης ντετερμινισμός της κλασικής θεωρίας προέκυψε από το γεγονός ότι, από την στιγμή που οι αρχικές θέσεις και ταχύτητες κάθε σωματιδίου στο σύμπαν ήταν δοσμένες, η επακόλουθή τους συμπεριφορά ήταν καθορισμένη για όλον τον χρόνο από τις εξισώσεις του Newton για την κίνηση. Αλλά στην κβαντική θεωρία, οι νόμοι κίνησης του Newton δεν μπορούν να εφαρμοστούν με αυτόν τον τρόπο σε ένα μεμονωμένο ηλεκτρόνιο, διότι η ορμή και η θέση δεν μπορούν ούτε καν να υπάρχουν κάτω από συνθήκες στις οποίες είναι και οι δύο ταυτόχρονα ορισμένες με τέλεια ακρίβεια. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι επιθυμούμε να έχουμε ένα ηλεκτρόνιο σε δοσμένη κουκίδα. Για να το κάνουμε αυτό, μας είναι αναγκαίο πρώτα να βρούμε που είναι το ηλεκτρόνιο τώρα, και μετά να του δώσουμε εκείνη την ορμή η οποία το αναγκάζει να κατευθυνθεί στην επιθυμητή κουκίδα. Εφόσον η αρχή της απροσδιοριστίας υποδεικνύει ότι αυτό δεν μπορεί να γίνει, συμπεραίνουμε ότι η έννοια του ακριβούς ντετερμινισμού δεν εφαρμόζεται στην κβαντοθεωρητική περιγραφή του ηλεκτρονίου. Βρίσκουμε ότι, αν και δεν υπάρχουν ακριβείς ντετερμινιστικοί νόμοι στην κβαντική θεωρία, υπάρχουν ωστόσο στατιστικοί νόμοι. Σε μια σειρά πολλών παρατηρήσεων μπορούμε, για παράδειγμα, να μετρήσουμε την θέση στην οποία έφτασε ένασωματίδιο μετά το πέρασμα δοσμένου χρόνου Δt , αν οι αρχικές συνθήκες αν οι αρχικές συνθήκες έχουν τόσο πλήρως όσο απαιτεί η κβαντική θεωρία της ύλης. Αυτή η θέση διακυμαίνεται (fluctuates) από την μία μέτρηση στην επόμενη,

⁵Θα δούμε στο Μέρος 14 ότι η κβαντική θεωρία οδηγεί σε μια σχετικά διαφορετική περιγραφή της κίνησης της ύλης.

αλλά παραμένει στην γειτονιά μιας μέσης τιμής καθορισμένης από την ορμή σύμφωνα με την σχέση
..... Αν επιδιώκουμε να οδηγήσουμε ένα ηλεκτρόνιο με ένα ορισμένο σημείο ελέγχοντας κατάλληλα την ορμή του, πετυχαίνουμε ένα αξιόπιστο αναπαράξιμο μοτίβο (pattern) χτυπημάτων κοντά σε τούτο το σημείο. Προκειμένου να αλλάξουμε την θέση του κέντρου αυτού του μοτίβου, είναι αναγκαίο να αλλάξουμε την ορμή του συστήματος (τα πλαγιαστά στοιχεία είναι του ίδιου του Bohm. Σ.Τ.). Αλλά ακόμη και αν η ορμή είναι επακριβώς ορισμένη, δεν μπορούμε να προβλέψουμε ή να ελέγξουμε το ακριβές σημείο στο οποίο το ηλεκτρόνιο θα πέσει πράγματι. Έτσι, στην κβαντική θεωρία, όπως και στην κοινή εμπειρία με τις μη-μηχανικές πτυχές της ζωής, μόνο μια στατιστική τάση στην πορεία των γεγονότων είναι καθορισμένη και όχι το ακριβές αποτέλεσμα σε κάθε περίπτωση.

3.12 Ενέργεια και Ορμή στις Κλασικές και τις Κβαντικές Θεωρίες.

12. Προχωράμε τώρα σε μια πιό λεπτομερειακή περιγραφή του πως η έννοια της αιτιότητας σαν στατιστική τάση οφείλει να εφαρμοστεί στην κβαντική θεωρία. Σαν προκαταρκτικό βήμα, θα αναλάβουμε το καθήκον να ορίσουμε πιό προσεκτικά τι εννοούμε με ενέργεια και ορμή, πρώτα στην κλασική θεωρία και μετά στην κβαντική θεωρία. Οι πιο ακριβείς ορισμοί είναι αναγκαίοι διότι αυτοί οι όροι παίζουν κομβικό ρόλο στην ακριβή έκφραση των αιτιοκρατικών πτυχών της συμπεριφοράς της ύλης. Στην κλασική μηχανική, η ενέργεια ενός σώματος ορίζεται με όρους της ικανότητάς του να κάνει έργο σε άλλα σώματα. (Το έργο ορίζεται σαν το γινόμενο της δύναμης που ασκείται από ένα σώμα σε ένα άλλο επί την απόσταση κατά την οποία μετακινείται αυτή η δύναμη.) Εφόσον ο προηγούμενος ορισμός καθορίζει μόνο αλλαγές στην ενέργεια, το μηδέν της ενέργειας μπορεί να επιλεγεί αυθαίρετα σε ένα βολικό σημείο. Αν ένα αντικείμενο είναι ικανό να κάμει έργο εξαιτίας μιας αλλαγής της κατάστασης κίνησής του, λέμε ότι διαθέτει κινητική ενέργεια (...). Αν μπορεί να κάμει έργο εξαιτίας μιας αλλαγής της θέσης του, λέμε ότι διαθέτει δυναμική (potential) ενέργεια (.....). Πράγματι, ωστόσο, όλη η ενέργεια είναι, κατά μια έννοια, μια λανθάνουσα ή δυναμική ιδιότητα της ύλης, εφόσον αντιπροσωπεύει μια εν δυνάμει δυνατότητα να κάμει έργο, η οποία πραγματοποιείται μόνον όταν η ύλη αλλάζει την κατάστασή της σε αλληλεπίδραση με άλλη ύλη. Εξαιτίας της ύπαρξης ακτινοβολούσας (radiant) ενέργειας, οφείλουμε ωστόσο, να γενικεύσουμε τον παραπάνω ορισμό ώστε να συμπεριλάβει το γεγονός ότι ο λεγόμενος “κενός χώρος” μπορεί επίσης να έχει εν δυνάμει δυνατότητα να κάμει έργο εξαιτίας της δυνατότητάς του να υποστηρίζει (support) ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Τελικά, στην θεωρία της σχετικότητας, οφείλουμε να συμπεριλάβουμε μαζί με όλες τους άλλους τύπους ενεργειας, την αποκαλούμενη “ενέργεια ηρεμίας”, η οποία είναι η εν δυνάμει δυνατότητα της ύλης να κάμει έργο σε μια διαδικασία στην οποία καταστρέφεται (annihilated). Έτσι, γενικότερα, ορίζουμε τις μεταβολές της ενέργειας οποιουδήποτε συστήματος (είτε κανονικής ύλης, ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, ή οτιδήποτε άλλο) σαν εν δυνάμει δυνατότητα να κάμει έργο σε ένα άλλο σύστημα μέσω μιας διαδικασίας στην οποία και τα δύο συστήματα αλληλεπιδρούν και υφίστανται αντίστοιχες αλλαγές κατάστασης. Οφείλουμε να ρωτήσουμε για ποιό λόγο η ενέργεια παίζει έναν σημαντικό ρόλο στην μηχανική από εκείνον που παίζουν άλλες συναρτήσεις, σαν τις Ο λόγος είναι ότι η ολική ενέργεια οποιουδήποτε απομονωμένου συστήματος διατηρείται, ενώ κανένας τέτοιος νόμος διατήρησης δεν μπορεί να βρεθεί για τις περισσότερες άλλες συναρτήσεις. Αυτό το γεγονός υποβάλλει την ιδέα ότι η ενέργεια αντιστοιχεί σε ένα πραγματικό, φυσικό χαρακτηριστικό (attribute) της ύλης. Ωστόσο, θα ήταν λάθος να την σκεφτούμε σαν μια υπόσταση (substance) η οποία προστίθεται στην ύλη, όπως η ζάχαρη στο νερό, επειδή η ενέργεια, σαν τέτοια, δεν βρίσκεται ποτέ σε απομονωμένη μορφή. Αντίθετα, είναι προτιμότερο να συγκρατήσουμε την έννοια ότι η ενέργεια είναι μια εν δυνάμει δυνατότητα κάποιου συστήματος (σαν την ύλη ή το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο) να κάμνει έργο. Αυτή η εν δυνάμει δυνατότητα μπορεί να μεταφερθεί σε άλλα συστήματα στην διαδικασία της αλληλεπίδρασης, αλλά η συνολική ποσότητα δεν αλλάζει ποτέ. Η ορμή ενός μόνου σωματιδίου ορίζεται σαν (.....). Επειδή η συνολική ορμή ενός απομονωμένου συστήματος δεν αλλάζει, μπορούμε ομοίως να θεωρήσουμε την ορμή σαν ένα πραγματικό φυσικό χαρακτηριστικό (attribute) της

ύλης (και του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου). Πράγματι μπορούμε να φτιάξουμε έναν πλήρη παραλληλισμό ανάμεσα στην ορμή και στην ενέργεια: όπως η αλλαγή της ενέργειας σε μια δοσμένη αλλαγή της κατάστασης μπορεί να οριστεί με όρους εν δυνάμει δυνατότητας ενός σώματος να κάμει έργο, η αλλαγή μπορεί να οριστεί με όρους της εν δυνάμει δυνατότητάς του, σε αλληλεπίδραση με ένα άλλο σώμα, να παράγει μια ώθηση. (Η ώθηση ορίζεται , όπου t είναι ο χρόνος κατά την διάρκεια του οποίου η δύναμη, F , δρά.) Μπορούμε τότε να διαλέξουμε ένα αυθαίρετο μηδέν της ορμής για κάθε σώμα, το οποίο με τον βολικότερο τρόπο συνδέεται με την κατάσταση στην οποία το κάθε σώμα ηρεμεί. Στην κλασική θεωρία, η διαδικασία να θεωρούμε την ενέργεια και την ορμή σαν θεμελιώδεις ιδιότητες της ύλης δεν είναι απολύτως αναγκαία από μία λογική άποψη, αλλά απλά ένας βολικός και υπαινικτικός τρόπος να σκεφτούμε για το ζήτημα, στηριγμένος στο γεγονός ότι αυτές οι ποσότητες διατηρούνται. Διότι, τελικά, η ενέργεια και η ορμή μπορούν να εκφραστούν σαν συναρτήσεις των θέσεων και των ταχυτήτων έτσι ώστε, όπως δείξαμε στο Τμήμα 10, είναι περιττές έννοιες, αφού όλοι οι νόμοι της κίνησης μπορούν να εκφραστούν απευθείας με όρους των χωρο-χρονικών κινήσεων μόνον. Στην κβαντική θεωρία, ωστόσο, οι ενέργειες και οι ορμές δεν μπορούν να εκφραστούν με τέτοιο τρόπο. Έτσι, κλασικά, η ορμή ορίζεται σαν (.....) Αλλά έχουμε ήδη δει ότι, στον κβαντικό τομέα αυτό το όριο δεν υπάρχει πραγματικά όταν το Δt γίνεται υπερβολικά μικρό. Ωστόσο, δεν μπορούμε να αποφύγουμε να θεωρούμε την ορμή σαν πραγματική ποσότητα, όχι μόνον επειδή είναι σημαντική στο να ελέγχει την στατιστική συμπεριφορά των χωρο-χρονικών κινήσεων (δες Μέρος 11), αλλά επίσης επειδή η ορμή μπορεί να οριστεί στην κβαντική θεωρία διαμέσου της σχέσης του de Broglie $p=h/\lambda$, αν και δεν είναι πλέον δυνατόν να περιγράψουμε την κίνηση με όρους μιας καλά-ορισμένης τροχιάς στον χωροχρόνο. Ο μόνος δρόμος που φαίνεται να έχει μείνει ανοικτός είναι να θεωρήσουμε την ορμή σαν μια ανεξάρτητη φυσική ιδιότητα της ύλης η οποία, στο κλασικό όριο, αντιπροσωπεύει την εν δυνάμει δυνατότητα να παράγει ώθηση αλλά, πιο γενικά, συνδέεται μοναδικά με το μήκος κύματος de Broglie και στατιστικά με την χωρο-χρονική κίνηση της ύλης. Έτσι, όταν λέμε ότι ένα ηλεκτρόνιο παρατηρήθηκε να έχει δοσμένη ορμή, αυτή η διατύπωση στέκεται στην ίδια βάση με την διατύπωση ότι είχε δοσμένη θέση. Καμιά από τις διατυπώσεις δεν υπόκειται σε παραπέρα ανάλυση. Οφείλουμε, ως εκ τούτου, να σκεφτόμαστε την ορμή και την ενέργεια σαν ιδιότητες εδραζόμενες μέσα στην ύλη, ιδιότητες που δεν μπορούν να απεικονιστούν απευθείας αλλά οι οποίες έχουν τα ονόματα ορμή και ενέργεια. Γνωρίζουμε ότι βρίσκονται εκεί, διότι παράγουν αποτελέσματα τα οποία δεν μπορούν να κατανοηθούν με όρους της κλασικής υπόθεσης ότι οι χωρο-χρονικές κινήσεις κυβερνώνται από νόμους που εμπεριέχουν τις κινήσεις μόνον. Συνεχίζοντας την διαδικασία μας να θεωρούμε την ορμή (και την ενέργεια) σαν θεμελιώδεις μάλλον παρά σαν παράγωγες έννοιες, δείχνουμε τώρα ότι αυτές οι ποσότητες μπορούν να μετρηθούν ακόμα και χωρίς την χρήση μιας λεπτομερούς χωρο-χρονικής περιγραφής των κινήσεων όλων των σωματιδίων του συστήματος. Έτσι, όπως δείξαμε στο Κεφάλαιο 5, μπορούμε να μετρήσουμε την ορμή με την βοήθεια ενός περιθλαστικού πλέγματος, ή αλλιώς να μετρήσουμε την πτώση δυναμικού που χρειάζεται για να ακινητοποιήσουμε ένα σωματίδιο. Καμιά από τις δύο μεθόδους δεν απαιτεί μια λεπτομερή χωρο-χρονική περιγραφή. Με την βοήθεια τέτοιων μετρήσεων, μπορούμε να αποδείξουμε ότι η ενέργεια και η ορμή διατηρούνται ακόμη και στον κβαντικό τομέα. Επομένως, από κάθε άποψη, οι έννοιες της ενέργειας και της ορμής στέκονται σε βάση που είναι ανεξάρτητη από την αναγκαιότητα για μια λεπτομερή χωρο-χρονική περιγραφή της κίνησης της ύλης.

3.13 Ορμή και Ενέργεια μια περιγραφή των Αιτιοκρατικών Πτυχών της Ύλης.

13. Προχωράμε τώρα προκειμένου να δείξουμε ότι, τόσο στην κλασική όσο και στην κβαντική θεωρία, μια ακριβή περιγραφή των αιτιοκρατικών πτυχών της κίνησης της ύλης περιλαμβάνει μια εξειδίκευση των ενεργειών και των ορμών όλων των σημαντικών μερών του συστήματος. Ας ξεκινήσουμε ορίζοντας πιο προσεκτικά τι εννοούμε αναφερόμενοι στις “αιτιοκρατικές πτυχές” της κίνησης της ύλης. Σε μια πλήρη περιγραφή της συμπεριφοράς κάθε συστήματος, δύο διακριτά αλλά συσχετισμένα στοιχεία υπεισέρχονται

πάντα. Πρώτα, υπάρχει μια απλή χωρο-χρονική τάξη των γεγονότων που περιγράφει αυτή η συμπεριφορά. Με άλλα λόγια, οφείλουμε να πούμε τι συμβαίνει. Αλλά δεν είμαστε συνήθως ικανοποιημένοι στην επιστήμη από μια τέτοια περιγραφή, αφού επιθυμούμε επίσης να γνωρίζουμε γιατί συμβαίνουν αυτά τα πράγματα. Με άλλα λόγια, ψάχνουμε μια αιτιοκρατική περιγραφή της σχέσης ανάμεσα σε γεγονότα, όπως επίσης και μια χωρο-χρονική όπως επίσης και μια χωρο-χρονική περιγραφή των ίδιων των γεγονότων. Τώρα, κάθε προσπάθεια να προσφέρουμε μια τέτοια αιτιοκρατική περιγραφή εμπεριέχει την υπόρρητη υπόθεση ότι οι σχέσεις ανάμεσα στα γεγονότα έχει πράγματι την απαρχή της σε κάποιου είδους αιτιοκρατικούς παράγοντες που υπάρχουν μέσα στην ύλη, και με κάποιο τρόπο, είναι ικανοί να αναδείξουν τα υπό αναζήτηση γεγονότα. Στην κλασική Φυσική, αυτοί οι αιτιοκρατικοί παράγοντες είναι οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε σωματίδιο του συστήματος (αν και, όπως είδαμε στο Μέρος 10, η έννοια των δυνάμεων σαν αιτίων είναι περιττή στην κλασική θεωρία). Οι αιτιοκρατικές σχέσεις περιέχονται τότε στους νόμους κίνησης του Newton-δηλαδή ότι κάθε σωματίδιο τείνει να κινείται ομοιόμορφα σε ευθεία γραμμή, εκτός κι αν παρενοχληθεί από δυνάμεις που προκαλούν ανάλογες επιταχύνσεις. Οι δυνάμεις μπορούν, επομένως, να θεωρηθούν σαν αιτίες των αλλαγών της ταχύτητας. Αυτές οι δυνάμεις μπορούν να είναι ή εσωτερικές, δηλαδή ανάμεσα σε μέρη του ίδιου συστήματος, ή αλλιώς εξωτερικά επιβεβλημένες. Σε κάθε περίπτωση, αν οι δυνάμεις έχουν προσδιοριστεί για κάθε χρόνο, και αν οι αρχικές θέσεις και ταχύτητες είναι δοσμένες, τότε η μελλοντική πορεία είναι προσδιορισμένη για όλο το χρόνο. Μπορούμε να αδράξουμε το πλεονέκτημα αυτού του γεγονότος προκειμένου να προβλέψουμε την κίνηση στην βάση της γνώσης μας των αρχικών συνθηκών, και μπορούμε επίσης να την χρησιμοποιήσουμε για να αλλάξουμε και να ελέγξουμε την μελλοντική πορεία της κίνησης επιβάλλοντας κατάλληλες εξωτερικές δυνάμεις στα ενδεδειγμένα μέρη του συστήματος. Τώρα, στην κβαντική θεωρία, η έννοια της δύναμης είναι κουραστική στην χρήση. Είναι πολύ ευκολότερο να δουλέψει κανείς με όρους ορμής και ενέργειας, επειδή οι σχέσεις de Broglie οδηγούν σε μια απλή σύνδεση ανάμεσα στο μήκος κύματος και την ορμή. Δεν υπάρχουν τέτοιες απλές σχέσεις ανάμεσα στις κυματικές ιδιότητες της ύλης και την δύναμη. Μπορούμε να ορίσουμε την δύναμη με έναν χονδροειδή τρόπο σαν τον μέσο ρυθμό μεταβολής της ορμής⁶. Αυτό συμφωνεί με τον κλασικό ορισμό στο όριο αντιστοιχίας (correspondence limit) και προσφέρει μια επέκταση η οποία έχει νόημα στον κβαντικό τομέα. Εκτός από τον στόχο να αποδείξουμε την σχέση ανάμεσα στις κλασικά ορισμένες δυνάμεις και την κβαντική θεωρία, ωστόσο, αυτός ο ορισμός δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμος. Αντίθετα, είναι πολύ πιο βολικό να ακολουθήσουμε την διαδικασία που ακολουθήθηκε στα Τμήματα 11 και 12, δηλαδή, να αντιμετωπίσουμε την ορμή σαν μια θεμελιώδη και όχι παραπέρα αναλύσιμη ιδιότητα της ύλης, η οποία, στην έκταση στην οποία ορίζεται, καθορίζει στατιστικά μόνον την μέση απόσταση που διανύθηκε από ένα σωματίδιο σε δοσμένο χρόνο σύμφωνα με την εξίσωση.....Κοιτάμε, επομένως, την ορμή σαν την απευθείας αιτία της κίνησης της ύλης, αντί να ακολουθούμε την διαδικασία (ισοδύναμη στην κλασική θεωρία) να θεωρούμε την δύναμη σαν αιτία των αλλαγών της κίνησης. Όταν ένα σύστημα αφηθεί στον εαυτό του, υφίσταται, όπως στην κλασική θεωρία, κάποιο χαρακτηριστικό τύπο κίνησης, εκτός του ότι, στην κβαντική θεωρία, η πορεία αυτής της κίνησης καθορίζεται μόνον στατιστικά από τις ορμές όλων των σημαντικών μερών. Έτσι καταλήγουμε ότι οι σημαντικές ενέργειες και ορμές είναι οι αιτιοκρατικοί παράγοντες που περιέχονται στην ύλη. Αυτοί ελέγχουν ντετερμινιστικά την σχέση ανάμεσα στα γεγονότα σε διαφορετικούς χρόνους στην κλασική θεωρία και στατιστικά στην κβαντική θεωρία⁷.

3.14 Σχέση ανάμεσα σε Χώρο και Χρόνο και Αιτιοκρατικές Πτυχές της Ύλης.

Είμαστε τώρα σε θέση να δείξουμε ότι η κβαντική θεωρία οδηγεί σε μια νέα έννοια της σχέσης ανάμεσα στον χωρόχρονο και τις αιτιοκρατικές πτυχές της ύλης. Αυτή η έννοια παρουσιάζει και τις δύο πτυχές σαν ενιαίες αλλά, εντούτοις, όχι τόσο κοντά ώστε η ανάγκη για δύο διακριτές πτυχές να μπορεί να απαλειφεί.

⁶ Δες Κεφάλαιο 9, Μέρος 26.

⁷ Η Ορμή θα ονομάζεται στο εξής “αιτιοκρατικός παράγοντας” ή “αιτιοκρατική πτυχή” που περιέχεται μέσα στην ύλη.

Προκειμένου να πετύχουμε αυτή την έννοια, ξεκινάμε με τα αποτελέσματα των Τμημάτων 10 και 12. Αυτά τα Τμήματα έδειξαν ότι, ενώ η κλασική θεωρία μπορεί να εκφραστεί με όρους ενός συνόλου ρυθμιστικών κανόνων που να συσχετίζουν τις χωρο-χρονικές κινήσεις σε διαφορετικούς χρόνους, η κβαντική θεωρία δεν μπορεί να εκφραστεί έτσι. Η ενέργεια και η ορμή (και, επομένως, οι αιτιοκρατικοί παράγοντες) δεν μπορούν να απαλειφθούν με όρους ταχυτήτων και θέσεων των συνιστωσών σωματιδίων. Η κβαντοθεωρητική έννοια της αιτιότητας, επομένως, διαφέρει από την κλασική αντίστοιχή της κατά το ότι οφείλει αναγκαστικά να περιγράφει τις σχέσεις ανάμεσα σε χωρο-χρονικά γεγονότα σαν να “έχουν προκληθεί” από παράγοντες ενυπάρχοντες μέσα στην ύλη (π.χ: ορμές), οι οποίοι είναι στην ίδια θεμελιώδη και όχι παραπέρα αναλύσιμη βάση όπως αυτοί του χώρου και του χρόνου. Είναι αλήθεια ότι αυτοί οι αιτιοκρατικοί παράγοντες ελέγχουν μόνον μία στατιστική τάση στην πορεία των χωρο-χρονικών γεγονότων, αλλά είναι ακριβώς αυτή η ιδιότητα ατελούς ντετερμινισμού η οποία αποτρέπει τους αιτιοκρατικούς παράγοντες από το να γίνουν περιττοί, και η οποία έτσι δίνει ένα πραγματικό περιεχόμενο στην έννοια της αιτιότητας στην κβαντική θεωρία. Η διατήρηση τόσο του χωρο-χρόνου όσο και των αιτιοκρατικών πτυχών της ύλης κάτω από συνθήκες όπου κανένα από τα δύο δεν μπορεί να οριστεί επακριβώς οδηγεί σε μια εντελώς νέα έννοια αυτών των ιδιοτήτων. Διότι, αντί να θεωρούμε τον χωρο-χρόνο και τις αιτιοκρατικές πτυχές σαν υπάρχουσες σε ταυτόχρονα καλά-ορισμένες μορφές, τις θεωρούμε τώρα σαν αντιτιθέμενες δυνατότητες, κάθε μία από τις οποίες μπορεί να υλοποιηθεί σε μια πιο επακριβώς ορισμένη μορφή σε αλληλεπίδραση με ένα κατάλληλο σύστημα, αλλά μόνο με το κόστος μιας αντίστοιχης απώλειας στον βαθμό ορισμού της άλλης. Έτσι, αν ένα ηλεκτρόνιο αλληλεπιδρά με μια συσκευή μέτρησης της θέσης, θα έχει μια συγκριτικά καλά-ορισμένη θέση, με μια αντίστοιχη ελλάτωση στο βαθμό ορισμού της ορμής του. Από την άλλη πλευρά, αν ένα ηλεκτρόνιο αλληλεπιδρά με μια συσκευή μέτρησης της ορμής, θα έχει μια συγκριτικά καλά-ορισμένη ορμή με μια αντίστοιχη ελλάτωση στο βαθμό ορισμού της θέσης του. Ακόμα περισσότερο, όπως δείχτηκε στο Κεφάλαιο 6, Τμήμα 10, τέτοιες αλλαγές στον ορισμό διάφορων ιδιοτήτων λαβαίνουν χώρα όχι μόνον στην αλληλεπίδραση με μια συσκευή μέτρησης, αλλά, πολύ γενικότερα, στην αλληλεπίδραση με όλη την ύλη. Έτσι με όρους της νέας μας έννοιας η ύλη θα πρέπει να θεωρείται σαν να έχει δυνατότητες να αναπτύξει είτε συγκριτικά καλά-ορισμένες αιτιοκρατικές σχέσεις ανάμεσα συγκριτικά φτωχά ορισμένα γεγονότα είτε συγκριτικά φτωχά ορισμένες αιτιοκρατικές σχέσεις ανάμεσα σε συγκριτικά καλά-ορισμένα γεγονότα, αλλά όχι και τα δύο μαζί. Ποιά από αυτές τις δυνατότητες υλοποιείται πληρέστερα σε δεδομένη περίπτωση εξαρτάται εν μέρει από τα συστήματα το υπό μελέτη αντικείμενο αλληλεπιδρά έτσι ώστε, με το πέρασμα του χρόνου, μπορεί να εκδηλώσει οποιαδήποτε από τις δυνατότητές του πιο ισχυρά καθώς αλληλεπιδρά με διαφορετικά συστήματα. Έτσι οδηγούμαστε να θεωρήσουμε την ύλη σαν κάτι που ενοποιεί αυτές τις δύο πτυχές, την χωροχρονική και την αιτιοκρατική, οι οποίες θα ήταν ασυμβίβαστες αν ήταν επακριβώς ορισμένες, αλλά οι οποίες υπάρχουν μαζί σε ελλιπώς-ορισμένες μορφές και αντιτίθενται η μία στην άλλη με την έννοια ότι οι βαθμοί ορισμού τους είναι αμοιβαία συσχετισμένοι.

3.15 Η Αρχή της Συμπληρωματικότητας.

Στο προηγούμενο Μέρος, είδαμε ότι θεμελιώδεις ιδιότητες της ύλης, σαν την ορμή και την θέση, είναι συμβατές μόνον όταν καθεμιά ορίζεται με ένα ενδιαμέσο βαθμό ακρίβειας, έτσι ώστε να μην παραβιάζεται η αρχή της απροσδιοριστίας. Τώρα, όλες οι θεωρίες που προηγήθηκαν της κβαντικής θεωρίας είχαν υπό-ρητα υποθέσει ότι η συμπεριφορά της ύλης μπορεί να περιγραφεί πλήρως με όρους κατάλληλων δυναμικών μεταβλητών οι οποίες, κατ'αρχήν, δυνατόν να οριστούν την ίδια στιγμή με αυθαίρετα μεγάλη ακρίβεια. Η ιδέα ότι οι βασικές ιδιότητες της ύλης δεν υπάρχουν, γενικά, σε ακριβώς ορισμένη μορφή αποτελεί επομένως μια μακρόπνοη αλλαγή στα είδη των εννοιών που χρησιμοποιούνται για την έκφραση των φυσικών θεωριών. Αυτή η αλλαγή είναι, στην πραγματικότητα, τόσο μακρόπνοη ώστε ο Bohr οδηγήθηκε να την ανακοινώσει με όρους γενικής αρχής, την οποία ονόμασε “αρχή της συμπληρωματικότητας”. Η πλήρης σημασία αυτής της αρχής μόνον αφότου έχουμε δει με λεπτομέρεια πως δουλεύει σε ένα μεγάλο πλήθος

περιπτώσεων. Θα προσπαθήσουμε, ωστόσο, να δείξουμε εδώ την σημασία της μέσω μερικών απλών παραδειγμάτων και κατόπιν να την διατυπώσουμε σε πιο γενική μορφή. Ας ξεκινήσουμε με την ορμή και την θέση. Στην κλασική Φυσική, η ορμή ενός σωματιδίου ή βρίσκεται ανάμεσα στο p και στο $p+dp$, ή αλλιώς βρίσκεται σε κάποιο άλλο διάστημα έξω από το προηγούμενο. Αλλά στην κβαντική θεωρία, όταν το κυματοπακέτο είναι πλατύτερο από το διάστημα dp , δεν είναι πλέον σωστό να λέμε ότι το σωματίδιο βρίσκεται οριστικά σε οποιοδήποτε δεδομένο διάστημα dp – ούτε είναι σωστό να λέμε ότι βρίσκεται έξω από το διάστημα. Αντίθετα, λέμε ότι, κάτω από αυτές τις συνθήκες, η ορμή δεν είναι απλά μια καλά-ορισμένη ιδιότητα (αν και θα μπορούσε εν δυνάμει να έχει οριστεί καλύτερα σε βάρος του βαθμού ορισμού της θέσης, αν το ηλεκτρόνιο αλληλεπιδρά, για παράδειγμα, με μια συσκευή μέτρησης της ορμής). Το ξεθώριασμα του ορισμού της ορμής δεν εξαντλεί, ωστόσο, την φυσική σημασία του ανοίγματος της κυματοσυνάρτησης στον χώρο των ορμών, διότι όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 6, Τμήμα 6, οι σχέσεις φάσης στον χώρο των ορμών καθορίζουν την κατανομή των θέσεων. Παρόμοια, οι σχέσεις φάσης στον χώρο των θέσεων καθορίζουν την κατανομή των ορμών. Έτσι συμπεραίνουμε ότι ο μη-πλήρης ορισμός της ορμής και της θέσης είναι ουσιώδης επειδή, μέσα στο πεδίο αοριστίας της καθεμιάς, υπάρχουν οι υπεύθυνοι για τον ορισμό της άλλης παράγοντες. Η ορμή και η θέση θα όφειλαν, επομένως, να ονομαστούν “συμπλεγμένες μεταβλητές” (interwoven variables), αν και ακόμα και αυτή η περιγραφή είναι ακατάλληλη εφόσον δεν περιέχει την ιδέα ότι αυτή η ίδια η ύπερξη της καθεμιάς προϋποθέτει έναν κάποιο βαθμό αοριστίας της άλλης. Μια πιο ακριβής περιγραφή επιτυγχάνεται ονομάζοντάς τις “συμπλεγμένες δυναμικότητες” (interwoven potentialities) αναπαριστώνοντας αντιτιθέμενες ιδιότητες οι οποίες μπορούν να οριστούν συγκριτικά καλά κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Θα μπορούσε να επιχειρηματολογηθεί ότι αν περιγράφαμε την ύλη μόνον με όρους μιας κυματοσυνάρτησης, η αναγκαιότητα για αόριστες ή “εν δυνάμει” ιδιότητες θα μπορούσε ίσως να απαλοιφεί εφόσον, σε τελευταία ανάλυση, η κυματοσυνάρτηση μπορεί, κατ’αρχήν να γίνει αυθαίρετα καλά ορισμένη. Οφείλουμε να θυμόμαστε, ωστόσο, ότι η κυματοσυνάρτηση δεν είναι μιά 1-1 αντιστοιχία με την πραγματική συμπεριφορά της ύλης, αλλά μόνον σε στατιστική αντιστοιχία. Έτσι, η κυματοσυνάρτηση θα ήταν άνευ σημασίας χωρίς την prescription ότι πρόκειται να ερμηνευτεί με όρους πιθανότητας ώστε το σύστημα να αποκτήσει μια ορισμένη θέση ή μια ορισμένη ορμή, εξαρτώμενη από την φύση του οργάνου μέτρησης με το οποίο αλληλεπιδρά. Αλλά αυτή η πιθανότητα έχει μια 1-1 αντιστοιχία μόνον με τις μέσες τιμές των μεταβλητών οι οποίες θα επιτευχθούν σε μια σειρά από πειράματα γινομένα με ισοδύναμες αρχικές συνθήκες. Για ότι αφορά κάθε μεμονωμένο ηλεκτρόνιο, παραμένει αληθινό ότι υπάρχει ένα όριο στην ακρίβεια με την οποία είναι ενδεδειγμένο για εμάς να αποδώσουμε ταυτόχρονα σε αυτό μια ορισμένη θέση και μια ορισμένη ορμή. Έτσι, ένα απομονωμένο ηλεκτρόνιο οφείλει να θεωρείται σαν να βρίσκεται σε μια κατάσταση στην οποία αυτές οι μεταβλητές να είναι στην πραγματικότητα όχι καλά ορισμένες αλλά να υπάρχουν μόνον σαν αντιτιθέμενες δυναμικότητες. Αυτές οι δυναμικότητες συμπληρώνουν η μια την άλλη, αφού καθεμιά είναι αναγκαία για μια πλήρη περιγραφή των φυσικών διαδικασιών μέσα από τις οποίες το ηλεκτρόνιο εκδηλώνει τον εαυτό του – από όπου και το όνομα “αρχή της συμπληρωματικότητας”. Δίνουμε τώρα μια πιο γενική διατύπωση της αρχής της συμπληρωματικότητας: Στο κβαντικό επίπεδο, οι πιο γενικές φυσικές ιδιότητες οποιουδήποτε συστήματος οφείλουν να εκφράζονται με όρους συμπληρωματικών ζευγών μεταβλητών, καθεμιά από τις οποίες μπορεί να οριστεί καλύτερα με αντίτιμο μίαν αντίστοιχη απώλεια στον βαθμό ορισμού της άλλης (τα πλαγιαστά στοιχεία είναι του ίδιου του Bohm. Σ.Τ.). Αυτή η αρχή βρίσκεται καθαρά σε έντονη αντίθεση με την κλασική έννοια ενός συστήματος το οποίο μπορεί να περιγραφεί ορίζοντας όλες τις ουσιαστικές μεταβλητές με μια αυθαίρετη υψηλή ακρίβεια. Διότι, στην κβαντική θεωρία συμπληρωματικά ζεύγη μεταβλητών είναι σε κάποια έκταση αντιτιθέμενες δυναμικότητες, καθεμιά από τις οποίες μπορεί να την κάνουμε να αναπτύξει μια πιο ακριβή τιμή αλλά μόνον κάτω από συνθήκες στις οποίες η άλλη αναπτύσσει μια λιγότερο ακριβή τιμή. Αυτό σημαίνει, φυσικά, ότι οι συμπληρωματικές μεταβλητές δεν είναι στην πραγματικότητα ασυμβίβαστες, αν βέβαια δεν είναι υπερβολικά ακριβώς ορισμένες – είναι μόνο η πλήρης ακρίβεια του ορισμού της καθεμιάς η οποία είναι ασύμβατη με εκείνη της άλλης. Τα πιο κοινά παραδείγματα συμπληρωματικών ζευγών

δυναμικότητων οι κανονικά συζυγείς μεταβλητές της κλασικής μηχανικής, όπως ορμή και θέση, ενέργεια και χρόνος. Εφόσον μία από αυτές είναι πάντοτε συσχετισμένη με τις αιτιοκρατικές πτυχές της ύλης και η άλλη με τις χωρο-χρονικές πτυχές, προκύπτει ότι αιτιοκρατικές και χωρο-χρονικές πτυχές είναι συμπληρωματικές. Η αρχή της συμπληρωματικότητας δεν περιορίζεται, ωστόσο, σε δυναμικές μεταβλητές διότι εφαρμόζεται επίσης σε πιο γενικές έννοιες. Για παράδειγμα είδαμε στο Κεφάλαιο 6, Τμήματα 9 και 13, ότι οι κυματικές και οι σωματιδιακές πτυχές είναι αντιτιθέμενοι αλλά συμπληρωματικοί τρόποι υλοποίησης των δυναμικότητων που περιέχονται σε δοσμένο κομμάτι ύλης, καθεμιά από τις οποίες μπορεί να τονιστεί περισσότερο στην αλληλεπίδραση με κατάλληλο περιβάλλον. Ένα άλλο παράδειγμα συμπληρωματικού ζεύγους εννοιών είναι η συνέχεια και η ασυνέχεια. Ας ανακαλέσουμε στην μνήμη μας, για παράδειγμα, ότι σε μια μετάπτωση ανάμεσα σε διακριτά ενεργειακά επίπεδα σε ένα άτομο, το ηλεκτρόνιο μεταπηδά από το ένα επίπεδο στο άλλο, χωρίς να παίρνει ενδιάμεσες τιμές της ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η κυματοσυνάρτηση κινείται συνεχώς από την περιοχή του χώρου που αντιστοιχεί στην αρχική τροχιά σε εκείνη που αντιστοιχεί στην τελική τροχιά. Δεν έχουμε ακόμα αναπτύξει το μαθηματικό εργαλείο που χρειάζεται για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα με λεπτομέρεια, αλλά στο Κεφάλαιο 22, Τμήμα 14, θα δείχτει ότι οι συνεχείς και οι ασυνεχείς πτυχές της μετάπτωσης είναι συμπληρωματικές με την έννοια ότι και οι δύο χρειάζονται για μια πλήρη περιγραφή της διαδικασίας παρά το γεγονός ότι η πλήρης ακρίβεια είναι ασυμβίβαστη με εκείνη της άλλης. Παραπέρα παραδείγματα της αρχής της συμπληρωματικότητας θα εμφανιστούν στην πορεία μελέτης τούτου του βιβλίου. Ωστόσο, θα δώσουμε εδώ, λίγα από τα παραδείγματα των επόμενων κεφαλαίων με ποιοτικούς όρους. Θα δούμε ότι ένα δοσμένο σύστημα είναι ικανό, κατ'αρχήν, να αναδείξει μια άπειρη πολλαπλότητα ιδιοτήτων οι οποίες δεν μπορούν να υπάρχουν όλες σε καλά-ορισμένες μορφές. Έτσι αν αρχίσουμε με ένα ζεύγος ιδιοτήτων (ή, κατηγοριών) σαν την ορμή και την θέση, βρίσκουμε ότι όχι μόνον καμιά από αυτές δεν υπάρχει σε επακριβώς ορισμένη μορφή, αλλά ότι υπάρχει επίσης εκεί ένα άπειρο πλήθος νέων ιδιοτήτων (ή κατηγοριών) που μπορούν να γίνουν ορισμένες μόνον όταν τόσο η ορμή όσο και η θέση είναι κάπως αόριστες. Αυτές οι ιδιότητες θα γίνουν στην πραγματικότητα ορισμένες μόνον όταν το υπό εξέταση αντικείμενο αλληλεπιδρά με ένα κατάλληλο σύστημα, σαν ένα κατάλληλο όργανο μέτρησης το οποίο αναδεικνύει την υλοποίηση τούτης της ιδιαίτερης ιδιότητας σε ορισμένη μορφή. Βλέπουμε ότι, τότε, ένα δοσμένο σύστημα είναι εν δυνάμει ικανό για μια ατέλειωτη πολλαπλότητα μετασχηματισμών στους οποίους οι παλιές κατηγορίες διαλύονται σχηματικά, για να αντικατασταθούν από νέες κατηγορίες οι οποίες διαμέσου των παλαιών. Έτσι οδηγούμαστε σε μια εξαιρετικά ρευστή και δυναμική έννοια της φύσης της ύλης, μια έννοια στην οποία δοθέν αντικείμενο μπορεί πάντοτε να ξεφύγει από οποιοδήποτε καλά-ορισμένο σύστημα κατηγοριών οι οποίες μπορεί να είναι κατάλληλες κάτω από ένα δοσμένο σύνολο συνθηκών και ότι, σύμφωνα με τις κλασικές συλλογιστικές γραμμές θα μπορούσε διαρκώς να περιορίζει την συμπεριφορά του με έναν ορισμένο τρόπο. Ένα εντυπωσιακό παράδειγμα τέτοιου μετασχηματισμού φαίνεται σε σύνδεση με ένα φράγμα δυναμικού, όπου το αποκαλούμενο “σωματίδιο” είναι ικανό να διαπεράσει μια κλασικά αδιαπέραστη περιοχή του χώρου επειδή το φράγμα αυτό αναδεικνύει τις κυματοειδείς του δυναμικότητες. Συμπεραίνουμε ότι η αρχή της συμπληρωματικότητας αντιπροσωπεύει μια αλλαγή στον τύπο έννοιας που είναι κατάλληλη για την περιγραφή της ύλης στο κβαντικό επίπεδο, συγκρινόμενη με τους τύπους εννοιών τους κατάλληλους στο κλασικό επίπεδο. (Για τούτη την σύνδεση δες Κεφάλαιο 23).

3.16 Η Αδιαίρετη Ενότητα του Κόσμου.

Φθάνουμε τώρα στην τρίτη σημαντική αλλαγή που επέφερε η κβαντική θεωρία στις θεμελιώδεις έννοιές μας – δηλαδή, ότι ο κόσμος δεν μπορεί να αναλυθεί ορθά σε διακριτά μέρη – αντίθετα οφείλει να θεωρείται σαν μια αδιαίρετη ενότητα στην οποία τα ξεχωριστά μέρη φαίνονται σαν εύλογες προσεγγίσεις μόνον στο κλασικό όριο. Αυτό το συμπέρασμα στηρίζεται στις ίδιες ιδέες που οδήγησαν στην αρχή της συμπληρωματικότητας – δηλαδή ότι οι ιδιότητες της ύλης είναι ατελώς ορισμένες και αντιτιθέμενες

δυναμικότητες οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν πλήρως μόνον στις αλληλεπιδράσεις με άλλα συστήματα (δες Κεφάλαιο 6, Μέρος 13). Έτσι, στο κβαντικό επίπεδο ακριβείας, ένα αντικείμενο δεν έχει κάποιες εσωτερικές (intrinsic) ιδιότητες (για παράδειγμα, σωματίδιο ή κύμα) που να ανήκουν μόνον σε αυτό – αντίθετα, μοιράζεται όλες τις ιδιότητές του αμοιβαία και αδιαίρετα με τα συστήματα με τα οποία αλληλεπιδρά. Παραπέρα, επειδή ένα δοσμένο αντικείμενο, σαν ένα ηλεκτρόνιο, αλληλεπιδρά σε διαφορετικούς χρόνους με διαφορετικά συστήματα τα οποία αναδεικνύουν διαφορετικές δυναμικότητες, υφίσταται (αυτό είδαμε στο Μέρος 14) συνεχή μετασχηματισμό ανάμεσα στις διάφορες μορφές (δηλαδή, την κυματική ή την σωματιδιακή μορφή) στις οποίες μπορεί να εκδηλωθεί το ίδιο. Αν και τέτοια ρευστότητα και εξάρτηση της μορφής από το περιβάλλον δεν έχουν βρεθεί, πριν την έλευση της κβαντικής θεωρίας, στο επίπεδο των στοιχειωδών σωματιών στην Φυσική, δεν είναι ασυνήθιστα στην κλασική εμπειρία, ιδιαίτερα σε πεδία, σαν την βιολογία, τα οποία ασχολούνται με πολύπλοκα συστήματα. Έτσι κάτω από κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες, ένα βακτηρίδιο μπορεί να εξελιχθεί σε κατάσταση σπόρου (spore state), η οποία είναι ολότελα διαφορετική σε δομή, και αντίστροφα. Ωστόσο αναγνωρίζουμε το βακτήριο και τον σπόρο σαν διαφορετικές μορφές του ίδιου ζωντανού συστήματος. Υπάρχει βεβαίως ομοιότητα εδώ με την κβαντική συμπεριφορά του ηλεκτρονίου, διότι μπορούμε επίσης να αναγνωρίσουμε σωματιδιακές και κυματικές πτυχές του ηλεκτρονίου σαν διαφορετικές μορφές της ίδιας υλικής οντότητας. Και στις δυο περιπτώσεις, κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν να αναδείξουν την μια πτυχή ή την άλλη δυο δυνατών τρόπων συμπεριφοράς. Ωστόσο υπάρχει μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στην αλλαγή από βακτήριο σε σπόρο και στην αλλαγή του ηλεκτρονίου από περισσότερο κυματοειδές σε περισσότερο σωματιδιοειδές αντικείμενο. Η αλλαγή από βακτήριο σε σπόρο μπορεί πιθανά να θεωρηθεί σαν μια αναδιάταξη των διαφορετικών μερών του βακτηρίου και του περιβάλλοντός του (δηλαδή, των ατόμων και μορίων) η οποία δημιουργήθηκε από τις δυνάμεις ανάμεσα σε αυτά τα μέρη, ενώ, όπως τονίσαμε στο Κεφάλαιο 6, Μέρος 13, η αλλαγή του ηλεκτρονίου δεν είναι δυνατόν να περιγραφεί με αυτόν τον τρόπο. Αντίθετα, είναι μια θεμελιώδης είναι αλλαγή αυτού που θα μπορούσαμε να αποκαλέσουμε κλασικά 'εσωτερική' (intrinsic) φύση του ηλεκτρονίου, αλλαγή η οποία δεν είναι παραπέρα αναλύσιμη με όρους υποθετικών συνιστωσών μερών του ηλεκτρονίου και του περιβάλλοντός του. Αυτή είναι η σημασία της δήλωσης ότι στο κβαντικό επίπεδο ακριβείας, το σύμπαν είναι ένα αδιαίρετο όλο, το οποίο δεν μπορεί να θεωρηθεί σωστά σαν αποτελούμενο από διακριτά μέρη. Για να αποσαφηνίσουμε τις επιπτώσεις αυτής της άποψης που αφορά την κβαντική φύση της ύλης θα παρουσιάσουμε, σε λίγα επόμενα Μέρη, μια αξιόπιστη λεπτομερειακή ανάλυση της κλασικής περιγραφής πολύπλοκων συστημάτων σαν αποτελούμενων από συνιστώμενα μέρη. Τότε θα δείξουμε με ποιό τρόπο αυτή η περιγραφή καταρρέει στο κβαντικό πεδίο. Έτσι θα οδηγηθούμε, με έναν άλλο τρόπο στο συμπέρασμα, που πετύχαμε ποιό άμεσα στο Κεφάλαιο 6, ότι ο κόσμος οφείλει να θεωρηθεί μια αδιαίρετη ενότητα.

3.17 Διάκριση ανάμεσα σε Αντικείμενο και σε Περιβάλλον στο Κλασικό Επίπεδο.

Οπότε συναντιώμαστε με ένα αντικείμενο του οποίου η φύση εξαρτάται κρίσιμα από το περιβάλλον, είτε στην κλασική, την κβαντική ή οποιαδήποτε άλλη θεωρία, αναγνωρίζουμε ότι η περιγραφή σαν ξεχωριστό σύστημα είναι ακατάλληλη, και ότι θα οφείλαμε να εξετάσουμε αντίθετα, το συνδυασμένο σύστημα, που συνίσταται από αντικείμενο και περιβάλλον, σαν ενιαίο. Στο κλασικό επίπεδο, ωστόσο, υποτίθεται πάντοτε ότι ακόμη και όταν ένα αντικείμενο είναι ισχυρά συνδεδεμένο με το περιβάλλον του, μια διάκριση ανάμεσα στα δύο μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή στην βάση του διαχωρισμού τους στον χώρο. Έτσι, με την βοήθεια ενός μικροσκοπίου, για παράδειγμα, μπορεί να δει κανείς ότι κάτι συμβαίνει σε μια ορισμένη περιοχή του χώρου, το οποίο σε οποιαδήποτε στιγμή αναζητά την ερμηνεία ότι αυτή η ιδιαίτερη περιοχή του χώρου καταλαμβάνεται από ένα αξιόπιστο ορισμένο αντικείμενο, το οποίο μπορούμε να ονομάσουμε βακτήριο. (Αν και η φυσική γραμμή διάκρισης ανάμεσα στο βακτήριο και το περιβάλλον ίσως να μην είναι απόλυτα ευδιάκριτη, αλλά είναι παρόλα αυτά πολύ στενή συγκρινόμενη με το μέγεθος

του βακτηρίου.) Πως θα περιγράψουμε τι συμβαίνει σε ένα τέτοιο σύστημα με το πέρασμα του χρόνου; Καθαρὰ, υπάρχουν ισχυρές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στο βακτήριο και στο περιβάλλον: πρώτα, εξαιτίας των δυνάμεων ανάμεσά τους και, έπειτα, επειδή υπάρχει ανταλλαγή ύλης ανάμεσά τους. Πράγματι, σε λίγες ώρες η περισσότερη ύλη που βρισκόταν αρχικά στο βακτήριο θα έχει εκδιωχθεί και αντικατασταθεί από ύλη από το περιβάλλον μέσο. Στο μεσοδιάστημα, το βακτήριο μπορεί επίσης να έχει μετατραπεί σε σπόρο. Πως τότε δικαιωνόμαστε να το σκεφτούμε αυτό σαν συνέχιση του ίδιου ζωντανού συστήματος που είδαμε αρχικά; Η δικαιολόγηση έγκειται εν μέρει στην συνέχεια της διαδικασίας αλλαγής που συμβαίνει στο βακτήριο και εν μέρει στο γεγονός ότι, σε όλους τους χρόνους, οι ιδιότητες του βακτηρίου και του περιβάλλοντος καθορίζονται από αιτιοκρατικούς νόμους.

3.18 Ο Ρόλος της Συνέχειας.

Ο ρόλος που παίζει η συνέχεια στο να κάμει δυνατή την ταυτοποίηση ενός αντικείμενου που αλλάζει είναι ξεκάθαρος. Αν, για παράδειγμα, μεγάλες ασυνεχείς και τυχαίες αλλαγές συνέβαιναν στο βακτήριο, δεν θα μπορούσαμε να χαράζουμε την ταυτότητά του με το πέρασμα του χρόνου. Η συνέχεια εξασφαλίζει επίσης ότι το βακτήριο δεν μετακινείται “stay put” ώστε να επιτρέψει να είναι ορατό και αναγνωρίσιμο. Δηλαδή, ακόμα και αν αλλάζει, το αποτέλεσμα των αλλαγών μπορεί πάντοτε να γίνει αυθαίρετα μικρό διαλέγοντας ένα επαρκώς μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο να το παρατηρούμε.

3.19 Ο Ρόλος των Αιτιοκρατικών Νόμων.

Ο ρόλος των αιτιοκρατικών νόμων στο να κάνουν δυνατή την ταυτοποίηση ενός αντικείμενου, είτε αυτό αλλάζει είτε όχι (τα πλαγιαστά στοιχεία είναι του ίδιου του Bohm. Σ.Τ.), είναι ίσως λιγότερο φανερός, αλλά δεν είναι σίγουρα λιγότερο σημαντικός. Η σημασία των αιτιοκρατικών νόμων σε τούτο το πρόβλημα είναι δυνατόν να αποδειχτεί με μια περιγραφή των διαδικασιών μέσω των οποίων το βακτήριο ταυτοποιείται σαν τέτοιο. Για παράδειγμα, το βακτήριο μπορεί να φαίνεται κοιτώντας σε ένα μικροσκόπιο. Αλλά εκτός κι αν το βακτήριο ικανοποιούσε αιτιοκρατικούς νόμους, τουλάχιστον στην έκταση της διάθλασης, της απορρόφησης και της ανάκλασης του φωτός με έναν συστηματικό και αξιόπιστο τρόπο, το μικροσκόπιο θα ήταν άχρηστο στο να το ταυτοποιήσει σαν ξεχωριστό αντικείμενο. Σε μια άλλη σημαντική δοκιμή, το αντικείμενο πρέπει να αντιδρά σε εξωτερικές διαταραχές με γνωστό και αξιόπιστο τρόπο. Έτσι, αν ένα βακτήριο σπρωχτεί (prowded) με μια μικρή βελόνα, αντιδρά λιγότερο ή περισσότερο σαν ένα κομμάτι ζελέ και όχι σαν ένα κομμάτι τζάμι. Αν ορισμένη μογιά (dye) εισαχθεί μέσα στο μέσο, τότε κάθε τύπος βακτηρίου δείχνει τις δικές του χαρακτηριστικές αντιδράσεις χρωματισμού. Πολύ περισσότερα παρόμοια παραδείγματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, αλλά μπορούμε να συνοψίσουμε ένα ευρύ πεδίο της γενικής εμπειρίας λέγοντας ότι ένα αντικείμενο ταυτοποιείται με τον τρόπο με τον οποίο αντιδρά σε δυνάμεις διαφορετικών ειδών. Αυτές οι δυνάμεις μπορεί να είναι ηλεκτρομαγνητικές, μηχανικές, βαρυτικές ως προς την προέλευση. Μπορούν επίσης να αναδεικνύονται από τις δυνάμεις των χημικών αντιδράσεων των μορίων, είτε ακόμα και με άλλους τρόπους οι οποίοι δεν αναφέρονται εδώ. (Σημειώστε ότι αυτό το κριτήριο εμπεριέχει το να κοιτάμε το αντικείμενο με την βοήθεια του φωτός.) Εφόσον η διατύπωση ότι ένα αντικείμενο αντιδρά με έναν καθορισμένο τρόπο σε δυνάμεις υπονοεί ότι ικανοποιεί αιτιοκρατικούς νόμους, συμπεραίνουμε ότι κανέναν αντικείμενο δεν μπορεί ποτέ να ταυτοποιηθεί σαν τέτοιο παρά μόνον αν υπακούει σε αιτιοκρατικούς νόμους. Ο ίδιος τύπος κροτηρίων χρησιμοποιείται για να αναγνωρίσουμε στοιχειώδη σωματίδια όπως πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Η πρώτη πειστική παρατήρηση για την ύπαρξη τέτοιων σωματιδίων ήταν η εμφάνιση φαινομενικά συνεχών ιχνών σε θάλαμο φουσαλλιδων, ιχνών τα οποία καμπυλώνονταν από ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις με ακριβώς τον τρόπο με τον οποίο που η τροχιά ενός φορτισμένου σωματιδίου θα καμπυλωνόταν. Είναι από την αντίδραση στις ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις, και από τον ιονισμό άλλων ατόμων από τις ηλεκτρικές δυνάμεις τις παραγόμενες από ένα

φορτισμένο σωματίδιο, που ταυτοποιούνται ένα ηλεκτρόνιο ή ένα πρωτόνιο.

3.20 Ανάλυση και Σύνθεση.

Αν ένα σύστημα κινείται συνεχώς και υπακούει σε αιτιοκρατικούς νόμους, μπορούμε να συνεχίσουμε, με το πέρασμα του χρόνου, να το ταυτοποιούμε σαν ένα ξεχωριστό αντικείμενο, αν και ίσως αλληλεπιδρά ισχυρά με το περιβάλλον του και υφίσταται μεγάλες αλλαγές σαν αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης. Αν τέτοιες αλλαγές συμβαίνουν μπορούν τότε να γίνουν κατανοητές με όρους των αιτιοκρατικών νόμων. Έτσι, οι αλλαγές στην δομή του βακτηρίου όταν πηγαίνει προς το στάδιο του σπόρου σκεπτόμαστε ότι προκαλούνται από τις ηλεκτρικές, μαγνητικές και χημικές δυνάμεις ανάμεσα στα μόρια που αποτελούν το βακτήριο και το περιβάλλον. Και είναι αυτές οι δυνάμεις οι οποίες προκαλούν διάφορα μέρη του συστήματος να κινούνται με τρόπο ώστε, με την πάροδο του χρόνου, το βακτήριο να μετασχηματίζεται σε σπόρο. Οι προηγούμενες ιδέες μπορούν τώρα να γενικευτούν. Πρακτικά σε όλα τα πεδία της επιστήμης, όπως και σε μεγάλο μέρος της καθημερινής ζωής, χρησιμοποιούμε υπόρρητα το πρόγραμμα ανάλυσης του κόσμου σε μέρη, και σύνθεσης αυτών των μερών με την βοήθεια αιτιοκρατικών νόμων. Αν αυτό το πρόγραμμα πρόκειται να έχει νόημα, είναι αναγκαίο τα μέρη να έχουν ιδιότητες οι οποίες, τουλάχιστον κατ'αρχήν, να τα διευκολύνουν να ταυτοποιηθούν και να περιγραφούν σαν να εργάζονται όλα μαζί σύμφωνα με αιτιοκρατικούς νόμους προκειμένου να σχηματίσουν το όλο. Η διαδικασία της ταυτοποίησης, όπως πραγματοποιείται στην πράξη, περιέχει πάντα την υπόρρητη σύμβαση της συνέχειας και της αιτιοκρατίας. Έτσι υποθέτουμε ότι, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, κάθε μέρος καταλαμβάνει μια ορισμένη περιοχή του χώρου και έχει ορισμένο σχήμα και δομή, που όλα αυτά αλλάζουν συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου. Εξίσου σημαντική, ωστόσο, είναι η παραδοχή ότι μπορούμε να αποδώσουμε ορισμένα και χαρακτηριστικά αποτελέσματα σε κάθε μέρος. Αυτό σημαίνει ότι στην αλληλεπίδρασή του με τους διάφορους τύπους δυνάμεων που χρησιμοποιούνται για να εξετάσουμε τις ιδιότητές του, το σύστημα υποτίθεται ότι ικανοποιεί αιτιοκρατικούς νόμους. Εφόσον, κατ'αρχήν, ένα αντικείμενο μπορεί να παρατηρηθεί ή να εξεταστεί διαμέσου οποιουδήποτε τύπου δυνάμεων, συμπεραίνουμε ότι αν ένα σύστημα μπορεί να αναλυθεί σε ταυτοποιήσιμα μέρη, οφείλει να υπακούει σε αιτιοκρατικούς νόμους σε όλες τις αλληλεπιδράσεις. Αλλιώς, θα είχαμε οδηγηθεί να αμφιβάλουμε για την ταυτοποίηση των μερών, εφόσον όλα τα μέσα παρατήρησης δεν θα οδηγούσαν κατ'ανάγκη στα ίδια αποτελέσματα. Οι ίδιες γενικές απαιτήσεις συνέχειας και αιτιοκρατίας, που απαιτούνται για να κάνουμε ένα σύστημα αναλύσιμο σε διακριτά μέρη, είναι επίσης ότι απαιτείται για να κα'μουμε δυνατή μια περιγραφή του πως όλα τα μέρη εργάζονται μαζί για να σχηματίσουν το όλο. Έτσι τα προγράμματα της ανάλυσης και της σύνθεσης πηγαίνουν μαζί.

3.21 Εφαρμοσιμότητα της Ανάλυσης και της Σύνθεσης στην Κλασική Θεωρία.

Είναι αμέσως προφανές ότι όσο η κλασική φυσική είναι έγκυρη, η απαίτηση για μια ανάλυση του κόσμου σε μέρη και μια σύνθεση αυτών των μερών σε ένα όλο, μπορεί να ικανοποιηθεί. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι όλα τα μέρη του κόσμου (για παράδειγμα, τα άτομα, τα μόρια, τα ηλεκτρόνια) υποτίθεται ότι κινούνται συνεχώς και ότι ικανοποιούν αιτιοκρατικούς νόμους.

3.22 Κλασικά Περιγράψιμα σε αντίθεση με Κατ'Ουσίαν Κβαντομηχανικά Συστήματα.

Ας κοιτάξουμε τώρα τι συμβαίνει όταν προσπαθούμε να επεκτείνουμε αυτές τις ιδέες στο κβαντικό πεδίο. Κάνοντάς το αυτό, είναι βολικό να κάνουμε διάκριση ανάμεσα σε κλασικά περιγράψιμες διαδικασίες και σε εκείνες που είναι ουσιαστικά κβαντο-μηχανικές ως προς την φύση. Σε τελευταία ανάλυση όλες

οι διαδικασίες είναι, προφανώς, κβαντο-μηχανικές ως προς την φύση, αλλά υπάρχουν πολλές διαδικασίες οι οποίες εμπεριέχουν σχετικά μεγάλα αντικείμενα και, επομένως, υπερβολικά πολλά quanta, για τις οποίες μια ακριβής περιγραφή στο κβαντικό επίπεδο ακρίβειας δεν είναι ουσιώδης επειδή τα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά του συστήματος δεν εξαρτώνται κρίσιμα από την μεταφορά λιγότερων ή περισσότερων quanta (τα πλαγιαστά στοιχεία είναι του ίδιου του Bohm. Σ.Τ.) Τέτοιες διαδικασίες μπορούν να περιγραφούν, πολύ βολικά, με όρους της κλασικής μόνον θεωρίας. Ας σημειωθεί ότι η διάκριση ανάμεσα σε κλασικά περιγράψιμα συστήματα και σε κατ'ουσία κβαντο-μηχανικά συστήματα δεν βρίσκεται στην βάση της ακρίβειας με την οποία μπορούμε να κάνουμε μια παρατήρηση αλλά είναι, μάλλον, στην βάση του αν τα αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν εξαρτώνται κρίσιμα από τις κβαντικές ιδιότητες της ύλης. Σαν παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ξανά το βακτήριο. Με κβαντικά standards, το βακτήριο είναι ένα αξιόπιστο μεγάλο αντικείμενο και θα έπρεπε, επομένως, να αναμένουμε ότι οι περισσότερες από τις δράσεις του μπορούν να κατανοηθούν με την κλασική περιγραφή μόνον. Έτσι, το πρόγραμμα ανάλυσης ενός κύτταρου στα μέρη του, με τελικό στόχο να κατανοηθεί το πως αυτά τα μέρη δουλεύουν μαζί προκειμένου να σχηματίσουν το όλο κύτταρο, μπορεί πιθανώς να αιτιολογηθεί απευθείας στην βάση της εφαρμοσιμότητας της κλασικής θεωρίας σε όλα τα σημαντικά μέρη. Δεν είναι ασύλληπτο και ίσως ούτε απίθανο ότι μπορεί να υπάρχουν “αλυσιδωτές αντιδράσεις” σε ένα κύτταρο, οι οποίες να μπορούν να πολλαπλασιάσουν τα αποτελέσματαορισμένων κομβικών κβαντικών διαδικασιών σε ένα κλασικά παρατηρήσιμο επίπεδο. Αν κάτι τέτοιο ήταν σωστό, τότε το πρόγραμμα της ανάλυσης και της σύνθεσης θα έπρεπε να επανεξεταστεί στο φως της κβαντικής θεωρίας, τουλάχιστον στο βαθμό που αφορά τούτες τις κομβικές ιδιότητες.

3.23 Μια Προσπάθεια να Αναλύσουμε ένα Κβαντικό Σύστημα σε Μέρη.

Όταν κατεβαίνουμε στο κβαντικό επίπεδο ακρίβειας, εμφανίζονται σοβαρές δυσκολίες στην προσπάθεια να φέρουμε σε πέρας ένα πρόγραμμα ανάλυσης και σύνθεσης. Αυτές οι δυσκολίες αναδύονται στην περίπτωση κατά την οποία η εφαρμογή των αιτιοκρατικών νόμων απαιτεί έναν ακριβή ορισμό της ορμής κάθε μέρους του συστήματος – αυτό είναι αδύνατο όταν το σύστημα είναι τοπικοποιημένο (localized) με οποιονδήποτε τρόπο. Στο κλασικό επίπεδο αυτό το υπόλοιπο έλλειψης πλήρους αιτιοκρατίας είναι αμελητέο, αλλά καθώς προσπαθούμε να χειριστούμε ολοένα και πιο μικρά αντικείμενα, γίνεται ολοένα και πιο δύσκολο να εξερευνήσουμε τις ιδιότητές τους διαμέσου της αντίδρασής τους σε εξωτερικές δυνάμεις. Για παράδειγμα, δεν αντανακλούν πλέον το φως με συνεχή και ορισμένο τρόπο αλλά, αντίθετα, αρχίζουν να το ανακλούν ασυνεχώς (με την μορφή των quanta) και κάπως ακανόνιστα. Έτσι όταν τα κοιτάζουμε σε ένα μικροσκόπιο, τέτοια αντικείμενα θα φαίνονται να διακυμαίνονται σε μέγεθος, σχήμα και σε άλλες ιδιότητες ασυνεχώς και χωρίς αρκετή κανονικότητα στην συμπεριφορά. Η αντίδρασή τους στην εξερεύνηση με μηχανικές ή ηλεκτρικές δυνάμεις θα γίνει εξίσου ακανόνιστη εξαιτίας των γρήγορων και ανεξέλεγκτων ανταλλαγών quanta ανάμεσα στο αντικείμενο και στον εξερευνητή. Έτσι, θα γίνει δύσκολο να αποφασίσουμε, για παράδειγμα, αν το αντικείμενο είναι “σίκληρό” ή “μαλακό”. Η έλλειψη συνέχειας στην κίνηση, συζευγμένη με γρήγορα και ανεξέλεγκτα μεταβαλλόμενη φύση όλων των μερών θα το έκανε δύσκολο για εμάς το να συνεχίσουμε να ταυτοποιούμε, με το πέραςμα του χρόνου, κάθε μέρος, εφόσον ανάμεσα σε παρατηρήσεις ένα μέρος θα μπορούσε να αλλάζει με πολύ θεμελιώδη τρόπο. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να μετατραπεί από κάτι που έμοιαζε με κύμα σε κάτι που μοιάζει με σωματίδιο, αλλά θα ήταν αδύνατο να ακολουθήσουμε λεπτομερειακά την μετάβαση ανάμεσα στα δυό, όπως είναι δυνατόν να γίνει στην μετάβαση από το βακτήριο στον σπόρο. Αν υπήρχαν πολλά όμοια αλληλεπιδρώντα μέρη (για παράδειγμα, στοιχειώδη σωματίδια), θα γινόταν γρήγορα αδύνατο να βεβαιωθούμε ότι ακολουθούμε το ίδιο μέρος με το οποίο είχαμε ξεκινήσει.

4 Σύντομες συμπερασματικές σκέψεις.

4.1 Τα Γενικά Πλεονεκτήματα του *Quantum Theory* (1951).

Ο Max Planck (1858-1947), ένας από τους πατέρες της κβαντομηχανικής, έγραφε στο πασίγνωστο δοκίμιό του: *Μυήσεις στην Φυσική*:

“ Πόσο διαφορετική είναι σήμερα η άποψη του δογματικού συνόλου το οποίο σχηματίζεται από τις θεωρίες της Φυσικής! Κατ’αρχάς αυτό το σύνολο προσφέρει έναν χαρακτήρα ενότητας πολύ πιο τονισμένο. Το πλήθος των επιμέρους κλάδων από τους οποίους συντίθεται η Φυσική έχει γίνει μικρότερο και τούτο διότι κάθε καντόνι ενσωμάτωσε ένα γειτονικό καντόνι: η Ακουστική απορροφήθηκε από την Μηχανική, ο Μαγνητισμός και η Οπτική μπήκαν μέσα στην Ηλεκτροδυναμική. Έπειτα, αυτή η απλοποίηση συνοδεύτηκε πάντοτε, σε όλους τους ορισμούς, από μια αντίστοιχη υποχώρηση του ανθρωπομορφικού στοιχείου, κατάλοιπου του παρελθόντος. (τα πλαγιαστά στοιχεία είναι του ίδιου του Planck. Σ.Τ.)”[8]

Αυτή η άποψη είναι κυρίαρχη ακόμα και σήμερα. Είναι, όμως, σίγουρο ότι αναφορικά με την διδασκαλία, είναι και καταστροφική, διότι εξοβελίζει τον άνθρωπο. Ο Carl Gustav Jung (1875-1961) έγραφε:

“Στην διάρκεια του ενάμισου αιώνα που πέρασε από την *’Κριτική του Καθαρού Λόγου’* (1781, 1787) άρχισε σιγά-σιγά να ανατέλλει η άποψη ότι σκέψη, λόγος, κατανόηση, κλπ δεν είναι καθόλου διαδικασίες που υπάρχουν για αυτές τις ίδιες, απαλλαγμένες από κάθε υποκειμενική διαμόρφωση, και απλά στην υπηρεσία των αιώνιων νόμων της λογικής. Είναι αναπληρωματικές ψυχικές λειτουργίες ή υπαγόμενες σε μια προσωπικότητα. Το ερώτημα δεν είναι πλέον: Το βλέπουμε;, το ακούμε;, το ακουμπάμε με τα χέρια μας;, μήπως το ζυγίζουμε;, το μετράμε;, το βρισκόμαστε λογικό; Το ερώτημα είναι: *’Ποιός βλέπει;, ποιός ακούει;, ποιός σκέφτηκε;’*”[4], p: 204, 205.

Το ερώτημα που θέτει ο Jung, αναδεικνύεται θριαμβευτικά στην διδασκαλία διότι οι μαθητές κατανοούν όλοι με διαφορετικό τρόπο. Η άποψη του Planck όμως είναι βαθύτατα επικίνδυνη διότι αδιαφορεί για τον Άνθρωπο ο οποίος βιώνει (σε ολόκληρη την ιστορική πορεία του) την τρομακτική εμπειρία ότι ενώ είναι ο δημιουργός των εννοιών, είναι συγχρόνως και σκλάβος τους με την έννοια ότι δυσκολεύεται πάντοτε να τις κατανοήσει. Η συνεχής ενσωμάτωση του ενός καντονιού στο άλλο, αλλά και η αντίστοιχη υποχώρηση του ανθρωπομορφικού στοιχείου για τις οποίες επαιρείται ο Planck, θεωρώντας τες επιτεύγματα, θέτουν παραπάνω εμπόδια στον άνθρωπο που αγωνίζεται να μάθει. Διότι, ασφαλώς, καμμιά υποενοότητα της Φυσικής δεν ανάγεται στις εξισώσεις της. Αν υποθέσουμε (με μεγάλη δόση καλής θέλησης) ότι στην εποχή του Planck οι διδάσκοντες είχαν τις γνώσεις, την πείρα, τον χρόνο και την βούληση να εξηγήσουν αναλυτικά στους μαθητές τους αυτήν την ενσωμάτωση είναι λογικό να αμφιβάλουμε ότι θα κατόρθωναν ποτέ να διδάξουν αποτελεσματικά αφού ο ταιλορισμός είχε αρχίσει να εφαρμόζεται στην έρευνα οπότε, οι μαθητές τους θα είχαν οπωσδήποτε λιγότερες γνώσεις, λιγότερο χρόνο, λιγότερη πείρα (αφού είχαν υποστεί την ως άνω αναγωγή) και, τελικά, λιγότερη βούληση να κάνουν το ίδιο με τους δικούς τους μαθητές. Με το φαινόμενο να επαναλαμβάνεται ενισχυόμενο με την πάροδο των γενεών οδηγώντας στην σημερινή παγκόσμια χαοτική κατάσταση στην διδασκαλία.

Από την άλλη πλευρά μια θεμελιώδης αρχή της σωστής διδασκαλίας λέει ότι αυτή οφείλει να ξεκινάει από το ειδικό και να τείνει προς το γενικό. Η διατύπωση του Planck ότι κάθε καντόνι ενσωματώνει τα γειτονικά του υπονοεί ότι τούτη η ενσωμάτωση είναι λειτουργική στην διδασκαλία επειδή είναι λειτουργική στα υπερουράνια δώματα της έρευνας. Οι διδάσκοντες γνωρίζουν καλά ότι τούτη η ενσωμάτωση διαμορφώνει μαθητές χωρίς πυξίδα, που είναι ίσως γρήγοροι στις υπολογιστικές τεχνικές αλλά οι οποίοι αγνοούν βαθιά

την δομή της Φυσικής. Που είναι, δηλαδή, ανίκανοι να σκιαγραφήσουν πειστικά οποιαδήποτε υποενότητα της. Είναι βέβαιο ότι αυτή η ενσωμάτωση κερδίζει χρόνο, αντί να διδάξουμε τέσσερις υποενότητες διδάσκουμε, για παράδειγμα, μόνον μία. Προς όφελος του Κεφαλαίου και του κέρδους!

Αντίθετα με τον Planck, ο Bohm του *Quantum Theory* (1951) πηγαίνει **ενάντια στο ρεύμα**. Είναι σαφές, ακριβολόγος, όσο αναλυτικός χρειάζεται και, κυρίως, δεν είναι ποτέ λακωνικός. Αντιμετωπίζει τις έννοιες με βάση την ιστορία τους που, κι εκείνη, την αντιλαμβάνεται σαν ιστορία ανθρώπων και όχι σαν ιστορία αφηρημένων ιδεών. Στο *Quantum Theory* πρωταγωνιστής είναι **ο Άνθρωπος**. Η γλώσσα του βιβλίου είναι καθημερινή, φιλική, εύληπτη. Θα μπορούσε να την θεωρήσει κανείς λακωνική συγκρινόμενη με εκείνη των υποδειγματικών κειμένων του Galileo Galilei (1564-1642) που αποτελούν μνημεία της ιταλικής γλώσσας ή ακόμα και με την γλώσσα των J.H.Poynting-J.J.Thomson, αν και σε κάθε περίπτωση δεν στερείται την απαραίτητη ακριβολογία ούτε προκαλεί δυσφορία στον αναγνώστη. Δηλώνει ευθύς εξαρχής ότι:

“Υπήρξε στόχος του συγγραφέα, σε ολόκληρο το βιβλίο, να παρουσιάσει τις κύριες ιδέες της κβαντικής θεωρίας με μη-μαθηματικούς όρους”.

Ο αναγνώστης του *Quantum Theory* αντιλαμβάνεται (στον βαθμό που διαβάζει με την απαραίτητη προσοχή) ότι αν θέλει να αφομοιώσει τις έννοιες οφείλει να γίνει **μελετητής**. Το *Quantum Theory* αποδεικνύει ότι ο συγγραφέας υπήρξε ερευνητής και δάσκαλος, αφού συμμετείχε ενεργά στην Φυσική *en τω γεννάσθαι*:

1. λαβαίνοντας σοβαρά υπόψη του τις παρατηρήσεις του J. R. Oppenheimer (1904-1967) πάνω στην κβαντική θεωρία, όπως και τις παρατηρήσεις του Niels Bohr (1885-1962) σε σειρά διαλέξεων [που αργότερα εκδόθηκαν με τίτλο: Atomic Theory and the Description of Nature], οι οποίες (παρατηρήσεις) του έδωσαν (στον Bohm) την γενική φιλοσοφική βάση για μια ορθολογική κατανόηση της κβαντικής θεωρίας, και
2. σχεδίαζε την διδασκαλία του εμπνεόμενος από: τις συζητήσεις με τους φοιτητές του, των ετών 1947 και 1948.

4.2 Το Διδακτικό Υπόβαθρο.

Η λεγόμενη Διδακτική των Επιστημών δεν βρίσκεται στο κέντρο των ενδιαφερόντων μου. Από την άλλη, όμως, μεριά είναι καθημερινά αντιμέτωπος με το δύσκολο και συναρπαστικό καθήκον της διδασκαλίας οπότε εξαναγκάστηκα να αναζητήσω διδακτικές πηγές κατάλληλες να βοηθήσουν τούτο το καθήκον. Και διαπίστωσα ότι τέτοιες πηγές όχι μόνον υπάρχουν (εδώ και πάμπολλα χρόνια) αλλά ότι συνεχώς παράγονται και καινούργιες, εξαιρετικά ενδιαφέρουσες, οι οποίες μάλιστα εκσυγχρονίζουν τις παλαιότερες παραμένοντας προσηλωμένες στις ίδιες απαράβατες αρχές. Δεδομένου ότι αναγκαστικό προαπαιτούμενο της μελέτης της Κβαντομηχανικής είναι η στέρεη γνώση της Κλασικής Μηχανικής αδυνατώ να αντισταθώ στον πειρασμό να συζητήσω ένα πρόσφατο σύγγραμμα το οποίο, όταν το πρωτοσυνάντησα, με άφησε κυριολεκτικά άφωνο. Πρόκειται για το Classical Mechanics with Calculus of Variations and Optimal Control (an Intuitive Introduction), [5]. Ο συγγραφέας Mark Levi ακολουθεί την ακόλουθη αρχή: Οι ιδέες έρχονται πριν από τους τύπους. Είχε δίκιο ο Einstein όταν έλεγε ότι:

“Αν δεν μπορείς να το εξηγήσεις σε ένα εξάχρονο δεν το καταλαβαίνεις ούτε εσύ ο ίδιος!”[5],p: xiv.

, επομένως

“Κάθε τι οφείλει να γίνει όσο το δυνατόν πιο απλό. Όχι όμως απλούστερο.”[5], p: xiv.

Το βιβλίο αυτό έχει προκύψει σαν εγχειρίδιο για το εξαμηνιαίο προχωρημένο προπτυχιακό πρόγραμμα MASS, το οποίο ξεκίνησε το 1996 στις Η.Π.Α. Δηλαδή είναι οπωσδήποτε μέσα στα πλαίσια των δυνατοτήτων ενός φυσικού. Η τεράστια χρησιμότητά του έγκειται στον τρόπο παρουσίασης των θεμάτων. Ο συγγραφέας ακολουθεί την ευρετική (heuristic) μέθοδο. Από την μελέτη του 8ου Κεφαλαίου του Quantum Theory γίνεται φανερό ότι η καλή κατανόηση της εξίσωσης Hamilton-Jacobi είναι απαραίτητη για να γίνει αντιληπτό το νόημα της εξίσωσης του Schrödinger. Αλλά η εξίσωση Hamilton-Jacobi βρίσκεται στα τελευταία θέματα που διδάσκεται ένας φυσικός από την Κλασική Μηχανική και αν ακολουθήσει κανείς την σειρά των εγχειριδίων Κλασικής Μηχανικής χρειάζεται πολύς χρόνος για να φτάσει σε αυτήν. Επιπρόσθετα, η παραδοσιακή της διδασκαλία είναι φορτωμένη με πολύ φορμαλισμό ο οποίος συσκοτίζει, αν δεν αποκηρύπτει, το φυσικό της περιεχόμενο. Ο Mark Levi έχει εστιάσει την προσοχή του όχι στον φορμαλισμό αλλά στο φυσικό περιεχόμενο, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι το βιβλίο διαβάζεται χωρίς μολύβι και χαρτί! Απλά, η παρουσίαση σε καθηλώνει. Ο Victor Guillemin γράφει για το βιβλίο αυτό: “This is a refreshingly low key, down-to-earth account of the basic ideas in Euler-Lagrange and Hamilton-Jacobi theory and of the basic mathematical tools that relate these two theories. By emphasizing the ideas involved and relegating to the margins complicated computations and messy formulas, he has written a textbook on an ostensibly graduate level subject that second and third year undergraduates will find tremendously inspiring.”

4.3 Ξεκινώντας να Δουλεύουμε Μόνοι μας.

Πρόκειται να διδάξουμε Κβαντομηχανική. Πρώτο βήμα για να γίνει κάτι τέτοιο είναι να γνωρίζουμε με ποιο τρόπο θα εισάγουμε το αντικείμενο αυτό στο ακροατήριό μας. Είναι σημαντικό για τον μαθητή να γνωρίζει, με μια σχετική βεβαιότητα, από που ξεκινάει και που πρόκειται να φθάσει. Χωρίς τέτοια γνώση θα 'χτίσει' ένα οικοδόμημα στον αέρα. Εξετάζοντας τα βιβλία που έχουμε συγκεντρώσει συγκεντρώνουμε τα εξής θέματα (η σειρά δεν έχει σημασία):

1. περίθλαση ηλεκτρονίων από κρυστάλλους,
2. φωτο-ηλεκτρικό φαινόμενο,
3. ακτινοβολία μέλανος σώματος,
4. φωτόνια,
5. φαινόμενο Compton,
6. περίθλαση και συμβολή κυμάτων,
7. Αρχή του Fermat, Αρχή της Ελάχιστης Δράσης,
8. ένταση ακτινοβολίας,
9. σύννεφο ηλεκτρονίων,
10. πείραμα του Laue στις ακτίνες-X,
11. κυματοπακέτο,
12. συνάρτηση $-\delta$, κλπ...
13. Λαγκρανζιανές και Χαμιλτόνιες εξισώσεις κίνησης,

14. Θεώρημα του Liouville,
15. Αρχή του Hamilton,
16. εξισώσεις Euler-Lagrange,
17. Αρχή της Ελάχιστης Δράσης,
18. Αρχή του Fermat,
19. Αρχή του Huygens,...

Αναδύονται τα ερωτήματα: τι εκφράζει το καθένα από αυτά, πότε έγινε το πείραμα;, πότε διαμορφώθηκε η έννοια;, ποιά 'εργαλεία' είναι απαραίτητα για την κατανόησή του;, σε ποιά συμπεράσματα οδήγησε το πείραμα, τι αλλαγές επέφερε η καινούργια έννοια; κλπ... Πως θα απαντήσουμε τούτα τα ερωτήματα; Μέσα από τα σωστά βιβλία που έχουμε συγκεντρώσει. Στο βιβλίο του: An Introduction to the Study of Wave Mechanics, [2], ο Louis de Broglie, επιχειρεί μια κατανοητή, για τον αρχάριο, εισαγωγή στην Κυματομηχανική. Μελετώντας την Εισαγωγή του βιβλίου αυτού, βλέπουμε ότι σε δέκα (10) μόλις σελίδες ο de Broglie ενώνει τις τόσες αρχικές μας απορίες σε ένα αξιολογικό και συνεκτικό σύνολο.

4.4 Η χρονολογική σειρά των γεγονότων που θεμελίωσαν την Κβαντομηχανική.

Η ταχύτητα ανάπτυξης των ιδεών που διαμόρφωσαν την Κβαντομηχανική ήταν τόσο μεγάλη που είναι λογικό να θεωρήσει κανείς ότι παρόμοια δεν είχε εμφανιστεί σε καμμιά άλλη φάση ανάπτυξης της Φυσικής. Δίνω εδώ έναν συνοπτικό χρονολογικό πίνακα των σημαντικών γεγονότων, παρμένον από το [6], pages: 252-255.

- De Broglie, 10 Σεπτεμβρίου 1923. “Μετά από μακρύ στοχασμό σε απομόνωση και από διαλογισμό, είχα έξαφνα την ιδέα, κατά την διάρκεια του 1923, ότι η ανακάλυψη του Einstein στα 1905 όφειλε να γενικευτεί επεκτείνοντάς την σε όλα τα υλικά σωματίδια και ιδιαίτερα στα ηλεκτρόνια.”
- Bose, 2 Ιουλίου 1924. Εισάγει μια νέα μέθοδο στατιστικής μέτρησης η οποία οδηγεί στον νόμο ακτινοβολίας του Planck.
- Einstein, 10 Ιουλίου 1924. Επεκτείνει την μέθοδο του Bose σε αέριο ελεύθερων υλικών σωματιδίων. Η μελέτη του των διακυμάνσεων γύρω από την θέση ισορροπίας αυτού του κβαντικού αερίου τον οδηγεί (8 Ιανουαρίου 1925) να συνδέσει κύματα με σωματίδια αερίου μέσω ενός επιχειρήματος ανεξάρτητο εκείνου του de Broglie.
- Pauli, 16 Ιανουαρίου 1925. Ανακοινώνει την Απαγορευτική Αρχή του (exclusion principle).
- Heisenberg, 25 Ιουλίου 1925. “Είναι καλύτερα... να δεχθούμε ότι η μερική συμφωνία των κβαντικών κανόνων [της παλαιάς θεωρίας] με το πείραμα είναι λιγότερο ή περισσότερο τυχαία, και να προσπαθήσουμε να αναπτύξουμε μια κβαντική θεωρητική μηχανική, ανάλογη με την κλασική μηχανική στην οποία εμφανίζονται μόνο σχέσεις ανάμεσα σε παρατηρήσιμες ποσότητες.”
- Born και Jordan, 27 Σεπτεμβρίου 1925. Επισημαίνουν ότι ο κανόνας του Heisenberg (12.8) δεν είναι τίποτε άλλο από τον γνωστό μαθηματικό κανόνα για τον πολλαπλασιασμό μητρών.
- Dirac, 7 Νοεμβρίου 1925. Δίνει μια ανεξάρτητη απόδειξη της σχέσης (12.11). Εισάγει την έννοια του 'μεταθέτη'.

- Schrödinger, 27 Ιανουαρίου 1926. Ο Felix Bloch (1905-1983) θυμάται ότι σε ένα συνέδριο στην Ζυρίχη έγραψε: “Ήμουν πολύ νεαρός για να εκτιμήσω πραγματικά την σημασία αυτής της ομιλίας, αλλά από την γενική αντίδραση του ακροατήριου συνειδητοποίησα ότι κάτι μάλλον σημαντικό είχε γίνει.”
- Heisenberg, 23 Μαρτίου 1927. Παρουσιάζει τις σχέσεις Απροσδιοριστίας του.
- Bohr, 16 Σεπτεμβρίου 1927. Διατυπώνει την Αρχή της Συμπληρωματικότητας.

4.5 Η διδακτορική διατριβή (1925) του Louis de Broglie: Έρευνες πάνω στην θεωρία των Κβάντα.

Αφού στόχος της παρούσας εργασίας είναι να βοηθηθούν οι διδάσκοντες να προσανατολιστούν στο δυσκολότατο γνωστικό αντικείμενο της Κβαντικής Θεωρίας, θα παραθέσω τέσσερεις μόνον επισημάνσεις του 1ου Κεφαλαίου (*Το Κύμα Φάσης*) της διατριβής [1] αυτής διότι έχω την εντύπωση ότι βοηθούν τα μέγιστα στο χτίσιμο της κατανόησης (understanding) αλλά και διότι απουσιάζουν από Κεφάλαιο περί Κβαντομηχανικής του σχολικού (κατ' ευφημισμό) βιβλίου!

1. *One of the most important new concepts introduced by Relativity is the inertia of energy* (Μια από τις πλέον σημαντικές νέες έννοιες που έχουν εισαχθεί από την Σχετικότητα είναι η αδράνεια της ενέργειας. Αδράνεια της ενέργειας; Τον έχετε ξανασυναντήσει αυτόν τον όρο; Σας παρακίνησε ποτέ κανένας διδάσκων να τον στοχαστείτε;; να τον συζητήσετε;;;)
2. *In so far as there is always a fixed proportionality between mass and energy, we may regard material and energy as two terms for the same physical reality.* (Στο βαθμό που υπάρχει πάντα μια σταθερή αναλογία ανάμεσα στην μάζα και στην ενέργεια, οφείλουμε να αντιμετωπίζουμε το υλικό και την ενέργεια σαν δύο όρους για την ίδια φυσική πραγματικότητα.)
3. *Beginning from atomic theory, electronic theory leads us to consider matter as being essentially discontinuous, and this in turn, contrary to traditional ideas regarding light, leads us to consider admitting that energy is entirely concentrated in small regions of space, if not even condensed at singularities.* (Ξεκινώντας από την ατομική θεωρία, η ηλεκτρονική θεωρία μας οδηγεί στο να θεωρούμε την ύλη σαν να είναι κατ'ουσίαν ασυνεχής, και τούτο με την σειρά του, αντίθετα από τις παραδοσιακές ιδέες που αφορούν το φως, μας οδηγεί να εξετάζουμε το να αποδεχτούμε ότι η ενέργεια είναι εξολοκλήρου συγκεντρωμένη σε μικρές περιοχές του χώρου, αν όχι ακόμα και συμπυκνωμένη σε ιδιομορφίες.)
4. *It seems to us that the fundamental idea pertaining to quanta is the impossibility to consider an isolated quantity of energy without associating a particular frequency to it.* (Μας φαίνεται ότι η θεμελιώδης ιδέα που σχετίζεται με τα κβάντα είναι η αδυναμία να εξετάσουμε μια απομονωμένη ποσότητα ενέργειας χωρίς να συνδέσουμε με εκείνην μια ιδιαίτερη συχνότητα.) Να λοιπόν πως θα μπορούσαμε να διατυπώσουμε, έπειτα από μακριά συζήτηση την θεμελιώδη ιδέα.

Ηλιούπολη, Φεβρουάριος 2023.

Αναφορές

[1] Louis de Broglie. Recherches sur la theorie des quanta. *Annales de Physique*, III, 1925.

[2] Louis de Broglie. *An Introduction to the Study of Wave Mechanics*. Methuen Co. Ltd, 1930.

-
-
- [3] Graham Farmelo. *THE STRANGEST MAN, the hidden life of Paul Dirac, quantum genius*. faber and faber, 2009.
- [4] Carl Gustav Jung. *L'Âme et la Vie*. Buchet/Chastel, 1963.
- [5] Mark Levi. *Classical Mechanics with Calculus of Variations and Optimal Control (an Intuitive Introduction)*. American Mathematical Society, Student Mathematical Library Volume 69, 1st edition, 2014.
- [6] Abraham Pais. *Inward Bound (of Matter and Forces in the Physical World)*. Oxford University Press, New-York, 1986.
- [7] Steven Pinker. *THE SENSE OF STYLE, The Thinking Person's Guide to Writing in the 21st Century*. PENGUIN BOOKS, 1st edition, 2014.
- [8] Max Planck. *Initiations à la Physique*. Champs-Flammarion, Paris, 1941.
- [9] Vladimir Rojansky. *ELECTROMAGNETIC FIELDS AND WAVES*. Dover Publications, Inc., 1971.
- [10] Bessel van der Kork. *ΤΟ ΣΩΜΑ ΔΕΝ ΞΕΧΝΑ*. Κλειδάριθμος, 1st edition, 2022.