

Διάλεξη του Καθηγητή Νίκου Λυγερού
«Η επαναστατικότητα της σκέψης του Einstein»

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ - ΤΜΗΜΑ ΘΡΑΚΗΣ

Κομοτηνή 25-05-2009

Θα αναλύσουμε την επαναστατικότητα της σκέψης του Einstein. Δεν λέω ευχαριστώ που με καλέσατε, μα ευχαριστώ, που δίνετε σημασία σε μια προσωπικότητα όπως είναι ο Einstein, για τον οποίο απλώς θα κάνω αναφορές για να μην τον ξεχάσουμε.

Η επαναστατικότητα του Einstein όσον αφορά στη σκέψη δεν είναι προσεγγίσιμη εύκολα, άρα θα θέσω ένα πλαίσιο. Είμαστε στο πλαίσιο της θεωρίας των επαναστάσεων στον επιστημονικό χώρο, η θεωρία του Thomas Kuhn. Και θα χρησιμοποιήσουμε το κριτήριο του Popper, για τη διαψευσιμότητα, όσον αφορά αυτόν τον άνθρωπο. Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο θα αναλύσουμε τη σκέψη του. Θα έχουμε μερικές αναφορές καθαρά στη Φυσική. Αλλά η ιδέα είναι, πώς αντιμετώπιζε ένα πρόβλημα Φυσικής, γιατί εδώ είναι Τεχνικό Επιμελητήριο και οι μηχανικοί έχουν να αντιμετωπίσουν προβλήματα Φυσικής. Ή έχουν να εξηγήσουν στην κοινωνία μερικά προβλήματα, τα οποία δεν κατέχει και πρέπει, ως ειδήμονες, να θέσουν έναν προβληματισμό για να πουν, εάν ένα έργο μπορεί να γίνει ή όχι. Εδώ το θέμα μας είναι λίγο πιο δύσκολο γιατί το έργο είναι αφαιρετικό, δηλαδή δεν είναι κάτι που το βλέπουμε αμέσως.

Ο Einstein γεννήθηκε το 1879, στις 14 Μαρτίου. Πέθανε στις 18 Απριλίου 1955. Ποιο είναι το πρώτο πρόβλημα που έχει ο Einstein; Δεν μιλάω για το πλαίσιο της Φυσικής, δεν μιλάω για τις σπουδές του, γιατί αυτό είναι ένα άλλο θέμα. Αλλά μάλλον αυτό θα αφορούσε μια άλλη θεματολογία του τύπου Galois. Θα υποθέσουμε ότι ο Einstein δεν είχε προβλήματα με το κατεστημένο όσον αφορά στις σπουδές του. Ή μάλλον ότι τα ξεπέρασε. Θα δώσω ένα μικρό παράδειγμα. Όταν κατέθεσε για πρώτη φορά τη διατριβή του, την απέρριψαν. Διότι ήταν πολύ σύντομη. Ήταν μόνο τρεις σελίδες. Ο Einstein το δέχτηκε -αφού δεν ήταν αντιδραστικός- και έκανε πέντε σελίδες. Και τότε τη δέχτηκαν. Για να καταλάβετε, είχε και αρκετό χιούμορ, για να ρεζιλέψει την ίδια την κοινωνία που απορρίπτει στο 3, αλλά περνάει στο 5 !

Από τη μια πλευρά, έχουμε τη θεωρία του Newton. Πράγματα συγκεκριμένα, χειροπιαστά, τα οποία λειτουργούν και λειτουργούν εδώ και σχεδόν 300 χρόνια. Για να μη νομίζετε ότι υπερβάλλω, στην πραγματικότητα όταν στέλνουμε ένα διαστημόπλοιο στη σελήνη,

χρησιμοποιούμε μόνο και μόνο τη θεωρία του Newton. Δεν έχουμε ανάγκη τη γενική σχετικότητα. Είναι απίστευτο, αν το σκεφτείτε. Διότι μιλάμε για μεγάλες αποστάσεις, δεν είναι κάτι που συμβαίνει πάνω στη γη, ή τοπικά. Από την άλλη, έχουμε τη θεωρία του Maxwell. Άρα, από τη μια έχουμε τη μηχανική, από την άλλη έχουμε τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα. Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε είναι η συμβατότητά τους.

Μια πολύ απλή ερώτηση, που μπορείτε να θέσετε στον εαυτό σας είναι: έχετε ένα αυτοκίνητο που τρέχει με 100 km/h. Όταν ανάβετε τα φώτα, το φως του αυτοκινήτου, με ποια ταχύτητα τρέχει;

Εδώ έχετε ένα πρόβλημα. Θα παίρνατε την ταχύτητα του φωτός και θα λέγατε, συν 100 km; Ας βάλουμε ένα αυτοκίνητο να τρέχει με 200 km/h για να μην έχουμε προβλήματα προσέγγισης. Η τιμή και στις δύο περιπτώσεις είναι ίδια με την ταχύτητα του φωτός! Μήπως να βάλουμε κανένα φωτάκι σε κανένα διαστημόπλοιο; Τα πιο γρήγορα διαστημόπλοια τρέχουν με 35 km/sec. Σε σχέση με το φως, δεν είναι τόσο γρήγορο. Αν σκεφτείτε όμως στη γη 35 km/sec, καταλαβαίνετε ότι μιλάμε για κάτι το υπερ-θεαματικό. Η απάντηση είναι πάλι η ίδια! Άρα έχουμε ένα πρόβλημα.

Ο Einstein γεννιέται σε μια εποχή που είχαν αυτό το πρόβλημα. Το τονίζω αυτό, γιατί δεν είναι κάτι που το επιλέγει ο Einstein. Κάποιος έπρεπε να γεννηθεί για να το λύσει. Έτυχε να είναι ο Einstein.

Πριν από αυτό –που είναι πιο δύσκολο– ένα άλλο πρόβλημα ήταν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, το οποίο είναι πολύ γνωστό. Ο Einstein πήρε το βραβείο Nobel για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Στην πραγματικότητα, αυτό είναι μια λεπτομέρεια σε σχέση μ' όλα αυτά που έκανε. Και η εξήγηση είναι πολύ απλή. Η κοινωνία δεν καταλάβαινε όλα τα άλλα. Τόσο απλά.

Θα σας δώσω το παράδειγμα του αεροσταθμού στη Λυών. Είναι ένα πλαίσιο που επιτρέπει σε δύο τρένα να διασταυρώνονται με 300 km/h, δηλαδή με διαφορεικό 600 km/h. Και έχετε από πάνω δύο φτερά, που βγαίνουν ως πρόβολοι. Όταν ο αρχιτέκτονας – μηχανικός έκανε τους υπολογισμούς, μόνο ο υπολογιστής μπορούσε να πει ότι αυτό θα σταθεί. Δεν μιλάμε για τα ελληνικά δεδομένα, όπου αυτές οι ταχύτητες είναι απλώς εξωγήινες. Σας μιλάω για τη Γαλλία, όπου θεωρούν λογικό ότι το τρένο μπορεί να τρέξει με 300 km/h, τι μπορεί να συμβεί αν υπάρξει πρόβλημα και κανένας δεν μπορεί να το σταματήσει. Και από τις δύο κατευθύνσεις, όχι μόνο από τη μία. Δηλαδή, να έχετε το διαφορεικό με 600 km/h και να είστε μέσα στο σταθμό και με την ταλάντωση όλος ο

σταθμός να σταθεί χωρίς κανένα πρόβλημα. Εκτός από τον υπολογιστή, κανένας δεν μπορούσε να το υπολογίσει. Άρα σε κάποια φάση, χρειάστηκε να πείσει τους άλλους ότι μπορούσε να το κάνει. Και ευτυχώς είχε κάνει κι άλλα έργα που στέκουν, ακόμα και τώρα.

http://www.pointsdactu.org/IMG/jpg/Gare_de_haut.jpg

Αυτό είναι πολύ σημαντικό, γιατί θα το κοιτάξουμε σαν παράδειγμα στη γενική θεωρία της σχετικότητας, όπου υπάρχει ένα άλμα, που δεν υπήρχε προηγουμένως. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι ένα φαινόμενο το οποίο παρατηρούμε, το βλέπουμε. Δεν ήταν ένα φαινόμενο που ανακαλύψαμε, ή που ήρθε για να επιβεβαιώσει μια θεωρία, είναι ένα φαινόμενο το οποίο είχαμε εντοπίσει.

Ο Einstein θα χρησιμοποιήσει μια ιδέα του Planck. Γιατί δεν το έκανε ο Planck εφόσον το σκέφτηκε; Στην πραγματικότητα, ο Planck θα λύσει ένα προηγούμενο πρόβλημα, που είναι η βιολέ καταστροφή. Όταν κοιτάζετε το φάσμα και το ολοκληρώνετε, έχετε ένα αποτέλεσμα όσον αφορά στο ολοκλήρωμα, το οποίο είναι άπειρο. Αυτό προέρχεται από απλές γνώσεις μαθηματικών, ότι δηλαδή το φάσμα είναι συνεχές. Και όταν είναι συνεχές και άπειρο, αναγκαστικά όταν θα το ολοκληρώσετε, στο συγκεκριμένο πρόβλημα απειρίζεται. Την τεχνική που βρήκε ο Planck, εμείς ως μαθηματικοί τη γνωρίζουμε. Μετατρέπουμε το χώρο από συνεχή σε διακριτό, κάνουμε μια προσέγγιση και έχουμε ένα άθροισμα το οποίο δεν θα απειρίζεται. Αυτή είναι μια τεχνική που είναι πολύ διαδεδομένη και χρησιμοποιήθηκε πολλές φορές. Και ο Feynman τη χρησιμοποίησε πολύ αργότερα. Είναι αυτό που ονομάζουμε *renormalization*. Η ιδέα είναι ότι χρησιμοποιούμε, όσον αφορά στο γνωστικό αντικείμενο, έναν ισομορφισμό και λέμε ότι το ίδιο το πρόβλημα μοντελοποιείται σ' ένα άλλο μοντέλο. Είναι πιστός ο ισομορφισμός, μπορώ να λύσω το πρόβλημα εδώ, άρα επανέρχομαι στο πρώτο. Το πρόβλημα του Planck ποιο ήταν; Ήταν ότι αυτό ήξεραν να το κάνουν ήδη από πριν. Όμως, είναι ο πρώτος που σκέφτεται και εισάγει για πρώτη φορά, αυτό που λέμε η σταθερά του Planck. Στην πραγματικότητα, έχουμε μια κλασική προσέγγιση η οποία λέει: έχω ένα πρόβλημα που απειρίζεται, ξέρω μια τεχνική από τους μαθηματικούς, την εφαρμόζω και εδώ χρειάζομαι το h . Και ο Planck θα πάρει βραβείο Nobel γι' αυτό. Δεν είναι μια λεπτομέρεια. Δεν είναι ένας μικρός υπολογισμός. Ήταν μια επαναστατική ιδέα εκείνη την εποχή. Παραμένει μια τεχνητή τεχνική *ad hoc*. Ο Planck δεν συνδυάζει το πρόβλημα που έλυσε με το πρόβλημα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Έρχεται λοιπόν ο Einstein

με νέα δεδομένα και ως νάνος κάθεται πάνω στους ώμους του Planck και λέει: «Θα υποθέσουμε ότι αυτό το τεχνικό - τεχνητό, υπάρχει». Τόσο απλά! Δεν κάνει κανένα άλλο υπολογισμό. Εισάγει αυτό που λέμε $E=hn$, όπου ν είναι η συχνότητα, h είναι η σταθερά του Planck και λέει αυτό θα είναι η ενέργεια για κάθε σωματίδιο, το οποίο ονομάζει φωτόνιο. Να μην ξεχνάμε ότι είναι ο Einstein που για πρώτη φορά μιλάει για φωτόνια. Πριν δεν μιλούσαμε για φωτόνια, θεωρούσαμε ότι είναι μόνο κύματα. Δεν λέγαμε ότι ήταν κβάντα. Ο Einstein, λοιπόν, θα ερμηνεύσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, μ' έναν πολύ απλό τρόπο. Κάνοντας αυτή την τροποποίηση. Από κάτι που είναι τεχνητό, να πει ότι υπάρχει! Αυτό ήταν πολύ σημαντικό, γιατί μας δείχνει ότι μερικές φορές αυτά που κάνουμε τεχνητά στα μαθηματικά, μπορούν να έχουν μια πραγματική οντότητα στον τομέα της φυσικής. Αυτό είναι μία πρώτη επανάσταση, που είναι σπάνια στη Φυσική. Συνήθως έχουμε οντότητες με τις οποίες παλεύουμε και κάνουμε ένα μοντέλο. Και μετά λύνουμε το πρόβλημα. Αυτή είναι η κλασική προσέγγιση της Φυσικής.

Εδώ το πρόβλημα είχε λυθεί. Ο Planck το λύνει. Αλλά δεν βλέπει ότι η λύση επιτρέπει άμεσα να λύσει το επόμενο. Ο Einstein θα συνδυάσει. Αυτό είναι το χαρακτηριστικό του Einstein. Είναι ικανός να συνδυάσει δύο πράγματα που φαινομενικά δεν έχουν καμία σχέση. Εδώ πρόκειται για μια σύνθετη σκέψη, που είναι πιο σπάνια, ειδικά στον τομέα τον τεχνικό και τον πειραματικό, όπου έχουμε μια τάση να είμαστε πιο αναλυτικοί. Στην ανάλυση είμαστε πολύ καλοί. Όταν σας δίνουν ένα πρόβλημα, είστε διατεθειμένοι να το αναλύσετε μέχρι να το πετσοκόψετε, για να βρείτε τη λύση. Αλλά αν σας δώσουν δύο προβλήματα, που είναι εντελώς άσχετα μεταξύ τους, για να βρείτε τις δύο λύσεις με μία μοναδική; Να σας δώσω ένα απλό παράδειγμα: υπάρχει αντικείμενο το οποίο να είναι και στρογγυλό και τετράγωνο; Όλοι καταλαβαίνετε τη λέξη στρογγυλό, όλοι καταλαβαίνετε τη λέξη τετράγωνο. Όταν το ακούτε αυτό για πρώτη φορά, λέτε, τι λέει αυτός; Όταν όμως σκεφτείτε τον κύλινδρο και κάνετε μια προβολή ως προς τον άξονα, θα δείτε ότι έχετε έναν κύκλο. Όταν κάνετε μια προβολή κάθετη, θα έχετε κι ένα τετράγωνο. Στην πραγματικότητα, δημιουργήσατε μία νέα οντότητα, που δεν ανήκει στο χώρο των δύο διαστάσεων, η οποία σας λύνει τα δύο προβλήματα με δύο προβολές. Αυτό όμως είναι μια επινόηση. Δεν υπάρχει στο αρχικό πρόβλημα. Και είναι πολύ δύσκολο να έχετε πρόσβαση στην τρίτη διάσταση. Γιατί όπως καταλαβαίνετε αυτό μπορούμε να το κάνουμε και επαγωγικά. Να έχουμε ένα πρόβλημα σε τρεις διαστάσεις και να σας ζητήσω πάλι ένα πράγμα και να μου πείτε: α! αυτό είναι εύκολο. Αυτό είναι το μπουκάλι του Klein που ζει σε τέσσερις διαστάσεις. Στο μπουκάλι αυτό παίρνετε το στόμιο, το γυρίζετε και το βάζετε στο κάτω μέρος για να εφαρμόσει με τον πάτο. Αυτό όταν σας το

εξηγώ και κάνω και την κίνηση, καταλαβαίνετε ότι εδώ είμαι έξω, μετά μπαίνω μέσα. Το μπουκάλι του Klein μπορεί να κάνει αυτό το πράγμα χωρίς να διασταυρώνεται. Σε τέσσερις διαστάσεις. Τώρα είναι λίγο δύσκολο να το δείτε αυτό. Έτσι δεν είναι; Επανέρχομαι στο αρχικό πρόβλημα. Έχουμε ένα στρόγγυλο και ένα τετράγωνο. Φαινομενικά, φαίνονται αντιφατικά. Όμως βλέπετε ότι υπάρχει μία λύση σ' έναν άλλο χώρο. Το ίδιο γίνεται και με τον Einstein. Έχει αυτή την ικανότητα, να βλέπει ένα πράγμα το οποίο δεν φαίνεται. Με τα δεδομένα μπορεί να κατασκευάσει ένα χώρο καινούργιο, όπου ζει η λύση.

Οι πιο πολλοί από εμάς ξέρουν να λύνουν ένα πρόβλημα, όταν η λύση του προβλήματος ζει στον ίδιο χώρο με την εκφώνηση. Μερικές φορές όμως έχουμε ανάγκη «το μη συμβατικό πλαίσιο». Για παράδειγμα, βάζω ένα πλέγμα, τοποθετώ φαγητό από τη μια μεριά του πλέγματος και ένα σκύλο από την άλλη. Το κανονικό σκυλί θα πάει προς το πλέγμα για να φτάσει πιο κοντά στο φαγητό. Σε κάποια φάση όμως θα καταλάβει ότι δεν μπορεί να πάει πιο κοντά. Το μη κανονικό σκυλί, δηλ. το λυκόσκυλο θα πάει πιο μακριά, δηλαδή αποφεύγει τη λύση, κάνει τη στροφή. Μόλις κάνει τη στροφή ξανάρχεται σε κανονικό πλαίσιο, το οποίο είναι «πηγαίνω πιο κοντά στη λύση» που είναι το φαγητό.

Εγώ θα ήθελα να συγκεντρωθούμε μόνο στη φάση που φεύγει. Κανονικά εσείς σαν κοινωνία θα έπρεπε να του πείτε: «Πού πας; Το φαγητό είναι απέναντι! Γιατί πας από κει;» Το ενδιαφέρον για μένα σε σχέση με σας ως μηχανικούς, είναι όταν κάνετε γέφυρες. Όταν εξηγήσετε σε κάποιον, πώς θα κάνετε τη γέφυρα, θα σας πει: Αυτό αποκλείεται να γίνει έτσι, δεν κάνουν έτσι τις γέφυρες. Το θέμα είναι ότι βλέπει τις γέφυρες ως αποτέλεσμα. Δεν βλέπει τα ενδιάμεσα. Ξέρετε πολύ καλά, παλιά με τους χτίστες, όταν κατασκεύαζαν μια γέφυρα, το κρίσιμο σημείο είναι όταν βγαίνει η σκαλωσιά και μένουν μόνο οι πέτρες. Πολλές φορές δεν ήξεραν να υπολογίσουν ακριβώς τι θα συμβεί και κατέρρεε. Ο Einstein είναι ικανός να βλέπει λύσεις σε χώρους που δεν προσδιορίζονται, δεν καθορίζονται από την εκφώνηση. Εδώ δώσαμε ένα πρώτο παράδειγμα επαναστατικότητας, που είναι η σύνθεση.

Ας κοιτάξουμε τώρα την κίνηση Brown. Η λεγόμενη κίνηση Brown είναι κάτι το πολύ απλό. Βάζετε μερικά σκουπιδάκια μέσα σ' ένα υγρό και το κοιτάζετε με το μικροσκόπιο. Θα δείτε ότι αυτά κινούνται συνεχώς. Κάνετε ό,τι μπορείτε για να είναι εντελώς flat, να μην κουνιέται, τα έχετε εξασφαλίσει όλα. Αλλά παρ' όλα αυτά, βλέπετε ότι συνεχώς κινούνται. Αυτό είναι ένα φαινόμενο το οποίο είχε εντοπισθεί πολύ πιο πριν από τον Einstein. Αλλά ενώ είχε εντοπισθεί, κανένας δεν είχε δώσει μια εξήγηση που να λέει γιατί συμβαίνει αυτό. Και είναι αυτό που λέμε Στατιστική

Θερμοδυναμική, όπου κάνουμε μια προσομοίωση για τα άτομα. Θα πούμε ότι είναι υλικά σημεία που μετακινούνται συνεχώς και είναι αυτά που χτυπούν. Στην πραγματικότητα, το φαινόμενο της κίνησης Brown είναι φαινομενικό. Δηλαδή αυτό που βλέπουμε είναι το ίχνος της δράσης των ατόμων. Άρα δεν είναι τα σκουπιδάκια που μετακινούνται μόνα τους. Είναι ότι συνεχώς τα χτυπούν τα άτομα. Εδώ ο Einstein πάλι θα πει: «Αυτό που κοιτάζω, προέρχεται από μία κίνηση την οποία δεν βλέπω». Όταν σας το λέω τώρα και ξέρετε ότι αυτό έχει εξηγηθεί, δεν σας ξαφνιάζει.

Αλλά όλο το πρόβλημα που έχουμε με την κβαντική θεωρία, είναι ότι υπάρχουν θεωρίες με κρυμμένες μεταβλητές, οι οποίες μπορούν να εξηγηθούν με τον ίδιο τρόπο. Απλώς δεν τις βλέπουμε. Θα μιλήσω για τις υπερχορδές. Όσον αφορά στις διαστάσεις, θα έχουμε πάλι το ίδιο πρόβλημα. Αλλά είναι το ίδιο νοητικό πρόβλημα. Είναι πάλι μια διαφοροποίηση. Ενώ υπάρχει το φαινόμενο, το βλέπω, το λύνω, κάνοντας μια τεράστια εισαγωγή ότι υπάρχει ένας τεράστιος κόσμος, ατομικός κόσμος, που μου εξηγεί ένα μακροσκοπικό φαινόμενο.

Τώρα όσον αφορά στη σύνθεση. Προς το παρόν έχουμε δώσει εξηγήσεις για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και για την κίνηση Brown, τα οποία είναι προβλήματα από μόνα τους, δηλαδή ξεκάθαρα προβλήματα. Επανέρχομαι, τώρα που σας έχω προετοιμάσει νοητικά, σε ένα πρόβλημα του τύπου: έχω δύο θεωρίες οι οποίες στέκουν, είναι ορθές, έχουν το πεδίο δράσης τους, αλλά όταν τις βάζω μαζί, έχω ένα πρόβλημα συμβατότητας. Θα μου πείτε αμέσως, και είναι λογικό, ότι μία από τις δύο είναι λάθος. Και κάποιος θα πουν, μπορεί και οι δύο να είναι λανθασμένες.

Όπως και στο παράδειγμα που αναφέραμε με τη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός όπου κάθε φορά η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια. Στο τέλος λες, δεν μπορεί, κάτι γίνεται! Εδώ είναι το ανατρεπτικό και επαναστατικό ύφος του Einstein, ο οποίος λέει: όταν κάνουμε διάφορα πειράματα, εμείς θα περιμέναμε μια αλλαγή. Ας μην την περιμένουμε. Τώρα θα θεωρήσουμε ως αξίωμα, ότι η ταχύτητα του φωτός δεν μεταβάλλεται. Προσέξτε τι σας λέω, είναι πολύ ριζοσπαστικό!

Δεν εξήγησα τη διαφορά μεταξύ ριζοσπαστικού και επαναστατικού. Στην κανονική κοινωνία, έχουμε την τάση να ταυτίζουμε αυτές τις δύο έννοιες. Για μένα, ριζοσπαστικός ετυμολογικά, είναι αυτός που σπάει τις ρίζες. Δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι έχει κάνει επανάσταση. Γιατί ξέρετε, εμείς στη Ελλάδα έχουμε την τάση να μπερδεύουμε ακόμα και την επανάσταση με την εκτόνωση. Στην επανάσταση, πρέπει κάποιος να

πεθάνει. Αλλά πρέπει και κάποιος να γεννηθεί. Ο ριζοσπαστικός, δεν έχει ανάγκη να ξαναγεννηθεί. Αρκεί να πεθάνει. Σπάζεις τις ρίζες, δεν σημαίνει ότι θα κάνεις άλλο δένδρο. Στην επανάσταση, πρέπει να υπάρχει κάτι που να επανέρχεται, αλλά είναι διαφορετικό. Δεν είναι απλώς ανάσταση. Είναι σημαντικές αυτές οι έννοιες, όταν κοιτάζουμε τις θεωρίες επί επιστημονικών θεωριών.

Εδώ, στα παραδείγματα που σας έδωσα προηγουμένως με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και με την κίνηση Brown, δεν βλέπουμε ακόμα κάτι που είναι επαναστατικό. Βλέπουμε κάτι που είναι ριζοσπαστικό. Δηλαδή λέμε ότι κάτι που ήταν τεχνητό ζει και είναι φωτόνιο. Στην άλλη περίπτωση, λέμε ότι υπάρχει κάτι που δεν φαίνεται, που εξηγεί αυτό που φαίνεται. Άρα απορρίπτουμε πια το μοντέλο ότι η φυσική ασχολείται μόνο με αυτά που βλέπω. Ασχολείται και με αυτά που δεν βλέπω. Στα οποία έχω πρόσβαση. Και μετά θα δούμε με τον Heisenberg ότι θα έχουμε ένα άλλο πρόβλημα με την προσβασιμότητα.

Το θέμα με το οποίο ασχολούμαστε τώρα είναι κάπως διαφορετικό. Εδώ υπάρχει μια επανάσταση. Κανονικά έχουμε θεωρίες που καταλήγουν σε πορίσματα. Εδώ έχουμε ένα πόρισμα που μας λέει ότι έχουμε μια μη συμβατότητα. Άρα, ο Einstein το παίρνει ανάποδα και λέει: «Μήπως μπορούμε να δημιουργήσουμε μια θεωρία, η οποία θα έχει ως αξίωμα, όχι κάτι που αποδεικνύω, αλλά θα έχει ως αξίωμα ότι το φως έχει μια ταχύτητα στο κενό, η οποία είναι αμετάβλητη.»

Το ενδιαφέρον αυτής της προσέγγισης είναι το εξής. Όταν κάνετε Νευτώνεια Φυσική, έχετε τους λεγόμενους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου. Όταν θα περάσετε σε μια σχετικιστική, θα περάσετε στους μετασχηματισμούς του Lorentz. Το παράδοξο είναι ότι οι μετασχηματισμοί του Lorentz υπάρχουν πριν τον Einstein. Αλλά είναι πάλι *ad hoc*. Με τη νέα προσέγγιση του Einstein, οι μετασχηματισμοί του Lorentz είναι μόνο και μόνο το ίχνος της δράσης της ομάδας του Lorentz. Είναι μια ομάδα που έχει την ιδιότητα η ταχύτητα του φωτός να παραμένει αμετάβλητη, παρόλο που μετασχηματίζω. Στο μετασχηματισμό αυτόν, το ουσιαστικό πρόβλημα είναι ότι έχετε ένα συντελεστή, ο οποίος είναι γ το οποίο όπως βλέπετε, απειρίζεται όταν το v το προσεγγίζετε με το c .

Πολύ συχνά έχετε ακούσει ότι δεν υπάρχουν σωματίδια που τρέχουν πιο γρήγορα από την ταχύτητα του φωτός. Αυτό, βέβαια, είναι λάθος. Δεν λέει αυτό ο Einstein. Αυτό το λέμε εμείς για τον Einstein. Όπως επίσης, ο Einstein δεν είπε ποτέ ότι όλα είναι σχετικά. Όταν λέω «όλα είναι σχετικά», είναι μια απόλυτη φράση. «Όλα» είναι σχετικά! Αν ήταν

«όλα», θα ήταν και αυτή η φράση σχετική. Άρα θα ήταν άσχετο. Και ο Einstein δεν ήταν άσχετος. Εμείς τα απλοποιούμε και λέμε, η θεωρία του Einstein είναι ότι όλα είναι σχετικά. Ας τον αφήσουμε, λοιπόν, ήσυχο αυτόν τον τομέα.

Επανερχομαι στην ιδέα του Einstein βάζοντας σαν αξίωμα ότι η ταχύτητα του φωτός είναι αμετάβλητη. Δεν σημαίνει ότι απαγορεύεται σε σωματίδια να πηγαίνουν πιο γρήγορα! Θα ήταν τραγικό λάθος! Στην πραγματικότητα, απαγορεύεται στα σωματίδια να περάσουν από αυτή την ταχύτητα. Δηλαδή, θα υπάρχουν τα σωματίδια που πηγαίνουν πάντα πιο κάτω από την ταχύτητα του φωτός. Και θα υπάρχουν τα σωματίδια που είναι πάντοτε πιο πάνω, αλλά δεν μπορούν να κατέβουν ποτέ πιο κάτω, τα οποία ονομάζουμε «ταχυόνια», από την ταχύτητα. Αυτά τα σωματίδια υπάρχουν στην ειδική θεωρία της σχετικότητας. Αυτό δεν σημαίνει ότι είναι προσβάσιμα. Επιμένω για το κενό. Είναι πολύ σημαντικό το κενό, γιατί ξέρετε ότι η ταχύτητα του φωτός μεταβάλλεται όταν δεν είναι κενό. Και μπορούμε να έχουμε και σωματίδια που πάνε πιο γρήγορα από την ταχύτητα του φωτός όταν δεν είμαστε σε κενό. Το ξέρετε αυτό. Αυτό είναι το λεγόμενο φαινόμενο του Cerenkov. Ο Cerenkov και ο Tamm είναι δύο από τους πρώτους που πήραν το βραβείο Nobel ενώ ήταν Σοβιετικοί, το 1958. Γιατί μη νομίζετε ότι το βραβείο Nobel ήταν κάτι το ουδέτερο. Στην πραγματικότητα μετά 50 χρόνια έχουμε πρόσβαση στο πώς έχει γίνει η απονομή για ένα βραβείο Nobel. Η Επιτροπή της απονομής του βραβείου θεωρεί ότι οι άνθρωποι έχουν δικαίωμα να μάθουν πώς έγινε η διαδικασία, αλλά πρέπει να έχουν περάσει 50 χρόνια. Είμαστε στο 2009, καταλαβαίνετε μέχρι πού έχουμε δικαίωμα.

Το φαινόμενο Cerenkov, αν το σκεφτείτε καλά, είναι δύσκολο να το επινοήσετε εξ αρχής, γιατί έχουμε την τάση να γενικεύουμε και να λέμε ότι η ταχύτητα του φωτός είναι πάντοτε το μέγιστο. Να ξέρετε τώρα ότι για να μετρήσουμε πόσα νετρίνα προέρχονται από τον ήλιο κάνουμε το εξής: έχουμε ένα μεγάλο βουνό, σκάβουμε από κάτω, μετά μας βάζουν μια τεράστια πισίνα και περιμένουμε. Μόλις δείτε μέσα στην πισίνα κάτι γαλάζιο, ξέρετε ότι από εδώ πέρασε ένα σωματίδιο που πήγε πιο γρήγορα από την ταχύτητα του φωτός. Είναι ο λεγόμενος κώνος του Cerenkov, ο οποίος σχηματίζεται μόλις ένα σωματίδιο σ' ένα χώρο ξεπερνά την ταχύτητα του φωτός. Στην πραγματικότητα, αυτό που δεν είχαμε επινοήσει καν, είναι το σύστημα που έχουμε, διότι είναι ο μόνος τρόπος για να εντοπίσουμε ότι πέρασαν νετρίνα. Διότι τα νετρίνα αντιδρούν πολύ λίγο με την ύλη. Για να καταλάβετε, έρχονται από τον ήλιο, διαπερνούν όλο το βουνό, καταλαβαίνετε ότι διαπερνούν βέβαια και την πισίνα σας. Το θέμα είναι ότι αφήνουν ένα ίχνος. Άρα ξέρετε ότι πέρασαν

από εδώ. Δεν τα βλέπετε ακριβώς, αλλά ξέρετε ότι πέρασαν. Αυτό λοιπόν είναι για να διευκρινίσω –γιατί θα είναι πολύ σημαντικό μετά όταν θα αναφερθούμε στη γενική θεωρία της σχετικότητας– ότι ο Einstein λέει απλώς ότι η ταχύτητα του φωτός είναι ένα σύνορο.

Υπάρχουν πράγματα από κάτω, υπάρχουν πράγματα από πάνω, αλλά δεν μπορούμε να το διασχίσουμε. Αυτό λέει η θεωρία. Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο της θεωρίας, όλα τα φαινόμενα για τα οποία μιλάμε τώρα, που μας φαίνονταν αντιφατικά, εξηγούνται πολύ εύκολα. Άρα, οι μετασχηματισμοί του Lorentz είναι απλώς η δράση της ομάδας του Lorentz. Το πρόβλημα που είχαμε με το άθροισμα των ταχυτήτων, είναι ότι στην ειδική θεωρία της σχετικότητας δεν αθροίζονται οι ταχύτητες γραμμικά, αλλά αθροίζονται σαν υπερβολική εφαπτομένη. Κατά συνέπεια λύνουμε τα προβλήματά μας.

Βλέπετε την επινόηση, τη ριζοσπαστικότητα, όταν έχουμε δύο προβλήματα μη συμβατά. Κοιτάζω τη μη συμβατότητα και λέω: μήπως πρέπει να πάρω το αξίωμα; Αυτό είναι πολύ σημαντικό και θα το γενικεύσουμε και στα μαθηματικά με την προσέγγιση του Grothendieck. Ο Grothendieck όταν έλυne ένα πρόβλημα, έκανε το εξής: έπαιρνε το πρόβλημα και το γενίκευε. Αυτό μου το είχε εξηγήσει ο Jean-Pierre Serre. Μου λέει, ήταν πολύ τυχερός ο Grothendieck. Βέβαια δεν ήταν μόνο τυχερός ήταν και έξυπνος. Αυτό βέβαια βοηθάει το πρώτο. Παίρνει το πρόβλημα. Δεν ξέρει να το λύσει. Και το πρώτο πράγμα που κάνει είναι να το γενικεύει. Την ώρα που το γενικεύει, είναι μερικά πράγματα που δεν αντέχουν τη γενίκευση. Το τροποποιεί. Το ξαναγενικεύει. Το κάνει αυτό 4-5 φορές. Σε κάποια φάση τού μένει μια δομή που είναι σχεδόν τίποτα. Θα αρχίσει την απόδειξη μ' αυτή τη δομή. Ξανακατεβαίνει λοιπόν εδώ και λέει: «Εφόσον, εσύ φίλε μου, άντεξες όλα αυτά, θα άντεξεις και την απόδειξη». Αυτό είναι πολύ ριζοσπαστικό. Θα έλεγα ότι το πρώτο σπέρμα αυτής της ιδέας είναι μέσα στον Einstein. Λέει, δεν ξέρω να το λύσω; Θα το γενικεύσω! Ό,τι άντέξει τη γενίκευση, θα το χρησιμοποιήσω για να λύσω αυτά που ήταν προβολικά. Προηγουμένως, στο πρόβλημα με το τετράγωνο και τον κύκλο, κάναμε ακριβώς αυτό. Αλλά προσέξτε, δουλεύετε με τη σκιά. Άρα στην πραγματικότητα όταν το κάνατε αυτό, όντως γενικεύσατε. Δηλαδή, πήρατε ένα τετράγωνο, το γενικεύσατε σε τρεις διαστάσεις. Γενικεύσατε τον κύκλο σε τρεις διαστάσεις και σαν σκιές μπορούν να προέρχονται από το ίδιο αντικείμενο. Κάνετε μία γενίκευση και το μόνο που αντέχει αυτή τη γενίκευση είναι ο κύλινδρος. Και λέτε, μήπως αυτά που είχα προηγουμένως είναι απλά προβολές; Βλέπετε, αλλάζετε εντελώς την προσέγγιση.

Όπως το είπε πολύ σωστά ο Πρόεδρος στην εισαγωγή του, ο Einstein δεν ήταν απλώς ένας επιστήμονας. Έκανε κι άλλα πράγματα, θα αναφερθούμε και σ' αυτά. Αλλά θα μπορούσατε να πείτε, έκανε ήδη μια επανάσταση. Τι άλλο θες; Όχι! Πήγε πιο πέρα! Εκεί όπου δεν είναι μια επανάσταση, είναι επινόηση. Η επανάσταση γίνεται όταν απορρίπτετε κάτι και δημιουργείτε κάτι καινούργιο σε σχέση μ' αυτό που απορρίψατε. Ο Einstein στη γενική θεωρία της σχετικότητας, δεν απορρίπτει απολύτως τίποτα. Δεν ασχολείται πλέον με τη Φυσική των άλλων. Λέει: «Έκαναν μερικά πράγματα, έκανα εγώ την ενοποίηση. Ωραία! Αυτό που μ' ενοχλεί εμένα δομικά, είναι ότι σ' αυτό που έκανα δεν υπάρχει η βαρύτητα. Θα ήθελα να έχω τις λύσεις που έχω προηγουμένως, αλλά να προσθέσω και τη βαρύτητα.» Αυτό είναι κλασικό από μόνο του. Έχετε λύσει ήδη ένα πρόβλημα και το γενικεύετε βάζοντας ένα νέο παράγοντα. Αυτός ο νέος παράγοντας όμως χρειάζεται κάτι το νέο. Εντελώς νέο. Μια ιδέα του Einstein που είναι σχετικά απλή να την καταλάβουμε, είναι ότι το βάρος μας, το αδρανειακό σύστημα, είναι ίδιο με το βαρυτικό. Είναι μια πολύ μεγάλη ιδέα. Είναι το ανάλογο του ασανσέρ που όταν κατεβαίνετε, μπορείτε να σκεφτείτε ή ότι εσείς καταβαίνετε ή ότι η γη αναβαίνει. Θα μου πείτε ότι αυτό είναι σχετικότητα. Να σας παιδέσω λίγο; Έχω ας πούμε ένα σωματίδιο το οποίο όταν τρέχει, εκπέμπει μια ακτινοβολία. Αυτό μπορείτε να το δεχτείτε. Εμείς λέμε, όταν τρέχει, ή όλοι είμαστε ακίνητοι κι αυτό τρέχει και εκπέμπει ακτινοβολία, ή όπως είπαμε προηγουμένως, σαν να είναι αυτό ακίνητο και εμείς τρέχουμε. Το ερώτημα είναι, γιατί ακτινοβολεί εφόσον είναι ακίνητο; Τώρα πρέπει να σκεφτείτε. Είναι πολύ απλό. Είναι το πρόβλημα του Einstein. Λέει, είναι απλό να θεωρείς ότι είναι το ίδιο. Εσείς λέτε, εντάξει, αυτό είναι σχετικότητα. Όταν όμως σας ξαναφέρω στο ίδιο πρόβλημα και σας πω: Ωραία, ξέρουμε ότι είναι σχετικότητα, πώς εξηγείτε όμως το εξής: όταν κινείται εκπέμπει, όταν δεν κινείται δεν εκπέμπει. Το βλέπετε, δεν κινείται. Και ρωτάω, αν το σωματίδιο δεν κινείται και κινούμαστε όλοι εμείς, γιατί αυτό ακτινοβολεί;

Βλέπετε, δεν είναι μόνο σε σχέση με τη σχετικότητα. Υπάρχει κάτι που είναι πιο βαθύ. Η ταχύτητα του φωτός είναι ένα ίχνος στο χωροχρόνο. Δηλαδή, ο χωροχρόνος είναι μια ενιαία οντότητα, στην οποία το φως ελαχιστοποιεί το χρόνο μεταξύ δύο σημείων. Αυτό είναι η γενική θεωρία της σχετικότητας. Φανταστείτε μία δομή τέτοιου τύπου. Ελαχιστοποίηση – απλώς ακολουθώ. Δεν έχω δικαίωμα να πάω ευθεία, δεν υπάρχει αυτός ο χώρος. Αυτή η ελαχιστοποίηση λέγεται γεωδαισία.

Ποιος είναι ο πιο σύντομος τρόπος να πάτε από το ένα σημείο στο άλλο; Πρέπει να καθορίσουμε σε ποιο χώρο. Γιατί αν έχουμε μία σφαίρα, θα είναι ο κύκλος. Είναι η λεγόμενη λοξοδρομία. Γι' αυτό, όταν βλέπετε

ναυτικούς να μετράνε, έχουνε διαβήτες που έχουν δύο μύτες ίδιες και μάλλον αναρωτιέστε γιατί δεν μετρούν την απόσταση με ένα χάρακα. Ίσως θεωρείτε ότι δεν έχουν ανακαλύψει το χάρακα! Το θέμα είναι όταν κάνετε μια προβολή της σφαίρας πάνω σ' ένα επίπεδο, αναγκαστικά τη σκίζετε. Δεν έχετε ομομορφισμό τοπολογικό. Γι' αυτό κάνω μεγάλη κριτική στους γεωγράφους, όταν διδάσκουν τα παιδιά συνεχώς σε επίπεδο. Δεν τους μαθαίνουν τις διαστάσεις. Όταν πρόκειται για χάρτες, πρέπει να χρησιμοποιούν τη σφαίρα.

Όταν μιλάμε λοιπόν για γεωδαισία, μόλις κάποιος σας ρωτάει ποιος είναι ο πιο σύντομος τρόπος να πάτε από ένα σημείο στο άλλο, να ρωτάτε σε ποιο χώρο. Παίρνουμε ένα επίπεδο. Θα πάρετε δύο σημεία A και B και θα ζωγραφίσετε την ευθεία. Και τώρα εγώ σας βγάζω ένα σημείο από αυτή την ευθεία που τα ενώνει. Και σας ξαναρωτάω: ποιος είναι ο πιο σύντομος τρόπος να πάτε από το σημείο A στο σημείο B; Δεν είναι η ευθεία. Να ρωτάτε μήπως έχει τρύπες το επίπεδο. Δεν υπάρχει γεωδαισία. Δεν υπάρχει πιο σύντομος τρόπος για να πάτε από το σημείο A στο σημείο B. Δεν υπάρχει! Δηλαδή, είναι ακόμα χειρότερο! Άρα, όταν σας κάνουν μία ερώτηση να ρωτάτε πρώτα αν υπάρχει, και μετά να σκέφτεστε τι μπορεί να είναι. Εδώ, όπως ο πιο σύντομος είναι η ευθεία, αλλά σου έχω βγάλει ένα σημείο, δεν μπορείς να την ξαναπάρεις. Πρέπει στο σημείο εκεί να κάνεις ένα κυκλάκι. Αλλά οποιοδήποτε κυκλάκι και να κάνεις, εγώ μπορώ να κάνω ένα πιο μικρό και να περάσει και να κάνει το ίδιο. Και όπως αυτό μπορώ να το κάνω όσο θέλω, δεν υπάρχει. Γιατί το πιο σύντομο σημαίνει ότι υπάρχει ελάχιστο. Δεν υπάρχει ελάχιστο, διότι το έχω αφαιρέσει. Να είστε πολύ προσεκτικοί, γιατί κανείς δεν σας λέει ότι το διάστημα είναι, όχι μόνο συνεχές, αλλά ότι δεν υπάρχουν τρύπες!

Ο Einstein, λοιπόν, λέει ότι έχουμε ένα διάστημα το οποίο είναι συνεχές, είναι παραγωγίσιμο σαν πολλαπλότητα και απλώς το φως ακολουθεί την καμπυλότητα του διαστήματος. Και την ακολουθεί με την ταχύτητα της βαρύτητας. Πολύ σημαντικό αυτό. Δεν το βλέπουμε αμέσως. Θα σας δώσω ένα παράδειγμα πολύ απλό. Αν ξαφνικά σβήσουμε τον ήλιο, θα κάνουμε πάνω-κάτω 8' για να αντιληφθούμε ότι έσβησε, διότι το φως χρειάζεται πάνω-κάτω 8' για να φτάσει από τον ήλιο στη γη. Μια άλλη ερώτηση: Ας πούμε ότι σβήνουμε τη μάζα του ήλιου. Εμείς, πότε θα καταλάβουμε ότι δεν γυρίζουμε γύρω από κάτι; Προσέξτε! Ο Einstein δεν απαντάει σ' αυτό. Αποφασίζει, ότι θα είναι αυτό!!! Στην πραγματικότητα, η γενική θεωρία της σχετικότητας δεν αποδεικνύει αυτό. Δεν είναι δικό σας λάθος. Ο Einstein δεν ξέρει να απαντήσει. Αλλά όπως βάζει σαν υπόβαθρο το χωροχρόνο, σας λέει είναι αναγκαστικά και τα δύο τα ίδια.

Τώρα υπάρχουν θεωρίες υπερχορδών οι οποίες λεν ότι αυτές οι δύο ταχύτητες δεν είναι ίδιες. Από το 2006 και μετά αρχίσαμε να κάνουμε σοβαρές μετρήσεις. Προηγουμένως δεν το είχαμε σκεφτεί ποτέ. Ενώ είναι κάτι πολύ σημαντικό. Το ερώτημα είναι: με ποια ταχύτητα πηγαίνει ένα κύμα βαρυτικό; Ο Einstein απαντάει θέτοντας ότι είναι με την ίδια ταχύτητα. Μερικές φορές κάνουμε κριτικές στις θεωρίες των υπερχορδών λέγοντας ότι θα έχουν αποτελέσματα μόνο και μόνο σε τόσο υψηλές ενέργειες, που εμείς δεν έχουμε τίποτα για να τις φτιάξουμε. Αλλά ξεχνάμε ότι υπάρχουν πειράματα σκέψης, που μας επιτρέπουν να απορρίψουμε μερικές. Ανάμεσα σ' αυτές τις θεωρίες είναι μερικές που επιτρέπουν στην ταχύτητα της βαρύτητας να πάει πιο γρήγορα από το φως, ενώ άλλες όχι. Και σύμφωνα με άλλες είναι ακριβώς το ίδιο. Έρχεται λοιπόν μια άλλη θεωρία και κάνει τη μέτρηση. Ο Einstein έχει ένα πρόβλημα. Προσπαθεί να βρει αναλλοίωτα. Λέει: Έχω μια θεωρία. Είναι πολύ σημαντικό για μένα, να μπορώ να την εφαρμόσω και αλλού και να βρίσκω τα ίδια αποτελέσματα. Για να έχω όμως τα ίδια αποτελέσματα και αλλού, αν είναι γραμμικό, μπορώ να κάνω ένα μετασχηματισμό. Αν είναι με επιτάχυνση, μπορώ να κάνω κάτι που έχει σχέση με το Lorentz. Αν όμως παίζει και η βαρύτητα; Σ' ένα χώρο δεν παίζει η βαρύτητα, σ' άλλον παίζει, σ' άλλον είναι ακόμα πιο ισχυρή. Πώς διαμορφώνεται τελικά; Είναι αυτό που στα μαθηματικά ονομάζουμε, ένα μαλάκιο. Είναι ένα σύστημα αναφοράς που είναι μαλακό και προσαρμόζεται στην καμπυλότητα του διαστήματος. Για να το πιάσετε αυτό το πράγμα μαθηματικά, πρέπει να έχετε ένα εργαλείο που ονομάζεται τανυστής. Τα διανύσματα δεν αντέχουν. Για τους μηχανικούς είναι ένα πολύ γνωστό εργαλείο. Το χρησιμοποιείτε πολύ συχνά και μάλιστα μ' έναν παραδοσιακό τρόπο.

Αλλά προσέξτε ποια είναι η ιδέα. Είμαστε στο 1905. Έχουμε κάνει ήδη κίνηση Brown, φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ειδική σχετικότητα. Έχουμε κάνει, ως ανθρωπότητα! Και όπως στην ανθρωπότητα περιλαμβάνουμε τον Einstein, το κάναμε και εμείς. Αυτό είναι όταν μας συμφέρει. Η ανθρωπότητα μέχρι το 1905 δεν έχει πρόβλημα. Δεν έχει βάλει ακόμα τη βαρύτητα. Ξαφνικά, λέει η ανθρωπότητα: Κι αν βάζαμε τη βαρύτητα; Βέβαια, η ανθρωπότητα είναι μόνο ο Einstein τώρα, αλλά εντελώς μόνος!

Κάνει προσπάθειες. Θα αφιερώσει τουλάχιστον 8 χρόνια της ζωής του για να λύσει το πρόβλημα, με μεγάλη δυσκολία. Στην αρχή βρίσκει πράγματα, αλλά δεν βρίσκει αναλλοίωτα. Γιατί καταλαβαίνει διαισθητικά τι είναι, δεν έχει όμως το μαθηματικό εργαλείο. Ποιο είναι το πρόβλημά του; Είναι ότι οι τανυστές υπάρχουν με τον Ιταλό Levi Civita μόνο από το 1896. Πριν δεν υπάρχουν. Ο Einstein θα έχει μια συζήτηση με τον

Grossman, ο οποίος είναι φίλος του, μαθηματικός. Και την ώρα που του μιλάει ο Einstein, ο άλλος τού λέει, αυτό μοιάζει μ' ένα εργαλείο που έχω μάθει εγώ. Δηλαδή ο Einstein του περιγράφει τις ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά και ο άλλος τα βλέπει και λέει: Α! αυτό μοιάζει να είναι ο τανυστής.

Ένα παράδειγμα που μου αρέσει να δίνω, είναι το εξής: έχετε έναν κύκλο, έχετε ένα καλώδιο κάθετο, μεταβάλλετε το ρεύμα και ξέρετε ότι δημιουργείται πάνω στον κύκλο ένα μαγνητικό πεδίο, το λεγόμενο B, το οποίο είναι εφαπτόμενο σε κάθε σημείο του κύκλου. Ως εδώ όλα καλά. Μια πολύ απλή ερώτηση. Αυτό το B, τι είναι; Θα σας το εξηγήσουν οι καθηγητές Φυσικής του Λυκείου.

Ξέρετε, εμείς οι μαθηματικοί έχουμε συνηθίσει να ζούμε με τις ανασφάλειές μας. Οι μαθηματικοί λύνουν πολύ λίγα προβλήματα. Όλα τα άλλα ξέρουν ότι είναι άλυτα. Οι φυσικοί τα λύνουν όλα, αλλά δεν απαντάνε ποτέ. Οι μηχανικοί λένε ότι τα προβλήματα που λύνουν είναι ο κόσμος. Δεν υπάρχει άλλος κόσμος. Το έλυσα, υπάρχει. Δεν το έλυσα, δεν υπάρχει. Όταν θα το λύσω θα είναι ο κόσμος. Άρα αυτό είναι το ενδιαμέσο. Ενώ εμείς μπορούμε να κοιμηθούμε άνετα με προβλήματα που θα μας απασχολήσουν για μήνες. Ή ακόμα με εικασίες που μας απασχολούν για χρόνια. Εμείς οι μαθηματικοί έχουμε συνηθίσει στο πλαίσιο της αποτυχίας. Δεν μας απασχολεί η αποτυχία γι' αυτό πετυχαίνουμε πράγματα. Για τους άλλους, όμως, που πρέπει να έχουν μια απόδοση στην κοινωνία; Φανταστείτε τώρα ένα μηχανικό να μην τον απασχολεί η αποτυχία! Είναι πολύ απλό. Δεν θα έχει δουλειά. Ενώ εμείς με την άνεσή μας, ξέρουμε ότι αυτό δεν έχει λυθεί. Κάναμε 300 χρόνια για να κάνουμε το Fermat. Εντάξει, κάναμε κι εμείς κάτι! Στο τέλος το τελείωσε κάποιος. Εμείς βάλουμε ένα λιθαράκι. Είμαστε σ' αυτό το πλαίσιο. Άρα, η αποτυχία δεν τρομάζει τους μαθηματικούς.

Οι Φυσικοί έχουν την τάση να λένε ότι αυτό είναι ένα διάνυσμα. Δεν έχουν όμως ύπουλους μαθητές να τους πουν: «Εντάξει, εφόσον είναι διάνυσμα έχει τις ιδιότητες των διανυσμάτων. Δηλαδή ένα διάνυσμα μπορώ να το βάλω εδώ κι εδώ κι εκεί. Αρκεί να είναι παράλληλο. Μα εδώ το έχετε βάλει έτσι, εκεί είναι αλλιώς.» Οι μαθηματικοί θα σου πουν αμέσως, υπάρχει ένα διάνυσμα που έχει αυτή την ιδιότητα, είναι το μηδενικό. Άρα είναι πολύ απλό. Ή όντως υπάρχει μαγνητικό πεδίο και δημιουργεί διανύσματα, ή παράγει διανύσματα, αλλά μόνο μηδενικά, άρα δεν υπάρχει μαγνητικό, ή δεν είναι διανύσματα.

Στην πραγματικότητα είναι τανυστές. Στη Γαλλία έχουν κάνει κάτι ενδιαμέσο, τα ονομάζουν ψευδο-διανύσματα. Η Γαλλία έχει μεγάλη

Μαθηματική Σχολή και δεν τολμούν να πάνε κόντρα κατ' ευθείαν. Η Σχολή Bourbaki λέει, εμείς τα λέμε ψευδό. Και τώρα εσύ λες, το ψευδο-διάνυσμα είναι διάνυσμα ή δεν είναι διάνυσμα; Και σου απαντάει, είναι ψευδο-διάνυσμα, ποιο είναι το πρόβλημά σου; Γιατί επιμένεις; Εφόσον ξέρουμε. Εφόσον έχουμε τέτοιες συζητήσεις στη Γαλλία μεταξύ μαθηματικών και φυσικών, μας εξηγούν ότι το λέμε ψευδο-διάνυσμα, γιατί τα παιδιά δεν έχουν την ικανότητα να καταλάβουν τι είναι τανυστής. Κι εγώ τους ρωτώ: έχουν την ικανότητα να καταλάβουν τι είναι ψευδο-διάνυσμα; Επειδή αλλάξατε το όνομα, νομίζετε ότι η έννοια έγινε πιο κατανοητή;

Ο τανυστής είναι μια έννοια αρκετά πολύπλοκη. Είναι μια γενίκευση του διανύσματος. Όπως το διάνυσμα είναι μια γενίκευση του αριθμού. Όταν όμως είναι αληθινό διάνυσμα, αυτό λέγεται διανυσματικός χώρος. Και ο διανυσματικός χώρος δεν είναι μόνο γεωμετρία, γιατί η γεωμετρία έχει ένα συγκεκριμένο χώρο, δεν μπορείς να είσαι και εδώ και εκεί. Ενώ το διάνυσμα μπορεί να είναι παντού. Θα ήταν καλό να λέμε στα παιδιά ότι όντως μπορεί να μην έχετε τη δυνατότητα να κατανοήσετε άμεσα την έννοια, αλλά ας λέμε τουλάχιστον σωστά το όνομα. Πάντως δεν είναι διάνυσμα, αυτό είναι σίγουρο.

Ο Einstein θα δυσκολευτεί και ο Grossman θα του κάνει αρκετά μαθήματα. Αυτό είναι μια ικανότητα που έχει ο Einstein. Είναι ικανός, παρόλο που είναι δάσκαλος, να μετατρέπεται κάπου-κάπου σε μαθητή. Αυτό είναι πού σπάνιο. Δηλαδή είναι ικανός να πει: αυτό δεν το ξέρω καθόλου αλλά το έχω ανάγκη, εξήγησέ το. Μετά θα το απορροφήσει σα σφουγγάρι και θα το χρησιμοποιήσει μ' έναν τρόπο που ο Grossman δεν το σκέφτηκε. Γιατί ο Einstein είχε ήδη την ανάγκη. Ο Grossman ξέρει, αλλά δεν έχει καμία ανάγκη συγκεκριμένη. Ενώ ο Einstein που έχει την ανάγκη λέει «μάθε μου να χρησιμοποιώ το εργαλείο». Κι έτσι, λοιπόν, η γενική θεωρία της σχετικότητας γεννιέται επίσημα το 1914... με δημοσίευση. Το επισημαίνω αυτό, διότι έχουμε και «ειδικούς» για τον Καραθεοδωρή. Μερικές φορές, στην προσπάθειά μας να αναδείξουμε τον Καραθεοδωρή, λέμε ότι να 'ναι γι' αυτόν. Ενώ, ο Καραθεοδωρή θα συμμετάσχει στη γενική θεωρία της σχετικότητας μόνο από το 1916 και μετά.

Δύο χρόνια μετά τη δημοσίευση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας, ο Einstein έχει μερικά συγκεκριμένα προβλήματα. Είναι οι κανονικές συντεταγμένες, το πρόβλημα του Hamilton – Jacobi και το λεγόμενο πρόβλημα με τις κλειστές καμπύλες. Τα δύο πρώτα είναι κλασικά, ο Καραθεοδωρή τα κατέχει και θα του τα εξηγήσει άμεσα. Το τρίτο δεν το λύνει ο Καραθεοδωρή. Αλλά ούτε εμείς το έχουμε λύσει ακόμα και

τώρα! Δεν είναι μια προσωπική αποτυχία. Είναι απλώς ότι η ανθρωπότητα δεν ξέρει ακόμα να λύσει το πρόβλημα με τις κλειστές καμπύλες.

Τα άλλα δύο έχουν χρησιμοποιηθεί και τώρα ακόμα και η ρώσικη σχολή χρησιμοποιεί αυτή την τεχνική, την κανονική. Ο Καραθεοδωρή θα τη χρησιμοποιήσει από τον Poincaré. Ο Poincaré σχετίζεται με τον Einstein. Το 1905 θα κάνει μια αξιωματική, που θα εξηγήσει με τον Minkowski τι γίνεται με την ειδική θεωρία της σχετικότητας. Ποια είναι η διαφορά μεταξύ Poincaré και Einstein; Ο Einstein έρχεται στην ειδική θεωρία της σχετικότητας με ταχύτητα. Ο Poincaré έρχεται και σβήνει. Έχει όλο το μαθηματικό υπόβαθρο και ξέρει ότι άμα το λύσει, φτάνει με ταχύτητα 0 και σταματάει εκεί. Ενώ ο Einstein προχωρεί. Έχει τελειώσει αυτό το θέμα και θέλει να βάλει και τη βαρύτητα. Αλλά δεν ξέρει να το κάνει. Βρίσκει τον Grossman, το κάνει. Το λιώνει, το τελειώνει, το βρίσκει. Μετά έχει άλλα προβλήματα. Θα βρει τον Καραθεοδωρή, ο οποίος είναι ειδικός για το Λογισμό Μεταβολών και θα λύσουν ένα άλλο θέμα. Ο Einstein το λέει ξεκάθαρα. Είναι αυτός που θα παρουσιάσει το έργο και τις λύσεις του Καραθεοδωρή στην Ακαδημία. Δεν είναι κάτι που γίνεται κρυφά. Αυτή είναι συγκεκριμένα η συμβολή.

Ο Einstein όταν φτάνει σ' αυτό το επίπεδο, έχει καταφέρει να δημιουργήσει μια θεωρία. Αλλά το ωραίο είναι ότι τώρα μπορεί να επινοήσει. Πολύ σημαντικό. Έχουμε ένα πρόβλημα που μας έρχεται από τη Νευτώνεια θεωρία, το οποίο είναι το περιήλιο του Ερμή. Το περιήλιο του Ερμή είναι το πιο κοντινό σημείο στον ήλιο πάνω στην τροχιά του Ερμή. Και έχουμε προσέξει ότι η γωνία έχει ένα λάθος με 43''. Δηλαδή μετακινείται η γωνία. Συνεχώς! 43'' είναι πολύ μικρό. Αλλά μετακινείται. Αυτό δεν έχει καταφέρει να το εξηγήσει κανένας.

Η θεωρία του Newton είναι πολύ παραγωγική σ' αυτόν τον τομέα. Θυμάστε, όταν είχαμε τον Κρόνο και το Δία, είχαμε μερικά προβλήματα στον Κρόνο. Δεν πήγαινε εκεί, ενώ θα έπρεπε. Μετά από μετρήσεις, βρήκαμε τον Ουρανό! Ξανακάνουν τις μετρήσεις με τον Ουρανό, βλέπουν ότι πάει όπου να 'ναι. Και ξαφνικά, εμφανίζεται ο Ποσειδώνας. Το ίδιο έγινε και με τον Πλούτωνα. Δηλαδή ήταν μια τεχνική, είχαμε μια μοντελοποίηση, ξέραμε ότι αυτό είναι ανθεκτικό και λέγαμε εφόσον υπάρχει λάθος, σημαίνει ότι κάποιος το δημιουργεί. Ποτέ δεν είχαμε φτάσει στο στάδιο να σκεφτούμε ότι έχει λάθος η θεωρία. Είναι αυτό που μας λέει η θεωρία του Kuhn. Έχουμε ένα γεγονός που δεν μπορούμε να εξηγήσουμε, υπάρχει μια κρίση, υπάρχει η εισαγωγή μιας νέας ιδέας. Μπορεί να υπάρχει ένας άλλος πλανήτης κοντά. Κάνουμε την τροποποίηση και βλέπουμε ότι πάλι στέκει η θεωρία, οπότε το

γενικεύουμε επαγωγικά. Με τον Ερμή όμως εδώ, ξέρουμε όλοι ότι δεν υπάρχει άλλος πλανήτης κοντά. Άρα δεν ισχύει αυτό το κόλπο. Και αναρωτιέσαι τι γίνεται. Έρχεται, λοιπόν, ο Einstein που δεν ασχολείται καθόλου μ' αυτό το θέμα και λέει, θα το κοιτάξω κι εγώ με τη γενική θεωρία της σχετικότητας. Και βγαίνει ακριβώς 43''. Τι λέει ο Einstein στην πραγματικότητα; Όπως είναι ο χωροχρόνος, φανταστείτε όταν είστε πάνω σε μια κουβέρτα, έχετε ένα μεγάλο βάρος, έχετε ένα αντικείμενο που περιστρέφεται. Νιώθετε ότι αυτό το αντικείμενο θα έχει μία τριβή με την κουβέρτα και θα την τραβάει λίγο. Ελάχιστο. Για να καταλάβετε, το βάρος του ήλιου πάνω στο χωροχρόνο είναι 3cm. Δηλαδή αν βγάλετε τον ήλιο, ο χωροχρόνος ανεβαίνει 3cm. Τον βάζετε, κατεβαίνει 3cm. Στη γενική θεωρία της σχετικότητας μετράμε τη μάζα σε μέτρα, γιατί είναι η τροποποίηση της γεωμετρίας. Επομένως, όταν μετακινείται ο άλλος πλανήτης, δεν μετακινείται μόνος του. Τραβάει και λίγο το χωροχρόνο. Και δεν είναι πια επίπεδος όπως θα ήταν με ένα διάστημα του τύπου Minkowski, όπου έχουμε κενό και είναι ένα επίπεδο. Είναι τροποποιημένο από την ίδια τη μάζα. Όπως όμως η μάζα του ήλιου περιστρέφεται και περιστρέφεται και η άλλη γύρω του, τραβούν. Και αυτό που μετράμε, η διαφοροποίηση, είναι η καθυστέρηση του χωροχρόνου. Άρα φαίνεται εντελώς λογικό πλέον.

Ο Eddington θα κάνει, αν θυμάστε, το λεγόμενο πείραμα με την έκλειψη. Το συγκλονιστικό είναι ότι ο Einstein το σκέφτηκε για πρώτη φορά, πριν καν υπάρξει αυτό το πρόβλημα. Και λέει: κατά τη διάρκεια μιας έκλειψης, όταν κοιτάζετε τα άστρα –γιατί πρέπει να κοιτάζετε τα άστρα– και βάζετε μια μεγάλη μάζα μπροστά, καμπυλώνει το ενδιάμεσο. Κοιτώντας δηλαδή με την ηλιακή έκλειψη, που σας επιτρέπει να βλέπετε ακόμα τ' αστέρια – γιατί μόνο η έκλειψη το επιτρέπει– ενώ έχετε βάλει μια μεγάλη μάζα στο ενδιάμεσο, μπορείτε να δείτε ότι όταν ο ήλιος περάσει, τα αστεράκια που είναι κοντά στην περίμετρό του θα μετακινηθούν. Ενώ εσείς ξέρετε ότι είναι σταθερά, όταν περνάει ο ήλιος, μετακινούνται! Όταν φεύγει, ξαναέρχονται.

Η ιδέα είναι ότι η ενδιάμεση μάζα βαραίνει το χωροχρόνο και το φως που ακολουθεί την καμπυλότητα, στραβώνει λίγο. Άρα αυτό που βλέπετε στραβό είναι το βάρος του ήλιου. Αυτό είναι κάτι που επιβεβαιώθηκε το 1919 με τον Sir Arthur Stanley Eddington. Μία αγγλική αποστολή πήγε σ' έναν ειδικό χώρο, για να διαπιστώσουν ότι γίνεται κάτι τέτοιο.

Το πιο ωραίο, όμως, είναι αυτό που ονομάζουμε «οι βαρυτικοί φακοί». Ο βαρυτικός φακός είναι κάτι που δεν το είχαμε σκεφθεί καθόλου. Ούτε ο Einstein. Αλλά είναι μια πολύ ωραία εφαρμογή της θεωρίας του. Είναι το εξής: κοιτάζουμε ως αστρονόμοι τον ουρανό και βλέπουμε ότι δύο

αστέρια μοιάζουν τόσο πολύ, που αναρωτιέσαι, πώς είναι δυνατόν σε τέτοια απόσταση να είναι ακριβώς τα ίδια! Η εξήγηση είναι ότι είναι το ίδιο αστέρι! Φανταστείτε ότι εγώ είμαι ένα αστέρι και εκπέμπω σφαιρικά και μπροστά μου βρίσκεται μία μάζα πολύ βαριά. Άρα εσείς όταν κοιτάζετε, φαινομενικά κάνετε μία προβολή ευθύγραμμη και βλέπετε σαν να έχετε δύο σημεία που είναι ακριβώς τα ίδια. Στην πραγματικότητα, είναι απλώς ο βαρυτικός φακός. Το βάρος του ενδιάμεσου σώματος δημιουργεί μια καμπυλότητα, τέτοια που σας επιτρέπει να κλείσετε ακόμα και τις δύο καμπύλες.

Έτσι, ξαφνικά, βρήκαμε πολλά αντικείμενα –μιλάμε για εκατοντάδες– που προέρχονται από τους βαρυτικούς φακούς. Είναι πολύ σπουδαίο! Πριν δεν είχαμε καν το εργαλείο για να καταλάβουμε, πώς είναι δυνατόν να έχουμε δύο αντικείμενα που είναι ακριβώς τα ίδια! Αυτό εδώ είναι καθαρά ριζοσπαστικό!

Επανερχομαι στον Einstein. Ο Einstein εφόσον έχει κάνει αυτή την ενοποίηση με τη γενική θεωρία της σχετικότητας, δεν σταματάει εδώ. Και εδώ, θα έλεγα έρχεται πιο κοντά στους μαθηματικούς, θα βιώσει την αποτυχία. Ποια είναι η αποτυχία; Είναι ότι θα προσπαθήσει να βρει μια θεωρία ενιαίου πεδίου. Αυτό γιατί είναι σημαντικό; Είναι ο πρώτος που σκέφτηκε ότι θα μπορούσαμε να ενοποιήσουμε τις δυνάμεις! Και σ' έναν καινούργιο χώρο να υπάρχει μόνο μία θεωρία, που να έχει και το βαρυτικό και το ηλεκτρομαγνητικό και το νευτωνικό και το κβαντικό!

Ωραία! Εδώ τα μαθηματικά είναι πολύ πιο δύσκολα. Πάρα πολύ πιο δύσκολα. Και ο Einstein δεν θα τα καταφέρει. Αλλά είναι ριζοσπαστικό, γιατί είναι ο πρώτος που σκέφτεται ότι αυτό θα μπορούσε να γίνει. Προηγουμένως, κανένας δεν δούλευε πάνω σ' αυτό το αντικείμενο. Τώρα όλα αυτά που ακούτε για τη θεωρία χορδών, θεωρία υπερ-χορδών, θεωρία με κρυφές μεταβλητές, θεωρία των πάντων, θεωρία M του Witten, όλα αυτά είναι ιδέες του ίδιου τύπου. Δηλαδή ότι σε υψηλό επίπεδο ενεργειών, αυτές οι δυνάμεις ενοποιούνται.

Και μια μεγάλη επιτυχία θα την έχουμε με την ενοποίηση των ηλεκτρασθενών δυνάμεων. Οι περίφημοι Salam – Weinberg θα έχουν και αυτοί το βραβείο Νόμπελ, όπου θα ενοποιήσουν την ασθενή δύναμη με την ηλεκτρομαγνητική. Είναι τα περίφημα μποζόνια. Μποζόνιο Z^0 και το W_{\pm} . Δεν είναι τα μποζόνια του Higgs για τα οποία έχετε ακούσει μέσω του CERN από το 2007 και μετά. Αλλά είναι τα μποζόνια του τα οποία θα βρεθούν μέσω του CERN, με τον περίφημο Carlo Rubia, ο οποίος πήρε το βραβείο Νόμπελ το 1984. Μετά έχουμε μία προσέγγιση που αφορά στη χρωμοδυναμική. Εδώ είναι μία προσέγγιση για τις ισχυρές

δυνάμεις. Έχουμε και την κβαντο-ηλεκτροδυναμική του Feynman, όπου εκεί πέρα, πάλι θα πετύχουμε.

Τώρα, τι γίνεται; Υπάρχει μια άλλη επανάσταση που προέρχεται απ' αυτές τις κατευθύνσεις. Ο Einstein έδωσε την κατεύθυνση. Δηλαδή λέει: εγώ έκανα μια πρώτη επανάσταση με Brown. Μετά με φωτοηλεκτρικό. Σας έλυσα δύο προβλήματα. Κάνω την ειδική θεωρία της σχετικότητας, σας λύνω τα προβλήματα δύο θεωριών οι οποίες ισχύουν και οι δύο. Απλώς για να τις συνθέσουμε, πρέπει να βρούμε ένα πλαίσιο συμβατότητας. Πάμε πιο πέρα, εισάγουμε και τη βαρύτητα. Κι αυτό ξέρω να το λύνω. Και όντως το χρησιμοποιούμε με πολύ μεγάλη επιτυχία.

Ξέρετε, έχουμε την τάση να λέμε ότι η μάζα δεν μεταβάλλεται. Το μήκος δεν μεταβάλλεται. Στην πραγματικότητα ο Einstein μάς λέει ότι όλα μεταβάλλονται, αλλά έχει ενδιαφέρον ο τρόπος που το λέει. Μας λέει ότι όλα μεταβάλλονται στο χώρο που κοιτάτε. Αλλά στην πραγματικότητα δεν μεταβάλλονται στο χώρο που υπάρχει! Το μήκος. Όταν μετακινείται ένα σώμα με μεγάλες ταχύτητες, λέμε ότι το μήκος αλλάζει και μικραίνει, όσο πιο γρήγορα κινείται το σώμα. Όμως το μήκος παραμένει σταθερό, απλώς περιστρέφεται σ' ένα χώρο όπου έχουμε μιγαδικούς. Άρα, όταν εμείς παίρνουμε την προβολή στον πραγματικό χώρο, έχουμε την εντύπωση ότι είναι πιο μικρό. Όπως όταν κοιτάτε ένα αντικείμενο σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίεδου κατά μήκος. Αν το περιστρέψω, το βλέπετε πιο μικρό. Το αντικείμενο όμως δεν έχει αλλάξει! Ο Einstein ερμηνεύει την αλλαγή του μήκους απλώς ως μια περιστροφή στο χώρο του Minkowski, όπου έχει ενσωματωθεί ο χρόνος ως φανταστική διάσταση με το i , για να επιτρέψει να έχουμε ένα ενιαίο πλαίσιο. Μετά απ' αυτό καταλήγει ότι η Φυσική πρέπει να πάει πιο πέρα και να δώσει μια κατεύθυνση. Η κατεύθυνση είναι η ενοποίηση δυνάμεων. Εδώ είναι, θα έλεγα, η πιο επαναστατική προσέγγιση του Einstein, που προσέξτε, εδώ δεν είναι ριζοσπαστική, είναι καθαρά επαναστατική. Και σ' αυτόν τον τομέα τώρα, στη θεωρητική φυσική, ακολουθούμε όλοι αυτή την κατεύθυνση. Θεωρούμε δηλαδή ότι πραγματικά είναι ο στόχος που πρέπει να πετύχουμε, σ' ένα πολύ γενικό, ενιαίο πλαίσιο. Αυτά ήθελα να σας πω, σε γενικές γραμμές, για τη επαναστατικότητα της σκέψης του Einstein, τουλάχιστον στον τομέα της Φυσικής.