

Ο χώρος, ο χρόνος και η ύλη στη σύγχρονη φυσική

Οι αντιλήψεις που έχουμε για το χώρο, το χρόνο και την ύλη στα πλαίσια της φυσικής είναι σχετικά πρόσφατες. Το πλέγμα αυτό των εννοιών δημιουργήθηκε πριν από 300 χρόνια, χάρη στη δημιουργική συμβολή των μεγάλων στοχαστών, του Descartes, του Νεύτωνα, του Leibniz.

Υπάρχουν αρκετοί φυσικοί που πιστεύουν ότι οι έννοιες και θεωρητικές κατασκευές που αναπτύσσονται στη φυσική, και γενικότερα στις θετικές επιστήμες, αφορούν μόνο τους φυσικούς, ότι πρόκειται για εργαλεία που επιτρέπουν τη σύγκριση ανάμεσα στη θεωρία και τα πειραματικά δεδομένα και ότι θα πρέπει να αποφύγουμε να δώσουμε οντολογική υπόσταση στις έννοιες αυτές. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν φυσικοί που πιστεύουν ότι οι φυσικές θεωρίες αποτελούν κομμάτι από μια συνολικότερη εικόνα για τον κόσμο και τον άνθρωπο, μια σημαντική συνιστώσα του πραγματικού και ότι ο διάλογος ανάμεσα στους διαφορετικούς κλάδους του επιστητού είναι χρήσιμος και επιβεβλημένος. Ένας διάλογος που, αναζητώντας τη σύνθεση και την ενότητα, σέβεται την αυτοτέλεια και τη διαφορετικότητα.

Ο Descartes χάρισε στη φυσική τη μαθηματικοποίηση του χώρου, με την έννοια ότι μπορούμε να μελετούμε το χώρο καταφεύγοντας στην άλγεβρα και χρησιμοποιώντας τους αριθμούς. Σύμφωνα με το σχετικό ανέκδοτο, ο Descartes, άρρωστος στο κρεβάτι του, κοιτούσε από το παράθυρό του. Αντιλήφθηκε τότε ότι για το φύλλο του δέντρου που έβλεπε στο παράθυρο, θα μπορούσε να προσδιορίσει τη θέση του καθορίζοντας τις συντεταγμένες, τις αποστάσεις, από τους δύο άξονες του παραθύρου. Εν γένει, για ένα σημείο στον τρισδιάστατο χώρο αντιστοιχίσε μία τριάδα αριθμών. Έτσι όλα τα γεωμετρικά σχήματα (ευθεία, καμπύλη, κύκλος, σφαίρα, κύβος...) αλλά και ο χώρος ο ίδιος περιγράφονται από μαθηματικές εξισώσεις. Ο Descartes προσδιόρισε ότι η ύλη χαρακτηρίζεται από την έκταση που καταλαμβάνει στο χώρο —το εκτατό της ύλης (*res extensa*)— υποδεικνύοντας ότι τα προβλήματα της φυσικής ανάγονται στη γεωμετρία.

Συνάμα εγκατέστησε την πρωτοκαθεδρία της νόησης και ειδικότερα της αναλυτικής σκέψης. Το γνωστό «σκέφτομαι, άρα υπάρχω» συρρικνώνει το υποκείμενο στη νοητική δραστηριότητα, στο *cogito*, και το αντικείμενο στις μετρικές σχέσεις. Έτσι ο καρτεσιανισμός, βάζοντας τα θεμέλια για την ανάπτυξη της φυσικής και της επιστήμης, οδήγησε πα-

Ο Αργύρης Νικολαΐδης είναι θεωρητικός φυσικός, αναπληρωτής καθηγητής στο Αριστοτέλειο Πανεπ. Θεσσαλονίκης.

ράλληλα σε μία νομιναλιστική θεώρηση. Η ανάλυση συγκεντρώνεται στις έννοιες και τη διατύπωση εννοιών, στα συμβολικά (ή γλωσσικά) περιεχόμενα, που κανείς ποτέ δε θα μας πει πώς και αν συνδέονται με οτιδήποτε υπάρχει έξω και πέρα απ' αυτά. Η ίδια η φύση αποστερείται νοήματος και σημασίας. Οι συνέπειες και τα όρια αυτής της (δυτικής) μεταφυσικής έχουν επισημανθεί στο ύστερο έργο του Wittgenstein. Είναι ενδιαφέρον να θυμηθούμε ότι μία άλλη σχέση ισορροπίας ανάμεσα στη νόηση και το είναι είχε διατυπωθεί πολύ νωρίτερα από τον Παρμενίδη (το γαρ αυτό νοεόν εστίν τε και είναι).

Στον Descartes χρωστάμε ακόμη τις τωρινές αντιλήψεις μας για την όραση, όπου οι φωτεινές ακτίνες κατευθύνονται από το αντικείμενο προς το μάτι. Η καρτεσιανή οπτική ανέτρεψε το πλατωνικό μοντέλο, στο οποίο το «ήμερον φως» κυλάει από το μάτι για να συναντήσει το φως που εκπέμπει το αντικείμενο. Έτσι, ενώ στο πλατωνικό μοντέλο ο ορών και ο ορώμενος συναντώνται σε μία συναύγεια, το καρτεσιανό μοντέλο μάς παραπέμπει σε μία γνωσιολογία όπου έχουμε διχοτομία υποκειμένου και αντικειμένου.

Μία άλλη σημαντική εξέλιξη ήταν η δημιουργία του διαφορικού λογισμού από τον Νεύτωνα και τον Leibniz. Η εισαγωγή της έννοιας του ορίου επέτρεψε να προσεγγιστούν τα προβλήματα του συνεχούς και του ασυνεχούς, προβλήματα που βασάνιζαν από παλιά την ελληνική σκέψη (παράδοξο του Ζήνωνα). Πολύ αργότερα ο Cantor έδειξε τη θεμελιακή ιδιότητα του συνεχούς: το συνεχές, όσες φορές και να το κατατιμήσουμε, παραμένει πάντα συνεχές (ο πληθυντικός αριθμός παραμένει ο ίδιος). Ο διαφορικός λογισμός μας οδήγησε στην έννοια της ταχύτητας και ο Νεύτωνας, χρησιμοποιώντας τα φυσικά μεγέθη της θέσης και της ορμής, καθόρισε τους νόμους της κινηματικής και της δυναμικής στη Μηχανική. Η Κλασική Μηχανική του Νεύτωνα εξήγησε τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων (όπως και την πτώση των μήλων) και αναμφίβολα αποτελεί μία από τις πιο λαμπρές θεωρητικές κατασκευές της ανθρώπινης σκέψης. Ο Νεύτωνας μας έδωσε συγχρόνως μία καινούρια (για την τότε συγκυρία) αντίληψη για το χρόνο και το χώρο. Στις πρώτες σελίδες του *Principia* ο Νεύτωνας προχωρεί σε μία οξυτάτη κριτική των αντιλήψεων για το χρόνο, το χώρο και την κίνηση που χαρακτήριζαν τον κοινό νου: «Παρατηρώ ότι οι κοινοί άνθρωποι αντιλαμβάνονται αυτές τις ποσότητες (χρόνο, χώρο, κίνηση) από τη σχέση που έχουν με αισθητά αντικείμενα. Συνεπώς αναφέρονται προκαταλήψεις και, για να τις απομακρύνουμε, πρέπει να ξεχωρίσουμε το απόλυτο από το σχετικό, το αληθινό από το φαινομενικό, το μαθηματικό από το κοινό». Διαβάζοντας αυτές τις γραμμές σήμερα, έχει κανείς την αίσθηση ότι ο Νεύτωνας απαντά το 1687 στη θεωρία της Ειδικής Σχετικότητας του Einstein του 1905. (Γιατί άραγε η ουσία της ΕΘΣ δεν είναι η απαίτηση ο καθένας παρατηρητής να έχει το δικό του σχετικό χρόνο, που τον καθορίζει μέσα από τη μέτρηση ενός φυσικού φαινομένου;) Στη συνέχεια ο Νεύτωνας ορίζει τον απόλυτο χρόνο: «Απόλυτος, αληθής και μαθηματικός χρόνος, που από τη φύση του ρέει ομαλά, χωρίς καμιά αναφορά σ' οτιδήποτε το εξωτερικό». Ή αλλιώς θα λέγαμε σήμερα ότι απόλυτος χρόνος είναι αυτό που αλλάζει, όταν δεν αλλάζει τίποτε. Στην εποχή μας βέβαια ο κοινός νους έχει πλήρως αποδεχθεί το νευτώνειο πρόσταγμα και έχουμε τεράστιες δυσκολίες να αποδεχθούμε τις καινούριες αντιλήψεις για το χρόνο που έφερε η φυσική του 20ού αιώνα. Από την άλλη μεριά, ο χρόνος της σχετικότητας (σε μια ειρωνεία της θεώρησης για γραμμική εξέλιξη) είναι πιο κοντά στις αντιλήψεις του κοινού νου του 1687... Όσον αφορά το χώρο, ο νευτώνειος χώρος είναι απόλυ-

τος, αναλλοίωτος και άυλος (σε αντίθεση με την υλικότητα της πλατωνικής χώρας που περιγράφεται στον Τίμαιο).

Στις αρχές του εικοστού αιώνα το κλασικό παράδειγμα καταρρέει και αναδύεται η Θεωρία της Σχετικότητας και η Κβαντική Μηχανική. Στην ΕΘΣ ο χρόνος και ο χώρος συμψύρονται σ' ένα χωροχρονικό συνεχές. Ο χρόνος χωροποιείται και αυτό που ορίζεται σαν χρόνος από έναν παρατηρητή είναι μία μίξη χρόνου και χώρου για έναν άλλο παρατηρητή. Συνακόλουθα ένα γεγονός παρουσιάζεται με διαφορετικές χωροχρονικές συντεταγμένες από διαφορετικούς παρατηρητές. Η ισοδύναμη, η χρονική διάρκεια ενός γεγονότος δεν εξαρτάται μόνο από το αρχικό και το τελικό σημείο, αλλά και από τη διαδρομή πάνω στο χωροχρονικό συνεχές.

Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας προχωράει σε ακόμη πιο ριζικές αλλαγές, μια και το χωροχρονικό συνεχές αποκτά δυναμική υπόσταση. Η γεωμετρία του χωροχρόνου (η καμπυλότητα του χώρου, αν ο χώρος είναι ανοιχτός η κλειστός) καθορίζεται πλέον από την κατανομή της ύλης (μέσα από τις μη γραμμικές εξισώσεις του Einstein). Και η ύλη κινείται στον καμπυλωμένο χωροχρόνο ακολουθώντας τη γεωδαισιακή καμπύλη, που είναι ο πιο σύντομος δρόμος. (Η ύλη καμπυλώνει το χωροχρόνο και ο χωροχρόνος καθορίζει την κίνηση της ύλης-Wheeler). Τα βαρυτικά φαινόμενα αναλύονται σ' ένα τελείως διαφορετικό εννοιολογικό πλαίσιο. Ας θεωρήσουμε την παλίρροια. Ακολουθώντας τον Νεύτωνα, θα ισχυριστούμε ότι το φεγγάρι ασκεί δύναμη (βαρυτική δύναμη) πάνω στα νερά της θάλασσας και τα τραβάει προς το μέρος του. Ακολουθώντας τον Einstein, θα πούμε ότι η παρουσία του φεγγαριού προκάλεσε την καμπύλωση του χωροχρόνου στη γειτονιά του φεγγαριού και τα νερά της θάλασσας κινήθηκαν κατά μήκος της γεωδαισιακής στον καμπυλωμένο χωροχρόνο. Ο χρόνος στη ΓΘΣ μεταμορφώνεται ριζικά, μια και ρέει διαφορετικά από ένα σημείο στο άλλο. Για παράδειγμα, το ρολόι μας τρέχει πιο γρήγορα στον τελευταίο όροφο του Πύργου των Αθηνών παρά στο ισόγειο, ενώ ο χρόνος πάνω στον ορίζοντα μιας μελανής οπής παγώνει.

Με την ΕΘΣ αποδεχτήκαμε την ιδέα ότι ένα φυσικό γεγονός μπορεί να περιγράφεται με διαφορετικούς χωροχρονικούς όρους από διαφορετικούς παρατηρητές. Όλοι όμως οι παρατηρητές συμφωνούν για τη φύση του φαινομένου. Π.χ. για τη σύγκρουση δύο τρένων, ο παρατηρητής που είναι πάνω στο συγκρούμενο τραίνο και ο παρατηρητής που παρακολουθεί ακίνητος τη σύγκρουση δεν πρόκειται να συμφωνήσουν για το πότε έγινε η σύγκρουση. Θα συμφωνήσουν βέβαια ότι δύο τρένα συγκρούστηκαν. Στη ΓΘΣ όμως υπάρχουν καταστάσεις όπου στο ίδιο φυσικό φαινόμενο αντιστοιχούν διαφορετικές διηγήσεις ή διαφορετικές ιστορίες. Ας φανταστούμε έναν πύραυλο που κατευθύνεται προς μία μελανή οπή. Ένας παρατηρητής που βρίσκεται στο άπειρο θα δει τον πύραυλο να πλησιάζει τον ορίζοντα της μελανής οπής και να σταματάει εκεί (σε άπειρο χρόνο). Συνάμα θα δει τον πύραυλο να υψίσταται την ακτινοβολία Hawking της μελανής οπής. Ο παρατηρητής όμως που βρίσκεται στον πύραυλο δεν πρόκειται να αντιληφθεί την ακτινοβολία Hawking και θα περάσει βέβαια τον ορίζοντα της μελανής οπής για να συντριφεί τελικά πάνω στην ανωμαλία της μελανής οπής. Παρατηρούμε ότι έχουμε απώλεια της πληροφορίας και δεν μπορούμε να στηριχτούμε πια σε αναλλοίωτα γεγονότα.

Η επιτυχία του Einstein να περιγράψει τη δύναμη της βαρύτητας με όρους γεωμετρίας

(καμπυλωμένος χωροχρονος) ενεθάρρυνε άλλους φυσικούς να προσπαθήσουν να περιγράψουν και τις υπόλοιπες δυνάμεις με γεωμετρικούς όρους. Έτσι για τους Kaluza και Klein τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία αναφύονται από μία πέμπτη συμπαγή διάσταση, ενώ η ενοποιημένη θεωρία των υπερχορδών ζει σε 10 διαστάσεις.

Η ολοκληρωτική ρήξη με το «καρτεσιανό πρόγραμμα» (ορισμός των Husserl και Heidegger) επέρχεται με τη γένεση και ανάπτυξη της Κβαντικής Μηχανικής. Οι ιδιομορφίες του καινούριου κόσμου και της καινούριας θεώρησης αποδίδονται καλύτερα μέσα από το γνωστό πείραμα των δύο οπών. Τα πειραματικά αποτελέσματα μας αναγκάζουν:

1) Να παραιτηθούμε από τη λογική της διάζευξης. Η πρόταση «το ηλεκτρόνιο πέρασε η από τη μία ή από την άλλη οπή» αποδεικνύεται λανθασμένη. Τα ίδια τα πειραματικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι πρέπει να εγκαταλείψουμε την αριστοτελική λογική και την αρχή του αποκλειόμενου τρίτου (ένας τρίτος όρος T είναι A ή μη A). Αντίθετα η κβαντική λογική πρέπει να στηρίζεται στην αρχή του εγκλειόμενου τρίτου (υπάρχει τρίτος όρος T που είναι A και μη A). Η αναδυόμενη φυσική κλίνει πιο πολύ προς το πρόγραμμα του Brouwer και του Godel παρά του Hilbert.

2) Η αρχή της επαλληλίας της Κβαντικής Μηχανικής, $\psi = \psi_1 + \psi_2$, καταστρέφει τον εντοπισμό της ύλης στο χώρο. Το ηλεκτρόνιο την ίδια χρονική στιγμή μπορεί να είναι και εδώ και εκεί. Το εκτατό της ύλης δεν υπάρχει πια, η ύλη δεν είναι αγκυροβολημένη στο χωροχρόνο και η διαφεύγουσα ύλη χάνει την υλικότητά της (την υλικότητά της όπως την όρισε ο Descartes).

3) Το πείραμα των δύο οπών φανερώνει ότι η ύλη έχει σωματιδιακές και κυματικές ιδιότητες (αρχή της συμπληρωματικότητας του Bohr). Επιπλέον, σύμφωνα με την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg, τα φυσικά μεγέθη επηρεάζονται από τις συνθήκες μέτρησης. Το ζεύγος παρατηρήτης-παρατηρούμενο είναι σε σχέση αλληλεπίδρασης και ο απόλυτος διαχωρισμός τους είναι αδύνατος.

4) Το «παράδοξο» EPR δείχνει με ενάργεια ότι η Κβαντική Μηχανική είναι μία ολιστική θεωρία και ότι η κβαντική πραγματικότητα δεν μπορεί να διασπαστεί σε επιμέρους τμήματα (εμπλεκόμενη τάξη).

Όλα τα παραπάνω μπορούν να συνοψιστούν στον παρατιθέμενο πίνακα.

Η σύντομη αυτή ιστορική αναδρομή δείχνει ότι, ενώ η επιστήμη γεννήθηκε, ανδρώθηκε και κατοχύρωσε την αυτονομία της απέναντι στη φιλοσοφία και τη θεολογία στα πλαίσια του καρτεσιανού προγράμματος, στη συνέχεια οι επιστημονικές επαναστάσεις του 20ού αιώνα ανέτρεψαν πλήρως τους όρους και τις προϋποθέσεις του προτύπου αυτού. Αν και δεν έχουμε βέβαια στη διάθεσή μας τη συνολική εικόνα, γίνεται φανερό ότι πρέπει να εγκαταλείψουμε τα διαχωριστικά συστήματα και τους δυϊσμούς, όπου η νόηση απομακρύνεται από το είναι, η μορφή από το περιεχόμενο και το υποκείμενο από το αντικείμενο. Παραφράζοντας μία γνωστή ρήση, μπορούμε να πούμε ότι το νόημα της φυσικής βρίσκεται έξω από τη φυσική και συνεπώς χρειαζόμαστε περισσότερο από ποτέ τη συνάντηση της επιστήμης με τη φιλοσοφική σκέψη, για την κατάκτηση μιας καινούριας ενότητας με διαφορετικότητα και πολλαπλότητα.

	Κλασική Φυσική	ΕΘΣ	Σχετικότητα	ΓΘΣ	Κβαντική Μηχανική
χρόνος	παγκόσμιος και απόλυτος	χωροποίηση χρόνου, διαφορετικές χωροχρονικές συντεταγμένες για το ίδιο γεγονός	η ροή του χρόνου δεν είναι η ίδια για διαφορετικούς παρατηρητές	κυκλικός χρόνος [ο χρόνος εμφανίζεται σαν μία φάση, $\exp(-iEt)$]	
χώρος	απόλυτος, αναλλοίωτος και άυλος	άυλο χωροχρονικό συνεχές	σύνδεση χωρόχρονου και ύλης (η κατανομή της ύλης καθορίζει τον καμπυλωμένο χωρόχρονο)	η κομματοσυνάρτηση ψ έχει σε αφηρημένο μαθηματικό χώρο Hilbert. Ο ίδιος ο χώρος έχει D (D>4) διαστάσεις, όπου οι D-4 διαστάσεις είναι συμπλεγείς	
ύλη	εκτατό της ύλης (η ύλη εντοπίζεται στο χώρο και στο χρόνο)	η ύλη εντοπίζεται στο χωρόχρονο (αν και με διαφορετικό τρόπο για διαφορετικούς παρατηρητές)	η ύλη δεν εντοπίζεται στο χρόνο	η ύλη δεν εντοπίζεται στο χώρο	
μοντέλο	μηχανιστικό μοντέλο, όπου το όλον ανάγεται στα μέρη. Πλήρης διαχωρισμός παρατηρητή - φυσικού φαινομένου	μη γραμμικό μοντέλο. Διαφορετικές δηγήσεις από διαφορετικούς παρατηρητές	Σύζευξη παρατηρητή και παρατήρησης. Ολιστική θεωρία, όπου η αβαντική πραγματικότητα δε διασπάται σε επιμέρους τμήματα		