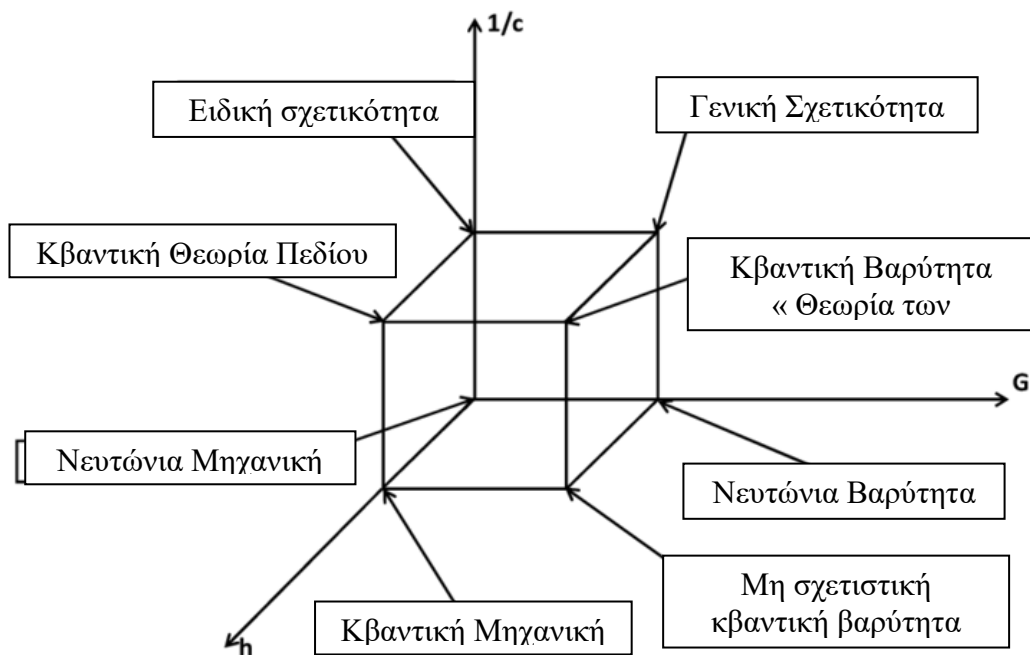


## Μερικά χαρακτηριστικά των φυσικών θεωριών

### 1. Το πλήθος των φυσικών θεωριών και οι 3 παγκόσμιες σταθερές

Θ' αρχίσουμε αυτό το σημείωμα με την επισήμανση ότι στη Φυσική έχουμε πολλές φυσικές θεωρίες οι οποίες προσπαθούν να ερμηνεύσουν τα φυσικά φαινόμενα σε διάφορα πεδία. Έτσι η κλασσική μηχανική αλλά και η ειδική θεωρία της σχετικότητας είναι θεωρίες που προσπαθούν να ερμηνεύσουν μηχανικά φαινόμενα, η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell προσπαθεί να ερμηνεύσει ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα και φαινόμενα οπτικής, η θερμοδυναμική ασχολείται με τα θερμικά φαινόμενα, η κβαντομηχανική αναφέρεται σε φαινόμενα σε ατομικό επίπεδο, η κβαντική χρωματοδυναμική ασχολείται με φαινόμενα του πυρήνα κτλ.



Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζονται οι διάφορες φυσικές θεωρίες στις κορυφές ενός κύβου. Στις τρεις διαστάσεις εμφανίζονται οι 3 παγκόσμιες σταθερές. Η ταχύτητα του φωτός (πιο συγκεκριμένα το αντίστροφο της ταχύτητας του φωτός), η σταθερά του Planck και η σταθερά της Παγκόσμιας έλξης. Η Νευτώνια μηχανική βρίσκεται στην αρχή των αξόνων, αφού είναι μία θεωρία όπου η σταθερά του Planck η σταθερά της παγκόσμιας έλξης αλλά και το αντίστροφο της ταχύτητας του φωτός αφού δεν υπάρχει ανώτατο όριο, είναι μηδέν. Η κβαντική θεωρία πεδίου αναφέρεται σε μία πραγματικότητα που δεν λαμβάνονται υπόψη βαρυτικά φαινόμενα, αλλά λαμβάνεται υπόψη τόσο η σταθερά του Planck όσο και το πεπερασμένο της ταχύτητας του φωτός κ.ο.κ

## 2. Οι πολλαπλοί τρόποι διατύπωσης μιας Φυσικής Θεωρίας

Μία φυσική θεωρία μπορεί να διατυπωθεί με πολλούς μαθηματικά ισοδύναμους τρόπους. Ας αρχίσουμε από τη κλασική μηχανική. Η κλασική μηχανική για παράδειγμα μπορεί να διατυπωθεί με τους παρακάτω ισοδύναμους μαθηματικά τρόπους.

### 1. Η ΚΛΑΣΣΙΚΗ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ

Η κλασική διατύπωση του Νεύτωνα διατυπώνεται με τα τρία παρακάτω αξιώματα ή αρχές και με την προσθήκη του νόμου της παγκόσμιας έλξης.

1. η αρχή της αδράνειας
2. ο θεμελιώδης νόμος της μηχανικής
3. η αρχή δράσης αντίδρασης

Σε αρκετά βιβλία αναφέρεται ότι η πρώτη αρχή είναι πόρισμα που προκύπτει από τη δεύτερη όταν η επιτάχυνση είναι μηδέν. Αυτό όμως δεν είναι σωστό αφού η πρώτη αρχή θέτει αξιωματικά την ύπαρξη ενός τουλάχιστον αδρανειακού συστήματος. Δηλαδή μας λέει ότι υπάρχει ένα τουλάχιστον σύστημα αναφοράς για το οποίο αν κάποιο σώμα δεν αλληλεπιδρά με κανένα άλλο, τότε το σώμα αυτό ή θα ηρεμεί ή θα κινείται ευθύγραμμα ομαλά ως προς αυτό το σύστημα. Αν βέβαια δεχθούμε αξιωματικά την ύπαρξη ενός αδρανειακού συστήματος, τότε κάθε άλλο σύστημα που κινείται ευθύγραμμα ομαλά σε σχέση με αυτό, θα είναι και αυτό αδρανειακό σύστημα.

### 2, ΟΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ LAGRANGE

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} = 0$$

### 3, ΟΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ HAMILTON

$$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i} \quad \dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i}$$

### 4, ΟΙ ΑΓΚΥΛΕΣ POISSON

$$[q_i, H] = \frac{\partial H}{\partial p_i} \quad [p_i, H] = -\frac{\partial H}{\partial q_i}$$

### 5, Η ΑΡΧΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ MAUPERTUIS $\delta \int_{t_1}^{t_2} 2T dt = 0$

Η κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία περιγράφεται από τις εξισώσεις Maxwell. Οι 4 εξισώσεις του Maxwell στον ηλεκτρομαγνητισμό μπορούν να διατυπωθούν με την βοήθεια των μεγεθών έντασης ηλεκτρικού πεδίου και μαγνητικής επαγωγής, ή με τη βοήθεια του αριθμητικού και του διανυσματικού δυναμικού σε διαφορική μορφή, ή και με τη βοήθεια των μεγεθών κυκλοφορίας και ροής σε ολοκληρωτική μορφή.

Διαφορική μορφή (Differential form)	Ολοκληρωματική μορφή (Integral form)	Σημειώσεις
$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$	$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \int_v \rho_v dv$	Νόμος του Gauss
$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	Μη ύπαρξη απομονωμένου μαγνητικού φορτίου
$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$	Νόμος του Faraday
$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S \left( \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right) \cdot d\mathbf{S}$	Νόμος του Ampere

Η κβαντική θεωρία μπορεί να διατυπωθεί είτε μέσω της διαφορικής εξίσωσης Σρέντινγκερ (Schrödinger) είτε μέσω πινάκων και της αρχής της αβεβαιότητας του Χάιζενμπεργκ (Heisenberg) είτε μέσω των διαγραμμάτων Φάινμαν (Feynman).

Μολονότι όλοι οι διαφορετικοί τρόποι διατύπωσης μίας φυσικής θεωρίας είναι μαθηματικά ισοδύναμοι, κάποιες διατυπώσεις είναι πιο χρήσιμες για τη μεταβίβαση από μία φυσική θεωρία σε κάποια άλλη.

Έτσι η διατύπωση της μηχανικής μέσω της λαγκρανζιανής συνδέει πιο αποτελεσματικά την κλασική μηχανική με τον ηλεκτρομαγνητισμό. Η διατύπωση της μηχανικής μέσω των αγκύλων Πουασόν δίνει ένα πολύτιμο εργαλείο για το πέρασμα στην κβαντομηχανική. Τα διαγράμματα Φάινμαν εφαρμόζονται και στην κβαντική χρωματοδυναμική κ.ο.κ

Γιατί όμως υπάρχουν πολλαπλοί τρόποι διατύπωσης μίας φυσικής θεωρίας; Προς το παρόν αυτό το ερώτημα είναι ανοικτό.

### 3. Τα αξιώματα, τα θεωρήματα και η ορολογία των φυσικών θεωριών

Κάθε φυσική θεωρία είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που βασίζεται σε κάποια πειραματικά δεδομένα που δεν μπορεί να τα ερμηνεύσει. Τα πειραματικά αυτά δεδομένα αποτελούν τ' αξιώματα πάνω στα οποία κτίζεται όλο το οικοδόμημα της θεωρίας. Έτσι η κάθε φυσική θεωρία αποτελείται από ορισμένα αξιώματα και ορισμένα θεωρήματα που προέρχονται από τα αξιώματα αυτά. Για παράδειγμα ο νόμος του Snell για τη διάθλαση ή οι κανόνες του Κίρχωφ είναι «θεωρήματα» που προκύπτουν από τις 4 εξισώσεις-αξιώματα του Maxwell.

Στόχος των θεωρημάτων και των αξιωμάτων, δηλαδή του μοντέλου που κτίσαμε είναι να ερμηνεύει μέσα στα όρια αβεβαιότητας των πειραμάτων όλα τα πειραματικά δεδομένα και όλες τις παρατηρήσεις. Το μοντέλο κλονίζεται όταν δεν μπορεί να ερμηνεύσει κάποια νέα πειράματα ή παρατηρήσεις. Τότε ή βελτιώνεται ή ενίστε και αντικαθίσταται με κάποιο άλλο μοντέλο το οποίο θα πρέπει με τη σειρά

του να ερμηνεύει όλα τα παλιά και νέα πειράματα και παρατηρήσεις. Έτσι η ειδική θεωρία σχετικότητας ερμηνεύει όλα τα φαινόμενα που ερμήνευε η κλασσική μηχανική και επιπλέον ερμηνεύει και το πειραματικό δεδομένο ότι η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια ανεξάρτητη από το σύστημα αναφοράς, την αλήθεια του οποίου υιοθέτησε αξιωματικά.

Κάθε φυσική θεωρία έχει τη δική της ορολογία. Εκφράζεται μέσω των δικών της εννοιών και φυσικών μεγεθών. Έτσι μία ερώτηση που έχει φυσικό νόημα σε μία φυσική θεωρία μπορεί να μην έχει σε κάποια άλλη. Για παράδειγμα ποια είναι η τροχιά ενός σωματιδίου είναι μία ερώτηση που έχει νόημα στην κλασσική μηχανική αλλά δεν έχει νόημα στη κβαντομηχανική, αφού η έννοια της τροχιάς δεν υφίσταται σε αυτή τη θεωρία.

Ακόμη όμως και να έχει καταρριφθεί μία θεωρία όπως πχ η κλασσική μηχανική δεν θα πάψει ποτέ να διδάσκεται και αυτό για δύο βασικούς λόγους:

1. Γιατί η οποιαδήποτε φυσική θεωρία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε προηγούμενες φυσικές θεωρίες. Δηλαδή η γνώση και κατανόηση των φυσικών θεωριών δεν μπορεί να διαχωριστεί από την ιστορική τους εξέλιξη. Η διδακτική ακολουθεί άλλοτε λιγότερο και άλλοτε περισσότερο την ιστορική εξέλιξη της φυσικής.
2. Γιατί και αν ακόμη μία φυσική θεωρία αποδειχτεί λανθασμένη σε ένα πλαίσιο ( πχ η κλασσική θεωρία καταλήγει σε εσφαλμένα συμπεράσματα στην περίπτωση ταχυτήτων κοντά στην ταχύτητα του φωτός) υπάρχει πάντα ένας τομέας εφαρμογών στον οποίο αυτή η θεωρία εφαρμόζεται με απόλυτη επιτυχία. Πχ είναι σχεδόν βέβαιο ότι ακόμη και στο απώτερο μέλλον, τα σπίτια και οι ουρανοξύστες θα κτίζονται με τη βοήθεια της κλασσικής μηχανικής και όχι με τη βοήθεια της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας.

#### **4. Όλες οι φυσικές θεωρίες έχουν συγκεκριμένο χρόνο ζωής. Όλες είναι διαψεύσιμες.**

Ένας διαδεδομένος μύθος, μια αντίληψη δηλαδή που υπάρχει στο ευρύ κοινό, είναι ότι η Θεωρία Σχετικότητας είναι μια τέλεια και αλάθανστη μέχρι τις ημέρες μας θεωρία, η οποία αντικατέστησε όλες τις προηγούμενες επιστημονικές θεωρίες. Για να θέσουμε λοιπόν τα πράγματα στη σωστή τους διάσταση θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ο Einstein διατύπωσε δύο διαφορετικές θεωρίες. Μία το 1905 η οποία λέγεται Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας, και η οποία είναι μια Δυναμική Θεωρία Μηχανικής που αντικατέστησε την Μηχανική του Νεύτωνα. Η άλλη λέγεται Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, διατυπώθηκε το 1915 και πρόκειται για μια θεωρία βαρύτητας η οποία αντικατέστησε την Θεωρία Βαρύτητας του Νεύτωνα.

Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας βασίζεται σε δύο αξιώματα και οδηγεί με έναν πολύ κομψό και φυσικό τρόπο σε κάποιους τύπους που λέγονται μετασχηματισμοί του Lorentz. Οι τύποι αυτοί ήταν γνωστοί και πριν από τον Einstein αφού τους είχε αποδείξει ο Lorentz με καθαρά όμως μαθηματικό τρόπο, χωρίς να τους δώσει το φυσικό περιεχόμενο που τους έδωσε ο Einstein. Οι μετασχηματισμοί αυτοί είναι

πολύ σημαντικοί, αφού κάθε θεωρία που είναι συμβατή με την απαίτηση ότι η μεγαλύτερη ταχύτητα στη φύση είναι η ταχύτητα του φωτός, θα πρέπει να υπακούει σε αυτούς τους μετασχηματισμούς. Έτσι με την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας δημιουργήθηκε ένα εργαλείο, με το οποίο μπορούσαμε να ελέγξουμε τις μέχρι τότε θεωρίες μας, για να δούμε αν απαιτούν διόρθωση ή όχι. Έτσι διαπιστώθηκε ότι η Μηχανική του Νεύτωνα δεν υπάκουε σε αυτές τις σχέσεις άρα χρειαζόταν διόρθωση. Αντιθέτως η θεωρία του Maxwell γύρω από τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα που διατυπώθηκε γύρω στο 1861 υπάκουε στους μετασχηματισμούς Lorentz, άρα δεν χρειαζόταν καμία διόρθωση.

Κάθε θεωρία που αντικαθιστά μία παλαιότερη θα πρέπει να εκφράζεται με εξισώσεις οι οποίες οριακά θα πρέπει να καταλήγουν εν γένει σε σχέσεις και συμπεράσματα της παλαιότερης θεωρίας. Πχ για μικρές ταχύτητες σε σχέση με την ταχύτητα του φωτός οι σχέσεις της ειδικής θεωρίας καταλήγουν σε σχέσεις της κλασσικής μηχανικής. Αρκετές σχέσεις της κβαντικής θεωρίας καταλήγουν στις σχέσεις της κλασσικής μηχανικής όταν η σταθερά του Planck μηδενιστεί κ.ο.κ

Καμία φυσική θεωρία δεν είναι απόλυτα αληθής αφού είναι βέβαιο ότι στο εγγύς ή στο απώτερο μέλλον θα αντικατασταθεί από κάποια άλλη θεωρία η οποία θα περιγράφει τα πειράματα και τις παρατηρήσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια.

## 5. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες των φυσικών θεωριών

Όλες οι φυσικές θεωρίες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Τις **μακροσκοπικές** και τις **μικροσκοπικές**.

Οι μακροσκοπικές θεωρίες αναφέρονται σε μετρήσιμα μακροσκοπικά φυσικά μεγέθη, διατυπώνουν ορισμένα αξιώματα που συνδέουν αυτά τα μεγέθη και αποδεικνύουν μαθηματικά πολλές άλλες σχέσεις μεταξύ αυτών των μεγεθών. Τέλος εξετάζουν όπως και οποιαδήποτε φυσική θεωρία αν αυτές οι σχέσεις επαληθεύονται πειραματικά και επιδιώκουν να σχεδιάσουν και να μελετήσουν νέα πειραματικά δεδομένα.

Οι μακροσκοπικές θεωρίες είναι κατά προσέγγιση μόνο σωστές, αφού δεν λαμβάνουν υπόψη τις λεπτομέρειες της δομής της ύλης. Αυτό όμως δεν τις στερεί από την χρησιμότητά τους στον τομέα που αναφέρονται. Η θερμοδυναμική πχ εφαρμόζεται στη μελέτη και τον σχεδιασμό των θερμικών μηχανών, μολονότι γνωρίζουμε ότι μόνο κατά προσέγγιση είναι σωστή. Μακροσκοπικές θεωρίες είναι η Ειδική και Γενική Θεωρία Σχετικότητας, η θερμοδυναμική καθώς και κλασσικός ηλεκτρομαγνητισμός.

Οι μικροσκοπικές θεωρίες βασίζονται στις ιδιότητες των δομικών λίθων που αποτελούν την ύλη. Η πρώτη μικροσκοπική θεωρία ήταν η κλασσική ατομική θεωρία που εξελίχθηκε στη Κλασσική Στατιστική Φυσική. Σήμερα ως πρότυπο όλες οι μικροσκοπικές θεωρίες έχουν την κβαντομηχανική. Η κβαντομηχανική μας δίνει με ακρίβεια την πιθανότητα μέτρησης κάποιου φυσικού μεγέθους και αυτό γιατί στον μικρόκοσμο σχεδόν τα πάντα μπορούν να συμβούν με ορισμένες όμως πιθανότητες. Ένα σωματίο μπορεί να διασπαστεί και να δημιουργήσει δύο ή περισσότερα άλλα σωματίδια, μπορεί να κινηθεί με ταχύτητα μεγαλύτερη από την

ταχύτητα του φωτός κτλ όλα αυτά όμως με ορισμένη πάντα πιθανότητα η οποία σε κάθε περίπτωση καθορίζεται από τους νόμους της κβαντομηχανικής.

Όπως αναφέραμε η Ειδική Θεωρία Σχετικότητας ως μακροσκοπική θεωρία δεν ισχύει στο μικρόκοσμο. Ο Dirac όμως μπόρεσε και δημιούργησε μία γέφυρα ανάμεσα στην Ειδική Θεωρία και το μικρόκοσμο. Δανείστηκε από την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας μόνο μια σχέση, τη σχέση ανάμεσα στην ορμή και την ενέργεια ενός σωματιδίου και έφτιαξε μια κβαντική θεωρία για το ηλεκτρόνιο, η οποία λέγεται Σχετικιστική Κβαντομηχανική. Η θεωρία αυτή έχει οδηγήσει σε λαμπρά επιστημονικά επιτεύγματα και έχει βεβαιωθεί πειραματικά με τόσο μεγάλη ακρίβεια όσο καμιά άλλη μέχρι σήμερα επιστημονική θεωρία. Έτσι λοιπόν υπάρχει η γέφυρα ανάμεσα στην Ειδική Θεωρία Σχετικότητας και την Κβαντομηχανική. Αυτή η γέφυρα όμως δεν υπάρχει ακόμη ανάμεσα στην Γενική Θεωρία Σχετικότητας και την Κβαντομηχανική και ούτε κανένας φαντάζεται πως μπορεί δημιουργηθεί μια τέτοια γέφυρα. Οι Φυσικοί είναι βέβαιοι ότι εάν κάποτε δημιουργηθεί αυτή η γέφυρα, δηλαδή αν μπορέσουμε να διατυπώσουμε μια κβαντική θεωρία για την βαρύτητα, η Φυσική επιστήμη θα έχει κάνει ένα πολύ μεγάλο βήμα εμπρός. Η εξέλιξη αυτή αναμένεται με μεγάλη αγωνία από όλους τους Φυσικούς, αφού είναι δεδομένο ότι θα λύσει πολλά ανοικτά προβλήματα της Φυσικής επιστήμης που υπάρχουν σήμερα.

Στον αιώνα που μας πέρασε τρεις θεωρίες σημάδεψαν την ιστορία της Φυσικής επιστήμης. Η Ειδική Θεωρία Σχετικότητας, η Γενική Θεωρία Σχετικότητας και η Κβαντομηχανική. Οι δύο πρώτες είναι δημιουργήματα ενός και μόνο ανθρώπου, του Einstein του τελευταίου ίσως Φυσικού ο οποίος είναι ο πατέρας δύο τόσο σπουδαίων θεωριών. Η τρίτη θεωρία είναι δημιουργήματα πολλών ανθρώπων. Ο Einstein συνέβαλε και αυτός στην ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας με έναν αρνητικό τρόπο θα λέγαμε. Αυτό γιατί ποτέ δεν πίστεψε στην ερμηνεία της σχολής της Κοπελχάγης, με αποτέλεσμα για αρκετά χρόνια να προσπαθεί με νοητικά πειράματα να καταρρίψει αυτήν την ερμηνεία της θεωρίας. Αυτή ακριβώς η προσπάθεια του Einstein συνέβαλε στην εδραίωση της σχολής της Κοπελχάγης, άποψη που σήμερα έχει πλέον εδραιωθεί και πειραματικά. Στους επιστήμονες που συνέβαλαν σε αυτό δόθηκε το [βραβείο Νόμπελ 2022](#). Έτσι λοιπόν δίκαια ο Einstein θεωρείται ένας από τους μεγαλύτερους φυσικούς του 20ου αιώνα και ίσως και όλων των εποχών.