

# Η Αναγέννηση της γενικής σχετικότητας

(και η «ανεξήγητη» απουσία της από την εκπαίδευση των φοιτητών)

του Τάσου Κυπριανίδη

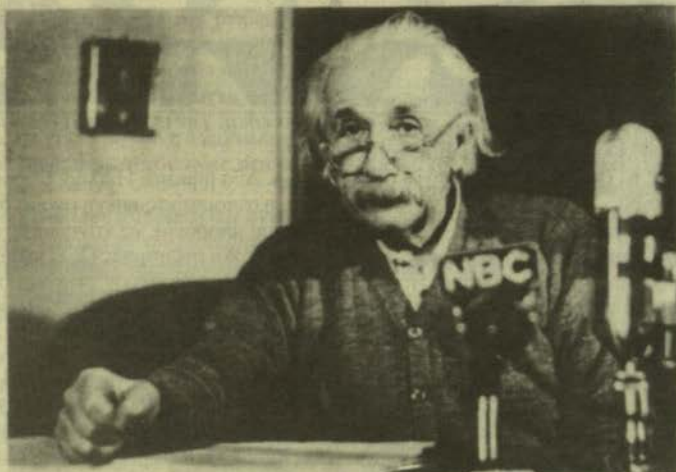
Ποιά χρησιμότητα μπορεί να έχει η γνώση της Γενικής Σχετικότητας, της θεωρίας βαρύτητας του Αϊνστάιν, για ένα φοιτητή των τεχνικών κλάδων; Πρόκειται για ένα ερώτημα που λάμπει δια της απουσίας του από την προβληματική της σύγχρονης ανώτατης εκπαίδευσης. Διότι, προτού καν τεθεί, έχει ήδη παρακαμφθεί δια της μεθόδου της αποσιώπησης. Αν τίθεται λοιπόν στο σύντομο αυτό σημείωμα, δεν είναι

μόνο για να απαντηθεί θετικά με την επιχειρηματολογία που θα προσπαθήσω να εκθέσω, αλλά κυρίως για να ανασυρθεί από την αφάνεια, προκειμένου να αποτελέσει αντικείμενο προβληματισμού. Αν η σύγχρονη επιστήμη κατόρθωσε να αναδυθεί από την προϊστορία της μέσω μιας διαδικασίας διατύπωσης ερωτημάτων εκεί όπου άλλες προσεγγίσεις έβλεπαν λυμένα ζητήματα, μια ανάλογη διεργασία μπορεί να

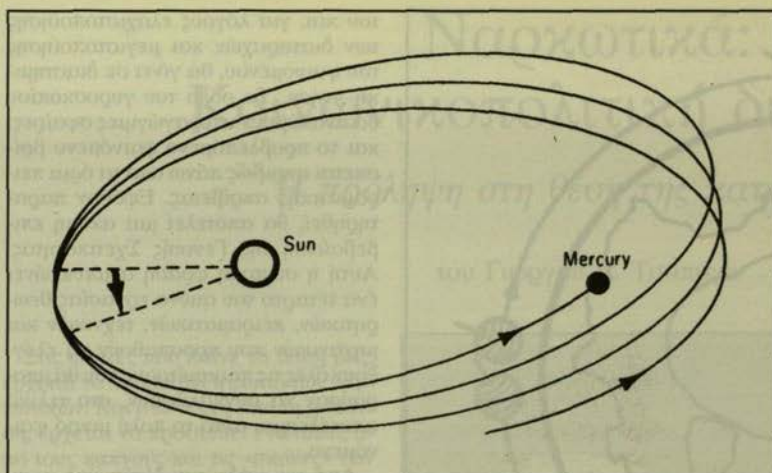
αποδειχθεί χρήσιμη, προκειμένου να προσεγγίσουμε επιστημονικά τη σύγχρονη πανεπιστημιακή εκπαίδευση.

Ένασμα για τον προβληματισμό που ακολουθεί αποτέλεσε το βιβλίο του C. M. Will, *Was Einstein right?* (Είχε δίκιο ο Αϊνστάιν;), στο οποίο εκτίθεται η πορεία αναγέννησης της Γενικής Σχετικότητας μετά το 1960, μέσω της σύνδεσής της με την αστρονομία και την αστροφυσική και της υποβολής της σε σειρά εκλεπτυσμένων πειραμάτων που την επιβεβαίωσαν πανηγυρικά. Το πείραμα αποτελούσε ανέκαθεν λυδία λίθο της επιστημονικής προόδου. Εν προκειμένω, η σύνδεση αυτή λειτούργησε αμφίδρομα: ανέσυρε τη θεωρία από την κατάσταση «επιστημονικού αξιοπερίεργου χωρίς πρακτικό αντίκρουσμα» (μια ακόμη και σήμερα ευρέως διαδεδομένη αντίληψη στην επιστημονική κοινότητα) και τη μετέτρεψε σε πλοηγό επιστημονικής δράσης, ενώ ταυτόχρονα γονιμοποίησε την εφαρμοσμένη επιστήμη με την ώθηση που έδωσε για την επινόηση συγκεκριμένων μεθόδων και διεργασιών ελέγχου της και την ανάπτυξη περίτεχνων πειραματικών συσκευών. Πριν φθάσουμε όμως σε αυτό το σημείο, αξίζει να σταθούμε κατ' αρχάς στις εννοιολογικές ανατροπές που η θεωρία αυτή επιφέρει στο οικοδόμημα της σύγχρονης επιστημονικής σκέψης.

Ο κοινός νους έχει συνηθίσει να τρέφεται από προφάνειες που αφετηρία έχουν την άμεση εμπειρία. Από την άλλη πλευρά, η επιστήμη συχνά ανατρέπει το αυτονόητο: έτσι, τα βαρεία σώματα δεν πέφτουν ταχύτερα από τα ελαφριά, ο χρόνος και ο χώρος δεν είναι απόλυτα μεγέθη, η κίνηση είναι πάντα σχετική. Τμήμα αυτών των πορισμάτων έχει κατασταλάξει και στην εκπαίδευση με άλλοτε μεγαλύτερη, άλλοτε μικρότερη επιτυχία. Η Γενική Σχετικότητα αναδεικνύει μια ακόμη ανατροπή του προφανούς: ο χώρος και ο χρόνος εξαρτώνται ως -στη γενική περίπτωση καμπύλο - χωροχρονικό συνεχές από την ύλη και την κίνηση, ενώ για τις







Μετάπτωση του περιηλίου του Ερμή.

κινήσεις των σωμάτων δεν απαιτείται η εισαγωγή της έννοιας της δύναμης αλλά μόνο η χωροχρονική καμπυλότητα. Η συναγωγή αυτών των επιστημονικών πορισμάτων με γνώμονα την Αρχή της Ισοδυναμίας, αποτελεί διανοητικό επίτευγμα πρώτου μεγέθους, που το εννοιολογικό ειδικό βάρος του υπερβαίνει αξιολογικά κατά πολύ τις συγκεκριμένες προβλέψεις ("μικρές" διορθώσεις του Νευτώνειου προτύπου) της θεωρίας, οι οποίες επαληθεύονται με θαυμαστό τρόπο από το πείραμα. Αν τονίζεται αυτή η εννοιολογική διάσταση της θεωρίας, τούτο γίνεται επειδή πιστεύουμε ότι ο φοιτητής έχει πολλά να κερδίσει από τη μαθητεία στον τρόπο σκέψης που οδήγησε σε τούτη την εννοιολογική επανάσταση, η οποία κατέστησε το οικείο Νευτώνειο πλαίσιο της κλασικής μηχανικής μια πρώτη προσέγγιση στη μελέτη των φυσικών διεργασιών. Ενδέχεται βέβαια, κάποιος να επισημάνουν ότι η διδασκαλία της Γενικής Σχετικότητας υπό το πρίσμα της εννοιολογικής πρωτοτυπίας της, αποτελεί περιττή πολυτέλεια ή τροχοπέδη στην προϊούσα τάση εξειδίκευσης των σπουδών. Όμως, η ιστορία των επιστημών και τεχνολογιών έχει δείξει ότι τέτοιες «πολυτέλειες» συχνά υπήρξαν αφετηρίες για «τις μικρές διαφορές με τις μεγάλες επιπτώσεις». Θυμηθείτε ότι η επένδυση σε «ανθρώπινο κεφάλαιο» ουδέποτε χάνεται και πάντα βρίσκει τρόπους να αναδυθεί στην επιφάνεια.

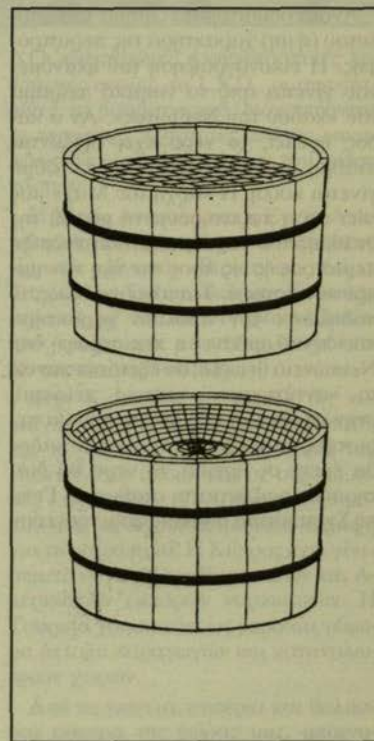
Πέρα όμως από το εννοιολογικό και μεθοδολογικό οπλοστάσιο της Γενικής Σχετικότητας που η γνώση του ανοίγει νέους ορίζοντες και για τον φοιτητή των εφαρμοσμένων επιστημών, υπάρχει και η καθαυτό θεωρία, η οποία

αντιμετωπίζεται αρνητικά με κύριο επιχείρημα τη δυσκολία και το περιορισμένο των εφαρμογών της. Το πρώτο ζήτημα σχετίζεται και με τη διδακτική του αντικείμενου: εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι τα σύγχρονα βιβλία μεριμνούν ώστε να μην περιορίζεται η μετάδοση της θεωρίας σε μια αμείωτη μαθηματική ανάπτυξη, αλλά να διανθίζεται και από εφαρμογές από το χώρο της πειραματικής βαρύτητας. Έτσι, καταρρίπτεται ταυτόχρονα και το δεύτερο σκέλος της ένστασης που προαναφέραμε (η απουσία εφαρμογών), όταν διαπιστώσει κανείς ότι πέρα από το χώρο της βασικής έρευνας, των ενοποιημένων θεωριών και της χβαντικής βαρύτητας, όπου η γενική σχετικότητα βρίσκεται στο κέντρο του προβληματισμού- τα τελευταία τριάντα χρόνια εκτυλίσσεται μια συναρπαστική αλληλεπίδραση θεωρίας και πειράματος, με άξονα αυτή τη θαυμαστή επινόηση του Αϊνστάιν.

Στο σημείο αυτό αναδεικνύεται η σημασία ενός βιβλίου, όπως αυτό που προαναφέραμε, το οποίο εκθέτει με θαυμαστό τρόπο την παλινδρόμηση από τη θεωρία στο πείραμα, η οποία έφερε τη Γενική Σχετικότητα στο προσκήνιο. Συγκεκριμένα, είναι οφέλιμο για το φοιτητή να γνωρίσει πώς η προσπάθεια επαλήθευσης της θεωρίας στην πρόβλεψη για εκτροπή του φωτός από το βαρυτικό πεδίο, ή για μετάπτωση του περιηλίου του Ερμή, ή για τη χρονική υστέρηση του φωτός στον καμπύλο χωρόχρονο, ή ακόμη για την ύπαρξη βαρυτικών κυμάτων, έδωσε τρομακτική ώθηση στην τεχνολογία, προκειμένου να ανταποκριθεί στις προκλήσεις μετρήσεων εκπληκτικής ακρίβειας που έφθαναν μέχρι το ένα μέρος

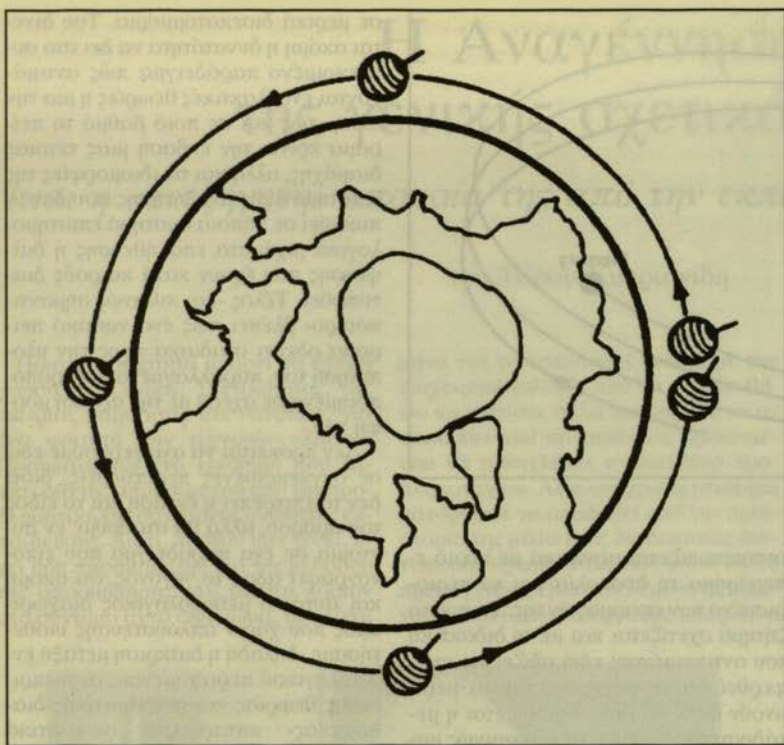
σε μερικά δεσκατομμύρια. Του δίνεται ακόμη η δυνατότητα να δει στο συγκεκριμένο παράδειγμα πώς αντιμάχονται εναλλακτικές θεωρίες ή μια την άλλη, πώς και σε ποιο βαθμό το πείραμα κρίνει την έκβαση μιας τέτοιας διαμάχης, αλλά και τις ιδιομορφίες της επιστημονικής αναζήτησης που δεν υπακούει σε κάποια αυστηρά επιστημολογικά σχήματα επαλήθευσης ή διάψευσης που έχουν κατά καιρούς διατυπωθεί. Τέλος -και πιθανώς σημαντικότερο- βλέπει πώς ένα νοητικό πείραμα οδεύει σταδιακά προς την υλοποίησή του, παραλλαγμένο και τροποποιημένο σε σχέση με την αρχική μορφή του.

Δεν πρόκειται να αναφερθούμε εδώ σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, διότι δεν το επιτρέπει η έκταση και το είδος του άρθρου, αλλά θα σταθούμε εν συντομία σε ένα παράδειγμα που εικονογραφεί αδρά το γεγονός, ότι ακόμη και αυτός ο μεθοδολογικός διαχωρισμός που χάριν απλούστευσης υιοθετήσαμε -δηλαδή η διάκριση μεταξύ εννοιολογικού περιεχομένου, συγκεκριμένης θεωρίας και πειραματικής διαδικασίας- καταργείται ουσιαστικά στην πράξη.



Ο κάδος του Νεύτωνα. Άνω: σε ηρεμία. Κάτω: ο κάδος περιστρέφεται και η επιφάνεια του νερού γίνεται κοίλη.





Γεωδετική μετάπτωση γυροσκοπίου σε τροχιά γύρω από τη γη.

Αναφερόμαστε στο ζήτημα του απόλυτου (ή μη) χαρακτήρα της περιστροφής. Η εικονογράφηση του φαινομένου γίνεται από το νοητικό πείραμα του «κάδου του Νεύτωνα». Αν ο κάδος ηρεμεί, το νερό έχει οριζόντια στάθμη, όταν περιστρέφεται, η στάθμη γίνεται κοίλη. Η «αρχή του Μαχ» μας λέει ότι η παρατηρούμενη μορφή της στάθμης του νερού, αποτελεί ένδειξη περιστροφής ως προς την ύλη των μακρινών άστρων. Ταυτόχρονα όμως, υποδηλώνει τον απόλυτο χαρακτήρα που προσλαμβάνει η περιστροφή στη Νευτώνεια θεωρία, αν εξετάσει κανείς το «αντίστροφο» νοητικό πείραμα: στην υποθετική περίπτωση που θα περιστρεφόταν το σύμπαν και ο κάδος θα έμενε σε ηρεμία, το νερό θα διατηρούσε οριζόντια τη στάθμη. Η Γενική Σχετικότητα δίνει διαφορετική λύση

στο πρόβλημα: η περιστροφή ενός σώματος «συμπαράσχει» το χωρόχρονο γύρω του, οπότε ένα περιστρεφόμενο σύμπαν με τον κάδο στο κέντρο του, θα έδινε κοίλη μορφολογία στην επιφάνεια του νερού. Μπορεί άραγε να απεγκλωβιστεί η πρόβλεψη αυτή από τον κλοιό του νοητικού πειράματος; Η απάντηση είναι καταφατική. Οχι βέβαια με την περιστροφή του σύμπαντος, αλλά με ένα πείραμα που σχεδιάζεται εδώ και ένα τέταρτο του αιώνα: η επίδραση συμπαρασμού του χωρόχρονου από την περιστροφή της γης περί τον άξονά της, θα γίνει αισθητή (εφόσον ευσταθεί) σε ένα γυροσκόπιο που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τη γη, διότι θα προκαλέσει μετάπτωση του άξονά του. Το εξαιρετικά ευαίσθητο πείραμα του γυροσκοπίου βρίσκεται στο τελικό στάδιο εκτέλεσής

του και, για λόγους ελαχιστοποίησης των διαταραχών και μεγιστοποίησης του φαινομένου, θα γίνει σε διαστημική πτήση. Το ρόλο του γυροσκοπίου θα αναλάβουν υπεραγωγίμες σφαίρες, και το προβλεπόμενο φαινόμενο βρίσκεται ακριβώς πάνω από τα όρια πειραματικής ακρίβειας. Εφόσον παρατηρηθεί, θα αποτελεί μια ακόμη επιβεβαίωση της Γενικής Σχετικότητας. Αυτή η σύντομη φράση συμπυκνώνει ένα τέταρτο του αιώνα εργασίας θεωρητικών, πειραματικών, τεχνικών και μηχανικών που προσπαθούν να ελέγξουν όλες τις παραμέτρους που θα μπορούσαν να συγκαλύψουν, στο τελικό αποτέλεσμα, αυτό το πολύ μικρό φαινόμενο.

Από τον κάδο του Νεύτωνα σε υπερόνυχρονα γυροσκόπια υπεραγωγίμων σφαιρών εν πτήσει... Ίδου η πορεία της σκέψης από το νοητικό συγκεκριμένο στο πραγματικό συγκεκριμένο, στην πράξη, ως ατέρμονη διανοητική περιπέτεια αναζήτησης.

Θα κλείσουμε αυτό το σημείωμα περρίπου όπως το αρχίσαμε, με μια σειρά ερωτημάτων: Όλη αυτή η προβληματική που απορρέει από τη Γενική Σχετικότητα, πρέπει άραγε να μένει εγκλωβισμένη στις εξειδικευμένες σπουδές των φοιτητών της φυσικής; Δεν αποτελεί άραγε αναγκαίο οπλοστάσιο για ένα φοιτητή, και δη των τεχνικών, τεχνολογικών σπουδών; Και πριν από αυτά τα ερωτήματα, προβάλλει ενδεχομένως ένα άλλο, ακόμη πιο ουσιαστικό: Όταν το περιεχόμενο μιας θεωρίας που έχει επαναστατικοποιήσει την αντίληψή μας για τον κόσμο και τη φύση προσφέρεται για προβληματισμό, είναι άραγε εκπαιδευτικά οφέλιμο να αποσιωπάται επειδή φαινομενικά δε συμβαδίζει με τις τρέχουσες ανάγκες ενός εκπαιδευτικού (και κοινωνικού) καταμερισμού εργασίας; Το ερώτημα πλανάται. Περισσότερο και από μια συγκεκριμένη απάντηση, ζητά το γόνιμο προβληματισμό μας.

## Βιβλιογραφία

Clifford M. Will, *Was Einstein right?*, Oxford University Press, 1986