

## Πώς δημιούργησα τη Θεωρία της Σχετικότητας

**Η** μετάφραση αυτή, μιας ομιλίας του A. Einstein στο Κιότο στις 14 Δεκεμβρίου του 1922, φωτίζει την εξέλιξη της σκέψης του μέχρι τη συμπλήρωση της θεωρίας της Σχετικότητας και προσφέρει πληροφορίες σε πολλές άλλες πτυχές της εργασίας του πάνω στη Σχετικότητα.

«Είναι γνωστό ότι το Δεκέμβριο του 1922 ο Albert Einstein απουσίαζε από την τελετή βράβευσης του με το Nobel Φυσικής. Αντί για την Στοκχόλμη λόγω ανειλημμένης υποχρέωσης επισκεφτόταν την Ιαπωνία. Εκεί, στις 14 Δεκεμβρίου παρουσίασε μια διάλεξη στο Πανεπιστήμιο του Κ्यοτο με τίτλο “Πώς δημιούργησα την Θεωρία της Σχετικότητας”. Ήταν μια άτυπη ομιλία σε φοιτητές και διδάσκοντες του Πανεπιστημίου μετά από παράκληση του K. Nishida, καθηγητή της Φιλοσοφίας στο Πανεπιστήμιο του Κ्यοτο. Ο ίδιος ο Einstein δεν κράτησε γραπτές σημειώσεις. Η ομιλία δόθηκε στα γερμανικά και ο καθηγητής της Φυσικής του Πανεπιστημίου Tohoku J. Ishiwara, που είχε σπουδάσει υπό την καθοδήγηση του Arnold Sommerfeld και του ίδιου του Einstein από το 1912 μέχρι το 1914, τη μετέφραξε στα ιαπωνικά. Ο Ishiwara δημοσίευσε τις προσεκτικές σημειώσεις της ομιλίας που κράτησε, στο μηνιαίο ιαπωνικό περιοδικό Kaizo. Οι σημειώσεις αυτές είναι οι μόνες υπάρχουσες αυτής της ομιλίας του Einstein. Πρόσφατα, ο T. Ogawa δημοσίευσε μια μερική μετάφραση αυτών των σημειώσεων στα αγγλικά στο Japanese Studies in the History of Science».

Αλλά η πρόσβαση στη μετάφραση του Ogawa όπως και στην προηγούμενη δημοσίευση του Ishiwara για τη διεθνή φυσική κοινότητα δεν είναι εύκολη. Όμως η αρχική περιγραφή από τον ίδιο τον Einstein της πηγής της έμπνευσής του έχει μεγάλο ιστορικό ενδιαφέρον αυτή την εποχή. Αυτή η ομιλία ρίχνει αρκετό φως στη σημαντική διαφωνία με αντικείμενο τη γνώση ή μη του Einstein του πειράματος των Michelson-Morley την εποχή της δημοσίευσης της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας, το 1905. Η ομιλία αυτή φωτίζει αρκετές ακόμα πτυχές της εργασίας του Einstein στη σχετικότητα.

**Y.A. Ono**

«Δεν είναι εύκολο να μιλήσω για το πώς συνέλαβα την ιδέα της Θεωρίας της Σχετικότητας. Κίνητρο για τις σκέψεις μου αποτέλεσαν οι πολλές κρυμμένες περιπλοκές που υπήρχαν και κάθε σκέψη είχε διαφορετικό αντίκτυπο σε κάθε στάδιο ανάπτυξης της θεωρίας. Δεν θα τις αναφέρω όλες εδώ. Ούτε και θα παραθέσω κατάλογο των δημοσιεύσεων που

έχω για τη σχετικότητα αλλά θα περιγράψω σύντομα την εξέλιξη της σκέψης μου πάνω σ' αυτό το θέμα.

Έχουν περάσει περισσότερα από δεκαεπτά χρόνια που σκέφτηκα για πρώτη φορά την ανάπτυξη της Θεωρίας της Σχετικότητας. Αν και δεν μπορώ να πω αυτή τη στιγμή, στη μελέτη ποιου προβλήματος ακριβώς έκανα αυτές τις σκέψεις, είμαι σίγουρος ότι είχε σχέση με την περιγραφή των οπτικών ιδιοτήτων των κινούμενων σωμάτων. Το φως διαδίδεται μέσα από τη θάλασσα του αιθέρα στην οποία και η Γη κινείται. Με άλλα λόγια ο αιθέρας κινείται σε σχέση με την Γη. Προσπάθησα να βρω ξεκάθαρη πειραματική απόδειξη για την κίνηση του αιθέρα στη βιβλιογραφία της φυσικής αλλά μάταια.

Εκείνη την εποχή ήθελα να επιβεβαιώσω την κίνηση του αιθέρα σε σχέση με τη Γη, με άλλα λόγια την κίνηση της Γης. Όταν πρωτοασχολήθηκα μ' αυτό το πρόβλημα δεν αμφισβητούσα την ύπαρξη του αιθέρα ή την κίνηση της Γης μέσα σ' αυτόν. Σκέφτηκα το παρακάτω πείραμα χρησιμοποιώντας δύο θερμοζεύγη. Αν τοποθετούσαμε δύο καθρέπτες με τέτοιο τρόπο, ώστε το φως που παράγεται από μια πηγή να ανακλάται σε δύο διαφορετικές διευθύνσεις, μια παράλληλη στην κίνηση της Γης και μια άλλη αντιπαράλληλη, και αν υποθέταμε ότι υπήρχε ενεργειακή διαφορά μεταξύ των δύο ανακλώμενων ακτίνων, θα μπορούσαμε να μετρήσουμε αυτή τη διαφορά στη δημιουργούμενη θερμότητα χρησιμοποιώντας τα δύο θερμοζεύγη. Αν και η ιδέα αυτού του πειράματος είναι παρόμοια με το πείραμα των Michelson-Morley, ποτέ δεν προσπάθησα να την πραγματοποιήσω.

Την εποχή που σκεφτόμουν αυτό το πρόβλημα, στα φοιτητικά μου χρόνια, υπέπεσε στην αντίληψη μου το παράξενο αποτέλεσμα του πειράματος του Michelson. Σύντομα κατέληξα στο συμπέρασμα ότι η αντίληψή μας για την κίνηση της Γης ως προς τον αιθέρα ήταν λανθασμένη, αν αποδεχτούμε το μηδενικό αποτέλεσμα του Michelson ως γεγονός. Αυτή ήταν η αρχή του μονοπατιού που με οδήγησε στην Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας. Από τότε έχω καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η κίνηση της Γης δεν μπορεί να ανιχνευτεί από κανένα οπτικό πείραμα, παρά το γεγονός ότι γυρίζει γύρω από τον Ήλιο.

Είχα την ευκαιρία να διαβάσω τη μονογραφία του Lorentz του 1895. Εκεί ανέπτυσε και έλυσε το πρόβλημα της ηλεκτροδυναμικής σε πρώτη προσέγγιση, αγνοώντας όρους τάξης μεγαλύτερης από  $v/c$ , όπου  $v$  η ταχύτητα του κινούμενου σώματος και  $c$  η ταχύτητα του φωτός. Μετά το διάβασμα αυτής της μονογραφίας προσπάθησα να μελετήσω το πείραμα του Fizeau δεχόμενος ότι οι εξισώσεις του Lorentz για την κίνηση των ηλεκτρονίων στο σύστημα αναφοράς του κενού ισχύουν και στο σύστημα αναφοράς του κινούμενου σώματος. Εκείνη την εποχή πίστευα ακλόνητα ότι οι ηλεκτροδυναμικές εξισώσεις του Maxwell και του Lorentz ήταν σωστές. Επιπλέον, η παραπάνω υπόθεση ότι αυτές οι εξισώσεις ισχύουν και στο σύστημα αναφοράς του κινούμενου σώματος οδηγεί στην αντίληψη του αναλλοίωτου της ταχύτητας του φωτός, η οποία έρχεται σε αντίθεση με τον προσθετικό νόμο των ταχυτήτων που χρησιμοποιείται στη Μηχανική.

Γιατί οι δυο αυτές αντιλήψεις αλληλοσυγκρούονται; Συνειδητοποίησα ότι αυτό το πρόβλημα δύσκολα θα εύρισκε λύση. Για σχεδόν ένα χρόνο προσπαθούσα μάταια να τροποποιήσω την ιδέα του Lorentz ελπίζοντας ότι θα βρω τη λύση του προβλήματος.

Κατά τύχη, ένας φίλος μου στην Βέρνη, ο Michele Besso, με βοήθησε στη λύση του. Ήταν μια υπέροχη μέρα όταν τον επισκέφτηκα θέλοντας να συζητήσω μαζί του αυτό το

πρόβλημα. Ξεκίνησα τη συζήτηση με τον παρακάτω τρόπο: “Τον τελευταίο καιρό ασχολούμαι μ’ ένα δύσκολο πρόβλημα. Σήμερα έρχομαι εδώ για να το πολεμήσουμε μαζί”. Συζητήσαμε την κάθε πλευρά του θέματος. Ξαφνικά συνειδητοποίησα πού βρισκόταν το κλειδί για τη λύση του προβλήματος. Την επόμενη μέρα τον ξαναεπισκέφτηκα και του είπα πριν ακόμα τον χαιρετήσω: “Σε ευχαριστώ πολύ. Έλυσα ολοκληρωτικά το πρόβλημα”. Μια ανάλυση της αντίληψης του χρόνου ήταν η λύση μου. Ο χρόνος δεν μπορεί να οριστεί απόλυτα. Αντίθετα, είναι αδιατάρακτα συνδεδεμένος με την ταχύτητα του σήματος. Μ’ αυτή τη νέα αντίληψη, κατάφερα να ξεπεράσω εντελώς όλες τις δυσκολίες για πρώτη φορά.

Μέσα στις επόμενες πέντε εβδομάδες η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας ήταν έτοιμη. Δεν αμφέβαλα ότι η νέα θεωρία ήταν λογική από φιλοσοφική άποψη. Επίσης ανακάλυψα ότι η νέα θεωρία συμφωνούσε με το επιχείρημα του Mach. Σε αντίθεση με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, όπου το αίτημα του Mach ήταν ενσωματωμένο στη θεωρία, στην Ειδική Σχετικότητα η ανάλυση του Mach ήταν ένα έμμεσο επακόλουθο.

Αυτός ήταν ο τρόπος με τον οποίο δημιουργήθηκε η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας.

Δυο χρόνια αργότερα, το 1907, άρχισαν να σχηματίζονται στο μυαλό μου οι πρώτες σκέψεις πάνω στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας. Ήταν μια ξαφνική έμπνευση. Δεν ήμουν ικανοποιημένος με την Ειδική Σχετικότητα λόγω του γεγονότος ότι ήταν μια θεωρία που έβρισκε εφαρμογή μόνο σε συστήματα αναφοράς που κινούνται με σταθερή σχετική ταχύτητα το ένα ως προς το άλλο. Η θεωρία αυτή δεν μπορούσε να εφαρμοστεί στη γενική κίνηση των συστημάτων αναφοράς. Θέλοντας να διατυπώσω το πρόβλημα στη γενική περίπτωση, αγωνίστηκα σκληρά να απαλείψω αυτόν τον περιορισμό.

Το 1907 ο Johannes Stark μου ζήτησε να γράψω μια μονογραφία με θέμα την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας στο περιοδικό *Jahrbuch der Radioaktivitat*. Γράφοντας την, συνειδητοποίησα ότι όλοι οι φυσικοί νόμοι, με μοναδική εξαίρεση τη βαρύτητα, μπορούν να περιγραφούν μέσα στο πλαίσιο της ειδικής σχετικότητας. Ήθελα να βρω την εξήγηση γι’ αυτή τη συμπεριφορά αλλά δεν μπορούσα να φτάσω εύκολα στη λύση.

Το στοιχείο που με ικανοποιούσε λιγότερο ήταν το ακόλουθο: Αν και η σχέση μεταξύ αδράνειας και ενέργειας αποδεικνυόταν αναλυτικά από την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας, η σχέση μεταξύ αδράνειας και βάρους, ή της ενέργειας του βαρυτικού πεδίου δεν ήταν ξεκάθαρα αποσαφηνισμένη. Ένιωθα ότι το πλαίσιο της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας ήταν ανεπαρκές για τη λύση αυτού του προβλήματος.

Η άρση του αδιεξόδου συνέβη ξαφνικά. Μια μέρα, όπως καθόμουν σε μια καρέκλα στο γραφείο ευρεσιτεχνιών μου στην Βέρνη, μια σκέψη με κυρίευσε. Όταν ένας άνθρωπος πέφτει ελεύθερα δεν αισθάνεται το βάρος του. Συγκλονίστηκα. Αυτό το απλό πείραμα σκέψης μου έκανε μεγάλη εντύπωση και με οδήγησε στη θεωρία της βαρύτητας. Συνέχισα τη σκέψη μου. Ένας άνθρωπος που πέφτει επιταχύνεται. Άρα ότι βλέπει και κρίνει βρίσκεται σ’ ένα επιταχυνόμενο σύστημα αναφοράς. Αποφάσισα να επεκτείνω τη Θεωρία της Σχετικότητας σε επιταχυνόμενα συστήματα αναφοράς. Ένιωσα ότι μ’ αυτό τον τρόπο θα έλυνα ταυτόχρονα και το πρόβλημα της βαρύτητας. Ένας άνθρωπος που πέφτει δεν αισθάνεται το βάρος του γιατί στο δικό του σύστημα αναφοράς το γήινο βαρυτικό πεδίο εξουδετερώνεται από ένα νέο βαρυτικό πεδίο. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στο επιταχυνόμενο σύστημα αναφοράς χρειάζόμαστε και ένα νέο βαρυτικό πεδίο.

Δεν μπορούσα να λύσω αυτό το πρόβλημα πλήρως εκείνη την εποχή. Χρειάστηκα οχτώ ακόμη χρόνια μέχρι να βρώ την πλήρη λύση του προβλήματος. Κατά την διάρκεια αυτών των οκτώ ετών η συνολική απάντησή μου διέφευγε και μόνο μερικές λύσεις μου αποκαλύπτονταν.

Ο Ernst Mach ήταν ένας άνθρωπος που επέμενε στην αντίληψη ότι όλα τα επιταχυνόμενα συστήματα είναι ισοδύναμα μεταξύ τους. Αυτή η ιδέα συγκρούεται με την Ευκλείδεια γεωμετρία, εξαιτίας του γεγονότος ότι η γεωμετρία των επιταχυνόμενων συστημάτων είναι μη Ευκλείδεια.. Η περιγραφή των φυσικών νόμων χωρίς αναφορά στη γεωμετρία είναι ανάλογη με την περιγραφή των σκέψεών μας χωρίς λέξεις. Χρειαζόμαστε λέξεις για να εκφραστούμε. Τι θα έπρεπε να μελετήσουμε για να περιγράψουμε το πρόβλημα μας; Αυτή η ερώτηση παρέμεινε αναπάντητη μέχρι το 1912 που σκέφτηκα ότι η θεωρία επιφανειών του Karl Friedrich Gauss θα μπορούσε να ήταν το κλειδί γι' αυτό το μυστήριο. Ανακάλυψα ότι οι συντεταγμένες επιφάνειας του Gauss βοηθούσαν πολύ στην κατανόηση του προβλήματος. Μέχρι τότε δεν ήξερα ότι ο Bernhard Riemann (που ήταν μαθητής του Gauss) είχε μελετήσει βαθιά τις βάσεις της γεωμετρίας. Έτυχε να θυμηθώ τη διάλεξη του Carl Friedrich Geiser με θέμα τη γεωμετρία και τη θεωρία του Gauss, την εποχή των φοιτητικών μου χρόνων στη Ζυρίχη. Βρήκα ότι οι βάσεις της γεωμετρίας είχαν βαθύ φυσικό περιεχόμενο σ' αυτό το πρόβλημα.

Όταν γύρισα στην Ζυρίχη από την Πράγα, ο φίλος μου μαθηματικός Marcel Grossman με περίμενε. Με είχε βοηθήσει και προηγούμενα, παρέχοντάς μου άρθρα από τη μαθηματική βιβλιογραφία όταν ακόμα δούλευα στο γραφείο ευρεσιτεχνιών στην Βέρνη και συναντούσα δυσκολίες στην απόκτηση μαθηματικών άρθρων. Πρώτα, με δίδαξε τη θεωρία του Curbasto Gregorio Ricci και αργότερα τη θεωρία του Riemann. Συζήτησα μαζί του αν το συγκεκριμένο πρόβλημα μπορούσε να λυθεί χρησιμοποιώντας τη θεωρία του Riemann, ή με άλλα λόγια, χρησιμοποιώντας το αναλλοίωτο των γραμμικών στοιχείων. Δημοσιεύσαμε μια εργασία μ' αυτό το θέμα το 1913 αν και δεν καταφέραμε να βρούμε τις σωστές εξισώσεις βαρύτητας. Μελέτησα τις εξισώσεις του Riemann ακόμα πιο αναλυτικά για να κατανοήσω ότι υπήρχαν αρκετοί λόγοι για τους οποίους δεν θα μπορούσαμε να καταλήξουμε στα ποθητά αποτελέσματα μέσα από αυτή τη θεωρία.

Μετά από δυο χρόνια αγώνα βρήκα ότι είχα κάνει κάποια λάθη στους υπολογισμούς μου. Ξαναγύρισα στην αρχική εξίσωση και χρησιμοποιώντας τη θεωρία του αναλλοίωτου προσπάθησα να κατασκευάσω τις σωστές εξισώσεις. Σε δυο εβδομάδες οι σωστές εξισώσεις εμφανίστηκαν μπροστά μου.

Σε σχέση με τη δουλειά μου μετά το 1915, θα ήθελα μόνο να αναφερθώ στο πρόβλημα της Κοσμολογίας. Το πρόβλημα αυτό σχετίζεται με τη γεωμετρία του σύμπαντος και με το χρόνο. Οι ρίζες αυτού του προβλήματος βρίσκονται στις αρχικές συνθήκες που εισάγονται στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και τη μελέτη του προβλήματος της αδράνειας από τον Mach. Αν και ποτέ δεν κατάλαβα ακριβώς την ιδέα του Mach για την αδράνεια, η επίρροιά της στον τρόπο σκέψης μου ήταν τεράστια.

Έλυσα το πρόβλημα της κοσμολογίας εισάγοντας αναλλοίωτες αρχικές συνθήκες στις εξισώσεις βαρύτητας. Τελικά εξαφάνισα το σύνορο δεχόμενος το σύμπαν ως ένα κλειστό σύστημα. Ως αποτέλεσμα, η αδράνεια αναδύεται ως ιδιότητα της αλληλεπιδράσεως ύλης και θα πρέπει να εξαφανίζεται αν δεν υπάρχει άλλη ύλη να αλληλεπιδράσει μαζί της. Πιστεύω

ότι μ' αυτό το αποτέλεσμα η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας μπορεί να κατανοηθεί ικανοποιητικά επιστημολογικά.

Αυτή ήταν μια σύντομη ιστορική αναδρομή της σκέψης μου στη δημιουργία της Θεωρίας της Σχετικότητας».

**Αγγλική μετάφραση από τα ιαπωνικά: Yoshimasa A. Ono**  
**Ελληνική μετάφραση από τα αγγλικά: Βασίλης Καράβολας**

### **Αναφορές**

1. J. Ishiwara, *Einstein Ko-en Roku* (The record of Einstein Addresses), Tokyo-Tosho (1971) p.78. (Αρχικά δημοσιευμένο στο ιαπωνικό περιοδικό *Kaizo* το 1923).
2. T. Ogawa, *Japanese Studies in the History of Science* 18, 73 (1979)
3. R.S. Shankland, *Am. J. Phys.*, 31, 47 (1963), 41, 895 (1973), 43, 464 (1974), G. Holton, *Am. J. Phys.*, 37, 968 (1972), *Isis* 60, 133 (1969), ή επίσης *Thematic Origins of Scientific Thought*, Harvard U. P., Cambridge, Mass (1973), T Hiroshige, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 7, 3 (1976), A. I. Miller, *Albert Einstein's Special Theory of relativity*, Addison-Wesley, Reading, Mass. (1981).