



Το Περιοδικό των Φοιτητών
του Τμήματος Φυσικής

Τεύχος 20
Σεπτέμβριος - Δεκέμβριος 2004

Αποστολή στον Ερμή
Κβαντική τηλεμεταφορά
Ο C. Shannon και η εποχή της Πληροφορίας
Κβαντικές τελείες
Νετρίνο

Περί βλακοκρατίας και άλλων τινών
Ανάκαμψη του στρώματος του Όζοντος
Θερμικά φαινόμενα στους Η/Υ
Chernobil - 18 χρόνια μετά

Συνεντεύξεις:

Φίλιπ Γκλάς
Δημήτριος Χριστοδούλου
Alexander Yuvchenko



Το κέντρο Διάδοσης Επιστημών της Θεσσαλονίκης (www.tmth.edu.gr)

Στις 27 Οκτωβρίου του 2004 ο πρόεδρος της Δημοκρατίας κ. Στεφανόπουλος εγκαινίασε ηλεκτρονικά το Κέντρο Διάδοσης Επιστημών και το Μουσείο Τεχνολογίας.

Με το πάτημα ενός κουμπιού, «κόπηκε» μέσω της εικόνας που προβαλλόταν σε video wall, η εικονική κορδέλα γύρω από τις εγκαταστάσεις του Κέντρου. Ο κ.Στεφανόπουλος εξέφρασε τον θαυμασμό του για το Κέντρο, αλλά και τη βεβαιότητά του ότι η εποχή που ζούμε έχει απόλυτη ανάγκη την τεχνολογία. Στη συνέχεια περιηγήθηκε στο Πλανητάριο, στο Κοσμοθέατρο και στην αίθουσα του Προσομοιωτή.

Το Κέντρο Διάδοσης Επιστημών και Μουσείο Τεχνολογίας (ΚΔΕ&ΜΤ) αποτελεί κοινωφελή πολιτιστικό και επιμορφωτικό φορέα, που συμβάλλει στην διάχυση της επιστήμης και προβάλλει τον Τεχνικό Πολιτισμό. Αποστολή του είναι να δημιουργήσει το κατάλληλο περιβάλλον και να αναπτύξει δραστηριότητες για τη γνωριμία και τη κατανόηση από τους νέους, αλλά και από το ευρύτερο κοινό, της Επιστήμης και της Τεχνολογίας καθώς επίσης και για την ανάπτυξη πνεύματος δημιουργικότητας και καινοτομίας.

Στους χώρους θεαμάτων, που λειτουργούν για το κοινό από τις 15 Νοεμβρίου 2004, στόχος είναι η επιστημονική γνώση να παρουσιάζεται με τρόπο συναρπαστικό. Στις εγκαταστάσεις του ΚΔΕ&ΜΤ μπορεί κανείς να ζήσει κυριολεκτικά την περιπέτεια, απολαμβάνοντας μοναδικά θεάματα, στο Κοσμοθέατρο 300 θέσεων με τη γιγαντιαία οθόνη και τις πολλαπλές προβολές ταινιών επιστημονικού και ερευνητικού χαρακτήρα, στο Πλανητάριο 150 θέσεων και στο μοναδικό Προσομοιωτή εικονικής πραγματικότητας που συνδυάζει την έντονη συγκίνηση με τη σύγχρονη επιστημονική πληροφόρηση.

Πρόκειται για ένα σύγχρονο πάρκο γνώσης, έκτασης 48.000 τ.μ., εκ των οποίων τα 3.500 τ.μ. είναι εκθεσιακοί χώροι. Διαθέτει πλανητάριο 150 θέσεων, κινηματοθέατρο ευρείας οθόνης 300 θέσεων, περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας 18 θέσεων, καθώς και μουσειακούς χώρους. Το κέντρο βρίσκεται στο δρόμο προς τη Θέρμη, απέναντι από το τεχνολογικό πάρκο.

Η σφαίρα του πλανηταρίου έχει διάμετρο 25 μέτρων και στην αίθουσά του το κοινό θα μπορεί να παρακολουθεί προγράμματα Αστρονομίας και Κοσμολογίας. Στο κινηματοθέατρο θα προβάλλονται ταινίες δύο και τριών διαστάσεων για τα τεχνολογικά επιτεύγματα του ανθρώπου, σε επίπεδη οθόνη 500 τ.μ.

Στο σύστημα εικονικής πραγματικότητας οι θεατές θα πραγματοποιούν εικονικά ταξίδια καθισμένοι σε βαγόني των 18 θέσεων. Στους εξωτερικούς χώρους του Κέντρου θα δημιουργηθεί το «Πάρκο της Γνώσης», με διάφορα επιστημονικά θέματα και παρουσιάσεις, όπως η χρήση της ηλιακής ενέργειας.

Ο πρόεδρος της Δημοκρατίας δήλωσε εντυπωσιασμένος: «Το επίτευγμα αυτό δεν είμαι σε θέση τεχνολογικά να το εκτιμήσω, θαυμάζω όμως τις εγκαταστάσεις, θαυμάζω τις δραστηριότητες που μας εξηγήθηκαν και θαυμάζω την προσπάθεια η οποία κατεβλήθη, η οποία έχει ως αποτέλεσμα ένα κέντρο θαυμάσιο για όλα τα Βαλκάνια, ίσως και πέραν αυτών. Είμαι απολύτως βέβαιος ότι η εποχή που ζούμε έχει απόλυτη ανάγκη της τεχνολογίας. Χωρίς τεχνολογία δεν υπάρχει πλέον ζωή, και ζωή σημαίνει και η συνεχής παρακολούθηση της τεχνολογίας», είπε ο κ. Στεφανόπουλος.

Το Περιοδικό των Φοιτητών του Τμήματος Φυσικής

Τεύχος 20
Σεπτέμβριος - Δεκέμβριος 2004

Πρόεδρος Τμ. Φυσικής
Δ. Κυριάκος

Υπεύθυνος έκδοσης - Επιμέλεια
Κ. Καμπάς

Στο τεύχος αυτό συνεργάστηκαν
Χάρης Βάρβογλης
Αναπλ. καθηγητής Τμ. Φυσικής
Αλκιβιάδης Μπάης
Αναπλ. καθηγητής Τμ. Φυσικής
Κ. Χατζησάββας
Υποψ. Διδάκ. Τμ. Φυσικής

Γ. Καστρινάκη
Απόφοιτος Φοιτήτρια Τμ. Φυσικής

Θ. Μπίσμπας
Μ. Παπαδημητρίου
Κ. Πολυκάρπου
Δ. Τζορμπατζίδης
Ν. Φανιδάκης
Π. Χαρίτος
Φοιτητές του Τμ. Φυσικής

Το "Φαινόμενο" είναι ανοικτό σε όποιες ιδέες και απόψεις, οι οποίες όμως εκφράζουν μόνο τους συγγραφείς

Παναγιώτης Χαρίτος
Φοιτητής του Τμ. Φυσικής

Φιλόδοξη αποστολή στον Ερμή

Η εξερεύνηση του ηλιακού συστήματος προχωράει με γοργά βήματα. Μετά τον «εύκρατο» Άρη και τον «παγωμένο» Κρόνο, οι οποίοι απασχολούν αυτήν την εποχή τους πλανητολόγους, σειρά έχει ο κοντινότερος προς τον Ήλιο πλανήτης, ο φλογισμένος Ερμής. Οι μοναδικές πληροφορίες που έχουμε σήμερα γι' αυτόν προέρχονται από το διαστημόπλοιο Μάρινερ-10, που το 1974 και το 1975 πέρασε τρεις φορές φευγαλέα από κοντά του. Στις αρχές του Αυγούστου το διαστημόπλοιο Μέσεντζερ άρχισε ένα μακρύ και δαιδαλώδες ταξίδι, με στόχο τη συστηματική εξερεύνηση αυτού του σχεδόν άγνωστου, μέχρι σήμερα, πλανήτη.

Η σειρά με την οποία προσπαθούμε να εξερευνήσουμε τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος εξαρτάται τόσο από το ειδικό ενδιαφέρον του καθενός, όσο και από την ευκολία με την οποία μπορούσε να τους προσεγγίσουμε. Το ενδιαφέρον που παρουσιάζει ο κάθε πλανήτης είναι εύκολα κατανοητό: για παράδειγμα ο Άρης είναι πολύ πιθανό να είχε αναπτύξει κάποτε ζωή, η Αφροδίτη είναι το καλύτερο παράδειγμα για το πού μπορεί να οδηγήσει ένα ανεξέλεγκτο φαινόμενο θερμοκηπίου και ο Κρόνος με τους δακτυλίους και τους δορυφόρους του αποτελεί μια μικρογραφία της αρχικής μορφής του ηλιακού μας συστήματος. Όμως το πόσο εύκολα μπορούμε να προσεγγίσουμε καθέναν από αυτούς δεν γίνεται εύκολα αντιληπτό. Το κυρίαρχο φαινόμενο, που καθορίζει την τροχιά όλων των σωμάτων του ηλιακού συστήματος, είναι η βαρύτητα του Ήλιου. Ένα καλό αναλογικό παράδειγμα, για να κατανοήσει κανείς το ρόλο της στην ευκολία με την οποία μπορεί να φτάσει κανείς από τη Γη σε έναν άλλο πλανήτη, είναι να θεωρήσει πως το ηλιακό σύστημα είναι ένα βαθύ πηγάδι, στο οποίο ο Ήλιος βρίσκεται στον πυθμένα, η Γη κάπου στη μέση και ο πιο μακρινός πλανήτης, ο Πλούτωνας, κοντά στο στόμιο. Οι πλανήτες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Αυτοί που βρίσκονται πλησιέστερα στον Ήλιο από τη Γη, ο Ερμής και την Αφροδίτη, ονομάζονται εσωτερικοί και στο μοντέλο του πηγαδιού βρίσκονται χαμηλότερα από τη Γη. Αυτοί που βρίσκονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, ο Άρης, ο Δίας, ο Κρόνος, ο Ουρανός, ο Ποσειδώνας και ο Πλούτωνας, ονομάζονται εξωτερικοί, και στο μοντέλο του πηγαδιού βρίσκονται ψηλότερα από τη Γη.

Για να «ανεβάσουμε» από τη Γη ένα διαστημόπλοιο σε κάποιον από τους εξωτερικούς πλανήτες, πρέπει να του δώσουμε τόσο περισσότερη ενέργεια, όσο πιο «ψηλά» βρίσκεται ο πλανήτης, όπως ακριβώς μια πέτρα ανεβαίνει τόσο πιο ψηλά, όσο πιο δυνατά τη ρίχνουμε προς τα πάνω. Καταρχήν, λοιπόν, καταλαβαίνουμε πως η εξερεύνηση των πιο απομακρυσμένων πλανητών του ηλιακού συστήματος είναι μια εξαιρετικά δαπανηρή υπόθεση, εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας καυσίμων που χρειάζεται η αντίστοιχη διαστημική αποστολή. Πιο δύσκολο, όμως, είναι να καταλάβει κανείς γιατί η

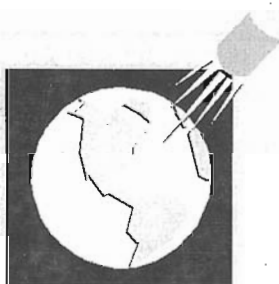
εξερεύνηση των εσωτερικών πλανητών είναι επίσης δύσκολη. Για να ρίξουμε μια πέτρα στον πάτο ενός πηγαδιού δεν χρειάζεται να καταβάλουμε καμιά προσπάθεια: απλώς την αφήνουμε να πέσει. Έτσι και η αποστολή ενός διαστημοπλοίου προς την Αφροδίτη και τον Ερμή μοιάζει να είναι σχετικά απλή υπόθεση. Μια πιο προσεκτική θεώρηση του προβλήματος, όμως, φανερώνει την κρυμμένη δυσκολία. Αν θέλουμε να κάνουμε το διαστημόπλοιο μας τεχνητό δορυφόρο της Αφροδίτης ή του Ερμή, και όχι να το αφήσουμε απλά να τους προσπεράσει, πέφτοντας, θα πρέπει να βρούμε έναν τρόπο να «φρενάρουμε» την πτώση του! Ευτυχώς οι αστρονόμοι έχουν βρει μια μέθοδο που λύνει, με οικονομικό τρόπο, τόσο το πρόβλημα της επιτάχυνσης των διαστημοπλοίων που κατευθύνονται σε εξωτερικούς πλανήτες, όσο

και αυτό της επιβράδυνσης εκείνων που κατευθύνονται σε εσωτερικούς. Σχεδιάζουν περίπλοκες τροχιές, οι οποίες οδηγούν τα διαστημόπλοια διαδοχικά σε «ενδιάμεσους» πλανήτες, η βαρύτητα των οποίων είτε επιταχύνει είτε επιβραδύνει το διαστημόπλοιο. Το ελάττωμα της λύσης αυτής είναι ότι το χρονικό διάστημα από την εκτόξευση μέχρι την άφιξη στον πλανήτη-

στόχο γίνεται πολύ μεγάλο. Το διαστημόπλοιο Μέσεντζερ θα τεθεί σε τροχιά γύρω από τον Ερμή το 2011!

Η αποστολή ενός διαστημοπλοίου στον Ερμή παρουσιάζει όμως και άλλες δυσκολίες, πέρα από το σχεδιασμό της τροχιάς μεταφοράς. Η ακτινοβολία του Ήλιου, που στην απόσταση του Ερμή είναι δέκα φορές πιο έντονη από ό,τι στην περιοχή της Γης, επηρεάζει σοβαρά τη λειτουργία των ανιχνευτικών οργάνων του διαστημοπλοίου, όχι μόνο επειδή «τυφλώνει» τις φωτογραφικές συσκευές, αλλά και επειδή θερμαίνει τον Ερμή και ό,τι βρίσκεται κοντά του σε θερμοκρασία 450 βαθμών Κελσίου! Για το λόγο αυτόν το διαστημόπλοιο είναι έτσι σχεδιασμένο, ώστε όλα τα όργανα παρατήρησης να βρίσκονται στη μία πλευρά, ενώ η άλλη είναι θερμικά θωρακισμένη. Κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων το διαστημόπλοιο θα έχει στραμμένη προς τον Ήλιο πάντα τη θωρακισμένη πλευρά, εξασφαλίζοντας έτσι την προστασία των οργάνων παρατήρησης.

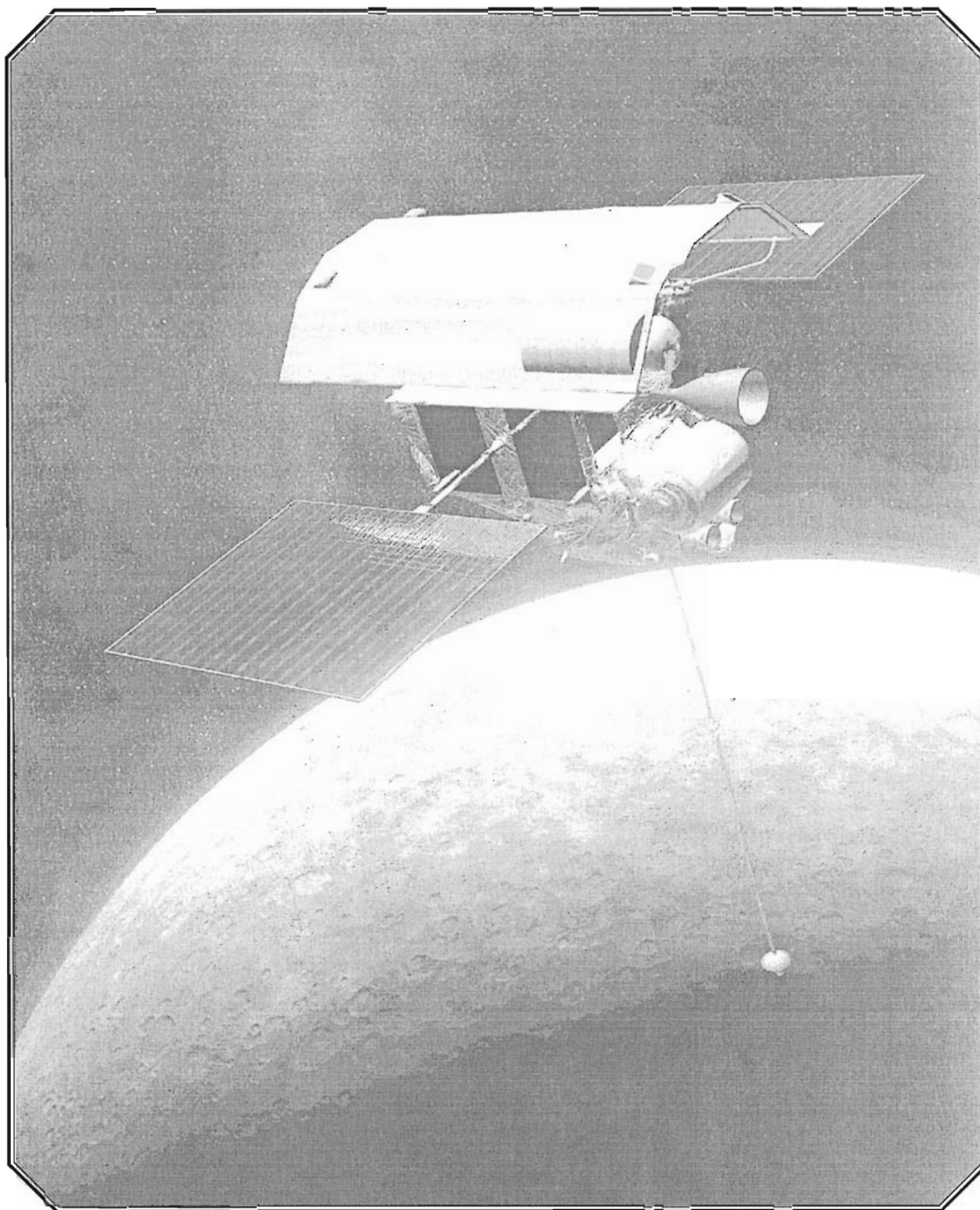
Στόχος της αποστολής Μέσεντζερ είναι η



λεπτομερειακή φωτογράφιση ολόκληρης της επιφάνειας του Ερμή και η συλλογή στοιχείων για τη χημική σύσταση και τη δομή της επιφάνειας του πλανήτη, τη γεωλογική του ιστορία και την προέλευση της αραιής του ατμόσφαιρας. Με τη βοήθεια αυτών των στοιχείων ελπίζουμε να βρούμε την απάντηση σε μερικά σημαντικά ερωτήματα, όπως γιατί ο Ερ-

μής αποτελείται κυρίως από σίδηρο, πού οφείλεται το μαγνητικό του πεδίο και πώς είναι δυνατό, με θερμοκρασία που φθάνει στον ισημερινό του τους 450 βαθμούς Κελσίου, να υπάρχει πάγος στους πόλους του.

Χάρης Βάρβογλης
Αναπλ. καθηγητής Τμ. Φυσικής



Καλλιτεχνική απεικόνιση του διαστημοπλοίου Μέσεντζερ σε τροχιά γύρω από τον Ερμή, στην οποία διακρίνεται η λευκή θερμική ασπίδα. Από τις φωτογραφίες της αποστολής Μάρινερ-10 γνωρίζουμε ότι η επιφάνεια του Ερμή είναι σκεπασμένη από κρατήρες όλων των μεγεθών, έτσι ώστε μοιάζει πολύ με τη Σελήνη. Το ταξίδι του διαστημοπλοίου Μέσεντζερ περιλαμβάνει μία προσέγγιση στη Γη, δύο στην Αφροδίτη και τρεις στον Ερμή, σε διάστημα 7 ετών.

Δημήτριος Χριστοδούλου

Συνέντευξη



Ο Δημήτριος Χριστοδούλου γεννήθηκε στις 19 Οκτωβρίου του 1951. Το Σεπτέμβριο του 1968 έγινε δεκτός στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του πανεπιστημίου Princeton στις Η.Π.Α. και ολοκλήρωσε τη διδακτορική του διατριβή (*Investigation in gravitational collapse and the physics of black holes*) το 1971 με επιβλέποντα καθηγητή τον A.Wheeler, στην οποία απέδειξε ότι η εντροπία μιας μελανής οπής είναι ανάλογη της επιφάνειάς της.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου 1972-1976 υπήρξε μεταδιδακτορικός υπότροφος στο Caltech, καθηγητής θεωρητικής φυσικής στο πανεπιστήμιο Αθηνών και επισκέπτης στο CERN στη Γένοβα και στο ICTP στην Τεργέστη. Την περίοδο 1976-1981 υπήρξε υπότροφος (Humboldt Fellowship) στο Max Planck Institute στο Μόναχο, ενώ διετέλεσε αναπληρωτής καθηγητής (1983-1985) και καθηγητής (1985-1987) μαθηματικών και φυσικής στο πανεπιστήμιο των Συρακουσών, καθηγητής μαθηματικών (1988-1992) στο Ινστιτούτο Courant και καθηγητής μαθηματικών στο πανεπιστήμιο του Princeton (1992-2001). Από το 2001 έως σήμερα κατέχει την έδρα των μαθηματικών και φυσικής στο ΕΤΗ στη Ζυρίχη.

Έχει τιμηθεί με πολλά βραβεία, μεταξύ άλλων με το βραβείο Xanthopoulos (1991), το βραβείο μαθηματικών και φυσικής McArthur (1993) και το βραβείο Bocher της Αμερικανικής Μαθηματικής Εταιρείας (1993), το οποίο μοιράστηκε με τον Klainerman.

Ο κ. Χριστοδούλου μίλησε στο "Φαινόμενο" κατά τη διάρκεια συμμετοχής του στο 11ο πανελλήνιο συνέδριο "Νέες Εξελίξεις στη Βαρύτητα" που πραγματοποιήθηκε 2-5 Ιουνίου του 2004 στη Μυτιλήνη.

Ερ.: Κ. Χριστοδούλου θα ήθελα να μας μιλήσετε αρχικά για τα ερευνητικά σας ενδιαφέροντα.

Απ.: Βασικά ασχολούμαι με διάφορα προβλήματα μαθηματικών και φυσικής. Ιδιαίτερα, όσον αφορά προβλήματα περιγραφόμενα από φυσικής πλευράς, με ενδιαφέρει η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και η Υδροδυναμική, η δεύτερη μάλιστα τον τελευταίο καιρό περισσότερο. Από μαθηματικής πλευράς με ελκύει περισσότερο η θεωρία των Μερικών Διαφορικών Εξισώσεων και η Διαφορική Γεωμετρία.

Ερ.: Θεωρείτε τον εαυτό σας περισσότερο μαθηματικό ή φυσικό;

Απ.: Όταν πρέπει να επιλύσω ένα συγκεκριμένο πρόβλημα φυσικής που προέρχεται είτε από τη θεωρία της Βαρύτητας είτε από την Υδροδυναμική, τότε δουλεύω ως εξής. Αρχικά προσπαθώ να διατυπώσω το πρόβλημα, οπότε εργάζομαι σαν

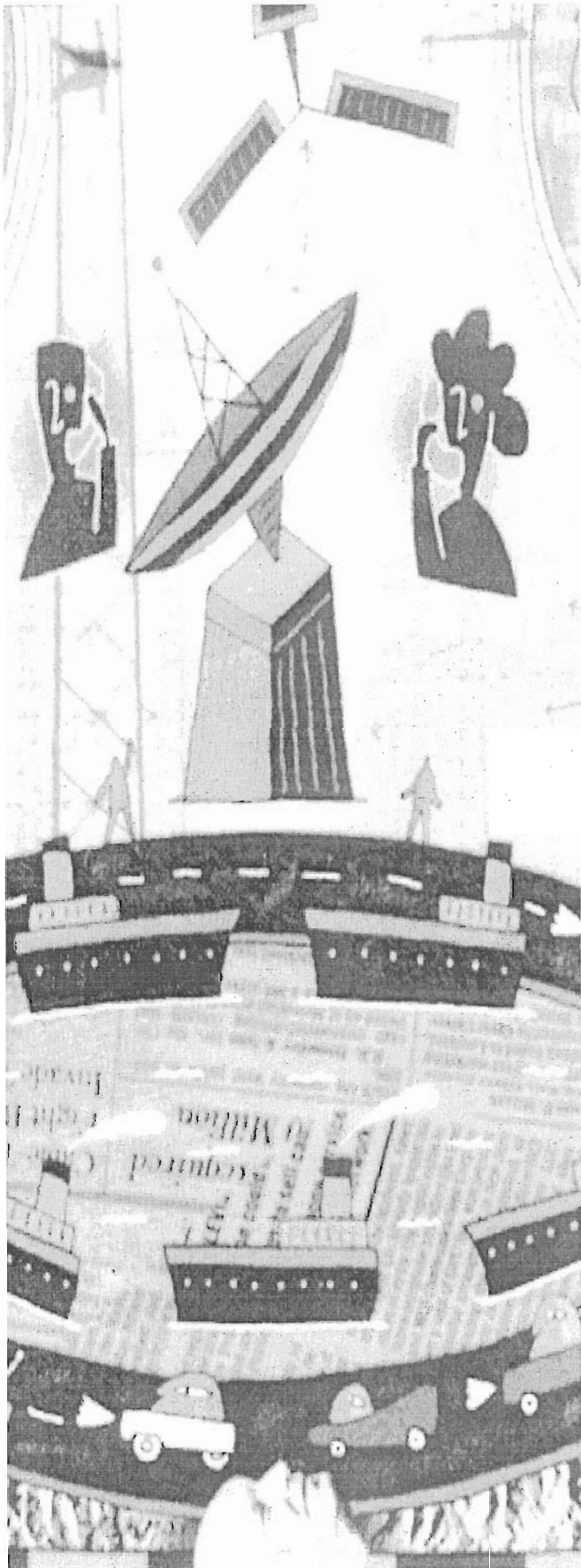
φυσικός. Όταν διατυπώσω το πρόβλημα, φτάνει πλέον να το λύσω, οπότε δουλεύω σαν μαθηματικός. Μπορώ να πω ότι θεωρώ τον εαυτό μου περισσότερο σαν μαθηματικό, διότι μου παίρνει περισσότερο χρόνο να λύσω ένα πρόβλημα παρά να το διατυπώσω. Φυσικά όταν λύσω το πρόβλημα, αν αυτό είναι δυνατό, έχω στα χέρια μου μια σειρά λύσεων, τις οποίες θα πρέπει να μελετήσω, για να δω ποια είναι η φυσικώς αποδεκτή, οπότε εργάζομαι ξανά σαν φυσικός.

Ερ.: Στις αρχές της δεκαετίας του 90, είχατε διατυπώσει την πρόταση ότι είναι δυνατόν να υπάρξει μια ανωμαλία στο χωρόχρονο χωρίς να περιβάλλεται από κάποιον ορίζοντα γεγονότων, μια γυμνή ανωμαλία δηλαδή. Αυτή η πρόταση δεν αντιτίθεται την "αρχή της κοσμικής λογοκρισίας" του Penrose;

Απ.: Η πρόταση αυτή, αρχικά, δεν είχε διατυπωθεί σωστά. Στην συνέχεια την επαναδιατύπωσα. Όταν κάποιος διατυπώνει μια τέτοια εικασία, δεν μπορώ να την πω αρχή, δεν μπορεί να ξέρει από την αρχή αν είναι σωστή ή όχι. Τέτοιες εικασίες είναι "υπόθεση εργασίας", σε βοηθάνε να δουλέψεις το πρόβλημά σου. Αργότερα μπορεί να αποδειχτεί, καθώς προχωράς τη μελέτη σου, ότι κάποιες από αυτές ήταν λάθος. Φυσικά αυτό δεν ανατρέπει όλη τη θεωρία, απλώς σε αναγκάζει να επαναδιατυπώσεις με περισσότερη προσοχή τη θεωρία σου και σου υπενθυμίζει ότι πρέπει να είσαι πολύ προσεκτικός.

Αυτό ακριβώς συνέβη και σε μένα. Υπέθεσα αρχικά ότι η αρχή της κοσμικής λογοκρισίας του Penrose δεν ισχύει και προσπάθησα να το αποδείξω με κάποιον τρόπο. Στη συνέχεια είδα ότι κάτι τέτοιο δεν ήταν εφικτό, διότι βρήκα αρκετά αντιπαραδείγματα που αντιβαίνανε την υπόθεσή μου. Η εργασία αυτή έγινε το 1992 και η δημοσίευση το 1994. Αρχικά νόμιζα ότι όλη η υπόθεση ήταν λάθος μέχρι που αποφάσισα να μελετήσω προσεκτικότερα αυτά τα αντιπαραδείγματα. Τελικά επαναδιατύπωσα τη θεωρία μου και στη τελευταία μου δημοσίευση πάνω σε αυτό το θέμα, το 1999, αποδεικνύω ότι όλες αυτές οι ανωμαλίες είναι ασταθείς, δηλαδή είναι δυνατόν να υπάρξουν αλλά με μηδενική πιθανότητα.

Ερ.: Η μελέτη των μελανών οπών σαν μαθηματικά αντικείμενα αλλά και σαν αστρικά σώματα, κατά τη γνώμη σας πώς επιδρά στην εξέλιξη της φυσικής επιστήμης;



Απ.: Οι μελανές οπές, από θεωρητικής άποψης είναι κάτι το εντελώς καινούριο στην επιστήμη της Φυσικής. Η ύπαρξη μιας μελανής οπής υποδηλώνει την ύπαρξη μιας ανωμαλίας στο χωρόχρονο. Αυτό ποιοτικά και μόνο, διαφέρει από όλη την προηγούμενη Φυσική. Διαφέρει όσο διέφερε και η Κβαντομηχανική από την Κλασσική Μηχανική. Όπως η Κβαντομηχανική φέρνει τον ποιοτικό χαρακτηριστικό της απροσδιοριστίας, έτσι και η ύπαρξη των μελανών οπών στην Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, φέρνουν τον ποιοτικό χαρακτηριστικό του τέλους του χωρόχρονου, γιατί ουσιαστικά η απροσδιοριστία σηματοδοτεί το τέλος του χωρόχρονου. Δεν υπάρχει επέκταση του χωρόχρονου πέρα από το σημείο της ανωμαλίας.

Ερ.: **Αν η ύπαρξη μιας ανωμαλίας στο χωροχρόνο αποτελεί άλυτο πρόβλημα για τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, πιστεύετε ότι μια Κβαντική θεωρία της Βαρύτητας θα μπορούσε να δώσει λύση σε αυτό το πρόβλημα;**

Απ.: Δυστυχώς στα χέρια μας σήμερα δεν έχουμε καμιά Κβαντική θεωρία για τη Βαρύτητα, έχουμε μόνο την κλασσική θεωρία της Σχετικότητας. Όταν έχεις μια δεδομένη θεωρία, δεν μπορείς να ξέρεις πότε παύει να ισχύει. Το μόνο που ξέρεις είναι ότι, όταν φτάσεις σε μια ανωμαλία πρέπει να είσαι προσεκτικός, γιατί εκεί δεν ξέρεις τι γίνεται. Αν δεν υπήρχε ανωμαλία δεν θα υπήρχε κανένα πρόβλημα. Δεν θα φοβόμασταν ότι βγήκαμε από την περιοχή ισχύος της θεωρίας. Οπότε θα πρέπει πρώτα να θεμελιώσουμε την Κβαντική Βαρύτητα και να την κατανοήσουμε και μετά να αποφανθούμε αν παίζει κάποιος ρόλο στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπου έχουμε μια δεδομένη επιφάνεια θετικού εμβαδού που περικλείει, όχι άπειρη, αλλά μια πολύ μεγάλη πεπερασμένη ποσότητα ενέργειας. Ίσως από μια τιμή της ενέργειας και πάνω, για δεδομένο όγκο, αρχίζει να ισχύει η Κβαντική Βαρύτητα. Αυτό ακόμα δεν το ξέρουμε!

Ερ.: **Πως βλέπετε να εξελίσσονται τα πράγματα στη κλασσική θεωρία της βαρύτητας και πια προβλήματα πιστεύετε ότι θα λυθούν μέσα σ' αυτήν δεκαετία;**

Απ.: Πιστεύω ότι θα λυθούν αρκετά προβλήματα. Ακόμα και σ' εκείνα τα προβλήματα που δεν θα καταφέρουμε να λύσουμε, θα έχουμε κάνει μεγάλη πρόοδο. Πιο συγκεκριμένα θα αναφέρω το πρόβλημα της εμφάνισης ανωμαλίας σε ένα μηχανικό σύστημα, το οποίο κατά τη γνώμη μου είναι θεμελιώδους σημασίας. Υπάρχουν βέβαια και αλλά λιγότερο θεμελιώδη προβλήματα, όπως η ασυμπτωτική συμπεριφορά ενός συστήματος στο χρόνο.

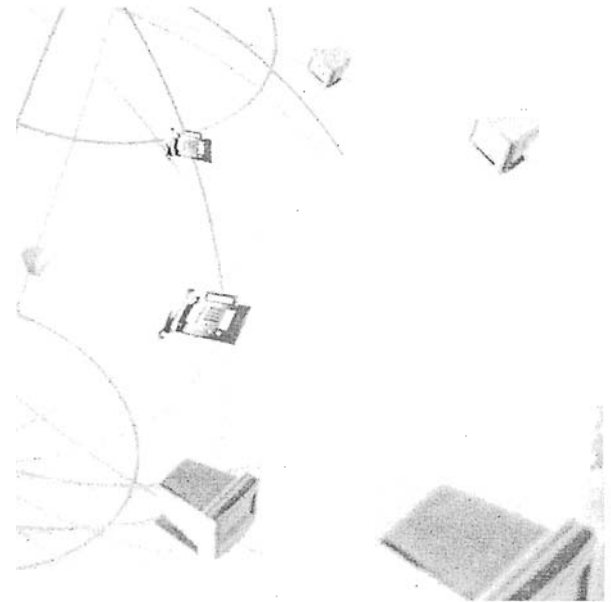
Αν πάρουμε ένα μηχανικό σύστημα με πεπερασμένους βαθμούς ελευθερίας στην Κλασική Μηχανική, παραδείγματος χάριν ένα σύστημα N σωματιδίων, τότε συμβαίνει το εξής. Το πρόβλημα των ανωμαλιών είναι πολύ απλό αν η δυναμική ενέργεια είναι φραγμένη από κάτω. Κάτι τέτοιο συμβαίνει όταν τα N σωματίδια αλληλεπιδρούν για παράδειγμα ανά ζεύγος και η δυναμική ενέργεια του κάθε ζεύγους εξαρτάται μόνο από την απόσταση των μελών του. Αν προσπαθήσεις να λύσεις ένα τέτοιο πρόβλημα, να μελετήσεις δηλαδή τη συμπεριφορά του συστήματος, θα βρεις λύσεις για όλο το χρόνο. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει όμως στη θεωρία της Βαρύτητας, ακόμα και στη Νευτώνεια εκδοχή της. Εκεί η δυναμική ενέργεια είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης. Όταν η απόσταση τείνει στο μηδέν, τότε η δυναμική ενέργεια τείνει στο μείον άπειρο, δηλαδή δεν είναι φραγμένη από κάτω.

Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για αρχικές συνθήκες. Ο χώρος των αρχικών συνθηκών είναι ο χώρος φάσεων με διαστάσεις $6N$, διότι έχουμε $3N$ συντεταγμένες της θέσης και $3N$ συντεταγμένες της ταχύτητας. Σ' αυτό το χώρο, σύμφωνα με το θεώρημα του Liouville υπάρχει μια ποσότητα η οποία κάτω από μια Χαμιλτονιανή ροή παραμένει αναλλοίωτη, ο όγκος. Υπάρχουν αρχικές συνθήκες όπου η λύση δεν επεκτείνεται σε όλο το χρόνο, αλλά φαίνεται να υπάρχει ένα ανώτατο όριο το οποίο οφείλεται στο ότι η λύση φτάνει σε μια ανωμαλία, όπως με το πρόβλημα του δυναμικού. Η εικασία γι' αυτές τις λύσεις είναι ότι προέρχονται από αρχικές συνθήκες που έχουν όγκο μηδέν στο χώρο φάσης. Δηλαδή η πιθανότητα να πετύχουμε αυτές τις αρχικές συνθήκες είναι μηδέν. Η λύση για αυτή την εικασία είναι ακόμα άγνωστη ακόμα και σήμερα, παρόλο που έχουν περάσει τριακόσια πενήντα χρόνια από την θεμελίωση της Βαρύτητας.

Ερ.: Όμως σε ένα πραγματικό σύστημα N σωματιδίων τι παρατηρούμε; Για παράδειγμα τι συμβαίνει σε ένα σφαιρικό σμήνος αστερών;

Απ.: Στην Αστροφυσική η υπόθεση του δυναμικού έχει μεγάλη σημασία. Ένα σμήνος, ένας ελλειπτικός γαλαξίας που δεν περιέχει σκόνη ή το κέντρο του δικού μας γαλαξία, εκφράζει ακριβώς το πρόβλημα των N σωματιδίων! Αν όγκος των αρχικών συνθηκών των λύσεων που απειρίζονται δεν ήταν μηδέν αλλά είχε μια συγκεκριμένη τιμή, τότε θα υπήρχε μεγάλη πιθανότητα να έχουμε συγκρούσεις μεταξύ των άστρων. Γιατί αν μελετήσουμε αυτές τις λύσεις, οι οποίες περιορίζονται ως πούμε μεταξύ του χρονικού διαστήματος 0 έως α , θα δούμε ότι καθώς ο χρόνος τείνει στο α , η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των $N(N-2)/2$ ζευγών τείνει στο μηδέν. Το ίδιο ισχύει και για την απόσταση των μελών των επιμέρους ζευγών.

Κάτι τέτοιο όμως δεν παρατηρείται. Μπορούμε να μιλήσουμε μόνο για ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο



αστέρων. Οπότε υπάρχει περιορισμός στις αρχικές συνθήκες. Βλέπεις λοιπόν ότι το όλο θέμα παραμένει άλυτο. Αν μπορούσες να βάλεις έτσι απλά μια μικρή ποσότητα για να φράξεις το δυναμικό στο κάτω όριο, η λύση του προβλήματος είναι μια σειρά. Εφόσον όμως το πρώτο πρόβλημα είναι τόσο τετριμμένο, προχωράμε στο άλλο πρόβλημα εκείνο της ασυμπτωτικής συμπεριφοράς. Εκεί ξέρουμε ότι τέτοια προβλήματα ανήκουν στη δημοφιλή θεωρία του Χάους που θεμελίωσε ο Poincare. Η θεωρία αυτή όμως υπάρχει μόνο όταν λυθεί το πρώτο πρόβλημα, το οποίο είναι πιο θεμελιώδες. Σ' αυτό το θεμελιώδες πρόβλημα πιστεύω ότι θα γίνει αρκετή πρόοδος τα επόμενα είκοσι χρόνια, διότι υπάρχουν αρκετοί καλοί επιστήμονες ανά τον κόσμο που ασχολούνται με το συγκεκριμένο θέμα.

Ερ.: Πολλοί όμως σήμερα, όσον αφορά το ίδιο πρόβλημα στα στοιχειώδη σωματίδια, προσπαθούν να δώσουν διαστάσεις χορδής και όχι σημείου στα σωματίδια, ώστε να αρθεί η ανωμαλία στο $r \rightarrow 0$. Μιλάω για τη θεωρία των χορδών και την εξήγηση που δίνει σ' αυτό το πρόβλημα.

Απ.: Μα το θέμα δεν είναι να αλλάξεις το πρόβλημα. Το θέμα είναι να προσπαθήσεις να λύσεις το συγκεκριμένο πρόβλημα. Τροποποιώντας το πρόβλημα, η λύση είναι πολύ απλή. Μπορείς να επιλέξεις το δυναμικό σου να μην είναι $1/r$ αλλά να προσθέσεις μια μικρή ποσότητα ϵ , κάτι που να σου δίνει ένα κάτω φραγμό. Τότε το πρόβλημα δεν υπάρχει πλέον, έχουμε καθολικές λύσεις για όλες τις αρχικές συνθήκες. Πρέπει να μελετήσεις τα τρωτά σημεία της δικιάς σου θεωρίας ως έχουν και όχι να τα τροποποιείς.

Φ.Ν.: κ. Χριστοδούλου θα θέλαμε να σας ευχαριστήσουμε για το χρόνο που μας διαθέσατε.

N. Φανιδάκης
Φοιτητής Τμ. Φυσικής

Κβαντικές τελείες (Quantum Dots)

Παράλληλα με την πρόοδο των φυσικών επιστημών, οι επιστήμονες έχουν καταφέρει να διευρύνουν το πεδίο έρευνάς τους τόσο σε μεγαλύτερες κλίμακες, έχοντας τη δυνατότητα να λαμβάνουν ερευνητικά αποτελέσματα στις γαλαξιακές κλίμακες, όσο και στις μικρές διαστάσεις παρακολουθώντας με έμμεσες ή άμεσες διεργασίες τη συμπεριφορά της ύλης στο επίπεδο του ατόμου. Από τη δεκαετία του '80 ήταν ήδη εφικτή η επεξεργασία μεμονωμένων ατόμων κάνοντας έτσι ένα πρώτο βήμα στον τομέα της Νανοτεχνολογίας. Ως Νανοτεχνολογία ορίζεται η έρευνα που λειτουργεί πειραματικά στις διαστάσεις από 5 nm μέχρι μερικές δεκάδες μm και η αντίστοιχη θεωρητική μελέτη των ίδιων διαστάσεων ανήκει στον ερευνητικό τομέα της Μεσοσκοπικής Φυσικής. Η βασική της διαφορά από τους κλάδους της Ατομικής και Μοριακής Φυσικής έγκειται στο ότι αυτός ο σύγχρονος κλάδος μελετά την αλληλεπίδραση σωματιδίων στις περιοχές των παραπάνω διαστάσεων.

Η Κβαντική Τελεία είναι ένα προϊόν της Νανοτεχνολογίας και αποτελεί ένα χαρακτηριστικό πρότυπο για τις μεσοσκοπικές μελέτες. Οι διαστάσεις της τελείας κυμαίνονται από λίγα nm μέχρι μερικά μm, όπου σε αυτή την περιοχή καταφέρνουμε να περιορίσουμε κάποια χιλιάδες ηλεκτρόνια. Τα υλικά από τα οποία συνήθως κατασκευάζονται οι τελείες είναι ημιαγωγοί, των οποίων τα ελεύθερα ηλεκτρόνια περιορίζονται σε αυτή την μικρή περιοχή. Στην τελεία εκτός από τα ηλεκτρόνια τα οποία κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό, υπάρχουν επίσης ιόντα ή και άτομα από το ημιαγωγικό υλικό, τα οποία επικοινωνούν μέσω κάποιας μικρής ή καμμίας (μέσω του φαινομένου σήραγγος) εγκοπής με δύο περιοχές (reservoir) ηλεκτρονίων. Σε αυτές τις περιοχές ηλεκτρονίων εφαρμόζεται ένα εξωτερικό δυναμικό μέσω του οποίου είναι δυνατή η ροή ρεύματος μέσα στην τελεία.

Η διάταξη ονομάζεται Τελεία λόγω των σημειακών της διαστάσεων αλλά στη θεωρητική της προσέγγιση αποτελεί ένα τρισδιάστατο "κουτί" μέσα στο οποίο βρίσκονται περιορισμένα ηλεκτρόνια (φερμιόνια), επομένως έχουμε την εμφάνιση ιδιοτήτων που εξετάζει η κβαντομηχανική. Η Κβαντική τελεία αποτελεί επομένως ένα σύγχρονο και εύχρηστο εργαστήριο κβαντομηχανικών πειραμάτων.

Έπειτα από μελέτες, έχει παρατηρηθεί ότι οι κβαντικές τελείες διέπονται από παρόμοιες ιδιότητες με αυτές των ατόμων, όπως π.χ. η παρομοίωση των μαγικών αριθμών της πυρηνικής φυσικής με αντίστοιχους αριθμούς σταθερότητας για τις κβαντικές τελείες.

Ένας απλός τρόπος για τη συλλογή αυτών των δεδομένων είναι, καθώς καταγράφεται το δυναμικό που απαιτείται για την εισαγωγή ηλεκτρονίων μέσα στην τελεία, να παρατηρηθεί αύξηση του επιβαλλόμενου δυναμικού προκειμένου να εισέλθει το επιπλέον ηλεκτρόνιο από αυτό του μαγικού αριθμού. Με παρόμοιο τρόπο αντλούμε πληροφορίες και για άλλα φαινόμενα που λαμβάνουν μέρος μέσα στην τελεία, όπως η αλληλεπίδραση πολλών σωμάτων (many body

problem), το φαινόμενο παρεμποδίσεως Coulomb (Coulomb Blockade) εξαιτίας της άπωσης που δέχεται το εισερχόμενο ηλεκτρόνιο από τα ήδη υπάρχοντα καθώς και η μελέτη του κβαντικού χάους που χαρακτηρίζει την κίνηση των ηλεκτρονίων όπου καθώς εισέρχονται στην τελεία σκεδάζονται από τα άλλα ηλεκτρόνια, τις προσμίξεις αλλά και από τα τοιχώματα της τελείας.

Η μελέτη ενός τέτοιου συστήματος με τόσες πολλές παραμέτρους, που απαιτούνται λόγω του μεγάλου αριθμού σωματιδίων στη διάταξη έχει γίνει δυνατή με τη βοήθεια στατιστικών θεωριών. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που παρέχονται από το εξωτερικό δυναμικό εξάγουμε στοιχεία για τις ιδιοτιμές της ενέργειας των ηλεκτρονίων που εισέρχονται στη διάταξη.

Υπάρχουν στατιστικές θεωρίες, οι οποίες γνωρίζοντας τους βαθμούς ελευθερίας του υπό μελέτη συστήματος είναι δυνατό να υπολογίσουν προσεγγιστικά διάφορες παραμέτρους όπως πχ, τις ιδιοτιμές της ενέργειας των ηλεκτρονίων μιας κβαντικής τελείας. Μία τέτοια θεωρία είναι η Θεωρία των Τυχαίων Πινάκων (Random Matrix Theory), όπου από μία θεωρητική εικασία το 1950 βρήκε την πειραματική της επαλήθευση και βελτίωση μέσω των κβαντικών τελειών.

Αυτή τη στιγμή οι κβαντικές τελείες αποτελούν μία εύχρηστη πειραματική διάταξη για θεωρητικές μελέτες πάνω σε προβλήματα πολλών σωματιδίων και κβαντικού χάους. Η επαλήθευση των θεωριών αυτών μέσω της διάταξης των κβαντικών τελειών συνιστά βήμα περαιτέρω ανάπτυξη τους. Ένα τέτοιο βήμα όμως είναι πολύ σημαντικό μιας και οι θεωρίες έχουν εφαρμογή και σε άλλα συστήματα που δεν είναι τόσο εύχρηστα, όπως πχ οι βαρείς και σύνθετοι πυρήνες.

Ως τεχνολογική εφαρμογή, οι κβαντικές τελείες έχουν ήδη βρει εφαρμογή στη Βιολογία βάσει κάποιων οπτικών ιδιοτήτων που διαθέτουν, καθώς και στον τομέα της μικροηλεκτρονικής (σε πειραματικό κυρίως ακόμα στάδιο), που θα συντελέσουν στη μείωση του μεγέθους των ηλεκτρονικών διατάξεων αλλά και στην αύξηση της ταχύτητας διάδοσης των δεδομένων.

Καστρινάκη Γεωργία
Απόφοιτος Φοιτήτρια Τμ. Φυσικής

Η εποχή που ζούμε έχει χαρακτηριστεί ως η «εποχή της πληροφορίας». Δικαιωματικά ο Shannon θεωρείται ένας από τους θεμελιωτές της.

Η θεωρία της πληροφορίας είναι ένα κομμάτι της μαθηματικής θεωρίας της πιθανότητας και της στατιστικής, το οποίο περιγράφει ποσοτικά την έννοια της πληροφορίας. Περιλαμβάνει την πληροφοριακή εντροπία, τα συστήματα επικοινωνιών, τη μετάδοση σήματος, την κρυπτογραφία, την συμπίεση δεδομένων, τη θεωρία διόρθωσης σφαλμάτων και άλλα σχετικά θέματα.

Το 1948 ο Claude Shannon δημοσίευσε την μνημειώδη εργασία του "Mathematical Theory for Communications" βάζοντας ουσιαστικά τις βάσεις της θεωρίας της πληροφορίας και συνάμα το μέτρο της απόδοσης των συστημάτων επικοινωνίας. Η σημασία και η σημαντικότητα της εργασίας του Shannon του εξασφάλισαν την καθολική αναγνώριση και τον τίτλο του "πατέρα" της θεωρίας της πληροφορίας.

Ο Shannon αναγνώρισε τα προβλήματα που έπρεπε να επιλυθούν, στην προσπάθεια να επιτύχουμε αυτό που περιέγραψε ως «ιδανικό σύστημα επικοινωνίας». Ένας στόχος που δεν έχει επιτευχθεί, ακόμα και σήμερα.

Έδωσε τον ορισμό της έννοιας της πληροφορίας με έναν τρόπο που κανείς δεν είχε κάνει μέχρι εκείνη τη στιγμή, συνδέοντας ουσιαστικά την πληροφορία με την αβεβαιότητα. Σύμφωνα με τη θεωρία της πληροφορίας, πληροφορία είναι μόνο εκείνα τα σύμβολα τα οποία είναι άγνωστα-αβέβαια στον παραλήπτη. Επί σειρά ετών οι άνθρωποι στέλνανε τηλεγραφήματα παραλείποντας μη ουσιαστικές λέξεις π.χ. τα άρθρα. Με την ίδια λογική η πρόταση "only information essential to understand must be transmitted" μπορεί να γραφτεί "only information essential to understand must be transmitted" παραλείποντας ευκόλως εννοούμενα γράμματα. Το μήνυμα "αύριο θα συμβεί διακοπή ρεύματος στη Θεσσαλονίκη" μεταφέρει "μεγάλη" πληροφορία, γιατί είναι ένα αβέβαιο γεγονός. Αντίθετα, το μήνυμα "αύριο θα συμβεί διακοπή ρεύματος κάπου στον κόσμο" είναι μήνυμα με "πολύ μικρή" πληροφορία γιατί η πιθανότητα να συμβεί οπουδήποτε στον κόσμο μια διακοπή ρεύματος είναι πολύ μεγάλη και αγιγίζει τη βεβαιότητα. Ο Shannon έκανε σαφή και ξεκάθαρη τη σημασία της αβεβαιότητας για την περιγραφή της πληροφορίας.

Η σημαντικότερη σχέση στην εργασία του Shannon, είναι η σχέση που ορίζει την πληροφοριακή εντροπία, συνδέοντας το πληροφοριακό περιεχόμενο ενός γεγονότος με την πιθανότητα πραγματοποίησης του.

Στη γνωστή σχέση: $H = - \sum_i p_i \log p_i$

H είναι η πληροφοριακή εντροπία και p_i , η πιθανότητα πραγματοποίησης του γεγονότος i . Η σχέση αυτή, όταν εφαρμόζεται στην πηγή της πληροφορίας, καθορίζει τη χωρητικότητα του καναλιού που χρειάζεται για να εκπέμψει η πηγή. Αν ο λογάριθμος της παραπάνω σχέσης έχει βάση το 2, τότε το μέτρο της εντροπίας είναι σε bits. Η σχέση καθορίζει το πλήθος των bits ανά σύμβολο, τα οποία απαιτούνται για να κωδικοποιηθούν την πληροφορία της πηγής. Η εντροπία του Shannon δίνει το μέτρο της πληροφορίας, το πληροφοριακό περιεχόμενο ενός μηνύματος.

Η ομορφιά του φυσικού κόσμου, αντικατοπτρίζεται για άλλη μια φορά, στην εντυπωσιακή ομοιότητα και συμμετρία, ανάμεσα στη σχέση της πληροφοριακής εντροπίας του Shannon και στην κλασική σχέση της εντροπίας $S = k \log p$,

όπως αυτή προέκυψε από την εργασία των Boltzmann και Gibbs στην στατιστική θερμοδυναμική.

Η συσχέτιση της εντροπίας, όπως αυτή παρουσιάζεται στην θερμοδυναμική και στην θεωρία της πληροφορίας, είναι πολύ βαθιά. Η εντροπία στη θερμοδυναμική είναι το μέτρο της αταξίας ενός φυσικού συστήματος, στην θεωρία της πληροφορίας είναι μέτρο του πληροφοριακού περιεχομένου και της δομής του μηνύματος. Ο περίφημος δαίμονας του Maxwell χρειάζεται πληροφορία για να

αντιστρέψει τη θερμοδυναμική εντροπία και η απόκτηση της πληροφορίας αυτής, εξισορροπεί το θερμοδυναμικό κέρδος.

Στην ίδια εργασία ο Shannon ανέπτυξε μια θεωρία για την κωδικοποίηση στην μετάδοση μηνυμάτων. Η χρησιμότητα ενός κώδικα ο οποίος χρησιμοποιείται για την μετάδοση ενός μηνύματος μεταξύ πομπού και δέκτη, εξαρτάται από την ευκολία με την οποία το μήνυμα κωδικοποιείται στον πομπό και αποκωδικοποιείται στο δέκτη. Η πολυπλοκότητα ενός κώδικα καθορίζεται από τον αριθμό των συμβόλων τα οποία απαιτούνται για την μετάδοση της πληροφορίας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κωδικών, ο καθένας σχεδιασμένος να ικανοποιεί συγκεκριμένες απαιτήσεις μετάδοσης, μέσω συγκεκριμένων καναλιών. Ο Shannon στη θεωρία του, αναφέρθηκε και στους κώδικες διόρθωσης σφάλματος παρά το γεγονός ότι δεν προχώρησε στην λύση του προβλήματος. Σήμερα ένα μεγάλο μέρος της έρευνας είναι αφιερωμένο στην έρευνα για τέτοιους κώδικες.

Επίσης, ανέπτυξε την τεχνική της συμπίεσης των δεδομένων πριν να κωδικοποιηθούν αυτά και να μεταδοθούν μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας και να αποκωδικοποιηθούν στον δέκτη, με οποιοδήποτε επίπεδο ακρίβειας. Το ποσό της πληροφορίας το οποίο μπορεί να μεταδοθεί στη μονάδα του χρόνου, με ένα δεδομένο σύστημα πομπού-καναλιού-δέκτη και με καθορισμένη ισχύ μετάδοσης, μπορεί να υπολογιστεί με βάση τη θεωρία του Shannon.

Τέλος ο Shannon, δεν περιορίστηκε στη μελέτη "καθαρών" καναλιών επικοινωνίας, αλλά μελέτησε και την περίπτωση παρουσίας θορύβου και υπό ποιες προϋποθέσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα συγκεκριμένα κανάλια επικοινωνίας.

Όταν το 1948 ο Claude Shannon δημοσίευσε την μνημειώδη εργασία του, το μεγαλύτερο καλώδιο που χρησιμοποιούνταν στις τηλεπικοινωνίες μπορούσε να μεταφέρει ταυτόχρονα 1600 τηλεφωνικές συνδιαλέξεις. Σήμερα, μια οπτική ίνα, στο μέγεθος μια ανθρώπινης τρίχας, μπορεί να μεταφέρει ταυτόχρονα 6.5 εκατομμύρια τηλεφωνικές συνδιαλέξεις. Η θεωρία της πληροφορίας που αυτός θεμελίωσε, συνεχίζει να παραμένει σε ισχύ και οι εξισώσεις της καθοδηγούν τους επιστήμονες που σχεδιάζουν τις μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα αυτό.

Ταυτόχρονα, η θεωρία του βρήκε λαμπρές εφαρμογές και σε τομείς εκτός των συστημάτων επικοινωνίας. Στη μελέτη του πληροφοριακού περιεχομένου φυσικών συστημάτων όπως τα κβαντικά συστήματα, τα χημικά συστήματα, τα βιολογικά συστήματα και το DNA. Άλλωστε ο ίδιος είχε την αίσθηση της γενικότερης σημασίας της έννοιας της πληροφορίας και για το λόγο αυτό η διδακτορική διατριβή του το 1941, είχε θέμα "An algebra for theoretical Genetics". Η αποκωδικοποίηση της αλυσίδας του DNA το 1953 και η αποκάλυψη πως αυτή είναι ουσιαστικά ένα πληροφοριακό σύστημα, αποτέλεσε μια ακόμα επιβεβαίωση της κεντρικής ιδέας του Shannon. Η πληροφορία είναι δομικό στοιχείο του φυσικού κόσμου.

Κωνσταντίνος Χ. Χατζησάββας
Υποψήφιος Διδάκτορας Τμήματος Φυσικής

Τα θερμικά φαινόμενα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

**Που οφείλονται,
πως μοντελοποιούνται
και πως
αντιμετωπίζονται**

■► Περίληψη

Στο άρθρο αυτό γίνεται μια εισαγωγή στα θερμικά φαινόμενα που υφίστανται σε ένα σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή, καθώς και στην διαδικασία την οποία ακολουθείται για την μοντελοποίηση και θερμική προσομοίωση ενός συστήματος και τους τρόπους με τους οποίους αντιμετωπίζονται τα προβλήματα υπερθέρμανσης. Η ραγδαία ανάπτυξη των μεθόδων παρασκευής των τσιπ πυριτίου, καθώς επίσης και ο ισχυρός ανταγωνισμός μεταξύ των εταιριών κατασκευής έχει πυροδοτήσει μια εκθετική αύξηση στις συχνότητες των επεξεργαστών, (οι οποίοι πλέον αναβαθμίζονται κάθε πέντε ή έξι μήνες), μια αύξηση των δυνατοτήτων των καρτών γραφικών, την αύξηση των συχνοτήτων των modules μνήμης, καθώς επίσης και την αύξηση της ταχύτητας των σκληρών δίσκων, των CD-ROM, CD-REC κλπ. Θα αναρωτηθεί κανείς γιατί δεν αναφέρονται άλλα στοιχεία ενός συστήματος, όπως η κάρτα ήχου, οι κάρτες ελέγχου περιφερειακών (SCSI, Firewire κλπ.) τα οποία έχουν γνωρίσει και αυτά μια παράλληλη ραγδαία αύξηση. Ο λόγος είναι ότι η κύρια ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται σε ένα σύστημα οφείλεται στα προαναφερθέντα στοιχεία. Στο άρθρο αυτό γίνεται μια εισαγωγή στο πως αναλύονται οι θερμικές συμπεριφορές των στοιχείων αυτών, πως μοντελοποιούνται και προσομοιώνονται, και πως τελικά βρίσκεται η λύση στο πρόβλημα της υπερθέρμανσης.

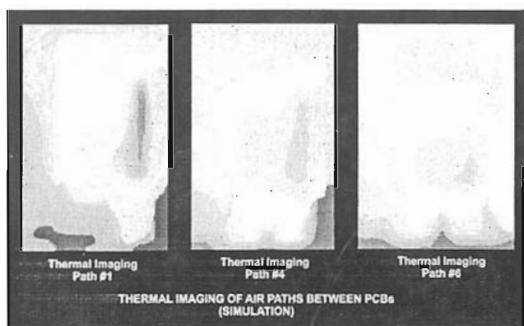
■► Εισαγωγή

Από την στιγμή που πυροδοτήθηκε η ανάπτυξη των επεξεργαστών, έγινε φανερό ότι τα παρεχόμενα μέσα ψύξης, που στις περισσότερες των περιπτώσεων, αποτελούνταν από μια μεταλλική ψήκτρα, κατασκευασμένη από υλικό μεγάλης αγωγιμότητας, δεν ήταν αρκετά. Ο λόγος ήταν ότι καθώς οι συχνότητες μεγάλωναν, αυξάνονταν και η απαιτούμενη ισχύς. Η αυξανόμενη ισχύς επέφερε και μεγαλύτερη αποβολή θερμότητας, με αποτέλεσμα πλέον, η αξιοπιστία του συστήματος και ιδιαίτερα του επεξεργαστή, να εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία του. Η ανάγκη λοιπόν για μελετημένες λύσεις υπήρξε εμφανής από τις πρώτες στιγμές. Επίσης έγινε εμφανές ότι τέτοια προβλήματα απαιτούσαν τόσο την εφαρμογή της θερμοδυναμικής θεωρίας για την μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς, αλλά και της εφαρμογής της δυναμικής ρευστών, για την μελέτη της ροής του αέρα που θα έψυχε το σύστημα.

Μετά την αύξηση της συχνότητας των επεξεργαστών

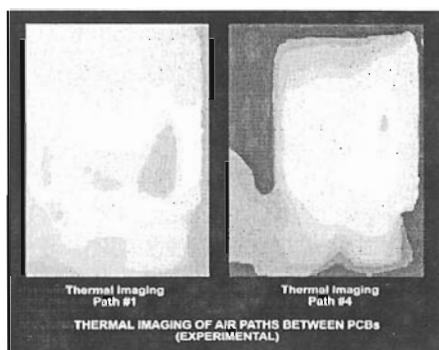
που είχε καθιερωθεί πλέον, ένα ακόμα γεγονός που συνέβαλλε στην ανάπτυξη των μεθόδων μελέτης της ψύξης ενός συστήματος, ήταν και οι αυξανόμενες απαιτήσεις από τους χρήστες. Οι εταιρείες κατασκευαστών επεξεργαστών έδιναν πλέον την δυνατότητα, σε οποιονδήποτε έχει την ικανότητα και το ενδιαφέρον, να υπερχρονίσει τον επεξεργαστή, αυξάνοντας την συχνότητα λειτουργίας τους, αλλά παράλληλα αυξάνοντας και τις απαιτήσεις του σε ισχύ. Και εφόσον η ισχύς που χρησιμοποιούσε ο επεξεργαστής αυξανόταν, αυξάνονταν παράλληλα και η ποσότητα της θερμότητας που απέβαλλε ο επεξεργαστής, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του επεξεργαστή να ανεβαίνει επικίνδυνα και σε αρκετές των περιπτώσεων να καίγεται. Η ανάγκη λοιπόν για μελετημένες λύσεις πλέον ήταν περισσότερο από εμφανής. Οι εταιρείες έπρεπε αφενός να διατηρήσουν την αξιοπιστία των προϊόντων τους, και αφετέρου να διατηρήσουν τους πελάτες τους, ικανοποιώντας τις αυξανόμενες απαιτήσεις τους.

Μετά από αυτήν την ραγδαία αύξηση των απαιτήσεων, έγινε απαραίτητη η χρήση των υπολογιστών για την μοντελοποίηση και θερμική προσομοίωση των συστημάτων. Μέχρι τότε οι κατασκευαστές βασίζονταν στην πειραματική εμπειρία τους, και στην διεξαγωγή μετρήσεων, οι οποίες ήταν και χρονοβόρες αλλά και δαπανηρές – κόστος που τελικά επωμιζονταν ο καταναλωτής. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε είναι η Υπολογιστική Δυναμική Ρευστών ή CFD (Computational Fluid Dynamics). Με την χρήση των μοντέλων CFD ο σχεδιαστής μπορούσε σε διάστημα ωρών να αναπτύξει ένα μοντέλο του συστήματος, να το προσομοιώσει και να ασχοληθεί με τις διάφορες λύσεις που ήταν διαθέσιμες. Ο πειραματισμός πάνω σε μοντέλα του συστήματος δεν απαλείφθηκε καθώς κρίθηκε απαραίτητο, να υπάρχει αφενός ένας τρόπος να βελτιώνουν τα μοντέλα, και αφετέρου ένας τρόπος να ελέγχουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Ο δαπανηρός όμως πειραματισμός εξαλείφθηκε, και ο χρόνος παραγωγής (σημαντικός παράγοντας για την διατήρηση του ανταγωνισμού στην αγορά) μειώθηκε δραματικά. Ένα παράδειγμα προσομοίωσης ενός συστήματος φαίνεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1: Η θερμική προσομοίωση ενός συστήματος. Στις εικόνες φαίνεται η κατανομή της θερμοκρασίας στον χώρο μεταξύ πλακετών PCB ενός συστήματος

Αν μάλιστα δούμε και την πειραματική μέτρηση που πραγματοποιήθηκε για την επαλήθευση της προσομοίωσης, θα δούμε ότι το μοντέλο CFD μας δίνει αρκετά ακριβή αποτελέσματα (εικόνα 2).



Εικόνα 2: Οι πειραματικές μετρήσεις του συστήματος για την κατανομή της θερμοκρασίας

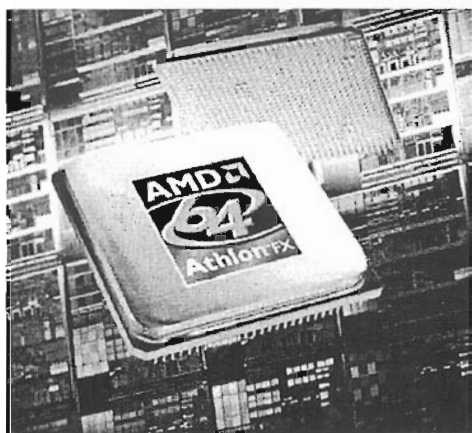
Μια τυπική διαδικασία για την δημιουργία ενός μοντέλου περιλαμβάνει αρχικά τον σχεδιασμό ενός τρισδιάστατου μοντέλου της διάταξης ή του ηλεκτρονικού στοιχείου που θα προσομοιωθεί. Κατόπιν, ανάλογα με το λογισμικό προσομοίωσης, εισάγεται το μοντέλο, το οποίο αν περιέχει πολύπλοκες γεωμετρίες, αναλύεται σε απλούστερες για τον θερμικό χαρακτηρισμό (την διαδικασία προσδιορισμού της αγωγιμότητας, κάποιων άλλων σταθερών και χαρακτηριστικών αριθμών κλπ.), και στην συνέχεια καθορισμό των οριακών και αρχικών συνθηκών (η προσομοίωση βασίζεται σε διαφορικές εξισώσεις συνέχειας, διατήρησης μάζας, διατήρησης ορμής κλπ.). Αφού εισαχθούν πληροφορίες για την δομή του συστήματος που φιλοξενεί το ηλεκτρονικό στοιχείο (η πλακέτα αν πρόκειται για επεξεργαστή γραφικών, ή η μητρική αν πρόκειται για επεξεργαστή, ή ολόκληρο το σύστημα αν πρόκειται για προσομοίωση ολόκληρου του συστήματος), διεξάγεται μια πρόχειρη προσομοίωση, η οποία αποσκοπεί στον καθορισμό της θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος, καθώς και της ροής του αέρα. Ο σχεδιαστής κατόπιν μπορεί μέσα σε λίγα λεπτά της ώρας να εισάγει διάφορες λύσεις και να προσομοιώσει το ίδιο σύστημα ώστε να δει τα αποτελέσματα. Αφού επιλεγεί μια συμβατή λύση (τόσο από οικονομικής άποψης, όσο και από κατασκευαστικής), το σύστημα μοντελοποιείται σε επίπεδο

hardware. Οι πειραματικές μετρήσεις που διεξάγονται στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται τόσο για την επαλήθευση της προσομοίωσης, όσο και για την βελτίωση του μοντέλου.

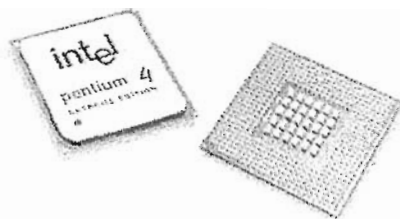
Στην συνέχεια θα δούμε μερικούς «θερμούς» αντιπροσώπους από τα εξαρτήματα ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Θα αναφερθούμε στις βασικότερες κατασκευάστριες εταιρείες και τα θερμικά χαρακτηριστικά των προϊόντων τους.

Επεξεργαστές

Οι επεξεργαστές είναι η καρδιά ενός συστήματος ηλεκτρονικού υπολογιστή. Είναι το κομμάτι εκείνο που επιβαρύνεται με τις πράξεις σε ένα σύστημα. Μεγαλύτερη συχνότητα λειτουργίας ισοδυναμεί σε μεγαλύτερη ταχύτητα, και μικρότερο απαιτούμενο χρονικό διάστημα. Οι δυο μεγάλοι κολοσσοί, η Intel και η AMD (Advanced Micro Devices) ανταγωνίζονται μεταξύ τους, με την μια να προσφέρει εμπειρία και αξιοπιστία, και την άλλη πρωτοπορία και χαμηλές τιμές. Όσο όμως αυτός ο ανταγωνισμός μαινεται (και τελικό κέρδος έχει ο καταναλωτής), ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει για τις εταιρείες να μειώσουν τις θερμικές εκπομπές των επεξεργαστών τους. Η Intel είναι μια εταιρεία η οποία εξαρχής έχει συμμετάσχει σε αρκετές μελέτες σχετικά με το θέμα, έδινε ιδιαίτερο ενδιαφέρον ανέκαθεν στην αξιοπιστία. Η AMD αν και από την στιγμή που άρχισε ο ουσιαστικός ανταγωνισμός με την Intel είχε σημαντικά προβλήματα σε θέματα υπερθέρμανσης των επεξεργαστών, τα τελευταία 2 – 3 χρόνια έχει να επιδείξει αξιοσημείωτες και αξιόπαινες βελτιώσεις στον τομέα αυτό, αφού κατάφερε να συμβαδίσει την αξιοπιστία με την εισαγωγή νέων προϊόντων που στηρίζονται σε νέες τεχνολογίες. Τα «βαρέα πυροβολικά» των δυο εταιρειών καταναλώνουν έως 108Watt (Intel Pentium 4 HT Extreme Edition), και 104Watt για τους Athlon 64 FX series. Η μάχη μεταξύ των δυο κατασκευαστών συνεχίζεται, αναμένοντας την αρχιτεκτονική 64bit και από την Intel και την απάντηση της AMD (εικόνες 3 και 4).



Εικόνα 3: Το βαρύ πυροβολικό της AMD στα 64 bit.



Εικόνα 4: Το βαρύ πυροβολικό της Intel στα 32 bit αλλά με αυξημένη μνήμη cache και τεχνολογία Hyper – Threading

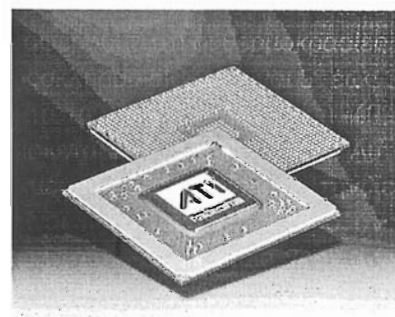
Επεξεργαστές Γραφικών

Ένα εξίσου σημαντικό κομμάτι ενός σημερινού συστήματος, είναι η κάρτα γραφικών, και συγκεκριμένα, ο επεξεργαστής της. Με τις τελευταίες εξελίξεις, η ψύξη του επεξεργαστή της κάρτας γραφικών είναι εξίσου σημαντική με την ψύξη του κεντρικού επεξεργαστή. Αρκεί να σημειώσουμε ότι οι κατασκευάστριες εταιρείες των συστημάτων υδρόψυξης, λαμβάνουν υπόψη στις προδιαγραφές κάθε συστήματος την ψύξη και της κάρτας γραφικών. Οι δυο τιτάνες στην κατηγορία είναι η nVIDIA, και η ATI, με τους επεξεργαστές GeForce6800 (NV40), και X800(R420) αντίστοιχα. Οι δυο αυτοί επεξεργαστές αν και υπόσχονται νέες συγκινήσεις στους φανατικούς των επεξεργαστών, ενεργειακά είναι ιδιαίτερα απαιτητικές. Αρκεί να επισημάνουμε ότι σύμφωνα με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών ο επεξεργαστής της nVIDIA απαιτεί maximum 110Watt και ο επεξεργαστής της ATI maximum 93Watt (η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι το chip της ATI περιέχει 82.000.000 transistor λιγότερα από το αντίστοιχο chip της nVIDIA) (εικόνα 5).

Σκληροί δίσκοι & Μνήμες

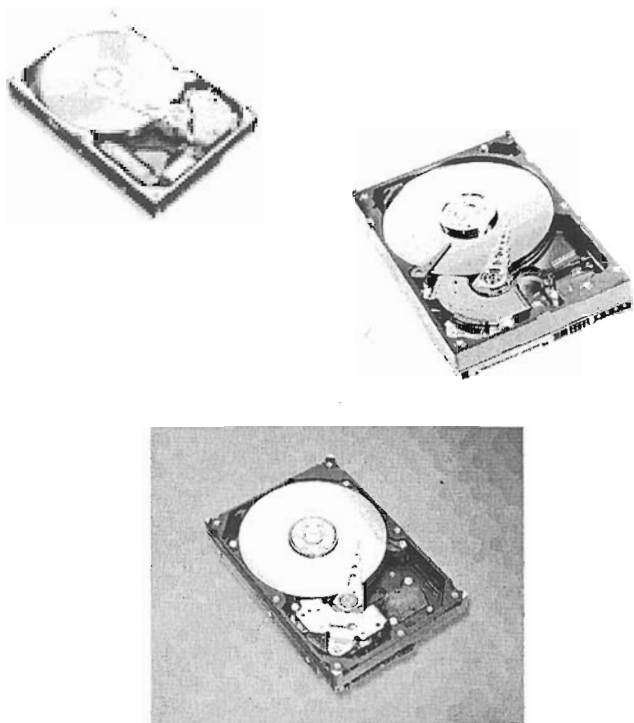
Τελευταία θα αναφέρουμε τις μονάδες αποθήκευσης του συστήματος, δηλαδή τους σκληρούς δίσκους και τις μνήμες RAM. Η εξέλιξη στον τομέα αυτό είναι κάπως πιο αργή, αν αναλογιστούμε την ταχύτητα με την οποία εξελίσσονται οι επεξεργαστές. Οι σκληροί δίσκοι σήμερα ξεκινούν από τις 5400 rpm με 7200rpm και μερικά εξειδικευμένα μοντέλα (και ακριβά!!!) μοντέλα φτάνουν μέχρι τις 10.000 rpm. Μια μέση κατανάλωση ισχύος ενός σκληρού δίσκου μπορεί να κυμαίνεται στην περιοχή των 8.8Watt κατά την εγγραφή/ανάγνωση, 8.3Watt κατά την αδρανή κατάσταση και 1.2Watt κατά

την κατάσταση αναμονής. Οι τιμές βέβαια δεν συγκρίνονται με τα 110 και 93Watt που μας δίνουν οι επεξεργαστές γραφικών, αλλά και πάλι είναι ένα πρόβλημα, στο οποίο την λύση βασίζεται η αξιοπιστία του σκληρού δίσκου. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι οι θερμοκρασίες λειτουργίας ενός σκληρού δίσκου είναι 5° έως 55° C περίπου κατά την λειτουργία του και -40° έως 65° όταν βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Αυτό σημαίνει ότι η μέση θερμοκρασία κατά την λειτουργία του θα είναι 30° C και περισσότερο, ανάλογα με την χρήση του. Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη μνεία για την απαγωγή θερμότητας από τους σκληρούς δίσκους, όχι τόσο για την συνεισφορά τους στην συνολική θερμοκρασία στο εσωτερικό του κουτιού, αλλά περισσότερο για την αξιόπιστη συμπεριφορά τους (εικόνα 6).



Εικόνα 5: Οι ναυαρχίδες της nVIDIA και ATI, στην επάνω και κάτω εικόνα αντίστοιχα

Οι μνήμες RAM από την άλλη πλευρά είναι μια ακόμη πλευρά του προβλήματος. Αν (όπως και οι σκληροί δίσκοι) δεν παράγουν μεγάλα ποσά θερμότητας, παρόλα αυτά, η βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς τους είναι κατεξοχήν ένα σημαντικό ζήτημα. Ποιος άραγε δεν θυμάται τα modules RIMM που συνοδεύονταν και συνοδεύονται ακόμα από καλύμματα αλουμινίου για την καλύτερη απαγωγή της θερμότητας. Αρκεί να σημειώσουμε πως η συχνότητα των RIMM παλαιότερα ήταν 800MHz και σήμερα έχει φτάσει τα 1024MHz. Οι πιο «ταπεινές» (μόνο στα χαρτιά) μνήμες DDR πίνουν ταχύτητες της τάξης των 400 και 533MHz. Η ανάγκη για ψύξη είναι σαφώς μικρότερη, αλλά και δεν κοστίζει τίποτα να τοποθετήσει ο ενθουσιώδης μικρές ψήκτρες πάνω στα modules.

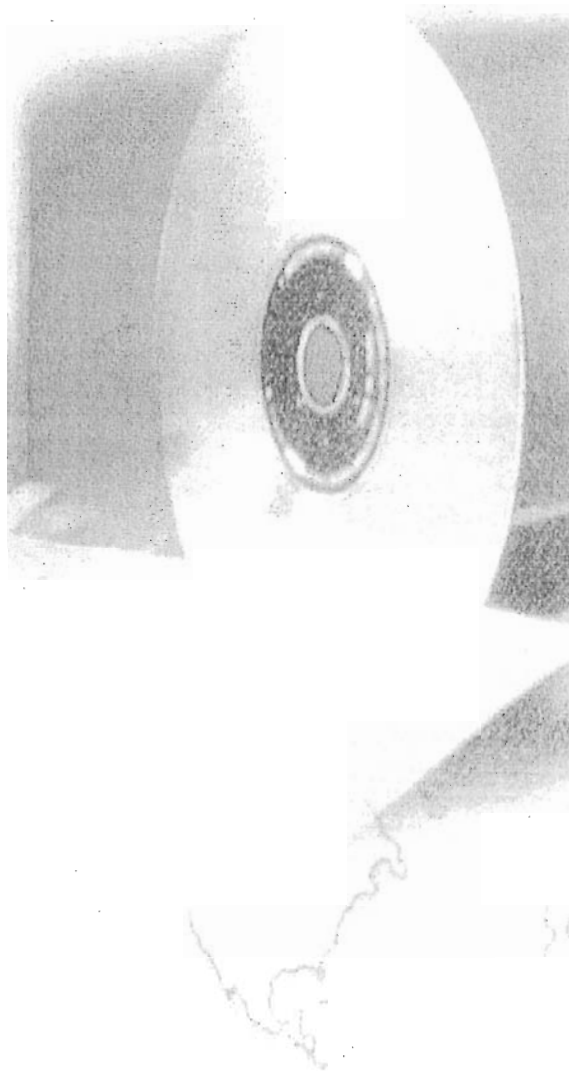


Εικόνα 6: Οι αντιπρόσωποι της Western Digital, Seagate Technologies και Maxtor. Οι τρεις εταιρείες είναι οι κυρίαρχες στην αγορά των σκληρών δίσκων

Οι λύσεις

Σήμερα έχουμε περισσότερο από επαρκή γκάμα συστημάτων ψύξης για τον υπολογιστή μας. Ξεκινούν από τις απλές μεταλλικές ψήκτρες ενός στοιχείου (Al, Cu), συνεχίζουν στις ψήκτρες δυο στοιχείων ή κραμμάτων, βελτιώνονται με την προσθήκη ανεμιστήρων, και η τελευταία λέξη της τεχνολογίας είναι η υδρόψυξη. Μερικοί μάλιστα πιο «ενθουσιώδεις» χρήστες έχουν καταφύγει σε πιο εξειδικευμένες λύσεις, με ψύξη αζώτου, χρησιμοποίηση ανταλλακτικών κλιματιστικών κλπ. Η ψύξη ενός συστήματος υπολογιστή σήμερα, περιορίζεται μόνο από την φαντασία του χρήστη. Ιδιαίτερα μάλιστα όταν το κόστος έχει μειωθεί τόσο πολύ, και οι κατασκευαστές έχουν δώσει όλο και περισσότερες πληροφορίες για τα τεχνικά χαρακτηριστικά των προϊόντων τους. Η ψύξη ποτέ δεν θα είναι αρκετή. Αλλά εξαρτάται από τον χρήστη, πριν ξεκινήσει να κατασκευάζει ένα super μηχανημα ψύξης, (που πιο πολύ θόρυβο παρά ψύξη κάνει) να ελέγξει τα θερμικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε εξαρτήματος, και να καταφύγει σε μια προσιτή λύση κόστους/ψύξη, έτσι ώστε ούτε να ταλαιπωρείται περισσότερο, αλλά ούτε και να ξοδεύει περισσότερο.

Τσορμπατζίδης Δημήτριος
Φοιτητής Τμ. Φυσικής



Ξέρουν Φυσική οι συγγραφείς του Star Trek ;;;

Αν νομίζετε ότι οι βιολόγοι είναι οι μόνοι που κατέχουν τα μυστικά της αντιγραφής, με την ανακάλυψη της κλωνοποίησης, κάνετε λάθος. Σήμερα και οι φυσικοί μπορούν να κάνουν τα δικά τους «μαγικά» και όχι απλά να κάνουν τέλεια αντίγραφα αντικειμένων, αλλά να τα στέλνουν σε άπειρη απόσταση, σε χρόνο μηδέν! Πως γίνεται αυτό; Πολύ απλά: με τη βοήθεια της κβαντικής μηχανικής!

Αναφέρομαι βεβαίως στην **κβαντική τηλεμεταφορά**, για την οποία γίνεται αρκετός λόγος τώρα τελευταία, λόγω της μεγάλης προόδου και εξελίξεων που έχουν συντελεσθεί στον τομέα αυτό. Το φαινόμενο στο οποίο βασίζεται είναι το γνωστό (;;) σε όλους μας " παράδοξο EPR".

Το «παράδοξο EPR», ήταν το θέμα μιας εργασίας που δημοσιεύτηκε το 1935 από τους Einstein, Podolsky και Rosen (βοηθοί του Einstein) με τίτλο « Μπορεί να θεωρηθεί πλήρης η κβαντομηχανική περιγραφή της φυσικής πραγματικότητας; », με στόχο να πλήξει την κβαντική θεωρία και να αποδείξει ότι ήταν ατελής. Η εργασία αυτή ήταν το αποκορύφωμα μιας μακρόχρονης διαμάχης μεταξύ του Einstein και του Bohr που έλαβε χώρα στις δεκαετίες του '20 και του '30, με θέμα την κβαντική θεωρία, ως αποτέλεσμα της έντονης αντίθεσής του πρώτου σ' αυτήν και της αποδοχής της από τον δεύτερο, πράγμα πρωτοποριακό για την εποχή εκείνη.

Η εμφάνιση της κβαντικής θεωρίας κλόνισε τα θεμέλια της κλασικής φυσικής, αφού μπόρεσε να εξηγήσει όσα δεν μπορούσε αυτή, σε μια εποχή μάλιστα που οι επιστήμονες πίστευαν ότι το παραμύθι έφτανε στο τέλος του, ότι η φυσική είχε φτάσει σχεδόν στην ολοκλήρωσή της και ότι η νευτώνεια μηχανική θα ήταν η τελική θεωρία που θα περιέγραφε τον κόσμο μας. Έτσι τη μια στιγμή ο ντετερμινισμός (αιτιοκρατία) βρισκόταν στο απόγειο της δόξας του και την άλλη ερχόταν η τυχαιότητα ή καλύτερα η πιθανοκρατική ερμηνεία των φυσικών φαινομένων να πάρει τη θέση του. Ήταν λογικό επομένως να μην μπορέσουν να την δεχτούν όλοι με τόση ευκολία. Για μερικούς η αυστηρή διαδοχή του ενός γεγονότος από το άλλο, η τάξη στα δικά τους μάτια, αντικαταστάθηκε από το χάος. Ένας απ'αυτούς ήταν και ο Einstein. Ένωσε ότι όλα αυτά έρχονταν σε αντίθεση με το επιστημονικό του ένστικτο και έτσι έκανε τα αδύνατα δυνατά να επαναφέρει την κλασική μηχανική στο προσκήνιο, παρουσιάζοντας διάφορα πειράματα συνοδευόμενα με την κατάλληλη επιχειρηματολογία ώστε να δείξει ότι η κβαντική θεωρία " δεν στέκει!". Πιο πολύ στον στόχο του φάνηκε ότι πλησίασε με το " παράδοξο EPR", γιατί εκεί πράγματι ο Bohr δυσκολεύτηκε πολύ να απαντήσει. Ο Bohr ήταν ένας από τους λίγους που μπόρεσαν να δουν το αναπόφευκτο σε μια στενή σε επιστημονικό πλαίσιο ερμηνεία του κόσμου (η κρίση της Κλασικής Φυσικής ήταν πολύ βαθιά για να μπορέσει να ξεπεραστεί με ημίμετρα) και το αναπόδραστο της κβαντικής θεωρίας, ενός νέου τρόπου όψης λειτουργίας της φύσης. Ήταν ο άνθρωπος μπροστά από την εποχή του που μπόρεσε να αντικρούσει όλη την επιχειρηματολογία του Einstein με επιτυχία, γιατί ήταν από τους πρώτους που μπόρεσαν να κατανοήσουν σε βάθος τις συνέπειες της «νέας θεωρίας».

Μια από αυτές τις συνέπειες είναι και η συσχέτιση, δηλαδή η σύνδεση της μέτρησης μιας τιμής ενός μεγέθους κάποιου σωματιδίου, με την τιμή ενός άλλου σωματιδίου, έστω κι αν αυτό είναι πολύ μακριά από το πρώτο.

Στο πείραμα EPR θεωρούμε ένα σύστημα αποτελούμενο από δύο σωματίδια A και B, μηδενικού ολικού σπιν, τα οποία έχουν αλληλεπιδράσει για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα και στη συνέχεια χωρίζονται ώστε να διατηρείται το ολικό τους σπιν σταθερό. Μετά το χωρισμό τους, μετράμε μια από τις συνιστώσες του σπιν του σωματιδίου A*.

Μπορούμε τότε χωρίς να πραγματοποιήσουμε καμιά μέτρηση στο B να προβλέψουμε με βεβαιότητα την τιμή της αντίστοιχης συνιστώσας του ότι θα είναι αντίθετη αυτής του A.

Για τον Einstein, η δυνατότητα να προβλέψουμε ένα στοιχείο του B, αποδεικνύει πως η θεωρία δεν είναι πλήρης αφού δεν εξηγεί πως το ένα σωματίδιο επηρεάζει το άλλο. Αν δεχτούμε ότι το σπιν αυτού που μετράμε δεν είναι καθορισμένο αλλά ορίζεται τη στιγμή της μέτρησης, τότε το σωματίδιο αυτό θα πρέπει ακαριαία να καθορίζει την τιμή του σπιν του B όσο μακριά κι αν βρίσκεται αυτό. Όμως, μια τέτοια αλληλεπίδραση ταχύτερη από το φως έρχεται σε αντίθεση με τη Θεωρία της Σχετικότητας και αυτό ακριβώς αποτελεί το παράδοξο EPR.

Για τον Bohr αντίθετα, η συσχέτιση αποτελεί μια ιδιότητα του κόσμου στον οποίο ζούμε. Τα συσχετισμένα σωματίδια αποτελούν θεμελιώδη τμήματα του ίδιου κβαντικού συστήματος ανεξάρτητα της μεταξύ τους απόστασης. Χωρίς κανένα σήμα να ανταλλάσσεται μεταξύ τους, και ανεξάρτητα από το πόσο μακριά βρίσκεται το ένα από το άλλο, συνεργάζονται κατά τη στιγμή της μέτρησης. Η γνώση της κβαντικής κατάστασης του ενός μας αποκαλύπτει την κατάσταση και του άλλου. Αυτή ήταν και η απάντηση που έδωσε ο Bohr σ' αυτό το όντως πολύ δύσκολο ζήτημα.

Τώρα οι σύγχρονες αναφορές για τηλεμεταφορά, παραπέμπουν στο όνομα που δίνουν οι συγγραφείς επιστημονικής φαντασίας, σε μια προσπάθειά τους, ώστε ένα αντικείμενο ή ακόμη και ένας άνθρωπος, να εξαφανιστεί από μια θέση, ενώ ένα τέλειο αντίγραφό του, να εμφανίζεται κάπου αλλού.

Μια μηχανή τηλεμεταφοράς, θα ήταν σαν μια μηχανή fax, (η οποία θα λειτουργούσε με 3-διάστατα αντικείμενα) που θα παρήγαγε ένα ακριβές αντίγραφο του αντικειμένου και όχι μια κόπια κατά προσέγγιση, αλλά συγχρόνως θα κατέστρεφε το αρχικό αντικείμενο, στο στάδιο της σάρωσης ή της ανάλυσής του.

Πολλοί επιστήμονες προγραμματίζουν πειράματα στα επόμενα έτη, για να καταδείξουν την τηλεμεταφορά σε μικροσκοπικά αντικείμενα, όπως είναι μοναχικά άτομα ή φωτόνια. Ωστόσο, όσον αφορά την τηλεμεταφορά πραγματικών ανθρώπων, πρόκειται καθαρά για επιστημονική φαντασία. Κανένας επιστήμονας δεν αναμένει να εφαρμοστεί η τηλεμεταφορά στους ανθρώπους τουλάχιστον στο άμεσο μέλλον, γιατί ακόμα κι αν υπο-

* Μπορούμε να κάνουμε επιλογή οποιασδήποτε ιδιότητας, το φαινόμενο δεν αφορά αποκλειστικά τη στροφορμή

θέταμε ότι δεν παραβιάζεται κανένας θεμελιώδης νόμος της Φυσικής, θα υπήρχε το πρόβλημα σάρωσης των αντικειμένων(σ' αυτή την περίπτωση ανθρώπων)!

Παρ' όλα αυτά, η επιστημονική κοινότητα έχει να επιδείξει σπουδαία επιτεύγματα στον τομέα αυτό. Έχουν γίνει αρκετά πειράματα μέχρι σήμερα, που αποδεικνύουν ότι τουλάχιστον η τηλεμεταφορά υποατομικών σωματιδίων δεν είναι μύθος. Οι φυσικοί έχουν καταφέρει να εκμεταλλευτούν όλες τις παράξε-



Ο Niels Bohr και ο Albert Einstein συζητούν απορροφημένοι σ' ένα συνέδριο φυσικής στις Βρυξέλλες γύρω στα 1930.

νες αλλά εκπληκτικές συνέπειες της κβαντικής θεωρίας, κυρίως αυτήν της συσχέτισης αφού σ' αυτήν βασίζεται η ίδια η ιδέα της τηλεμεταφοράς, και έχουν πραγματοποιήσει το απίστευτο. Όχι δεν πρόκειται ούτε για βουντού ούτε για τηλεπαθητικές ικανότητες φακίρηδων, είναι Φυσική! Ακόμα και η απαγορευτική αρχή της αβεβαιότητας, στην οποία πιστωνόταν η ενδεχόμενη αποτυχία τέτοιων πειραμάτων, έχει αποδειχτεί ένα ευεργετικό στοιχείο. Σύμφωνα με αυτήν, όταν ένα μικροσκοπικό αντικείμενο γίνεται στόχος ακριβούς μέτρησης, επηρεάζεται η υπόστασή του, τόσο ώστε η αρχική του εικόνα να αλλοιωθεί, και να μην μπορεί να εξαχθεί ένα ακριβές αντίγραφο του(η μέτρηση επηρεάζει το μετρούμενο σύστημα). Οπότε, αν κάποιος δεν μπορεί να εξαγάγει αρκετές πληροφορίες από ένα αντικείμενο για να κάνει ένα τέλειο αντίγραφο τότε πως θα έκανε ένα ακριβές αντίγραφο; Αυτή η σκέψη εμπόδιζε την εξέλιξη των πραγμάτων για αρκετό καιρό, αλλά τελικά τα λαμπρά μυαλά που υπηρετούν αδιάκοπα την επιστήμη έχουν βρει τη λύση του γρίφου: μπορείτε να επαναδημιουργήσετε την κβαντική κατάσταση που δεν έχει μετρηθεί – εφ' όσον προετοιμάσετε να θυσιάσετε το αρχικό σωματίδιο. Το τέχνασμα εκμεταλλεύεται την ίδια την αβεβαιότητα που κάνει τις κβαντικές μετρήσεις να αλλοιώνουν το μετρούμενο αντικείμενο στην αρχική θέση.

Το πρώτο πείραμα τηλεμεταφοράς έγινε το 1993, από μια διεθνή ομάδα έξι επιστημόνων από τις ΗΠΑ, Καναδά, Ισραήλ (C.Bennett IBM, R.Josza, W.Wootters, G.Brassard, C.Crepeau, A.Peres). Οι τελευταίοι βρήκαν έναν τρόπο να ανιχνευθεί-αναλυθεί ένα μέρος των πληροφοριών από ένα αντικείμενο A, το οποίο κάποιος θα ήθελε να τηλεμεταφέρει, ενώ συγχρόνως προκαλείται το πέραςμα πληροφορίας, μέσω του φαινομένου Einstein-Podolsky-Rosen, σε ένα άλλο αντικείμενο Γ, το οποίο δεν έχει έρθει ποτέ σε επαφή με το αντικείμενο A. Αργότερα, με κατάλληλη επεξεργασία του Γ ανάλογα με τις ανιχνευθείσες πληροφορίες είναι δυνατό να οδηγηθεί με κατάλληλους μηχανισμούς το αντικείμενο Γ ακριβώς στην ίδια κατάσταση, όπως ήταν το A προτού αναλυθεί.

Στην κβαντική τηλεμεταφορά δύο αντικείμενα B και Γ φέρο-

νται αρχικά σε επαφή (συσχετίζονται) και έπειτα διαχωρίζονται. Το αντικείμενο B λαμβάνεται στο σταθμό αποστολής, ενώ το αντικείμενο Γ λαμβάνεται στο σταθμό-παραλήπτη. Στο σταθμό αποστολής το αντικείμενο B, ανιχνεύεται-διαβάζεται μαζί με το αρχικό-πρωτότυπο αντικείμενο A, το οποίο επιθυμούμε να τηλεμεταφέρουμε, αποκομίζοντας κάποιες πληροφορίες ενώ καταστρέφεται εντελώς η κβαντική κατάσταση του A και του B. Οι ανιχνευθείσες πληροφορίες αποστέλλονται στο σταθμό λήψης, όπου χρησιμοποιούνται για να επεξεργαστεί κατάλληλα το αντικείμενο Γ, και με αυτόν τον τρόπο καθιστούμε το Γ, ένα ακριβές αντίγραφο του A.

Μια άλλη πειραματική επιβεβαίωση της κβαντικής τηλεμεταφοράς πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο του Ινσμπρουκ τον Δεκέμβριο του 1997, υπό την διεύθυνση του Δρ. Anton Zeilinger του Ιδρύματος για την πειραματική φυσική στο Πανεπιστήμιο του Ινσμπρουκ, με τη βοήθεια των Dik Bouwmeester, Klaus Mattle, Manfred Eibl και Harald Weinfurter, αυτή τη φορά με φωτόνια, όπου μετρήθηκαν κυρίως οι πόλωσης τους. Για την ιστορία των γεγονότων, το ίδιο πείραμα πραγματοποιήθηκε σε βελτιωμένη εκδοχή ένα χρόνο αργότερα στο Caltech (California Institute of Technology) ενώ όπως δήλωσε ένας από τους ερευνητές, ο Jeff Kimble: « Είναι η πρώτη τηλεμεταφορά. Πιθανόν να μην οδηγεί στην τεχνολογία του Star Trek, αλλά θα μπορούσε να βοηθήσει στην περίτεχνη κρυπτογραφία και πιθανώς στα "κβαντικά computers"». Η ομάδα του Kimble επέκτεινε τη θεωρία και την τεχνική για να εφαρμόζεται σε πιο πλατιά πεδία, από την απλή περίπτωση που απλώς μετριόταν μια συνιστώσα σπιν ή μια συνιστώσα πόλωσης.

Οι πιο πάνω ιδέες, βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στην κβαντική κρυπτογραφία, «**το σημαντικό προσόν της οποίας, είναι ότι δεν χρειάζεται κανείς να ανησυχεί για το σπάσιμο των κωδικών. Οι μόνοι περιορισμοί δημιουργούνται από τους νόμους της κβαντομηχανικής**», όπως πολύ εύστοχα παρατήρησε ο Αμερικανός καθηγητής Πωλ Κουάιατ.

Απ' ότι φαίνεται η ιστορία τώρα μόλις αρχίζει, και αναρωτιέται κανείς τι θαυμαστά πράγματα μας επιφυλάσσει το μέλλον. Η φύση λειτουργεί με μυστηριώδεις τρόπους και ποιος ξέρει, η επιστήμη κάνει άλματα, αλλά μπορεί εμείς να έχουμε μόλις αρχίσει να την ανακαλύπτουμε. Αξιοσημείωτο είναι ότι αυτό που στην δεκαετία του '30 φαινόταν αδιανόητο, σήμερα είναι πραγματικότητα. Οφείλουμε πολλά στον μεγάλο Einstein που ενώ οι στόχοι του ήταν ακριβώς αντίθετοι μ' αυτό που τελικά πέτυχε, στους οποίους αφιέρωσε μεγάλο μέρος της ζωής του, γι' αυτό και μοιάζει με ειρωνεία ότι η μέγιστη συμβολή στον τομέα δεν ήταν κάποια οξυδερκής ερμηνεία της βασικής δομής της κβαντικής φυσικής, αλλά η διατύπωση ίσως της πιο εκπληκτικής συνέπειας της.

Κ. Πολυκάρπου
Φοιτήτρια Τμ. Φυσικής

Τελικά η βλακεία είναι μία μορφή ευφυΐας ή το αντίστροφο;

(σίγουρα όμως είναι παράγων θλίψεως)

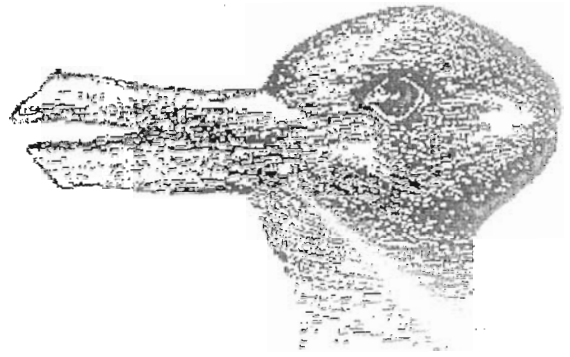
Υπάρχει άμυνα στη χυδαιότητα;
Υπάρχει άμυνα στη βλακεία;

Φαίνεται ότι ζούμε σε δύο κόσμους παράλληλους που φαινομενικά συναντιούνται μεταξύ τους με μία σκοτεινή σήραγγα, όπως τα παράλληλα σύμπαντα ενώνονται με τις «σκουληκότρυπες». Παρατηρούντες τα φαινόμενα, φαίνεται ότι η σήραγγα αυτή με τις δύο άκρες είναι σαν μία οδός, που βαθμιαία μεταβάλλει τους ανθρώπους από έξυπνους σε βλάκες και το αντίστροφο. Έχουμε από τη μία μεριά τον κόσμο της επιθετικής βλακείας (πολιτική, πολιτικοί, TV, lifestyle, Internet, κλπ) και από την άλλη τον κόσμο που ήταν και είναι η ζωντανή συνείδηση της κοινωνίας και τώρα μετεωρίζεται πάνω στις παλιές ρητορικές και ιδέες, που δεν έχει πια προσβάσιμη γλώσσα, δεν έχει ήρωες και πρότυπα και πουθενά δεν βρίσκει σπίτι.

Έτσι λοιπόν σήμερα, με όλα αυτά που συμβαίνουν είναι πολύ δύσκολο και επικίνδυνο να ορίσει κανείς την έννοια βλακεία. Κατ' αρχήν μιλώντας κανείς γι' αυτήν φαίνεται να θεωρεί ότι ο ίδιος δεν είναι βλάκας. Έτσι όμως μας λέει ότι είναι έξυπνος, κι αυτό είναι σίγουρα ένδειξη βλακείας. Βάζει επομένως μέσα σ' αυτήν και τον εαυτό του και τολμάει να ασχοληθεί με μία δύναμη τόσο ισχυρή που κυριαρχεί στην κοινωνική ζωή γύρω μας. Τώρα βέβαια, μιλώντας εναντίον της βλακείας αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί όχι μόνο ως ένδειξη θράσους αλλά και ως απόπειρα παρακώλυσης της εξέλιξης της εποχής μας, αλλά ποιος ασχολείται σήμερα με ασήμαντους ρομαντικούς; Εξ άλλου δεν είναι τυχαίο που οι σοφοί προτιμούν να γράφουν μόνο για τη σοφία.

Ας δούμε λοιπόν κάποιες μορφές βλακείας κι αν αυτές είναι τελικά βλακεία ή μήπως κάτι άλλο.

Κλασικές μορφές βλακείας βρίσκουμε στις σχέσεις αδύναμων-ισχυρών, υπηρετών-κυρίων, μαθητών-δασκάλων, στρατιωτών-αξιωματικών, παιδιών-γονέων, ποιμνίων και ποιμένων και βέβαια ψηφοφόρων (λαών) και ηγετών, που εκλέγονται πανηγυρικά όντες αυτοί βλάκες ή οι λαοί τους. Και εδώ αρχίζει η αμφιβολία. Πίσω από αυτές τις εκδηλώσεις βλακείας, μήπως κρύβονται με τέχνη, σκοπιμότητες επιβίωσης; Μήπως έχει καταντήσει ο κόσμος μας τέτοιος, ώστε πολλοί να έχουν περισσότερες πιθανότητες να σωθούν, η να επιπλεύσουν ή και να κυβερνήσουν ακόμα, παριστάνοντας ότι είναι περισσότερο βλάκες από ότι πράγματι είναι; Μήπως η σήραγγα που λέγαμε στην αρχή συνδέει στενά τη βλακεία και την εξυπνάδα, στενά, αντίστροφα και ακατάλυτα; Μήπως τελικά η βλακεία είναι μια μορφή ευφυΐας και εξαρτάται από τις συνθήκες και τις ανάγκες η εμφάνισή της μίας ή της άλλης; Στον επιχειρηματικό κόσμο, π.χ. κάποιος είναι βλάκας γιατί δεν είναι πονηρός και αδίστακτα ασυνείδητος.



Στο σχηματάκι πάνω, ανάλογα πως το κοιτάς δείχνει μία πάπια ή ένα λαγό. Είναι αυτό που θέλεις να δεις και σχεδιάζεις να το κάνεις να φαίνεται σκόπιμα έτσι. Είναι κάτι ανάλογο με τον κβαντομηχανικό δυϊσμό, σωματίδιο-κύμα όπου εμφανίζεται το ένα ή το άλλο ανάλογα με το πείραμα-σκοπό που σχεδιάζεις. Εξετάζοντας τις διάφορες μορφές της βλακείας διαπιστώνουμε τον αμφίσημο χαρακτήρα τους. Π.χ. στον ανόητο θεατή-ακροατή αντιστοιχεί η τυφλή και βλακώδης αλαζονεία του μέσου μαζικής επικοινωνίας. Η ανοησία της αδύναμης πνευματικής κυτταρίτιδας δεν μπορεί να διαχωριστεί από την (σκόπιμη;) ανοησία της δύναμης των μέσων. Από την άλλη μεριά, ευφυΐα και βλακεία συνδέονται στενά, έτσι ώστε η εξυπνάδα, η κάθε μορφής εξυπνάδα να διαθέτει και τη βλακεία της. Η βλακεία θα λέγαμε, είναι η σκιά της ευφυΐας και είναι πραγματικά δύσκολο να απαλλαγεί κανείς από τη σκιά του.

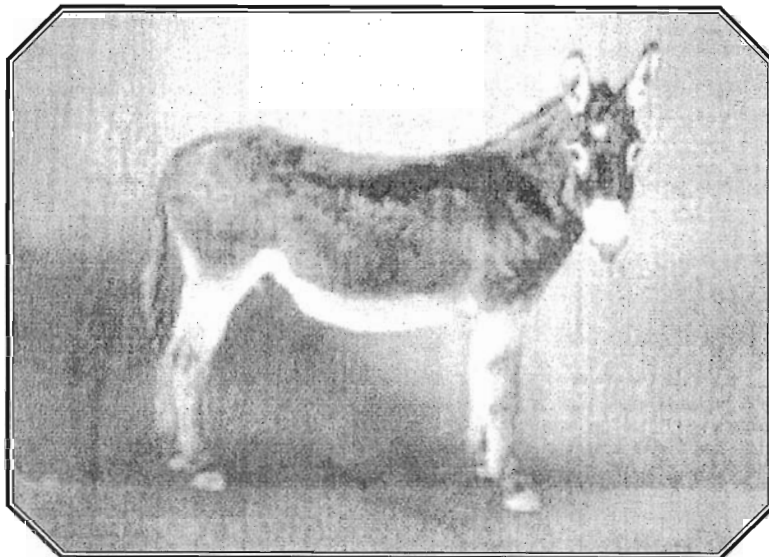
Βέβαια υπάρχει και ένα άλλο είδος βλακείας. Η έντιμη, η απλοϊκή, η αθώα που μπορεί να παράγει ακόμα και τέχνη. Η άλλη, η με σημάδια ευφυΐας είναι η επικίνδυνη και σχεδόν πάντοτε θριαμβεύει σε βάρος της πρώτης.

Τελικά ποιος είναι ο βλάκας και ποιος ο έξυπνος; Το μπέρδεμα γίνεται όλο και πιο δύσκολο και θα μπορούσε κανείς να πει ότι όλα τα παραπάνω περιέχονται στη φράση:

«Η βλακεία ως σύγχρονη συνταγή επιτυχίας»

Και τότε έρχεται η θλίψη. Γιατί μέσα μας καταλαβαίνουμε ότι το αντίδοτο στη βλακεία είναι δύσκολο έως αδύνατο να βρεθεί. Ίσως είναι η μετριοφροσύνη, ίσως η αξιοπρέπεια μέσα σε έναν κόσμο κάλπικο, κίβδηλων αξιών. Δεν μπορεί να είναι κανείς αριστοκράτης, με την πιο βαθιά και πλήρη έννοια της λέξης, υποχρεούμενος να κινείται σε έναν μίζερο περίγυρο όπου οι άριστοι όχι μόνο δεν κρατούν, ευρισκόμενοι στο περιθώριο αλλά συντρίβονται αδιάκοπα από μία φθονερή μετριοκρατία που κάνει πάντα καλή παρέα με τη δίδυμη αδελφούλα της, τη βλακοκρατία.

Καθώς η ανοησία έχει πλημμυρίσει και σκεπάσει την κοινή γνώμη, τόσο που να μην διαθέτει πλέον γνώμη, δεν μπορώ να συμπεριφερθώ ανθρώπινα σε όσους υπάρχουν παρασιτικά. Δεν λειτουργεί η ζωοφιλία μου στα δίποδα ζώα, στις μύγες, στα κουνούπια και στις κατσαρίδες.



Μου αρέσουν πολύ τα γαϊδουράκια. Αυτή η στάση και αυτό το βλέμμα καθώς μας κοιτάει κατάματα δεν είναι έκπληξη, είναι βαθιά κατανόηση, που οδηγεί σε μια παρεξηγημένη εγκάρτηση, παραίτηση, φυγή.

Να πολεμήσει κανείς τη βλακεία; Τι νόημα έχει η πάλη με την Λερναία Ύδρα όταν δεν είσαι Ηρακλής; Πώς να σκοτώσεις το τέρας του λαϊκισμού με το λόγο, την ευγένεια, την ευαισθησία και τη μελαγχολία; Πειθαρχώντας περισσότερο στην ποιοτική συνείδηση του κόσμου και όχι στην κοινωνική σκοπιμότητα του περιβάλλοντος, φθάνεις στην τελική και οριστική μοναξιά, φροντίζοντας να προετοιμάζεσαι κατάλληλα και να μην εκπλαγείς σαν έλθει η στιγμή, που λένε.

Στιγμή

Κι ήλθε η στιγμή που φέρνει την ανάμνηση
των χρόνων που πέρασαν.
Κι ήλθε η στιγμή να δει κανείς πώς έζησε μέχρι τώρα.
Μήπως η ζωή του δεν ήταν μια στιγμή
αλλά ένα στίγμα;
Μήπως ήλθε η στιγμή ν'αρχίσει από την αρχή;
Είναι τίμημα ζωής και φυλαχτό μεγάλο
να πάρει την απόφαση, ζωή να αλλάξει,
το φόβο να δαμάσει αυτόν της βολεψιάς
και να ματώσει.
Για να 'χει η ζωή μέγεθος τώρα
να 'χει σχήμα.
Ως την αλήθεια του τάφου τη μοναδική
Η στιγμή ήλθε
η επιλογή του ανήκει.

Κ.Καμπάς

Συνέντευξη του

Φίλιπ Γκλάς

Ο σπουδαιότερος μινιμαλιστής μουσικός του κόσμου επέλεξε την Ελλάδα να παρουσιάσει το νέο του έργο "Orion", εμπνευσμένο από τον μεγαλύτερο αστερισμό του νυχτερινού ουρανού, στο Ηρώδειο (3 και 4 Ιουνίου) και στο Θέατρο Δάσους της Θεσσαλονίκης (7 και 8 Ιουνίου) στο πλαίσιο της Πολιτιστικής Ολυμπιάδας. Ο όγκος της δουλειάς του Philip Glass είναι πλέον ανεκτίμητος για την παγκόσμια πολιτιστική κληρονομιά και φυσικά το μεγαλύτερο μέρος από τα σημαντικά του έργα είναι ηχογραφημένα στην Nonesuch με προεξέχοντα, αυτά που έχει κάνει για τον κινηματογράφο και τα οποία τον έχουν φέρει δύο φορές υποψήφιο για Όσκαρ ("Hours", "Kundun") Εμείς τον προσκαλέσαμε στο Αστεροσκοπείο του Πανεπιστημίου μας για να παρακολουθήσει μαζί με πολλούς άλλους Θεσσαλονικείς την διάβαση της Αφροδίτης της 8ης Ιουνίου και εκεί είχαμε και την ευκαιρία για την παρακάτω συζήτηση που σήμερα δημοσιεύεται στο περιοδικό μας.

Ερ: Έχετε αναφέρει συχνά ότι τα πρώτα σας ερεθίσματα γύρω από τη μουσική, σας δόθηκαν στο μαγαζί του πατέρα σας, ο οποίος είχε ένα δισκοπωλείο στη Βαλτιμόρη, και εκεί έβαζε εσάς και τον μεγαλύτερο σας αδερφό να ακούτε τους δίσκους που δεν "πούλαγαν" και να βρείτε τι φταίει. Μετά από τόσα χρόνια και μια τόσο σπουδαία καριέρα στο χώρο της μουσικής, τι έφταιγε τελικά;

Απ: Πρέπει πρώτα απ' όλα να σου πω ότι αυτοί οι δίσκοι ήταν δίσκοι κυρίως κλασικής και τζαζ μουσικής, χωρίς να λείπουν ανάμεσά τους και κάποιοι με την μοντέρνα μουσική εκείνης της εποχής. Δηλαδή δεν ήταν δίσκοι από ένα συγκεκριμένο είδος μουσικής. Έτσι μετά από τόσα χρόνια καταλήγω στο συμπέρασμα ότι το μόνο που έφταιγε ήταν το ότι οι άνθρωποι δεν είχαν χρόνο να ακούσουν αυτούς τους δίσκους, δεν είχαν χρόνο να ακούσουν την μουσική αυτή. Δεν ήταν θέμα της μουσικής που είχαν αυτοί οι δίσκοι αλλά το ότι η καθημερινή ζωή των ανθρώπων δεν τους επέτρεπε να βρουν τον χρόνο να ηρεμήσουν και να συγκεντρωθούν για να ακούσουν. Αλλά αυτό το κατάλαβα πολύ αργότερα στη ζωή μου. Για να ακούσεις ένα είδος μουσικής χρειάζεται να έχεις χρόνο για να το αφομοιώσεις, ειδικά όταν έχουμε να κάνουμε και με κάποιο νέο είδος μουσικής. Χρειάζονται αρκετές ακροάσεις και μια ψυχική ηρεμία, άρα και χρόνος στην διάθεσή σου, προκειμένου να καταλάβεις ένα κομμάτι.

Ερ: Οπότε φαντάζομαι ότι στη σύγχρονη εποχή, τα πράγματα πρέπει να είναι χειρότερα.

Απ: Δυστυχώς ναι. Στις μέρες μας έχουμε πολύ λίγο χρόνο μέσα στον οποίο πρέπει να δούμε κάποια πράγματα, οπότε καταλαβαίνεται ότι αυτό πρέπει να γίνει πολύ γρήγορα. Για παράδειγμα, σε μια εφημερίδα, κανείς κοιτάει και πολ-

λές φορές και τα άρθρα περιλαμβάνουν μόνο τα βασικά σημεία ενός γεγονότος, ενώ οι λεπτομέρειες παρά την σημασία που έχουν και το διαφορετικό επίπεδο ανάγνωσης που μπορούν να προσφέρουν, χάνονται. Αυτό συμβαίνει ακόμη και στις ταινίες ή και τα θεατρικά έργα. Πρέπει να μην υπερβαίνουν κάποια χρονικά όρια, γιατί αλλιώς γίνονται κουραστικά και σίγουρα το κοινό θα τα απορρίψει. Έτσι οι συγγραφείς, κοιτάνε το πως θα δώσουν τα βασικά σημεία της ιστορίας και έτσι βλέπουμε πολλές φορές χαρακτήρες που δεν αναπτύσσονται όπως θα έπρεπε μέσα στο έργο. Το 1976 έγραψα την όπερα Einstein on the Beach, η οποία είχε διάρκεια πέντε ωρών. Σήμερα δεν πιστεύω ότι θα τολμούσε να κάνει κανείς την παραγωγή σε ένα τέτοιο έργο. Θα σου έλεγα λοιπόν ότι στις μέρες μας, υπάρχει τρομερή έκπτωση στην ποιότητα του χρόνου που έχουμε στη διάθεσή μας.

Ερ: Πως γίνεται λοιπόν ενώ η τεχνολογία προχωράει και θεωρητικά θα έπρεπε να μας εξασφαλίζει περισσότερο χρόνο για τους εαυτούς μας να συμβαίνει το αντίθετο;

Απ: Είναι όντως κάτι πολύ παράξενο. Η τεχνολογία ενώ θα έπρεπε να μας εξοικονομεί χρόνο, τελικά είναι αλήθεια ότι μας απορροφάει περισσότερο χρόνο. Για παράδειγμα όλοι έχουμε ένα υπολογιστή ο οποίος θα μας εξοικονομούσε χρόνο στο να στείλουμε ένα γράμμα, με το να στείλουμε ένα mail, ή στο να βρούμε μια πληροφορία που μας χρειάζεται. Στην πράξη όμως, η δυνατότητα πρόσβασης σε μια "άπειρη" ποσότητα πληροφοριών, σε αναγκάζει να ψάξεις για περισσότερη ώρα, ανάμεσα σε εκατομμύρια άχρηστες πληροφορίες, για να βρεις αυτό που τελικά θες. Έτσι νομίζω ότι υπάρχει και εδώ αυτό που λέγαμε πριν, η υποβάθμιση της ποιότητας, τόσο των πληροφοριών τις οποίες καλείσαι να επεξεργαστείς, όσο και του χρόνου, ως χρόνου που θα αφιέρωνες σε μια συγκεκριμένη ασχολία. Εγώ για παράδειγμα όταν γράφω μουσική, χρησιμοποιώ χαρτί και μολύβι, παρότι έχω και τα προγράμματα που θα μου το επέτρεπαν να το κάνω και μέσω του υπολογιστή. Ο υπολογιστής όμως σου παρέχει τόσες πολλές δυνατότητες που από ένα σημείο και μετά σου γίνεται πολύ δύσκολο το να συγκεντρωθείς. Άλλωστε, όσες δυνατότητες και να σου δώσει ο υπολογιστής δεν μπορεί ποτέ να κάνει κάποιον, που δεν έχει μάθει τίποτα από τη θεωρία της μουσικής, να γράψει μουσική. Αυτό που πάντα θα είναι πιο σημαντικό είναι η προ-

σωπική γνώση και εμπειρία και είναι αναντικατάστατες με όσες επιλογές και αν σου δώσει ένας υπολογιστής. Το πρόβλημα με την τεχνολογία είναι ότι δεν μας οδηγεί εκεί που περιμέναμε. Ενώ περιμέναμε ότι θα μας εξασφαλίζει περισσότερο χρόνο ώστε να μπορούμε να κάτσουμε και να παρατηρήσουμε τον έναστρο ουρανό ή να ακούσουμε μουσική, αντιθέτως μας επιτάχυνε την φυσική δραστηριότητα και έτσι έχουμε ακόμη λιγότερο χρόνο στη διάθεσή μας για να τον απολαύσουμε.

Ερ: Πιστεύετε ότι αυτή η έλλειψη χρόνου, μας οδηγεί και σε έλλειψη έμπνευσης;

Απ: Δεν νομίζω ότι κάτι τέτοιο συμβαίνει. Η ικανότητα για έμπνευση ή η διαίσθηση, που για μένα είναι δύο έννοιες που μπορούν να ταυτιστούν, υπάρχουν και στις μέρες μας. Βλέπω πολλούς νέους ανθρώπους, και μικρά παιδιά που έχουν μια φοβερή φαντασία και δημιουργικότητα που πραγματικά τη ζηλεύω. Όσο μεγαλώνω, αυτό γίνεται κάτι που μπορώ να παρατηρώ καλύτερα, γιατί όταν ήμουν και εγώ νεότερος δεν ασχολούμουν τόσο με το έργο των άλλων νέων καλλιτεχνών αλλά ήμουν περισσότερο αφιερωμένος στο δικό μου. Τώρα όμως, έχω περισσότερο χρόνο να κοιτάξω το έργο των νέων ανθρώπων και πραγματικά εκπλήσσομαι με τον τρόπο που εκφράζονται και με αυτά που έχουν να πούν και σε καμία περίπτωση δεν θεωρώ ότι τους λείπει η έμπνευση, ακόμη και στην εποχή της ταχύτητας στην οποία ζούμε.



Ερ: Πόσο θεωρείτε ότι το θέατρο έχει βοηθήσει τη δική σας δουλειά;

Απ: Το θέατρο έχει υπάρξει και εξακολουθεί να είναι κάτι πολύ σημαντικό για εμένα και για τη δουλειά μου. Μέσω του θεάτρου έρχεσαι σε επαφή με πάρα πολλούς καλλιτέχνες από άλλους χώρους, όπως με τον συγγραφέα, τους ηθοποιούς, άλλους μουσικούς, τον σκηνοθέτη, τους σχεδιαστές. Οι συναντήσεις μου με άλλους καλλιτέχνες έχουν υπάρξει πάντα πολύ καθοριστικές για τη δουλειά μου και μπορούν να με οδηγήσουν στο να αλλάξω εντελώς και κάποιο κομμάτι, να με οδηγήσουν σε μια εντελώς καινούργια σύνθεση. Κάτι που είναι πολύ σημαντικό με αυτές τις επαφές, είναι ότι σε ανασύρουν από τον δικό σου κόσμο της σύνθεσης και σε βγάζουν από τα στενά όρια της προσωπικής σου δημιουργίας, έρχεσαι σε επαφή με το όραμα άλλων ανθρώπων. Νομίζω ότι αυτό είναι πολύ σημαντικό ακόμη και για τους επιστήμονες. Ένας επιστήμονας σήμερα εξειδικεύεται σε

έναν τρομερό βαθμό σε κάποιο αντικείμενο, σε μία μελέτη και η ικανότητα του να επηρεαστεί μειώνεται. Αν δεν το κάνει όμως νομίζω ότι σύντομα θα καταλήξει σε κάποιο αδιέξοδο. Πρέπει να έχει τα μάτια του και το μυαλό του ανοιχτό και να έρχεται σε επαφή με άλλους επιστήμονες ακόμη και με ειδικότητες διαφορετικές της δικής του, και τότε ίσως προκύψει αυτό που λέμε "η καλή ιδέα". Σαν μουσικός λοιπόν είμαι και εγώ εξειδικευμένος σε κάτι και ξεπερνάω αυτή την παγίδα με το να έρχομαι σε επαφή με ανθρώπους εκτός του χώρου μου. Το θέατρο λοιπόν ήταν ο χώρος στον οποίο μπόρεσα να δράσω έτσι και να συνεργαστώ με ανθρώπους άλλων ειδικοτήτων.

Ερ: Σε μία χώρα όπως οι Η.Π.Α, ποιες μπορεί να είναι οι πηγές έμπνευσης για έναν καλλιτέχνη;

Απ: Πιστεύω πως η έμπνευση είναι δύο πράγματα. Το ένα είναι οι άνθρωποι που έχεις γύρω σου, και σε αυτό αναφέρθηκα προηγουμένως. Είναι οι άνθρωποι που σε περιβάλλουν, είτε είναι επιστήμονες, είτε είναι σεναριογράφοι, είτε είναι χορευτές. Το δεύτερο μπορεί να είναι τα τοπία και οι εικόνες της φύσης που φέρει κανείς στο μυαλό του. Στην Αμερική, και λόγω της τεράστιας έκτασής της, μπορεί κανείς να συναντήσει μερικά υπέροχα τοπία. Δεν αναφέρομαι μόνο στη βόρεια πλευρά της που ίσως είναι και η πιο γνωστή αλλά αν κατέβει κανείς και πιο κάτω και πάει στις ερήμους του Μεξικού και του Τέξας και σκεφτεί την ενότητα όλου αυτού του περιβάλλοντος που τον περιβάλλει, σίγουρα έχει πολλά να νιώσει. Είναι μια χώρα που περιλαμβάνει πολλές εναλλαγές του τοπίου στα εδάφη της και αν κάποιος φανταστεί την συνέχεια αυτών των τοπίων τότε νομίζω πως έρχεται μπροστά στην έμπνευση. Ακόμη η Αμερική έχει πολλά μέρη τα οποία είναι εντελώς ακατοίκητα και έρημα και στα οποία για εκατοντάδες μίλια δεν συναντάς κανέναν και τίποτα. Αυτό νομίζω είναι κάπως σπάνιο να το συναντήσεις σε άλλες χώρες εκτός από την Αυστραλία και ίσως από τον Καναδά.

Ερ: Κατά καιρούς έχετε συνεργαστεί με καλλιτέχνες που προέρχονται από εντελώς διαφορετικές κουλτούρες από τη δική σας. Πως πετυχαίνετε αυτή η μείξη των πολιτισμών;

Απ: Αυτό συνέβη και στο έργο που παρουσιάζω εδώ στην Ελλάδα, τον Ορίωνα. Συνεργάζομαι με μουσικούς που προέρχονται από τον Καναδά, την Αυστραλία, την Ινδία, τη Βραζιλία και την Ελλάδα. Αυτό μπορεί να έχει το συμβο-

λισμό του πνεύματος των Ολυμπιακών Αγώνων, αλλά πάνταπίστευα σε αυτή την ανάμειξη και την ανταλλαγή στοιχείων μεταξύ των πολιτισμών. Ξεκίνησα τις επαφές μου και τις συναντήσεις μου με μουσικούς και την παραδοσιακή μουσική άλλων λαών, ήδη από τη δεκαετία του 60. Ήταν μια εποχή που ταξίδευα πολύ, ταξίδευα στην Αφρική, στην Κεντρική Ασία, στην Ινδία, την Νότια Αμερική και ήταν ταξίδια στα οποία κέρδισα πολλά. Νομίζω ότι το πιο σημαντικό που μου πρόσφεραν αυτά τα ταξίδια, ήταν η συνειδητοποίηση ότι η μουσική δεν πήρε τις φόρμες της από την μουσική παράδοση της Ευρώπης, αλλά ότι προϋπήρχαν πολύ σημαντικές μουσικές φόρμες τόσο στην Βόρεια Αφρική όσο και στην Ινδία και ήταν κάτι που φάνηκε από πολύ νωρίς. Και τότε ήταν η στιγμή που σοκαρίστηκα γιατί κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσής μου ως μουσικού, πέρασα από πολλά σχολεία τα οποία θεωρούνται και ως τα καλύτερα στον κόσμο, και όμως κανείς δεν μας ανέφερε ποτέ τίποτα για τη μουσική παράδοση των χωρών αυτών και αν θέλετε για την μουσική παράδοση που υπήρχε στην Ανατολή και η οποία πάει τόσο πίσω στον χρόνο. Ήταν σαν να μην υπήρχαν.

Στην δεκαετία του 60 λοιπόν ξεκίνησα τη δική μου ανεξάρτητη περιήγηση σε όλα αυτά τα μουσικά ρεύματα και διαπίστωσα δύο πολύ σημαντικά πράγματα: Το πρώτο είναι οι μεγάλες διαφορές στον τρόπο που παρουσιάζεται η μουσική και στον τρόπο που μαθαίνουν μουσική ακόμη και στον τρόπο που οι λαοί αυτοί εξασκούνται στη μουσική. Από την άλλη διαπίστωσα τις τρομερές ομοιότητες που υπάρχουν στη Δυτική μουσική με τη μουσική των χωρών αυτών και είναι κάτι λογικό μιας και η μουσική είναι η έκφραση της ικανότητάς μας να σκεφτόμαστε και να νοιώθουμε. Συνεργάζομαι με καθένα από αυτούς τους μουσικούς για παρά πολλά χρόνια, αλλά πρώτη φορά συναντιούνται όλοι τους μαζί και είναι τρομερό να βλέπεις πως μπορεί ένας μουσικός από την Κίνα να παίζει με κάποιον από την Αφρική και να βγάζουν έναν εκπληκτικό ήχο, παρά τις όποιες πολιτισμικές διαφορές και τη διαφορετική μουσική παιδεία που ο καθένας έχει. Είμαστε όλοι απλοί άνθρωποι και κάτω από τη μουσική μπορούμε σίγουρα να συνυπάρξουμε με ένα πολύ γόνιμο τρόπο.

Έχουμε λοιπόν από τη μία τις διαφορές μεταξύ των διαφόρων μουσικών, αλλά από την άλλη υπάρχουν όλα αυτά τα κοινά στοιχεία που φαίνεται και στο γεγονός ότι μουσικοί από διαφορετικές χώρες μπορούν να συνυπάρξουν και να εκτελέσουν με θαυμάσιο τρόπο ένα μουσικό έργο.

Ερ: Και μέσα σε όλα αυτά, πως αποφασίσατε να σπουδάσετε και μαθηματικά.

Απ: Τα μαθηματικά και η φυσική μου άρεσαν από πολύ μικρό και αυτό που με έλκυε ιδιαίτερα ήταν η αστρονομία όπως συμβαίνει και με πάρα πολλούς ανθρώπους. Η αλήθεια είναι ότι δεν είχα τελικά κάποιο ιδιαίτερο ταλέντο ούτε και την ικανότητα να συνεχίσω ως μαθηματικός. Αυτό όμως που μου έμεινε και το οποίο διαπίστωσα πάλι αρκετά αργότερα είναι το ότι μπορούσε να γράψω μια όπερα για τον Γαλιλαίο και να έχω καταλάβει κάτι από αυτά που είπε ο Γαλιλαίος σαν άνθρωπος, ή αργότερα όταν έγραψα την όπερά μου "Einstein on the beach" μπορούσα και πάλι να καταλάβω κάτι από το

σύμπαν που ο Αϊνστάιν φαντάστηκε. Έγραψα τη μουσική για μια ταινία για τη ζωή του Stephen Hawking, τον οποίο είχα τη τύχη να γνωρίσω, και μπορούσα να κατανοήσω τη προσωπικότητά του. Οι σπουδές μου αυτές διέυρναν αν θέλεις το πεδίο των θεμάτων από όπου μπορεί κανείς να αντλήσει έμπνευση. Μπορεί να μην είμαι καμιά αυθεντία στο χώρο των μαθηματικών, αλλά έμαθα να εκτιμώ και να σέβομαι την προσωπικότητα κάποιου που είναι επιστήμονας και ασχολείται με όλα αυτά. Πραγματικά θαυμάζω τους ανθρώπους που στη ζωή τους ασχολήθηκαν τόσο έντονα με την επιστήμη όσο και εγώ με τη μουσική. Ίσως σας εκπλήξω αν σας πω ότι από όλους τους ανθρώπους για τους οποίους ξέρω, θαυμάζω περισσότερο το πνεύμα του Γαλιλαίου, διότι σε σχέση με την εποχή στην οποία έζησε, οι ιδέες τις οποίες ανέπτυξε ήταν εξαιρετικά ριζοσπαστικές, ενώ ο Αϊνστάιν είχε ήδη κάποιες βάσεις προκειμένου να στηρίξει τη δική του θεωρία. Αναφέρομαι φυσικά στους μοντέρνους καιρούς, γιατί αν συμπεριλάβω και τον πολιτισμό που η Ελλάδα δημιούργησε 2500 χρόνια πριν, τότε γίνεται πραγματικά δύσκολο να ξεχωρίσεις κάποιον.

Ερ: Γιατί πιστεύετε ότι ο κόσμος είναι περισσότερο εξοικωμένος με τους καλλιτέχνες απ' ό,τι με τους επιστήμονες;

Απ: Η ρομαντική πλευρά της μουσικής είναι κρυμμένη για τους περισσότερους ανθρώπους. Με τον ίδιο τρόπο που φοβούνται να διαβάσουν ένα μουσικό κείμενο, οι άνθρωποι φοβούνται να διαβάσουν και τα μαθηματικά. Εσύ και εγώ όμως ξέρουμε ότι δεν είναι κάτι πέρα από τις ικανότητές μας, δεν είναι κάτι που δεν θα μπορούσαμε να καταφέρουμε ποτέ. Ο φόβος τους λοιπόν για την επιστήμη πιστεύω ότι προκύπτει από την άγνοια, όπως συμβαίνει πάντοτε με αυτά που φοβάσαι. Αυτό που βλέπεις μπορεί να σε τρομάζει, αλλά πρέπει να βρεις το χρόνο να το προσεγγίσεις για να δεις την απλότητά του. Όλοι αυτοί οι άνθρωποι που καινοτόμησαν στο χώρο της επιστήμης, ήταν άνθρωποι που πρέπει να είχαν πολύ ανεπτυγμένη τη φαντασία τους, να είχαν μια πολύ καλή εκπαίδευση και ένα είδος φυσικής "ενέργειας" για να μπορέσουν να πετύχουν αυτό που πέτυχαν, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τους καλλιτέχνες. Υπάρχουν πολλά κοινά μεταξύ των δύο αυτών κατηγοριών και μακάρι κάποτε ο κόσμος να αρχίσει να προσεγγίσει το επιστημονικό όπως κάνει τώρα με το καλλιτεχνικό.

Ερ: Έτσι που εξελίχθηκε η μουσική σαν ένας μονόδρομος για εσάς, υπήρχαν στροφές

δεξιά και αριστερά που χάσατε και ποιες ήταν αυτές;

Απ: Πάρα πολλές. Για παράδειγμα ένα από τα πράγματα που ήθελα πάρα πολύ να κάνω είναι να διαβάσω κάποια βιβλία, τα οποία ενώ έχω πλέον αγοράσει, ακόμη δεν έχω βρει το χρόνο να τα διαβάσω. Όταν ήμουν νεότερος, μου άρεσε πολύ ο χορός και αν και ποτέ δεν ασχολήθηκα με αυτόν, αργότερα έγραψα μουσική για αρκετές θεατρικές παραστάσεις. Θα ήθελα ακόμη και να έχω μια καλύτερη επισημονική εκπαίδευση αλλά ούτε αυτό προλάβαινα να το κάνω. Η μουσική τελικά ρούφηξε όλο το χρόνο μου. Προέκυψαν πολλά πράγματα που ήθελα να κάνω αλλά τελικά ποτέ δεν προλάβαινα γιατί όπως σωστά είπες η μουσική αποτέλεσε έναν μονόδρομο για μένα, τον οποίο ευτυχώς διέσχισα με τέτοια ταχύτητα ώστε να μπορέσω τουλάχιστον να δώ και άλλα πράγματα γύρω μου. Είχα όμως το χρόνο να δημιουργήσω μια οικογένεια, πράγμα που θεωρώ πολύ σημαντικό, όπως είχα και το χρόνο να ταξιδέψω σε όλο το κόσμο, έστω και λόγω της μουσικής. Μέσω της μουσικής λοι-

πόν, βρήκα το χρόνο να κάνω πράγματα που θεώρησα πολύ σημαντικά για μένα έστω και αν έχασα κάποια άλλα.

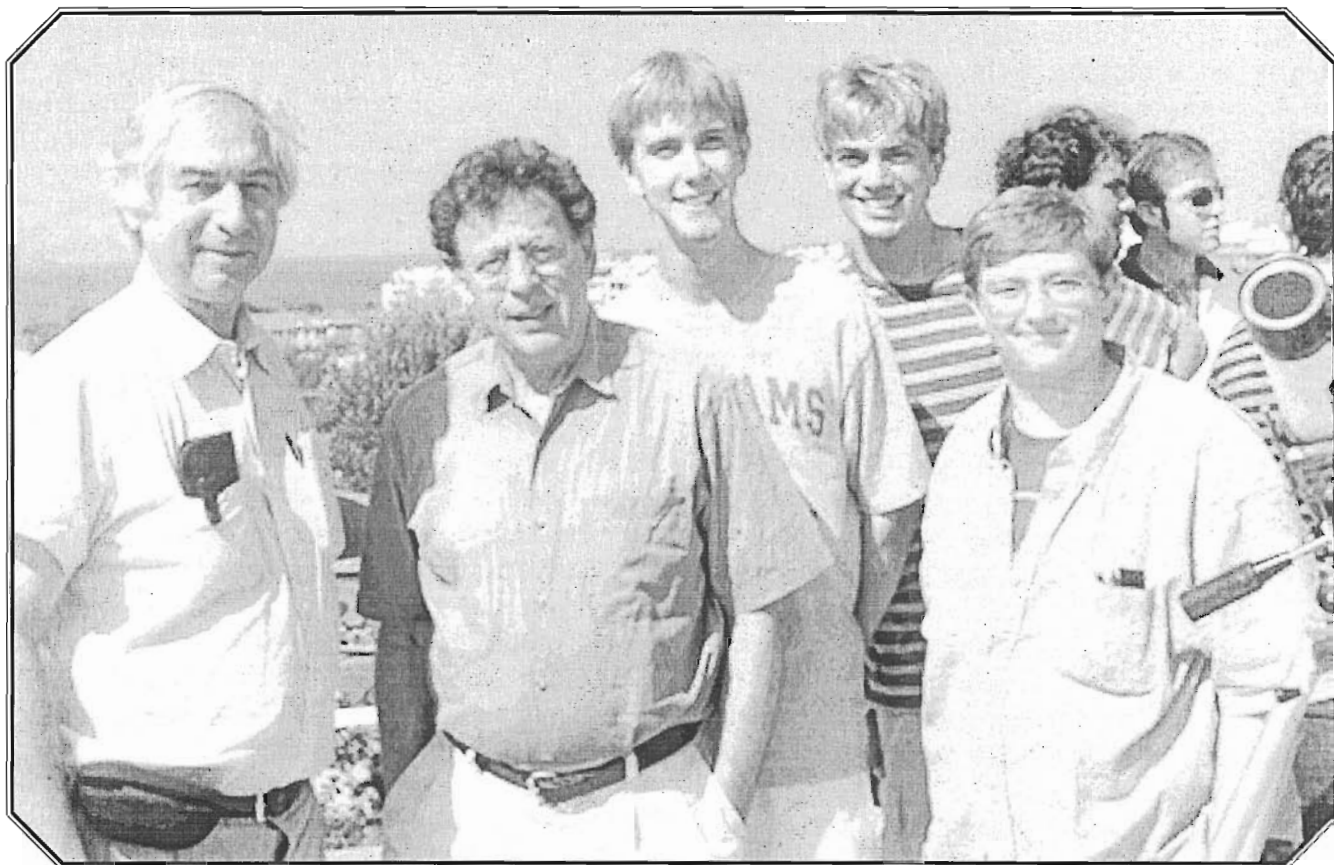
Ερ: Όταν ξεκινήσατε αυτή την καριέρα σκεφτήκατε ότι ήταν ο δρόμος που θα σας οδηγούσε στην ευτυχία και μετά από τόσα χρόνια επαληθεύτηκατε ή όχι;

Απ: Ναι, ξεκίνησα με τη σκέψη ότι αυτό που κάνω με κάνει ευτυχισμένο και είναι αυτό που θέλω να κάνω και ευτυχώς μέχρι τώρα έχω επαληθευτεί.

Π.Χ. Σας ευχαριστώ.

Φ.Γ. Κι εγώ. Εύχομαι σε όλους του συμφοιτητές σου ότι και αν κάνουν στη ζωή τους να τους κάνει πάνω από όλα ευτυχισμένους.

Χαρίτος Παναγιώτης
Φοιτητής Τμ. Φυσικής



Η φωτογραφία αυτή είναι στην οροφή του αστεροσκοπείου του Α.Π.Θ. και ο Φίλιπ Γκλάς είναι ο δεύτερος από αριστερά.

Προς την ανάκαμψη του στρώματος του όζοντος.

Το 90% περίπου του όζοντος της γήινης ατμόσφαιρας βρίσκεται στη στρατόσφαιρα, όπου και συμβαίνει ισχυρή απορρόφηση της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας, ιδιαίτερα στις φασματικές περιοχές UV-C και UV-B, με αποτέλεσμα της προστασία της ζωής στον πλανήτη. Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 διαπιστώθηκε ότι η συσσώρευση ανθρωπογενών χλωροφθορανθράκων (CFCs) στη στρατόσφαιρα οδηγούν σε μείωση του στρώματος του όζοντος. Η πιο μεγάλη μείωση ανακαλύφθηκε πάνω από την Ανταρκτική στα μέσα της δεκαετίας του 1980, η οποία λόγω του μεγέθους της επικράτησε με τον όρο "τρύπα του όζοντος". Για την προστασία του στρώματος του όζοντος τα Ηνωμένα Έθνη επεξεργάστηκαν το 1987 το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, το οποίο τροποποιήθηκε στη συνέχεια το 1990 και το 1992, λαμβάνοντας υπόψη τα νέα δεδομένα.

Πολλές παρατηρήσεις υποδεικνύουν ότι η συνολική συγκέντρωση του χλωρίου στη στρατόσφαιρα έχει φθάσει ήδη σε ένα μέγιστο, βρίσκεται δηλαδή σε συμφωνία με την προσδοκώμενη από το πρωτόκολλο του Montreal εξέλιξη. Η μελλοντική αποκατάσταση του στρώματος του όζοντος συνδέεται πρώτιστα με τη συγκέντρωση των αλογόνων στη στρατόσφαιρα. Υποθέτοντας ότι θα υπάρξει σε παγκόσμιο επίπεδο συμμόρφωση με το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, το στρώμα όζοντος αναμένεται αποκατασταθεί περί τα μέσα του 21ου αιώνα. Στο παρακάτω Σχήμα παρουσιάζεται χρονικά η εξέλιξη της συγκέντρωσης του όζοντος από μετρήσεις και μελλοντικές προσομοιώσεις από μοντέλα. Η παρουσιαζόμενη διακύμανση των προβλέψεων οφείλεται στη χρήση διαφόρων μοντέλων που στηρίζονται σε διαφορετικές υποθέσεις για το κλίμα και τη σύνθεση της ατμόσφαιρας στο μέλλον. Αυτές οι υποθέσεις λαμβάνουν υπόψη τις εκτιμώμενες διαφορές στη σύνθεση της ατμόσφαιρας μεταξύ του 1980 (δηλ. πριν την εμφάνιση της τρύπας του όζοντος) και του 2050. Η χαρακτηριστική μείωση του όζοντος που παρουσιάζεται κατά το 1992 προκλήθηκε από τα ηφαιστειακά αιωρούμενα σωματίδια που εκτοξεύτηκαν στη στρατόσφαιρα από την έκρηξη του ηφαιστείου Pinatubo τον Ιούνιο του 1991. Η ικανότητα καταστροφής μορίων όζοντος από άτομα αλογόνων και από αζωτούχα αέρια αυξάνεται όταν στο περιβάλλον συνυπάρχουν αιωρήματα ή σταγονίδια νεφών, τα οποία προσφέρουν την επιφάνεια τους για ετεροχημικές αντιδράσεις. Μια διεργασία που δεν περιλαμβάνεται στα χρησιμοποιούμενα σήμερα μοντέλα είναι η ύπαρξη μιας ή περισσότερων μεγάλων ηφαιστειακών εκρήξεων στις προσεχείς δεκαετίες. Τέτοια γεγονότα μπορούν να καθυστερήσουν την αποκατάσταση του στρώματος του όζοντος για αρκετά έτη μετά από κάθε έκρηξη.

Εκτός από τις χημικές μεταβολές, τα πειραματικά στοιχεία υποδεικνύουν ότι στη στρατόσφαιρα η θερμοκρασία έχει ελαττωθεί κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών. Το μέγεθος της ψύξης είναι περίπου 1 K στη χαμηλό

τερη και 2 K στην ανώτερη στρατόσφαιρα, και αποδίδεται στη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος και την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένων των υδρατμών. Η κλιματική αλλαγή στη στρατόσφαιρα αναμένεται να επηρεάσει διαφορετικά την αποκατάσταση του στρώματος του όζοντος σε διάφορα ύψη και γεωγραφικά πλάτη. Η ψύξη της στρατόσφαιρας προβλέπεται να αυξήσει τη συγκέντρωση του όζοντος στην ανώτερη στρατόσφαιρα επειδή οι ρυθμοί των χημικών αντιδράσεων που καταστρέφουν το όζον μειώνονται όσο ελαττώνεται η θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, το φαινόμενο αυτό μεμονωμένα θα μπορούσε να επιταχύνει τον ρυθμό αποκατάστασης του στρώματος του όζοντος. Εντούτοις, υπάρχουν μεγάλες αβεβαιότητες ως προς τον τρόπο με τον οποίο η αλλαγή του κλίματος θα επηρεάσει τον ρυθμό αποκατάστασης του όζοντος στη χαμηλότερη στρατόσφαιρα. Αυτές οι αβεβαιότητες αντανακλούν το μεγάλο εύρος των προβλέψεων των μοντέλων που παρουσιάζονται στο Σχήμα.

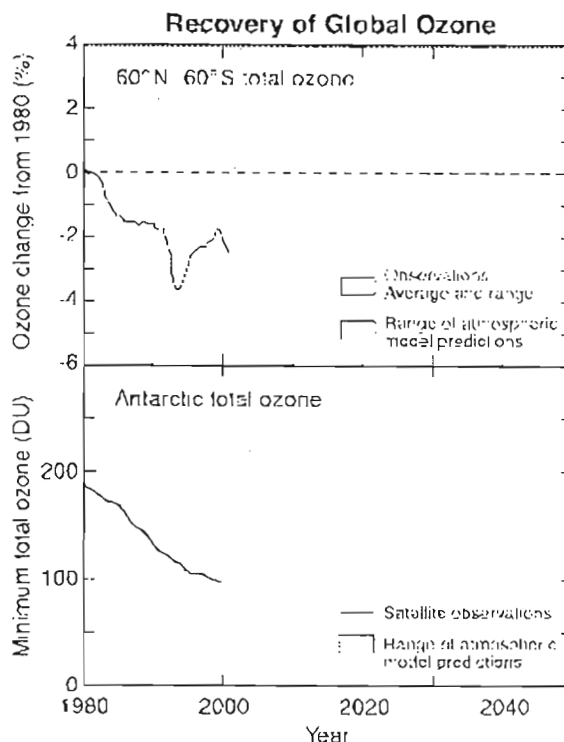
Αντίθετα από ότι συμβαίνει στην ανώτερη στρατόσφαιρα, τα θεϊκά ατμοσφαιρικά αιωρήματα είναι άφθονα στη χαμηλότερη στρατόσφαιρα. Η ενισχυμένη ετερογενής χημεία πάνω στα θεϊκά σωματίδια σε μια ψυχρότερη και υγρότερη μελλοντική κατώτερη στρατόσφαιρα μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερη μείωση του όζοντος σε παγκόσμια κλίμακα. Ομοίως, ενισχυμένες ετερογενείς διεργασίες στις πολικές περιοχές, που οδηγούν σε μεγαλύτερες απώλειες όζοντος, μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση των επιπέδων του όζοντος στα μέσα γεωγραφικά πλάτη μέσω μεταφοράς και ανάμειξης των αερίων μαζών. Παρότι οι χημικές αντιδράσεις που οδηγούν σε μείωση του όζοντος είναι καλά γνωστές, οι δυναμικοί παράγοντες, που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των ποσοτήτων του όζοντος στη χαμηλότερη στρατόσφαιρα, δεν αντιπροσωπεύονται επαρκώς στα συζευγμένα μοντέλα χημείας-μεταφοράς.

Πρόσφατες μελέτες συνιστούν ότι η μείωση του όζοντος που παρατηρήθηκε κατά τα τελευταία είκοσι χρόνια πάνω από τα μέσα γεωγραφικά πλάτη του βορείου ημισφαιρίου οφείλεται κατά ένα ποσοστό σε δυναμικά αίτια. Συγκρινόμε να με παρατηρήσεις, τα αποτελέσματα των μοντέλων υποτιμούν τη "μέση

ηλικία" του αέρα στη στρατόσφαιρα, πράγμα που σημαίνει ότι αδυνατούν να μιμηθούν με ακρίβεια τους μηχανισμούς μεταφοράς. Η επιστημονική έρευνα για τον εντοπισμό των αιτιών και την ελαχιστοποίηση αυτών των αποκλίσεων αναμένεται να βοηθήσει σημαντικά στην κατανόηση των επιδράσεων των δυναμικών μεταβολών στον ρυθμό αποκατάστασης του στρατοσφαιρικού όζοντος. Αν οι δυναμικές μεταβολές που συνέβησαν κατά το παρελθόν οφείλονται στη φυσική μεταβλητότητα, τότε η αποκατάσταση του στρώματος του όζοντος θα μπορούσε ενδεχομένως να επιταχυνθεί ή να καθυστερήσει λόγω των φυσικών μεταβολών της δυναμικής της στρατόσφαιρας. Αν όμως οι δυναμικές μεταβολές είναι αποτέλεσμα του φαινομένου του θερμοκηπίου, τότε είναι πιθανό οι μεταβολές αυτές στο μέλλον να είναι μεγαλύτερες, καθυστερώντας έτσι τον ρυθμό αποκατάστασης του όζοντος.

Το κλίμα και η χημεία στη στρατόσφαιρα επηρεάζονται μερικώς και από τη συγκέντρωση των υδρατμών. Στην κατώτερη στρατόσφαιρα η συγκέντρωση των υδρατμών αυξάνεται ταχύτατα, προς το παρόν με ρυθμό περίπου 0.5 ppm (μέρη στο εκατομμύριο) ανά δεκαετία. Αυτή η γρήγορη αύξηση δεν μπορεί να αιτιολογηθεί από την οξειδωση του μεθανίου και μόνο. Η αύξηση των υδρατμών, εκτός από την άμεση συμμετοχή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των επιπέδων των ριζών HOx, που έχουν άμεση σχέση με την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος μέσω των κύκλων των οξειδίων του αζώτου (NOx) και του χλωρίου (ClOx). Κατά συνέπεια, για την πλήρη αξιολόγηση του ρυθμού αποκατάστασης του όζοντος στο μέλλον, απαιτείται η γνώση των μεταβολών των υδρατμών στη στρατόσφαιρα κατά τις επόμενες δεκαετίες.

Αρχικά είχε προταθεί ότι η θέρμανση της τροπόπαυσης στους τροπικούς λόγω της αύξησης των θερμοκηπικών αερίων έχει σαν αποτέλεσμα την μεταφορά περισσότερων υδρατμών στη στρατόσφαιρα. Κατά τη μεταφορά, όσο θερμότερος είναι ο αέρας στην τροπόπαυση, τόσο περισσότερους υδρατμούς μπορεί να συγκρατήσει πριν αρχίσει η συμπύκνωσή τους. Πρόσφατες παρατηρήσεις, όμως, συνιστούν ότι η τροπόπαυση στους τροπικούς ψύχεται, οδηγώντας σε μικρότερη μεταφορά υδρατμών προς τη στρατόσφαιρα μέσω της τροπόπαυσης. Μια άλλη θεωρία υποστηρίζει ότι κατά τις πρόσφατες δεκαετίες η ενίσχυση της ανοδικής μεταφοράς στους τροπικούς οδήγησε στην εκτόξευση περισσότερων σωματιδίων πάγου στη στρατόσφαιρα. Τέλος μία τρίτη θεωρία υποστηρίζει ότι η έκταση της περιοχής στους τροπικούς όπου μπορεί να συμβεί μεταφορά στη στρατόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά τις πρόσφατες δεκαετίες, προκαλώντας τη μεταφορά περισσότερων υδρατμών στη στρατόσφαιρα, αν και προς το παρόν δεν υπάρχουν επαρκείς μετρήσεις που να υποστηρίζουν ή να αντικρούουν αυτή την υπόθεση. Τα αίτια λοιπόν αυτής της ταχείας αύξησης των υδρατμών στη στρατόσφαιρα είναι ακόμα άγνωστα, και κατά συνέπεια, μέχρι να κατανοηθούν καλύτερα τα αίτια αυτά θα είναι δύσκολο να αξιολογηθούν οι μελλοντικές επιδράσεις των υδρατμών σχετικά με την αποκατάσταση του



Σχήμα.

(Ανω πλαίσιο) Χρονική διακύμανση της στήλης του όζοντος από παρατηρήσεις και από εκτιμήσεις μοντέλων για τη ζώνη γεωγραφικών πλατών μεταξύ 60°B και 60°N. Η συνεχής καμπύλη παρουσιάζει την μέση τιμή από δορυφορικές παρατηρήσεις, ενώ η ελαφρά σκιασμένη περιοχή παριστά το εύρος της διακύμανσης των παρατηρήσεων μεταξύ 1980 και 2002.

(Κάτω πλαίσιο) Η συνεχής γραμμή παρουσιάζει τη χρονική διακύμανση των ελαχίστων τιμών της στήλης του όζοντος στην Ανταρκτική. Η σκιασμένη περιοχή και στα δύο πλαίσια που καλύπτει ολόκληρη τη χρονική περίοδο μεταξύ 1980 και 2050 αντιπροσωπεύει τη διακύμανση των εκτιμήσεων των διαφόρων μοντέλων που στηρίχτηκαν σε διαφορετικά σενάρια για την εξέλιξη του κλίματος και της ατμοσφαιρικής σύστασης. [WMO, 2003]

του στρώματος του όζοντος.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα πτυχή της υπόθεσης για την αποκατάσταση του όζοντος που έχει συζητηθεί εκτενώς την προηγούμενη χρονιά, είναι η επίδραση της στρατοσφαιρικής χημείας από ανθρωπογενή αέρια, εκτός των χλωροφθορανθράκων. Καθώς οι συγκεντρώσεις αλογόνων στη στρατόσφαιρα μειώνονται, οι χημικοί κύκλοι καταστροφής του όζοντος θα επηρεαστούν περισσότερο από τους κύκλους των HOx και NOx. Επομένως, ουσίες που θα προκαλούσαν αύξηση των επιπέδων των HOx και NOx στη στρατόσφαιρα θα μπορούσαν, εν δυνάμει, να καθυστερήσουν την αποκατάσταση του στρατοσφαιρικού όζοντος. Μια πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι η προβλεπόμενη αύξηση των NOx στη στρατόσφαιρα που οφείλεται κυρίως στις αυξανόμενες εκπομπές N₂O, θα καθυστερήσει την αποκατάσταση του όζοντος στα επόμενα 50 χρόνια. Σε άλλη μελέτη εκφράζεται ανησυχία για μείωση του όζοντος στη στρατόσφαιρα σε μια μελλοντική οικονομία που χρησιμοποιεί ηλεκτροχημικά στοιχεία υδρογόνου. Είναι γνωστό ότι από τα στοιχεία υδρογόνου διαφεύγει στην ατμόσφαιρα υδρογόνο, το οποίο μπορεί ενδεχομένως να προκαλέσει αύξηση στη συγκέντρωση αερίου υδρογόνου και κατά συνέπεια αύξηση της συγκέντρωσης των υδρατμών στη στρατόσφαιρα κατά τις προσεχείς δεκαετίες. Όπως έχει αναφερθεί ήδη, ενδεχόμενη αύξηση των υδρατμών στη στρατόσφαιρα μπορεί να επηρεάσει τόσο το κλίμα, όσο και τη χημεία στη στρατόσφαιρα.

Ένα από τα μεγάλα ερωτήματα που απασχολούν σήμερα την επιστημονική κοινότητα είναι το κατά πόσο τα μέτρα που ελήφθησαν στα πλαίσια του πρωτόκολλου του Montreal και των συναφών τροποποιήσεών του έχουν αρχίσει να αποδίδουν, οδηγώντας σε ανάκαμψη του στρώματος του όζοντος, και το κατά πόσο υπάρχουν επαρκείς πειραματικές ενδείξεις οι οποίες να υποστηρίζουν αυτή την υπόθεση. Γενικά η ανίχνευση αλλαγών στο ρυθμό καταστροφής του όζοντος είναι δύσκολη εφόσον καλύπτεται από την ισχυρή φυσιολογική μεταβλητότητα που παρουσιάζει το όζον. Για να καταστεί δυνατή η ανίχνευση της όποιας ανάκαμψης, είναι απαραίτητο να αφαιρεθεί η φυσιολογική μεταβλητότητα ή οποία οφείλεται σε δυναμικά κυρίως αίτια αλλά και στην μεταβαλλόμενη ηλιακή δραστηριότητα. Ο συσχετισμός των δυναμικών μεταβολών με διάφορα φαινόμενα που ανιχνεύονται από ανεξάρτητες παρατηρήσεις (π.χ. η σχεδόν διετής κύμανση, το φαινόμενο ENSO, η κύμανση του βορείου Ατλαντικού) επιτρέπει την αφαίρεση του αποτελέσματός τους στο όζον με τη χρήση διάφορων στατιστικών μεθόδων. Όλες όμως αυτές οι μέθοδοι εισάγουν σημαντική αβεβαιότητα και αποδυναμώνουν την σημαντικότητα των αποτελεσμάτων και των συνεπαγόμενων συμπερασμάτων. Σε μία πρόσφατη επιστημονική εργασία [Newchurch et al., 2003] παρουσιάστηκαν οι πρώτες ενδείξεις για ανάκαμψη του ρυθμού καταστροφής του όζοντος στην ανώτερη στρατόσφαιρα, όπου η επίδραση των δυναμικών αιτιών στη μεταβλητότητα του όζοντος είναι πολύ μικρή. Η εργασία αυτή σε συνδυασμό με μια πιο πρόσφατη επέκτασή της για την κατώτερη στρατόσφαιρα [Newchurch et al., 2004] προκάλεσαν σημαντικές συζητήσεις

γύρω από το θέμα ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του πρόσφατου παγκόσμιου συνεδρίου για το όζον (QOS, 2004). Να σημειωθεί εδώ ότι οι παραπάνω ενδείξεις δεν αφορούν την έναρξη αποκατάστασης του στρώματος του όζοντος (αύξηση δηλαδή της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα) αλλά την ελάττωση του ρυθμού με τον οποίο το όζον καταστρέφεται.

Το θέμα αυτό έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών και αναμένεται μεγάλη δραστηριότητα κατά τα προσεχή χρόνια, με στόχο την πιστοποίηση της έναρξης της ανάκαμψης του στρώματος του όζοντος, ακόμη δε περισσότερο την αναζήτηση αποδείξεων για την έναρξη της αποκατάστασής του.

Αλκιβιάδης Μπάης
Αναπλ. Καθηγητής Τμ. Φυσικής

Βιβλιογραφία

- Newchurch, M.J., E.-S. Yang, D.M. Cunnold, G.C. Reinsel, R.J. Salawitch, J.M. Zawodny, J.M. Russell, III, and M.P. McCormick, First stage of stratospheric ozone recovery, in XX Quadrennial Ozone Symposium, edited by C.S. Zerefos, pp. 27-28, International Ozone Commission, Kos, 2004.
- Newchurch, M.J., E.S. Yang, D.M. Cunnold, G.C. Reinsel, J.M. Zawodny, and J.M. Russell, Evidence for slowdown in stratospheric ozone loss: First stage of ozone recovery, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 108 (D16), -, 2003.
- WMO, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, edited by D.L. Albritton, A.-L. Ajavon, M. G., and R.T. Watson, World Meteorological Organisation, Geneva, 2003.

Τα νετρίνο και ο ρόλος τους στην κοσμολογία

Τα νετρίνο είναι σωματίδια με παράξενες ιδιότητες. Καθώς διαβάζετε αυτές τις γραμμές, εξήντα δισεκατομμύρια περίπου νετρίνο διαπερνούν κάθε τετραγωνικό του σώματός σας, κάθε δευτερόλεπτο, ταξιδεύοντας με ταχύτητα πλησίον αυτής του φωτός. Τα γενικά τους χαρακτηριστικά είναι ότι έχουν spin=1/2 και φορτίο μηδενικό. Αντιδρούν με πολύ ασθενής αλληλεπιδράσεις μέσω των W^+ , W^- και Z^0 μποζονίων. Τα νετρίνο και τα αντineτρίνο, λόγω του μηδενικού τους φορτίου, τα ξεχωρίζουμε με βάση την ελικότητά τους. Αριστερόστροφος κοχλίας είναι το νετρίνο (σύμφωνα με Feynman και Gellman), ενώ δεξιόστροφος κοχλίας είναι το αντineτρίνο.

Κανένα θεωρητικό μοντέλο δεν μπορεί να υπολογίσει τη μάζα των νετρίνων. Κάποιοι θεωρητικοί λένε ότι είναι άμαζα. Κάποιοι άλλοι λένε ότι αν έχουν μάζα τότε αυτή είναι μικρότερη από αυτή του quark, του μικρότερου γνωστού σωματιδίου, έως σήμερα. Πρόσφατα πειράματα δείχνουν ότι για το μιονικό νετρίνο (ν_μ), το ταυ νετρίνο (ν_τ) και το νετρίνο του ηλεκτρονίου (ν_e), πιθανές τιμές μάζας είναι:

$$m_{\nu_e} < 2.8-2.5 \text{ eV}$$

$$m_{\nu_\mu} < 170 \text{ KeV}$$

$$m_{\nu_\tau} < 18 \text{ MeV}$$

Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχουμε ένα αριστερόστροφο νετρίνο ν_L . Αν τα νετρίνο έχουν μάζα, τότε θα τρέχουν με ταχύτητα μικρότερη του φωτός. Επομένως, μπορούμε να θεωρήσουμε παρατηρητή κινούμενο με ταχύτητα μεγαλύτερη του συστήματος του νετρίνο, χωρίς να παραβιάζεται κάποιο αξίωμα της σχετικότητας. Όμως, ο παρατηρητής θα βλέπει ένα δεξιόστροφο αντικείμενο τώρα (το βλέπει αυτό επειδή αλλάζει φορά το διάνυσμα της ορμής). Τι είναι αυτό το αντικείμενο; Εδώ οι απαντήσεις είναι δύο και σε αυτό το σημείο γίνεται και ο χαρακτηρισμός των μαζών με βάση τη θεωρία. Αν υποθέσουμε ότι το δεξιόστροφο αντικείμενο είναι νετρίνο, τότε λέμε ότι έχει μάζα Dirac. Όμως, είπαμε ότι το νετρίνο έχει μηδενικό φορτίο. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι το δεξιόστροφο αντικείμενο είναι αντineτρίνο. Αυτό που συμ-

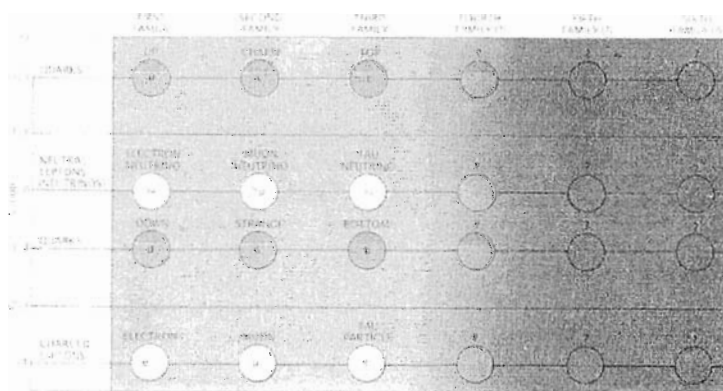
βαίνει εδώ, είναι ότι το ίδιο σωματίδιο χαρακτηρίστηκε και ως ύλη και ως αντιύλη ταυτόχρονα, εξαρτώμενη μόνο από το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιούμε. Η μάζα αυτή (η οποία είναι διαφορετική από τη μάζα Dirac) ονομάζεται μάζα Majorana.

Ως γνωστό υπάρχουν έξι είδη quark. Τα quark αυτά μαζί με τα τρία γνωστά (μέχρις στιγμής;) νετρίνο, συνιστούν τρεις οικογένειες με τέσσερα μέλη η κάθε μία. Για παράδειγμα, η πρώτη οικογένεια αποτελείται από τα quark up και down, το ηλεκτρόνιο και το νετρίνο του ηλεκτρονίου. Ο διαχωρισμός γίνεται εν πολλοίς ανάλογα με το ηλεκτρικό τους φορτίο. Τίθεται όμως ένα εύλογο ερώτημα: Είναι δυνατόν να υπάρξουν και άλλες τέτοιες οικογένειες πέραν των τριών; Μ' άλλα λόγια, είναι δυνατόν να υπάρξει τέταρτο είδος νετρίνου; Περισσότερα; Οι θεωρίες έχουν μια σύντομη απάντηση: μπορούν να υπάρξουν άπειρες τέτοιες οικογένειες και κατά συνέπεια άπειρα είδη νετρίνο που για οποιουδήποτε λόγους (τεχνολογικούς ή μη) δεν μπορέσαμε να ανακαλύψουμε. Σε αυτό το σημείο κάνει την εμφάνισή της η Κοσμολογία.

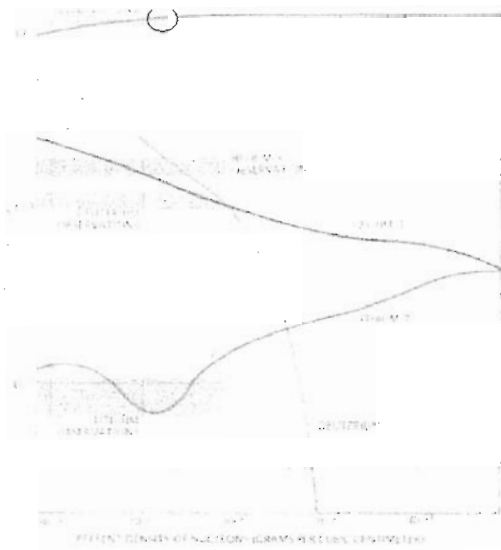
Η Κοσμολογία αποδέχεται την άποψη ότι η λύση του προβλήματος βρίσκεται στην αφθονία του ηλίου-4. Το κάθετο πλαίσιο στο σχήμα αναπαριστά την καλύτερη κοσμολογική εκτίμηση για σήμερα, δηλαδή στο πλαίσιο αυτό βρίσκεται η αφθονία που μελετάμε στα εργαστήρια. Τα οριζόντια πλαίσια είναι οι ποσοστιαίες πυκνότητες νουκλεονίων που έχουν παρατηρηθεί. Τα χωρία πλαισίων τα οποία προκύπτουν από την τομή του κάθετου και των οριζοντίων πλαισίων, είναι η παρατηρούμενες (και όχι οι θεωρητικές) τιμές στο Σύμπαν.

Με δύο νετρίνο και άρα δύο οικογένειες (κάτι που προφανώς δεν ισχύει), η περιεκτικότητα σε ήλιο-4 θα ήταν μεγαλύτερη. Με την ύπαρξη μόνο τριών οικογενειών, ότι δηλαδή έχουμε γνωστό σήμερα, η αφθονία του ηλίου-4 εξηγείται ικανοποιητικά. Με την ύπαρξη τεσσάρων νετρίνων, η αφθονία του ηλίου-4 και πάλι εξηγείται, όμως «οριακά». Μια ανακάλυψη ενός τετάρτου νετρίνου αυτομάτως θα σημαίνει νέο λεπτόνιο και δύο νέα quark, κάτι που αυτομάτως σημαίνει και βραβείο Nobel. Η Κοσμολογία συνεπώς αποδέχεται «οριακά» ένα τέταρτο νετρίνο, απορρίπτει δια ροπάλου όμως περισσότερα από τέσσερα νετρίνο.

Προηγουμένως αναφέραμε ότι τα νετρίνο μάλλον έχουν μάζα. Στην Κοσμολογία, η ύπαρξη ή όχι μάζας των νετρίνων παίζει πολύ



Ο πίνακας αυτός δείχνει τις τρεις γνωστές οικογένειες των βασιότερων σωματιδίων με τα αντίστοιχα νετρίνο. Οικογένειες παραπάνω από τρεις, συναντά κανείς μόνο σε θεωρητικά μοντέλα.



Η αφθονία των στοιχείων με βάση τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης. Το ενδιαφέρον για την εύρεση του πλήθους των οικογενειών βρίσκεται στο κυκλικά σημαδεμένο χωρίο.

σημαντικό ρόλο και αυτό θα αναλυθεί ως επίλογος του κειμένου αυτού. Επειδή τα νετρίνο είναι περίπου τόσα όσα και τα φωτόνια, δηλαδή ένας ασύλληπτος αριθμός, τότε η μικροσκοπική αυτή μάζα είναι ικανή να ανατρέψει πολλές θεωρίες. Αυτό αποδεικνύεται πολύ εύκολα, με τις παρακάτω σκέψεις:

Με $a \cdot T_{rad}^4$ παριστάνουμε την πυκνότητα ενέργειας. Η μέση ενέργεια ανά φωτόνιο είναι $2.7 \cdot k \cdot T_{rad}$. Η αριθμητική πυκνότητα των φωτονίων ενός μέλανος σώματος ισούται με:

$$\frac{a T_{rad}^4}{2.7kT_{rad}} = \left(\frac{0.37aT_{rad}^3}{k} \right) \sim 5.5 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-3}$$

Η κοσμολογική διαστολή του Σύμπαντος προϋποθέτει ταχύτητες μη σχετικιστικές. Έστω τώρα ότι η σημερινή μάζα – ενέργεια των νετρίνων με βάση τα παραπάνω, είναι $\sim 10^{-31} \text{ gr/cm}^3$. Τότε προκύπτει $\rho_{r,0} \sim 10^{-29} \text{ gr/cm}^3$. Η τιμή αυτή είναι περίπου ίση με την κρίσιμη πυκνότητα του Σύμπαντος(!)

Θωμάς Γ. Μπίσμπας
Φοιτητής Τμ. Φυσικής



Το ατύχημα του Chernobyl το οποίο έγινε στις 26 Απριλίου του 1986 στο πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ουκρανία (τότε ανήκε στην Σοβιετική Ένωση) αποτέλεσε το χειρότερο δυστύχημα στην σχετικά μικρή ιστορία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της πυρηνικής σχάσης. Το ραδιενεργό νέφος που παράχθηκε από την έκρηξη του πυρήνα του αντιδραστήρα ταξίδεψε πάνω από την δυτική Ρωσική ομοσπονδία, την ανατολική Ευρώπη και την Σκανδιναβία. Μεγάλες περιοχές της Ουκρανίας, της Λευκορωσίας και περιοχών της Ρωσικής ομοσπονδίας μολύνθηκαν με επακόλουθο να αναγκαστούν να τις εγκαταλείψουν περίπου 200.000 άνθρωποι. Τώρα τα ξεχωριστά κράτη της Ρωσίας της Ουκρανίας και της Λευκορωσίας έχουν επιφορτιστεί με το δύσκολο έργο της απομόλυνσης και της περιθάλψης των κατοίκων λόγω του ατυχήματος αυτού.

Οι εγκαταστάσεις

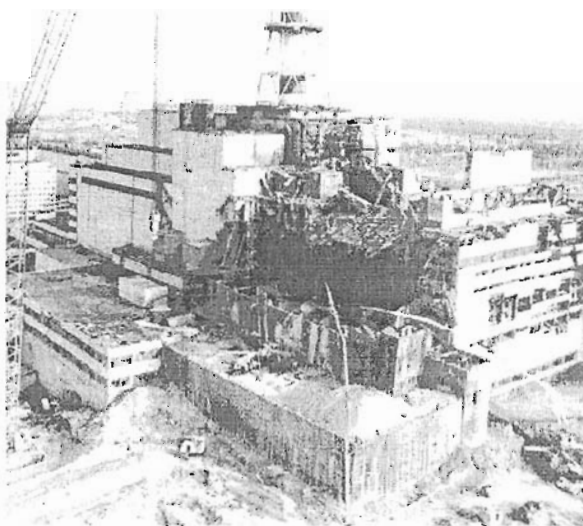
Ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Chernobyl είναι εγκατεστημένος στην περιοχή Pripyat, 16Km βορειοδυτικά της πόλης του Chernobyl (Chornobyl στα Ουκρανικά) και 104Km βόρεια του Κίεβου. Ο σταθμός αποτελούνταν από 4 πυρηνικούς αντιδραστήρες, ο καθένας από τους οποίους παρήγαγε ηλεκτρική ισχύ 1GW (3,2GW θερμικής ισχύος) και οι τέσσερις μαζί παρήγαγαν το 10% της ενέργειας της Ουκρανίας. Η κατασκευή των εγκαταστάσεων ξεκίνησε το 1970 με τον αντιδραστήρα Νο1 να ολοκληρώνεται το 1977 ακολουθούμενος από τον Νο2 (1978), τον Νο3 (1981) και τον Νο4 στο (1983). Την στιγμή του ατυχήματος ήταν υπό κατασκευή άλλοι δύο αντιδραστήρες (Νο5 και Νο6)

Το ατύχημα

Στις 26 Απριλίου του 1986 στις 1:23:58 πμ τοπική ώρα ο αντιδραστήρας Νο4 υπέστη καταστροφική τήξη του πυρήνα του με επακόλουθες εκρήξεις και φωτιά. Η καταστροφή αυτή αποδόθηκε στον ελαττωματικό σχεδιασμό του αντιδραστήρα και σε σειρά λαθών που έκαναν οι χειριστές του σταθμού παραβιάζοντας βασικούς κανόνες ασφαλείας. Ένας άλλος παράγοντας που έπαιξε ρόλο ήταν η ελλιπής εκπαίδευση του προσωπικού και η μη εξοικείωση τους με βασικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα (ο παράγοντας αυτός ήταν υπαίτιος και για το ατύχημα του Three Mile Island). Διαδικαστικές ανωμαλίες βοήθησαν στο να συμβεί το ατύχημα. Μια από αυτές ήταν η μη επαρκής επικοινωνία των υπεύθυνων ασφαλείας με τους χειριστές του σταθμού την στιγμή κίόλας που θα εκτελούνταν μια προσχεδιασμένη δοκιμή στα συστήματα του αντιδραστήρα. Επιπρόσθετα, λόγω της ελλιπούς εκπαίδευσης, οι χειριστές είχαν ατελή κατανόηση για το πως θα λειτουργούσε ο αντιδραστήρας κάτω από τις συνθήκες της δοκιμής που διενεργούσαν. Πολλά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα όπως ο θετικός θερμοκρασιακός συντελεστής είχαν θεωρηθεί ως στρατιωτικά μυστικά και οι χειριστές τα αγνοούσαν, όπως επίσης πολλά συστήματα ασφαλείας παρακάμφθηκαν για να μπορέσει να διεξαχθεί η δοκιμή.

Η δοκιμή που θα λάμβανε χώρα είχε ως σκοπό να ελεγχθεί το κατά πόσον καλά θα λειτουργούσε το εφεδρικό σύστημα ηλεκτρικής τροφοδοσίας σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος. Η ισχύς του αντιδραστήρα μειώθηκε από τα 3,2 GW (θερμικής ισχύος) της κανονικής λειτουργίας του στο 1 GW με σκοπό να κάνουν την δοκιμή σε μικρότερη ισχύ για λόγους ασφαλείας. Η ηλεκτρική ισχύς έπεσε στα 30MW και αυξήθηκε η συγκέντρωση του Ξένον-135 (προϊόντος της σχάσης), το οποίο υπό συνθήκες υψηλής ισχύος λειτουργίας καταναλώνεται. Καθώς οι χειριστές επιχειρούσαν να θέσουν την ισχύ στο 1GW η συγκέντρωση του Ξένον-135 περιορίσε την ισχύ αυτή στα 200MW λόγω απορρόφησης επιπλέον νετρονίων. Με σκοπό να αντισταθμίσουν αυτήν την απορρόφηση νετρονίων από το Ξένον-135 οι χειριστές του αντιδραστήρα «σήκωσαν» τις ράβδους ελέγχου της σχάσης περισσότερο από ότι επιτρεπόταν από τους κανόνες ασφαλείας.

Η ροή του ψυκτικού υγρού αυξήθηκε, αλλά η θερμοκρασία του αυξήθηκε πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να φθάσει σε σημείο βρασμού σε πολλά σημεία. Καθώς το ψυκτικό θερμαίνονταν, θύλακες ατμού δημιουργήθηκαν στις σωληνώσεις του ψυκτικού υγρού. Ο συγκεκριμένος τύπος αντιδραστήρα ελεγχόμενου από ράβδους γραφίτη που υπήρχε στο Chernobyl είχε θετικό θερμοκρασιακό συντελεστή, που σήμαινε ότι η ισχύς του αντιδραστήρα αυξάνονταν στην περίπτωση μη επαρκούς ψύξης του. Η αύξηση της ισχύος του αντιδραστήρα λόγω των θυλάκων ατμού σε συνδυασμό με το ότι οι ράβδοι γραφίτη ήταν ανασηκωμένες είχε ως αποτέλεσμα η ισχύς να φθάσει στα 30GW πολύ γρήγορα, δηλαδή σχεδόν 10 φορές πάνω από το κανονικό όριο λειτουργίας. Οι ράβδοι γραφίτη άρχισαν να λιώνουν και η αύξηση της πίεσης του ατμού στο σύστημα ψύξης προκάλεσε μια μεγάλη έκρηξη η οποία έβγαλε από την θέση του και κατέστρεψε το κάλυμμα του αντιδραστήρα. Οι σωλήνες του ψυκτικού υγρού διαλύθηκαν και μια τρύπα δημιουργήθηκε στην οροφή του τσιμεντένιου καλύμματος. Μόλις οι ράβδοι γραφίτη ήρθαν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα άρχισαν να καίγονται. Η φωτιά αυτή επέφερε την μεγαλύτερη ραδιενεργή μόλυνση.



Για μείωση του κόστους κατασκευής δεν είχε φτιαχτεί δεύτερο κάλυμμα προστασίας πάνω από τον αντιδραστήρα. Αυτό επέτρεψε τα ραδιενεργά μολυσμένα υλικά να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα μετά την έκρηξη στην κύρια δεξαμενή πίεσης του ψυκτικού. Μετά και την κατάρρευση μέρους της στέγης το οξυγόνο της ατμόσφαιρας ήρθε σε επαφή με το υψηλής θερμοκρασίας καύσιμο του αντιδραστήρα και με τις ράβδους γραφίτη και ξέσπασε φωτιά.

Στην προσπάθεια της να περιορίσουν την έκταση της καταστροφής η Σοβιετική κυβέρνηση αμέσως έστειλε εργάτες για να προσπαθήσουν να θέσουν την κατάσταση υπό έλεγχο. Οι πυροσβέστες για παράδειγμα εστάλησαν για να σβήσουν την φωτιά που είχε προκληθεί, αλλά κανείς δεν τους είπε πόσο ραδιενεργός ήταν ο καπνός που θα ανέπνεαν. Στους επόμενους μήνες πολλοί «εκκαθαριστές», μέλη του στρατού και άλλοι εργάτες στάλθηκαν ως προσωπικό «καθαρισμού» αλλά κανείς δεν τους είπε για τον κίνδυνο που διέτρεχαν και στολές προστασίας δεν

υπήρχαν. Τα περισσότερο ραδιενεργά θραύσματα τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό του εναπομείναντα αντιδραστήρα και μια μεγάλη ατσάλινη σαρκοφάγος κατασκευάστηκε βιαστικά για να σκεπάσει τον πυρήνα και τα άλλα υλικά.

Διακόσιοι τρεις άνθρωποι νοσηλεύτηκαν επειγόντως από τους οποίους 31 πέθαναν (28 από αυτούς λόγω υψηλής δόσης ακτινοβολίας). Οι περισσότεροι ήταν πυροσβέστες και διάσωσες που προσπαθούσαν να ελέγξουν την κατάσταση χωρίς να έχουν γνώση του πόσο επικίνδυνος ήταν ο αέρας και ο καπνός που ανέπνεαν. Εκτόν τριάντα πέντε χιλιάδες άνθρωποι εκκένωσαν την περιοχή συμπεριλαμβανομένων και 50.000 από την διπλανή πόλη του Prypat. Υπεύθυνοι υγείας πρόβλεψαν ότι στα επόμενα 70 χρόνια θα υπάρξει αύξηση του καρκίνου κατά 2% στο μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού που είχε εκτεθεί σε 5 έως 12 EBq ραδιενέργειας. Ήδη πολλοί έχουν πεθάνει από καρκίνο που οφείλονταν στο συγκεκριμένο ατύχημα.

Τον Ιανουάριο του 1993 ο ΙΑΕΑ (διεθνής οργανισμός ατομικής ενέργειας) εξέδωσε ολοκληρωμένη ανάλυση για το ατύχημα του Chernobyl αποδίδοντας την βασική αιτία του ατυχήματος στην ελαττωματική κατασκευή και όχι στον λανθασμένο χειρισμό. Η ανάλυση του ΙΑΕΑ του 1986 είχε αποδώσει την βασική αιτία του ατυχήματος στους λανθασμένους χειρισμούς. Οι Σοβιετικοί επιστήμονες ανέφεραν ότι η μονάδα νούμερο 4 του Chernobyl περιείχε 190 τόνους διοξειδίου του Ουρανίου ως καύσιμο και προϊόντα σχάσης. Οι εκτιμήσεις για το ποσοστό αυτού του ραδιενεργού υλικού που διέρρευσε υπολογίζεται στο 13-30%. Η μόλυνση δεν ήταν συμμετρική στην γύρω περιοχή, αλλά διασκορπίστηκε ασύμμετρα λόγω των καιρικών συνθηκών. Αναφορές φανερώνουν ότι το 60% της ραδιενεργής σκόνης επικάθισε στην Λευκορωσία, αλλά εξίσου σημαντικά μολύνθηκαν και μεγάλες περιοχές της Ρωσικής Ομοσπονδίας νότια της Bryansk όπως επίσης και περιοχές της βορειοδυτικής Ουκρανίας.

Το ατύχημα αυτό κρατήθηκε μυστικό στην αρχή. Η αρχική πληροφόρηση δεν ήρθε από Σοβιετικές πηγές αλλά από την Σουηδία όταν εργαζόμενοι σε πυρηνικό εργοστάσιο διαπίστωσαν ότι είχαν ραδιενεργά μικροσωματίδια στα ρούχα τους. Αφότου βεβαιώθηκαν ότι δεν πρόκειται για διαρροή από τον δικό τους αντιδραστήρα υπαινίχθησαν σαν πηγή την Σοβιετική Ένωση.

Βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις

Όσοι εργάτες αναμείχθηκαν στον αρχικό καθαρισμό του τόπου του ατυχήματος έλαβαν μεγάλες δόσεις ραδιενέργειας, μη έχοντας κατάλληλα δοσίμετρα για να μετρήσουν το ποσό της ραδιενέργειας στο οποίο εκτέθηκαν, έτσι οι ειδικοί μόνο εκτιμήσεις μπορούν να κάνουν. Σύμφωνα με Σοβιετικές πηγές περίπου 300.000 με 600.000 άνθρωποι πήραν μέρος στον καθαρισμό της ζώνης εκκένωσης των 30Km γύρω από τον αντιδραστήρα και πολλοί ήταν αυτοί που έπειτα από δύο χρόνια γύρισαν στην ζώνη εκκένωσης. Τον πρώτο χρόνο αυτοί που συμμετείχαν στον καθαρισμό ανέρχονται στους 211.000 και αυτό έλαβαν κατά μέσον όρο δόση της τάξης των 165 millisievert (16.5 rem). Πολλά παιδιά στις μολυσμένες περιοχές δέχθηκαν υψηλές δόσεις ραδιενέργειας πάνω από 50 Gray (Gy) λόγω της διείσδυσης ραδιενεργού Ιωδίου, ενός σχετικά βραχύβιου ισότοπου, στο γάλα. Έρευνες έδειξαν υπήρξε έξαρση στον καρκίνο του θυροειδούς με πάνω από 1800 παιδιά ηλικίας 0-14 ετών.

Μακροπρόθεσμες επιπτώσεις

Αμέσως μετά το ατύχημα, το βασικό ενδιαφέρον όσον αφορά την υγεία επικεντρώθηκε στο ραδιενεργό Ιώδιο το οποίο έχει χρόνο ημιζωής οκτώ ημέρες. Σήμερα το ενδιαφέρον είναι στραμμένο στην μόλυνση του εδάφους με ραδιενεργό Στρόντιο-90 και Καίσιο-137 τα οποία έχουν χρόνο ημιζωής περίπου 30 χρόνια. Τα υψηλότερα επίπεδα Καϊσίου-137 βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους όπου απορροφούνται από τα φυτά και τα μανιτάρια και μπαίνουν στην τοπική τροφική αλυσίδα. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι το επίπεδο του Καϊσίου-137 στα δέντρα συνεχίζει να αυξάνει. Ο βασικός τρόπος εξάλειψής του είναι η μεταστοιχείωση

του Καϊσίου-137 στο σταθερό Βάριο-137, αφού φάνηκε ότι η βροχή και το λιώσιμο των χιονιών συνεισφέρουν αμελητέα.

Ο ΙΑΕΑ σημειώνει ότι παρά το ότι το ατύχημα του Chernobyl μόλυνε κατά 400 φορές περισσότερο από την βόμβα στην Χιροσίμα, η μόλυνση αυτή ήταν 100 έως 1000 φορές μικρότερη από αυτήν που προήλθε από τις δοκιμές των πυρηνικών όπλων στα μέσα του 20ου αιώνα.

Σύμφωνα με αναφορές Σοβιετικών επιστημόνων 28,000 km² μολύνθηκαν από ραδιενεργό Καίσιο-137 σε επίπεδα πάνω από 185 kBq/m². Περίπου 830.000 άνθρωποι ζούσαν σε αυτήν την περιοχή. Επίσης 10,500 km² μολύνθηκαν από ραδιενεργό Καίσιο-137 σε επίπεδα πάνω από 555 kBq/m². Περίπου 250.000 άνθρωποι ζούσαν σε αυτήν την περιοχή.

Είναι άγνωστο αν η επικάθηση της ραδιενεργής σκόνης θα έχει κάποιο είδος μακροπρόθεσμων επιπτώσεων στην χλωρίδα ή στην πανίδα του τόπου για τον λόγο ότι τα φυτά και τα ζώα έχουν πολύ διαφορετικές συμπεριφορές στην ραδιενέργεια σε σχέση με τον άνθρωπο. Εντούτοις φαίνεται ότι η βιοδιασπαστική ικανότητα γύρω από τοποθεσία του ατυχήματος αυξήθηκε λόγω της μη επιπλέον επίδρασης των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Υπάρχουν και αναφορές για αναγέννηση κάποιων φυτών στην περιοχή τα οποία τείνουν να δημιουργήσουν ένα «δάσος ελπίδας» το οποίο φαίνεται να περιέχει και παράξενα μεταλλαγμένα ήδη φυτών. Επίσης στην περιοχή επικρατεί νεκρική σιγή, σημάδι ότι τα πουλιά δεν έχουν εποικίσει στην περιοχή.

Το Chernobyl μετά το ατύχημα

Τα προβλήματα στις εγκαταστάσεις του Chernobyl δεν τελείωσαν με την καταστροφή του αντιδραστήρα νούμερο 4. Η Ουκρανική κυβέρνηση συνέχισε να λειτουργεί τους υπόλοιπους τρεις αντιδραστήρες, λόγω ενεργειακής έλλειψης στην χώρα. Μια φωτιά ξέσπασε στον αντιδραστήρα νούμερο 2 το 1991 και οι αρχές αποφάσισαν να κλείσουν τον αντιδραστήρα παρά να τον επισκευάσουν. Ο αντιδραστήρας νούμερο 1 παροπλίστηκε τον Νοέμβριο του 1996 λόγω της συμφωνίας που είχε συνάψει η Ουκρανική κυβέρνηση με διεθνείς οργανώσεις όπως η ΙΑΕΑ. Τον Νοέμβριο του 2000 ο Ουκρανός πρωθυπουργός έκλεισε προσωπικά τον διακόπτη λειτουργίας του τελευταίου αντιδραστήρα νούμερο 3 κατά την διάρκεια επίσημης τελετής.

Η σαρκοφάγος που καλύπτει τον ραδιενεργό πυρήνα δεν αποτελεί μια μόνιμη λύση για να αποφευχθεί διαρροή ραδιενέργειας στο περιβάλλον για τον λόγο ότι κατασκευάστηκε βιαστικά (μέσα σε έξι μήνες) και έχει ήδη αρχίσει να παλιώνει. Για να αποφευχθεί κατάρρευση του προστατευτικού αυτού περιβλήματος έχουν προταθεί πολλές λύσεις και έχουν αρχίσει οι προεργασίες για την κατασκευή νέου καλύμματος.

Κάποιος μπορεί σήμερα να επισκεφτεί την περιοχή του Chernobyl, που περιλαμβάνει ακόμη και τη ζώνη αποκλεισμού, η οποία είναι σε μια ακτίνα 30 χιλιομέτρων και περιβάλλει τις εγκαταστάσεις των οποίων οι αντιδραστήρες είναι τώρα κλειστοί. Αν και μερικά από τα ραδιενεργά ισότοπα που απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα υπάρχουν ακόμα (όπως στρόντιο-90 και καίσιο-137), είναι σε ανεκτά επίπεδα έκθεσης για περιορισμένες χρονικές περιόδους. Μερικοί κάτοικοι της ζώνης αποκλεισμού έχουν επισ-

Radiation Hotspots Resulting From the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident



Συνέντευξη με τον Alexander Yuvchenko

Ο Alexander Yuvchenko ήταν σε βάρδια στον αντιδραστήρα νούμερο 4 του Chernobyl την βραδιά που εξερράγη. Είναι ένας από τους λίγους που δούλευαν εκεί και επέζησε εκείνη την μοιραία βραδιά. Υπέφερε από σοβαρά εγκαύματα, έκανε πολλαπλές εγχειρίσεις για να σώσει την ζωή του και υποφέρει ακόμη από την δόση της ακτινοβολίας που δέχθηκε. Πρόσφατα έσπασε την σιωπή του για να γυριστεί ένα δοκιμαντέρ για το Discovery Channel. Ακολουθεί η συνέντευξη που έδωσε και δημοσιεύθηκε στο περιοδικό New Scientist για το τι συνέβη εκείνη την βραδιά.

Πως καταλήξατε να δουλεύετε στις εγκαταστάσεις του Chernobyl;

Το επέλεξα. Ήταν ένας από τους καλύτερους πυρηνικούς σταθμούς στην Σοβιετική Ένωση, ήταν μια καλή πόλη για να ζήσω και πήγα εκεί για να κάνω την πρακτική άσκηση ως κομμάτι των σπουδών μου. Επίσης η αμοιβή ήταν πολύ καλή, όπως και το να είσαι πυρηνικός επιστήμονας ήταν μια διακεκριμένη δουλειά – εκείνη την εποχή. Στις μέρες μας οι άνθρωποι στην Ρωσία προτιμούν να είναι επιχειρηματίες και δικηγόροι.

Τι κάνατε την βραδιά που εξερράγη ο αντιδραστήρας;

Ήμουν στην νυχτερινή βάρδια. Όταν ξεκίνησα την βάρδια ανακάλυψα ότι το τεστ ασφαλείας που είχε προγραμματιστεί για εκείνη την ημέρα είχε αναβληθεί για το βράδυ. Ο αντιδραστήρας είχε ήδη μειώσει την ισχύ του και εμείς επιβλέπαμε την ροή του ψυκτικού μέσου που πρόκειται για μια πολύ απλή δουλειά. Σκεφτόμουν ότι δεν θα είχα πολλά πράγματα να κάνω εκείνη την βραδιά.

Τι κάνατε την στιγμή που ακούστηκε η έκρηξη;

Ήμουν στο γραφείο μου και μιλούσα με έναν φοιτητή που είχε έρθει να ζητήσει λίγη βοήθεια και διάβαζε μερικά χαρτιά.

Τι συνέβη ακριβώς;

Το πρώτο πράγμα που άκουσα δεν ήταν η έκρηξη, ήταν ένας μονότονος ήχος και μια δόνηση. Έπειτα από δύο-τρία δευτερόλεπτα ακολούθησε η έκρηξη. Οι πόρτες στο γραφείο μου διαλύθηκαν. Ήταν σαν να κατεδάφιζαν το κτίριο, υπήρχαν σύννεφα σκόνης και βίαιη κίνηση του αέρα. Οι δονήσεις ήταν πολλές, πολλά πράγματα έπεφταν, κι έπειτα έσβησαν τα φώτα. Η πρώτη σκέψη μας ήταν να βρούμε κάπου να κρυφτούμε. Πήγαμε προς τον διάδρομο όπου υπήρχε ένα μικρό πέρασμα με χαμηλό ταβάνι. Σταθήκαμε εκεί και τα πάντα έπεφταν γύρω μας.

Τι σκεφτήκατε ότι ήταν;

Όταν άκουσα το βουητό νόμιζα ότι κάτι πολύ βαρύ έπεσε, μετά από αυτό δεν ξέρω, νόμιζα ότι ξεκίνησε πόλεμος.

Φανταστήκατε ότι μπορεί να ήταν ο αντιδραστήρας;

Δεν μπορούσα να φανταστώ ότι ήταν κάτι που είχε

τρέψει στα σπίτια τους με δικά τους πρωτοβουλία, και ζουν σε περιοχές με υψηλότερο από τα κανονικά επίπεδα ακτινοβολίας. Εντούτοις, αυτά τα επίπεδα δεν είναι μοιραία. Η έκθεση στο χαμηλό αλλά ασυνήθιστο επίπεδο της ακτινοβολίας για μια χρονική περίοδο είναι λιγότερο επικίνδυνη από την έκθεση σε ένα τεράστιο ποσό απότομα, και οι μελέτες ήταν ανίκανες να συνδέσουν οποιαδήποτε άμεση αύξηση στους κινδύνους εμφάνισης καρκίνου για τη χρόνια χαμηλού επιπέδου έκθεση στην ακτινοβολία.

Το Chernobyl και η Βίβλος

Λόγω της αμφιλεγόμενης μετάφρασης της λέξης «Chernobyl» σαν «Αψιθιά (Wormwood)» πολλοί Αγγλόφωνοι πολίτες συμφωνούν ότι το ατύχημα του Chernobyl προφητεύεται στην Βίβλο.

Σάλπισε και ο τρίτος άγγελος κι έπεσε από τον ουρανό ένα μεγάλο αστέρι που καίγόταν σαν λαμπάδα. Έπεσε στο ένα τρίτο από τα ποτάμια και τις πηγές. Το όνομα του αστεριού ήταν Αψιθιά και πίκρισε το ένα τρίτο των υδάτων και πολλοί άνθρωποι πέθαναν γιατί το νερό έγινε φαρμάκι.

Αποκάλυψη του Ιωάννη 8:10-11

Η ιστορία αυτή διαδόθηκε όταν ένας σημαντικός Ρώσος συγγραφέας επισήμανε ότι η Ουκρανική λέξη για την Αψιθιά (φαρμάκι) ήταν chernobyl (υπενθυμίζουμε ότι στα Ουκρανικά το Τσερνομπίλ είναι Chornobyl και όχι Chernobyl)

να κάνει με τον αντιδραστήρα. Πριν να συμβεί δεν υπήρχαν καθόλου δονήσεις, καθόλου ήχοι, τίποτα που να δείχνει ότι κάτι πάει στραβά. Είχαμε εκπαιδευτεί για διάφορες επικίνδυνες καταστάσεις. Ήμασταν μηχανικοί και είχαμε εκπαιδευτεί για το τι μπορεί ή δεν μπορεί να κάνει ο αντιδραστήρας όπως επίσης και τι μπορούσε να πάει στραβά. Ήμασταν προετοιμασμένοι για φωτιά και άλλα πράγματα αλλά γι' αυτό που συνέβη όχι. Όλοι πιστεύαμε ότι τα μέτρα ασφαλείας ήταν αξιόπιστα και ότι αν πατούσαμε το κουμπί εκτάκτου ανάγκης για να κατέβουν οι ράβδοι γραφίτη και να σταματήσει ο αντιδραστήρας – όπως έκανε εκείνο το βράδυ ο φίλος μου ο Leonid Tortunov στην αίθουσα έλεγχου – θα σταματούσε. Αλλά δεν συνέβη αυτό. Οι άνθρωποι κάνουν λάθη, αλλά πιστεύαμε ότι τα συστήματα ασφαλείας θα είναι ικανά να σώσουν την κατάσταση. Πιστέψαμε ότι γράφονταν στο βιβλίο οδηγίων.



Photo: Josh Ward

Τι κάνατε μετά την έκρηξη;

Πήγα πίσω στο γραφείο μου και προσπάθησα να επικοινωνήσω με την αίθουσα έλεγχου του αντιδραστήρα 4 για να ρωτήσω τι συνέβη, αλλά δεν υπήρχε γραμμή. Ξαφνικά χτύπησε το τηλέφωνο από την αίθουσα έλεγχου του αντιδραστήρα 3. Πήρα την εντολή να μεταφέρω φορεία. Πήρα τα φορεία και έτρεξα. Έξω από την αίθουσα έλεγχου συνάντησα έναν φίλο που ήταν κοντά στο κέντρο της έκρηξης. Δεν τον αναγνώρισα, τα ρούχα του ήταν μαύρα και το πρόσωπο του ήταν αλλοιωμένο από το καυτό νερό. Τον αναγνώρισα μόνο από την φωνή του. Μου είπε να πάω στο σημείο της έκρηξης διότι υπήρχαν και άλλοι τραυματίες, πήρα έναν φακό και έτρεξα προς το σημείο που ήταν οι δεξαμενές του ψυκτικού υγρού.

Τι βρήκατε εκεί;

Πήγα εκεί που ανέμενα να τον βρω αλλά δεν ήταν κανείς εκεί, επικρατούσε μεγάλη ακαταστασία. Τελικά τον βρήκα στην άλλη πλευρά αφού προσπάθησε να διαφύγει μακριά. Είχε την ίδια εικόνα με τον άλλον φίλο μου. Ήταν όρθιος αλλά σε κατάσταση σοκ, έτρεμε. Μου είπε να πάω εκεί που έγινε η κύρια έκρηξη, εκεί που ήταν ο φίλος μου Valera Khodemchuk. Ο άνθρωπος αυτός όμως δεν μπορούσε να δει και μου έδειχνε σε μια κατεύθυνση που δεν υπήρχε τίποτα άλλο από κενός χώρος.

Τι συνέβη μετά;

Μετά είδα τον Yuri Tregub ο οποίος στάλθηκε από την αίθουσα έλεγχου Νο4 και τον αρχιμηχανικό Anayoly Deatlov για να ανοίξει χειροκίνητα το υψηλής πίεσης ψυκτικό εκτάκτου ανάγκης για να πλημμυρίσει ο χώρος. Βλέποντας ότι δεν μπορεί να τα καταφέρει μόνος του, είπα στον φίλο μου που να πάει να αναζητήσει βοήθεια και πήγα μαζί με τον Tregub να ανοίξουμε το νερό.

Το πετύχατε αυτό;

Δεν καταφέραμε να φθάσουμε στις βαλβίδες. Οι βαλβίδες ήταν σε έναν χώρο δίπλα στον αντιδραστήρα. Υπήρχαν δύο πόρτες αλλά δεν μπορούσαμε να ανοίξουμε την πρώτη διότι οι τοίχοι είχαν καταρρεύσει και έτσι πήγαμε κάτω μερικά πατώματα στην άλλη πόρτα. Υπήρχε νερό μέχρι τα γόνατά μας, δεν μπορούσαμε να ανοίξουμε την πόρτα αλλά μπορέσαμε και είδαμε λίγο από μια χαραμάδα και το μόνο που είδαμε ήταν καταστροφή παντού. Οι τεράστιες δεξαμενές νερού είχαν διαλυθεί. Είχε μείνει μόνο μια πόρτα και μπορούσαμε να δούμε στον ανοιχτό χώρο.

Έπειτα;

Για να πάρουμε μια καθαρή εικόνα για το τι είχε συμβεί βγήκαμε έξω και αυτό που αντικρίσαμε ήταν τρομακτικό. Ότι μπορούσε να

καταστραφεί είχε ήδη καταστραφεί. Το εσωτερικό κύκλωμα ψύξης είχε εξαφανιστεί. Το δεξιό τμήμα του αντιδραστήρα είχε διαλυθεί τελείως και στα αριστερά σωλήνες κρέμονταν. Τότε συνειδητοποιήσα ότι ο φίλος μου Khodemchuk ήταν σίγουρα νεκρός. Το μέρος που μου είχαν πει ότι καθόταν είχε εξαφανιστεί τελείως. Οι τεράστιες τουρμπίνες διακρίνονταν ακόμη αλλά όλα γύρω τους ήταν χαλάσματα. Από το σημείο που καθόμουνα μπορούσα να δω μια τεράστια ακτίνα φωτός να διαχέεται προς τον ουρανό προερχόμενη από τον αντιδραστήρα. Ήταν σαν φως από laser και δημιουργήθηκε λόγω ιονισμού του αέρα. Ήταν ανοιχτό γαλάζιο και ήταν πολύ όμορφο. Το είδα για αρκετά δευτερόλεπτα. Αν καθόμουνα μερικά λεπτά θα είχα σίγουρα πεθάνει απευθείας λόγω της ενέργειας των φωτονίων γ, των νετρονίων και όλων των άλλων υλικών που διέφευγαν προς τα έξω. Ο Tregub όμως με τράβηξε στην γωνία για να πάμε μακριά από την πορεία της δέσμης. Ήταν μεγαλύτερος και πιο έμπειρος από μένα.

Τι κάνατε έπειτα;

Ξεκινήσαμε να πάμε στην αίθουσα έλεγχου του αντιδραστήρα νούμερο 4, αλλά στην διαδρομή συναντήσαμε τρεις εργάτες που είχαν σταλεί από τον Deatlov να πάνε στην αίθουσα του αντιδραστήρα και να κατεβάσουν χειροκίνητα τις ράβδους γραφίτη. Ο Tregub έτρεξε πίσω στην αίθουσα έλεγχου για να αναφέρει το τι είχε δει, εγώ πήγα με τους τρεις εργάτες για να τους βοηθήσω. Τους είπα ότι η εντολή που τους δόθηκε δεν είχε νόημα αφού δεν υπήρχε πλέον το δωμάτιο του αντιδραστήρα και ήταν πολύ πιθανό να μην υπήρχαν ούτε οι ράβδοι γραφίτη. Αυτοί είπαν ότι αυτά που είδα τα είδα από ένα χαμηλό επίπεδο και θα ήταν καλύτερα να το δουν και μόνοι τους από κάποιο ψηλότερο πάτωμα.

Είχατε συνειδητοποιήσει πόσο επικίνδυνο ήταν αυτό;

Ναι, το είχαμε καταλάβει.

Τι συνέβη όταν πήγατε πίσω στο δωμάτιο του αντιδραστήρα;

Σκαρφαλώσαμε σε ένα περβάζι, αλλά υπήρχε πολύ λίγος χώρος. Επειδή είχα ανέβει στα σκαλιά τελευταίος έμεινα πίσω στηρίζοντας την πόρτα για να μείνει ανοιχτή. Πήραν τον φακό από μένα και μπήκαν μέσα. Στάθηκα παραδίπλα και άκουσα την αντίδραση τους όταν αντικρίσαν το τι είχε συμβεί, ήταν σαν ένας κρατήρας ηφαιστείου. Είπαν ότι δεν μπορούσαν να κάνουν τίποτα και ότι έπρεπε να αποχωρίσουν.

Τι συνέβη σε αυτούς τους τρεις;

Και οι τρεις πέθαναν πολύ σύντομα. Ο τοίχος και η πόρτα βασικά μου έσωσαν την ζωή. Πήρα μια μεγάλη δόση ακτινοβολίας προσπαθώντας να στηρίξω την πόρτα. Είχαμε κάνει ότι μπορούσαμε να κάνουμε. Αυτό ήταν το χειρότερο συναίσθημα: δεν υπήρχε τίποτα άλλο που μπορούσαμε να κάνουμε.

Σε ποιο σημείο αρχίσατε να νιώθετε άρρωστος; Γύρω στις 3 πμ, μια και μισή ώρα μετά την έκρηξη.

Πως νιώθατε;

Άρχισα να νιώθω άρρωστος. Ήξερα ότι ένα από τα συμπτώματα της ακτινοβολίας ήταν ο εμετός και

σκεφτόμουν αν έφαγα τίποτα που με πείραξε. Προσπαθούσα να κρατήσω τις χειρότερες σκέψεις κλεισμένες σε κουτί. Μισή ώρα μετά την έκρηξη συνάντησα έναν άνθρωπο με ένα δοσίμετρο. Ήταν πλήρως καλυμμένος, οπότε δεν ξέρω ποιός ήταν και τον ρώτησα πια ήταν η τιμή της μέτρησης. Μου έδειξε το όργανο και η βελόνα είχε φύγει έξω από την κλίμακα. Αυτή ήταν μια πολύ τρομακτική στιγμή. Ήταν αδύνατο να δούμε πόση ραδιενέργεια δεχόμασταν, αλλά ήξερα ότι ήταν μια πολύ μεγάλη δόση. Μεταφέρθηκα στο τοπικό νοσοκομείο στις 5πμ επειδή ήμουν πολύ αδύναμος για να περπατήσω. Μεταφέρθηκα στην Μόσχα εκείνο το βράδυ.

Σκεφτήκατε ότι ίσως θα πεθάνετε;

Το ποιο τρομακτικό ήταν ότι ήμουν ξαπλωμένος και άκουγα πως ο ένας μετά τον άλλον πέθαινε και σκεφτόμουν πότε θα ήταν η δικιά μου σειρά. Δεν είμαι θρησκευόμενος και δεν ξέρω κάποια προσευχή, αλλά προσευχόμουν κάθε βράδυ να ξυπνήσω το επόμενο πρωί.

Πως σας περιθάλψανε;

Ήταν μια πολύ εντατική και απαιτητική περίθαλψη και έπρεπε να είσαι πολύ δυνατός για να αντεπεξέλθεις. Μου έκαναν συνεχείς μεταγγίσεις αίματος και πλάσματος. Για μερικούς μήνες έζησα με το αίμα άλλων ανθρώπων. Έπειτα οι πληγές από τα εγκαύματα άρχισαν να εμφανίζονται. Είχα αρκετά εγκαύματα. Μόνο μετά από μερικούς μήνες άρχισα να σκέφτομαι ότι ίσως επιζήσω. Σε εκείνο το σημείο το σώμα μου άρχισε να λειτουργεί πάλι από μόνο του και δεν χρειαζόμουν μεταγγίσεις, αλλά ήμουν σε συνεχή δόση μορφίνης. Η γυναίκα μου Natasha μου λει ότι είχα χάσει πολύ βάρος και ότι φαινόμενα σαν να πεθαίνω. Λει ότι μιλούσα πολύ αργά και σιγά, αλλά πάντα διατηρούσα την διαύγεια του μυαλού μου, καταλάβαινα τι γινόταν.

Τι σας έκανε να αντεπεξέλθετε;

Η περίθαλψη έγινε σωστά, όπως επίσης ήμουν εκ φύσεως δυνατός και υγιής. Ήμουν 24 χρονών τότε.

Υποφέρετε ακόμη;

Πρέπει να κάνω συχνά μεταμοσχεύσεις δέρματος. Ακόμη έχω πληγές. Χωρίς τα εγκαύματα δεν θα ήταν τόσο δύσκολα.

Πως σας αντιμετώπισαν οι άνθρωποι στην Ρωσία;

Προσπαθώ να μην μιλάω γι' αυτό. Δεν θέλω οι άνθρωποι να ξέρουν γι' αυτό. Μου απονεμήθηκαν δύο μετάλλια και έμβλημα ηρωισμού για τις πράξεις μου εκείνη την βραδιά και ένα ακόμη μετάλλιο δέκα χρόνια μετά. Αλλά όλοι πήραν μετάλλια. Προσπαθώ να ορθοποδώ στην καθημερινή ζωή μου. Οι γείτονες μου δεν ξέρουν ποιος είμαι. Υπάρχει κοινωνικό στίγμα και αυτό είναι ένα πρόβλημα.

Ξαναπήγατε πίσω στο Chernobyl;

Μια φορά, όταν έκλεισαν τον τελευταίο αντιδραστήρα τον Δεκέμβριο του 2000. Με είχαν καλέσει ως ειδικό επισκέπτη. Περιπλανιόμουν γύρω από το κτίριο του αντιδραστήρα νούμερο 3 ο οποίος είναι ακριβώς αντιγραφή αυτού που εξερράγη. Δεν ένιωθα πολύ καλά. Τα πόδια μου έτρεμαν όταν έκατσα μπροστά από τον αντιδραστήρα.

Τι πιστεύετε για την πυρηνική ενέργεια;

Είμαι υπέρ αυτής, από την στιγμή όμως που η ασφάλεια τοποθετηθεί πάνω από όλα τα συμφέροντα και αποτελεί τον παράγοντα νούμερο ένα σε κάθε πυρηνική εγκατάσταση. Τότε δεν θα υπάρξουν προβλήματα.

..... ας αποτελέσει το κείμενο αυτό μια ακόμη ευκαιρία για πραγματικό (ελπίζουμε) προβληματισμό.
Αφιερώνεται στην μνήμη των νεκρών και ζωντανών θυμάτων του Chernobyl

Μιχάλης Παπαδημητρίου
Φοιτητής Τμήμ. Φυσικής



Η ερωτική ζωή ενός πυκνωτή

Μια όμορφη νύχτα ο Micro-Farad ήταν σε αρκετά μεγάλη φόρτιση και αποφάσισε να αναζητήσει επειγόντως ένα μικρό και νοστιμούλικο πηνίο για να τον βοηθήσει να ξεφορτιστεί.

Βρήκε λοιπόν την φίλη του Mili-Amp και της πρότεινε να πάνε μια βόλτα στον μεγάκυκλο του. Η Mili-Amp δέχτηκε και έτσι προχώρησαν μέσω της γέφυρας Wheatstone, στον δρόμο τους όμως παρεμποδίστηκαν από ένα δυνατό μαγνητικό πεδίο το οποίο κατάφεραν να ξεπεράσουν, διότι διέθεταν υψηλή ενέργεια. Η ποιο διασκεδαστική στιγμή τους όμως ήταν όταν καβάλησαν τις ημιτονικές κυματομορφές.

Ο Micro-Farad, προσελκύνθηκε από της χαρακτηριστικές καμπύλες της Millie-Amp, και σύντομα την είχε πλήρως φορτίσει, με αποτέλεσμα να οδηγήσει την αντίσταση της στο ελάχιστο. Με πολλή ευγένεια την έφερε σε μηδενικό δυναμικό, αύξησε την συχνότητα της και μείωσε την ειδική της αντίσταση.

Χωρίς να χάσει καιρό με μια γρήγορη ηλεκτρική εκκένωση, έβγαλε έξω την πρόμπα υψηλής τάσης του και την έβαλε στην υποδοχή της, συνδέοντας την παράλληλα. Άρχισε αργά – αργά να βραχυκυκλώνει την αντίσταση της καθώς αύξησε γρήγορα την θερμική της αγωγιμότητα. Πλήρως ενθουσιασμένη η Mili-Amp, μουρμούριζε: « Ohm,... Ohm,... Ohm... »

Με την λυχνία του να δουλεύει σε τάξη Γ, και το πεδίο να πάλεται συναρτήσει της ροής του ρεύματος του, ο Micro-Farad δεν άντεχε άλλο και ξεφορτίστηκε γρήγορα. Μια σπίθα σχηματίστηκε, η οποία αμέσως την έκανε να υπερθερμανθεί και διοχέτευσε όλα του τα ηλεκτρόνια στο πλέγμα της.

Ταλαντεύονταν όλη την νύχτα, δοκιμάζοντας διάφορες συνδέσεις και υποδοχές μέχρι που ο μαγνήτης του απέκτησε έναν μαλακό πυρήνα και έχασε όλη την ένταση του πεδίου του.

Αμέσως μετά η Milli-Amp άρχισε να παλεύει με τις σπείρες της προσπαθώντας να αυξήσει την αυτεπαγωγή της αλλά ο Micro-Farad του οποίου οι μπαταρίες είχαν πλήρως ξεφορτιστεί ήταν αδύνατον να διεγείρει το πεδίο της ξανά.

Δεν ήθελαν όμως να αναπαυθούν και πέρασαν το υπόλοιπο πρωινό αντιστρέφοντας τις πολικότητες τους με αποτέλεσμα να κάψουν τις ασφάλειες τους.

Επιμέλεια D.C Current

