Η πλήρης συνέντευξη του Δημήτρη Χριστοδούλου στον Αλκη Γαλδαδά.

Ο Δ. Χριστοδούλου βρέθηκε αυτό τον καιρό στην Ελλάδα και μίλησε στο ΒΗΜΑ για την ερευνητική του εργασία που έχει οδηγήσει σε μια σειρά από σημαντικές βραβεύσεις σε διάφορα σημεία του πλανήτη. Επίσης ανίχνευσε τη σχέση Μαθηματικών και Φυσικής και προχώρησε σε μια παρουσίαση της εξέλιξης των Μαθηματικών μέσα από τις σημαντικότερες μορφές που έχουν αφήσει τη σφραγίδα τους σε αυτά, από τον Απολλώνιο μέχρι τον Αϊνστάιν.

Θα θέλατε να μας αναπτύξετε την άποψή σας για τη σχέση Μαθηματικών και Φυσικής; Αυτά τα δυο πράγματα που μερικοί θεωρούν ότι είναι τελείως ξεχωριστά;

Αντίθετα από αυτό που πρεσβεύουν ορισμένοι, τα Μαθηματικά και η Φυσική αποτελούν μια ενιαία επιστήμη. Ακόμη και τομείς Μαθηματικών όπως για παράδειγμα η θεωρία των αριθμών που πιστεύεται ότι βρίσκονται μακριά από τη Φυσική ασχολούνται με φυσικές οντότητες εφ’ όσον εν προκειμένω οι αριθμοί αποτελούν θεμελιώδη δομή του φυσικού κόσμου. Από την άλλη μεριά δεν υπάρχει φυσική θεωρία άξια λόγου που δεν αποτελεί ταυτόχρονα μαθηματική θεωρία. Ο Γαλιλαίος είπε ότι το βιβλίο της φύσεως είναι γραμμένο στη γλώσσα των Μαθηματικών. Είναι σαφές ότι δεν εννοούσε με αυτή τη φράση πως τα Μαθηματικά είναι απλώς μια γλώσσα ανάμεσα σε άλλες η οποία μας χρησιμεύει για να διατυπώσουμε με σαφήνεια φυσικές θεωρίες. Και ότι οι φυσικές αυτές θεωρίες να έχουν ήδη σχηματιστεί στο μυαλό μας, όπως από μερικούς παρερμηνεύεται η όλη διαδικασία. Αλλά εννοούσε ότι το αρχιτεκτονικό σχέδιο της κτίσεως είναι σχέδιο μαθηματικό. Μαθηματικές δομές επινοούνται επεκτείνοντας ήδη γνωστές δομές. Στην αρχή της αλυσίδας τέτοιων γενικεύσεων βρίσκεται πάντοτε μια δομή που προήλθε από τη φυσική εμπειρία. Οι νέες δομές που επινοούνται δίνουν αρχικά την εντύπωση πως είναι άσχετες με το φυσικό κόσμο. Όμως στη συνέχεια αποδεικνύεται ότι όχι μόνο δεν είναι άσχετες αλλά αποτελούν βασικό συστατικό της φυσψ ικής πραγματικότητας. Θα δώσω τρία παραδείγματα για να γίνει αυτό κατανοητό:

1. Η Γεωμετρία του Riemann που είναι η Γεωμετρία των πολυδιάστατων χώρων (χώρων δηλαδή με παραπάνω από τρεις

διαστάσεις) προήλθε γενικεύοντας τη Θεωρία του Gauss. Μια θεωρία για την εσωτερική γεωμετρία καμπύλων επιφανειών στον τρισδιάστατο Ευκλίδειο χώρο, μια θεωρία δηλαδή με άμεση προέλευση από τη φυσική εμπειρία. Αρχικά φαινόταν τελείως άσχετη με τη Φυσική όμως αργότερα αποτέλεσε την κεντρική δομή που κατάφερε με τη βοήθειά της ο Αϊνστάιν να στηρίξει τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας.
2. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η Γενική Θεωρία των Συνεχών Ομάδων του Νορβηγού Μαθηματικού Sophus Lie (1842-1899). Προέκυψε με τη γενίκευση της μελέτης του Euler για τη νομάδα των στροφών στον τρισδιάστατο Ευκλίδειο χώρο. Κάτι άρρηκτα συνδεδεμένο με τη φυσική εμπειρία. Αρχικά φαινόταν ότι η γενίκευση του Lie είχε χάσει την επαφή με τη φυσική πραγματικότητα. Όμως από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα οι ομάδες Lie αποτελούν βασικό συστατικό της φυσικής των στοιχειωδών σωματίων.
3. Οι μιγαδικοί αριθμοί. Έκαναν την πρώτη εμφάνισή τους το 16^{ο} αιώνα στη λύση του Cardano για την εξίσωση τρίτου βαθμού στην περίπτωση που έχουμε τρεις πραγματικές ρίζες. Τότε ο τύπος του Cardano εκφράζει κάθε μια από τις λύσεις αυτές ως το άθροισμα δυο συζυγών μιγαδικών. Αργότερα, στην αρχή του 19^{ου} αιώνα, ο Gauss επεκτείνοντας το πεδίο ορισμού των πολυωνύμων στο μιγαδικό επίπεδο επέδειξε το θεμελιώδες θεώρημα της Άλγεβρας ότι δηλαδή κάθε πολυώνυμο ν-βαθμού έχει ν ρίζες επομένως εκφράζεται ως το γινόμενο ν μονονύμων. Κάτι τόσο απλό δεν ισχύει αν περιοριστούμε στους πραγματικούς αριθμούς. Φαινόταν λοιπόν τότε ότι οι μιγαδικοί αριθμοί επινοήθηκαν χάριν μαθηματικής ευκολίας και μόνον. Όμως ο 20^{ος} αιώνας έδειξε ότι οι μιγαδικοί αριθμοί αποτελούν ουσιαστικό συστατικό της κβαντομηχανικής επομένως της φυσικής πραγματικότητας όπως την αντιλαμβανόμαστε σήμερα.

Τα Μαθηματικά και η Φυσική, ως τμήματα μιας ενιαίας επιστήμης έχουν μια αμφίδρομη σχέση την οποία θα προσπαθήσω τώρα να περιγράψω. Οι πειραματικοί Φυσικοί έχουν άμεση επαφή με τη Φύση μελετώντας τα φυσικά φαινόμενα δια της πειραματικής μεθόδου. Οι Μαθηματικοί ανακαλύπτουν νέα μαθηματικές δομές είτε γενικεύοντας υπάρχουσες δομές είτε επειδή οδηγούνται σε νέες δομές στην προσπάθειά τους να επιλύσουν προβλήματα που προκύπτουν. Οι Θεωρητικοί Φυσικοί καταφεύγουν σε μαθηματικές δομές που έχουν προηγουμένως ανακαλυφθεί από τους Μαθηματικούς αναζητώντας δομή που να μπορεί να χρησιμεύσει ως πλαίσιο πάνω στο οποίο να στηθεί φυσική θεωρία. Δηλαδή θεωρία που αναφέρεται σε μια κλάση φυσικών φαινομένων τα οποία έχουν προηγουμένως παρατηρηθεί από τους Πειραματικούς Φυσικούς. Η φυσική θεωρία όχι μόνο προσδίδει μια φυσική ερμηνεία στην μαθηματική δομή αλλά και τη συμπληρώνει με νόμους, δηλαδή συνθήκες υπό τη μορφή εξισώσεων τις οποίες ζητούμε να ικανοποιεί η μαθηματική δομή. Οι εξισώσεις αυτές είναι διαφορικές εξισώσεις. Οι Μαθηματικοί τότε αναπτύσσουν μεθόδους που μας επιτρέπουν την ανάλυση των λύσεων των εξισώσεων αυτών. Κατόπιν τούτου οι λύσεις των εξισώσεων συγκρίνονται με τα γνωστά πειραματικά αποτελέσματα και επιπλέον οδηγούν σε προβλέψεις για τα αποτελέσματα μελλοντικών πειραμάτων που είναι να σχεδιαστούν και να εκτελεστούν. Από την άλλη μεριά η ανάπτυξη νέων Μαθηματικών μεθόδων για τη λύση οδηγεί όπως ήδη σημείωσα στην επινόηση νέων μαθηματικών δομών. Βεβαίως υπάρχουν μαθηματικά προβλήματα που δεν εμφανίζονται κατά τρόπο που περιέγραψα αλλά είναι ενδογενή, όπως για παράδειγμα προβλήματα της θεωρίας των αριθμών. Παρ’ όλα αυτά το σημαντικότερο τμήμα των μαθηματικών προβλημάτων εμφανίζεται μέσα από την αλληλεπίδραση με τη Φυσική.

Θα μπορούσατε να μας κάνετε μια σύνοψη αυτών που είπατε στο Ευγενίδειο σχετικά με τη Γεωμετρία; Πώς θα έπρεπε να διδάσκεται η Γωμετρία στο Γυμνάσιο και το Λύκειο;

Το θέμα της ομιλίας μου στο Ευγενίδειο Ίδρυμα είχε σχέση με τη θεωρία των εστιακών καμπυλών του Απολλωνίου και τη σχέση της με τα σύγχρονα Μαθηματικά. Σκοπός της ήταν να καταστεί σαφής η σημασία που συνεχίζει να έχει η Γεωμετρία σήμερα, ώστε να μην παραμεληθεί η διδασκαλία της στη χώρα μας.

Ο Απολλώνιος λοιπόν (από την Πέργη της Παμφυλίας 260-190 π.Χ.) ήταν ο τελευταίος μεγάλος Μαθηματικός της αρχαιότητας και ένας από τους κορυφαίους όλων των εποχών. Το έργο του για τις κωνικές τομές (έλλειψη, υπερβολή, παραβολή), έπαιξε σημαντικότατο ρόλο στην επιστημονική επανάσταση του 17^{ου} αιώνα, αφού αποτελεί τη βάση των ανακαλύψεων του Κέπλερ και του Γαλιλαίου και η επίδρασή του είναι φανερή ακόμη και στο κορυφαίο επίτευγμα της επιστημονικής επανάστασης, την Principia του Νεύτωνα (ενδεικτικό του σκότους που επικρατεί σήμερα στον Ελλαδικό χώρο είναι η απουσία άρθρου για τον

Απολλώνιο στην ελληνική εκδοχή της Wikipedia). Εάν μας δοθεί μια καμπύλη στο επίπεδο η αντίστοιχη εστιακή καμπύλη είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του επιπέδου, όπου μιλώντας κάπως χαλαρά, οι απειροστά γειτονικές κάθετοι προς την αρχική καμπύλη συναντώνται. Ένα σημαντικό θεώρημα είναι ότι αν ακολουθήσουμε μια οποιαδήποτε κάθετο προς την αρχική καμπύλη τότε για όποιο σημείο, επί της καθέτου αυτής βρίσκεται πριν το εστιακό σημείο, δηλαδή το σημείο όπου η εν λόγω κάθετος συναντά την εστιακή καμπύλη, το τμήμα της καθέτου μεταξύ του σημείου αυτού και της αρχικής καμπύλης είναι τοπικά το ελάχιστο ευθύγραμμο τμήμα που συνδέει το σημείο αυτό με την αρχική καμπύλη. Ο Απολλώνιος αποδεικνύει το θεώρημα αυτό (στο 5^{ο} βιβλίο του έργου του «Κωνικά») στην περίπτωση που αρχική καμπύλη είναι κωνική τομή. Το θεώρημα αρχικά επεκτάθηκε σε γενικές καμπύλες στο επίπεδο και σε καμπύλες επιφάνειες στον τρισδιάστατο Ευκλείδιο χώρο. Κατά τον 19^{ο} αιώνα γενικεύθηκε περαιτέρω σε καμπύλους χώρους Riemann και κατά τον 20^{ο} αιώνα στους καμπύλους χωροχρόνους της γενικής θεωρίας της σχετικότητας. Αυτό οδήγησε τελικά τον Penrose το 1965 σε συνδυασμό με την υπόθεση που εισήγαγε ο ίδιος της ύπαρξης παγιδευμένης επιφάνειας στο θεώρημα της μη-πληρότητας του χωροχρόνου, ένα από τα σημαντικότερα θεωρήματα της σημερινής Μαθηματικής Φυσικής, εφ’ όσον προβλέπει, μιλώντας χαλαρά, ότι ο χρόνος θα φθάσει σε κάποιο τέλος.

Οι αρχαίοι Έλληνες Μαθηματικοί αποτελούν μια λαμπρή σειρά που αρχίζει με την ίδρυση της σχολής των Πυθαγορείων το 530 π.Χ. στον Κρότωνα και συνεχίζεται με τους Πυθαγορείους του 5^{ου} π.Χ. αιώνα. Μεταλαμπαδεύεται τον 4^{ο} π.Χ. αιώνα στη Σχολή των Αθηνών, στον Θεαίτητο και τον Εύδοξο. Ο Ευκλείδης που μαθήτευσε στη Σχολή των Αθηνών ιδρύει κατά το τελευταίο τέταρτο του αιώνα την Αλεξανδρινή Σχολή. Τα «Στοιχεία» του Ευκλείδη είναι το αρχαιότερο κείμενο ελληνικών Μαθηματικών που διασώθηκε πλήρες. Μόνο αποσπάσματα σώζονται από αρχαιότερα έργα. Στην Αλεξανδρινή Σχολή μαθήτευσε τον 3^{ο} π.Χ. αιώνα ο κορυφαίος όλων των Μαθηματικών, ο Αρχιμήδης και μετά από αυτόν ο Απολλώνιος, με τον θάνατο του οποίου το 190 π.Χ. κλείνει η πρώτη χρυσή εποχή στην παγκόσμια ιστορία Μαθηματικών, εποχή των αρχαίων Ελλήνων.
Επιγραμματικά τώρα θα πω ποια ήταν η συνεισφορά του καθενός, παραλείποντας τον τελευταίο. Πριν από τους αρχαίους Έλληνες αναπτύχθηκαν οι πανάρχαιοι πολιτισμοί της Αιγύπτου και της Μεσοποταμίας. Αυτοί οι λαοί ανακάλυψαν εμπειρικούς κανόνες χρήσιμους για την αντιμετώπιση προβλημάτων που παρουσιάζονταν στον γεωργικό και τον αστικό βίο, όπως ο υπολογισμός του εμβαδού χωραφιών και ο όγκος στερεών, πρόβλημα που προκύπτει στην ανέγερση

κτιρίων. Ο Πυθαγόρας αφού μαθήτευσε επί μακρόν στην Αίγυπτο, άρχισε να ανακαλύπτει λογικές συνδέσεις μεταξύ των διαφόρων εμπειρικών δεδομένων κάτι που συνεχίστηκε από τους μαθητές του και κατέληξε στην καθιέρωση ενός καινούριου τρόπου σκέψης, την μαθηματική απόδειξη και το θεώρημα. Αυτή ήταν και η αρχή της μαθηματικής επιστήμης με τη σημερινή έννοια. Όμως η εξέλιξη δεν ήταν ομαλή. Και τούτο γιατί η βασική φιλοσοφία των Πυθαγορείων ότι τα πάντα εκφράζονται μέσω των αριθμών, δηλαδή των θετικών ακεραίων και επομένως η αναλογία δυο μηκών εκφράζεται ως ο λόγος δυο αριθμών, υπέστη καταστροφικό πλήγμα κατά τον 5^{ο} π.Χ. αιώνα όταν ένας Πυθαγόρειος ο Ίππασος έφθασε σε άτοπο προσπαθώντας να βρει το λόγο της διαγωνίου προς την πλευρά ενός τετραγώνου ή ενός κανονικού πενταγώνου, τη λεγόμενη «Χρυσή Τομή». Αυτή η ανακάλυψη των «αρρήτων» αναλογιών έφερε πρόσκαιρα τα Μαθηματικά σε τέλμα επειδή συνειδητοποιήθηκε ότι σχεδόν όλες οι μέχρι τότε αποδείξεις στη Γεωμετρία ακόμη και εκείνη του Πυθαγορείου Θεωρήματος βασίζονταν σε εσφαλμένη φιλοσοφία. Νομίζω ότι αυτή η πρόσκαιρη καταστροφή ήταν εκείνη που οδήγησε τελικά τα ελληνικά Μαθηματικά στη λογική αυστηρότητα που θαύμασαν οι αιώνες και που δεν ανακτήθηκε πλήρως παρά μόνο από τα μέσα του 19^{ου} μ.Χ. αιώνα και ύστερα. Το πρώτο βήμα ήταν ότι ο συλλογισμός του Ίππασου αποτελούσε νέο τρόπο μαθηματικής απόδειξης, την «εις άτοπον απαγωγή». Αυτός είναι ο τρόπος απόδειξης όλων των μεγάλων θεωρημάτων στα Μαθηματικά μέχρι σήμερα. Ο Θεαίτητος εισήγαγε τη βασική μέθοδο της ανθυφαίρεσης και έκανε μεγάλες προόδους στη θεωρία των αριθμών και στη μελέτη των αρρήτων αναλογιών. Όμως αυτός που τελικά κατάφερε να ξεπεράσει την κρίση ήταν ο Έυδοξος από την Κνίδο. Σίγουρα ένας από τους μεγαλύτερους Μαθηματικούς όλων των εποχών. Αυτός ήταν ο δημιουργός της θεωρίας των αναλογιών, δηλαδή της σχέσης μεταξύ οποιωνδήποτε ομοειδών μεγεθών. Στη σημερινή ορολογία αυτό λέγεται Θεωρία των Πραγματικών Αριθμών. Αυτό που έκανε ουσιαστικά ο Εύδοξος ήταν να εισαγάγει τις τομές Dedekind. Όταν σκεφθούμε ότι ο Γερμανός Μαθηματικός Dedekind εργάστηκε μετά τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, ότι ο ίδιος είχε συνείδηση του γεγονότος ότι έφερνε στα σύγχρονα πλαίσια τη θεωρία του Ευδόξου του 4^{ου} π.Χ. αιώνα και ότι μέχρι τότε τα ευρωπαϊκά Μαθηματικά υστερούσαν σε αυστηρότητα σε σχέση με τα αρχαία Ελληνικά Μαθηματικά νομίζω ότι αντιλαμβανόμαστε τι γίγαντες υπήρξαν οι αρχαίοι Έλληνες Μαθηματικοί. Και αυτό δεν ήταν καν το αποκορύφωμα. Ο Ευκλείδης ανήγαγε όλη τη Γεωμετρία του επιπέδου και μετά τη Στερεομετρία σε ορισμένες απλές αρχές , τα «αξιώματα». Που η ισχύς τους πρέπει να γίνει δεκτή με βάση την εμπειρία. Ο Ευκλείδης κατόρθωσε να παραγάγει από τα αξιώματα αυτά όλο το τεράστιο πλήθος των προτάσεων της Γεωμετρίας ως Θεωρήματα με καθαρά λογικές διαδικασίες χωρίς καμιά περαιτέρω προσφυγή στην εμπειρία. Ο Ευκλείδης λοιπόν εισήγαγε στην Επιστήμη την Υποθετικο-Αποδεικτική μέθοδο. Όλες οι μεγάλες θεωρίες στη Φυσικο-Μαθηματική Επιστήμη, που αναπτύχθηκαν έκτοτε ακολούθησαν το παράδειγμά του. Το αποκορύφωμα της αρχαίας ελληνικής Επιστήμης ήλθε με τον απαράμιλλο Αρχιμήδη, τον άνθρωπο που χαλιναγώγησε το Άπειρο. Μέχρι την εμφάνιση του Αρχιμήδη, παρόλη την τεράστια πρόοδο που είχε ήδη επιτευχθεί στο χώρο των Μαθηματικών στο εννοιολογικό, στο λογικό και το μεθοδολογικό επίπεδο, τα πιο απλά προβλήματα όπως αυτό του εμβαδού της επιφάνειας του απλούστατου στερεού, της σφαίρας. παρέμεναν άλυτα. Η λύση τους απαιτούσε κάτι άλλο, τη φαντασία. Και αυτήν ο Αρχιμήδης τη διέθετε όσο κανείς πριν ή μετά από αυτόν. Εισάγοντας με απόλυτη αυστηρότητα τις άπειρες διαδικασίες δημιούργησε την Μαθηματική Ανάλυση και με αυτήν έλυσε όχι μόνο το γρίφο της σφαίρας αλλά και μια ατελείωτη σειρά από δυσκολότατα προβλήματα τα περισσότερα από τα οποία οι προηγούμενοι ούτε καν να φανταστούν μπορούσαν. Όμως εκεί που φαίνεται η μεγαλοφυΐα του Αρχιμήδη σε όλο της το μεγαλείο είναι η Μαθηματική Φυσική. Ο Αρχιμήδης ίδρυσε τα πεδία της Οπτικής, της Στατικής, της Υδροστατικής. Άρα είναι ο ιδρυτής της Φυσικής ως πραγματικής Επιστήμης. Ας σκεφθούμε τι σημαίνει αυτό. Σημαίνει ότι για κάθε ένα από τα τρία αυτά πεδία μόνος έκανε τις απαιτούμενες παρατηρήσεις και πειράματα, βρήκε έτσι εμπειρικούς κανόνες, μετά επινόησε τις βασικές έννοιες και αρχές που τους συνδέουν στηρίζοντας τη θεωρία σε αξιωματική βάση. Ό,τι χρειάστηκε αιώνες στην περίπτωση της Γεωμετρίας συντελέστηκε σε μια ζωή από έναν και μόνον άνθρωπο. Αλλά ο Αρχιμήδης δεν σταμάτησε τη θεμελίωση θεωριών. Προχώρησε στην πλήρη τους ανάπτυξη λύνοντας και τα πιο δύσκολα ακόμη προβλήματα που προέκυψαν. Οι λύσεις περιγράφουν φαινόμενα παρατηρημένα στο φυσικό κόσμο. Το εντυπωσιακότερο έργο του Αρχιμήδη, το αποκορύφωμα της αρχαίας επιστήμης είναι το 2^{o} βιβλίο, με τίτλο «Οχούμενα», όπου μελετά τις θέσεις ισορροπίας και την ευστάθειά τους για ένα στερεό με δεδομένη πυκνότητα , με σχήμα παραβολοειδές εκ περιστροφής τεμνόμενο από ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα, που επιπλέει σε υγρό μεγαλύτερης πυκνότητας. Ο κάθε επιστήμων μετριέται με βάση το πού είχε φθάσει η επιστήμη πριν από αυτόν και πού ο ίδιος την προχώρησε. Αυτό είναι και το μόνο διαχρονικό κριτήριο. Με βάση αυτό το κριτήριο ο Αρχιμήδης είναι η μεγαλύτερη επιστημονική μεγαλοφυΐα που γέννησε ποτέ ο κόσμος. (Περισσότερο υλικό υπάρχει και στο βιβλίο του Δ. Χριστοδούλου: «Τα Μαθηματικά στην Αρχαία Αλεξάνδρεια» (Εκδόσεις Ευρασία).

Θα θέλατε να μας εξηγήσετε γιατί έχετε σε τόση εκτίμηση τον Νεύτωνα;

Στην μακραίωνη ιστορία της ανθρωπότητας ο Νεύτων είναι ο μοναδικός άνθρωπος που μπορεί να παραβληθεί με τον Αρχιμήδη. Ας σκεφθούμε το γεγονός ότι η συνεχής μεταβολή των φυσικών συστημάτων φαινόταν από τους αρχαίους χρόνους ως το βασικό εμπόδιο που απέκλειε την ακριβή γνώση της Φύσης. Ο Νεύτων όμως εισήγαγε την ιδέα ότι αυτό που μένει αμετάβλητο και μπορούμε να έχουμε την ακριβή γνώση του είναι αυτός ο ίδιος ο νόμος της αλλαγής. Αυτή η διαπίστωση της υφής των φυσικών νόμων και η μαθηματική της ενσάρκωση στις διαφορικές εξισώσεις αποτελεί κορυφαία κατάκτηση του ανθρωπίνου πνεύματος. Ο Νεύτων βέβαια, είχε προδρόμους στην επιστημονική επανάσταση του 17ου αιώνα στην Αστρονομία, στη Φυσική και στα Μαθηματικά, τον Κέπλερ, το Γαλιλαίο, το Χόιγκενς, το Χουκ, το Φερμά, τον Πασκάλ και το δάσκαλό του τον Μπάροου. Πάνω από όλους όμως είχε σαν πρότυπό του από το μακρυνό παρελθόν τον Αρχιμήδη. Ας θυμηθούμε μάλιστα και τη γνωστή φράση του: «Αν κατάφερα να δω μακριά είναι γιατί σκαρφάλωσα στους ώμους γιγάντων». Όμως αυτό που ο ίδιος κατάφερε ήταν ένα πραγματικά ουράνιο επίτευγμα. Ας σκεφθούμε ότι οι κινήσεις σχεδόν όλων των ουρανίων σωμάτων προβλέπονται με απίστευτη ακρίβεια, σχεδόν στην αιωνιότητα, με βάση τους νόμους της Ουράνιας μηχανικής του Νεύτωνα. Αλλά όπως είπα προηγουμένως για τον Αρχιμήδη, το πραγματικό μεγαλείο του Νεύτωνα φαίνεται στο γεγονός ότι δεν σταμάτησε με τη θεμελίωση θεωριών, αλλά προχώρησε στη λύση των πιο δύσκολων προβλημάτων που προκύπτουν, περιγράφοντας τα φυσικά φαινόμενα. Από τα πρώτα θεωρήματα του βιβλίου του Principia είναι το θεώρημα της διατήρησης της στροφορμής, το οποίο διατυπώνει ως εξής: Αν ένα σώμα κινείται υπό την επίδραση δυνάμεως που κατευθύνεται προς ένα κέντρο, τότε η κίνηση θα περιοριστεί σε ένα ακίνητο επίπεδο και η ακτίνα που ενώνει το κινούμενο σώμα με το κέντρο της δυνάμεων θα διαγράφει ίσα εμβαδά σε ίσους χρόνους. Εδώ, σε μια σελίδα, αναπαράγει με την καθαρή σκέψη και μόνο τον εμπειρικό κανόνα για την κίνηση των πλανητών γύρω από τον ήλιο στον οποίο είχε φθάσει ο Κέπλερ μετά από πολυετείς επίπονες προσπάθειες σκυμμένος επάνω στα παρατηρησιακά αποτελέσματα που του είχε κληροδοτήσει ο Τύχο Μπράχε, καρπός μιας ολόκληρης ζωής του τελευταίου, αφιερωμένης στην ακριβή παρατήρηση. Ο Νεύτων προχωρεί στο βιβλίο του Principia στο θεώρημα της διατήρησης της ενέργειας. Ακολουθεί η πλήρης λύση του προβλήματος της κίνησης δυο ουρανίων σωμάτων υπό την επίδραση της αμοιβαίας βαρυτικής έλξης. Και αυτό όμως είναι μόνο η αρχή. Θέτει το γενικό πρόβλημα της κίνησης τριών ή περισσοτέρων σωμάτων το οποίο μέχρι σήμερα παραμένει άλυτο. Ο ίδιος επινοεί μέθοδο εύρεσης προσεγγιστικής λύσης κάτω από ορισμένες συνθήκες, στην περίπτωση των τριών σωμάτων. Μετά προσδιορίζει το σφαιροειδές σχήμα ενός ουρανίου σώματος που περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα. Αυτό δίνει εν προκειμένω την πλάτυνση της γήινης σφαίρας. Το αποκορύφωμα το βιβλίο του Νεύτωνα είναι το επόμενο θεώρημα. Αυτό όπου συμπεραίνεται από τον Νεύτωνα ότι λόγω του σφαιροειδούς σχήματός της η Γη συμπεριφέρεται στη δράση εξωτερικών δυνάμεων όχι ως ένα υλικό σημείο με όλη την μάζα συγκεντρωμένη σο κέντρο, αλλά ως ένας υλικός δακτύλιος ευρισκόμενος στο επίπεδο που περνά από το κέντρο και είναι κάθετο προς τον άξονα περιστροφής. Καταλήγει δε στο συμπέρασμα ότι οι παλιρροϊκές δυνάμεις του Ηλιου και της Σελήνης, που δρουν στον δακτύλιο αυτό, προξενούν μια αργή κυκλική κίνηση του άξονα περιστροφής της Γης γύρω από την κάθετο προς το επίπεδο της τροχιάς της Γης περί τον Ηλιο, το επίπεδο της εκλειπτικής, κίνηση που χρειάζεται 26 χιλιάδες χρόνια για να συμπληρώσει έναν κύκλο. Αυτή η κίνηση είναι γνωστή ως «μεταπτωτική» και εμφανίζεται ως αργή μετατόπιση, με κάθε χρονιά που παρέρχεται, της θέσης του Ηλίου στο φόντο των αστερισμών του ζωδίου τη στιγμή της εαρινής ισημερίας. Είχε διαπιστωθεί από τον Ίππαρχο το 2^{o} π.Χ. αιώνα αλλά παρέμενε ανεξήγητη μέχρι την εμφάνιση του Νεύτωνα. Το έργο του Νεύτωνα έχει πολλά να διδάξει τους σύγχρονους Θεωρητικούς Φυσικούς. Εκείνος είχε θέσει ως σκοπό της Φυσικής Επιστήμης όχι μόνο την αναζήτηση των θεμελιωδών νόμων, αλλά την πλήρη μαθηματική περιγραφή των φαινομένων της Φύσης ως θεωρήματα που απορρέουν από τους νόμους. Οι σύγχρονοι έχουν περιοριστεί στο πρώτο ζητούμενο.

Κατά τη γνώμη σας ποιοι είναι οι κορυφαίοι στα Μαθηματικά και τη Φυσική στους αιώνες που πέρασαν μετά τον Νεύτωνα;

Στους τρεις αιώνες μετά τον Νεύτωνα, 18^{o}, 19^{o} και 20^{o}, οι κορυφαίοι της Φυσικο-Μαθηματικης Επιστήμης ήταν ο Euler, ο Gauss και ο Einstein αντίστοιχα. Ο Euler ήταν ο πολυγραφότερος επιστήμονας στην ιστορία. Τα έργα του ξεπερνούν τις 30 χιλιάδες σελίδες. Ο κύριος κορμός του έργου του αναφέρεται στη Μαθηματική Ανάλυση, όμως σχεδόν σε όλα προσέφερε κάτι πολύτιμο. Στην Αριθμοθεωρία επινόησε τον τύπο (Euler Product Formula), που συνδέει ένα άπειρο γινόμενο που αφορά τους πρώτους αριθμούς με την άπειρη σειρά που ορίζει τη συνάρτηση «ζ», που συνδέθηκε έναν αιώνα μετά με το όνομα του Riemann. Στη Θεωρία των Γραφημάτων έχουμε τα κυκλώματα Euler, στην Τοπολογία το Χαρακτηριστικό Euler, Στη Διαφορική Γεωμετρία τις κύριες καμπυλότητες μιας καμπύλης επιφάνειας, στο Λογισμό των Μεταβολών τις εξισώσεις Euler-Lagrange. Επίσης είναι αυτός που διατύπωσε τις εξισώσεις κινήσεως των ρευστών καθώς και τις εξισώσεις κινήσεως ενός άκαμπτου στερεού σώματος. Όμως, παρ' όλα αυτά, δεν κατάφερε κάτι πραγματικά κορυφαίο όπως ο Νεύτων ούτε έφερε επανάσταση στην ανθρώπινη σκέψη. Και ενώ ο κύριος κορμός του έργου του, η Ανάλυση, έχει να κάνει με άπειρες διαδικασίες δεν κατόρθωσε ποτέ όπως συνέβη με τον Αρχιμήδη να χαλιναγωγήσει το άπειρο. Από αυτή την άποψη φαίνεται να οπισθοδρομεί σε σχέση με το Νεύτωνα. Διότι ορισμένες φορές η αδυναμία του αυτή τον οδήγησε σε ανόητα συμπεράσματα όσον αφορά τις απειροσειρές. Ο Gauss ήταν εκείνος που άρχισε την επιστροφή σε αυτό που ο ίδιος αποκαλούσε «rigor antiquus», δηλαδή τη λογική αυστηρότητα των Αρχαίων Ελλήνων. Στην Ανάλυση είναι ο πρώτος από την εποχή του Αρχιμήδη που μελετά με λογική αυστηρότητα τη σύγκλιση απειροσειράς, στην προκειμένη περίπτωση της υπεργεωμετρικής σειράς που είχε εφεύρει ο Euler. Δεν προχώρησε όμως στη γενική θεμελίωση όλης της Ανάλυσης όπως λίγο αργότερα άρχισε ο Bolzano, συνέχισε ο Cauchy και συμπλήρωσαν με τα έργα τους οι Dedekind, Weierstrass. Στην Άλγεβρα ο Gauss απέδειξε το θεμελιώδες θεώρημα όπως ήδη αναφέρθηκε, ενώ στην Αριθμοθεωρία είναι το πιο σημαντικό και εκτεταμένο έργο του. Επίσης έχει ιδρύσει τη μοντέρνα Διαφορική Γεωμετρία με το έργο του για την εσωτερική γεωμετρία των επιφανειών, έργο το οποίο γενίκευσε όπως προαναφέρθηκε ο μαθητής του ο Riemann στη θεωρία του για τους καμπύλους χώρους οποιασδήποτε διάστασης. Πρόκειται για ένα έργο που επάνω του έκτισε ο Αϊνστάιν τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας. Ο Gauss έχει επίσης ουσιαστική συμβολή στη θεωρία των πιθανοτήτων. Γενικά μπορεί να πει κανείς ότι ο Gauss είναι ο επιφανέστερος εκπρόσωπος των καθαρών Μαθηματικών στους νεότερους χρόνους. Όμως το έργο του δεν περιορίζεται σε αυτά. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων που έχει εφεύρει αποτελεί τη βασική μέθοδο επεξεργασίας αποτελεσμάτων στις εμπειρικές επιστήμες. Σε αναγνώριση μάλιστα της αξίας του έργου του για το μαγνητικό πεδίο της Γης η μονάδα έντασης του μαγνητικού πεδίου φέρει το όνομά του.

Ο Αϊνστάιν από την άποψη της ευρύτητας δεν συγκρίνεται με τους προαναφερθέντες. Είχε ένα και μόνο ταλέντο, αυτό της ικανότητας να θεμελιώνει νέες βασικές φυσικές θεωρίες. Όμως αυτό το ταλέντο το είχε όσο κανείς άλλος στους νεότερους χρόνους. Και αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι έζησε σε μια εποχή όπου ακριβώς αυτό το ταλέντο χρειαζόταν, είχε σαν επακόλουθο να συντελέσει σε μια επανάσταση στην ανθρώπινη σκέψη, όσον αφορά τις θεμελιώδεις φυσικές οντότητες του χώρου και του χρόνου. Αυτό όμως δεν είναι κάτι που οφείλεται κατ' αποκλειστικότητα στον Αϊνστάιν, όπως πολλοί διατείνονται. Σε σχέση με την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας πρέπει πρώτα να αναλογιστούμε ότι το απόλυτο του χώρου το είχε ήδη ανατρέψει ο Γαλιλαίος στην αρχή του 17^{ου} αιώνα. Όμως το βασικό επαναστατικό βήμα της ανατροπής αυτής είχε γίνει ήδη τον 3^{ο} π.Χ. αιώνα από τον Αρίσταρχο. Διότι αυτός πρώτος θεώρησε τη Γη κινούμενη. Βέβαια υπήρχε και ένα βασικό επαναστατικό βήμα της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας ήταν η ανατροπή του απόλυτου χρόνου. Όμως ο Poincare είχε προηγουμένως αμφισβητήσει αυτό το απόλυτο και ο Lorentz είχε φθάσει στην ομάδα των μετασχηματισμών που χαρακτηρίζουν την Ειδική Σχετικότητα. Μόνο που δεν είχε αντιληφθεί την πραγματική σημασία τους. Επίσης, μετά τη συμβολή του Αϊνστάιν, ήταν ο Minkowski εκείνος που εισήγαγε την έννοια του Χωροχρόνου επεκτείνοντας τη Γεωμετρία από το χώρο στον χωροχρόνο. Μια επέκταση καθόλου εύκολη εφ' όσον βρίσκεται σε μετωπική σύγκρουση με την ανθρώπινη διαίσθηση. Αυτό το βήμα του Minkowski έπαιξε ουσιαστικό ρόλο στη μετάβαση του Αϊνστάιν από την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας στη Γενική Θεωρία. Όσον αφορά τη Γενική Θεωρία την ίδια, το βασικό βήμα της συσχέτισης της βαρύτητας με τη Γεωμετρία του Riemann έγινε ήδη στην εργασία του σε συνεργασία με τον φίλο του και Μαθηματικό το Grossmann. Εργασία του 1913, όπου διατυπώνονται οι σωστές εξισώσεις στην περίπτωση απουσίας ύλης. Δεν είχαν καταλάβει όμως κάτι που αφορά την συναλλοιωτικότητα (δηλαδή να μεταβάλλονται μαζί) της θεωρίας. Κάτι που ο Αϊνστάιν κατάλαβε δυο χρόνια αργότερα με τη βοήθεια του Hilbert και έτσι έφθασε στην τελική μορφή των εξισώσεων, που επιτρέπουν την παρουσία ύλης. Αυτό έγινε δυο χρόνια αφ' ότου ο Πρώτος Παγκόσμιος πόλεμος είχε διακόψει την επαφή μεταξύ Αϊνστάιν και Grossmann. Αφού ο πρώτος βρισκόταν στη Γερμανία και ο δεύτερος είχε παραμείνει στην Ελβετία.

Παρ' όλη όμως τη γνώση της συμβολής όλων αυτών και άλλων όταν αναλογίζομαι σημερινούς Φυσικούς που υποστηρίζουν ότι μόνο η δαπάνη δισεκατομμυρίων μας επιτρέπει να σημειώσουμε ουσιαστική επιστημονική πρόοδο αισθάνομαι άπειρη συμπάθεια για εκείνον τον υπάλληλο του Ελβετικού Γραφείου Ευρεσιτεχνίας που στον λίγο ελεύθερο χρόνο που του απέμενε τα βράδια, μετά την καθημερινή δουλειά κατόρθωσε να πρωτοστατήσει σε μια πραγματική επανάσταση στην ανθρώπινη σκέψη.

Γιατί στην αρχή της σταδιοδρομίας σας επιλέξατε θέμα σχετικό με τις Θεωρίες του Αϊνστάιν;

Η πρώτη μου επιστημονική εργασία δημοσιεύθηκε όταν ήμουν 19 ετών. Εποχή των πρώτων ταξιδιών στη Σελήνη τότε, το αχανές Σύμπαν ερχόταν φυσιολογικά σαν επόμενος σταθμός στις αναζητήσεις πολλών νέων Φυσικών και Μαθηματικών της εποχής, και εκεί περνούμε στην επικράτεια τις Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας που γίνεται απαραίτητη όταν οι ταχύτητες στα διάφορα σχετικά προβλήματα δεν είναι αμελητέες σε σχέση με την ταχύτητα του φωτός. «Η θεωρία του Αϊνστάιν έχει επιπλέον τη θέλξη μιας γεωμετρικής θεωρίας εφ' όσον αποτελεί το αποκορύφωμα μιας πορείας που άρχισε με τη Γεωμετρία του Ευκλείδη. Αυτά ήταν που με τράβηξαν προς τον Αϊνσταιν και τη θεωρία του. Αργότερα προστέθηκε η πρόκληση των μεγάλων μαθηματικών προβλημάτων. Υπήρχαν, τότε στα τριάντα μου, προβλήματα που η λύση τους θα οδηγούσε στην κατανόηση φαινομένων που είχαν ήδη παρατηρηθεί και στην πρόβλεψη άλλων άγνωστων ακόμη. Ο πρώτος σημαντικός σταθμός στην πορεία μου ήταν σε συνεργασία με το Ρουμάνο Μαθηματικό Sergiu Klainerman. Αποδείξαμε την ευστάθεια του επίπεδου χωροχρόνου Minkowski, στην γενική Θεωρία της Σχετικότητας και αυτό το έργο ολοκληρώθηκε όταν ήμουν σχεδόν σαράντα ετών. Δόθηκε επίσης μια λεπτομερής περιγραφή της ασυμπτωτικής συμπεριφοράς των λύσεων. Ουσιαστικά μια αρχική διαταραχή στο υφάδι του χωροχρόνου διαδίδεται (όπως η διαταραχή που προκαλείται σε μια ήσυχη λίμνη από το ρίξιμο μιας πέτρας) σε κύματα, τα βαρυτικά κύματα. Όμως όπως έδειξα στη συνέχεια με άλλη εργασία υπάρχει μια λεπτή διαφορά ως προς το παράδειγμα της λίμνης. Γιατί ενώ ο χωροχρόνος γίνεται ξανά επίπεδος, όπως και το νερό της λίμνης, μετά το πέρασμα των κυμάτων ο τελικός (και «επίπεδος» πια) χωροχρόνος σχετίζεται κατά μη-τετριμμένο τρόπο με τον αρχικό, κάτι που έχει ως συνέπεια ένα παρατηρήσιμο φαινόμενο, την μόνιμη μετατόπιση των πειραματικών μαζών ενός ανιχνευτή βαρυτικών κυμάτων. Αυτό το φαινόμενο ονομάστηκε «φαινόμενο μνήμης» και οφείλεται σε μια ειδική ιδιότητα (μη γραμμικότητα) των εξισώσεων του Αϊνστάιν».

Και για όποιον έτσι αυθόρμητα σκεφτεί «ε, και τι έγινε μ' αυτό», ή ότι έτσι κι αλλιώς βαρυτικά κύματα δεν έχουμε καταφέρει να ανιχνεύσουμε ακόμη θα πρέπει, όπως λέει ο ίδιος να γνωρίζουμε ότι:
«αρχικά οι προσπάθειες για την ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων είχαν επικεντρωθεί στην ανίχνευση των ίδιων των κυματικών ταλαντώσεων, μετρώντας την αλλαγή των αποστάσεων των πειραματικών μαζών με την μέθοδο της συμβολής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από πηγή λέιζερ. Τα πειράματα αυτά που έγιναν στην επιφάνεια της Γης απέτυχαν, κυρίως λόγω της δυσκολίας να εξαλειφθεί ο θόρυβος από μικροσεισμούς. Μετά προτάθηκε να στηθεί μια παρόμοια πειραματική διάταξη στο Διάστημα με τις πειραματικές μάζες σε αποστάσεις εκατομμυρίων χιλιομέτρων. Η πραγματοποίηση αυτής της μεγαλεπίβολης ιδέας βρίσκεται πολλές δεκαετίες στο μέλλον». Τα τελευταία χρόνια όμως οι αστρονόμοι επινόησαν μια νέα μέθοδο που υπόσχεται αποτελέσματα πολύ νωρίτερα και μάλιστα χωρίς να απαιτηθεί η δαπάνη δισεκατομμυρίων. Η μέθοδος επικεντρώνεται στο φαινόμενο μνήμης. Όπως εξηγεί ο ίδιος ο Δ. Χριστοδούλου: «Στο ρόλο των πειραματικών μαζών βάζει τους αστέρες πάλσαρ, οι οποίοι εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα με ακριβή περιοδικότητα που αντιστοιχεί στην περίοδο περιστροφής τους. Όταν γίνει, σε κοσμολογική απόσταση από το Γαλαξία μας σύγκρουση δυο Γαλαξιών, κάθε ένας εκ των οποίων περιέχει στον πυρήνα του μελανή οπή μάζας δισεκατομμυρίων ηλίων, η συγχώνευση των μελανών οπών προκαλεί βαρυτικά κύματα τα οποία όταν φθάσουν στον δικό μας Γαλαξία προξενούν σύμφωνα με το φαινόμενο μνήμης την μόνιμη μετατόπιση των πάλσαρ του Γαλαξία μας σε σχέση με τη Γη. Κάτι τέτοιο είναι δυνατόν να διαπιστωθεί από την ακριβή καταγραφή των χρόνων αφίξεως στη Γη των ηλεκτρομαγνητικών παλμών των πάλσαρ».

Σήμερα ποιο είναι το πιο ενδιαφέρον που γνωρίζουμε για τις μαύρες οπές;

Ας αρχίσουμε από τον ορισμό. Μαύρη ή μελανή οπή είναι περιοχή του χωροχρόνου μη παρατηρήσιμη από το άπειρο. Για να γίνει πιο κατανοητό προσθέτω ότι το μέλλον ενός σημείου (δηλαδή ενός συμβάντος) εντός της μελανής οπής περιέχεται σε αυτήν. Δηλαδή η μελανή οπή δεν είναι παρατηρήσιμη για οποιονδήποτε δεν τολμά να πάρει την απόφαση να εισέλθει. Μια απόφαση μη-αναστρέψιμη εφ' όσον η έξοδος είναι αδύνατη. Η έννοια της μαύρης ή μελανής οπής συνδέεται με την έννοια της «παγιδευμένης επιφάνειας» που εισήγαγε ο Penrose το 1965. Ο ορισμός της παγιδευμένης επιφάνειας είναι ο εξής: Πρόκειται για κλειστή χωροειδή επιφάνεια στο χωροχρόνο, τέτοια ώστε μια απειροστή μετατόπιση της επιφάνειας κατά μήκος κάθε μιας από τις δυο οικογένειες προσανατολισμένων προς το μέλλον φωτοειδών, καθέτων προς την επιφάνεια των εισερχομένων και των εξερχομένων καθέτων έχει σαν συνέπεια τη μείωση του στοιχείου εμβαδού σε κάθε σημείο της επιφανείας. Στη συνέχεια αποδείχθηκε ότι μια παγιδευμένη επιφάνεια περιέχεται σε μια μαύρη οπή. Επομένως η ύπαρξη μιας παγιδευμένης επιφάνειας συνεπάγεται την ύπαρξη μιας μαύρης οπής, που την περιέχει. Ο Penrose απέδειξε το εξής θεμελιώδες θεώρημα: Ένας χωροχρόνος που περιέχει παγιδευμένη επιφάνεια και είναι προβλέψιμος από δεδομένες αρχικές συνθήκες αναγκαστικά φθάνει σε ένα τέλος. Και αυτό είναι το πιο ενδιαφέρον θέμα που συνδέεται με τις μαύρες οπές. Δηλαδή ότι μέσα σε μια μαύρη οπή ή έχουμε τον σχηματισμό ανωμαλίας στο υφάδι του χρόνου ή από ένα σημείο και πέρα η εξέλιξη, ενώ παραμένει ομαλή,είναι πλέον μη προβλέψιμη από τις αρχικές συνθήκες. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση έχουμε ανατροπή της αιτιότητας της βασικής αρχής της Κλασικής Φυσικής από την εποχή του Νεύτωνα. Ότι δηλαδή οι αρχικές συνθήκες μας επιτρέπουν την πρόβλεψη όλης της μελλοντικής εξέλιξης. Είναι άγνωστο τι συμβαίνει στην πραγματικότητα. Το Θεώρημα του Penrose βασίζεται ουσιαστικά στην υπόθεση της ύπαρξης μιας παγιδευμένης επιφάνειας δεν μας λέει όμως πώς σχηματίζεται μια τέτοια παγιδευμένη επιφάνεια. Η απόδειξη δεν αλλάζει σε τίποτα στην περίπτωση του επίπεδου χωροχρόνου, όπου βεβαίως δεν ισχύει το συμπέρασμα επειδή δεν ισχύει η αρχική υπόθεση. Η απόδειξη του σχηματισμού παγιδευμένων επιφανειών απαιτεί την μελέτη της βαρυτικής κατάρρευσης, (επομένως την ανάλυση του μη-γραμμικού συστήματος μερικών διαφορικών εξισώσεων υπερβολικού τύπου που αποτελούν οι εξισώσεις Αϊνστάιν). Αυτή την ανάλυση κατάφερα να την ολοκληρώσω σε ηλικία 57 ετών (Είναι και το πρώτο που αναφέρεται στο σκεπτικό της απονομής στον Δ. Χριστοδούλου του βραβείου Shaw τον Ιούνιο του 2011). Αποδείχθηκε δηλαδή ότι παγιδευμένες επιφάνειες σχηματίζονται απουσία ύλης, με την εστίαση ισχυρών βαρυτικών κυμάτων. Το σημαντικότερο όμως ερώτημα στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας είναι το αν σχηματίζονται ανωμαλίες που δεν περιέχονται σε μια μαύρη τρύπα, οπότε θα είναι και ορατές από το άπειρο. Ο Penrose διατύπωσε το 1970 την εικασία ότι τέτοιες «γυμνές ανωμαλίες» δεν σχηματίζονται, εικασία που πήρε το όνομα «κοσμική λογοκρισία». Μετά από προσπάθεια που κράτησε πολλά χρόνια κατάφερα να δώσω μιαν απάντηση. Όμως μόνο στα στενά πλαίσια ενός σφαιρικά συμμετρικού μοντέλου. Απέδειξα ότι, αντίθετα από την εικασία Penrose, η βαρυτική κατάρρευση υπό ορισμένες αρχικές συνθήκες οδηγεί στο σχηματισμό «γυμνών ανωμαλιών». Όμως απέδειξα επίσης ότι στην περίπτωση αυτή μια κατάλληλη αλλαγή των αρχικών συνθηκών, αλλαγή όσο μικρή θέλουμε σε μέγεθος, έχει σαν συνέπεια τη δημιουργία μιας μαύρης οπής που να περιέχει την ανωμαλία. Επομένως το πνεύμα της κοσμικής λογοκρισίας ισχύει. Αυτά όμως αφορούν μόνο το σφαιρικά συμμετρικό μοντέλο. Το γενικό ερώτημα παραμένει αναπάντητο.

Αντίστοιχα οι μελέτες σας για τη ροή υγρών ποια χρήσιμα καθημερινά πράγματα μας έχουν δώσει; Μπορείτε να μας το περιγράψετε χωρίς τη χρήση πολύπλοκων εξισώσεων και μαθηματικών τύπων;

Το μεγαλύτερο μέρος του Σύμπαντος είναι σε ρευστή κατάσταση. Στη Γη έχουμε την ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς, αλλά και τον εξωτερικό πυρήνα, σε ρευστή κατάσταση. Επομένως η Μηχανική των Ρευστών είναι ένας τομέας της επιστήμης με ευρύτατη εφαρμογή και τα σημαντικότερα φαινόμενα εμπίπτουν στη συνήθη εμπειρία. Το κύριο έργο που έχω δημοσιεύσει μέχρι στιγμής στον τομέα της Μηχανικής των Ρευστών ολοκληρώθηκε όταν ήμουν σχεδόν 55 ετών. Έχει να κάνει με τις εξισώσεις του Euler που διέπουν την εξέλιξη ενός συμπιεστού ρευστού.

Μελετά το σχηματισμό κυμάτων κρούσεως. Ας θεωρήσουμε ένα ρευστό σε ηρεμία, με σταθερή θερμοκρασία και πίεση. Ας πούμε ότι η κατάσταση αυτή διαταράσσεται καθ' οιονδήποτε τρόπο σε μια πεπερασμένη περιοχή του χώρου την αρχική στιγμή του χρόνου. Αυτό που αποδεικνύω είναι ότι μετά από ένα καταλλήλως μεγάλο χρονικό διάστημα, που εξαρτάται από το μέγεθος της αρχικής διαταραχής, σχηματίζονται επιφάνειες χωροχρόνου όπου ο ρυθμός αλλαγής της θερμοκρασίας, της πίεσης και της ταχύτητας του ρευστού απειρίζονται. Αυτές οι επιφάνειες αποτελούν την αρχή και το γενεσιουργό αίτιο τρισδιάστατων υπερεπιφανειών στο χωροχρόνο όπου η θερμοκρασία, η πίεση και η ταχύτητα είναι ασυνεχείς. Τις υπερεπιφάνειες αυτές ασυνεχείας τις ονομάζουμε κύματα κρούσεως. Επίσης αποδεικνύτω ότι η ροή παρ' όλο που μπορεί να είναι αστρόβιλη πριν περάσει το κύμα κρούσεως, μόλις αυτό περάσει, αποκτά «αμέσως», δηλαδή κατ' ασυνεχή τρόπο, στροβιλισμό.

Το πρόβλημα της μακρόχρονης συμπεριφοράς του στροβιλισμού περιέχει το σημαντικότερο πρόβλημα της Υδροδυναμικής, το πρόβλημα της τυρβώδους ροής [δηλαδή της ροής που μέσα της σχηματίζονται στρόβιλοι]. Αυτό το πρόβλημα, το οποίο εμφανίζεται και στην απλουστευμένη περίπτωση που το ρευστό μπορεί να θεωρηθεί ασυμπίεστο, όπως το νερό στην καθημερινή μας εμπειρία, παραμένει απλησίαστο 260 χρόνια μετά τη διατύπωση των σχετικών εξισώσεων από τον Euler. Η εμπειρία δείχνει ότι μετά από κάποιο χρονικό διάστημα ο στροβιλισμός αποκτά χαώδη συμπεριφορά, με τον αέναο σχηματισμό μιας ατέρμονης ακολουθίας μικρότερων στροβίλων μέσα σε μεγαλύτερους. Αυτό το χάος αποκαλείται «τύρβη». Είναι κάτι που αποτελεί καθημερινή μας εμπειρία και πρόκληση αξεπέραστη για τον Μαθηματικό Φυσικό»

,,

Ένα ελάχιστο βιογραφικό

Ο Δ. Χριστοδούλου ζήτησε το όποιο βιογραφικό του να είναι όσο γίνεται πιο λιτό. Αντιστρόφως ανάλογο δηλαδή σε σχέση με την επιστημονική του δραστηριότητα. Έτσι απλά αναφέρουμε ότι:

Γεννήθηκε στην Αθήνα το 1951. Διετέλεσε καθηγητής Μαθηματικών στο Ινστιτούτο Courant του Πανεπιστημίου της Νέας Υόρκης (1988-92) και στο Πανεπιστήμιο του Princeton (1992-2001). Από το 2001 είναι καθηγητής των Μαθηματικών και της Φυσικής στο Πολυτεχνείο της Ζυρίχης. Έχει τιμηθεί με το βραβείο του Ιδρύματος Mac Arthur (1993) για τα Μαθηματικά και τη Φυσική. Με το βραβείο Bocher της Αμερικανικής Μαθηματικής Εταιρείας (1999) και με το βραβείο αστρονομίας Tomalla (2008). Την προηγούμενη χρονιά του απονεμήθηκε το βραβείο Show για το σύνολο των εργασιών του στα Μαθηματικά.

,,