

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**