

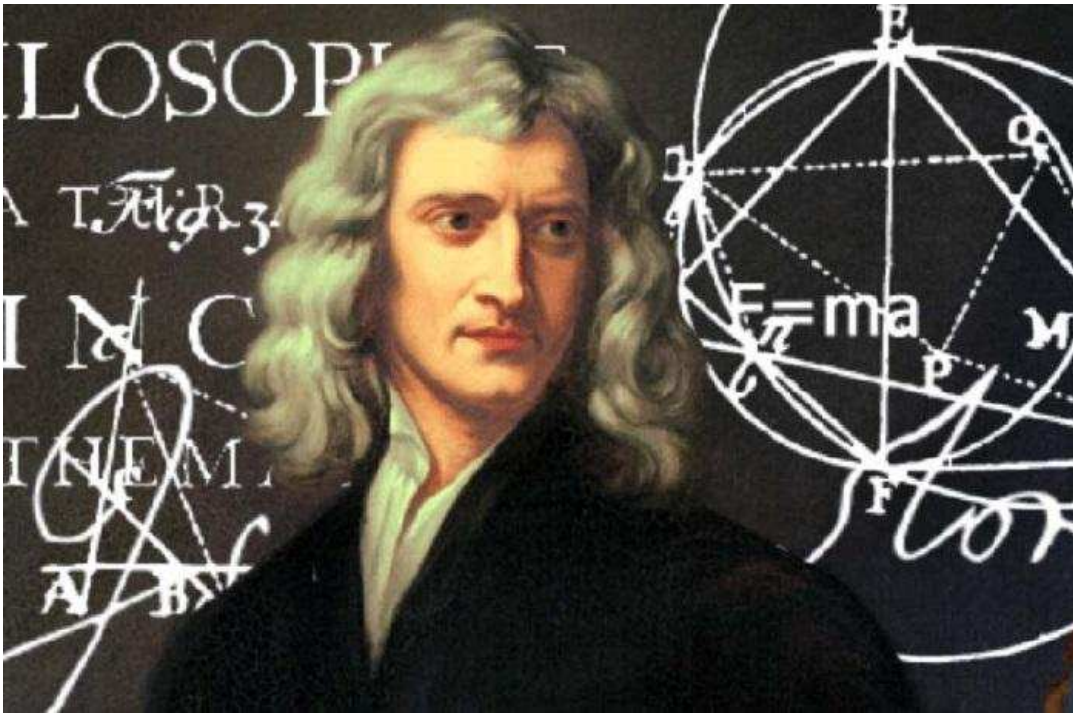
Κ. Ι. ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΥ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ

ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΕΙΜΕΝΩΝ

Έχουμε τελειώσει οριστικά με τον Νεύτωνα;

Από **Κώστας Παπαχρήστου** - 18 Ιουνίου 2018



Στο εισαγωγικό μάθημα της κλασικής Μηχανικής, οι πρωτοετείς μου καταφέρνουν συχνά να με εντυπωσιάσουν. Έχοντας πρόσφατη την εμπειρία των Πανελληνίων εξετάσεων και ζωντανές ακόμα στο μυαλό τους τις γνώσεις που αποκόμισαν από το φροντιστήριο, μπορούν να λύσουν τις πιο στρυφνές και απαιτητικές ασκήσεις με τόση ευκολία που, ομολογώ, κι εμένα με τρομάζει!

Από την άλλη, εισπράττω ενδιαφέρουσες απαντήσεις σε ερωτήματα εννοιολογικής φύσης. Για παράδειγμα, όταν ζητώ την διατύπωση του Νόμου της Αδράνειας με βάση τα όσα γνωρίζουν από το σχολείο, μερικοί μου απαντούν αόριστα ότι αφορά την αντίσταση των υλικών σωμάτων σε κάθε προσπάθεια μεταβολής της κινητικής τους κατάστασης. Όταν αντιλέγω ότι αυτό ορίζει τι είναι αδράνεια – ως γενική έννοια – αλλά δεν διατυπώνει τον νόμο που την αφορά, γίνονται πιο συγκεκριμένοι: «Κάθε σώμα έχει την τάση να διατηρεί την κινητική του κατάσταση αν πάνω του δεν ασκείται ολική δύναμη διάφορη του μηδενός.»

Ωραία, θα πείτε, μην τα βασανίζεις άλλο τα παιδιά, καλά σου τα είπαν τώρα! Όμως ο υποχόνδριος και ξενέρωτος δάσκαλος επιμένει: Κινητική κατάσταση ως προς τι; Και, σε σχέση με ποιους παρατηρητές; Όλους, γενικά, ή κάποιους με πολύ συγκεκριμένες ιδιότητες;

Είναι τότε η ώρα να μιλήσουμε για τον λεγόμενο αδρανειακό παρατηρητή. Κάποιον, δηλαδή, ως προς τον οποίο ένα ελεύθερο σώμα (ένα σώμα που δεν του ασκούνται δυνάμεις) είτε κινείται με σταθερή ταχύτητα (ευθύγραμμο και ομαλό) είτε δεν κινείται

καθόλου. Αυτός και μόνο αυτός έχει το δικαίωμα να χρησιμοποιεί στο δικό του σύστημα συντεταγμένων (αδρανειακό σύστημα αναφοράς) τους **νόμους του Νεύτωνα** (Isaac Newton, 1643–1727) και, ειδικά, τον Πρώτο Νόμο, αυτόν της Αδράνειας.

Βέβαια, δεν μπορεί κάποιος να απαιτήσει από παιδιά που μόλις τέλειωσαν το Λύκειο να έχουν απόλυτα ξεκαθαρίσει μέσα τους λεπτές έννοιες της Μηχανικής που έχουν φέρει σε δύσκολη θέση γενιές Φυσικών! Έννοιες που συνεχίζουν να προβληματίζουν τον σκεπτόμενο φοιτητή των θετικών επιστημών στα πιο μεγάλα πανεπιστήμια του κόσμου...

Γράμμα από έναν Αμερικανό φοιτητή

Πριν κάπου τρία χρόνια έλαβα ένα email από έναν ιδιαίτερα ευφυή και φιλομαθή φοιτητή θετικών επιστημών σε Πανεπιστήμιο του Τέξας. Έχοντας διαβάσει κάποιο δημοσιευμένο παιδαγωγικό άρθρο μου πάνω στη Νευτώνεια Μηχανική [1,2] απευθύνθηκε σε εμένα με ένα σχεδόν εναγώνιο ερώτημα: Είναι οι τρεις νόμοι του Νεύτωνα αληθινά ανεξάρτητοι μεταξύ τους, ή μήπως ο πρώτος νόμος δεν είναι παρά ειδική περίπτωση του δεύτερου;

Σε κάποιους Φυσικούς, ιδιαίτερα αυτούς που διδάσκουν κλασική Μηχανική, το ερώτημα ίσως φαίνεται στοιχειώδες. Σπεύδω, εν τούτοις, να σημειώσω ότι το ζήτημα της ανεξαρτησίας των Νευτώνειων νόμων έχει προκαλέσει μεγάλη σύγχυση από την εποχή ακόμα του Νεύτωνα. Μάλιστα, έτυχε πρόσφατα να διαβάσω εκπαιδευτικό άρθρο σε κάποιο πανεπιστημιακό site του εξωτερικού, το οποίο άρθρο μεταξύ άλλων ανέφερε ότι ο νόμος της αδράνειας (ο πρώτος νόμος) είναι άμεση συνεπαγωγή του δεύτερου νόμου. Ο καλός φοιτητής, λοιπόν, απλά έπεσε θύμα της παραπάνω σύγχυσης που, ως φαίνεται, καλά κρατεί!

Του απάντησα αμέσως εξηγώντας του ότι, χωρίς τον πρώτο νόμο, ο δεύτερος θα έχανε τη σημασία του. Ή μάλλον, θα ήταν εντελώς λανθασμένος στη διατύπωσή του, αφού θα έδινε την εντύπωση μιας γενικής αρχής που ισχύει ανεξάρτητα από την κινητική κατάσταση του παρατηρητή, πράγμα που ασφαλώς δεν ισχύει. Με άλλα λόγια, ο νόμος της αδράνειας ορίζει το «τερέν» μέσα στο οποίο διατυπώνεται και ισχύει ο δεύτερος νόμος. Όπως έγραψα στον φοιτητή, το να εφαρμόζουμε τον δεύτερο νόμο χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη τον πρώτο είναι σαν να επιχειρούμε να παίξουμε ποδόσφαιρο χωρίς να διαθέτουμε γήπεδο ποδοσφαίρου!

Ο νόμος της αδράνειας, λοιπόν, δεν είναι απόρροια αλλά, κατά κάποιον τρόπο, προϋπόθεση ισχύος του δεύτερου νόμου. Τα ερωτήματα όμως δεν σταματούν εδώ: Ακόμα κι αν δεχθούμε την ανεξαρτησία των νόμων του Νεύτωνα μεταξύ τους, είναι το σύστημα των τριών αυτών νόμων επαρκές ως βάση για την ανάπτυξη της κλασικής θεωρίας;

Πριν προχωρήσουμε, ας δούμε τους νόμους συνοπτικά...

Οι Νόμοι του Νεύτωνα, όπως τους ξέρουμε

Ο Πρώτος Νόμος (νόμος της αδράνειας) εγγυάται την ύπαρξη αδρανειακών συστημάτων αναφοράς. Ως τέτοιο σύστημα εννοούμε ένα σύστημα συντεταγμένων ως προς το οποίο ένα ελεύθερο σωματίο (σωμάτιο που δεν του ασκούνται δυνάμεις) κινείται με σταθερή ταχύτητα (ή, ισοδύναμα, χωρίς επιτάχυνση).

Ο Δεύτερος Νόμος ορίζει ότι, ως προς ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς, η επιτάχυνση ενός σωματιδίου είναι ανάλογη της ολικής δύναμης που ασκείται πάνω του.

Σύμφωνα με τον Τρίτο Νόμο ή νόμο δράσης-αντίδρασης, όταν δύο σωματίδια αλληλεπιδρούν, οι δυνάμεις που ασκεί το ένα στο άλλο είναι ίσου μέτρου και αντίθετης κατεύθυνσης.

Όμως, ποια είναι η «ολική δύναμη» πάνω σε ένα σωματίο, στην οποία αναφέρεται ο δεύτερος νόμος; Αυτό δεν μας το λένε οι νόμοι του Νεύτωνα! Την απάντηση έδωσε ο Ελβετός φυσικομαθηματικός **Ντάνιελ Μπερνούλι** (Daniel Bernoulli, 1700–1782) μετά τον θάνατο του Νεύτωνα, διατυπώνοντας την αρχή της επαλληλίας. Σύμφωνα με αυτήν, αν ένα σώμα υπόκειται σε διάφορες αλληλεπιδράσεις, η ολική δύναμη πάνω του είναι το (διανυσματικό) άθροισμα των δυνάμεων από κάθε αλληλεπίδραση χωριστά.

Μια εναλλακτική αξιωματική θεώρηση

Με βάση όσα είπαμε παραπάνω, η κλασική Νευτώνεια Μηχανική βασίζεται σε τέσσερις θεμελιώδεις αρχές: τους τρεις νόμους του Νεύτωνα και την αρχή της επαλληλίας. Σχετικά πρόσφατα, όμως [1,2] τέθηκε και πάλι ένα αναθεωρητικό ερώτημα: Μήπως, τελικά, τέσσερις νόμοι είναι «πάρα πολλοί»; Αυτό οδήγησε στο, ας το πούμε, ανακάτεμα και ξαναμοίρασμα της τράπουλας, με ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα: Με κατάλληλη διατύπωση, οι νόμοι της Μηχανικής μπορούν να συμπυκνωθούν στη μορφή δύο μόνο ανεξάρτητων αξιωμάτων. Προσοχή: Δεν πετούμε τους δύο από τους τέσσερις αρχικούς νόμους και κρατούμε τους άλλους δύο, αλλά αναδιατυπώνουμε την αξιωματική βάση της Μηχανικής με τρόπο ώστε οι ανεξάρτητες αρχές να είναι δύο αντί τέσσερις. Φυσικά, από τα δύο θεμελιώδη αξιώματα προκύπτουν, μεταξύ άλλων, ως ειδικά συμπεράσματα οι γνωστοί νόμοι της Νευτώνειας Μηχανικής.

Το πρώτο αξίωμα (θα το ονομάσουμε A1), το οποίο στη Νευτώνεια Μηχανική προκύπτει από τους βασικούς νόμους ως παράγωγο θεώρημα, λαμβάνεται εδώ ως θεμελιώδης αρχή. Εκφράζει την αρχή διατήρησης της ορμής για ένα απομονωμένο σύστημα σωματιδίων και,

έμμεσα, αξιώνει την ύπαρξη αδρανειακών συστημάτων αναφοράς. Στην ειδική περίπτωση απομονωμένου «συστήματος» που περιέχει ένα μόνο σωματίδιο, το αξίωμα A1 ανάγεται στον νόμο της αδράνειας (πρώτο νόμο του Νεύτωνα).

Το δεύτερο αξίωμα (A2) το γνωρίσαμε ήδη: είναι η αρχή της επαλληλίας, διατυπωμένη όμως λίγο διαφορετικά: Η μεταβολή της ορμής που προκαλεί σε ένα σωματίδιο ένα σύνολο αλληλεπιδράσεων, είναι ίση με το (διανυσματικό) άθροισμα των μεταβολών που θα προκαλούσε κάθε αλληλεπίδραση χωριστά.

Αν προσέξατε, μέχρι στιγμής πουθενά δεν εμφανίζεται η έννοια της δύναμης, η οποία αποτελεί την πεμπτούσια του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα! Αυτό συμβαίνει διότι η δύναμη ορίζεται εδώ απλά ως ο ρυθμός μεταβολής της ορμής ως προς ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Με τον ορισμό αυτό, το αξίωμα A2 οδηγεί στην κλασική διατύπωση της αρχής της επαλληλίας που, όπως είπαμε νωρίτερα, οφείλεται στον Μπερνούλι.

Χρησιμοποιώντας τώρα τα αξιώματα A1 και A2, καθώς και τον ορισμό της δύναμης, μπορούμε να αποδείξουμε ως θεώρημα κάτι που στη Νευτώνεια Μηχανική αποτελεί αξίωμα: τον νόμο δράσης-αντίδρασης (τρίτο νόμο του Νεύτωνα). Άλλα σημαντικά θεωρήματα που μπορεί να αποδειχθούν είναι η αρχή διατήρησης της στροφορμής, το θεώρημα μεταβολής της κινητικής ενέργειας, η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας, κλπ.

Προβλήματα που παραμένουν...

Η οικονομικότερη αναδιατύπωση της αξιωματικής βάσης της Νευτώνειας Μηχανικής δεν απαλλάσσει, βέβαια, την κλασική θεωρία από τα εγγενή προβλήματά της. Πρώτα και κύρια, η θεωρία αυτή παύει να ισχύει σε έναν κόσμο πολύ υψηλών ταχυτήτων ή πολύ μικροσκοπικών διαστάσεων, δίνοντας τη θέση της στη Θεωρία της Σχετικότητας και την Κβαντική Θεωρία, αντίστοιχα. Υπάρχουν όμως προβλήματα ακόμα και στις συμβατικές περιοχές εφαρμογής της κλασικής θεωρίας. Ας δούμε τα κατά τη γνώμη μου πιο σημαντικά:

1. Το πρόβλημα των «αδρανειακών» συστημάτων αναφοράς

Απόλυτα αδρανειακά συστήματα αναφοράς δεν είναι δυνατό να υπάρχουν. Πράγματι, για να διαπιστώσουμε αν ένα σύστημα αναφοράς είναι αδρανειακό θα πρέπει να εξετάσουμε αν, ως προς αυτό, ένα οποιοδήποτε ελεύθερο σωματίο κινείται με σταθερή ταχύτητα (δηλαδή, χωρίς επιτάχυνση). Όμως, η έννοια του ελεύθερου σωματίου είναι καθαρά θεωρητική και κανένα σωματίο στον κόσμο δεν μπορεί στην πραγματικότητα να θεωρείται ελεύθερο, για τους εξής λόγους: (α) Κάθε υλικό σωματίο υπόκειται στη δύναμη της βαρύτητας που του ασκεί ο υπόλοιπος υλικός κόσμος, όσο μακριά κι αν βρίσκεται το σωματίο από αυτόν. (β)

Για να διαπιστώσουμε αν ένα σώματιο κινείται με σταθερή ταχύτητα, θα πρέπει κάπως να αλληλεπιδράσουμε μαζί του (π.χ., να το φωτίσουμε ρίχνοντας πάνω του έναν ικανό αριθμό φωτονίων). Έτσι, στη διάρκεια της αλληλεπίδρασης το σώματιο δεν μπορεί πλέον να θεωρείται ελεύθερο.

2. Το πρόβλημα του ταυτόχρονου

Στον τρίτο νόμο του Νεύτωνα (ο οποίος, όπως προαναφέραμε, προκύπτει ως θεώρημα στη δική μας προσέγγιση) η αντίδραση θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με τη δράση. Αυτό σημαίνει ότι δύο σωματίδια αλληλεπιδρούν στιγμιαία μεταξύ τους, όσο μακριά κι αν βρίσκεται το ένα από το άλλο, πράγμα που προϋποθέτει άπειρη ταχύτητα διάδοσης της αλληλεπίδρασης. Όπως γνωρίζουμε, όμως, καμία αλληλεπίδραση δεν διαδίδεται ταχύτερα από το ίδιο το φως!

Ένα επιπρόσθετο ζήτημα που είναι αναγκαίο να διευκρινίσουμε είναι το εξής: Σύμφωνα με την προσέγγισή μας, ένας «παρατηρητής» είναι, κατά κάποιον τρόπο, ένα ευφυές ελεύθερο σώματιο που έχει την ικανότητα να πραγματοποιεί μετρήσεις φυσικών μεγεθών όπως η ταχύτητα και η επιτάχυνση. Ο παρατηρητής αυτός μπορεί να χρησιμοποιήσει για τις μετρήσεις του οποιοδήποτε βολικό (κατά προτίμηση ορθογώνιο) σύστημα αξόνων (x,y,z) . Κατά συνθήκη, ο παρατηρητής βρίσκεται σταθερά τοποθετημένος στην αρχή O των συντεταγμένων αυτού του συστήματος αναφοράς, μπορεί όμως να προσανατολίσει τους άξονες του συστήματός του κατά βούληση. Τώρα, όπως προκύπτει ως πόρισμα από το αξίωμα $A1$, δύο αδρανειακοί παρατηρητές δεν επιταχύνονται ο ένας ως προς τον άλλο. Έτσι, η σχετική ταχύτητα ανάμεσα στις αρχές O και O' των αξόνων τους είναι χρονικά σταθερή (σαν ειδική περίπτωση, τα σημεία O και O' μπορεί ακόμα και να ταυτίζονται). Όμως, τι γίνεται αν οι άξονες του ενός συστήματος περιστρέφονται ως προς τους άξονες του άλλου; Πώς θα γνωρίζουμε αν πράγματι κάποιος από τους δύο παρατηρητές είναι αδρανειακός; Η απάντηση είναι ότι, ως προς το σύστημα αξόνων ενός αδρανειακού συστήματος αναφοράς, ένα ελεύθερο σώματιο δεν επιταχύνεται. Ειδικά, ως προς ένα περιστρεφόμενο σύστημα αξόνων, ένα ελεύθερο σώματιο θα εμφανίζεται να έχει τουλάχιστον κεντρομόλο επιτάχυνση (η επιτάχυνση αυτή σχετίζεται με την αλλαγή διεύθυνσης στην κίνηση του σωματίου). Ένα τέτοιο σύστημα αναφοράς, επομένως, δεν μπορεί να είναι αδρανειακό.

Σημειώνουμε, τέλος, ότι ένα στερεό σώμα, όπως και ένα συνεχές μέσο (π.χ., ένα ρευστό), μπορούν να αντιμετωπιστούν σαν υλικά συστήματα αποτελούμενα από ένα τεράστιο πλήθος στοιχειωδών σωματιδίων. Έτσι, δεν απαιτούνται επιπρόσθετα αξιώματα για τη μελέτη τέτοιων σύνθετων συστημάτων.

Επίλογος

Αποτελούν τα όσα αναφέραμε την τελευταία λέξη πάνω στη Νευτώνεια Μηχανική; Και βέβαια όχι! Η φοβερή αυτή θεωρία παραμένει «ζωντανή» και επιδεκτική σε πιθανές νέες αναθεωρήσεις σε ό,τι αφορά την αξιωματική της θεμελίωση. Και, έστω κι αν η Σχετικότητα και η Κβαντομηχανική περιόρισαν το πεδίο εφαρμογής της, ας μην ξεχνούμε ότι η κλασική Μηχανική εξακολουθεί να κυβερνά την ίδια μας την καθημερινότητα. Εκεί που το πολύ γρήγορο και το πολύ μικρό αφορούν, στην καλύτερη περίπτωση, τα αυτοκίνητά μας και τα... ολοένα συρρικνούμενα εισοδήματά μας, αντίστοιχα. Ο Νεύτωνα στ' αλήθεια ήρθε εδώ για να μείνει!

Αναφορές

C. J. Papachristou, Foundations of Newtonian Dynamics: An axiomatic approach for the thinking student

[1] Πρωτότυπη δημοσίευση:

Nausivios Chora, Vol. 4 (2012) 153-160

<http://nausivios.snd.edu.gr/docs/partC2012.pdf>

[2] Σε αναθεωρημένη και εμπλουτισμένη μορφή:

<https://arxiv.org/abs/1205.2326>

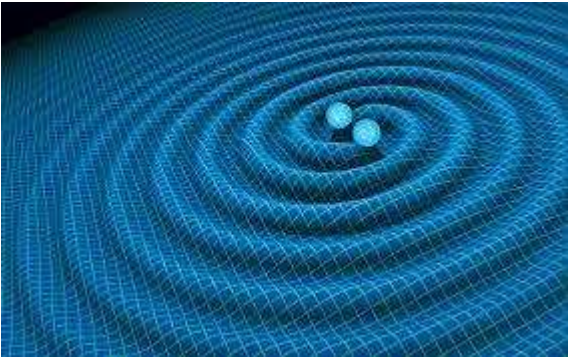
Πηγή: costaspap.blogspot.com

Κώστας Παπαχρήστου

Γεννήθηκε στην Αθήνα και επιμένει να ζει εκεί! Σπούδασε Φυσική στην Αθήνα και στις ΗΠΑ. Τώρα τη διδάσκει σε μεγάλα «παιδιά» (αυτά που επιτρέπεται να βλέπουν ταινίες με την ένδειξη «XX»). Του αρέσει η μουσική, η ποίηση και ο καλός κινηματογράφος. Είναι σπαδός της ΑΕΚ. [Διαβάστε περισσότερες πληροφορίες για τον Κώστα Παπαχρήστου](#)

Ο Maxwell, ο Einstein και τα κύματα

Από **Κώστας Παπαχρήστου** - 23 Φεβρουαρίου 2016



1. Εισαγωγή

Αν αναζητούσαμε τις κορυφαίες μορφές της Θεωρητικής Φυσικής κατά τον δέκατο-ένατο και τον εικοστό αιώνα, θα καταλήγαμε χωρίς δυσκολία στον **James Clerk Maxwell** (1831-1879) και τον **Albert Einstein** (1879-1955), αντίστοιχα. Μεταξύ των πολλών επιτευγμάτων τους, ο πρώτος ενοποίησε τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό σε μία ενιαία ηλεκτρομαγνητική θεωρία και πρόβλεψε την ύπαρξη των **ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων** (χωρίς τα οποία η ίδια η ζωή αλλά και οι επικοινωνίες μας θα ήταν αδύνατες), ενώ ο δεύτερος άλλαξε για πάντα την αντίληψή μας για το χώρο και το χρόνο και διατύπωσε τη μοντέρνα θεωρία της βαρύτητας, στο πλαίσιο της οποίας προέβλεψε τα **κύματα βαρύτητας**.

Ο Maxwell έφυγε από τη ζωή αρκετά νέος και δεν ευτύχησε να δει, λίγα χρόνια αργότερα, την πειραματική επαλήθευση της θεωρίας του για την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Όσο για τον Einstein, κατά μία έννοια στάθηκε πιο «*τυχερός*» αφού θα ήταν ούτως ή άλλως βιολογικά αδύνατο να βρίσκεται παρών, εν έτει 2016, στην επίσημη αναγγελία της πλήρους επιβεβαίωσης της Γενικής Σχετικότητας σε ό,τι αφορά τα κύματα βαρύτητας!

Στο άρθρο που ακολουθεί θα προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε τι είναι τα μυστηριώδη κύματα που πρώτοι πρόβλεψαν οι δύο αυτοί γίγαντες της Φυσικής Επιστήμης των περασμένων δύο αιώνων. Για βαθύτερη και πιο εξειδικευμένη προσέγγιση στο θέμα, ο αναγνώστης παραπέμπεται στις πηγές που παρατίθενται στο τέλος.

2. Ο Maxwell και η πρώτη θεωρία ενοποίησης αλληλεπιδράσεων

Έχουμε συνηθίσει να ακούμε για τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό σαν δύο ξεχωριστά φυσικά φαινόμενα. Κάθε ηλεκτρικό φορτίο (ανεξάρτητα από την κίνησή του) δέχεται μια δύναμη όταν βρίσκεται μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, ενώ σε κάθε κινούμενο φορτίο ασκείται δύναμη μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο.

Πράγματι, αν ζούσαμε σε έναν εξωπραγματικό κόσμο όπου όλα τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία έμεναν αμετάβλητα μέσα στο χρόνο, δεν θα είχαμε επίγνωση ότι τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά φαινόμενα είναι αλληλένδετα και αμοιβαία εξαρτημένα. Οι περίφημες τέσσερις **εξισώσεις του Maxwell** [1,2] θα έσπαζαν σε δύο ανεξάρτητα ζευγάρια, ένα για κάθε πεδίο (ηλεκτρικό και μαγνητικό).

Το 1831, όμως, σε μια σειρά πειραμάτων του [2], ο **Michael Faraday** ανακάλυψε κάτι ενδιαφέρον: κάθε φορά που ένα μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται χρονικά, ένα ηλεκτρικό πεδίο κάνει απαραίτητα την εμφάνισή του! Αν και δεν υπήρχαν τότε ανάλογες πειραματικές ενδείξεις, ο Maxwell πρόβλεψε πως και το αντίστροφο ήταν αληθές. Δηλαδή, ένα μαγνητικό πεδίο εμφανίζεται κάθε φορά που ένα ηλεκτρικό πεδίο αλλάζει χρονικά. Έτσι, δεν θα έπρεπε στο εξής να ξεχωρίζουμε απόλυτα τα ηλεκτρικά από τα μαγνητικά φαινόμενα, αφού το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο μοιάζουν να είναι σε στενή εξάρτηση μεταξύ τους.

Από ιστορική άποψη, έχουμε εδώ την πρώτη θεωρία ενοποίησης φαινομενικά διαφορετικών δυνάμεων (αλληλεπιδράσεων) – των ηλεκτρικών και των μαγνητικών – σε μία ενιαία **ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση**. Ο εικοστός αιώνας θα διεύρυνε το «κάδρο» της ενοποίησης βάζοντας στο παιχνίδι την ασθενή και την ισχυρή αλληλεπίδραση, και κάνοντας μια ηρωική προσπάθεια να εντάξει στο σχήμα και τη δύστροπη βαρύτητα...

3. Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Με τη μαθηματική ιδιοφυΐα που τον διέκρινε, ο Maxwell κωδικοποίησε τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα με τέσσερις περίπλοκες εξισώσεις που περιγράφουν τη συμπεριφορά του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στο χώρο και το χρόνο [1,2]. Από τις εξισώσεις αυτές προκύπτει το ενδιαφέρον συμπέρασμα ότι το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο έχει κυματικές ιδιότητες [1]. Δηλαδή, μια μεταβολή (διαταραχή) του πεδίου σε κάποιο σημείο του χώρου δεν γίνεται ακαριαία αισθητή σε άλλα σημεία αλλά διαδίδεται μέσω ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος που ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός. Ειδικά, το ίδιο το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα που έχει την ιδιότητα να γίνεται αντιληπτό από εμάς διότι ερεθίζει το αισθητήριο της όρασής μας.

Δεν χρειάζεται, νομίζω, να τονίσω τη σημασία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για τη ζωή μας! Μέσω αυτών λαμβάνουμε φως και ζέστη από τον Ήλιο (αλλά, δυστυχώς, και άλλες ακτινοβολίες που είναι βλαπτικές για εμάς), απολαμβάνουμε στερεοφωνική μουσική στο ραδιόφωνο, βλέπουμε ποδοσφαιρικούς αγώνες στην τηλεόραση, επικοινωνούμε με τα κινητά μας τηλέφωνα... Όμως, πώς παράγονται αυτά τα κύματα;

Καταρχήν, λίγη ορολογία: Η διάδοση ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καλείται **ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία**. (Στο εξής θα γράφουμε, σύντομα, «*H/M κύματα*» και «*H/M*

ακτινοβολία»). Έτσι, ένα φυσικό σύστημα που εκπέμπει ενέργεια στη μορφή Η/Μ κυμάτων λέμε ότι εκπέμπει Η/Μ ακτινοβολία ή, απλά, ότι **ακτινοβολεί**. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι τα άτομα, τα μόρια, οι πυρήνες, τα θερμά σώματα, οι κεραιές των ραδιοφωνικών σταθμών, κλπ.

Από μια προσεκτική εξέταση των εξισώσεων του Maxwell προκύπτει ότι η Η/Μ ακτινοβολία παράγεται με βασικά δύο τρόπους: (α) με **επιταχυνόμενα** ηλεκτρικά φορτία, και (β) με χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά ρεύματα [1]. Ειδικά, ένα φορτίο που κινείται με σταθερή ταχύτητα (ευθύγραμμο και ομαλά) *δεν* ακτινοβολεί. Συνηθίζω να το εξηγώ αυτό στους μαθητές μου (πριν τους βομβαρδίσω με εξισώσεις) χρησιμοποιώντας την παρακάτω παραβολή:

Μια ζεστή μέρα του καλοκαιριού, πάτε ως το περίπτερο να αγοράσετε ένα παγωτό. Για να προλάβετε πριν λιώσει, αποφασίζετε να το φάτε στο δρόμο. Βαδίζετε αμέριμνοι σε ένα ευθύγραμμο μονοπάτι με σταθερό βήμα (άρα, με σταθερή ταχύτητα) χωρίς να πάρετε είδηση ένα σμήνος από μέλισσες που σας ακολουθούν πολιορκώντας το παγωτό σας! Όταν ξαφνικά τις αντιλαμβάνεστε, επιταχύνετε την κίνησή σας για να τους ξεφύγετε (είτε τρέχετε πιο γρήγορα προς τα μπρος, είτε απλά αλλάζετε κατεύθυνση πορείας). Τρομαγμένες, τότε, από την κίνησή σας αυτή, κάποιες μέλισσες αποκόπτονται από το σμήνος και πετούν μακριά, χωρίς ποτέ να επιστρέψουν.

Τι σημαίνουν όλα αυτά; Το «παγωτό» είναι ένα ηλεκτρικό φορτίο που αρχικά κινείται με σταθερή ταχύτητα, μεταφέροντας στην κατεύθυνση της κίνησής του την ολική ενέργεια του Η/Μ πεδίου του (το «σμήνος των μελισσών») η οποία μένει σταθερή. Όταν το φορτίο επιταχύνεται, ένα μέρος της ενέργειας αυτής (οι «μέλισσες» που πέταξαν μακριά) αποσπάται, κατά κάποιον τρόπο, και απομακρύνεται προς το άπειρο με την ταχύτητα του φωτός, υπό μορφή Η/Μ κύματος. Και, όσο πιο μεγάλη είναι η επιτάχυνση του φορτίου, τόσο πιο μεγάλη είναι και η ενέργεια της εκπεμπόμενης Η/Μ ακτινοβολίας στη μονάδα του χρόνου.

4. Ο Einstein και η Σχετικότητα

Στον κενό χώρο, η ταχύτητα του φωτός (τη συμβολίζουμε με c) είναι περίπου 300,000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο. Όμως, έχουμε συνηθίσει να μετράμε τις ταχύτητες σε σχέση με κάποιο προκαθορισμένο **σύστημα αναφοράς**. Για παράδειγμα, όταν ένας επιβάτης περπατά κατά μήκος του διαδρόμου ενός κινούμενου λεωφορείου, η ταχύτητά του, όπως τη μετρά ένας καθιστός συνεπιβάτης του, είναι διαφορετική από εκείνη που θα κατέγραφε κάποιος που στέκεται ακίνητος στο πεζοδρόμιο. Λεωφορείο και πεζοδρόμιο είναι δύο διαφορετικά συστήματα αναφοράς ως προς τα οποία προσδιορίζεται η ταχύτητα κίνησης του επιβάτη.

Σε σχέση με ποιο σύστημα αναφοράς, λοιπόν, η ταχύτητα του φωτός έχει τη γνωστή τιμή c ; Με βάση τις αντιλήψεις της εποχής του, ο Maxwell δέχθηκε ότι η ταχύτητα διάδοσης της Η/Μ ακτινοβολίας έχει τη «σωστή» τιμή c σε ένα προνομιακό σύστημα που μένει ακίνητο ως προς τον **αιθέρα**, μια υποθετική ουσία με μεταφυσικές, σχεδόν, ιδιότητες που εθεωρείτο ότι καταλάμβανε ολόκληρο το χώρο. Σ' αυτό και μόνο το σύστημα αναφοράς θα ίσχυαν και οι εξισώσεις του Maxwell. Έτσι, κάθε παρατηρητής κινούμενος ως προς τον αιθέρα θα έπρεπε να μετρά μια τιμή της ταχύτητας του φωτός που θα διέφερε από το c , ενώ θα έπρεπε, ως προς αυτόν, τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα να μην περιγράφονται σωστά από τις εξισώσεις του Maxwell.

Κάθε πειραματική προσπάθεια, όμως, να μετρηθεί διαφορετική τιμή της ταχύτητας του φωτός για διαφορετικούς παρατηρητές που βρίσκονταν σε σχετική κίνηση, αποτύγχανε. Ο Einstein, τότε, σε ένα ιστορικό άρθρο του το 1905, διατύπωσε μια τολμηρή ιδέα: Η ταχύτητα του φωτός στο κενό έχει την **ίδια** τιμή c για **όλους** τους παρατηρητές, ανεξάρτητα από την κίνησή τους. Επί πλέον, οι νόμοι της Φυσικής – και, ειδικά, οι εξισώσεις του Maxwell – θα πρέπει να ισχύουν στην ίδια μορφή σε όλα τα συστήματα αναφοράς. (Τεχνικά μιλώντας, οι παραπάνω αρχές ισχύουν για μια ειδική κατηγορία παρατηρητών, τους **αδρανειακούς παρατηρητές**, που σχετίζονται με αντίστοιχα **αδρανειακά συστήματα αναφοράς**.) Οι αρχές αυτές αποτελούν τη βάση της **Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας**.

Στην κλασική (Νευτώνεια) Μηχανική, ο χρόνος έχει απόλυτη σημασία, κοινή για όλους τους παρατηρητές. Έτσι, σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, αν εκπέμφουμε έναν παλμό φωτός από ένα σημείο του χώρου προς ένα άλλο, διαφορετικοί παρατηρητές θα συμφωνήσουν μεταξύ τους για το χρόνο που πήρε στο φως να κάνει το ταξίδι, αν και πιθανώς θα διαφωνήσουν ως προς την απόσταση που διανύθηκε (ο κάθε παρατηρητής θα μετρά την απόσταση αυτή σε σχέση με τον εαυτό του).

Στη Σχετικότητα, εν τούτοις, όλοι οι παρατηρητές θα πρέπει να συμφωνήσουν μεταξύ τους για την ταχύτητα c με την οποία τρέχει το φως. Με δεδομένο ότι διαφωνούν, γενικά, ως προς το μήκος της διαδρομής, θα πρέπει τώρα να διαφωνήσουν *και* ως προς το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε. Έτσι, η Σχετικότητα βάζει τέλος στην ιδέα του απόλυτου χρόνου. Τα χρονικά διαστήματα, όπως κι οι χωρικές αποστάσεις, βρίσκονται σε άμεσο συσχετισμό με την κίνηση του παρατηρητή και δεν προσδιορίζονται απόλυτα.

Επί πλέον, η αμεταβλητότητα της ταχύτητας του φωτός επιβάλλει ένα είδος μαθηματικής «διαπλοκής» ανάμεσα στις χωρικές και τις χρονικές συντεταγμένες ενός συμβάντος, έτσι που η διάκριση ανάμεσα στο χώρο και το χρόνο να μην είναι απόλυτη αλλά να εξαρτάται κι αυτή από την κίνηση του παρατηρητή. Γι' αυτό το λόγο, αντί για τους χωριστούς όρους «χώρος» και «χρόνος», χρησιμοποιούμε την έκφραση **«χωροχρόνος»**.

Η Σχετικότητα δεν πείραξε τις εξισώσεις του Maxwell, αναθεώρησε όμως δραματικά τη Νευτώνεια Μηχανική, η οποία αποδείχθηκε πως ίσχυε μόνο προσεγγιστικά στο όριο των «μικρών» ταχυτήτων (σε σύγκριση, φυσικά, με την τεράστια τιμή του c !). Μεταξύ άλλων, η Σχετικότητα αποκάλυψε μια εκπληκτική – και πολύ διάσημη, πλέον – σχέση ανάμεσα στη μάζα και την ενέργεια, η οποία (σχέση) θα ήταν αδύνατο να προβλεφθεί από την κλασική Μηχανική. Η πειραματική επιβεβαίωσή της κόστισε αμέτρητες ανθρώπινες ζωές στα «εργαστήρια» της Χιροσίμα και του Ναγκασάκι...

5. Η βαρύτητα είναι... γεωμετρία!

Ο χωροχρόνος της Σχετικότητας είναι τετραδιάστατος: τρεις διαστάσεις αντιστοιχούν στο χώρο και μία στο χρόνο. Ας θεωρήσουμε όμως, για ευκολία, δύο μόνο διαστάσεις, μία χωρική και μία χρονική. Στην Ειδική Σχετικότητα, η γεωμετρία του χωροχρόνου θα μοιάζει τότε με εκείνη μιας απέραντης επίπεδης επιφάνειας (αν και η μαθηματική συνταγή για τον υπολογισμό αποστάσεων θα είναι κάπως διαφορετική). Από άποψη γεωμετρικών ιδιοτήτων, μια τέτοια επιφάνεια έχει ουσιαστικές διαφορές από καμπύλες επιφάνειες όπως, π.χ., η επιφάνεια μιας σφαίρας.

Το 1915 ο Einstein διατύπωσε τη **Γενική Θεωρία της Σχετικότητας**, η οποία βασιζόταν σε μια εξαιρετικά πρωτότυπη ιδέα: Αυτό που αντιλαμβανόμαστε ως βαρύτητα δεν είναι στ' αλήθεια μια δύναμη (όπως, π.χ., οι ηλεκτρικές ή οι μαγνητικές δυνάμεις) αλλά είναι αποτέλεσμα **γεωμετρικής παραμόρφωσης του χώρου** (τεχνικά μιλώντας, του *χωροχρόνου*) λόγω της παρουσίας της ύλης. Για παράδειγμα, η Γη κινείται όπως κινείται γύρω από τον Ήλιο όχι γιατί – όπως θα 'λεγε ο Νεύτωνας – ο Ήλιος τής ασκεί μια βαρυτική δύναμη, αλλά λόγω της καμπύλωσης του χώρου που προκαλείται από την ίδια τη μάζα του Ήλιου! Ο χώρος δεν έχει πια γεωμετρικές ιδιότητες όμοιες με αυτές μιας επίπεδης επιφάνειας αλλά μάλλον με εκείνες της επιφάνειας μιας σφαίρας.

Στη Γενική Σχετικότητα, λοιπόν, το βαρυτικό πεδίο δεν αντιμετωπίζεται ως πεδίο δυνάμεων αλλά σαν πεδίο παραμορφώσεων (καμπυλώσεων ή «ρυτιδώσεων») του χώρου. Και, τοπικά, οι παραμορφώσεις αυτές είναι τόσο μεγαλύτερες όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα που τις προκαλεί.

6. Κύματα βαρύτητας

Τι γίνεται, όμως, όταν οι ρυτιδώσεις του χώρου, σε κάποια περιοχή του, μεταβάλλονται χρονικά λόγω ανακατανομής της ύλης στην περιοχή αυτή; Ας θυμηθούμε τι συμβαίνει στον Ηλεκτρομαγνητισμό: Κάθε ανακατανομή των πηγών του Η/Μ πεδίου (φορτίων ή ρευμάτων) σε μια περιοχή του χώρου, προκαλεί διαταραχή του Η/Μ πεδίου στην περιοχή αυτή, η οποία (διαταραχή) διαδίδεται στο χώρο με την ταχύτητα c του φωτός. Ειδικότερα, από ένα

επιταχυνόμενο ηλεκτρικό φορτίο εκπέμπεται ενέργεια στη μορφή Η/Μ ακτινοβολίας (διάδοση ενέργειας μέσω ενός Η/Μ κύματος). Το εκπεμπόμενο Η/Μ κύμα, έτσι, παίρνει μαζί του ένα μέρος της ολικής ενέργειας του φορτίου.

Δεν θα εκπλαγείτε, φαντάζομαι, αν ακούσετε ότι, με βάση τη θεωρία που διατύπωσε ο Einstein το 1916 (ακριβώς έναν αιώνα πριν!), ανακατανομές της ύλης σε κάποια περιοχή του χώρου προκαλούν διαταραχή της τοπικής γεωμετρίας (σε κλασικούς όρους, του πεδίου βαρύτητας) η οποία (διαταραχή) διαδίδεται στο χώρο υπό μορφή ενός **κύματος βαρύτητας** [3–6] που τρέχει κι αυτό – μαντέψτε – με ταχύτητα c ! Επί πλέον, ένα **επιταχυνόμενο** υλικό αντικείμενο χάνει μέρος της ενέργειάς του λόγω **βαρυτικής ακτινοβολίας**, όπου ο όρος εκφράζει διάδοση ενέργειας μέσω βαρυτικών κυμάτων.

Το πρόβλημα είναι ότι, ενώ ακόμα κι ένα ατομικό σύστημα μπορεί να εκπέμψει ανιχνεύσιμη Η/Μ ακτινοβολία (π.χ., ορατό φως), για να παραχθεί ανιχνεύσιμη βαρυτική ακτινοβολία απαιτούνται τεράστιες μάζες με πολύ μεγάλες επιταχύνσεις. Τέτοιες φυσικές συνθήκες πράγματι απαντώνται στο Σύμπαν (περιστρεφόμενα ζεύγη αστέρων νετρονίων ή μελανών οπών, αστρικές συγκρούσεις και αστρικές εκρήξεις, κλπ.) και η βαρυτική ενέργεια που απελευθερώνεται είναι ανυπολόγιστη. Όμως, τα φαινόμενα αυτά συμβαίνουν (ευτυχώς!) τόσο μακριά από εμάς ώστε, μέχρι να φτάσουν στη Γη, τα εκπεμπόμενα βαρυτικά κύματα θα έχουν εξασθενήσει κατά εκατομμύρια φορές. Έτσι, μόνο μια εξαιρετικά ευαίσθητη πειραματική διάταξη θα μπορούσε να τα εντοπίσει.

7. Τι μας χρειάζονται;

Μέχρι τώρα, όλες οι πληροφορίες μας για τα φαινόμενα του Σύμπαντος βασίζονταν σε παρατηρήσεις μέσω της Η/Μ ακτινοβολίας (ορατό φως, ραδιοκύματα, μικροκύματα, ακτίνες Χ, κλπ.). Τα βαρυτικά κύματα μπορούν τώρα να μας δώσουν πληροφορίες που θα ήταν αδύνατο να πάρουμε αλλιώς. Για παράδειγμα, από μια σύγκρουση μελανών οπών εκπέμπεται ελάχιστη Η/Μ ακτινοβολία, εκπέμπονται όμως τεράστιες ποσότητες βαρυτικών κυμάτων. Έτσι, με τη βοήθεια αυτών των κυμάτων θα μπορέσουμε να μελετήσουμε τέτοια κατακλυσμιαία κοσμικά φαινόμενα.

Εκτός αυτού, σε αντίθεση με την Η/Μ ακτινοβολία που αλληλεπιδρά έντονα με την ύλη και, ως εκ τούτου, υφίσταται απορροφήσεις και παραμορφώσεις καθώς διασχίζει αποστάσεις εκατομμυρίων ετών φωτός μέσα στο Σύμπαν, τα βαρυτικά κύματα διαπερνούν τεράστιες αποστάσεις μένοντας αναλλοίωτα (απλά εξασθενούν σε μέγεθος, αφού απλώνονται σε όλο και μεγαλύτερο χώρο). Έτσι, η πληροφορία που μεταφέρουν τα κύματα αυτά είναι πολύ περισσότερο αξιόπιστη σε σύγκριση με αυτή που μας δίνουν τα ηλεκτρομαγνητικά.

Και, τέλος, τα βαρυτικά κύματα αναμένεται να απαντήσουν σε σημαντικά ερωτήματα των κοσμολόγων σε ό,τι αφορά τα αρχικά στάδια εξέλιξης του Σύμπαντος. Κάτι τέτοιο είναι έξω από τις δυνατότητες της παραδοσιακής Αστρονομίας, δοθέντος ότι το Σύμπαν ήταν αρχικά αδιαφανές στην Η/Μ ακτινοβολία και καμία Η/Μ πληροφορία από εκείνη την περίοδο δεν φτάνει ως εμάς.

8. Επίλογος: Γιατί τόση φασαρία τελευταία;

Αν και ο Einstein είχε προβλέψει την ύπαρξη βαρυτικών κυμάτων ήδη από το 1916, μια έμμεση απόδειξη της ύπαρξής τους δόθηκε πολύ αργότερα, στα μέσα της δεκαετίας του 1970. Ποτέ όμως δεν είχαν άμεσα ανιχνευθεί τέτοια κύματα πάνω στη Γη.

Στις 11 Φεβρουαρίου του 2016, η επιστημονική ομάδα των δίδυμων ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων *LIGO* (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) [4] ανακοίνωσε, τελικά, ότι ανίχνευσε βαρυτικά κύματα στις 14 Σεπτεμβρίου του 2015. Τα κύματα αυτά προήλθαν από τη σύγκρουση και τη συγχώνευση δύο μελανών οπών (που αρχικά σχημάτιζαν ένα περιστρεφόμενο ζεύγος) σε απόσταση **1.3 δισεκατομμυρίων ετών φωτός** από τη Γη [7]. Ήταν η τελική επιβεβαίωση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας του Einstein!

Το «παρατηρητήριο» *LIGO* αποτελείται από δύο πανομοιότυπους ανιχνευτές (συμβολόμετρα λέιζερ) που βρίσκονται στις ΗΠΑ, σε απόσταση περίπου 3,000 χιλιομέτρων μεταξύ τους. Ο ένας ανιχνευτής βρίσκεται στην πολιτεία **Ουάσιγκτον** και ο άλλος στην πολιτεία **Λουϊζιάνα**.

Οι επιστήμονες που συμμετείχαν στην ερευνητική αυτή ομάδα μάλλον δεν θα χρειαστούν τη βοήθεια έμπειρου αστρολόγου για να προβλέψει προς ποια συμπαντική κατεύθυνση θα κινηθεί το επόμενο βραβείο Νόμπελ στη Φυσική!

Σημειώσεις – Αναφορές:

[1] Κ. Ι. Παπαχρήστου, *Εισαγωγή στην Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία και τη Φυσική των Αγώγιμων Στερεών* (Εκδόσεις ΣΝΔ, 2010).

[2] Α. Ν. Μαγουλάς, *Ηλεκτρομαγνητισμός και Εφαρμογές* (Εκδόσεις ΣΝΔ, 2013).

[3] Βλ., π.χ., Wikipedia, *Gravitational Wave* .

[4] *LIGO-Caltech*, *Gravitational Waves* .

[5] The New York Times, *Gravitational Waves Detected, Confirming Einstein's Theory* (περιέχει video).

[6] Video: *Gravitational Waves Explained* .

[7] Αναλυτικά: Λόγω της περιστροφής (άρα της επιτάχυνσης που αυτή συνεπάγεται) το σύστημα των δύο οπών έχανε συνεχώς ενέργεια καθώς εξέπεμπε βαρυτικά κύματα. Αυτό είχε ως συνέπεια να μειώνεται όλο και περισσότερο η απόσταση ανάμεσα στις δύο οπές, πράγμα που, με τη σειρά του, τις έκανε να περιστρέφονται ολοένα και πιο γρήγορα, εκπέμποντας όλο και περισσότερη βαρυτική ακτινοβολία. Στην κορύφωση του φαινομένου, οι δύο οπές συγκρούστηκαν και συγχωνεύτηκαν εκπέμποντας ένα τεράστιο ποσό βαρυτικής ενέργειας μέσα σε ελάχιστο χρόνο. Αυτή την εκπομπή κατέγραψαν οι ανιχνευτές του *LIGO*. Το ηχητικό σήμα ήταν, φυσικά, τεχνητό!

Αναρτήθηκε από [costaspap](#) στις [6:55 π.μ.](#)

Αντιδράσεις:



Αποστολή με μήνυμα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου [BlogThis!](#) [Μοιραστείτε το στο Twitter](#) [Μοιραστείτε το στο Facebook](#) [Κοινοποίηση στο Pinterest](#)

Ετικέτες [Εκπαίδευση](#), [Επιστήμη](#)

Κώστας Παπαχρήστου

Γεννήθηκε στην Αθήνα και επιμένει να ζει εκεί! Σπούδασε Φυσική στην Αθήνα και στις ΗΠΑ. Τώρα τη διδάσκει σε μεγάλα «παιδιά» (αυτά που επιτρέπεται να βλέπουν ταινίες με την ένδειξη «XX»). Του αρέσει η μουσική, η ποίηση και ο καλός κινηματογράφος. Είναι σπαδός της ΑΕΚ. [Διαβάστε περισσότερες πληροφορίες για τον Κώστα Παπαχρήστου](#)

Ο Χιγκς, τα αόρατα σωματίδια και η κρυμμένη συμμετρία της Φύσης

Posted on [June 15, 2022](#) by [Costas Papachristou](#)



Πίσω από τις αλληλεπιδράσεις που παρατηρούνται στη Φύση κρύβονται υπέροχες μαθηματικές συμμετρίες. Και απαιτείται μία γενναία δόση ενέργειας – και η ιδιοφυΐα του κυρίου Χιγκς – για να γίνουν «ορατές»...

Γράφει: Κώστας Παπαχρήστου

Ένα από τα θέματα που κυριάρχησαν ιδιαίτερα στην επιστημονική επικαιρότητα την τελευταία δεκαετία ήταν τα πειράματα που έλαβαν χώρα στο ερευνητικό κέντρο του **CERN** στη Γενεύη. Σκοπός τους, ανάμεσα στα άλλα, ήταν η πειραματική επιβεβαίωση της ύπαρξης ενός μυστηριώδους σωματίου που, σε επίπεδο θεωρίας τουλάχιστον, αποτελεί θεμελιώδες συστατικό του μοντέλου που πιστεύουμε πως περιγράφει τα δομικά στοιχεία της ύλης και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Το **μποζόνιο Higgs** (το κβάντο του **πεδίου Higgs**) αποτέλεσε το μεγάλο στοίχημα των ερευνών, και η τελική επαλήθευση της ύπαρξής του το 2013 υπήρξε ένας από τους μεγαλύτερους θριάμβους της φυσικής επιστήμης τις δύο πρώτες δεκαετίες αυτού του αιώνα.

Τι το σημαντικό, όμως, υποκρύπτει η εύρεση αυτού του «σωματίου-φαντομά», ώστε να δικαιολογεί μία δαπάνη αρκετών δισεκατομμυρίων δολαρίων που απαιτήθηκαν για το «κυνήγι» του, και μάλιστα σε εποχές παγκόσμιας οικονομικής κρίσης; Τίποτα περισσότερο ή τίποτα λιγότερο, ίσως, από έναν βαθύ αναστεναγμό ανακούφισης των Φυσικών. Εκείνων, τουλάχιστον, που δεν περίμεναν εναγωνίως την κατάρρευση του

καθιερωμένου θεωρητικού μοντέλου στη Φυσική υψηλών ενεργειών, ώστε να τους δοθεί η ιστορική ευκαιρία να χτίσουν τη θεωρία απ' την αρχή!

Το κείμενο που ακολουθεί είναι μία απόπειρα να εξηγήσουμε, με όσο πιο απλά λόγια γίνεται, τους λόγους για τους οποίους το σωματίο του Higgs είναι τόσο σημαντικό συστατικό των σύγχρονων φυσικών θεωριών που προσπαθούν να «ξεκλειδώσουν» τα μυστικά του κόσμου που μας περιβάλλει. Και, επειδή η ύλη που παρατηρούμε αποτελείται, σε θεμελιώδες επίπεδο, από **στοιχειώδη σωματίια** (όπως, π.χ., το γνώριμο σε όλους ηλεκτρόνιο, καθώς και άλλα που «κατοικούν» στον πυρήνα του ατόμου), ξεκινούμε την αφήγησή μας εξετάζοντας τους τρόπους που τα σωματίια αυτά αλληλεπιδρούν...

Η κρυμμένη απλότητα της Φύσης

Με βάση τη φαινομενολογία που μας προσφέρει ο κόσμος των χαμηλών ενεργειών στον οποίο ζούμε, μπορούμε να διακρίνουμε τέσσερα είδη **δυνάμεων** (ή **αλληλεπιδράσεων**) μεταξύ των στοιχειωδών σωματίων της ύλης:

- (1) Τις **δυνάμεις βαρύτητας** (στις οποίες οφείλεται το βάρος των σωμάτων, αλλά και η καθορισμένη κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο).
- (2) Τις **ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις** (τέτοια είναι, π.χ., η τριβή ανάμεσα στις δύο παλάμες μας όταν σύρουμε τη μία πάνω στην άλλη).
- (3) Τις **ισχυρές δυνάμεις** (χάρη στις οποίες διατηρεί την συνεκτικότητά του ο πυρήνας ενός ατόμου).
- (4) Τις **ασθενείς δυνάμεις** (ευθύνονται για μία σειρά διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στον ατομικό πυρήνα).

Υπάρχουν ενδείξεις, όμως, ότι η Φύση είναι στην πραγματικότητα πολύ πιο απλή απ' όσο φαίνεται! Για παράδειγμα, πριν από την συστηματική θεωρητική διατύπωση των νόμων του ηλεκτρομαγνητισμού από τον **James Clerk Maxwell** (1831-1879), ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός αντιμετωπιζόνταν σαν δύο ξεχωριστά και ανεξάρτητα φυσικά φαινόμενα. Αυτό ενισχύθηκε και από την προφανή

διαφορετικότητα ανάμεσα στις ιδιότητες των ηλεκτρικών και των μαγνητικών δυνάμεων.

Με τις περίπλοκες μαθηματικές εξισώσεις του, ο Maxwell περιέγραψε το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο σαν «δύο όψεις του ίδιου νομίσματος», αφού το ένα μπορεί να «μεταμορφώνεται» (να μετασχηματίζεται) στο άλλο, ανάλογα με τον τρόπο που τα παρατηρούμε (αυτή ήταν και η αφετηρία της σκέψης του **Einstein** όταν πρότεινε την *Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας*). Έτσι, αντί για δύο ξεχωριστά πεδία, ηλεκτρικό και μαγνητικό, μιλάμε για ένα ενιαίο **ηλεκτρομαγνητικό πεδίο**.

Είναι ενδιαφέρον εδώ να παρατηρήσουμε πως, σε ό,τι αφορά τη σχετική ισχύ τους, η ηλεκτρική και η μαγνητική δύναμη αρχίζουν να γίνονται ισοδύναμες μεταξύ τους στο όριο των υψηλών ταχυτήτων (άρα υψηλών ενεργειών) των ηλεκτρικών φορτίων που αλληλεπιδρούν. Αυτή είναι μία πρώτη ένδειξη πως **η απλότητα της Φύσης αποκαλύπτεται υπό την προϋπόθεση ότι για την πειραματική παρατήρησή της διατίθεται η κατάλληλη ενέργεια!**

Ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της φυσικής επιστήμης κατά τον εικοστό αιώνα ήταν η ανακάλυψη ότι, με παρόμοιο τρόπο, η ηλεκτρομαγνητική και η ασθενής αλληλεπίδραση επίσης αποτελούν δύο όψεις (δύο εκφάνσεις) μίας ενιαίας δύναμης, της **ηλεκτρασθενούς**. Ανοιχτή παραμένει η φιλοδοξία της εύρεσης μιας ακόμα μεγαλύτερης ενοποίησης που να περιλαμβάνει στο σχήμα και την **ισχυρή** αλληλεπίδραση (η βαρύτητα είναι μια άλλη, «πονεμένη» ιστορία, αφού, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες δυνάμεις, δεν δείχνει να υποτάσσεται εύκολα στους κανόνες της Κβαντικής Φυσικής...).

Το πρόβλημα είναι πως, όπως αναφέραμε πιο πάνω, όσο πιο απλή εμφανίζεται η Φύση μέσα από αυτά τα διαδοχικά στάδια ενοποίησης, τόσο πιο ακριβό «εισιτήριο» καλείται να πληρώσει ο θεατής που θα γίνει μάρτυρας αυτής της απλότητας. Και, το εισιτήριο αυτό λέγεται **ενέργεια!** Δηλαδή, η υποτιθέμενη απλότητα της Φύσης μπορεί να αποκαλυφθεί μόνο μέσα από πειράματα πολύ υψηλών ενεργειών. Και, όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απλότητας που θέλουμε να αναδείξουμε, τόσο περισσότερη ενέργεια απαιτείται. Αυτό εξηγεί, άλλωστε, γιατί δαπανώνται τεράστια ποσά για την κατασκευή όλο και μεγαλύτερων επιταχυντών στοιχειωδών σωματίων, όπως ο **Large Hadron Collider** (LHC) στο CERN στη Γενεύη.

Η άλλη πλευρά του λόφου...

Ένα απλό παράδειγμα ίσως μας βοηθήσει να κατανοήσουμε καλύτερα αυτά που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Φανταστείτε ότι κατοικείτε στους πρόποδες ενός λόφου που βρίσκεται στο μέσο μιας πόλης, της οποίας τα σπίτια είναι όμοια μεταξύ τους και ομοιόμορφα κατανεμημένα γύρω από τον λόφο. Από το σημείο που βρίσκεστε μπορείτε να βλέπετε μόνο ένα μέρος της πόλης, αφού ο λόφος σάς κρύβει την άλλη πλευρά της. Έτσι, για εσάς υπάρχει η «δική σας» γειτονιά και η «άλλη», στην αντίθετη πλευρά του λόφου. Η αντίληψή σας για την πόλη, απ' το σημείο που βρίσκεστε, είναι αποσπασματική και **ασύμμετρη**.

Τώρα, υποθέστε ότι βρίσκετε το κουράγιο (δηλαδή, την απαιτούμενη ενέργεια) να ανεβείτε στην κορυφή του λόφου. Από εκεί πια μπορείτε να βλέπετε ολόγυρα κάθε γειτονιά της πόλης. Η θέα τώρα είναι καθολική και απόλυτα **συμμετρική** (όπως κι αν περιστρέψετε το σώμα σας, πάντα θα αντικρίζετε κάποια περιοχή της πόλης και, σύμφωνα με την υπόθεση που κάναμε, όλες οι περιοχές είναι όμοιες μεταξύ τους). Αυτό που πρέπει να συγκρατήσουμε είναι ότι, **η πορεία από την πολυπλοκότητα της ασυμμετρίας προς την απλότητα της συμμετρίας απαιτεί δαπάνη ενέργειας!**

Η συμμετρία πίσω από τη δύναμη...

Με τα σημερινά δεδομένα, τα στοιχειώδη σωμάτια και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις (δυνάμεις) περιγράφονται από το λεγόμενο **Καθιερωμένο Πρότυπο** (*Standard Model*), το οποίο αποτελεί σύνθεση όλων των πειραματικά επιβεβαιωμένων θεωριών για τη δομή της ύλης σε θεμελιώδες επίπεδο. Μέχρι σχετικά πρόσφατα (περίπου μία δεκαετία πριν) υπήρχε ένα βασικό ζήτημα που έμενε να επιβεβαιωθεί πειραματικά: ο μηχανισμός με τον οποίο πιστεύεται ότι τα σωμάτια (και, μακροσκοπικά, η ύλη) αποκτούν **μάζα** – ή, αν προτιμάτε, **αδράνεια**.

Μα, θα ρωτήσετε, γιατί να μη δεχθούμε απλά ότι η μάζα είναι μια ιδιότητα που το κάθε σωματίο φέρει εξ αρχής από τη στιγμή της δημιουργίας του, κάτι σαν «προϊκα» από την ίδια τη Φύση; Για να κατανοήσουμε το πρόβλημα, θα πρέπει να ξαναγυρίσουμε στην έννοια της συμμετρίας...

Στον μικρόκοσμο, η συμμετρία είναι κάτι παραπάνω από θέμα απλής αισθητικής: είναι αυτή που καθορίζει το είδος των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των σωματίων. Δηλαδή, **πίσω από κάθε μορφή αλληλεπίδρασης κρύβεται και μία αντίστοιχη μορφή συμμετρίας**. Για παράδειγμα, η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων σχετίζεται με την συμμετρικότητα (αμεταβλητότητα στη μορφή) των θεμελιωδών εξισώσεων του ηλεκτρομαγνητισμού, κάτω από συγκεκριμένους αφηρημένους μαθηματικούς μετασχηματισμούς των συναρτήσεων που περιγράφουν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και τα σωματάρια που αλληλεπιδρούν μέσω αυτού.

Το ίδιο το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, κατά την κβαντική θεωρία, αντιπροσωπεύεται από τα δικά του «σωμάτάρια», τα **φωτόνια**. Μπορούμε να σκεφτούμε τα σωματάρια αυτά σαν μικρές σφαίρες που εκτοξεύει το ένα φορτίο στο άλλο, κάνοντάς το να αισθανθεί την παρουσία του. Τα φωτόνια είναι τα **κβάντα** (οι πλέον στοιχειώδεις ποσότητες) του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που «κοινωνούν» την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση ανάμεσα σε ηλεκτρικά φορτισμένα σωματάρια.

Στη γλώσσα της συμμετρίας, το φωτόνιο παίζει τον ρόλο του «ταχυδρόμου» που ενημερώνει κάθε παρατηρητή από τον οποίο διέρχεται, για τις λεπτομέρειες των μαθηματικών μετασχηματισμών συμμετρίας που υπέστησαν οι συναρτήσεις που αντιπροσωπεύουν τα σωματάρια σε γειτονικά σημεία του χώρου (ή, σωστότερα, του χωροχρόνου).

Πρέπει, όμως, να λάβουμε υπόψη έναν σημαντικό περιορισμό: Οι θεωρίες που συσχετίζουν τις αλληλεπιδράσεις των σωματίων με υποκείμενες συμμετρίες θέτουν ως προϋπόθεση τα κβάντα του πεδίου που ευθύνεται για την αλληλεπίδραση να έχουν **μηδενική μάζα**! Αυτό ισχύει πράγματι για τα φωτόνια (φορείς της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης), όχι όμως και για τα κβάντα του πεδίου που σχετίζεται με την ασθενή αλληλεπίδραση. Έτσι, η αλληλεπίδραση αυτή θα κινδύνευε να μείνει έξω από το παιχνίδι της συμμετρίας, και η θεωρητική εξήγηση της ενοποίησης της ασθενούς δύναμης με την ηλεκτρομαγνητική (ηλεκτρασθενής δύναμη) θα οδηγείτο σε αδιέξοδο, αν δεν έσωζε την παρτίδα ένα μυστηριώδες πεδίο...

Ο «ξενέρωτος» καθηγητής και η δημοφιλής συνοδός του!

Τη λύση στο αδιέξοδο της μάζας δίνει το **πεδίο Higgs**. Το πεδίο αυτό μας επιτρέπει να θεωρούμε τα κβάντα όλων των αλληλεπιδράσεων σαν σωματίδια που αυτά καθαυτά δεν έχουν μάζα, **φαίνεται** όμως σ' εμάς ότι έχουν εξαιτίας της αλληλεπίδρασής τους με το πεδίο Higgs, ή, αν προτιμάτε, με το κβάντο του πεδίου αυτού, το περίφημο **μποζόνιο Higgs**. Γενικά μιλώντας, σύμφωνα με την θεωρία του **Peter Higgs** (καθώς και άλλων ερευνητών που εργάστηκαν ανεξάρτητα πάνω στο ίδιο πρόβλημα), η μάζα όλων των στοιχειωδών σωματίων είναι μία **επίκτητη** (φαινομενική) ιδιότητα που προκύπτει λόγω της αλληλεπίδρασής τους με το πανταχού παρόν πεδίο Higgs.

Θα μπορούσαμε, δηλαδή, να πούμε πως, αν το πεδίο αυτό «έσβηνε» ξαφνικά (όπως υποθέτουμε ότι ίσχυε για κάποια απειροελάχιστη χρονική περίοδο μετά το Big Bang, λόγω των ακραίων θερμοκρασιών), όλα τα σωματίδια θα εμφανίζονταν χωρίς μάζα (δεν θα είχαν αδράνεια, δηλαδή δεν θα πρόβαλλαν αντίσταση στη μεταβολή της κινητικής τους κατάστασης). Αυτό, σύμφωνα με τη Θεωρία της Σχετικότητας, θα σήμαινε ότι κάθε σωματίο θα ταξίδευε με την ταχύτητα του φωτός. Γνωρίζουμε, βέβαια, ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει στ' αλήθεια (με εξαίρεση το φωτόνιο).

Ένα παράδειγμα και πάλι θα βοηθήσει. Φανταστείτε μια χοροεσπερίδα που διοργανώνουν οι φοιτητές ενός Πανεπιστημίου. Στη μεγάλη σάλα βρίσκεται ένα μεγάλο πλήθος φοιτητών που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι σε όλη την έκταση του χώρου. Ας πούμε ότι το πλήθος αυτό των φοιτητών είναι το «πεδίο Higgs», και οι εν λόγω νεαροί αποτελούν τα «μποζόνια Higgs» (τα κβάντα του πεδίου).

Κάποια στιγμή κάνει την εμφάνισή του στο χορό ένας «ξενέρωτος» καθηγητής (π.χ., ο γράφων). Κανείς δεν του δίνει σημασία καθώς μπαίνει στο δωμάτιο, κι έτσι αυτός μπορεί να κινείται ανενόχλητα και να επιταχύνεται κατά βούληση. Είναι ένα «σωμάτιο» χωρίς μάζα (χωρίς αδράνεια), αφού το πεδίο Higgs και τα κβάντα του (οι φοιτητές) δεν καταδέχονται ν' ασχοληθούν μαζί του ώστε να προβάλουν εμπόδια στην κίνησή του!

Φανταστείτε τώρα ότι στο χορό καταφθάνει καθυστερημένα η ωραία συνοδός του καθηγητή. Καθώς τραβάει την προσοχή των φοιτητών, σπεύδουν όλοι να την προσεγγίσουν, δυσχεραίνοντας την κίνησή της μέσα στη σάλα. Έτσι, για να

επιταχύνει το βήμα της θα χρειαστεί να καταβάλει δύναμη: το πεδίο Higgs (οι φοιτητές) τής προσέδωσε μάζα (αδράνεια)!

Τώρα, αν υποθέσουμε πως οι φοιτητές γίνονταν αόρατοι, κάποιος εξωτερικός παρατηρητής θα μπορούσε να **νομίζει** ότι η αδράνεια αυτή είναι μια ιδιότητα που πρωτογενώς φέρει η ίδια η γυναίκα. Πιστεύουμε, λοιπόν, ότι η αδράνεια που εμφανίζουν όλα τα σώματα δεν είναι μία εγγενής ιδιότητά τους αλλά οφείλεται στην αλληλεπίδρασή τους με το «αόρατο» πεδίο Higgs. Και το πεδίο αυτό γίνεται «ορατό» μέσω του κβάντου του – του μποζονίου Higgs. Το Καθιερωμένο Πρότυπο της σωματιδιακής φυσικής μπορεί τώρα να πάρει μια βαθιά ανάσα ανακούφισης!

Επίλογος

Με βάση τα πειράματα των τελευταίων χρόνων, όλα δείχνουν ότι η θεωρία του Higgs είναι σωστή. Η καθυστέρηση που υπήρξε στην ανακάλυψη του σχετικού μποζονίου οφείλεται στην πολύ μεγάλη μάζα του, πράγμα που σημαίνει ότι η δημιουργία του σωματιδίου στο εργαστήριο απαιτεί πολύ υψηλές ενέργειες (θυμηθείτε την περίφημη σχέση του Einstein που καθιστά τη μάζα και την ενέργεια ισοδύναμες). Αυτό το πρόβλημα έλυσε ο επιταχυντής LHC στο CERN.

Οι Φυσικοί υψηλών ενεργειών (τουλάχιστον, οι περισσότεροι από αυτούς) αισθάνονται τώρα δικαιωμένοι για τις προσπάθειες που κατέβαλαν και το χρήμα που δαπανήθηκε για την επιβεβαίωση της ύπαρξης του «δύστροπου» μποζονίου και την διατήρηση της πίστης στην ορθότητα του Καθιερωμένου Προτύπου. Γιατί, σε αντίθετη περίπτωση, θα χρειαζόταν να ξαναγράψουμε απ' την αρχή μεγάλο μέρος της Φυσικής του δεύτερου μισού του 20ού αιώνα. Για κάποιους Φυσικούς, αυτό θα φάνταζε σαν εφιάλτης. Για κάποιους άλλους, σαν ευκαιρία για να γράψουν Ιστορία!

* Το πιο πάνω κείμενο αποτελεί μεταφρασμένη και επικαιροποιημένη εκδοχή του παιδαγωγικού επιστημονικού άρθρου “*The hidden symmetry and Mr. Higgs!*”, δημοσιευμένου στο arXiv.org.

(<https://arxiv.org/abs/1401.1327>)

Αντιστρέφοντας το βέλος του χρόνου...

Από **Κώστας Παπαχρήστου** - 23 Μαρτίου 2019



Τι είναι **χρόνος**; Αν με ρωτήσει κάποιος, ομολογώ πως δεν έχω πειστική απάντηση. Κατά καιρούς έχω ακούσει χαριτωμένες εκφράσεις του τύπου «το φυσικό φαινόμενο του χρόνου»! Βέβαια, ο χρόνος αυτός καθαυτός δεν είναι φυσικό φαινόμενο. Είναι απλά μία **φυσική διάσταση** με τη βοήθεια της οποίας περιγράφουμε την δυναμική των φυσικών φαινομένων. Μια διάσταση που μας επιτρέπει να ξεχωρίσουμε το «πριν» από το «μετά», όπως με τις διαστάσεις του χώρου ξεχωρίζουμε το «εδώ» από το «εκεί».

Όμως, πότε μία φυσική κατάσταση αντιστοιχεί στο «πριν», και πότε στο «μετά»; Με άλλα λόγια, πώς ορίζεται το λεγόμενο **«βέλος του χρόνου»** που προσδίδει στον χρόνο κατεύθυνση από το παρελθόν προς το μέλλον;

Στο φημισμένο βιβλίο του **«Το Χρονικό του Χρόνου»** (“A Brief History of Time”) ο **Στήβεν Χόκινγκ** περιγράφει τρεις (εν τέλει, ισοδύναμες) εκδοχές του βέλους του χρόνου:

1. Το **θερμοδυναμικό** βέλος του χρόνου. Είναι η κατεύθυνση του χρόνου στην οποία μεγαλώνει η **αταξία** (ή, **εντροπία**) ενός κλειστού συστήματος σωματιδίων (π.χ., των μορίων ενός ιδανικού αερίου μέσα σε ένα θερμικά μονωμένο δοχείο), σύμφωνα με τον **δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής**.
2. Το **ψυχολογικό** βέλος του χρόνου. Είναι η κατεύθυνση στην οποία αισθανόμαστε ότι ο χρόνος περνά, έτσι ώστε να θυμόμαστε το παρελθόν αλλά όχι το μέλλον.

3. Το **κοσμολογικό** βέλος του χρόνου. Είναι η χρονική κατεύθυνση κατά την οποία το σύμπαν διαστέλλεται, όπως τουλάχιστον τούτη τη στιγμή συμβαίνει.

Ένα κλασικό θερμοδυναμικό σύστημα αποτελείται από ένα τεράστιο πλήθος σωματιδίων. Σε μικροσκοπικό επίπεδο, οι φυσικοί νόμοι που διέπουν την κίνηση ενός μεμονωμένου σωματιδίου δεν ξεχωρίζουν την κίνηση προς το μέλλον από εκείνη προς το παρελθόν. Αν εξετάσει κάποιος, όμως, την συμπεριφορά ολόκληρου του συστήματος, θα παρατηρήσει ότι μερικές φυσικές διαδικασίες δεν συμβαίνουν ποτέ σε αντίστροφη χρονική τάξη, ακόμα και αν δεν παραβιάζουν φυσικούς νόμους όπως η διατήρηση της ενέργειας. Για παράδειγμα, ενώ μία σταγόνα μελάνης απλώνεται (διαχέεται) μέσα σε ένα ποτήρι με νερό, το αντίστροφο φαινόμενο **αυθόρμητου** ανασχηματισμού της σταγόνας ποτέ δεν παρατηρείται (εκτός αν το προκαλέσουμε εμείς με κάποια τεχνητή παρέμβαση στο σύστημα).

Η αρχική σταγόνα μελάνης αντιπροσωπεύει μία κατάσταση **μέγιστης τάξης**: όλα τα μόρια της μελάνης βρίσκονται συγκεντρωμένα σε μία καθορισμένη θέση μέσα στο νερό. Καθώς περνά ο χρόνος, όμως, η τάξη αυτή ολοένα και μειώνεται καθώς τα μόρια της μελάνης διασκορπίζονται μέσα στο νερό. Με άλλα λόγια, **με το πέρασμα του χρόνου αυξάνει η αταξία (εντροπία) του συστήματος**. Με ανάλογο τρόπο, ένα γυάλινο ποτήρι που πέφτει στο πάτωμα σπάει σε χίλια κομμάτια, τα οποία (δυστυχώς για εμάς αλλά ευτυχώς για τους κατασκευαστές γυαλικών, που θα έμεναν χωρίς δουλειά!) ποτέ δεν επανενώνονται αυθόρμητα ώστε να ξανασχηματίσουν το ποτήρι στην αρχική του μορφή. (Οι γνώστες του αμερικανικού μπιλιάρδου ας δώσουν ένα ακόμα παράδειγμα πορείας από την τάξη προς την αταξία.)

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να κάνουμε μία σημαντική παρατήρηση. Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος, που επιβάλλει την αύξηση της εντροπίας (αταξίας) ενός κλειστού συστήματος, είναι ένας **στατιστικός νόμος** που δεν διέπεται από την απολυτότητα του πρώτου νόμου, ο οποίος εκφράζει την διατήρηση της ενέργειας. Συγκεκριμένα, ο δεύτερος νόμος δεν μας λέει ότι είναι **θεωρητικά αδύνατη** η – αντικείμενη προς την εμπειρία μας – πορεία από την αταξία στην τάξη, αλλά ότι είναι **εξαιρετικά απίθανη**. Τόσο απίθανη που, πρακτικά, μπορεί να θεωρηθεί αδύνατη!

Τώρα, σε κλασικό επίπεδο, ο δεύτερος νόμος αφορά συστήματα με πολύ μεγάλο αριθμό σωματιδίων. Και, όσο μεγαλώνει ο αριθμός αυτός, τόσο πιο απίθανη γίνεται η ανάστροφη πορεία από την αταξία πίσω στην τάξη – κάτι που, κατά μία έννοια, θα σήμαινε αλλαγή κατεύθυνσης στο ίδιο το βέλος του χρόνου. Φυσικά, όλα αυτά χάνουν το νόημά τους αν έχουμε ένα και μοναδικό σωματίδιο. (Είναι πολύ εύκολο να διαταράξεις την τάξη που εμφανίζουν εννέα καλο-στοιχισμένες μπάλες του μπιλιάρδου, πώς όμως να πετύχεις ανάλογο αποτέλεσμα με μία και μοναδική μπάλα;)

Αυτά με βάση την κλασική φυσική, γιατί η **κβαντομηχανική** βλέπει τα πράγματα διαφορετικά. Λόγω της φοβερής **«αρχής της αβεβαιότητας»**, ένα κβαντικό σωματίδιο, όπως το ηλεκτρόνιο, δεν εντοπίζεται με απόλυτη ακρίβεια σε κάποιο καθορισμένο σημείο του χώρου αλλά αντιπροσωπεύεται από ένα «κύμα πιθανότητας» που, μαθηματικά, εκφράζεται με την λεγόμενη **κυματοσυνάρτηση**. Η συνάρτηση αυτή, με τη σειρά της, είναι λύση της **εξίσωσης του Σρέντιγκερ** (Schrödinger). (Παρεμπιπτόντως, ο λαϊκός μύθος ότι «ο Σρέντιγκερ σκότωσε τη γάτα του» είναι απολύτως ανακριβής! Ο Σρέντιγκερ απλά επινόησε ένα **νοητικό πείραμα** με μία – υποτιθέμενη – γάτα προκειμένου να εκφράσει τον προβληματισμό του για την λεγόμενη «ερμηνεία της Κοπεγχάγης» για την κβαντομηχανική. Προβληματισμό που εξέφρασε με ακόμα πιο έντονο τρόπο ο **Αϊνστάιν...**)

Η κυματοσυνάρτηση, αν μη τι άλλο, δίνει μία εικόνα για το πού περίπου βρίσκεται το σωματίδιο κάποια αρχική χρονική στιγμή. Το πρόβλημα είναι ότι, με το πέρασμα του χρόνου, η εικόνα αυτή προοδευτικά «θολώνει» καθώς η κυματοσυνάρτηση **εξαπλώνεται στον χώρο**. Έτσι, η σχετική τάξη που αρχικά υπήρχε σε ό,τι αφορά τον προσδιορισμό της θέσης του σωματιδίου, σταδιακά χάνεται, με όμοιο τρόπο όπως χάνεται η αρχική τάξη της σταγόνας μελάνης μέσα στο νερό. Το να επανέλθει **αυθόρμητα** η κυματοσυνάρτηση στην αρχική της μορφή είναι τόσο απίθανο όσο το να ξανασηματιστεί η σταγόνα της μελάνης μετά την διάχυσή της στο νερό! Όμως, αν πράγματι συμβεί κάτι τέτοιο, θα είναι σαν **ο χρόνος για το σωματίδιο να γυρίζει πίσω**.

Πρόσφατα, μία εντυπωσιακή επιστημονική ανακοίνωση ήρθε στην επικαιρότητα. Μία ομάδα ερευνητών από την Ρωσία, τις ΗΠΑ και την Ελβετία θέλησε να μετρήσει την πιθανότητα που έχει ένα μοναχικό ηλεκτρόνιο στον κενό διαστημικό χώρο να ταξιδέψει αυθόρμητα πίσω στο πρόσφατο παρελθόν του. Δηλαδή, οι επιστήμονες έλεγξαν αν ο χρόνος γι' αυτό το ηλεκτρόνιο θα μπορούσε να αντιστραφεί έστω και για ένα απειροελάχιστο κλάσμα του δευτερολέπτου. Ένα τέτοιο φαινόμενο είναι τόσο απίθανο να συμβεί που, θεωρητικά, δεν θα μπορούσαμε να το δούμε περισσότερο από **μία φορά σε διάστημα ίσο με την μέχρι τώρα ζωή του σύμπαντος!**

Η επιστημονική ομάδα κατόρθωσε, εν τούτοις, να σχεδιάσει μία **προσομοίωση** της διαδικασίας με τη βοήθεια ενός **κβαντικού υπολογιστή**, πάνω στον οποίο εφαρμόστηκε ένας προσεκτικά σχεδιασμένος αλγόριθμος. Στην προσομοίωση αυτή, ο χρόνος γύρισε πίσω για πολύ λίγο για το μοναχικό ηλεκτρόνιο, υπερνικώντας τελικά τις απαγορεύσεις που επιβάλλει ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος. Η «θολή» εικόνα της εξαπλωμένης κυματοσυνάρτησης έδωσε, έτσι, τη θέση της στην αρχική κυματομορφή που θύμιζε πολύ περισσότερο σωματίο με καθορισμένη θέση στον χώρο.

Ήταν σαν τα μόρια της μελάνης μέσα στο νερό να αναζητήσαν τη σταγόνα από την οποία ξεκίνησαν, οι σκορπισμένες μπάλες του μπιλιάρδου να γύρισαν από μόνες τους πίσω στην

εναρκτήρια τάξη του παιχνιδιού, ενώ κάπου στο σύμπαν ένας άνθρωπος να ξαναβρήκε (για μία στιγμή και μόνο, δυστυχώς) ένα μικρό κομμάτι από τη νεότητα που είχε χάσει...

Κλείνω το σημείωμα παραθέτοντας ένα κείμενό μου που δημοσιεύθηκε το 2012 στο «Βήμα», γραμμένο μάλλον με μελαγχολικά φιλοσοφική, παρά καθαρά επιστημονική, διάθεση. Ήταν η εποχή που η δαμόκλειος σπάθη της ολικής χρεοκοπίας κρεμόταν πάνω από τη χώρα, και το αγωνιώδες ερώτημα που πλανιόταν (εμφανές στην αρχή του κειμένου) ήταν αν η κρίση θα τέλειωνε κάποτε και η ζωή σ' αυτό τον τόπο θα ξανάβρισκε τους κανονικούς της ρυθμούς. Το καλοκαίρι του 2015 ήταν τότε πολύ μακριά. Ακόμα και για τους χειρότερους εφιάλτες μας...

Τα ποτάμια δεν γυρίζουν πίσω: Η τρομοκρατία του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου

Θα ξαναγυρίσουμε ποτέ στην επίφαση ευτυχίας που γνωρίζαμε; Ή μήπως θ' αποχαιρετίσουμε (με αξιοπρέπεια, έστω) για πάντα την Αλεξάνδρεια;

Στη θερμοδυναμική (που είναι κλάδος της φυσικής) διατυπώνονται δύο θεμελιώδεις νόμοι. Ο πρώτος νόμος αφορά την διατήρηση της ενέργειας και ακούγεται ως αυτονόητος: η ενέργεια που προσφέρεις σε ένα σύστημα είναι ισόποση με την αύξηση του ενεργειακού αποθέματος του συστήματος. Αν ο νόμος αυτός ήταν ο μοναδικός που δέσμευε την ύλη κατά τις μεταβολές της, ο κόσμος που ξέρουμε θα ήταν πολύ διαφορετικός. Θα υπήρχε, π.χ., τρόπος να μη γερνάμε ποτέ (ίσως και να γίνουμε αθάνατοι), ενώ ο προϊστορικός άνθρωπος θα είχε ανακαλύψει την ψύξη και τον κλιματισμό με την ίδια ευκολία που έμαθε να ζεσταίνεται απ' τη φωτιά!

Ο **δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής** βάζει ένα τέλος σε τέτοιες φιλοδοξίες. Αποτελεί ίσως την πιο σκληρή πραγματικότητα της Φύσης, μια αληθινή κατάρα του Δημιουργού πάνω στο δημιούργημά του. Λέει, με πολύ απλά λόγια, πως κάποια πράγματα που συμβαίνουν δεν είναι δυνατό να ξε-συμβούν, πως **το ποτάμι κάποιων φαινομένων δεν γυρίζει πίσω**. Έτσι, π.χ., ενώ ένα ζεστό σώμα μπορεί αυθόρμητα να δώσει λίγη από τη ζέση του σε ένα πιο κρύο, το αντίθετο είναι **απίθανο** (πρακτικά αδύνατο) να συμβεί: ένα κρύο σώμα δεν μπορεί, χωρίς εξωτερική παρέμβαση, να δώσει μέρος από τη λιγοστή του θερμότητα σε ένα ζεστό, έτσι που το ένα να γίνει ακόμα πιο κρύο και το άλλο ακόμα πιο ζεστό. Η ζέση φεύγει και δεν γυρίζει ποτέ πίσω από μόνη της. Το ίδιο και η νεότητα στον άνθρωπο, που φεύγει ανεπιστρεπτί αφήνοντας πίσω της τη φθορά που οδηγεί στο γήρας και τον θάνατο (η συνειδητότητα αυτή ήταν που κατηύθυνε τα τελευταία υπαρξιακά βήματα του **Σωκράτη**, όπως ίσως και του **Δ. Λιαντίνη**).

Η βασική φιλοσοφία του νόμου είναι απλή: Αν βάλεις ένα φυσικό σύστημα σε τάξη και μετά το αφήσεις στην τύχη του, είναι πολύ πιθανό η τάξη αυτή να χαθεί (αυτό το γνωρίζουν καλά

οι μητέρες που συγυρίζουν καθημερινά τα δωμάτια των παιδιών τους). Αντίθετα, είναι απίθανο το σύστημα αυτό να μεταβεί **αυθόρμητα** από την αταξία πίσω στην τάξη. Ακόμα κι αν είναι το ίδιο το σύμπαν!

Αν το καλοσκεφτεί κανείς, όλοι οι φόβοι στον άνθρωπο σχετίζονται με το **αμετάστρεπτο** – την αδυναμία του ανθρώπου, δηλαδή, να αναιρέσει μεταβολές που δεν του είναι επιθυμητές. Για παράδειγμα, κάποιες βλάβες της υγείας μπορεί να μην αποκαθίστανται, όπως και κάποιες φθορές πολύτιμων αντικειμένων. Αλλά, ο φόβος του δεύτερου νόμου διαπερνά και λειτουργίες που ξεφεύγουν από τα όρια των φυσικών επιστημών και εισχωρούν σε άλλες περιοχές, όπως π.χ. της οικονομίας (γνωστό πια το εφιαλτικό ερώτημα αν η κρίση είναι αναστρέψιμη, ή αν η οικονομική κατάρρευση είναι αναπόφευκτη).

Η ζωή μας είναι γεμάτη αγωνίες για όλων των ειδών τις ισορροπίες που μπορούν να ανατραπούν. Ανησυχούμε για τη φυσική μας κατάσταση, για τη φθορά των υλικών αγαθών που με θυσίες αποκτήσαμε, τις οικονομίες που μαζέψαμε μια ζωή και μπορεί να χαθούν μέσα σε μία νύχτα, την κοινωνική υπόληψη που με κόπο κατακτήσαμε και μπορεί να απειληθεί από έναν λανθασμένο χειρισμό ή μια κακοτυχία... Αυτό που μένει στο τέλος είναι η συνειδητοποίηση ότι **το μη-αντιστρεπτό είναι ο κανόνας του παιχνιδιού** που μας επιτρέπει να παραμένουμε παίκτες στην παρτίδα της ζωής. Και η γνώση αυτή του πεπερασμένου των πραγμάτων μπορεί να οδηγήσει σε ένα **αίσθημα ματαιότητας**: Υπάρχει στ' αλήθεια ευτυχία, ή μήπως πρόκειται απλά για μία συλλογή από σκόρπιες στιγμές καλής ψυχολογικής διάθεσης;

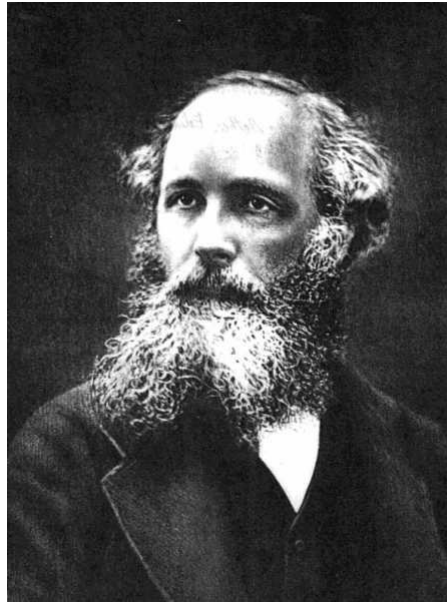
Μια θετική προσέγγιση στο ερώτημα απαιτεί να σταθούμε πάνω από τη συμβατική κοσμική αντίληψη των αξιών. Η ευτυχία δεν είναι υπόθεση καταγραφής συγκυριών αλλά **κατάσταση συνειδητότητας** που υψώνεται πάνω από την επίφαση των καθημερινών πραγμάτων, ώστε να υπερβεί – και τελικά να **ακυρώσει** – την παντοδυναμία του δεύτερου νόμου. Από την άποψη αυτή, ευτυχισμένη ζωή είναι η **πορεία αυτεπίγνωσης** που οδηγεί στην ανακάλυψη του αιώνιου μέσω της υπέρβασης των νόμων του εφήμερου. Σε τελική ανάλυση, η κατάκτηση της ίδιας της **αθανασίας!**

Κώστας Παπαχρήστου

Γεννήθηκε στην Αθήνα και επιμένει να ζει εκεί! Σπούδασε Φυσική στην Αθήνα και στις ΗΠΑ. Τώρα τη διδάσκει σε μεγάλα «παιδιά» (αυτά που επιτρέπεται να βλέπουν ταινίες με την ένδειξη «XX»). Του αρέσει η μουσική, η ποίηση και ο καλός κινηματογράφος. Είναι σπαδός της ΑΕΚ. **Διαβάστε περισσότερες πληροφορίες για τον Κώστα Παπαχρήστου**

Χωρά ο Maxwell σε ένα άτομο υδρογόνου;

Posted on [May 6, 2021](#) by [Costas Papachristou](#)



Γράφει: Κώστας Παπαχρήστου

Εκ πρώτης όψεως, η ατομική θεωρία φαίνεται να παραβιάζει τους νόμους του κλασικού ηλεκτρομαγνητισμού. Και όμως, η κλασική θεωρία της ακτινοβολίας βρίσκει χώρο ακόμα και μέσα σε μία κβαντική δομή όπως το άτομο. Αρκεί να την επανερμηνεύσουμε κατάλληλα...

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία: Ένας θρίαμβος της κλασικής Φυσικής!

Αν αναζητούσαμε την κορυφαία μορφή της θεωρητικής Φυσικής κατά τον δέκατο-ένατο αιώνα, θα καταλήγαμε χωρίς δυσκολία στον James Clerk Maxwell (1831-1879). Μεταξύ των πολλών επιτευγμάτων του, ο Maxwell ενοποίησε τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό σε μία ενιαία ηλεκτρομαγνητική θεωρία και πρόβλεψε την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, χωρίς τα οποία οι επικοινωνίες μας, αλλά ακόμα περισσότερο η ίδια μας η ζωή, θα ήταν αδύνατες. Δυστυχώς, ο Maxwell έφυγε από τη ζωή αρκετά νέος και δεν ευτύχησε να δει, λίγα χρόνια αργότερα, την πειραματική επαλήθευση της θεωρίας του για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα...

Συχνά σκεφτόμαστε τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό σαν δύο ξεχωριστά φαινόμενα. Και, πράγματι, εμφανίζουν μία θεμελιώδη διαφορά: Ένα ηλεκτρικό φορτίο δέχεται ηλεκτρική δύναμη ανεξάρτητα από την κίνησή του, ενώ δέχεται μαγνητική δύναμη μόνο όταν κινείται. Αν ζούσαμε σε έναν εξωπραγματικό κόσμο όπου όλα τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία έμεναν αμετάβλητα μέσα στον χρόνο, δεν θα είχαμε επίγνωση ότι τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά φαινόμενα είναι αλληλένδετα και αμοιβαία εξαρτημένα. Από μαθηματική άποψη, οι περίφημες τέσσερις εξισώσεις του *Maxwell* [1] θα έσπαζαν σε δύο ανεξάρτητα ζευγάρια, ένα για κάθε πεδίο (ηλεκτρικό και μαγνητικό).

Το 1831, όμως, σε μία σειρά πειραμάτων του, ο Michael Faraday ανακάλυψε κάτι ενδιαφέρον: κάθε φορά που ένα μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται χρονικά, ένα ηλεκτρικό πεδίο κάνει απαραίτητα την εμφάνισή του! Αν και δεν υπήρχαν τότε ανάλογες πειραματικές ενδείξεις, ο Maxwell πρόβλεψε πως και το αντίστροφο ήταν αληθές. Δηλαδή, ένα μαγνητικό πεδίο εμφανίζεται κάθε φορά που ένα ηλεκτρικό πεδίο αλλάζει χρονικά. Έτσι, δεν θα έπρεπε στο εξής να ξεχωρίζουμε απόλυτα τα ηλεκτρικά από τα μαγνητικά φαινόμενα, αφού το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο μοιάζουν να είναι σε στενή εξάρτηση μεταξύ τους.

Από ιστορική άποψη, έχουμε εδώ την πρώτη θεωρία ενοποίησης φαινομενικά διαφορετικών δυνάμεων (αλληλεπιδράσεων) – των ηλεκτρικών και των μαγνητικών – σε μία ενιαία *ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση*. Ο εικοστός αιώνας θα διεύρυνε το «κάδρο» της ενοποίησης βάζοντας στο παιχνίδι την ασθενή και την ισχυρή αλληλεπίδραση, και κάνοντας μία ηρωική προσπάθεια να εντάξει στο σχήμα και την δύστροπη βαρύτητα...

Με την μαθηματική ιδιοφυΐα που τον διέκρινε, ο Maxwell κωδικοποίησε τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα με τέσσερις εξισώσεις που περιγράφουν την συμπεριφορά του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στον χώρο και τον χρόνο [1]. Από τις εξισώσεις αυτές προκύπτει το ενδιαφέρον συμπέρασμα ότι το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο έχει κυματικές ιδιότητες. Δηλαδή, μία μεταβολή (διαταραχή) του πεδίου σε κάποιο σημείο του χώρου δεν γίνεται ακαριαία αισθητή σε άλλα σημεία αλλά διαδίδεται μέσω ενός *ηλεκτρομαγνητικού κύματος* που ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός. Ειδικά, το ίδιο το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα που έχει την ιδιότητα να γίνεται αντιληπτό από εμάς για τον λόγο ότι ερεθίζει το αισθητήριο της όρασής μας.

Δεν χρειάζεται, νομίζω, να τονίσω την σημασία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για τη ζωή μας! Μέσω αυτών λαμβάνουμε φως και ζέστη από τον Ήλιο (αλλά, δυστυχώς, και άλλες ακτινοβολίες που είναι βλαπτικές για εμάς), απολαμβάνουμε στερεοφωνική μουσική στο ραδιόφωνο, βλέπουμε ποδοσφαιρικούς αγώνες στην τηλεόραση, επικοινωνούμε με τα κινητά μας τηλέφωνα... Όμως, πώς παράγονται αυτά τα κύματα;

Καταρχήν, λίγη ορολογία: Η διάδοση ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καλείται *ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία*. (Στο εξής θα γράφουμε, σύντομα, «*H/M κύματα*» και «*H/M ακτινοβολία*».) Έτσι, ένα φυσικό σύστημα που εκπέμπει ενέργεια στη μορφή *H/M* κυμάτων λέμε ότι εκπέμπει *H/M* ακτινοβολία ή, απλά, ότι *ακτινοβολεί*. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι τα άτομα, τα μόρια, οι πυρήνες, τα θερμά σώματα, οι κεραίες των ραδιοφωνικών σταθμών, κλπ.

Από μία προσεκτική εξέταση των εξισώσεων του Maxwell προκύπτει ότι η *H/M* ακτινοβολία παράγεται με βασικά δύο τρόπους: (α) με *επιταχυνόμενα μεμονωμένα ηλεκτρικά φορτία*, και (β) με *χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά ρεύματα*. Ειδικά, ένα φορτίο που κινείται με σταθερή ταχύτητα (ευθύγραμμο και ομαλά) δεν ακτινοβολεί. Συνηθίζω να το εξηγώ αυτό στους μαθητές μου χρησιμοποιώντας την παρακάτω παραβολή:

Μια ζεστή μέρα του καλοκαιριού πάτε ως το περίπτερο να αγοράσετε ένα παγωτό. Για να προλάβετε πριν λιώσει, αποφασίζετε να το φάτε στον δρόμο. Βαδίζετε αμέριμνοι σε ένα ευθύγραμμο μονοπάτι με σταθερό βήμα (άρα, με σταθερή ταχύτητα) χωρίς να πάρετε είδηση ένα σμήνος από μέλισσες που σας ακολουθούν πολιορκώντας το παγωτό σας! Όταν ξαφνικά τις αντιλαμβάνεστε, επιταχύνετε την κίνησή σας για να τους ξεφύγετε (είτε τρέχετε πιο γρήγορα προς τα μπρος, είτε απλά αλλάζετε κατεύθυνση πορείας). Τρομαγμένες, τότε, από την κίνησή σας αυτή, κάποιες μέλισσες αποκόπτονται από το σμήνος και πετούν μακριά, χωρίς ποτέ να επιστρέψουν...

Τι σημαίνουν όλα αυτά; Το «παγωτό» είναι ένα ηλεκτρικό φορτίο που αρχικά κινείται με σταθερή ταχύτητα, μεταφέροντας στην κατεύθυνση της κίνησής του την ολική ενέργεια του *H/M* πεδίου του (το «σμήνος των μελισσών»), η οποία ενέργεια μένει σταθερή. Όταν το φορτίο επιταχύνεται, ένα μέρος της ενέργειας αυτής (οι «μέλισσες» που πέταξαν μακριά) αποσπάται, κατά κάποιον τρόπο, και

απομακρύνεται προς το άπειρο με την ταχύτητα του φωτός, υπό μορφή H/M κύματος. Και, όσο πιο μεγάλη είναι η επιτάχυνση του φορτίου, τόσο πιο μεγάλη είναι και η ενέργεια της εκπεμπόμενης H/M ακτινοβολίας στη μονάδα του χρόνου.

Εδώ, τώρα, μπορεί να τεθεί το εξής ερώτημα: Η επιτάχυνση είναι κάτι το σχετικό. Αν ένα φορτίο επιταχύνεται ως προς έναν «ακίνητο» παρατηρητή, αυτός θα βλέπει το φορτίο να εκπέμπει H/M ακτινοβολία. Ένας παρατηρητής, όμως, που κινείται μαζί με το φορτίο – άρα το φορτίο είναι ακίνητο ως προς αυτόν – πώς θα εξηγήσει την ακτινοβολία που αντιλαμβάνεται;

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να θυμηθούμε την έννοια του *αδρανειακού συστήματος αναφοράς* [2]. Είναι ένα σύστημα συντεταγμένων (ή αξόνων) ως προς το οποίο ένα ελεύθερο σωματίο (δηλαδή, ένα σωματίο που δεν του ασκούνται δυνάμεις) είτε κινείται με σταθερή ταχύτητα (ευθύγραμμο και ομαλά) είτε δεν κινείται καθόλου. Ο παρατηρητής που χρησιμοποιεί ένα τέτοιο σύστημα αναφοράς λέγεται *αδρανειακός παρατηρητής*. Με βάση τον Νόμο της Αδράνειας (πρώτο νόμο του Νεύτωνα), δύο αδρανειακοί παρατηρητές κινούνται με σταθερή ταχύτητα (δεν επιταχύνονται) ο ένας ως προς τον άλλον.

Αυτό που πρέπει να θυμόμαστε είναι ότι σε αδρανειακά και μόνο συστήματα αναφοράς ισχύουν οι νόμοι του Νεύτωνα, καθώς και οι νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού. Ειδικά, ένα ηλεκτρικό φορτίο εκπέμπει H/M ακτινοβολία όταν επιταχύνεται ως προς έναν *αδρανειακό* παρατηρητή. Ο παρατηρητής που κινείται μαζί με το φορτίο αυτό δεν είναι αδρανειακός. Έτσι, αν και σε εκείνον το φορτίο φαίνεται ακίνητο, άρα μη-επιταχυνόμενο, δεν έχει το «δικαίωμα» να ερμηνεύει τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα με βάση τις εξισώσεις του Maxwell και, αν επιμείνει να το κάνει, θα φτάσει στο λανθασμένο συμπέρασμα ότι ακόμα και ένα ακίνητο φορτίο ακτινοβολεί! Στην πραγματικότητα, βέβαια, το φορτίο ακτινοβολεί επειδή επιταχύνεται *ως προς τον αδρανειακό παρατηρητή*.

Ο Maxwell ήταν άτυχος που δεν πρόλαβε την θεωρία της σχετικότητας, αφού με βάση αυτήν είναι πολύ εύκολο να αποδειχθεί ότι ένα φορτίο που κινείται με σταθερή ταχύτητα ως προς έναν αδρανειακό παρατηρητή δεν ακτινοβολεί. Ας δούμε πώς:

Έστω φορτίο q που κινείται με σταθερή ταχύτητα (ευθύγραμμο και ομαλά) ως προς έναν αδρανειακό παρατηρητή O . Θεωρούμε και έναν παρατηρητή O' που κινείται

μαζί με το φορτίο, άρα είναι κι αυτός αδρανειακός (αφού κινείται με σταθερή ταχύτητα ως προς τον O). Επειδή το q είναι ακίνητο ως προς τον O' , ο παρατηρητής αυτός θα αντιλαμβάνεται απλά ένα στατικό ηλεκτρικό πεδίο και δεν θα καταγράφει εκπομπή Η/Μ ακτινοβολίας από το q (η Η/Μ ακτινοβολία προϋποθέτει χρονική μεταβολή του Η/Μ πεδίου [1]).

Ας κάνουμε τώρα την υπόθεση ότι ο «ακίνητος» παρατηρητής O , ως προς τον οποίο το q κινείται με σταθερή ταχύτητα, βλέπει το q να ακτινοβολεί. Σύμφωνα με την αρχή της σχετικότητας, η Η/Μ ακτινοβολία διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα c (ταχύτητα του φωτός) σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς. Έτσι, αν ο παρατηρητής O βλέπει ακτινοβολία που διαδίδεται με ταχύτητα c , τότε και ο παρατηρητής O' θα πρέπει να βλέπει την ίδια ακτινοβολία να διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα. Όμως, όπως είπαμε προηγουμένως, ο παρατηρητής O' δεν βλέπει καμία ακτινοβολία! Γιατί οδηγηθήκαμε σε άτοπο; Διότι κάναμε μία λανθασμένη υπόθεση: ότι ο παρατηρητής O βλέπει το φορτίο q να ακτινοβολεί. Συμπέρασμα: το q δεν μπορεί να ακτινοβολεί αν κινείται με σταθερή ταχύτητα ως προς τον αδρανειακό παρατηρητή O .

Σημειώνουμε ότι η επιχειρηματολογία που χρησιμοποιήσαμε καταρρέει αν το q επιταχύνεται ως προς τον O , αφού ο παρατηρητής O' που κινείται μαζί με το φορτίο δεν είναι τώρα αδρανειακός και, συνεπώς, η αρχή της σχετικότητας δεν μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για να συσχετίσει τις παρατηρήσεις των O και O' .

Κλασική Φυσική και ατομική θεωρία: Μία δύσκολη σχέση...

Ένα ατομικό σύστημα αποτελείται από ένα πλήθος θετικά και αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων (πυρήνας και ηλεκτρόνια, αντίστοιχα) τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους με ηλεκτρικές δυνάμεις έτσι ώστε το σύστημα να είναι *ευσταθές* (να διατηρεί την ταυτότητά του) για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα.

Όπως μπορεί να αποδειχθεί, ένα σύστημα φορτισμένων σωματιδίων δεν είναι δυνατό να βρίσκεται σε στατική ισορροπία κάτω από την επίδραση ηλεκτρικών δυνάμεων. Τα σωματίδια θα πρέπει να βρίσκονται σε κίνηση και, επειδή ο χώρος της κίνησής τους είναι περιορισμένος, η διεύθυνση της ταχύτητάς τους θα πρέπει να μεταβάλλεται συνεχώς. Με άλλα λόγια, τα σωματίδια θα έχουν (τουλάχιστον κεντρομόλο) επιτάχυνση.

Όμως, σύμφωνα με την κλασική θεωρία, κάθε επιταχυνόμενο φορτίο εκπέμπει Η/Μ ακτινοβολία χάνοντας διαρκώς ενέργεια. Έτσι, μέσα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα το σύστημα θα πρέπει να συρρικνώνεται και να καταρρέει, χάνοντας τελικά την ταυτότητά του. Κάτι τέτοιο (ευτυχώς!) δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα, αφού τα ατομικά συστήματα είναι ευσταθή.

Ένα άλλο φαινόμενο που απαιτεί εξήγηση είναι ότι τα ατομικά συστήματα εκπέμπουν και απορροφούν την Η/Μ ακτινοβολία με τρόπο *επιλεκτικό*. Δηλαδή, κάθε τέτοιο σύστημα απορροφά και εκπέμπει συγκεκριμένες μόνο συχνότητες ακτινοβολίας. Όπως λέμε, το φάσμα εκπομπής και απορρόφησης του συστήματος είναι *γραμμικό*. Αυτό η κλασική Φυσική επίσης αδυνατεί να το εξηγήσει.

Εκεί που αποτυγχάνει η κλασική θεωρία, αναλαμβάνει δράση η κβαντική. Ας εξετάσουμε πώς συμβαίνει αυτό, παίρνοντας σαν παράδειγμα το απλούστερο ατομικό σύστημα: το άτομο του υδρογόνου. Και, πριν απ' όλα, ας δούμε και πάλι γιατί ένα τέτοιο σύστημα δεν είναι δυνατό να μελετηθεί με όρους κλασικής Φυσικής.

Μοντέλο του Rutherford: Μία σημαντική αρχή, με προβληματικά συμπεράσματα...

Το πρώτο σύγχρονο μοντέλο του ατόμου προτάθηκε το 1911 από τον Ernest Rutherford. Στην απλούστερη περίπτωση, αυτή του ατόμου του υδρογόνου, το μοναδικό ηλεκτρόνιο κινείται κυκλικά γύρω από τον πυρήνα (πρωτόνιο) με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και αυθαίρετη ακτίνα τροχιάς.

Η εικόνα θυμίζει την κίνηση ενός πλανήτη γύρω από τον Ήλιο, ή ενός δορυφόρου γύρω από έναν πλανήτη. Με μία βασική διαφορά: στην περίπτωση του ατόμου, η κίνηση οφείλεται σε Η/Μ αλληλεπίδραση (την δύναμη Coulomb ανάμεσα σε πρωτόνιο και ηλεκτρόνιο) και όχι στη βαρύτητα, όπως συμβαίνει στα πλανητικά συστήματα. Και, επειδή το ηλεκτρόνιο έχει κεντρομόλο επιτάχυνση λόγω της συνεχούς μεταβολής στη διεύθυνση της κίνησής του, η κλασική θεωρία προβλέπει ότι το άτομο θα πρέπει να εκπέμπει συνεχώς Η/Μ ακτινοβολία χάνοντας ενέργεια, με αποτέλεσμα η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς του ηλεκτρονίου να μειώνεται ολοένα [1] ώσπου τελικά το ηλεκτρόνιο να μεταπέσει μέσα στον πυρήνα του ατόμου. Και η μετάπτωση αυτή, που θα σήμαινε ολική κατάρρευση του ατόμου, θα συνέβαινε μέσα σε απειροελάχιστο χρονικό διάστημα! Κάτι τέτοιο, βέβαια, δεν παρατηρείται στην

πραγματικότητα: το άτομο του υδρογόνου – όπως και εκείνα των υπόλοιπων στοιχείων – είναι δομή ευσταθής.

Η ιστορία, όμως, έχει και συνέχεια. Καθώς θα μεταβάλλονταν συνεχώς η ακτίνα της τροχιάς του ηλεκτρονίου και η ενέργεια του ατόμου, με ομοίως συνεχή τρόπο θα μεταβαλλόταν και η συχνότητα της H/M ακτινοβολίας που θα εξέπεμπε το άτομο [1]. Όπως όμως αναφέραμε προηγουμένως, τα άτομα δεν φαίνεται να εκπέμπουν ακτινοβολία κατά τρόπο συνεχή, αλλά κάθε άτομο εκπέμπει επιλεκτικά συγκεκριμένες συχνότητες ακτινοβολίας, χαρακτηριστικές του ατόμου. Δηλαδή, τα φάσματα εκπομπής των ατόμων (όπως επίσης και των μορίων) είναι γραμμικά.

Το μοντέλο του Rutherford, λοιπόν, αν και αποτέλεσε ένα πρώτο σημαντικό βήμα στην κατανόηση της ατομικής δομής, δεν εξηγεί τόσο την ευστάθεια, όσο και την γραμμικότητα του φάσματος εκπομπής των ατόμων. Και εδώ μπαίνει στη σκηνή η κβαντική θεωρία. Με τις αρχικές αδυναμίες της κι αυτή...

Μοντέλο του Bohr: «Παντρέοντας» κλασικές με κβαντικές ιδέες...

Το 1913 ο Niels Bohr επιχείρησε να «διορθώσει» τις αδυναμίες του μοντέλου του Rutherford για το άτομο του υδρογόνου, προτείνοντας ένα μοντέλο που συνδύαζε κλασικές έννοιες όπως η τροχιά ενός σωματιδίου, με νεωτεριστικές ιδέες όπως ο κβαντισμός της στροφορμής και της ενέργειας.

Ο Bohr εμπλούτισε το μοντέλο του Rutherford για το υδρογόνο, προσθέτοντας δύο αξιώματα:

1. Το ηλεκτρόνιο δεν επιτρέπεται να διαγράφει αυθαίρετες τροχιές γύρω από τον πυρήνα, αλλά πρέπει να κινείται σε κυκλικές τροχιές με αυστηρά καθορισμένες ακτίνες. Στις τροχιές αυτές το ηλεκτρόνιο δεν εκπέμπει H/M ακτινοβολία, και η ενέργεια του ατόμου είναι καθορισμένη και σταθερή.

2. Το άτομο ακτινοβολεί μόνο όταν το ηλεκτρόνιο μεταπίπτει από μία τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας σε μία τροχιά μικρότερης ενέργειας, με παράλληλη μείωση της ακτίνας της τροχιάς του ηλεκτρονίου. Η ενέργεια ακτινοβολείται στη μορφή ενός φωτονίου.

Η θεωρία του Bohr εξηγεί την γραμμικότητα του φάσματος εκπομπής του υδρογόνου, προβλέποντας σωστά και τις συχνότητες της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η γραμμικότητα αυτή εξηγείται με απλό τρόπο ως εξής: Σε μία μετάπτωση του ηλεκτρονίου από μία τροχιά ενέργειας E σε μία τροχιά μικρότερης ενέργειας E' , το άτομο εκπέμπει ενέργεια στη μορφή ενός φωτονίου συχνότητας $\nu = (E - E')/h$, όπου h η σταθερά του Planck. Και, επειδή τα E και E' παίρνουν διακριτές και όχι αυθαίρετες τιμές (δηλαδή, η ενέργεια του ατόμου είναι *κβαντισμένη*), το ίδιο θα ισχύει και για τις συχνότητες ν της εκπεμπόμενης H/M ακτινοβολίας. Έτσι, ο κβαντισμός της ενέργειας είναι στενά συνδεδεμένος με την γραμμικότητα του ατομικού φάσματος εκπομπής.

Το μοντέλο του Bohr «πάσχει» σε δύο, κυρίως, σημεία:

1. Ενώ προβλέπει σωστά το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου, αδυνατεί να κάνει το ίδιο για άτομα με δύο ή περισσότερα ηλεκτρόνια.
2. Αφήνει ανεξήγητο το ότι στις επιτρεπτές τροχιές του το ηλεκτρόνιο, αν και έχει κεντρομόλο επιτάχυνση, δεν ακτινοβολεί, παραβιάζοντας έτσι τους νόμους του κλασικού ηλεκτρομαγνητισμού.

Και στα δύο αυτά ζητήματα δίνει απαντήσεις η *κβαντομηχανική*. Θα επικεντρωθούμε εδώ στο δεύτερο.

Πώς η κβαντομηχανική συμφιλιώνει τον Maxwell με τον Bohr!

Σύμφωνα με τον κλασικό ηλεκτρομαγνητισμό, ένα σημειακό φορτίο που εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση εκπέμπει ακτινοβολία λόγω της κεντρομόλου επιτάχυνσής του. Αντίθετα, ένα κυκλικό ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής έντασης δεν ακτινοβολεί, αφού το H/M πεδίο που παράγει είναι απλά ένα στατικό μαγνητικό πεδίο. Και, όπως αναφέραμε νωρίτερα, η H/M ακτινοβολία προϋποθέτει χρονική μεταβολή του H/M πεδίου [1].

Όμως, στην κβαντομηχανική η εικόνα ενός σημειακού φορτίου που κινείται σε καθορισμένη τροχιά στερείται νοήματος, αφού η *αρχή της αβεβαιότητας* δεν επιτρέπει να γνωρίζουμε την ακριβή θέση και την ακριβή ταχύτητα ενός σωματιδίου του μικρόκοσμου. Στη θέση των τροχιών, η κβαντομηχανική μιλά για *στάσιμες καταστάσεις* με καλά καθορισμένες ενέργειες. Και, στη θέση της κίνησης ενός

ηλεκτρονίου σε καθορισμένη τροχιά γύρω από τον πυρήνα, η θεωρία προτείνει ένα «*ρεύμα πιθανότητας*» που σχετίζεται με όλες τις θέσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο κατά την κίνησή του. Όταν το ηλεκτρόνιο βρίσκεται σε μία από τις στάσιμες καταστάσεις, το αντίστοιχο ρεύμα πιθανότητας είναι *χρονικά σταθερό*.

Επί πλέον – και αυτή είναι μία κρίσιμη υπόθεση – το ρεύμα πιθανότητας μπορεί να θεωρηθεί ως μαθηματικά ανάλογο ενός *ηλεκτρικού ρεύματος* γύρω από τον πυρήνα του ατόμου. Σε μία στάσιμη κατάσταση, το ηλεκτρικό ρεύμα αυτό είναι χρονικά σταθερό. Και, σύμφωνα με την κλασική θεωρία, ένα σταθερό ρεύμα δεν αποτελεί πηγή εκπομπής H/M ακτινοβολίας.

Ας πάμε, ειδικά, στο άτομο του υδρογόνου. Οι επιτρεπτές τροχιές του Bohr, σε κάθε μία εκ των οποίων το ηλεκτρόνιο έχει καλά καθορισμένη ενέργεια, αντιστοιχούν στις στάσιμες καταστάσεις της κβαντομηχανικής. Και, όπως προαναφέραμε, στις καταστάσεις αυτές η κίνηση του ηλεκτρονίου είναι ισοδύναμη με ένα ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής έντασης. Έτσι, στις «καταστάσεις Bohr» το άτομο δεν ακτινοβολεί, εκτός αν το ηλεκτρόνιο μεταπέσει από μία κατάσταση υψηλότερης ενέργειας σε μία κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας, οπότε το άτομο θα εκπέμψει ένα φωτόνιο συχνότητας ανάλογης με τη διαφορά ενέργειας ανάμεσα στις δύο καταστάσεις.

Όταν, τώρα, το άτομο του υδρογόνου δεν υπόκειται σε εξωτερική διέγερση, το ηλεκτρόνιό του «προτιμά» να βρίσκεται στη στάσιμη κατάσταση με την χαμηλότερη δυνατή ενέργεια, αντίστοιχη της πρώτης (θεμελιώδους) τροχιάς του Bohr. Και, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω μεταπτώσεων, το ηλεκτρόνιο παραμένει επ' αόριστον στη θεμελιώδη κατάσταση, ενώ το άτομο δεν έχει πλέον τη δυνατότητα να ακτινοβολεί. Η ενέργεια του ατόμου μένει, έτσι, σταθερή, και το άτομο αποφεύγει την κατάρρευση.

Αντικαθιστώντας, λοιπόν, τις ημι-κλασικές τροχιές Bohr με τις στάσιμες καταστάσεις της κβαντομηχανικής, και θεωρώντας ότι το κβαντικό ρεύμα πιθανότητας είναι ανάλογο ενός πραγματικού ηλεκτρικού ρεύματος που περιβάλλει τον πυρήνα του ατόμου, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το άτομο του υδρογόνου είναι ευσταθές σύστημα. Και, το συμπέρασμα αυτό είναι σύμφωνο με μία καθαρά κλασική αρχή: ότι ένα χρονικά σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα δεν ακτινοβολεί ενέργεια. Παρά την αρχική αμηχανία τού Rutherford, ο Maxwell και ο Bohr μπορούν, τελικά, να γίνουν φίλοι!

Επίλογος

Από φιλοσοφική άποψη, θα λέγαμε ότι η κβαντομηχανική όχι μόνο δεν καταργεί τον Maxwell σε ό,τι αφορά τα φαινόμενα του μικρόκοσμου, αλλά κατ' ουσίαν τον δικαιώνει. Αρκεί, βέβαια, να επανεξεταστούν «αυτονόητες» έννοιες της κλασικής Φυσικής, όπως η τροχιά ενός σωματιδίου ως γεωμετρικός τόπος επακριβώς καθορισμένων σημείων από τα οποία το σωματίδιο διέρχεται σε απόλυτα καθορισμένες χρονικές στιγμές. Η επανεξέταση αυτή επιβάλλεται λόγω της αρχής της αβεβαιότητας, σύμφωνα με την οποία δεν επιτρέπεται να γνωρίζουμε λεπτομέρειες του μικρόκοσμου σε τάξη μεγέθους συγκρίσιμη με (ή μικρότερη από) εκείνη της σταθεράς του Planck.

Αν σκεφτούμε ότι τον ηλεκτρομαγνητισμό του Maxwell δεν αμφισβήτησε ούτε η θεωρία της σχετικότητας (κάτι που έκανε για την νευτώνεια μηχανική), καταλαβαίνουμε γιατί ο μεγάλος αυτός επιστήμονας του 19ου αιώνα δικαίως μπορεί να χαρακτηριστεί ως ο κορυφαίος θεωρητικός Φυσικός πριν τον Αϊνστάιν!

[1] C. J. Papachristou, *Introduction to Electromagnetic Theory and the Physics of Conducting Solids* (Springer, 2020),

<http://metapublishing.org/index.php/MP/catalog/book/52>

Βλ. και [ελληνική έκδοση](#)

[2] C. J. Papachristou, *Introduction to Mechanics of Particles and Systems* (Springer, 2020),

<http://metapublishing.org/index.php/MP/catalog/book/68>

Βλ. και [ελληνική έκδοση](#)

Η εγγενής απροσδιοριστία στο φαινόμενο Χίτλερ: Μια «κβαντομηχανική» θεώρηση της Ιστορίας



Παπαχρήστου Κώστας

| 15.05.2019 - 10:50



Στις αρχές του εικοστού αιώνα έλαβαν χώρα δύο μεγάλες επαναστάσεις στην επιστήμη της Φυσικής, οι οποίες άλλαξαν για πάντα τον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο που μας περιβάλλει. Πρόκειται για την Κβαντική Θεωρία και την Θεωρία της Σχετικότητας. Στη συνέχεια – επειδή ο Άνθρωπος

είναι από τη φύση του είδος αυτοκαταστροφικό – συνέβησαν και δύο παγκόσμιοι πόλεμοι που ανέδειξαν τις πιο σκοτεινές πλευρές της ανθρώπινης φύσης. Αν κάποιος, τώρα, κοιτάξει με φιλοσοφική διάθεση τα ιστορικά γεγονότα, θα διαπιστώσει ότι Ιστορία και Φυσική διαπλέκονται με έναν τρόπο σχεδόν μεταφυσικό...

Ας ξεκινήσουμε με την επιστήμη. Η Κβαντομηχανική και η Σχετικότητα προκάλεσαν ρήγματα στην ιερή, ως τότε, και μη επιδεχόμενη αμφισβήτηση Νευτώνεια Μηχανική. Σύμφωνα με τις νέες θεωρίες, η κλασική θεωρία του Νεύτωνα έπασχε σε περιοχές που δεν είναι εύκολα προσεγγίσιμες μέσα στα όρια της καθημερινής μας εμπειρίας. Συγκεκριμένα, η νευτώνεια θεωρία αποτυγχάνει να ερμηνεύσει τα φαινόμενα που σχετίζονται με τον μικρόκοσμο των υποατομικών σωματιδίων, όπως και εκείνα που αφορούν κινήσεις σωμάτων με πάρα πολύ υψηλές ταχύτητες. Ακόμα και η κλασική θεωρία της βαρύτητας, επίσης πνευματικό κληροδότημα του Νεύτωνα, βρέθηκε πως ήθελε σημαντική τροποποίηση. Ο Αϊνστάιν επέλεξε να την καταργήσει ολότελα, αντικαθιστώντας την με μία γεωμετρική θεωρία: την Γενική Σχετικότητα.

Στο δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα μία ακόμα επανάσταση ήρθε να κλονίσει τις ευτυχείς βεβαιότητες της νευτώνειας μηχανικής. Η Θεωρία του Χάους έδειξε ότι μερικά ασταθή φυσικά ή μαθηματικά συστήματα είναι άκρως μη προβλέψιμα στη χρονική τους εξέλιξη, αφού μία απειροελάχιστη διαφοροποίηση στο αίτιο μπορεί να επιφέρει τεράστια απόκλιση στο αιτιατό. (Οι μαθηματικοί μιλούν για «ευαίσθητη εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες».) Έτσι, για παράδειγμα, το τίναγμα των φτερών μιας πεταλούδας στο Πεκίνο θα μπορούσε, θεωρητικά, να προκαλέσει μετά από κάποιο χρονικό διάστημα έναν ανεμοστρόβιλο στο Τέξας (αυτό που ονομάζουμε «φαινόμενο της πεταλούδας»). Γενικά, η απουσία προβλεψιμότητας σε καταρχήν ντετερμινιστικά (αιτιοκρατικά) συστήματα συνιστά αυτό που στη φυσικομαθηματική επιστήμη καλείται «χάος».

Σε ό,τι αφορά τον μικρόκοσμο, η έννοια του ντετερμινισμού είχε ήδη καταρρεύσει από τις αρχές του αιώνα με την ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας, κεντρική θέση στην οποία κατέχει η «αρχή της αβεβαιότητας». Υπάρχει όμως μία βασική διαφορά ανάμεσα στις δύο θεωρίες που προαναφέρθηκαν. Το χάος δεν αρνείται την καταρχήν, την εν δυνάμει προβλεψιμότητα. Διαπιστώνει όμως ότι, στα χαοτικά συστήματα, ένα απόλυτα ντετερμινιστικό αποτέλεσμα θα απαιτούσε πρακτικά άπειρη ακρίβεια στον καθορισμό των αρχικών συνθηκών, άρα άπειρη ακρίβεια στη διαδικασία των μετρήσεων, πράγμα ακατόρθωτο στην πράξη. (Και μία απειροελάχιστη διαφοροποίηση στον τρόπο που η πεταλούδα

τινάξει τα φτερά της θα μπορούσε, τελικά, να σώσει το Τέξας από έναν πιθανό ανεμοστρόβιλο!)

Στην κβαντική θεωρία, από την άλλη μεριά, η μη-προβλεψιμότητα (η κατάρρευση του ντετερμινισμού) δεν σχετίζεται με την όποια αδυναμία του ανθρώπου να βελτιώσει την ακρίβεια των εργαστηριακών μετρήσεών του. Ακόμα και τα τελειότερα όργανα μέτρησης δεν θα μπορούσαν να ξεπεράσουν τους περιορισμούς που επιβάλλει η αρχή της αβεβαιότητας, η οποία θέτει ένα απόλυτο όριο στην ακρίβεια με την οποία μπορούμε να γνωρίσουμε τη συμπεριφορά ενός συστήματος του μικρόκοσμου. Είναι νόμος της Φύσης ότι δεν επιτρέπεται να την γνωρίσουμε στις παραμικρότερες λεπτομέρειές της! Το μόνο που μας επιτρέπεται είναι μία πιθανοκρατική ερμηνεία των φαινομένων, η οποία καταργεί την απόλυτα καθορισμένη σχέση αιτίου – αποτελέσματος.

Μετά την σύντομη περιδιάβαση στις σημαντικότερες φυσικές θεωρίες του εικοστού αιώνα, ας επιχειρήσουμε να εξετάσουμε πώς σχετίζονται αυτές με τα ιστορικά γεγονότα της περιόδου. Ο όποιος αναλογικός συσχετισμός δεν εντάσσει, φυσικά, την Ιστορία στη Φυσική Επιστήμη, θα μπορούσε όμως να οδηγήσει σε έναν διαφορετικό τρόπο θεώρησης (και ίσως μία βαθύτερη κατανόηση) των ιστορικών γεγονότων, δεσπόζουσα θέση ανάμεσα στα οποία κατέχουν οι δύο παγκόσμιοι πόλεμοι. Ειδικότερα, το μεγαλύτερο μαζικό έγκλημα της Ιστορίας, που έλαβε χώρα στον δεύτερο από αυτούς...

Συμπληρώθηκαν πέρυσι 100 χρόνια από το τέλος του «Μεγάλου Πολέμου», όπως αποκλήθηκε στην εποχή του ο Πρώτος Παγκόσμιος Πόλεμος (1914–1918). Όπως γράψαμε σε προηγούμενα σημειώματα [1,2] ο πόλεμος αυτός ήταν γεμάτος κρίσιμα γεγονότα όπου η πλάστιγγα ισορροπούσε κυριολεκτικά στην κόψη του ξυραφιού. Ποικίλοι αστάθμητοι παράγοντες έκριναν την έκβαση μιας μάχης που, αν το αποτέλεσμα της ήταν διαφορετικό, ο πόλεμος θα μπορούσε να είχε πάρει αντίθετη τροπή και η Ιστορία στη συνέχεια ίσως είχε γραφεί διαφορετικά. (Ας θυμηθούμε την πρώτη κιόλας κρίσιμη μάχη του πολέμου, εκείνη στον Μάρνη.) Προσεκτικά εκπονημένα στρατιωτικά σχέδια (κυρίως των Γερμανών, όπως το σχέδιο Schlieffen) κατέρρεαν το ένα μετά το άλλο και κάθε έννοια προβλεψιμότητας είχε χαθεί. Ο «γρήγορος» πόλεμος που θα διαρκούσε «μέχρι τα Χριστούγεννα» μετατράπηκε, έτσι, στο ανελέητο τετραετές σφαγείο των χαρακωμάτων...

Θα μπορούσε κάποιος να πει ότι τα χαρακτηριστικά αυτού του πολέμου παραπέμπουν στο χαοτικό φαινόμενο της πεταλούδας που αναφέραμε πιο πάνω.

Στον Μεγάλο Πόλεμο η μηχανή του χάους πήρε μπρος από την πρώτη κιόλας πιστολιά, όταν ο νεαρός Σερβοβόσνιος εθνικιστής Gavrilo Princip δολοφόνησε στο Σαράγεβο τον διάδοχο του αυστροουγγρικού θρόνου και την σύζυγό του τον Ιούνιο του 1914. Η «πεταλούδα» του πολέμου τίναξε τα φτερά της ενεργοποιώντας ένα απίστευτο ντόμινο γεγονότων που παρόμοιο δεν έχει να επιδείξει η Ιστορία. Η μία μετά την άλλη οι Μεγάλες Δυνάμεις σύρονταν στη δίνη του πολέμου με τη δύναμη μιας νομοτέλειας που ήταν αποτέλεσμα ατέλειωτων ωρών μυστικής διπλωματίας, ακολουθώντας στρατηγικά πλάνα που, όπως πίστευαν, θα οδηγούσαν την κάθε πλευρά στη «σίγουρη» νίκη.

Με το πλεονέκτημα της εκ των υστέρων σοφίας, βέβαια, γνωρίζουμε τώρα τις ατέλειες όλων των στρατηγικών σχεδιασμών της εποχής, οι οποίοι δεν έλαβαν υπόψη μία σειρά παραμέτρων που, όσο κι αν τότε δεν φαίνονταν σημαντικές, αποδείχθηκαν εξόχως κρίσιμες στη συνέχεια. Και τα χαρακώματα έγιναν έτσι το υπέρτατο σύμβολο της άσκοπης θυσίας, αλλά και ένα εφιαλτικό ανάλογο της θεωρίας του χάους...

Χαοτικά φαινόμενα καθόρισαν και την πορεία ζωής του Αδόλφου Χίτλερ και, κατ' επέκταση, τη μοίρα της ανθρωπότητας κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Θα είχε γίνει ζωγράφος, αντί πολιτικός, αν τον είχαν δεχθεί στην Ακαδημία Καλών Τεχνών της Βιέννης... Θα μπορούσε να είχε σκοτωθεί νωρίς αν η σφαίρα είχε βρει αυτόν, αντί τον παραπλεύρως ευρισκόμενο Max Scheubner-Richter, στο «Πραξικόπημα της Μπυραρίας» στο Μόναχο το 1923...

Το μαζικό έγκλημα του Ολοκαυτώματος, όμως, που έλαβε χώρα ενώ μαίνονταν οι μάχες στα πολεμικά μέτωπα απαιτεί μία διαφορετική – θα λέγαμε, μια «κβαντική» – προσέγγιση. Για να προϊδεάσω τον αναγνώστη θα πω επιγραμματικά ότι, αν η κβαντική θεωρία είναι το τέλος του ντετερμινισμού στη Φυσική, ο Χίτλερ και ό,τι τον αντιπροσωπεύει είναι το τέλος του ντετερμινισμού στην Ιστορία!

Σε παλιότερο σημείωμα [3] είχαμε επιχειρήσει να ερμηνεύσουμε το αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι, στη συντριπτική πλειοψηφία των ανθρώπινων συνειδήσεων, η μορφή του Χίτλερ δεσπάζει πάντα ως η ενσάρκωση του απόλυτου, του ακραίου Κακού. Όπως είχαμε αναφέρει, στο βιβλίο “Explaining Hitler” (ελληνική έκδοση: «Ερμηνεύοντας τον Χίτλερ») ο Αμερικανός δημοσιογράφος και ιστορικός Ron Rosenbaum αναζητά τα αληθινά κίνητρα του Χίτλερ πίσω από το Ολοκαύτωμα. Ή, για να το θέσουμε ακριβέστερα, επιχειρεί μία κριτική εξέταση των ερμηνειών που έχουν δοθεί πάνω σε αυτό το ζήτημα. Το

τελικό συμπέρασμα του βιβλίου είναι απογοητευτικό: Ακόμα κι αν υποτεθεί ότι ο Χίτλερ είναι εν δυνάμει εξηγήσιμος, η ευκαιρία να τον εξηγήσουμε έχει πια οριστικά χαθεί!

Θέτουμε, όμως, τώρα ένα νέο ερώτημα που, αν ιδωθεί ως ρητορικό, θα μας οδηγήσει σε ένα ακόμα πιο απογοητευτικό συμπέρασμα: Είναι, τελικά, ο Χίτλερ – αν μη τι άλλο – εν δυνάμει εξηγήσιμος, όπως υποθέσαμε πιο πάνω; Και η εξήγηση δεν αφορά μόνο τα βαθύτερα κίνητρά του που οδήγησαν στη μεγαλύτερη μαζική δολοφονία των αιώνων, αλλά και στον δαιμονικό, σχεδόν μεταφυσικό τρόπο που ένας και μόνο άνθρωπος κατόρθωσε να «υπνωτίσει» ένα μεγάλο έθνος με τεράστια πολιτιστική παράδοση, συμπαρασύροντάς το πρώτα στην (παθητική ή ενεργητική) συννεοχή στο έγκλημα, και μετά στον όλεθρο.

Υπάρχουν, φυσικά, λογικοφανείς εξηγήσεις, όπως η ακραία οικονομική κρίση στη Γερμανία μετά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο (ιδιαίτερα, μάλιστα, μετά το χρηματιστηριακό κραχ στις ΗΠΑ το 1929), ο εμμονικός τιμωρητισμός των Γάλλων που πλήγωσε το γερμανικό φιλότιμο, η αναζήτηση «αποδιοπομπαίων τράγων» για την ήττα του 1918, η γερμανική απέχθεια για τον εβραϊκό καπιταλισμό, κλπ. Ας μου επιτραπεί να πω ότι, όσο και αν τα παραπάνω ακούγονται λογικά, δεν μπορούν να προσφέρουν πειστική εξήγηση για τον απρόκλητο φόνο έξι εκατομμυρίων άοπλων ανθρώπων, σε βάρος μάλιστα των παράλληλων πολεμικών επιχειρήσεων που διεξήγαν οι Γερμανοί στη Ρωσία. Η αποτυχία των οποίων επιχειρήσεων σήμανε και την αρχή του τέλους για τον Χίτλερ και το ναζιστικό καθεστώς του...

Όμως, γιατί αδυνατούμε να ερμηνεύσουμε πειστικά κι απόλυτα τον Χίτλερ; Μία προφανής απάντηση είναι αυτή που δίνει ο Rosenbaum: μας λείπει κρίσιμη πληροφορία, μας λείπουν δεδομένα που χάθηκαν τυχαία ή και σκόπιμα καταστράφηκαν. Μια τρομακτικότερη, εναλλακτική θεώρηση είναι ότι ο Χίτλερ αποτελεί ίσως μία πεπερασμένη μεταφυσική παρέκβαση της Ιστορίας, στη διάρκεια της οποίας καταπαύει ο μηχανισμός της ιστορικής αιτιότητας έτσι ώστε οποιαδήποτε λογική σύνδεση του αποτελέσματος (Ολοκαύτωμα) με το αίτιο που το προκάλεσε να είναι καταρχήν αδύνατη.

Το πρόβλημα, λοιπόν, ίσως δεν είναι ότι μας λείπουν τα στοιχεία πληροφορίας που απαιτούνται για να ερμηνεύσουμε τον Χίτλερ αλλά ότι, τελικά, ο Χίτλερ είναι εξ ορισμού μη ερμηνεύσιμος. Όπως εξ ορισμού (και όχι λόγω εργαστηριακής αδυναμίας μας) είναι αδύνατο να γνωρίσουμε την κίνηση ενός ηλεκτρονίου μέσα σε ένα άτομο. Η Φύση κρατά καλά κρυμμένα τα μυστικά του

μικρόκοσμου. Το ίδιο, ίσως, και η Ιστορία σε ό,τι αφορά το βαθύτερο «γιατί» των εγκλημάτων του ναζισμού. Η αρχή της αβεβαιότητας ξεφεύγει, θα λέγαμε, από τα συγγράμματα της κβαντομηχανικής και εισχωρεί στα βιβλία της Ιστορίας. Ή, τουλάχιστον, στα κεφάλαια που αφορούν την πιο σκοτεινή περίοδο της ανθρωπότητας...

Εν κατακλείδι, ο Χίτλερ μοιάζει να καταργεί προσωρινά τον ιστορικό ντετερμινισμό με όμοιο τρόπο όπως η κβαντική θεωρία καταργεί τον αντίστοιχο νευτώνειο. Τονίζω τη λέξη «μοιάζει», αφού το παρόν κείμενο απλά διατυπώνει σκέψεις, δεν αναγγέλλει αδιάσειστες επιστημονικές θεωρήσεις. Πρέπει, όμως, κάπου να αποδώσουμε το γεγονός ότι, μετά από δεκαετίες επίμονης και επίπονης έρευνας, η ιστορική επιστήμη δεν έχει ακόμα κατορθώσει να ξεσκεπάσει απόλυτα το πέπλο που καλύπτει τα βαθύτερα αίτια του Ολοκαυτώματος.

Σύμφωνα με τον Εβραίο φιλόσοφο και θεολόγο Emil Fackenheim (1916–2003) ο Χίτλερ αντιπροσωπεύει ένα «θεμελιώδες Κακό», μια «έκρηξη δαιμονισμού στην Ιστορία» που τον τοποθετεί πέρα ακόμα και από το τελευταίο άκρο στο συνεχές της ανθρώπινης φύσης [3]. Είναι ένα φαινόμενο έξω από τα ανθρώπινα μέτρα, του οποίου το νόημα δεν πρέπει να αναζητήσουμε στην Ιστορία ή την Κοινωνιολογία αλλά στη Θεολογία, αφού η εξήγησή του – αν υπάρχει – μπορεί να είναι γνωστή μόνο στον Θεό.

Με άλλα λόγια, ο Χίτλερ είναι μία έννοια που ανήκει στην περιοχή της μεταφυσικής. Αλλά, ακόμα κι αν επιχειρούσαμε να τον μελετήσουμε στο πλαίσιο μιας φυσικής πραγματικότητας, η αληθινή του φύση θα κρυβόταν πίσω από κάτι που θυμίζει την αρχή της αβεβαιότητας στην Κβαντομηχανική. Σε κάθε περίπτωση, θα παρέμενε ουσιαστικά άγνωστος...

Αναφορές

[1] Οι «ένοχοι» του Μεγάλου Πολέμου

[2] Ζωή εν τάφω: Μικρό χρονικό ενός «Μεγάλου Πολέμου»

[3] Ο Χίτλερ και η φιλοσοφική θεώρηση του κακού

** Ο Δρ. Κ. Παπαχρήστου είναι μέλος ΔΕΠ στον Τομέα Φυσικών Επιστημών της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων.*

Είναι ο «γερμανικός χαρακτήρας» η εξήγηση για το Ολοκαύτωμα;

Είναι η «γερμανικότητα» η απάντηση στην θέση ότι ο ναζισμός καταργεί την ιστορική αιτιότητα;



Παπαχρήστου Κώστας
26.11.2019, 07:35



Σε προηγούμενο σημείωμα [1] είχαμε αναφερθεί στην απουσία μίας πειστικής εξήγησης σε ό,τι αφορά τα βαθύτερα αίτια του ναζιστικού εγκλήματος του **Ολοκαυτώματος**. Εξίσου μυστηριώδης (στο όριο του μεταφυσικού) είναι ο **δαιμονικός τρόπος** με τον οποίο ένας και μόνο «άνθρωπος» κατόρθωσε να ενορχηστρώσει το έγκλημα αυτό, οδηγώντας έναν λαό με μεγάλη πολιτιστική

παράδοση στην – άμεση ή έμμεση – συνενοχή στη δολοφονία έξι εκατομμυρίων αθώων.

Κατά μία άποψη (βλ., π.χ., εκείνη του **Ron Rosenbaum** [2]) αυτή η έλλειψη μονοσήμαντης ιστορικής ερμηνευτικής δυνατότητας οφείλεται στο ότι δεν έχουμε πλέον στη διάθεσή μας κρίσιμα ιστορικά ντοκουμέντα τα οποία έχουν τυχαία χαθεί ή σκόπιμα καταστραφεί.

Μία **εναλλακτική εκδοχή** την οποία διατυπώσαμε [1] και η οποία ίσως φαντάζει αιρετική και ανορθόδοξη, είναι η ακόλουθη: Η απροσδιοριστία είναι **εγγενής ιδιότητα** στο φαινόμενο «*Χίτλερ*» και δεν οφείλεται σε συγκυριακές καταστάσεις που οδήγησαν σε απώλεια ιστορικών αποδεικτικών στοιχείων. Δανειζόμενοι ιδέες από τις φυσικές επιστήμες θα λέγαμε ότι, αν θεωρήσουμε πως η κβαντική θεωρία καταργεί τον ντετερμινισμό (αιτιοκρατία) στη Φυσική, με ανάλογο τρόπο **ο Χίτλερ καταργεί τον ντετερμινισμό στην Ιστορία!**

Ψήφος αποδήμων : Ποια είναι η άποψη των Ελλήνων της Βρετανίας

Αν η πιο πάνω εκδοχή έχει πραγματική βάση, ο Χίτλερ αποτελεί ίσως μία πεπερασμένη μεταφυσική παρέκβαση της Ιστορίας, στη διάρκεια της οποίας **καταπαύει ο μηχανισμός της ιστορικής αιτιότητας** έτσι ώστε οποιαδήποτε λογική σύνδεση του αποτελέσματος (Ολοκαύτωμα) με το αίτιο που το προκάλεσε να είναι **καταρχήν αδύνατη**. Το πρόβλημα, λοιπόν, δεν είναι ότι μας λείπουν τα στοιχεία πληροφορίας που απαιτούνται για να ερμηνεύσουμε τον Χίτλερ αλλά ότι ο ίδιος ο Χίτλερ είναι **εξ ορισμού μη ερμηνεύσιμος**.

Η απροσδιοριστία στο ζήτημα του Ολοκαυτώματος αφορά κυρίως δύο ερωτήματα:

1. Ποια ήταν τα **αληθινά κίνητρα** πίσω από το μαζικό έγκλημα;
2. Πώς ένας παράφρων πολιτικός **κατόρθωσε να χειραγωγήσει** ένα μεγάλο έθνος σπρώχνοντάς το στη διάπραξη του εγκλήματος – ή, έστω, την ανοχή σε αυτό;

Ακόμα κι αν υιοθετήσουμε την ορθολογική άποψη του Rosenbaum [2] η απάντηση στο πρώτο ερώτημα είναι πλέον **αδύνατη**. Σε ό,τι αφορά το δεύτερο ερώτημα, υπάρχουν δύο σκέλη που πρέπει να διερευνηθούν: (α) Η ενδεχόμενα **δαιμονική φύση** του Χίτλερ που κατόρθωσε να «υπνωτίσει» έναν ολόκληρο λαό. (β) Τα **ιδιαιτέρως χαρακτηριστικά** αυτού του λαού, τα οποία αξιοποίησε ο Χίτλερ για να φέρει σε πέρας το δολοφονικό έργο του.

Στο ερώτημα (α) δεν είναι, ασφαλώς, δυνατό να απαντήσουμε αντικειμενικά (παρακάμπτοντας προσωπολατρικές περιγραφές απλοϊκών ανθρώπων που γνώρισαν τον Χίτλερ από κοντά). Θα

επικεντρωθούμε, λοιπόν, στο ερώτημα (β): υπάρχει μήπως ένα υποκρυπτόμενο νοσηρό στοιχείο **στον ίδιο τον γερμανικό χαρακτήρα**, το οποίο θα μπορούσε υπό προϋποθέσεις να οδηγήσει ακόμα και στο μαζικό έγκλημα; Με άλλα λόγια, είναι οι **εγγενείς χαρακτήρες** των λαών που καθορίζουν την ιστορική τους συμπεριφορά, ή μήπως, αντίθετα, είναι οι **ιστορικές συνθήκες** που διαμορφώνουν συγκυριακά τους εθνικούς χαρακτήρες;

Η δαιμονοποίηση της «γερμανικότητας» δεν είναι πρόσφατη εφεύρεση κάποιων ελληνικών «αντιμνημονιακών» κύκλων. Ακόμα και διδακτορικές διατριβές έχουν εκπονηθεί, οι οποίες υποστηρίζουν αυτήν ακριβώς την ιδέα. Χαρακτηριστική περίπτωση, ένα σχετικά πρόσφατο βιβλίο του Αμερικανού ιστορικού **Daniel Jonah Goldhagen** [3]. Σε αυτό ο συγγραφέας, εκλαϊκεύοντας και επεκτείνοντας την διδακτορική του διατριβή στο Harvard, αποδίδει τη φρίκη του Ολοκαυτώματος στην «εγγενώς δαιμονική» φύση των Γερμανών, υποβαθμίζοντας – έως εξαφανίζοντας – την ιστορική ιδιαιτερότητα του ναζισμού αλλά και την ευθύνη του ίδιου του Χίτλερ (κατά τη γνωστή ρήση, «αν δεν υπήρχε ο Χίτλερ για να ξεκινήσει το Ολοκαύτωμα, οι Γερμανοί θα τον είχαν εφεύρει!»). Τα εγκλήματα του Ολοκαυτώματος, υποστηρίζει ο Goldhagen, τα διέπραξαν **αυτόβουλα** «συνηθισμένοι Γερμανοί», όχι απαραίτητα φανατικοί ναζί. Και όχι γιατί τους το επέβαλε (ή έστω το υπέβαλε) η ηγεσία τους, αλλά απλά γιατί τους το **επέτρεψε!**

Το βιβλίο αυτό συνάντησε πολλές αντιδράσεις, ιδιαίτερα μάλιστα από σημαίνοντες Εβραίους μελετητές του Ολοκαυτώματος. Διαβάζοντάς το, όντως αποκομίζει κάποιος την εικόνα μίας δύσκολα αποκρυπτόμενης **εμπάθειας** και μιας ιδεολογικής **μονομέρειας** που υπονομεύει, τελικά, την ίδια την επιστημονική αξιοπιστία του έργου. Η μορφή του Χίτλερ δύσκολα μπορεί να αγνοηθεί σε οποιαδήποτε σοβαρή ιστορική ανάλυση, όπως επίσης δεν πρέπει να παραβλέπονται οι ιστορικές συγκυρίες της εποχής μετά το τέλος του καταστροφικού, για τη Γερμανία, Πρώτου Παγκόσμιου Πολέμου, με οδυνηρό επακόλουθο μία ταπεινωτική συνθήκη ειρήνης.

Μία κριτική εξέταση της ιστορικής ερμηνείας του Goldhagen προϋποθέτει απάντηση σε ένα θεμελιώδες γενικό ερώτημα: Είναι δυνατόν, κάτω **απόιδιάζουσες συνθήκες**, μία κοινωνική ομάδα (π.χ., ένας λαός, ή ακόμα και ένα μικρό σύνολο ανθρώπων με αίσθηση κοινού προορισμού) να **χειραγωγηθεί** από ένα σύστημα εξουσίας έτσι ώστε να αναδείξει **ακραίες συμπεριφορές** οι οποίες δεν θα υφίσταντο έξω από τις συνθήκες αυτές;

Αν η απάντηση στο ερώτημα είναι θετική, τότε το Ολοκαύτωμα δεν αποτελεί αυστηρά γερμανική «πατέντα». Θα μπορούσε, θεωρητικά, να είχε συμβεί οποτεδήποτε και οπουδήποτε, κάτω από ανάλογες ιστορικές και πολιτικές συγκυρίες. Ας μην ξεχνούμε, άλλωστε, ότι ο (συχνά βίαιος) αντισημιτισμός είχε κάνει την εμφάνισή του τόσο στη **Γαλλία** όσο και στη **Ρωσία**, προτού πάρει την ακραία, δολοφονική μορφή του στη ναζιστική Γερμανία.

Ένα πείραμα που θα μπορούσε να ρίξει κάποιο φως στο παραπάνω ερώτημα (αν και δεν γνωρίζω αν τα αποτελέσματά του χρησιμοποιήθηκαν ποτέ για την ερμηνεία του Ολοκαυτώματος) έλαβε χώρα στο **Πανεπιστήμιο του Stanford** των ΗΠΑ, στο διάστημα από 14 έως 20 Αυγούστου του 1971, κάτω από την κεντρική επίβλεψη του καθηγητή ψυχολογίας **Philip Zimbardo**. Εικοσιτέσσερις φοιτητές επιλέχθηκαν για να παίξουν τους ρόλους **φυλακισμένων** και **δεσμοφυλάκων** σε μία υποτιθέμενη φυλακή που είχε δημιουργηθεί για τους σκοπούς του πειράματος. Η κατανομή των ρόλων (12 φυλακισμένοι και ισάριθμοι φρουροί) έγινε με **κλήρωση**, και οι συνολικά 24 που επελέγησαν για το πείραμα ικανοποιούσαν, στον μέγιστο βαθμό, κριτήρια ψυχικής ισορροπίας και ομαλότητας χαρακτήρα. Ο Zimbardo πήρε τον ρόλο του επιστάτη της φυλακής, φροντίζοντας με κάθε τρόπο να μεγιστοποιεί τα αισθήματα σύγχυσης και απώλειας προσωπικότητας των συμμετεχόντων.

Τα αποτελέσματα του πειράματος εξέπληξαν και τον ίδιο τον Zimbardo! Τα μέλη και των δύο ομάδων (φυλακισμένοι και δεσμοφύλακες) πήραν τόσο σοβαρά τους ρόλους τους ώστε κατέληξαν **να ταυτιστούν** με αυτούς. Οι φρουροί ανέπτυξαν **αυταρχικές** έως και **σαδιστικές** συμπεριφορές, και έφτασαν στο σημείο να υποβάλουν μερικούς από τους κρατούμενους σε ιδιαίτερα **σκληρά ψυχολογικά βασανιστήρια**. Πολλοί κρατούμενοι αποδέχθηκαν παθητικά την ψυχολογική βία και, κατ' απαίτηση των φρουρών, **συνεργάστηκαν πρόθυμα** σε κακομεταχειρίσεις συγκρατουμένων τους. Οι καταστάσεις αυτές, ασφαλώς, θυμίζουν έντονα εκείνες στα γκέτο, τους σιδηροδρομικούς σταθμούς μεταφοράς και τα στρατόπεδα συγκεντρώσεως την περίοδο του ναζισμού.

Το πείραμα δεν άφησε ανεπηρέαστο ούτε τον ίδιο τον Zimbardo που επέδειξε μεγάλο ζήλο στον ρόλο του ως επιστάτη, επιτρέποντας και ενθαρρύνοντας την συνέχιση της βίας. Δύο από τους «κρατούμενους» δεν άντεξαν και αποχώρησαν νωρίς από το πείραμα, το οποίο τελικά διακόπηκε μόλις **έξι μέρες** μετά την έναρξή του.

Το εντυπωσιακό είναι πως, σε κινηματογραφημένες συνεντεύξεις τους αρκετό καιρό μετά, οι «φρουροί» εξομολογήθηκαν ότι, κοιτάζοντας πίσω σ' εκείνες τις μέρες, δύσκολα μπορούσαν να **αναγνωρίσουν** τον εαυτό τους, να εξηγήσουν πώς μερικά «καλά παιδιά» είχαν μετατραπεί σε **βάρβαρους δεσμοφύλακες!** Ας δούμε μερικά αποσπάσματα από τις εξομολογήσεις δύο πρώην «φρουρών», καθώς και κάποια από τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε ο Zimbardo:

Φρουρός 1: *«Αληθινά, δεν πίστευα ποτέ ότι θα ήμουν ικανός να επιδείξω τέτοια συμπεριφορά. Εξεπλάγην κι εγώ ο ίδιος απ' όσα έκανα. Και, ενώ τα έκανα, δεν ένιωθα καθόλου μετανιωμένος, δεν είχα ενοχές... Μόνο μετά άρχισα να συνειδητοποιώ τι είχε συμβεί.»*

Φρουρός 2: *«Άρχισα να νιώθω πως έχανα την ταυτότητά μου, να ξεχνώ πως συμμετείχα σε ένα πείραμα, σε μια απλή προσομοίωση της πραγματικότητας. Φοράς μια στολή, σου δίνουν ένα ρόλο*

και σου λένε: 'Η δουλειά σου είναι να κρατάς αυτούς τους ανθρώπους σε τάξη.' Κι εσύ μπαίνεις στ' αλήθεια στο πετσί του ρόλου από τη στιγμή που φοράς τη στολή και τα μαύρα γυαλιά, που κρατάς το ραβδί... Αυτό είναι το κοστούμι σου. Και πρέπει να ενεργείς ανάλογα όταν το φοράς.»

Zimbardo: «Το περισσότερο κακό στον κόσμο δεν προέρχεται από ταπεινά ένστικτα αλλά επειδή κάποιος σου υποβάλλει την ιδέα: 'Ακολούθα το πρόγραμμα', 'γίνε ομαδικός'... Όταν κάποιος πει: 'δεν είμαι υπεύθυνος', 'δεν είμαι υπόλογος', 'είναι ο ρόλος που μου ανέθεσαν', κλπ, επιτρέπει στον εαυτό του να κάνει πράγματα που ποτέ δεν θα έπραττε υπό κανονικές συνθήκες. (...) Ένας τρόπος να ερμηνεύσουμε το πείραμα είναι ότι, βάλουμε καλούς ανθρώπους σε ένα κακό περιβάλλον και είδαμε ποιος κέρδισε. Το λυπηρό μήνυμα εδώ είναι ότι το διαβολικό αυτό μέρος κυριάρχησε πάνω στους καλούς ανθρώπους!»

Είναι ικανό από μόνο του το «**πείραμα του Stanford**» να καταρρίψει την θεωρία του Goldhagen για το Ολοκαύτωμα και την υποτιθέμενη μοναδικότητα της «δαιμονικής φύσης» των Γερμανών; Ασφαλώς όχι! Εν τούτοις, το πείραμα αποκαλύπτει πτυχές της ανθρώπινης συμπεριφοράς κάτω από (τεχνητές, εν προκειμένω) συνθήκες οι οποίες θα μπορούσαν, σε κάποιο βαθμό, να παραπέμπουν στα χρόνια της κυριαρχικής επίδρασης του ναζισμού πάνω στην γερμανική συλλογική συνείδηση. Ως εκ τούτου, τα συμπεράσματα του πειράματος **δεν θα πρέπει να αγνοηθούν** από τους αντικειμενικούς μελετητές εκείνης της πιο βάρβαρης περιόδου της παγκόσμιας Ιστορίας.

Βέβαια, το να δίνει κάποιος ιστορικές ερμηνείες αναζητώντας πιθανές αιτιότητες πίσω από τα φρικτά εγκλήματα του ναζισμού ουδόλως μετριάζει τις ενοχές των Γερμανών. Το πείραμα του Stanford, όπως και η ίδια η ναζιστική περίοδος στη Γερμανία, έδειξαν ότι το κακό που **ενυπάρχει σε λανθάνουσα μορφή** στον άνθρωπο μπορεί να βγει στην επιφάνεια κάτω από κατάλληλες συνθήκες. Οι συνθήκες, όμως, απλά **αναδεικνύουν** το κακό, δεν το δημιουργούν!

Τελικά, επιδέχεται ο ναζισμός **αιτιοκρατική ερμηνεία**; Θα μείνουμε πιστοί στην αντισυμβατική θέση μας ότι η απάντηση στο ερώτημα είναι **αρνητική**. Ίσως γιατί μία ιστορική εκλογίκευση του ναζισμού θα τον τοποθετούσε εξ ορισμού σε **ανθρώπινα μέτρα**. Και τίποτα το ανθρώπινο δεν θα μπορούσαμε να διακρίνουμε στην ελεεινότερη εκείνη σελίδα της παγκόσμιας Ιστορίας...

Αναφορές:

[1] Κ. Παπαχρήστου, [*Η εγγενής απροσδιοριστία στο φαινόμενο Χίτλερ*](#)

[2] R. Rosenbaum, *Explaining Hitler* (Da Capo, 2014). Ελληνικός τίτλος: *Ερμηνεύοντας τον Χίτλερ*.

[3] D.J. Goldhagen, *Hitler's Willing Executioners* (Knopf, 2007). Ελληνικός τίτλος: *Πρόθυμοι δήμιοι: Οι εκτελεστές του Χίτλερ*.

*** Ο Δρ. Κ. Παπαχρήστου είναι μέλος ΔΕΠ στον Τομέα Φυσικών Επιστημών της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων.**

Στοχασμοί πάνω σε μία προφητική διάλεξη του Δημήτρη Λιαντίνη

Posted on [June 2, 2022](#) by [Costas Papachristou](#)



Γράφει: Κώστας Παπαχρήστου

Κόντευα να ξεχάσω την ημερομηνία. Όσπου ένα ωραίο κείμενο της **Μανταλένας – Μαρίας Διαμαντή** μου θύμισε τη μέρα (1/6/1998) που ένας μεγάλος στοχαστής πέρασε από την γήινη ύπαρξη στην (ενδοκοσμική, όπως ο ίδιος την όρισε) αθανασία:

<https://www.klik.gr/gr/el/flashback/dimitris-liantinis-h-mera-pou-apofasise-na-fugei/>

Ήταν μία επιμελώς προετοιμασμένη «απόδραση». Το κυριότερο: ήταν μια φυγή που είχε προαναγγελθεί. Μεταξύ άλλων, σε μία διάλεξη που θα την χαρακτήριζα προφητική. Έστω και με την έννοια της αυτο-εκπληρούμενης προφητείας...

Ως αντικείμενο ακαδημαϊκής συζήτησης, ο **Δημήτρης Λιαντίνης** είναι πάντα επίκαιρος. Έτσι, πιστεύω πως δεν είναι ποτέ «πολύ αργά» για να μιλήσει κάποιος γι' αυτόν. Το παρόν κείμενο επιχειρεί μία κριτική προσέγγιση στην ιστορική διάλεξη του με θέμα: «*Η Φιλοσοφική Θεώρηση του Θανάτου*» (δείτε το video που παρατίθεται στο τέλος). Ο Λιαντίνης παρομοίασε τη διάλεξη με επιστημονικό «συμπόσιο», κάτι που ασφαλώς δεν ήταν. (Σημειώνω, για την ιστορία, ότι το κοινό αποτελείτο από στρατιωτικούς γιατρούς.)

Βλέποντας κάποιος τη διάλεξη, δεν μπορεί παρά να θαυμάσει την ευρυμάθεια αλλά και την δύναμη του λόγου του καθηγητή. Ταυτόχρονα, όμως, μένει με κάποια ερωτήματα που, δυστυχώς, ο άνθρωπος που κατήγγειλε τον θάνατο του δασκάλου («πέθανε ο δάσκαλος») φρόντισε με την πρόωγη αποχώρησή του να μείνουν

αναπάντητα. Πάνω σ' αυτά τα ερωτήματα θα ήθελα να μιλήσω, τονίζοντας εξαρχής ότι τοποθετούμαι από τη σκοπιά ενός απλού ακροατή και μόνο. Κάποιου που ίσως θα ήθελε να βρισκόταν στο αμφιθέατρο για να διατυπώσει τις συνηθισμένες απορίες που ακούγονται στο τέλος μίας ακαδημαϊκής ομιλίας.

Σταχυολογώ, καταρχάς, μερικά σημεία της ομιλίας που θεωρώ σημαντικά, διατηρώντας κατά το δυνατόν τα αυθεντικά εκφραστικά μέσα του ίδιου του Λιαντίνη (δικές μου επισημάνσεις εμφανίζονται μέσα σε αγκύλες). Σημειώνω ότι ο Λιαντίνης (προς απογοήτευσή μου, ομολογώ) αποφεύγει να δώσει τον ορισμό του θανάτου («*τι είναι θάνατος, όλοι ξέρουμε*», «*ο ορισμός είναι φοβερά δύσκολο πράγμα*»), αναπτύσσοντας έτσι ένα θέμα του οποίου το βασικό αντικείμενο δεν καθορίζεται απόλυτα.

1. Την Αττική Τραγωδία τη γέννησε η διαλεκτική σχέση των Ελλήνων με τον θάνατο. Είναι ένα γέννημα από αυτό το «πνευματικό αντιμετρημα» που είχαν οι Έλληνες με το φαινόμενο του θανάτου. Για να υποστηρίξει την άποψή του αυτή, ο Λιαντίνης παραθέτει ως «γεωμετρική απόδειξη» το γεγονός ότι όλοι οι τραγικοί ήρωες πεθαίνουν στο τέλος του δράματος.

2. Ο θάνατος είναι ο κυρίαρχος νόμος που κρατεί στο Σύμπαν. Από την Αστροφυσική και την Κοσμολογία είναι γνωστό ότι ακόμα και οι αστέρες πεθαίνουν (π.χ., οι μελανές οπές είναι «αστρικά πτώματα»). Και, κάθε στιγμή, ολόκληρος ο πλανήτης μας είναι «ένα σφαγείο» όπου άνθρωποι, ζώα, φυτά, πεθαίνουν, συχνά με φριχτό τρόπο. Η ζωή είναι ένας απέραντος στίβος πιθανοτήτων και δυνατοτήτων. Ένα μόνο είναι βέβαιο, ασφαλές κι απόλυτο (όχι απλά πιθανό ή δυνατό): ο θάνατος!

3. Ο θάνατος είναι το σημαντικότερο πρόβλημα της Φιλοσοφίας. Για την ακρίβεια, η ίδια η Φιλοσοφία δεν είναι παρά ο στοχασμός του ανθρώπου πάνω στο φαινόμενο του θανάτου: «*Φιλοσοφία εστί μελέτη θανάτου*» (Πλάτωνος «*Φαίδων*»).

4. Η λέξη «τέλος» έχει διττή σημασία. Σημαίνει το τέρμα αλλά και τον σκοπό. Όλα όσα κάνουμε στη ζωή μας αποβλέπουν σε ένα πράγμα: στο τέλος, στον θάνατό μας. *Ο θάνατός μας είναι και ο σκοπός της ζωής μας.* Ό,τι κάνουμε είναι μια ανοιχτή δυνατότητα που θα προσδιοριστεί, θα αξιολογηθεί, θα δικαιωθεί ή θα αποκατασταθεί από τη στιγμή του θανάτου μας, από το πώς θα πεθάνουμε. Τίποτα

δεν μπορούμε να πούμε για τη ζωή μας αν δεν δούμε το τέλος μας (αναφέρεται στο παράδειγμα Σόλωνος και Κροίσου).

[Μου δίνεται η εντύπωση ότι, σύμφωνα με αυτή την άποψη, δεν βιώνουμε ποτέ το παρόν για το ίδιο το παρόν αλλά για μια απροσδιόριστη, οριακή στιγμή του μέλλοντός μας. Με άλλα λόγια, είμαστε «νεκροί σε σειρά αναμονής»!]

5. Το «φάρμακο» που θα μας απαλλάξει από τον φόβο του θανάτου είναι η απαλλαγή από τον εγωισμό μας («ορμή προς διατήρηση του είδους» τον ονομάζει). Αγαπάμε τόσο πολύ τον εαυτό μας που δεν μπορούμε να τον σκεφτούμε αποκομμένο από τη Φύση. Θα πρέπει να λέμε: «*Είμαι κι εγώ όπως όλα τα άλλα στοιχεία της Φύσης, όπως ένα κυπαρίσσι, όπως μια πέτρα, μια κρήνη, ένα όρος...*» Να αποστασιοποιηθούμε, δηλαδή, από τον εαυτό μας και να τον δούμε σαν ένα κομμάτι της Φύσης. Έτσι θα απαλλαγούμε από τον φόβο του θανάτου.

[Προβληματίζει η φαινομενική αντίφαση ανάμεσα στο «*αποκομμένο από τη Φύση*» και το «*σαν ένα κομμάτι της Φύσης*», με τον τρόπο που χρησιμοποιούνται πιο πάνω στις αντίστοιχες φράσεις.]

6. Επικαλούμενος τον **Freud**, ο Λιαντίνης ισχυρίζεται πως, όταν βρισκόμαστε μπροστά στον θάνατο ενός συνανθρώπου, ακόμα κι αν *νομίζουμε* ότι λυπόμαστε, κατά βάθος βιώνουμε ένα *αίσθημα χαράς* που *εμείς* είμαστε ζωντανοί!

[Το πώς θα ηχούσε αυτό το επιχείρημα σε εκείνους που δεν καταφέρνουν να επιβιώσουν μετά την απώλεια αγαπημένου προσώπου, είναι ασφαλώς ζήτημα της Ψυχολογίας, όχι της Φιλοσοφίας...]

7. Ο έρωτας είναι συνάρτηση του θανάτου. Μια έντονα ερωτική κατάσταση, μια βαθιά ερωτική βίωση, ποτέ δεν θα τη ζήσουμε στη φυσική της διάσταση και δεν θα είναι αληθινή αν δεν συνοδεύεται από το φαινόμενο του θανάτου. Γι' αυτό όλοι οι μεγάλοι ποιητές που μας περιέγραψαν μεγάλους έρωτες, τους οδηγούν στην καταστροφή (π.χ., *Ρωμαίος και Ιουλιέτα*).

[Στην «*Γκέμμα*» (σελ. 14) ο Λιαντίνης γράφει ότι «*ο έρωτας που δε φέρνει μέσα του σπόρο τη συφορά και το θάνατο είναι θέμα της κωμωδίας*». Αναρωτιέμαι, εν τούτοις, αν η δραματική ποίηση, για να θεωρηθεί σημαντική, πρέπει εξ ορισμού να αδυνατεί

να περιγράψει τον έρωτα σαν πηγή ζωής και σαν λόγο ύπαρξης κι αιτία αναγέννησης του ανθρώπου. Σε επίπεδο μουσικής, θα πρέπει μήπως να καταδικάσουμε τον *Parsifal* του **Wagner** ως στερούμενο δραματικής αξίας, με το αιτιολογικό ότι ο έρωτας λειτουργεί ως μέσο *αυτογνωσίας* αντί ως μέσο καταστροφής;]

Μετά το πέρας της κύριας ομιλίας, και σε ερώτηση ακροατή πάνω στο θέμα «έρωτας και θάνατος», ο Λιαντίνης απαντά λέγοντας, μεταξύ άλλων, τα εξής:

«Η ερωτική μας ένταση, όταν της αφαιρέσεις το στοιχείο του κινδύνου, της απειλής, της καταστροφής, με ακραία μορφή το θάνατο, είναι μισή, είναι (πράγμα) αφύσικο, είναι ένα φαινόμενο που κάπου καταντάει πια πλαδαρό!»

Και συνεχίζει κάνοντας μία περίεργη, για παιδαγωγό, τοποθέτηση που δείχνει (το λέω με επιφύλαξη, γιατί ο λόγος του είναι κάπως συγκεχυμένος) να κατακρίνει την αυτοπροστατευτική στάση των σημερινών νέων στον έρωτα:

«Γι' αυτό ακριβώς και σήμερα με την ερωτική ελευθεριότητα, με το ότι ξεφεύγουμε τους κινδύνους, βρίσκουμε λύσεις εναλλακτικές, κλπ., έχουμε καταντήσει και λέμε τα κορίτσια μας (...) 'φλωρίνες' και τα αγόρια τα λέμε 'φλώρους': δεν ξέρουν να ερωτευτούν.»

Τέλος, σε ερώτηση άλλου ακροατή για την ύπαρξη ζωής μετά τον θάνατο, ο Λιαντίνης έδωσε μία μάλλον αναμενόμενη, για έναν εκ πεποιθήσεως άθεο, απάντηση:

«Υπάρχει μία 'ζωή' μετά θάνατον, η ακόλουθη: Εκείνο που μένει όταν θα πεθάνουμε είναι η καλή μνήμη που αφήνουμε στους ανθρώπους. Είναι αυτό που λέμε στη Φιλοσοφία, 'ενδοκοσμική αθανασία'.»

Όπως γρήγορα γίνεται φανερό στη συνέχεια, αυτή η οιονεί «αθανασία» στην οποία αναφέρεται δεν είναι άλλη από το ματαιόδοξο κυνήγι της *υστεροφημίας*. Ανθρώπινη αδυναμία από την οποία δεν ξέφυγε ούτε ο μυθικός Οδυσσέας, όπως πολύ εύστοχα, ομολογώ, καταδεικνύει ο ομιλητής χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα από την «Οδύσσεια».

Παρακολουθώντας την ομιλία, εντόπισα κάτι που, σ' εμένα τουλάχιστον τον μη-ειδικό στη Φιλοσοφία, φαντάζει σαν εσωτερική αντινομία του λιαντινικού συστήματος θεώρησης του θανάτου. Συγκεκριμένα, ο Λιαντίνης μοιάζει να αιωρείται ανάμεσα σε μια *αιτιοκρατική* και μια *τελεολογική* ερμηνεία του φαινομένου. Ας εξηγήσω τι εννοώ, ξεκινώντας από μερικούς απαραίτητους ορισμούς.

Ως *αιτιοκρατία* χαρακτηρίζουμε τη φιλοσοφική θεωρία σύμφωνα με την οποία το κάθε τι που συμβαίνει καθορίζεται απόλυτα από προηγούμενες αιτίες και δεν γίνεται κατά τρόπο τυχαίο. Αν ονομάσουμε A το αίτιο και B το αποτέλεσμα, τότε μπορούμε να πούμε ότι το B συνέβη *επειδή προηγήθηκε* το A. Δηλαδή, το αίτιο *καθορίζει* το αποτέλεσμα.

Σύμφωνα με την *τελεολογία*, από την άλλη μεριά, τα πάντα στον κόσμο διέπονται από έναν σκοπό, προς εκπλήρωση του οποίου τείνουν. Δηλαδή, όλα τα φαινόμενα υπηρετούν μια προκαθορισμένη σκοπιμότητα. Έτσι, αν πάλι ονομάσουμε A το αίτιο και B το αποτέλεσμα, τότε λέμε ότι το A συνέβη *ώστε να επακολουθήσει* το B. Με άλλα λόγια, το αίτιο *δικαιώνεται* από το αποτέλεσμα.

Στην αρχή της ομιλίας, ο θάνατος παρουσιάζεται ως αναπόφευκτο αποτέλεσμα της ζωής, με το οποίο ο άνθρωπος οφείλει να συμφιλιωθεί. Είναι «ο κυρίαρχος νόμος που κρατεί στο Σύμπαν» και αποτελεί τη μόνη βεβαιότητα για τον άνθρωπο. Είναι σαφές εδώ ότι ο θάνατος (ως αποτέλεσμα) υπάρχει λόγω του ότι προϋπήρξε η ζωή, και θα έχανε κάθε νόημα χωρίς αυτήν. Βλέπουμε έτσι μία *αιτιοκρατική* αντίληψη της ιδέας του θανάτου.

Στη συνέχεια, όμως, ακούμε ότι «ο θάνατός μας είναι και ο σκοπός της ζωής μας» και πως «ό,τι κάνουμε θα προσδιοριστεί, θα αξιολογηθεί, θα δικαιωθεί ή θα αποκατασταθεί από το πώς θα πεθάνουμε». Με άλλα λόγια, κύριος (αν όχι μοναδικός) σκοπός της ζωής μας είναι η *προετοιμασία* του θανάτου μας. Η ζωή (ως προϋπάρχον αίτιο) αποτιμάται από το αποτέλεσμά της, τον θάνατο, και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται κυρίως ως πεδίο προετοιμασίας του θανάτου, χωρίς τον οποίο η ζωή θα έχανε το νόημά της. Μία εμφανώς *τελεολογική* αντίληψη του νοήματος της ζωής.

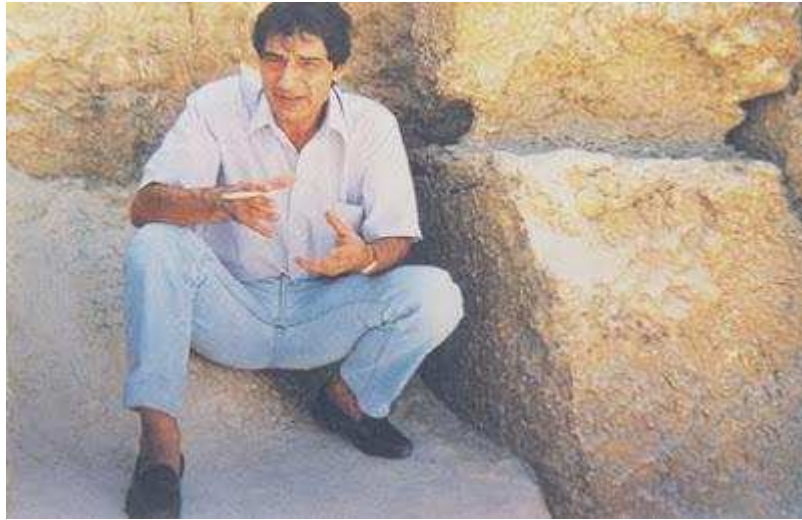
Θα τολμούσα να υποθέσω ότι, κατά τον Λιαντίνη, δεν έχει τόση σημασία το *πώς* έζησε κάποιος, όσο το *πώς πέθανε*. Κι αν θέλει να πεθάνει με τον «σωστό τρόπο», θα πρέπει να φροντίζει γι' αυτό καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του.

Ως παιδαγωγός, εν τούτοις, πιστεύω πως κάθε διδασκαλία θα πρέπει να στοχεύει στην ψυχική και πνευματική ανύψωση του ανθρώπου και στην ανάδειξη της αξίας της ζωής. Στους μαθητές μας – μα και στην κοινωνία, ευρύτερα – θα πρέπει να διδάσκουμε τον θάνατο όχι ως υπέρτατη αξία, στην προοπτική της οποίας ο άνθρωπος οφείλει να αφιερώσει την κάθε στιγμή της ζωής του, αλλά σαν ένα οριακό γεγονός σε μία *πορεία συνειδητότητας κι αυτογνωσίας* (για να θυμηθούμε και τον, αγαπημένο στον Δ. Λιαντίνη, **Σωκράτη**). Πορεία που πρέπει να διανύσουμε όχι μόνο για το τέλος της (που δεν ταυτίζεται με τον σκοπό της) μα κυρίως για το ίδιο το ταξίδι, όπως θα ‘λεγε κι ο Αλεξανδρινός ποιητής, επίσης αγαπημένος στον Λάκωνα ομιλητή!

Video: <https://youtu.be/FtOdw4oDhTA>

Χαιρόμαστε στ' αλήθεια σε μία κηδεία; Ένα μεταφυσικό ερώτημα στον Δ. Λιαντίνη

Posted on [June 7, 2022](#) by [Costas Papachristou](#)



Γράφει: Κώστας Παπαχρήστου

Σε προηγούμενο άρθρο (*) επιχειρήσαμε μία κριτική παρουσίαση της ιστορικής διάλεξης του **Δημήτρη Λιαντίνη** με θέμα: «*Η Φιλοσοφική Θεώρηση του Θανάτου*». Μεταξύ άλλων, σταθήκαμε με αίσθημα σκεπτικισμού απέναντι στην υιοθέτηση, εκ μέρους του Λιαντίνη, της Φροϋδικής ψυχαναλυτικής άποψης σύμφωνα με την οποία βιώνουμε ένα **αίσθημα κατάφασης** (ένα βαθιά κρυμμένο «αίσθημα χαράς») σε μία κηδεία – ακόμα και αυτήν ενός προσφιλούς προσώπου – υπό το κράτος της ανακούφισης που προκαλεί η συνειδητότητα ότι *εμείς* είμαστε ζωντανοί.

Οφείλω να ομολογήσω ότι οι πενιχρές γνώσεις μου σε ό,τι αφορά την ψυχανάλυση και τον κόσμο του ασυνείδητου δεν μου επιτρέπουν να αμφισβητήσω, σε επιστημονική βάση, τη θέση που διατύπωσε ο Λιαντίνης σχετικά με την «βαθιά κρυμμένη χαρά ενώπιον του αλλότριου θανάτου». Το μόνο που μου επιτρέπεται να κάνω είναι να εξηγήσω, σε επίπεδο ανθρώπινης λογικής και μόνο, γιατί η ιδέα αυτή, αν εκφραστεί ως δόγμα με καθολική ισχύ, δημιουργεί στον μη-ειδικό ένα αίσθημα **βαθιάς αμφιβολίας** για την απόλυτη εγκυρότητά της. Και γιατί, μιλώντας προσωπικά, με κάνει να επαναστατώ...

Η απεικόνιση ενός αλλότριου θανάτου στον αυτοσυντηρητικό πυρήνα της ανθρώπινης συνειδητότητας είναι ένα ιδιαίτερα σύνθετο ψυχικό φαινόμενο. Ανάλογα με την περίπτωση, θα μπορούσαμε να κατατάξουμε την απεικόνιση αυτή σε διάφορες κατηγορίες, πλέον ευδιάκριτες εκ των οποίων είναι οι εξής πέντε:

1. Αδιάφορη: Ο αλλότριος θάνατος δεν ενεργοποιεί τα αυτοσυντηρητικά μας ανακλαστικά. Είναι ο θάνατος κάποιου μακρινού «ξένου» που δεν επηρεάζει τη ζωή και δεν κινητοποιεί την συνείδησή μας. Ίσως και να αποτελεί θέαμα στο βραδινό δελτίο ειδήσεων στην τηλεόρασή μας... Η στάση αυτή εκφράζεται με το ρητορικό ερώτημα: *«Λυπηρό μεν, αλλά σε τι με αφορά;»*

2. Υπεροπτική: Ξεκινά από την αντίληψη ότι, βάσει ενός προσωπικού μας αξιακού συστήματος, δικαιούμαστε να μείνουμε στη ζωή περισσότερο από κάποιους άλλους που είναι, υποτίθεται, «λιγότερο καλοί», «λιγότερο προικισμένοι» ή «λιγότερο χρήσιμοι» σε σχέση με εμάς. Τα παραδείγματα αφθονούν στην καθημερινή ζωή, έτσι που κάθε σχετική παράθεση εδώ περιττεύει.

3. Διαζευκτική: Κωδικοποιείται με φράσεις όπως *«ή αυτός, ή εγώ»*, *«αν αυτός, τότε όχι εγώ»* (το γνωστό *«ο θάνατός σου, η ζωή μου!»*). Κλασικό παράδειγμα, η περίπτωση του στρατιώτη την ώρα της μάχης. Συχνά, το ηθικό του στρατιώτη ανυψώνεται με ρητορείες περί ηθικής ανωτερότητάς του σε σχέση με τον αντίπαλο (στην περίπτωση των Ναζί, μάλιστα, υπήρχε επιπρόσθετα και η πεποίθηση της φυλετικής ανωτερότητας). Έτσι, η διαζευκτική στάση μπορεί να συνυπάρχει με – και να ενισχύεται από – την υπεροπτική.

4. Συνειρμική: Περιγράφεται με το ρητορικό ερώτημα: *«αν αυτός, γιατί όχι κι εγώ;»* και εκφράζει, μέσω ενός μηχανισμού υποκατάστασης του «εγώ» με το «αυτός», τον φόβο μπροστά στο παράδειγμα του θανάτου. *«Άραγε, πότε θάρθει κι η σειρά μου;»*, ακούμε συχνά να λέγεται.

5. Συζευκτική: Κωδικοποιείται με τη φράση: *«αν αυτός, τότε κι εγώ»*, που απεικονίζει μια σχέση υπαρξιακής εξάρτησης (όχι απαραίτητα αμφίδρομη). Είναι η τραγικότερη από τις πέντε κατηγορίες και απαντάται κυρίως σε περιπτώσεις απώλειας προσφιλούς προσώπου, όταν αυτός που μένει πίσω χάνει πλέον κάθε επιθυμία για ζωή. (Έχω προσωπικά παραδείγματα, τόσο στον οικογενειακό όσο και στον ευρύτερο κοινωνικό μου χώρο. Αλησμόνητη θα μου μείνει και η τραγική φιγούρα ενός γνωστού ηθοποιού σε ένα νοσοκομείο όπου νοσηλευόταν η σύζυγός του. «Έφυγε» λίγο καιρό μετά από εκείνη...)

Η τελευταία αυτή κατηγορία, ιδιαίτερα, είναι που με κάνει να στέκομαι αμήχανος ακούγοντας την ακαδημαϊκή τοποθέτηση του καθηγητή Λιαντίνη περί αισθήματος

κατάφασης μπροστά στον θάνατο του συνανθρώπου. Μία θέση που, κατά τη γνώμη μου, δεν θα πρέπει να εκλαμβάνεται ως δόγμα με γενική και απόλυτη ισχύ, χωρίς να επιδέχεται περιπτωσιολογική εξέταση. Και, ασφαλώς, το να επικαλείται κάποιος τον Φρόνιτ δεν τον απαλλάσσει από την ευθύνη των λόγων του, όταν αυτοί δείχνουν να εκφράζουν παράλληλα και προσωπικές του θέσεις.

Όπως προσωπική, νομίζω, ήταν κατά βάθος και η όλη προσέγγιση του θέματος του θανάτου από τον σπουδαίο ρήτορα. Για τον λόγο αυτό, ας κρατήσουμε από την ομιλία τον πλούτο της πληροφορίας και την ωραιότητα των λόγων, κι ας αναζητήσει ο καθένας για τον εαυτό του τις δικές του απαντήσεις στα μεγάλα μεταφυσικά ζητήματα. Ο Λιαντίνης απάντησε σ' αυτά στην πράξη. Και γνωρίζουμε πώς...

(* <https://www.klik.gr/gr/el/brain-storm/stochasmoi-pano-se-mia-profitiki-dialexi-tou-dimitri-liantini/>

Το αίνιγμα του «Πάρσιφαλ»: Πρόβλεψε άραγε ο Βάγκνερ τον Αϊνστάιν;

Posted on [June 20, 2022](#) by [Costas Papachristou](#)



Γράφει: Κώστας Παπαχρήστου

Στο συναρπαστικό βιβλίο του «*Για μια Νέα Ζωή*» (A New Earth), ο **Eckhart Tolle** περιγράφει μία πορεία μύησης στις βαθύτερες αλήθειες της ύπαρξης μέσω της υπέρβασης του «Εγώ». Ανάλογες σκέψεις διαβάζουμε στο εξίσου ενδιαφέρον βιβλίο «*Ο Ιερός σου Εαυτός*» (Your Sacred Self) του **Wayne Dyer**. Κοινός παρονομαστής, η ιδέα ότι το «Εγώ» αποτελεί ανάχωμα στην πορεία προς την κατάκτηση της σοφίας. Η υπέρβασή του είναι το πρώτο, δύσκολο μα αναγκαίο βήμα που μας καθιστά άξιους να βιώσουμε το αίσθημα της **συμπόνιας**. Έτσι, κατά μία έννοια, η κατάκτηση της σοφίας περνά μέσα από τη συμπόνια! Μία ιδέα που παραπέμπει στη μεγαλύτερη πνευματική κληρονομιά που άφησε πίσω του ένας μεγάλος μουσικός και διανοητής που αγάπησε πολύ την Ελλάδα...

Ο «*Πάρσιφαλ*» (Parsifal) υπήρξε το τελευταίο – και κατά πολλούς κορυφαίο – μουσικό δράμα του **Ρίχαρντ Βάγκνερ** (Richard Wagner, 1813-1883). Η όπερα, με χαρακτήρα σκηνικής τελετουργίας, πρωτοπαρουσιάστηκε το 1882 στο δεύτερο Φεστιβάλ του Μπαϊρόιτ (Bayreuth) υπό τη μουσική διεύθυνση του **Χέρμαν Λεβί** (Hermann Levi), ενός σημαντικού Γερμανοεβραίου μαέστρου και στενού φίλου του συνθέτη. Το λιμπρέτο του Βάγκνερ βασίζεται εν μέρει σε επικό ποίημα του **Βόλφραμ φον Έσενμπαχ**, γραμμένο τον 13ο αιώνα.

Κεντρική ιδέα στο μουσικό δράμα είναι η κατάκτηση της σοφίας (ή, κατά τη σωματική αντίληψη, της **αυτοσυνειδησίας**) μέσω της συμπόνιας για τον συνάνθρωπο, του βιώματος, δηλαδή, του αλλότριου πόνου. Η ιδέα δεν ανήκει,

φυσικά, στον ίδιο τον Βάγκνερ αλλά είναι αποτέλεσμα της επίδρασης του **Σοπενχάουερ** πάνω στον συνθέτη – φιλόσοφο. Σύμφωνα με την υπόθεση του έργου, ο Πάρσιφαλ, ένας επιφανειακά αφελής αλλά κατά βάθος καλόψυχος νέος, ανακαλύπτει τις βαθύτερες αλήθειες της ύπαρξης όταν, μετά από μία μακρά περιπλάνηση (που συμβολίζει μια πορεία μύησης), κατορθώνει να υπερβεί τα τείχη του «Εγώ» και να βιώσει τον πόνο του συνανθρώπου (Αμφόρτας) σαν δικό του πόνο...

Στο ποιητικό κείμενο του λιμπρέτου υπάρχει μία αινιγματική φράση που δημιουργεί ενδιαφέροντες συνειρμούς με τις φυσικές επιστήμες. Λίγο πριν το υπέροχο ορχηστρικό ιντερλούδιο της Πρώτης Πράξης, ακούγεται ο παρακάτω διάλογος ανάμεσα στον Πάρσιφαλ και τον Γκούρνεμαντς:

ΠΑΡΣΙΦΑΛ: «Μόλις και μετά βίας βαδίζω, κι όμως νιώθω πως ήδη έχω πάει πολύ μακριά!»

ΓΚΟΥΡΝΕΜΑΝΤΣ: «Βλέπεις, γιε μου, σ' αυτό εδώ το μέρος **ο χρόνος γίνεται χώρος!**»

Όσο κι αν θέλει κάποιος να αποφύγει τη σκέψη ως παράλογη, δεν μπορεί να μη διερωτηθεί ως πού, άραγε, έφτανε η ικανότητα του Βάγκνερ να βλέπει μπροστά από την εποχή του. Η όπερα πρωτοπαρουσιάστηκε 23 ολόκληρα χρόνια πριν ο **Άλμπερτ Αϊνστάιν** προτείνει την (Ειδική) **Θεωρία της Σχετικότητας**. Κι ο παραπάνω διάλογος παραπέμπει αναπόφευκτα στους χωροχρονικούς μετασχηματισμούς που επιτρέπει η σχετικιστική θεωρία. Περίπτωση επιστημονικής προφητείας; Ή μήπως θα πρέπει να βουλευτούμε με την πιο «πεζή» φιλοσοφική ερμηνεία περί ιδεατού ή υποκειμενικού χώρου και χρόνου, γυρίζοντας με αίσθημα ανακούφισης πίσω στον Καντ και τον Σοπενχάουερ;

Τη λύση του μυστηρίου ίσως δεν τη βρούμε ποτέ. Την πήρε μαζί ο Δάσκαλος αποχαιρετώντας μας το 1883 στη Βενετία. Αυτό για το οποίο μπορούμε να είμαστε σίγουροι είναι πως το βαθιά ανθρώπινο μήνυμα του Πάρσιφαλ δεν υπόκειται στη φθορά του χρόνου, ούτε στους περιορισμούς του χώρου. Θα υπάρχει όσο υπάρχει ο άνθρωπος, και θα φτάνει τόσο μακριά όσο η ματιά μας στο Σύμπαν!

Διαλεκτική: Από τη Φιλοσοφία στην Φυσικομαθηματική Επιστήμη

Posted on [October 23, 2021](#) by [Costas Papachristou](#)

Γράφει: Κώστας Παπαχρήστου

Πώς μέσω της Διαλεκτικής τα καταρχήν αντίθετα καθίστανται συμπληρωματικά. Από τη Φιλοσοφία στα Μαθηματικά, κι από τον Hegel και τον Maxwell στον Schrödinger, τον Βάγκνερ και τον Λιαντίνη...

Διαλεκτική: Από τον Ηράκλειτο στον Hegel

Σύμφωνα με τον Έωνα φιλόσοφο **Ηράκλειτο** (544 – 484 π.Χ.), πίσω από κάθε έκφανση του γίνεσθαι στο Σύμπαν υπάρχει η εξ αντιθέτων σύσταση και εκ του πολέμου μεταξύ των αντιθέτων διάλυση των πάντων. Αυτό αποτελεί τη βάση της **διαλεκτικής αρχής** η οποία διέπει την εξέλιξη κάθε πράγματος στον κόσμο.

Στον **Πλάτωνα** – φύσει πιο φωτεινό πνεύμα από τον “σκοτεινό” Ηράκλειτο – η (κατά βάση σωκρατική) **Διαλεκτική** αποκτά διαφορετικό νόημα: είναι **η τέχνη τού διαλέγεσθαι**, δηλαδή, ο τρόπος να φτάνουμε στην αλήθεια μέσω της σύγκρουσης αντιθέτων απόψεων.

Ο **Hegel** (1770 – 1831) εξελίσσει τις ιδέες του Ηρακλείτου κατά δύο τρόπους: (α) τον απασχολούν οι ιδέες εξίσου με τα φαινόμενα, και (β) σπάζει το απόλυτο δίπολο θέσης – αντίθεσης προσθέτοντας ένα νέο στοιχείο, αυτό της **σύνθεσης**. Σύμφωνα με την διαλεκτική αρχή τού Hegel, η εξελικτική πορεία όλων των πραγμάτων και όλων των ιδεών βασίζεται στο τρίπτυχο “θέση – αντίθεση – σύνθεση” ή “κατάφαση – αντίφαση – συμφωνία”. Με γενικότερους όρους, “Είναι – Μη είναι – Γίνεσθαι”. Η ουσία της πραγματικότητας συνίσταται μεν στην αντίθεση αλλά εμπεριέχει τη συμφωνία, την συνδιαλλαγή. Έτσι, μέσα από τη σύνθεση των αντιθέσεων αναζητείται **ένα ανώτερο επίπεδο αλήθειας**.

Ας δούμε τις ιδέες του Hegel λίγο αναλυτικότερα:

Μία **ιδέα** δεν είναι ένα πράγμα απόλυτο και στατικό αλλά αντιπροσωπεύει μια ομάδα **σχέσεων**. Μπορούμε να σκεφτούμε για κάτι μόνο σε συσχετισμό με κάτι

άλλο, αντιλαμβανόμενοι τις ομοιότητες και τις διαφορές τους. Μία ιδέα χωρίς κάποιου είδους σχέσεις είναι κενή περιεχομένου.

Από όλες τις σχέσεις, η πλέον οικουμενική είναι εκείνη της **αντίθεσης**. Κάθε ιδέα, όπως και κάθε πραγματική κατάσταση, κατευθύνει αυτόματα προς το αντίθετό της και, στη συνέχεια, ενώνεται με αυτό για να σχηματίσουν μία ανώτερη και πιο σύνθετη δομή. Αυτή είναι η **διαλεκτική αρχή** στην οποία βασίζεται κάθε μορφή εξέλιξης ιδεών και πραγμάτων.

Έτσι, για παράδειγμα, ύλη και πνεύμα, καλό και κακό, κλπ., “διαλέγονται” μεταξύ τους και τελικά συντίθενται σε μία ανώτερη ύπαρξη: τον *Άνθρωπο*. Με όμοιο τρόπο, Λογική και Μεταφυσική, που εκπροσωπούν δύο καταρχήν αντίθετες φιλοσοφικές σχολές, οριοθετούνται και “συμφιλιώνονται” στην κριτική φιλοσοφία του **Καντ**.

Σύμφωνα με την παραπάνω θεώρηση, κύρια αποστολή της Φιλοσοφίας είναι η αναζήτηση της ενότητας που εν δυνάμει υπάρχει στη διαφορετικότητα. Αλλά κι η Επιστήμη έχει έναν σημαντικό ρόλο να παίξει...

Η Διαλεκτική στα Μαθηματικά

Με βάση τη συζήτηση που προηγήθηκε, στο ανώτερο επίπεδο μίας διαλεκτικής σύνθεσης **τα καταρχήν ασύμβατα μεταξύ τους καθίστανται συμπληρωματικά**. Στα μαθηματικά, η σύνθεση αυτή εκφράζεται συμβολικά με τη γενική σχέση

$$A * B = \Gamma \quad (1)$$

όπου τα A, B, Γ είναι μαθηματικές έννοιες ή μαθηματικά αντικείμενα, και όπου η σύνθεση (*) των A και B μπορεί να είναι μία τυπική πράξη (π.χ., πρόσθεση) ή ένας λογικός σύνδεσμος (π.χ., διάζευξη). Το σύμβολο (=) μπορεί, αντίστοιχα, να δηλώνει μία τυπική ισότητα ή μια λογική ισοδυναμία. Εξ ορισμού, η σχέση A=B (ως ισότητα ή ως ισοδυναμία) είναι **αδύνατη**. Τα A και B ανήκουν σε “κόσμους” ασύμβατους μεταξύ τους, οι οποίοι μέσω της σύνθεσης (*) καθίστανται συμπληρωματικοί.

Ας δούμε μερικά παραδείγματα:

1. Αν τα A και B στη σχέση (1) συμβολίζουν τις έννοιες “άρτιος αριθμός” και “περιττός αριθμός”, αντίστοιχα, και αν το (*) συμβολίζει διάζευξη, τότε το Γ σημαίνει “ακέραιος αριθμός” (πράγματι, ένας ακέραιος είναι είτε άρτιος είτε περιττός). Δηλαδή, η έννοια “ακέραιος” αποτελεί σύνθεση των αντίθετων μεταξύ τους εννοιών “άρτιος” και “περιττός”. Με όμοιο τρόπο, αν τα A και B συμβολίζουν τις έννοιες “ρητός αριθμός” και “άρρητος αριθμός”, αντίστοιχα, και αν το (*) συμβολίζει και πάλι διάζευξη, τότε το Γ σημαίνει “πραγματικός αριθμός”.

2. Αν τα A και B συμβολίζουν τις έννοιες “πραγματικός αριθμός” και “φανταστικός αριθμός”, αντίστοιχα, και αν το (*) είναι τυπική πρόσθεση, τότε το Γ σημαίνει “μιγαδικός αριθμός”. Αυτό εκφράζεται μαθηματικά με τη γνωστή σχέση $x+iy=z$, όπου τα x και y είναι πραγματικοί αριθμοί ενώ το z είναι μιγαδικός.

3. Μία αυθαίρετη συνάρτηση $f(x)$, που δεν είναι είτε άρτια είτε περιττή, φέρει μέσα της και τις δύο αυτές αντίθετες ιδιότητες [οι οποίες αντιστοιχούν στις έννοιες A και B της σχέσης (1)], αφού μπορεί πάντα να γραφεί ως άθροισμα μίας άρτιας και μιας περιττής συνάρτησης:

$$f(x) = (1/2)[f(x)+f(-x)] + (1/2)[f(x)-f(-x)] = \text{άρτια} + \text{περιττή} .$$

4. Όμοια, κάθε τετραγωνικός πίνακας M μπορεί να εκφραστεί ως άθροισμα ενός συμμετρικού και ενός αντισυμμετρικού πίνακα:

$$M = (1/2)(M+M^T) + (1/2)(M-M^T) = \text{συμμετρικός} + \text{αντισυμμετρικός} .$$

5. Κάθε διάνυσμα \mathbf{V} στον τρισδιάστατο χώρο μπορεί να εκφραστεί ως διανυσματικό άθροισμα ενός διανύσματος κατά μήκος δοσμένης γραμμής και ενός διανύσματος κάθετου στη γραμμή αυτή (υποθέτουμε ότι η γραμμή διέρχεται από την αρχή του \mathbf{V}). Πράγματι, το \mathbf{V} και η δοσμένη γραμμή (ας την ονομάσουμε άξονα x) ορίζουν ένα επίπεδο xy , όπου ο άξονας y είναι κάθετος στον άξονα x . Τότε, το \mathbf{V} αναλύεται σε δύο κάθετες μεταξύ τους διανυσματικές συνιστώσες κατά μήκος των αξόνων x και y , των οποίων συνιστωσών το \mathbf{V} αποτελεί διανυσματικό άθροισμα:

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_x + \mathbf{V}_y .$$

Η καθετότητα είναι μία μορφή ασυμβατότητας, αφού δεν υφίσταται μη-μηδενική προβολή διανύσματος σε διεύθυνση κάθετη προς αυτό. Υπό αυτή την έννοια,

τα διανύσματα \mathbf{V}_x και \mathbf{V}_y (κάθετα μεταξύ τους) είναι ασύμβατα το ένα ως προς το άλλο. (Δεν θα χρησιμοποιήσουμε εδώ την έκφραση “αντίθετα”, η οποία στη διανυσματική ανάλυση δηλώνει αντίθετες κατευθύνσεις.)

6. Κάθε παραγωγίσιμο διανυσματικό πεδίο $\mathbf{V}(x,y,z)$ στον χώρο μπορεί να γραφεί ως άθροισμα ενός *αστρόβιλου* και ενός *σωληνωτού* πεδίου. Τόσο από φυσική, όσο και από γεωμετρική άποψη, οι δύο αυτοί τύποι πεδίου έχουν αντίθετες ιδιότητες. Για παράδειγμα, οι δυναμικές γραμμές ενός αστρόβιλου πεδίου είναι ανοιχτές (έχουν αρχή και τέλος) ενώ εκείνες ενός σωληνωτού είναι κλειστές. Από φυσική άποψη, ένα σωληνωτό πεδίο δεν μπορεί να έχει μεμονωμένες σημειακές πηγές (πόλους) ενώ ένα αστρόβιλο πεδίο μπορεί να έχει. Γράφουμε:

$$\mathbf{V}(x,y,z) = \mathbf{U}(x,y,z) + \mathbf{W}(x,y,z) \quad \text{όπου} \quad \text{rot } \mathbf{U} = \mathbf{0} \quad \text{και} \quad \text{div } \mathbf{W} = 0 .$$

Διαλεκτική και Φυσικές επιστήμες

Η μέσω της σύνθεσης ενοποίηση των αντιθέτων βρίσκει σημαντικές εφαρμογές στις φυσικές επιστήμες. Ας δούμε μερικά παραδείγματα:

1. Το φως συμπεριφέρεται άλλοτε ως σωματίδιο (φωτόνιο) και άλλοτε ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Έτσι, η έννοια “φως” συντίθεται από δύο ασύμβατες μεταξύ τους φυσικές έννοιες, “σωματίδιο” και “κύμα”, όπου η πρώτη περιγράφει διακριτή ποσότητα ενέργειας εντοπισμένης στον χώρο, ενώ η δεύτερη αναφέρεται σε ενέργεια που κατανέμεται στον χώρο με τρόπο συνεχή. (Μία σειρά από άλλα φαινόμενα επίσης διαφοροποιούν τις δύο αυτές εκφάνσεις του φωτός.)

2. Η “θεωρία ενοποιημένου πεδίου” επιχειρεί να συνενώσει φαινομενικά διαφορετικά μεταξύ τους πεδία δυνάμεων ώστε να οριστούν γενικότερα και πιο σύνθετα πεδία. Ήδη τον 19ο αιώνα ο **James Clerk Maxwell** ανακάλυψε ότι το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο αποτελούν απλά δύο όψεις ενός πιο σύνθετου πεδίου, του ηλεκτρομαγνητικού. Τον 20ό αιώνα δύο ακόμα πεδία, αυτά της ασθενούς και της ισχυρής δύναμης, εντάχθηκαν στο σχέδιο της ενοποίησης, ενώ συνεχίζονται οι προσπάθειες για να μπει στην “παρέα” και η βαρύτητα.

3. Στον κόσμο των στοιχειωδών σωματιδίων και υψηλών ενεργειών, θεωρίες όπως η *υπερσυμμετρία* επιχειρούν να αναδείξουν την κρυμμένη ενότητα ανάμεσα στα *μποζόνια* και τα *φερμιόνια*, τα οποία αποτελούν δύο κατηγορίες σωματίων που

οι συλλογικές συμπεριφορές τους δείχνουν εκ διαμέτρου αντίθετες στον κόσμο των χαμηλών ενεργειών όπου ζούμε. (Τα μποζόνια – όπως, π.χ., το φωτόνιο – είναι πολύ “κοινωνικά”, ενώ τα φερμιόνια – όπως το ηλεκτρόνιο – έχουν την τάση να είναι “μονήρη”.)

4. Η περίφημη “γάτα του **Schrödinger**“, ένα νοητικό πείραμα για την κβαντική υπέρθεση, φτάνει στο σημείο να συνθέσει διαλεκτικά τη ζωή με τον θάνατο. Με τεχνικούς όρους, η κβαντική κατάσταση της γάτας είναι γραμμικός συνδυασμός δύο επιμέρους καταστάσεων που αντιστοιχούν στις πιθανότητες η γάτα να είναι ζωντανή ή νεκρή. Η σύνθεσή τους, λοιπόν, επιτρέπει στη γάτα να είναι ταυτόχρονα ζωντανή και νεκρή! Βέβαια, αυτό ισχύει όσο δεν παρατηρούμε τη γάτα. Με το που θα κοιτάξουμε, η αλλόκοτη αυτή μαθηματική σύνθεση θα καταρρεύσει στη μία ή την άλλη συνιστώσα της, και η μοίρα της γάτας θα είναι πλέον απολύτως προσδιορισμένη...

Επιστήμη, Φιλοσοφία και Τέχνη

Σε μία κριτική ανάλυση πάνω σε μια διάλεξη του **Δημήτρη Λιαντίνη**¹ είχαμε επιχειρήσει πριν χρόνια να χαράξουμε σαφή όρια ανάμεσα στην Επιστήμη και τη Φιλοσοφία. Γράψαμε:

Σκοπός της επιστήμης είναι η διερεύνηση των ορίων του αποδείξιμου. Αντίθετα, σκοπός της φιλοσοφίας είναι ο στοχασμός **πέραν** των ορίων του αποδείξιμου. (...) Ως γνώστης του στοχασμού των φιλοσόφων, ο Λιαντίνης ήταν επιστήμων. Ως στοχαστής ο ίδιος πάνω σε ζητήματα μεταφυσικής, ήταν φιλόσοφος.

Αναφέρθηκα πρόσφατα σε αυτή την ιδέα στο πλαίσιο μίας συζήτησης με καλό φίλο καθηγητή Φιλοσοφίας. Κι εκείνος έκανε μία ενδιαφέρουσα όσο και κρίσιμη προσθήκη στο σκέλος που αφορά τη φιλοσοφία:

*“...ο στοχασμός **και** πέραν των ορίων του αποδείξιμου!”*

Η (φαινομενικά) μικρή λέξη “και” που πρόσθεσε ο φίλος στον ορισμό κάνει τη μεγάλη διαφορά: καθιστά πιο δυσδιάκριτα τα όρια ανάμεσα στην επιστήμη και τη φιλοσοφία, έτσι που κάποιες γνωστικές περιοχές να διεκδικούνται ισότιμα και από

τις δύο. Στο τέλος οφείλει να επέλθει συμβιβασμός προς όφελος του ανθρώπινου πνεύματος. Κι αυτό ακριβώς αντιπροσωπεύει τη θεμελιώδη ιδέα της Διαλεκτικής!

Βάζοντας, τώρα, στο κάδρο της συζήτησης και τη Μουσική, αυτό το “και” που συνδέει πράγματα καταρχήν διαφορετικά με παραπέμπει συνειρμικά στο μαγικό “und” στη δεύτερη πράξη του “*Τριστάνου*” του **Βάγκνερ** (“*Tristan und Isolde*”). Έναν σύνδεσμο που, πέραν της αυτονόητης αναφοράς στην ερωτική σχέση των δύο ηρώων, υπονοεί ταυτόχρονα και τη διαλεκτική συνύπαρξη φανερά αντίθετων ιδεών στο μουσικό δράμα: του φωτός με το σκότος, της λογικής με το συναίσθημα, του “πρέπει” με το “θέλω”, της κοινωνικής υπόληψης με την προσωπική ευτυχία, του έρωτα με τον θάνατο (ένα αχώριστο δίπολο κατά τον Δ. Λιαντίνη)...

Τίποτα δεν αναδεικνύει, τελικά, την ωραιότητα της Φιλοσοφίας όσο η Τέχνη. Και, για κάποιους αιθεροβάμονες ρομαντικούς, ακόμα κι η επιστήμη μία μορφή τέχνης (μπορεί να) είναι!

¹ <https://www.aixmi.gr/index.php/poso-st-alitheia-haoromaste-se-mia-kideia/>

Ο διαφορετικός χαρακτήρας του φυσικού νόμου

Posted on [December 14, 2021](#) by [Costas Papachristou](#)



Γράφει: Κώστας Παπαχρήστου

Γιατί οι πλέον θεμελιώδεις νόμοι στην κλασική αλλά και τη σύγχρονη Φυσική εκφράζονται μαθηματικά με διαφορικές εξισώσεις; Η απάντηση βρίσκεται στο πώς το “είναι” οδηγεί στο “γίγνεσθαι”, πώς το “εδώ” απλώνεται στο “παντού”...

Τι μας διδάσκει ένα γήπεδο ποδοσφαίρου...

Ας φανταστούμε μία φωτογραφία τραβηγμένη από δεξιότηχνη φωτογράφο σε έναν ποδοσφαιρικό αγώνα: Ένας παίκτης έχει μόλις σουτάρει ένα πέναλτι, και τη στιγμή της λήψης ο τερματοφύλακας εκτινάσσεται προς την κατεύθυνση της μπάλας. Βλέπουμε καθαρά τις εκφράσεις αγωνίας στα πρόσωπα των δύο ποδοσφαιριστών – για τους εντελώς αντίθετους λόγους, φυσικά. Πρόκειται για μία μεγαλειώδη αποτύπωση λεπτομερειών της στιγμής, οι οποίες σίγουρα θα ξέφευγαν από την προσοχή εκείνου που παρακολουθεί το παιχνίδι σε συνεχή ροή. Με μία σημαντική διαφορά: η φωτογραφία ποτέ δεν μας αποκαλύπτει τη συνέχεια της φάσης. Δεν μαθαίνουμε, δηλαδή, αν ο τερματοφύλακας απέκρουσε, τελικά, το πέναλτι, ή αν η μπάλα κατέληξε στα δίχτυα, στο δοκάρι ή στα... περιστέρια που πετούσαν πάνω από το γήπεδο!

Αφήνουμε, τώρα, τη φωτογραφική μηχανή και παίρνουμε μία βιντεοκάμερα. Για κάποιον απροσδιόριστο λόγο, την εστιάζουμε σταθερά στο κέντρο του γηπέδου. Έτσι, μπορούμε να καταγράψουμε όλες τις φάσεις στο συγκεκριμένο σημείο και μόνο, από την αρχή ως το τέλος του παιχνιδιού. Θα ήταν μία ωραία φάρσα σε έναν

φίλο μας που δεν μπόρεσε να έρθει στο γήπεδο, αν του δίναμε το video για “να δει το παιχνίδι”!

Στην περίπτωση της φωτογραφίας, μπορούμε να δούμε τι συμβαίνει κάποια χρονική στιγμή σε μία περιοχή του χώρου, αλλά δεν ξέρουμε τι θα συμβεί τις επόμενες στιγμές στην περιοχή αυτή. Στην περίπτωση του σταθερά εστιασμένου video, γνωρίζουμε τη χρονική εξέλιξη των πραγμάτων σε ένα συγκεκριμένο σημείο αλλά δεν έχουμε ιδέα τι γίνεται σε άλλα σημεία. Όμως, δεν μας αρκεί το “*τώρα*”, θέλουμε να γνωρίζουμε και το “*μετά*”. Όπως και δεν μας φτάνει το “*εδώ*”, χρειάζεται να ξέρουμε και το “*εκεί*”.

Φεύγουμε από το ποδόσφαιρο και πάμε στον φυσικό κόσμο. Όλα τα φυσικά φαινόμενα που υποπίπτουν στην αντίληψή μας “*απλώνονται*” στον χώρο και τον χρόνο. Αν υποτεθεί ότι τα φαινόμενα αυτά ακολουθούν καθορισμένους νόμους και δεν υπόκεινται στην τυχαιότητα, οι νόμοι θα πρέπει να δίνουν απαντήσεις σε δύο βασικά ερωτήματα:

* Αν γνωρίζω τι συμβαίνει *τώρα*, πώς μπορώ να προβλέψω τι θα συμβεί *μετά*;

* Αν γνωρίζω την κατάσταση *εδώ*, πώς μπορώ να γνωρίσω την κατάσταση και οπουδήποτε *αλλού*;

Ένας μαθηματικός θα μας βεβαιώνει τώρα ότι, στη δική του γλώσσα, τα φυσικά φαινόμενα – τουλάχιστον τα πλέον θεμελιώδη – θα πρέπει να περιγράφονται με *διαφορικές εξισώσεις*!

Το κλασικό σωματίδιο στη Νευτώνεια Μηχανική

Με τους δυναμικούς νόμους του ο Νεύτωνας καθόρισε την αιτιότητα που συνδέει το “*τώρα*” με το “*μετά*”. Ας πάρουμε την απλούστερη περίπτωση ενός *σημειακού σωματιδίου* μάζας m , το οποίο υπόκειται σε ολική δύναμη \mathbf{F} (με *bold* χαρακτήρες θα συμβολίζουμε διανυσματικά μεγέθη). Ο λεγόμενος *δεύτερος νόμος του Νεύτωνα* ορίζει τη δύναμη αυτή ως τον ρυθμό μεταβολής της ορμής $\mathbf{p}=m\mathbf{v}$ του σωματιδίου, όπου \mathbf{v} η ταχύτητα του σωματιδίου:

$$\mathbf{F} = d\mathbf{p} / dt \quad (1)$$

Η σχέση (1) μπορεί να γραφεί στην πιο οικεία μορφή

$$\mathbf{F} = m \, d\mathbf{v} / dt = m \mathbf{a} \quad (2)$$

όπου $\mathbf{a}=d\mathbf{v}/dt$ η επιτάχυνση του σωματιδίου.

Τώρα, τους νόμους του Νεύτωνα έχει “δικαίωμα” να χρησιμοποιεί μόνο ένας αδρανειακός παρατηρητής, που χρησιμοποιεί ένα σύστημα αξόνων που ονομάζουμε *αδρανειακό σύστημα αναφοράς* (βλ., π.χ., [1], Παρ. 3.1). Με απλά λόγια, ως προς ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς, ένα *ελεύθερο* σωματίο (το οποίο, δηλαδή, δεν υπόκειται σε αλληλεπιδράσεις με τον υπόλοιπο κόσμο) κινείται με σταθερή ταχύτητα (έχει μηδενική επιτάχυνση).

Έστω O η αρχή των αξόνων σε ένα τέτοιο σύστημα αναφοράς. Υποθέτουμε ότι το σύστημα είναι τρισσορθόγωνιο, με άξονες (x,y,z) στον τρισδιάστατο χώρο μας. Η τριάδα (x,y,z) συμβολίζει και τις καρτεσιανές συντεταγμένες ενός σημείου Σ του χώρου. Το διάνυσμα $\mathbf{r}=O\Sigma$ (με κατεύθυνση από O προς Σ), με συνιστώσες τις συντεταγμένες (x,y,z) , καλείται *διάνυσμα θέσης* του σημείου Σ .

Για ένα σωματίδιο μάζας m που κινείται στον χώρο, το διάνυσμα θέσης του, \mathbf{r} , μεταβάλλεται με τον χρόνο: $\mathbf{r}=\mathbf{r}(t)$. Η ταχύτητα του σωματιδίου τη χρονική στιγμή t ορίζεται ως η χρονική παράγωγος $\mathbf{v}=d\mathbf{r}/dt$, ενώ η επιτάχυνση του σωματιδίου τη στιγμή αυτή είναι

$$\mathbf{a} = d\mathbf{v} / dt = d^2 \mathbf{r} / dt^2 \quad (3)$$

Υποθέτουμε τώρα ότι το σωματίδιο m βρίσκεται μέσα σε ένα *πεδίο δυνάμεων* $\mathbf{F}(\mathbf{r})$ (π.χ., ένα ηλεκτροστατικό πεδίο ή ένα πεδίο βαρύτητας). Από τις (2) και (3), τότε, έχουμε:

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = m \, d^2 \mathbf{r} / dt^2 \quad (4)$$

Αυτή είναι η μαθηματική διατύπωση του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα στη μορφή διαφορικής εξίσωσης για το διάνυσμα θέσης $\mathbf{r}(t)$ του σωματιδίου m . Επειδή η εξίσωση είναι *δευτέρας* τάξεως [περιέχει μέχρι δεύτερη παράγωγο της άγνωστης συνάρτησης $\mathbf{r}(t)$], για την επίλυσή της χρειάζεται να μας δοθούν και δύο *αρχικές*

συνθήκες. Συγκεκριμένα, η αρχική θέση $\mathbf{r}(0)$ και η αρχική ταχύτητα $\mathbf{v}(0)$ του m τη χρονική στιγμή $t=0$. Έτσι, αν γνωρίζουμε πού ακριβώς βρίσκεται και με τι ταχύτητα κινείται το σωματίδιο τούτη τη στιγμή ($t=0$), η επίλυση της διαφορικής εξίσωσης (4) θα μας κάνει πρόβλεψη για τη θέση και την ταχύτητα του σωματιδίου για κάθε επόμενη χρονική στιγμή ($t > 0$).

Δυστυχώς, κατά τον 20ό αιώνα η θεωρία του χάους ήρθε να διαψεύσει τις απόλυτες βεβαιότητες του Νεύτωνα. Σε κάποια μηχανικά συστήματα, ακόμα και αν γνωρίζουμε τι συμβαίνει τώρα, είναι αδύνατο να προβλέψουμε τι θα συμβεί αργότερα. Μία πεταλούδα που κουνάει τα φτερά της στην Κίνα είναι δυνατό μετά από μερικές μέρες να προκαλέσει ανεμοστρόβιλο στο Τέξας! Όπως και είναι δυνατό τίποτα τέτοιο να μη συμβεί...

Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell

Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι μία φυσική οντότητα που ορίζεται τόσο στον χρόνο, όσο και στον χώρο. Δηλαδή, εκτός από το “*τώρα*” και το “*μετά*”, όπως στην περίπτωση του σημειακού σωματιδίου, μας ενδιαφέρει εξίσου το “*εδώ*” και το “*εκεί*”. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρικό πεδίο \mathbf{E} και το μαγνητικό πεδίο \mathbf{B} είναι συναρτήσεις τεσσάρων μεταβλητών: των χωρικών συντεταγμένων (x,y,z) και του χρόνου t . Τα \mathbf{E} και \mathbf{B} θα ικανοποιούν τώρα ένα σύστημα μερικών διαφορικών εξισώσεων, στο οποίο εμφανίζονται οι μερικές παράγωγοι των πεδίων ως προς τις μεταβλητές (x,y,z,t). Το σύστημα αυτό είναι οι τέσσερις εξισώσεις του Maxwell [2]:

$$\begin{array}{l}
 (a) \quad \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \\
 (b) \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0 \\
 (c) \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\
 (d) \quad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}
 \end{array}$$

όπου ρ και \mathbf{J} οι πυκνότητες φορτίου και ρεύματος, αντίστοιχα, ενώ τα ϵ και μ είναι σταθερές. Οι εξισώσεις αυτές συνδέουν τις χωροχρονικές μεταβολές των πεδίων \mathbf{E} και \mathbf{B} μεταξύ τους, καθώς και με τις “πηγές” του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (τις κατανομές φορτίου και ρεύματος). Η ολοκλήρωση του συστήματος

Maxwell για δοσμένες αρχικές και οριακές συνθήκες δίνει τα \mathbf{E} και \mathbf{B} σαν συναρτήσεις των (x,y,z,t) .

Κβαντομηχανική και σχετικότητα

Η θεμελιώδης διαφορική εξίσωση στην κβαντομηχανική είναι η εξίσωση του *Schrödinger* :

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi(\mathbf{r}, t) + V(\mathbf{r})\Psi(\mathbf{r}, t).$$

Το τετράγωνο του μέτρου της μιγαδικής συνάρτησης $\Psi(\mathbf{r}, t)$ σχετίζεται με την *πιθανότητα* να βρεθεί ένα σωματίδιο μάζας m μέσα σε έναν στοιχειώδη όγκο γύρω από το σημείο \mathbf{r} τη χρονική στιγμή t . Για την ολοκλήρωση της εξίσωσης πρέπει να μας δοθεί η τιμή της συνάρτησης Ψ σε κάθε σημείο \mathbf{r} τη χρονική στιγμή $t=0$ (*αρχική συνθήκη*), καθώς και κατάλληλες *οριακές συνθήκες* που ισχύουν για κάθε χρονική στιγμή t .

Σύμφωνα με την *γενική θεωρία της σχετικότητας*, το πρόβλημα της βαρύτητας ανάγεται στην υπόθεση της καμπύλωσης του χωροχρόνου λόγω της παρουσίας της ύλης. Η γεωμετρία του χωροχρόνου καθορίζεται από τον *μετρικό τανυστή* $g_{\mu\nu}$ ($\mu, \nu=0,1,2,3$), που είναι συνάρτηση των χωροχρονικών συντεταγμένων (t,x,y,z) . Η σχέση ανάμεσα στη γεωμετρία του χωροχρόνου και την ύλη που την διαμορφώνει δίνεται από τις *εξισώσεις του Einstein*, που είναι σύστημα διαφορικών εξισώσεων δευτέρας τάξεως για τις χωροχρονικές συναρτήσεις $g_{\mu\nu}$.

Υπάρχουν, όμως, και μη-διαφορικοί φυσικοί νόμοι!

Οι θεμελιώδεις φυσικοί νόμοι, όπως αυτοί του Νεύτωνα ή εκείνοι που περιγράφονται με τις εξισώσεις του Maxwell, εκφράζονται μαθηματικά με διαφορικές εξισώσεις και αφορούν τη χρονική εξέλιξη της κατάστασης ενός καλά καθορισμένου συστήματος σωματιδίων, ή την χωροχρονική συμπεριφορά ενός πεδίου. Υπάρχουν όμως και μη-διαφορικοί (αλλά πολύ σημαντικοί!) νόμοι που εκφράζουν, π.χ., σχέσεις ανάμεσα σε φυσικά μεγέθη ή πεδία, ή περιγράφουν την στατιστική συμπεριφορά ενός τεράστιου (πρακτικά μη-μετρήσιμου) πλήθους σωματιδίων. Ας δούμε μερικά παραδείγματα:

Ο νόμος της βαρύτητας, του Νεύτωνα: $F = GmM / r^2$, δίνει την έλξη που ασκεί μία μάζα M (π.χ., η Γη) σε μία μάζα m (π.χ., έναν δορυφόρο σε τροχιά γύρω από τη Γη) που βρίσκεται σε απόσταση r από την M .

Ο (γενικευμένος) νόμος του Ohm: $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$, συνδέει την πυκνότητα ρεύματος \mathbf{J} σε ένα σημείο ενός ηλεκτρικά αγώγιμου μέσου ειδικής αγωγιμότητας σ , με την ένταση \mathbf{E} του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο αυτό. Όμως, πέραν του ότι ο νόμος αυτός δεν έχει γενική εφαρμογή σε όλα τα υλικά μέσα, αποτελεί και προσεγγιστική εμπειρική σχέση που ισχύει με την προϋπόθεση ότι το πεδίο \mathbf{E} δεν είναι πολύ ισχυρό. Ο νόμος του Ohm, δηλαδή, δεν αποτελεί ακριβή και γενικό νόμο της Φύσης.

Στην κατηγορία των στατιστικών νόμων ανήκουν οι νόμοι της θερμοδυναμικής.

Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος, που κατ' ουσίαν εκφράζει διατήρηση της ενέργειας, δεν είναι παρά γενίκευση της αρχής διατήρησης (ή μεταβολής, αν δρουν και μη-συντηρητικές δυνάμεις) της μηχανικής ενέργειας ενός Νευτώνειου συστήματος σωματιδίων [1].

Όσο για τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής [3], εκφράζει μία αυτονόητη αρχή: Αυτό που είναι πολύ-πολύ-πολύ απίθανο – αν και, θεωρητικά, όχι αδύνατο! – να συμβεί, δεν θα το δούμε ποτέ να συμβαίνει στην πράξη.

Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι οι αληθινά θεμελιώδεις φυσικοί νόμοι – αυτοί, δηλαδή, που περιγράφουν τη Φύση στο πλέον στοιχειώδες επίπεδο των σωματιδίων και των πεδίων – εκφράζονται μαθηματικά σε διαφορεική μορφή. Με άλλα λόγια, οι πληροφορίες που αντλούνται από τους νόμους αυτούς προκύπτουν από την επίλυση διαφορικών εξισώσεων!

[1] <https://eclass.hna.gr/modules/document/file.php/TOM6103/Mechanics%20Volume%20PDF.pdf>

[2] <https://eclass.hna.gr/modules/document/file.php/TOM6104/EM%20Volume%20PDF.pdf>

[3] <https://eclass.hna.gr/modules/document/file.php/TOM6106/reversing%2otime%20arrow.pdf>

Γιατί, τελικά, η Γη δεν είναι επίπεδη;

Posted on [July 3, 2022](#) by [Costas Papachristou](#)



Μία μικρή εισαγωγή στην ευκλείδεια και την μη-ευκλείδεια γεωμετρία

Γράφει: Κώστας Παπαχρήστου

Ένας **μύθος** που διακινείται από αντιεπιστημονικούς και συνωμοσιολογικούς κύκλους υποστηρίζει ότι το σχήμα της Γης είναι **επίπεδο**, αντί – όπως καλά γνωρίζουμε – **σφαιρικό**. Ένα απλό νοητικό πείραμα αρκεί για να καταρρίψουμε τον μύθο μια και καλή. Όμως, προκειμένου να το περιγράψουμε, θα χρειαστούμε λίγες έννοιες από τη γεωμετρία...

Το επίπεδο είναι **ευκλείδειος χώρος** δύο διαστάσεων. Μερικές ιδιότητες αυτού του χώρου είναι οι εξής:

- * Η συντομότερη απόσταση ανάμεσα σε δύο σημεία είναι αυτή που βρίσκεται σε ευθεία γραμμή.
- * Δύο ευθείες γραμμές που ξεκινούν να είναι **παράλληλες** μεταξύ τους, μένουν παράλληλες σε όλη τους την (άπειρη) έκταση και, συνεπώς, **ποτέ δεν τέμνονται**.
- * Το άθροισμα των γωνιών ενός τριγώνου είναι 180° .
- * Ισχύει το **πυθαγόρειο θεώρημα**: Αν $AB\Gamma$ είναι ένα ορθογώνιο τρίγωνο, όπου η ορθή γωνία είναι στο A , τότε

$$(AB)^2 + (A\Gamma)^2 = (B\Gamma)^2 \quad (1)$$

Να τώρα τα δύο στάδια του πειράματός μας:

1. Διαλέγετε δύο σημεία A και B πάνω στην επιφάνεια της Γης, σε αρκετά μεγάλη απόσταση το ένα από το άλλο. Στη συνέχεια, εντοπίζετε τον συντομότερο δυνατό δρόμο από το A στο B , και χαράσσετε (νοερά) τη γραμμή AB . Αν η Γη είναι επίπεδη, η γραμμή αυτή θα πρέπει να είναι ευθεία. Τώρα, στα σημεία A και B τοποθετείτε δύο φίλους σας (τους οποίους δεν πολυ-συμπαθείτε!) και τους ζητάτε να ξεκινήσουν να κινούνται **κάθετα** προς τη γραμμή AB , άρα **παράλληλα** μεταξύ τους. Σε ευκλείδειο χώρο οι παράλληλες ευθείες δεν τέμνονται, και έτσι οι φίλοι σας δεν θα συναντηθούν ποτέ πάνω στη Γη. Καθένας τους θα φτάσει ως την άκρη της επίπεδης γήινης επιφάνειας, και από κει θα πέσει στο διάστημα. Θα απαλλαγείτε, έτσι, μια και καλή από αυτούς!

Αν όμως η Γη είναι **σφαίρα**, τότε πάνω στην επιφάνειά της δεν θα ισχύουν τα ευκλείδεια αξιώματα. Έτσι, η γραμμή ελάχιστης απόστασης AB θα ανήκει σε έναν **μέγιστο κύκλο** – π.χ. τον Ισημερινό – και οι πορείες των φίλων σας, αν και **αρχικά** παράλληλες, θα **συναντηθούν** τελικά σε κάποιο σημείο – π.χ. στον Βόρειο Πόλο, αν οι φίλοι κινηθούν κατά μήκος δύο μεσημβρινών (που είναι πάντα **κάθετοι** στον Ισημερινό). Κι εσείς, έτσι, δεν θα απαλλαγείτε ποτέ από τους δύο αντιπαθητικούς! Με βάση την εμπειρία μας από αμέτρητα ταξίδια πάνω στην επιφάνεια της Γης, αυτό το δεύτερο σενάριο είναι, φοβάμαι, το πιο πιθανό...

Επίσης, αν Γ είναι το σημείο τομής των τμημάτων AG και $B\Gamma$, καθένα εκ των οποίων είναι κάθετο στο AB , το τρίγωνο $AB\Gamma$ πάνω στη σφαίρα θα έχει δύο(!) ορθές γωνίες και, συνεπώς, το άθροισμα των γωνιών του θα είναι **μεγαλύτερο** από 180° (λέμε ότι η σφαίρα έχει **θετική καμπυλότητα**).

2. Σχηματίστε, στη συνέχεια, ένα τεράστιο ορθογώνιο τρίγωνο $AB\Gamma$ πάνω στην επιφάνεια της Γης (με ορθή γωνία στο A), φροντίζοντας ώστε οι δρόμοι που συνδέουν ανά δύο τα σημεία A , B , Γ να είναι οι συντομότεροι δυνατοί. Αν η Γη είναι επίπεδη, θα πρέπει να επαληθεύεται το πυθαγόρειο θεώρημα (1). Πράγμα που **δεν** θα ισχύει, βέβαια, αν η Γη είναι σφαίρα, αφού η επιφάνεια της σφαίρας είναι **μη-ευκλείδειος** χώρος. Σε μία τέτοια περίπτωση, στη θέση της ισότητας (1) θα έχουμε την ανισότητα

$$(AB)^2 + (AG)^2 > (B\Gamma)^2 \quad (2)$$

Ας δούμε τώρα ένα παράδειγμα, παίρνοντας πληροφορίες, π.χ., από την *Google*: Αν βάλουμε στο *A* τη Θεσσαλονίκη και στα *B* και *Γ* τη Μαδρίτη και τη Ρίγα, αντίστοιχα, σχηματίζεται (κατά προσέγγιση) ένα ορθογώνιο τρίγωνο με ορθή γωνία στο *A* (όπως πριν) και πλευρές ίσες με

$$AB \text{ (Θεσσαλονίκη – Μαδρίτη)} = 2243 \text{ km} ,$$

$$AG \text{ (Θεσσαλονίκη – Ρίγα)} = 1816 \text{ km} ,$$

$$BG \text{ (Μαδρίτη – Ρίγα)} = 2712 \text{ km} .$$

Έτσι,

$$(AB)^2 + (AG)^2 = 8,328,905 \text{ ενώ } (BG)^2 = 7,354,944.$$

Δηλαδή, η ανισότητα (2) φαίνεται να επαληθεύεται. Πράγμα που, όπως είπαμε, δεν μπορεί να ισχύει αν η Γη είναι επίπεδη.

Συμπέρασμα: Δυστυχώς για τους συνωμοσιολόγους, η Γη δεν μπορεί να είναι επίπεδη! Όπως δείχνουν οι μετρήσεις – αλλά και όπως μας βεβαιώνουν οι αστροναύτες – πρόκειται για σφαίρα (με κάποιες μικρές αποκλίσεις από το τέλεια σφαιρικό σχήμα).

Υ.Γ. Για “μεγάλα παιδιά”: Σε έναν ευκλείδειο χώρο n διαστάσεων είναι δυνατό να ορίσουμε ορθογώνιες **καρτεσιανές συντεταγμένες** x^k ($k=1,2,\dots,n$) τέτοιες ώστε η στοιχειώδης απόσταση ds ανάμεσα σε δύο γειτονικά σημεία να δίνεται από την έκφραση

$$ds^2 = \sum_k (dx^k)^2 \quad (3)$$

όπου το \sum_k δηλώνει άθροισμα για $k=1,2,\dots,n$. [Η σχέση (3) εκφράζει το γενικευμένο πυθαγόρειο θεώρημα σε n διαστάσεις.] Αντίθετα, τέτοιες συντεταγμένες **δεν** είναι δυνατό να οριστούν στην επιφάνεια μιας σφαίρας. Αυτό εξηγεί γιατί δεν μπορούμε να “ξεδιπλώσουμε” ένα τμήμα μιας σφαιρικής επιφάνειας πάνω σε ένα επίπεδο. Η επιφάνεια της σφαίρας είναι ένας **γνήσια καμπύλος** χώρος, πράγμα που δεν ισχύει, π.χ., για τον κύλινδρο, του οποίου την καμπυλωτή επιφάνεια μπορούμε να

κόψουμε και να ξεδιπλώσουμε στο επίπεδο. Έτσι, σε αντίθεση με τη σφαιρική επιφάνεια, πάνω σε μία κυλινδρική επιφάνεια *μπορούν* να οριστούν καρτεσιανές συντεταγμένες.

Μα, θα μου πείτε τώρα, γιατί πρέπει να μας απασχολεί μία μη-ευκλείδεια γεωμετρία που παραβιάζει τόσες “προφανείς” ιδιότητες του χώρου στον οποίο ζούμε; Διότι, σύμφωνα με την γενική θεωρία της σχετικότητας και την κοσμολογία, το ίδιο το Σύμπαν μπορεί να έχει αυτή τη γεωμετρία. Δηλαδή, αν ανάψετε έναν φακό και στείλετε το φως προς τον ουρανό – κι αν έχετε την υπομονή που απαιτείται – ύστερα από μερικά δισεκατομμύρια χρόνια το φως που στείλατε μπορεί να ξαναγυρίσει σε εσάς! Σαν να κάνει κάποιος μία κλειστή διαδρομή κατά μήκος του Ισημερινού, **νομίζοντας** πως κινείται πάντα σε ευθεία γραμμή...