

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α
ΤΗΣ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2015: ΤΟΜΟΣ 90ος

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ
ΤΑΞΙΣ ΤΩΝ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ
ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ
2015

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α
ΤΗΣ
Α Κ Α Δ Η Μ Ι Α Σ Α Θ Η Ν Ω Ν

ΤΟΜΟΣ 90ος

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Β. ΝΑΝΟΠΟΥΔΟΥ

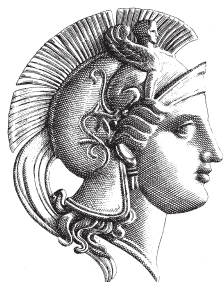
ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ
Πανεπιστημίου 28, 10679 Αθήναι
www.academyofathens.gr
dim@academyofathens.gr

ISSN 0369-8106

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α
ΤΗΣ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2015: ΤΟΜΟΣ 90ος

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ
ΤΑΞΙΣ ΤΩΝ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ
ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ
2015

ΠΙΝΑΞ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

τοῦ 90οῦ Τόμου τῶν Πρακτικῶν τοῦ ἔτους 2015

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

	Σελ.
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 13ΗΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015.....	9
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 20ΗΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015.....	41
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 27ΗΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015.....	61
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 12ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ 2015.....	87
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 31ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ 2015.....	95
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 23ΗΣ ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2015.....	119
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 26ΗΣ ΜΑΪΟΥ 2015.....	123
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 4ΗΣ ΙΟΥΝΙΟΥ 2015.....	145
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 9ΗΣ ΙΟΥΝΙΟΥ 2015.....	169
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 8ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2015.....	177
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 10ΗΣ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2015.....	179
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 22ΑΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2015.....	201
ΕΚΘΕΣΗ ΠΕΠΡΑΓΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΡΕΥΝΩΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ.....	217
ΕΚΘΕΣΗ ΠΕΠΡΑΓΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΡΕΥΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ.....	220
ΕΚΘΕΣΗ ΠΕΠΡΑΓΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΡΕΥΝΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ.....	222
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟΝ ΚΑΤΑ ΣΥΤΤΓΡΑΦΕΑ.....	223

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΙΑΔΟΧΗ ΤΗΣ ΠΡΟΕΔΡΙΑΣ*

ΕΝΑ ΝΕΟ ΠΛΑΙΣΙΟ-ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΟΥ (ΣΥΜ)ΠΑΝΤΟΣ: ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΚΗ, ΜΗ-ΚΛΙΜΑΚΟΥΜΕΝΗ (NO-SCALE) ΥΠΕΡΒΑΡΥΤΗΤΑ

ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΝΤΟΣ ΠΡΟΕΔΡΟΥ
κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΥ

Ανερχόμενος στο βήμα ως ο 90ός πρόεδρος του ανώτατου πνευματικού ιδρύματος του Έλληνισμού, τής Ακαδημίας Αθηνών, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τους συναδέλφους ακαδημαϊκούς που με τίμησαν με την ψήφο τους και μου εμπιστεύτηκαν το τιμητικό αυτό αξίωμα. Διαδέχομαι στην προεδρία τον κ. Έπαμεινώνδα Σπηλιωτόπουλο, που άσκησε το λειτουργήμα με πρόθυτα και αποτελεσματικότητα. Έχοντας επίγνωση τής σοβαρότητας του έργου και τής ευθύνης που αναλαμβάνω, ιδίως κατά τις κρίσιμες αυτές στιγμές για τη χώρα μας, προσβλέπω με εμπιστοσύνη, κατά τη διάρκεια τής θητείας μου, στη συμπαράσταση και τη βοήθεια διαπρεπών συναδέλφων και αγαπητών φίλων, όπως ο αντιπρόεδρος κ. Θανάσης Βαλτινός, ο Γενικός Γραμματέας κ. Βασίλειος Πετράκος, οι Γραμματείς επί των Δημοσιευμάτων και των Πρακτικών κ.κ. Παναγιώτης Βοκοτόπουλος και Κωνσταντίνος Κριμπάς.

Υπολογίζω επίσης στη στενή συνεργασία όλων των συναδέλφων ακαδημαϊκών, καθώς και όλου του προσωπικού τής Ακαδημίας, για την προαγωγή του έργου του ανώτατου πνευματικού ιδρύματος τής χώρας.

Επιτρέψτε μου τώρα να προχωρήσω στην ανάπτυξη του θέματος που επέλεξα, όπως απορρέει από την πάγια παράδοση τής Ακαδημίας.

Γνωρίζουμε, στηριγμένοι πάντα σε αναπαραγωγίσιμες αστρονομικές

* Δημοσία Συνεδρία τής 13ης Ιανουαρίου 2015.

παρατηρήσεις, ότι ζοῦμε σὲ ἓνα διαστελλόμενο σύμπαν, μὲ συντελεστή διαστολῆς ἢ παράμετρο Hubble $H_0 \approx 72 \frac{Km}{Mpc}$, ὅπου ὁ ὑποδείκτης 0 ἀναφέρεται πάντα σὲ τιμὲς τῶν ἀντίστοιχων μεγεθῶν σήμερα. Ἡ χρονικὰ ἐξαρτημένη παράμετρος Hubble προσδιορίζει τὴν ἡλικία τοῦ σύμπαντος σήμερα σὲ $t_0 \approx 13.8$ δισεκατομμύρια χρόνια, ποὺ μὲ τὴ σειρά της προσδιορίζει μιὰ χαρακτηριστικὴ χωρική διάσταση τῆς τάξεως τῶν 10^{28} cm. Τὸ σύμπαν μας εἶναι κατάσπαρτο ἀπὸ μεγάλες δομές, σμήνη γαλαξιδῶν, γαλαξίες, ἀστέρες, τῆς τάξεως τῶν 100 δισεκατομμυρίων γαλαξιδῶν, ὅπου ὁ κάθε γαλαξίας περιέχει κατὰ μέσο ὄρο 100 δισεκατομμύρια ἀστέρες. Αὐτὸ ποὺ παρουσιάζει πολὺ μεγάλο ἐνδιαφέρον εἶναι τὸ γεγονός ὅτι οἱ μεγάλες αὐτὲς δομές εἶναι κατανεμημένες σχεδὸν ὁμογενῶς (ἀναφερόμαστε πάντα σὲ μεγάλες κλίμακες). Δηλαδή, ὅπου καὶ ἂν εἴμαστε στὸ σύμπαν, θὰ βλέπουμε, σὲ μεγάλες κλίμακες, τὴν ἴδια εἰκόνα, ποὺ ἔχει ἀναχθεῖ στὴ λεγόμενη κοσμολογικὴ ἀρχή. Βέβαια παραμένει τὸ μεγάλο ἐρώτημα: Πῶς δημιουργήθηκαν αὐτὲς οἱ μεγάλες δομές, δηλαδή ποιὰ εἶναι ἡ προέλευσή τους;

Ἐνα ἄλλο πολὺ σημαντικό χαρακτηριστικὸ τοῦ σύμπαντός μας εἶναι τὸ γεγονός ὅτι εἶναι χωρικὰ εὐκλείδειο, δηλαδή δὲν ὑπάρχει χωρική καμπυλότητα $K=0$, ποὺ δικαιολογεῖ τὴν πασίγνωστη ἔκφραση ὅτι ζοῦμε σὲ ἓνα «ἐπίπεδο» σύμπαν.

Χρησιμοποιώντας τώρα τὴ θεμελιώδη ἐξίσωση τῆς κοσμολογίας, φυσικὴ ἀπόρροια τῆς ἑκατονταετοῦς ἤδη γενικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας τοῦ Einstein

$$H^2 = \frac{8\pi G_N \rho}{3} - \frac{K}{R^2} + \Lambda \quad (1),$$

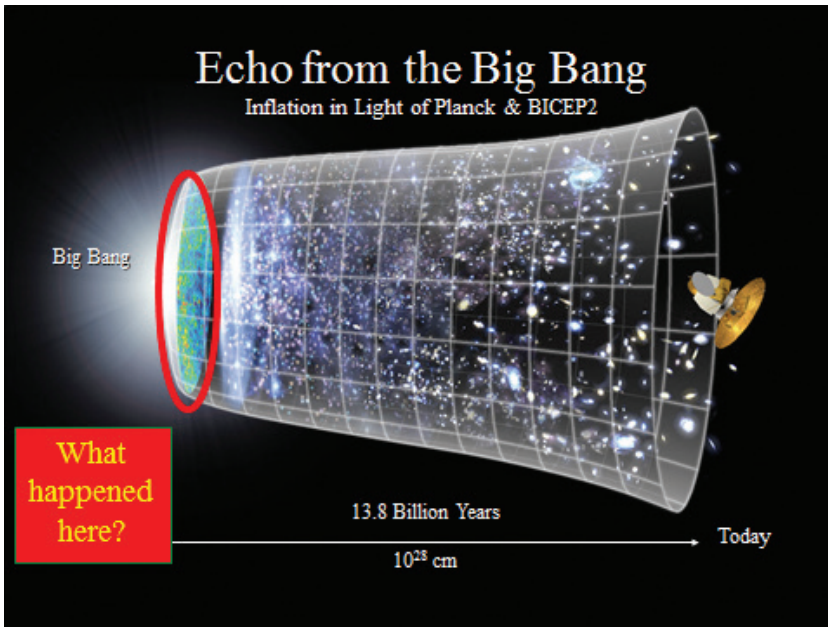
ὅπου H ἢ παράμετρος Hubble, G_N ἢ παγκόσμια σταθερὰ τοῦ Newton, $G_N = \frac{1}{M_{Pl}^2}$, $M_{Pl} = 1.2 \times 10^{19}$ GeV (μάζα τοῦ Planck), ρ ἢ ἐνεργειακὴ πυκνότητα τοῦ σύμπαντος, K ἢ χωρική καμπυλότητα καὶ Λ ἢ κοσμολογικὴ σταθερὰ ποὺ ἐπιτρέπεται ἀπὸ τὶς ἐξισώσεις Einstein καὶ τὴν εἰσήγαγε ὁ ἴδιος γιὰ νὰ ἀποφύγει τὴ διαστολὴ τοῦ σύμπαντος, ἢ ὁποῖα δὲν εἶχε ἀνακαλυφθεῖ ἀκόμη τὸ 1916 –πράγμα ποὺ θεώρησε ὡς τὸ μεγαλύτερο λάθος τῆς ζωῆς του–, βρίσκουμε τὴν ἐξῆς σχέση:

$$K=0 \leftrightarrow \Omega \equiv \frac{\rho}{\rho_{crit}} = 1 \leftrightarrow E_{OAIKH} = 0 \quad (2)$$

$$\text{ὅπου} \quad \rho_{crit} \equiv \frac{3H^2}{8\pi G_N}.$$

Έν ὀλίγοις, ἡ ἀπουσία χωρικήs καμπυλότητας συνεπάγεται ὀλική συμπαντική ἐνέργεια μηδέν, $E_{\text{ΟΛΙΚΗ}} = 0$, ὅπου βέβαια ἢ μὲ ἀρνητικό πρόσημο, λόγω ἑλξέως, ἐνέργεια τῆs βαρύτητας ἀντισταθμίζει τὴ μὲ θετικό πρόσημο κινήτικη ἐνέργεια τῆs διαστολῆs τοῦ σύμπαντος. Ἡ θεμελιώδης αὐτὴ ιδιότητα τοῦ σύμπαντός μας εἶναι πολὺ δύσκολο νὰ ὑπερτιμηθεῖ, καθιστώντας δυνατὴ τὴν ἐμφάνιση τοῦ σύμπαντός μας ἀπὸ μιὰ κβαντικὴ διακύμανση τοῦ κενοῦ (vacuum) καὶ ὑπακούοντας στὴν «ἀρχὴ τῆs ἀβεβαιότητας (ἢ ἀπροσδιοριστίας)» τοῦ Heisenberg. Αὐτὸ εἶναι τὸ Big Bang.

Μιὰ χωροχρονικὴ εἰκόνα τοῦ σύμπαντός μας ἀπὸ τὴν «ἀρχὴ» του ἕως σήμερα παρουσιάζεται στὴν εἰκόνα 1.



Εἰκόνα 1: Χωροχρονικὴ ἐξέλιξη τοῦ διαστελλόμενου σύμπαντος.

Τὸ πιὸ μεγάλο ἐρώτημα βέβαια εἶναι τί συνέβη στὴν «ἀρχὴ» τοῦ σύμπαντος (στὴν «πράσινη περιοχή» μέσα στὸν «κόκκινο» κύκλο τῆs εἰκόνας 1). Δεχόμενοι ὅτι τὸ Big Bang δὲν εἶναι τίποτε ἄλλο παρὰ μιὰ κβαντικὴ διακύμανση τοῦ βαρυτικοῦ πεδίου ἢ μετρικοῦ τανυστῆ $g_{\mu\nu}$, δηλαδή δημιουργία τοῦ χωροχρόνου ἀπὸ τὸ κενό, ποὺ κατόρθωσε νὰ «ἐπιζήσει» καὶ διαστελλόμενη νὰ ἐξελιχθεῖ στὸ σύμπαν μας, ἔχουμε μιὰ σειρά ἀπὸ ἐρωτήματα νὰ ἀπαντη-

σουμε. Ἡ θεμελιώδης ἐξίσωση τῆς κοσμολογίας (1) ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν παγκόσμια σταθερὰ τοῦ Newton G_N , ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ ἓνα χαρακτηριστικό χρόνο $t_{Pl} \sim 10^{-43} s$ καὶ ἓνα χαρακτηριστικό μῆκος $l_{Pl} \sim 10^{-33} cm$, ποὺ προσδιορίζουν grossomodo ἓνα χαρακτηριστικό χρόνο ζωῆς καὶ τὴ χωρική διάσταση τοῦ κβαντικοῦ παραχθέντος σύμπαντος. Ὑπάρχει μιὰ τεράστια διαφορὰ, 10^{60} , μεταξὺ τοῦ παρατηρήσιμου σύμπαντός μας καὶ τοῦ κβαντικοῦ παραχθέντος σύμπαντός μας σὲ χρόνο ζωῆς καὶ σὲ χωρική διάσταση.

Μὲ ἄλλα λόγια, πῶς τὸ σύμπαν μας εἶναι τόσο ἀπέραντο καὶ ἡλικιωμένο; Συνάμα ἔχουμε νὰ ἀπαντήσουμε σὲ ἓνα ἄλλο μεγάλο ἐρώτημα: Πῶς εἶναι δυνατὸν τὸ σύμπαν μας νὰ εἶναι ὁμογενές, σὲ μεγάλες κλίμακες, ἂν λάβουμε ὑπόψη μας τὸ ἐξῆς σκεπτικό: Μεγάλες περιοχὲς τοῦ σύμπαντος ποὺ τῶρα εὐρίσκονται ἐντὸς τοῦ ὀρίζοντός μας ($R_0 \approx 3t_0$), διαπιστώνουμε, ἂν πᾶμε πίσω στὸν χρόνο, ὅτι εὐρίσκονταν ἔξω ἀπὸ τὸν ἀντίστοιχο ὀρίζοντα, δηλαδὴ ἦταν incommunicado, ἄρα πῶς εἶναι δυνατὸν νὰ ἔχουμε παρατηρούμενη ὁμογένεια σὲ μεγάλες κλίμακες; Ἐπίσης, κάποιος διερωτᾶται γιατί τὸ σύμπαν μας εἶναι χωρικὰ εὐκλείδειο, ἢ «ἐπίπεδο» –μιὰ πολὺ εἰδικὴ γεωμετρία–, ἐφόσον ὑπάρχουν πραγματικὰ ἀναρίθμητες ἄλλες ἐκδοχές. Τέλος, ὅπως ἀναφέραμε καὶ πιὸ πάνω, πῶς καὶ ἀπὸ τί δημιουργήθηκαν οἱ μεγάλες δομὲς στὸ σύμπαν μας;

Ὅλες οἱ παραπάνω ἐρωτήσεις βρίσκουν τὴν ἀπάντησή τους σὲ ἓνα νέο κοσμολογικὸ πλαίσιο, τὸν κοσμολογικὸ πληθωρισμὸ (cosmological inflation).

Ἀλλὰ ἄς πάρουμε τὰ πράγματα ἀπὸ τὴν ἀρχή, τὴν ἀρχὴ τῶν πάντων, δηλαδὴ ἀπὸ τὴν ἐμφάνιση τοῦ σύμπαντος, μὲ τὴ Μεγάλη Ἐκρηξή (Big Bang) ὅπως τὴν προσδιορίσαμε προηγουμένως, ἢ ὁποῖα συνοδεύεται ἀπὸ τεράστια ἔκλυση ἐνέργειας, δηλαδὴ παραγωγὴ σωματιδίων, ἀντισωματιδίων, κουάρκ (quarks), λεπτονίων (leptons), Z , W^\pm μποζονίων (bosons), γκλουονίων (gluons), μποζονίων τοῦ Higgs (Higgs bosons) καὶ πιθανῶς ἄλλων πολὺ βαρύτερων σωματιδίων, ὅπως εἶναι τὰ ὑπερσυμμετρικὰ σωματίδια, κ.λπ. Οἱ ἐνέργειες τῶν σωματιδίων αὐτῶν εἶναι τῆς τάξεως τῆς μάζας τοῦ Planck, $M_{Pl} = 1,2 \times 10^{19} GeV$, καὶ ἡ θερμοκρασία, ἢ μέση κινητικὴ ἐνέργεια τῶν σωματιδίων, εἶναι ἐπίσης τῆς ἴδιας τάξεως μεγέθους, δηλαδὴ ἔχουμε $E_{σωμ} \approx M_{Pl} \approx T$, πολὺ κοντὰ στὴν ἀρχὴ τοῦ σύμπαντος. Τὸ σύμπαν ὅμως διαστέλλεται καὶ ξοδεύει γι' αὐτὸ ἐνέργεια. Καθὼς διαστέλλεται τὸ σύμπαν, κρυώνει καὶ ἔτσι ἡ ἐνέργεια τῶν σωματιδίων ἐλαττώνεται μὲ τὸν χρόνο. Σχεδὸν καθ' ὅλη τὴ διάρκειά τῆς διαστολῆς τοῦ σύμπαντος ἀπὸ τὴν

ἀρχή του μέχρι σήμερα έχουμε μια *ἀδιαβατική* ή *ίσοεντροπική* διαστολή, όπου βρίσκουμε ότι η σχέση μεταξύ της «διάστασης» και της θερμοκρασίας T του σύμπαντος είναι πολύ απλή:

$$R \sim \frac{1}{T} \quad (\text{ἀδιαβατική διαστολή}) \quad (3).$$

Ἡ κοσμική θερμοκρασία του σύμπαντος είναι σήμερα $T_0 \approx 2.73^\circ\text{K}$ και ἀναφέρεται στη θερμοκρασία των ἀρχέγονων φωτονίων που ἀνιχνεύονται σήμερα με τὰ τηλεσκόπιά μας, ἔχοντας ταξιδέψει («περίπου») 13.8 δισεκατομμύρια χρόνια και ἀφήνοντας ἔτσι «ἀποτυπώματα» ἀπὸ τὴν ἀρχή τοῦ σύμπαντος. Ἡ συστηματική, ἐνδελεχὴς μελέτη αὐτῆς τῆς ἀρχέγονης ἠλεκτρομαγνητικῆς ἀκτινοβολίας ἢ αὐτοῦ τοῦ ἀρχέγονου φάσματος φωτονίων ἀποτελεῖ τὸ πιὸ χρήσιμο ἐργαλεῖο γιὰ τὴ μελέτη τοῦ σύμπαντος πολὺ κοντὰ στὴν ἀρχή του.

Ἡ διαστολή τοῦ σύμπαντος, ποὺ ὀδηγεῖ σὲ συνεχὴ ἐλάττωση τῆς κοσμικῆς θερμοκρασίας μετὰ τὸν χρόνο, δημιουργεῖ ἕνα ἐξαιρετικὰ κατάλληλο περιβάλλον γιὰ μιὰ σειρά μεταβολῶν φάσεως (phase transitions). Οἱ ἀλληλεπιδράσεις τῶν διαφόρων σωματιδίων –κουάρκ, λεπτονίων...– περιγράφονται ἀπὸ τὸ καθιερωμένο πρότυπο (standard model), ποὺ κωδικοποιεῖ τὶς ἠλεκτρομαγνητικές, ἀσθενεῖς καὶ ἰσχυρὲς ἀλληλεπιδράσεις/δυνάμεις ὡς θεωρίες βαθμίδος (gauge theories), $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$ ἀντιστοιχῶς, ὅπου $U(1)$, $SU(2)$, $SU(3)$ ἀναφέρονται στὶς ἀντίστοιχες συμμετρίες. Οἱ συμμετρίες αὐτὲς παραμένουν ἀκριβεῖς μέχρι περίπου ἢ θερμοκρασία τοῦ σύμπαντος νὰ φτάσει σὲ μιὰ $T \approx \partial(1 \text{ TeV})$, ὁπότε ἔχουμε ἕνα «αὐθόρμητο» σπάσιμο (spontaneous breaking) τῆς συμμετρίας $U(1) \times SU(2)$:

$$SU(2) \times U(1) \rightarrow U(1)_{\text{EM}} \quad (4),$$

ποὺ δὲν εἶναι τίποτε ἄλλο παρὰ ἕνα παράδειγμα τοῦ γνωστοῦ μας μηχανισμού τοῦ Higgs, τοῦ ὁποῦ ἀπόρροια εἶναι τὸ σωματιδίον τοῦ Higgs, ποὺ ἢ ἀνακάλυψή του ἀνακοινώθηκε τὸν Ἰούλιο τοῦ 2012 στὸν Large Hadron Collider (LHC) τοῦ CERN. Ἐτσι λοιπόν, γιὰ θερμοκρασίες κάτω ἀπὸ $T \approx \partial(1 \text{ TeV})$, μόνο ἡ συμμετρία $SU(3) \times U(1)_{\text{EM}}$ παραμένει ἀκριβῆς καὶ γι' αὐτὸ τὰ γκλουόνια καὶ τὰ φωτόνια δὲν ἔχουν μάζα, ἐν ἀντιθέσει πρὸς τοὺς φορεῖς τῶν ἀσθενῶν ἀλληλεπιδράσεων Z , W^\pm , ποὺ ἀποκτοῦν μάζα τῆς τάξεως τοῦ $\partial(100 \text{ GeV})$. Κύριο χαρακτηριστικὸ τοῦ καθιερωμένου προτύπου εἶναι ἡ ἐνοποίηση τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν καὶ ἀσθενῶν ἀλληλεπιδράσεων στὴν ἠλεκτρασθενὴ ἀλληλεπίδραση, ὅπως ἔμμεσα δείχνει ἡ ἐξίσωση (4).

Τὰ παραπάνω ἐκτεθέντα δείχνουν ὅτι οἱ μεταβολές φάσεως συμβαίνουν στὸ συνεχῶς διαστελλόμενο σύμπαν μας μέσω τοῦ μηχανισμοῦ Higgs, ποὺ εἶναι ἤδη τεκμηριωμένος πειραματικά καὶ ἔχει καθολικὴ ἐφαρμογή. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι ἐφαρμόζεται κοντὰ στὴν ἀρχὴ τοῦ σύμπαντος, ὅπου ἔχουμε μιὰ μεταβολὴ φάσεως ἀπὸ τὶς «Μεγάλες Ἐνοποιημένες Θεωρίες» (Grand Unified Theories), ποὺ στὰ τέλη τῆς δεκαετίας τοῦ '70 ὀνόμασα GUTs, δηλαδή ἀπὸ τὶς θεωρίες ποὺ ἐνοποιοῦν τὶς ἰσχυρὲς καὶ ἠλεκτρασθενεῖς ἀλληλεπιδράσεις, οἱ ὁποῖες σὲ θερμοκρασίες $T \sim \partial(10^{16} \text{ GeV})$ «σπᾶνε αὐθόρμητα» στὸ καθιερωμένο πρότυπο, σχηματικὰ $G \rightarrow \text{SU}(3) \times \text{SU}(2) \times \text{U}(1)$, ὅπου G μπορεῖ νὰ εἶναι $\text{SU}(5)$, $\text{SO}(10)$, Flipped $\text{SU}(5)$ ἢ $\text{SU}(5) \times \text{U}(1)$. Χαρακτηριστικὸ τῶν μεταβολῶν φάσεως εἶναι ὅτι κατὰ τὴ διάρκειά τους μπορεῖ νὰ παραβιαστεῖ ἢ ἀδιαβατικὴ διαστολὴ καὶ νὰ ἔχουμε παραγωγὴ ἐντροπίας. Αὐτὴ ἀκριβῶς ἡ ιδιότητα τῆς παραγωγῆς ἐντροπίας, παραβιάζοντας τὴν ἀδιαβατικὴ διαστολὴ, γιὰ μικρὸ χρονικὸ διάστημα, χρησιμοποιεῖται στὸν κοσμολογικὸ πληθωρισμό. Μιὰ ματιὰ στὴ βασικὴ ἐξίσωση (1) μᾶς πείθει ὅτι, ἂν ἡ ἐνεργειακὴ πυκνότητα ρ παραμένει γιὰ ἓνα χρονικὸ διάστημα Δt σταθερὴ, ποὺ συνεπάγεται ἡ H ἐπίσης σταθερά –οἱ ἄλλοι ὅροι στὴν (1) εἶναι ἀμελητέοι στὴν ἀρχὴ τοῦ σύμπαντος–, τότε βρίσκουμε ὅτι

$$R \sim e^{H(\Delta t)} \quad (5),$$

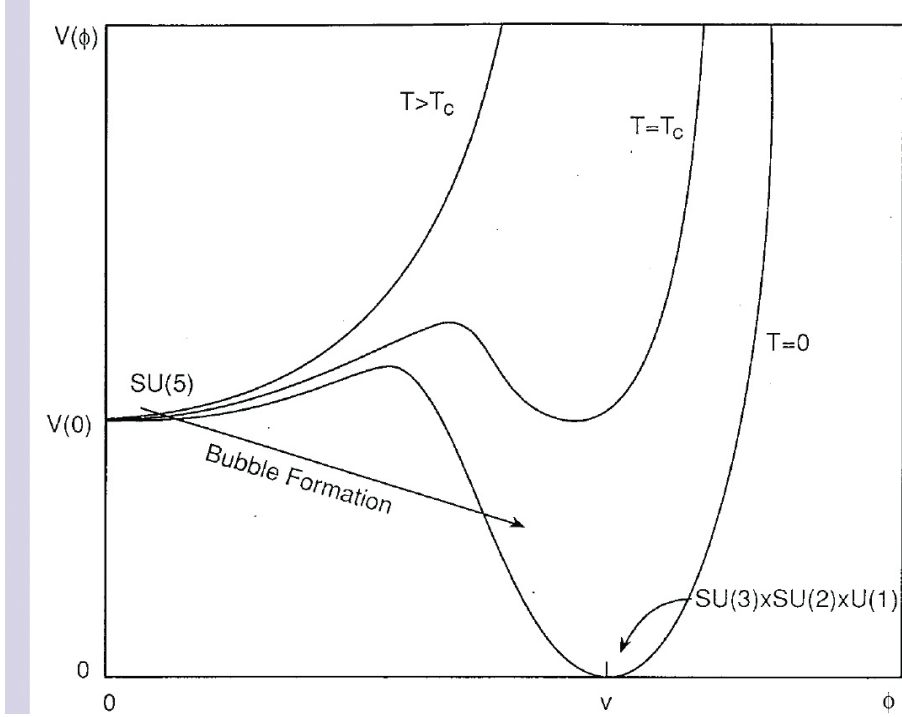
δηλαδή ἔχουμε μιὰ ἐκθετικὴ μεταβολὴ τῆς «διάστασης» τοῦ σύμπαντος ὡς συνάρτησης τοῦ χρόνου, ἐν ἀντιθέσει πρὸς ἄλλες γνωστὲς μεταβολές, ὅπως $R \sim t^{1/2}$ ἢ $R \sim t^{2/3}$, ποὺ βρίσκουμε σὲ ἐποχὲς ἀδιαβατικῆς διαστολῆς. Ἡ γιγάντια αὐτὴ ἐκθετικὴ μεταβολὴ τῆς R , ἔστω καὶ γιὰ πολὺ μικρὸ χρονικὸ διάστημα Δt , ἀυξάνει σχεδὸν κατακόρυφα τὴ R , ἐξ οὗ καὶ ἡ ὀνομασία «κοσμολογικὸς πληθωρισμός». Οἱ συνέπειες μιᾶς τέτοιου εἴδους ἐκθετικῆς μεταβολῆς τῆς «διάστασης» τοῦ R τοῦ σύμπαντος, κατὰ τὴ διάρκεια κάποιας μεταβολῆς φάσεως κοντὰ στὴν ἀρχὴ τοῦ σύμπαντος, εἶναι καταγιστικές. Οἱ πειραματικὲς/ἀστρονομικὲς παρατηρήσεις ἀπαιτοῦν ὁ ἐκθέτης H (Δt) στὴν ἐξίσωση (5) νὰ ἔχει τιμὴ $H(\Delta t) \approx (50-60)$, ποὺ σημαίνει $(10^{22}-10^{26})$, αὕξηση τῆς «διάστασης» R τοῦ σύμπαντος σὲ ἀπειροελάχιστο χρόνο ($\sim 10^{-35}$ s)! Σὲ αὐτὴ τὴν περίπτωση ἡ ἐξίσωση (1) ὑποδεικνύει ὅτι ὁ ὅρος ποὺ ἐκφράζει τὴν καμπυλότητα τοῦ σύμπαντος $-\frac{K}{R^2}$ μικραίνει ξαφνικὰ κατὰ (45-52) τάξεις μεγέθους $(10^{45}-10^{52})$, δηλαδή, ὅποια καὶ νὰ ἦταν ἡ ἀρχικὴ καμπυλότητα ($K = \pm 1, 0$), δυναμικὰ μηδενίζεται, ἤτοι $K = 0$. Ἄρα ἐξηγοῦμε δυναμικὰ τὸ (χωρικὰ) «ἐπίπεδο» ἢ εὐκλείδειο σύμπαν. Περαιτέρω, ἡ αὕξηση τοῦ

όγκου του σύμπαντος R^3 κατά (10^{66} - 10^{78}) φορές σε άπειροελάχιστο χρόνο συνεπάγεται την πλήρη εξάφaniση όλων των σωματιδίων, δομών, ανισοτροπιών που προϋπήρχαν, και το σύμπαν γίνεται ομογενές και «άδειο», δηλαδή έχουμε κοσμολογική *tabula rasa*, αλλά δυναμικά δημιουργημένη.

Έπιπλέον, αν το σύμπαν διαστελλόταν μόνο αδιαβατικά σε όλη του την ιστορία, το τωρινό σύμπαν μας, αν το γυρίζαμε πίσω στον χρόνο, θα μοιραζόταν σε 10^{80} όριζοντες εκείνης της αρχέγονης εποχής που δεν θα επικοινωνούσαν μεταξύ τους, και άρα πώς έφτασαν σήμερα να αποτελούν ένα τόσο ομογενές σύμπαν; Έπειδή όμως το σύμπαν διαστέλλεται έκθετικά και αυξάνει τη «διάστασή» του R κατά (10^{22} - 10^{26}) φορές σε άπειροελάχιστο χρόνο, μπορεί να «χωρέσει» όλο το τωρινό σύμπαν μας, αν το πᾶμε πίσω στον χρόνο, μέσα στον όριζοντά του κοντά στην αρχή του σύμπαντος.

Βλέπουμε λοιπόν την ανυπολόγιστη αξία μιᾶς άπειροελάχιστα διαρκούσης έκθετικής διαστολής του σύμπαντος, διότι μᾶς λύνει όλα τὰ μεγάλα χρόνια προβλήματα της κοσμολογίας δυναμικά, δηλαδή αυτά της ηλικίας, της διάστασης, της ομογένειας του σύμπαντος, και, όπως θα δείξουμε τώρα, ο κοσμολογικός πληθωρισμός δημιουργεί επίσης πρωτογενείς (primordial) διακυμάνσεις της συμπαντικής ενεργειακής πυκνότητας ρ , δηλαδή το *raison d'être* των μεγάλων δομών στο σύμπαν. Όπως είδαμε, κατά την περίοδο της έκθετικής διαστολής του σύμπαντος έχουμε μιᾶ τεράστια «αραίωση» (dilution) των πάντων από έναν παράγοντα 10^{80} . Παραμένουν όμως «έν ενεργεία» το βαρυτικό πεδίο ή μετρικός τανυστής $g_{\mu\nu}$, που δημιουργεί τον χωροχρόνο, και το πεδίο που ονόμασα στις αρχές του '80 inflaton, ήτοι το πεδίο που είναι υπεύθυνο για τον κοσμολογικό πληθωρισμό. Για να δημιουργηθεί κοσμολογικός πληθωρισμός, σύμφωνα πάντα με την εξίσωση (1), χρειαζόμαστε μιᾶ «σταθερά» ενεργειακή πυκνότητα ρ . Η ενεργειακή πυκνότητα του σύμπαντος βέβαια είναι το άθροισμα όλων των ρ_i , δηλαδή $\rho = \sum \rho_i$, όπου $i=1,2,\dots$ αναφέρεται σε όλα τὰ υπάρχοντα είδη σωματιδίων. Πρέπει λοιπόν να υπάρχει τουλάχιστον ένα σωματίδιο, το inflaton, που να έχει περίπου σταθερή πυκνότητα κατά τη διάρκεια της πληθωριστικής φάσεως. Το inflaton πρέπει να είναι βαθμωτό (scalar), ακριβώς όπως το σωματίδιο του Higgs, γιατί αλλιώς παραβιάζονται βασικές συμμετρίες του σύμπαντος, όπως ή συμμετρία Lorentz, ή ισοτροπία ή περιστροφική συμμετρία. Όπως αναφέραμε πιο πάνω, ο μηχανισμός που είναι υπεύθυνος για τον κοσμολογικό πληθωρισμό δεν είναι τίποτε άλλο από τον μηχανισμό του Higgs εφαρμοσμένος σε άλλο περιβάλλον, δηλαδή κοντά στην αρχή του

σύμπαντος, γύρω στα 10^{-35} s. Χρειαζόμαστε λοιπόν ένα δυναμικό (ή δυναμική ενέργεια) $V_{(\varphi)} \approx \rho_{(\varphi)}$ τέτοιο ώστε να μπορεί να υποστηρίξει, για ένα πολύ μικρό διάστημα, μιὰ σταθερή ενεργειακή πυκνότητα ρ , με άλλα λόγια ένα ισόπεδο ή σταθερό (flat) δυναμικό $V_{(\varphi)} = \text{σταθερό}$, για κάποια περιοχή τιμών του inflaton φ , όπως εμφανίζεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2: Το δυναμικό V για το «παλιό» πληθωριστικό πρότυπο του A. Guth [1].

Το inflaton είναι ένα κβαντικό πεδίο και άρα διέπεται από την κβαντική θεωρία πεδίων, που μέσα από την αρχή της άβεβαιότητας του Heisenberg προβλέπει την ύπαρξη άεναν κβαντικών διακυμάνσεων $\Delta\varphi$ του inflaton πεδίου φ , και άρα και του δυναμικού $V_{(\varphi)} \approx \rho_{(\varphi)}$. Κατά τη διάρκεια της πληθωριστικής φάσεως, ή κοσμική θερμοκρασία παραμένει σταθερά $T_{INF} \approx \frac{H_{INF}}{2\pi}$, και άρα επειδή $\Delta\varphi \sim T_{INF} \approx \frac{H_{INF}}{2\pi}$, βρίσκουμε την πολύ βασική σχέση

$$\frac{\delta\rho_{INFLATON}}{\rho_{INFLATON}} \approx \frac{\Delta\varphi}{M_{Pl}} = \frac{H_{INF}}{2\pi M_{Pl}} \quad (6).$$

Βέβαια οί κβαντικές διακυμάνσεις είναι χωροχρονικά άκαριαίες ($\Delta t \sim 10^{-35}$ s, $\Delta l \sim 10^{-25}$ cm) και έκ πρώτης όψεως είναι κοσμολογικά αδιάφορες. Σε ένα μονίμως αδιαβατικά διαστελλόμενο σύμπαν, πράγματι, οί κβαντικές αυτές διακυμάνσεις είναι άνευ αξίας. Σε ένα πληθωριστικό σύμπαν, όσο και άπειροελάχιστη νά είναι ή διάρκεια του κοσμολογικού πληθωρισμοῦ, οί κβαντικές διακυμάνσεις τῆς ενεργειακῆς πυκνότητας ρ_{INF} [βλ. ἐξίσωση (6)] συμμετέχουν στην άκαριαία έκθετική διαστολή και, ἐνώ τὸ μέγεθός τους, ὅπως δίνεται ἀπό τὴν ἐξίσωση (6), δὲν ἀλλάζει, οί διαστάσεις τῆς διαταραχῆς τῆς ενεργειακῆς πυκνότητας αὐξάνονται έκθετικά και ἔτσι ἔχουμε διαταραχές τῆς ενεργειακῆς πυκνότητας ὅχι σὲ περιοχές $\Delta l \sim 10^{-25}$ cm, ἀλλά $(\Delta l)_{INF} \sim 10^{-25}$ cm $\times 10^{25} \approx \delta(1$ cm)!

Οί διαταραχές αυτές τῆς ενεργειακῆς πυκνότητας ἔχουν μεγαλύτερη ἔκταση ἀπὸ τὸν ὀρίζοντα τῆς τότε ἐποχῆς ($\sim 10^{-25}$ cm) και ἄρα «παγώνουν», γιατί τὰ διάφορα μέρη τῆς διαταραχῆς είναι incommunicado – ἀπλῶς συμμετέχουν στην κοσμική διαστολή πού, μετὰ τὴν άκαριαία έκθετική διαστολή, ἐπιστρέφει στην «κανονική» αδιαβατική διαστολή. Σε κάποια στιγμή (ἐποχή) ὅπου συμπίπτουν οί διαστάσεις τῆς διαταραχῆς ενεργειακῆς πυκνότητας και τοῦ ἀντίστοιχου ὀρίζοντα, τότε «λιώνουν» και ἔτσι ενεργοποιοῦνται οί, κοσμολογικῆς πλέον διάστασης, διαταραχές τῆς ενεργειακῆς πυκνότητας και κάνουν τὴ «δουλειά» τους, δηλαδή ἐν καιρῷ δημιουργοῦν μεγάλες δομές, σύμφωνα με τοὺς νόμους τῆς βαρύτητας. Πρέπει νά σημειωθεῖ ὅτι διαφορετικὲς διαταραχές τῆς ενεργειακῆς πυκνότητας βγαίνουν ἀπὸ τὸν πληθωριστικὸ ὀρίζοντα σὲ διαφορετικούς χρόνους, ἄρα ἔχουν διαφορετικὴ ἐξέλιξη, δηλαδή διαφορετικὲς κοσμικὲς διαστάσεις, ἄρα εἰσέρχονται σὲ διαφορετικὲς ἐποχὲς στὸν κοσμικὸ ὀρίζοντα, ὅλες ὅμως ἔχουν τὴν ἴδια τιμὴ ὅπως δίνεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση (6), ἥτοι

$$\frac{\delta\rho}{\rho} \Big|_{\lambda \approx ct} \approx \frac{H_{INF}}{2\pi M_{Pl}} \quad (7).$$

Ὁ κοσμολογικὸς πληθωρισμὸς παράγει πρωτίστως αδιαβατικὲς (ἢ ἰσοεντροπικὲς) διαταραχές τῆς ενεργειακῆς πυκνότητας, πού ὅλες ἔχουν τὴν ἴδια τιμὴ ($\approx \frac{H_{INF}}{2\pi M_{Pl}}$) ὅταν εἰσέρχονται στὸν ἀντίστοιχο ὀρίζοντά τους [βλ. ἐξίσωση (7)]. Ἔχουμε, ὅπως λέμε, ἓνα φάσμα διαταραχῶν ενεργειακῆς πυκνότητας πού είναι ἀνεξάρτητο ἀπὸ τὴ διάσταση-κλίμακά τους (scale invariant) και τὸ μέγεθός τους ἐξαρτᾶται μόνο ἀπὸ τὲς λεπτομέρειες τῆς κβαντικῆς θεωρίας τοῦ inflaton!

Είναι πραγματικά συγκλονιστικό ότι όλες οι μεγάλες δομές στο σύμπαν, η άκρομη γενικότερα, τι υπάρχει στο σύμπαν, είναι ή απόρροια της κβαντικής φυσικής του inflaton, δηλαδή της τυχαιότητας.

Όλο το σύμπαν προέρχεται από μια τυχαία κβαντική διακύμανση από το κενό, του βαρυτικού πεδίου ή μετρικού ταυστού $g_{\mu\nu}(x)$ και άλλων συναφών πεδίων, αλλά όχι μόνο αυτό: Η τυχαιότητα συνεχίζεται στη δημιουργία των μεγάλων δομών, που προέρχονται από άκαριαίες τυχαίες κβαντικές διακυμάνσεις του inflaton. Το παράλογο σε όλη του τη μεγαλοπρέπεια!

Μέχρι τώρα παρουσίασα τις βασικές αρχές του κοσμολογικού πληθωρισμού όπως θεμελιώθηκαν από τον Alan Guth γύρω στο 1980 [1]. Οι πρώτες όμως προσπάθειες για ένα ολοκληρωμένο πρότυπο (model) δυστυχώς απέτυχαν παταγωδώς. Στις αρχικές διατυπώσεις του κοσμολογικού πληθωρισμού, το inflaton ταυτοποιήθηκε με το μποζόνιο του Higgs, που προκαλεί το μεγάλο «σπάσιμο» της $GUT \rightarrow SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ σε ενέργειες/θερμοκρασίες $T \approx \partial(10^{16} \text{ GeV})$. Η ταυτοποίηση αυτή προκαλεί όληθρια, καταστρεπτικά αποτελέσματα:

i) Η δομή του κενού είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και έτσι το inflaton = GUT Higgs «χάνει» κατά κάποιο τρόπο τον δρόμο του και είτε δεν οδηγεί σε κοσμολογικό πληθωρισμό, είτε το «σπάσιμο» δεν καταλήγει στο ζητούμενο, $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$.

ii) Οι κβαντικές «διορθώσεις» είναι άτελείωτες/άνεξέλεγκτες και δημιουργούν μεγάλη αστάθεια στην κλασική προσεγγιστική λύση.

iii) Οι κβαντικές διακυμάνσεις της ενεργειακής πυκνότητας του inflaton [βλ. εξίσωση (6)] που μετατρέπονται, όπως δείξαμε πιο πάνω, σε κοσμολογικές διακυμάνσεις της ενεργειακής πυκνότητας του σύμπαντος [(βλ. εξίσωση (7))] υπολογίζονται στην τιμή $\frac{\delta\rho}{\rho} \approx \partial(50)$, που είναι επτά τάξεις μεγαλύτερη από την παρατηρούμενη τιμή $\frac{\delta\rho}{\rho} \approx \partial(10^{-5})$: μάλλον αποκαρδιωτικό αποτέλεσμα.

Δεν έχουν χαθεί όλα όμως. Μαζί με τους John Ellis, Keith Olive και Κυριάκο Ταμβάκη, υποστηρίξαμε το 1981 [2] ότι όλα τα παραπάνω προβλήματα μπορούν να λυθούν μονομιᾶς ἂν χρησιμοποιούσαμε μία, πρωτοεμφανιζόμενη τότε, συμμετρία, τη λεγόμενη υπερσυμμετρία. Ο χαρακτηριστικός τίτλος της πρώτης εργασίας μας (paper) σε αυτό το θέμα τα λέει όλα: Inflation Cries Out for Supersymmetry (Ο κοσμολογικός πληθωρισμός «κραυγάζει» για την υπερσυμμετρία) [2]. Η υπερσυμμετρία (Super Sym-

metry), η SUSY, προτάθηκε το 1974 για να αποκαταστήσει την ισοτιμία μεταξύ φερμιονίων, σωματιδίων με spin $1/2, 3/2, 5/2$ (όπως είναι τα κουάρκ και τα λεπτόνια) και μποζονίων, σωματιδίων με spin $0, 1, 2...$ (όπως είναι το σωματίδιο του Higgs, το φωτόνιο, το W^\pm , το Z, το γκλουόνιο). Τα φερμιόνια ακολουθούν τη στατιστική Fermi – Dirac (έξ ου και το όνομά τους), που δεν επιτρέπει δύο φερμιόνια με ακριβώς ίδιους κβαντικούς αριθμούς να βρίσκονται στην ίδια θέση/κατάσταση. Από εδώ πηγάζει και η περίφημη απαγορευτική αρχή του Pauli, στην οποία οφείλεται η ποικιλία του περιοδικού συστήματος του Mendeleev. Με άλλα λόγια, η κυματοσυνάρτηση που περιγράφει δύο ίδια φερμιόνια, π.χ. δύο ηλεκτρόνια, πρέπει να αλλάζει σημείο όταν βάλουμε το ένα στη θέση του άλλου, δηλαδή $\Psi_F(1,2) = -\Psi_F(2,1)$, έτσι ώστε, όταν βρεθούν στην ίδια θέση, $\Psi_F(1,1) = \Psi_F(2,2) = 0$. Στην κβαντική θεωρία πεδίου, όπου έχουμε κβαντικές διορθώσεις που συμπεριλαμβάνουν «βρόχους» (loops) στους οποίους «κυκλοφορούν» φερμιόνια, υπάρχει πάντοτε ένα αρνητικό σημείο (-) για κάθε βρόχο μπροστά από το πλάτος πιθανότητας που χαρακτηρίζει την όλη διαδικασία. Τα μποζόνια ακολουθούν τη στατιστική Bose – Einstein (έξ ου και το όνομά τους), που επιτρέπει όσουσδήποτε αριθμούς μποζονίων στην ίδια κατάσταση, δηλαδή για μποζόνια $\Psi_B(1,2) = \Psi_B(2,1)$ και άρα, σε περίπτωση που συμπεριλαμβάνονται «βρόχοι» (loops), δεν υπάρχει αλλαγή προσήμου. Βάζοντας τώρα μποζόνια και φερμιόνια μαζί στην ίδια υπερπολλαπλότητα (supermultiplet), που στην πιο απλή περίπτωση περιλαμβάνει σωματίδια με spin 0 και σωματίδια spin $1/2$ ή σωματίδια με spin $1/2$ και σωματίδια με spin 1, μπορούμε να λύσουμε το πρόβλημα της ακύρωσης των φερμιονικών βρόχων έναντι των μποζονικών βρόχων. Αν η SUSY ήταν ακριβής, τότε βρίσκουμε π.χ. ότι η μάζα του ηλεκτρονίου πρέπει να είναι ίση με τη μάζα του selectron \tilde{e} που έχει spin 0, δηλαδή $m_e = m_{\tilde{e}} \approx 0,5 \text{ MeV}$, και όλους τους άλλους κβαντικούς αριθμούς, ηλεκτρικό φορτίο, ασθενές isospin κ.λπ., ακριβώς τους ίδιους. Δυστυχώς όμως δεν υπάρχουν μποζόνια με τους κβαντικούς αριθμούς του ηλεκτρονίου και μάζα $0,5 \text{ MeV}$, άρα, πολύ απλά, λέμε ότι η SUSY πρέπει να είναι «σπασμένη».

Πώς μπορούμε όμως να προσδιορίσουμε το μέγεθος του «σπασίματος» μιας συμμετρίας της SUSY που δεν ξέρουμε αν υπάρχει; Από τις έμμεσες συνέπειές της. Μια υπερσυμμετρική κβαντική θεωρία πεδίου έχει εξαιρετικές συμμετρικές ιδιότητες που «δαμάζουν» τις κβαντικές διορθώσεις/διακυμάνσεις μέσω της ακυρώσεως/διαγραφής (cancellation) των «βρόχων»

των φερμιονίων (-) από τους «βρόχους» των μποζονίων (+), όπως εξηγήσαμε πριν. Μάλιστα, αν η SUSY είναι ακριβής, οι κβαντικές διορθώσεις εξαφανίζονται σχεδόν ολοσχερώς και βρίσκονται υπό «έλεγχο» ακόμη και όταν η ύπερσυμμετρία «σπάσει».

Έδω βρίσκεται η μεγάλη άξια της ύπερσυμμετρίας, που ίσως αποτελέσει και τον συνδετικό κρίκο μεταξύ των ύπερψηλών ενεργειών ($E \sim T \sim 10^{16}$ GeV) που χαρακτηρίζουν την αρχή του σύμπαντος και τον κοσμολογικό πληθωρισμό, και των «χαμηλών ενεργειών» ($E \sim 10^{4-5}$ GeV) που χαρακτηρίζουν τους επιταχυντές μας, όπως ο Large Hadron Collider (LHC) ή Μεγάλος Άδρονικός Επιταχυντής. Πώς όμως επιτυγχάνεται αυτή η σύνδεση; Οι κβαντικές διορθώσεις στη μάζα του σωματιδίου του Higgs, που βρέθηκε το 2012 στον LHC με μάζα $m_h \approx 125$ GeV, στην περίπτωση μη ύπερσυμμετρικών θεωριών φτάνουν στην τάξη του $\delta m_h \approx 10^{15}$ GeV, δηλαδή είναι ολέθριες και καταστροφικές και δυναμιτίζουν το καθιερωμένο πρότυπο. Αυτό είναι το περίφημο *gauge hierarchy problem* (πρόβλημα της ιεραρχίας βαθμίδος). Στην περίπτωση των θεωριών SUSY, λόγω της ακύρωσης/διαγραφής (cancellation) των φερμιονικών από τους μποζονικούς «βρόχους», ακόμη και στην περίπτωση «σπασμένης» ύπερσυμμετρίας, με μάζα «σπασίματος» M_{SUSY} , οι κβαντικές διορθώσεις στη μάζα του Higgs υπολογίζονται ως:

$$M_B^2 - M_F^2 \equiv M_{SUSY}^2 \rightarrow \delta m_{Higgs} = \partial(\alpha) M_{SUSY} \quad (8),$$

όπου M_{BF} είναι οι μάζες των μποζονίων και φερμιονίων που βρίσκονται στην ίδια ύπερπολλαπλότητα, και α κάποια σταθερά της τάξεως ∂ ($1/20$) που εξαρτάται από τις διάφορες σταθερές συζεύξεως των αλληλεπιδράσεων (ηλεκτρασθενείς, Yukawa...). Άρα βλέπουμε ότι, αν θέλουμε να λύσουμε το πρόβλημα της ιεραρχίας βαθμίδος, δηλαδή το πώς να σταθεροποιήσουμε, ενάντια στην αποσταθεροποίηση που προκαλούν οι κβαντικές διορθώσεις/διακυμάνσεις στη μάζα $M_{EW} \approx \partial(1 \text{ TeV})$, ή οποία χαρακτηρίζει τις ηλεκτρασθενείς αλληλεπιδράσεις σχετικά με τη $M_{Pl} \approx \partial(10^{19} \text{ GeV})$, τότε, όπως υπαγορεύει η εξίσωση (8),

$$M_{SUSY} \approx \partial(1 \text{ TeV}) \quad (9).$$

Άρα, επιλύοντας ένα πολύ μεγάλο πρόβλημα, αυτό της σταθεροποιημένης ιεραρχίας των διαφόρων χαρακτηριστικών μαζών της θεωρίας μας, μπορούμε να προβλέψουμε ότι το «σπάσιμο» της SUSY πρέπει να είναι

$\partial(1\text{TeV})$, που σημαίνει ότι ο θαυμαστός καινούριος κόσμος της υπερσυμμετρίας, δηλαδή τα υπερσωματίδια (superparticles), αν υπάρχουν, πρέπει να ανακαλυφθούν από τον LHC, που η όλική του ενέργεια θα φτάσει τα 14 TeV! Πρέπει να τονιστεί ότι η ανακάλυψη σωματιδίου Higgs με μάζα $m_h \approx 125\text{ GeV}$ στον LHC ήταν μια από τις πολλές προβλέψεις των υπερσυμμετρικών θεωριών που επαληθεύτηκε, όπως επίσης η ένοποίηση όλων των βασικών δυνάμεων (ηλεκτρασθενών και ισχυρών) σε πολύ υψηλές ενέργειες $E \approx \partial(10^{16}\text{ GeV})$, αλλά και ο κβαντικός μηχανισμός που πυροδοτεί το «σπάσιμο» της ηλεκτρασθενοῦς συμμετρίας [βλ. εξίσωση (4)], δηλαδή μια «μικροσκοπική» εξήγηση του μηχανισμού Higgs [3]. Αυτός ο «κβαντικός» μηχανισμός Higgs απαιτεί ένα πολύ βαρύ top quark, $m_t \approx (160-180)\text{ GeV}$, μια πρόβλεψη που έγινε στις αρχές του '80 [4], για να επαληθευτεί περίτρανα το 1996 στο Fermilab, όπου ανακαλύφθηκε το top quark με μάζα $m_t \approx (173-174)\text{ GeV}$! Επιπροσθέτως, ένας γραμμικός συνδυασμός, ο «ελαφρύτερος» των υπερσυμμετρικών όμολόγων των Z^0 , γ , $h_{1,2}^0$ (Z-boson, φωτόνιο και σωματίδια του Higgs), το λεγόμενο neutralino (ουδέτερινο), το οποίο προτεινάμε το 1983 [5], θεωρείται σήμερα το κύριο συστατικό της Σκοτεινής Ύλης, δηλαδή του περίπου 24% του σύμπαντος. Η υπερσυμμετρία λοιπόν ξεκάθαρα λύνει προβλήματα και γι' αυτό θεωρείται η πιο πιθανή επέκταση του καθιερωμένου προτύπου.

Μην ξεχνάμε επίσης ότι η υπερσυμμετρία είναι εκ των ὄντων οὐκ ἄνευ της θεωρίας των υπερχορδῶν (Superstrings), όπου το ὑπέρ (super) προέρχεται από την υπερσυμμετρία.

Έχοντας κατανοήσει τις βασικές αρχές της υπερσυμμετρίας, δὲν εἶναι δύσκολο να καταλάβουμε τώρα τη μᾶλλον δραστική πρόταση το 1981 [2] ότι ο κοσμολογικός πληθωρισμός «κραυγάζει» για την «υπερσυμμετρία». Πράγματι, όλα τα μεγάλα προβλήματα (i), (ii) και (iii) του μη υπερσυμμετρικού πληθωρισμοῦ, στα ὁποῖα αναφερθήκαμε παραπάνω, λύνονται τώρα αυτόματα ὡς ἑξῆς:

i) Ἡ ὁμάδα ENOT (J. Ellis, D. V. Nanopoulos, K. A. Olive, K. Tamvakis) υποστήριξε για πρώτη φορά ότι το inflaton δὲν πρέπει να ταυτοποιηθεῖ με το GUT-Higgs, ἀλλὰ ἀπλῶς να εἶναι μονό (singlet), δηλαδή να μὴ ἔχει κβαντικούς ἀριθμούς ἐν σχέσει τουλάχιστον με το καθιερωμένο πρότυπο και να μὴ ἐμπλέκεται στην πυροδότηση του «σπασίματος» $\text{GUT} \rightarrow \text{SU}(3) \times \text{SU}(2) \times \text{U}(1)$. Ἐτσι δὲν ὑπάρχει ἀποχρῶν λόγος το inflaton να «χάσει» τὸν δρόμο του και να μὴ ὀδηγήσει σε κοσμολογικό πληθωρισμό.

ii) Οί υπερσυμμετρικές κβαντικές διορθώσεις είναι ελεγχόμενες και «μικρές» σε μέγεθος, όπως αρμόζει σε μια αυτόσυνεπή θεωρία. Έξάλλου ως μη διαφύγει τής προσοχής μας ότι η χαρακτηριστική ενέργεια στην οποία συμβαίνει ο κοσμολογικός πληθωρισμός είναι $\partial(10^{13}-10^{15})$ GeV, δηλαδή τουλάχιστον 10 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από εκεί που «σπάει» η υπερσυμμετρία, ήτοι $\partial(1 \text{ TeV})$ [βλ. εξίσωση (9)], επομένως πρακτικά η υπερσυμμετρία συμπεριφέρεται σαν να είναι ακριβής, άρα οί κβαντικές διορθώσεις/διακυμάνσεις είναι απολύτως ελέγξιμες.

iii) Άμεση απόρροια τής ii) είναι ότι οί κβαντικές διορθώσεις/διακυμάνσεις τής ενεργειακής πυκνότητας του inflaton [βλ. εξισώσεις (6), (7)], όπως έδειξε η ομάδα ENOT το 1981 [2], είναι φυσιολογικά μικρές, τής τάξεως 10^{-5} , σε πλήρη συμφωνία με τις παρατηρήσεις. Πρέπει να τονιστεί ότι, σύμφωνα με την εξίσωση (7): $\frac{H_{INF}}{2\pi M_{Pl}} \approx 10^{-5}$ και άρα μέσω τής εξίσωσης (1),

$$H_{INF}^2 \sim \frac{\rho}{M_{Pl}^2} = \frac{V_{INF}}{M_{Pl}^2} \quad (10)$$

το δυναμικό (ή δυναμική ενέργεια) V_{INF} του inflaton πρέπει να είναι όχι μόνο σχεδόν ισόπεδο αλλά και σχετικά μικρό $V_{INF} \sim 10^{-10} (M_{Pl})^4$, που προσδιορίζει ότι $m_{INF} \ll M_{Pl}$, δηλαδή ένα άλλο ιεραρχικό πρόβλημα στην κλίμακα των μαζών. Βέβαια η υπερσυμμετρία, όπως και στην περίπτωση του ηλεκτρασθενοῦς ιεραρχικοῦ προβλήματος τής κλίμακας των μαζών ($M_{EW} \approx \partial(1 \text{ TeV}) \ll M_{Pl}$), ἐπιλύει και το ιεραρχικό πρόβλημα τής κλίμακας μαζών του κοσμολογικοῦ πληθωρισμοῦ ($m_{INF} \sim 10^{-5} M_{Pl} \ll M_{Pl}$). Άρα η υπερσυμμετρία φαίνεται να είναι θεμελιώδες συστατικό ἑνός συνεποῦς κοσμολογικοῦ πληθωριστικοῦ προτύπου (model).

Άς δεχτοῦμε λοιπὸν τὴν ἄποψη ὅτι «ὁ κοσμολογικὸς πληθωρισμὸς “κραυγάζει” γιὰ τὴν υπερσυμμετρία», ὑπὸ τὴν ἔννοια ὅτι ἀπαιτεῖ ἐνεργειακὲς κλίμακες ποὺ εἶναι ιεραρχικὰ μικρότερες ἀπὸ τὴν κλίμακα Planck (M_{Pl}), δηλαδή $m_{INF} \ll M_{Pl}$, καὶ/ἢ συντελεστὲς αὐτο-συζεύξεως τοῦ inflaton ποὺ εἶναι πολὺ μικρότεροι τῆς μονάδος $\ll \partial$ (1).

Ἐπειδὴ ἡ κοσμολογία ἀναγκαστικὰ συμπεριλαμβάνει τὴ βαρύτητα, εἶναι ἀπολύτως φυσικὸ καὶ ἀναγκαῖο νὰ θεωρήσουμε τὸν κοσμολογικὸ πληθωρισμὸ στὸ πλαίσιο τῆς τοπικῆς υπερσυμμετρίας (local supersymmetry), μεῖ ἄλλα λόγια στὸ πλαίσιο τῆς ὑπερβαρύτητας (supergravity) ἢ SUGRA. Αὐτὴ ἡ φυσικὴ ἀπαίτηση ἀποδεικνύεται ἀρκετὰ πολὺπλοκὴ καὶ δύσκολη

στην υλοποίησή της λόγω του γεγονότος ότι μια γενική-τυπική υπερβαρύτητα δεν μπορεί να φιλοξενήσει ένα κατάλληλο πληθωριστικό δυναμικό V_{INF} , το οποίο μεταβάλλεται πάρα πολύ αργά για ένα μεγάλο εύρος τιμών του inflaton.

Υπάρχει όμως μια μοναδική θεωρία της υπερβαρύτητας, όπου το πρόβλημα αυτό επιλύεται αυτόματα. Είναι η no-scale supergravity (μη κλιμακούμενη υπερβαρύτητα) [3], την οποία ανακαλύψαμε μαζί με τους E. Cremmer, S. Ferrara και K. Kounnã το 1983 στο CERN [6], και η οποία δίνει αυτόματα ισόπεδο δυναμικό στην κλασική προσέγγιση. Κατ' αρχάς ονομάζεται no-scale [7] διότι η κλίμακα στην οποία «σπάει» η υπερσυμμετρία (SUSY) παραμένει άπροσδιόριστη σε πρώτη προσέγγιση (ή, όπως λέμε, στην κλασική προσέγγιση) και η ενεργειακή κλίμακα που χαρακτηρίζει το V_{INFL} μπορεί, έντελως φυσικά, να είναι πολύ πολύ μικρότερη από την κλίμακα Planck (10^{19} GeV), όπως απαιτούν τα πειραματικά δεδομένα από τη μελέτη της κοσμικής μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου (Cosmic Microwave Background Radiation ή CMBR).

Πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα το γεγονός ότι όλες οι πολύ έλκυστικές ιδιότητες που αναδεικνύονται από την εφαρμογή του πλαισίου της no-scale SUGRA στον κοσμολογικό πληθωρισμό δεν έχουν υπερευαίσθητη εξάρτηση στην κλίμακα «σπασίματος» της υπερσυμμετρίας, που θα μπορούσε να κείττει όπουδήποτε μεταξύ του πειραματικού κατώτατου όριου $\sim \mathcal{O}(1 \text{ TeV})$ από τον LHC και $\sim 10^{10}$ TeV από το ανώτερο όριο του $\Gamma \equiv \frac{A_{\text{tens}}}{A_{\text{scal}}}$, όπου $A_{\text{tens,scal}}$ είναι τα πλάτη των αντίστοιχων διαταραχών (Tensor, Scalar) στη CMBR, όπως έχουν μετρηθεί από το διαστημικό τηλεσκόπιο PLANCK [8].

Η no-scale supergravity έχει την επιπρόσθετη πολύ έλκυστική ιδιότητα ότι εμφανίζεται/πηγάζει/προέρχεται από γενικές/τυπικές τετραδιάστατες αναδιπλώσεις των (έν)δεκαδιάστατων υπερχορδών [9], ανοίγοντας έτσι ένα περίφημο «παράθυρο ευκαιρίας» να μελετήσουμε τη θεωρία υπερχορδών μέσω της no-scale supergravity από τον κοσμολογικό πληθωρισμό μέχρι τον LHC.

Πρόσφατα, μαζί με τον John Ellis και τον Keith Olive, ανακαλύψαμε μια πολύ ενδιαφέρουσα ιδιότητα της no-scale supergravity, όταν, προσπαθώντας να φτιάξουμε ένα κοσμολογικό πληθωριστικό πρότυπο που να ικανοποιεί όλα τα τελευταία παρατηρησιακά δεδομένα από το διαστημικό

τηλεσκόπιο PLANCK, άποδείξαμε [10] ότι τα τύπου Starobinsky [11] πληθωριστικά πρότυπα δέν είναι παρά avatars τής no-scale supergravity [12]!

Ό Starobinsky θεώρησε τδ 1980 μιά γενίκευση τής Einstein – Hilbert «Δράσεως» (Action) S, πδ περιέχει, έπιπλέον τής «βαθμωτής καμπυλότητας» (scalar curvature) R, τδν όρο R². Συμβολικά άναφέρεται ως θεωρία R+R²:

$$S = \frac{1}{2} \int d^4 x \sqrt{-g} (R + \alpha R^2) \quad (11),$$

όπου M << M_{Pl} είναι κάποια χαρακτηριστική μάζα. Μπορεί τώρα νά δείξει κανείς ότι ή θεωρία R+R² (11) είναι σύμμορφα (conformal) ισοδύναμη ως πρδς μιά θεωρία πδ συνδυάζει μιά κανονική Einstein-βαρύτητα R με ένα βαθμωτό (scalar) πεδίο φ, περιγραφόμενη άπδ

$$S = \frac{1}{2} \int d^4 x \sqrt{-g} [(1+2\alpha\varphi)R - \alpha\varphi^2] \quad (12),$$

όπως εύκολα βρίσκει κανείς άν χρησιμοποιήσει τις έξισώσεις Lagrange για τδ πεδίο φ στή (12). Χρησιμοποιώντας τώρα τδν Weyl μετασχηματισμό g_{μν}=(1+2αφ)g_{μν}, ή έξίσωση (12) μετατρέπεται σέ

$$S = \frac{1}{2} \int d^4 x \sqrt{-g} \left[R + \frac{6\alpha^2 \theta^\mu \varphi \theta_\mu \varphi}{(1+2\alpha\varphi)^2} - \frac{\alpha\varphi^2}{(1+2\alpha\varphi)^2} \right] \quad (13).$$

Άκολούθως, χρησιμοποιώντας τδν μετασχηματισμό

$$\varphi' = \sqrt{\frac{3}{2}} \ln \left(1 + \frac{\varphi}{3M^2} \right)$$

με α=1/6M², καταφέρνουμε νά βροῦμε μιά «δράση» S, πδ περιέχει τδν κανονικό κινητικό όρο για τδ βαρυτικό πεδίο g_{μν}, δηλαδή τδ R, και για τδ βαθμωτό πεδίο φ

$$S = \frac{1}{2} \int d^4 x \sqrt{-g} \left[\bar{R} + (\theta_\mu \varphi')^2 - \frac{3}{2} M^2 (1 - e^{-\sqrt{\frac{2}{3}} \varphi'})^2 \right] \quad (14),$$

και όπου τδ βαθμωτό δυναμικό V=V(φ') παίρνει τή μορφή

$$V = \frac{3}{4} M^2 (1 - e^{-\sqrt{\frac{2}{3}} \varphi'})^2 \quad (15).$$

Είναι ιδιαίτερα άξιοσημείωτο τδ γεγονός ότι τδ φάσμα τδν διαταραχδν τής κοσμολογικής ένεργειακής πυκνότητας, όπως ύπολογίζονται

από την (11) ή τις (14) και (15), είναι σε *έξαιρετική συμφωνία* με τα πιο πρόσφατα πειραματικά δεδομένα από το διαστημικό τηλεσκόπιο PLANCK [8], που αφορούν τις διακυμάνσεις της κοσμολογικής μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου. Με άλλα λόγια, η θεωρία $R+R^2$ επαληθεύεται σε σημαντικό βαθμό από τα τρέχοντα πειραματικά δεδομένα. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει ένα μεγάλο πρόβλημα ως προς την προέλευση αυτής της θεωρίας $R+R^2$. Η κλασική θεωρία βαρύτητας δεν επιδέχεται τη «συνηθισμένη» κβάντωση και άρα όροι σαν τη R^2 και γενικότερα R^n , $n=2\dots$ είναι μάλλον καταστροφικοί ως προς τη σταθερότητα (stability) της όλης θεωρίας και ad hoc.

Η μόνη γνωστή σήμερα θεωρία που δίνει μια (αυτό)συνεπή θεωρία της κβαντικής βαρύτητας είναι, όπως ήδη αναφέραμε (σ. 21), η θεωρία των υπερχορδών, που επίσης οδηγεί σε *ένοποίηση όλων των δυνάμεων* στη φύση, συμπεριλαμβανομένης της βαρύτητας. Η χαρακτηριστική κλίμακα μάζας των υπερχορδών $M_{\text{string}} \approx \partial(10^{18} \text{ GeV})$ είναι πολύ κοντά στη μάζα του Planck $M_{\text{Pl}} \approx \partial(10^{19} \text{ GeV})$, που σημαίνει ότι η θεωρία των υπερχορδών είναι κατάλληλη θεωρία/πλαίσιο για να μελετήσουμε την αρχή του σύμπαντος.

Συγκεκριμένα, ο κοσμολογικός πληθωρισμός, όπως είδαμε πιο πριν, συμβαίνει σε *ενέργειες/θερμοκρασίες* $\sim \partial(10^{13}-10^{15}) \text{ GeV}$, δηλαδή *ιεραρχικά μικρότερες* από την κλίμακα μάζας των υπερχορδών, $M_{\text{string}} \sim \partial(10^{18}) \text{ GeV}$. Άρα είναι *έφαρμόσιμη* ή *προσεγγιστική* θεωρία των υπερχορδών σε «χαμηλές» *ενέργειες* ($10^{13}-10^{15}) \text{ GeV}$, που δεν είναι τίποτε άλλο παρά η no-scale supergravity [3,9]. Άς δοῦμε λοιπόν τώρα πώς, χρησιμοποιώντας το (αυτό) *συνεπές*, ως προερχόμενο από τη θεωρία των υπερχορδών, πλαίσιο της no-scale supergravity, *αναδεικνύουμε* τη θεωρία του Starobinsky $R+R^2$. Όπως τονίσαμε και πιο πάνω, η θεωρία του πληθωρισμού $R+R^2$ δρᾷ σαν avatar του no-scale SUGRA πληθωριστικοῦ προτύπου.

Κατ' αρχάς, ἄς συζητήσουμε το βασικό, σχετικά με το θέμα μας, πλαίσιο, δηλαδή τη μορφή που παίρνουν οί κινητικοί όροι και το *ένεργό* (effective) δυναμικό $V=V_{(\varphi)}$ των βαθμωτών (scalar) πεδίων φ στη $N=1$ Supergravity, όπως *έξειδικεύεται* στη no-scale περίπτωσή μας, με *μια μη συμ-*

παγή (non-compact) $\frac{SU(N,1)}{SU(N) \times U(1)}$ *συμμετρία*, όπου $N=1,2\dots$ είναι ο

ἀριθμός των βαθμωτών (scalar) πεδίων φ . Ο βαθμωτός (scalar) *τομέας* χαρακτηρίζεται γενικά από *μια Hermitian Kähler συνάρτηση* K και *ένα ολομορφικό* (ή *αναλυτικό*) *υπερδυναμικό* (superpotential) W , μέσω του *συνδυασμοῦ* $G=K+\ln W+\ln W^*$. Ο *κινητικός όρος* δίνεται από την $K_j^{j*} \partial_\mu \varphi^i \partial^\mu \varphi_j^*$,

όπου η μετρική Kähler $K_j^{j*} = \frac{\partial^2 K}{\partial_\mu \varphi_i \partial^\mu \varphi_j^*}$ και το «ένεργό» δυναμικό είναι

$$V = e^G \left[\frac{\partial G}{\partial \varphi^i} K_j^i \frac{\partial G}{\partial \varphi_j^*} - 3 \right] \quad (16).$$

Στη μινιμαλιστική no-scale $\frac{SU(2,1)}{SU(2) \times U(1)}$ περίπτωση, υπάρχουν δύο μιγαδικά πεδία: το πεδίο-«μέτρον» (modulus) T και το φ , το όποιο, προς το παρόν, ταυτοποιούμε με το inflaton, και με συνάρτηση Kähler:

$$K = -3 \ln \left(T + T^* - \frac{l\varphi l^2}{3} \right) \quad (17).$$

Σε μια τέτοια περίπτωση, οι κινητικοί όροι για τα βαθμωτά πεδία T και φ δίδονται από

$$\mathcal{L}_{KE} = (\partial_\mu \varphi^*, \partial_\mu T^*) \begin{pmatrix} 3 \\ (T + T^* - |\varphi|^2/3)^2 \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$\begin{pmatrix} (T + T^*)/3 & -\varphi/3 \\ -\varphi^*/3 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \partial^\mu \varphi \\ \partial^\mu T \end{pmatrix},$$

και το ένεργό δυναμικό από

$$V = \frac{\hat{V}}{(T + T^* - |\varphi|^2/3)^2} : \hat{V} \equiv \left| \frac{\partial W}{\partial \varphi} \right|^2 \quad (19).$$

Προς το παρόν, θεωρούμε ότι το πεδίο T έχει μια άναμενόμενη τιμή κενού (vacuum expectation value, ή v. e. v.) $2\langle \text{Re}T \rangle = c$ και $\langle \text{Im}T \rangle = 0$, που προσδιορίζονται από μια μη διαταρακτική (non-perturbative) δυναμική στις ύψηλές ενέργειες, κοντά στη M_{string} , όπως πρώτοι προτείναμε, το 1984, με τον John Ellis και τον Κώστα Κουνιά [13]. Σε αυτή την περίπτωση, αγνοώντας την κινητική ανάμειξη μεταξύ T και Φ στη (18), μένουμε με την ακόλουθη ένεργη Lagrangian για το πεδίο inflaton φ :

$$\mathcal{L}_{\text{eff}} = \frac{c}{(c - |\varphi|^2/3)^2} \left| \partial_\mu \varphi \right|^2 - \frac{\hat{V}}{(c - |\varphi|^2/3)^2} \quad (20).$$

Θεωρούμε το πιό άπλο υπερδυναμικό (superpotential) W

$$W = \frac{\hat{\mu}}{2} \Phi^2 - \frac{\lambda}{3} \Phi^3 \quad (21),$$

που πρωτογράφηκε από τους Wess και Zumino. Αν χρησιμοποιήσουμε τώρα τον μετασχηματισμό

$$\varphi = \sqrt{3c} \tanh \left(\frac{\chi}{\sqrt{3}} \right) \quad (22),$$

ή Lagrangian γίνεται

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{eff} = \operatorname{sech}^2 \left((\chi - \chi^*) / \sqrt{3} \right) & \left[|\partial_\mu \chi|^2 - \right. \\ \left. \left(\frac{3}{c} \right) \left| \sinh(\chi / \sqrt{3}) \left(\hat{\mu} \cosh(\chi / \sqrt{3}) - \sqrt{3c\lambda} \sinh(\chi / \sqrt{3}) \right) \right|^2 \right] \end{aligned} \quad (23)$$

καί, αν ορίσουμε $\hat{\mu} \equiv \mu\sqrt{c/3}$, το δυναμικό γίνεται

$$V = \mu^2 \left| \sinh(\chi / \sqrt{3}) \left(\cosh(\chi / \sqrt{3}) - \frac{3\lambda}{\mu} \sinh(\chi / \sqrt{3}) \right) \right|^2 \quad (24).$$

Γράφοντας $x = \frac{x+iy}{\sqrt{2}}$ και παίρνοντας την ειδική περίπτωση $\lambda = \mu/3$ (σε μονάδες Planck), έχουμε

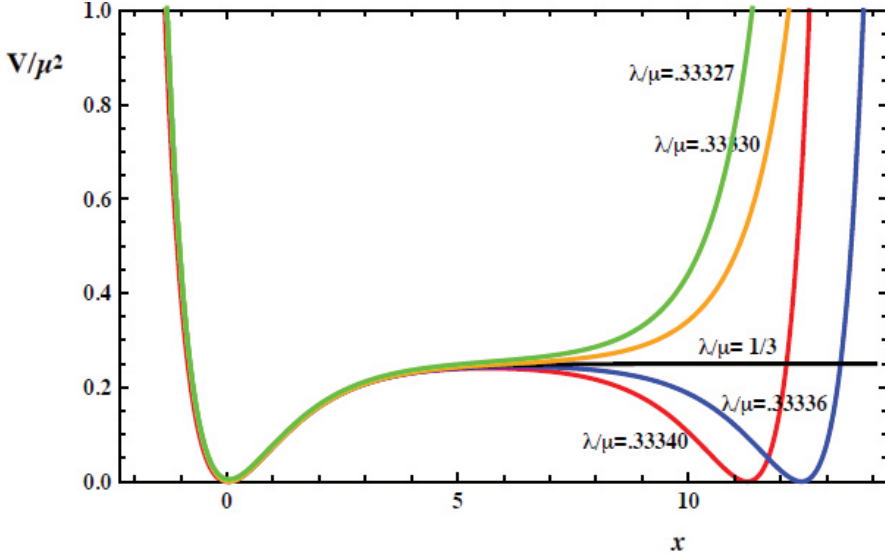
$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{eff} = \frac{1}{2} \operatorname{sech}^2(\sqrt{2/3}y) & \left((\partial_\mu x)^2 + (\partial_\mu y)^2 \right) - \\ \mu^2 \frac{e^{-\sqrt{2/3}x}}{2} \operatorname{sech}^2(\sqrt{2/3}y) & \left(\cosh \sqrt{2/3}x - \cos \sqrt{2/3}y \right) \end{aligned} \quad (25).$$

Το Im μέρος του inflaton y προσδιορίζεται από το δυναμικό να είναι μηδέν: $y=0$, ενώ η μάζα του $m_y = \mu/\sqrt{3}$ κατά τη διάρκεια του πληθωρισμού όταν το Re του inflaton x είναι μεγάλο και $m_y = \mu/\sqrt{6}$ στο τέλος του πληθωρισμού, όταν $x=0$. Όθεν, αναπτύσσουμε τη Lagrangian [βλ. εξίσωση (25)] γύρω από το $y=0$, οπότε έχουμε κανονικούς κινητικούς όρους για το x και το y , συνοδευόμενους από αλληλεπιδράσεις που περιέχουν «παραγώγους» των πεδίων αυτών. Το δυναμικό V για το Re του inflaton x παίρνει τη μορφή

$$V = \mu^2 e^{-\sqrt{2/3}x} \sinh^2(x/\sqrt{6}) \quad (26).$$

Όπως βλέπουμε, το δυναμικό αυτό είναι ταυτόσημο (identical) με το δυναμικό Starobinsky [βλ. εξίσωση (15)]! Επιπλέον, έχουμε την ταυτοποίηση $M^2 = \frac{\mu^2}{3} = \hat{\mu}^2$ για $c = \langle T+T^* \rangle = 1$, δηλαδή δίνουμε μια «μικρο-

σκοπική» έρμηνεία στην αυθαίρετη μάζα M που εισήγαγε ο Starobinsky, που δέν είναι τίποτε άλλο από την inflaton μάζα [βλ. εξίσωση (24)]. Το δυναμικό (26) απεικονίζεται στην εικόνα 3, όπου επίσης παρουσιάζεται το



Εικόνα 3: Το δυναμικό V στο no-scale πληθωριστικό πρότυπο, για τιμές του $\lambda \sim \frac{\mu}{3}$ σε μονάδες Planck.

δυναμικό για διάφορες τιμές του λ_i ελαφρά μεταβαλλόμενες από την «ονομαστική» (nominal) τιμή της $\mu/3$. Η ταυτοποίηση του no-scale supergravity δυναμικού, στο πλαίσιο που αναπτύχθηκε πιο πάνω με το δυναμικό Starobinsky, είναι το πιο κεντρικό, βασικό στοιχείο αυτής της διάλεξης. Ο λόγος πρέπει να είναι μάλλον φανερός τώρα: Το no-scale πληθωριστικό δυναμικό πηγάζει από μια ολοκληρωμένη, αυτοσυνεπή θεωρία που συνδέει τον «πάνω» κόσμο ($E \sim M_p$) με τον «κάτω κόσμο» ($E \sim \partial(\text{TeV})$), πολύ πετυχημένη στη μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων, που τώρα κατορθώσαμε να τη συνδέσουμε με τον κοσμολογικό πληθωρισμό, μέσω των εξισώσεων (15) και (26). Άς δούμε τώρα που βρισκόμαστε από απόψεως παρατηρήσεων/πειραματικών δεδομένων και πώς ο κοσμολογικός πληθωρισμός της no-scale supergravity («έξηγεϊ») όλα τα πειραματικά δεδομένα και είναι πολύ συνεπής με αυτά.

Με το πείραμα COBE στις αρχές τής δεκαετίας του 1990 [14], η κοσμολογία εισήλθε πλέον στη «χρυσή» εποχή της, που χαρακτηρίζεται όχι μόνο από πληθώρα πληροφοριών αλλά και από μετρήσεις ύψηλης ακρίβειας. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις των ανισοτροπιών τής CMBR από το COBE, WMAP [15], και στις μέρες μας από το PLANCK [8], έχουν γίνει όλο και πιο ακριβείς: Το πλάτος A_s και ο φασματικός δείκτης n_s του φάσματος ισχύος (power spectrum) των κοσμολογικών αρχέγονων αδιαβατικών διαταραχών [primordial adiabatic (or iso-curvature) perturbations] μετρήθηκαν από το δορυφορικό τηλεσκόπιο PLANCK [8] ως

$$A_s = (2.19 \pm 0.06) \cdot 10^{-9} \quad (27)$$

και

$$n_s = 0.9653 \pm 0.0048 \quad (28).$$

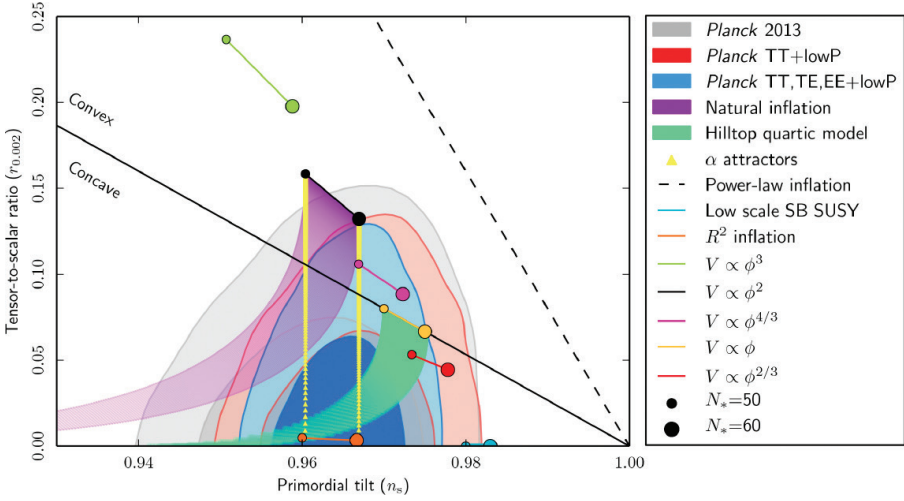
Προσφάτως, σε μια κοινή εργασία μεταξύ PLANCK και BICEP2 [16], ο λόγος r , όπου A_T είναι το πλάτος των ταυστικών (tensor) διαταραχών, αποδιδόμενος στην ύπαρξη κβαντικών βαρυτικών διαταραχών ή βαρυτικών κυμάτων κατά τη διάρκεια του κοσμολογικού πληθωρισμού, είναι:

$$r \equiv \frac{A_T}{A_S} < 0.08 \quad (95\% \text{ c.l.}) \quad (29).$$

Προηγούμενες παρατηρήσεις (κβαντικών) βαρυτικών κυμάτων υπό μορφή B -τύπου πολώσεως στην κοσμική μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου, από το πείραμα BICEP2 [17], που έδιναν $r \approx (0.15-2)$, φαίνονται να οφείλονται σε γαλακτική σκόνη.

Είναι άκρως ενθαρρυντικό ότι όλα τα πρόσφατα πειραματικά δεδομένα [(27), (28) και (29)] είναι όχι μόνο σθεναρά υπέρ τής *no-scale-R²-inflation*, αλλά και απορρίπτουν σχεδόν όλα τα άλλα συζητήσεων πληθωριστικά πρότυπα. Συγκεκριμένα, στην εργασία (paper) τής ομάδας PLANCK που κυκλοφόρησε πρόσφατα [18], στη σ. 18, αναφέρεται verbatim: «*-R²-inflation has the strongest evidence among all models considered here*» [‘Ο R^2 πληθωρισμός έχει την ισχυρότερη (πειραματική) ένδειξη (επαλήθευση) από όλα τα πρότυπα που θεωρήσαμε εδώ]. Αυτό εξάλλου φαίνεται στην εικόνα 4 παρακάτω, που προέρχεται από την προαναφερθείσα πρόσφατη εργασία τής ομάδας PLANCK και μάς δείχνει τα πειραματικά δεδομένα στο επίπεδο $(r-n_s)$, όπου η R^2 -inflation είναι στο κέντρο των πειραματικών τιμών.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι υπάρχει μια μεγάλη ειδοποιός διαφορά μεταξύ τής *no-scale-R²-inflation* και τής τύπου Starobinsky R^2 -inflation,



Εικόνα 4: Περιοχές 68% και 95% c.l. για το n_s και r από το τηλεσκόπιο Planck σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα, συγκρινόμενες με τις θεωρητικές προβλέψεις επιλεγμένων πληθωριστικών προτύπων.

και αυτή είναι ή ύπαρξη ενός αυτοσυνεπούς πλαισίου για την περίπτωση μας (no-scale) που είναι άνυπαρκτο στην άλλη περίπτωση. Αυτό, μεταξύ άλλων, οδηγεί στο αποτέλεσμα ότι στη no-scale- R^2 -inflation ο λόγος r μπορεί να πάρει τιμές που μπορούν να φτάσουν και το τρέχον πάνω όριο του [έξισωση (29)], ενώ στη Starobinsky τύπου R^2 -inflation το r είναι ορισμένο στην τιμή $r = 0.003$. Άλλα υπάρχει και ακόμη κάτι πολύ έλκυστικό.

Μέχρι τώρα χρησιμοποιήσαμε το μινιμαλιστικό no-scale $\frac{SU(2,1)}{SU(2) \times U(1)}$ δυναμικό Kähler [βλ. εξίσωση (17)], γιατί εξυπηρετούσε ακριβώς τους σκοπούς μας, δηλαδή την κατασκευή ενός κοσμολογικού προτύπου που να ικανοποιεί όλα τα πειραματικά δεδομένα, δηλαδή no-scale- R^2 -inflation. Άλλα το σύμπαν μας δεν περιέχει μόνο δύο πεδία/σωματίδια, το modulus T και το inflaton φ περιέχει τουλάχιστον όλα τα πεδία/σωματίδια του Minimal Supersymmetric Standard Model (MSSM). Σε αυτή την περίπτωση ή εξίσωση (17) γενικεύεται ως

$$K = -3\ln(T+T^* - |\varphi|^2/3 + \dots) \quad (30)$$

ή

$$K = -3\ln(1 - |y_1|^2/3 - |y_2|^2/3 - \dots) \quad (31).$$

Στόν πρώτο φορμαλισμό [βλ. εξίσωση (30)], όπως ήδη έχουμε τονίσει, το πεδίο T αναπαριστά το string modulus και το πεδίο φ κάποιο γενικό πεδίο ύλης, ενώ στόν δεύτερο φορμαλισμό [βλ. εξίσωση (31)] και τὰ δύο πεδία $y_{1,2}$ μπορούν νὰ εἶναι πεδία ύλης, π.χ. τοῦ MSSM. Χρησιμοποιώντας τὸν δεύτερο φορμαλισμό [εξίσωση (31)], τὸ ὑπερδυναμικὸ (superpotential) W [βλ. εξίσωση (21)] μετασχηματίζεται στὸ ὑπερδυναμικὸ

$$W = M \left[\frac{y_1^2}{2} \left(1 + \frac{y_2}{\sqrt{3}} \right) - \frac{y_1^3}{3\sqrt{3}} \right] \quad (32).$$

Τὸ κεντρικὸ καὶ καίριο ἐρώτημα τώρα εἶναι κατὰ πόσον εἶναι δυνατὸν νὰ ταυτοποιήσουμε τὸ inflaton πεδίο y_1 [βλ. εξίσωση (31)] μὲ κάποιο πεδίο ἀπὸ αὐτὰ τοῦ MSSM. Εἶναι ξεκάθαρο ἀπὸ τὴ μορφή τοῦ W [βλ. εξίσωση (32)] ὅτι τὸ πεδίο y_1 πρέπει νὰ μὴν «κουβαλάει» («βαντικούς ἀριθμούς») τοῦ MSSM, δηλαδή νὰ εἶναι ἓνα MSSM «μονό» (singlet) πεδίο. Ἡ πιὸ μινιμαλιστικὴ δυνατότητα εἶναι νὰ ταυτοποιήσουμε τὸ πεδίο inflaton μὲ ἓνα γραμμικὸ συνδυασμὸ ἀπὸ τὰ τρία μονὰ (singlets) right-handed (R_H) νετρίνα, στή μινιμαλιστικὴ τύπου I seesaw-(τραμπάλα) ἐπέκταση τοῦ MSSM, δηλαδή τὸ ἐλαφρύτερο «μονό» (singlet)-sneutrino, ἥτοι τὸ super-partner, spin 0, τοῦ R_H «μονοῦ»/(singlet)νετρίνου. Θὰ πρέπει ὅμως τώρα νὰ προσθέσουμε στὸ ὑπερδυναμικὸ W [βλ. εξίσωση (32)] ἓναν νέο, τύπου Yukawa ὄρο

$$W_T = \lambda H_2^T L_i y_1 \quad (33),$$

ὅπου H_2 εἶναι ἡ ἴδια διπλέτα (doublet) Higgs ποὺ δίνει μάζα στὰ $Q=2/3$ quarks καὶ ποὺ μιά του συνιστώσα ἀνακαλύφθηκε τὸ 2012 στόν LHC τοῦ CERN, τὸ περίφημο καὶ γνωστὸ σωματίδιο τοῦ Higgs, καὶ L εἶναι μιὰ left-handed («ἀριστερόχειρ» ἢ ἀριστερόστροφη) λεπτονικὴ διπλέτα, ὅπως (ν_e ἢ ν_μ ἢ ν_τ). Τώρα ἂς δοῦμε τίς ἄκρως ἐντυπωσιακὲς συνέπειες μιᾶς τέτοιας ταυτοποίησης, δηλαδή τοῦ inflaton πεδίου y_1 [στὴ βάση τῆς εξίσωσης (31)] μὲ τὸ R_H s-νετρίνο $\bar{\nu}_R$, ἥτοι $y_1 \equiv \bar{\nu}_R$. Εἶναι πράγματι ἐντυπωσιακὸ ὅτι ἡ μάζα M [βλ. εξίσωση (32)], ποὺ, ὅπως εἶδαμε προηγουμένως, εἶναι ἡ μάζα τοῦ πεδίου inflaton, ἐδῶ τοῦ πεδίου y_1 , ἀπαιτεῖται νὰ εἶναι $M \sim \mathcal{O}(10^{13} \text{ GeV})$ γιὰ νὰ ἐξηγήσουμε τὸ παρατηρηθὲν ἀπὸ τὸ διαστημικὸ τηλεσκόπιο PLANCK μέγεθος τῶν ἀρχέγονων βαθμωτῶν διαταραχῶν (primordial scalar perturbations) τῆς κοσμικῆς ἐνεργειακῆς πυκνότητας. Αὐτὴ τὴν τιμὴ ὅμως, ἥτοι $M \sim \mathcal{O}(10^{13} \text{ GeV})$, ἀπαιτεῖται νὰ ἔχουν τὰ R_H νετρίνα, καὶ ὅθεν τὰ R_H -s-νετρίνα, ἀπὸ τίς πειραματικῶς παρατηρηθεῖσες μάζες τῶν νετρίνων καὶ τῶν

ἀναμιζεῶν τους $\leq \partial(0.1 \text{ eV})$. Πρέπει νὰ τονιστεῖ ὅτι $M_{\bar{\nu}_R} \approx M_{\nu_R}$, ἐπειδὴ, ὅπως ἐξηγήσαμε, τὸ πρόβλημα βαθμωτῆς ἱεραρχίας ἐπιβάλλει ὅτι ἡ παράμετρος «σπασίματος» τῆς ὑπερσυμμετρίας $M_{SUSY} \approx \partial(1 \text{ TeV}) \ll \ll M_{\bar{\nu}_R} \approx M_{\nu_R} \equiv M_{INFLATON}$. Εἶναι συγκλονιστικὸ ὅτι γιὰ πρώτη φορὰ καταδεικνύεται μιὰ τέτοια συσχέτιση μεταξὺ τοῦ πειραματικὰ παρατηρούμενου μεγέθους τῶν μαζῶν τῶν νετρίνων $\theta(0.1 \text{ eV})$ καὶ τῆς μάζας τοῦ inflaton, ἥτοι τοῦ μεγέθους τῶν παρατηρηθεισῶν ἀρχέγονων βαθμωτῶν διαταραχῶν τῆς κοσμικῆς ἐνεργειακῆς πυκνότητας ἐξαιτίας τῶν ὁποίων δημιουργήθηκαν ὅλες οἱ δομὲς στὸ σύμπαν! Μιὰ πραγματικὰ μεγάλη ἐναρμόνιση τοῦ μικρόκοσμου (μάζες τῶν νετρίνων) καὶ τοῦ μακρόκοσμου (μεγάλες δομὲς στὸ σύμπαν), μέσω τοῦ seesaw-I μηχανισμοῦ, ποὺ ἀπαιτεῖ $M_{\nu_R} \approx \partial(10^{13} \text{ GeV}) \approx M_{\bar{\nu}_R} \equiv M_{INFLATON}$,

$$m_\nu \approx \frac{\lambda < H_2^0 >^2}{M_{INFLATON}} \quad (34),$$

ὅπου χρησιμοποιοῦμε τὴ σχέση (33) καὶ $< H_2^0 >$ εἶναι ἡ ἀναμενόμενη τιμὴ κενοῦ τῆς «διπλέτας» Higgs H_2 .

Ἐπιπλέον, προηγούμενες μελέτες μας μὲ τὸν John Ellis καὶ τὸν Keith Olive γύρω στὸ 1992-1993 [19] ἔδειξαν ὅτι, στὸ πλαίσιο τοῦ superstring-derived (προερχόμενο ἀπὸ τὴ θεωρία τῶν ὑπερχορδῶν) $F-SU(5)$ ἢ flipped $SU(5)$, μποροῦμε νὰ ἐρμηνεύσουμε τὸν λόγο γιὰτὶ $\frac{M_{INF}}{M_{Pl}} \sim (10^{-5})$. Πολὺ ἀπλά, γιὰ κάθε RH-νετρίνο ὑπάρχει ἓνα ἀκόμη «μονό» (singlet), μὲ καθαρὴ προέλευση ἀπὸ τὴ θεωρία τῶν ὑπερχορδῶν, ποὺ, ἂν τὰ ἀναμιζομε, μᾶς δίνουν ἓναν πρῶτο seesaw μηχανισμό, ποὺ περιλαμβάνει τὴν GUT κλίμακα μάζας M_{GUT} , ἥτοι:

$$M_{\bar{\nu}_R} \approx \frac{M_{GUT}^2}{M_{Pl}} = \left(\frac{10^{16}}{10^{19}} \right) 10^{16} \text{ GeV} \approx 10^{13} \text{ GeV} \quad (35),$$

ἥτοι

$$\frac{M_{INF}}{M_{Pl}} \approx \partial(10^{-5})!$$

Ἐπιπλέον, παρατηρήσαμε [19] ὅτι ἡ ὑπαρξὴ RH-νετρίνων μὲ μάζες $\partial(10^{13} \text{ GeV})$ ὀδηγοῦν σὲ πολὺ ἐπιτυχή λεπτογένεση ($\Delta L \neq 0$), ποὺ ἀνακυκλώνεται στὴν ἠλεκτρασθενὴ κλίμακα (1 TeV), σὲ ἐπιτυχή βαρυογένεση ($\Delta B \neq 0$), ἥτοι ἐρμηνεύουμε γιὰτὶ στὸ σύμπαν ἐξαφανίστηκε πρακτικὰ ἡ ἀντιύλη, ποὺ στὴν ἀρχὴ τοῦ σύμπαντος ἦταν ἀκριβῶς ἰσόποση μὲ τὴν ὕλη,

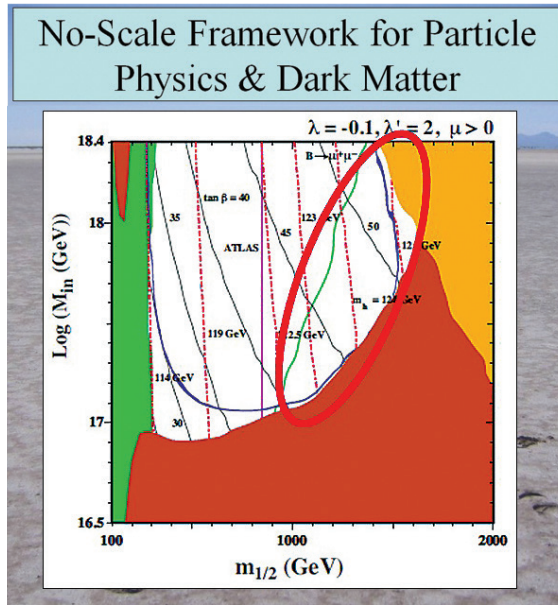
και μάλιστα παράγουμε τον ακριβή μετρηθέντα λόγο $\frac{n_p}{n_\gamma} \approx \theta(10^{-9})$ του αριθμού βαρυονίων ως προς τον αριθμό φωτονίων!

Έχοντας αντιμετώπισει έπιτυχώς όλα τα μεγάλα προβλήματα της σύγχρονης ή καλύτερα πληθωριστικής κοσμολογίας, ήτοι συγκεκριμένο πρότυπο πληθωρισμού (no-scale-R²-inflation), συγκεκριμένη «άναγνώριση» της ταυτότητας του inflaton, ήτοι φ (ή $y_1 \equiv \bar{\nu}_R$, με το RH-s νετρίνο, που εξηγεί την τιμή της απαιτούμενης μάζας του $M \approx \partial(10^{13} \text{ GeV})$, στο πλαίσιο του $F-SU(5)$, και την προέλευση της βαρυονικής ασυμμετρίας (baryon asymmetry) στο σύμπαν, ως δοῦμε τώρα το πρόβλημα του «σπασίματος» της υπερσυμμετρίας (supersymmetry). Μια χαρακτηριστικά εξέχουσα ιδιότητα του αρχικού no-scale προτύπου είναι ότι μπορεί να συμπεριλάβει «τοπικό σπάσιμο» της υπερσυμμετρίας (local supersymmetry breaking) υπό τη μορφή μιας αυθαίρετης μάζας του gravitino $m_{3/2} = e^{G/2}$, με μηδενική ενέργεια κενού (κοσμολογική σταθερά), πριν από τον ύπολογισμό των κβαντικών διορθώσεων. Στην περίπτωση μας έδω, το «σπάσιμο» της υπερσυμμετρίας μπορεί να έπιτευχθεί αν προσθέσουμε απλώς έναν σταθερό όρο (με modular weight 3) στο υπερδυναμικό (32),

$$W_{SSB} = \sigma \left(1 + \frac{y_2}{\sqrt{3}} \right)^3 \quad (36).$$

Μπορεί εύκολα κανείς να έλέγξει ότι το μέγεθος του «σπασίματος» της υπερσυμμετρίας $\sigma = m_{3/2}$, ένω ή ενέργεια κενού (κοσμολογική σταθερά) μηδενίζεται, όπως στο αρχικό no-scale πρότυπο. Έπίσης, παραμένει ή δυνατότητα, όπως στο αρχικό no-scale πρότυπο, το μέγεθος του «σπασίματος» της υπερσυμμετρίας $\sigma (= m_{3/2})$ να προσδιοριστεί δυναμικά από τις κβαντικές διορθώσεις.

Μην ξεχνάμε ότι το raison d'être της no-scale SUGRA είναι να έπιβάλει μηδενική κοσμολογική σταθερά, αλλά άπροσδιόριστη (floating) μάζα για το gravitino, και να έπιτρέψει έτσι στις κβαντικές διορθώσεις να προσδιορίσουν δυναμικά το $m_{3/2}$ και συνάμα την ήλεκτρασθενή κλίμακα $M_W \approx \partial(100 \text{ GeV})$. Γι' αυτό εξάλλου το ονομάσαμε με τον John Ellis, σε μια τηλεφωνική μας επικοινωνία μεταξύ Γενεύης και Μονάχου τον Αύγουστο του 1983, no-scale SUGRA (μη-κλιμακούμενη υπερβαρύτητα), ήτοι όλες οι κλίμακες μάζας ($M_W, m_{3/2}, M_{INF} \dots$) προσδιορίζονται δυναμικά βάσει της κλίμακας M_{Pl} . Στην εικόνα 5, όπου εκτίθενται όλα τα κρίσιμα πειραματικά δεδομένα σε «χαμηλές» ενέργειες, συμπεριλαμβανομένων και των δεδομένων του LHC,



Εικόνα 5: Το $(m_{1/2}, M_{\text{in}})$ επίπεδο στο SU(5) no-scale πρότυπο. Η μόνη «έπιζωσα» περιοχή είναι αυτή στην «κόκκινη έλλειψη»!

βλέπουμε ότι το συγκεκριμένο no-scale πρότυπο που συζητήσαμε μέχρι τώρα, και που εξηγεί όλα τα κοσμολογικά πειραματικά δεδομένα, ικανοποιεί άνετα όλα τα δεδομένα και προβλέπει πολύ συγκεκριμένο φάσμα για υπερσυμμετρικά σωματίδια. Συγκεκριμένα, στο επίπεδο $(M_{\text{in}}, M_{1/2})$, όπου $M_{\text{in}} \approx \partial(10^{17}-10^{18})$ GeV είναι ή κλίμακα μάζας όπου όρίζονται οι όριακές συνθήκες $m_0=A_0=B_0=0$, όλες οι παράμετροι που «σπάζουν» την υπερσυμμετρία μηδενίζονται, εκτός από την παράμετρο $m_{1/2}$, που δημιουργεί τη διαφορά μάζας μεταξύ των gauge bosons (μποζονίων βαθμίδος) με spin 1 και των gauginos, φερμιονίων με spin 1/2, $m_{\tilde{g}}^2 - m_g^2 = m_{1/2}^2$, δηλαδή το «σπάσιμο» της υπερσυμμετρίας. Αυτό σημαίνει ότι $m_{1/2} \propto m_{3/2} \propto M_{\text{SUSY}}$ και άρα, αν χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση (9), $m_{1/2} \approx \partial(1 \text{ TeV})$. Έπειδή τώρα όλα τα υπερσυμμετρικά σωματίδια θα πάρουν μάζα μέσω της παραμέτρου $m_{1/2}$, είναι πολύ ευχάριστο το γεγονός ότι ή εικόνα 5 υποδεικνύει μια περιοχή που είναι περιγεγραμμένη από την «κόκκινη έλλειψη», ή όποια ικανοποιεί όλα τα κοσμολογικά δεδομένα, όπως επίσης και όλα τα δεδομένα από τη φαινομενολογία των στοιχειωδών σωματιδίων, και συνάμα προβλέπει μια τιμή για το $m_{1/2} \approx \partial(1-2) \text{ TeV}$.

Με άλλα λόγια, προβλέπουμε ότι στον β' γύρο του LHC, που ήδη άρχισε, με συνολική ενέργεια $E \approx 14$ TeV, θα ανακαλυφθεί μια πληθώρα νέων σωματιδίων, τα υπερσυμμετρικά σωματίδια, με συγκεκριμένες ιδιότητες, δηλαδή κβαντικούς αριθμούς και μάζες. Αν κάτι τέτοιο επαληθευτεί, τότε πράγματι θα έχουμε ένα νέο πλαίσιο στη μοντέρνα φυσική, που θα εξηγήει το σύμπαν από την εμφάνισή του μέχρι σήμερα, θεμελιωμένο πάνω στη no-scale supergravity, που είναι το «υπέρυθρο» (infrared) όριο της θεωρίας των υπερχορδών. Για πρώτη φορά έχουμε μια στενή σύνδεση με παρατηρήσιμες πειραματικές προβλέψεις, από τις υπερχορδές στον LHC μέσω της no-scale inflation!

Μέχρι τώρα θεωρήσαμε αυτόματως ότι το modulus πεδίο T είναι σταθεροποιημένο και το πεδίο φ είναι το inflaton. Αν κοιτάξουμε όμως την εξίσωση (31), τότε παρατηρούμε ότι υπάρχει μια συμμετρία $U(1)$ μεταξὺ T και φ , ή y_1 και y_2 , στο Kähler δυναμικό, που θέτει το ερώτημα: Είναι δυνατόν το πεδίο T να είναι το inflaton; Η απάντηση είναι καταφατική και ανοίγει ενδιαφέρουσες νέες προοπτικές. Πράγματι, αν προσθέσουμε στο Kähler δυναμικό (17) το υπερδυναμικό (superpotential)

$$W = \sqrt{\frac{3}{4}} \frac{m}{\alpha} \varphi (T - \alpha) \quad (37)$$

και οι αρχικές συνθήκες «τοποθετήσουν» το πεδίο T επί του πραγματικού άξονα (Re T), τότε ξαναανακαλύπτουμε τη no-scale- R^2 -inflation! Βλέπουμε λοιπόν ότι η «παραγωγή» προτύπων no-scale- R^2 -inflation έχει ως θεμελιώδη δομή εκ των ὄντων οὐκ ἄνευ το καθοριστικό Kähler δυναμικό της no-scale SUGRA [βλ. εξίσωση (17)], ἐνῶ το υπερδυναμικό (superpotential) δὲν εἶναι μοναδικὰ προσδιορισμένο. Πρόσφατα, με τους John Ellis, Marcos Garcia και Keith Olive [20], κάναμε μια ενδιαφέρουσα γενίκευση τῶν ιδεῶν που παρουσιάστηκαν ἀνωτέρω και κατορθώσαμε να βρούμε ἕνα γενικευμένο Kähler δυναμικό με το ὁποῖο να μπορούμε, μεταβάλλοντας μιὰ παράμετρο θ που προσδιορίζει τὴν ἀνάμιξη τοῦ Re T και τοῦ Im T , να προεμβάλουμε μεταξὺ φ^2 (quadratic) πληθωρισμοῦ στὸ ἕνα ἄκρο ($\theta=0$) και R^2 πληθωρισμοῦ στὸ ἄλλο ἄκρο ($\theta=\pi/2$). Με άλλα λόγια, ἔχουμε μιὰ σειρά προτύπων no-scale inflation που μπορούν να δώσουν τιμές για τὸν λόγος r ἀπὸ 0.08, που εἶναι τὸ παρὸν ἀνώτερο ἐπιτρεπτό ὄριο, μέχρι 0.003, που εἶναι ἡ «ὀνομαστικὴ» τιμὴ τοῦ λόγου r στὴ no-scale- R^2 -inflation. Τὸ γενικευμένο Kähler δυναμικό δίδεται ἀπὸ τὸν τύπο

$$K = -3\ln(T + \bar{T}) + \frac{|\varphi|^2}{(T + \bar{T})^3} \quad (38).$$

Έδω ως υπερδυναμικό χρησιμοποιούμε ό,τι και μόλις πριν, δηλαδή τήν εξίσωση (37). Θεωρώντας ότι $\alpha=1/2$, όποτε $\varphi \rightarrow 0$, πολύ γρήγορα, στην άρχή του πληθωρισμού, βρίσκουμε ότι το δυναμικό V παίρνει τήν άπλή μορφή

$$V = \frac{3m^2}{4\alpha^2} |T - \alpha|^2 \quad (39).$$

Γράφουμε το πεδίο T ως συνάρτηση δύο πραγματικών (real) πεδίων ρ και α , που παραμετροποιούν το $\text{Re}T$ και το $\text{Im}T$ αντίστοιχως

$$T = \alpha \left(e^{-\sqrt{\frac{2}{3}}\varphi} + i \sqrt{\frac{2}{3}}\alpha \right) \quad (40),$$

που μάς οδηγεί στην ακόλουθη ένεργή Lagrangian

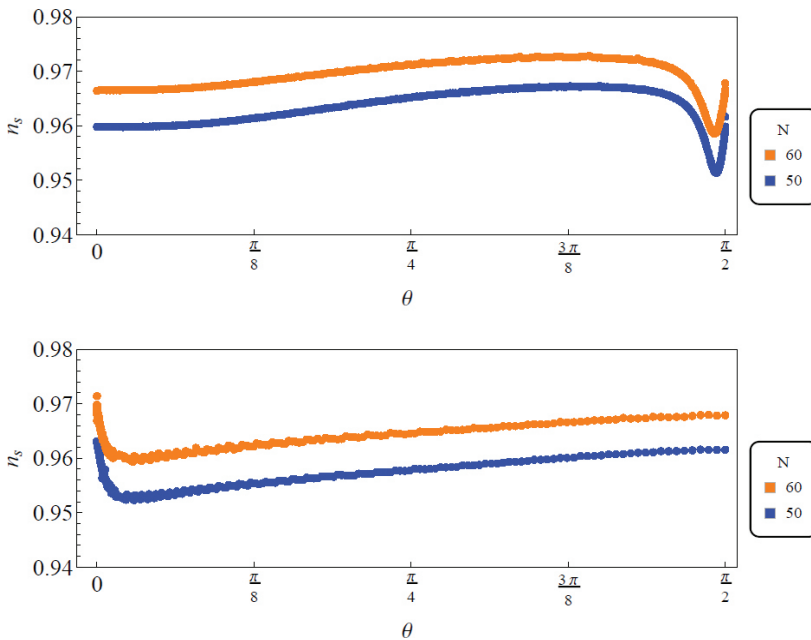
$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \theta_\mu \rho \theta^\mu \rho + \frac{1}{2} e^{2\sqrt{\frac{2}{3}}\varphi} \theta_\mu \alpha \theta^\mu \alpha - \frac{3}{4} m^2 \left(1 - e^{-\sqrt{\frac{2}{3}}\varphi} \right)^2 - \frac{1}{2} m^2 \alpha^2 \quad (41).$$

Είναι ξεκάθαρο από τή μορφή τής Lagrangian (41) ότι, αν το $\text{Im}T \sim \alpha$ σταθεροποιηθεί στο μηδέν, τότε αναπαράγουμε τή no-scale- R^2 θεωρία πληθωρισμού [βλ. εξίσωση (26)], ενώ, αν το $\text{Re}T \sim \rho$ σταθεροποιηθεί στο μηδέν, αναπαράγουμε τή no-scale- $c\varphi^2$ θεωρία του πληθωρισμού. Πώς μπορούν νά επιτευχθούν αυτές οί σταθεροποιήσεις; Άπλως χρησιμοποιώντας ένα τρυκ που ανακαλύψαμε με τον John Ellis και τον Κώστα Κουννά το 1984 [13], το όποιο έδω αντίστοιχεί στην εισαγωγή ενός έπιπλέον όρου στο Kähler δυναμικό (38), που εξαρτάται από τή γωνία θ . Δηλαδή έχουμε μιá θ -έξαρτημένη σταθεροποίηση:

$$K = -3 \log \left(T + \bar{T} - c \left[\cos \theta (T + \bar{T} - 1) - \sin \theta (T - \bar{T})^2 \right]^2 \right) + \frac{|\varphi|^2}{(T + \bar{T})^3} \quad (42),$$

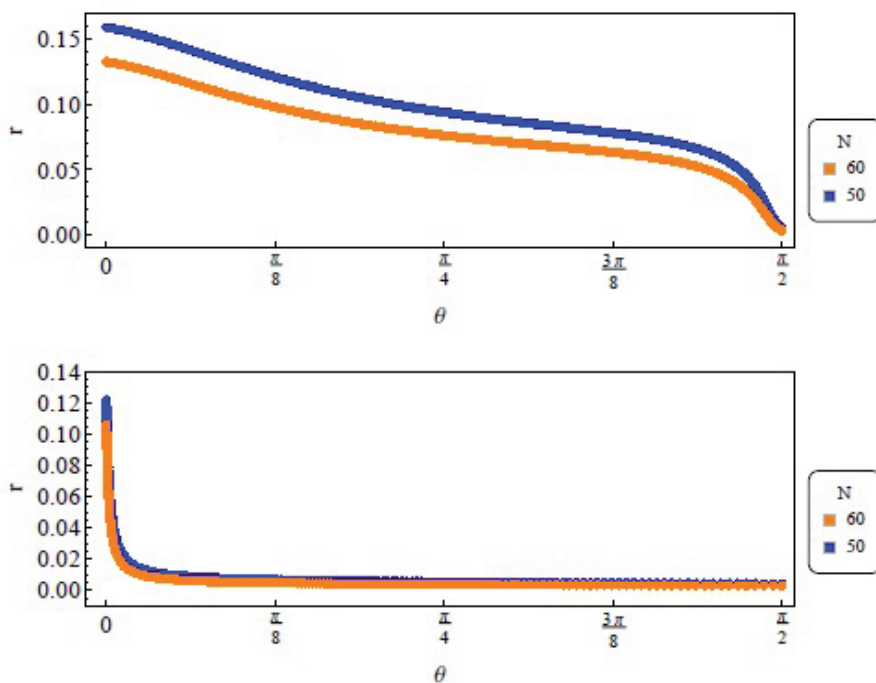
όπου θ και c είναι αυθαίρετες σταθερές. Βλέπουμε ότι, αν μεταβάλλουμε τή γωνία $\theta \in \left[0, \frac{\pi}{2} \right]$, οί προβλέψεις του γενικευμένου no-scale πληθωριστικού προτύπου παρεμβάλλονται μεταξύ αυτών, του no-scale- φ^2 -πληθωριστικού προτύπου ($\theta=0$) και του no-scale- R^2 πληθωριστικού προτύπου ($\theta=\pi/2$).

Στην εικόνα 6 βλέπουμε την εξάρτηση του φασματικού δείκτη (spectral index) n_s ως συνάρτηση τῆς γωνίας $\theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$ για δύο τιμές του $N=50,60$, δηλαδή του ἀριθμοῦ e-folds κατὰ τὴ διάρκεια τοῦ πληθωρισμοῦ. Εἶναι ἐξαιρετικὰ σημαντικὸ τὸ γεγονὸς ὅτι, ἀνεξαρτήτως τῶν παραμέτρων θ καὶ N σὲ πρώτη προσέγγιση, ὁ προβλεπόμενος φασματικὸς δείκτης n_s ἀφήνει τὴν πειραματικὰ προσδιορισμένη περιοχή [βλ. ἐξίσωση (28)] μὲ πολὺ ἐνδιαφέρουσα θετικὴ ἔνδειξη γιὰ τὸ no-scale πληθωριστικὸ πλαίσιο.

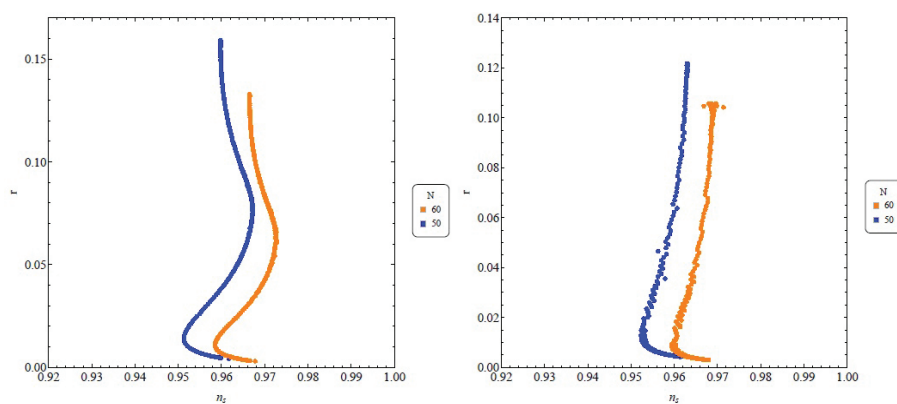


Εικόνα 6: Ἐξαρτήσεις τοῦ φασματικοῦ δείκτη n_s ἀπὸ τὴ γωνία θ γιὰ $N=50$ (μπλε γραμμὴ) καὶ 60 e-folds (πορτοκαλὴ γραμμὴ) γιὰ $c=100$ (πάνω πλαίσιο) καὶ $c=0,1$ (κάτω πλαίσιο).

Στὴν εικόνα 7 ἔχουμε τὶς ἀντίστοιχες εξαρτήσεις τοῦ λόγου r [βλ. ἐξίσωση (29)] καὶ πράγματι παρατηροῦμε ὅτι στὸ ὄριο $\theta \rightarrow \pi/2$, ὁ λόγος $r \rightarrow (0.003-0.005)$, ἴητοι no-scale- R^2 πληθωρισμός, ἐνῶ γιὰ $\theta \rightarrow 0$ ὁ λόγος $r \rightarrow 0.08$, τὸ ἀνώτερο ἐπιτρεπτὸ πειραματικὰ ὄριο [βλ. ἐξίσωση (29)], ἴητοι no-scale- ϕ^2 πληθωρισμός, καὶ μὲ ἐνδιάμεσες τιμές τοῦ λόγου r γιὰ ἐνδιάμεσες τιμές τῆς γωνίας θ .



Εικόνα 7: Όπως στην εικόνα 6, αλλά για το r .



Εικόνα 8: Παραμετρική καμπύλη $[n_s(\theta), r(\theta)]$ για $c=100$ (αριστερό πλαίσιο) και $c=0.1$ (δεξιό πλαίσιο), και στά δύο για $N=50$ (μπλέ) και $N=60$ (πορτοκαλί) e-folds.

Τέλος, στην εικόνα 8 ή παραμετρική καμπύλη $[n_s(\theta), r(\theta)]$ εκτίθεται για $c=100$ (αριστερό panel) και $c=0.1$ (δεξιό panel), και τὰ δύο για $N=50$ και $N=60$ e-folds.

Με άλλα λόγια περιμένουμε με μεγάλη άνυπομονησία τὰ αποτελέσματα τοῦ διαστημικοῦ τηλεσκοπίου PLANCK και τοῦ BICEP2, πού, ἐνῶ ἔχουν προσδιορίσει με μεγάλη ἀκρίβεια [βλ. ἐξίσωση (28)] τὴν τιμὴ τοῦ n_s , σὲ πλήρη συμφωνία με no-scale inflation, μᾶς ἔχουν προσφέρει μόνο ἓνα ἀνώτερο ἐπιτρεπτό ὄριο γιὰ τὸν λόγο r [βλ. ἐξίσωση (29)]. Στὴ δική μας no-scale πληθωριστική θεωρία, συγκεκριμένη πειραματική τιμὴ τοῦ λόγου r , ὅπως δείχνουν οἱ εἰκόνες 6, 7, 8, προσδιορίζει τὴ γωνία ἀναμίξεως θ μεταξὺ $\text{Re}T$ και $\text{Im}T$, και ὅθεν προσδιορίζουμε και τὴν τελευταία παράμετρο τῆς θεωρίας μας. Κατ' ἀναλογία με τὴν ἀνάλυση πού ἔγινε σχετικὰ με τὸ «σπάσιμο» τῆς ὑπερσυμμετρίας πού κάναμε προηγουμένως γιὰ τὴν περίπτωση πού τὸ inflaton ἦταν τὸ πεδίο ϕ , τελευταῖα, μαζὶ με τοὺς John Ellis, Marcos Garcia και Keith Olive [20], προσδιορίσαμε ἐνδελεχῶς τὸ φάσμα μαζῶν τῶν ὑπερσυμμετρικῶν σωματιδίων τὰ ὁποῖα πρόκειται νὰ ἀνακαλυφθοῦν στὸν LHC, και θὰ δοῦμε ἂν ἡ μεγάλη συσχέτιση μεταξὺ τῶν προβλέψεών μας γιὰ τὸν πληθωρισμό, ἤτοι γιὰ τίς τιμές (n_s, r) και γιὰ τὸ ὑπερσυμμετρικὸ φάσμα σωματιδίων $(m_{1/2} \dots)$, θὰ ἐπαληθευτεῖ ἢ θὰ ἀπορριφθεῖ. Θὰ δοῦμε δηλαδὴ ἂν, ὅπως εἶναι ὁ τίτλος μιᾶς τελευταίας ἐργασίας μας, ἔχουμε βρεῖ ἓνα νέο πλαίσιο-πρότυπο τῆς θεωρίας τοῦ (σύμ)παντος, a no-scale inflationary model to fit them all. Ὁψόμεθα...

Ἀναφορὲς

- [1] A. H. GUTH, *Phys. Rev. D*, 23, 1981, σ. 347.
- [2] J. ELLIS – D. V. NANOPOULOS – K. A. OLIVE – K. TAMVAKIS, Cosmological Inflation Cries Out for Supersymmetry, *Phys. Lett. B*, 118, 1982, σ. 335 [INSPIRE]
J. ELLIS – D. V. NANOPOULOS – K. A. OLIVE – K. TAMVAKIS, Fluctuations in a Supersymmetric Inflationary Universe, *Phys. Lett. B*, 120, 1983, σ. 331 [INSPIRE]
J. ELLIS – D. V. NANOPOULOS – K. A. OLIVE – K. TAMVAKIS, Primordial Supersymmetric Inflation, *Nucl. Phys. B*, 221, 1983, σ. 524 [INSPIRE].
- [3] Δεῖτε μιὰ ἐπισκόπηση στὸ A. B. LAHANAS – D. V. NANOPOULOS, The Road to No-Scale Supergravity, *Phys. Rept.*, 145, 1987, σ. 1.
- [4] J. ELLIS – D. V. NANOPOULOS – K. TAMVAKIS, *Phys. Lett. B*, 121, 1983, σ. 123.
J. ELLIS – J. S. HAGELIN – D. V. NANOPOULOS – K. TAMVAKIS, *Phys. Lett. B*, 125, 1983, σ. 275.

- [5] J. ELLIS – J. S. HAGELIN – D. V. NANOPOULOS – K. OLIVE – M. SREDNICKI, *Nucl. Phys. B*, 238, 1984, σ. 453.
- [6] E. CREMMER – S. FERRARA – C. KOUNNAS – D. V. NANOPOULOS, Naturally Vanishing Cosmological Constant in N=1 Supergravity, *Phys. Lett. B*, 133, 1983, σ. 61.
- [7] J. ELLIS – A. B. LAHANAS – D. V. NANOPOULOS – K. TAMVAKIS, No-Scale Supersymmetric Standard Model, *Phys. Lett. B*, 134, 1984, σ. 429.
- [8] P. A. R. ADE et al. [Planck Collaboration], arXiv:1502.01589 [astro-ph.CO].
P. A. R. ADE et al. [Planck Collaboration], arXiv:1502.02114 [astro-ph.CO].
- [9] E. WITTEN, *Phys. Lett. B*, 155, 1985, σ. 151.
- [10] J. ELLIS – D. V. NANOPOULOS – K. A. OLIVE, *Phys. Rev. Lett.*, 111, 2013, σ. 111301 [arXiv:1305.1247 [hep-th]].
- [11] A. A. STAROBINSKY, *Phys. Lett. B*, 91, 1980, σ. 99.
- [12] J. ELLIS – D. V. NANOPOULOS – K. A. OLIVE, *JCAP*, 1310, 2013, 009 [arXiv:1307.3537 [hep-th]].
- [13] J. R. ELLIS – C. KOUNNAS – D. V. NANOPOULOS, *Phys. Lett. B*, 143, 1984, σ. 410.
- [14] G. F. SMOOT et al., *ApJ*, 396, 1992, L1.
- [15] WMAP Science Team Collaboration, E. KOMATSU et al., Results from the Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, *PTEP* 2014(2014), 06B102 [arXiv:1404.5415].
- [16] P. A. R. ADE et al. (BICEP2/Keck and Planck Collaborations), Joint Analysis of BICEP2/Keck Array and Planck Data, *Phys. Rev. Lett.*, 114, 2015, σ. 101301.
- [17] P. A. R. ADE et al. (BICEP2 collaboration), Detection of B-Mode Polarization at Degree Angular Scales by BICEP2, *Phys. Rev. Lett.*, 112, 2014, σ. 241101 [arXiv:1403.3985].
- [18] Βλέπε τη δεύτερη έργασία στην αναφορά 8.
- [19] J. R. ELLIS – D. V. NANOPOULOS – K. A. OLIVE, *Phys. Lett. B*, 300, 1993, σ. 121 [hep-h/9211325].
- [20] J. ELLIS – M. A. G. GARCIA – D. V. NANOPOULOS – K. A. OLIVE, *JCAP*, 1501, 2015, no. 01, 010 [arXiv:1409.8197 [hep-ph]].
-

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 20ΗΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015

ΜΙΑ ΙΔΙΑΖΟΥΣΑ ΘΕΩΡΙΑ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ
κ. ΠΑΝΟΥ Α. ΛΙΓΟΜΕΝΙΔΗ

1. Η «ἀλήθεια»

1.1 Η ἀναζήτηση τῆς ἀλήθειας

Κάθε ἄνθρωπος βλέπει τὸ φῶς τῆς ζωῆς καὶ βιώνει τὴν ἐγκόσμια ὕπαρξή του μέσα ἀπὸ τὴ μοναδικὴ ἰκανότητα ποὺ τὸν ξεχωρίζει ἀπὸ ὅλα τὰ ὑπόλοιπα ὄντα τοῦ πλανήτη μας, τὴν ἰκανότητα νὰ γνωρίζει καὶ νὰ γνωρίζει ὅτι γνωρίζει, δηλαδή νὰ «συνειδητοποιεῖ». Ἔτσι ὁ ἐλλόγιμος ἄνθρωπος ἐκδηλώνει τὴ συμμετοχὴ του στὴν ὑπαρξιακὴ σύλληψη τῆς «ἀλήθειας» μέσα κυρίως ἀπὸ τὴν ἐπιστήμη καὶ τὴ φιλοσοφία, μέσα ἀπὸ τὴν καλλιτεχνικὴ ἔκφραση, καθὼς καὶ μέσα ἀπὸ τὴν ἐνόραση καὶ τὴν πίστη. Σὲ ἓνα ταξίδι πρωτοφανοῦς καὶ μυθιστορηματικῆς ἀνακάλυψης μέσα ἀπὸ τὶς τέσσερις γέφυρες ἔκφρασης (γνώση, αἰσθητικὴ, ἐνόραση, πίστη) ὁ ἄνθρωπος μπορεῖ νὰ προσεγγίσει τὸν νοῦ τοῦ Θεοῦ. Στὴν ἀναζήτηση «μιᾶς ἰδιάζουσας θεωρίας γιὰ τὴν ἀλήθεια» ὁ ἐλλόγιμος ἄνθρωπος ἐξετάζει τί ἔχει νὰ μᾶς πεῖ ἡ ἐπιστήμη, ψάχνει τὶς θέσεις ποὺ προβάλλει ἡ φιλοσοφία καὶ κάνει βαθιὰ κατάδυση στὸν ἑαυτὸ του μέσα ἀπὸ τὴν καλλιτεχνικὴ ἔκφραση, τὴν ἐνόραση καὶ τὴ θρησκευτικὴ πίστη.

1.2 Γιατί νὰ σκοτιζόμαστε;

Οἱ ἀντιλήψεις μας γιὰ τὴν «ἀλήθεια» ἐπηρεάζονται ἀπὸ τὴν οἰκογενειακὴ καθημερινότητα, καὶ σὲ μεγάλο βαθμὸ διαμορφώνονται ἀπὸ τὸ ἐκ-

παιδευτικό σύστημα και τὸ πολιτισμικὸ κλίμα τῆς κοινωνίας μας. Ὅμως τὰ ὅποια διανοητικὰ καὶ πειραματικὰ παιγνίδια τῆς ἀναζήτησης μιᾶς καινούριας «ιδιόζουσας θεωρίας τῆς ἀλήθειας», πὺλ μπορεῖ νὰ ἀφοροῦν τὴν ἀνακάλυψη ἑνὸς νέου «κουὰρκ» ἢ τοῦ «σωματιδίου τοῦ Θεοῦ», αὐτὰ καὶ ἄλλα τέτοια, μπορεῖ νὰ φαίνονται ἄχρηστες ἀπασχολήσεις σὲ ἐκείνους πὺλ πνιγμένοι στὰ καθημερινὰ προβλήματα τῆς ἐπιβίωσης μάχονται τὴν ἀνεργία, τὴ δυστυχία καὶ τὶς δυνάμεις πὺλ τοὺς καταπιέζουν. Ἐντούτοις, ἡ γοητεία τῆς ἀπελευθέρωσης τῆς ἀνθρώπινης ὕπαρξης ἀπὸ τὰ προμηθεϊκὰ δεσμὰ τῆς ἄγνοιας ἀνυψώνει τὸ πνεῦμα μακριὰ ἀπὸ τὴ μὴ προβλέψιμη ἀναμέτρηση μὲ τὴν καθημερινὴ ἐπιβίωση.

Κρίνουμε πὺλ, γιὰ νὰ λειτουργήσει ἀρμονικὰ ὁ ἄνθρωπος μέσα στὴν κοινωνία του, εἶναι βασικὴ ἀνάγκη νὰ ἀποκτήσει μιὰ ἔστω προσεγγιστικὴ ἄποψη γιὰ τὴν «ἀλήθεια». Ὅλοι μας, σὲ ὄρες βαθύτερου στοχασμοῦ, βρίσκουμε πὺλ εἶναι ἀναγκαῖο νὰ ἔχουμε εἰκόνες γνώσης μιᾶς γενικότερης ἀντίληψης γιὰ τὴ φύση τῆς πραγματικότητας, ἀκόμη καὶ ἂν αὐτὴ εἶναι ἀποσπασματικὴ, ἀτελής καὶ διαισθητικὴ. Κατὰ κανόνα, σὲ πολλοὺς ἀπὸ ἐμᾶς, ἡ ἀντίληψη γιὰ τὴν «ἀλήθεια» ἀπορρέει ἀπὸ τὴ θρησκευτικὴ πίστη, καὶ ἐν πολλοῖς ἀπὸ τὴ διαίσθηση καὶ τὴν ἐνόραση. Σὲ ἄλλους, ἡ ἀντίληψη γιὰ τὴν «ἀλήθεια» ἀπορρέει ἀπὸ τὴν αἰσθητικὴ τοῦ λόγου καὶ τῆς καλλιτεχνικῆς ἔκφρασης, καὶ σὲ μερικοὺς ἀπορρέει ἀπὸ τὸν ὀρθολογισμό καὶ τὴν ἐπιστημονικὴ ἔρευνα. Ἐν τούτοις πρέπει νὰ σημειώσουμε ὅτι οἱ ἀπόψεις πὺλ ἔχουμε σχεδὸν ὅλοι μας γιὰ τὴν «ἀλήθεια» εἶναι ἀποτέλεσμα συνδυασμῶν τέτοιων ἀντιλήψεων. Εἶναι ἐπιθυμία μου ἡ σημερινὴ διάλεξη, καὶ ἄλλες σὰν αὐτὴ, νὰ ἀποτελέσουν μιὰ γόνιμη πηγὴ ἰδεῶν πὺλ θὰ παρακινήσουν σὲ βαθύτερο διαλογισμό.

2. Γνώση

2.1 Ἡ γνώση καὶ τὰ ὅριά της

Ὁ ἀποκρυφισμὸς, ἡ βασκανία, ἡ ἀλχημεία καὶ ἡ ἀστρομαντεία τῶν παλαιότερων ἐποχῶν ἔδωσαν τὴ θέση τους στὶς θεωρίες τῆς κλασικῆς φυσικῆς καὶ ἀκολούθως στὶς ἐπαναστατικὲς ἀνακαλύψεις τοῦ 20οῦ αἰῶνα. Ἀνέκαθεν ἡ γνώση μας γιὰ τὴν πραγματικότητα τοῦ φυσικοῦ κόσμου ἀντιμετώπιζε ποικίλες αἰνιγματικὲς ἔννοιες, ὅπως εἶναι ἡ ἀπὸ ἀπόσταση ἀόρατὴ δύναμη τῆς βαρύτητας στὴν κλασικὴ φυσικὴ, ἢ οἱ γεωμετρικὲς ἰδιό-

τητες τοῦ χώρου καὶ οἱ ἐνεργειακὲς παραξενιὲς τοῦ («κενοῦ χώρου») στὴν πιὸ μοντέρνα φυσική, ἢ καὶ οἱ ἀνεξήγητες καὶ παράξενες συμπεριφορὲς τῶν στοιχειωδῶν συστατικῶν τῆς ὕλης καὶ τῆς ἐνέργειας σὲ προχωρημένες ἔρευνες.

Στὶς μέρες μας πιστεύουμε ὅτι γνωρίζουμε κάτι παραπάνω. Προσφάτως ἀρχίσαμε νὰ συνειδητοποιοῦμε κάτι πολὺ σπουδαῖο, ποὺ ἀφορᾷ στὰ ὅρια τῆς γνώσης μας. Γνωρίζουμε τώρα ὅτι ἡ φύση θέτει φραγμοὺς στὴ γνώση μας (καλὸ γιὰ ἐμᾶς, ὅπως θὰ δοῦμε σὲ λίγο), οἱ ὁποῖοι γίνονται περισσότερο ἀναγνωρίσιμοι ὅταν ἐξετάζουμε τὴ λειτουργία τοῦ μικρόκοσμου. Ἡ πασίγνωστη «ἀρχὴ τῆς ἀπροσδιοριστίας» ἐκφράζει ποσοτικὰ τὸν περιορισμὸ ποὺ ἐπιβάλλει ἡ φύση στὴ δυνατότητα ποὺ ἔχουμε νὰ γνωρίζουμε ταυτόχρονα καὶ μὲ ἀκρίβεια τὴ «θέση» καὶ τὴν «ταχύτητα» (ἢ ἄλλες τέτοιες «συμπληρωματικὲς» ιδιότητες¹) ἐνὸς ἠλεκτρονίου.

Δὲν γνωρίζουμε σήμερα ἂν οἱ νόμοι τῆς φύσης καὶ οἱ «παγκόσμιες σταθερὲς» (ὅπως εἶναι ἡ ὀριακὴ ταχύτητα τοῦ φωτός, τὸ ἠλεκτρικὸ φορτίο τοῦ ἠλεκτρονίου, ὁ συντελεστὴς τῆς παγκόσμιας βαρύτητας καὶ ἄλλες) παραμένουν ἀμετάβλητοι, ἢ ἂν μεταβάλλονται καὶ ἐξελίσσονται στὸν χρόνον. Οἱ ὁπαδοὶ τῆς «ἀνθρωπικῆς ἀρχῆς», οἱ ὁποῖοι θεωροῦν τὴν ἀνθρώπινη παρουσία στὸ ἐπίκεντρο τῆς δημιουργίας, ἀναφέρονται σὲ «προσεκτικὴ ἐπιλογὴ» τῶν ἀμετάβλητων νόμων καὶ τῶν παγκόσμιων σταθερῶν, ὥστε νὰ ἐξασφαλίζεται ἡ ἀνάπτυξη τῆς βιολογίας τοῦ ἀνθρώπου καὶ τῆς ζωῆς στὸν πλανήτη μας ὅπως τὴ γνωρίζουμε σήμερα. Θεωροῦν τοὺς ἀμετάβλητους νόμους καὶ τὶς παγκόσμιες σταθερὲς ὡς «ἐξαιρετικὰ ἐμπεριστατωμένη καὶ σκοπίμη ἐπιλογὴ», κοντὰ σὲ ἓνα θαῦμα, ἀφοῦ ἔστω καὶ ἐλάχιστες ἀποκλίσεις στὶς τιμὲς τῶν παγκόσμιων σταθερῶν θὰ ὀδηγοῦσαν σὲ ἓνα ἄπειρο σύνολο συμπάντων, στὴ συντριπτικὴ πλειονότητα τῶν ὁποίων θὰ ἦταν ἀδύνατη ἡ ὑπαρξὴ τοῦ φαινομένου τῆς ζωῆς καὶ ἡμῶν. Στὴν οὐσία, οἱ ὁπαδοὶ τῆς ἀνθρωπικῆς ἀρχῆς λένε: «Νὰ ὁ “ἄνθρωπος”, συνεπῶς πῶς πρέπει νὰ εἶναι ὁ κόσμος;»

Μιὰ ἄλλη ὄψη τῆς μοντέρνας φυσικῆς μᾶς βεβαιώνει ὅτι, κατ' ἀρχὴν, ἂν εἶχαμε ὅλα τὰ δεδομένα, καὶ ἐπαναλαμβάναμε τὴ δημιουργία καὶ τὴν ἐξέλιξη τοῦ σύμπαντος μὲ προσομοίωση σὲ ἠλεκτρονικὸ ὑπολογιστὴ, τότε οἱ ἴδιοι

1. Πεντάτομη σειρά Τὸ γίγνεσθαι.

νόμοι και οί ίδιες σταθερές δὲν θὰ ὀδηγοῦσαν στὸ ἴδιο σύμπαν και στὸν ἴδιο κόσμο ποὺ βιώνουμε σήμερα. Ἐκεῖνο ποὺ φαίνεται σίγουρο, ὅπως εἶπαμε και σὲ προηγούμενη εὐκαιρία, εἶναι ὅτι αὐτὸς ὁ κόσμος, ὅπως σήμερα τὸν γνωρίζουμε, εἶναι προσιτὸς στὴ «γνώση» (δηλαδή εἶναι knowable), ἀλλὰ δὲν εἶναι προβλέψιμος. Μὲ ἄλλα λόγια: Τὸ μέλλον δὲν εἶναι δεδομένο.

2.2 Ἡ σύγχρονη ἀντίληψη περὶ ὑπολογιστικῶν φραγμῶν και περὶ περιορισμῶν τῆς γνώσης μας γιὰ τὸν φυσικὸ κόσμο – Ἡ συμβολὴ τοῦ Poincaré

Ὁ ἐγκέφαλος, τὸ ἐργαλεῖο ποὺ μᾶς δώρισε ἡ φύση γιὰ νὰ ἀποκτᾶμε γνώση, ἐπινοεῖ ἔννοιες και λέξεις γιὰ νὰ ἐρμηνεύσει και νὰ περιγράψει τὶς «σκιές» ποὺ ἀντανακλῶνται ἀπὸ τὸν ἀνώμαλο τοῖχο τῆς σπηλιᾶς τοῦ Πλάτωνα. Πρέπει νὰ θυμόμαστε ὅτι οἱ περιγραφές τῶν φυσικῶν φαινομένων ποὺ ἀντιλαμβανόμαστε εἶναι ἀνθρώπινες ἐπινοήσεις «τῶν πολλῶν ποὺ παρατηροῦν, ἐρμηνεύουν, ἐπικοινωνοῦν και συμφωνοῦν»². Ἀκόμη και μὲ ὀργανωμένες («ἐπιστημονικὲς») προσπάθειες ἐξαντλητικῆς ἀνάκρισης τῶν «σκιῶν ἀπὸ τὸν τοῖχο τῆς σπηλιᾶς», οἱ δέσμοι παρατηρητῆς τοῦ Πλάτωνα φτιάχνουν συναρπαστικὲς περιγραφές, τὶς ὀνομαζόμενες ὡς «ἀντικειμενικὲς ἀλήθειες», χρησιμοποιώντας ἔννοιες ὅπως ὕλη, χρόνος, τύχη, θέση, τροχιά και ἄλλες.

Ὁ «ἐπιστημονισμὸς» τῆς κλασικῆς φυσικῆς, δηλαδή μιὰ σχεδὸν θρησκευτικὴ προσήλωση στὰ κελύσματα τῆς κλασικῆς αἰτιοκρατικῆς φυσικῆς τοῦ Νεύτωνα, καθιερώθηκε μεταξὺ τῶν ἐπιστημόνων, τῶν φιλοσόφων και τοῦ εὐρύτερου κοινοῦ. Ὑποστηρίχθηκε ὅτι ἡ φύση εἶναι αἰτιοκρατικὴ και ὅτι οἱ ἀναλλοίωτοι νόμοι τῆς φύσης ἔγιναν γνωστοί, ἢ ὅτι θὰ γίνουν γνωστοί μὲ τὸν καιρό. Ἡ ἀντίληψη ποὺ εἶχε ἐδραιωθεῖ βεβαίως πὼς «ὅλα εἶναι προβλέψιμα» και πὼς τὸ μέλλον εἶναι δεδομένο, ἀρκεῖ νὰ ἔχουμε ὅλες τὶς πληροφορίες γιὰ τὸ παρελθόν.

Ὁ Γάλλος ἀστρονόμος Lalande προέβλεψε τὴν ἡμερομηνία τῆς ἐπιστροφῆς τοῦ κομήτη Χάλεϋ, και οἱ Le Verrier και Adams στὴ Γαλλία και Βρετανία ἀντίστοιχα ἀνακάλυψαν και ἐντόπισαν τὸν πλανήτη Ποσειδῶνα. Εἶχαν γίνει λάθη στοὺς ὑπολογισμοὺς, ἀλλὰ, δεδομένης τῆς πολυ-

2. D. FØLLESDAL, *Mind and Language*, Clarendon, 1973.

πλοκότητα των υπολογισμών, κανείς (μέχρι που ήλθε ο Poincaré) δεν ασχολήθηκε με το θέμα των περιορισμών της υπολογιστικής ικανότητας. Το οικοδόμημα των επιστημονικών επιτυχιών ήταν έκθαμβωτικό, ώστε ακόμη και στα σχολεία ή έλπιδοφόρα κραυγή ήταν: «Πιστεύω ότι πάντα δύο και δύο θα κάνουν τέσσερα!»

Μέχρι που ήλθε ο Henri Poincaré (1854-1912). Στη δουλειά του, που κυρίως αφορούσε την Ουράνια Μηχανική, έφτασε στα όρια της υπολογιστικής ικανότητας που μπορούμε να έχουμε, και μέσα από την όμιχλη είδε σαν όραμα το σχήμα των βουνών μέσα από το δάσος των υπολογισμών. Από αυτό το όραμα ανακάλυψε τα όρια της γνώσης. Αντικατέστησε τις ακριβείς ποσοτικές μεθόδους με ποιοτικές μεθόδους, οι οποίες μπορεί να είναι μικρότερης ακρίβειας και περιορισμένων δυνατοτήτων πρόβλεψης, αλλά προσφέρουν ευρύτερες δυνατότητες επέκτασης των οριζώντων σκέψης και ανακάλυψης.

Με το πρώτο σχετικό πρόβλημα που ασχολήθηκε ο Poincaré, μαζί με άλλα, έδειξε ότι είναι αδύνατον να υπολογιστεί ή γενική λύση του «προβλήματος των τριών σωμάτων» στο αίτιοκρατικό βαρυτικό νευτώνειο πεδίο. Πρώτος ο Poincaré μάς έδειξε ότι η λεπτομερής μαθηματική ανάλυση της αίτιοκρατικής κίνησης μάς οδηγεί στο να δοῦμε τον «χρόνο» ως έναν μη προβλέψιμο και καινοτόμο παράγοντα. Να σημειωθεί ότι η καθημερινή εμπειρία μας φαίνεται να ταιριάζει περισσότερο με την άποψη αυτή από όσο ταιριάζει με τις αίτιοκρατικές ιδέες του Νεύτωνα ή του Einstein. Το βασικό ερώτημα που παραμένει είναι το αν παίζουμε με τις λέξεις, ή αν περιγράφουμε μια πραγματικότητα της φύσης.

2.3 Η πραγματικότητα και η περιγραφή της

Σε έναν διάσημο πίνακα που παριστάνει μια πίπα, ο René Magritte έγραψε ως τίτλο: «Αυτό δεν είναι πίπα». Και, φυσικά, πώς να καπνίσει κανείς έναν πίνακα; Το ίδιο ισχύει και για μια λέξη, ή για μια λεκτική περιγραφή, ή για ένα γλυπτό που περιγράφει την «πραγματικότητα». Ανάλογες περιγραφές της ύλης, του χρόνου, ή του τυχαίου, είναι ανθρώπινες εφευρέσεις που, με διάφορους τρόπους έκφρασης, αναφέρονται στην προσεγγιστική γνώση που έχουμε κατά καιρούς για την πραγματικότητα.

3. Τυχασιότητα. Ἡ ἀναγκαιότητα τοῦ τυχαίου

3.1 Ἡ φευγαλέα ἔννοια τοῦ «τυχαίου»

Σήμερα ἔχω σκοπὸ νὰ προκαλέσω, νὰ πληροφορήσω καὶ νὰ διασκεδάσω τοὺς ἀκροατές μου μὲ διάφορες ἐκδοχὲς καὶ μὲ συλλογισμοὺς γιὰ τὸ τί μπορεῖ νὰ σημαίνει ἡ φευγαλέα ἔννοια τοῦ «τυχαίου», φωτίζοντας γιὰ λίγο τὴ σκέψη ἀπὸ τὴν πλευρὰ τῆς φυσικῆς, τῆς ἐπιστήμης τῆς πληροφορίας, τῶν μαθηματικῶν, τῆς φιλοσοφίας, τῆς θεωρίας τῆς ἐπικοινωνίας καὶ τῆς ψυχολογίας³.

Ὅταν ἀποφασίζεται ὁ «τυχερὸς λαχνὸς» μὲ τὸ ξέφρενο στριφογύρισμα τῶν σφαιριδίων μέσα στὴν κληρωτίδα, ὅλοι ἀναφερόμαστε στὴν ἔκβαση ὡς ἓνα «τυχαῖο» γεγονὸς. Ὅμως εἶναι δυνατὸ νὰ ἀντιτείνει κάποιος ὅτι στὴ φύση δὲν ὑπάρχουν «τυχαῖα» γεγονότα, ἀφοῦ ἡ συμπεριφορὰ τῆς φύσης ρυθμίζεται ἀπὸ ἀποκλειστικὸς καὶ τέλεια καθορισμένους αἰτιοκρατικὸς κανόνες καὶ νόμους. Μὲ τὰ λόγια τοῦ Einstein: «Ἡ φύση δὲν μπορεῖ νὰ παίξει ζάρια!» Ἄν ὅντως ἔτσι ἔχουν τὰ πράγματα, τότε ἡ ἀδυναμία μας νὰ προβλέψουμε μὲ βεβαιότητα τὸν τυχερὸ λαχνὸ τῆς κληρωτίδας, ἢ τὸ ἀποτέλεσμα τῆς ρίψης ζαριῶν στὸ καζίνο, πρέπει νὰ ὀφείλεται μόνο στοὺς περιορισμοὺς τῶν ὑπολογιστικῶν δυνατοτήτων ποὺ διαθέτουμε. Τότε ἡ τυχασιότητα θὰ πρέπει νὰ εἶναι μιὰ ψευδαίσθηση, ἡ ὁποία κάποτε, μὲ τὴν πρόοδο τῆς ὑπολογιστικῆς τεχνολογίας, θὰ ἔλθει ἡ σειρά της νὰ διαλυθεῖ, ὥστε νὰ ἀποκαλυφθεῖ ἡ «ἀλήθεια».

Ὡς «τυχαῖα» μπορούμε νὰ ὀρίσουμε τὴν τροπὴ αὐτῶν ποὺ συμβαίνουν ὅταν στεροῦνται ὀρατῆς αἰτίας καὶ ὅταν δὲν εἶναι προϊόντα σκόπιμων ἐνεργειῶν. Μὲ ἄλλα λόγια, θεωροῦμε τυχαῖα τὰ συμβάντα ποὺ φαίνονται νὰ παράγονται ἀπὸ σειρά ἀσύνδετων γεγονότων καὶ ποὺ εἶναι ἐγγενῶς ἀπρόβλεπτα. Σὲ τέτοιες περιπτώσεις, τὰ γεγονότα ἐνδέχεται νὰ μᾶς φανοῦν ἀπροσδόκητα καὶ ἐνίοτε ἀλλόκοτα. Τὸ θεμελιῶδες ἐρώτημα ποὺ γεννιέται εἶναι: «Μπορεῖ τέτοια γεγονότα νὰ συμβαίνουν πραγματικὰ στὴ φύση;» Δὲν μπορούμε νὰ ἔχουμε «αὐστηρὰ ἐπιστημονικὲς» ἀπαντήσεις σὲ τέτοια ἐρωτήματα.

3. Περισσότερα στὸ βιβλίο *Διαύγειες τοῦ νοῦ*.

3.2 Τὸ «τυχαῖο»: Ὁ περιορισμὸς τῆς γνώσης

Ἡ ἐρώτηση: «Υπάρχει τὸ “τυχαῖο” στὴ φύση;» δὲν εἶναι σωστὰ διατυπωμένη, ἀφοῦ δὲν εἶναι δυνατὸ νὰ ἀπαντηθεῖ. Δὲν μπορούμε νὰ γνωρίζουμε, οὔτε μπορούμε νὰ ἀποδείξουμε, ἂν ἡ φύση ἀκολουθεῖ αὐστηρῶς αἰτιοκρατικούς νόμους, ἢ «ἂν παίζει ζάρια». Ἐκεῖνο ποὺ σίγουρα ἔχει σημασία εἶναι ὅτι ἐμεῖς ἀναγκαζόμαστε νὰ δημιουργήσουμε τὸν χαρακτήρα τοῦ «τυχαίου» ἐπειδὴ ἡ φύση περιορίζει τὴν ἱκανότητά μας γιὰ πλήρη καὶ αὐστηρῶς ἀκριβῆ γνώση τῆς πραγματικότητας.

Γύρω στὴ στροφή ἀπὸ τὸν 19ο αἰώνα στὸν 20ὸ καὶ στὰ ἐπόμενα τριάντα περίπου χρόνια, συντελέστηκαν ἐπαναστάσεις ποὺ γκρέμισαν τὴν πεποίθηση στὸν ἀπόλυτο ντετερμινισμό⁴, τουλάχιστον ὅπως τὸν διατύπωσε ὁ Laplace, καὶ στὴν πεποίθηση πὼς «δὲν ὑπάρχουν διαφορετικοὶ θεμελιώδεις νόμοι συμπεριφορᾶς στὴ φύση». Μὲ τὴν ἀνάπτυξη τῆς κβαντικῆς θεωρίας, ἡ ὁποία προέκυψε ἀπὸ τὴ μελέτη τοῦ ὑποατομικοῦ μικρόκοσμου, ἡ πεποίθηση στὸν ἀπόλυτο ντετερμινισμό ὑπέστη καίριο πλήγμα. Στὴν οὐσία, ἀναπτύχθηκε ἡ ἄποψη πὼς «τὸ μέλλον δὲν εἶναι δεδομένο».

Στὴ διάρκεια τῶν τελευταίων δεκαετιῶν, πληθαίνουν οἱ ἐπιστήμονες ποὺ ἰσχυρίζονται ὅτι ἡ δυναμικὴ τῆς χαοτικῆς συμπεριφορᾶς τῶν πολύπλοκων πληθυσμιακῶν συστημάτων (ἰδιαιτέρως τοῦ ἔμβριου καὶ τοῦ κοινωνικοῦ περιβάλλοντος) ὀφείλεται στοὺς περιορισμοὺς τῆς γνώσης ποὺ μᾶς παρέχει ἡ φύση: Διαπιστώνουν ὅτι ἡ δυναμικὴ τῶν πολύπλοκων συστημάτων ἀνάγεται στὶς «κβαντικὲς διακυμάνσεις μακρὰν τῆς ἰσοροπίας», στὶς ἀστάθειες ποὺ ἐξαρτῶνται ἀπὸ τὴν «ἀπόσταση ἀπὸ τὴν ἰσοροπία» καὶ στὶς ἐγγενεῖς πιθανοκρατικὲς μὴ ἀναστρέψιμες («ἐπιλογές») ποὺ καθορίζουν τὴ δημιουργία νέων μορφῶν. Αὐτὲς εἶναι οἱ διαδικασίες ποὺ δημιουργοῦν τὶς νέες μορφές ἀνανέωσης (δηλαδή τὶς μορφές τοῦ ξανακουρδίσματος) τοῦ κόσμου ποὺ μᾶς περιβάλλει.

Πρέπει νὰ θυμόμαστε ὅτι πολὺ λίγοι ἄνθρωποι, οἱ πραγματικὰ δημιουργικοὶ ἄνθρωποι, εἶναι ἱκανοὶ νὰ ἐγκαταλείψουν τὶς κοινὲς συνήθειες

4. Στὴν ἔννοια τῆς «αἰτιοκρατίας», ἡ ὁποία διατείνεται πὼς «ἀναπόφευκτα οἱ ἴδιες αἰτίες προκαλοῦν πάντα τὰ ἴδια ἀποτελέσματα».

καί νά προβάλουν καινούριες ιδέες, νά προβάλουν «ιδιόζουσες θεωρίες». Αὐτός εἶναι ἕνας τρόπος ὥστε νά μποροῦν νά ἐλευθερωθοῦν ἀπό ἔμμονες συνήθειες καί ἀπό διανοητικούς φραγμούς, καί νά δοῦν τά πράγματα σάν νά συμβαίνουν γιά πρώτη φορά.

3.3 Ἡ ἀναγκαιότητα τοῦ «τυχαίου»

Ἡ ἐπαναληπτική σταθερότητα τοῦ «τυχαίου» τὸ καθιστᾷ καί «ἀναγκαῖο», ὑπὸ τὴν ἔννοια ὅτι ἀποτελεῖ οὐσιώδη ὄψη τῆς φύσης τῶν πραγμάτων ποῦ δὲν θὰ μποροῦσε νά εἶναι καί διαφορετική. Τὸ «τυχαῖο» παρεμβαίνει μὲ θεμελιώδη τρόπο στὴ δυναμικὴ τῆς ἐξελικτικῆς διαδικασίας. Παίξει καθοριστικὸ ρόλο στὴ δυναμικὴ συμπεριφορὰ τῆς φύσης. Κατὰ συνέπεια, ἀποτελεῖ πρωταρχικὸ παράγοντα τῆς δυναμικῆς τῆς ἀνάδυσης, τῆς διατήρησης, τῆς διαφοροποίησης καί τῆς ἐξαφάνισης τῶν μορφῶν ποῦ ἀνανεώνουν τὸν κόσμον μας. Ὄντως, ἡ ἀναγκαιότητα τοῦ «τυχαίου» πιστοποιεῖται μὲ ἀπεριόριστο πλῆθος φαινομένων σὲ ὅλες τὶς κλίμακες τοῦ χώρου καί τοῦ χρόνου. Ἰδιαιτέρως χαρακτηριστικὴ εἶναι ἡ ἀναγκαιότητα τοῦ «τυχαίου» στὶς περιπτώσεις τῆς δυναμικῆς τῶν μορφῶν τοῦ ἔμβιου κόσμου καί τῆς ἀνθρώπινης κοινωνίας.

Εἶναι γεγονός ὅτι πολλοὶ μεγάλοι ἐπιστήμονες, ὅπως οἱ Pascal, Leibniz, Laplace, Boltzmann, Poincaré, Einstein, Mendel καί ἄλλοι, πραγματεύτηκαν τὴν ἀναγκαιότητα τοῦ τυχαίου. Νὰ τὸ ἐπαναλάβουμε ἐδῶ: «Τὸ τυχαῖο γίνεταί ἀναγκαῖο ὅταν οἱ διαθέσιμες πληροφορίες, ποῦ μπορεῖ νά εἶναι ἀκριβεῖς, δὲν εἶναι πλήρεις». Ὅταν κάποιος ποντάρει στὰ ζάρια ἢ στὴ ρουλέτα, πρέπει νά γνωρίζει πὼς κάθε φορά (ἂν ὅλα εἶναι ξεκάθαρα) τὸ ἀποτέλεσμα εἶναι ἀπολύτως ἀνεξάρτητο ἀπὸ τὶς παρατηρήσεις τοῦ παρελθόντος. Αὐτὴ ἡ ἀνεξαρτησία τοῦ μέλλοντος ἀπὸ τὸ παρελθὸν εἶναι τὸ τυχαῖο, σὲ ἀντίθεση μὲ τὴν αἰτιοκρατία. Τὸ «νὰ ἔλθει πέντε φορές μαῦρο» σὲ μιὰ καθαρὴ ρουλέτα δὲν σημαίνει ὅτι τὴν ἕκτη φορά ἡ πιθανότητα τοῦ «κόκκινου» θὰ εἶναι διαφορετικὴ ἀπὸ 1/2. Εἶναι θέμα ἀνθρώπινης ψυχολογίας, ἀφοῦ, λόγω περιορισμοῦ τῶν γνώσεων, τὸ ἀποτέλεσμα κάθε φορᾶς εἶναι ἀνεξάρτητο ἀπὸ τὸ παρελθόν. Τὰ «ἄλλα» εἶναι Χόλιγουντ.

Ἀκόμη καί ἂν ἡ πραγματικότητα μπορεῖ νά θεωρηθεῖ ὅτι εἶναι ἀπόλυτα αἰτιοκρατική, τότε οἱ περιορισμοὶ στὰ ὄρια τῆς γνώσης συνεπάγονται καί ἐπιβάλλουν τὴ μὴ προβλεψιμότητα καί τὴν ἀναγκαιότητα τοῦ τυχαίου. Ἐμεῖς, ἐδῶ, ἐκεῖνο ποῦ θέλουμε νά τονίσουμε

είναι ότι στη ζωή μας ή περιορισμένη γνώση, ή όποία δημιουργεί τó «τυχαϊό», τó «ένδεχόμενο» και τήν ανάγκη για «έπιλογή» πρέπει να θεωρηθεί ως θεϊκό δώρο, πού κάνει τή ζωή μας να έχει ενδιαφέρον, και πού προσφέρει τή γαλήνη στην καρδιά και τήν άρμονία στον νοϋ. Για τούς λόγους αυτός, ισχυριζόμαστε ότι τó «τυχαϊό», δηλαδή αυτό πού φαίνεται να έχει τόν χαρακτήρα τού «τυχαίου», άποτελεί ένα άπαραίτητο στοιχείο τής περιγραφής τής έξελικτικής διαδικασίας τής φύσης. Είναι τó στοιχείο πού κάνει τó μέλλον «να μόν είναι δεδομένο».

4. Κίνηση και συνδετικότητα στη διαδικασία τού «γίγνεσθαι»⁵

Η έννοια τής «κίνησης», ή συγκεκριμένα ή έννοια τής «ρέουσας άλλαγής», ως μιός θεμελιώδους εκδήλωσης πού υπογραμμίζει τή λειτουργία τού φυσικού κόσμου, άνάγεται ιστορικά στον «σκοτεινό» φιλόσοφο Ηράκλειτο (περίπου τó 500 π.Χ.), στον όποιο άποδίδεται ή ρήση: «Τά πάντα ρεΐ».

Η «κίνηση» άποτελεί θεμελιώδη ούσία όλων τών φαινομένων τού φυσικού κόσμου. Είναι μιá έννοια μεταφυσική, άφού, παρά τήν έξοικείωσή μας με τήν έννοια, μιás είναι άγνωστη ή φυσική διαδικασία τής έπίτευξης τής άλλαγής θέσης στον χώρο και είναι πέραν τών δυνατοτήτων μας να τήν κατανοήσουμε.

Σέ όλα τά επίπεδα λεπτομέρειας, ή «κίνηση» άποτελεί τήν πεμπτουσία τής «άλλαγής» στον φυσικό, τόν βιολογικό, τόν νοητικό κόσμο, αλλά και στον κόσμο τής «κοινωνίας τών ανθρώπων». Δέν άφορᾷ άπλώς τες πλεονασματικές «άλλαγές» ή διαταραχές πού έπιβάλλονται μόνο έξωτερικά σε διαφορετικά στατικές καταστάσεις, όπως σε καταστάσεις «άντικειμένων σε ήρεμία», αλλά άφορᾷ τήν έγγενή και αναπόφευκτη πεμπτουσία «τής κίνησης τού άνεμου “γίγνεσθαι”», τή θεμελιώδη ποιότητα ή όποία είναι αναγκαία για τόν όρισμό τής ύπαρξης στον κόσμο μας. Και αυτή ή ΐδια ή ιδέα τής «ύπαρξης» δέν έχει νόημα χωρίς τή δυνατότητα τής άλλαγής, δηλαδή τής «κίνησης». Τó «είναι» τής ύπαρξης δέν μπορεί να ύπάρχει χωρίς τó «γίγνεσθαι» στον χρόνο.

5. Διασκευή από τó κεφάλαιο B12 τού πεντάτομου έργου *Τό γίγνεσθαι*, Διάυλος, 2012.

Αναφερόμαστε στην έννοια τῆς «κίνησης» ὄχι μόνο γιὰ τὶς μετατοπίσεις τῶν ἀντικειμένων στὸν χῶρο, ἢ γιὰ τοὺς μετασχηματισμοὺς τῆς ὕλης καὶ τῆς ἐμφάνισης τῶν ἀντικειμένων, ἀλλὰ καὶ γιὰ τὶς ὅποιες δυνατὲς μεταβολές τῶν ἰδιοτήτων τῶν ὕλικῶν ἀντικειμένων καὶ τῶν φυσικῶν διαδικασιῶν, ποσοτικῶν καὶ ποιοτικῶν. Ὅλα τὰ πράγματα τοῦ κόσμου μας «κινούνται», δηλαδή ἔχουν κοινὸ τὸ γνῶρισμα τῆς «κίνησης». Ἡ παρουσία καὶ ἡ ἀναγκαιότητα τῆς «κίνησης» ἔχουν ἐπιβεβαιωθεῖ μὲ ἀναρίθμητους τρόπους σὲ ὅλους τοὺς κλάδους μελέτης ὄλων τῶν ἐπιστημῶν.

Ἡ «κίνηση» χαρακτηρίζει ὅλες τὶς ἀναγνωρίσιμες μορφές τοῦ κόσμου μας, ἀντικείμενα καὶ διαδικασίες. Εἶναι ἡ ἔσχατη αἰτία ὄλων τῶν ἐξελικτικῶν φαινομένων τοῦ κόσμου μας σὲ ὅλες τὶς κλίμακες τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου, ἀπὸ τὶς αἰνιγματικὲς στοιχειώδεις μορφές μέχρι τὶς «όμαδοποιημένες» («ἐγκλειδωμένες», λέμε ἐμεῖς⁶) μορφές τῆς ἀνθρώπινης κοινωνίας. Ἡ «κίνηση» εἶναι «τὸ κάτι ἀπὸ τὸ τίποτε», εἶναι «ἡ ἀλλαγὴ τοῦ μετὰ ἀπὸ τὸ πρῖν», εἶναι τὸ γίνεσθαι τῆς ὑπαρξῆς.

Στὶς μέρες μας, ἡ ὄντολογία τῶν «σχέσεων» ἀποτελεῖ ἓνα πολὺ ἐπικαιρο καὶ ἐνδιαφέρον θέμα μελέτης στὴν ἐπιστήμη, τὴ φιλοσοφία, τὴ θεολογία, τὴν ψυχολογία, καὶ ἰδιαίτερος στὴν ἐπιστήμη τῆς πληροφορίας καὶ τῶν ἐπικοινωνιῶν. Ἡ βασικὴ διεκδίκηση τῆς «σχετικιστικῆς ὄντολογίας» εἶναι ὅτι οἱ «σχέσεις» μεταξὺ ὄντοτήτων εἶναι ὄντολογικὰ περισσότερο θεμελιώδεις ἀπὸ τὶς ἴδιες τὶς ὀντότητες. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι, ἀπὸ τὴν πλευρὰ τῆς ὄντολογικῆς ἐξέλιξης, οἱ «συσχετισμοί», δηλαδή ἡ «συνδετικότητα», προηγήθηκε τῆς «ὀντότητας». Βεβαίως οἱ ὕλιστές θεωροῦν ἀκριβῶς τὸ ἀντίθετο, δηλαδή ὅτι οἱ ὀντότητες εἶναι θεμελιώδεις καὶ ὅτι οἱ «σχέσεις» εἶναι παράγωγα. Ἡ ἐπίμονη σύγχυση συνεχίζεται γιὰτὶ ἡ έννοια τῆς «σχέσης», ὅπως καὶ ἡ έννοια τῆς «ὕλης», παραμένουν ἀσαφεῖς στὴν ἐπιστήμη καὶ στὴ φιλοσοφία.

Οἱ «σχέσεις», σὲ γενικὲς γραμμὲς ἢ «συνδετικότητα» στὴν ὁποία ἀναφερόμαστε στὸ βιβλίό αὐτό, ἀποτελοῦν μέρος τῆς καθημερινῆς ζωῆς ποὺ οἱ περισσότεροι ἀπὸ ἐμᾶς τὴ θεωροῦμε ὡς δεδομένη. Ὡς κοινωνικὰ ἄτομα συσχετιζόμαστε μὲ ἄλλα ἄτομα τοῦ περιβάλλοντος, καὶ ἀναπτύσσουμε σχέσεις μὲ οἰκονομικά, πολιτικά, ἐργασιακά καὶ ποικίλα ἄλλα συστήματα τοῦ περιβάλλοντός μας· ἀκόμα ἀναπτύσσουμε καὶ φανταστικὲς σχέσεις ποὺ

6. Βλ. τὸ πεντάτομο ἔργο *Τὸ γίνεσθαι*, Δίαυλος, 2012.

μπορεῖ νὰ μᾶς ἀπασχολοῦν, χωρὶς, γιὰ τοὺς περισσότερους ἀπὸ ἐμᾶς, ὅλα αὐτὰ τὰ εἶδη τῶν σχέσεων νὰ μᾶς προκαλοῦν προβλήματα.

Ἐπιστήμονες καὶ φιλόσοφοι, ἀπὸ τὴν ἀρχαιότητα καὶ γιὰ πολλοὺς αἰῶνες ἀπὸ τότε, ἔχουν ἀσχοληθεῖ μὲ τὴ συστηματικὴ θεωρητικὴ κατανόηση τῆς ἔννοιας τῆς «συνδεδεικτότητας». Ἀποδείχτηκε μιὰ ἐξαιρετικὰ δύσκολη ἀποστολή. Ἰδιαιτέρως σχέσεις οἱ ὁποῖες ἐπικοινωνοῦν καὶ μεταφέρουν ἠθικὲς, αἰσθητικὲς, ἢ θεολογικὲς ἀξίες, ὅπως γιὰ παράδειγμα ἡ σχέση μεταξὺ ἐνὸς ἔθνους καὶ τῆς σημαίας του, ἢ ἀκόμα ἡ σχέση μεταξὺ τοῦ Θεοῦ καὶ τοῦ θρησκευτικῆς πιστοῦ, εἶναι πολὺ δύσκολο νὰ μελετηθοῦν χωρὶς προσφυγὴ σὲ ἀκαθόριστες καὶ μυστηριακὲς μεταφυσικὲς ἔννοιες.

Μέσα ἀπὸ αὐτὴ «τὴν πληροφοριακὴ ἀντίληψη τοῦ γίγνεσθαι», ὁ κόσμος μας δὲν εἶναι μόνον αὐτὸ πὸ φαίνεται, δηλαδὴ ἓνα πολὺπλοκο δυναμικὸ θέατρο ὑλικῶν ἀντικειμένων καὶ φυσικῶν διαδικασιῶν. Ὁ κόσμος μας εἶναι, στὴν οὐσία, ἓνα ἀπεριόριστο πολὺπλοκο δυναμικὸ ἐπικοινωνιακὸ πλέγμα ἐπεξεργασίας, ἐρμηνείας καὶ ἐπικοινωνίας «μορφῶν κίνησης καὶ ἐπιρροεποῦς συνδεδεικτότητας». Ἡ ἔννοια τῆς «ὑπαρξῆς τοῦ κάτι» ὡς ἐνιαίου συνεκτικοῦ «ὄλου» ἀναγνωρίζεται, δηλαδὴ ἀποκτᾶ «ταυτότητα», μόνον σὲ σχέση μὲ τὸ περιβάλλον τῆς.

Μποροῦμε νὰ ποῦμε ὅτι ὁ κόσμος μας εἶναι ἓνας κόσμος μορφῶν κίνησης καὶ συσχέτισης πὸ φτιάχνεται καὶ ἐξελίσσεται μὲ διαδικασίες κίνησης καὶ συνδεδεικτότητας. Οἱ «μορφὲς κίνησης καὶ συσχέτισης», καὶ ὅχι ὁ ὑλικὸς φορέας ἢ τὸ ἀσχημάτιστο ἐνεργειακὸ περιεχόμενο, ἀποτελοῦν τὶς θεμελιώδεις ὀντότητες τοῦ ἀντιληπτοῦ κόσμου μας.

Σχετικὰ μὲ τὰ ἀρχέγονα καὶ θεμελιώδη συστατικὰ τῆς ἐξελικτικῆς διαδικασίας τῶν μορφῶν τοῦ κοσμικοῦ γίγνεσθαι, δηλαδὴ σχετικὰ μὲ τὴν κίνηση καὶ τὴν ἐπιρροεπὴ συνδεδεικτότητα τῆς φύσης, θὰ μπορούσαμε νὰ ἰσχυριστοῦμε ὅτι

**«ἄν κάτι δὲν κινεῖται (δὲν ἀλλάζει)
ἢ δὲν συσχετίζεται (δὲν συνδέεται μὲ κάτι ἄλλο),
τότε δὲν ὑπάρχει».**

Σύμφωνα μὲ τὴν ὄντολογικὴ ἀντίληψη τῆς «καθολικῆς σχετικιστικῆς ὄντολογίας», μποροῦμε νὰ ποῦμε ὅτι ἡ φύση, ὁ φυσικὸς κόσμος, δὲν κατηγοριοποιεῖται σὲ διάφορες ομάδες ὑλικῶν ἀντικειμένων, ἀλλὰ σὲ διάφορες ομάδες σχέσεων. Ὡς ἔπεται, πιστεύουμε πῶς

*«τίποτε, ηλεκτρόνιο ή άνθρωπος,
δέν μπορεί νά ὑπάρχει ἀφ' ἑαυτό»,
δηλαδή ἀπό μόνο του, «παρά μονάχα σέ σχέση μέ κάτι ἄλλο».*

5. Τὸ βιωματικὸ «τυχαῖο»

“Ολοι μας βιώνουμε καθημερινὰ τὸ «τυχαῖο». Διαπιστώνουμε ὅτι τὸ τυχαῖο διαδραματίζει βασικὸ ρόλο καὶ στὰ γεγονότα τοῦ φυσικοῦ κόσμου, ὥστε νὰ θεωρεῖται καὶ γενικότερα ὡς «ἀναγκαῖο». Ἡ ζωὴ μας δὲν ἀποφασίστηκε στὴν ἀρχὴ τοῦ σύμπαντος. Δημιουργεῖται σὲ κάθε στιγμή τῆς ζωῆς μας, ὅσο ζοῦμε. Τὸ μέλλον δὲν εἶναι δεδομένο.

Μπορεῖ κανεὶς νὰ φανταστεῖ ὅτι καθένας ἀπὸ ἐμᾶς ἀναπτύσσει δύο χαρακτῆρες. Ἀπὸ τὴ μιὰ μεριὰ εἶναι ὁ «σοβαρὸς» χαρακτῆρας, ποὺ δείχνει ὑποταγὴ στὴν ἀπόλυτη τάξη τῶν ἀμετάβλητων αἰτιοκρατικῶν νόμων καὶ «κλείνει τὰ αὐτιά του» στὴν ἀντιμετώπιση τοῦ τυχαίου, καὶ ἀπὸ τὴν ἄλλη μεριὰ εἶναι ὁ «χωρατατζής», ὁ σκανταλιάρης, ποὺ σπέρνει τὴν ἀταξία καὶ καταστρέφει τὴν τάξη τοῦ «αἰτίου καὶ ἀποτελέσματος».

Στὴν περίπτωση τοῦ χωρατατζῆ, ἡ ἔννοια τῆς «τύχης» ἐπικαλεῖται τὸν τρόπο ποὺ οἱ Ἀρχαῖοι Ἑλληνας θεώρησαν τὸ «τυχαῖο» σὰν μιὰ ὄψη τῆς εἰμαρμένης, καὶ φαντάζονταν τοὺς «ἀπὸ μηχανῆς θεοὺς» νὰ παρεμβαίνουν ἀπρόβλεπτα καὶ νὰ ἀνακατεύονται κάθε φορὰ ποὺ συνέβαιναν παράλογα καὶ ἀπρόβλεπτα πράγματα στὴ φύση καὶ στὶς ἐνασχολήσεις τῶν θνητῶν. Ὁ πολὺ πλούσιος πολιτισμὸς τῶν Ἀρχαίων Ἑλλήνων δημιούργησε λίγα πράγματα γιὰ τὴν ἐκτέλεση πειραμάτων καὶ τὴν προαγωγὴ τῆς πρακτικῆς «ἐπιστημονικῆς γνώσης». Ἀποδίδοντας «τοὺς ἀνεπιθύμητους κεραυνοὺς τῆς φύσης καὶ τὰ ἀπροσδόκητα μπλεξίματα τῶν θνητῶν» στὰ κέφια τοῦ Δία καὶ στὰ τερτίπια τῶν θεῶν τοῦ Ὀλύμπου, περιορίσε τὴν «ἐπιστημονικὴ ἀναζήτησις τῶν αἰτίων» καί, μὲ πολλοὺς τρόπους, ἔδωσε ἔμφαση σὲ φιλοσοφικὲς προσεγγίσεις, σὲ «ιδιόζουσες θεωρίες», στὴ δραματοποιήσις καὶ σὲ ἐμπνεύσεις εὐφάνταστων μύθων. Στους Ἀρχαίους Ἑλληνας, τὸ «τυχαῖο» ἦταν μιὰ ὄψη τῆς «εἰμαρμένης» ποὺ ἀποδόθηκε στὶς παρεμβάσεις τῶν θεῶν.

Συμπερασματικά, τὸ ἀπροσδόκητο καὶ τὸ μὴ προβλέψιμο μπορεῖ νὰ εἶναι συνέπεια τῆς ἴδιας τῆς αἰτιοκρατίας. Τελικὰ ἡ σύγχρονη ἐπιστημονικὴ σκέψη μᾶς κάνει νὰ κατανοήσουμε ὅτι οἱ διεργασίες τῆς φύσης, λόγῳ τοῦ περιορισμοῦ τῆς γνώσης, μπορεῖ νὰ προκαλοῦν μονοπάτια μὲ πολλαπλὲς διακλαδώσεις ποὺ καθιστοῦν ἀδύνατη τὴν ἀσφαλὴ πρόβλεψη τοῦ μέλλοντος.

6. Ο κόσμος μας – Αντικειμενική γνώση – Αλήθεια

Οί περισσότεροι από εμάς καταναλώνουμε τή ζωή μας χωρίς νά καταλαβαίνουμε σχεδόν τίποτε γιά τήν κοσμική μηχανή πού παράγει τò φῶς, τή βαρύτητα, τή ζωή και τή νόηση, χωρίς νά ἀποροῦμε γιά τὸν κόσμο πού μᾶς περιβάλλει ἢ γιά τήν παρουσία τοῦ ἀνθρώπου πάνω σέ αὐτὸν τὸν πλανήτη. Οἱ πιὸ πολλοὶ ἀπὸ εμάς περιορίζουν τίς ἀνασφάλειες πού προκαλεῖ ἡ ἄγνοια τῶν σχετικῶν ἀπαντήσεων ἀναμιγνύοντας κατευναστικές ἀπόψεις κάποιων θρησκευτικῶν δογμάτων, ἰδιαίτερος στὸ θέμα τῆς «ζωῆς μετὰ θάνατον» (καὶ σπάνια στὸ θέμα τῆς ὑπαρξῆς πρὶν ἀπὸ τὴ γέννηση), μὲ τίς περιορισμένες ἀπαντήσεις πού προσφέρουν οἱ ἀναζητήσεις τῆς ἐπιστήμης καὶ τῆς φιλοσοφίας.

Οἱ ἀπαντήσεις τῆς ἐπιστήμης περιορίζονται στὴν πάντοτε ἀμφισβητούμενη «ἀντικειμενικὴ ἀλήθεια», γιά τὸ πῶς λειτουργεῖ ἡ φύση. Ἐλάχιστοι ἀπὸ εμάς διαθέτουν χρόνο ἀπὸ τὴν καθημερινότητα γιά νά διαβάσουν ἢ νά ἀναλογιστοῦν «γιατί εἶναι ἡ φύση ἔτσι πού εἶναι», ἢ ἀκόμη καὶ «πῶς θὰ μπορούσε νά εἶναι διαφορετικά».

Στίς μέρες μας, ἓνας αὐξανόμενος ἀριθμὸς ἐνηλίκων ἀσχολοῦνται μὲ τέτοια ἐρωτήματα καὶ συνήθως μένουν ἐκπληκτοὶ ἀπὸ τίς ἀπαντήσεις. Ὁ ἄνθρωπος, πού στὸ θέμα τοῦ μεγέθους του ἀπέχει περίπου τὸ ἴδιο ἀπὸ τὰ μικροσκοπικὰ στοιχειώδη συστατικὰ τῆς ὕλης καὶ ἀπὸ τὰ τεράστια ἄστρα τοῦ ἄχανοῦς διαστήματος, ἐπιθυμεῖ νά διευρύνει τοὺς ὀρίζοντες τῶν ἀναζητήσεών του, ὥστε νά περιλάβουν καὶ τὸ πολὺ μικρὸ καὶ τὸ πολὺ μεγάλο. Μερικοὶ ἀπὸ εμάς ζητοῦν νά μάθουν ἂν ὁ κόσμος μας δημιουργήθηκε καὶ πῶς, ἢ ἂν ὑπῆρχε ἀπὸ πάντα, καὶ τί μπορεῖ νά σημαίνει αὐτό.

Ἄν δεχθοῦμε ὅτι ὀλόκληρο τὸ σύμπαν, μαζί μὲ τὸ θερμοκήπιο τῆς γῆς, φτιάχτηκαν καὶ ἐξελίχθηκαν εἰδικὰ καὶ ἀποκλειστικὰ γιά εμάς, τότε ἡ ἰδέα ὅτι ἡ ἀνθρώπινη ζωὴ μπορεῖ νά ἔχει νόημα πρέπει νά ἐξεταστεῖ μέσα στὸ εὐρύτερο πλαίσιο τῆς παγκόσμιας ἐξέλιξης. Ἄν ὅλα ἔγιναν γιά εμάς, ὅπως ὑποστηρίζουν οἱ ἀνθρωπικὲς ἀρχές, τότε θὰ λέγαμε πῶς ζοῦμε σὲ ἓναν «κόσμο» πού εἶναι ἀξιοπρόσεκτος ἐπειδὴ τὸν σημαδέψαμε ἐμεῖς μέσω τῆς ἴδιας τῆς ὑπαρξῆς μας. Αὐτὸ πού θὰ ἔχει ἰδιαίτερη σημασία εἶναι νά αἰτιολογηθεῖ καὶ νά δικαιολογηθεῖ μὲ ἀτράνταχτα λογικὰ ἐπιχειρήματα ἢ ἐξέλιξη τῆς ἀνθρώπινης ζωῆς, ὅπως μπορεῖ νά ἔχει νόημα μέσα στὸ εὐρύτερο περιβάλλον τοῦ σύμπαντος πού γνωρίζουμε. Βέβαια αὐτὸ προϋποθέτει ὅτι ἐμεῖς οἱ ἄνθρωποι παίρνουμε τὸν ἑαυτό μας πολὺ στὰ σοβαρὰ γιὰτί δί-

νομε ιδιαίτερη σημασία στο ότι είμαστε τα μόνα πλάσματα στο σύμπαν (ἀπ' ὅσο γνωρίζουμε) που ἔχουν τὴ μοναδικὴ ἰκανότητα νὰ κατέχουν «συνειδητότητα», ὥστε νὰ μποροῦν νὰ συνειδητοποιοῦν αὐτὸ που θὰ θεωρούσαμε «μιὰ ζωὴ μεστὴ νοήματος». Θὰ πρέπει, τουλάχιστον, νὰ πιστεύουμε πῶς, μέσα ἀπὸ τὴν παρουσία μας, τὸ σύμπαν ἀποκτᾶ συνείδηση. Ἔνα σκουλήκι, ἢ ἓνα ἄλογο, ἢ ὁποιοδήποτε ὄν χωρὶς συνείδηση, δὲν θὰ μπορούσε ποτὲ νὰ «διαλογιστεῖ» καὶ νὰ ἐκτιμήσει τὴν ὕπαρξή του.

Θὰ πρέπει νὰ γίνεи ξεκάθαρο πῶς σὲ μιὰ παρόμοιου εἴδους διαλογικὴ ἢ καὶ «πειραματικὴ» ἐπιχείρηση γιὰ τὴν «ὕπαρξη» καὶ τὸ «νόημα» τῆς ζωῆς δὲν πρέπει νὰ ἀσκοῦμε καμία κριτικὴ στὴν ἰδέα περὶ Θεοῦ-Δημιουργοῦ, ἢ περὶ «προσωπικοῦ Θεοῦ», στὶς ὁποιεσδήποτε ἰδέες ἢ ἀπόψεις ἰδεολογικῶν στοχασμῶν τῶν διαφόρων θρησκείων, οἱ ὁποῖες λειτουργοῦν μὲ βάση τὴ θεία ἔμπνευση καὶ ἱκανοποιοῦν διαφορετικὲς ἐπιδιώξεις.

Σὲ ἓνα γενικότερο πλαίσιο θὰ ρωτοῦσε κανεὶς ἂν ἔχει νόημα ἢ ἀνάπτυξη τῆς «βιολογικῆς μορφῆς» ἀπὸ τὴν ἄψυχη ὕλη, μὲ τὴν ἐπακόλουθη ἀνάδυση τῶν ἐγγενῶν ἀξιῶν τῆς ζωῆς, τῆς νόησης, τῆς συνείδησης καὶ τῆς «ἐπίγνωσης». Γιατί νὰ ὑπάρχουν τὰ θερμοκήπια καὶ ἐμεῖς; Μήπως ἢ μόνη ἀπάντηση εἶναι ἡ θεολογικὴ ἀναφορὰ «στὴν κρυφὴ βούληση τοῦ Θεοῦ»;

Ἡ γνώση που ἔχουμε γιὰ τὸ πρόσωπο τῆς ἀλήθειας εἶναι, καὶ φαίνεται πῶς θὰ παραμείνει, ἀποσπασματικὴ καὶ περιορισμένη, ἴσως κυρίως λόγῳ τῶν ἀδυναμιῶν καὶ τῶν περιορισμῶν στὰ θεμελιώδη ἐρωτήματα περὶ νοήματος καὶ ὕπαρξης. Ἡ θεολογία διατείνεται πῶς μόνο μὲ τὴν πίστη στο δόγμα τῆς θρησκείας, ἢ μὲ τὸν μυστικισμό, εἶναι δυνατὸ νὰ ἐμβαθύνουμε στο μυστήριο τῆς ἀλήθειας καὶ νὰ ἐπικοινωνήσουμε μὲ τὸν Θεὸ καὶ μὲ τὴν ἀληθινὴ φύση καὶ αἰτία τῶν πραγμάτων.

Ἀπὸ τὴν ἄλλη μεριά, ἡ ἀξιοπιστία τῆς ἐπιστήμης ὀφείλεται στὴν ἐμπιστοσύνη που ἔχουμε γιὰ τὴν «ἀντικειμενικὴ γνώση» ἢ ὁποία ἀποκτᾶται μὲ ἐπίπονη, ὀργανωμένη καὶ ἀπαγωγικὰ διατεταγμένη προσπάθεια, καὶ ὄχι μὲ τὴν ἀπλὴ συσσώρευση πληροφοριῶν.

Εἴτε προσεγγίσει κανεὶς τὰ ὄντολογικὰ θέματα μέσα ἀπὸ τὴν ἐπιστήμη εἴτε μέσα ἀπὸ τὴ θρησκεία, ἡ μεταφυσικὴ ἐπιχειρηματολογία εἶναι ἢ πηγὴ τοῦ θρησκευτικοῦ δόγματος, ἀλλὰ συχνὰ καὶ τῆς ἐπιστημονικῆς ἔμπνευσης. Σὲ ἐξαιρετικὲς περιπτώσεις θεμελιωδῶν «ἀνακαλύψεων», ἢ μεταφυσικὴ ἐπιχειρηματολογία ὀδηγεῖ τὴν ἐπιστημονικὴ ἔρευνα στὰ θολὰ

σύνορα τῆς διάκρισης μεταξύ τοῦ ὀρθολογικοῦ κόσμου τῆς ἐπιστήμης καὶ τοῦ κόσμου τῆς φαντασίας καὶ τῆς ψευδαίσθησης.

7. Τὸ τροπάριο τοῦ ὑπέρμαχου τῆς φυσικῆς ἐπιλογῆς

Τὰ τελευταῖα χρόνια, ἡ διχοστασία ὡς πρὸς τὸ δίλημμα «φυσικὴ ἐπιλογή ἢ περιβαλλοντικὴ ἐκπαίδευση» ἀναζωπυρώθηκε, κυρίως λόγω ἀποτελεσμάτων τῆς κυτταροβιολογικῆς μελέτης τοῦ ἐγκεφάλου, τὰ ὁποῖα στηρίζουν μὲ κάμπωση εὐγλωττία τὸν ρόλο τῆς γενετικῆς κληρονομιάς. Ὁ «ὕμνος» τοῦ ὑπέρμαχου τῆς φυσικῆς ἐπιλογῆς μπορεῖ νὰ διατυπωθεῖ περιήπου ὡς ἑξῆς:

Τὸ «ἐγὼ» καὶ ἡ «ὑπαρξῆ», μὲ ἄλλα λόγια ἡ «συνειδητὴ ἀλήθεια» τοῦ κάθε ἀτόμου, συνοψίζεται σὲ αὐτὸ πὸν κάνουμε στὴ ζωὴ ἀνακαλύπτοντας τὶς δεξιότητες πὸν ἤδη ὑπάρχουν στὸν ἐγκέφαλό μας ἀπὸ τὴ στιγμή πὸν γεννηθήκαμε καὶ ἐπιλέγοντας ὀρισμένες ἀπὸ αὐτές. Τὸ περιβάλλον στὸ ὁποῖο μεγαλώνει ἓνας ἄνθρωπος καθορίζει τὸ πῶς θὰ ἀναπτυχθεῖ ἢ συμπεριφορὰ του, ἀλλὰ τὸ περιβάλλον διαμορφώνει τὴ συμπεριφορὰ αὐτὴ μόνο ὡς ἐκεῖ πὸν ἐπιτρέπουν οἱ ὑπάρχουσες γενετικὲς δυνατότητες (ἢ γενετικὴ κληρονομιά) τοῦ ἀτόμου. Συμπερασματικά, τὸ περιβάλλον ἐπιλέγει τὶς ἐγγενῶς δομημένες δεξιότητες τοῦ ἀτόμου, δὲν τὶς ἐκπαιδεύει οὔτε τὶς τροποποιεῖ.

Ἀπὸ τὴν ἐποχὴ τοῦ Δαρβίνου, τὸ μήνυμα τῆς βιολογικῆς ζωῆς στὸν πλανήτη μας ἔγινε σαφές. Καθένας μας ἀποτελεῖ μιὰ μοναδικὴ περίπτωση, πὸν δὲν μπορεῖ νὰ ἐπαναληφθεῖ στὴν ἱστορία αὐτοῦ τοῦ σύμπαντος.

8. Ἡ συνειδητὴ ἐμπειρία

Οἱ μηχανισμοὶ τῆς «συνειδητῆς ἐμπειρίας», δηλαδὴ οἱ μηχανισμοὶ τῆς «συνειδητότητας», μᾶς εἶναι ἄγνωστοι. Μποροῦμε, ἐν τούτοις, νὰ μάθουμε πολλὰ γι' αὐτὸ τὸ θέμα. Διαθέτουμε ἀρκετές, ἴσως πολλές, γνώσεις βιολογίας καὶ ἔχουμε στὴ διάθεσή μας τὰ ἀπαραίτητα ἐργαλεῖα γιὰ τὴν πληθυσμιακὴ ἐπεξεργασία παρατηρησιακῶν δεδομένων καὶ πληροφοριῶν.

Ὑπάρχει ἡ ἄποψη ὅτι τὸ συναίσθημα τῆς συνειδητῆς ἐμπειρίας δὲν ἀλλάζει σημαντικὰ κατὰ τὴ διάρκεια τῆς ζωῆς, ἐνῶ οἱ ὑπολογιστικὲς δεξιότητες (μαζί μὲ τὶς σωματικὲς δεξιότητες) χειροτερεύουν καὶ ὑφίστανται ἀποφασιστικὲς καὶ καθοριστικὲς ἀλλαγές. Πολλές φορές εἶχα τὴν προσω-

πική έμπειρία νά νιώσω, μέ τή δύναμη τοῦ νοῦ μου, ἀκόμα καί σέ προχωρημένη ἡλικία, σάν δεκαπεντάχρονο ἀγόρι. Εἶναι φορές πού κοιτάζομαι στόν καθρέφτη –μοῦ συνέβη καί πρόσφατα– καί βρίσκω τή διαδικασία τῆς γήρανσης ἀλλόκοτη, ἀκόμα καί ἀκατανόητη. Ἡ έμπειρία τῆς συνειδητότητας δέν ἐξαλείφεται, καί μᾶς ἐπιτρέπει νά βλέπουμε καί νά αἰσθανόμαστε τόν κόσμο μας, ἀλλά καί νά μοιραζόμαστε τά συναισθήματά μας μέ τοὺς ἀπογόνους μας, μέ τρόπους πού δέν ἀλλάζουν πολὺ μέ τά χρόνια. Καί, ἐπιπλέον, διερωτῶμαι ἂν θά μπορούσε νά εἶναι ἀλλιῶς.

Τὸ θέμα ἀνάγεται στό γενικότερο πρόβλημα τῆς σχέσης τοῦ νοῦ μέ τὸ σῶμα καί στίς ἀλληλεπιδράσεις τῶν ψυχικῶν καταστάσεων μέ τίς ἐξελικτικὰ ἀποκτημένες προσαρμοστικὲς φυσικὲς (δαρβινικὲς) ἐπιλογές τοῦ ὄργανισμοῦ.

9. Κενὸ – Παρουσία – Ἄπουσία

9.1 Κενὸ καί ἄπουσία

Στίς καθημερινὲς ἀσχολίες τους, στό πλαίσιο τῆς κοινωνικῆς ζωῆς, ὅλοι οἱ ἄνθρωποι κάθε ἐποχῆς ἀποκοτῶν ἐμπειρίες καί «διαμορφώνουν» κοινὲς ἀντιλήψεις πού ἀφοροῦν ἔννοιες σχετικὰ μέ τόν χῶρο, τόν χρόνο, τὸ φῶς ἢ τὴν ἔλλειψη τοῦ φωτός, τὴν τύχη καί τὴν προσδοκία τοῦ τυχαίου, καί ἰδιαιτέρως διαμορφώνουν κοινὲς ἀντιλήψεις σχετικὰ μέ τίς ἔννοιες τοῦ «κενοῦ» καί τῆς «παρουσίας», ἀλλά καί σχετικὰ μέ τὰ «ὅρια τῆς παρουσίας» τῶν πραγμάτων καί τῶν φαινομένων. Οἱ ἀντιλήψεις περὶ τῶν ὁρίων στόν χρόνο ἀφοροῦν καί τὴν ἐκτίμηση τοῦ «πρόσκαιρου» καί τοῦ «παροδικοῦ», καί στόν χῶρο ἀφοροῦν συνήθως τὴν ἔννοια τῆς «ἐπιφάνειας» τῶν ὑλικῶν ἀντικειμένων (μιὰ ἔννοια ἐξαιρετικὰ πολὺπλοκῆ στὴν πράξη) ἢ τὴν ἔννοια τοῦ «βεληγεκοῦς τῆς ἐπίδρασης» μᾶς παρουσίας.

Οἱ ἔννοιες τῆς καθημερινῆς ἐμπειρίας (χῶρος, χρόνος, παρουσία, ὅρια κ.λπ.) ἐπηρεάζουν τὴ διαμόρφωση γενικότερων ἀντιλήψεων πού ἀφοροῦν τὸ εἶδος καί τὴν ἐξέλιξη τοῦ πολιτισμοῦ τῆς κοινωνίας τῶν ἀνθρώπων, καί ἐπηρεάζονται ἀπὸ τὸν πολιτισμὸ καί ἀπὸ τὰ κοσμοεἶδωλα τῆς κάθε ἐποχῆς.

Τὰ βασικὰ συστατικὰ πού χαρακτηρίζουν τὸν πολιτισμὸ τῆς κάθε ἐποχῆς, οἱ τέχνες, τὰ γράμματα καί ἡ ἐπιστήμη, ἐκφράζουν μέ τοὺς τρόπους ἐκδήλωσῆς τους καί τίς ἐπικρατούσες ἀντιλήψεις καί ἰδέες (σίγουρα μέ μιὰ ἐπαλληλία ἀντιφατικῶν θεωρήσεων) γιὰ τὸ τί εἶναι ἡ «ὑπαρξη» καί ἡ «πραγματικότητα», ἢ γενικότερα ἐκφράζουν τὸ «κοσμοεἶδωλο» τῆς ἐκά-

στοτε κοινωνίας και εποχής, τὸ ὁποῖο συχνὰ μπορεῖ νὰ ὑπερβαίνει τὰ στενὰ πολιτισμικά ὅρια τῆς συγκεκριμένης ἐποχῆς. Κατὰ τὴ διάρκεια τοῦ 20οῦ αἰώνα, οἱ ἀντιλήψεις μας γιὰ τὶς βασικὲς ἐννοιες τῆς παρουσίας, τῶν ὁρίων κ.λπ. καὶ γιὰ τὰ κοσμοεῖδωλα ἔχουν ὑποστῆ συγκλονιστικὲς ἀλλαγές πὺ μετέβαλαν ριζικὰ καὶ τὶς διαχωριστικὲς γραμμὲς μεταξὺ τῶν γνωστικῶν ἀντικειμένων τῆς ἐπιστήμης, καὶ πὺ προμηνύουν ἀκόμα πὺ συγκλονιστικὲς ἀλλαγές στὸ μέλλον. Εἶναι γεγονὸς πὺς ὁ πολιτισμὸς μας ἀλλάζει σὰν τὸ νερὸ πὺ «βράζει» σχεδὸν ταυτόχρονα ὅταν ἡ θερμοκρασία του φτάσει σὲ μιὰ κρίσιμη τιμὴ.

Στὴν κοινὴ ἀντίληψη, τὸ «κενὸ» ἐνὸς χώρου μὲ ὅρια (δὲν μπορεῖ νὰ ὑπάρξει, στὸν χῶρο ἢ στὸν χρόνο, «κενὸ χωρὶς ὅρια», ἀφοῦ κάτι τέτοιο ἀντιφάσκει μὲ τὴν ἐννοια τοῦ σύμπαντος ὡς συνόλου) εἶναι αὐτὸ πὺ ἀπομένει ὅταν ἀφαιρεθοῦν αὐτὰ πὺ χαρακτηρίζουν αὐτὸν τὸν χῶρο. Ὅμως μιὰ κανάτα νεροῦ δὲν μένει «ἄδεια» ὅταν ἀφαιρεθεῖ τὸ νερὸ (πὺ ἐμεῖς θεωροῦμε πὺς θὰ ἔπρεπε νὰ βρίσκεται ἐκεῖ), ἀφοῦ ἐκεῖ παραμένει ὁ ἀέρας. Τὸ «κενὸ» δὲν εἶναι τὸ «ἄδειο», ἀφοῦ δὲν μπορεῖ νὰ ὑπάρξει τὸ «ἀκριβὲς τίποτε». Αὐτὸ μᾶς τὸ βεβαιώνει ἡ ἀρχὴ τῆς ἀβεβαιότητας τοῦ Heisenberg. Εἶναι γνωστὴ ἡ ἱστορία τοῦ καπετάνιου πὺ ἀγοράζει ἕναν χάρτη πὺ ἀπεικονίζει σκέτη θάλασσα, καθόλου στεριά!

Ἄν αὐτὸ πὺ λείπει ἀπὸ κάποιον χῶρο ἔχει ταυτότητα, τότε αὐτὸ πὺ μένει κατὰ τὴν ἀφαίρεση τοῦ «κάτι» πὺ ἔχει ταυτότητα εἶναι ἡ «ἀπουσία». Ἔτσι ἡ ἀπουσία εἶναι μιὰ ἐννοια σχετικὴ, ἀφοῦ, δεδομένου τοῦ «πλαισίου», μετὰ τὴν ἀφαίρεση τοῦ «κάτι» μὲ ταυτότητα, δημιουργεῖται ἡ ἐννοια τῆς ἀπουσίας.

Χαρακτηριστικὴ εἶναι ἡ περίπτωση συμβίωσης δύο ἀνθρώπων πὺ νοιάζονται ὁ ἕνας γιὰ τὸν ἄλλον: Δημιουργεῖται ἡ αἴσθησις τῆς «ἀπουσίας» στὸν ἕναν ὅταν λείπει ὁ ἄλλος. Τὰ δυσδιάκριτα (ἢ ἀνύπαρκτα) ὅρια ἀνάμεσα στὴν παρουσία καὶ τὴν ἀπουσία, ἀνάμεσα στὸ «μέσα» καὶ τὸ «ἔξω», εἶναι καθοριστικὰ τῆς ταυτόχρονης δράσης τῶν δύο «πεδίων».

9.2 Παρουσία – Ἀπουσία

Ὁ Βούδας εἶχε πεῖ: «Ἄν ἕνας ἄνθρωπος ἔπρεπε νὰ ἀναβάλει τὴν ἀναζήτησις καὶ τὴν προετοιμασία του γιὰ τὴ φώτισις μὲχρι νὰ βρεθοῦν λύσεις σὲ αὐτὰ τὰ προβλήματα (πὺ οἱ λύσεις τους δὲν φαίνεται πουθενά), θὰ πέθαινε πρὶν ἀκόμα βρεῖ τὸ μονοπάτι».

Μολονότι δὲν εἶναι καλὸ νὰ ἀναζητοῦμε, πάση θυσία, ἓναν ὄρισμὸ γιὰ πράγματα ποὺ δὲν κατανοοῦμε,

«ἀπουσία» = «ὄν + π»

ὅταν λείψει τὸ «ὄν-μὲ ταυτότητα»

εἶναι ἓνα ὀλιστικὸ NL κοινωνικὸ φαινόμενο –μὲ ταυτότητα, ὑποκειμενικῶν ἐπιδράσεων (σὰν ἓνα κουτὶ ἀπὸ ἕξι σανίδες, ποὺ φυλακίζει μιὰ μύγα)– στὸ εἶδος: «ὀμαδ&ἐγκλ+διὰχ» ἀπὸ λειτουργικὰ ὅμοια συστατικά

εἶναι μιὰ κατάσταση ποὺ προκύπτει ἀπὸ συγκεκριμένο συνδυασμὸ συνθηκῶν (γιὰ τὶς ὁποῖες γνωρίζουμε ἐλάχιστα).

«παρουσία» = «ἐγώ: Εἴμαστε αὐτὸ ποὺ προσποιούμαστε ὅτι εἴμαστε (Marvin Minsky)»

«ἐγώ» = «ἐαυτὸς» = (Webster) οὐσ.

1. ἡ ταυτότητα, ὁ χαρακτήρας, οἱ οὐσιαστικὲς ιδιότητες
ὁποιοῦδήποτε προσώπου ἢ ἀντικειμένου,
2. ἡ ταυτότητα, ἡ προσωπικότητα, ἡ ἀτομικότητα κ.λπ.

ένος δεδομένου ἀτόμου· τὸ ἴδιο τὸ ἄτομο σὲ ἀντιδιαστολή μὲ ὅλα τὰ ἄλλα.

Εἶναι κάτι πέρα ἀπὸ τὸ σῶμα, τὴ νόηση, τὸ ὁρατό.

Γεννιόμαστε καὶ ξεκινᾶμε ὡς μικροσκοπικὰ ἔμβρυα, τὰ ὁποῖα κατόπιν οἰκοδομοῦν μεγάλους καὶ θαυμαστοὺς «ἐαυτούς», τῶν ὁποίων ἡ ἀξία βρίσκεται ἐξ ὀλοκλήρου στὴν ἴδια τους τὴ συνοχή. Ἡ ἀξία ἑνὸς ἀνθρώπινου «ἐαυτοῦ» ἔγκειται στὴν τεράστια κρούστα ποὺ ἔχει φτιαχτεῖ ὀλόγυρά του (Marvin Minsky).

Αὐτὸ δὲν ἀποτελεῖ ἐρμηγεία, μοιάζει μὲ τὸ νὰ ἀναζητεῖς τὴν ἔννοια τῆς «τέχνης» ζύνοντας τὴν ἐπιφάνεια τοῦ ἀγάλματος.

Σήμερα ἔχουμε, ἐν πολλοῖς, ἀναπτύξει κατανόηση τῆς μὴ γραμμικῆς δυναμικῆς τῶν μορφογενετικῶν διαδικασιῶν. 2ος νόμος: Πιστεύουμε ὅτι ὁ συνδυασμὸς τῆς συνεξέλιξης φθορᾶς καὶ μορφογένεσης ἀποκαλύπτει μιὰ λεπτὴ ἰσορροπία ἀνάμεσα σὲ δυνάμεις σταθερότητας καὶ δυνάμεις ἀστάθειας, ἀλλὰ καὶ μιὰ γόνιμη ἀλληλεπίδραση μεταξὺ τῶν διαδικασιῶν φθορᾶς καὶ τῶν διαδικασιῶν μορφογένεσης σὲ ὅλες τὶς κλίμακες τοῦ φυσικοῦ κόσμου, ἀπὸ τὶς ὀριακὲς κλίμακες τοῦ μικροκόσμου μέχρι τὶς ὀριακὲς κλίμακες τοῦ ἄμεσα ἀντιληπτοῦ φυσικοῦ κόσμου.

Μια πολύ ενδιαφέρουσα συνεπαγωγή είναι ότι στην εξέλικτική διαδικασία των φυσικών φαινομένων μπορεί να παίρνουν μέρος όλες οι φυσικές διαδικασίες του παρελθόντος αλλά και οι επιρρεπείς δυνατότητες που καθορίζουν το μέλλον του φυσικού μας κόσμου. Με βάση μια τέτοια δυνατότητα, με τη σύμπραξη της ιστορίας των γεγονότων και του «τυχαίου» ώθούμενου προς κάποια κατεύθυνση: «Η φύση μπορεί και δημιουργεί την εκπληκτική πολυπλοκότητα και πολυποικιλότητά της».

Ευχαριστώ για την προσοχή σας. Καλό βράδυ.



ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 27ΗΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΚΝΥΟΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
κ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ Α. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ

Πρὶν ἀπὸ ἕνα περίπου χρόνο μιλώντας ἀπὸ τὸ ἴδιο βήμα, κατὰ τὴν τε-
λετὴ ὑποδοχῆς μου στὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν, ἔκλεινα τὴν ὁμιλία μου ὡς ἐξῆς:

*«Κλείνω τὴν ὁμιλία μου μὲ τὴν ὑπενθύμιση ὅτι τὸ μέλλον ἀρχίζει
πάντα ... σήμερα.*

*Οἱ προκλήσεις καὶ ἐπιστημονικὲς προσπάθειες γιὰ τὴν “κατάκτησή”
του πρέπει νὰ εἶναι διαρκεῖς καὶ νὰ προσφέρουν πρακτικὲς λύσεις καὶ προο-
πτικὲς πού νὰ ἀντιμετωπίζουν τὶς μεγάλες κοινωνικὲς καὶ οἰκονομικὲς προ-
κλήσεις τῶν καιρῶν μας.*

*Ἡ Ἐπιστῆμη τῶν Μεταφορῶν καὶ Συγκοινωνιῶν καλεῖται νὰ συμ-
βάλλει καὶ αὐτὴ σὲ ἕνα καλύτερο καὶ πιὸ “ἀνθρώπινο” μέλλον γιὰ τὴν κοι-
νωνία μας στὸν αἰῶνα πού ἔρχεται».*

Οἱ παραπάνω γραμμὲς κλείνουν μέσα τους ὅλα ἐκεῖνα τὰ σημεῖα στὰ
ὁποῖα θὰ ἀναφερθῶ στὴ σημερινὴ ὁμιλία μου ἐπικεντρωνόμενος εἰδικότερα
στὰ θέματα τῶν μεταφορῶν καὶ συγκοινωνιῶν στὶς ἀστικές περιοχές.

Συγκεκριμένα ἡ ἐργασία αὐτὴ θὰ παρουσιάσει, σχολιάσει καὶ ἀξιολο-
γήσει –μὲ βάση τὶς ἐλληνικὲς συνθῆκες καὶ δυνατότητες– τὸ διαμορφού-
μενο σήμερα νέο πλαίσιο ὀργάνωσης καὶ λειτουργίας τῶν συστημάτων

ἀστικῶν μεταφορῶν καὶ συγκοινωνιῶν καὶ θὰ παραθέσει τὶς διαφαινόμενες τεχνολογικὲς ἐξελίξεις στὸν ἴδιο τομέα. Παράλληλα, ἀναφέρεται καὶ στὶς ἐνδεικνυόμενες πολιτικὲς μεταφορῶν ποὺ θὰ πρέπει νὰ ἀκολουθηθοῦν στὴ χώρα μας γιὰ τὴν ἀνάπτυξη τοῦ συστήματος τῶν ἀστικῶν μεταφορῶν καὶ συγκοινωνιῶν σύμφωνα μὲ τὶς διαφαινόμενες τεχνολογικὲς ἐξελίξεις καὶ τάσεις καὶ τὴν πολιτικὴ τῆς ΕΕ.

Ἡ ἀπλοποίηση καὶ ἐννοιολογικὴ ἐκλαΐκευση ἢ ὁποία ἀκολουθεῖται κατὰ τὴν παρουσίαση τῶν σχετικῶν θεμάτων γίνεται —καὶ εἶναι ἀναγκαῖα— γιὰ τὴν προσέγγιση τῶν ἐνοιῶν αὐτῶν στὸ κατὰ τὸ δυνατὸν εὐρύτερο ἀκροατήριο.

1. Οἱ σημερινὲς προκλήσεις καὶ παράγοντες ἐπηρεασμοῦ

Βρισκόμαστε σήμερα μπροστὰ σὲ ἓνα καταιγισμὸ ἀλλαγῶν καὶ προκλήσεων ποὺ λαμβάνουν χώρα («ἐσωτερικὰ» καὶ «ἐξωτερικὰ») τοῦ συστήματος τῶν μεταφορῶν καὶ συγκοινωνιῶν στὶς ἀστικές μας περιοχές. Πρόκειται γιὰ μιὰ σειρὰ ἐξωτερικῶν (τοῦ συστήματος τῶν μεταφορῶν) καταστάσεων ποὺ διαμορφώνονται, πολιτικῶν ποὺ ἀκολουθοῦνται ἢ δὲν ἀκολουθοῦνται, τεχνολογικῶν δυνατοτήτων, ἀλλὰ καὶ κοινωνικῶν τάσεων καὶ συμπεριφορῶν ποὺ ἐπηρεάζουν καὶ ἀναμένεται νὰ ἔχουν μεγάλη ἐπιπτώση στὴ διαμόρφωση τοῦ μελλοντικοῦ συστήματος τῶν ἀστικῶν μεταφορῶν στὴν Εὐρώπη καὶ τὴν Ἑλλάδα.

Κύριοι παράγοντες ἐπηρεασμοῦ, ἐξωγενεῖς τοῦ συστήματος τῶν μεταφορῶν, εἶναι φυσικὰ ἢ οἰκονομία καὶ τὸ περιβάλλον, μὲ τὸ δεύτερο ἐμφανιζόμενο διττὰ, τόσο ὡς θέματα ποὺ σχετίζονται μὲ τὸ φαινόμενο τῆς κλιματικῆς ἀλλαγῆς ὅσο καὶ ὡς ἐπιπτώσεις τῆς κυκλοφορίας στὸ ἄμεσο περιβάλλον τῶν πόλεων μας. Ἡ ἀνάγκη γιὰ πλήρη καὶ οὐσιαστικὸ μετασχηματισμὸ τοῦ συστήματος τῶν ἀστικῶν μετακινήσεων καὶ μεταφορῶν πρὸς ἓνα «περιβαλλοντικὰ βιώσιμο» σύστημα μὲ ἐλαχιστοποίηση τῶν ἀρνητικῶν ἐπιπτώσεων στὸ περιβάλλον, τὴν κατὰ προτεραιότητα μείωση τῶν ἐκπομπῶν ἀερίων τοῦ θερμοκηπίου ἀπὸ τὶς μεταφορές, καὶ τὴν ἀντιμετώπιση τῶν ἐπιπτώσεων στὸ σύστημα τῶν μεταφορῶν ἀπὸ τὰ ἀκραῖα καιρικὰ φαινόμενα, ποὺ ἐμφανίζονται ὀλοένα καὶ συχνότερα ἐξαιτίας τῶν ἀλλαγῶν τῶν κλιματικῶν συνθηκῶν, εἶναι ἴσως ἡ μεγαλύτερη πρόκληση ποὺ ἀντιμετωπίζουμε σὲ σχέση μὲ τὸ σύστημα τῶν ἀστικῶν μας μεταφορῶν καὶ μετακινήσεων σήμερα.

“Όσον αφορά την οικονομία, η παρούσα οικονομική κρίση έδειξε ήδη τα άμεσα αποτελέσματά της στο σύστημα των αστικών μεταφορών και συγκοινωνιών της χώρας με τη μείωση την οποία επέφερε στους όδικούς κυκλοφοριακούς φόρτους, έως και 20% κατά περιοχές, και τη σταθεροποίηση ή αύξηση, κατά περιοχές, των μετακινουμένων με το σύστημα των δημοσίων συγκοινωνιών. Οί έπιπτώσεις της οικονομικής κρίσης αναμένεται να είναι εμφανείς για αρκετά ακόμη χρόνια, αλλά δέν θα μᾶς απασχολήσουν έδῶ ιδιαίτερα, διότι γίνεται ή υπόθεση εργασίας ότι ή κρίση αυτή θα εξαομαλυνθεί σέ μικρό σχετικά χρονικό όρίζοντα (ένδεικτικά, μιᾶς ακόμη πενταετίας, δηλαδή έως τό 2020), ένῶ ό χρονικός όρίζοντας στον όποϊον αναφέρονται οί τεχνολογικές και ἄλλες ἀλλαγές πού πραγματευόμαστε έδῶ είναι πιό μακροχρόνιες (όρίζοντας δεκαετίας έως και εικοσαετίας). Άνεξάρτητα ὅμως ἀπό τήν οικονομική κρίση, κυρίαρχος παράγων ἐπηρεασμοῦ τῶν αστικών μετακινήσεων και τῶν τρόπων με τούς όποϊους αυτές γίνονται είναι πάντα ό οικονομικός παράγοντας και κυρίως τό διαθέσιμο εισόδημα τοῦ κάθε «νοικοκυριοῦ»¹, τό όποϊο και διαμορφώνει τόν λεγόμενο «προϋπολογισμό μετακινήσεων», δηλαδή τὰ ποσά τὰ όποϊα μπορεί νά διαθέσει τό κάθε μέλος τοῦ «νοικοκυριοῦ» γιά τίς καθημερινές μετακινήσεις του.

Υπάρχουν ὅμως και μερικές ἄλλες, μή οικονομικές ή περιβαλλοντικές, «προκλήσεις» και παράγοντες ἐπηρεασμοῦ, πού θα ἐπιδράσουν ἐξίσου σημαντικά και θα διαμορφώσουν τό μελλοντικό μας σύστημα αστικών μεταφορών και συγκοινωνιών. Οί προκλήσεις αυτές συνοψίστηκαν σέ πρόσφατη έκθεση τῆς ειδικῆς συμβουλευτικῆς ομάδας εργασίας γιά τίς μεταφορές τῆς Εὐρωπαϊκῆς Ἐπιτροπῆς, ὡς ἐξῆς (McKINNON 2015)²:

1. Ἐννοια πού χρησιμοποιεῖται γιά νά δηλώσει μιᾶ ομάδα μετακινουμένων πού χρησιμοποιεῖ κοινή στέγη και ἔχει ἀλληλοεπηρεαζόμενη συμπεριφορά (δέν συμπίπτει κατ' ἀνάγκη με τήν ἔννοια τῆς «οικογένειας»). Τό «νοικοκυριό» (household) λαμβάνεται, συμβατικά, ὡς ή μονάδα ἀναφορᾶς στά διάφορα μοντέλα ἀνάλυσης τῶν μετακινήσεων.

2. Πρόκειται γιά τήν έκθεση πού υποβλήθηκε στήν Εὐρωπαϊκή Ἐπιτροπή (ΓΔ RTD) ἀπό τό Transport Advisory Group (TAG) στό πλαίσιο τῆς διαβούλευσης γιά τό πρόγραμμα Η2020 («Consultation of the Horizon 2020 Advisory Groups») τόν Ἰούνιο 2014.

1) *Οί (ακαλλάζουσες) τεχνολογικές εξελίξεις, οί όποϊες έχουν μιá δυναμική πού θá μπορούσε νά αλλάξει ριζικά τή μορφή και τήν ούσία τών áστικών μεταφορών και συγκοινωνιών, όπως τics ξέρουμε σήμερα, μέσα στα έπόμενα 15-20 χρόνια. Οί τεχνολογικές αυτές εξελίξεις αναλύονται ειδικότερα στα έπόμενα και χαρακτηρίζονται από τήν πλήρη και ολοκληρωτική χρήση τών τεχνολογιών πληροφορικής και έπικοινωνιών στο πλαίσιο τών λεγόμενων Εύφυών Συστημάτων Μεταφορών (Intelligent Transport Systems-ITS) αλλά και τήν έλευση τών ήλεκτροκίνητων όχημάτων, τής αυτόνομης όδήγησης (δηλαδή χωρίς όδηγό), και τή «συνεργατική» (cooperative) λειτουργία του συστήματος όχήματα – όδηγοί – ύποδομές.*

2) *Οί νέες μορφές έπιχειρηματικής και λειτουργικής όργάνωσης τών δημοσίων συγκοινωνιών πού αναμένεται νά διαδοθοϋν σχεδόν καθολικά τá έπόμενα χρόνια και πού περιλαμβάνουν:*

– *κοινή χρήση όχημάτων áτομικής μετακίνησης (ιδίως τών ήλεκτρικών) από έναν ή περισσότερους χρήστες μέσω ανάπτυξης και διάδοσης τής διάθεσης τέτοιων όχημάτων για βραχυχρόνια χρήση (π.χ. για μιá και μόνο μετακίνηση)³,*

– *δυνατότητα μετακίνησης «άπό πόρτα σε πόρτα» με παροχή, από τους φορεΐς τών δημόσιων μαζικών μεταφορών, τής χρήσης όχημάτων áτομικής μετακίνησης για τó τελευταίο (ή πρώτο) τμήμα τής μετακίνησης πού δέν μπορεί νά έξυπηρετήσει τó παραδοσιακό σύστημα τών μαζικών δημοσίων μεταφορών,*

3. Πρόκειται για τó σύστημα vehicle sharing είτε με τή μορφή τής βραχυχρόνιας χρήσης ενός όχηματος από έναν χρήστη, όπως γίνεται σήμερα με τá ποδήλατα σε όρισμένες áστικές περιοχές –και στην Ελλάδα–, είτε με τή μορφή χρήσης ενός όχηματος από περισσότερους χρήστες (car sharing). Σύμφωνα με πολú πρόσφατη γερμανική έρευνα (FREESE – TOBIAS SCHÖNBERG 2014) τó 50% τών ιδιοκτητών ΙΧ áυτοκινήτων δέχονται νά «μοιραστοϋν» τó όχημά τους με άλλους μετακινούμενους στο πλαίσιο ενός μελλοντικού ολοκληρωμένου συστήματος κοινής χρήσης áτομικών όχημάτων. Επίσης, ή τεράστια και απρόβλεπτα γρήγορη έπιτυχία του συστήματος «κοινής χρήσης» όχημάτων για μετακινήσεις τύπου ταξί, του γνωστού ως Uber –τό όποϊο μέσα σε λίγα μόλις χρόνια από τήν πρώτη έφαρμογή του χρησιμοποιείται σε πάνω από 30 χώρες με τήν άξία τής εταιρείας πού τó διαθέτει νά ύπολογίζεται σε 18 δισ. δολάρια ΗΠΑ–, έπιβεβαιώνει τή θετική προδιάθεση για τέτοιου είδους «κοινές» μετακινήσεις στις áστικές περιοχές του μέλλοντος.

– ανάπτυξη και ευρύτερη εφαρμογή επιχειρηματικών σχημάτων (ιδιωτών) για τη συλλογή και αξιοποίηση των δεδομένων και στοιχείων που αφορούν τις μεταφορές και την κυκλοφορία στις αστικές περιοχές για την παροχή άμεσης, εξειδικευμένης και προσωποποιημένης πληροφόρησης στους μετακινούμενους.

3) Η συνεχώς και ευρύτερα αναγνωριζόμενη ανάγκη για μείωση των επιπτώσεων του συστήματος κυκλοφορίας και μεταφορών στο αστικό περιβάλλον και το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.

4) Οί πολιτικές μεταφορών που εφαρμόζονται (ή δέν εφαρμόζονται) τόσο σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και σε εθνικό επίπεδο. Σε επίπεδο ΕΕ ή εκπεφρασμένη πολιτική είναι για πλήρη και ολοκληρωτική «άπο-ανθρακοποίηση» του συστήματος των αστικών μεταφορών, επίτευξη πλήρους λειτουργικής «βιωσιμότητας» των συστημάτων αστικής κινητικότητας, και έμφαση στην «ένοποιημένη» λειτουργία όλων των στοιχείων και μεταφορικών μέσων του συστήματος των αστικών μεταφορών. Οί πολιτικές αυτές ξεκίνησαν στην ΕΕ με τη Λευκή Βίβλο του 2001 (ΕΕ 2001) και ενισχύθηκαν και εξειδικεύθηκαν με τη Λευκή Βίβλο του 2011 (ΕΕ 2011), που ισχύει μέχρι το 2020 και εφαρμόζεται ήδη σε μεγάλο βαθμό από όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ.

5) Οί διαφαινόμενες αλλαγές σε βασικές (άρχες) που διέπουν το σύστημα της αστικής κυκλοφορίας και μεταφορών, όπως ή εξάπλωση των «αίχμων» της κυκλοφορίας σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα και ή μετάβαση σε καταστάσεις «συνεχών αίχμων» (λόγω κυκλοφοριακού κορεσμού σε πολλές αστικές περιοχές). Επίσης, ή «σταθεροποίηση» του όγκου των αστικών εμπορευματικών μεταφορών σε επίπεδα που καθορίζονται από ποιοτικές κυρίως απαιτήσεις και όχι τόσο από την οικονομία μιας αστικής περιοχής, οί αυξημένες δυνατότητες ανάλυσης των αστικών κυκλοφοριακών φαινομένων και μετακινήσεων με τις δυνατότητες που υπάρχουν για συλλογή και ανάλυση τεράστιων ποσοτήτων στοιχείων και δεδομένων (big data) σε «πραγματικό» χρόνο, κ.ά.

6) Οί διαφαινόμενες νέες κοινωνικές συνθήκες και τὰ δεδομένα στις αστικές μας περιοχές που (ένδεικτικά) χαρακτηρίζονται από τη γήρανση και αλλοίωση της σύνθεσης του πληθυσμού, τους νέους τρόπους και πρότυπα ζωής –όπως, για παράδειγμα, τὸ φαινόμενο «LAT» (Living Apart Together), που ἔφερε ή επανάσταση τοῦ internet και τῶν social media–, τις αυξανόμενες ἀγορές μέσω internet και τὸ e-commerce, τὴν αυξανόμενη προσοχή στην ὑγιεινή ζωή (με ἔμφαση στο περπάτημα), ἀλλὰ και τὴν αὐξηση τῶν ὑπερβαρων ἀτόμων, κ.ο.κ.

Τέλος, πέρα και πάνω από τις προηγούμενες προκλήσεις είναι πάντα επίκαιρη και πάντα πρώτη και απόλυτης προτεραιότητας ή πρόκληση για την «ένοποιημένη» λειτουργία και διαμόρφωση του συστήματος των αστικών μεταφορών και συγκοινωνιών, όπως αναλυτικότερα περιγράφεται στο κεφάλαιο 5.1 παρακάτω.

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής εντοπίζουμε την προσοχή μας στις τέσσερις πρώτες από τις προκλήσεις αυτές.

2. Οί διαφαινόμενες τεχνολογικές εξελίξεις

2.1 Νέες τεχνολογίες στα όχημα

Οί κυριότερες τεχνολογικές εξελίξεις που αφορούν τα όχημα μπορούν να συνοψιστούν στις παρακάτω τρεις γενικές περιοχές:

1) Καθαρά όχημα – καθαρά καύσιμα (περιλαμβανομένης της ηλεκτροκίνησης).

2) «Εύφυη» και «συνεργατικά» όχημα – υποδομές.

3) Τεχνολογίες υποβοήθησης της οδήγησης (περιλαμβανομένης και της έντελως «αυτόνομης» οδήγησης).

Οί ειδικότερες εξελίξεις και ο χρονικός ορίζοντας (μαζικής) εφαρμογής, στην πράξη, των τεχνολογικών αυτών εξελίξεων σκιαγραφούνται στα επόμενα.

1) Καθαρά όχημα – καθαρά καύσιμα (και ηλεκτροκίνηση). Η παραπέρα βελτίωση των μηχανών έσωτερικής καύσης αλλά και η ηλεκτροκίνηση (μέσω μπαταριών ή κυψελών καυσίμου κυρίως από υδρογόνο), σε συνδυασμό με τη χρήση καθαρών καυσίμων, είναι οί κυριότερες τεχνολογικές τάσεις στον τομέα αυτόν. Ήδη από τις μέχρι σήμερα τεχνολογικές εξελίξεις και δεδομένα (στα μέσα του 2015), η έλευση των τεχνολογικών αυτών εξελίξεων έχει αρχίσει και η ένταξη ή επικράτησή τους στις αστικές μετακινήσεις θα πρέπει να θεωρείται δεδομένη μέχρι τον χρονικό ορίζοντα του 2030 (με όριο πλήρους και ολοκληρωτικής εφαρμογής το 2050). Η προώθηση των «καθαρών» οχημάτων και καυσίμων αποτελεί διακηρυγμένη πολιτική της ΕΕ στη Λευκή Βίβλο των Μεταφορών του 2011 (ΕΕ 2011), όπου ειδικά για τις αστικές μεταφορές αναφέρονται δύο βασικοί στόχοι:

i. μείωση των οχημάτων συμβατικών καυσίμων και αντικατάστασή τους από ηλεκτροκίνηση (μπαταρίας ή υδρογόνου) στο 50% μέχρι το 2030, και πλήρως (100%) μέχρι το 2050,

ii. καθιέρωση πλήρως ηλεκτροκίνητων ή «άπο-ανθρακοποιημένων» όχημάτων για αστικές έμπορευματικές μεταφορές (CO₂ free logistics) μέχρι το 2030.

Σήμερα, τέσσερα μόλις χρόνια από τη Λευκή Βίβλο του 2011, η ηλεκτροκίνηση έχει τεχνολογικά προωθηθεί με σημαντικότερα βήματα από όλες τις αυτοκινητοβιομηχανίες με νέα και προηγμένα ηλεκτροκίνητα μοντέλα που καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό όλες τις απαιτήσεις των χρηστών⁴. Η ηλεκτροκίνηση όμως προχωρεί με αργά βήματα εξ αιτίας οικονομικών κυρίως λόγων (κόστος όχημάτων) αλλά και έλλειψης επαρκούς δικτύου σταθμών φόρτισης. Περισσότερα για τὰ θέματα αυτά αναφέρονται στο κεφάλαιο 4 παρακάτω.

2) «Εύφυη» και «συνεργατικά» όχηματα – υποδομές. Οι κυριότερες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα αυτόν αφορούν:

i. την εισαγωγή ολοένα και μεγαλύτερης «εύφυας» στο όχημα, ως standard εξοπλισμό, αλλά και στα υλικά κατασκευής του – για παράδειγμα την ύπαρξη «μνήμης» στα υλικά αυτά, ώστε να μπορούν να ανακτούν την αρχική τους κατάσταση μετά από κάποια αλλοίωση (π.χ. σύγκρουση)⁵,

ii. την υλοποίηση των λεγόμενων «συνεργατικών» συστημάτων οχήματος – υποδομής (cooperative ITS) μέσω των οποίων υποδομή και όχημα «συνεργάζονται» για την ταχύτερη, ασφαλέστερη, ενεργειακά οικονομική, κ.λπ., κίνηση των οχημάτων στο δίκτυο.

Ειδική μνεία πρέπει να γίνει εδώ για την εισαγωγή «εύφυας» και στις αστικές έμπορευματικές μεταφορές για τη διανομή φορτίων στις αστικές μας περιοχές, ή οποία αναμένεται να αλλάξει τελείως τη μορφή των μεταφορών αυτών στο μέλλον. (Μια εξαιρετική προσπάθεια καταχώρησης των αλλαγών αυτών με τη μορφή «Σεναρίων» βρίσκεται στην αναφορά DEUTSCHE POST 2012.)

4. Για παράδειγμα, η βιομηχανία ηλεκτροκίνητων οχημάτων Tesla ανακοίνωσε, στο τέλος του 2014, εισαγωγή τεχνολογίας all-wheel drive και automated driver assistance systems στα νέα της ηλεκτροκίνητα μοντέλα· εξέλιξη που βάζει τὰ ηλεκτροκίνητα όχηματα σε κατ' ευθείαν παράθεση με τὰ κλασικά. (Λεπτομέρειες στο *Automotive World weekly*, έκδοση 10-10-2014 – www.automotiveworld.com.)

5. Ίδε, για παράδειγμα, άρθρο του MICHAEL NASH στο *Automotive World weekly*, 3-10-2014 (www.automotiveworld.com).

3) *Τεχνολογίες υποβοήθησης τής οδήγησης*. Μια σειρά άλλων τεχνολογικών καινοτομιών έρχονται να συμπληρώσουν την εικόνα των άστικων μεταφορών και συγκοινωνιών του (όχι και τόσο μακρινού) μέλλοντος. Αναφέρονται οι κυριότερες από αυτές αρχίζοντας από εκείνες που τεχνολογικά είναι πιό ώριμες και ήδη εφαρμόζονται τμηματικά και κατά περίπτωση. Η όρολογία που χρησιμοποιείται είναι αυτή που χρησιμοποιείται από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο για την Έρευνα των Οδικών Μεταφορών (*European Road Transport Research Advisory Council-ERTRAC*), (ERTRAC 2014), και την παγκόσμια Οργάνωση Μηχανικών Αυτοκινήτου (*Society of Automotive Engineers-SAE*), (SAE 2014):

i. *Αυτόνομη πέδηση έκτάκτου ανάγκης (Autonomous Emergency Braking-AEB)*. Ανήκει στην κατηγορία των λεγόμενων τεχνολογιών «πέραν τής δυνατότητας του οδηγού να επέμβει», όπου ανήκουν και τὰ ἤδη εφαρμοζόμενα σήμερα συστήματα ABS και ESC⁶. Τὸ ὄχημα φρενάρει αυτόματα, ὅταν διαπιστωθεῖ κίνδυνος σύγκρουσης με τὸ προπορευόμενο ὄχημα (με βάση τὰ δεδομένα μέτρησης τῆς απόστασης με ραντάρ και τοὺς κατάλληλους ἀλγορίθμους). Ἐξελεγκμένη μορφή τῆς δυνατότητας αὐτῆς εἶναι τὸ *Adaptive Cruise Control* με *stop & go (ACC/S&G)*, τὸ ὁποῖο διατηρεῖ αὐτόματα σταθερὴ τὴν ἀπόσταση ἀπὸ τὸ προηγούμενο ὄχημα.

ii. *Συστήματα υποβοήθησης ἀλλαγῆς ἢ τήρησης θέσεως στῆ λωρίδα*. Προβλέπονται σὲ διάφορες μορφές ἀπὸ ἀπλὴ ἐνημέρωση για τὴν ἀλλαγὴ λωρίδας (*Lane Departure Warning-LDW*) καὶ υποβοήθηση στὴν ἀλλαγὴ λωρίδας (*Lane Change Assist-LCA*) μέχρι τὴν αὐτόματη ἀνάληψη ἐλέγχου τοῦ ὀχήματος σὲ περίπτωση μὴ τήρησης τῆς σωστῆς θέσης στῆ λωρίδα (*Lane Keeping Assist-LKA*).

iii. *Συστήματα υποβοήθησης τῆς στάθμευσης*. Τέτοια συστήματα προβλέπονται σὲ διάφορες διαβαθμίσεις αὐτοματοποίησης ἀπὸ τὰ ἤδη σήμερα εφαρμοζόμενα ἀπλὰ συστήματα υποβοήθησης τοῦ οδηγοῦ στὴ στάθμευση, μέχρι διάφορα μεγέθη αὐτοματοποίησης: *Park Distance Control-PDC / Park Assist/Park Assistance-PA (Level 2)*, καὶ τέλος *Parking Garage Pilot (Level 4)*, ὅπου ἡ στάθμευση γίνεται με πλήρη αὐτοματοποίησ⁷.

6. ABS (Anti-Block Systems), ESC (Electronic Stability Control).

7. Η όρολογία που χρησιμοποιείται ἐδῶ εἶναι αὐτὴ που χρησιμοποιεῖται στὴν Έκθεση (ERTRAC 2014).

iv. *Συστήματα αυτόνομης οδήγησης (Autonomous Driving)*. Πρόκειται για πλήρως αυτόνομη κίνηση του οχήματος χωρίς οδηγό. Τα σχετικά συστήματα μπορούν να διακριθούν σε τρεις γενικές υποκατηγορίες⁸:

α) *Αυτόνομη οδήγηση των έπιβατικών αυτοκινήτων κάθε τύπου, διαφόρων διαβαθμίσεων από την άπλη ανάληψη της οδήγησης μόνο σε καταστάσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης (Traffic Jam Assist—Level 1 ή 2), μέχρι τις περιπτώσεις πλήρως αυτόνομης οδήγησης (μόνο) στον αυτοκινητόδρομο (Highway Chauffeur—Level 3 / Highway Pilot—Level 4), και την πλήρως αυτόνομη οδήγηση του οχήματος σε όλες τις καταστάσεις – δηλαδή χωρίς παρέμβαση του οδηγού (Fully Automated Private Vehicle—Level 5)*.

β) *Αυτόνομη οδήγηση φορτηγών οχημάτων, επίσης διαφόρων διαβαθμίσεων, από την άπλη κίνηση σε συρμό (Truck Platooning ή C-ACC Platooning) μέχρι την πλήρως αυτοματοποιημένη οδήγηση των φορτηγών αυτοκινήτων (Fully Automated Truck—Level 5)*.

γ) *Αυτόνομη οδήγηση ελαφρών λεωφορείων ή μικρών ατομικών οχημάτων κοινής χρήσης. Η χρήση των οχημάτων αυτών προορίζεται να γίνεται με κλήση των οχημάτων αυτών από τον χρήστη μέσω του κινητού κυρίως για το τελευταίο σκέλος της μετακίνησης με το σύστημα των δημοσίων συγκοινωνιών («last mile»), έτσι ώστε η συνολική μετακίνηση από πόρτα σε πόρτα να μπορεί να γίνεται με χρήση του συστήματος των ΔΣ και όχι των ΙΧ οχημάτων. Οι τεχνολογίες αυτές είναι οι λεγόμενες τεχνολογίες Cybears, Generation 1–2, ή Automated Bus ή PRT⁹.*

Η υλοποίηση των παραπάνω συστημάτων σε πλήρες έμπορικό επίπεδο και ή πλήρης τεχνολογική ανάπτυξη των κατάλληλων υποδομών αναμένεται να γίνει σταδιακά στα επόμενα χρόνια μέχρι το 2030. Ειδικά για τα συστήματα αυτόνομης οδήγησης των οχημάτων, βασικός στόχος και δικαιολόγηση της αναγκαιότητάς τους είναι ή, σε συνδυασμό με τις τεχνολο-

8. Ακολουθείται και εδώ ή όρολογία της Έκθεσης (ERTRAC 2014).

9. Personal Rapid Transit. Ένα από τα γνωστότερα πειραματικά τέτοια συστήματα είναι το CityMobil2 (<http://www.citymobil2.eu/en/About-CityMobil2/Overview/>).

γίες εύφυους διαχείρισης και ελέγχου τής κυκλοφορίας, μείωση τών άτυχημάτων μέχρι τού όράματος τών «μηδενικών» άτυχημάτων (zero accidents). Ήδη υπάρχει μιá πληθώρα έρευνητικών έργων που χρηματοδοτούνται από την ΕΕ και χώρες μέλη στα θέματα αυτά.

2.2 Αναμενόμενες καινοτομίες στις ύποδομές και τά δίκτυα

Οί ύποδομές και τά δίκτυα πάνω στα όποια θα βασιστούν οί αστικές συγκοινωνίες και ή αστική κυκλοφορία τού μέλλοντος είναι τόσο οί «ύλικές», δηλαδή οί κάθε μορφής φυσικές ύποδομές, όσο και οί «άυλες», δηλαδή τά δίκτυα μετάδοσης δεδομένων, πληροφορίας ή ενέργειας. Τόσο οί μόν όσο και οί δέ είναι σε φάση έντονων τεχνολογικών αλλαγών και καινοτόμων εφαρμογών που θα αλλάξουν ριζικά τή σημερινή εικόνα και λειτουργία τών συστημάτων αυτών στο προβλέψιμο μέλλον.

Για τις «ύλικές» ύποδομές ξεχωρίζει ή προοπτική δύο τεχνολογικών εξελίξεων που διαμορφώθηκαν και προωθούνται από την Ευρωπαϊκή Όμοσπονδία Έργαστηρίων Όδοποιίας (European Federation of Highway Research Laboratories—FEHRL) μέσω τού προγράμματος *Forever Open Road*¹⁰:

1) Τού πλήρως «προσαρμοζόμενου» (adaptable) και άνθεκτικού (resilient) δρόμου. Ό «προσαρμοζόμενος» δρόμος θα κατασκευάζεται από προκατασκευασμένα τμήματα με ύλικά και δυνατότητες που θα τον κάνουν άνθεκτικό σε κακές καιρικές συνθήκες (ψύχος, ζέστη), ιδίως σε σχέση με τις αναμενόμενες από την κλιματική αλλαγή, θα μπορεί να απορροφά ήλιακή ενέργεια για αξιοποίηση σε διάφορες λειτουργίες του, θα έχει τή δυνατότητα ασύρματης μετάδοσης ενέργειας στα όχήματα, και άλλες καινοτόμες ιδιότητες. Ειδικά όσον αφορά την άνθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή ό μελλοντικός «προσαρμοζόμενος» δρόμος θα έχει τή δυνατότητα να αναγνωρίζει τά επίπεδα νεροϋ, χιονιοϋ ή πάγου, άνεμου, κ.λπ. και να άμβλύνει τις συνέπειές τους μέσα από ένσωματωμένες διατάξεις άποχέτευσης, αυτόματης θέρμανσης (ή ψύξης) τού όδοστρώματος, αλλά και άμεσης σε πραγματικό χρόνο ένμέρωσης τών χρηστών σχετικά με τις επικρατούσες συνθήκες στο όδόστρωμα.

10. Περισσότερα στοιχεία και πληροφορίες στο: <http://www.foreveropenroad.eu/>

2) Τοῦ «αὐτοματοποιημένου» (automated) δρόμου. Ὁ «αὐτοματοποιημένος» δρόμος θὰ ἔχει ἐνσωματωμένες ὅλες τὶς βασικὲς λειτουργίες τῶν *Εὐφυῶν Συστημάτων Μεταφορῶν (Intelligent Transport Systems—ITS)* καὶ θὰ «συνεργάζεται» (μὲ τὴν ἔννοια ποὺ δόθηκε καὶ στὰ προηγούμενα γιὰ τὰ «συνεργατικὰ» ὀχήματα) πλήρως μὲ τοὺς «χρηῆστες» του παρέχοντας δυνατότητες μετάδοσης δεδομένων, παρακολούθησης τῆς θέσης τοῦ ὀχήματος, ἐπικοινωνίας μὲ τὸ ὄχημα καὶ «συνεργασίας» στὴ διαχείριση τῆς κυκλοφορίας ἢ τῆς μετακίνησης γενικότερα.

Στὶς λεγόμενες «ἄυλες» ὑποδομὲς τῶν ἀστικῶν μεταφορῶν τοῦ μέλλοντος περιλαμβάνονται οἱ ὑποδομὲς αὐτόματης καὶ συνεχοῦς συλλογῆς καὶ ἐπεξεργασίας κυκλοφοριακῶν δεδομένων καὶ μετάδοσης τῶν ἐπεξεργασμένων πληροφοριῶν στοὺς κάθε εἶδους χρηστὲς τῶν δικτύων κυκλοφορίας καὶ συγκοινωνιῶν, καθὼς ἐπίσης καὶ οἱ ἀναγκαῖες ὑποδομὲς γιὰ φόρτιση τῶν ἠλεκτρικῶν ὀχημάτων (smart electricity distribution grids).

2.3 «Εὐφυεῖς» τεχνολογίες διαχείρισης καὶ ἐλέγχου τῆς κυκλοφορίας

Ἡ διαχείριση καὶ ὁ ἔλεγχος τῆς κυκλοφορίας στὶς ἀστικὲς περιοχὲς τοῦ μέλλοντος θὰ ὑλοποιηθοῦν κυρίως μέσα ἀπὸ τὶς ἐφαρμογὲς τῶν προαναφερθέντων «συνεργατικῶν συστημάτων μεταφορῶν» (Cooperative Transport Systems) καὶ τῶν ἐφαρμογῶν («εὐφυοῦς») διαχείρισης στὸ σύστημα «κυκλοφορία – δημόσιες συγκοινωνίες» στὶς ἀστικὲς περιοχὲς τοῦ μέλλοντος. Οἱ σχετικὲς καινοτομίες μποροῦν νὰ συνοψισθοῦν ὡς ἑξῆς:

- «προσαρμοζόμενα» (adaptive) συστήματα κεντρικοῦ ἐλέγχου ὀδικῆς κυκλοφορίας καὶ δημοσίων συγκοινωνιῶν μὲ ταυτόχρονη ἄμεση καὶ «προσωποποιημένη» πληροφόρηση τῶν μετακινούμενων σὲ πραγματικὸ χρόνο,
- ἀκριβῆς βραχυχρόνια πρόβλεψη τῶν κυκλοφοριακῶν συνθηκῶν στὸ ἀστικὸ ὀδικὸ δίκτυο,
- ἄμεση καὶ σὲ πραγματικὸ χρόνο διαχείριση ἔκτακτων καταστάσεων,
- συνεργατικὰ συστήματα ἐπικοινωνίας ὀχήματος/ὀδηγοῦ καὶ ὀδικῆς ὑποδομῆς,
- «μεταβαλλόμενη» διάθεση μεταφορικῆς χωρητικότητας ἀνάλογα μὲ τὶς κυκλοφοριακὲς ἀνάγκες, ποὺ μπορεῖ νὰ περιλαμβάνει:
 - μεταβαλλόμενη ὀδικὴ σήμανση, ὥστε νὰ ἀλλάζουν φορὰ οἱ μονοδρομήσεις ἀνάλογα μὲ τὴ ζήτηση,

- μεταβαλλόμενη χρήση τών υποδομῶν δημοσίων συγκοινωνιῶν (π.χ. χρήση λωρίδων λεωφορείων ἀπὸ τὰ ὀχήματα μαζικῶν μεταφορῶν τῆς ὄρας αἰχμῆς, καὶ ἀπὸ τὰ ὑπόλοιπα ὀχήματα ἢ τὰ ταξί τῆς ὑπόλοιπης ὄρας, κ.ο.κ.),
- ὑποβοήθηση στὴν «εὐφυῆ» διαχείριση ὀχημάτων καὶ στόλων, μὲ:
 - δυναμικὴ πλοήγηση, σὲ πραγματικὸ χρόνο ἀνάλογα μὲ τὴν κυκλοφοριακὴ συμφόρηση,
 - διακίνηση – διάθεση στοιχείων καὶ πληροφοριῶν σχετικὰ μὲ τὴν ἀπόδοση ἢ τὴν κατάσταση συντήρησης τῶν ὀχημάτων, μέσῳ τοῦ «cloud»,
 - νέα συστήματα διάθεσης ὀχημάτων γιὰ μεταφορὲς τύπου ταξί (π.χ. τὸ πρόσφατο *Uber*).

Εἰδικὰ γιὰ τῆς ἀστικές ἐμπορευματικές μεταφορὲς, τὰ εὐφυῆ συστήματα διαχείρισής της στὸ μέλλον θὰ συνδυάζονται μὲ τὰ λεγόμενα «εὐφυῆ φορτία» (*intelligent cargo*), δηλαδή τὴν κατάλληλη ἠλεκτρονικὴ σήμανση τῶν φορτίων ποὺ μεταφέρονται, ὥστε αὐτὰ νὰ ἀποκτήσουν «γνώση» τοῦ προορισμοῦ τους, τῆς διαδρομῆς τους, καὶ νὰ εἶναι σὲ θέση νὰ δώσουν πληροφορίες στὸν ὁδηγὸ καὶ τὸ σύστημα ἐλέγχου τῆς κυκλοφορίας σχετικὰ μὲ τὸ σημεῖο προορισμοῦ καὶ τὸν τρόπο μεταφορᾶς τους.

Ἡ χρήση τέτοιων τεχνολογιῶν ἀναμένεται νὰ γενικευτεῖ σὲ μία δεκαετία ἀπὸ σήμερα, ἀλλὰ ἤδη ἡ Θεσσαλονικὴ εἶναι ἡ πρώτη ἑλληνικὴ πόλη ποὺ ἐφαρμόζει πιλοτικὰ τεχνολογίες καὶ «συνεργατικὰ» συστήματα εὐφυοῦς ἐλέγχου τῶν ἐμπορευματικῶν μεταφορῶν μέσῳ τοῦ ἐρευνητικοῦ προγράμματος *Cogistics* (MITSAKIS et al. 2014)¹¹.

3. Νέες μορφὲς ἐπιχειρηματικῆς καὶ λειτουργικῆς ὀργάνωσης

Οἱ νέες τεχνολογίες καὶ μορφὲς ὀργάνωσης καὶ λειτουργίας τῶν ἀστικῶν μεταφορῶν καὶ συγκοινωνιῶν ποὺ παρουσιάζονται στὴν παρούσα

11. Στὸ πλαίσιο τῆς πιλοτικῆς αὐτῆς ἐφαρμογῆς γίνονται ἐφαρμογὲς τριῶν «συνεργατικῶν» συστημάτων, γιὰ: α) προειδοποίηση σύγκρουσης μὲ προπορευόμενο ὄχημα, β) ἔγκαιρη προειδοποίηση παραβίασης ἐρυθροῦ σηματοδότη, καὶ γ) ὑποβοήθηση τοῦ ὁδηγοῦ γιὰ ἐνεργειακὰ ἀποδοτικὴ ὁδήγηση.

έργασία θα απαιτήσουν και νέες μορφές επιχειρηματικής και λειτουργικής οργάνωσης για τη διάδοση και διάθεσή τους στο ευρύ κοινό. Το όποιοδήποτε νομοθετικό και πολιτικό πλαίσιο διαμορφωθεί θα εφαρμοστεί στην πράξη από τα κατάλληλα επιχειρηματικά και χρηματοδοτικά σχήματα, όπως έχει γίνει στο παρελθόν και με άλλες ανάλογες τεχνολογικές καινοτομίες. Για παράδειγμα, στον χώρο των τηλεπικοινωνιών, η τεράστια τεχνολογική πρόοδος συνδυάστηκε αρμονικά με νέα επιχειρηματικά σχήματα, γεγονός που έκανε τις τηλεπικοινωνίες, σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, ένα «πανταχού παρόν» μέσο επικοινωνίας, που τείνει να υπάρξει «άβρατο» κάτω από όλες τις δραστηριότητές μας. (Μια πολύ ενδιαφέρουσα εργασία στον χώρο αυτό βρίσκεται στην αναφορά SARACCO et al. 2000.)

Στην περίπτωση των μελλοντικών αστικών μεταφορικών μας συστημάτων, τα όποια περιγράφονται στην παρούσα εργασία, τα νέα επιχειρηματικά σχήματα (άλλα και το αντίστοιχο νέο νομοθετικό και πολιτικό πλαίσιο) θα πρέπει να αφορούν κυρίως:

- τους κατασκευαστές των σχετικών υποδομών και τους προμηθευτές των διαφόρων μορφών «καθαρών» όχημάτων ή καυσίμων,
- τα δίκτυα διανομής και τις εταιρείες λιανικής πώλησης για τα «καθαρά» καύσιμα (περιλαμβανομένων και των ηλεκτρικών) και τις σχετικές υποδομές ή τον συνοδευτικό εξοπλισμό (π.χ. συσκευές καύσης φυσικού αερίου στα όχηματα συμβατικού καυσίμου),
- τις τοπικές αρχές που εμπλέκονται στη διαμόρφωση, προσαρμογή και άδειοδότηση των απαραίτητων αστικών υποδομών και τη λήψη των τυχόν απαιτούμενων κυκλοφοριακών διευθετήσεων,
- τον ρόλο και τη συμβολή των διάφορων «παράπλευρων» μορφών/φορέων που εμπλέκονται (έρευνητικοί φορείς, επιστημονική κοινότητα, αλλά και διάφοροι φορείς που εκπροσωπούν τους χρήστες ή άλλους κοινωνικούς «εταίρους»).

Ίδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα επιχειρηματικά σχήματα που θα διαμορφωθούν (και που έχουν αρχίσει ήδη να κάνουν την εμφάνισή τους) σχετικά με την κοινή χρήση οχημάτων (vehicle sharing). Τα σχήματα αυτά, που έχουν εμφανιστεί και στην Ελλάδα, αφορούν σήμερα μόνο ποδήλατα για κοινή χρήση σε αστικές περιοχές. Τα σχήματα αυτά αναμένεται να επεκταθούν στο μέλλον σε γενικότερα «σχήματα οργάνωσης και διαχείρισης συστημάτων κοινής χρήσης στοιχείων αστικής κινητικότητας».

Ἡ δημιουργία καὶ σωστὴ λειτουργία τῶν ἐπιχειρηματικῶν αὐτῶν σχημάτων γιὰ τὴν Ἑλλάδα θὰ ἀποτελέσει ἴσως καὶ τὸ ὄχημα γιὰ τὴν ἀπαγκίστρωση ἀπὸ τὸ IX καὶ τὴ μεγαλύτερη χρῆση ἐνὸς «κοινόχρηστο» συστήματος μαζικῶν μεταφορῶν¹², ποῦ θὰ προσφέρει ἱκανοποιητικούς ἐναλλακτικούς τρόπους διεξαγωγῆς τῶν ἀστικῶν μας μετακινήσεων ἀπολύτως συμβατοῦς μὲ τὴν ἔννοια τῆς «βιώσιμης κινητικότητας».

Τὸ κλειδί τῶν ἐξελίξεων αὐτῶν εὐρίσκεται στὴν ἐπιτυχή ὀργάνωση καὶ λειτουργία τῶν συστημάτων δημοσίων συγκοινωνιῶν γιὰ τὸ κύριο σκέλος μιᾶς μετακίνησης καὶ ἐνὸς παράλληλου συστήματος «κοινόχρηστων» ὀχημάτων «μιᾶς χρήσης» γιὰ τὸ ὑπόλοιπο τμήμα τῆς μετακίνησης, ὥστε νὰ παρέχεται ἡ ὑπηρεσία μετακίνησης «ἀπὸ πόρτα σὲ πόρτα». Αὐτὸ τὸ τελευταῖο σύστημα «κοινόχρηστων ὀχημάτων» –στὸ ὁποῖο ἀναφέρθηκα καὶ ὡς σύστημα «ὀργάνωσης καὶ διαχείρισης συστημάτων κοινῆς χρήσης στοιχείων ἀστικῆς κινητικότητας» προηγουμένως– μένει νὰ ἀναπτυχθεῖ στὸ μέλλον.

Ἐνα τέτοιο ἐπιχειρηματικὸ πλαίσιο συνάδει ἀπόλυτα μὲ τὴ χρῆση τῶν, περιβαλλοντικὰ ἐπιθυμητῶν, ἠλεκτρικῶν ὀχημάτων αὐτόνομης ἢ συμβατικῆς ὁδήγησης.

4. Περιβαλλοντικὲς ἐπιπτώσεις καὶ συμβολὴ στὸ φαινόμενο τῆς κλιματικῆς ἀλλαγῆς

Ἡ σύγχρονη ἀντίληψη καὶ πολιτικὴ γιὰ ἐπίτευξη «βιώσιμης κινητικότητας» στὶς ἀστικές περιοχὲς τοῦ μέλλοντος ἀναφέρεται στὴν περιβαλλοντικὰ συμβατὴ λειτουργία τῶν ἀστικῶν μεταφορῶν καὶ τῆς κυκλοφορίας, δηλαδὴ στὴν κατὰ τὸ δυνατὸν μειωμένη ἐκπομπὴ κάθε μορφῆς ρύπων καὶ ἀερίων τοῦ θερμοκηπίου ἀπὸ τὶς ἀστικές μας μεταφορὲς μὲ χρῆση περιβαλλοντικὰ φιλικῶν μέσων μεταφορᾶς. Ἡ ἔννοια αὐτὴ βρῖσκεται στὴ βάση τῆς νέας πολιτικῆς μεταφορῶν τῆς ΕΕ ἀλλὰ καὶ τῶν ἐθνικῶν εὐρωπαϊκῶν κυβερνήσεων ποῦ θέτουν τὴν «ἀπο-ανθρακοποίηση» τῶν μεταφορῶν, ἰδίως τῶν ἀστικῶν, ὡς βασικὸ στόχο.

12. Χρησιμοποιεῖται ἐδῶ ὁ ὅρος «κοινόχρηστο», ἀντὶ τοῦ συνήθους «συστήματος δημοσίων συγκοινωνιῶν», διότι πολλὰ ἀπὸ αὐτὰ τὰ συστήματα δὲν θὰ εἶναι ἰδιοκτησίας δημοσίων φορέων ἀλλὰ ἰδιωτικῶν.

Ἡ ἀτμοσφαιρική ρύπανση ἀπὸ τὴν (ἀστική κυρίως) κυκλοφορία ἔχει ξεπεράσει πρὸ πολλοῦ τὰ ὀδίκᾳ ἀτυχήματα ὡς αἰτία θανάτων στὶς ἀστικές μας περιοχὲς φθάνοντας τοὺς περίπου 3,5 ἑκατομμύρια θανάτους τὸν χρόνο παγκόσμια (KRZYZANOWSKI et al. 2005¹³ καὶ OECD 2010)¹⁴. Ἐπὶ πλέον ἡ ἐπερχόμενη κλιματική ἀλλαγὴ λόγω τῆς ἐκπομπῆς τῶν ἀερίων τοῦ θερμοκηπίου ἀπὸ τὶς διάφορες ἀνθρώπινες δραστηριότητες ἐπιβάλλει τὴ λήψη ἄμεσων μέτρων, ποὺ θὰ γίνονται συνεχῶς καὶ περισσότερο ἐπιτακτικὰ ὅσο προχωροῦμε πρὸς τὸ 2020 καὶ μετὰ. Οἱ μεταφορὲς συνεισφέρουν στὶς ἐκπομπὲς αὐτὲς μὲ ἓνα ποσοστὸ τῆς τάξεως τοῦ 27-30% σὲ παγκόσμια κλίμακα καὶ συνεπῶς ἡ μείωση τῶν ἐκπομπῶν ἀερίων τοῦ θερμοκηπίου ἀπὸ τὸν τομέα τῶν μεταφορῶν ἀποτελεῖ πλέον βασικὴ παράμετρο ὅλων τῶν πολιτικῶν μεταφορῶν σὲ ἀστικὸ καὶ ὑπεραστικὸ ἐπίπεδο.

Δύο δεκαετίες πρὶν, τὸ κόστος γιὰ τὴν ἐξόρυξη ὑδρογονανθράκων ἦταν \$20 τὸ βαρέλι, ἐνῶ σήμερα εἶναι περίπου \$100 τὸ βαρέλι¹⁵. Ἐπὶ πλέον τὸ πετρέλαιο ποὺ βγαίνει τώρα μὲ νέες μεθόδους ἐξόρυξης ἀπὸ τὰ «ὑπολείμματα» μὲ τὴ μέθοδο «Fracking» – τὸ shale gas – εἶναι πολὺ πιὸ πολὺ «ἀνθρακοποιομένο» (carbon intensive) ἀπὸ τὸ συμβατικὸ, ἐνῶ χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὴν ἐξόρυξή του μεγάλες, περιβαλλοντικὰ ἐπιζήμιες, ποσότητες νεροῦ καὶ φυσικοῦ ἀερίου (MECH 2011)¹⁶. Συνεπῶς αὐτὲς οἱ μορφὲς ἐνέργειας εἶναι κατ' ἀρχὴν «ἀπορριπτέες» ἀπὸ πλευρᾶς ἐκπομπῶν ἀερίων τοῦ θερμοκηπίου καὶ περιβαλλοντικῶν ἐπιπτώσεων.

Οἱ τεχνολογικὲς δυνατότητες καὶ ἐξελίξεις στὰ θέματα τῶν καθαρῶν καυσίμων εἶναι ἐπίσης σημαντικὲς καὶ συνδυάζονται μὲ τὴ συνεχῆ ἐξέλιξη καὶ βελτίωση τῶν μηχανῶν ἐσωτερικῆς καύσης, τὴν κατασκευὴ «ὑβριδικοῦ» τύπου μηχανῶν, καὶ τὴ μεγαλύτερη χρῆση βιο-καυσίμων. Κύριος στόχος τῶν

13. Βρίσκεται καὶ στό: <http://www.euro.who.int/en/data-and-evidence/evidence-informed-policy-making/publications/hen-summaries-of-network-members-reports/what-are-the-effects-on-health-of-transport-related-air-pollution>

14. Βρίσκεται καὶ στό: <http://www.oecd.org/environment/cost-of-air-pollution.htm>

15. Στοιχεῖα ἀπὸ τὸ Energy & Capital, 30 Ἀπριλίου 2014, στό: <http://www.energyandcapital.com>

16. Βρίσκεται καὶ στὴν ἠλεκτρονικὴ διεύθυνση: <http://www.slideshare.net/WestcoastCE/a-comprehensive-guide-to-the-alberta-oil-sands-may-2011-revised-october-2011>

κατασκευαστών των αυτοκινήτων στο μέλλον θα είναι η ελαχιστοποίηση των εκπομπών CO₂, όταν χρησιμοποιούνται τα συμβατικά καύσιμα και οι συμβατικές μηχανές εσωτερικής καύσης¹⁷. "Ήδη τα συμβατικά όχημα με εκπομπές της τάξης των 100 gr ανά χιλιόμετρο, ή και λιγότερο, θα είναι υποχρεωτικό να κυκλοφορούν στις αστικές μας περιοχές μετά το 2020.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω θεμάτων προωθείται η χρήση «καθαρών καυσίμων», που ύστερα από πολλές δεκαετίες έρευνας περιορίζονται πλέον κυρίως στα:

1) υδρογόνο (αυτούσιο, ή –κυρίως– σε σχέση με όχημα «κυβελών καυσίμου»),

2) ηλεκτρισμό, από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, και

3) άλλα «καθαρά» καύσιμα, κυρίως:

– φυσικό αέριο (natural gas),

– συμπιεσμένο φυσικό αέριο (compressed natural gas–CNG), και

– βιο-καύσιμα δεύτερης γενιάς (κυτταρινικές βιο-αιθανόλες).

Η έκτεταμένη χρήση των «καθαρών» καυσίμων (περιλαμβανομένης της ηλεκτροκίνησης) έχει σήμερα δύο κύρια εμπόδια:

i. Έλλειψη υποδομών για την παροχή του αντίστοιχου «καυσίμου» σε γεωγραφική ανάπτυξη ικανή να εμπνεύσει «έμπιστοσύνη» στους καταναλωτές (ή κατάσταση αυτή όμως σταδιακά αλλάζει¹⁸, κυρίως για τα ηλεκτρικά όχημα). Ίσχυει εδώ ο φαύλος κύκλος: έλλειψη υποδομών παροχής καυσίμου – περιορισμένος αριθμός οχημάτων του αντίστοιχου τύπου – έλλειψη κινήτρων για δημιουργία των αναγκαίων υποδομών – κ.ο.κ.

ii. Υψηλό, ακόμη, κόστος αγοράς των οχημάτων σε σχέση με τα όχημα συμβατικού καυσίμου.

Τόσο το πρώτο όσο και το δεύτερο από τα παραπάνω εμπόδια αναμένεται να ξεπεραστούν στο σχετικά άμεσο και προβλέψιμο μέλλον (π.χ. μέσα

17. Ανακοινώσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (European Automobile Manufacturers Association–ACEA) στην Έκθεση Φορτηγών Αυτοκινήτων, Άνοβερο 2014, IAA Commercial Vehicle Show, που δημοσιεύθηκε στο *Automotive World weekly*, 23-9-2014 (www.automotiveworld.com – άρθρο της MEGAN LAMPINEN).

18. Δίκτυα σταθμών φόρτισης με «καθαρά» καύσιμα αναπτύσσονται πλέον συστηματικά σε όλη την Ευρώπη και με τη νομοθετική υποστήριξη της ΕΕ.

στην επόμενη πενταετία) με τη βοήθεια και νομοθετικών ρυθμίσεων, όπως οι Όδηγίες COM/2013/0017 και COM/2013/0018 της ΕΕ, που εκδόθηκαν το 2014, σχετικά με την ανάπτυξη των υποδομών παροχής-διανομής «καθαρών» καυσίμων αλλά και με την ανάπτυξη τεχνολογικών συστημάτων που διευκολύνουν τη χρήση τους μέσα στο υπόλοιπο σύστημα της αστικής κυκλοφορίας. Αναφέρεται εδώ, ως παράδειγμα, η πρωτοποριακή εφαρμογή συστήματος «βιώσιμης» ηλεκτροκίνησης στο πλαίσιο του γερμανικού έρευνητικού έργου iZEUS (intelligent Zero Emission Urban System): ένας στόλος από 60 ηλεκτρικά οχήματα εξοπλίστηκαν με ένα καινοτόμο σύστημα πλοήγησης, το οποίο ελέγχει συνεχώς την έμβέλεια κίνησης του ηλεκτρικού οχήματος (σε σχέση με την υπολειπόμενη φόρτιση της μπαταρίας) και δείχνει τους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων κατά μήκος της διαδρομής. Επίσης σε όλα τα οχήματα υπήρχε καινοτόμο σύστημα διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας για μέγιστη απόδοση και το όλο πλέγμα των σταθμών φόρτισης ήταν συνδεδεμένο μεταξύ τους για να παρέχει «εύφυη» έλεγχο της διατιθέμενης ενέργειας φόρτισης ανάλογα με τη συνολική φόρτιση του δικτύου ηλεκτροδότησης¹⁹.

Σχετικά με τα βιο-καύσιμα και υπολογίζοντας πάντα τον πλήρη «κύκλο ζωής» από την παραγωγή της πρώτης ύλης μέχρι την τελική μορφή του καυσίμου, ούτε το μεθάνιο, ούτε τα βιο-καύσιμα πρώτης γενιάς (από φυτά όπως το καλαμπόκι κ.ά.) και τρίτης γενιάς (από φύκια) έδειξαν να έχουν θετική τελική απόδοση και μάλλον δεν θα έχουν κάποιο σημαντικό ρόλο στο μέλλον τουλάχιστον για τις αστικές μεταφορές (ODUN 1973 και SPITZLEY 2005)²⁰. Αντίθετα, τα βιο-καύσιμα δεύτερης γενιάς (κυτταρινικές βιο-αιθανόλες) δείχνουν ότι μπορεί να έχουν συνολικό θετικό πρόσημο

19. Περισσότερες πληροφορίες στο: <http://www.izeus.org/>

20. Ίδετε επίσης παρέμβαση του GERD KLÖCK, Καθηγητού Bioprocess Engineering, Διευθυντού του Microalgal Biotechnology Group, University of Applied Sciences, Bremen, Germany με τίτλο: It's the process, stupid: Biofuels from microalgae are not yet sustainable, σε απάντηση του άρθρου: Algae: The ultimate biofuel, στο EurActiv.Com της 6ης Ιανουαρίου 2010.

στον συνολικό κύκλο ζωής τους, αν και παραμένουν σημαντικά ακριβότερα από τα συμβατικά καύσιμα ^{21,22}.

Συμπερασματικά, το μέλλον ως προς την κινητήρια ενέργεια (καύσιμο) που θα συμβάλει ουσιαστικά στην απο-ανθρακοποίηση των μεταφορών είναι ή χρήση ηλεκτρισμού είτε από μπαταρίες, των οποίων ή φόρτιση θα γίνεται από ηλεκτρισμό που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είτε από «κυψέλες καυσίμου» με καύσιμο το υδρογόνο (ή άλλη περιβαλλοντικά φιλική πρώτη ύλη), και σε μικρότερο ποσοστό από βιο-καύσιμα δεύτερης γενιάς ή απ' ευθείας υδρογόνο.

5. Αναγκαίες πολιτικές και κανονιστικό πλαίσιο για την Ελλάδα

Η προσαρμογή της ελληνικής πραγματικότητας στο διαμορφούμενο και σκιαγραφημένο παραπάνω πλαίσιο ανάπτυξης των αστικών μεταφορών του μέλλοντος είναι κάτι που δεν θα γίνει αυτόματα αλλά σταδιακά και με τους γνωστούς περιορισμούς και δυνατότητες του ελληνικού δημόσιου και ιδιωτικού θεσμικού και επιχειρηματικού πλαισίου. Είναι όμως πολύ σημαντικό να μεθοδευτεί από τώρα, με συστηματικό τρόπο και με τις κατάλληλες πολιτικές, θεσμικές και επιχειρηματικές πρωτοβουλίες. Τα κύρια χαρακτηριστικά των αναγκαίων πολιτικών και του κανονιστικού πλαισίου για μια «βιώσιμη» και «ευφυή» κινητικότητα στις αστικές περιοχές της Ελλάδας σκιαγραφούνται στα επόμενα.

5.1 Η ανάγκη για «ένοποιημένη» λειτουργία του συστήματος των αστικών μεταφορών

Η έκφραση «ένοποιημένη» ή «όλιστική» (integrated) λειτουργία του συστήματος των αστικών μεταφορών αναφέρεται στην ένοποιημένη, συντονισμένη και συμπληρωματική λειτουργία μεταξύ:

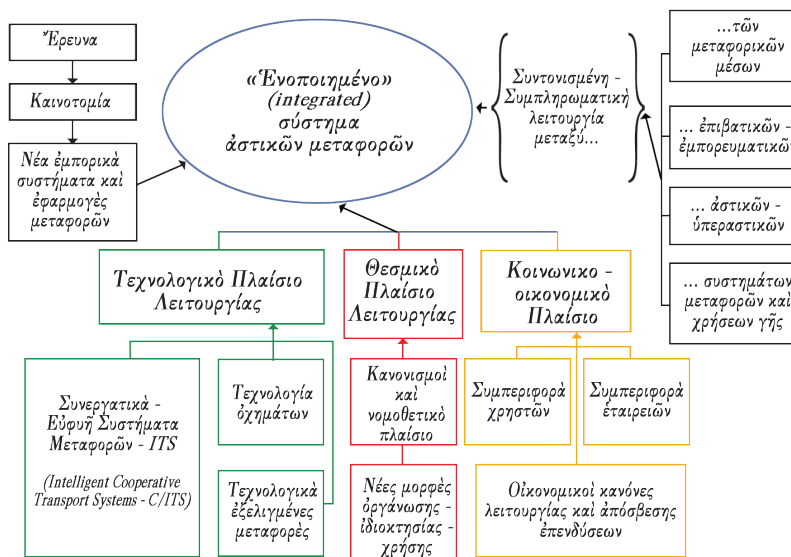
- 1) όλων των μεταφορικών μέσων,

21. <http://nextbigfuture.com/2007/08/comparison-energy-returned-on-energy.html>

22. <http://en.wikipedia.org/wiki/EROEI>, και CUTLER J. CLEVELAND, Ten fundamental principles of net energy.

- 2) τών συστημάτων έπιβατικών και έμπορευματικών μεταφορών,
- 3) τών αστικών και ύπεραστικών συστημάτων μεταφορών,
- 4) του συστήματος τών μεταφορών και του συστήματος τών χρήσεων γής.

Μια τέτοια όλιστική θεώρηση και οι κύριες συνιστώσες της φαίνονται σχηματικά στο Σχήμα 1. Όπως φαίνεται στο Σχήμα αυτό, ο βασικός και θεμελιώδης στόχος μιās «ένoποιημένης» (integrated) λειτουργίας του συστήματος είναι ή συντονισμένη και συμπληρωματική λειτουργία μέσα και στα τέσσερα «πεδία» συνεργασίας που αναφέρονται παραπάνω. Έπι πλέον, επιβάλλεται να υπάρξει και μια «όλιστική» θεώρηση, πράγμα που απαιτεί μέτρα και αλλαγές σε τρία επίπεδα: τεχνολογικό, θεσμικό και κοινωνικο-οικονομικό.



Σχήμα 1: Σχηματική παράσταση τής όλιστικής θεώρησης τής λειτουργίας του συστήματος τών αστικών μεταφορών-συγκοινωνιών.

Στο τεχνολογικό επίπεδο περιλαμβάνονται κυρίως τα τεχνολογικά έπιτεύγματα και οι προοπτικές που προαναφέρθηκαν με συνδυαστική «ύλη» όλων αυτών τα Εύφυη Συnergατικά Συστήματα Μεταφορών (C-ITS) για συνεργασία όχηματος-ύποδομής και πολλών άλλων που προαναφέρθηκαν.

Στὸ θεσμικὸ ἐπίπεδο λειτουργίας περιλαμβάνονται οἱ σχετικοὶ κανονισμοὶ καὶ τὸ νομοθετικὸ πλαίσιο καθὼς καὶ οἱ νέες μορφές ὀργάνωσης καὶ λειτουργίας στὸ σύστημα τῶν ἀστικῶν μεταφορῶν, ποὺ ἤδη προαναφέρθηκαν.

Τέλος, στὸ κοινωνικο-οικονομικὸ ἐπίπεδο ἐντάσσονται θέματα ὅπως ἡ συμπεριφορὰ τῶν («χρηστῶν») καὶ τῶν ἐταιρειῶν στὸν χῶρο τῶν ἀστικῶν μεταφορῶν, ἀλλὰ καὶ ὅλοι οἱ σχετικοὶ οἰκονομικοὶ κανόνες λειτουργίας ποὺ θὰ διέπουν τὰ νέα σχήματα καὶ τοὺς φορεῖς λειτουργίας.

Ἡ πλήρης ἀνάπτυξη τῶν θεμάτων αὐτῶν ἀπαιτεῖ μιὰ πολὺ περισσό-τερο λεπτομερειακὴ καὶ ἀναλυτικὴ παρουσίαση, ποὺ ὑπερβαίνει τὸν σκοπὸ καὶ τὸ μέγεθος τῆς παρούσας ἐργασίας.

5.2 Ἡ ἀνάγκη γιὰ ἄμεση προσαρμογὴ τοῦ ἐλληνικοῦ κανονιστικοῦ πλαισίου

Ἡ Ἑλλάδα θὰ πρέπει νὰ ἐκφράσει κατ' ἀρχὴν μιὰ ὀλοκληρωμένη καὶ σύγχρονη πολιτικὴ σχετικὰ μὲ τὰ θέματα τῆς ἀστικῆς κινητικότητας θεμελιωμένη στὶς βασικὲς παραπάνω ἀρχές καὶ τὶς τεχνολογικὲς δυνατότητες ποὺ προδιαγράφονται. Κάτι τέτοιο δὲν ἔχει ποτὲ γίνεῖ στὴ χώρα μας ἀλλὰ εἶναι ἀπαραίτητο νὰ γίνεῖ καὶ νὰ ἔχει τὴ διακομματικὴ στήριξη ὅλων (ἢ τουλάχιστον τῶν περισσότερων) πλευρῶν τοῦ κοινοβουλίου.

Σὲ πρώτη φάση, ἡ Ἑλλάδα πρέπει νὰ ἐναρμονιστεῖ μὲ τὴν Ὁδηγία 2010/40/EU τῆς Εὐρωπαϊκῆς Ἐνωσης ἀλλὰ καὶ μὲ τὸ ὑπόλοιπο εὐρωπαϊκὸ πλαίσιο γιὰ τὴ συντονισμένη καὶ συνεκτικὴ ἐξάπλωση καὶ χρῆση τῶν Εὐφυῶν Συστημάτων Μεταφορῶν (ITS) στὶς ἀστικὲς μεταφορές. Στὴν Ὁδηγία αὐτὴ τίθενται οἱ γενικὲς προϋποθέσεις καὶ οἱ ἀναγκαῖες δράσεις –στὸ πλαίσιο ὀρισμένων τομέων προτεραιότητας καθὼς καὶ ἡ ἀνάπτυξη, ὅπου χρειάζεται, κατάλληλων προτύπων καὶ προδιαγραφῶν– γιὰ τὴν ἀνάπτυξη τῶν Εὐφυῶν Συστημάτων Μεταφορῶν στὶς ἀστικὲς (μεταξὺ ἄλλων) μεταφορές. Οἱ τομεῖς προτεραιότητας, ποὺ προβλέπονται, εἶναι:

- ἡ βέλτιστη ἀξιοποίηση τῶν ὀδικῶν καὶ κυκλοφοριακῶν δεδομένων καθὼς καὶ τῶν δεδομένων μετακινήσεων,
- ἡ συνεκτικότητα τῶν ὑπηρεσιῶν ITS ὅσον ἀφορᾷ τὴ διαχείριση τῆς κυκλοφορίας καὶ τοῦ φορτίου,
- ἡ προώθηση τῶν ἐφαρμογῶν ὀδικῆς ἀσφάλειας καὶ προστασίας (safety and security),
- ἡ σύνδεση τοῦ ὀχήματος μὲ τὴν ὑποδομὴ,

– ή παροχή κοινών σε όλόκληρη την Ευρώπη υπηρεσιών ενημέρωσης μετακινουμένων πραγματικού χρόνου,

– ή έναρμονισμένη σε πανευρωπαϊκό επίπεδο παροχή ενός διαλειτουρικού και πανευρωπαϊκού e-Call (αυτόματης κλήσης υπηρεσιών παροχής βοήθειας σε περίπτωση ατυχήματος).

Σχετικά με την εφαρμογή και εξάπλωση της χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων στις αστικές περιοχές της Ελλάδος πρέπει να υπάρξει κανονιστική δράση σε σχέση με:

– τη χωροθέτηση και τις προδιαγραφές για τους σταθμούς φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με τον Κανονισμό της ΕΕ για την ανάπτυξη υποδομών έναλλακτικών καυσίμων²³,

– την «κοινή» χρήση και ιδιοκτησία ηλεκτρικών ΙΧ οχημάτων (car sharing),

– τη σταδιακή εφαρμογή περιοριστικών μέτρων και κανονισμών στην κυκλοφορία ΙΧ οχημάτων συμβατικών καυσίμων.

Όσον αφορά την εισαγωγή και χρήση έναλλακτικών –καθαρών– καυσίμων στις όδικές μεταφορές ή ελληνική νομοθεσία θα πρέπει να έναρμονιστεί και να εφαρμόσει τους πρόσφατους σχετικούς κανονισμούς της ΕΕ και ειδικότερα:

– τις Οδηγίες COM/2013/0017 και COM/2013/0018 για την ανάπτυξη των υποδομών έναλλακτικών καυσίμων, και

– την προτυποποίηση των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και την ένταξή τους σε ένα συνολικό δίκτυο «εύφουδς» ηλεκτροδότησης στις αστικές μας περιοχές²⁴.

23. Σε εφαρμογή της Οδηγίας της ΕΕ για την ανάπτυξη υποδομών έναλλακτικών καυσίμων («deployment of alternative fuels infrastructure» Directive) του 2014.

24. Όπως, για παράδειγμα, προωθείται ήδη από την Ευρωπαϊκή Έπιτροπή με την παραγγελία M468 προς τον Ευρωπαϊκό Όργανισμό Προτυποποίησης CEN/CENELEC. Στην Ελλάδα δεν έχουν προβλεφθεί προδιαγραφές για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων σε ιδιωτικούς (ιδιωτικά γκαράζ) και δημόσιους χώρους (πρασινάκια, σταθμοί φόρτισης στόλων, δημόσια γκαράζ κ.λπ.). Αυτό όμως προωθείται από το ΥΠΕΚΑ και τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), ενώ –σε συνεργασία και με τη ΔΕΗ– 15 πιλοτικοί σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων εγκαθίστανται σε Αθήνα και Κοζάνη στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού έργου Green eMotion.

Ἡ μεγάλη ἀλλαγὴ θὰ ἀφορᾷ τὴν προώθηση-ὑποβοήθηση, μὲ συγκεκριμένες πολιτικὲς ἀλλὰ καὶ νομικὸ πλαίσιο, τῆς προσφορᾶς «μεταφορικῶν ὑπηρεσιῶν σὲ ἐπιβάτες τῶν δημοσίων συγκοινωνιῶν ἀπὸ πόρτα σὲ πόρτα»: δηλαδή ὑπηρεσιῶν ποὺ θὰ δίνουν τὴ δυνατότητα στὸν μετακινούμενο νὰ πραγματοποιεῖ τὴν πλήρη μετακίνησή του ἀπὸ τὸ ἀρχικὸ σημεῖο ἀναχώρησής του στὸν τελικὸ προορισμὸ του χωρὶς τὴ χρῆση δικῶν του μεταφορικῶν μέσων (δηλαδή τοῦ ΙΧ του).

Αὐτὸ σημαίνει ὅτι πρέπει νὰ ἀναπτυχθοῦν καὶ ὑποβοηθηθοῦν ἀπὸ τὴν ἑλληνικὴ πολιτεία ὑπηρεσίες μεταφορῶν ποὺ θὰ ἐκκινοῦν (ἢ καταλήγουν) σὲ κόμβους τοῦ συστήματος τῶν δημοσίων μαζικῶν συγκοινωνιῶν καὶ ἀπὸ ἐκεῖ θὰ ἐπιτρέπουν στὸν μετακινούμενο νὰ ὀλοκληρώσει τὴ μετακίνησή του μὲ κάποιον «ἀτομικὸ» μέσο κοινῆς χρήσης γιὰ τὴ συγκεκριμένη μετακίνηση καὶ μόνο (π.χ. προσωρινὴ χρῆση ποδηλάτου ἢ ἠλεκτροκίνητου ΙΧ ἢ «κοινή» χρῆση τῶν ὀχημάτων αὐτῶν μὲ ἄλλους μετακινούμενους – vehicle sharing).

6. Ἐπίλογος

Βρισκόμαστε σὲ μιὰ πολὺ χαρακτηριστικὴ καὶ κρίσιμη καμπὴ τοῦ συστήματος ἀστικῶν μεταφορῶν καὶ κυκλοφορίας, ὅχι μόνο στὴν Ἑλλάδα ἀλλὰ καὶ στὴν Εὐρώπη γενικότερα, ἢ ὅποια θὰ ἀλλάξει ριζικὰ τὴν εἰκόνα τῶν ἀστικῶν μας περιοχῶν μέχρι τὸ 2050. Ὑπάρχουν ἤδη πολλὲς ἐνδείξεις γιὰ τὴν ὑπαρξὴ αὐτῆς τῆς κρίσιμης καμπῆς καὶ ποὺ εἶναι, μεταξὺ ἄλλων, οἱ:

- νέες πολιτικὲς μεταφορῶν καὶ οἱ στόχοι σὲ ἐπίπεδο Εὐρωπαϊκῆς Ἐνωσης,

- διαφαινόμενες τεχνολογικὲς ἐξελίξεις, οἱ ὁποῖες ἔχουν μιὰ δυναμικὴ ποὺ θὰ ἀλλάξει ριζικὰ τὴ μορφή καὶ τὴν οὐσία τῶν ἀστικῶν μεταφορῶν καὶ συγκοινωνιῶν ὅπως τὶς ξέρουμε σήμερα,

- νέες μορφές ἐπιχειρηματικῆς καὶ λειτουργικῆς ὀργάνωσης τῶν δημοσίων συγκοινωνιῶν, ποὺ ἀναμένεται νὰ διαδοθοῦν καθολικὰ τὰ ἐπόμενα χρόνια,

- διαφαινόμενες νέες κοινωνικὲς συνθῆκες καὶ δεδομένα στὶς ἀστικὲς μας περιοχὲς ποὺ (ἐνδεικτικὰ) χαρακτηρίζονται ἀπὸ τὴ γήρανση καὶ ἀλλοίωση τῆς σύνθεσης τοῦ πληθυσμοῦ, τοὺς νέους τρόπους καὶ πρότυπα ζωῆς («life styles»).

Στὶς τεχνολογικὲς ἐξελίξεις ποὺ ἀναμένονται, ἀναφέρονται ὡς κυριότερες:

1) Ἡ χρήση «καθαρῶν» καυσίμων καὶ κυρίως:

– ὑδρογόνου (αὐτούσιου, ἢ –κυρίως– σὲ σχέση με ὀχήματα «κυψελῶν καυσίμου»),

– ἠλεκτρισμοῦ, σὲ σχέση με ἠλεκτρικὰ ὀχήματα μπαταριῶν ἢ «κυψελῶν καυσίμου»,

– φυσικοῦ ἀερίου (natural gas) καὶ συμπιεσμένου φυσικοῦ ἀερίου (compressed natural gas–CNG).

Ἡ ἐφαρμογὴ καὶ ἐξάπλωση τῆς χρήσης τῶν ἠλεκτρικῶν ὀχημάτων στὶς ἀστικές περιοχὲς τοῦ μέλλοντος ἀναμένεται νὰ εἶναι σχεδὸν καθολικὴ. Γιὰ τὴν Ἑλλάδα αὐτὸ σημαίνει ὅτι πρέπει νὰ ὑπάρξει κανονιστικὴ δράση σχετικὰ μέ:

– τὴ χωροθέτηση καὶ τὶς προδιαγραφὲς τῶν σταθμῶν φόρτισης τῶν ἠλεκτρικῶν ὀχημάτων σύμφωνα με τὸν Κανονισμὸ τῆς ΕΕ γιὰ τὴν ἀνάπτυξη ὑποδομῶν ἐναλλακτικῶν καυσίμων²⁵,

– τὴν «κοινή» χρήση καὶ ἰδιοκτησία ἠλεκτρικῶν ΙΧ ὀχημάτων (car sharing ἠλεκτρικῶν ὀχημάτων),

– τὴ σταδιακὴ ἐφαρμογὴ περιοριστικῶν μέτρων στὴν κυκλοφορία ΙΧ ὀχημάτων συμβατικῶν καυσίμων.

2) Τὰ «εὐφυῆ» καὶ «συνεργατικὰ» ὀχήματα, ὅπου οἱ ἐπερχόμενες τεχνολογικὲς ἐξελίξεις ἀφοροῦν:

– τὴν εἰσαγωγὴ συνεχῶς καὶ μεγαλύτερης «εὐφυΐας» ἀφ' ἐνὸς στὸ ὄχημα ὡς standard ἐξοπλισμὸ, γιὰ τὴν ἀσφαλέστερη καὶ ἀνετότερη ὁδήγηση, ἀλλὰ καὶ ἀφ' ἑτέρου στὰ ὑλικά κατασκευῆς τοῦ ὀχήματος (μέσω εὐφυοῦς νανοτεχνολογίας), γιὰ παράδειγμα, τὴν ὑπαρξὴ «μνήμης» στὸ ὑλικό, ὥστε νὰ μπορεῖ νὰ ἀνακτᾷ τὸ ἀρχικὸ σχῆμα του μετὰ ἀπὸ μιὰ σύγκρουση²⁶,

– τὴν ὑλοποίηση τῶν λεγόμενων «συνεργατικῶν» συστημάτων ὀχήματος-ὑποδομῆς (cooperative ITS), μέσω τῶν ὁποίων ὑποδομὴ καὶ ὄχημα «συνεργάζονται» γιὰ τὴν ταχύτερη, ἀσφαλέστερη, ἐνεργειακὰ οἰκονομικὴ, κ.λπ., κίνηση τῶν ὀχημάτων στὸ δίκτυο.

25. Σὲ ἐφαρμογὴ τῆς Ὁδηγίας τῆς ΕΕ γιὰ τὴν ἀνάπτυξη ὑποδομῶν ἐναλλακτικῶν καυσίμων («deployment of alternative fuels infrastructure» Directive) τοῦ 2014.

26. Ἴδετε, γιὰ παράδειγμα, ἄρθρο τοῦ MICHAEL NASH στὸ *Automotive World weekly*, 3-10-2014 (www.automotiveworld.com).

– τήν ύλοποίηση και χρήση τής μερικῆς ἔως και πλήρως αὐτόνομης ὁδήγησης τῶν ὀχημάτων κυρίως γιά χρήση (τουλάχιστον σέ πρώτη φάση) γιά τὸ τελευταῖο στάδιο μιᾶς μετακίνησης με δημόσιες συγκοινωνίες.

3) Ἡ τεχνολογικά ἀναβαθμισμένη και βελτιστοποιημένη διαχείριση και ὁ ἔλεγχος τῆς κυκλοφορίας στίς ἀστικές περιοχές τοῦ μέλλοντος, ὅπου οἱ σχετικές καινοτομίες μποροῦν νά συνοψισθοῦν ὡς ἑξῆς:

– «προσαρμοζόμενα» (adaptive) συστήματα κεντρικοῦ ἐλέγχου ὀδικῆς κυκλοφορίας και δημοσίων συγκοινωνιῶν με ταυτόχρονη ἄμεση και «προσωποποιημένη» πληροφόρηση τῶν μετακινούμενων σέ πραγματικό χρόνο,

– ἀκριβῆς βραχυχρόνια πρόβλεψη τῶν κυκλοφοριακῶν συνθηκῶν στὸ ἀστικό ὀδικό δίκτυο,

– ἄμεση και σέ πραγματικό χρόνο διαχείριση ἔκτακτων καταστάσεων και ἄμεση και σέ πραγματικό χρόνο πληροφόρηση τῶν χρηστῶν,

– συνεργατικά συστήματα ἐπικοινωνίας ὀχήματος/ὀδηγοῦ και ὀδικῆς ὑποδομῆς.

4) Τὰ *Εὐφυῆ Συστήματα* διαχείρισης τῶν ἀστικῶν ἐμπορευματικῶν *Μεταφορῶν* τὰ ὁποῖα θά συνδυάζονται με τὰ λεγόμενα «εὐφυῆ φορτία» (intelligent cargo), δηλαδή τήν εἰσαγωγή «εὐφυίας» στὰ φορτία ποὺ μεταφέρονται, ὥστε αὐτὰ νά ἀποκτήσουν «γνώση» τοῦ προορισμοῦ τους, τῆς διαδρομῆς τους, και νά εἶναι σέ θέση νά δώσουν πληροφορίες στὸν ὀδηγὸ και τὸ σύστημα ἐλέγχου τῆς κυκλοφορίας σχετικά με τὸ σημεῖο προορισμοῦ και τὸν τρόπο μεταφορᾶς τους.

5) Οἱ νέοι τρόποι κατασκευῆς τῶν ὑποδομῶν, ὅπου οἱ πιὸ ριζικές ἀλλαγές ἀναμένεται νά ἀφοροῦν τήν κατασκευή τῶν ὀδικῶν ὑποδομῶν με τήν ἐνσωμάτωση σέ αὐτὲς κατασκευαστικῶν καινοτομιῶν γιά «προσαρμοζόμενους» (adaptable) και ἀνθεκτικούς (resilient) δρόμους στίς κλιματικές ἀλλαγές και συνθήκες, καθὼς και τῆς ἀπαραίτητης («εὐφυίας»), ὅπου θά ὑπάρχουν ἐνσωματωμένες ὅλες οἱ βασικές λειτουργίες τῶν *Εὐφυῶν Συστημάτων Μεταφορῶν* (Intelligent Transport Systems-ITS).

Τὸ κλειδί ὅμως ποὺ θά διαμορφώσει τὸ μελλοντικό μας σύστημα ἀστικῶν μεταφορῶν και συγκοινωνιῶν δὲν εἶναι ἡ ἀπλή μεταφορὰ τεχνολογικῶν καινοτομιῶν σέ αὐτὸ τὸ σύστημα, ἀλλὰ ὁ βαθμὸς στὸν ὁποῖο θά ἐπιτύχουμε μιὰ «ἐνοποιημένη» ἢ «ὀλιστική» (integrated) λειτουργία τοῦ συστήματος τῶν ἀστικῶν μεταφορῶν. Ἐνοποίηση δηλαδή μεταξὺ:

- τών διαφόρων μεταφορικών μέσων,
- τών συστημάτων έπιβατικών και έμπορευματικών μεταφορών,
- τών αστικών και ύπεραστικών συστημάτων μεταφορών,
- τοῦ συστήματος τών μεταφορών και τοῦ συστήματος τών χρήσεων γῆς.

Ἐπίσης τὸ ὁποιοδήποτε νομοθετικὸ καὶ πολιτικὸ πλαίσιο διαμορφωθεῖ θὰ πρέπει νὰ ἐφαρμοστεῖ στὴν πράξη ἀπὸ τὰ κατάλληλα ἐπιχειρηματικὰ καὶ χρηματοδοτικὰ σχήματα, ὅπως ἔχει γίνει στὸ παρελθὸν καὶ μὲ ἄλλες ἀνάλογες τεχνολογικὲς καινοτομίες (π.χ. μὲ τὴν κινητὴ τηλεφωνία). Ἡ συμμετοχὴ δηλαδὴ τοῦ ἰδιωτικοῦ τομέα στὴν ἐπερχόμενη νέα μορφή τών αστικών μας μεταφορῶν καὶ συγκοινωνιῶν ἀναμένεται νὰ εἶναι οὐσιαστικὴ καὶ βασικῆς σημασίας.

Συμπερασματικά, τὸ μέλλον τών αστικών μας μεταφορῶν καὶ συγκοινωνιῶν μπορεῖ νὰ εἶναι πολὺ καλύτερο ἀπὸ τὸ παρὸν ἢ τὸ παρελθὸν τους καὶ ὁ ρόλος τῆς τεχνολογίας εἶναι φυσικὰ καίριος σὲ αὐτό. Χρειάζεται ὅμως (κυρίως γιὰ τὴν Ἑλλάδα) καὶ ἡ δημιουργία τοῦ κατάλληλου κανονιστικοῦ, διαχειριστικοῦ καὶ ἐπιχειρηματικοῦ πλαισίου καὶ βεβαίως μιᾶς ἀναβάθμισης τῆς δημόσιας διοίκησης στοὺς ἀντίστοιχους τομείς (ἢ ὅποια θὰ κληθεῖ νὰ ἐφαρμόσει τὸ νέο πλαίσιο), ὅπου παραδοσιακὰ ἡ χώρα μας ὑστερεῖ χαρακτηριστικά.

Ἀναφορὲς

- DEUTSCHE POST, *Delivering Tomorrow: Logistics 2050, A Scenario Study*, 1η Ἐκδόση, Deutsche Post AG, Βόννη, Φεβρουάριος 2012.
- EE, *European transport policy for 2010: Time to decide*, Εὐρωπαϊκὴ Ἐπιτροπὴ, Βρυξέλλες 2001, Report COM (2001) 370 τελικὸ, 15.3.2001. Ἐπίσης ἡ ἐνδιάμεση ἔκθεση ἀξιολόγησης COM (2006) 314 τελικὸ.
- EE, *Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system*, Εὐρωπαϊκὴ Ἐπιτροπὴ, Βρυξέλλες 2011, Report COM (2011) 144 τελικὸ, 28.3.2011.
- ERTRAC, *Automated Driving Roadmap*, European Road Transport Advisory Council, Βρυξέλλες 2014, Ἐκθεση ἐργασίας τῆς ομάδας Connectivity and Automated Driving, Ὀκτώβριος 2014.
- FREESE, CH. – TOBIAS SCHÖNBERG, A., *Think Act: Shared Mobility, How new businesses are rewriting the rules of the private transportation game*, Roland Berger, Strategy Consultants, Μόναχο, Ἰούλιος 2014.
- KRZYŻANOWSKI, M. – KUNA-DIDDERT, B. – SCHNEIDER, J., *Health effects of transport-related air pollution*, World Health Organisation, Νέα Ὑόρκη 2005, σ. 190.

- McKINNON, A. C., Findings of EU Horizon 2020 Transport Advisory Group Report, σέ: *US/TRB Annual Conference, Paper no. P15-7066 in Session: Future Challenges in Transportation and R&D Needs – An International Perspective, 11th January 2015*, US/TRB, Washington DC 2015.
- MECH, M., *A Comprehensive Guide to the Alberta Oil Sands*, Περιφερειακή Κυβέρνηση του Δυτικού Καναδά, Όντάριο, Οκτώβριος 2011, σ. 110.
- MITSAKIS, E. – SALANOVA GRAU, J. – AIFADOPOULOU, G. – MINTSIS, G. – TSOUKOS, G., Cooperative Intelligent Transport Systems for freight transport, σέ: *ECITL (European Conference on ICT for Transport and Logistics), 5-7 Νοεμβρίου 2014*, Dortmund 2014.
- ODUN, H., *Energy, Ecology, and Economics*, Special energy edition of *Ambio* (No. 6, 1973) by the Royal Swedish Academy of Sciences in Stockholm, Sweden 1973, σ. 220-227.
- OECD, *The cost of air pollution: Health impacts of road transport*, Organisation of Economic Cooperation and Development, OECD, Παρίσι 2010.
- SAE, Πρότυπο SAE J3016 της Επιτροπής On-Road Automated Vehicle Standards Committee της SAE, Systems in Automotive/Aerospace Engineering (<http://www.sae.org/>) Βρυξέλλες 16.1.2014 (βρίσκεται στο http://standards.sae.org/j3016_201401/).
- SARACCO, R. – HARROW, J. R. – WEIHMAYER, R., *The Disappearance of Telecommunications*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE Press, Νέα Υόρκη 2000.
- SPITZLEY, D., *Impact Assessment on Environment, Economy and Society, Report No. CSS04-05R 10*, EU, Coordination Action ICT4FEV funded by the European Union in the framework of the European Green Cars Initiative under the FP7 Grant Agreement 260116, Brussels, February 2005.
-

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 12ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ 2015

ΑΠΟ ΤΟΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ FOURIER ΣΤΟΝ ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΟΧΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ
ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ κ. ΑΘΑΝΑΣΙΟ ΦΩΚΑ

*Άφιερωμένο στη μνήμη του Μακαριστού Μητροπολίτου Κεφαλληνίας
και μονάχου αδελφού μου Γερασίμου Φωκά*

Τὰ μαθηματικά αναπτύσσονται είτε για τὴ λύση συγκεκριμένων πρακτικῶν προβλημάτων είτε ἰδίου δικαιώματος. Τὰ μαθηματικά ἀπὸ τὴ μιὰ μεριά κατασκευάζουν ἀποτελεσματικὲς τεχνικὲς γιὰ τὴν κατανόηση τοῦ ἀντικειμενικοῦ κόσμου, καὶ ἀπὸ τὴν ἄλλη δημιουργοῦν ἀφηρημένες δομὲς ὀλοένα αὐξανόμενης πολυπλοκότητας. Αὐτὴ ἡ διπλὴ φύση τῶν μαθηματικῶν εἶναι, κατὰ τὴ γνώμη μου, νομοτελειακὴ. Πράγματι, ἡ πορεία τῆς ἔρευνας ἀναπόφευκτα δημιουργεῖ ἐρωτήματα ποὺ εἶναι πολὺ ἀπόμακρα ἀπὸ τὴν πρωταρχικὴ μαθηματικὴ ἐρώτηση. Αὐτὴ ὁδηγεῖ στὴ δημιουργία ἀφηρημένων μαθηματικῶν δομῶν, ἡ ἐξερεύνηση τῶν ὁποίων εἶναι χαρακτηριστικὴ ἐκδήλωση τῆς ἀνθρώπινης διανοητικῆς περιέργειας στὴν πιὸ ἀγνή της μορφή. Θεωρῶ λάθος νὰ ξεχωρίζουμε αὐτὲς τὲς δύο πτυχὲς τῶν μαθηματικῶν, τὴν ἐφαρμοσμένη καὶ τὴ θεωρητικὴ. Μιὰ θεωρητικὴ περιοχὴ μπορεῖ ξαφνικὰ νὰ δώσει ἀπάντηση σὲ θεμελιώδη προβλήματα ἐφαρμογῶν. Γιὰ παράδειγμα, ἡ Μαθηματικὴ Λογικὴ καὶ ἡ Θεωρία Ἀριθμῶν ἔπαιξαν καθοριστικὸ ρόλο στὴ δημιουργία τοῦ ὑπολογιστῆ. Ἡ Τοπολογία καὶ ἡ Θεωρία Κόμβων ἔχουν σημαντικότερες ἐφαρμογὲς στὴ φυσικὴ καὶ στὴ βιολογία.

Γράφει ο περίφημος Γαλιλαῖος: «Ἡ φιλοσοφία εἶναι γραμμένη σὲ αὐτὸ τὸ μεγαλειῶδες βιβλίον —τὸ σύμπαν λέγω— τὸ ὁποῖο εἶναι ἀνοικτὸ μπροστὰ στὰ μάτια μας. Ἀλλὰ αὐτὸ τὸ βιβλίον δὲν μπορεῖ νὰ γίνῃ κατανοητὸ ἂν δὲν ἐξοικειωθοῦμε πρῶτα μὲ τὴ γλῶσσα στὴν ὁποία εἶναι γραμμένο καὶ ἂν δὲν καταλάβουμε τοὺς χαρακτῆρες τῆς γλώσσας αὐτῆς. Εἶναι γραμμένο στὴ γλῶσσα τῶν μαθηματικῶν, καὶ οἱ χαρακτῆρες του εἶναι τρίγωνα, κύκλοι καὶ ἄλλα γεωμετρικὰ σχήματα, χωρὶς τὰ ὁποῖα εἶναι ἀνθρωπίνως ἀδύνατο νὰ κατανοήσουμε ἔστω μιὰ λέξη ἀπὸ αὐτό. Χωρὶς αὐτά, εἶναι σὰν νὰ περιφερόμεθα μάταια σὲ ἓναν σκοτεινὸ λαβύρινθο».

Ἡ παραπάνω δήλωση ἀποτελεῖ τὸν λόγο γιὰ τὸν ὁποῖο ὁ Γαλιλαῖος (1564-1642), πατέρας τῆς σύγχρονης φυσικῆς, θεωρεῖται ἀπὸ πολλοὺς ὅτι πρῶτος εἰσήγαγε τὴν ἀντίληψη ὅτι οἱ φυσικοὶ νόμοι εἶναι γραμμένοι στὴ γλῶσσα τῶν μαθηματικῶν. Ὡστόσο οἱ ἀρχαῖοι Ἕλληνες εἶχαν ἤδη ἐκτιμήσει αὐτὸ τὸ γεγονός. Πράγματι, ὁ Μπέρτραντ Ράσελ θεωροῦσε τὸν Πυθαγόρα ὡς ἓναν ἀπὸ τοὺς σπουδαιότερους διανοούμενους ὄλων τῶν ἐποχῶν, ἀκριβῶς ἐπειδὴ ὁ Πυθαγόρας ἦταν ὁ πρῶτος ποὺ ἰσχυρίστηκε ὅτι μποροῦμε νὰ κατανοήσουμε τὴ φύση μὲσῶ τῶν μαθηματικῶν. Σύμφωνα μὲ τὸν ἴδιο, «τὰ πάντα εἶναι φτιαγμένα μὲ ἀριθμούς». Ἀργότερα ὁ νεοπλατωνικὸς φιλόσοφος Ἰάμβλιχος (295-345 μ.Χ.) ἔγραψε: «Οἱ τροχιᾶς τῶν πλανητῶν καὶ οἱ δυνάμεις ποὺ δημιουργοῦνται μεταξὺ τους, ὁ φωτισμὸς τοῦ φεγγαριοῦ, ἡ διάταξη τῶν πλανητῶν καὶ ἡ ἀπόσταση μεταξὺ τους, ἡ ἀπόσταση τῶν κέντρων τῶν κύκλων στοὺς ὁποίους κινοῦνται, τὰ πάντα ἐκφράζονται μὲ ἀριθμούς». Ἐπιπροσθέτως, ὁ Πρόκλος (412-484 μ.Χ.) ἀναρωτήθηκε: «Πῶς εἶναι ὀργανωμένος ὁ αἰσθητὸς κόσμος; Σύμφωνα μὲ ποιᾶς ἀρχές; Ἀπὸ τί εἶδους ἀρχές γεννήθηκε, ἂν ὄχι ἀπὸ μαθηματικές;»

Προκειμένου νὰ κατανοήσουμε τοὺς νόμους ποὺ διέπουν τὰ φυσικὰ καὶ ἄλλα φαινόμενα εἶναι ἀπαραίτητο νὰ ἀσχοληθοῦμε μὲ τὰ μαθηματικά. Ὡς φοιτητῆς τῆς Ἀεροναυπηγικῆς κατανόησα ὅτι, γιὰ νὰ σχεδιάσει κανεὶς κατὰλληλα φτερὰ ἀεροπλάνου, πρέπει πρῶτα νὰ ἀναλύσει τίς ἐξισώσεις Navier-Stokes, ποὺ δὲν εἶναι τίποτε ἄλλο παρὰ ἡ μαθηματικὴ ἔκφραση τῶν νόμων τῆς ἀεροδυναμικῆς. Αὐτὸς ἦταν ἓνας ἀπὸ τοὺς κύριους λόγους ποὺ τελικὰ μὲ ὀδήγησαν νὰ ἀσχοληθῶ μὲ τὰ μαθηματικά.

Τὸν προηγούμενο αἰῶνα τὰ μαθηματικά εἶχαν ἐστιαστῆι στὶς θετικῆς ἐπιστῆμες καὶ στὴν τεχνολογία. Εἶναι τώρα προφανές ὅτι σὲ αὐτὸν τὸν αἰῶνα ἡ βιολογία, ἡ ἱατρικὴ, οἱ οἰκονομικῆς, ἀκόμα καὶ οἱ κοινωνικῆς ἐπιστῆμες, ὅλο καὶ περισσότερο μαθηματικοποιοῦνται.

Πολλά από τὰ ἀνωτέρω φαινόμενα περιγράφονται μὲ μαθηματικὲς ἐξισώσεις. Παρόλο πὸν ὑπάρχουν πολλῶν εἰδῶν ἐξισώσεις, οἱ λεγόμενες διαφορικές θεωροῦνται οἱ πλέον σημαντικές. Οἱ διαφορικές ἐξισώσεις χωρίζονται σὲ δύο μεγάλες κατηγορίες, στὶς γραμμικὲς καὶ στὶς μὴ γραμμικὲς. Πολλὲς ἀπὸ τὶς γραμμικὲς ἐξισώσεις λύνονται ἀναλυτικῶς μὲ μιὰ θεμελιώδη μέθοδο ἢ ὁποῖα ἀνακαλύφθηκε τὸν 17ο αἰώνα. Αὐτὴ ἡ μέθοδος, ἢ ὁποῖα τελειοποιήθηκε ἀπὸ τὸν μεγάλο μαθηματικὸ Fourier, στηρίζεται στὴ γενικότερη ἀρχὴ τοῦ χωρισμοῦ μεταβλητῶν. Ἀπὸ τὴν ἄλλη μεριά, οἱ μὴ γραμμικὲς ἐξισώσεις γενικὰ δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ λυθοῦν ἀναλυτικά. Γι' αὐτὸ ἐθεωρήθη σπουδαῖο ἐπίτευγμα ἢ ἀνακάλυψη τὸ 1967 μιᾶς μεθόδου λύσεως μιᾶς μεγάλης κατηγορίας μὴ γραμμικῶν ἐξισώσεων, τῶν λεγόμενων ὀλοκληρώσιμων. Αὐτὴ ἡ θεμελιώδης μέθοδος στηρίζεται στὸ ἐντελῶς πρωτότυπο γεγονός ὅτι ἡ καθεμιὰ ἀπὸ αὐτὲς τὶς ἐξισώσεις εἶναι ἰσοδύναμη μὲ ἓνα ζευγάρι ἐξισώσεων πὸν λέγεται ζευγάρι Lax, πρὸς τιμὴ τοῦ μεγάλου μαθηματικοῦ P. Lax πὸν τὶς ἀνακάλυψε.

Τὸ 1994 σὲ συνεργασία μὲ τὸν I. M. Gelfand [1], ἔναν ἀπὸ τοὺς μεγαλύτερους μαθηματικοὺς τοῦ 20οῦ αἰώνα, δείξαμε ὅτι: α) ὑπάρχουν ζεύγη Lax καὶ γιὰ τὶς γραμμικὲς ἐξισώσεις, β) γιὰ τὶς γραμμικὲς ἐξισώσεις ἡ μέθοδος χωρισμοῦ μεταβλητῶν εἶναι ἰσοδύναμη μὲ τὴν ἀνάλυση μίας μόνο ἐκ τῶν δύο ἐξισώσεων τοῦ ζεύγους Lax.

Γιὰ παράδειγμα, γιὰ τὴ γραμμικὴ ἐξίσωση

$$iu_t + u_{xx} = 0,$$

ἓνα ζευγάρι Lax δίδεται ἀπὸ τὶς ἀκόλουθες δύο γραμμικὲς ἐξισώσεις, οἱ ὁποῖες ἰκανοποιοῦνται ἀπὸ τὴ συνάρτηση $\mu(x,t,k)$:

$$\mu_x + ik\mu = u, \quad (1)$$

$$\mu_t + ik^2\mu = iu_x + ku, \quad k \in \mathbb{C}. \quad (2)$$

Ὑπενθυμίζω ὅτι, γιὰ τὴν ἀνωτέρω ἐξίσωση γιὰ τὴ συνάρτηση $u(x,t)$, ἡ μέθοδος τοῦ χωρισμοῦ μεταβλητῶν παράγει τὶς ἀκόλουθες δύο ἐξισώσεις:

$$u(x,t) = X(x;k)T(t;k). \quad (3)$$

$$X'' + k^2X = 0, \quad (4)$$

$$T' - ik^2T = 0. \quad (5)$$

Συγκρίνοντας τις εξισώσεις (1) και (2) με τις (4) και (5) βλέπουμε ότι οι εξισώσεις (1) και (2) αποτελούν μια «προηγμένη μορφή χωρισμοῦ μεταβλητῶν» [2]. Ὄντως ἡ ἐξίσωση (1) κατ' ἀναλογία με τὴν ἐξίσωση (4) εἶναι μιὰ διαφορική ἐξίσωση ὡς πρὸς τὸ x . Ἐπίσης, ἡ ἐξίσωση (2) κατ' ἀναλογία με τὴν ἐξίσωση (5) εἶναι μιὰ διαφορική ἐξίσωση ὡς πρὸς τὸ t . Ἀλλὰ τὸ ζεύγος Lax ἔχει ἓνα σημαντικό πλεονέκτημα: οἱ ἐξισώσεις (4) και (5) ἰσχύουν μόνο γιὰ τὴν εἰδικὴ λύση (3), ἐνῶ τὸ ζευγάρι Lax ἰσχύει γιὰ κάθε λύση.

Ἡ ἐξίσωση (2) μᾶς δίδει τὴ δυνατότητα μιᾶς καινούργιας μεθόδου παραγωγῆς τοῦ μετασχηματισμοῦ Fourier: ἀντὶ νὰ χρησιμοποιήσουμε τὴν ἐξίσωση (4), ἢ ὁποία εἶναι δευτέρας τάξεως, τώρα δυνάμεθα νὰ χρησιμοποιήσουμε τὴν ἐξίσωση (1), ἢ ὁποία εἶναι πρώτης τάξεως και κατὰ συνέπεια εὐκολότερη νὰ λυθεῖ.

Ἀπὸ τὰ ἀνωτέρω γίνεται κατανοητὸ ὅτι τόσο οἱ γραμμικὲς ὅσο και μιὰ μεγάλη κατηγορία μὴ γραμμικῶν ἐξισώσεων λύνονται οὐσιαστικὰ με τὴ μέθοδο χωρισμοῦ μεταβλητῶν.

Γιὰ τὶς γραμμικὲς ἐξισώσεις ἢ μέθοδος χωρισμοῦ μεταβλητῶν ὀδηγεῖ και στὴ λύση ὀρισμένων προβλημάτων συνοριακῶν τιμῶν. Τέτοιου εἴδους ὅμως προβλήματα ἦταν ἀδύνατον μέχρι προσφάτως νὰ λυθοῦν γιὰ μὴ γραμμικὲς ἐξισώσεις. Ἀρχισα νὰ ἀσχολοῦμαι με αὐτὰ τὰ μὴ γραμμικὰ προβλήματα τὸ 1982, ὅταν ὁ μεγάλος μαθηματικὸς Julian Cole ἔθεσε στὸν Mark Ablowitz και σὲ μένα τὸ ἀκόλουθο μὴ γραμμικὸ πρόβλημα συνοριακῶν τιμῶν:

$$q_t + q_x + q_{xxx} + qq_x = 0, \quad 0 < x < \infty, t > 0,$$

$$q(x, 0) = 0, \quad 0 < x < \infty,$$

$$q(0, t) = a \sin(bt), \quad t > 0,$$

ὅπου a και b εἶναι σταθερές.

Μετὰ ἀπὸ μιὰ δεκαπεντάχρονη προσπάθεια κατάφερα τελικὰ νὰ λύσω μὴ γραμμικὰ προβλήματα συνοριακῶν τιμῶν [3]. Αὐτὸ ἔγινε δυνατὸ μόνο ὡς ἀποτέλεσμα τοῦ γεγονότος ὅτι ξεπέρασα τὸ φράγμα τοῦ χωρισμοῦ τῶν μεταβλητῶν. Συγκεκριμένα, κατανόησα ὅτι, ἀντὶ νὰ ἀναλύουμε τὴν κάθε μιὰ ἀπὸ τὶς ἐξισώσεις τοῦ ζεύγους Lax χωριστὰ, γιὰ τὴ λύση προβλημάτων συνοριακῶν τιμῶν εἶναι ἀπαραίτητο νὰ τὶς ἀναλύουμε ταυτόχρονα. Αὐτὸ ἀποτελεῖ σύνθεση και ὄχι διαχωρισμὸ μεταβλητῶν.

Μετὰ τὴ λύση τῶν μὴ γραμμικῶν προβλημάτων κατανόησα με μεγάλη ἐκπληξὴ ὅτι αὐτὴ ἢ μέθοδος ὀδηγεῖ σὲ ἓναν ἐντελῶς καινούργιο τρόπο

λύσεως γραμμικῶν προβλημάτων. Μὲ αὐτὸν τὸν τρόπο γεννήθηκε μιὰ καινούργια μέθοδος λύσεως γραμμικῶν καὶ ὀλοκληρώσιμων μὴ γραμμικῶν διαφορικῶν ἐξισώσεων σὲ δύο διαστάσεις, ποὺ ὀνομάζεται ἡ «ἐνοποιημένη μέθοδος» (ἢ «μέθοδος Φωκᾶ»).

Αὐτὴ ἡ καινούργια μέθοδος ἔχει ἤδη ὀδηγήσει στὴ λύση πολλῶν προβλημάτων γιὰ γραμμικὲς καὶ γιὰ μὴ γραμμικὲς ἐξισώσεις. Ἐπίσης, ἀκόμη καὶ γιὰ ἐξισώσεις ὅπως αὐτὴ τῆς θερμότητας, ποὺ εἶχαν ἤδη λυθεῖ μὲ χωρισμὸ μεταβλητῶν, ἡ καινούργια μέθοδος δίνει διαφορετικὸ τύπο λύσεως μὲ σημαντικὰ πλεονεκτήματα, τόσο ἀναλυτικὰ ὅσο καὶ ἀριθμητικὰ, σὲ σχέση μὲ τὸν κλασικὸ τύπο.

Ὡς παράδειγμα θὰ παρουσιάσω τὴ λύση τοῦ ἀκόλουθου προβλήματος συνοριακῶν τιμῶν γιὰ τὴν ἐξίσωση τῆς θερμότητας:

$$\begin{aligned} u_t &= u_{xx}, & 0 < x < \infty, & 0 < t < T, & T > 0, \\ u(x, 0) &= u_0(x), & 0 < x < \infty, & u(0, t) &= g_0(t), & 0 < t < T. \end{aligned} \quad (6)$$

Ὁ κλασικὸς τρόπος χωρισμοῦ μεταβλητῶν δίδει τὸν ἀκόλουθο τύπο, ὁ ὁποῖος ὑπάρχει σὲ ὅλα τὰ σχετικὰ διδακτικὰ ἐγχειρίδια:

$$u(x, t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty e^{-k^2 t} \sin(kx) \left[\int_0^\infty \sin(k\xi) u_0(\xi) d\xi - k \int_0^t e^{k^2 s} g_0(s) ds \right] dk. \quad (7)$$

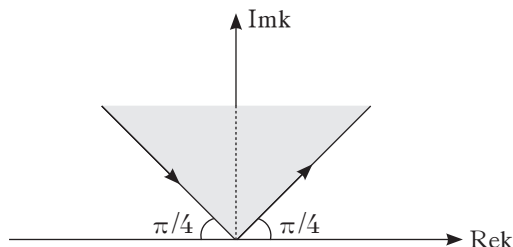
Ἡ ἐνοποιημένη μέθοδος δίδει τὸν τύπο

$$u(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty e^{ikx - k^2 t} \hat{u}_0(k) dk - \frac{1}{2\pi} \int_{\partial D} e^{ikx - k^2 t} [\hat{u}_0(-k) + 2ikG_0(k^2)] dk, \quad (8)$$

ὅπου οἱ συναρτήσεις $\hat{u}_0(k)$ καὶ $G_0(k)$ δίδονται ἀπὸ τὶς ἀκόλουθες ἐξισώσεις:

$$\hat{u}_0(k) = \int_0^\infty e^{-ikx} u_0(x) dx, \quad \text{Im}k \leq 0, \quad G_0(k) = \int_0^T e^{ks} g_0(s) ds, \quad k \in \mathbb{C},$$

καὶ ἡ καμπύλη ∂D δίδεται στὸ κάτωθι διάγραμμα:



Πρέπει να τονιστεί ότι ο κλασικός τύπος (7) πάσχει από έλλειψη ομοιόμορφης σύγκλισης. Πράγματι, η τιμή $x=0$ εντός του ολοκληρώματος δίδει $u(0,t)=0$ αντί $u(0,t)=g_0(t)$. Ως αποτέλεσμα αυτού του σημαντικού μειονεκτήματος, το οποίο αποτελεί βασικό μειονέκτημα όλων των τύπων που προκύπτουν από τον κλασικό τρόπο χωρισμού μεταβλητών, ο τύπος (7) δεν χρησιμοποιείται για τον αριθμητικό υπολογισμό της λύσεως. Σε αντίθεση, ο τύπος (8) έχει ομοιόμορφη σύγκλιση και κατά συνέπεια δύναται να χρησιμοποιηθεί για τον αριθμητικό υπολογισμό της λύσεως [4].

Πρέπει να τονίσω ότι η μέθοδος λύσεως γραμμικών εξισώσεων όπως η εξίσωση της θερμότητας θεωρείτο τόσο πλήρης, που νομίζω ότι δύσκολα θα βρισκόταν έστω και ένας μαθηματικός που θα περίμενε την ανακάλυψη μιας καινούργιας μεθόδου.

Η ενοποιημένη μέθοδος δεν οδηγεί μόνο σε έναν καινούργιο και αποτελεσματικό τρόπο για τη λύση εξελικτικών εξισώσεων, αλλά και οδηγεί σε μια καινούργια μέθοδο για τη λύση ελλειπτικών εξισώσεων. Ένδεικτικά, αναφέρω τις εργασίες [5] - [7]. Επίσης οδηγεί σε μια καινούργια αντιμετώπιση για την αυστηρή ανάλυση ελλειπτικών εξισώσεων [8].

Το κάτωθι διάγραμμα δείχνει σταθμούς στην πορεία λύσεως μερικών διαφορικών εξισώσεων. Η καινούργια μέθοδος αποτελεί σύνθεση, γενίκευση και «μη-γραμμικοποίηση» των δύο σημαντικότερων μεθόδων λύσεως γραμμικών εξισώσεων.

1747: d'Alembert και Euler: Διαχωρισμός Μεταβλητών

1807: Fourier: Μετασχηματισμός Fourier

1814: Cauchy: Αναλυτικότητα

1828: Green: Αναπαραστάσεις του Green

1845: Kelvin: Μέθοδος των Ειδώλων

Μετασχηματισμός Fourier
Φασματικός Χώρος

Αναπαραστάσεις του Green
Φυσικός Χώρος

Ένοποιημένος Μετασχηματισμός (Μέθοδος Φωκᾶ)

Περισσότερες πληροφορίες για την ανωτέρω μέθοδο υπάρχουν στα βιβλία και άρθρα [9] - [11] .

Μεγάλος αριθμός δημοσιεύσεων οι οποίες στηρίζονται στην καινούργια μέθοδο υπάρχει στην ακόλουθη διεύθυνση: <http://www.personal.reading.ac.uk/~smr07das/UTM/>

Τελειώνοντας, αναφέρω ότι προσφάτως τρεις Άμερικανοί μαθηματικοί παρουσίασαν στο *Siam Review*, το πιο σημαντικό διεθνώς περιοδικό στα εφαρμοσμένα μαθηματικά, μια εξονυχιστική ανάλυση της καινούργιας μεθόδου [12]. Στο ίδιο τεύχος υπάρχει ένα κύριο άρθρο του εκδότη του περιοδικού [13], ο οποίος συγκρίνει το άλμα Φόσπερι στο ύψος με την καινούργια μέθοδο: «Κατά σύμπτωση, στις αρχές του 19ου αιώνα από τη μια δημοσιεύθηκε η έρευνα του Ζοζέφ Φουριέ για την επίλυση της εξίσωσης της θερμοότητας με χρήση τριγωνομετρικών σειρών και από την άλλη εισήχθη το άλμα εις ύψος ως αγώνισμα στα αθλητικά δρώμενα. Για περισσότερα από 150 χρόνια, η μέθοδος “ψαλίδι” και η μέθοδος του Φουριέ θεωρούνταν βέλτιστες για το άλμα εις ύψος και για τη λύση διαφορικών εξισώσεων, μέχρις ότου ο Άλτης Ρίτσαρντ Φόσπερι συγκλόνισε την κοινότητα του στίβου με μία νέα τεχνική, η οποία περιελάμβανε περιστροφή του σώματος και προσέγγιση του πήχη με την πλάτη. Αυτή η νέα τεχνική οδήγησε στα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Το δίδαγμα είναι σαφές: η επιτυχία μπορεί να υπονομεύσει την καινοτομία, υπό την έννοια ότι η επικρατούσα λειτουργική λύση δεν είναι απαραίτητως και η βέλτιστη. Το παρόν τμήμα του *SIAM Review* αναφέρεται στο παραπάνω ζήτημα διανθίζοντας παραδοσιακά προγράμματα σπουδών με νέες ιδέες: το άρθρο “The Method of Fokas for Solving Linear Partial Differential Equations” των Bernard Deconinck, Thomas Trogdon και Vishal Vasan είναι ιδανικό για τον σκοπό αυτό». Ο εκδότης του *SIAM Review* Louis F. Rossi καταλήγει: «Η μέθοδος του Φωκᾶ αποτελεί ένα εξαιρετικό συμπλήρωμα που παρέχει νέες προοπτικές στη μελέτη των ολοκληρωτικών μετασχηματισμών αλλά και των μετασχηματισμών γενικῶς. Κατ’ αναλογία με τη μέθοδο του Φόσπερι στο άλμα εις ύψος, η μέθοδος του Φωκᾶ προσεγγίζει γνωστά προβλήματα με μια νέα οπτική, παρέχοντας στους φοιτητές και τους διδάσκοντες νέες προοπτικές για τις γραμμικές Μερικές Διαφορικές Έξισώσεις».

Ο 18ος αιώνας θεωρείται από πολλούς διανοητές ως ο χρυσός αιώνας των μαθηματικών. Είναι παράξενο ότι οι γίγαντες του 18ου αιώνα, και ιδιαίτερα ο Fourier και ο Laplace, δεν ανακάλυψαν αυτήν τη μέθοδο. Ίσως αυτό να

ὀφείλεται στὸ ὅτι σὲ αὐτὴ τὴ συγκεκριμένη περίπτωση ἡ γνώση δὲν πέρασε ἀπὸ τὸ πιὸ ἀπλὸ στὸ πιὸ σύνθετο, ἀλλὰ ἀνάποδα, ἀπὸ τὸ πιὸ σύνθετο στὸ πιὸ ἀπλό. Δηλαδή ἡ ἀνακάλυψη τοῦ ζεύγους Lax, ποῦ ἀρχικὰ χρησιμοποιήθηκε γιὰ τὴ λύση τῶν σύνθετων μὴ γραμμικῶν προβλημάτων, τελικὰ ὠδήγησε σὲ μιὰ καινούργια μέθοδο γιὰ τὴ λύση τῶν πιὸ ἀπλῶν γραμμικῶν προβλημάτων.

Ἀναφορὲς

- [1] A. S. FOKAS — I. M. GELFAND, Integrability of linear and nonlinear evolution equations and the associated nonlinear Fourier transforms, *Lett. Math. Phys.*, 32, 3, 1994, σ. 189-210.
 - [2] A. S. FOKAS, Lax pairs: A novel type of separability, *Inverse Problems*, 25, 12, 2009, σ. 1-44.
 - [3] A. S. FOKAS, A Unified Transform Method for Solving Linear and Certain Nonlinear PDE's, *Proc. R. Soc. A*, 453, 1997, σ. 1411-1443.
 - [4] N. FLYER — A. S. FOKAS, A Hybrid Analytical Numerical Method for Solving Evolution Partial Differential Equations. I. The Half-Line, *Proc. R. Soc. A*, 464, 2008, σ. 1823-1849.
 - [5] B. FORNBERG — N. FLYER, A numerical implementation of Fokas boundary integral approach: Laplace's equation on a polygonal domain, *Proc. R. Soc. A*, 467, 2011, σ. 2983-3003.
 - [6] D. M. AMBROSE — D. P. NICHOLLS, Fokas integral equations for three dimensional layered-media scattering, *Journal of Computational Physics*, 276, 2014, σ. 1-25.
 - [7] P. HASHEMZADEH — A. S. FOKAS — S. A. SMITHEMAN, A Numerical Technique for Linear Elliptic PDEs in Polygonal Domains, *Proc. R. Soc. A*, 471: 20140747, 2015.
 - [8] A. C. L. ASHTON, On the rigorous foundations of the Fokas method for linear elliptic partial differential equations, *Proc. R. Soc. A*, 468, 2012, σ. 1325-1331.
 - [9] A. S. FOKAS, *A Unified Approach to Boundary Value Problems*, CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics, SIAM, Philadelphia 2008.
 - [10] A. S. FOKAS — E. A. SPENCE, Synthesis as opposed to separation of variables, *SIAM Rev.*, 54, 2012, σ. 291-324.
 - [11] A. S. FOKAS — B. PELLONI (eds.), *Unified Transform for Boundary Value Problems*, SIAM, 2015.
 - [12] B. DECONINCK — T. TROGDON — V. VASAN, The Method of Fokas for Solving Linear Partial Differential Equations, *SIAM Rev.*, 56, 1, 2014, σ. 159-186.
 - [13] L. F. ROSSI, Education (Editorial), *SIAM Rev.*, 56, 1, 2014, σ. 157-158.
-

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 31ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ 2015

ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
κ. ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΜΠΟΥΝΤΗ

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΕΔΡΟ
κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟ Β. ΝΑΝΟΠΟΥΛΟ

Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ὑποδέχεται σήμερα μεῖ ιδιαίτερη τιμὴ ὡς ἀντεπιστέλλον μέλος τῆς τὸν κ. Ἀναστάσιο Μπούνη, καθηγητὴ Μαθηματικῶν στὸ Πανεπιστήμιο Πατρῶν, τὸν ὁποῖο ἡ Ὀλομέλεια ἐξέλεξε κατὰ τὸ ἔτος 2014 στὸν κλάδο «Πολύπλοκα Συστήματα» στὴν Τάξη τῶν Θετικῶν Ἐπιστημῶν.

Ὁ κ. Μπούνης γεννήθηκε στὴν Ἀθήνα καὶ ἔκανε τὶς προπτυχιακὲς καὶ μεταπτυχιακὲς του σπουδὲς στὶς Ἡνωμένες Πολιτεῖες Ἀμερικῆς, παίρνοντας διδακτορικὸ στὴ Θεωρητικὴ Φυσικὴ. Εἶναι ἀπὸ τοὺς πρώτους Ἑλληνες ποὺ ἀσχολήθηκαν ἐρευνητικὰ μετὰ τὴ θεωρία καὶ τὶς ἐφαρμογὲς τοῦ χάους καὶ τῶν φράκταλ. Ἔχει διοργανώσει ἀπὸ τὸ 1986 μέχρι σήμερα 5 διεθνεῖς συνέδρια καὶ 22 θερινὰ σχολεῖα σὲ θέματα χάους καὶ πολυπλοκότητας.

Ὁ κ. Μπούνης ἔχει, τέλος, ἐπισκεφθεῖ ὡς διδάσκων καὶ ἐρευνητικὸς συνεργάτης πολλὰ πανεπιστήμια καὶ ἐρευνητικὰ κέντρα σὲ πολλὰς χῶρας τῆς Εὐρώπης, τῆς Ἀμερικῆς καὶ τῆς Ἀσίας.

Κύριε συνάδελφε, ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν εἶναι εὐτυχῆς ποὺ σᾶς καλωσορίζει καὶ σᾶς ἀπευθύνει θερμὲς εὐχὲς γιὰ συνέχιση τοῦ ἐπιστημονικοῦ καὶ ἐρευνητικοῦ σας ἔργου.

Σᾶς καλῶ γιὰ νὰ σᾶς ἐπιδώσω τὸ δίπλωμα τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους τοῦ Ἰδρύματος.

Καί τώρα παρακαλώ τόν Ἀκαδημαϊκό κ. Γεώργιο Κοντόπουλο νά ἀνέλθει στό βήμα καί νά παρουσιάσει τò ἔργο τοῦ νέου Ἀκαδημαϊκοῦ.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ
κ. ΓΕΩΡΓΙΟ ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟ

Ὁ κ. Ἀναστάσιος Μπούντης γεννήθηκε στήν Ἀθήνα τò 1950. Πῆρε πτυχίο Φυσικῆς μέ ἄριστα στό Dartmouth College τῶν ΗΠΑ τò 1972. Κατόπιν πῆρε Masters τò 1974 καί διδακτορικό Φυσικῆς στό Πανεπιστήμιο τοῦ Rochester τò 1978. Στή συνέχεια ὑπῆρξε λέκτωρ, ἐπίκουρος καθηγητής καί ἀναπληρωτής καθηγητής στό Πανεπιστήμιο Clarkson τῆς Ἀμερικῆς (1979-1985).

Μετά τήν ἐπιστροφή του στήν Ἑλλάδα, ὑπῆρξε ἐπίκουρος καθηγητής στό Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης καί ἀναπληρωτής καθηγητής στό Πανεπιστήμιο Πατρῶν, ἐνῶ ἀπό τò 1990 εἶναι καθηγητής Α΄ βαθμίδος στό Τμῆμα Μαθηματικῶν τοῦ Πανεπιστημίου Πατρῶν. Παράλληλα διετέλεσε ἐπισκέπτης καθηγητής ἢ ἐρευνητής σέ διάφορα πανεπιστήμια, ὅπως στό Τέξας, στήν Ὀλλανδία, στό Μεξικό, στήν Κύπρο, στή Γερμανία, στήν Ἰαπωνία, στή Ρωσία, στή Νέα Ζηλανδία, στή Βραζιλία καί στήν Ἀγγλία.

Ἐδημοσίευσε πλέον τῶν 130 ἐργασιῶν σέ ἀξιόλογα διεθνή περιοδικά, 54 σέ πρακτικά συνεδρίων καί 6 βιβλία (ἓνα ἐκ τῶν ὁποίων στά ἀγγλικά ἀπό τόν οἶκο Springer). Ἔδωσε μεγάλο πλῆθος διαλέξεων σέ συνέδρια καί ἰνστιτούτα καί ἔλαβε πολλές ἐπιχορηγήσεις γιά ἐρευνητικά καί ἐκπαιδευτικά προγράμματα. Μέ τήν καθοδήγησή του 17 φοιτητές ἔλαβαν Masters καί 15 ἔλαβαν διδακτορικό.

Τò ἐπιστημονικό του ἔργο ἀναφέρεται στά πολύπλοκα συστήματα, καί συγκεκριμένα στά μὴ γραμμικά δυναμικά συστήματα, ὀλοκληρώσιμα καί χαοτικά. Εἰδικότερα τὰ θέματα μέ τὰ ὁποῖα ἀσχολήθηκε εἶναι τὰ ἑξῆς:

(1) Μετάβαση ἀπό τήν τάξη στό χάος

Ὁ κ. Μπούντης μελέτησε τίς διακλαδώσεις τῶν περιοδικῶν τροχιῶν μέ διπλασιασμό περιόδου, πού δημιουργοῦν ἀστάθεια καί χάος. Ἐν γένει ἡ αὐξηση τῆς ἐνέργειας ἑνὸς συστήματος ὀδηγεῖ σέ ἄπειρες διακλαδώσεις καί σέ χάος. Βρῆκε ὅμως καί περιπτώσεις πού δημιουργοῦνται ἀντίστροφες

διακλαδώσεις και τὸ χάος ἐλαττώνεται. Ἀπὸ τὶς πλέον μνημονεύομενες ἐργασίες του στὴ βιβλιογραφία εἶναι ἐκείνη στὴν ὁποία ὑπολόγισε τὶς παγκόσμιες σταθερές τῆς μετάβασης στὸ χάος σὲ διατηρητικὰ συστήματα.

(2) Ὁλοκληρώσιμα συστήματα ὀργανωμένης δυναμικῆς

Ἀνακάλυψε νέα ὀλοκληρώσιμα συστήματα σὲ μιὰ μεγάλη κατηγορία δυναμικῶν συστημάτων ποὺ παρουσιάζουν ἰδιαιτέρο ἐνδιαφέρον, δεδομένου ὅτι σὲ αὐτὰ ἀπουσιάζει τὸ χάος. Αὐτὸ τὸ ἐπέτυχε μέσῳ μίας μαθηματικῆς θεωρίας ποὺ εἰσήχθη ἀπὸ τὸν Painlevé πρὸ 100 ἐτῶν περίπου.

(3) Ἀνάλυση χάους μέσῳ θεωρίας ἰδιομορφιῶν (singularities) σὲ μιγαδικὸ χρόνο

Ἐπεκτείνοντας τὴν ἀνάλυση ἰδιομορφιῶν πέραν τῆς θεωρίας Painlevé, μελέτησε τὴ μαθηματικὴ δομὴ χαοτικῶν συστημάτων διαφορικῶν ἐξισώσεων στὸ μιγαδικὸ πεδίο τοῦ χρόνου. Τὰ ἀποτελέσματά του στὴν κατεύθυνση αὐτὴ χρησιμοποιοῦνται μέχρι σήμερα ἀπὸ διακεκριμένους μαθηματικούς φυσικούς.

(4) Κυματικὴ διάδοση σὲ διαφορικὲς ἐξισώσεις μὲ μερικὲς παραγώγους

Μελέτησε μοναχικὲς κυματικὲς λύσεις μὴ ὀλοκληρώσιμων διαφορικῶν ἐξισώσεων μὲ μερικὲς παραγώγους (ἀντίστοιχες τῶν σολιτονίων ὀλοκληρώσιμων συστημάτων). Ἔτσι ἀνακάλυψε ἐνδιαφέρουσες τέτοιες λύσεις στὴ γενικευμένη ἐξίσωση Korteweg – De Vries, ποὺ περιγράφει μὲ πολὺ καλὴ ἀκρίβεια τὸ φυσικὸ φαινόμενο τῆς διάδοσης μοναχικῶν κυμάτων σὲ ἀβαθὲς νερό.

(5) Περιοδικὲς καὶ ὀμοκλινικὲς τροχιῆς σὲ μοριακὰ πλέγματα

Μελέτησε τὴ σημασία τῶν περιοδικῶν τροχιῶν σὲ συστήματα 2 ἢ περισσότερων βαθμῶν ἐλευθερίας καὶ ἦταν ὁ πρῶτος ποὺ ἀνέδειξε τὸν ρόλο τῶν ὀμοκλινικῶν τροχιῶν ἀπλῶν ἀπεικονίσεων γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ ὅλων τῶν ἐντοπισμένων ταλαντώσεων ποὺ ὀνομάζονται πνοές (breathers) σὲ μὴ γραμμικὰ μοριακὰ πλέγματα.

(6) Συστήματα πολλῶν βαθμῶν ἐλευθερίας

Ἀνέλυσε τίς δυναμικὲς καὶ στατιστικὲς ιδιότητες συστημάτων ταλαντωτῶν πολλῶν βαθμῶν ἐλευθερίας, πού προσομοιώνουν τὴ συμπεριφορὰ μοριακῶν πλεγμάτων σὲ μία διάσταση. Ἔτσι ἔδωσε μιὰ πληρέστερη ἀπάντηση στὸ διάσημο πρόβλημα τῶν Fermi, Pasta καὶ Ulam ἀντιδιαστέλλοντας τὸ ἀσθενὲς χάος πού ὑπακούει σὲ θερμοδυναμικὴ Τσάλλη ἀπὸ τὸ ἰσχυρὸ χάος πού χαρακτηρίζει τὴν κλασικὴ στατιστικὴ μηχανικὴ τῶν Boltzmann καὶ Gibbs.

(7) Ἀπὸ τὴν εὐστάθεια ἐπιταχυντῶν μέχρι τὴ δυναμικὴ γαλαξιδῶν

Ἀσχολήθηκε μὲ ἓνα εὐρὸ φάσμα προβλημάτων τῆς φυσικῆς: ἀπὸ τὴν ἀποφυγὴ χάους σὲ ἐπιταχυντὲς ἀδρονίων ὑψηλῶν ἐνεργειῶν (ὥστε νὰ παραμένουν οἱ δέσμες εὐσταθεῖς γιὰ ὅσο χρόνο χρειάζεται γιὰ νὰ ὀλοκληρωθεῖ τὸ πείραμα), μέχρι τὴν ὑπαρξὴ ὀργάνωσης ἀλλὰ καὶ ἰσχυροῦ καὶ ἀσθενοῦς χάους σὲ μοντέλα ραβδωτῶν γαλαξιδῶν.

(8) Ἐφαρμογὲς στὴ μετεωρολογία καὶ τὴ γεωλογία

Μελετώντας μὴ γραμμικὲς χρονοσειρὲς θερμοκρασιῶν τῆς Ἀθήνας, ἀλλὰ καὶ παροχῶν ὕδατος σὲ πηγὲς τῆς Κρήτης καὶ καταγραφῆς σεισμῶν στὴν Ἑλλάδα, ὁ κ. Μπούντης καὶ οἱ συνεργάτες του ἀνέλυσαν τὸ περιεχόμενό τους σὲ ντετερμινιστικὸ χάος καὶ ἔδειξαν πῶς εἶναι δυνατὸν νὰ βελτιωθεῖ ἡ βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη τῆς ἐξέλιξης τῶν φαινομένων αὐτῶν στὸν χρόνο.

(9) Ἐφαρμογὲς σὲ μοντέλα δικτύων ἐγκεφαλικῶν νευρῶνων

Τὰ τελευταῖα χρόνια ὁ κ. Μπούντης ἀσχολήθηκε μὲ φαινόμενα συγχρονισμοῦ σὲ νευρωνικὰ δίκτυα ὅπως αὐτὰ πού συναντᾶμε στὸν ἐγκέφαλο. Μαζὶ μὲ τοὺς συνεργάτες του ἀποκάλυψε πρόσφατα τὴ συνύπαρξή συγχρονισμένων καὶ ἀσύγχρονων ταλαντώσεων σὲ μαθηματικὰ μοντέλα καὶ τώρα μελετᾷ τὴν ἐξήγησή τῆς ἐπικοινωνίας μεταξὺ ομάδων νευρῶνων, προτείνοντας ἐργαστηριακὰ πειράματα γιὰ τὴν ἐπαλήθευσή τῆς θεωρίας.

Συμπέρασμα

Οι έργασίες του κ. Μπούντη χαρακτηρίζονται από πρωτοτυπία, βάθος ανάλυσης και πολλές σημαντικές εφαρμογές. Όλες οι εργασίες του έτυχαν σημαντικής προσοχής από την επιστημονική κοινότητα. Υπάρχουν πάνω από 2.300 αναφορές στις εργασίες αυτές, μερικές από τις οποίες εκφράζονται πολύ κολακευτικά για το έργο του.

Μία ιδιαίτερος σημαντική συμβολή του κ. Μπούντη είναι τα σχολεία και συνέδρια μη γραμμικής δυναμικής και πολυπλοκότητας τα οποία οργανώνει επί 30 έτη, κυρίως στην Ελλάδα, αλλά και στο εξωτερικό. Στα συνέδρια αυτά προσκλήθηκαν και μίλησαν οι πλέον ειδικοί στα θέματα αυτά παγκοσμίως. Έπιπλέον, είχαν την ευκαιρία να τα παρακολουθήσουν και να παρουσιάσουν το έργο τους πλήθος νέων Ελλήνων επιστημόνων, και ιδιαίτερα μεταπτυχιακοί φοιτητές.

Συμπερασματικά πρέπει να πω ότι ο κ. Μπούντης άνοιξε νέους ορίζοντες στα μαθηματικά των μη γραμμικών συστημάτων, συμβάλλοντας στην εδραίωση της επιστήμης της πολυπλοκότητας στη χώρα μας. Γι' αυτό δικαίως η Ακαδημία Αθηνών τον εξέλεξε αντεπιστέλλον μέλος της στην έδρα των «Πολύπλοκων Συστημάτων».

ΑΥΤΟΣ Ο ΚΟΣΜΟΣ Ο ΑΠΛΟΣ, Ο ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΣ

ΕΙΣΙΤΗΡΙΟΣ ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
κ. ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΜΠΟΥΝΤΗ

1. Είσαγωγή

Κύριε Πρόεδρε τῆς Ἀκαδημίας, κυρίες καὶ κύριοι Ἀκαδημαϊκοί, ἀγαπητές φίλες καὶ φίλοι ποὺ μοῦ κάνετε τὴν τιμὴ νὰ παρευρίσκεσθε στὴν ὑποδοχὴ αὐτῆ:

Ἐπιτρέψτε μου, πρὶν ἀναφερθῶ στὴν ἐπιστῆμῃ μου, τὶς σχέσεις τῆς μὲ τὶς ἄλλες ἐπιστῆμες καὶ γενικότερα θέματα ἔρευνας καὶ ἐκπαίδευσης στὴ σύγχρονη Ἑλλάδα, νὰ μιλήσω λίγο γιὰ τὸν ἑαυτό μου καὶ τὴν πορεία ποὺ μὲ ὀδήγησε στὴ θέση στὴν ὁποία βρίσκομαι τώρα. Γεννήθηκα καὶ μεγάλωσα στὴν Ἀθήνα κατὰ τὴ διάρκεια τῶν δεκαετιῶν 1950 καὶ 1960, σὲ μιὰ Ἑλλάδα πολὺ διαφορετικὴ ἀπὸ αὐτὴ ποὺ βιώνουμε σήμερα.

Οἱ παιδικές μου ἀναμνήσεις κάθε ἄλλο παρὰ πολὺπλοκες θὰ μπορούσαν νὰ χαρακτηρισθοῦν. Ὁ πατέρας καὶ ἡ μητέρα μου ἦταν ὑπάλληλοι στὴν Τράπεζα Ἑλλάδος, μὲ περιορισμένα οἰκονομικὰ μέσα, ποὺ ὅμως ἐπέτυχαν νὰ ἐξασφαλίσουν σ' ἐμένα καὶ τὸν ἀδελφό μου σχολικὴ ἐκπαίδευση στὸ Κολλέγιο Ἀθηνῶν. Θυμᾶμαι πολὺ καλὰ πῶς ἀπὸ τὴν ἡλικία τῶν 12-13 χρόνων κίόλας μᾶς ἀπασχολοῦσε τί θὰ γινόμαστε ὅταν μεγαλώσουμε. Βλέπαμε μὲ δέος τοὺς καθηγητές μας, πολλοὶ ἀπὸ τοὺς ὁποίους μᾶς ἐντυπωσίαζαν μὲ τὶς γνώσεις τους καὶ ἀποτελοῦσαν πρότυπα ποὺ θέλαμε νὰ μιμηθοῦμε, γιὰ διαφορετικούς λόγους ὁ καθένας. Ἄλλοι μᾶς μάθαιναν τὴν ἱστορία καὶ τὴ λογοτεχνία μας, μᾶς δίδασκαν νὰ μιλάμε σωστὰ ἑλληνικὰ καὶ νὰ σεβόμαστε τὴ γλώσσα καὶ τὴν πολιτιστικὴ μας παράδοση, ἐνῶ ἄλλοι μᾶς γοήτευαν μὲ τὸν τρόπο ποὺ ἔλυαν δύσκολα προβλήματα τῶν μαθηματικῶν, τῆς φυσικῆς καὶ τῆς χημείας.

Μὲ τοὺς συμμαθητές μου συναγωνιζόμαστε στὸ γήπεδο ποῖος θὰ βάλει τὰ πιὸ πολλὰ γκολ καὶ στὰ πάρτυ ποῖος θὰ τραγουδήσει καλύτερα τὰ τραγούδια τοῦ Σαββόπουλου καὶ θὰ «ρίξει» τὴν ὁμορφότερη κοπέλα. Ὅμως στὶς ἀτελείωτες συζητήσεις μας ζηλεύαμε αὐτοὺς ποὺ εἶχαν διαβάσει τὰ περισσότερα βιβλία καὶ ἤξεραν νὰ ἀναλύουν μὲ τὴν «ὠριμότητα» τῶν 15 χρόνων θέματα τέχνης, πολιτικῆς καὶ φλέγοντα ζητήματα τῆς διεθνοῦς ἐπικαιρότητας.

Ίσως να ήμουν απλώς ως μαθητής, όμως οι ασχολίες μου ήταν αρκετά πολύπλοκες. Δεν θα ξεχάσω ποτέ κάτι που σκέφτηκα αργά ένα απόγευμα φεύγοντας από το Κολλέγιο, καθώς κατέβαινα τα σκαλιά: «Τέλειωσα τὰ μαθήματα, ολοκληρώσαμε τις πρόβες του θεατρικού έργου που ανεβάζουμε, πᾶμε τώρα για τὸ σπίτι τοῦ ἀρχισυντάκτη στὴν Ἀθήνα νὰ κλείσουμε τὰ ἄρθρα τοῦ Ἀθηναίου καὶ μετὰ γαλλικὰ στὸ Ἴνστιτούτο. Τί ὠραία πὸ εἶναι ἡ ζωή!» καὶ ἔτρεξα νὰ προλάβω τὸ ἀστικό λεωφορεῖο...

Σήμερα οἱ γονεῖς παραπονοιοῦνται γιὰ τὸ ἐξαντλητικό, πολύωρο πρόγραμμα πὸ ἀκολουθοῦν τὰ παιδιά τους τρέχοντας ἀπὸ τὸ ἕνα φροντιστήριο στὸ ἄλλο. Δὲν εἶναι ὅμως οἱ ὄρες πὸ κουράζουν, ἀγαπητοί μου. Πρέπει νὰ σὲ ἐμπνέει τὸ περιεχόμενο αὐτοῦ πὸ κάνεις, νὰ σφραγίζεται ἀπὸ τὴ δική σου πολυπλοκότητα καὶ κυρίως νὰ διαπνέεται ἀπὸ ἕνα ὄραμα πὸ στοχεύει ὄχι μόνο στὴ δική σου βελτίωση ἀλλὰ καὶ σὲ αὐτὸ πὸ μιὰ μέρα ὀνειρεύεσαι νὰ προσφέρεις στὴν κοινωνία. Καὶ τότε κάθε κούραση πάει περίπατο...

Μετὰ τοὺς καθηγητές μου, τὰ πρότυπά μου στράφηκαν πρὸς τοὺς παλιούς μαθητές τοῦ Κολλεγίου Ἀθηνῶν πὸ ἐπέστρεφαν κάθε χρόνο ὡς πρωτοετῆς φοιτητές ἀπὸ τὴν Ἀμερική καὶ μᾶς διηγοῦντο ὑπέροχες ἱστορίες γιὰ τὶς ἐμπειρίες τους στὰ πανεπιστήμια τῶν ΗΠΑ. Δὲν μὲ κρατοῦσε τίποτα, ἡ φαντασία μου εἶχε πάρει φωτιά. Ἔβλεπα ἤδη τὸν ἑαυτό μου νὰ ἀνακαλύπτει τὴ Νέα Ἡπειρο», νὰ σπουδάζει σὲ ἕνα ἀπὸ τὰ ἀνώτατα ἰδρύματά της καὶ νὰ γίνεται καθηγητὴς πανεπιστημίου, ὥστε νὰ μπορέσει μιὰ μέρα νὰ γυρίσει στὴν Ἑλλάδα γιὰ νὰ διδάξει αὐτὰ πὸ ἔμαθε στὸν τόπο του. Ἦταν Αὐγούστος τοῦ 1969.

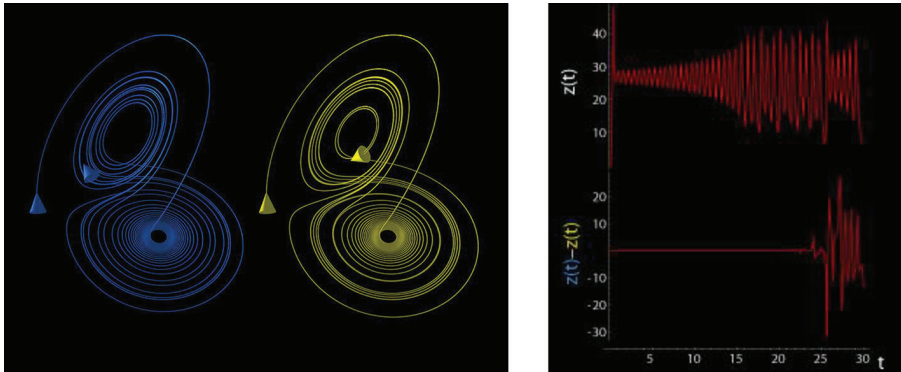
Τὸ ὄνειρό μου πραγματοποιήθηκε δεκαεξὶ χρόνια ἀργότερα, ὅταν ἐξελέγη τὸ 1985 ἐπίκουρος καθηγητὴς στὸ Τμῆμα Φυσικῆς τοῦ Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Ὁ Ὀδυσσεὺς εἶχε κάνει πολὺ λιγότερο νὰ βρεῖ τὴν Ἰθάκη του, γιὰ νὰ μὴ μιλήσω γιὰ τοὺς Κύκλωπες, τοὺς Λαιστρυγόνες ἀλλὰ καὶ τὶς Κίρκες καὶ τοὺς Λωτοφάγους πὸ συνάντησα στὸ δικό μου ταξίδι. Ὅμως γύρισα, ὄχι μὲ τὴν ἀφοπλιστικὴ ἀπλότητα τοῦ ἥρωα τοῦ Καμπανέλλη στὸ «Ὀδυσσεὺς γύρισε σπίτι». Οἱ συνάδελφοί μου, νέοι ἀλλὰ καὶ πρεσβύτεροι, μὲ ὑποδέχτηκαν μὲ ιδιαίτερες προσδοκίες καὶ δὲν ἔπρεπε νὰ τοὺς ἀπογοητεύσω. Ἐπρεπε στὴν Ἰθάκη μου νὰ ἐμφυτεύσω καὶ νὰ καλλιεργήσω τὸν «σπόρο» τῶν μὴ γραμμικῶν δυναμικῶν συστημάτων καὶ τῆς ἐπιστήμης τῆς πολυπλοκότητας πὸ εἶχα μάθει στὰ ξένα. Ἦταν ὁ λόγος πὸ ἔλειψα δεκαεξὶ ὀλόκληρα χρόνια! Δὲν ὑπῆρχε καιρὸς γιὰ χάσιμο. Στρώθηκα ἀμέσως στὴ δουλειά.

Πρὶν σᾶς μιλήσω ὅμως γιὰ τὴ συναρπαστικὴ καὶ πολλὰ ὑποσχόμενη αὐτὴ ἐπιστήμη, θὰ ἤθελα νὰ ἀναφέρω μερικὰ ὀνόματα ποὺ ἐπίσης ἔδρασαν ὡς πρότυπα στὴν ἐπιστημονικὴ πορεία μου μέχρι σήμερα. Πρῶτος ἀπὸ ὅλους ἦταν ὁ καθηγητὴς καὶ Ἀκαδημαϊκὸς κ. Γεώργιος Κοντόπουλος. Δὲν θὰ ξεχάσω ποτὲ αὐτὸ ποὺ μοῦ εἶπε τὸ 1978 στὴν Ἀτλάντα ὅταν τοῦ ἔδειξα τὸ πρῶτο μου ἄρθρο, ποὺ μόλις εἶχε δημοσιευθεῖ στὸ *Journal of Mathematical Physics*. «Πρόκειται γιὰ κάτι πολὺ ἀπλό», τοῦ εἶπα μὲ ἀμηχανία. «Δὲν εἶναι καθόλου ἀπλό», μοῦ ἀπάντησε, «τὸ ἄρθρο σας εἶναι πολὺ ἐνδιαφέρον καὶ σημαντικὸ». Στὰ αὐτιά μου ἦταν σὰν νὰ ἄκουγα τὸν Θεόκριτο στὸ «Πρῶτο Σκαλί» τοῦ Καβάφη νὰ λέει στὸν νέο ποιητὴ Εὐμένη γιὰ τὸ πρῶτο του εἰδύλλιο: «Ἐδῶ ποὺ ἔφθασες, λίγο δὲν εἶναι /τόσο ποὺ ἔκαμες, μεγάλη δόξα».

Δὲν ξεχνῶ ὅμως δύο ἀκόμα μεγάλους Ἕλληνες ἐπιστήμονες, ποὺ δυστυχῶς δὲν εἶναι σήμερα ἐν ζωῇ: τὸν καθηγητὴ καὶ ἀντεπιστέλλον μέλος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν Ἰωάννη Χατζηδημητρίου γιὰ τὴ μεγάλη πίστη του σ' ἐμένα, τὴν ἀμέριστη ὑποστήριξή του νὰ ἐκλεγῶ στὴ Θεσσαλονίκη, καὶ τὴν ἐνεργὸ συμμετοχή του σὲ ὅλα τὰ σχολεῖα καὶ συνέδρια ποὺ ὀργάνωσα τὰ χρόνια ποὺ ἀκολούθησαν. Τέλος, ἀναφέρω μὲ πολλὴ ἀγάπη τὸν σοφὸ δάσκαλο, τὸν ἐπιστήμονα ποὺ πρῶτος ἀνέδειξε στὴν Ἑλλάδα τὶς ἐφαρμογὲς τῆς χαοτικῆς δυναμικῆς, τὸν καθηγητὴ τοῦ Πανεπιστημίου Πατρῶν Ἰωάννη Νίκολη, ἡ εὐρυμάθεια καὶ ἐπιστημονικὴ ὀξυδέρχεια τοῦ ὁποίου μὲ ἐνέπνευσαν καὶ καθοδήγησαν τὶς δραστηριότητές μου στὰ πολὺπλοκα συστήματα.

2. Οἱ βασικὲς ἀρχὲς τῆς πολυπλοκότητας

Τί εἶδους ἐπιστήμη εἶναι ἡ πολυπλοκότητα; Τί ἐννοοῦμε ὅταν λέμε ὅτι κάποιος μελετᾷ πολὺπλοκα συστήματα; Γιὰ νὰ ἀπαντήσουμε θὰ χρειαστεῖ νὰ ἀνατρέξουμε στὴν περίφημη ρήση τοῦ Ἡσίοδου: «ἦ τοι μὲν πρῶτιστα Χάος» [1]. Μὲ αὐτὸ θέλω νὰ ἐπισημάνω πῶς ὅλα ξεκίνησαν μὲ τὴ λεγόμενη θεωρία τοῦ χάους, γιὰ τὴν ὁποία ὅλοι σας λίγο πολὺ κάτι γνωρίζετε. Ἴσως νὰ ἔχετε ἀκούσει γιὰ τὸ λεγόμενο «φαινόμενο τῆς πεταλούδας», ποὺ ἀποδίδεται στὸν μετεωρολόγο *E. Lorenz*, ὁ ὁποῖος, βασιζόμενος σὲ αὐτὸ ποὺ ἔβλεπε ἐπιλύοντας στὸν ὑπολογιστὴ του ἀπλὰ μοντέλα θέρμανσης ἀερίων μαζῶν πάνω ἀπὸ μιὰ λίμνη, εἶπε τὴν περίφημη φράση: «Τὸ χτύπημα τῶν φτερῶν μιᾶς πεταλούδας στὸ Πεκίνο μπορεῖ νὰ ἀλλάξει τὸν καιρὸ στὸ Τέξας»!



Σχήμα 1: Στην αριθμητική αυτή επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου του Lorenz, δείχνουμε στο (α) δύο τροχιές που, ενώ ξεκινούν από δύο πολύ κοντινά σημεία, οι εξελίξεις τους στον χρόνο σύντομα διαχωρίζονται και διαγράφουν πολύ διαφορετικές τροχιές. Στο (β) σχεδιάζουμε επάνω τη μεταβλητή $z(t)$ μιας των τροχιών και κάτω τη διαφορά της από τη $z(t)$ της άλλης. Ένώ η διαφορά αυτή στην αρχή είναι σχεδόν μηδενική, μετά τις πρώτες 23 χρονικές μονάδες παρουσιάζει μεγάλες ταλαντώσεις.

Η μαθηματική θεωρία του χάους αναπτύχθηκε ραγδαία κυρίως από τη δεκαετία του 1960 και μετά για να εξηγήσει φυσικά, μετεωρολογικά, βιολογικά, οικονομικά και κάθε άλλου είδους συστήματα, ή χρονική εξέλιξη των όποιων εξαρτάται πολύ ευαίσθητα από τις αρχικές τους συνθήκες [2] (βλ. Σχήμα 1). Ο πρώτος που την εισήγαγε και την επεξεργάστηκε ήταν ο διακεκριμένος Γάλλος μαθηματικός Henri Poincaré, όταν στα τέλη του 19ου αιώνα μελετούσε τις κινήσεις πλανητών σε προβλήματα της ουράνιας μηχανικής [3]. Χρειάστηκε όμως να περάσουν πολλές δεκαετίες για να επιβεβαιωθούν οι προβλέψεις του Poincaré μέσω δύσκολων πειραμάτων και επίπονων αριθμητικών υπολογισμών για να πειστούν οι επιστήμονες διεθνώς για τη μεγάλη σημασία της χαοτικής θεωρίας.

Έν τῷ μεταξύ τὰ μαθηματικά, μέχρι τὸν 20ὸ αἰώνα τουλάχιστον, εἶχαν σχεδὸν ταυτισθεῖ μὲ τὴν ἔννοια τῆς τάξεως. Αὐτὸ εἶναι ἄλλωστε προφανές, ἀφοῦ τὸ νὰ διατυπώσουμε ἕνα πρόβλημα μὲ μαθηματικὸ τρόπο καὶ νὰ τὸ ἐπιλύσουμε σημαίνει ὅτι τὸ καταλάβαμε ἀπόλυτα, ὅτι δὲν μᾶς κρύβει πιά καμία ἔκπληξη καὶ κανένα μυστικό! Ἄν πρόκειται μάλιστα γιὰ μιὰ δυναμικὴ διαδικασία, ἢ ἐξέλιξή της στὸν χρόνο θὰ ἦταν ἀπολύτως προβλέ-

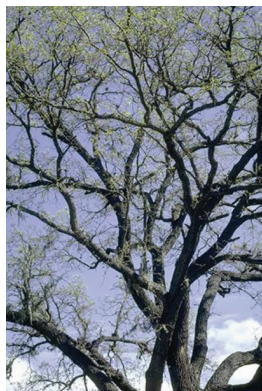
ψιμη, άφοϋ, δεδομένων οίωvδήποτε άρχικων συνθηκων, θά μᾶς ήταν γνωστή για κάθε χρονική στιγμή στο μέλλον αλλά και τὸ παρελθόν!

Όμως τὸ χάος, με τή σύγχρονη μαθηματική του έννοια (και όχι αὐτή πὸν χρησιμοποιοϋμε στήν καθομιλουμένη), δέν ίσοδυναμεί με πλήρη άταξία και δέν άποτελεϊ τὸ αντίθετο τῆς τάξης! Τὸν ρόλο αὐτὸ τὸν ἔχουμε έναποθέσει στους ὄρους «τυχαῖο» (random), «στοχαστικό» (stochastic) ἢ «πιθανοκρατικό», για τὸς ὁποίους ὑπάρχει ἐδῶ και χρόνια μιᾶ ἀρτιότατη μαθηματική θεωρία πιθανότητων και στοχαστικων διαδικασιων από τήν ἐποχή τῶν Laplace, Fermat και Maxwell.

Θά σᾶς φανεί ἴσως παράδοξο, αλλά τὸ μαθηματικό χάος εἶναι ντετερμινιστικό [4], διέπεται δηλαδή από συγκεκριμένους αίτιοκρατικούς νόμους και ἐξισώσεις χωρίς καμία παρουσία τυχαιότητας. Δυστυχῶς, ἂν και οἱ ἐξισώσεις αὐτὲς ἐπιλύονται με μεγάλη ἀκρίβεια από σύγχρονους ὑπολογιστές, ἢ εὐαισθησία στις ἀρχικές συνθήκες για τήν ὁποία μιλήσαμε ἐπιτρέπει μόνο τή βελτίωση βραχυπρόθεσμων προβλέψεων και δέν μπορεῖ νᾶ μᾶς ἀποκαλύψει τί θά γίνει σὲ βάθος χρόνου! Εἶναι δὲ ιδιαίτερα ἐνδιαφέρον ὅτι τὰ μυστικά τοϋ χάους μπορεῖ σήμερα νᾶ τὰ ἐξερευνήσει ἄνετα ἕνας μαθητῆς Λυκείου, λύνοντας ἄπλᾶ μοντέλα ἐπαναληπτικων διαδικασιων στὸν ὑπολογιστή του!

Πέραν ὅμως τῆς «χρονικῆς πολυπλοκότητας» πὸν συναντᾶμε στὰ χαοτικά φαινόμενα, ἀξίζει νᾶ ἀναφερθοϋμε και στή «γεωμετρική πολυπλοκότητα», πὸν άποτελεϊ χαρακτηριστικό περίπλοκων σχημάτων και εικόνων πὸν παρατηροϋμε καθημερινᾶ στή φύση, αλλά και στὸ ἴδιο μας τὸ σῶμα! Γιατί τὰ δέντρα ἔχουν τή μορφή τῶν συνεχων διακλαδώσεων ἑνὸς κορμοϋ σὲ κλάδους και μετὰ σὲ μικρότερα κλαδιά και μίσχους πὸν ὀδηγοϋν τὸ νερὸ μέχρι τὰ τελευταῖα τους φυλλαράκια (βλ. Σχῆμα 2); Μήπως για τὸν ἴδιο λόγο πὸν οἱ ἀρτηρίες και οἱ φλέβες μας ἐμφανίζουν παρόμοιες διακλαδώσεις ὡς τὰ τριχοειδῆ ἀγγεία; Γιατί τὰ σφουγγάρια, τὰ κοράλλια, οἱ βραχώδεις παραλίες, τὰ βουνά, τὰ σύννεφα δέν μοιάζουν με τὰ ἄπλᾶ ἐπίπεδα ἢ τρισδιάστατα σχήματα πὸν μάθαμε στὸ Γυμνάσιο και τὸ Λύκειο (Σχῆμα 3); Μήπως θά μπορούσαμε νᾶ προσομοιώσουμε με παρόμοιο τρόπο τὲς διακλαδώσεις τῶν βρογχικων σωλήνων στὸν πνεύμονα και τὰ ἀγγειακά δίκτυα καρκινικων ὄγκων (βλ. Σχῆμα 4);

Για νᾶ κατανοήσουμε τὰ σχήματα αὐτὰ και τήν ἐντυπωσιακή δενδρική δομή τους ἀναπτύχθηκε από τὸς μαθηματικούς τὰ τελευταῖα 30 με 40 χρόνια ἢ γεωμετρία τῶν φράκταλ [5]. Ἡ νέα αὐτή γεωμετρία εἰσήγαγε τήν ἀρχή τῆς αὐτο-ομοιότητας ὑπὸ ἀλλαγῆ κλίμακας και ἀποκάλυψε ὅτι ἢ

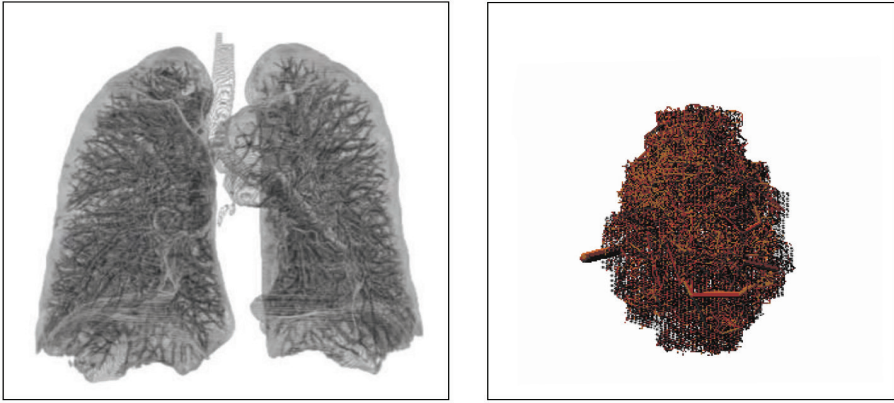


Σχῆμα 2: Ποῦ ὀφείλεται ἡ πολύπλοκη δομὴ τῶν διακλαδώσεων ἑνὸς δέντρου καὶ τῶν βραχωδῶν κορυφογραμμῶν ἑνὸς βουνοῦ;

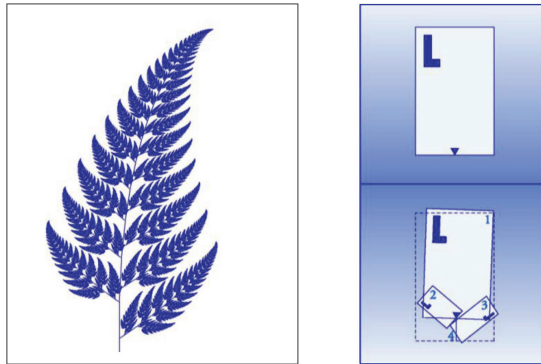


Σχῆμα 3: Ποῦ ὀφείλεται (α) ἡ πολύπλοκη δομὴ τῶν ἀναδιπλώσεων ἑνὸς κοραλλιοῦ, καὶ (β) ἡ τρυποειδῆς μορφή ἑνὸς σφουγγαριοῦ;

μεγάλῃ πλειονότητῃ πολυσχιδῶν μορφῶν ποὺ παρατηροῦμε γύρω μας ἔχουν μὴ ἀκέραιη (δηλαδὴ κλασματικὴ) διάσταση καὶ μποροῦν νὰ παραχθοῦν μέσῳ τῆς ἐπανάληψης ἀπλῶν μαθηματικῶν μετασχηματισμῶν [6] σὲ ὁλοένα καὶ μικρότερη κλίμακα, ὅπως αὐτοὶ ποὺ ὀδηγοῦν στὴν ἀρκετὰ ρεαλιστικὴ (ἀλλὰ μαθηματικὴ) φτέρη τοῦ Barnsley (βλ. Σχῆμα 5). Μήπως τελικὰ ἡ πολυπλοκότητα παρόμοιων σχημάτων ποὺ συναντᾶμε στὴ φύση δὲν



Σχῆμα 4: (α) Δενδριτική μορφή τῶν σωλήνων τοῦ πνεύμονα, (β) Φράκταλ μοντέλο ἀγγειακοῦ δικτύου καρκινικοῦ ὄγκου (ἀπό διπλωματική ἐργασία στοῦ ΕΜΠ, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, Ι., *Προσομοίωση ἀγγειακοῦ δικτύου καρκινικῶν ὄγκων μετὰ χρήση τῆς θεωρίας τῶν fractals*, Ἀθήνα, Ὀκτώβριος 2006).



Σχῆμα 5: Ἡ ὄμορφη (μαθηματική) φτέρη τοῦ Barnsley (ἀριστερά) κατασκευάζεται ἀν ἐφαρμόσουμε σὲ ἓνα παραλληλόγραμμα (δεξιὰ καὶ ἐπάνω) 4 μετασχηματισμούς πού, στοῦ πρώτου βήμα, ὀδηγοῦν σὲ μιὰ εἰκόνα (δεξιὰ καὶ κάτω) μετὰ ἓνα κεντρικὸ τμήμα, δύο μικρότερα καὶ ἓνα πολὺ λεπτότερο πού λειτουργεῖ ὡς «μίσχος», ὅλα μικρότερα κατὰ διαφορετικὲς κλίμακες ἀπὸ τὸ ἀρχικὸ παραλληλόγραμμα. Μετασχηματίζοντας κατόπιν, στὰ ἐπόμενα βήματα, καθένα ἀπὸ τὰ τμήματα αὐτὰ μετὰ τὸν ἴδιον τρόπο, καταλήγουμε ὕστερα ἀπὸ πολλὲς ἐπαναλήψεις στοῦ σχῆμα τῆς φτέρης πού βλέπουμε ἀριστερά.



Σχήμα 6: Οί πίνακες του Piet Mondrian *The Red Tree* (αριστερά) και *Farm near Duivendrecht* (δεξιά), ζωγραφισμένοι το 1910 και 1916 αντίστοιχως.



Σχήμα 7: Μαθηματική ανάλυση τμημάτων των πινάκων του Σχήματος 6 με μεθόδους της φράκταλ γεωμετρίας αποκαλύπτει ότι και οι δύο πίνακες χαρακτηρίζονται από αυτο-ομοιότητα υπό αλλαγή κλίμακας, και μάλιστα με κλασματική διάσταση περίπου $D = 1.7$.

είναι παρά το αποτέλεσμα επαναλήψεων ενός μικρού αριθμού μετασχηματισμών που θα μπορούσαν να κωδικοποιηθούν και να ένσωματωθούν σε έναν σπόρο ή ένα κύτταρο ως ένα απλό σύστημα («έντολων»);

Άρκει μάλιστα μια μικρή αλλαγή στις («έντολές»), μια μικρή μεταβολή των απαιτούμενων μετασχηματισμών (παραδείγματος χάριν, μια στροφή ενός τμήματος) ή αλλαγή στη σειρά εφαρμογής τους για να οδηγήσει σε ένα έντελως διαφορετικό τελικό αποτέλεσμα! Άς πούμε κάτι σαν το σκάκι, όπου μια μικρή αλλαγή στην εφαρμογή των απλών κανόνων του οδηγεί σε

μια άπίστευτα πολύπλοκη πληθώρα έντελῶς διαφορετικῶν αποτελεσμάτων. Μήπως ἡ φύση τελικὰ παίξει μαζί μας ἕνα δικό της σκάκι;

Πρὶν κλείσουμε τὴ συζήτηση αὐτὴ γιὰ φρακταλικές δομές ποὺ ἀπαντῶνται στὴ φύση, πῶς θὰ σᾶς φαινόταν ἂν σᾶς ἔλεγα ὅτι διάσημοι ζωγράφοι τοῦ 20οῦ αἰῶνα, ὅπως ὁ Jackson Pollock (1912-1956) καὶ ὁ Piet Mondrian (1872-1944), ποὺ ἔζησαν πολλὰ χρόνια πρὶν γίνει γνωστὴ ἡ φράκταλ γεωμετρία, εἰσήγαγαν σὲ πίνακές τους μορφές ποὺ χαρακτηρίζονται ἀπὸ αὐτο-ομοιότητα ὑπὸ ἀλλαγὴ κλίμακας, καὶ μάλιστα μὲ διάσταση κλασματική; Σὲ πρόσφατη ἐργασία μου μὲ τὸν Ἀκαδημαϊκὸ κ. Ἀθανάσιο Φωκᾶ καὶ τὸν ἐπίκουρο καθηγητὴ κ. Ἐμμανουὴλ Ψαράκη δεῖξαμε ὅτι τὰ δέντρα σὲ δύο πίνακες τοῦ Piet Mondrian ποὺ ἀναλύονται στὰ Σχήματα 6 καὶ 7 ἔχουν ὄντως φρακταλικὴ δομὴ μὲ κλασματικὴ διάσταση $D = 1.7$ περίπου [7].

Ποιά αἴσθηση τοῦ ωραίου ἐνέπνευσε ἄραγε τὸν Mondrian νὰ ζωγραφίσει τὶς φρακταλικές αὐτές δενδριτικές δομές; Εἶχε γι' αὐτὸν κάποια αἰσθητικὴ ἀξία ἢ πολυπλοκότητά τους, ἢ ἤθελε νὰ ἀποτυπώσει μὲσφ τῶν πινάκων του κάποια κρυφὴ «ἀλήθεια» ποὺ ὁ ἴδιος ἔβλεπε στὴ φύση;

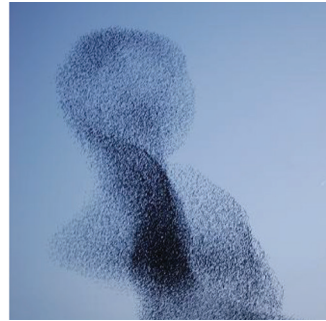
3. Ὁ ρόλος τῆς πολυπλοκότητας στὴ σύγχρονη ἔρευνα

Ἡ ἐπιστὴμὴ τῆς πολυπλοκότητας [8, 9] γεννήθηκε ἀπὸ τὴν ἀνάγκη νὰ κατανοήσουμε τὰ περίπλοκα φαινόμενα ποὺ περιέγραψα πῶς πάνω. Ὁρμώμενη ἀπὸ ἕνα πλήθος ἀνακαλύψεων στὰ μαθηματικὰ τῶν μὴ γραμμικῶν δυναμικῶν συστημάτων, τὴ θεωρία τοῦ χάους καὶ τὴ φράκταλ γεωμετρία, ἡ νέα ἐπιστὴμὴ προχώρησε θαρραλέα στὴν ἀντιμετώπιση προβλημάτων μὲ τεράστιο ἀριθμὸ ἀλληλεπιδρώντων «στοιχείων», «σωματιδίων» ἢ «παικτῶν». Χρειάστηκε ἐπὶ πλέον νὰ «ἐπιστρατευθοῦν» θεμελιώδεις ἀρχές τῆς στατιστικῆς φυσικῆς καὶ τῆς θερμοδυναμικῆς [10, 11], ὥστε νὰ μελετηθοῦν ἀλλαγές φάσεως μεταξὺ καταστάσεων τάξης καὶ χάους καὶ νὰ συμπληρωθεῖ μὲ τὰ χρήσιμα αὐτὰ ἐργαλεῖα τὸ μεθοδολογικὸ ὄπλοστάσιο τῆς νέας ἐπιστῆμης.

Τὰ προβλήματα, λοιπόν, ποὺ καλούμαστε νὰ ἀντιμετωπίσουμε λέγονται πολύπλοκα, καταρχὰς ἐπειδὴ περιγράφονται ἀπὸ μεγάλο ἀριθμὸ μεταβλητῶν καὶ χαρακτηρίζονται ἀπὸ ὑψηλὴ διαστατικότητα. Δὲν ἀρκεῖ ὅμως μόνο αὐτό. Ἡ ρηξικέλευθη ἀρχὴ τῆς πολυπλοκότητας ἀφορᾷ στὸ γεγονός ὅτι, ὅσα καὶ νὰ γνωρίζουμε γιὰ κάθε ἀπομονωμένο «στοιχεῖο» ἐνὸς πολύπλοκου συστήματος, εἶναι ἀδύνατον μὲσφ μιᾶς ἀναγωγικῆς διαδικα-

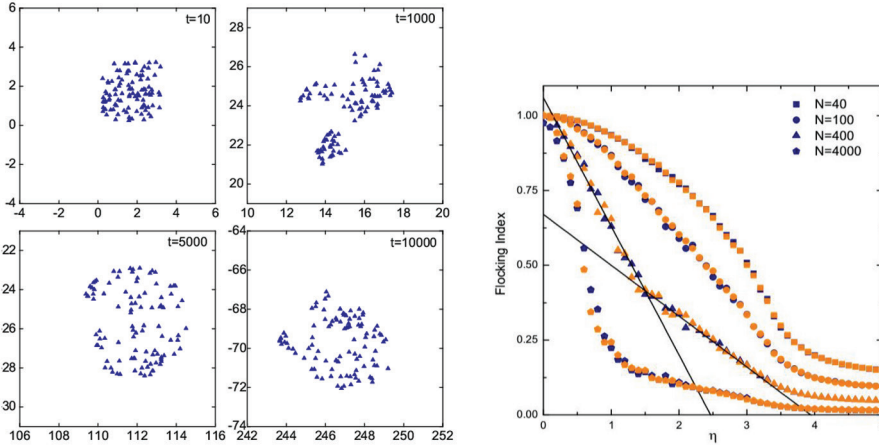
σίας να προβλέψουμε πώς θα συμπεριφερθεί το σύστημα στο σύνολό του. Με άλλα λόγια η πολυπλοκότητα αποτελεί μια όλιστική θεώρηση και βρίσκεται στον αντίποδα της αναγωγικής φιλοσοφίας, αφού έχει ως credo: «Τό όλον δέν ἰσοῦται μέ τὸ ἄθροισμα τῶν μερῶν του».

Ἄς δοῦμε κάποια παραδείγματα: Ὅσο καλά καὶ ἂν γνωρίζουμε τὴ βιολογία ἑνὸς πουλιοῦ ἢ ἑνὸς ψαριοῦ, εἶναι ἀδύνατον νὰ ἐξηγήσουμε μέσω αὐτῆς πῶς (καὶ γιὰ ποιὸ λόγο) μεγάλα σμήνη πουλιῶν ἢ ψαριῶν σμίγουν καὶ διαχωρίζονται συνεχῶς, ἀλλάζοντας σχεδὸν ἀκαριαῖα ὁμαδικούς σχηματισμούς, ὅπως αὐτοὶ ποὺ βλέπουμε στὸ Σχῆμα 8. Τὰ σμήνη αὐτὰ προσωρινὰ διαλύονται, λίγο ἀργότερα ὅμως ἀνασυντάσσονται, ἀποτελώντας ἔτσι ἓνα ὑπέροχο παράδειγμα μιᾶς ἄλλης θεμελιώδους ἀρχῆς τῆς πολυπλοκότητος ποὺ ὀνομάζεται αὐτο-οργάνωση.



Σχῆμα 8: Οἱ πολύπλοκοι (καὶ «ἄμορφοι») ὁμαδικοὶ σχηματισμοὶ ψαριῶν (ἀριστερὰ) καὶ πουλιῶν (δεξιὰ) καὶ οἱ ξαφνικὲς θεαματικὲς μεταμορφώσεις τους εἶναι ἀδύνατον νὰ ἐξηγηθοῦν μέ ἀναγωγή τοῦ φαινομένου στὰ ἀτομικὰ χαρακτηριστικὰ ἑνὸς μόνο ψαριοῦ ἢ πουλιοῦ.

Ἐνα ἀπὸ τὰ προβλήματα ποὺ ἐπιλύσαμε πρόσφατα στὸ Ἐργαστήριο Μὴ Γραμμικῶν Συστημάτων τοῦ Τμήματος Μαθηματικῶν τῆς Πάτρας ἦταν καὶ ἡ μελέτη τῆς ὁμαδοποίησης πουλιῶν [12] ὑπὸ τὴ βασικὴ προϋπόθεση ὅτι καθένα ἀπὸ αὐτὰ εὐθυγραμμίζει συνεχῶς τὴν κίνησή του μέ τὴ μέση κατεύθυνση ἑνὸς συγκεκριμένου ἀριθμοῦ (ἑπτὰ περίπου) γειτόνων τους. Ὅπως βλέπουμε στὸ Σχῆμα 9 ἀριστερὰ, ὅσο τὰ πουλιὰ διατηροῦν τὸν κανόνα εὐθυγράμμισής τους ὡς πρὸς τοὺς γείτονες, ἡ ὁμοιογένεια τοῦ σμήνους διατηρεῖται στὸν χρόνο. Ἄν ὅμως τὰ πουλιὰ ἀρχίσουν νὰ ἀσκοῦν «ἐλεύθερη βούληση» καὶ νὰ μὴν τηροῦν ἀκριβῶς τὸν κανόνα εὐθυγράμμισης,

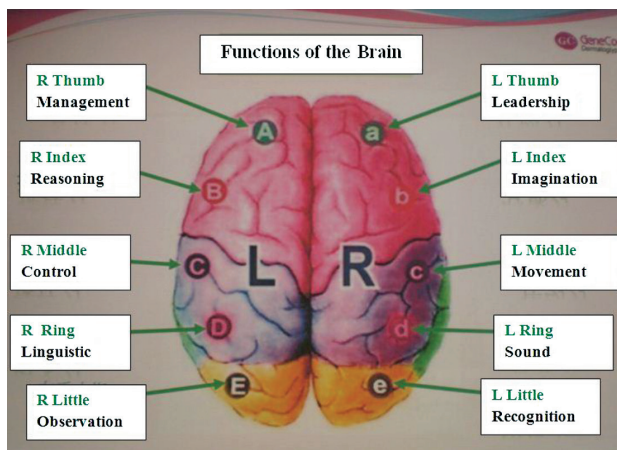


Σχήμα 9: Άριστερά Όμαδοποίηση πουλιών που η κίνησή τους εξελίσσεται στον χρόνο σύμφωνα με ένα μαθηματικό μοντέλο. Δεξιά Ό δείκτης όμαδοποίησης (κάθετος άξονας) μειώνεται άπτότομα άπό τó 1 (πλήρης συντονισμός) πρός τó 0 (διάλυση τής όμάδας) για $N = 40, 100, \dots, 4.000$ πουλιά, καθώς αύξάνεται (στον όριζόντιο άξονα) τó κατά πόσον τά πουλιά έκφράζουν «έλεύθερη βούληση» στις άλλαγές κατεύθυνσης που επιλέγουν κατά τήν κίνησή τους.

τότε, άκόμα και για μικρές άποκλίσεις άπό τόν κανόνα, ή όμαδοποίηση καταστρέφεται και τó σμήνος διαλύεται (βλ. Σχήμα 9 δεξιά)!

Άς μιλήσουμε όμως και για τó πλέον πολύπλοκο σύστημα που άπαντάται στη φύση και που δέν είναι άλλο βέβαια άπό τόν έγκέφαλο (βλ. Σχήμα 10), ό όποιος στην περίπτωση του άνθρώπου ζυγίζει περίπου 1,3 κιλά και άποτελείται άπό 86 δισεκατομμύρια νευρώνες και 10^{14} - 10^{15} συνάψεις. Σήμερα γνωρίζουμε με μεγάλη λεπτομέρεια ποιές περιοχές του έγκεφάλου είναι υπεύθυνες για δεκάδες διαφορετικές λειτουργίες και δραστηριότητες που έπιτελοϋμε. Πώς όμως επικοινωνοϋν οί διαφορετικές αυτές περιοχές, παραδείγματος χάριν τής παρατήρησης, τής σκέψης και τής κίνησης, ώστε νά έκτελέσουμε μια συγκεκριμένη ένέργεια, όπως νά σηκώσουμε με τó χέρι μας ένα ποτήρι νερό;

Όπως προκύπτει άπό έκτεταμένες πειραματικές και θεωρητικές έρευνες τής τελευταίας δεκαετίας, ή άπάντηση είναι ότι ή επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται μέσω συντονισμού τών νευρώνων που συγκροτοϋν τις



Σχήμα 10: Ο ανθρώπινος εγκέφαλος τῶν 1.300 γραμμαρίων, 86 δισεκατομμυρίων νευρώνων καὶ 10^{14} - 10^{15} συνάψεων. Στὸ δεξιὸ (R) καὶ στὸ ἀριστερὸ (L) ἡμισφαίριό του σημειώνονται μὲ γράμματα οἱ περιοχὲς στὶς ὁποῖες ἐστιάζονται διαφορετικὲς δραστηριότητές μας ὅπως ἡ παρατήρηση, ἡ ἀναγνώριση, ἡ γλώσσα, ἡ κίνηση κ.ἄ.

ἀντίστοιχες περιοχὲς τοῦ ἐγκεφάλου μας! Ὁ συντονισμὸς τῶν ἠλεκτρικῶν ταλαντώσεων τῶν νευρῶνων καθιστᾷ ὀλοφάνερη τὴ σημασία τῆς ἀρχῆς τῆς αὐτο-οργάνωσης, μέσῳ τῆς ὁποίας τὸ πολὺπλοκο σύστημα τοῦ ἐγκεφάλου μας ἐκτελεῖ μὲ βέλτιστο τρόπο τὶς διεργασίες του.

Πρὶν ἀπὸ δώδεκα χρόνια περίπου ἔγινε μιὰ ἐκπληκτικὴ ἀνακάλυψη ἀπὸ τοὺς μαθηματικοὺς φυσικοὺς *Y. Kuramoto, D. Abrams* καὶ συνεργάτες τους [13, 14], οἱ ὁποῖοι ἀπέδειξαν ὅτι ὑπάρχουν μαθηματικὰ μοντέλα μεγάλου ἀριθμοῦ συζευγμένων ταλαντωτῶν ποὺ ἐμφανίζουν μιὰ ὑπέροχα πολὺπλοκη συμπεριφορὰ: Μιὰ μεγάλη ὁμάδα ἐξ αὐτῶν εἶναι συγχρονισμένοι ἐνῶ οἱ υπόλοιποι παραμένουν ἀσυγχρόνιστοι! Τὸ φαινόμενο αὐτὸ παρατηρεῖται στὸν ἐγκέφαλο πολλῶν θηλαστικῶν, ὅπως τὰ δελφίνια, ποὺ κοιμῶνται μὲ τὸ ἓνα μάτι ἀνοικτὸ, διατηρώντας τὸ ἓνα ἡμισφαίριο τοῦ ἐγκεφάλου τοὺς ἐνεργῶ (συγχρονισμένο) ἐνῶ τὸ ἄλλο εἶναι ἀσυγχρόνιστο, καὶ ὀνομάστηκε «*χίμαιρα*» [ἀπὸ τὸ μυθολογικὸ ζῶο ποὺ ἀποτελεῖ συνδυασμὸ λέοντος, ὄφεως καὶ αἰγός (βλ. Σχήμα 11)].

Σὲ πρόσφατη ἐργασία μου [15] μὲ συνεργάτες στὸ Κέντρο Ἐρευνας καὶ Ἐφαρμογῶν Μὴ Γραμμικῶν Συστημάτων τῆς Πάτρας δείξαμε ὅτι, ἂν



Chimera (mythology)

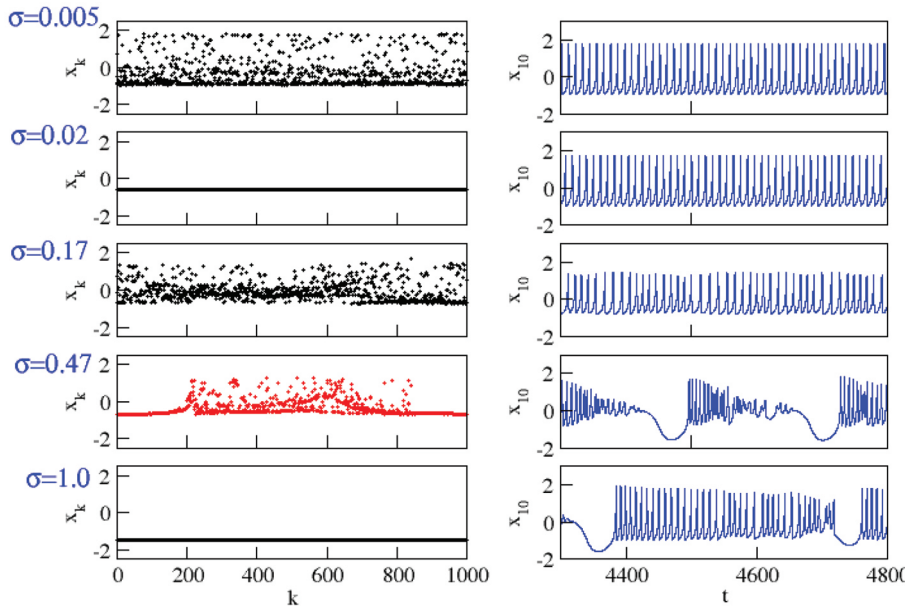
The **Chimera** (also **Chimaera** or **Chimera**) (pron.: /kiˈmɪərə or /kaɪˈmɪərə/; Greek: Χίμαιρα, *Chimaira*, from χίμαρος, *khimaros*, "she-goat") was, according to Greek mythology, a monstrous fire-breathing female creature of Lycia in Asia Minor, composed of the parts of three animal – a lion, a serpent and a goat. Usually depicted as a lion, with the head of a goat arising from its back, and a tail that ended in a snake's head, the Chimera was one of the offspring of Typhon and Echidna and a sibling of such monsters as Cerberus and the Lernaean Hydra.

The term chimera has come to describe any mythical or fictional animal with parts taken from various animals, or to describe concepts perceived as wildly imaginative or implausible.

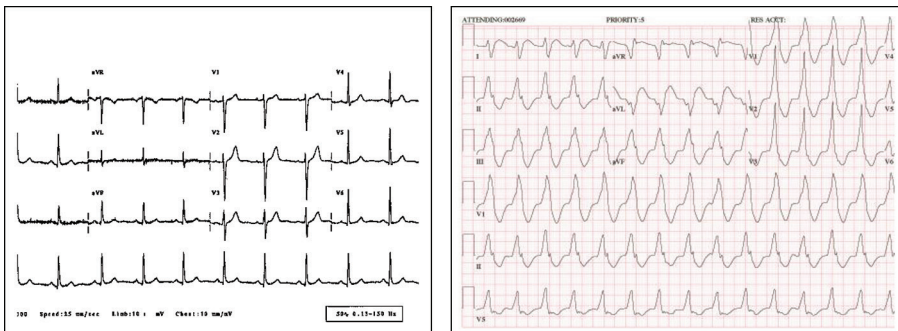


Ἡ Χίμαιρα ὅπως ἀπεικονίζεται σὲ ἓνα κέραμο διακοτῆς Ἀπολλοῦ, περί τὸ 340-340 π.Χ. (Μουσεῖο Λούβρου).

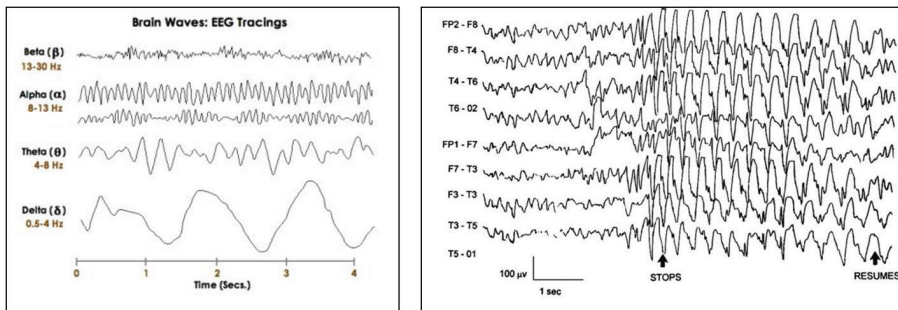
Σχῆμα 11: Ἡ συνύπαρξη συγχρονισμένων ταλαντώσεων στὸ ἓνα ἡμισφαίριο καὶ ἀσυγχρόνιστων στὸ ἄλλο στὸν ἐγκέφαλο θηλαστικῶν (ὅπως τὸ δελφίνι) ὀνομάσθηκε «χίμαιρα» (ὅπως τὸ μυθολογικὸ ζῶο στὸ ὁποῖο συνυπάρχουν τὸ λιοντάρι, τὸ φίδι καὶ ἡ κατσίκα). Τὸ φαινόμενο ἔχει ἐπιβεβαιωθεῖ σὲ μαθηματικὰ μοντέλα πολύπλοκων δικτύων ἐγκεφαλικῶν νευρῶνων.



Σχῆμα 12: Ἄν αὐξηθεῖ σταδιακὰ ἡ παράμετρος σύζευξης σ μεταξύ μεγάλων ὁμάδων νευρῶνων, παρατηρεῖται τὸ φαινόμενο «χίμαιρας» στὸ τέταρτο σχῆμα τῆς ἀριστερῆς στήλης, μὲ μιὰ κεντρικὴ ὁμάδα νευρῶνων νὰ παραμένει ἀσυγχρόνιστη ἐνῶ ἐκείνες τῶν δύο ἄκρων εἶναι συγχρονισμένες. Παράλληλα, τὸ τέταρτο σχῆμα τῆς δεξιᾶς στήλης δείχνει ὅτι γιὰ νὰ ἐμφανισθεῖ ἡ «χίμαιρα» πρέπει οἱ ταλαντώσεις κάθε νευρώνα νὰ ἔχουν συγκεκριμένο συνδυασμὸ ταλαντώσεων μικρῆς («spikes») καὶ μεγάλης περιόδου («bursts»).



Σχήμα 13: Άριστερά Το καρδιογράφημα ενός φυσιολογικού ατόμου παρουσιάζει όχι μόνο στοιχεία τάξης (περιοδικότητα) αλλά και μια ύγιη δόση χαοτικής δυναμικής. <http://www.intmath.com/blog/mathematics/math-of-ecgs-fourier-series-4281>. Δεξιά Άντίθετα ή εικόνα του καρδιογραφήματος στην περίπτωση κοιλιακής ταχυκαρδίας έμπεριέχει υπερβολικά μεγάλη περιοδικότητα και σχεδόν άπουσία χάους! <http://lifeinthefastlane.com/ecg-library/ventricular-tachycardia/>



Σχήμα 14: Άριστερά Οι εγκεφαλικοί ρυθμοί ενός υγιούς ατόμου επίσης έμπεριέχουν περιοδικότητα μαζί με μια ύγιη δόση χαοτικής συμπεριφοράς <http://maybytes.ch/works/braindate> Δεξιά Προσέξτε πώς τὸ φαινόμενο συντονισμού μεταξύ διαφορετικῶν ομάδων νευρώνων και ἡ μείωση τοῦ χάους παρατηρεῖται έντονα πριν ἀπὸ τὴν ἔκρηξη τῆς ἐπιληπτικῆς κρίσης, μετὰ τὴν ὁποία ἐπικρατεῖ ἰσχυρὴ περιοδικότητα και ἰδιαίτερα έντονος συντονισμός. <http://www.neurology.org/content/47/2/605.2.figures-only>

χρησιμοποιήσουμε στὰ ὡς ἄνω μοντέλα ἀκριβεῖς μαθηματικές ἀναπαραστάσεις νευρώνων τύπου *Hindmarsh – Rose*, ἐμφανίζονται χίμαιρες γιὰ συγκεκριμένες τιμές τῶν παραμέτρων ὅπως δείχνει τὸ Σχῆμα 12. Αὐτὸ πού ἀπομένει σήμερα εἶναι νὰ ἐπιβεβαιωθοῦν τὰ ἀποτελέσματα αὐτὰ πειραματικά, ὅπως ἤδη ἐπιχειροῦμε νὰ κάνουμε σὲ συνεργασία μὲ μεγάλα ἐρευνητικά κέντρα τοῦ ἐξωτερικοῦ.

Μιὰ καὶ μιλήσαμε ὅμως γιὰ τὶς ἔννοιες τοῦ χάους, τῆς τάξης καὶ τοῦ συγχρονισμοῦ, ἀξίζει, κλείνοντας τὸ ἐδάφιο αὐτό, νὰ ὑπογραμμίσουμε τὴ χρησιμότητά τους σὲ δύο πολὺ κρίσιμες λειτουργίες τοῦ σώματός μας, πού ἀποτελοῦν ζητήματα ζωῆς καὶ θανάτου: τὴν καρδιακὴ καὶ τὴν ἐγκεφαλική. Προσέξτε πὼς ἡ περιοδικότητα συνδυασμένη μὲ μιὰ δόση χάους ἀποτελοῦν ἐγγύηση γιὰ τὴν ὑγιή λειτουργία τῆς καρδιάς (βλ. Σχῆμα 13 ἀριστερὰ) καὶ τοῦ ἐγκεφάλου (βλ. Σχῆμα 14 ἀριστερὰ). Ἀντίθετα, ἡ ἔντονη περιοδικότητα καὶ ἡ μείωση τοῦ χάους συνοδεύουν τὸ ἐπικίνδυνο φαινόμενο τῆς κοιλιακῆς ταχυκαρδίας (βλ. Σχῆμα 13 δεξιὰ), ἐνῶ ὁ συγχρονισμὸς νευρωνικῶν ομάδων μπορεῖ νὰ εἶναι προοίμιο ἐπιληπτικῆς κρίσης κατὰ τὴ διάρκεια τῆς ὁποίας στὴ συνέχεια κυριαρχεῖ ἔντονη περιοδικότητα (βλ. Σχῆμα 14 δεξιὰ).

4. Ἡ σημασία τῆς πολυπλοκότητας στὴ σύγχρονη ἐκπαίδευση

Διδάσκω σὲ ἑλληνικὰ πανεπιστήμια ἐδῶ καὶ 30 χρόνια. Ἔχω συνδιοργανώσει 5 διεθνῆ συνέδρια καὶ –κάτι πού θεωρῶ πολὺ πιὸ σημαντικό– 22 πανελλήνια θερινὰ σχολεῖα καὶ 4 εὐρωπαϊκὰ μεταπτυχιακὰ σχολεῖα σὲ θέματα μὴ γραμμικῆς δυναμικῆς, χάους καὶ πολυπλοκότητας. Εἶναι φυσικό, ἐπομένως, νὰ μὲ ἔχει ἀπασχολήσει ἰδιαίτερα ἡ προσωπικὴ μου συμβολὴ στὴν ἐκπαίδευση τῶν Ἑλλήνων φοιτητῶν, ὁ ρόλος τῆς πολυπλοκότητας στὴν ἐκπαίδευση, ἀλλὰ καὶ γενικότερα ἡ κατάσταση τῆς παιδείας στὴ χώρα μας.

Ἐπιτρέψτε μου λοιπὸν νὰ ξεκινήσω τὸ τελευταῖο μέρος τῆς ὁμιλίας μου μὲ μιὰ πικρὴ διαπίστωση: Θεωρῶ ὅτι τὸ σύστημα εἰσαγωγικῶν ἐξετάσεων στὴν Ἀνώτατη Ἐκπαίδευση πού ἔχουμε ἐφαρμόσει μέχρι σήμερα ἔχει ἀποβεῖ καταστρεπτικὸ γιὰ τὴν ἔννοια τῆς παιδείας ὡς διάπλασης πνεύματος, ψυχῆς καὶ προσωπικότητας γιὰ τοὺς νέους τῆς πατρίδας μας. Ἐπιτρέψαμε σὲ ἓνα ἀντιπαιδαγωγικὸ σύστημα παραπαιδείας νὰ ἀντικαταστήσει τὴν ἀγάπη γιὰ τὴ μάθηση, τὴν προσήλωση στὴν πνευματικὴ πρόοδο, τὴν καλλιέργεια κριτικῆς ἰκανότητας καὶ τὴν ἐλεύθερη ἀνάπτυξη ταλέντων, μὲ

μιά επί πληρωμή εξάσκηση μηρυκασμού τύπων, οδηγιῶν καὶ ἀποθήκευσης πληροφορίας, ἀπαλλαγμένων ἀπὸ κάθε οὐσία καὶ περιεχόμενο, ἀφοῦ τὴν ἐπομένη τῶν ἐξετάσεων πρόκειται ὅλα νὰ λησμονηθοῦν.

Τὸ ἀποτέλεσμα εἶναι νὰ διδάσκουμε σήμερα στὰ ΑΕΙ τῆς χώρας μας νέους ἀνθρώπους ἕνα σημαντικό ποσοστὸ τῶν ὁποίων ἔχει πάψει νὰ σκέπτεται καὶ θεωρεῖ ὅτι θὰ μπορέσει νὰ παρακάμψει τὶς προκλήσεις ποὺ ἀντιμετωπίζει στὰ «δύσκολα» μαθήματα καταφεύγοντας στὴν ἴδια μηχανιστικὴ ἀποστήθιση γνώσεων ποὺ μόνον ἐκπαίδευση δὲν μποροῦν νὰ ὀνομασθοῦν. Ποιὸς φταίει γιὰ ὅλα αὐτά; Ἡ νεολαία μας; Ὅχι βέβαια. Ἐμεῖς φταῖμε, οἱ μεγαλύτεροι, ποὺ ἀντὶ νὰ ἀποδειχτοῦμε σοφότεροι τῶν περιστάσεων, φανήκαμε ἀνίκανοι νὰ ἀνταποκριθοῦμε στὶς ἐπιταγὲς ἑνὸς κόσμου ποὺ γίνεται ὀλοένα πιὸ ἀπαιτητικὸς καὶ πολὺπλοκος.

Πρέπει ὅλοι μαζί νὰ ἐργασθοῦμε ὥστε νὰ ὑπάρξει πραγματικὴ παιδεία σὲ ὅλες τὶς βαθμίδες τῆς ἐκπαίδευσης. Πρέπει νὰ μπορέσουμε νὰ ἐμπνεύσουμε στοὺς νέους τῆς χώρας μας τὸν ἐνθουσιασμὸ καὶ τὴν ἀγάπη γιὰ τὴν πραγματικὴ ἐκμάθηση τῆς λογοτεχνίας, τῆς ἱστορίας, τῶν καλῶν τεχνῶν, τῆς τεχνολογίας καὶ τῆς ἐπιστήμης, ὡς μέσων γιὰ τὴν κατάκτηση τῆς προσωπικῆς ὀλοκλήρωσης καὶ τῆς ἀξιοποίησης τῶν ἀτομικῶν ταλέντων τους. Καὶ πρέπει νὰ βιαστοῦμε, γιὰτὶ ἔχουμε μείνει πολὺ πίσω.

Ἄς κλείσω ὅμως τὸ ἐδάφιο αὐτὸ μὲ ἕνα αἰσιόδοξο μήνυμα ποὺ συνδέεται ἅμεσα μὲ τὴν ἐπιστῆμη τῆς πολυπλοκότητας καὶ μὲ ὅσα μπορεῖ νὰ συνεισφέρει γιὰ τὴν ἐπίλυση τῶν ἐκπαιδευτικῶν προβλημάτων ποὺ μᾶς ταλανίζουν:

- Θεωρῶ ὅτι ἡ νέα ἐπιστῆμη προσφέρει ἕναν ἐνιαῖο τρόπο νὰ μελετᾶμε τὴ φύση καὶ τὴ ζωὴ καὶ ἔτσι δρᾷ ἐνάντια στὸν κατακερματισμὸ τῆς γνώσης καὶ στὴν ὑπέρμετρη προσήλωση στὴν ἐξειδίκευση.

- Ἐξοικειώνει τοὺς νέους μὲ τὰ μαθηματικὰ ὡς τὴ γλώσσα ὅλων τῶν ἐπιστημῶν, καὶ τοὺς ἐνθαρρύνει νὰ παρατηροῦν καὶ νὰ χρησιμοποιοῦν τὴ λογικὴ τους γιὰ νὰ καταλάβουν καλύτερα τὸν κόσμο ποὺ μᾶς περιβάλλει.

- Διδάσκει τὴ μοντελοποίηση καὶ προσομοίωση πολὺπλοκων φαινομένων μὲσῶ πρωτότυπων ὑπολογιστικῶν στρατηγικῶν, εἰσάγοντας παράλληλα νέες θεωρητικὲς ἔννοιες, ἀρχὲς καὶ τεχνικὲς γιὰ νὰ κατανοήσουμε καὶ νὰ ἐλέγξουμε τὰ φαινόμενα αὐτά.

- Ἀναδεικνύει κοινὰ σημεῖα μεταξὺ τῶν ἐπιστημῶν καὶ προσφέρει στοὺς νέους ἕνα εὐρὺ φάσμα ἐπιλογῶν, ὥστε νὰ ἀξιοποιήσουν τὰ ταλέντα τους καὶ νὰ ἐπιλέξουν ἕναν ἐπαγγελματικὸ προσανατολισμὸ ποὺ νὰ τοὺς ταιριάζει.

5. Επίλογος

Ζοῦμε χωρίς ἀμφιβολία σὲ ἓναν πολὺπλοκο, γεμάτο ἐκπλήξεις κόσμο, σὲ ἓναν ποταμὸ ἀπὸ συχνὰ ἀντικρουόμενες πληροφορίες πὺ εἶναι δύσκολο νὰ ἀφομοιωθοῦν καὶ νὰ ἀξιοποιηθοῦν γιὰ νὰ βελτιώσουν τὴ ζωὴ μας καὶ νὰ μᾶς κάνουν πιὸ εὐτυχημένους. Βέβαια ἡ ἱστορία δὲν μπορεῖ νὰ ἀλλάξει. Ἡ ἐπιστήμη τῆς πολυπλοκότητας ὅμως μᾶς ὁδηγεῖ σὲ μιὰ νέα προσέγγιση πὺ χαρακτηρίζει πολὺπλοκα φαινόμενα ὡς καταστάσεις δυναμικῆς ἰσορροπίας τὴν εὐστάθεια τῆς ὁποίας πρέπει νὰ κατανοήσουμε ὥστε νὰ μπορέσουμε νὰ ἐλέγξουμε τὰ φαινόμενα αὐτά, ἐνῶ ἀντιθέτως αὐτὸ πὺ εἶναι ἀσταθὲς εἶναι ἡ στασιμότητα.

Θέλω νὰ εὐχαριστήσω τὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν γιὰ τὴν ἀναγνώριση τῆς ἐπιστήμης τῆς πολυπλοκότητας μέσῳ τῆς ἔδρας «Πολύπλοκων Συστημάτων» πὺ θέσπισε καὶ γιὰ τὴ μεγάλη τιμὴ πὺ μοῦ ἔκανε νὰ με ἐκλέξει ἀντεπιστέλλον μέλος στὴν ἔδρα αὐτή. Θὰ χαρῶ πολὺ νὰ συνεργασθῶ με ἄλλα ἀντεπιστέλλοντα καὶ τακτικά μέλη γιὰ τὴν προβολὴ τοῦ ἔργου τῆς Ἀκαδημίας καὶ τὴν ἀνάδειξη τῆς νέας αὐτῆς ἐπιστήμης καὶ τῶν ἐφαρμογῶν της σὲ ἄλλες ἐπιστήμες, ἀλλὰ καὶ γενικότερα στὴν κοινωνία.

Βέβαια θὰ μπορούσε ἐδῶ νὰ μᾶς πεῖ ὁ Ἄμλετ: «Πολλὰ πράγματα, Ὅρατιε, /ὁ Οὐρανὸς ἔχει καὶ ἡ Γῆ, /ποῦ κἂν δὲν εἶδε/ς τ' ὄνειρό της αὐτῆσας ἡ φιλοσοφία» [16]. Σίγουρα δὲν ἀρκεῖ μιὰ νέα ἐπιστήμη γιὰ νὰ λύσει ὅλα μας τὰ ἐπιστημονικά καὶ ἐκπαιδευτικά προβλήματα. Ὅμως ἡ πολυπλοκότητα, με ὄπλο τὴ μαθηματικὴ μοντελοποίηση, τίς θεωρητικὲς της ἀρχὲς καὶ τὴν ὑπολογιστικὴ μεθοδολογία της, ἔχει ἀνοίξει ἓνα «παράθυρο» ἐπικοινωνίας με τὴ φύση, μέσῳ τοῦ ὁποίου ἀρχίσαμε ἐπὶ τέλους νὰ καταλαβαίνουμε λίγο καλύτερα «αὐτὸν τὸν κόσμον τὸν Ἀπλό, τὸν Πολύπλοκο» πὺ μᾶς περιβάλλει.

Ἀναφορές

- [1] «ἤ τοι μὲν πρῶτιστα Χάος γένετ', αὐτὰρ ἔπειτα/Γαῖ' εὐρύστερνος, πάντων ἔδος ἀσφαλὲς αἰεὶ/ἀθανάτων, οἳ ἔχουσι κάρη νιφόεντος Ὀλύμπου, /Τάρταρά τ' ἠερόεντα μυχῶ χθονὸς εὐρυοδείης, ἡδ' Ἔρος, ὃς κάλλιστος ἐν ἀθανάτοισι θεοῖσι, /λυσιμελής, πάντων δὲ θεῶν πάντων τ' ἀνθρώπων/δάμναται ἐν στήθεσσι νόον καὶ ἐπίφρονα βουλήν» (ΗΣΙΟΔΟΣ, *Θεογονία*, 116-122).
- [2] E. N. LORENZ, Deterministic Nonperiodic Flow, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20, 1963, σ. 130-141.

- [3] H. POINCARÉ, *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, Gauthier-Villars, Paris 1899.
- [4] Α. ΜΠΟΥΝΤΗΣ, *Δυναμικά συστήματα και χάος*, Α', Έκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1995.
- [5] Α. ΜΠΟΥΝΤΗΣ, *Ο θαυμαστός κόσμος τῶν fractal*, Leader Books, Αθήνα 2004.
- [6] M. F. BARNESLEY, *Fractals Everywhere*, Academic Press, San Diego, 1993.
- [7] T. BOUNTIS – A. S. FOKAS – E. PSARAKIS, Fractal Analysis of Tree Paintings by Piet Mondrian (1872-1944), *International Journal of Arts and Technology*, 2015 (ὑπὸ δημοσίευση).
- [8] G. NICOLIS – I. PRIGOGINE, *Exploring Complexity*, Freeman, New York 1989.
- [9] G. NICOLIS – C. NICOLIS, *Foundations of Complex Systems*, World Scientific, Singapore 2007.
- [10] C. TSALLIS, *Introduction to Nonextensive Statistical Mechanics: Approaching a Complex World*, Springer, New York 2009.
- [11] T. BOUNTIS – H. SKOKOS, *Complex Hamiltonian Dynamics*, Synergetic Series, Springer 2012.
- [12] H. CHRISTODOULIDI – T. BOUNTIS – J. P. VAN DER WEELE, Phase Transitions in Models of Bird Flocking, σέ: τιμητικό τόμο στή μνήμη τοῦ Καθηγητῆ Ἰωάννη Σ. Νίκολη, G. NIKOLIS – V. BASIOS (ἐπιμ.), *Chaos, Information Processing and Paradoxical Games*, World Scientific Publishing Company, 2014.
- [13] Ү. KURAMOTO – D. BATTOGTOKH, Coexistence of Coherence and Incoherence in Nonlocally Coupled Phase Oscillators, *Nonlin. Phen. in Complex Sys.*, 5, 2002, σ. 380-385.
- [14] D. M. ABRAMS – S. H. STROGATZ, Chimera States for Coupled Oscillators, *Phys. Rev. Lett.*, 93, 2004, 174102.
- [15] J. HIZANIDIS – V. G. KANAS – A. BEZERIANOS – T. BOUNTIS, Chimera States in Networks of Nonlocally Coupled Hindmarsh – Rose Neuron Models, *Intern. J. Bifurc. Chaos*, 24, 3, 2014, 1450030.
- [16] Αμλέτος, *Τραγωδία Σαικσπίρου* (ἕμμετρος μετάφρασις Ἰακώβου Πολυλά), Ἐκ τοῦ τυπογραφείου Ἀδελφῶν Περρῆ, Ἐν Ἀθήναις 1889 (Πράξις 1η, Σκηνή Ε').

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 23ΗΣ ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2015

Η ΕΠΕΤΕΙΟΣ ΤΗΣ «ΜΑΧΗΣ ΤΩΝ ΟΧΥΡΩΝ»

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ
ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟ ΣΚΑΡΒΕΛΗ

Ἡ σύντομη αὐτὴ ἀνακοίνωση τῶν δέκα λεπτῶν ἀφορᾷ σὲ μία πολὺ σημαντικὴ ἡμέρα τῆς νεότερης ἱστορίας μας, τὴν 6ῃ Ἀπριλίου τοῦ 1941. Πρὶν ἀπὸ λίγες ἡμέρες συμπληρώθηκαν 74 χρόνια ἀπὸ τότε πὸ ἡ καταπονημένη ἀλλὰ νικήτρια τοῦ ἐλληνοϊταλικοῦ πολέμου Ἑλλάδα ἀντέταξε ἓνα δεῦτερο ΟΧΙ, αὐτὴ τὴ φορά στὴ γερμανικὴ κατὰ τῆς χώρας ἐπιβουλή. Ὁ ἑορτασμός αὐτῆς τῆς ἐπετείου ἐπισκιάζεται ἀπὸ τὴν ἐγγύτητα μὲ τὴν 25ῃ Μαρτίου, ἀφ' ἑνός, καί, ἀφ' ἑτέρου, ἀπὸ τὸ γεγονός ὅτι τὴν ὅλη συμμετοχὴ τῆς χώρας στὸν Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ἐκφράζει ἡ ἐθνικὴ ἐπέτειος τῆς 28ῆς Ὀκτωβρίου. Ἐφέτος ἔμεινα μὲ τὴν ἐντύπωση ὅτι ἡ ἐπέτειος ἀγνοήθηκε παντελῶς, ἀκόμα καὶ ἀπὸ τὸν τύπο. Μακάρι νὰ κάνω λάθος.

Κυρίες καὶ κύριοι,

Μὲ τὸ δεῦτερο αὐτὸ ΟΧΙ, καθόλου μικρότερης ἀξίας ἀπὸ τὸ πρῶτο, ἡ χώρα θὰ ἀντιμετώπιζε τὴν κατὰ πολὺ ἰσχυρότερη στρατιωτικὴ μηχανὴ τῆς Γερμανίας, μία μηχανὴ πὸ εἶχε κατακτήσει σχεδὸν ὅλη τὴν Εὐρώπη. Ὁ ἀγώνας θὰ ἦτο ἄνισος, αὐτὸ ἦτο γνωστό, καὶ τὸ ἀποτέλεσμα προβλέψιμο, ὅμως δὲν ἔπρεπε νὰ προδώσουμε τὸ μεγάλο κατόρθωμά μας στὰ βουνα τῆς Ἀλβανίας, οὔτε καὶ τὶς ἐπιταγὲς τῆς ἱστορίας μας.

Ὁ ἀγώνας ἄρχισε τὴν πρωία τῆς 6ῆς Ἀπριλίου, μὲ γενικὴ ἐπίθεση τῶν γερμανικῶν δυνάμεων σὲ ὅλο τὸ μῆκος τῆς ἐλληνοβουλγαρικῆς μεθορίου. Ἐμεινε στὴν ἱστορία ὡς ἡ «Μάχη τῶν Ὀχυρῶν». Ὅμως ἡ Μάχη τῶν Ὀχυρῶν εἶναι ἓνα μικρὸ μέρος τῆς ὅλης ἀντίστασης κατὰ τῶν Γερμανῶν,

μιᾶς ἀντίστασης πού ἄρχισε τὴν 6ῃ Ἀπριλίου καὶ ἐπερατώθη τὴν 29ῃ Μαΐου, δηλαδὴ μετὰ ἀπὸ 54 ἡμέρες (σχεδὸν δύο μῆνες), μὲ τὴν κατάληψη τῆς Κρήτης.

Νὰ σημειωθεῖ ὅτι ὁ κατὰ τῶν Γερμανῶν πόλεμος ἄρχισε καθ' ὃν χρόνον ἐσυνεχίζετο ἐντὸς τῆς Ἀλβανίας ἐπιτυχῶς καὶ ὁ κατὰ τῶν Ἰταλῶν, μετὰ τὴν ἀπόκρουση τῆς ἐαρινῆς ἰταλικῆς ἀντεπίθεσης τοῦ Μαρτίου 1941.

Μετὰ τὴν κατάληψη καὶ τῆς Κρήτης, ὁ ἀγῶνας κατὰ τοῦ Ἄξονα συνεχίστηκε ἀπὸ τίς δυνάμεις μας πού κατέφυγαν στὴ Βόρεια Ἀφρική καὶ στὴ Μέση Ἀνατολή, ἀλλὰ καὶ ἀπὸ τὴν ἐσωτερικὴ ἀντίσταση. Ἡ χώρα μας ἐπολέμησε καὶ στὸ ἰταλικὸ μέτωπο μὲ μία Ταξιαρχία, μετὰ τὴν ἀπόβαση ἐκεῖ τῶν συμμαχικῶν δυνάμεων, καὶ ἀκόμα εἶχε συμμετοχὴ μὲ ναυτικὲς μονάδες καὶ στὴν ἀπόβαση στὴ γαλλικὴ Νορμανδία. Ὅλοι αὐτοὶ οἱ ἀγῶνες συνιστοῦν τὴ συμβολὴ τῆς Ἑλλάδος στὸν Β' Παγκόσμιον Πόλεμο, πού ἦτο ὁ ἔβδομος ἀπὸ τοὺς ὀκτῶ πολέμους πού ἐπιχείρησε ἡ Ἑλλάδα στὸ πρῶτο ἡμισυ τοῦ περασμένου αἰῶνα (Πόλεμος τοῦ 1897, Α' Βαλκανικός, Β' Βαλκανικός, Α' Παγκόσμιος Πόλεμος, Ἐκστρατεία στὴν Οὐκρανία, Ἐκστρατεία στὴ Μικρὰ Ἀσία, Β' Παγκόσμιος Πόλεμος, Ἐμφύλιος Πόλεμος).

Τὸν πόλεμο κατὰ τῶν Γερμανῶν δὲν τὸν ἐπροκάλεσε ἡ χώρα μας. Τὸν ἐπέβαλαν οἱ στρατηγικὲς ἐπιδιώξεις καὶ ἀνάγκες τῶν Γερμανῶν, οἱ ὁποῖοι μάλιστα δὲν τήρησαν τὴ διπλωματικὴ πρακτικὴ τῆς ἐποχῆς, δηλαδὴ τοῦ τελεσιγράφου καὶ τῆς παροχῆς εὐλογου χρόνου γιὰ ἀπάντηση. Ἀπλῶς, λίγο μετὰ τὴν ἐκδήλωση τῆς ἐπίθεσης, ὁ γερμανὸς πρέσβυς στὴν Ἀθήνα ἐπέδωσε διακοίνωση στὸν Ἕλληνα πρωθυπουργό, ὅπου διευτυπώνοντο ἀστήρικτοι ἰσχυρισμοὶ περὶ παραβιάσεως τῆς οὐδετερότητος (λόγω τῆς παρουσίας βρετανικῶν δυνάμεων σὲ ἑλληνικὸ ἔδαφος) καὶ ἀνεγγέλλετο ἡ γερμανικὴ ἐπίθεση.

Ἐφόσον εἶχε ἀποτύχει ἡ κατάληψη τῆς Ἑλλάδος ἀπὸ τὴν Ἰταλία, θὰ τὴν κατελάμβανε ἡ Γερμανία, διότι, ὅπως προανέφερα, ἦταν στρατηγικὴ ἀνάγκη. Δὲν θὰ ἄφηναν οἱ Γερμανοὶ τὸν ἑλληνικὸ χῶρο νὰ χρησιμοποιηθεῖ ἀπὸ τοὺς Ἀγγλοὺς γιὰ ἀεροπορικὴ προσβολὴ τῶν πετρελαίων τῆς Ρουμανίας καὶ τοῦ δεξιοῦ πλευροῦ τῆς ἐκστρατείας τους στὸν Καύκασο, ὅταν ἀργότερα ἐπετέθησαν κατὰ τῆς Σοβιετικῆς Ἐνώσεως. Τοὺς ἐνδιέφερε ἐξ ἄλλου ὁ ἑλληνικὸς χῶρος, διότι εἶχαν σὲ ἐξέλιξη ἐπιχειρήσεις στὴ Βόρεια Ἀφρική καὶ εἶχαν βλέψεις στὴ Μέση Ἀνατολή καὶ στὰ πετρέλαιά της. Πλέον αὐτῶν, δὲν εἶχε διαγραφεῖ ἀπὸ τὴ μνήμη τους τὸ γεγονός τῆς δημιουργίας μετώπου,

του γνωστού Μακεδονικού Μετώπου του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Δεν θά επέτρεπαν να επαναληφθεῖ κάτι τέτοιο.

Ἡ ἐπιχείρηση γιὰ ὀλοκλήρωση τῆς κατάληψης τῆς Βαλκανικῆς Χερσονήσου (καὶ λέγω «ὀλοκλήρωση», διότι ἡ Ρουμανία καὶ ἡ Βουλγαρία εἶχαν ἤδη ἐνταχθεῖ στὸν Ἄξονα, ἡ δὲ Ἀλβανία εὐρίσκετο ὑπὸ ἰταλικὴ κατοχῆ) μὲ ἐπίθεση κατὰ τῆς Σερβίας καὶ τῆς Ἑλλάδος (οὐσιαστικὰ κατὰ τῆς Ἑλλάδος, διότι ἡ Σερβία κατέρρευσε σχεδὸν ἀμέσως) ἐξανάγκασε τὴ γερμανικὴ ἡγεσία σὲ μετάθεση τῆς ἡμερομηνίας ἐφαρμογῆς τοῦ σχεδίου Barbarossa κατὰ τῆς Ρωσίας, ἀπὸ τῆς 5 Μαΐου στὶς 22 Ἰουνίου (δηλαδὴ 5 ἐβδομάδες ἀργότερα), μὲ τὴ μοιραία γιὰ τοὺς Γερμανοὺς κατάληξη. Αὐτὴ ἡ σημαντικὴ συμβολὴ τῆς Ἑλλάδος στὸν Β΄ Παγκόσμιον Πόλεμον δὲν μπορεῖ πλέον νὰ ἀμφισβητηθεῖ, ἰδιαίτερα μετὰ τὴν ἀνακοίνωση τοῦ συναδέλφου κ. Σβολόπουλου στὴν Ἀκαδημία μας, τὸ 2008*, ὕστερα ἀπὸ ἔρευνά του στὸν φάκελο Robertson στὴ Βρετανία. Ἀνάτυπο τῆς τότε ὀμιλίας του ἔχω στὰ χέρια μου.

* Κ. ΣΒΟΛΟΠΟΥΛΟΣ, Οἱ ἐπιπτώσεις τῆς γερμανικῆς εἰσβολῆς στὰ Βαλκάνια στὴν ἐξέλιξη τῆς ἐπιχείρησης Barbarossa ὑπὸ τὸ φῶς τῆς ἀπόρρητης ἐκθεσης Robertson, *Νεοελληνικὰ Ἱστορικά*, 1, 2008, σ. 191-206.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 26ΗΣ ΜΑΪΟΥ 2015

ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
κ. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ Α. ΦΛΟΥΔΑ

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΕΔΡΟ
κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟ Β. ΝΑΝΟΠΟΥΛΟ

Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ὑποδέχεται σήμερα μὲ ἰδιαίτερη τιμὴ τὸν κ. Χριστόδουλο Φλούδα, καθηγητὴ Χημικῆς Μηχανικῆς στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Τέξας A&M, τὸν ὁποῖο ἡ Ὀλομέλεια ἐξέλεξε κατὰ τὸ ἔτος 2014 ὡς ἀντεπιστέλλον μέλος τῆς ἀπὸ Ἑλληνες ἐπιστήμονες τοῦ ἐξωτερικοῦ.

Ὁ κ. Φλούδας γεννήθηκε στὰ Ἰωάννινα. Σπούδασε ἀρχικὰ στὴ Σχολὴ Χημικῶν Μηχανικῶν τοῦ Ἀριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης καὶ συνέχισε τὶς σπουδές του στὸ Carnegie Mellon. Ἔχει διδάξει ὡς ἐπισκέπτῃς καθηγητῆς σὲ μιὰ σειρὰ ἀπὸ Ἀκαδημαϊκὰ Ἰδρύματα στὴν Εὐρώπη καὶ στὶς Ἠνωμένες Πολιτεῖες Ἀμερικῆς.

Τὰ ἐρευνητικὰ ἐνδιαφέροντα τοῦ κ. Φλούδα ἐστιάζουν στὴ διασύνδεση τῆς Χημικῆς Μηχανικῆς, τῶν Ἐφαρμοσμένων Μαθηματικῶν καὶ τῆς Ἐπιχειρησιακῆς Ἐρευνας. Ὁ κ. Φλούδας ἔχει, τέλος, ἀναγνωρισθεῖ διεθνῶς μὲ βραβεῖα καὶ τιμητικὲς διακρίσεις.

Κύριε συνάδελφε, ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν εἶναι εὐτυχῆς τοῦ σᾶς καλωσορίζει καὶ σᾶς ἀπευθύνει θερμὲς εὐχὲς γιὰ συνέχιση τοῦ ἐπιστημονικοῦ καὶ ἐρευνητικοῦ σας ἔργου.

Σᾶς καλῶ γιὰ νὰ σᾶς ἐπιδώσω τὸ δίπλωμα τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους τοῦ Ἰδρύματος.

Καὶ τώρα παρακαλῶ τὸν Ἀκαδημαϊκὸ κ. Ἀθανάσιο Φωκᾶ νὰ ἀνέλθει στὸ βῆμα καὶ νὰ παρουσιάσει τὸ ἔργο τοῦ νέου Ἀκαδημαϊκοῦ.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ
κ. ΑΘΑΝΑΣΙΟ ΦΩΚΑ

Κύριε Πρόεδρε τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, κυρίες καὶ κύριοι Ἀκαδημαϊκοί, κυρίες καὶ κύριοι,

Εὐχαριστῶ τὴν Α΄ Τάξη τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν ποὺ μὲ τίμησε ἀναθέτοντάς μου τὴν παρουσίαση τοῦ ἔργου τοῦ καθηγητοῦ κ. Φλούδα. Τὸ πολυσχιδὲς ἔργο τοῦ νέου ἀντεπιστέλλοντος μέλους ἔχει ἔντονο μαθηματικὸ χαρακτήρα καὶ ἴσως αὐτὸ δικαιολογεῖ τὴν ἀνωτέρω ἀπόφαση τῆς Α΄ Τάξεως.

Ὁ καθηγητὴς κ. Φλούδας εἶναι διευθυντὴς τοῦ Ἰνστιτούτου Ἐνέργειας τοῦ Πανεπιστημίου τοῦ Τέξας A&M (ΗΠΑ), διακεκριμένος καθηγητὴς στὴν ἔδρα Μηχανικῆς Ἀριστείας καὶ καθηγητὴς στὸ Τμῆμα Χημικῆς Μηχανικῆς τοῦ ἰδίου πανεπιστημίου. Εἶναι, ἐπίσης, ὁμότιμος καθηγητὴς στὴν ἔδρα Μηχανικῆς καὶ Ἐφαρμοσμένων Ἐπιστημῶν, καθὼς καὶ ὁμότιμος καθηγητὴς τοῦ Τμήματος Χημικῆς Μηχανικῆς τοῦ Πανεπιστημίου Princeton.

Ἐχει διατελέσει ἐπισκέπτης καθηγητὴς σὲ σημαντικὰ ἀκαδημαϊκὰ ἰδρύματα, συμπεριλαμβανομένων τοῦ Imperial College (1992), τοῦ Ἑλβετικοῦ Ἰνστιτούτου Ἐρευνας καὶ Τεχνολογίας (1993) καὶ τοῦ Πανεπιστημίου τῆς Βιέννης (1998). Διετέλεσε ἐπίσης διακεκριμένος ἐπισκέπτης καθηγητὴς στὸ Πανεπιστήμιο τῆς Μινεσότα (2008) καὶ στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Τέξας A&M (2014).

Ὁ Χριστόδουλος Α. Φλούδας γεννήθηκε στὰ Ἰωάννινα τὸ 1959. Ἐλαβε τὸ δίπλωμα χημικοῦ μηχανικοῦ ἀπὸ τὴν Πολυτεχνικὴ Σχολὴ τοῦ Ἀριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης τὸ 1982 καὶ διδακτορικὸ δίπλωμα ἀπὸ τὸ Τμῆμα Χημικῶν Μηχανικῶν τοῦ Πανεπιστημίου Carnegie Mellon τὸ 1986. Ἀρχισε τὴν πανεπιστημιακὴ του καριέρα στὸ Τμῆμα Χημικῆς Μηχανικῆς τοῦ Πανεπιστημίου Princeton τὸ 1986. Ἐγίνε ἀναπληρωτὴς καθηγητὴς τὸ 1991 καὶ τακτικὸς καθηγητὴς τὸ 1994. Τὸ 2007 τιμήθηκε ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιο Princeton μὲ τὸν τίτλο τοῦ Macaleer Καθηγητοῦ τῆς Μηχανικῆς καὶ τῶν Ἐφαρμοσμένων Ἐπιστημῶν («Stephen C. Macaleer '63 Professor in Engineering and Applied Science»).

Ἐπίσης, εἶναι μέλος τῆς Ἐθνικῆς Ἀκαδημίας Μηχανικῆς τῶν ΗΠΑ καὶ τῆς Ἀκαδημίας Ἰατρικῆς, Μηχανικῆς καὶ Ἐπιστημῶν τοῦ Τέξας. Ἐχει ἀναγορευθεῖ ἐπίτιμος διδάκτωρ ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιο Abo Akademi τῆς Φινλανδίας.

Ο Χριστόδουλος Α. Φλούδας έχει τιμηθεί με σημαντικά διεθνή βραβεία για τὸ σπουδαῖο ἐρευνητικὸ του ἔργο. Ἐνδεικτικὰ ἀναφέρω τὰ ἀκόλουθα:

- Professional Progress Award for Outstanding Progress in Chemical Engineering ἀπὸ τὸ Ἀμερικανικὸ Ἰνστιτούτο Χημικῆς Μηχανικῆς (American Institute of Chemical Engineering) τὸ 2001,
- Computing in Chemical Engineering Award ἀπὸ τὸ Ἀμερικανικὸ Ἰνστιτούτο Χημικῆς Μηχανικῆς τὸ 2006,
- Fellow/Ἐταῖρος τοῦ Ἀμερικανικοῦ Ἰνστιτούτου Χημικῆς Μηχανικῆς τὸ 2013,
- Fellow/Ἐταῖρος τοῦ SIAM τὸ 2013,
- Βραβεῖο Καραθεοδωρῆ τὸ 2015.

Ἔχει ἐπίσης τιμηθεῖ γιὰ τὸ διδακτικὸ καὶ παιδαγωγικὸ του ἔργο μὲ τὸ Engineering Council Teaching Award, καθὼς καὶ μὲ τὸ Graduate Mentoring Award, τοῦ Πανεπιστημίου Princeton. Ἔχει ἐπιβλέψει ἄνω τῶν 40 διδακτορικῶν φοιτητῶν καὶ ἄνω τῶν 20 μεταδιδακτορικῶν ἐρευνητῶν, ἐκ τῶν ὁποίων 24 εἶναι τώρα καθηγητὲς πανεπιστημίου.

Ἔχει δημοσιεύσει περισσότερα ἀπὸ 320 ἄρθρα σὲ ἔγκριτα ἐπιστημονικὰ περιοδικά, εἶναι συγγραφέας δύο μεταπτυχιακῶν βιβλίων καὶ συν-συντάκτης 10 βιβλίων, καθὼς καὶ τῆς Ἐγκυκλοπαίδειας Βελτιστοποίησης. Συμμετέχει ἐπίσης στὴν ἐκδοτικὴ ομάδα μεγάλου ἀριθμοῦ διεθνῶν ἐπιστημονικῶν περιοδικῶν.

Σύμφωνα μὲ τὸ ISI Web of Science, ἔχει περίπου 11.000 ἀναφορὲς καὶ H=60. Τὸ ISI Web of Science περιλαμβάνει τὸν κ. Φλούδα στὴ διακεκριμένη ομάδα τῶν μηχανικῶν μὲ πολὺ μεγάλο ἀριθμὸ ἀναφορῶν (highly cited) γιὰ τὴν περίοδο 2002-2012.

Τὸ ἐρευνητικὸ του ἔργο ἔχει χρηματοδοτηθεῖ ἀπὸ τὸ Ἐθνικὸ Ἰδρυμα Ἐπιστημῶν τῶν ΗΠΑ, ἀπὸ τὸ Τμῆμα Ἐπιστημονικῆς Ἐρευνας τῆς Ἀεροπορίας τῶν ΗΠΑ, ἀπὸ τὸ Ἐθνικὸ Ἰνστιτούτο Ὑγείας τῶν ΗΠΑ καὶ ἀπὸ πολλὰς ἑταιρεῖες.

Εἶναι γνωστὴ ἡ σπουδαιότητα τῶν μαθηματικῶν στὶς θετικὲς ἐπιστῆμες καὶ τὴν τεχνολογία, ἀλλὰ ἐπίσης καὶ στὴν ἰατρικὴ καὶ τὴ βιολογία. Σὲ πληθῶρα σχετικῶν προβλημάτων, καθοριστικὸς εἶναι ὁ ρόλος ἑνὸς συγκεκριμένου κλάδου τῶν μαθηματικῶν, ὁ ὁποῖος ὀνομάζεται μαθηματικὴ βελτιστοποίηση (mathematical optimization).

Ὁ καθηγητὴς κ. Φλούδας εἶναι ἀπὸ τοὺς κορυφαίους ἐρευνητὲς σὲ αὐτὸν τὸν τόσο σημαντικὸ κλάδο. Πρέπει νὰ τονιστεῖ ὅτι προβλήματα ἐφαρ-

μογών είχαν και συνεχίζουν να έχουν μεγάλη επίδραση στον συνεχή εμπλουτισμό των μαθηματικών. Όντως, γίνεται συχνά κατανοητό ότι η επίλυση ενός συγκεκριμένου πρακτικού προβλήματος απαιτεί έναν καινούριο μαθηματικό φορμαλισμό. Αυτό πολλές φορές οδηγεί στην ανάπτυξη μιᾶς καινούριας μαθηματικῆς τεχνικῆς. Ἄν αὐτή ἡ τεχνική μπορεῖ νὰ χρησιμοποιηθεῖ καὶ σὲ ἄλλα, τελείως διαφορετικὰ προβλήματα, τότε ἀποκτᾶ μεγαλύτερη σπουδαιότητα καὶ ἀναβαθμίζεται σὲ μαθηματικὴ μέθοδο.

Ὁ καθηγητὴς κ. Φλούδας, μελετώντας μιὰ σειρά ἐξαιρετικὰ σημαντικῶν προβλημάτων χημικῆς μηχανικῆς καὶ βιολογίας, κατάφερε νὰ ἀνακαλύψει σπουδαῖες ἀλγοριθμικὲς καὶ ὑπολογιστικὲς μεθόδους μαθηματικῆς βελτιστοποίησης. Ἐνδεικτικὰ ἀναφέρω τὶς ἀκόλουθες συνεισφορές του:

- τὸν περίφημο ἀλγόριθμο GOP, γιὰ ἐπίλυση προβλημάτων ὀλικῆς βελτιστοποίησης ἀμφίκυρτων μοντέλων (biconvex models),
- τὸν πρωτοποριακὸ ἀλγόριθμο aBB, γιὰ τὴν ἀνάλυση μοντέλων μὲ μὴ γραμμικοὺς περιορισμούς,
- τὴ θεωρητικὴ καὶ ἀλγοριθμικὴ ἀνάπτυξη τῶν μεθόδων GloMICO καὶ ANTIGONE, γιὰ τὴν ἐπίλυση γενικῶν μαθηματικῶν μοντέλων Μικτῆς Ἀκέραιης Μὴ Γραμμικῆς Βελτιστοποίησης. Οἱ ἀλγόριθμοί του ἀναλύονται λεπτομερῶς στὸ ἐξαιρετικὸ του σύγγραμμα *Ντετερμινιστικὴ Ὀλικὴ Βελτιστοποίηση (Deterministic Global Optimization)*.

Αὐτὲς οἱ θεωρίες καὶ οἱ ὑπολογιστικὲς μέθοδοι ἔχουν χρησιμοποιηθεῖ γιὰ τὴν ἀνάλυση μεγάλου ἀριθμοῦ φυσικῶν, χημικῶν καὶ βιολογικῶν φαινομένων. Συγκεκριμένα, ὁ ἴδιος ὁ καθηγητὴς κ. Φλούδας ἔχει μελετήσει σὲ μακροσκοπικὸ, μεσοσκοπικὸ καὶ μικροσκοπικὸ ἐπίπεδο πληθώρα βασικῶν διεργασιῶν στὴν ἐνέργεια, τὴ χημικὴ μηχανικὴ, τὴν ὑπολογιστικὴ χημεία καὶ τὴ μοριακὴ βιολογία.

Σχετικὰ μὲ τὴ χημικὴ μηχανικὴ ἀναφέρω τὰ ἀκόλουθα ἐπιτεύγματα:

- τὸν ὑπολογισμό καταστάσεων ἰσοροπίας γιὰ σύνθετα συστήματα πολλαπλῶν φάσεων,
- τὸν ὑπολογισμό ὄλων τῶν ὁμογενῶν, ἑτερογενῶν καὶ ἀντιδρώντων ἀξεοτρόπων, καὶ
- τὴν ἐπίλυση μεγάλης κλίμακας προβλημάτων ὀλικῆς βελτιστοποίησης ποὺ παρουσιάζονται, μεταξὺ ἄλλων, στὴν παραγωγή ἀργοῦ πετρελαίου.

Σχετικὰ μὲ τὴ μοριακὴ βιολογία, θὰ ἤθελα νὰ ἀναφέρω ὅτι τὸ πρόβλημα τῆς πρόβλεψης τῆς τρισδιάστατης δομῆς τῶν πρωτεϊνῶν, γνωστὸ ὡς

protein folding, παραμένει ένα από τα σημαντικότερα άλυτα προβλήματα όλων των επιστημών. Κάθε πρωτεΐνη αποτελείται από μια σειρά αμινοϊκῶν ὀξέων. Τὸ ἐν λόγω πρόβλημα ἀφορᾷ τὴν πρόβλεψη τῆς τρισδιάστατης τοπολογίας μιᾶς συγκεκριμένης πρωτεΐνης ἀπὸ τὴ γνώση τῶν αμινοϊκῶν ὀξέων της. Ἡ λύση αὐτοῦ τοῦ προβλήματος θὰ ἔχει, μεταξύ ἄλλων, καὶ καθοριστικὴ ἐπίδραση στὴ φαρμακολογία. Γιὰ πρώτη φορά κατανόησα τὴ σημασία τοῦ protein folding ὅταν ἤμουν ἀκόμη φοιτητῆς ἰατρικῆς. Ἀργότερα, σὲ συνεργασία μὲ τὸν αείμνηστο Israel Gelfand, ἀσχοληθήκαμε ἐρευνητικὰ γιὰ ἀρκετὰ χρόνια μὲ αὐτὸ τὸ δύσκολο πρόβλημα, καὶ τότε ἀντελήφθην τὴ θεμελιώδη συνεισφορά τοῦ καθηγητοῦ κ. Φλούδα σὲ αὐτὴ τὴν περιοχὴ.

Μεταξὺ τῶν σημαντικῶν ἐπιτευγμάτων του εἶναι:

- ἡ ἐξέυρεση μιᾶς νέας μεθόδου γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῆς ἐλεύθερης ἐνέργειας δομημένων μακρομορίων καὶ πρωτεϊνῶν,

- ἡ ἐξέυρεση προσεγγίσεων γιὰ τὴν πρόβλεψη τῆς δομῆς ὀλιγοπεπτιδίων,

- ἡ κατανόηση τῆς δυναμικῆς τῆς δημιουργίας δευτεροταγοῦς δομῆς μέσω πρωτοποριακῶν προσεγγίσεων, οἱ ὁποῖες ἐντοπίζουν κρίσιμες συντεταγμένες ἀντίδρασης, καὶ

- ἡ πρόβλεψη δευτεροταγῶν καὶ τριτοταγῶν δομῶν πρωτεϊνῶν μὲ χρῆση μεθόδων «πρώτων ἀρχῶν» (first principles).

Ὁ καθηγητῆς κ. Φλούδας ἔχει ἐπίσης εἰσαγάγει μιὰ καινοτόμο ὑπολογιστικὴ μέθοδο γιὰ τὸν de novo σχεδιασμὸ πεπτιδίων καὶ πρωτεϊνῶν. Ἡ μέθοδος αὐτὴ ἔχει ἤδη ἐπαληθευτεῖ πειραματικὰ μὲ τὴν ἀνακάλυψη ἀναστολέων τῆς Συνιστώσας 3 τοῦ Συστήματος Συμπληρώματος, καὶ ἀγωνιστῶν καὶ ἀνταγωνιστῶν τῶν πρωτεϊνῶν C3a καὶ C5a, καθὼς ἐπίσης καὶ μὲ τὴν ἀνακάλυψη καινοτόμων πεπτιδικῶν ἀναστολέων μὲ σημαντικὲς ἐφαρμογὲς στὴ μετάσταση τοῦ καρκίνου, στὸν HIV καὶ στὴν ὠχρὰ κηλίδα.

Τελειώνοντας, ἀναφέρω τὴ σημαντικὴ συνεισφορά τοῦ καθηγητοῦ κ. Φλούδα στὸν τομέα τῆς πρωτεωμικῆς μὲ τὴν εἰσαγωγὴ μιᾶς νέας μεθόδου γιὰ τὴν de novo πρόβλεψη στοχεύομενων μεταφραστικῶν τροποποιήσεων. Αὐτὴ ἡ μέθοδος ἔχει ἤδη ἐφαρμοστεῖ στὴν πρωτεΐνη histone 3, ὅπου γιὰ πρώτη φορά ἔγινε δυνατὴ ἡ ταυτοποίηση τῶν πολλαπλῶν συνδυασμῶν τῶν σχετικῶν μετα-μεταφραστικῶν τροποποιήσεων. Αὐτὸ ἔχει ὀδηγήσει στὴ δημιουργία ἑνὸς ἀποτελεσματικοῦ διαδικτυακοῦ πρωτοκόλλου γιὰ τὸν

διαχωρισμό –σέ πραγματικό χρόνο– τροποποιημένων πρωτεϊνών τῆς οἰκογενείας histone. Μὲ αὐτὸν τὸν τρόπο παρέχονται σημαντικὰ βιολογικὰ στοιχεῖα γιὰ τὴν κατανόηση τοῦ δυσνόητου κώδικα histone.

Κυρίες καὶ κύριοι, ἡ ἀνωτέρω παρουσίασή μου εἶναι σίγουρα ἐλλιπής. Παρ’ ὅλα αὐτὰ ἐλπίζω ὅτι καθίσταται προφανές ὅτι ὁ καθηγητὴς κ. Φλούδας ἀποτελεῖ σπάνιο παράδειγμα ἐρευνητοῦ ὁ ὁποῖος ὄχι μόνο ἔχει τὴν ἐκπληκτικὴν ἱκανότητα νὰ ἀνακαλύπτει πολὺπλοκες μαθηματικὲς μεθόδους, ἀλλὰ καὶ κατορθώνει νὰ ἐφαρμόσει αὐτὲς τὲς μεθόδους γιὰ τὴν ἐπίλυση προβλημάτων μεγάλης σπουδαιότητος.

Τὰ προβλήματα ἐνέργειας καὶ υγείας ἀποτελοῦν παγκοσμίως δύο ἀπὸ τὰ σημαντικότερα ἐπίκαιρα προβλήματα. Συγχρόνως ἀποτελοῦν, γιὰ τὴν τεχνολογία καὶ τὴν ἐπιστήμη, δύο μεγάλες προκλήσεις. Ὅντως περιλαμβάνονται στὴ λίστα τῶν δέκα μεγάλων προκλήσεων (Grand Challenges) ποὺ ἀνέφερε τὸν Ἰούνιο τοῦ 2014 ἀπὸ τὸ βῆμα τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν ὁ κοσμήτωρ Γιάννης Γιῶρτσος. Ὁ καθηγητὴς κ. Φλούδας, μὲ τὲς πρωτοποριακὲς του μελέτες, ἔχει συνεισφέρει τὰ μέγιστα στὴν κατασκευὴ τῆς κατάλληλης μαθηματικῆς βάσης γιὰ τὴν ἐπίλυση αὐτῶν τῶν δύο μεγάλων προβλημάτων.

Ἀγαπητὲ κ. καθηγητά, ἀπὸ τὰ ἀνωτέρω γίνεται φανερό ὅτι ἦταν ὄντως μεγάλη τιμὴ γιὰ μένα νὰ ἀναφερθῶ στὸ ἔργο σας.

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ: ΟΔΟΙΠΟΡΙΚΟ ΤΡΙΑΝΤΑ ΧΡΟΝΩΝ

ΕΙΣΙΤΗΡΙΟΣ ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
κ. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ Α. ΦΛΟΥΔΑ

Ἀξιότιμε κ. Νανόπουλε, κύριε πρώην πρωθυπουργέ, ἀξιότιμε κ. Φωκᾶ, ἀξιότιμοι κύριοι ἀκαδημαϊκοί, καθηγητές συνάδελφοι τοῦ Ἐθνικοῦ Μετσοβίου Πολυτεχνείου, τοῦ Καποδιστριακοῦ Πανεπιστημίου Ἀθηνῶν, τοῦ Ἀριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, τοῦ Πανεπιστημίου Ἰωαννίνων, τοῦ Πανεπιστημίου Κρήτης, τοῦ Πανεπιστημίου Πατρῶν, συμμαθητές καὶ φίλοι τοῦ νηπιαγωγείου, τῆς Ζωσιμαίας Παιδαγωγικῆς Ἀκαδημίας, τῆς Ζωσιμαίας Σχολῆς Γυμνασίου, τοῦ Ἀριστοτελείου Ἐκπαιδευτηρίου Ἰωαννίνων, συμφοιτητές καὶ φίλοι τῆς Σχολῆς Χημικῶν Μηχανικῶν τοῦ Ἀριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, συγγενεῖς καὶ φίλοι, κυρίες καὶ κύριοι.

Σᾶς εὐχαριστῶ θερμότατα γιὰ τὴν ὑποδοχὴ σας καὶ μὲ τιμᾶτε μὲ τὴν παρουσία σας. Κύριε Νανόπουλε, σᾶς εὐχαριστῶ γιὰ τὴν προσφώνησή σας. Κύριε Φωκᾶ, σᾶς εὐχαριστῶ ιδιαίτερα γιὰ τὴν παρουσίασή σας καὶ τὰ ἐκλεκτὰ σας λόγια. Μὲ συγκίνηση καὶ ταπεινοφροσύνη δέχομαι τὴν ἀναγνώριση αὐτῆ. Αἰσθάνομαι χαρούμενος καὶ τολμῶ νὰ πῶ περήφανος πὺ στέκομαι σὲ αὐτὴ τὴν καταπληκτικὴ αἴθουσα τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, ἐνὸς μοναδικοῦ κτιρίου, τῆ δαπάνη γιὰ τὴν οἰκοδόμηση τοῦ ὁποίου κατέβαλε τὸ 1856 ὁ ἐθνικὸς εὐεργέτης Σίμων Σίνας, μὲ καταγωγὴ ἀπὸ τὴ Μοσχόπολη τῆς Βορείου Ἡπείρου.

Τὸ θέμα τῆς ὀμιλίας μου εἶναι «Μαθηματικὴ βελτιστοποίηση στὴν ἐνέργεια καὶ στὴν ὑγεία: ὁδοιπορικὸ τριάντα χρόνων». Παρόλο πὺ ὁ τίτλος παραπέμπει σὲ ὀμιλία τεχνικοῦ περιεχομένου, ἀποφάσισα νὰ τὴν ἐμπλουτίσω μὲ ἓνα προσωπικὸ καὶ ἐπιστημονικὸ ὁδοιπορικὸ (Διαφάνεια 1).

Τὸ ἐπιστημονικὸ μέρος τῆς παρουσίας θὰ ἐπικεντρωθεῖ στὴ συνεισφορά μου στὶς ἐρευνητικὲς ἐνότητες «Ἰτετερμινιστικὴ ὀλικὴ βελτιστοποίηση», «Συστημικὴ μηχανικὴ ἐνεργειακῶν διεργασιῶν», «Δέσμευση, χρῆση καὶ ἀποθήκευση τοῦ διοξειδίου τοῦ ἄνθρακα» καὶ «Ἰπολογιστικὴ βιολογία καὶ γονιδιωματικὴ».

Θὰ ἀρχίσω μὲ τὸ προσωπικὸ μου ὁδοιπορικὸ. Γεννήθηκα στὴν ὠραία πόλη τῶν Ἰωαννίνων τὸν Αὐγούστο τοῦ 1959. Οἱ γονεῖς μου, ὁ ἀείμνηστος

Μαθηματική Βελτιστοποίηση στην Ένέργεια και στην Ύγεια - Όδοιπορικό Τριάντα Χρόνων



**TEXAS A&M ENERGY
INSTITUTE**
TEXAS A&M UNIVERSITY



Χριστόδουλος Α. Φλούδας

Erle Nye '59 Chair Professor for Engineering Excellence

Texas A&M University

Director, Texas A&M Energy Institute

Artie McFerrin Department of Chemical Engineering

&

Stephen C. Macaleer '63 Professor in Engineering and Applied Science, Emeritus,

Professor of Chemical and Biological Engineering, Emeritus,

Princeton University

Διαφάνεια 1

πατέρας μου Άχιλλεύς Χ. Φλούδας και ή μητέρα μου Ίσμήνη Γ. Φλούδα, δημιούργησαν ένα εξαιρετικό οικογενειακό περιβάλλον για μένα και τον αδελφό μου Γεώργιο Α. Φλούδα, γεμάτο αγάπη και στοργή, με έμφαση στην παιδεία, τη μάθηση και το ήθος, καθώς επίσης και στην κοινωνική προσφορά. Έχω εξαιρετικές ανάμνησεις από τα παιδικά μου χρόνια. Τελείωσα το νηπιαγωγείο στο 7ο Σχολείο Ίωαννίνων και συνέχισα στο τετρατάξιο τμήμα της Ζωσιμαίας Παιδαγωγικής Ακαδημίας Ίωαννίνων. Ακολούθησαν δύο χρόνια στο γυμνάσιο της Ζωσιμαίας Σχολής Ίωαννίνων (1971-1972) και τέσσερα χρόνια στο Άριστοτέλειο Εκπαιδευτήριο Ίωαννίνων (1973-1977), όπου είχα την τύχη να λάβω άριστη εκπαίδευση αλλά και να ασχοληθώ με τον αθλητισμό, ιδιαίτερα το ποδόσφαιρο. Τα επόμενα πέντε χρόνια (1977-1982) σπούδασα στο τμήμα Χημικής Μηχανικής του Άριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, και τον Σεπτέμβριο του 1982 άρχισα τις διδακτορικές μου σπουδές στο Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon στην πόλη Πίτσμπουργκ των ΗΠΑ. Τελείωσα το διδακτορικό μου τον Δεκέμβριο του 1985 και έγινα επίκουρος καθηγητής στο Princeton τον

Ίανουάριο του 1986. Μετά από 29 χρόνια προσφοράς στο Πανεπιστήμιο Princeton, και συγκεκριμένα την 1η Φεβρουαρίου του 2015, μετακινήθηκε στο Texas A&M University ως Διευθύντης του Ίνστιτούτου Ένέργειας (Erle Nye '59 Chair Professor for Engineering Excellence) και καθηγητής Χημικής Μηχανικής.

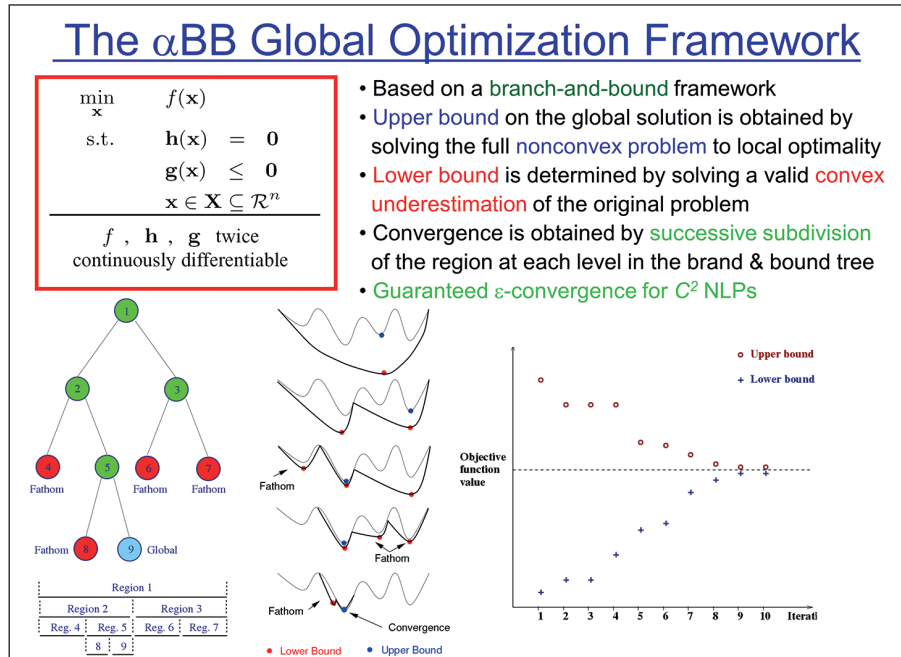
Συνεχίζω με το έπιστημονικό μου όδοιπορικό. Το έρευνητικό μου έργο αστάρηο «Συστημικής Μηχανικής Πολλαπλών Κλιμάκων» έστιάζει στις έξής θεματικές ένότητες: (1) μαθηματική μοντελοποίηση, θεωρίες και αλγόριθμοι μαθηματικής βελτιστοποίησης, (2) ανακαλύψεις σε μακροσκοπικό επίπεδο, και (3) ανακαλύψεις σε μικροσκοπικό επίπεδο. Στην έρευνητική περιοχή τής μαθηματικής βελτιστοποίησης έχω συνεισφέρει στην ανάπτυξη θεωριών και αλγορίθμων σε δύο τομείς: (α) μικτή άκέραιη μη γραμμική βελτιστοποίηση, και (β) ντετερμινιστική όλική βελτιστοποίηση. Οί δύο προαναφερθέντες τομείς έχουν σημαντικές εφαρμογές στα ακόλουθα: (1) τόν σχεδιασμό και τή σύνθεση ενεργειακών διεργασιών συστημικής μηχανικής, (2) στις λειτουργικές διαδικασίες προγραμματισμού και σχεδιασμού υπό άβεβαιότητα, (3) στην ανακάλυψη νέων υλικών για διεργασίες διαχωρισμών, και (4) στην ύπολογιστική βιολογία και γονιδιωματική.

Στην έρευνητική ένότητα «Ντετερμινιστική όλική βελτιστοποίηση», τó κύριο κίνητρο είναι ή ύπαρξη πολλαπλών έλαχίστων και μεγίστων σε σημαντικές εφαρμογές σε μακροσκοπικό επίπεδο (για παράδειγμα, διεργασίες διαχωρισμών, δίκτυα έναλλακτών θερμότητας, σύνθεση συστημάτων άντιδραστήρων), καθώς και σε μικροσκοπικό επίπεδο (όπως αναδίπλωση πρωτεϊνών, σχεδιασμός έξ άρχής πεπτιδίων και πρωτεϊνών). Οί κύριοι στόχοι είναι (α) ή εύρεση ένός όλικού έλαχίστου με μαθηματική έγγρήση σε προβλήματα με συναρτήσεις υπό περιορισμούς, (β) ό προσδιορισμός άνω και κάτω όρίων τού όλικού έλαχίστου, (γ) ό προσδιορισμός ποιοτικών τοπικών έλαχίστων κοντά στο όλικό έλάχιστο, και (δ) ό προσδιορισμός όλων τών λύσεων συστημάτων έξιώσεων με περιορισμούς. Οί στόχοι (α) και (δ) είναι μεγίστης σημασίας από μαθηματική σκοπία, ένω οί στόχοι (β) και (γ) είναι μερίζονος σημασίας σε εφαρμογές μηχανικής και έπιστημών.

Η ένασχόλησή μου με τήν ντετερμινιστική όλική βελτιστοποίηση έμπνεύστηκε από ένα πρωτοποριακό άρθρο τών Γεωργίου Στεφανόπουλου και A. W. Westerberg (*Journal of Optimization Theory and Applications*, 15, 3, 1975).

Ἡ σημαντικότερη θεωρητική συνεισφορά μου στὸν τομέα τῆς ντετερμινιστικῆς ὀλικῆς βελτιστοποίησης περιλαμβάνει τὰ ἑξῆς: (1) τὴν πρώτη ὀλικὴ καὶ ἀκριβῆ θεωρία καὶ ἀλγόριθμο, GOP, γιὰ ἐπίλυση προβλημάτων ὀλικῆς βελτιστοποίησης ἀμφίκυρτων μοντέλων (biconvex models), (2) τὴν πρώτη θεωρία ὀλικῆς βελτιστοποίησης γιὰ προβλήματα ἀλγεβρικῶν συναρτήσεων μίας ἢ περισσότερων ἀνεξάρτητων μεταβλητῶν (signomial) μὲ περιορισμούς, (3) τὴν πρωτοποριακὴ θεωρία γιὰ γενικευμένα διπλὰ συνεχῆ παραγωγίσιμα μοντέλα μὲ μὴ γραμμικούς περιορισμούς, καὶ ἀνέπτυξε τὸν ἀρχικὸ καὶ πρωτοπόρο ἀλγόριθμο, αBB, τὸν γενικευμένο ἀλγόριθμο αBB καὶ τὸν τμηματικὰ-βασισμένο (spline-based) ἀλγόριθμο αBB, (4) τὴ θεωρία γιὰ ἐπίλυση προβλημάτων μικτῆς ἀκέραιης μὴ γραμμικῆς βελτιστοποίησης, καὶ ἀνέπτυξε τοὺς ἀλγόριθμους Smin-αBB καὶ Gmin-αBB, (5) τὴν πρώτη θεωρία καὶ τοὺς πρώτους ἀλγόριθμους ἐπίλυσης γιὰ μοντέλα μὲ διαφορικούς καὶ ἀλγεβρικούς περιορισμούς, καὶ μοντέλα μὲ μὴ παραγοντοποιήσιμες (non-factorable) καὶ τριγωνομετρικὲς συναρτήσεις, (6) τὴ στοιχειώδη θεωρία γιὰ τὴ συμπερίληψη ὅλων τῶν λύσεων σὲ μὴ γραμμικὰ συστήματα ἐξισώσεων μὲ περιορισμούς, (7) τὴ θεωρητικὴ ἀνάπτυξη κυρτῶν φακέλων γιὰ τριγραμμικὰ μονώνυμα, συναρτήσεων ὅπου οἱ κυρτοὶ φάκελοι (convex envelopes) ἀντιστοιχοῦν σὲ σημεῖα τομῆς πολυέδρων (edge concave functions), καὶ συνθηκῶν γιὰ ἔλεγχο τῆς κυρτότητας σὲ γινόμενα μονομεταβλητῶν συναρτήσεων, (8) τὴ θεωρητικὴ καὶ ἀλγοριθμικὴ ἀνάπτυξη κυρτῶν φακέλων γιὰ edge concave συναρτήσεις, (9) τὴ θεωρητικὴ καὶ ἀλγοριθμικὴ ἀνάπτυξη τῶν μεθόδων GloMIQO καὶ ANTIGONE (εὐρέως χρησιμοποιούμενων συστημάτων λογισμικοῦ) γιὰ τὴν ἐπίλυση μικτῶν ἀκέραιων δευτεροβάθμιων πολυωνύμων μὲ περιορισμούς, καὶ γενικῶν μαθηματικῶν μοντέλων μικτῆς ἀκέραιης μὴ γραμμικῆς βελτιστοποίησης, ἀντίστοιχα, καὶ (10) τὸ μεταπτυχιακὸ βιβλίο μὲ τίτλο *Ντετερμινιστικὴ Ὀλικὴ Βελτιστοποίηση (Deterministic Global Optimization)*.

Θὰ περιγράψω ἐν συντομίᾳ τὴ συνεισφορά τῆς θεωρίας καὶ ἀλγορίθμου αBB. Εἶναι ἀξιοσημείωτο ὅτι ἡ θεωρία αBB ἀντιστοιχεῖ σὲ γενικὰ μὴ γραμμικὰ προβλήματα βελτιστοποίησης, μὲ τὸν μόνον περιορισμὸ ὅτι οἱ συναρτήσεις εἶναι δύο φορές συνεχῶς παραγωγίσιμες. Ἡ κεντρικὴ ἰδέα εἶναι ἡ δημιουργία μίας μεθόδου ποὺ βασίζεται στὴ διακλάδωση καὶ ὀριοθέτηση (branch and bound) ποὺ ὀδηγεῖ σὲ ἀκολουθίες ἄνω καὶ κάτω ὀρίων ποὺ ἀποδεικνύουμε ὅτι συγκλίνουν στὸ ὀλικὸ βέλτιστο (Διαφάνεια 2). Αὐτὸ ἐπιτυγχάνεται μὲ τὴ δημιουργία ὑποτιμητῶν κυρτῶν συναρτήσεων καὶ τὴ δι-



Διαφάνεια 2

αίρεση του πεδίου σε μικρότερα πεδία. Η κάθε συνάρτηση διασπάζεται σε διάφορα τμήματα όπως γραμμικά, κυρτά, διγγραμμικά, τριγγραμμικά, κλασματικά, και το τελευταίο τμήμα αντιστοιχεί σε μαθηματική δομή χωρίς ειδικά χαρακτηριστικά. Για το τελευταίο τμήμα εισάγουμε μία καινούρια συνάρτηση που αφαιρεί ένα άθροισμα δευτεροβάθμιων συναρτήσεων σε μία μεταβλητή έκαστη. Η συνάρτηση αυτή είναι εκ κατασκευής κυρτός υποτιμητής και, όπως το πεδίο, διαιρείται σε μικρότερα πεδία ή συνάρτηση προσεγγίζει από κάτω την αρχική συνάρτηση και είναι μείζονος σημασίας για την απόδειξη σύγκλισης.

Η α BB θεωρία έχει εφαρμοστεί σε πολλά ερευνητικά πεδία από άλλους ερευνητές. Συγκεκριμένα, οι θεωρητικές συνεισφορές εισήχθησαν σε καινοτόμες εφαρμογές της ολικής βελτιστοποίησης σε σημαντικά προβλήματα της χημικής μηχανικής, όπως (i) ο υπολογισμός καταστάσεων ισορροπίας για σύνθετα συστήματα πολλαπλών φάσεων, (ii) ο υπολογισμός όλων των ομογενών, έτερογενών και αντιδρώντων άζεοτρόπων, και (iii) η δομική σύνθεση συστημάτων επεξεργασίας, ανάμειξης και προβλημάτων συγκέν-

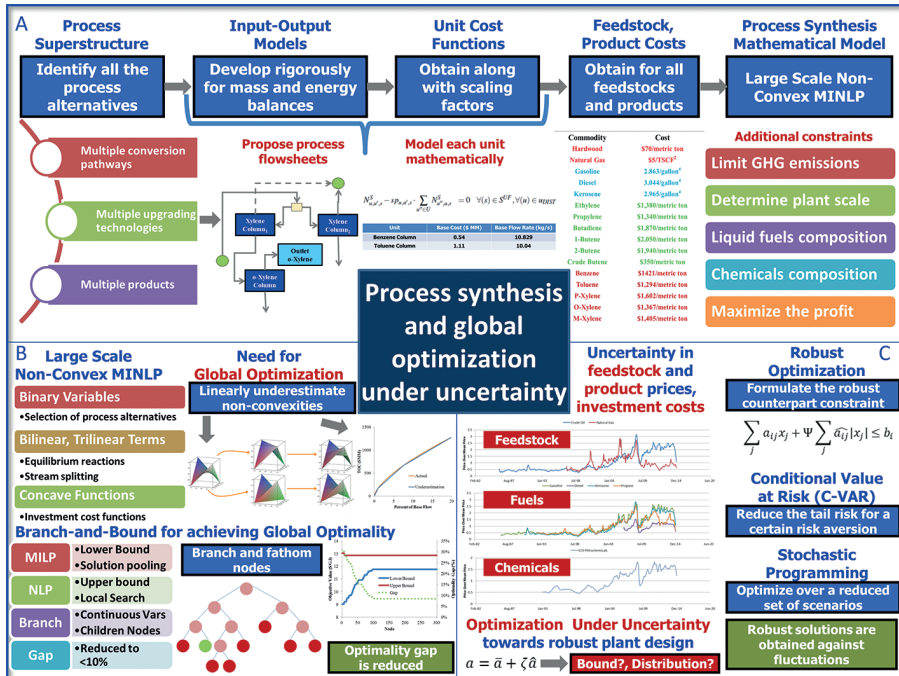
τρωσης (pooling), και μεγάλης κλίμακας προβλήματα όλικής βελτιστοποίησης που προκύπτουν σε εφαρμογές συγκέντρωσης (pooling), και σε προβλήματα προγραμματισμού άργου πετρελαίου.

Συνοψίζοντας την έρευνητική περιοχή της όλικής βελτιστοποίησης, επισημαίνουμε ότι έχουμε νέες θεωρίες και αλγορίθμους που προσφέρουν θεωρητική εγγύηση για την εύρεση όλικού ελάχιστου/μεγίστου, και έχουν εφαρμογές σε πολλαπλά πεδία μηχανικής και επιστημών. Πολλές εφαρμογές όλικής βελτιστοποίησης που έθεωρούντο άπραγματοποίητες 20-30 χρόνια πριν είναι πλέον πραγματικότητα και χρησιμοποιούνται από την επιστημονική κοινότητα μέσω αλγορίθμων και κωδίκων όπως GLOMIOO και ANTIGONE, που διατίθενται από λογισμικές εταιρείες.

Στην έρευνητική περιοχή της όλικής βελτιστοποίησης, έπηρεάστηκα πολύ θετικά από εξάιρετους επιστήμονες όπως ο Γεώργιος Στεφανόπουλος (MIT), ο Πάνος Παρδαλός (University of Florida) και ο Hoang Tuy (Academy of Sciences, Vietnam).

Στην έρευνητική ένότητα «Συστημική μηχανική ενεργειακών διεργασιών», το κύριο έρώτημα είναι αν μπορούμε να παράγουμε τα υγρά καύσιμα μεταφοράς (για παράδειγμα, βενζίνη, ντίζελ, κηροζίνη) δίχως τη χρήση του πετρελαίου, αλλά χρησιμοποιώντας ύβριδικές πρώτες ύλες όπως βιομάζα, φυσικά στερεά απόβλητα, άνθρακα/λιγνίτη και φυσικό άεριο (συνδυασμός πρώτων ύλων). Έπιπλέον έρωτήματα είναι αν μπορούμε συγχρόνως να μειώσουμε τις έκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έτσι ώστε να αποφύγουμε το φαινόμενο του θερμοκηπίου, και αν οι νέες μονάδες λειτουργίας και επεξεργασίας μπορούν να είναι οικονομικά βιώσιμες.

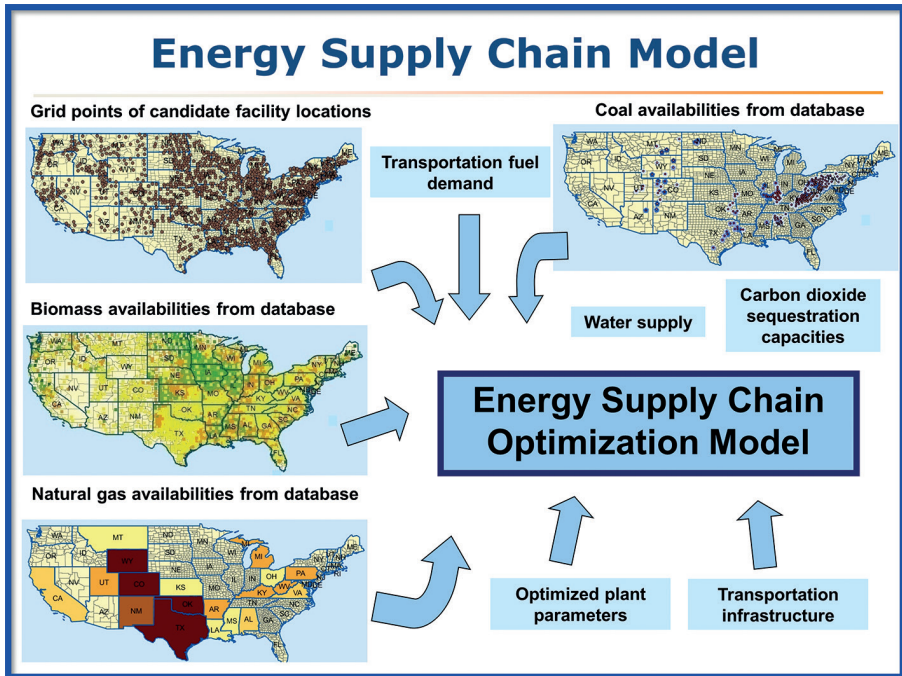
Στην κατεύθυνση αυτή, έχουμε εισαγάγει την πρωτοποριακή μέθοδο της σύνθεσης μονάδων χημικών διεργασιών (Process Synthesis Strategy), που βασίζεται (α) στη δημιουργία μιᾶς υπερδομής που περιέχει όλες τις δυνατές τοπολογίες, (β) στη μαθηματική μοντελοποίηση της υπερδομής με ένα μικτό άκέραιο μη γραμμικό μοντέλο βελτιστοποίησης το οποίο έχει πολλαπλές τοπικές λύσεις και πρέπει να έπιλυθεῖ με μεθόδους ντετερμινιστικής όλικής βελτιστοποίησης (φέρ' είπειν, ANTIGONE). Το κύριο χαρακτηριστικό της υπερδομής είναι η παραγωγή του συνθετικού αερίου από βιομάζα, φυσικά στερεά απόβλητα, άνθρακα ή φυσικό άεριο. Άκολουθεῖ επεξεργασία και καθαρισμός του συνθετικού αερίου, παραγωγή υδρογονανθράκων, αναβάθμιση των προϊόντων, παραγωγή όξυγόνου και υδρογόνου,



Διαφάνεια 3

και βέλτιστη διαχείριση ενέργειας, ισχύος και νερού. Το μαθηματικό μοντέλο ολικής βελτιστοποίησης που περιγράφει την υπερδομή έχει χαρακτηριστικά άβεβαιότητας (uncertainty) που αφορά τις τιμές και τη διαθεσιμότητα των προϊόντων, τις τιμές των πρώτων υλών και το κόστος των μονάδων διεργασιών. Στην κατεύθυνση αυτή έχουμε εισαγάγει καινοτόμες μεθόδους που επιτρέπουν την ανάλυση, τον σχεδιασμό και την εύρωστη βελτιστοποίηση (robust optimization) των χημικών συστημάτων (Διαφάνεια 3).

Μια επιπλέον διάσταση της έρευντικής ένότητας «Συστημικής μηχανικής ενεργειακών διεργασιών» που μας επιτρέπει να απαντήσουμε σε βασικά ερωτήματα όχι μόνο για μία μονάδα λειτουργίας αλλά για τις ΗΠΑ είναι η αλυσίδα τροφοδοσίας της ενέργειας (Energy Supply Chain). Τα βασικά ερωτήματα αφορούν την επιλογή των πρώτων υλών, τη βέλτιστη επιλογή μονάδων λειτουργίας, τη βέλτιστη τοποθέτηση των έργουστασιών, καθώς και τη βέλτιστη επιλογή τρόπων μεταφοράς πρώτων υλών και προϊόντων, αν ληφθεί υπόψη η διαθεσιμότητα του νερού και του χώρου αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα. Έχουμε εισαγάγει ένα μαθηματικό



Διαφάνεια 4

μοντέλο βελτιστοποίησης που είναι μικτό άκέραιο γραμμικό μεγάλο μεγέθους και παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης με ντετερμινιστικό και στρατηγικό όριζοντα. Η επίλυση του μαθηματικού μοντέλου καταδεικνύει ότι μπορούμε να παράγουμε στις ΗΠΑ 50% των υγρών καυσίμων με τη συνδυαστική χρήση των υβριδικών πρώτων υλών σε οικονομικά βιώσιμες τιμές, και τη σύγχρονη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (Διαφάνεια 4).

Συνοψίζοντας τις σημαντικότερες συνεισφορές στην έρευνητική περιοχή «Συστημικής μηχανικής ενεργειακών διεργασιών», έχουμε (α) καινούριες μονάδες λειτουργίας, σχεδιασμένες έτσι ώστε να έχουν μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, (β) βέλτιστη διαχείριση ενέργειας, ισχύος και νερού, (γ) καινοτόμες μεθόδους ντετερμινιστικής ολικής βελτιστοποίησης που επιτρέπουν αυστηρά μαθηματική επίλυση μοντέλων μεγάλου μεγέθους, (δ) νέες μονάδες λειτουργίας που είναι οικονομικά ανταγωνιστικές, και (ε) πρωτοποριακή ανάλυση της ενεργειακής αλυσίδας τροφοδοσίας των ΗΠΑ.

Στήν έρευνητική ένότητα «Δέσμευση, χρήση και αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα», πού είναι μια μεγάλη πρόκληση του 21ου αιώνα, τίθεται τὸ ἀκόλουθο ἐρώτημα: Εἶναι δυνατόν με τὰ ὀρυκτά ὑλικά πού χρησιμοποιοῦμε (φέρ' εἰπεῖν, πετρέλαιο, ἄνθρακα, λιγνίτη, φυσικό ἀέριο) νά παραγάγουμε καθαρή ἐνέργεια; Ἡ προσέγγισή μας στοῦ ἐρώτημα αὐτό εἶναι ὅτι πρέπει νά βροῦμε ἕξυπνο τρόπο δέσμευσης τοῦ διοξειδίου τοῦ άνθρακα καὶ ἕξυπνους τρόπους χρήσης τοῦ διοξειδίου τοῦ άνθρακα. Τὰ βασικά ἐρωτήματα πού θέσαμε εἶναι: (α) Ποιά εἶναι ἡ καλύτερη τεχνολογία ἢ ποιός ὁ καλύτερος συνδυασμός τεχνολογιῶν γιὰ τὴ δέσμευση τοῦ διοξειδίου τοῦ άνθρακα γιὰ μία καὶ πολλαπλές μονάδες ἐκπομπῶν; (β) Ὑπάρχουν οικονομικά ἐλκυστικές προτάσεις; καὶ (γ) Εἶναι δυνατόν νά ἐπιλυθεῖ ἡ πρόκληση αὐτή γιὰ τὴν ἀλυσίδα ἐκπομπῶν τοῦ διοξειδίου τοῦ άνθρακα;

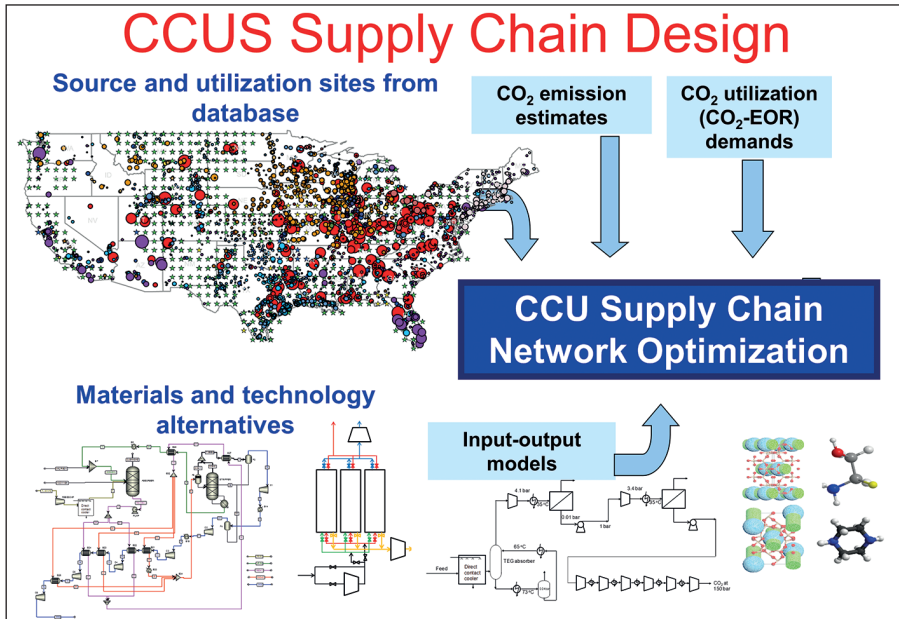
Μετὰ ἀπὸ ἐκτενεῖς μελέτες, καταλήγουμε στοῦ συμπέρασμα ὅτι πρέπει νά ἀνακαλύψουμε καὶ νά χρησιμοποιήσουμε προηγμένα ὑλικά (παραδείγματος χάριν, ζεόλιθους, μεταλλικά ὀργανικά πλαίσια) τὰ ὁποῖα, σέ συνδυασμό με τὴ βελτιστοποίηση τῶν διεργασιῶν δέσμευσης, νά ὀδηγήσουν σέ οικονομικά βιώσιμες λύσεις. Αὐτὸ ἀπαιτεῖ μία συστηματικὴ μεθοδολογία σέ πολλαπλές κλίμακες, πού περιλαμβάνει (α) τὴν ἐπιλογή τῶν ὑλικῶν πού βασίζεται σέ μία τεχνολογία καὶ μία διεργασία, (β) τὴ βελτιστοποίηση τῆς μονάδας λειτουργίας γιὰ ἓνα ὑλικὸ καὶ μία τεχνολογία, (γ) τὴν ἐπιλογή βέλτιστης τεχνολογίας ἀπὸ πολλαπλές (γιὰ παράδειγμα, χημικὴ ἀπορρόφηση, μεμβράνες, προσρόφηση ὑπὸ πίεση), (δ) ταυτόχρονη ἐπιλογή ὑλικῶν καὶ βελτιστοποίηση τῆς μονάδας λειτουργίας, (ε) ταυτόχρονη ἐπιλογή ὑλικῶν, ἐπιλογή τεχνολογιῶν καὶ βελτιστοποίηση τῆς μονάδας λειτουργίας, καὶ (ζ) τὴν ἀλυσίδα ἐκπομπῶν τοῦ διοξειδίου τοῦ άνθρακα.

Ἐπικεντρωθήκαμε λοιπὸν στὴν ἐπιλογή ὑλικῶν γιὰ τὴ δέσμευση τοῦ διοξειδίου τοῦ άνθρακα ἀπὸ ζεόλιθους καὶ ἔχουμε δημιουργήσει ὑπολογιστικές μεθόδους γιὰ τὸν τριῶν διαστάσεων χαρακτηρισμὸ τῶν ζεόλιθων. Ὑπάρχουν πύλες καὶ ἡ ἀναγνώρισή τους ἐπιτυγχάνεται με τὴ θεωρία τῶν γράφων καὶ τὴν εὔρεση ἰσομετρικῶν κύκλων με ἀλγόριθμους (γιὰ παράδειγμα, ἀλγόριθμος Dijkstra's). Ὑπάρχουν κανάλια πού συνδέουν τὶς πύλες καὶ πρέπει νά βροῦμε τὴν ἔνωση τῶν μεγαλύτερων κυλίνδρων πού καλύπτουν τὸν χῶρο. Αὐτὸ ἐπιτυγχάνεται με τὴ μαθηματικὴ βελτιστοποίηση ἑνὸς μοντέλου πού εἶναι μὴ γραμμικὸ καὶ ἡ ἐπίλυσή του βασίζεται σέ ντετερμινιστικὴ ὀλικὴ βελτιστοποίηση. Ὑπάρχουν κλωβοὶ πού προσομοιώνονται με ἔνωση σφαιρῶν πού καλύπτουν τὸν χῶρο. Ἡ εὔρεσή τους ἐπιτυγ-

χάνεται με τη μαθηματική βελτιστοποίηση ενός μη γραμμικού μοντέλου, του οποίου η επίλυση απαιτεί ντετερμινιστική όλικη βελτιστοποίηση. Πρέπει επίσης να εύρεθεί η διασύνδεση των πυλών, καναλιών και κλωβών με όλους τους δυνατούς τρόπους. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα μικτό άκέραιο γραμμικό μοντέλο βελτιστοποίησης. Έπιπλέον, έχουμε δημιουργήσει βάσεις δεδομένων και διαδικτυακά εργαλεία (ZEOMICS για ζεόλιθους, MOFomics για μεταλλικά οργανικά πλαίσια) που χρησιμοποιούνται από πολλούς έρευνητές παγκοσμίως.

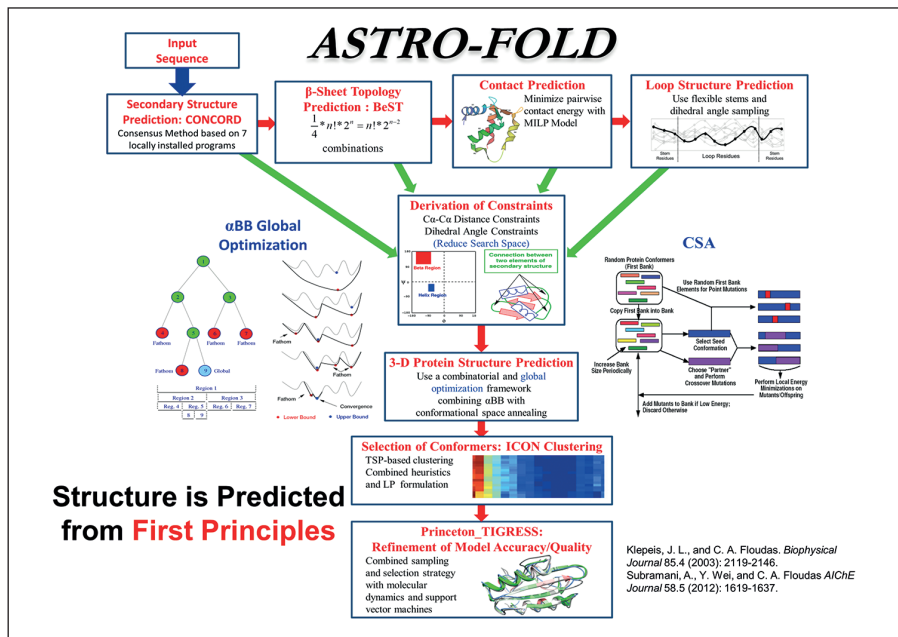
Η επιλογή των υλικών είναι σημαντική, αλλά αντιστοιχεί σε ένα τμήμα της συστημικής μεθοδολογίας πολλαπλών κλιμάκων. Πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τη μονάδα λειτουργίας και τη βέλτιστη λειτουργία της. Για παράδειγμα, η μέθοδος προσρόφησης υπό πίεση είναι κυκλική διεργασία με στάδια όπως συμπίεση, προσρόφηση, εξαγωγή, εκκένωση, και η μαθηματική περιγραφή της είναι ένα πολύπλοκο σύστημα από μερικές διαφορικές εξισώσεις με μη γραμμικές αλγεβρικές εξισώσεις. Η αυστηρή βελτιστοποίηση του μοντέλου αυτού χρειάζεται νέες μεθόδους όλικης βελτιστοποίησης. Έχουμε εισαγάγει ένα καινοτόμο υπολογιστικό πλαίσιο πολλαπλών κλιμάκων. Στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιούμε μικροσκοπικά και γεωμετρικά δεδομένα με βάση το ZEOMICS, στο δεύτερο στάδιο επιλέγουμε υλικά με βάση την εκλεκτικότητα στο μέγεθος, στο σχήμα, στην προσρόφηση, και στο τρίτο στάδιο επιλέγουμε με βάση τη βελτιστοποίηση του κόστους της διεργασίας. Η πρωτοποριακή αυτή μεθοδολογία έχει εφαρμογές σε πολλαπλές συνθέσεις διοξειδίου του άνθρακα και οδήγησε στην πρόβλεψη 13 νέων ζεόλιθων που είναι σημαντικά έλκυστικότεροι από οικονομική άποψη.

Έχουμε επίσης αναπτύξει την πρώτη συστημική μεθοδολογία πολλαπλών κλιμάκων με εφαρμογές στις ΗΠΑ, όπου υπάρχουν πολλαπλές μονάδες έκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, και πολλαπλές μονάδες χρήσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα. Η καινοτόμος αυτή μέθοδος για την αλυσίδα έκπομπών, χρήσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα βασίζεται σε ένα μικτό άκέραιο γραμμικό μοντέλο μεγάλου μεγέθους και η επίλυσή του προτείνει το δίκτυο που έχει 50% μείωση του διοξειδίου του άνθρακα με κόστος \$36/ton δεσμευμένο διοξείδιο του άνθρακα για τις ΗΠΑ και κόστος \$38/ton δεσμευμένο διοξείδιο του άνθρακα για το Τέξας (Διαφάνεια 5).



Διαφάνεια 5

Στήν έρευνητική ένότητα «Υπολογιστική βιολογία και γονιδιωματική», θά έπικεντρωθούμε σέ δυό σημαντικά προβλήματα. Αρχίζοντας μέ τό βασικό πρόβλημα τής αναδίπλωσης τών πρωτεϊών (protein folding), εΐναι άξιοσημείωτο ότι παραμένει άλυτο παρότι έχουν ασχοληθεΐ μέ αυτό τά καλύτερα μυαλά έπιστημόνων και μηχανικών τις προηγούμενες έξι δεκαετίες. Δεδομένης τής άλληλουχίας άμινοξέων, τά κύρια έρωτήματα εΐναι άν μπορούμε νά αναπτύξουμε μεθόδους πρόβλεψης (α) τμημάτων τής άλληλουχίας πού έχουν έλικοειδή δομή (helices), (β) τμημάτων τής άλληλουχίας πού έχουν δομή βήτα κλώνων (beta strands), (γ) τοπολογίες συνδυασμών βήτα κλώνων, φυλλοειδείς (beta sheets), και άπαρίθμηση τών συνδυασμών τοπολογιών, και (δ) τής τρισδιάστατης δομής τών πρωτεϊών. Μέ πολλές έπιστημονικές έργασίες τά τελευταΐα 20 χρόνια, έχουμε αναπτύξει τή μέθοδο πρώτων αρχών ASTRO-FOLD, πού προβλέπει τή δευτεροταγή δομή τών πρωτεϊών, τήν τοπολογία τών βήτα κλώνων, τις έπαφές άμινοξέων πού εΐναι σέ μέση και μακρινή άπόσταση, και τή δομή τών βρόχων (loops). Οΐ μαθηματικές αυτές προβλέψεις μετατρέπονται σέ άνισότητες πού γίνονται μέρος τών περιορισμών ένός μαθηματικού μοντέλου ντετερμινιστικής όλιγκής βελτιστοποίησης πού έπιλύεται μέ τή μέθοδο αBB πού συζη-



Διαφάνεια 6

τήσαμε στο πρώτο μέρος της ομιλίας αυτής. Η μέθοδος αBB παρέχει άνω και κάτω όρια στη βέλτιστη δομή, ή οποία τελειοποιείται με το αυτόματο εργαλείο Princeton_TIGRESS (Διαφάνεια 6).

Γιατί το πρόβλημα της αναδίπλωσης πρωτεϊνών παραμένει άλυτο; Ένας από τους κύριους λόγους είναι γιατί η πρόβλεψη της τοπολογίας βήτα κλώνων (φυλλοειδείς) έχει εκπληκτική πολυπλοκότητα. Αναφέρω ως παράδειγμα ότι πρωτεΐνες που έχουν 10 βήτα κλώνους χαρακτηρίζονται από άνω των 20 δισεκατομμυρίων τοπολογιών βήτα κλώνων. Έχουμε αναπτύξει πρωτοποριακές μεθόδους πρόβλεψης τοπολογιών βήτα κλώνων που επιτρέπουν πρόβλεψη με επιτυχία 80%. Αυτό έχει επιτευχθεί με βάση τις εξαιρετικές εργασίες των καθηγητών Φωκᾶ και Gelfand για μιὰ κατηγορία πρωτεϊνών, που μᾶς ἔδωσαν σημαντικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά που εισαγάγαμε στο μικτό ἀκέραιο γραμμικό μοντέλο βελτιστοποίησης που ἀποτελεῖ τὸ κύριο εργαλεῖο πρόβλεψης τῶν φυλλοειδῶν.

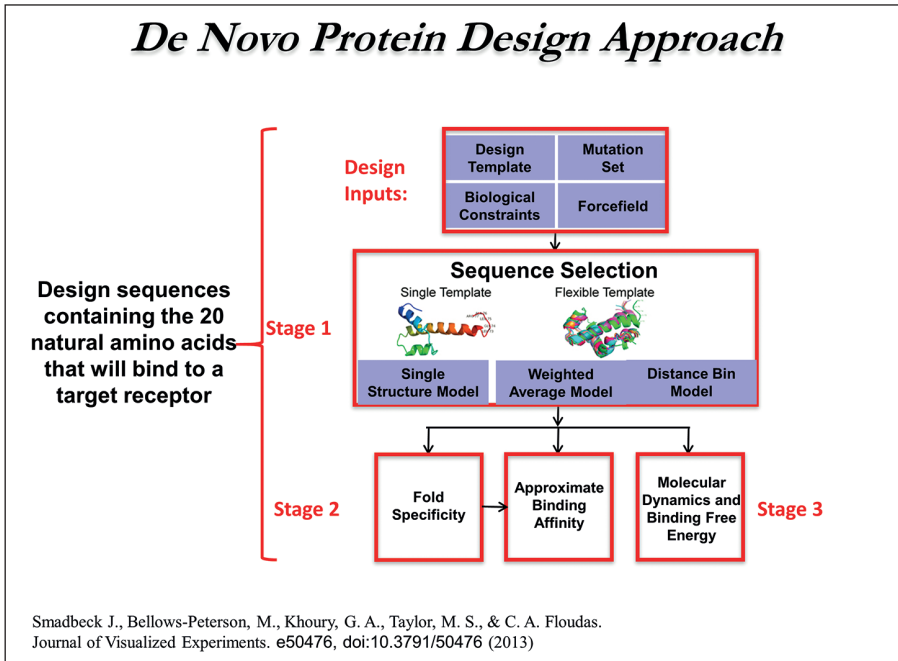
Μιὰ ἐπιτυχῆς πρόβλεψη δομῆς πρωτεϊνῶν μετὴν τὴν μέθοδο πρώτων ἀρχῶν ASTRO-FOLD εἶναι γιὰ τὴν πρωτεΐνη S824 καὶ ἔγινε σὲ συνεργασία μετὸν καθηγητὴ Hecht (Τμῆμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Πρίνστον). Εἶναι

άξιοσημείωτο ότι η άλληλουχία της S824 δὲν υπῆρχε στις βάσεις πρωτεϊνῶν καὶ προβλέψαμε τὴ δομὴ τῆς δεκαοκτῶ μῆνες πρὶν ἀπὸ τὴν πειραματικὴ δομὴ μὲ ἀκρίβεια 5.1 ἄνγκστρομς. Ἡ ἀκρίβεια αὐτὴ βελτιώθηκε σὲ 2.4 ἄνγκστρομς μὲ τὴν εἰσαγωγὴ τῆς μεθόδου πρόβλεψης ἐπαφῶν ἀμινοξέων ποὺ εἶναι σὲ ἕλικες. Ἐπιτυχεῖς προβλέψεις ἔλαβαν χώρα σὲ ἀνταγωνιστικὰ προγράμματα ὅπως τὰ CASP9-11, μὲ συμμετοχὲς ἄνω τῶν 200 ἐρευνητικῶν ομάδων παγκοσμίως, καὶ στὸ CASP11. Ἡ αὐτόματη μέθοδος Princeton_TIGRESS ἔλαβε τὴν πρώτη θέση στὸ ραφινάρισμα τῆς δομῆς πρωτεϊνῶν (Protein Structure Refinement).

Στὴν ἐρευνητικὴ περιοχὴ «Ἀναδίπλωση τῶν πρωτεϊνῶν» (Protein Folding), ἐπηρεάστηκα σημαντικὰ ἀπὸ ἐξαιρετικούς ἐπιστήμονες ὅπως ὁ Harold Scheraga (Cornell καὶ UCSD), Michael Levitt (βραβεῖο Νόμπελ στὴ Χημεία, 2013, Πανεπιστήμιο Stanford), Ken Dill (New York) καὶ Jeffrey Skolnick (Georgia Tech).

Ἡ δευτέρη ἐρευνητικὴ περιοχὴ στὴν «Ὑπολογιστικὴ βιολογία καὶ γονιδιωματικὴ» μὲ τὴν ὁποία ἔχω ἀσχοληθεῖ τὰ τελευταῖα δεκαπέντε χρόνια εἶναι ὁ «Ἐξ ἀρχῆς σχεδιασμὸς πρωτεϊνῶν» (De Novo Protein Design). Στὴν περίπτωση αὐτὴ τὸ πρόβλημα εἶναι ἀντίστροφο ἀπὸ αὐτὸ τῆς ἀναδίπλωσης τῶν πρωτεϊνῶν. Ἔχουμε τὴ δομὴ τῆς πρωτεΐνης καὶ ἀναζητοῦμε τίς πολλαπλὲς ἀλληλουχίες τῶν ἀμινοξέων ποὺ ἀναδιπλώνονται στὴ δομὴ αὐτῆ, ποὺ μπορεῖ νὰ ἀντιπροσωπεύει μιὰ πρωτεΐνη, ἓνα πεπτίδιο ἢ ἓνα σύμπλοκο πρωτεΐνης μὲ πεπτίδιο. Τὸ πρόβλημα αὐτὸ ἔχει ἀστρονομικὰ μεγάλο ἀριθμὸ συνδυασμῶν. Ἄν ἔχουμε, γιὰ παράδειγμα, μιὰ πρωτεΐνη μὲ 100 ἀμινοξέα καὶ ἐπιτρέπουμε τὰ 20 ἀμινοξέα σὲ κάθε θέση, τότε ἔχουμε 100^{130} δυνατὲς ἀλληλουχίες ἀμινοξέων.

Ἔχουμε ἀναπτύξει πρωτοποριακὲς μαθηματικὲς μεθόδους βασισμένες σὲ μικτὴ ἀκέραιη γραμμικὴ βελτιστοποίηση γιὰ τὴν πρόβλεψη ταξινομημένης λίστας τῶν ἀλληλουχιῶν ἀμινοξέων. Στὸ ἐπόμενο στάδιο, κάθε ἀλληλουχία ἀμινοξέων ἀναδιπλώνεται ὑπολογιστικὰ μὲ τὴ μέθοδο ὀλικῆς βελτιστοποίησης αBB. Ἔχουμε ἐπίσης ἀναπτύξει μεθόδους γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῆς δέσμευσης ἐλεύθερης ἐνέργειας μὲ βάση ἀρχὲς θερμοδυναμικῆς καὶ μοριακῆς δυναμικῆς (Διαφάνεια 7). Οἱ μέθοδοι αὐτὲς ἀποτέλεσαν τίς βάσεις γιὰ τὴ δημιουργία τοῦ διαδικτυακοῦ προγράμματος Protein Wisdom, ποὺ εἶναι διαθέσιμο στοὺς ἐρευνητές. Οἱ ὑπολογιστικὲς μέθοδοι ἔχουν ἐπαληθευτεῖ πειραματικὰ σὲ πολλαπλὰ συστήματα, ὅπως στὸ συμπλήρωμα τρία



Διαφάνεια 7

(C3), στο συμπλήρωμα τρία άλφα (C3α), στο συμπλήρωμα πέντε άλφα (C5α), στο gp41 HIV-1 και στο EZH2 (Διαφάνεια 8).

Στην έρευνητική περιοχή «Εξ άρχης σχεδιασμός πρωτεϊνών» (De Novo Protein Design), έπηρεάστηκα από εξαιρετικούς επιστήμονες όπως ο Harold Scheraga (Caltech), ο Michael Levitt (βραβεϊο Νόμπελ στη Χημεία, Πανεπιστήμιο Stanford), ο David Baker (University Washington) και ο Bruce Donald (Duke).

Έχοντας παρουσιάσει τις πλέον σημαντικές τεχνικού περιεχομένου επιστημονικές συνεισφορές στα έρευνητικά πεδία με τα όποια έχω ασχοληθεί, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άτομα που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση τής πορείας μου. Αναρωτήθηκα λοιπόν αν υπάρχει μία λέξη που να περιγράφει τη μέγιστη επίδραση στην πορεία μου, και ή λέξη αυτή είναι περιβάλλον, περιβάλλον, περιβάλλον. Και βέβαια άρχισε με το οικογενειακό περιβάλλον (τον αείμνηστο πατέρα μου Άχιλλέα Χ. Φλούδα, τη μητέρα μου Ίσμήνη Γ. Φλούδα και τον αδελφό μου Γεώργιο Α. Φλούδα). Άκολούθησε ένα καθοριστικό στάδιο, το Άριστοτέλειο Έκπαιδευτήριο Ίω-

Successes of De Novo Design Framework

Engineered Proteins and Peptides	Experimental Validations	Success Fraction
	Compstatin inhibitors of Human C3c^{1,2} ¹ Bellows, Fung et al., <i>Biophysical Journal</i> (2010) ² López de Victoria, Gorham, et al., <i>Chem. Biol. Drug Des.</i> (2011)	3/3
	C3a Receptor Agonists and Antagonists³ ³ Bellows-Peterson, Fung, et al., <i>J. Med. Chem.</i> (2012)	4/7
	HIV gp41 Fusion Inhibitors⁴ ⁴ Bellows, Taylor, et al, <i>Biophys. J.</i> (2010)	4/5
	Bak inhibitors of Bcl-x L and Bcl-2⁵ ⁵ Sun, Abdeljabbar, et al., <i>J. Mol. Biol.</i> (2009)	5/5
	Inhibitors of EZH2 Methylation Activity⁶ ⁶ Smadbeck, Bellows, et al., <i>PLoS ONE</i> (2014)	6/10
De Novo Design of Self-Associating Tripeptides ⁷ Smadbeck, Chan, Khoury, et al., <i>PLoS Comp Bio</i> (2014)	6/6	

Διαφάνεια 8

αννίνων, στο οποίο οι αξιόλογοι καθηγητές μας (Μπασογιάννης, Έργολλάβος, Παπαδόπουλος), που είναι σήμερα μαζί μας, όχι μόνο έδωσαν τις καλύτερες γνώσεις στα γνωστικά τους αντικείμενα αλλά και μᾶς ενέπνευσαν και μᾶς έδωσαν όνειρα. Συγχρόνως όμως μᾶς παρεῖχαν συνολική μόρφωση. Δεν είναι τυχαῖο που βλέπετε στη διαφάνεια τὴν ομάδα τοῦ ποδοσφαίρου και εἶμαι ιδιαίτερα χαρούμενος που οἱ ἀγαπημένοι μου συμμαθητές είναι σήμερα μαζί μας. Ἡ τάξη τῶν 21 μαθητῶν στο μικτὸ Ἀριστοτέλειο Ἐκπαιδευτήριο Ἰωαννίνων χαρακτηρίζεται όχι μόνο ἀπὸ μόρφωση στὰ θρανία ἀλλὰ ἐπίσης ἀπὸ κοινωνικὴ μόρφωση μὲ πολλαπλές ἐξωσχολικὲς δραστηριότητες, και νομίζω ὅτι μία λέξη τὴν ὀρίζει, ἡ λέξη που ἀντιστοιχεῖ στὸν τίτλο τοῦ σχολικοῦ μας περιοδικοῦ, Δεσμός. Ἀκολούθησαν πέντε πολὺ ὠραῖα χρόνια στη Θεσσαλονίκη, ὅπου και γνώρισα τὴ σύζυγό μου. Θέλω νὰ εὐχαριστήσω τοὺς καθηγητές μου στο Ἀριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Παπαγεωργίου, Γεωργιάκης, Νυχᾶς, Βασάλος, Καράβελας, Ἀσασαέλ, Μπεκιάρογλου) γιὰ τὴν ἄρτια ἐκπαίδευση. Θέλω νὰ ἐκφράσω τις ἐγκάρδιες εὐχαριστίες μου στοὺς συμφοιτητές μου που παρευρίσκονται

στην εκδήλωση αυτή και με τιμούν ιδιαίτερα. Εύχαριστώ τον καθηγητή μου στις διδακτορικές σπουδές Ignacio Grossmann για τη διαμόρφωση της επιστημονικής μου ταυτότητας. Εύχαριστώ ιδιαίτερα τους διδακτορικούς και μεταδιδακτορικούς μου έρευνητές (ζνω τῶν 60 σὲ ἀριθμὸ) καὶ αἰσθάνομαι περήφανος πὸ 24 εἶναι στὸν ἀκαδημαϊκὸ χῶρο. Εύχαριστώ τους συνεργάτες-καθηγητές, καθὼς ἐπίσης καὶ ὅλους τοὺς συναδέλφους καθηγητές στὸ Πανεπιστήμιο Princeton. Ἴδιαίτερα εὐχαριστῶ γιὰ τὴν ἐξαιρετικὴ φιλία τοὺς συναδέλφους Ἰωάννη Κεβρεκίδη, Pablo Debenedetti, William Schowalter καὶ James Wei, μὲ τοὺς ὁποίους μᾶς συνδέει στενὸς δεσμός. Στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Τέξας A&M, θέλω νὰ εὐχαριστήσω τοὺς ἐξαιρετικούς συναδέλφους Στράτο Πιστικόπουλο καὶ Naz Karim.

Εύχαριστῶ τοὺς κρατικούς καὶ ἰδιωτικούς ὀργανισμοὺς πὸ ἔχουν ὑποστηρίξει τὶς ἐρευνητικὲς κατευθύνσεις, καθὼς ἐπίσης τὰ πανεπιστήμια Princeton καὶ Texas A&M.

Εύχαριστῶ πολὺ τὴ σύζυγό μου Φωτεινὴ καὶ τὴν κόρη μας Ἰσμήνη γιὰ τὴ δημιουργία ἑνὸς ἐκπληκτικοῦ καὶ μοναδικοῦ περιβάλλοντος, τῆς οἰκογενείας μας. Εἶναι βέβαιο ὅτι εἶμαι στὴ θέση αὐτὴ σήμερα χάρις στὴν ἐξαιρετικὴ τους συμπαράσταση, πὸ μοῦ ἐπέτρεψε νὰ ἀφοσιωθῶ στὸ ἐρευνητικὸ καὶ διδακτικὸ μου ἔργο καὶ νὰ τὸ κάνω μὲ εὐχαρίστηση γιὰτὶ ἦταν πλαισιωμένο μὲ ἀπαράμιλλη ἀγάπη. Εἶμαι ἐπίσης βέβαιος ὅτι τὸ νέο μέλος τῆς οἰκογένειάς μας, ὁ Στέφανος Μπαράτσας, θὰ κάνει τὸ μοναδικὸ αὐτὸ περιβάλλον ἀκόμη καλύτερο.

Σὲ αὐτὸ τὸ σημεῖο θέλω νὰ κάνω μιὰ παρένθεση καὶ προσωπικὴ ἀναφορά σὲ ἕναν πολὺ καλὸ φίλο, τὸν Χάρη Πανίδη, πὸ εἴκοσι χρόνια πρὶν εἶχε κάνει μιὰ εὐχή, μιὰ πρόβλεψη, καὶ εἶχε ἐκφράσει τὴν ἐπιθυμία νὰ παρευρίσκεται σὲ μιὰ τέτοια ἐκδήλωση. Δυστυχῶς, ἐδῶ καὶ λίγες ἐβδομάδες δὲν εἶναι πλέον μαζί μας.

Τελειώνοντας, θέλω νὰ εὐχαριστήσω θερμότατα τὰ μέλη τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν γιὰ τὴν ἀναγνώριση καὶ τὴ μοναδικὴ αὐτὴ τιμὴ, τοὺς ταλαντούχους φοιτητὲς καὶ μεταδιδακτορικούς ἐρευνητὲς, καὶ ὅλους ἐσᾶς πὸ μὲ τὴν παρουσία σας ὄχι ἀπλῶς μὲ τιμᾶτε ἀλλὰ κάνετε αὐτὴ τὴ βραδιά ἕνα ἀξέχαστο γεγονός.

Σᾶς εὐχαριστῶ πολὺ.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 4ΗΣ ΙΟΥΝΙΟΥ 2015

ΤΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑΤΑΡΙΟ ΤΟΥ ΙΣΑΑΚ ΝΕΥΤΩΝΑ ΚΑΙ ΤΑ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ
ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ κ. ΑΝΤΩΝΙΟ ΚΟΥΝΑΔΗ

Λόγω ιδιαίτερης ένασχόλησής μου στο πεδίο τής ευρύτερης Μηχανικής είχα ασχοληθεί και παλαιότερα με τόν Ίσαακ Νεύτωνα, τόν γίγαντα αυτόν τής επιστήμης, θεμελιωτή τής Κλασσικής Μηχανικής, με τήν ευκαιρία συμπληρώσεως 300 ἐτῶν [1] ἀπό τής παρουσιάσεως τοῦ τρίτου έργου του, γνωστοῦ ὡς *Principia*, στήν Βασιλική Ἐταιρεία (Ἐπιστημῶν) τοῦ Λονδίνου. Σκοπὸς τής παρούσης ἀνακοινώσεως εἶναι ἡ ἀνάδειξη μιᾶς ἄλλης πτυχῆς τής προσωπικότητός του με ἀφορμὴ τήν διαδικτυακὴ δημοσίευση τοῦ σημειωματαρίου τοῦ Ίσαακ Νεύτωνα μετὰ ἀπὸ συγκέντρωση καὶ φωτογράφιση τὸ 2011 τῶν σκόρπιων σελίδων του. Ὁ λόγος καθυστέρησης τής ἀνακοινώσεως αὐτῆς, ὅπως θὰ ἐκτεθεῖ παρακάτω, ὀφείλεται στήν μεσολαβήσασα ἐκ μέρους μου ἔρευνα σχετικὰ με τόν γραφικὸ χαρακτήρα τοῦ Ίσαακ Νεύτωνα, ὅπως αὐτὸς ἐμφανίζεται στὸ σημειωματάριό του.

Ὁ Ίσαακ Νεύτων (1642-1727), Ἄγγλος φυσικός, μαθηματικός καὶ ἀστρονόμος, ὑπῆρξε ὁ κορυφαῖος μεταξὺ τῶν πρωτεργατῶν τής ἐπιστημονικῆς ἐπανάστασης τοῦ 17ου αἰῶνος με ἀποφασιστικὴ συμβολὴ στήν σύγχρονη Ἐπιστημονικὴ Ὀπτικὴ (ἐρμηνεία φαινομένων χρωμάτων κ.λπ.), στήν Μηχανικὴ (3 νόμοι κινήσεως τῶν σωμάτων, νόμος τής παγκόσμιας ἑλξῆς κ.λπ.), στὰ Μαθηματικὰ (ἀπειροστικός λογισμὸς κ.λπ.) καὶ στήν Ἀστρονομία (σχέση τῶν ἀντιστρόφων τετραγώνων κ.λπ.). Τὸ ἔργο του *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Μαθηματικὲς Ἀρχές τής Φυ-

σικῆς Φιλοσοφίας)[2], γνωστό ως *Principia*, ἀποτελεῖ μιὰ ἀπὸ τὶς σημαντικότερες μονογραφίες τῆς Ἱστορίας τῆς Σύγχρονης Ἐπιστήμης. Ὁ Νεύτων διετέλεσε Καθηγητῆς Μαθηματικῶν στὸ Trinity College (Κολλέγιο τῆς Ἁγ. Τριάδος τοῦ Πανεπιστημίου Cambridge), Πρόεδρος τῆς Βασιλικῆς Ἐταιρείας (Royal Society), ξένος ἐταῖρος τῆς Γαλλικῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν. Σὲ ἀναγνώριση τῆς ἡγετικῆς ἐπιστημονικῆς του φυσιογνωμίας τοῦ ἀπενεμήθη ὁ τίτλος εὐγενείας τοῦ Sir καὶ στὴν συνέχεια, καὶ μάλιστα γιὰ πρώτη φορὰ σὲ ἐπιστήμονα, ὁ τίτλος τοῦ Ἱππότη. Ὁ Ἄγγλος ποιητῆς Pope (1686-1744) στὸν ἐπιτάφιο του γιὰ τὸν Νεύτωνα ἔγραψε [3]:

«Ἡ φύση καὶ οἱ νόμοι τῆς φύσεως ἦταν κρυμμένοι στὸ σκότος.
Ὁ Θεὸς εἶπε: Γεννηθῆτω ὁ Νεύτων καὶ ὅλα ἐφωτίστηκαν».

Στὴν σημερινὴ ἀνακοίνωση τὸ ἐνδιαφέρον ἐστιάζεται στὰ μαθητικά του χρόνια. Τὸ 1661 ἀπεφοίτησε (σὲ ἡλικία 19 ἐτῶν) ἀπὸ τὸ σχολεῖο Γκράνθαμ καὶ στὴν συνέχεια γράφτηκε στὸ Trinity College τοῦ Πανεπιστημίου Cambridge. Ὡς μαθητῆς στὸ σχολεῖο Γκράνθαμ διδάχθηκε ἀρχαῖα ἑλληνικά καὶ λατινικά, στὰ ὁποῖα μάλιστα διακρίθηκε, ἐνῶ στὰ μαθηματικά ἡ ἐπίδοσή του ἦταν μᾶλλον μέτρια. Ὅπως συνηθίζοταν τότε, ὁ Νεύτων ἄρχισε τὶς πανεπιστημιακὲς σπουδὲς του μελετώντας τὸ ἔργο τοῦ Ἀριστοτέλη, ὁ ὁποῖος ὑποστήριζε τὴν γεωκεντρικὴ δομὴ τοῦ σύμπαντος. Ὡστόσο, ἡ ἀντίληψη αὐτῆ τοῦ Ἀριστοτέλη θεωρήθηκε ξεπερασμένη μετὰ τὶς σημαντικὲς ἐργασίες τοῦ Γαλιλαίου (θεμελιωτῆ τῆς νέας μηχανικῆς), τῶν Κοπέρνικου καὶ Κέπλερ (περὶ ἡλιακοῦ κεντρικοῦ συστήματος, γιὰ τὸ ὁποῖο πρῶτος εἶχε μιλήσει ὁ Ἀρίσταρχος ὁ Σάμιος), τοῦ Καρτέσιου καὶ τοῦ Γάλλου φιλόσοφου Π. Γκασσαντι (περὶ νέας ἀντίληψης γιὰ τὴν φύση).

Ἔτσι, τὸ 1664 ὁ Νεύτων, ἐπηρεασμένος ἀπὸ αὐτὲς τὶς νέες ἀντιλήψεις, ἄρχισε νὰ συντάσσει μιὰ σειρά σημειώσεων μὲ τίτλο *Quaestiones Quaedam Philosophicae* (Ὅρισμένες Φιλοσοφικὲς Ἐρωτήσεις), γνωστὲς ὡς Ἐρωτήσεις. Σχετικῶς πρόσφατα, ἡ βιβλιοθήκη τοῦ Πανεπιστημίου τοῦ Cambridge ἔδωσε στὴν δημοσιότητα τὸ σημειωματᾶριο ποὺ χρησιμοποίησε ὁ Ἰσαὰκ Νεύτων κατὰ τὰ ἔτη 1661-1665 ὡς προπτυχιακὸς φοιτητῆς στὸ Trinity College. Τὸ σημειωματᾶριο αὐτό, ποὺ κρίθηκε ἀπὸ τὸν ἐκτελεστὴ τῆς διαθέκης τοῦ Νεύτωνα ὄχι κατάλληλο γιὰ ἐκτύπωση (not fit to be printed), δωρήθηκε στὴν βιβλιοθήκη τοῦ Cambridge τὸ 1872 ἀπὸ τὸν 5ο Κόμη τῆς πόλεως Portsmouth.

Θὰ σᾶς παρουσιάσω τώρα κάποιες σελίδες ἀπὸ τὸ σημειωματᾶριο τοῦ Ἰσαὰκ Νεύτωνα μὲ σύντομο σχολιασμὸ καὶ στὴν συνέχεια θὰ κλείσω τὴν

ἀνακοίνωση μὲ ὀρισμένες γενικὲς παρατηρήσεις. Ἡ σελίδα αὐτὴ ποὺ βλέπουμε στὴν διαφάνεια (Σελίδα 1) εἶναι τὸ ἐξώφυλλο στὸ ὁποῖο ὁ Ἰσαὰκ Νεύτων εἶχε γράψει στὰ λατινικά: τὸ ὄνομά του, Trinity College, 1661. Ἡ 2η σελίδα εἶναι λευκὴ. Στὴν 3η σελίδα βλέπουμε κάποια διαγράμματα μὲ μὴ εὐανάγνωστες κατηγοριοποιήσεις στὰ λατινικά. Τὸ μεγαλύτερο μέρος τῆς 4ης σελίδας εἶναι γραμμένο στὰ λατινικά μὲ ἐπικεφαλίδες («Ἀριστοτέλης Σταγειρίτης»), ἐνῶ στὸ κάτω μέρος αὐτῆς (γραμμένο στὰ ἑλληνικά) γίνεται ἀναφορὰ στὴν κατὰ τὸν Ἀριστοτέλη διάκριση μεταξὺ γένους καὶ εἴδους. Στὴν 5η σελίδα συνεχίζει ὁ Ἰσαὰκ Νεύτων μὲ τοὺς ὀρισμοὺς γένους καὶ εἴδους. Στὴν 6η σελίδα (ἐπίσης στὰ ἑλληνικά) ἀναφέρονται ὀρισμοί, μεταξὺ ἄλλων, γιὰ τὸ τί εἶναι ὁμώνυμα, συνώνυμα καὶ παρώνυμα καὶ ἄλλες συναφεῖς διακρίσεις. Ὅπως φαίνεται στὴν σελίδα αὐτή, οἱ λέξεις «ὁμώνυμα» καὶ «συνώνυμα» εἶναι γραμμένες ἀνορθόγραφα ὡς «ὀμόνυμα» καὶ «συνόνυμα». Στὴν 7η σελίδα δίδεται ὁ ὀρισμὸς τῆς διαφορᾶς καὶ τῶν διακρίσεων τοῦ «ιδίου». Στὴν 8η σελίδα γίνεται ἀναφορὰ στὴν ἔννοια τῆς οὐσίας. Ἡ 9η σελίδα ἀναφέρεται στὸ τί ὀρίζεται ὡς ποσὸν διωρισμένον, συνεχές, ἄνισον καὶ ἴσον. Ἡ 10η σελίδα ἀναφέρεται στὴν ἔννοια τῶν σχέσεων. Ἡ 11η σελίδα ἀναφέρεται στὴν ποιότητα εἴδους καὶ γένους, σὲ ὅμοια καὶ ἀνόμοια κ.λπ. Ἡ 12η σελίδα ἀναφέρεται στὴν ἔννοια τῆς «ἐναντιότητος» καὶ στοὺς ὀρισμοὺς «στερήσεως καὶ ἕξεως», περὶ τῶν ὁποίων γίνεται λόγος καὶ στὴν 13η σελίδα, στὸ τέλος τῆς ὁποίας γίνεται ἐπίσης λόγος γιὰ τὴν «κατάφαση» καὶ «ἀπόφαση». Ἡ 14η σελίδα ἀναφέρεται στὸ ἀγαθὸ καὶ τὸ ἀντίθετό του κακὸ, ἀκολούθως δὲ στὶς τέσσερις λογικὲς διαιρέσεις τοῦ προτέρου ἔναντι τοῦ ἐπομένου ὡς καὶ περὶ τῶν «ἀπλῶς λεγομένων». Ἡ 15η σελίδα ἀναφέρεται στὰ κατὰ τὸν Ἀριστοτέλη ἕξι εἶδη κινήσεως: γένεσις, φθορά, αὔξησις, μείωσις, ἀλλοίωσις καὶ ἡ κατὰ τόπον μεταβολή. Στὸ κάτω μέρος τῆς σελίδας αὐτῆς ἀναγράφεται «τέλος τῶν κατηγοριῶν». Οἱ 16η καὶ 17η σελίδες ἀναφέρονται σὲ ὀνόματα καὶ στὴν κλίση ὀνομάτων καὶ ρημάτων, στὸν λόγο καὶ τὶς διακρίσεις του: «ἀποφαντικός» καὶ «καταφατικός». Ἀκολουθοῦν μία λευκὴ σελίδα καὶ δύο σελίδες φιλοσοφικοῦ ἔργου στὰ λατινικά.

Ἀξίζει νὰ ἐπισημανθεῖ ὅτι κάποια ἀπὸ τὰ προεκτεθέντα ἔχουν ληφθεῖ ἀπὸ τὸ ἔργο τοῦ σοφοῦ Πορφυρίου (3ος μ.Χ. αἰώνας), σχολιαστοῦ τῶν ἔργων τοῦ Ἀριστοτέλη.

Καὶ ἔρχομαι τώρα σὲ ὅσα ἀνέφερα στὴν ἀρχὴ τῆς ὁμιλίας μου σχετικὰ μὲ τὸν γραφικὸ χαρακτήρα τοῦ Ἰσαὰκ Νεύτωνα. Μετὰ ἀπὸ μία προσεκτικὴ

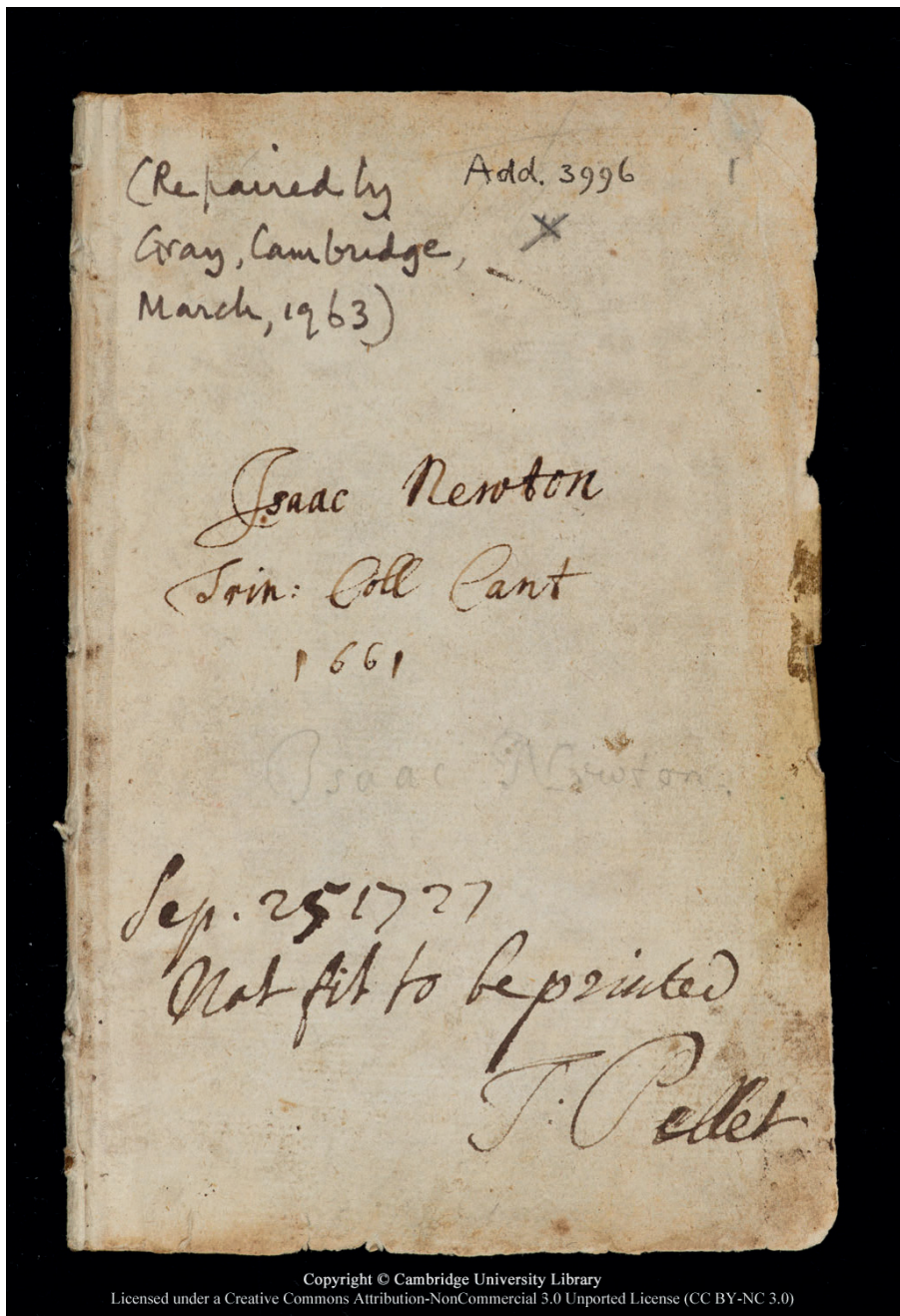
έξέταση του γραφικού του χαρακτήρα στην ελληνική και στην λατινική γραφή του μέσα από τις σελίδες του σημειωματαρίου του, φαίνεται ότι υπάρχουν διαφορές, οι οποίες μου δημιούργησαν σοβαρές αμφιβολίες κατά πόσον το ελληνικό κείμενο ήταν γραμμένο από τον ίδιο. Έτσι απευθύνθηκα σε ειδικούς Βρετανούς μελετητές (γνωστούς Νευτωνιστές), εκ των οποίων ο καθηγητής Rob Iliffe έδωσε μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου στις 13/2/2013 [4] την εξής διευκρίνιση: «...there is a marked change in his handwriting from the time of his early writing (c.1662-3) to the writing style he had developed by the end of 1664». Συνεχίζει δε ο μελετητής αυτός: «...δέν υπάρχει αμφιβολία ότι ο Νεύτων έγνώριζε πολύ καλά αρχαία ελληνικά, τα οποία σπούδασε στο σχολείο και στο Πανεπιστήμιο, αφού (ως βαθιά θρησκευόμενος) ήταν υποχρεωμένος να διαβάζει την Αγία Γραφή στα ελληνικά».

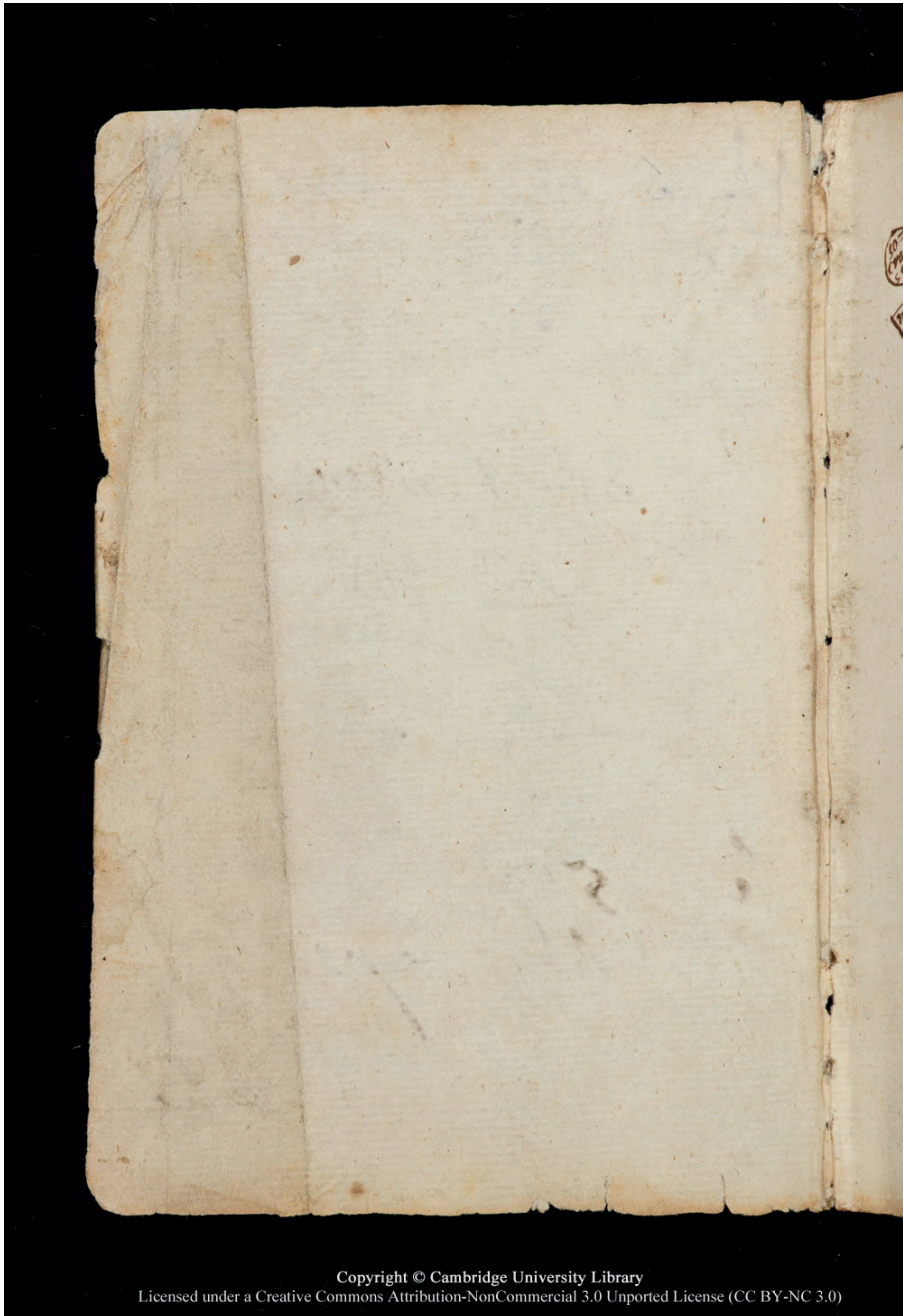
Σημειωθήτω ότι ως επίβλέποντα (tutor) είχε τον Pulleyn, ο οποίος αργότερα έγινε Regius καθηγητής ελληνικών.

Έν συμπεράσματι ο Ίσαακ Νεύτων έγνώριζε πολύ καλά ελληνικά, το ελληνικό κείμενο στο σημειωματάριό του είναι γραμμένο από τον ίδιο, αν και ο γραφικός του χαρακτήρας, ως προεξετέθη, παρουσίασε σημαντική αλλαγή μετά από 3-4 χρόνια.

Άναφορές

- [1] Α. ΚΟΥΝΑΔΗΣ, *Η ασύγκριτη πραγματεία του Νεύτωνα*, Έφ. *Η Καθημερινή*, 30/5/1989. Βλ. επίσης Α. ΚΟΥΝΑΔΗΣ, *Η περιπέτεια της ανώτατης παιδείας, 1982-1992*, έκδ. Άντ. Σάκκουλα, Αθήνα 1992, σ. 123-129.
- [2] R. HALL, On the completion of the first volume of Newton's Principia in 1686, *IUTAM Gen. Ass.*, London 1986.
- [3] C. TRUESDELL, *Essays in the History of Mechanics*, Springer-Verlag, Berlin 1986.
- [4] R. ILIFFE, Προσωπική επικοινωνία με ηλεκτρονικό ταχυδρομείο στις 13/2/2013.



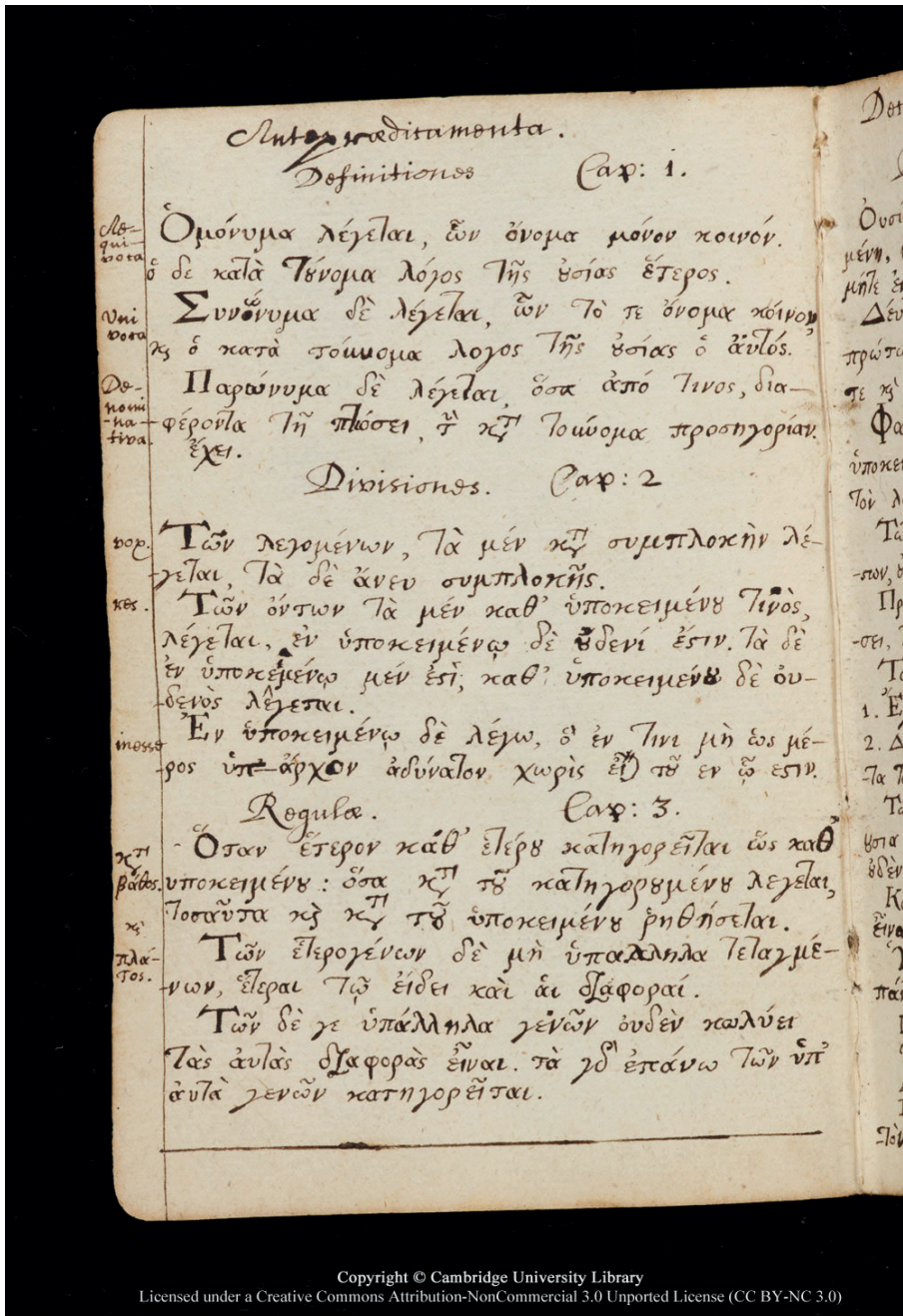


Copyright © Cambridge University Library
Licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License (CC BY-NC 3.0)

1. *Quid est?* *Logica* *Subjunctiva*
 2. *Logica*
 3. *Subjunctiva*
 4. *Alia* *Quaedam*
 5. *Conoialis* *simum*
 6. *Subaltor* *num*
 7. *Conoialis* *simum* *quid*
 8. *Subaltor* *quid*
 9. *Individa* *um* *gh*

Γένος γ' ἐστὶ τὸ κατὰ πλείονων καὶ δια-
 φερόντων τῶν εἶδει ἐν τῷ τι ἐστὶ κατηγορού-
 μενον. οὖν τὸ γένος.
 1. Τὸ δὲ εἶδος λέγεται μὲν καὶ ἐπὶ τῆς ἑκά-
 2. **Δ** λέγει δὲ εἶδος καὶ τὸ ὑπὸ τὸ ἀποδοθὲν γένος.
 3. Εἶδος ἐστὶ κατηγορούμενον, ὑπὸ τὸ γένος,
 καὶ ἔστι γένος ἐν τῷ τι ἐστὶ κατηγορεῖται.
 4. Εἶδος ἐστὶ τὸ κατὰ πλείονων καὶ διαφερόν-
 των τῶν ἀριθμῶν ἐν τῷ τι ἐστὶ κατηγορού-
 μενον.
 5. Ἔστι δὲ γενικώτατον μὲν ὑπὲρ ὃ ἕκαστον
 εἶναι ἄλλο ἐπαναβεβηκὸς γένος.
 6. Εἰδικώτατον δὲ, μεθ' ὃ ἕκαστον εἶναι ἄλλο
 υποβεβηκὸς εἶδος.
 7. Μεταξὺ δὲ τῶν γενικωτάτων, καὶ εἰδικωτάτων
 ἄλλα, ἃ καὶ γένη καὶ εἶδη ἐστὶ τὰ πάντα πρὸς
 ἄλλο μὲντοι καὶ ἄλλο λαμβανόμενα.
 8. Τὸ μὲν γενικώτατον γένος, γένος ὄν, ἕκαστον
 εἶδος καὶ πάλιν ὑπὲρ ὃ ἕκαστον εἶναι ἄλλο
 ἐπαναβεβηκὸς γένος.
 9. Τὸ δὲ εἰδικώτατον εἶδος, εἶδος ὄν, ἕκαστον
 γένος καὶ εἶδος ὄν, ἕκαστον διελόμενα εἰς εἶδη.
 10. Ἐπὶ δὲ καὶ ὃ κατὰ πλείονων καὶ διαφερόντων
 τῶν ἀριθμῶν ἐν τῷ τι ἐστὶ κατηγορεῖται.
 11. Τὰ δὲ μέσα τῶν ἁκρῶν, ὑπάλληλα τε
 καλῶσι εἶδη καὶ γένη. ἔσ.
 12. Ἄλλα ἐξ ἰδιοτήτων συνέστηκεν ἑκάστου
 ὄν τὸ ἄθροισμα ἕκαστον ἐπὶ ἄλλω πινός ποτε
 τὸ αὐτὸ γένος.

Η
 = σι
 προς
 ἰδι
 το
 ἰδι
 Δια
 τω
 κατ
 Το
 ο
 τῶ
 εἶν
 κα
 κα
 Σ
 ν



Autopredicamenta.

Definitiones Cap: 1.

Ὀμόνομα λέγεται, ὡν ὄνομα μόνον κοινόν.
ὁ δὲ κατὰ τὸνομα λόγος τῆς ἔσας ἕτερος.

Συνόνομα δὲ λέγεται, ὡν τὸ τε ὄνομα κοινόν
καὶ ὁ κατὰ τοῦνομα λόγος τῆς ἔσας ὁ αὐτός.

Παράνομα δὲ λέγεται, ὅσα ἀπὸ τινος, δια-
φέροντα τῆ πλῆσει, καὶ κατὰ τοῦνομα προσηγορίαν
ἔχει.

Divisiones. Cap: 2

Τῶν λεγομένων, τὰ μὲν κατὰ συμπλοκὴν λέ-
γεται, τὰ δὲ ἀνευ συμπλοκῆς.

Τῶν ὄντων τὰ μὲν καθ' ὑποκειμένον τινός,
λέγεται, ἐν ὑποκειμένῳ δὲ ἕδρῃ ἐστίν. τὰ δὲ
ἐν ὑποκειμένῳ μὲν ἐστὶ, καθ' ὑποκειμένον δὲ οὐ-
θενὸς λέγεται.

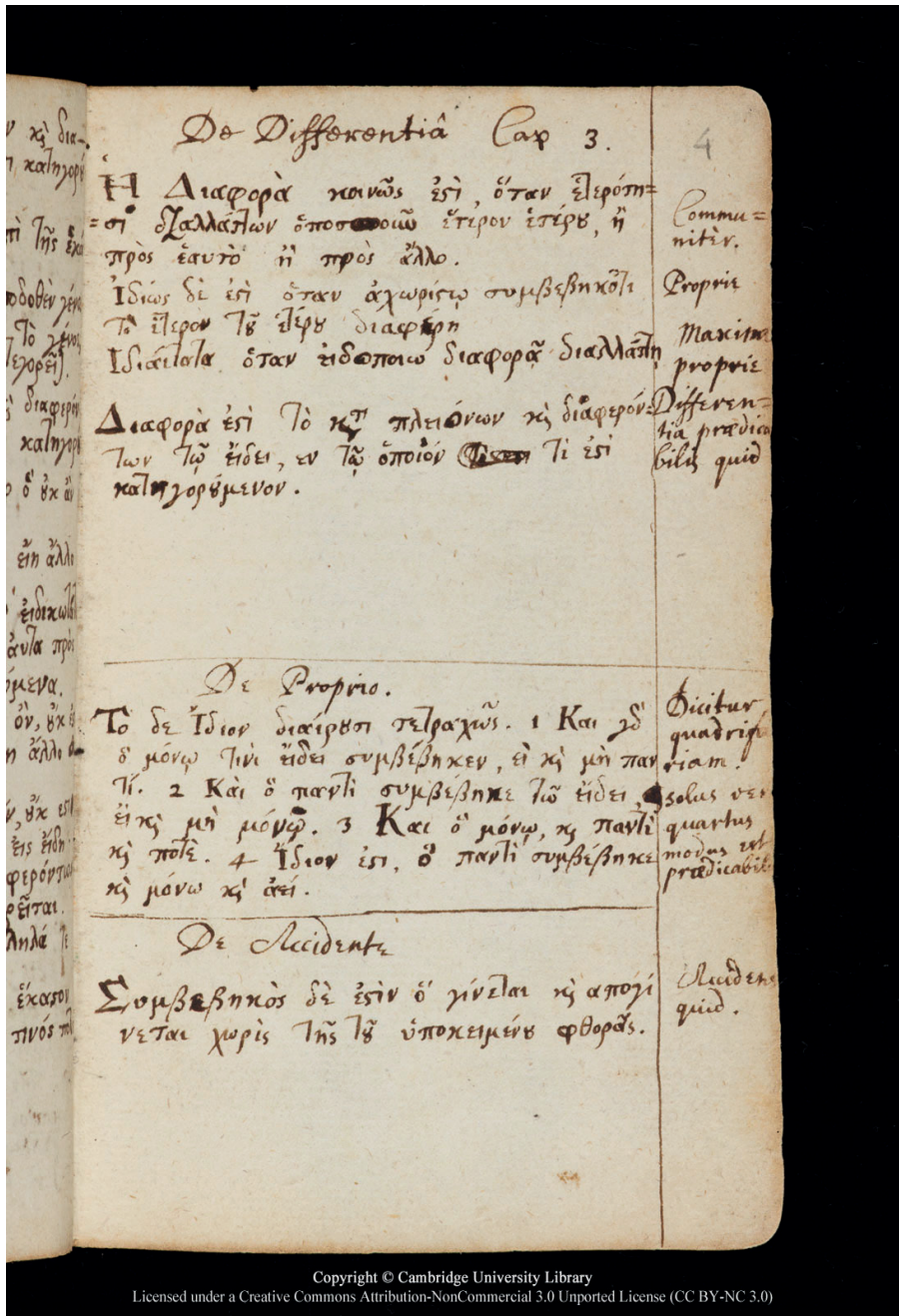
Ἐν ὑποκειμένῳ δὲ λέγω, ὃ ἐν τῆ μὴ ἕως μέ-
ρος ὑπερχον ἀδύνατον χωρὶς ἕδρῃ ἐν ἕ ἐστίν.

Regulae. Cap: 3.

Ὅταν ἕτερον καθ' ἑτέρου κατηγορεῖται ὡς καθ'
υποκειμένον: ὅσα κατὰ τὸ κατηγορημένον λέγεται,
τοιαῦτα καὶ κατὰ τὸ ὑποκειμένον ρηθῆσεται.

Τῶν ἑτερομένων δὲ μὴ ὑπαδδήλα τεταγμέ-
νων, ἔσται τῶ εἶδει καὶ αἱ διαφοραί.

Τῶν δὲ γε ὑπάλληλα γενῶν οὐδὲν κωλύει
τὰς αὐτὰς διαφορὰς εἶναι. τὰ γὰρ ἐπάνω τῶν ὑπ'
αὐτὰ γενῶν κατηγορεῖται.



De Differentia Cap 3.

4

Ἡ Διαφορὰ κοινῶς ἐστὶ, ὅταν ἐλεγεῖται
=σι Διαλλάτων ὁποσοῦν ἕτερον ἕτερον, ἢ
πρὸς ἑαυτὸ ἢ πρὸς ἄλλο.

Commu-
nitiv.

Ἰδίως δὲ ἐστὶ ὅταν ἀχωρίτω συμβεβηκότι
τῷ ἕτερον τῷ ἑτέρῳ Διαφορὰ
Ἰδιότητα ὅταν ἰδοῦται Διαφορὰ Διαλλάτη

Propria
Maxime
proprie

Διαφορὰ ἐστὶ τὸ κατὰ πλείονον καὶ διαφορὰ
των τῶ ἕτερι, ἐν τῷ ὁποίῳ ~~ἴσως~~ τί ἐστὶ
καταγορεύμενον.

Differen-
tia prae-
dicta quid

De Proprio.

Τὸ δὲ Ἰδιον διαίρεται τετραχῶς. 1 Καὶ 2^δ
ὁ μόνω τῷ ἕτερι συμβεβηκεν, εἰ καὶ μὴ παν-
τὶ. 2 Καὶ ὁ παντὶ συμβεβηκε τῷ ἕτερι
εἰ καὶ μὴ μόνω. 3 Καὶ ὁ μόνω, καὶ παντὶ
καὶ ποτὶ. 4 Ἰδιον ἐστὶ, ὁ παντὶ συμβεβηκε
καὶ μόνω καὶ αἰεὶ.

Dicitur
quadrif-
ariam.
solus vni
quartus
modus est
prae-
dicabile

De Accidente

Συμβεβηκὸς δὲ ἐστὶν ὁ γίνεσθαι καὶ ἀπογι-
νέσθαι χωρὶς τῆς τῷ ὑποκειμένου φθορᾶς.

Accidens
quid.

De Quantitate. Cap: 6.

Quantitas
Dygraph

Τὸ δὲ ποσὸν, τὸ μὲν ἐστὶ διωρισμένον· τὸ δὲ
συνεχές. καὶ τὸ μὲν ἐκ θέσιν ἐχόντων πρὸς ἄλλη-
λα τῶν ἐν αὐτοῖς μορίων σιωπῆται: τὸ δὲ ἐξ ἑκ
ἐχόντων θέσιν.

Discretā

Ἐστὶ δὲ διωρισμένον μὲν, οἷον ἀριθμὸς, καὶ λό-
γος. Συνεχές δὲ, οἷον γραμμὴ, ἐπιφάνεια, σῶμα:
ἔτι δὲ πᾶσι ταῦτα τόπος καὶ χρόνος.

Continua
um.

Τῶν μὲν γὰρ τῶν ἀριθμῶν μορίων ὕδεις ἐστὶ
κοινὸς ὅρος πρὸς ὃν σιωπῆται τὰ μόρια αὐτῶν.

Numeri-
cus.

Ὡσαύτως καὶ λόγος ὅτι μὲν γὰρ ἐστὶ ποσὸν ὁ
λόγος, φανερόν, καταμετρεῖται γὰρ συλλαβῶν βρα-
χεῖα καὶ μακρᾶ. λέγω δὲ τοῦ μετα φωνῆς
λόγου μινόμενον. Ἐκ ἐστὶ κοινὸς ὅρος πρὸς ὃν αἱ
συλλαβαὶ σιωπῆται, ἀλλὰ ἐκάστη διώριται
αὐτῇ καθ' αὐτήν.

Logico

Ἡ δὲ γραμμὴ συνεχῆς ἐστὶ γὰρ κοινὸν ὅρον
λαβεῖν, σιγήν,

Linea

καὶ ἐπιφανείας, γραμμῆν, καὶ σῶμα ἐπιφανείαν.
Ἐστὶ δὲ καὶ ὁ χρόνος, καὶ ὁ τόπος τῶν τοιούτων.

Super-
ficies.
Corpus.
Commodus
Lotus.

Κυρίως δὲ ποσὰ ταῦτα λέγεται μόνον τὰ εἰρη-
μένα· τὰ δὲ ἄλλα πάντα καὶ σιωπηθικά.

Proprio
tatis

1. Τῶ ποσῶ ὕδεν ἐστὶ ἐναντίον. εἰ μὴ ἄρα τὸ
παλὺ τῶ ὀλίγω φαίη ἡς εἶνα ἐφαπτόν, ἢ τὸ μέγα τῶ
μικρῶ. τῶτων δὲ ὕδεν ἐστὶ ποσὸν, ἀλλὰ μᾶλλον τῶν πρὸς τι.
ἄλλοτε συμβῆσαι τὸ αὐτὸ ἄρα τὰ ἐναντία, ~~αὐτῶ~~
ἐπιδέχονται, καὶ αὐτὰ ἐαυτοῖς ἐναντία εἶναι.

2. Οὐ δοκεῖ δὲ τὸ ποσὸν ἐπιδέχονται τὸ μᾶλλον,
καὶ τὸ ἥσσον.

3. Ἴδιον δὲ μάλιστα τῶ ποσῶ τὸ ἴσον τὲ καὶ ἄν-
ισον λέγεσθαι.

Πρὸς
πρὸς ἐστὶ
πρὸς ἐστ
1. Πρὸς
τῶ δὲ ἐ
τριπλασ
2. Δοκε
πρὸς τι
λέγεται
τοῦτω
3. Πᾶσι
λέγεται.
ἐνίστα
κεῖται
εἰάν μ
πάντων
ἐστὶ κα
ἀεὶ π
4. Δο
ἐστὶ τ
πῆ φ
πρὸς
ἀναγ
τὸ ἐ
πρὸς
ἀμφ
Ε
τῶ

De Qualitate. Cap: 8

Quid? Ποιότητα δὲ λέγω, καθ' ἣν ποιοί τινες εἶναι λέγονται.

Qualitas
potentia
+ incho-
tio.

1. Ἐν μὲν ἓν εἶδος ποιότητος, ἕξις καὶ διάθεσις λέγεται. Διαφέρει ἕξις διαθέσεως, τῷ τὴν μὲν ἐγκίνηλον εἶναι, τὴν δὲ πολυχρομότεραν καὶ διακινήτοτεραν.

Naturalis
potentia
+ incho-
tio.

2. Ἐτερον δὲ γένος ποιότητος, καθ' ὃ πυχνότητες, ἢ θραμβικούς, ἢ ὑμεινός ἢ νοσώδεις λέγονται καὶ ἀπλῶς ὅσα καὶ δύναμις φυσικῶν, ἢ ἀδυναμίας λέγεται.

Passio.

3. Τρίτον δὲ γένος ποιότητος, παθητικαὶ ποιότητες καὶ πάθη. Παθητικαὶ δὲ ποιότητες λέγονται ὅ τῷ ἀνὰ τὰ δεδεγμένα τὰς ποιότητας, πεπονημένοι τι. τῷ δὲ καὶ τὰς αἰδήσεις ἐκαστην ἔρημιων ποιότητων πάθος εἶη ποιητικὴν, παθητικαὶ ποιότητες λέγονται.

4
figura
+ forma.

4. Τέταρτον δὲ γένος ποιότητος, χῆμα, ἢ καὶ ἢ περι ἐκαστον ὑπάρχουσα μορφή. Τὸ δὲ μακρόν, καὶ τὸ πυχρόν, καὶ τὸ βραχὺ, καὶ τὸ λεῖον δόξει μὴ ἂν ποῖον τι σημαίνει: θεσπιζομένη μᾶλλον φαίνεται τῶν μορίων, ἐκάτερον δηλῶν.

Qualitas
quae?

Ποία δὲ τὰ κατ' αὐτὰς παρωνύμως λεγόμενα ἢ ὁπόθεν ἄλλως ἀπ' αὐτῶν.

1.
2.
3.
4

1. Ὑπάρχει δὲ καὶ ἐναντιότης καὶ τὸ ποῖον. Οὐκ ἐπι πάντων δὲ τὸ ποῖον συμβαίνει.

2. Ἐπὶ ἕαν ἔναντίων θάτερον ἢ ποῖον, καὶ τὸ λοιπὸν εἶναι ποῖον.

3. Ἐπιδέχεται δὲ τὸ μᾶλλον καὶ τὸ ἥλιον τὰ ποῖα. Οὐ πάντα δὲ ἀλλὰ τὰ πλεῖστα. viz: in obliquo respectu καὶ τῶν σιμμάτων ὡς τρίγωνον, καὶ τετράγωνον.

4. Ὁμοία δὲ ἢ ἀνόμοια καὶ μόνες τὰς ποιότητας λέγεται.

De ant

Ἐπιπέ
ἐναντιότη

Λέγει
ἢ ὡς πα
σις καὶ ἕξ

Ὅσα
ἀπὸ ἐστ
ἀλλῶν

Τὰ
ἀδυναμίας
ἀλλῶν
ἐστὶν ὡς

χορῆτα
τῶν
καίων

Τι πο
καίται
μὲν ὁ
ἐκάτε
ορίε)

Σ:

Ἐστὸν
ὡς δὲ
πέφυκα

τὸ
ἢ καὶ
ἀμφοτέρω

Affirmati
tio, negati
o, contra
tio. affir
matione
negatione
ut de qua
fit oratio.
Privanti
a sustin
entur a
negatis

a Contra
negio.

* immodi
ata.

Contra
dittonia

Ουκ ἐστὶ δὲ ὕδὲ τὸ ὑπὸ τὴν κατάφασιν καὶ ἀπόφασιν κατὰφασιν καὶ ἀπόφασιν.

1. Ὅτι δὲ ἢ στήρισις καὶ ἢ ἕξις ὕκ ἀνυλική) ὡ τὰ πρὸς τὴν φανερὸν· ἢ γο' λέξει) αὐτο ὅπερ ἐστὶ τῆς ἀντικειμένου. 2. Ἐπὶ τὰ πρὸς τὴν πάντα πρὸς ἀντιτρέφοντα λέγεται.

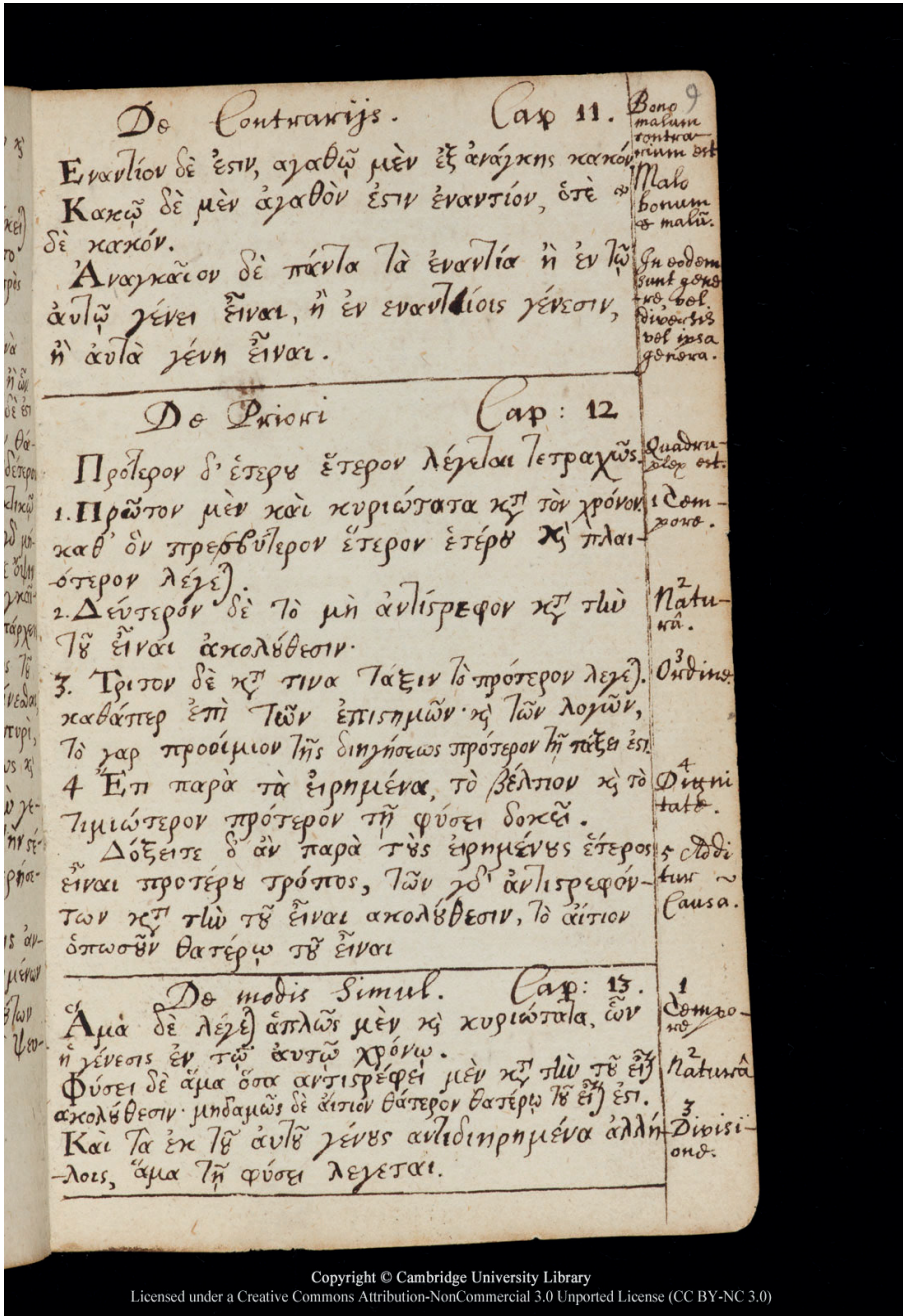
1. Τῶν μὲν ἐναντίων ὧν μηδὲν ἐστὶν ἀνά μέσον, ἀναγκάσιον· ἐν οἷς πέφυκε γίνεσθαι, ἢ ὧν καθήκον) θάτερον αὐτῶν ὑπάρχειν αἰεὶ. ὧν δὲ ἐστὶ τὰ ἀνά μέσον ὕδὲ ποτε ἀνάγκη πάντῃ ὑπάρχειν θάτερον. Ἐπὶ δὲ τῆς στερήσεως καὶ τῆς ἕξεως ὕδὲ τερον τῶν ἐρημένων ἀληθὲς ὕδὲ γο' αἰεὶ τῶ δεικτικῶ ἀναγκάσιον θάτερον αὐτῶν ὑπάρχειν. (Ὅτὸ γο' μήπω σφικτὸς ἔφιν ἔχειν, ὕδὲ τυφλὸν ὕστε ἔφιν ἔχειν λέξει.) ὕδὲ ὧν ἐστὶ ἀνά μέσον· ἀναγκάσιον γο' ποτε παντὶ τῶ δεικτικῶ θάτερον αὐτῶν ὑπάρχειν.

2. Ἐπὶ μὲν τῶν ἐναντίων, ὑπαρχόντος τῆς δεικτικῆς, δυνατὸν εἰς ἀλλήλα μεταβολὴν γίνεσθαι, εἰ μὴ τινι φύσει τὸ ἐν ὑπάρχει, οἷον, τῷ πυρὶ, τῷ θερμῷ ἔῃ). ἐπὶ δὲ γο' τῆς στερήσεως καὶ ἕξεως ἀδύνατον εἰς ἀλλήλα μεταβολὴν γίνεσθαι: ἀπὸ μὲν γο' τῆς ἕξεως ἐπὶ τὴν στερησιν γίνεσθαι μεταβολὴν, ἀπὸ δὲ τῆς στερήσεως ἐπὶ τὴν ἕξιν ἀδύνατον.

Ὅσα δὲ ὡς κατάφασις καὶ ἀπόφασις ἀνυλική), φανερὸν ὅτι κατ' ὕδὲνα τῶν ἐρημένων πρῶτων ἀντίκειται· ἐπὶ μόνων γο' τῶν ἀναγκάσιον αἰεὶ τὸ μὲν ἀληθὲς· τὸ δὲ ψευδὲς αὐτῶν εἶναι.

De
Εναντίων δὲ
Κατὰ δὲ
δὲ κακίαν.
Αναγκάσιον
αὐτῶν γο'
ἢ ἀλλὰ γο'

Πρῶτον
1. Πρῶτον
καθ' ὅτι τ
δύοτερον λ
2. Δύοτερον
τῆς ἕξεως
3. Τριτο
καθ' ὅτι τ
το γο' τ
4. Ἐπὶ
τῶν μὲν
Δύο
εἶναι π
των κα
ὁπωσθ
Αἰμα
ἢ γο' τῶν
Φύσει
ακαλόθε
Καὶ τὰ
-λοι, ἢ



De Contingentijs. Cap. 11.

Εναντίον δὲ ἐστὶν ἀγαθῷ μὲν ἐξ ἀνάγκης κακόν
 Κακῷ δὲ μὲν ἀγαθὸν ἐστὶν ἐναντίον, ὅτε
 δὲ κακόν.
 Ἀναγκάσιον δὲ πάντα τὰ ἐναντία ἢ ἐν τῷ
 αὐτῷ γένει εἶναι, ἢ ἐν ἐναντίοις γένεσι,
 ἢ αὐτὰ γένη εἶναι.

Bono
 malum
 contra
 bonum est
 Malo
 bonum
 & malum.
 In eodem
 sunt genera
 ut boni
 & mali
 dicitur
 vel in
 generibus
 vel in
 speciebus.

De Præconi Cap. 12

Πρότερον δ' ἕτερον ἕτερον λέγεται τετραχῶς.
 1. Πρώτον μὲν καὶ κυριώτατα κατὰ τὸν χρόνον
 καθ' ὃν προεβύτηρον ἕτερον ἕτερον καὶ πλαι-
 ὄστερον λέγει.
 2. Δεύτερον δὲ τὸ μὴ ἀντιστρέφον κατὰ τὴν
 τῆ εἶναι ἀκολουθεῖν.
 3. Τρίτον δὲ κατὰ τὴν τάξιν τὸ πρότερον λέγει.
 καθάπερ ἐπὶ τῶν ἐπιστημῶν καὶ τῶν λογῶν,
 τὸ γὰρ προοίμιον τῆς διηγήσεως πρότερον τῆς πέρας ἐστὶ.
 4. Ἐπιπὰρὰ τὰ ἐρημένα, τὸ βέλπον καὶ τὸ
 τιμιώτερον πρότερον τῆ φύσει δοκεῖ.
 Δόξειτε δ' ἂν παρὰ τὴν ἐρημένους ἕτερος
 εἶναι πρότερον τρόπον, τῶν γὰρ ἀντιστρέφον-
 των κατὰ τὴν τῆ εἶναι ἀκολουθεῖν, τὸ αἴτιον
 ὁπωσὺν θατέρω τῆ εἶναι

Quadrin-
 giter est.
 Com-
 paratio.
 Natu-
 ra.
 Ordine.
 Digni-
 tate.
 Causa.

De modis Simul. Cap. 13.

Ἄμα δὲ λέγει ἀπλῶς μὲν καὶ κυριώτατα, ὡν
 ἢ γένησι ἐν τῷ αὐτῷ χρόνῳ.
 Φύσει δὲ ἅμα ὅσα ἀντιστρέφει μὲν κατὰ τὴν τῆ εἶναι
 ἀκολουθεῖν, μηδαμῶς δὲ αἴτιον θατέρω τῆ εἶναι ἐστὶ.
 Καὶ τὰ ἐκ τῆ αὐτῆ γένους ἀντιδιηρημένα ἀλλή-
 λους, ἅμα τῆ φύσει λέγεται.

1
 Simul-
 tate
 2
 Natura
 3
 Divisi-
 one.

De Motu. Cap: 14.

*Quis son
propter*

*Dubitatio
de vari
atione
an disti
guatur
ab alijs
motib
us.*

*Motus
an variat
tur qui
est mot
us ton
trarius.*

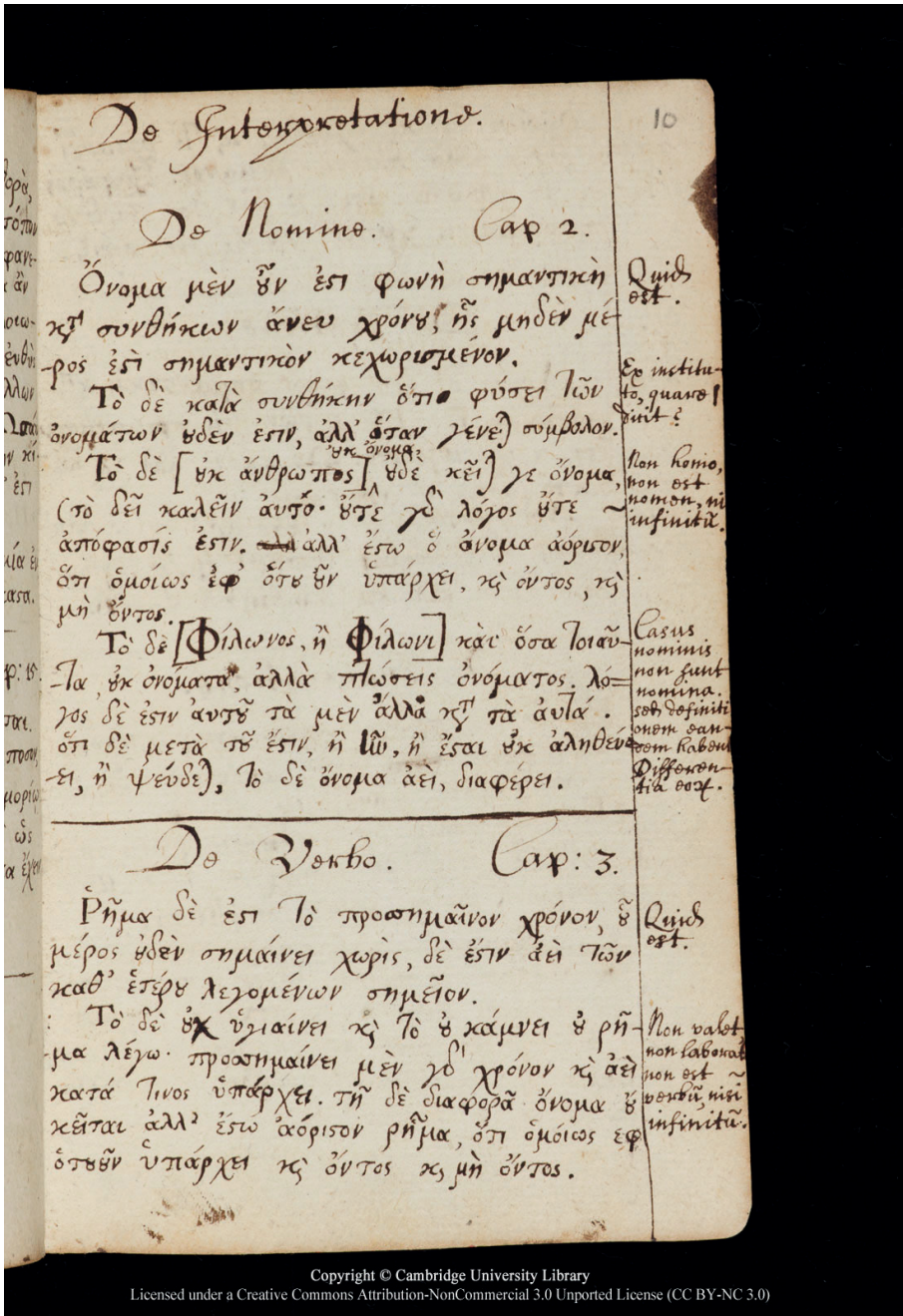
*Sunt
esto
motus
habendi*

Κινήσεως δὲ ἐστὶν εἶδη ἕξ· γένεσις, φθορά,
ἀύξησις, μείωσις, ἀλλοίωσις, καὶ ἢ κατὰ τόπον
μεταβολή. αἱ μὲν ἔν ἄλλαι κινήσεις φανε-
ροὶ ὅτι ἕτεραι ἀλλήλων εἰσι· καὶ ἕτερα ἂν
εἴη παρὰ τὰς ἄλλας κινήσεις, ἢ ἀλλοιω-
σις· εἰ γὰρ ἴσῃ αὐτῇ, εἶδειτο ἀλλοιούμενον, εὐθύς
καὶ αὐξάνει, ἢ μειοῦσθαι, ἢ τινὰ τῶν ἄλλων
ἀποκλινῆναι κινήσεων, ἀλλ' ὅτι ἀνάγκη. Ὡσαύ-
τως δὲ καὶ τὸ αὐξανόμενον, ἢ τινὰ ἄλλην κί-
νησιν κινούμενον, εἶδει ἀλλοιοῦσθαι· ἀλλ' ἐστὶ
τινὰ αὐξανόμενα ἃ ἔτι ἀλλοιοῦνται.
Εἰσι δὲ ἀπλῶς τῆ μὲν κινήσει ἡρεμία ἐν
αὐτίον, ταῦν δὲ καθ' ἕκαστα αἱ καθ' ἕκαστα.

De modis Habendi. Cap: 15

Τὸ δὲ ἔχειν κατὰ πλείους ὅσους λέγεται.
1. ἢ ὡς εἶναι καὶ διάθεσιν, 2. ἢ ὡς ποσόν,
3. ἢ ὡς τὰ περι τὸ σῶμα, 4. ἢ ὡς ἐν μορίῳ
5. ἢ ὡς μέρος, 6. ἢ ὡς ἐν ἀργεῖω, 7. ἢ ὡς
κτῆμα, 8. λέγεται δὲ ὁ ἀνήρ γυναικα ἔχειν
ἢ ἡ γυνὴ ἄνδρα.

Τελος τῶν κατηγοριῶν



De Interjectionibus.

10

De Nomino. Cap. 2.

Όνομα μὲν ἔν ἐστι φωνὴ σημαντικὴ καὶ συνθήκων ἄνευ χρόνου, ἢς μὲν μέρους ἐστὶ σημαντικὸν κεχωρισμένον.

Quid est.

Τὸ δὲ κατὰ συνθήκην ὅτι φέρει τῶν ὀνομάτων ἕθεν ἐστίν, ἀλλ' ὅταν γένηται ἄνθρωπος

Ex institutio, quare dicitur?

Τὸ δὲ [ἔκ ἀνθρώπου] ἕθεν καὶ γὰρ ὄνομα, (τὸ δὲ καλεῖν αὐτό. ἕτερος γὰρ λόγος ἕτερος ἀπόφασις ἐστίν. ἀλλ' ἔγω ὁ ὄνομα ἀόριστον, ὅτι ὁμοίως ἐφ' ὅτι ἔν ὑπάρχει, καὶ ὄντος, καὶ μὴ ὄντος.

Non homo, non est nomen, nisi infinitivum.

Τὸ δὲ [Φίλωνος, ἢ Φίλων] καὶ ὅσα τοιαῦτα, ἔκ ὀνομασά, ἀλλὰ πλώσεις ὀνομαστος. λόγος δὲ ἐστίν αὐτῶ τὰ μὲν ἀλλὰ καὶ τὰ αὐτά. ὅτι δὲ μετὰ τῶ ἐστίν, ἢ ἴω, ἢ ἔσαι ἔκ ἀληθείας, ἢ ψεύδους, τὸ δὲ ὄνομα αἰεὶ διαφέρει.

Casus nominis non sunt nomina. sed definiti omni dantur nom. habent differentia est.

De Verbo. Cap. 3.

Ῥῆμα δὲ ἐστὶ τὸ προσημαῖνον χρόνον, ὃ μέρος ἕθεν σημαίνει χωρὶς, δὲ ἐστίν αἰεὶ τῶν καθ' ἕτερον λεγομένων σημείων.

Quid est.

Τὸ δὲ ἔκ ὑπαιίνει καὶ τὸ ἔκ κἀμνει ὃ ῥῆμα λέγω. προσημαῖνει μὲν γὰρ χρόνον καὶ αἰεὶ κατὰ τίνος ὑπάρχει. τῆ δὲ διαφορά ὄνομα ἔκ κἀται ἀλλ' ἔγω ἀόριστον ῥῆμα, ὅτι ὁμοίως ἐφ' ὅτι ἔν ὑπάρχει καὶ ὄντος καὶ μὴ ὄντος.

Non valet non laborat non est verbum nisi infinitivum.

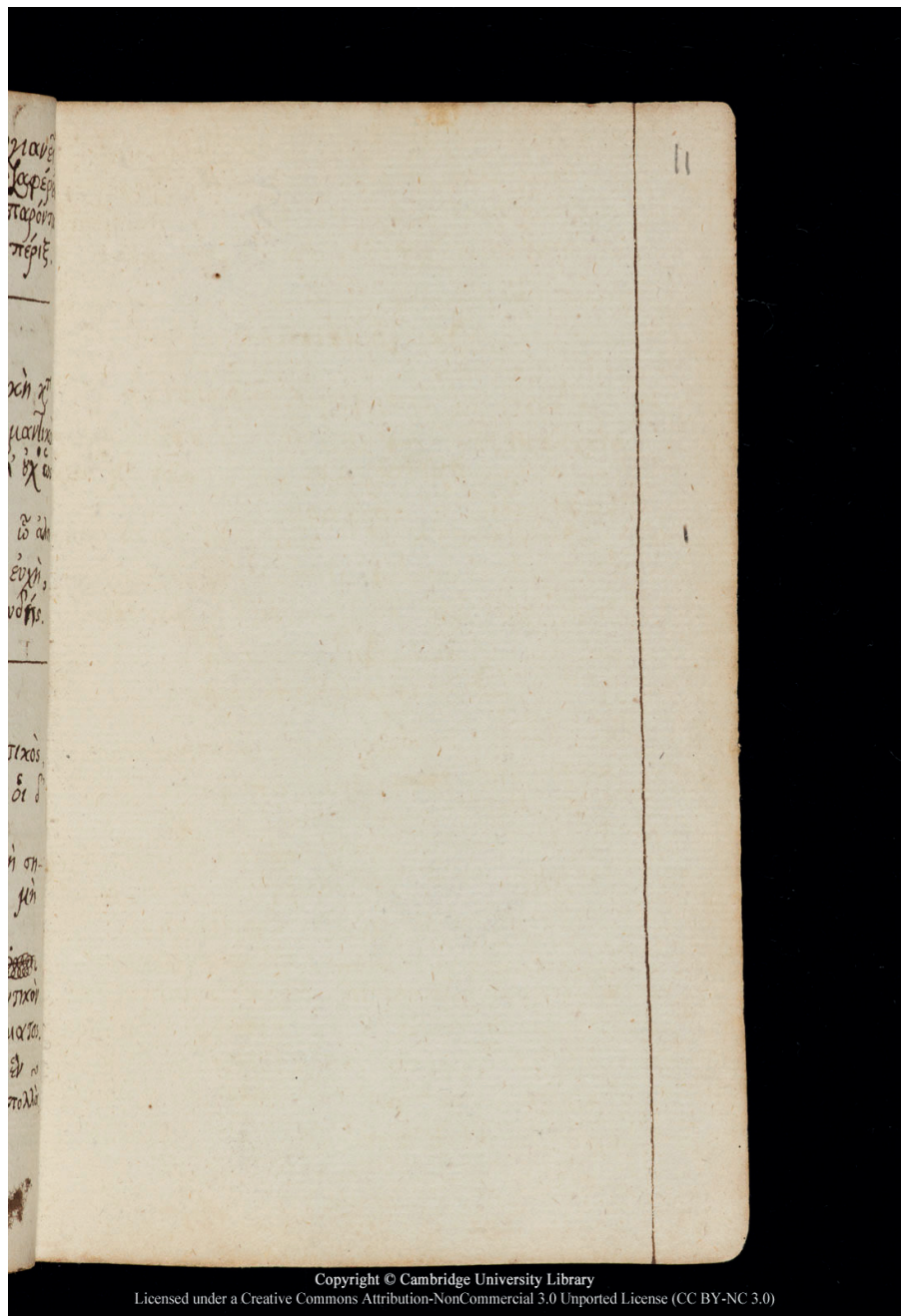
Casus
νοηθῶσιν ὁμοίως δὲ καὶ ὑγιάνει, καὶ τὸ ὑγιάνει
ῥήμα ἀλλὰ πτώσεις ῥήματος. Διαφέρει
δὲ τῷ ῥήματος. ὅτι τὸ μὲν, τὸν παρόντα
προσημαίνει χρόνον, τὰ δὲ τὸν περίξ.

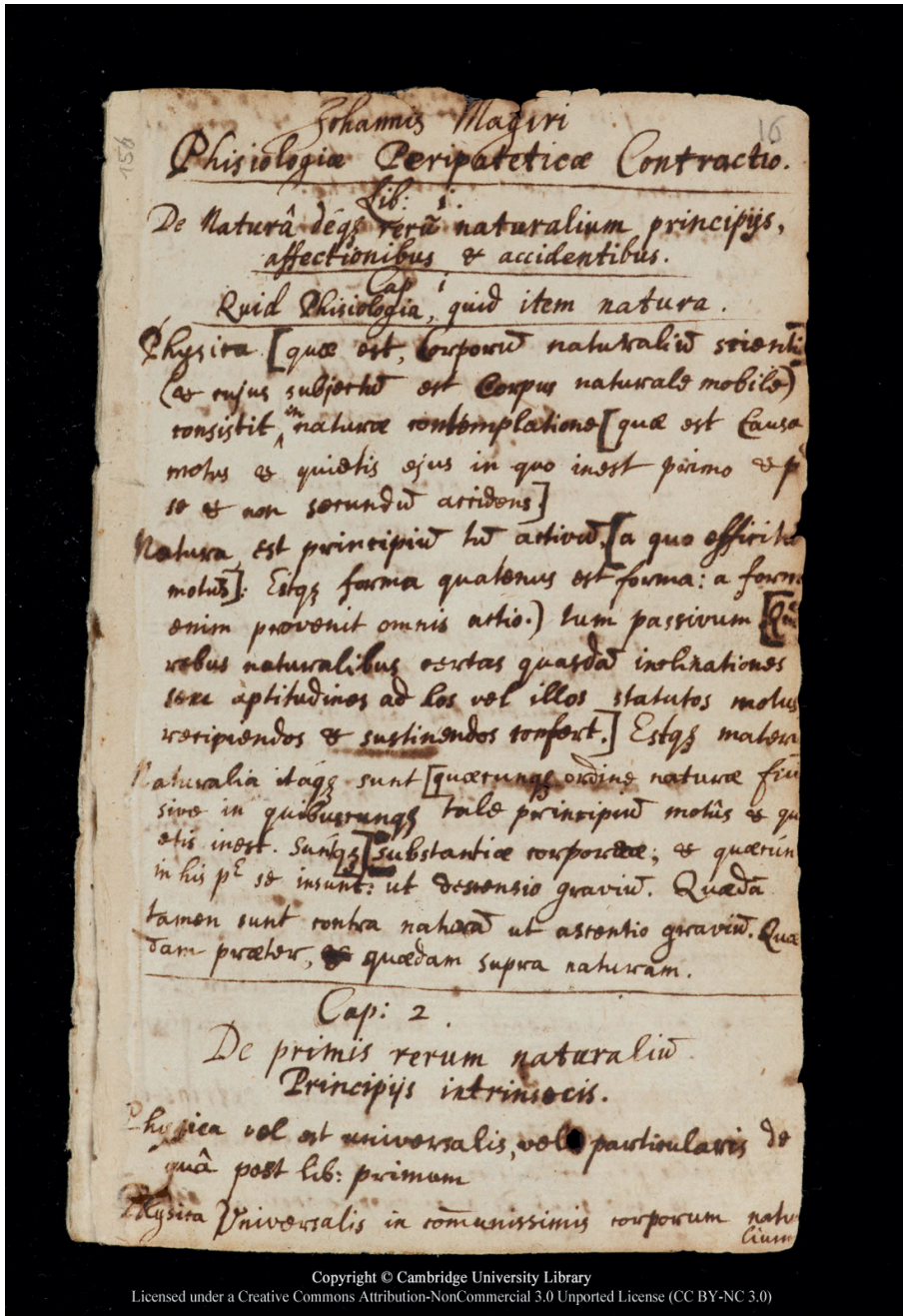
De Oratione:

Quid est Λόγος δὲ ἐστὶν φωνὴ σημαντικὴ καὶ
σωθῆκην, ἢς τῶν μερῶν τι σημαντικὸν
ἐστὶ κεχωρισμένον. Ὡς φάσις ἀλλ' ἔχ' ὡς
κατάφασις, ἢ ἀπόφασις
Enuntia-
tiva. Ἀποφαντικὸς δὲ ὁ πᾶς ἀλλ' ἐν τῷ ἀλη-
θεύειν ἢ ψεύδεσθαι ὑπάρχει· οἷς, ἢ εὐχή,
λόγος μὲν, ἀλλ' ἔτε ἀληθῆς, ἔτε ψευδῆς.

De Enuntiatione.

Simplex
enuntiatio
quid. Ἐστὶ δὲ εἰς πρῶτος λόγος αποφαντικὸς,
κατάφασις ~~ἢ~~ εἴτε ἀπόφασις· οἱ δ'
ἄλλοι πάντες, σωδέσμων εἰς. *
Ἐστὶ δὲ ἀπλή ἀπόφασις φωνὴ ση-
μαντικὴ περὶ τοῦ ὑπάρχειν π, ἢ μὴ
ὑπάρχειν, ὡς οἱ χρόνοι διηλύονται.
* ἀνάγκη δὲ πάντα λόγον αποφαντικὸν
ἐκ ῥήματος εἶναι ἢ ἐκ πτώσεως ῥήματος.
Una ora-
tio enunti-
ativa qua
et multa
quae. Ἐστὶ δὲ εἰς λόγος αποφαντικὸς, ἢ ὁ ἐν
θελῶν, ἢ ὁ σωδέσμων εἰς: πολλοὶ δὲ οἱ πολλὰ,
καὶ μὴ ἐν, ἢ οἱ ἀσωδέσμοι.





ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 9ΗΣ ΙΟΥΝΙΟΥ 2015

ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
κ. ΑΝΔΡΕΑ ΤΖΑΚΗ

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΕΔΡΟ
κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟ Β. ΝΑΝΟΠΟΥΛΟ

Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ὑποδέχεται σήμερα μὲ ἰδιαίτερη τιμὴ ὡς ἀντεπιστέλλον μέλος τῆς τὸν κ. Ἀνδρέα Τζάκη, καθηγητὴ Χειρουργικῆς Μεταμοσχεύσεων, τὸν ὁποῖο ἡ Ὀλομέλεια ἐξέλεξε κατὰ τὸ ἔτος 2014 στὸν κλάδο τῶν «Ἰατρικῶν Ἐπιστημῶν» στὴν Τάξη τῶν Θετικῶν Ἐπιστημῶν.

Γεννημένος τὸ 1950 στὸν Πειραιὰ ἀπὸ πατέρα Κεφαλονίτη, ὁ κ. Ἀνδρέας Τζάκης πῆρε τὸ πρῶτο του πτυχίον ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιον Ἀθηνῶν καί, στὴ συνέχεια, ὀλοκλήρωσε τὶς σπουδές του στὸ Ἰατρικὸ Κέντρο «Σινὰ» στὴ Νέα Ὑόρκη καὶ στὸ Πανεπιστήμιον τοῦ Πίτσμπουργκ.

Τὸ κλινικὸ καὶ ἐρευνητικὸ του ἔργο ἀντικατοπτρίζει ὅλες τὶς πτυχές τῆς ἱατρικῆς στὶς μεταμοσχεύσεις ὀργάνων, καθὼς καὶ τὶς πρωτοποριακὰς χειρουργικὰς τεχνικὰς ποὺ ἀναπτύχθησαν ἀπὸ τὸν ἴδιον καὶ τὴν ὁμάδα του. Ἡ συγγραφικὴ του δραστηριότητα εἶναι ἀξιοζήλευτη καὶ δύσκολα μπορεῖ νὰ τῆ συναγωνιστεῖ κανεὶς σὲ παγκόσμιον ἐπίπεδο. Εἶναι συγγραφέας περισσότερων τῶν 800 ἄρθρων στὴ διεθνή βιβλιογραφία, μὲ πρόσφατο ἀριθμὸ τὶς περίπου 20.000 βιβλιογραφικὰς ἀναφορὰς τῶν συγγραμμάτων καὶ ἐργασιῶν του, καὶ εἶναι συντάκτης σὲ πολλὰ ἑλληνικὰ καὶ διεθνῆ ἱατρικὰ περιοδικὰ.

Ὁ κ. Ἀνδρέας Τζάκης δὲν εἶναι ἀπλῶς ἓνας ἱατρός-χειρουργός. Εἶναι ἀπὸ τοὺς πρωτοπόρους στὸν τομέα τῆς χειρουργικῆς καὶ τῆς ἔρευνας τῶν μεταμοσχεύσεων ὀργάνων, μὲ παγκόσμια ἀναγνώριση, καὶ ἔχει ἀνοίξει νέους ὁρίζοντες στὴν ἱατρικὴ ἐπιστήμη.

Κύριε συνάδελφε, ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν εἶναι εὐτυχῆς τοῦ σᾶς καλωσορίζει καὶ σᾶς ἀπευθύνει θερμὲς εὐχὰς γιὰ συνέχιση τοῦ ἐπιστημονικοῦ καὶ ἐρευνητικοῦ σας ἔργου.

Σᾶς καλῶ γιὰ νὰ σᾶς ἐπιδώσω τὸ δίπλωμα τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους τοῦ Ἰδρύματος.

Καὶ τώρα παρακαλῶ τὸν Ἀκαδημαϊκὸ κ. Χαράλαμπο Ροῦσσο νὰ ἀνέλθει στὸ βῆμα καὶ νὰ παρουσιάσει τὸ ἔργο τοῦ νέου Ἀκαδημαϊκοῦ.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ
κ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟ ΡΟΥΣΣΟ

Ἀνδρέας Τζάκης: Μέγας πρεσβευτῆς τοῦ ἔθνους ἐκ τῶν Ἑλλήνων τῆς διασπορᾶς. Κήρυκας τῆς ἀξιοσύνης, ὁμοτράπεζος ἐν συναινετικῶ λόγῳ τῶν ἀξίων τῆς ἐποχῆς μας, ἀπόστολος καὶ διδάχος τοῦ ἀνθρωπισμοῦ. Ὁ καθηγητῆς κ. Τζάκης δὲν εἶναι μόνον ὁ ἄριστος τῆς χειρουργικῆς τεχνικῆς καὶ διάσημος ἐρευνητῆς τῶν μεταμοσχεύσεων, εἶναι καὶ ἓνας καλλιτέχνης στὴν τέχνη τοῦ σχετίζεσθαι μὲ τὸν ἄρρωστο καὶ τοὺς συγγενεῖς. Ὑπηρετεῖ παραδειγματικὰ τὴν ἵπποκράτειο διδαχὴ: φροντίδα τοῦ ὅλου ἀρρώστου. Ἔχει τὴν ψυχικὴ εὐρυχωρία νὰ ἐπιφυλάσσει ἀγαθὰ συναισθήματα καὶ στὸν ἄρχοντα καὶ στὸν μεγιστὰνα καὶ στὸν ἀνέστιο καὶ στὸν πένητα μὲ ἄδολη ἀγάπη, μὲ ἀνεπιτήδευτη ἀπλότητα, μὲ ἤρεμο μεγαλεῖο, μὲ ἀφοσίωση στὴν ἐπιστήμη του.

Τὸ λειτούργημά του, σὲ αὐτὴ τὴν ἄχραντη διεργασία τῶν μεταμοσχεύσεων, ἀπαιτεῖ ἀκαταπόνητη φυσικὴ ἀλκὴ, συνέπεια, γνησιότητα, πληθωρικὴ συμπόνια, ἀσυναγώνιστη ἀνιδιοτέλεια· ἀπλά: Ἡ προσέγγιση τοῦ πλησίον μὲ τὴν ἔγνοια τῆς προσφορᾶς καὶ τὴ βαθιὰ πίστη στὴν ἐντιμότητα εἶναι ἡ βασικὴ ἀρετὴ γιὰ νὰ μπορέσεις νὰ μεταλαμπαδεύσεις μὲ τὴν μεταμόσχευση ὀργάνων τὸ μέγιστο ἀγαθὸ τῆς ζωῆς στὸν πάσχοντα συνάνθρωπο.

Εἶναι αὐτὰ ποὺ βοηθοῦν τὸν ἀσθενὴ νὰ βιώσει τὴν ἐνσυναίσθηση τοῦ ἱατροῦ, τὴ συναισθηματικὴ δηλαδὴ ταύτιση τοῦ ἱατροῦ, καὶ ἐν προκειμένῳ τοῦ Ἀνδρέα Τζάκη, μὲ τὸν ἀσθενή· τοῦ ἱατροῦ ποὺ ἀναγνωρίζει καὶ κατανοεῖ τὴ θέση τοῦ ἀσθενοῦς, τίς σκέψεις του, τὰ συναισθήματά του καὶ κατεξοχῆν τίς ἀνάγκες του, τὴν «κινούσα ἀρχή» κατὰ Ἀριστοτέλη.

Ὁ Ἀνδρέας Τζάκης, ὁ καλόγνωμος συνάδελφος μὲ τὴν ἐπιστημονικὴ πολυμέρεια, ἀναμφισβήτητα εἶναι εὐλογημένος καὶ προικισμένος μὲ αὐτὰ

τὰ χαρίσματα. Αὐτὰ εἶναι τὸ ἔρμα του, τὸ θεμέλιό του, ἡ πίστη του καὶ τὸ ἔρεισμά του στὴ χωρὶς δολιχοδρομίες πορεία του μὲ πλῆθος ἐπιτευγμάτων. Αὐτὰ τὸν καταξίωσαν στὴ συνείδηση τῆς παγκόσμιας ἐπιστημονικῆς κοινότητας ὡς τὸν πρωτοπόρο χειρουργό, τὸν ἐφευρετικὸ ἐρευνητὴ, τὸν παντοπόρο μεταμοσχευτὴ.

Ὁ Ἀνδρέας Τζάκης γεννήθηκε στὸν Πειραιά. Κατάγεται ἐκ πατρὸς ἀπὸ τὴν Κεφαλονιά καὶ ἐκ μητρὸς ἀπὸ τὰ Δωδεκάνησα. Ἦταν ὑπότροφος στὸ πανεπιστήμιο καὶ ἔλαβε τὸ πτυχίό τῆς Ἰατρικῆς Σχολῆς τοῦ Πανεπιστημίου Ἀθηνῶν τὸ 1974. Ἐν συνεχείᾳ ἐκπλήρωσε τὶς στρατιωτικῆς του ὑποχρεώσεις ὑπηρετώντας στὴν Πολεμικὴ Ἀεροπορία ἐπὶ δύομισι χρόνια ὡς ὑποσηναγός. Σὲ ἡλικία 27 ἐτῶν τὸ 1977 μετέβη στὶς ΗΠΑ, καὶ συγκεκριμένα στὴ Νέα Ὑόρκη, ὅπου ξεκίνησε μιὰ λαμπρὴ σταδιοδρομία μὲ παγκόσμια ἀκτινοβολία, ἡ ὁποία συνεχίζεται ἀδιαλείπτως μέχρι σήμερα.

Ὁλοκλήρωσε τὴν εἰδικότητα τῆς χειρουργικῆς στὸ Mt. Sinai Medical Center καὶ στὸ Πανεπιστήμιο τῆς Νέας Ὑόρκης στὸ SUNY Stony Brook School of Medicine τὸ 1983. Ἀφοῦ πῆρε τὴν εἰδικότητα τῆς γενικῆς χειρουργικῆς, ὁ κ. Ἀνδρέας Τζάκης ἄρχισε τὴ μετεκπαίδευσή του στὸν τομέα τῆς χειρουργικῆς μεταμοσχεύσεων σὲ ἓνα ἀπὸ τὰ πρωτοπόρα κέντρα μεταμοσχεύσεων, στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Πίτσμπουργκ τῶν ΗΠΑ. Ἐκεῖ μαθήτευσε ὑπὸ τὴ διεύθυνση τοῦ θρυλικοῦ (ὅπως τὸν ἀποκαλοῦσαν), τοῦ πρωτοπόρου καθηγητοῦ Thomas Starzl, πατέρα τῶν μεταμοσχεύσεων, ὁ ὁποῖος, ἀναφερόμενος στὸν Ἀνδρέα Τζάκη, τὸν ἀποκαλοῦσε («τὸν καλύτερο χειρουργὸ παγκοσμίως»).

Στὸ Πίτσμπουργκ παρέμεινε ἕως τὸ 1994 ὡς καθηγητὴς χειρουργικῆς μεταμοσχεύσεων, ἀφοῦ ὑπηρετήσε μὲ εὐσυνειδησία καὶ ἀποδοτικότητα σὲ ὅλες τὶς βαθμίδες τῆς ἀκαδημαϊκῆς ἐξέλιξης στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Πίτσμπουργκ.

Τὸ 1994 ἐντάχθηκε στὴν Ἰατρικὴ Σχολὴ τοῦ Πανεπιστημίου τοῦ Μαϊάμι, στὴ Φλόριντα, στὸ Jackson Memorial Hospital, ὡς διευθυντὴς τοῦ τμήματος μεταμοσχεύσεων ἥπατος, χοληφόρων, παγκρέατος, πολλαπλῶν ὀργάνων, καὶ συν-διευθυντὴς τοῦ κέντρου μεταμοσχεύσεων τοῦ νοσοκομείου μὲ τὸν καθηγητὴ Joshua Miller, καθὼς καὶ τοῦ κέντρου μεταμοσχεύσεων κυττάρων, ὅπως καὶ τῶν νησιδίων παγκρέατος καὶ τοῦ μυελοῦ τῶν ὀστέων στὸ Diabetes Research Institute μὲ τὸν διακεκριμένο καθηγητὴ Camillo Ricordi, ὁ ὁποῖος χαρακτηρίζει τὸν Ἀνδρέα Τζάκη ὡς τὸν κορυφαῖο χειρουργὸ στὶς μεταμοσχεύσεις, τὸν χειρουργὸ γιὰ τὶς πολύπλοκες, γιὰ τὶς δύσκολες περιπτώσεις.

Από τον Αύγουστο του 2012 μέχρι σήμερα είναι διευθυντής του κέντρου μεταμοσχεύσεων οργάνων στην Cleveland Clinic στη Φλόριντα των ΗΠΑ.

Τò κλινικό και έρευνητικό του έργο άπτεται όλων τών πτυχών τής ιατρικής στις μεταμοσχεύσεις οργάνων και φέρει τή σφραγίδα τών πρωτοποριακών χειρουργικών τεχνικών που αναπτύχθηκαν από τον ίδιο και τήν ομάδα του. Είμαι αυτές που σηματοδότησαν κατά κύριο λόγο τήν πρόοδο τής χειρουργικής τών μεταμοσχεύσεων τα τελευταία χρόνια σε όλο τον κόσμο. Μεταξύ άλλων έπιτευγμάτων του εύτολου νέου καθηγητού Ανδρέα Τζάκη, ιδιαίτερα έντυπωσιακή ύπῆρξε ή έπιτυχής πρώτη μεταμόσχευση πολλαπλών οργάνων σε άσθενή. Αυτό τò άνεκκλήτο θαύμα! Συγκεκριμένα ό κ. Τζάκης μεταμόσχευσε στόν ίδιο άσθενή τò ήπαρ, τόν νεφρό, τò πάγκρεας, τò στομάχι, τò λεπτό έντερο και τò παχύ έντερο. Επίσης ό άσυναγώνιστος αυτός πρωτολάτης έπέτυχε τή μεταμόσχευση ήπατος μπαμπούνου σε άνθρωπο, ή δέ πρώτη μεταμόσχευση παγκρέατος παγκοσμίως είναι δικό του έπίτευγμα.

Στόν τομέα τής έρευνας έχει δραστηριοποιηθεί με τήν ίδια ίλιγγιώδη ένταση όπως και στην κλινική χειρουργική. Είμαι ό ίδρυτής διευθυντής του ίδιου αυτού μεταμοσχεύσεων στο Μαϊάμι, όπου ή έρευνά του έπικεντρώνεται στους άνοσοποιητικούς μηχανισμούς τών μεταμοσχεύσεων. Έχει οργανώσει και ολοκληρώσει 12 μεγάλα χρηματοδοτούμενα ανταγωνιστικά, έρευνητικά προγράμματα, διδάσκοντας με τόν πλέον έμπρακτο τρόπο ότι ή έρευνα και ή έξ αυτής πρόοδος είναι πρωταθλητισμός. Τα άποτελέσματα τών μελετών αυτών έχουν καθορίσει σε μεγάλο βαθμό τήν εξέλιξη τών μεταμοσχεύσεων: Ανέπτυξε νέες τεχνικές χειρουργικές μεθόδους και εισήγαγε νέες μεθόδους στη μετεγχειρητική φαρμακευτική ύποστήριξη τών άσθενών, καθώς και εύφάνταστες μελέτες για τήν άποφυγή του κινδύνου να άπορριφθούν από τόν δότη τα μεταμοσχευθέντα όργανα. Είμαι πέραν πάσης άμφιβολίας γεγονός ότι με τίς τεχνικές και μεθόδους που έν γένει χρησιμοποιεί έχει έπιτύχει ένα άσυνήθιστα ύψηλό ποσοστό έπιβίωσης τών άσθενών του, οί όποιοι έτησίως ύπερβαίνουν τούς 250!

Η συγγραφική του δραστηριότητα είναι άπαραμίλλη για χειρουργό και όχι μόνον. Είμαι πανθομολογούμενο πως δύσκολα μπορεί να συναγωνιστεί κανείς τόν κ. Τζάκη σε παγκόσμιο επίπεδο, στη βαθύβλυστη διακονία τής έπιστήμης τών μεταμοσχεύσεων. Συμμετέχει από διάφορες θέσεις στην έκδοση βιβλίων, καθώς και πέντε μεγάλων ιατρικών περιοδικών παγκοσμίου κυκλοφορίας με ύψηλό δείκτη άπήχησης, και είναι κριτής σε άλλα

περιοδικά –πλέον των 10– μεγάλης διεθνούς έμβλειας. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει τον σεβασμό που δείχνει στο πρόσωπό του ή παγκόσμια ιατρική κοινότητα και την αποδοχή του τιμωμένου από αυτήν. Είναι συγγραφέας, μόνος ή με άλλους συνεργάτες, περισσότερων των 800 άρθρων στη διεθνή βιβλιογραφία, και οι βιβλιογραφικές αναφορές σε συγγράμματα και έργασίες του ξεπερνούν τις 20.000.

Έχει δώσει περισσότερες από 280 διαλέξεις σε όλο τον κόσμο προσκεκλημένος από πανεπιστήμια, διεθνείς και τοπικές επιστημονικές εταιρείες. Είναι μέλος άνω των 20 επιστημονικών ιατρικών εταιρειών διεθνούς κύρους και συμμετέχει με την ιδιότητα του προέδρου ή του αντιπροέδρου σε πέντε μεγάλους κρατικούς οργανισμούς που σχετίζονται με τις μεταμοσχεύσεις και τη χάραξη της κρατικής πολιτικής στον τομέα τόσο των μεταμοσχεύσεων όσο και άλλων θεμάτων που αφορούν τις υπηρεσίες υγείας στις ΗΠΑ.

Έχει τιμηθεί με βραβεΐα και διακρίσεις από πανεπιστήμια καθώς και από πολλές αμερικανικές και παγκόσμιες ιατρικές εταιρείες, οι οποίες αναγνωρίζουν τη σπουδαιότητα της συμβολής του επιστημονικού και κλινικού έργου του κ. Ανδρέα Τζάκη. Επίσης έχει τιμηθεί κατόπιν ψηφοφορίας ως ο καλύτερος ιατρός στην ειδικότητά του (the best doctor in America).

Η συμβολή του στη δημιουργία και ανάπτυξη διεθνώς μεταμοσχευτικών κέντρων υπήρξε σημαντική, όπως είναι το κέντρο μεταμοσχεύσεων του νοσοκομείου της Πάτρας στην Ελλάδα το 2001, του παιδιατρικού μεταμοσχευτικού κέντρου Pequino Principe στη Βραζιλία το 2000, καθώς και στο Petach Tikvah στο Ισραήλ το 2007. Διετέλεσε διευθυντής του προγράμματος μεταμοσχεύσεων σε παιδιατρικούς ασθενείς στο Children's Hospital of Pittsburg από το 1989 μέχρι το 1994. Εκείνη δὲ τὴν περίοδο πραγματοποιήθηκαν οι περισσότερες μεταμοσχεύσεις σε παιδιά στις ΗΠΑ σε σύγκριση με κάθε άλλο κέντρο. Εκεί ξεκίνησε και ανέπτυξε το πρώτο πρόγραμμα παγκοσμίως για την πολυσπλαχνική μεταμόσχευση ὀργάνων σε ἄνθρωπο που προηγουμένως ἀνέφερα. Από το 1994 μέχρι το 2012 διηύθυνε το κέντρο μεταμοσχεύσεων στο Πανεπιστήμιο του Μαϊάμι στο Jackson Memorial Hospital, το οποίο μετέτρεψε πολύ γρήγορα σε ένα από τα πλέον διάσημα κέντρα σε ποιότητα, σε έρευνα, σε εκπαίδευση και σε ὄγκο ἀσθενῶν. Το κέντρο αυτό εξυπηρετεί ασθενείς από ολόκληρο τον κόσμο. Σε αυτό το σημείο χρήζει ιδιαίτερης μνείας ή πληθωρική ἀγάπη και ή ιδιαίτερη φροντίδα του Ανδρέα Τζάκη για ασθενείς από την Ελλάδα ή ὁμογενεῖς Ἑλληνες τῆς Ἀμερικῆς.

Ἡ ἐκπαίδευση εἶναι ἓνα ἀπὸ τὰ εὐγενῆ πάθη τοῦ Ἀνδρέα Τζάκη. Ἀξιολογηθεὶς εἶναι ὁ ἀριθμὸς τῶν ἰατρῶν ποὺ ἔχουν ἐκπαιδευτεῖ στὸν τομέα τῶν μεταμοσχεύσεων στὰ νοσοκομεῖα ὅπου ἐργαζόταν ὁ κ. Τζάκης. Οἱ ἰατροὶ αὐτοί, μετὰ τὴν ἐπάνοδο στὴν πατρίδα τους, ξεκίνησαν προγράμματα μεταμόσχευσης μὲ ἐξαιρετικὴ ἐπιτυχία. Ὁ ἀριθμὸς τους ξεπερνᾷ τοὺς 80 καὶ εἶναι ἀπὸ ὅλο τὸν κόσμον. Ἀνάμεσά τους ξεχωρίζουν τὰ ὀνόματα 25 καὶ πλέον Ἑλλήνων ἰατρῶν ποὺ διαπρέπουν σήμερα στὴ χώρα μας καὶ στὸ ἐξωτερικὸ στὰ νοσοκομεῖα ὅπου ἐργάζονται. Αὐτὴ εἶναι μίᾳ ἄλλῃ πτυχῇ τῆς πολύτιμης βοήθειας ποὺ προσέφερε καὶ προσφέρει ὁ πρεσβευτὴς κ. Ἀνδρέας Τζάκης στὴν πατρίδα μας, δηλαδὴ ἡ ἐκπαίδευση ἰατρῶν στὶς πλέον προηγμένες τεχνικὲς στὸν τομέα τῶν μεταμοσχεύσεων καὶ τῆς ἔρευνας.

Συμπερασματικὰ ὁ Ἀνδρέας Τζάκης τοῦ Γερασίου εἶναι ἐξέχουσα προσωπικότης τῆς ἰατρικῆς παγκοσμίως· πρωτοπόρος καὶ πολύτροπος στὸν ᾠορο τῶν μεταμοσχεύσεων ὀργάνων. Ἡ χειρουργικὴ του δεινότης καὶ ἡ καταξιωμένη ἔρευνά του εἶναι ἀπὸ τίς πλέον ἐντυπωσιακὲς σὲ μέγεθος, σὲ ποιότητα καὶ σὲ ἀναγνώριση. Εἶναι ἡγετικὴ καὶ δημιουργικὴ προσωπικότης, συνεισφέροντας τὰ μέγιστα στὴν ἀνάπτυξη μεταμοσχευτικῶν κέντρων ἀνὰ τὸν κόσμον καὶ τὴν Ἑλλάδα. Ἡ μεγάλη ἀφοσίωσή του στὴν ἐκπαίδευση δημιούργησε φυτώριο νέων χειρουργῶν ἰατρῶν στὸν τομέα τῶν μεταμοσχεύσεων. Οἱ καρποὶ τῆς προσπάθειας αὐτῆς εἶναι διάσπαρτοι ἀνὰ τὸν κόσμον σὲ περίοπτες θέσεις, μὲ τὴν Ἑλλάδα νὰ κατέχει διακριτὴ θέση.

Ὁ καθηγητὴς Ἀνδρέας Τζάκης εἶναι ἀνὴρ εὐπατρίδης, μὲ διαυγὴ καὶ νηφάλια σύνεση, ἀνυπότακτος στὸν ναρκισσισμό, ἀδιάφορος ἕως ἀνηλεῆς καὶ ἀνοικτίρμων στὴ λιμοδοξία, ἀρνητὴς τῆς ιδιοτέλειας. Προσέφερε γενναϊόδωρα τὴν ἰατρικὴν τεχνικὴν σὲ ἀσθενεῖς καὶ τὴν ἔννοια τῆς ἀληθοῦς ἀριστείας σὲ μαθητές. Συνεχίζει δὲ νὰ ἐξακτινώνει τὴν ἱπποκρατικὴν ἰατρικὴν τέχνην τοῦ ὅλου ἀνθρώπου μὲ πίστη καὶ πάθος γιὰ τὸ κοινὸ καλόν. Εἶναι ἄξιος πρεσβευτὴς ἐκ τῶν Ἑλλήνων τῆς διασπορᾶς, γιὰ νὰ προβληματοῖ καὶ νὰ ἐμπνέει.

Γιὰ ὅλα αὐτὰ ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν γεραίρει τὸν Ἀνδρέα Τζάκη καὶ ἀξίως τοῦ ἀπονέμει σήμερα τὸν τίτλον τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους.

THE MIRACLE OF TRANSPLANTATION

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
κ. ΑΝΔΡΕΑ ΤΖΑΚΗ

Ο κ. Τζάκης δμίλησε από στήθους σχολιάζοντας διαφάνειες που άφο-
ροῦσαν τὸ θέμα του.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 8ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2015

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΗ ΗΜΕΡΙΔΑ
ΤΟΥ ΓΡΑΦΕΙΟΥ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΜΥΝΤΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ
ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΘΕΜΑ
«Η ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ:
ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟ ΣΚΑΡΒΕΛΗ

Κύριε Πρόεδρε, κυρίες και κύριοι Άκαδημαϊκοί,

Ἡ ἀνακοίνωσή μου αὐτὴ εἶναι πληροφοριακοῦ χαρακτῆρα. Θέλω νὰ σᾶς γνωρίσω ὅτι τὴν 30ῆ Ὀκτωβρίου, ἡμέρα Παρασκευῆ, τὸ Γραφεῖο Στρατιωτικῶν καὶ Ἀμυντικῶν Θεμάτων τῆς Ἀκαδημίας θὰ πραγματοποιήσῃ ἡμερίδα, σὲ συνεργασία μὲ τὸ ΕΛΙΣΜΕ (Ἑλληνικὸ Ἰνστιτοῦτο Στρατηγικῶν Μελετῶν), ὅπως καὶ τὰ προηγούμενα χρόνια. Ἡ ἡμερίδα θὰ διεξαχθεῖ στὴν Ἀνατολικὴ Αἴθουσα, γιὰ τὴν παραχώρηση τῆς ὁποίας εὐχαριστῶ τὴ Σύγκλητο.

Καὶ τώρα στὸ θέμα τῆς ἡμερίδας. Ἔχουμε ἐπιλέξει ὡς γενικὸ θέμα αὐτὸ τῆς «ἀσφαλείας», καὶ συγκεκριμένα «Ἡ Ἐσωτερικὴ Ἀσφάλεια τῆς Χώρας: Παρούσα Κατάσταση καὶ Προοπτικὲς».

Ὁ ὅρος «ἀσφάλεια» (security, διεθνῶς) καλύπτει καὶ τὸν ὅρο «ἄμυνα», τὸν ὁποῖο καὶ περιλαμβάνει. Ὁ ὅρος «ἄμυνα» δὲν μπορεῖ νὰ ἀνταποκριθεῖ πλέον στὶς νέες μορφῆς «ἀπειλές» ποὺ ἔχουν ἐμφανισθεῖ τὰ τελευταῖα χρόνια καὶ τίς ἀποκαλοῦμε γενικὰ «ἀσύμμετρες ἀπειλές», μὲ πρώτη τὴν τρομοκρατία καὶ ἀκολουθοῦσες τίς δολιοφθορές, τὸ ὀργανωμένο ἔγκλημα, τὸ λαθρεμπόριο ὀπλων καὶ ναρκωτικῶν, τὴ σωματεμπορία, τὸν κυβερνοπόλεμο, τὴ λαθρομετανάστευση καὶ σήμερα τὸν τζιχαντισμὸ.

Ἡ «ἀσφάλεια» εἶναι ἄυλο ἀγαθὸ καὶ γίνεται ἀντιληπτὴ ἀπὸ τὰ ἀποτελέσματά της. Ἀλλὰ καὶ αὐτὰ δὲν εἶναι ἄπτά, δὲν εἶναι προσεγγίσιμα καὶ μετρήσιμα. Ἔτσι οἱ πολλοὶ ἐφησυχάζουν, θεωρώντας τὴν ἀσφάλεια δεδομένη.

Ἡ χώρα καὶ οἱ ἡγεσίες της, ἀπορροφημένες ἀπὸ τὰ οἰκονομικὰ θέματα, παραγνωρίζουν τὴν ἀσφάλεια. Ἀλλὰ ἡ ὅποια οἰκονομικὴ ἀνάπτυξη ἔχει ὡς ἀπαραίτητο προηγούμενο τὸ «περιβάλλον ἀσφαλείας». Οἱ ἐπενδύσεις, ἡ ἐκμετάλλευση ὑδρογονανθράκων, προϋποθέτουν ὑπαρξὴ «περιβάλλοντος ἀσφαλείας». Ἡ οἰκονομικὴ δραστηριότητα ἀναπτύσσεται μέσα σὲ κατάσταση ἀσφαλείας καὶ σταθερότητας.

Στὸν τομέα αὐτό, ἡ χώρα παρουσιάζει ἀκόμα καὶ θεσμικὴ καὶ ὀργανωτικὴ, ἅς τὴν ποῦμε, καθυστέρηση.

Ὅλα αὐτά, ὅλες οἱ πτυχές τῆς «ἀσφαλείας», θὰ ἐξετασθοῦν κατὰ τὴν ἡμερίδα καὶ βεβαίως θὰ καταλήξουμε σὲ κάποια συμπεράσματα καὶ σὲ προτάσεις.

Δὲν ἐπεκτείνομαι περισσότερο. Ὅλοι σας θὰ λάβετε ἐγκαίρως τὸ πρόγραμμα.

Σᾶς εὐχαριστῶ.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 10ΗΣ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2015

ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ

κυρίας ANNE M. THOMPSON

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΕΔΡΟ

κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟ Β. ΝΑΝΟΠΟΥΛΟ

Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ὑποδέχεται σήμερα μεῖ ιδιαίτερη τιμὴ ὡς ἀντεπιστέλλον μέλος της ἐξ Ἑλλήνων ἐπιστημόνων τοῦ ἐξωτερικοῦ στὴ Φυσικὴ τοῦ Περιβάλλοντος τὴν κυρία Anne M. Thompson, διευθύντρια ἐρευνῶν γιὰ τὴν ἀτμοσφαιρικὴ χημεία στὸ Goddard Space Flight Center τῆς NASA, τὴν ὁποία ἡ Ὀλομέλεια ἐξέλεξε κατὰ τὸ τρέχον ἔτος στὴν τάξη τῶν Θετικῶν Ἐπιστημῶν.

Ἡ κυρία Thompson γεννήθηκε τὸ 1948 στὸ Easton τῆς Πενσυλβάνια τῶν Ἡνωμένων Πολιτειῶν. Σπούδασε χημεία στὸ Swarthmore College τῶν ΗΠΑ καὶ συνέχισε τίς μεταπτυχιακὲς σπουδές της στὸ Πανεπιστήμιο Princeton, ὅπου καὶ ἐκπόνησε τὴ διδακτορικὴ της διατριβὴ στὴ φυσικοχημεία.

Ἀπὸ τριακονταετίας ἐρευνᾷ χαρακτηριστικὰ προβλήματα ποὺ ἔχουν σχέση μετὴν ἀλληλεπίδραση τῆς σύστασης τῆς ἀτμόσφαιρας, τῆς θάλασσας καὶ τῶν βιογενῶν ἐκπομπῶν ἀπὸ τὴ βιόσφαιρα τοῦ πλανήτη μας. Ἡ κυρία Thompson ἔχει δημιουργήσει ἓνα ἐκπληκτικὸ δίκτυο παρακολούθησης τῆς ἀτμόσφαιρας μετὴν πραγματοποίησή ὀζοντοβολίσεων στοὺς τροπικούς. Ἰδιαίτερα σημαντικὴ ὑπῆρξε ἡ συμμετοχή της στὴν κατανόηση τῆς ἀλληλεπίδρασης τῆς ἡλιακῆς ἀκτινοβολίας καὶ τῆς σύστασης τῆς ἀτμόσφαιρας πάνω ἀπὸ τὸ Αἰγαῖο Πέλαγος.

Οί έργασίες της έχουν αναγνωρισθεῖ ἀπό τήν ἐπιστημονική κοινότητα μέ τήν ἀπονομή σημαντικῶν διακρίσεων καί εὐνοϊκότατες ἀναφορές ἀπό τρίτους στό ἔργο της.

Κυρία συνάδελφε, ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν εἶναι εὐτυχῆς πού σᾶς καλωσορίζει καί σᾶς ἀπευθύνει θερμές εὐχές γιά συνέχιση τοῦ ἐπιστημονικοῦ καί ἐρευνητικοῦ σας ἔργου.

Σᾶς καλῶ γιά νά σᾶς ἐπιδώσω τὸ δίπλωμα τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους τοῦ Ἰδρύματος.

Καί τώρα παρακαλῶ τὸν Ἀκαδημαϊκό κ. Χρῆστο Ζερεφό νά ἀνέλθει στό βῆμα καί νά παρουσιάσει τὸ ἔργο τῆς νέας Ἀκαδημαϊκοῦ.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ
κ. ΧΡΗΣΤΟ ΖΕΡΕΦΟ

Μέ ἰδιαίτερη χαρὰ ὑποδεχόμαστε σήμερα τὸ νέο ἀντεπιστέλλον μέλος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, καθηγήτρια Anne M. Thompson, προῖσταμένη τοῦ Τμήματος Ἀτμοσφαιρικῆς Χημείας τῆς NASA καί καθηγήτρια τοῦ Πανεπιστημίου τῆς Πενσυλβάνια τῶν ΗΠΑ. Ἡ κυρία Thompson εἶναι ἀπόφοιτος τοῦ Πανεπιστημίου Princeton καί ἔχει ἐργασθεῖ στὰ σημαντικότερα ἐρευνητικὰ περιβαλλοντικὰ ἴνστιτούτα, ὅπως τὸ Woods Hole Oceanographic Institution, τὸ Scripps Institution of Oceanography στό Λά Τζόλλα τῆς Καλιφόρνια, στό Ἐθνικὸ Κέντρο Ἀτμοσφαιρικῶν Ἐρευνῶν τῶν ΗΠΑ, στό Τμήμα Προχωρημένων Σπουδῶν, λίγα χρόνια μετὰ τήν ἀποχώρησή μου ἀπὸ αὐτό. Τὰ τελευταῖα εἴκοσι χρόνια συνεργάζεται μέ τὴ NASA. Ἔχει διατελέσει ἢ διατελεῖ καθηγήτρια στό Πανεπιστήμιο τοῦ Μαίρυλαντ, στό Πανεπιστήμιο τῆς Πενσυλβάνια καί σὲ ἄλλα πανεπιστήμια στὶς ΗΠΑ καί ἐκτὸς τῶν ΗΠΑ.

Οἱ μελέτες τῆς κυρίας Thompson ἀφοροῦν στὶς φυσικοχημικὲς διεργασίες τῆς ἀτμόσφαιρας καί στὴν ἀλληλεπίδρασή τους μέ τὶς κλιματικὲς ἀλλαγές. Ἡ κυρία Thompson εἶναι ἀπὸ τοὺς πρώτους ἐπιστήμονες πού ἀσχολήθηκαν μέ τὶς ἀλληλεπιδράσεις τοῦ κλίματος καί τῆς ἀτμοσφαιρικῆς σύστασης, μάλιστα δὲ ἔχει δημιουργήσει δικό της δίκτυο παρακολούθησης στὶς τροπικὲς ζῶνες. Τὸ πολυβραβευμένο δίκτυο παρακολούθησης μέ ἀερόστατα στοὺς τροπικοὺς SHADOZ συνεχίζει νά ἀποτελεῖ αἰχμὴ τοῦ δόρατος

στη σημερινή έρευνα για τις παγκόσμιες μεταβολές που παρατηρούνται στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Έχει τιμηθεί και για το σύνολο του έργου της αλλά και για επιμέρους δράσεις από την COSPAR (Committee on Space Research), από τη NASA, από την Αμερικανική Μετεωρολογική Έταιρεία: επίσης, από το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του ΟΗΕ για τη συνεισφορά της στη Διακυβερνητική Έπιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή IPCC, ή οποία τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ το 2007. Τον προσεχή μήνα θα την τιμήσει ή Αμερικανική Γεωφυσική Ένωση με το βραβείο Revelle. Οί διακρίσεις της είναι πολλές και μεταξύ αυτών είναι εκείνη της Highly Cited Author στις Γεωεπιστήμες από το ISI.

Η σχέση της κυρίας Thompson με την Ελλάδα είναι πολλαπλή. Έχει μέσα της ρίζες από την Κρήτη. Είναι έγγονη της Άγγελικης και του Νικολάου Βρωνάκη. Έχει συμμετάσχει ή συμμετέχει σε μεγάλα πειράματα στα όποια ή Ελλάδα είχε τον συντονισμό. Σε ένα από αυτά, που είχε σχέση με τις φωτοχημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα, πραγματοποιήθηκαν οί πρώτες μετρήσεις παραγωγής διεγερμένου όζονου από το έδαφος μέχρι τη στρατόσφαιρα, το όποιο στη συνέχεια προχωρεί στη φωτόλυση των υδρατμών και στην παραγωγή ριζών ύδροξυλίου, οί όποίες ρυθμίζουν τά επίπεδα του μεθανίου (σημαντικού θερμοκηπικού αερίου) στη χώρα μας. Στο πείραμα όμως αυτό μελετήθηκε ή σημασία των αιωρούμενων μικροσωματιδίων, των άρωματικών τερπενίων και άλλων αιωρημάτων, έτσι ώστε και ή τελευταία γεωφυσική κοιλότητα στην Ελλάδα να φωτίζεται, δημιουργώντας ένα μοναδικό περιβάλλον, ένα μοναδικό εργαστήριο για παρόμοιες μελέτες, που έχουν σχέση με την ύπαρξη σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας σκεδαζόμενου φωτός, ιδίως στο ύπεριώδες, ανακάλυψη ή όποια χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται από δεκάδες εργασίες στη διεθνή βιβλιογραφία. Η κυρία Thompson ήταν παρούσα με έξαιρετικά ενδιαφέρουσα εισήγηση όταν ή Ακαδημία Αθηνών όργάνωσε το 2007 το μεγάλο έπετειακό συνέδριο για τά είκοσι χρόνια από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ στην Αθήνα. Στο συνέδριο αυτό είχαν συμμετάσχει και τά τρία βραβεία Νόμπελ στην Ατμοσφαιρική Χημεία (Crutzen, Molina και Rowland).

Η κυρία Thompson έχει συνεργασθεί κατά καιρούς με πολλούς έκλεκτους έπιστήμονες από όλο τον κόσμο, από τics ΗΠΑ και από τη Γερμανία: σημειώνω τics εργασίες της με τον Ralph Cicerone, μέχρι πρότινος πρόεδρο

τῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν τῶν ΗΠΑ. Ἐκτὸς ὅμως ἀπὸ τῆ συνεργασία μὲ τοὺς ἀπανταχοῦ τῆς γῆς κορυφαίους ἐπιστήμονες, ἡ κυρία Thompson ἔχει ἐπὶ πολλὰ χρόνια ἀσχοληθεῖ μὲ τῆ διδασκαλία νεότερων ἐπιστημόνων καὶ ἔχει συμμετάσχει σὲ ἐπιτροπὲς διδακτορικῶν διατριβῶν, ἔχει δὲ πολλὰς ἄλλες πανεπιστημιακὰς δραστηριότητες. Οἱ δραστηριότητές της αὐτὲς ἔχουν ξεπεράσει τὴν εἰκοσαετία καὶ εἴμαστε ὅλοι ὑπερήφανοι καὶ γι' αὐτὸ τὸ ἔργο της.

Ὡς γυναίκα ἐπιστήμων, ἡ κυρία Thompson ἔχει τιμηθεῖ μὲ τῆ Διάκριση τῶν Γυναικῶν στὴν Ἀεροδιαστημική, ἀλλὰ καὶ μὲ ἄλλες διακρίσεις. Ἐχει ὑπηρετήσει στὰ μεγαλύτερα διεθνῆ προγράμματα ἔρευνας τῆς ἀτμόσφαιρας, ὅπως τῆς Ἐπιτροπῆς γιὰ τὴν Ἀτμοσφαιρικὴ Χημεία καὶ τὴν Παγκόσμια Ρύπανση, τῆς Διεθνοῦς Ἐπιτροπῆς Ὁζοντος, στὴν ὁποία ἔχω τὴν τιμὴ νὰ προεδρεύω, τοῦ Διεθνοῦς Προγράμματος Βιόσφαιρας IGBP, τοῦ Διεθνοῦς Προγράμματος Ἀτμοσφαιρικῆς Χημείας IGAC καὶ τοῦ Διεθνοῦς Προγράμματος γιὰ τὸ Κλίμα WCRP, διατελεῖ δὲ ἀντιπρόεδρος τῆς Διεθνοῦς Ἐνώσεως Μετεωρολογίας καὶ Ἀτμοσφαιρικῶν Ἐπιστημῶν.

Θὰ ἤθελα πρὶν κλείσω νὰ πῶ ὅτι οἱ περισσότερες ἀπὸ 200 ἐπιστημονικὲς ἐργασίες καὶ ἡ συμμετοχὴ της στὰ μεγαλύτερα διεθνῶς προγράμματα παρακολούθησης τῆς ἀτμόσφαιρας, ἀλλὰ καὶ ἡ ἐκλεπτυσμένη προσωπικότητα τῆς τιμωμένης, μᾶς ἔχουν κάνει ὅλους νὰ τὴν αἰσθανόμαστε ὄχι μόνον συνάδελφο, ἀλλὰ καὶ φίλη. Ἡ Anne στὴν προσωπικὴ της ζωὴ εἶναι παντρεμένη μὲ τὸν Nels καὶ εἶναι μεγάλη χαρὰ γιὰ μᾶς, ἀπὸ ἐδῶ ποὺ ξεκίνησαν ὅλα, τέχνες, πολιτισμὸς καὶ ἐπιστῆμες, νὰ βλέπουμε ζευγάρια σὰν τὴν Anne καὶ τὸν Nels καὶ ἄλλους Ἕλληνας νὰ διαπρέπουν σὲ ὅλη τὴ γῆ, νὰ συμμετέχουν σὲ ὅλες τὶς θαυμάσιες προσπάθειες ποὺ γίνονται γιὰ τὴν προστασία τοῦ πλανήτη καὶ νὰ διδάσκουν τὶς ἐρχόμενες γενεὲς ὅτι τὸ μέλλον κτίζεται πᾶνω στὸ παρὸν καὶ στὸ παρελθὸν ποὺ ἔχει ὁ καθένας κατακτήσει. Θὰ τελειώσω ἐδῶ μὲ τὴ γνωστὴ καταπληκτικὴ φράση τοῦ Πλάτωνα: Εὖ πράττειν, Annel!

Ὁ λόγος τώρα στὴν κυρία Thompson, ἡ ὁποία θὰ μᾶς ἀναπτύξει τὸ θέμα «Παρακολούθηση τοῦ προστατευτικοῦ στρώματος τοῦ ὄζοντος ἀπὸ δορυφόρους, ἀεροσκάφη καὶ ἀερόστατα».

TRACKING GLOBAL OZONE WITH SATELLITES,
AIRCRAFT AND BALLOONSΕΙΣΙΤΗΡΙΟΣ ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
κυρίας ANNE M. THOMPSON*Abstract*

Ozone is a simple molecule with only three atoms of oxygen (O_3) but at very small concentrations, it plays an essential role in the earth's atmosphere. In the stratosphere, ozone is "good," protecting life on earth from ultraviolet radiation. In the troposphere, where we live and breathe, ozone is synonymous with "bad" smog and unhealthy. Much of atmospheric chemical research in the past three decades has focused on protecting stratospheric ozone from destruction by anthropogenic, halogenated chemicals. An international agreement, the Montreal Protocol to Protect the Ozone Layer, has been successful in ending the threat to stratospheric ozone. At the same time countries all over the world have adopted local policies to decrease ground-level ozone. Examples of progress in saving "good" ozone and controlling "bad" ozone are shown. The key to knowing that our actions are effective is having a complete set of high-quality ozone observations from satellites, aircraft, balloons and the ground.

I. Introduction to ozone and its measurement

The simple ozone molecule (O_3) plays a multi-faceted role in Earth's atmosphere. In the stratosphere, where 90% of ozone molecules are located, ozone blocks out higher energy ultraviolet (uv) radiation that is harmful to life at the surface. The absorption of uv warms the stratosphere, which makes stratospheric ozone doubly important. In the troposphere, ozone is the by-product of photochemical reactions that depend on the presence of nitrogen oxides and VOCs (volatile organic compounds). Over many parts of the globe, there is not enough NO_x ($NO_x = NO + NO_2$, which interchange in rapid photochemical equilibrium) and VOC to have net ozone formation. A third role for ozone is as a greenhouse gas, principally in the upper free troposphere (FT).

Environmental concerns about ozone stem from the multiple roles of this species and threats to the natural equilibrium of ozone throughout the atmosphere. In the following sections I describe (a) stratospheric ozone depletion and progress in reversing that loss (Section 2). Most of the data presented are from satellites; (b) changes in tropospheric composition including the essential ozone precursor NO_2 (Section 3).

There is an important subtext to the progress in keeping ozone at healthy concentrations throughout the atmosphere. Namely, we are able to *observe* these changes due to global measurement capabilities [1-3]. In Section 4 non-satellite types of data are described, such as ground-based instrumentation that validates satellite measurements and provides independent evidence of trends and processes at scales often too small for satellites to resolve.

1.1 Ozone measurements and basic chemical mechanisms

Figure 1 displays the ozone profile measured by an ozonesonde instrument in concert with pressure and temperature recorded by a radiosonde that is attached to the ozonesonde. The ozone units of partial pressure (left side of image) clearly show the ozone maximum in the stratosphere, above 100 hPa. Because of the absorption of uv radiation in the stratosphere, the temperature increases after its decline upward through the troposphere; the inflection point is referred to as the tropopause. The sounding illustrated is from the tropics where the temperature reversal (denoted by the thermal lapse rate sign) is close to 100 hPa [4], a little higher than the local ozone minimum at 175 hPa. Relative humidity, reasonably accurate to 200-300 hPa (right frame), and winds (not shown), are also measured by the radiosonde. The right side of Figure 1 shows tropospheric and stratospheric ozone in units of mixing ratio or mole fraction. Here the ozone maximum in partial pressure appears at 10 hPa and is ~ 8 parts-per-million by volume (ppmv). In the free troposphere, relatively thin layers may exceed 100 part-per-billion by volume (ppbv), but background levels are typically 20-30 ppbv. In Figure 1 the highest tropospheric ozone is 75 ppbv.

Environmental concerns arise when chemical perturbations from human activity disturb the natural equilibrium controlling the ozone distribution shown in Figure 1. For example, in polar regions where extreme cold can lead to unusual ice particles in the lower stratosphere, chlorine (Cl_2)

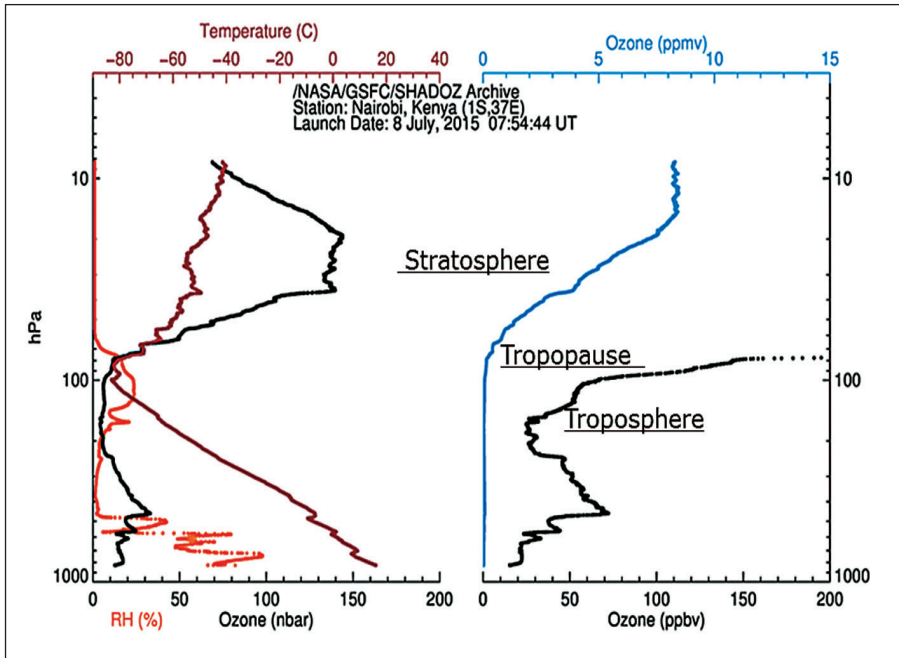


Figure 1: Ozone profile from ozonesonde launched in July 2015 at Nairobi, Kenya, a station part of the SHADOZ network [4].

forms during polar night due to reactions on the surface of these ice particles. When sunlight returns in late August-early September over Antarctica (and in late February-early March over the Arctic), the chlorine photodissociates to Cl in concert with ClO and the (ClO)₂ dimer, leading to catastrophic loss of ozone in this region. With ozone largely disappearing between ~ 15 and 25 km altitude, the total ozone column is decreased by two-thirds. Note that the total column amount is measured in Dobson Units (DU; one DU = 2.69×10^{16} molecules-cm; Figure 2a). The column amounts are used by satellites, e.g., TOMS, SBUV, OMI, SCIAMACHY, OMPS, as well as by instruments that measure total ozone from the ground spectrophotometrically, like Brewer and Dobson [1-3]. The normal ozone total column in the tropics is 250-325 DU (Figure 1); at mid-latitude and polar latitudes total column is 300-500 DU. The view from space in polar projection during the time of greatest Antarctic loss is illustrated in Figure 2b. The area of loss on the day shown exceeds the area of the US or western Europe.

1.2 *Chemical processes in the Troposphere*

Figure 3 illustrates processes in tropospheric gas-phase chemistry. Natural amounts of ozone are determined by production through photochemical reactions involving carbon monoxide (CO), methane, nonmethane hydrocarbons or volatile organic compounds (VOC), in the presence of nitrogen oxides, and sunlight and destruction through reactions that consume ozone. In addition, the stratosphere can introduce ozone into the troposphere through dynamical intrusions. Removal of ozone occurs through photochemistry and by deposition at the surface. Ozone concentrations near the surface are highly variable. For example, clean so-called “background” ozone mixing ratios range from 10 to 30 ppbv. Highly polluted regions may experience a maximum daily 8-hr average (MDA8) level of 200-300 ppbv. Air Quality “standards” call for a maximum daily 8-hr average (MDA8) of 70-75 ppbv.

Approaches to controlling the amount of surface ozone include regulations on nitrogen oxides (NO_x defined as the sum of NO_2 and NO), CO and VOC. Ozone formation is complex; in some regions, the VOC concentrations determine the rate of ozone formation; in other regions, ozone formation rates are limited by the amount of NO_x . Automobiles employ catalytic converters to remove CO and NO_x . Factories, especially power-plants that burn coal with high NO_x release rates, often use scrubbers to reduce the amount of NO_x emitted. Note in Figure 3 that there are important natural sources of VOC (biogenic emissions, especially from vegetation) and NO_x , the latter including lightning.

2. Stratospheric ozone: polar depletion, Montreal protocol, “ozone recovery”

2.1 *Stratospheric ozone depletion and halocarbon depleters*

As mentioned above, polar ozone loss in the stratosphere occurs because of an unusual combination of gas phase reactions in the presence of “polar stratospheric clouds” (PSC) that require temperatures below 185K. Reactions involving nitrogen oxides and chlorine oxides take place on the PSC during polar night (January-February in the Arctic region and June-July in the Antarctic) and Cl_2 builds up during this dark period. As soon as the sun returns, Cl_2 is rapidly photolyzed and catalytic processes allow a single chlorine oxide containing molecule to destroy hundreds of ozone molecules. Bromine com-

pounds play a similar role to Chlorine and on a per-molecule basis, Br_2 destroys even more ozone molecules. Synergistic relations between Br and Cl radicals are an important part of ozone loss. Note that there are many brominated and chlorinated species that can release Cl and Br radicals in the stratosphere. Collectively these are referred to as halocarbon compounds. These compounds are readily measured in the troposphere; they have been monitored since the 1970s when concern was first expressed about the possible threat of manufactured chlorofluorocarbons (CFC) to stratospheric ozone. When accounting for the global burden of halocarbons, the individual compounds are weighted according to their destructive capacity in the stratosphere, so that an equivalent effective stratospheric chlorine (EESC) amount is reported (Figure 4a). In addition to anthropogenic Br and Cl-containing compounds, there is a significant amount of natural chlorine (Figure 4a), primarily the two species emitted by the ocean, methyl chloride and methyl bromide (purple segments).

The number and distribution of PSC depend on temperatures normally found only in stable cold air masses over the poles in the configuration known as the polar vortex. The region outlined in white in Figure 2b depicts the polar vortex for the day illustrated. Because the vortex changes day-to-day, the extent of ozone depletion varies each day. In a similar manner, because large-scale circulation patterns vary from one year to the next, driven by a series of climate oscillations, the average size of the vortex and the degree of ozone depletion vary annually. This is seen in a time-series of the average October total ozone over Antarctica (Figure 4b).

2.2 *Montreal protocol and stratospheric ozone recovery*

Aircraft sampling in the late 1980s, with direct measurement of the ClO radical, confirmed that reactive Cl in the stratosphere was the main culprit in ozone depletion. Since 1987, more than 190 countries have ratified the Montreal Protocol to Protect the Ozone Layer, agreeing to phase out manufactured chlorofluorocarbons. Substitute hydro-chloroflouorocarbons (HCFC) were adopted as replacements. Over time, as the destructive power of other halocarbons was verified, eight follow-on amendments to the Montreal Protocol were adopted. Each one removed another threat. The impact of these changes can be seen in Figure 4a; total EESC peaked in 2001 and has declined since. Shorter-lived species like the HCFC show the greatest decreases.

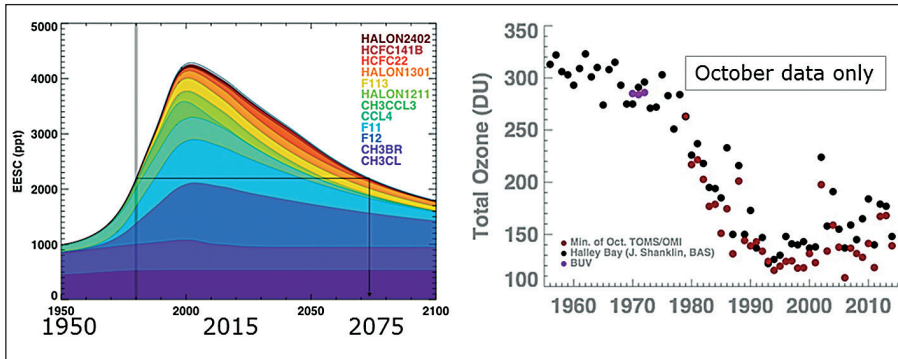


Figure 4: (a, left) EESC (total halogens in terms of chlorine, where maximum is reached in 2001 [8]). (b, right) October Antarctic ozone minima observed by ground and satellite instruments. Updated figure from [9, 10].

The response of total ozone to the changes in EESC is illustrated in Figure 4b that depicts the October ozone thickness minimum over Antarctica from 1960 through 2015. The data prior to 1970, when the first satellite measurements were made, are taken from the Halley Bay Dobson spectrometer. A combination of satellite data were used thereafter. Variations from year-to-year are obvious; temperatures and dynamical activity determine the conditions for PSC formation and ozone loss. In some years the polar vortex within which depletion occurs is very large and stable. In other years, for example 2002 and 2012, the vortex did not last long. The dramatic ozone loss period has ended. From 2005 to 2013, only one year shows ozone < 110 DU. Indeed, since ~2010 ozone seems to be wavering about a distinct “minimum” and is starting a gradual recovery. Figure 5 is a composite of data (dots prior to 2014) and a computer model simulation of Antarctic ozone in October that extends estimates of Octobers forward to 2100. Return of October Antarctic ozone to 1980 levels is estimated for 2075; the model is based on scenarios that assume specific EESC decline but growth in other gases that affect stratospheric composition: N_2O , methane, NO_x and CO_2 . Note that natural oscillations like the solar cycle and typical projections for a change in climate are also simulated; thus, the projected ozone “recovery” varies from year to year. What could perturb the recovery and cause ozone to drop sharply is a volcano that sends enough particulate matter into the stratosphere to lower global temperature.

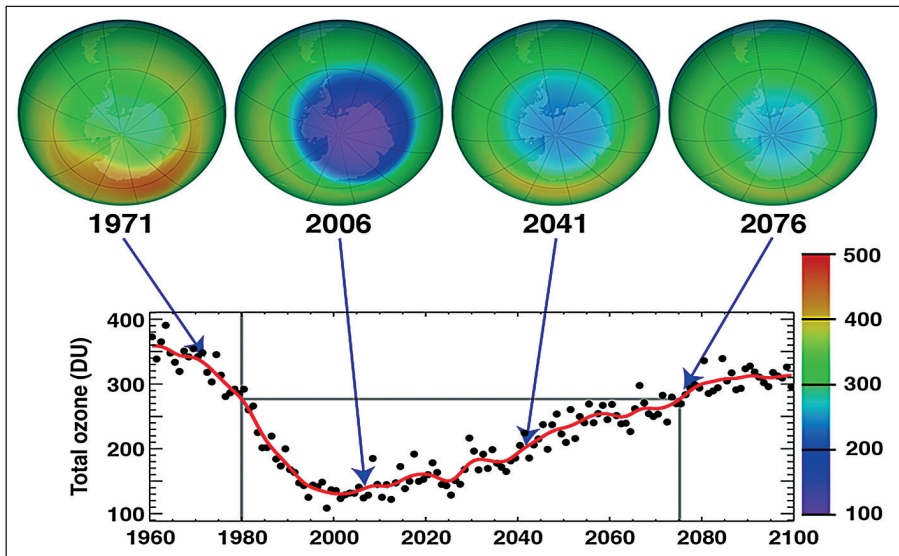


Figure 5: Composite of data (points prior to 2014) and a computer model simulation of Antarctic ozone that extends estimates of Octobers forward to 2100, where ozone hole will recover in the second half of 21st century [10].

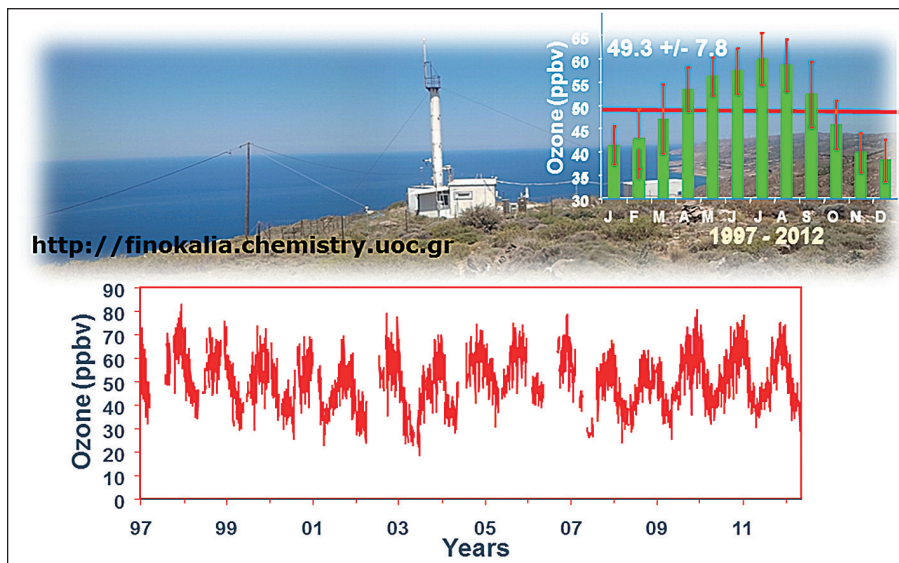


Figure 6: Long term ground ozone measurements taken at Finokalia, Crete site. Figures updated from [19] by [20] to include unpublished data.

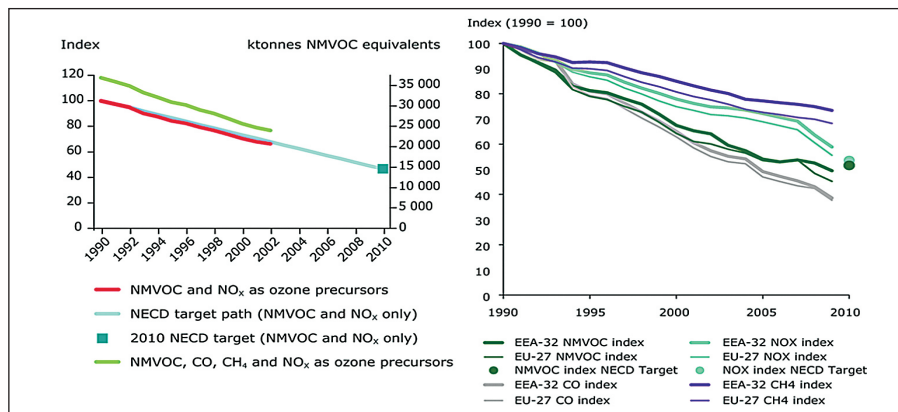


Figure 7: (a, left) Emission trends of ozone precursors (kt tonnes NMVOC-equivalent) for EU-15 (European Union-15), 1990-2002 [23]. (b, right) Past emission trends of NO_x, non-methane volatile organic compounds (NMVOC), CO and methane (CH₄) in the EEA-32 (European Environment Agency-32) and EU-27 group of countries [24].

3. Tropospheric ozone: satellite views of recent changes in ozone precursors NO₂, CO

Tropospheric ozone at the surface is a concern for human health and agriculture and therefore, in many countries there are Air Quality standards that lead localities to implement regulations to keep concentrations below a specified amount. Currently, the US standard is expressed in terms of the maximum 8-hr average; recently that limit has been reduced from 75 to 70 ppbv. In order to control its formation, regulatory efforts target the major ozone precursors: VOC, CO and NO_x. Similar standards and actions apply in Europe <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm> Monitoring is made by instruments in urban regions [11-13], as well as at background locations worldwide [14-17]. Based on urban area monitors, typical ozone levels have declined over major cities of North America (including the very polluted Mexico City) and much of Europe [18].

An example of a background monitor, from Finokalia, Crete (Figure 6), illustrates a high-quality record of continuous surface ozone levels, obtained by a standard uv method. There is no strong trend, either positive or negative, in this station east of Irakleion [19, 20]. However, Figure 7 is a

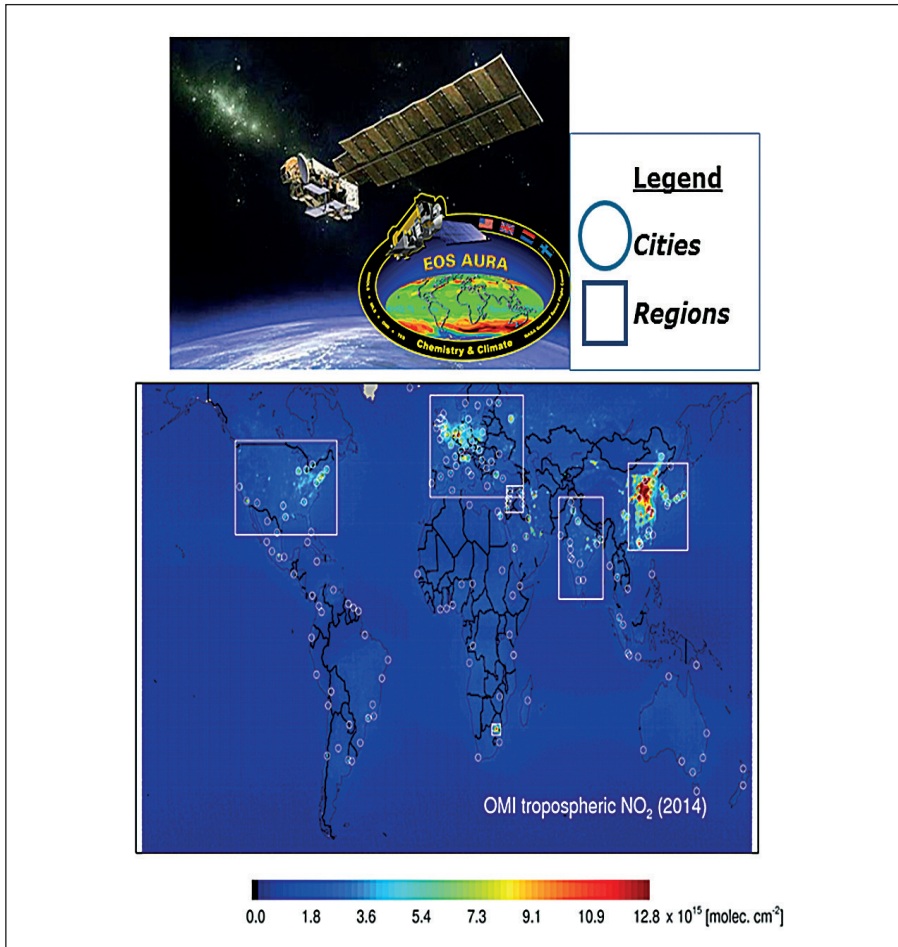


Figure 8: (a, top) Aura satellite image with OMI instrument. (b, bottom) OMI tropospheric NO₂ with regions (white boxes) and cities (white circles) highlighted from [22].

composite of ozone precursor emissions trends that implies decreasing pollution over Europe. Carbon monoxide has been continuously measured by satellite since late 1999. MOPITT, AIRS, TES, and IASI data have all been used to determine trends according to their years of record [21]. In both northern and southern hemispheres and in major industrial regions (Europe, eastern US and eastern China) the decline for satellite CO is $\sim 1\%$ /year.

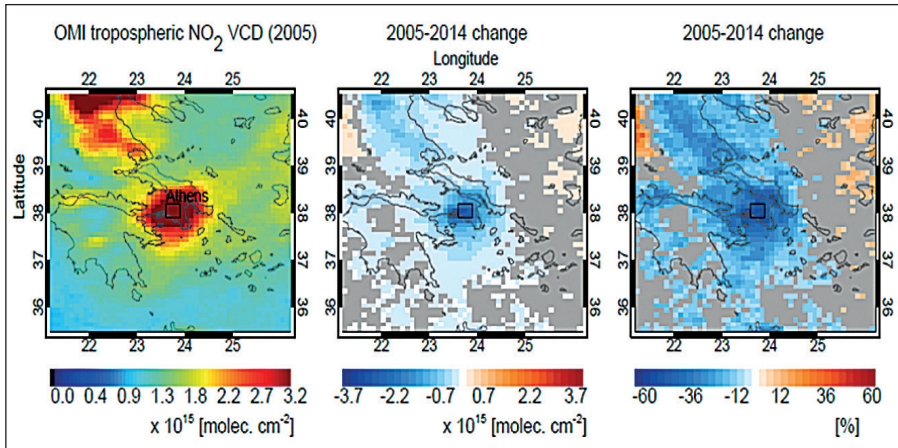


Figure 9: NO_2 column amount (left panel), 2005-2014 absolute changes in NO_2 (middle panel), and 2005-2014 percent change in NO_2 (right panel) over Greece [22].

Carbon monoxide has a fairly long lifetime (months) so those trends would not directly correspond to patterns for shorter-lived NO_x and VOC. Recently we have used new high-resolution NO_2 data from the Aura OMI (Figure 8a) instrument to compute trends in source regions over the decade 2005-2014 [22]. At 0.1×0.1 degree, it is possible to discriminate features at a few km. A global view of tropospheric NO_2 appears in Figure 8b. Trends are complex. In contrast to views with lower resolution data, the recent study finds that trends in many urban areas are highly varied. For example, major cities in east Asia display large declines in NO_2 – similar to the 10-50%/decade reductions in Europe and North America, but vast areas around them show large NO_2 increases. Changes over Greece also show declines in NO_2 over the past decade (Figure 9); causes include reductions in NO_x emissions from automobiles and, if the industrial sector is involved, the post-2008 economic slowdown. There are exceptions to the NO_2 decreases; one can see the emergence of major new industrial centers (notable in east and south Asia) and rapid growth in non-traditional oil and natural gas extraction activity over North America. Consult the website for a list of changes in OMI NO_2 over 195 individual cities for the period 2005-2014 (<http://airquality.gsfc.nasa.gov>).

Table. Satellites with Ozone Instrumentation & SHADOZ Support (2002-2022)

Missions	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
EP-TOMS (98-05) SAGE III Meteor-3M (01-05)																					
ENVISAT (MIPAS, SCIA) (02-12)																					
EOS (AIRS (02-), TES, OMI (04-))																					
NOAA-16, 17, 18, 19 (SBUV/2)																					
MetOps-A,B,C,SG (IASI, GOME-2)																					
SCISAT (ACE-FTS, MAESTRO) (03-)																					
Suomi NPP (Cris, OMPs)																					
JPSS-1/2 (Cris, OMPs)																					
EVI-1 (TEMPO)																					
SAGE III ISS																					
Sentinel-5 Precursor (Tropomi)																					
Sentinel 4,5 (UVNS)																					
SHADOZ (98 -																					

Figure 10: Timeline of satellites from 2002-2022, with ozone instrumentation and corresponding ground validation support as for SHADOZ [4].

4. Other ozone observations: ground-based, balloon, aircraft

Figure 10 is a time-line of ozone-observing satellites, past, present and projected, between 2002 and 2022. Ground-based instrumentation is essential for calibration and validation of individual satellite instruments and for cross-calibration among the many instruments that cover the more than 30 years of column total ozone measurements from space [1, 13, 25]. Total column measurements are made by Brewer, Dobson SAOZ instruments in a global network as shown in Figure 11a (courtesy of Zerefos lab [26]; Figure 11b shows the Athens and Thessaloniki, operated at the Aristotle University-Thessaloniki, Brewers [27, 28]).

Other ground-based instrumentation includes lidar, which provides exceptional vertical resolution and, in theory, continuous sampling. However,

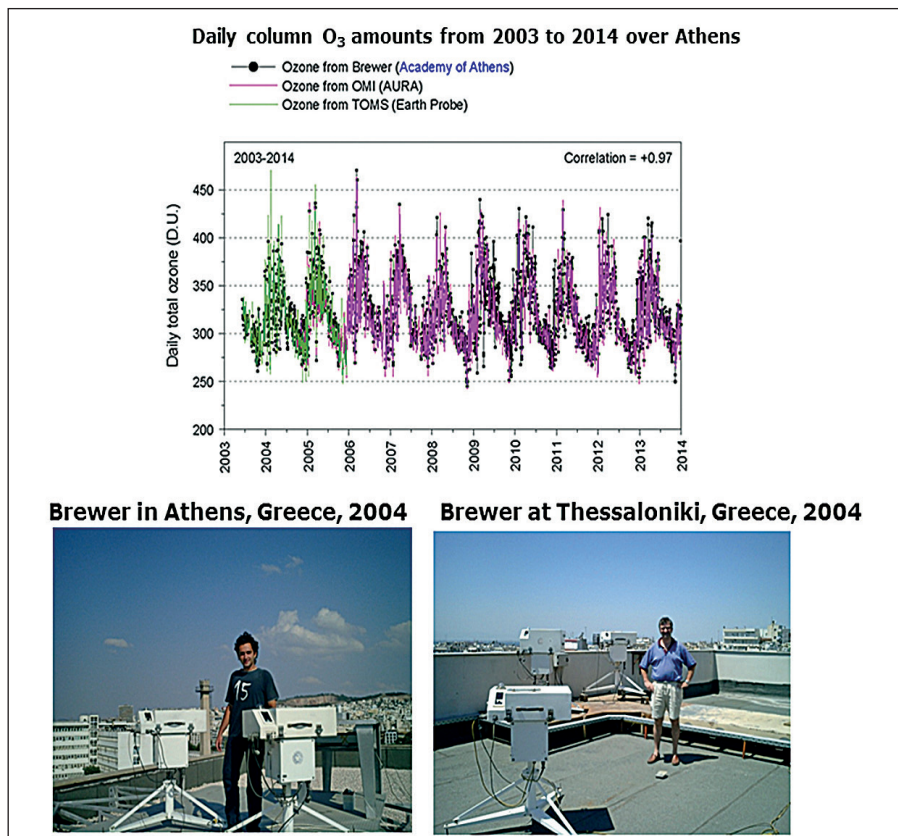


Figure 11: (a, top) Daily total column ozone from 2003 to 2014 over Athens measured by a Brewer spectroradiometer installed at the roof of Biomedical Research Foundation Academy of Athens (BRFAA), OMI, and TOMS [26]. (b, bottom) Photos of the Athens and Thessaloniki Brewers [29].

lidars cover only segments of the atmosphere, typically troposphere or stratosphere [30, 34]. They are also labor-intensive and subject to cloud interference. Ozonesondes are launched with weather balloons in conjunction with radiosondes at more than 50 stations on a regular basis, 2-12 times/month, depending on the site. Ozonesondes have the advantage of fairly high vertical resolution (effectively 50-150 m), covering surface to lower-mid stratosphere without blockage by clouds. Thus, ozonesondes not only are used for total ozone measurements but for comparison with profiling satellites and calibra-

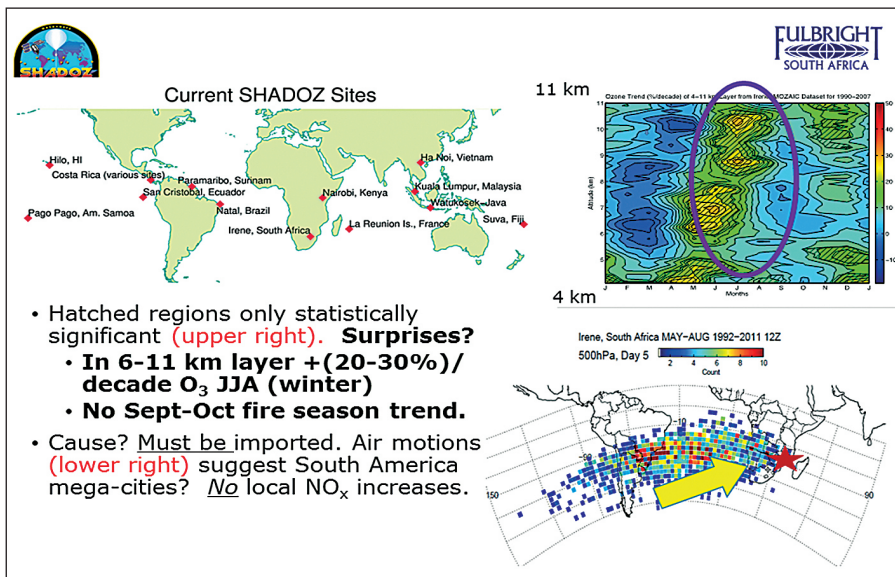


Figure 12: (a, top left) Map of current SHADOZ ozonesonde stations [4]. (b, right) Changes/trends in ozone over Irene, South Africa, from ozonesonde and MOZAIC data between 4-11km (top panel) and air mass trajectories suggesting South American sources for positive trend (bottom panel) [33].

tion for lidars as well as total ozone satellite instruments [32]. Sounding and aircraft data display the morphology of pollution layers and local minima, as in the Figure 2b image of the Antarctic ozone hole. An example of trends/changes in free tropospheric ozone from the SHADOZ network (Figure 12a), combined with data from MOZAIC appear in Figure 12b.

5. Summary

The essentials of processes contributing to anthropogenic ozone depletion in the stratosphere and to ozone pollution in the troposphere have been presented. Progress in protecting the stratospheric ozone layer has been enabled by international agreement through the Montreal Protocol and its follow-on amendments. Monitoring of total ozone is done by satellite, ground-based instrumentation and balloons. At the surface, monitoring instruments for ozone, CO, NO_x and VOC operate continuously over many regions of Earth, both remote and urban/suburban. The records from these instruments

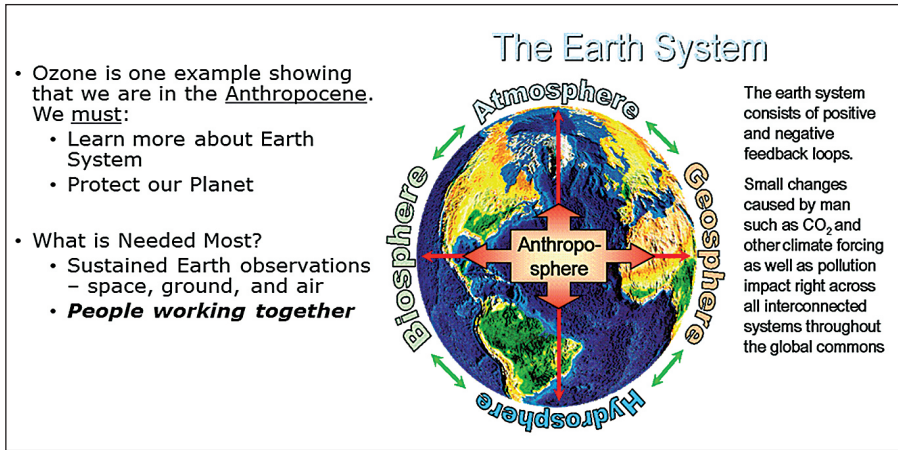


Figure 13: Anthropocene diagram demonstrates connecting Earth systems: atmosphere, geosphere, hydrosphere, and biosphere [34].

show that human impacts on the local environment have improved in many regions of Earth, especially in Europe and North America. OMI satellite observations of NO₂ confirm that decreases of 20-50% in this key ozone precursor occurred over the decade 2005-2014 throughout long-term economically developed areas because of environmental regulation.

The changes in ozone presented here speak to the dominant role of humans in the future of global ozone. As with all aspects of our Earth System we live in the age of the Anthropocene (Figure 13). The future of our planet depends on many decisions we make in balancing the health of our interconnected and fragile environment with the welfare and needs of seven billion people.

Acknowledgments

The author thanks NASA for support in the conduct of much of this research and for supporting preparation of this paper. Thanks also to her students at the Pennsylvania State University and the University of Maryland, College Park. Thanks are also due to Dr. Debra Kollonige, of the University of Maryland's Earth System Science Interdisciplinary Center, for help with manuscript preparation.

References – March 16, 2016

- [1] WMO, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 55, Geneva, Switzerland, 2014.
- [2] G. VISCONTI – P. DICARLO – W. H. BRUNE – A. WAHNER – M. R. SCHOE-
BERL (Eds.), Observing Systems for Atmospheric Composition: Satellite, Air-
craft Sensor Web And Ground-based Observational Methods And Strategies,
Springer, ISBN: 0387307192, 2006.
- [3] C. ZEREFOS – G. CONTOPOULOS – G. SKALKEAS (Eds.), Twenty Years of Ozone
Decline: Proceedings of the Symposium for the 20th Anniversary of the Mon-
treal Protocol, Springer, ISBN: 978-90-481-2468-8, 2009.
- [4] <http://croc.gsfc.nasa.gov/shadoz/>
- [5] <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/>
- [6] P. A. NEWMAN – R. MCKENZIE, UV impacts avoided by the Montreal Proto-
col, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 10 (7), 1152-1160, 10.1039/c0pp00387e, 2011;
P. NEWMAN – E. R. NASH – C. S. LONG, et al., Ozone Depletion, in “State of
the Climate in 2010”, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 92 (6), S170-171; [http://acdb-ext.
gsfc.nasa.gov/People/Newman/](http://acdb-ext.gsfc.nasa.gov/People/Newman/)
- [7] <http://tes.jpl.nasa.gov/mission/O3SourceSink/>
- [8] M. I. HEGGLIN (Lead Author) – D. W. FAHER – M. MCFARLAND – S. A.
MONTZKA – E. R. NASH, Twenty Questions and Answers About the Ozone
Layer: 2014 Update, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, World
Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2015.
- [9] P. A. NEWMAN, Why Isn't the Ozone Hole Story Already History? (Webinar),
In OzonAction Webinar Series, June 17, 2015. Retrieved from [http://www.
unep.org/ozonaction/InformationResources/OzonActionWebinar/2015/
WhyIsntheOzoneHoleStoryAlreadyHistory/tabid/1060219/Default.aspx](http://www.unep.org/ozonaction/InformationResources/OzonActionWebinar/2015/WhyIsntheOzoneHoleStoryAlreadyHistory/tabid/1060219/Default.aspx)
- [10] P. A. NEWMAN, et al., What would have happened to the ozone layer if chloro-
fluorocarbons (CFCs) had not been regulated?, *Atmos. Chem. and Phys.*, 9(6),
2113-2128, 2009.
- [11] H. C. LI – K. S. CHEN – C. H. HUANG – H. K. WANG, Meteorologically adjust-
ed long-term trend of ground-level ozone concentrations in Kaohsiung Coun-
ty, southern Taiwan, *Atmos. Environ.*, 44 (29), 3605-3608, ISSN 1352-2310,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.04.011>, 2010.
- [12] A. KLUMPP – W. ANSEL – G. KLUMPP – V. CALATAYUD – J. P. GARREC –
S. HE – J. PENUELAS – Á. RIBAS – H. RO-POULSEN – S. RASMUSSEN – M. JOSÉ
SANZ – P. VERGNE, Ozone pollution and ozone biomonitoring in European
cities. Part I: Ozone concentrations and cumulative exposure indices at urban

- and suburban sites, *Atmos. Environ.*, 40 (40), 7963-7974, ISSN: 1352-2310, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.07.017>, 2006.
- [13] WMO/IGAC, Impacts of Megacities on Air Pollution and Climate (Lead Authors: T. ZHU – M. L. MELAMED – D. PARRISH – M. GAUSS – L. GALLARDO KLENNER – M. LAWRENCE – A. KONARE – C. LIOUSSE), ISBN: 978-0-9882867-0-2, http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/GAW_205_DRAFT_13_SEPT.pdf, 2012.
- [14] D. D. PARRISH – K. S. LAW – J. STAEHELIN – R. DERWENT – O. R. COOPER – H. TANIMOTO – A. VOLZ-THOMAS – S. GILGE – H.-E. SCHEEL – M. STEINBACHER – E. CHAN, Long-term changes in lower tropospheric baseline ozone concentrations at northern mid-latitudes, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 11485-11504, doi: 10.5194/acp-12-11485-2012, 2012.
- [15] D. D. PARRISH – K. S. LAW – J. STAEHELIN – R. DERWENT – O. R. COOPER – H. TANIMOTO – A. VOLZ-THOMAS – S. GILGE – H.-E. SCHEEL – M. STEINBACHER – E. CHAN, Lower tropospheric ozone at northern mid-latitudes: Changing seasonal cycle, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1631-1636, doi: 10.1002/grl.50303, 2013.
- [16] S. J. OLTMANS, et al., Recent tropospheric ozone changes – A pattern dominated by slow or no growth, *Atmos. Environ.*, 67, 331-351, 2013.
- [17] O. R. COOPER, et al., Global distribution and trends of tropospheric ozone: An observation-based review, *Elementa*, 2: 000029, doi: 10.12952/journal.elementa.000029, 2014.
- [18] D. D. PARRISH – H. B. SINGH – L. MOLINA – S. MADRONICH, Air quality progress in North American megacities: A review, *Atmos. Environ.*, 45 (39), 7015-7025, 2011.
- [19] E. GERASOPOULOS – G. KOUVARAKIS – M. VREKOUSIS – C. DONOUSSIS – N. MIHALOPOULOS – M. KANAKIDOU, Photochemical ozone production in the Eastern Mediterranean, *Atmos. Environ.*, 40, 3057-3069, doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.12.061, 2006.
- [20] N. MIHALOPOULOS, et al., Finokalia ozone measurements (unpublished data), personal communication, 2015.
- [21] H. WORDEN, et al., Decadal record of satellite carbon monoxide observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 13(2), 837-850, doi: 10.5194/acp-13-837-2013, 2013.
- [22] B. N. DUNCAN – L. N. LAMSAL – A. M. THOMPSON – Y. YASHIDO – Z. LU – D. G. STREETS – M. M. HURWITZ – K. E. PICKERING, A space-based, high-resolution view of notable changes in urban NO_x pollution around the world (2005-2014), *J. Geophys. Res.*, 121, doi: 10.1002/2015JD024121, 2016; Additional data and figures from: <http://svs.gsfc.nasa.gov/Gallery/AirQuality.html> and <https://>

- www.nasa.gov/content/goddard/new-nasa-images-highlight-us-air-quality-improvement/#.Vj197iuN1-9.
- [23] <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/emissions-of-ozone-precursors-version/emissions-of-ozone-precursors-version>
- [24] <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/emission-trends-of-acidifying-pollutants-3>
- [25] V. FIOLETOV – G. LABOW – R. EVANS – E. HARE – U. KOEHLER – C. MCELROY – K. MIYAGAWA – A. REDONDAS – V. SAVASTIOUK – A. SHALAMTANSKY – J. STAEHELIN – K. VANICEK – M. WEBER, Performance of the ground-based total ozone network assessed using satellite data, *J. Geophys. Res.*, 13, doi: 10.1029/2008JD009809, 2008.
- [26] <http://www.bioacademy.gr/lab/zerefos/H8OF/measurements>
- [27] M. VAN ROOZENDAEL, et al., Validation of Ground-Based Visible Measurements of Total Ozone by Comparison with Dobson and Brewer Spectrophotometers, *J. Atmos. Chem.*, 29(1), 55-83, 1998.
- [28] C. S. ZEREFOS, Long-term ozone and UV variations at Thessaloniki, Greece, *Phys. and Chem. of the Earth*, 27, 455-460, 2002.
- [29] <http://www.io3.ca/Albums>
- [30] D. HUBERT, et al., Ground-based assessment of the bias and long-term stability of fourteen limb and occultation ozone profile data records, *Atmos. Meas. Tech. Disc.*, 8, 6661-6757, doi: 10.5194/amtd-8-6661-2015, 2015.
- [31] <http://www.ndsc.ncep.noaa.gov/>
- [32] V. THOURET – A. MARENCO – J. A. LOGAN – P. NÉDÉLEC – C. GROUHEL, Comparisons of ozone measurements from the MOZAIC airborne program and the ozone sounding network at eight locations, *J. Geophys. Res.*, 103(D19), 25695-25720, doi: 10.1029/98JD02243, 1998.
- [33] A. M. THOMPSON – N. V. BALASHOV – J. C. WITTE – G. J. R. COETZEE – V. THOURET – F. POSNY, Tropospheric ozone increases in the southern African region: Bellwether for rapid growth in southern hemisphere pollution?, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 9855-9869, 2014.
- [34] J. HARRISON, The Solution to Global Warming is to Change the Way we do Things. Why? (Presentation), At Build Green Expo 09, Melbourne, April 2009. Retrieved from http://www.tececo.com/document.conference_presentations.php
-

ΠΑΝΗΓΥΡΙΚΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 22^{ΑΣ} ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2015

Ο ΜΙΤΟΣ ΤΗΣ ΑΡΙΑΔΝΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΤΗΣΗ
ΤΗΣ ΧΑΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΑΠΟ ΤΟΝ ΛΑΒΥΡΙΝΘΟ ΤΩΝ ΜΑΥΡΩΝ ΟΠΩΝ¹

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΕΔΡΟΥ
κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Β. ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΥ

Τὸ ἔτος 2015 σηματοδότησε δύο σημαντικὰ καὶ συσχετιζόμενα γεγονότα στὴ φυσικὴ τῆς βαρύτητας. Τὸ πρῶτο εἶναι τὰ ἑκατοστὰ γενέθλια τῆς θεωρίας τῆς γενικῆς σχετικότητας τοῦ Einstein, μιᾶς κλασικῆς καὶ μὲ τὶς δύο ἔννοιες τοῦ ὄρου θεωρίας τοῦ βαρυτικοῦ πεδίου, ἡ ὁποία ἀποδείχτηκε ἐντελῶς ἐπιτυχῆς στὴν ἐξήγηση πολλῶν βαρυτικῶν καὶ κοσμολογικῶν φαινομένων. Δεύτερον καὶ ἐξίσου σημαντικό γεγονός πού διαδραματίστηκε τὸν Σεπτέμβριο καὶ Δεκέμβριο τοῦ 2015 ἦταν ἡ ἀνακάλυψη τῶν βαρυτικῶν κυμάτων ἀπὸ τὰ συμβολομετρικὰ πειράματα LIGO καὶ VIRGO (USA) [1]. Τὰ βαρυτικὰ κύματα ἦταν μία ἀπὸ τὶς πιὸ σημαντικὲς προβλέψεις τῆς θεωρίας τῆς γενικῆς σχετικότητας, ἡ ὁποία ἔγινε τὸ 1916 ἀπὸ τὸν ἴδιο τὸν Einstein. Ὡστόσο, ἡ πολὺ ἀσθενὴς τους φύση εἶχε ὡς ἀποτέλεσμα νὰ μὴν ἀνακαλυφθοῦν παρὰ μόνο ἑκατὸ χρόνια μετὰ, ὅταν ἡ τεχνολογία συμβολομέτρων ὑψηλῆς ἀκρίβειας τὸ ἐπέτρεψε.

Μία ἄλλη πρόβλεψη τῆς θεωρίας τῆς γενικῆς σχετικότητας, πού μάλιστα σχετίζεται μὲ τὴν προέλευση τῶν βαρυτικῶν κυμάτων πού ἀνιχνεύτηκαν στὰ πειράματα LIGO καὶ VIRGO, εἶναι οἱ «μελανὲς ὀπές», πού ἀποτελοῦν καὶ τὸ κύριο θέμα τῆς ὁμιλίας μου. Πράγματι, τὰ βαρυτικὰ κύματα

1. Σὲ συνεργασία μὲ τὸν Νίκο Μαυρόματο.

πού παρατηρήθηκαν όφείλονται σέ διαταραχές του χωροχρόνου (κυματισμούς) πού προήλθαν από τήν περιστροφική συνένωση δύο μελανών όπών σέ μία μεγαλύτερη, περιστρεφόμενη, με μάζα όσο 62 μάζες ήλιου σέ απόσταση 1,3 δισεκατομμυρίων έτών φωτός από τή Γή.

Οί μελανές όπές αποτελοϋν ιδιάζουσες λύσεις τών βαρυτικών έξισώσεων του Einstein για τή μετρική (δηλαδή τó πεδίο βαρύτητας). Οί βαρυτικές αυτές έξισώσεις χαρακτηρίζονται από μαθηματικές άπειρίες στο σημείο εκείνο του χωροχρόνου πού αντιστοιχεί στο κέντρο βαρύτητας του φυσικού συστήματος ή βαρυτική κατάρρευση του όποιου προκάλεσε τόν σχηματισμό τής μελανής όπής.

Οί συνθήκες δημιουργίας τέτοιων άπειρων βαρυτικών συστημάτων όφείλονται σέ καταστάσεις όπου ή πυκνότητα ενέργειας ενός ούρανιου σώματος με μάζα υπερβαίνει μια κρίσιμη τιμή, έτσι ώστε ή λεγόμενη βαρυτική κατάρρευση νά λάβει χώρα.

Πιστεύεται σήμερα ότι τέτοιες μελανές όπές υπάρχουν στο κέντρο κάθε γαλαξία ή δημιουργοϋνται σέ διάφορα άλλα σημεία του σύμπαντος από τή βαρυτική κατάρρευση ούράνιων σωμάτων, για παράδειγμα υπερκαινοφανών αστέρων. Μέχρι σήμερα δέν είναι δυνατόν νά παρατηρηθοϋν άμεσα οί μελανές όπές, είναι όμως δυνατόν νά έχουμε έμμεση παρατήρηση, για παράδειγμα μέσω αρκετά γρήγορης περιστροφής τής ύλης γύρω από τó ένα από τά δύο κέντρα σέ δίδυμο αστρικό σύστημα (binary star system) [2].

Τό βασικό χαρακτηριστικό μιās μελανής όπής είναι τó πολύ ισχυρό βαρυτικό πεδίο, θεωρητικά άπειρο στο κέντρο της, όπως αναφέραμε πιό πάνω, λόγω τών μαθηματικών άπειριών τής καμπυλότητας του χώρου πού χαρακτηρίζει τή συγκεκριμένη λύση τών βαρυτικών έξισώσεων.

Η άπειρία τής καμπυλότητας εκδηλώνεται σέ συγκεκριμένες παρατηρήσιμες ποσότητες τής θεωρίας τής γενικής σχετικότητας στην τιμή τών όποιων ύπάρχει συμφωνία μεταξύ όλων τών δυνατών παρατηρητών και έτσι ή άπειρία του μετρικού τανυστή στο βαρυτικό κέντρο τών όπών είναι ανεξάρτητη από τó σύστημα συντεταγμένων στο όποιο γίνεται ή παρατήρηση («φυσική» άπειρία).

Οί μελανές όπές, ώστόσο, χαρακτηρίζονται από μία άλλη άπειρία, πού όμως δέν είναι φυσική, μιá και όφείλεται σέ ανεπαρκές σύστημα συντεταγμένων του χωροχρόνου. Αυτή ή δεύτερη (μη φυσική άπειρία) του μετρικού τανυστή πού χαρακτηρίζει τίς μελανές όπές αντιστοιχεί σέ απόσταση από τó κέντρο τους τής τάξης:

$$r = 2GM \quad (1)$$

όπου G είναι η βαρυτική σταθερά και M η μάζα της μελανής όπης. Αυτή η απόσταση αντιστοιχεί στην ακτίνα μιᾶς σφαίρας που περικλείει τη βαρυτική άπειρία και ονομάζεται (έξωτερικώς) ὀρίζοντα Schwarzschild². Στόν ἀπλούστερο τύπο μελανῆς ὀπῆς, μὴ περιστρεφόμενης, μὲ σφαιρική συμμετρία, που λέγεται καὶ μελανή ὀπή Schwarzschild πρὸς τιμὴν τοῦ γεωμανοῦ μαθηματικοῦ-φυσικοῦ που τὴν ἀνακάλυψε, ὑπάρχει μόνο ἓνας ὀρίζοντας μὲ ἀκτίνα (1).

Στὴ γειτονία τοῦ ὀρίζοντα αὐτοῦ ὁ χωροχρόνος εἶναι σχεδὸν ἐπίπεδος καὶ ἔτσι ἓνας παρατηρητῆς που τὸν διασχίζει δὲν θὰ καταλάβει τίποτε. Ἐξαιτίας ὅμως τοῦ πολὺ ἰσχυροῦ βαρυτικοῦ πεδίου τῆς ὀπῆς, τίποτε, οὔτε τὸ φῶς, δὲν μπορεῖ νὰ ξεφύγει ἀπὸ τὸν ὀρίζοντα καὶ ἔτσι ὅποιοδήποτε σῶμα ἢ σωματίδιο διασχίσει τὸν ὀρίζοντα εἶναι καταδικασμένο νὰ πέσει στὸ βαρυτικὸ κέντρο χωρὶς πιθανότητες ἐξόδου [3].

Αὐτὸς εἶναι καὶ ὁ λόγος ἀπὸ τὸν ὁποῖο ἡ μελανή ὀπή πῆρε τὸ ὄνομά της. Ἡ μετρικὴ γιὰ μία τετραδιάστατη (περιλαμβανομένου καὶ τοῦ χρόνου) ὀπή Schwarzschild δίνεται ἀπὸ τὸ ἐξῆς ἀναλλοίωτο ἀπειροστὸ διάστημα μεταξὺ γεγονότων τοῦ χωροχρόνου:

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GM}{r} \right) dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{r}} + r^2 (\sin^2 \theta d\varphi^2 + d\theta^2) \quad (2)$$

ὅπου (θ, φ) εἶναι γωνιακὲς μεταβλητὲς r γιὰ ἀκτινωτὴ ἀπόσταση καὶ t ὁ Schwarzschild χρόνος.

Ὁ ἀναγνώστης θὰ παρατηρήσει ὅτι, ἐκτὸς ἀπὸ τὸ σημεῖο $r=0$, ἐπίσης τὸ σημεῖο (1) ὀδηγεῖ σὲ ἀπειρία τῶν συνιστωσῶν τοῦ μετρικοῦ ταυνοστῆ που ἀντιστοιχεῖ στὴν (2). Ἡ δεύτερη ἀπειρία δὲν ἀντιστοιχεῖ σὲ φυσικὴ ἀπειρία, μιὰ καὶ σὲ ἀντίθεση μὲ ἐκείνη στὸ $r=0$ μπορεῖ νὰ ἐξαλειφθεῖ μὲ ἀλλαγὴ τοῦ συστήματος συντεταγμένων.

2. Σὲ ἐξάρτηση ἀπὸ τὸν τύπο τῆς μελανῆς ὀπῆς, μπορεῖ νὰ ὑπάρχει πάνω ἀπὸ ἓνας ὀρίζοντας –γιὰ παράδειγμα ἡ περιστρεφόμενη ὀπή Kerr [4]– που ἔχει μὴ μηδενικὴ στροφορμὴ καὶ ἐκτιμᾶται ὅτι ἀποτελεῖ τὸν τύπο μελανῆς ὀπῆς που συναντιέται στὸ φυσικὸ σύμπαν. Ἡ περιστρεφόμενη ὀπή Kerr ἔχει ἓναν ἐσωτερικὸ ὀρίζοντα ὁμόκεντρο μὲ τὸν ἐξωτερικὸ. Τὸ ἴδιο συμβαίνει καὶ σὲ μελανὲς ὀπὲς που εἶναι ἠλεκτρικὰ φορτισμένες.

Ό όρίζοντας μιᾶς μελανῆς όπῆς μπορεῖ νά χαρακτηριστεῖ σάν ἕνα διατηρήσιμο φορτίο Noether [5], μιᾶ ιδιότητα ἡ όποία ισχύει μόνο σέ μακροσκοπικές όπές πού μποροῦν νά θεωρηθοῦν κλασικά συστήματα. Θα ἐπανέλθουμε σέ αὐτό τὸ σημειῶ ἀργότερα, όταν θα συζητήσουμε συμμετρίες πού μπορεῖ νά χαρακτηρίζουν τὸ σύστημα μιᾶς μελανῆς όπῆς.

Ἐπὶ τοῦ παρόντος θα ἀναφερθοῦμε σέ μιᾶ σημαντική ιδιότητα τῶν μελανῶν όπῶν, ἡ όποία σχετίζεται με τὴν κβαντική ὑπόστασή τους. Ὅλα τὰ σώματα εἶναι σέ μικρὸ ἢ μεγάλο βαθμὸ κβαντικά, ἐφόσον ὁ κλασικός μακροσκοπικός κόσμος πού ἀντιλαμβανόμαστε με τίς αἰσθήσεις μας εἶναι προσέγγιση τοῦ κβαντικοῦ. Ἡ κβαντική φύση μιᾶς μαύρης όπῆς δηλώνεται, ὅπως πρότεινε γιὰ πρώτη φορά ὁ Stephen Hawking, με τὴν «ἐξάτμισή» τους. Αὐτή ἡ ιδιότητα όφείλεται στὴ λεγόμενη «ἀκτινοβολία Hawking» καὶ μπορεῖ κανεὶς νά τὴν ἐννοήσει με ἀπλοὺς ὅρους (στοὺς όποίους ὅμως ἐλλοχεύει ὁ κίνδυνος τῆς ὑπεραπλούστευσης, ὅπως θα συζητήσουμε παρακάτω).

Ἄς ὑποθέσουμε ὅτι οἱ κβαντικές διακυμάνσεις μιᾶς μελανῆς όπῆς ὀδηγοῦν σέ μιᾶ μὴ μηδενική θερμοκρασία καὶ ἔτσι οἱ διάφορες διεγέρσεις τοῦ κενοῦ θα βρεθοῦν σέ ἕνα λουτρό θερμοτήτας. Ἐνα φωτόνιο πού ἀντιστοιχεῖ στὴ μετάβαση μιᾶς διεγερμένης κατάστασης στὴ βασική, καὶ τὸ όποιο ἐκπέμπεται ἀπὸ τὸν ὀρίζοντα (1) τῆς μελανῆς όπῆς (μιᾶ καὶ τίποτα, ὅπως ἀναφέραμε, δὲν μπορεῖ νά βγεῖ ἀπὸ τὸ ἐσωτερικὸ μέρος τοῦ ὀρίζοντα μιᾶς μελανῆς όπῆς), μπορεῖ νά ὑποστῆ διάσπαση στὴ λεγόμενη δίδυμη γένεση με τὴν ἐκπομπὴ ἑνὸς ζεύγους ἠλεκτρονίου-ποζιτρονίου. Τὸ ἕνα ἀπὸ δυὸ σωματίδια μπορεῖ νά πέσει μέσα στὸν ὀρίζοντα, ἐνῶ τὸ ἄλλο μπορεῖ νά προωθηθεῖ στὸν ἐλεύθερο χῶρο καὶ ἔτσι νά ἀποτελέσει μιᾶ συγκεκριμένη μορφή ἀκτινοβολίας Hawking – ἡ τελευταία πάντα θεωρούμενη ὅτι ἐκπέμπεται ἀπὸ τὸν ὀρίζοντα τῆς μελανῆς όπῆς, ὅπως ἀναφέραμε ἤδη.

Μιᾶ τέτοια ἐκπομπὴ ὅμως ἔχει ἀντίκτυπο στὴ μάζα τῆς όπῆς, ἡ όποία λόγω διατήρησης τῆς ἐνέργειας ἐλαττώνεται με ρυθμὸ ἀνάλογο τῆς ἐκπομπῆς ἐνέργειας πού μεταφέρεται ἀπὸ τὴν ἀκτινοβολία Hawking. Ἡ ἐλάττωση τῆς μάζας συνεπάγεται καὶ αὔξηση τῆς θερμοκρασίας T μιᾶς μελανῆς όπῆς, ἀφοῦ ἡ τελευταία συνδέεται με τὴ μάζα τῆς M μέσφ τῆς ἐξίσωσης:

$$T = \frac{1}{8\pi GM} \quad (3)$$

(ὅπως ὑπολογίστηκε ἀπὸ τὸν Hawking).

Ἡ ἐλάττωση τῆς μάζας λόγω τῆς ἀκτινοβολίας Hawking ἐπιφέρει στή συνέχεια σμίκρυνση τῆς μελανῆς ὀπῆς, μιὰ καὶ ὁ ὀρίζοντας (1) γίνεται ὄλο καὶ πιὸ μικρός. Τὸ φαινόμενο μπορεῖ νὰ προσομοιωθεῖ μὲ τὸ τί συμβαίνει σὲ ἀναμμένα κάρβουνα, ὅπου ὁ ὄγκος τους μικραίνει ὅταν καίγονται καὶ ταυτόχρονα ἐξατμίζεται μεγάλο μέρος τῆς μάζας τους μέχρι ποὺ γίνονται στάχτη, ποὺ ἀποτελεῖ καὶ τὸ τελευταῖο στάδιο τῆς ἐξατμίσεώς τους. Βέβαια, στὴν περίπτωση τῆς μελανῆς ὀπῆς, ἡ προσομοίωση αὐτὴ δὲν ἀνταποκρίνεται στὸ πραγματικὸ κβαντικὸ φαινόμενο ποὺ εὐθύνεται γιὰ τὴν «ἐξατμηση» καὶ τὸ θερμικὸ φάσμα τῶν κβαντικῶν διεγέρσεων τῆς ὀπῆς, ἂν τὴ δοῦμε ὡς κβαντικὸ σύστημα ἀποτελούμενο ἀπὸ διαφορὲς καταστάσεις ἐνέργειας. Γι' αὐτὸ καὶ εἴπαμε πιὸ πάνω ὅτι ἡ ἀναλογία αὐτὴ εἶναι μιὰ ὑπεραπλούστευση.

Ἡ σημαντικὴ συνέπεια τῆς ἀκτινοβολίας Hawking ἔχει νὰ κάνει μὲ τὴ συμπεριφορὰ ἐνὸς ὕλικου συστήματος στὸ περιβάλλον μιᾶς ἐξατμιζόμενης κβαντικῆς μελανῆς ὀπῆς. Ἡ ὀπὴ μετὰ ἀπὸ κάποιον χρονικὸ διάστημα θὰ μικρύνει τόσο πολὺ, ποὺ ἡ ἀκτίνα Schwarzschild (1) θὰ φτάσει νὰ ἔχει μέγεθος γύρω στὸ μῆκος τοῦ Planck ($l_p \sim 10^{-35} m$). Τόσο μικρὲς ὀπέδες δὲν μποροῦν πλέον νὰ γραφοῦν μὲ τὴν κλασικὴ ἐξίσωση τοῦ Einstein, μιὰ καὶ ἀνήκουν πλέον στὸ πλαίσιο τῶν θεωριῶν κβαντικῆς βαρύτητας, ἡ ὁποία ἀκόμη διαφεύγει τῆς ἀνθρώπινης κατανόησης. Ἔτσι δὲν μποροῦμε νὰ ποῦμε τίποτε ἀκριβὲς γιὰ τὸ τί συμβαίνει μὲ τόσο μικρὲς ὀπέδες, οὔτε μὲ τὸ τί συμβαίνει μὲ τίς καταστάσεις τῆς ὕλης στὸ περιβάλλον μιᾶς τέτοιας ἐξατμιζόμενης μελανῆς ὀπῆς.

Ἀφελῶς σκεπτόμενοι μὲ βάση τίς μικροσκοπικὲς μας ἀντιλήψεις τείνουμε νὰ ὑποστηρίξουμε πῶς σὲ μιὰ τέτοια κατάσταση ὑπάρχει παράδοξο. Στὴν ἀρχή, ὅταν ἡ ὀπὴ εἶχε ἀκόμη μακροσκοπικὸ μέγεθος, τὸ ὕλικὸ σῶμα βρισκόταν σὲ μιὰ «καθαρή», ὅπως λέμε, κβαντικὴ κατάσταση. Μετὰ τὴν ἐξατμηση τὸ ὕλικὸ σῶμα βρίσκεται σὲ «μικτὴ θερμικὴ» κατάσταση, καθὼς μέρος τῶν κβαντικῶν ἀριθμῶν του ἐνδέχεται νὰ ἔχει ἐγκλωβιστεῖ μέσα στὸν ὀρίζοντα τῆς μικροσκοπικῆς ὀπῆς καὶ ἔτσι ὁ παρατηρητὴς ἀπλῶς βλέπει μιὰ ἐξέλιξη ἀπὸ μιὰ καθαρὴ κβαντικὴ σὲ μιὰ μικτὴ θερμικὴ κατάσταση, ὅπου χάθηκε σημαντικὴ πληροφορία [6]. Αὐτὸ τὸ παράδοξο δὲν μπορεῖ νὰ χαρακτηρίζεται ἀπομονωμένα κβαντικὰ συστήματα καὶ ἔτσι τὸ ὄλο σύστημα ἀποτελέσει πρόβλημα/πρόκληση τῆς κβαντικῆς θεωρίας τῆς βαρύτητας σχετικὰ μὲ τὴ συνέπεια ὡς πρὸς τὸν κβαντικὸ κόσμον. Τέτοια ἐξελι-

κτικὰ φαινόμενα χαρακτηρίζουν άνοικτὰ κβαντικὰ συστήματα σὲ ἀλληλεπίδραση μὲ μακροσκοπικὰ (σχεδὸν κλασικὰ) περιβάλλοντα καὶ εἶναι γνωστὰ μὲ τὸ ὄνομα «περιβαλλοντολογικὰ ἐπαγόμενη κβαντικὴ ἀποσυννοχή» [7] (quantum decoherence). Ἄν καὶ μιὰ τέτοια ἐξέλιξη ἔχει παρατηρήσιμες ἐπιπτώσεις στὴν ἐξέλιξη ἑνὸς κβαντικοῦ συστήματος [8], δὲν ὑπάρχει, ὅπως ἀρχικὰ πιστευόταν, καμία ἀσυνέπεια μὲ τὴν κβαντικὴ θεωρία. Ὁ λόγος εἶναι κατ' ἀρχὴν ἀπλός:

Δὲν ὑπάρχει στὴν ἀρχὴ καθαρὴ κβαντικὴ κατάσταση, ἀφοῦ τὸ κβαντικὸ σῶμα στὴ γειτονιὰ μιᾶς μελανῆς ὀπῆς (μακροσκοπικῆς ἢ μικροσκοπικῆς) θὰ βρίσκεται πάντοτε σὲ μιὰ μορφή ἐναγκαλισμοῦ (entanglement) ὅσον ἀφορᾷ κβαντικὲς καταστάσεις. Ἄρα ἀπὸ τὴν ἀρχὴ θὰ βρίσκεται σὲ μιὰ μικτὴ κατάσταση καὶ ἔτσι δὲν ὑπάρχει ἐξέλιξη ἀπὸ «καθαρὴ» σὲ «μικτὴ» κατάσταση κατ' ἀρχὴν. Ὅμως θὰ ἤθελε κανεὶς νὰ ἀκολουθήσει ποῦ πηγαινέει ἢ πληροφορία σὲ αὐτὸν τὸν ἐναγκαλισμὸ μεταξὺ κβαντικοῦ συστήματος καὶ μαύρης ὀπῆς. Καὶ αὐτὸ εἶναι τὸ ζήτημα γιὰ τὸ ὁποῖο οἱ γνῶμες τῶν φυσικῶν ἀκόμη διχάζονται.

Κλασικὲς θεωρίες πεδίου βαρύτητας, ποὺ χαρακτηρίζονται ἀπὸ βαθμοὺς ἐλευθερίας οἱ ὁποῖες εἶναι («τοπικὲς») (local) συναρτήσεις τοῦ χωροχρόνου (δηλαδὴ χαρακτηρίζονται ἀπὸ «σημειακὰ» πεδία), δὲν ἐπαρκοῦν στὸ νὰ δώσουν πειστικὲς ἀπαντήσεις. Ἄς δοῦμε γιατί. Ὅταν κάποια ὕλικὴ κατάσταση, π.χ. ἓνα σωματίδιο, διασχίσει τὸν ὀρίζοντα μιᾶς μελανῆς ὀπῆς, τότε ἢ πληροφορία γιὰ τοὺς κβαντικούς του ἀριθμοὺς χάνεται, μιὰ καὶ ἢ μελανὴ ὀπὴ χαρακτηρίζεται μόνον ἀπὸ τρία διατηρητέα κλασικὰ φορτία, ποὺ μεταφέρουν τὴν πληροφορία γιὰ τὴν ὀπὴ σὲ ἓναν παρατηρητὴ στὸ ἄπειρο. Ἡ πληροφορία αὐτὴ διατηρεῖται στὸν χρόνο. Τὰ τρία φορτία εἶναι τὸ ἠλεκτρικὸ φορτίο, ἢ μάζα καὶ ἢ γωνιακὴ στροφορμὴ τῆς ὀπῆς, ἐνῶ τὸ σχετικὸ θεώρημα ποὺ ὀδηγεῖ σὲ αὐτὸ τὸ συμπέρασμα φέρει τὴν ὀνομασία «θεώρημα τῆς ἀπουσίας κόμης γιὰ τὴν ὀπὴ», ἐπειδὴ κάθε διατηρήσιμο κβαντικὸ φορτίο ἀποκαλεῖται «κόμη» τῆς μελανῆς ὀπῆς [9].

Ἐτσι ἓνα ἠλεκτρόνιο ποὺ φέρει ἐξ ὀρισμοῦ μὴ τετριμμένο κβαντικὸ λεπτονικὸ ἀριθμὸ, ὅταν πέσει μέσα στὴν ὀπὴ, ὀδηγεῖ σὲ ἀπώλεια πληροφορίας γιὰ ἓναν παρατηρητὴ σὲ ἄπειρη (πρακτικὰ πολὺ μεγάλη) ἀπόσταση ἀπὸ τὸ κέντρο τῆς ὀπῆς, ἢ ὁποῖα δὲν μπορεῖ νὰ ἀνακτηθεῖ. Αὐτὸ ὅμως δὲν ἀνταποκρίνεται στὴν ἀλήθεια, καὶ εἶναι οἱ ὁπὲς σὲ θεωρίες ποὺ περιλαμβάνουν μὴ σημειακὰ πεδία (ὅπως ἢ θεωρία χορδῶν) ποὺ χαρακτηρίζονται ἀπὸ

άπειρία κβαντικών φορτίων αντιστοιχούντων σε θεωρίες βαθμίδας (gauge), κατ' επέκταση του ηλεκτρομαγνητισμού, θεωρίες οι οποίες οδηγούν σε μαθηματικά αύστηρες ιδιότητες διατήρησης πληροφορίας.

Η σημαντική μαθηματική ιδιότητα της ύλης στη γειτονιά των μελανών όπων της θεωρίας χορδών είναι ή «πλήρης ολοκληρωσιμότητά» της (complete integrability), δηλαδή ο χαρακτηρισμός της από μια άπειρία κβαντικών αριθμών [10], που αντιστοιχούν σε φορτία βαθμίδας τα όποια διατηρούνται στον χρόνο.

Τέτοιες ιδιότητες δεν χαρακτηρίζουν θεωρίες βαρύτητας που αντιστοιχούν σε σημειακά πεδία, αλλά αποτελούν βασική ιδιότητα των θεωριών βαρύτητας που προκύπτουν στο πλαίσιο της θεωρίας χορδών [10].

Πραγματικά, οι τελευταίες χαρακτηρίζονται από μια άπειρία κβαντικών καταστάσεων, με φάσμα τέτοιο ώστε ή ενεργός περιγραφή του κόσμου μας σε χαμηλές (σε σχέση με την κλίμακα των χορδών, M_s) ενέργειες να δίνεται σε καλή προσέγγιση με βάση καταστάσεις με μάζα μηδέν ή το πολύ μέχρι την κλίμακα μάζας M_s . Μετά από αυτή την κλίμακα οι κβαντικές καταστάσεις μιᾶς χορδῆς που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς βαθμούς ιδιοταλαντώσεων αντιστοιχούν σε κατάσταση με μάζα που είναι άκέραιο πολλαπλάσιο της μάζας M_s . Αυτές συνιστούν μια άπειρία καταστάσεων, ενώ οι καταστάσεις με μάζα μηδέν ή μέχρι M_s είναι πεπερασμένες και συνιστούν το φάσμα διεγέρσεων της χαμηλῆς ενέργειας θεωρίας πεδίου που αντιστοιχεί στην εν λόγω θεωρία χορδών.

Μια μελανή όπη σε αυτό το σύστημα περιγράφεται έπομένως από άπειρες δομές τέτοιων καταστάσεων με μάζα μεγαλύτερη ή ίση του M_s . Άγνοώντας περιπλοκότερες σχετιζόμενες με τη λεπτομερή θεωρία συμπαγοποίησης (compactification) των ἔξτρα διαστάσεων του χώρου, ὅπως απαιτείται από τα μαθηματικά θεμελίωσης της θεωρίας χορδών, τουλάχιστον στην πιό προσφιλή της και εύρως αποδεκτή μορφή, μπορούμε να εξετάσουμε σε αυτό το πλαίσιο τα φαινόμενα που αναφέραμε προηγουμένως: την ακτινοβολία Hawking και τη διατήρηση πληροφορίας κατά τη διάρκεια της ἔξατμίσεως μιᾶς μελανῆς όπῆς στη θεωρία χορδών.

Στο πλαίσιο της ακτινοβολίας Hawking ή γενική διαπίστωση που κάναμε προηγουμένως σχετικά με τη φύση της ακτινοβολίας, ως συσχετιζόμενης με μεταπτώσεις διεγερμένων καταστάσεων της μελανῆς όπῆς, ισχύει αὐτούσια, και μάλιστα με πιό καθαρό τρόπο στη θεωρία χορδών. Πράγ-

ματι, μία μελανή όπη χορδών χαρακτηρίζεται από άπειρία έσωτερικών καταστάσεων, μπορεί κανείς να φανταστεί μια μικροσκοπική περιγραφή τής άκτινοβολίας Hawking ως έξής [11]:

Άς θεωρήσουμε ένα κβαντικό σωματίδιο ύλης που πέφτει μέσα σε μια μελανή όπη στη θεωρία χορδών. Τότε το αποτέλεσμα είναι ή όπη να το απορροφήσει, αλλά, καθώς διασχίζει τον όρίζοντα, ο τελευταίος (θεωρούμενος ως μεμβράνη τής θεωρίας) υφίσταται ανάκρουση με αποτέλεσμα ή όπη να βρεθεί ξαφνικά σε μια διεγερμένη κατάσταση. Η μετάπτωση στη βασική κατάσταση οδηγεί σε έκπομπή φωτονίων από την έξωτερική πλευρά του όρίζοντα τής μεμβράνης. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δίδυμη γένεση με απορρόφηση του ενός από τα δυο προϊόντα (ήλεκτρονίου ή ποζιτρονίου), που στη συνέχεια προκαλεί έκ νέου έκπομπή φωτονίου λόγω τής ανάκρουσης του όρίζοντος/μεμβράνης και ούτω καθ' έξής.

Με αυτό τον τρόπο έχει κανείς μια άκτινοβολία Hawking αλλά διακριτής μορφής. Στο πλαίσιο τής θεωρίας χορδών όμως, υπάρχει και ένα καθαρά μη σημειακό φαινόμενο, το οποίο έχει τη ρίζα του αποκλειστικά στη θεωρία χορδών. Το φαινόμενο αυτό [10] σχετίζεται με την ύπαρξη διακριτών βαθμών έλευθερίας σε συγκεκριμένες καταστάσεις όρμης, και έπομένως, ως άπόρροια τής κβαντικής άρχής τής άπροσδιοριστίας, οί καταστάσεις όρμης δέν μπορούν να έντοπιστούν σε συγκεκριμένα σημεία του χωροχρόνου, δηλαδή αποτελούν έκτεταμένες σολιτονικές καταστάσεις. Τέτοιες καταστάσεις είναι διακριτές καταστάσεις βαθμίδας (gauge) μια και όλες οί καταστάσεις μιās θεωρίας χορδών μπορούν να θεωρηθούν ότι μετασχηματίζονται κατά μη τετριμμένο τρόπο κάτω από κατάλληλους μετασχηματισμούς βαθμίδας.

Στο πλαίσιο μιās θεωρίας χορδών, ή όποια ζεί σε έναν χωροχρόνο D-διαστάσεων, οί διακριτές αυτές καταστάσεις μπορούν να γίνουν κατανοητές ως έξής:

Άν $A_{\mu_1 \dots \mu_n}$ συμβολίζει τον τελεστή πόλωσης ενός πεδίου υποβάθρου, το όποιο άντιστοιχεί σε μια κατάσταση με spin n, και ή κατάσταση αυτή θεωρηθεί ως κατάσταση βαθμίδας (gauge), τότε κανείς έχει την έξής σχέση:

$$(Q^\mu + p^\mu) A_{\mu_1 \dots \mu_n} = 0 \quad (4)$$

όπου ή ποσότητα Q^μ άντιστοιχεί στο λεγόμενο «έλλειμμα κεντρικού φορτίου» (central charge deficit). Το τελευταίο είναι μια ποσότητα που, αν είναι μηδέν, τότε ή θεωρία χορδών είναι σύμμορφη, όπως λέμε, και άντιστοιχεί

σέ χορδές που σέ επίπεδο χωρόχρονου ζοῦν ἀναγκαστικά σέ διαστάσεις $D=10$ (για ὑπερσυμμετρικές θεωρίες).

Ἄν ἀντιθέτως $Q^u \neq 0$, τότε ἡ θεωρία μπορεῖ νά ζεῖ καί σέ διαστάσεις ἄλλες ἀπό τήν κρίσιμη διάσταση 10.

Ἐνα τέτοιο παράδειγμα εἶναι καί ἡ διδιάστατη θεωρία χορδῶν – ἡ ὁποία μπορεῖ νά περιγράψει μιὰ διδιάστατη μελανή ὀπή [12]– ἡ θεωρίες που ἀπορρέουν ἀπό μιὰ σφαιρικά συμμετρική τετραδιάστατη μελανή ὀπή [10]. Σέ τέτοιες καταστάσεις οἱ δείκτες $\mu_i=0,1$, ὅπου $i=1,2,3,\dots,n$ καί ἡ σχέση (4) ἱκανοποιεῖται ἀπό κατάλληλα πεδία ὑποβάθρου που περιγράφουν τήν ὕλη στή γειτονιά ὀρίζοντων μελανῶν ὀπῶν μέ σφαιρική συμμετρία. Τότε παρατηροῦμε ὅτι για ὁρμές:

$$p^u = -Q^u \quad (5)$$

ὑπάρχουν ἔξτρα διακριτοὶ βαθμοὶ ἐλευθερίας στό σύστημα, που ἀντιστοιχοῦν στίς παραπάνω ἀναφερθεῖσες τοπολογικές – μὴ διαδιδόμενες – σολιτονικές διακριτές καταστάσεις. Τέτοιες καταστάσεις, μὴ ἐντοπίσιμες σέ σημειακὸ χωρὸ ἀλλὰ ἐκτεταμένες στό ἄπειρο, συνεισφέρουν ὡς νῆμα τῆς Ἀριάδνης κατὰ τὸν γνωστὸ μῦθο στό νά διατηρεῖται ἡ πληροφορία σέ ἐξατμιζόμενες μελανές ὀπές που ἀλλιῶς θὰ χάνονταν (ὅπως συμβαίνει σέ μιὰ τοπική θεωρία πεδίου που δὲν χαρακτηρίζεται ἀπό τέτοιες διακριτές καταστάσεις). Οἱ διακριτές αὐτές καταστάσεις, ἐπειδὴ ἀντιστοιχοῦν σέ βαθμωτὰ πεδία, καί ἐπομένως σέ βαθμωτὰ φορτία, εἶναι συνεπεῖς μέ τὸ θεώρημα για ἀπουσία κόμης που χαρακτηρίζει τίς μελανές ὀπές γενικά.

Ἐπιπλέον, σέ τέτοιες σφαιρικά συμμετρικές θεωρίες ἡ ὕλη στή γειτονιά τοῦ ὀρίζοντα τῆς ὀπῆς μπορεῖ ἡ ἴδια νά περιγραφεῖ ἀπό διδιάστατα μοντέλα χορδῶν, δηλαδή μοντέλα χορδῶν που εἶναι ἐνσωματωμένα σέ διδιάστατους χωροχρόνους. Ἔτσι οἱ διακριτές καταστάσεις βαθμίδας που ἀναφέραμε ἀντιστοιχοῦν σέ ρεύματα (currents) τὰ ὁποῖα χαρακτηρίζονται ἀπό σύμμορφα $\text{spin} > 1$, στήν οὐσία μιὰ ἀπειρία ἀπό τέτοια spin . Σύμμορφο $\text{spin} 2$ ἀντιστοιχεῖ στόν τανυστὴ ἐνέργειας μιᾶς τέτοιας διδιάστατης θεωρίας που περιγράφει ὕλη στή γειτονιά ἑνὸς ὀρίζοντα μιᾶς σφαιρικά συμμετρικῆς μελανῆς ὀπῆς.

Τὰ spin -ρεύματα ἱκανοποιοῦν μιὰ κλασικὴ Poisson ἄλγεβρα που δὲν εἶναι τίποτε ἄλλο παρὰ μιὰ ἄλγεβρα που διατηρεῖ κλασικά τὸν διδιάστατο ἀπειροστό ὄγκο ἑνὸς φασικοῦ χώρου (phase space) δύο διαστάσεων:

$$d\Omega = dp \wedge dq \quad (6)$$

όπου p είναι η όρμη και q η θέση του διδιάστατου συστήματος που περιγράφει την ύλη κοντά στον ορίζοντα της μελανής όπης.

Τέτοιες συμμετρίες στον φασικό χώρο λέγονται W_∞ συμμετρίες και είναι χαρακτηριστικές για διδιάστατους (ή σφαιρικά συμμετρικούς) χωροχρόνους στη θεωρία χορδών [13].

Από τη δική μας πλευρά, τέτοιες άπειρες συμμετρίες, με άπειρα διατηρητέα βαθμωτά φορτία που αντιστοιχοῦν στα ρεύματα $J_\mu^{(s)}$, συνεισφέρουν στη διατήρηση τῆς συμφουῶς κβαντικής φύσεως (coherence) τῆς ὕλης στὴν περιοχὴ μιᾶς μελανῆς ὀπῆς, μιὰ καὶ τὸ ὕλικὸ σύστημα τοῦ ὁποῖου ἡ Hamiltonian χαρακτηρίζεται ἀπὸ τέτοιες ἀπειρες συμμετρίες ἐκδηλώνει «πλήρη ὀλοκληρωσιμότητα» (complete integrability).

Ἐπιπλέον, λόγω τοῦ γεγονότος ὅτι τέτοιες W_∞ συμμετρίες μποροῦν νὰ μετατραποῦν σὲ θεωρίες βαθμίδας [14] –μὲ τὸν κατάλληλο τρόπο ποῦ δὲν θὰ ἀναλύσουμε ἐδῶ–, ἡ ὅλη κατάσταση εἶναι συνεπῆς μὲ τὸ θεώρημα ἀπουσίας κόμης τῶν μελανῶν ὀπῶν, ὅπως ἤδη ἀναφέραμε προηγουμένως.

Ἐνα ἄλλο χαρακτηριστικὸ τῶν μελανῶν ὀπῶν στὴ θεωρία χορδῶν εἶναι ὁ συσχετισμὸς ρευμάτων ποῦ ἀντιστοιχοῦν σὲ σύμμορφο spin s μὲ τὴ ροὴ ἀκτινοβολίας Hawking [15,11].

Ἡ ἀκτινοβολία αὐτὴ εἶναι ἀκτινοβολία μελανοῦ σώματος ἀντιστοιχοῦντος σὲ θερμοκρασία $T = \frac{1}{8\pi GM}$ καὶ κατανομὴ Planck:

$$N^\pm(\omega) = \frac{1}{e^{\beta\omega} \pm 1}, \quad \beta = \frac{1}{k_B T} \quad (7)$$

όπου ω εἶναι ἡ συχνότητα τῆς ἀκτινοβολίας καὶ τὸ $+$ ($-$) ἀναφέρεται σὲ φερμιόνια (μποζόνια). Ὅρίζοντας τὶς ποσότητες («ροπές» τῆς ἀκτινοβολίας Hawking):

$$F_n^\pm = \int_0^\infty \frac{d\omega}{2\pi} \omega^{n-1} N^\pm(\omega) = \begin{cases} F_{2n}^+ = (1 - 2^{1-2n}) \frac{B_n}{8\pi n} k^{2n} \\ F_{2n}^- = \frac{1}{8\pi n} k^{2n} \end{cases} \quad (8)$$

όπου B_n εἶναι οἱ ἀριθμοὶ Bernoulli, $B_1 = \frac{1}{6}$, $B_2 = \frac{1}{30}$, ... καὶ $k = \frac{2\pi}{\beta}$ εἶναι ἡ λεγόμενὴ σταθερὰ ἐπιφανειακῆς βαρύτητας. Τὰ ρεύματα $J_{\mu_1 \dots \mu_n}^{(s)}$ τῆς διδιά-

στατης θεωρίας πεδίου που περιγράφει την ακτινοβολία Hawking στὸν ὀρίζοντα τῆς ὀπῆς $J_{t...t}^{2n}$ σχετίζονται μὲ τὶς παραπάνω ροπές μὲσω τῆς σχέσης:

$$\langle J_{t...t}^{2n} \rangle = \frac{B_{2n}}{4\pi n} k^{2n} (1 - 2^{1-2n}) \quad (9)$$

ὅπου $\langle \dots \rangle$ δηλώνει κατάλληλες μέσες τιμές. Στὸν ὀρίζοντα $r=2GM$ τῆς ὀπῆς, ἡ μόνη συντεταγμένη τοῦ διδιάστατου χώρου που περιγράφει τὴ γενική γεωμετρία εἶναι ὁ χρόνος, t , καὶ γι' αὐτὸ τὰ ρεύματα J_{\dots} ἀντιστοιχοῦν σὲ ποσότητες $J_{\mu_1 \dots \mu_n}$. Τὰ ρεύματα αὐτὰ $J_{t...t}^{2n}$ ἀντιστοιχοῦν σὲ $W_{1+\infty}$ συμμετρία, καὶ μάλιστα μπορεῖ νὰ ἀποδειχτεῖ ὅτι εἶναι ὑπεύθυνα γιὰ τὴ διατήρηση τῆς ἐπιφάνειας τοῦ ὀρίζοντα [11], που ὅπως εἶπαμε μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ σὰν φορτίο Noether σὲ κλασικὴ περιγραφή τῆς μελανῆς ὀπῆς.

Τὸ ὅτι W_∞ συμμετρίες διατηροῦν τὸν ὀρίζοντα μπορεῖ νὰ ἀποδειχτεῖ ἀπὸ τὸν συσχετισμὸ τέτοιων συμμετριῶν μὲ διαφορομορφισμοὺς (diffeomorphisms) που διατηροῦν τὴν ἀπειροστὴ ἐπιφάνεια μιᾶς διδιάστατης σφαίρας $S^{(2)}$:

$$\Omega = dy \wedge dx \quad (10)$$

Οἱ γεννήτορες τῶν διαφορομορφισμῶν που διατηροῦν τὴν τιμὴ τῆς ποσότητας (10) δίνονται ἀπὸ τὶς ἐκφράσεις:

$$V_m^l = y^{l+1} x^{l+m+1}, \quad m, l \in \mathbb{Z} \quad (11)$$

καὶ ἡ ἄλγεβρα που ἱκανοποιοῦν κλασικὰ (δηλαδὴ σὲ σχέση μὲ ἀγκύλες Poisson) εἶναι ἡ W_∞ ἄλγεβρα:

$$\{V_m^l, V_m^k\} = (m(k+1) - n(\ell+1)) V_{m+n}^{\ell+k} \quad (12)$$

Τὰ ρεύματα $J_{\mu_1 \dots \mu_n}^{(s)}$ που ἀντιστοιχοῦν στὶς ροπές τῆς ακτινοβολίας Hawking ἱκανοποιοῦν ἀντίστοιχες ἄλγεβρες, ὅπου οἱ συντεταγμένες (x, y) ἀντιστοιχοῦν σὲ αὐτὲς τοῦ ὀρίζοντα τῆς μελανῆς ὀπῆς.

Ἀξίζει νὰ τονιστεῖ ὅτι οἱ συμμετρίες εἶναι κλασικὲς καὶ ἔτσι, μιὰ καὶ ἡ ἔντροπία S τῆς μελανῆς ὀπῆς εἶναι ἀνάλογοι τοῦ ἐμβαδοῦ A τῆς ἐπιφάνειας, σύμφωνα μὲ τὴν ἀνάλυση τῶν Bekenstein – Hawking:

$$S = A/(4\pi) \quad (13)$$

ἡ κλασικὴ διατήρηση τῆς ποσότητας A ἀπὸ τὶς κλασικὲς συμμετρίες W_∞ συνεπάγεται διατήρηση τῆς ἔντροπίας. Κβαντικὰ τὸ φαινόμενο τῆς ἐξάτμισης τύπου Hawking στὸ ὁποῖο ὑπόκειται οἱ ὀπὲς συνεπάγεται τὴν ἐλάτ-

τωση τοῦ ἐμβαδοῦ A , καὶ ἐπομένως τῆς ἐντροπίας, καὶ ἔτσι οἱ κβαντικὲς ἀλγεβρες W_∞ δὲν διατηροῦν τὴν ἐντροπία.

Ὅμως, ὅπως ἀναφέραμε παραπάνω, ἡ W_∞ στὸν φασικὸ χῶρο τῆς ὕλης στὴ γειτονιὰ τῆς μελανῆς ὀπῆς σὲ θεωρίες χορδῶν εἶναι ὑπεύθυνη γιὰ τὴν πλήρη ὀλοκληρωσιμότητα καὶ ἐπομένως κβαντικὴ συνοχή (quantum coherence) τῆς ὕλης στὴν παρουσία κβαντικῶν μελανῶν ὀπῶν. Ὁ λόγος ὀφείλεται στὸν ρόλο διακριτῶν, μὴ ἐντοπισμένων χωροχρονικῶν καταστάσεων ποὺ μεταφέρουν τὰ διατηρούμενα φορτία-κβαντικούς ἀριθμούς τῶν ἀπείρων διαστάσεων W_∞ συμμετριῶν, καὶ οἱ ὁποῖες δροῦν ὅπως ὁ μίτος τῆς Ἀριάδνης, ἔτσι ὥστε ἔταν ἡ πληροφορία πέφτει μέσα στὸν ὀρίζοντα τῆς ὀπῆς νὰ μπορεῖ νὰ ἀνιχνευθεῖ.

Ἀναφορὲς

- [1] B. P. ABBOTT et al. (LIGO Scientific Collaboration and VIRGO Collaboration), Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger, *Phys. Rev. Lett.*, 116, 061102, 2016· *Phys. Rev. Lett.*, 116, 241103, 2016.
- [2] L. BAIOTTI – B. GIACOMAZZO – L. REZZOLLA, Accurate Evolutions of Inspiral-ing Neutron-star Binaries: Prompt and Delayed Collapse to a Black Hole, *Phys. Rev. D*, 78, 084033, 2008· M. SHIBATA – K. TANIGUCHI, Merger of Binary Neutron Stars to a Black Hole: Disk Mass, Short Gamma-ray Bursts, and Quasinormal Mode Ringing, *Phys. Rev. D*, 73, 064027, 2006· R. M. O’LEARY – F. A. RASIO – J. M. FREGEAU, N. IVANOVA – R. O’SHAUGHNESSY, Binary Mergers and Growth of Black Holes in Dense Star Clusters, *Astrophys. J.*, 637, 2006, σ. 937· R. NARAYAN – T. PIRAN – A. SHEMI, *Astrophys. J.*, 379, 1991.
- [3] CH. W. MISNER – K. S. THORNE – J. A. WHEELER, *Gravitation*, W. H. Freeman, 1973.
- [4] R. P. KERR, Gravitational Field of a Spinning Mass as an Example of Algebraically Special Metrics, *Phys. Rev. Lett.*, 11, 1963, σ. 237.
- [5] R. M. WALD, *Phys. Rev. D*, 48, 1993, σ. 3427.
- [6] S. W. HAWKING, *Comm. Math. Phys.* 43, 1975, σ. 199 [Erratum: *Comm. Math. Phys.*, 46, 1976, σ. 206]· *Phys. Rev. D*, 13, 1976, σ. 191.
- [7] W. H. ZUREK, *Phys. Today*, 44 N10, 1991, σ. 36.
- [8] J. R. ELLIS – J. S. HAGELIN – D. V. NANOPOULOS – M. SREDNICKI, *Nucl. Phys. B*, 241, 1984, σ. 381· J. R. ELLIS – N. E. MAVROMATOS – D. V. NANOPOULOS, *Phys. Lett. B*, 293, 1992, σ. 142.

- [9] R. RUFFINI – J. A. WHEELER, Introducing the black hole, *Physics Today*, 24, 1971, σ. 30· J. D. BEKENSTEIN, *Phys. Today*, 33, 1980, σ. 24.
- [10] S. KALARA – D. V. NANOPOULOS, *Phys. Lett. B*, 267, 1991, σ. 343· J. ELLIS – N. E. MAVROMATOS – D. V. NANOPOULOS, *Phys. Lett. B*, 278, 1992, σ. 246.
- [11] J. R. ELLIS – N. E. MAVROMATOS – D. V. NANOPOULOS [arxiv: 1605.01653], *Phys. Rev. D* in press.
- [12] J. R. ELLIS – N. E. MAVROMATOS – D. V. NANOPOULOS, *Phys. Lett. B*, 267, 1991, σ. 465.
- [13] J. R. ELLIS – N. E. MAVROMATOS – D. V. NANOPOULOS, *PoS PLANCK 2015* (2016), σ. 089 [arxiv: 1511.01825].
- [14] A. KAVALOV – B. SAKITA, *Annals Phys.*, 255, 1997 [arxiv:hep-th/9603024] and references therein.
- [15] L. BONORA – M. CVITAN – S. PALLUA – I. SMOLIC, *JHEP* 0812, 2008, σ. 021.
-

ΕΚΘΕΣΕΙΣ ΠΕΠΡΑΓΜΕΝΩΝ
ΤΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΕΡΕΥΝΗΣ

ΕΚΘΕΣΕΙΣ

ΚΕΝΤΡΟΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

Κατά τὸ ἔτος 2015 συνεχίστηκαν οἱ πολλαπλές δραστηριότητες τοῦ Κέντρου, μὲ ἀξιόλογα ἐπιστημονικά ἀποτελέσματα ποὺ δημοσιεύτηκαν σὲ περιοδικὰ διεθνοῦς κύρους, μὲ διεθνεῖς συνεργασίες, ἀποστολές σὲ ἰδρύματα τοῦ ἐξωτερικοῦ καὶ ἐβδομαδιαῖα σεμινάρια μὲ ὁμιλητὲς ἀπὸ τὴν Ἑλλάδα καὶ τὸ ἐξωτερικό.

Ἐπόπτης τοῦ Κέντρου εἶναι ὁ Ἀκαδημαϊκὸς κ. Γεώργιος Κοντόπουλος. Ἡ ἔρευνα τοῦ ΚΕΑΕΜ ἐστίασε στὰ ἀκόλουθα πέντε ἐπιστημονικά πεδία:

- Θεωρητικὴ καὶ Παρατηρησιακὴ Γαλαξιακὴ Δυναμικὴ
- Μὴ Γραμμικὴ Δυναμικὴ καὶ Χάος
- Ἡλιακὴ Φυσικὴ
- Μαγνητοῦδροδυναμικὴ
- Κοσμολογία

Ἐρευνητικὰ προγράμματα

Τὸ ἐρευνητικὸ ἐπιστημονικὸ προσωπικὸ τοῦ ΚΕΑΕΜ συμμετεῖχε κατὰ τὸ 2015 στὰ ἀκόλουθα ἐρευνητικὰ προγράμματα:

«Μὴ γραμμικὰ φαινόμενα σὲ γαλαξιακοὺς δίσκους»

«Γαλαξιακὴ δυναμικὴ»

«Διάχυση ἐρευνητικῶν ἀποτελεσμάτων»

«Study of the stellar orbits and the gravitational potentials in galaxies with theoretical, numerical and observational methods»

«Ὁ ρόλος τῶν μαγνητικῶν πεδίων στὴ θέρμανση τῶν ἡλιακῶν κέντρων δράσης καὶ στὶς ἐκλάμψεις»

«N-body simulations of galactic disks – The relation between observed spiral disk morphologies and the dynamical properties of DM halos»

«Feeding supermassive black holes»

«Marie Curie Innovative Training Network “StarDust” (2015-2016)»

«COST Action MP1006: Fundamental problems in Quantum Physics»

«Resonant co-orbital dynamics, with applications to extrasolar planetary systems»

«Analytic computation of invariant manifolds and the structure of chaos»

«Μελέτη τῆς δυναμικῆς ἐξέλιξης τῆς σύμπλεξης (entanglement) καὶ τῆς συνοχῆς (coherence) κβαντικῶν συστημάτων»

«The origin of astrophysical magnetic fields»

«MPNS COST Action MP1304, Exploring fundamental physics with compact stars»

«Using starburst galaxies to trace the cosmic acceleration»

«XMM-Newton very large programme»

«The nature of dark energy»

«Ἑλληνικὸ ἐθνικὸ δίκτυο ἔρευνας διαστημικοῦ καιροῦ»

«Solar small scale events and their role in the heating of the solar atmosphere»

«Athens effective solar flare forecasting (A-EFFort)»

«Magnetic helicity estimations in models and observations of the solar magnetic field»

«Improving the reliability of solar eruption predictions to facilitate the determination of targets-of-opportunity for instruments with a limited field of view»

«Forecasting solar energetic particles and flares (FORSPEF)»

«Flare likelihood and region eruption forecasting (FLARECAST)»

«Development of the ASPIICS coronagraph for the PROBA-3 mission»

«VarSITI / ISEST / MiniMax24»

«Κατασκευὴ πειραματικοῦ σταθμοῦ μετρήσεων κυμάτων Schumann»

Δημοσιεύσεις

Κατὰ τὸ ἔτος 2015 δημοσιεύθηκαν ἢ ἔγιναν δεκτὲς πρὸς δημοσίευση 41 ἐργασίες, ἐκ τῶν ὁποίων 32 σὲ περιοδικὰ μὲ σύστημα κριτῶν.

Δημοσιεύθηκε ὁ τόμος *The Formation and Destruction of Black Hole Jets*, eds. I. Contopoulos, D. Gabuzda & N. Kylafis (Springer Verlag – Berlin), τὸν ὁποῖο ἐπιμελήθηκε ὁ κ. Ἴ. Κοντόπουλος ὡς editor. Ἐπίσης δημοσιεύθηκε ἡ εἰδικὴ ἔκδοση τοῦ περιοδικοῦ *Int. J. of Mod. Phys. D*. μὲ θέμα «Test-

ing inflationary scenarios with the Planck and BICEP2 data», 24, 4 (April 2015), eds. S. Basilakos, M. Plionis, τὴν ὁποία ἐπιμελήθηκε ὁ κ. Βασιλάκος. Ὁ κ. Γεωργούλης ἐπιμελήθηκε τὸν εἰδικὸ τόμο τοῦ περιοδικοῦ *Advances in Space Research*, «ESPM-14 Topical Issue entitled Advances in Solar Physics», eds. M. K. Georgoulis & V. M. Nakariakov, *Adv. Space Res.*, 56 (12), 2015. Ὁ τόμος ἐκδόθηκε στὸ πλαίσιο τοῦ συνεδρίου «14th European Solar Physics Meeting». Ὁ κ. Γεωργούλης ἐπίσης ἐπιμελήθηκε τὴν ἔκδοση τοῦ 12ου τεύχους τοῦ περιοδικοῦ τῆς Ἑλληνικῆς Ἀστρονομικῆς Ἑταιρείας *Ἰππαρχος*.

Ὁ ἐπόπτης τοῦ Κέντρου Ἀκαδημαϊκὸς κ. Γ. Κοντόπουλος καὶ οἱ ἐρευνητὲς τοῦ Κέντρου ἔλαβαν μέρος μὲ ἀνακοινώσεις σὲ συνέδρια, ἡμερίδες καὶ ἄλλες συναφεῖς ἐπιστημονικὲς ἐκδηλώσεις στὴν Ἑλλάδα καὶ τὸ ἐξωτερικόν.

Ἐπίσης κατὰ τὸ 2015 ἔγιναν στὸ Κέντρο 39 σεμινάρια γιὰ θέματα Ἀστρονομίας, Ἀστροφυσικῆς καὶ Μηχανικῆς. Οἱ ἐρευνητὲς ἔδωσαν σειρὰ μαθημάτων σὲ μεταπτυχιακὰ πανεπιστημιακὰ τμήματα, ἐπέβλεψαν 9 διδακτορικὲς διατριβὲς ὑποψηφίων διδακτόρων, 2 μεταπτυχιακοὺς φοιτητὲς γιὰ τὴν κτήση διπλώματος εἰδίκευσης, ἔλαβαν μέρος σὲ 5 ἑξεταστικὲς ἐπιτροπές, ἐπισκέφθηκαν κατόπιν προσκλήσεως 6 ἐπιστημονικὰ κέντρα τοῦ ἐξωτερικοῦ, συμμετέσχον σὲ 16 ἑλληνικὲς καὶ εὐρωπαϊκὲς ἐπιστημονικὲς ἐπιτροπές, καὶ ὡς κριτὲς σὲ ἔγκριτα διεθνῆ ἐπιστημονικὰ περιοδικά. Διοργανώθηκε σειρὰ 9 ἐκλαϊκευτικῶν ὁμιλιῶν στὴν Ἀνατολικὴ Αἴθουσα τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν στὸ πλαίσιο τοῦ Διεθνοῦς Ἔτους Φωτός. Τέλος οἱ ἐρευνητὲς τοῦ Κέντρου ἔδωσαν πολλὰ ὁμιλίαι σὲ ἐκπαιδευτικὰ ἰδρύματα καὶ σὲ ἐκδηλώσεις γιὰ τὸ κοινόν.

**[Γεώργιος Κοντόπουλος – Ἐπόπτης τοῦ ΚΕΑΕΜ
Πάνος Α. Πάτσης – Διευθύνων τὸ ΚΕΑΕΜ]**

ΚΕΝΤΡΟΝ ΕΡΕΥΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

Συνεργασίες με έρευνητικά κέντρα του έξωτερικού

University of Giessen – Γερμανία (J. Luterbacher, E. Xoplaki), University of Oslo – Νορβηγία (I. Isaksen), University of Toulouse – Γαλλία (J.-P. Cammas, V. Thouret), Έρευνητικό Κέντρο Juelich – Γερμανία (A. Volz-Thomas), Ευρωπαϊκό Κέντρο Έρευνών JRC Ispra – Ίταλία (J. Hjorth, C. Gruening), Ίνστιτούτο Τεχνολογίας Κύπρου (M. Lange, Π. Χατζηνικολάου), Laboratoire de Météorologie Dynamique – Paris (J.-L. Dufresne, H. Chepfer), Laboratoire Universitaire des Systèmes Atmosphériques – Paris (M. Beekmann, G. Foret).

Συνεργασίες με έλληνικά ιδρύματα

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Δ. Μπαλής, Π. Ζάνης), Έθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Α. Παπαγιάννης, Ι. Ζιώμας), Έθνικό Άστεροσκοπείο Άθηνών (Ν. Μιχαλόπουλος, Ε. Γερασόπουλος, Χ. Γιαννακόπουλος, Δ. Φουντά, Σ. Καζαντζής, Β. Άμοιρίδης, Χ. Κοντοές), Πανεπιστήμιο Άθηνών (Π. Νάστος), Πανεπιστήμιο Κρήτης (Μ. Κανακίδου), Πανεπιστήμιο Πατρών (Α. Καζαντζίδης, Α. Άργυρίου), Υπουργείο Περιβάλλοντος.

Έρευνητικά προγράμματα

«N.E.O.» (Navarino Environmental Observatory): Τò πρόγραμμα αυτό είναι μια συνεργασία μεταξύ τής Άκαδημίας Άθηνών, του Πανεπιστημίου τής Στοκχόλμης και τής εταιρείας TEMES. Άφορᾶ στη δημιουργία και τή λειτουργία ενός Περιβαλλοντικού Παρατηρητηρίου στην περιοχή τής Μεσσηνίας με καθορισμένους έρευνητικούς και εκπαιδευτικούς στόχους.

«Monitoring atmospheric composition and climate III – MACC III» (πρόγραμμα τής ΕΕ).

«Copernicus atmosphere monitoring service CAMS-84: Global and regional a posteriori validation, including focus on the Arctic and Mediterranean areas – CAMS-84» (πρόγραμμα τής ΕΕ).

«The European network for observing our changing planet – ERA-PLANET» (πρόγραμμα τῆς ΕΕ).

«Coordinating and integrating regional, state-of-the-art earth observation activities in NA, ME, and Balkans and developing links with GEO related initiatives towards GEOSS – GEO CRADLE» (πρόγραμμα τῆς ΕΕ).

«RAIN-EX: Risk-based approach for the protection of land transport infrastructure against extreme rainfall – RAIN-EX» (πρόγραμμα τῆς ΕΕ).

«Πρόταση για τὴν ψηφιοποίηση τῶν μετεωρολογικῶν καὶ συναφῶν ἀρχείων τοῦ Αἰγινήτη καὶ Μαριολόπουλου ποὺ φυλάσσονται στὸ Κέντρον Ἐρεῦνης Φυσικῆς τῆς Ἀτμοσφαίρας καὶ Κλιματολογίας τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν».

«Μελέτη τῶν κλιματικῶν τάσεων ὅπως προκύπτουν ἀπὸ ἐπίγειες καὶ δορυφορικὲς παρατηρήσεις καὶ ὅπως ὑπολογίζονται ἀπὸ ἀριθμητικὰ μοντέλα».

«Περιβαλλοντικὰ πλεονεκτήματα τῆς Ἑλλάδος στὸν τουριστικὸ τομέα».

Ὁ Ἐπόπτης τοῦ Κέντρου καὶ οἱ ἐρευνητές του συμμετέσχον σὲ διεθνῆ καὶ ἑλληνικὰ συνέδρια καὶ λοιπὲς ἐπιστημονικὲς ἐκδηλώσεις, καὶ δημοσίευσαν τὰ ἀποτελέσματα τῶν γενομένων ἐρευνῶν σὲ διεθνῆ ἐπιστημονικὰ περιοδικά. Ὁ Ἐπόπτης τοῦ Κέντρου ἔκανε ὁμιλίες ἐπιστημονικοῦ περιεχομένου.

[Χρῆστος Σ. Ζερεφὸς – Ἐπόπτης τοῦ ΚΕΦΑΚ]

ΚΕΝΤΡΟΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

Ἡ ἔρευνα τοῦ Κέντρου Ἐρευνῶν Θεωρητικῶν καὶ Ἐφηρμοσμένων Μαθηματικῶν τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν ἐστιάζει στὴ δημιουργία ἀλγόριθμων ἀνακατασκευῆς ἱατρικῆς εἰκόνας (image reconstruction). Αὐτὴ ἡ διαδικασία εἶναι ἀπαραίτητη γιὰ τὴ δημιουργία τομογραφικῆς εἰκόνας στὰ σύγχρονα ἀπεικονιστικὰ συστήματα PET, CT καὶ SPECT.

Κατὰ τὴ διάρκεια τοῦ 2015 τὸ ΚΕΘΕΜ εἶχε τὶς ἀκόλουθες δραστηριότητες:

- Ἐγίναν ἐκτεταμένες συγκρίσεις μεταξὺ τοῦ ἀναλυτικοῦ ἀλγόριθμου SRT, ποὺ ἀναπτύχθηκε στὸ ΚΕΘΕΜ, μὲ τὸν ἐπαναληπτικὸ ἀλγόριθμο OSEM (ordered-subsets expectation maximization), μὲ τὴ χρήση μιᾶς ποικιλίας ἀπὸ ὁμοιώματα (phantoms) ἀλλὰ καὶ πραγματικὰ δεδομένα. Τὰ ἀποτελέσματα, τὰ ὁποῖα δημοσιεύτηκαν στὸ ἔγκριτο ἐπιστημονικὸ περιοδικὸ *Medical Physics*, ὑποδηλώνουν ὅτι ὁ SRT παρουσιάζει σημαντικὰ πλεονεκτήματα στὴν ποσοτικοποίηση τῶν εἰκόνων PET σὲ σχέση μὲ τὸν ἀλγόριθμο OSEM, τὸν ὁποῖο χρησιμοποιοῦν πολλὰ ἀπὸ τὰ σύγχρονα ἀπεικονιστικὰ συστήματα.

- Συνεχίστηκε ἡ ἔρευνα στὸν τομέα τῆς ἀπεικόνισης νέων ραδιοφαρμάκων σὲ συνεργασία μὲ τὸ Ἐργαστήριο Ραδιοχημικῶν Μελετῶν τοῦ Ἰνστιτούτου Πυρηνικῶν καὶ Ραδιολογικῶν Ἐπιστημῶν, Τεχνολογίας, Ἐνέργειας καὶ Ἀσφάλειας τοῦ ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος».

Ἐρευνητικὸ πρόγραμμα

«Ἀντίστροφα προβλήματα καὶ ἱατρικὴ ἀπεικόνιση», χρηματοδοτούμενο ἀπὸ τὴν Ἐπιτροπὴ Ἐρευνῶν τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν.

Ὁ Ἐπόπτης τοῦ Κέντρου καὶ οἱ ἐρευνητές του συμμετέσχον σὲ διεθνῆ συνέδρια καὶ λοιπὲς ἐπιστημονικὲς ἐκδηλώσεις, καὶ δημοσίευσαν τὰ ἀποτελέσματα τῶν γενομένων ἐρευνῶν σὲ διεθνῆ ἐπιστημονικὰ περιοδικὰ, ἀκόμη δὲ ἔκαναν ὁμιλίες ἐπιστημονικοῦ περιεχομένου.

**[Ἀθανάσιος Φωκᾶς – Ἐπόπτης τοῦ ΚΕΘΕΜ
Γεώργιος Καστῆς – Διευθύνων τὸ ΚΕΘΕΜ]**

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟΝ ΚΑΤΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

	Σελ.
ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ. – Τεχνολογικές εξελίξεις και αναμενόμενες καινοτομίες στο σύστημα τῶν ἀστικῶν μεταφορῶν καὶ συγκοινωνιῶν: ἐπιπτώσεις καὶ ἐνδεικνύμενες πολιτικὲς γιὰ τὴν Ἑλλάδα.....	61
ΖΕΡΕΦΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ. – Παρουσίαση τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κυρίας Anne M. Thompson κατὰ τὴν ὑποδοχὴ τῆς στὴν Ἀκαδημία.....	180
ΖΕΡΕΦΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ. – Ἐκθεση τῶν πεπραγμένων τοῦ Κέντρου Ἐρεῦνης Φυσικῆς τῆς Ἀτμοσφαιρας καὶ Κλιματολογίας	220
ΚΑΣΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, βλ. ΦΩΚΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ.....	222
ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ. – Παρουσίαση τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κ. Ἀναστασίου Μπούντη κατὰ τὴν ὑποδοχὴ του στὴν Ἀκαδημία...	96
ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ. – Ἐκθεση τῶν πεπραγμένων τοῦ Κέντρου Ἐρευνῶν Ἀστρονομίας καὶ Ἐφηρμοσμένων Μαθηματικῶν	219
ΚΟΥΝΑΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ. – Τὸ σημειωματᾶριο τοῦ Ἰσαὰκ Νεύτωνα καὶ τὰ ἀρχαῖα ἑλληνικά.....	145
ΛΙΓΟΜΕΝΙΔΗΣ ΠΑΝΟΣ. – Μιὰ ἰδιάζουσα θεωρία	41
ΜΠΟΥΝΤΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ. – Αὐτὸς ὁ κόσμος ὁ ἀπλός, ὁ πολὺπλοκος. Εἰσιτήριοις λόγος τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κατὰ τὴν ὑποδοχὴ του στὴν Ἀκαδημία	100
ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. – Ἐνα νέο πλαίσιο-πρότυπο τῆς θεωρίας τοῦ σύμπαντος: κοσμολογική, μὴ-κλιμακούμενη (no-scale) ὑπερβαρύτητα. Λόγος τοῦ ἀναλαμβάνοντος Προέδρου.....	9
ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. – Προσφώνηση τοῦ Προέδρου κατὰ τὴν ὑποδοχὴ τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κ. Ἀναστάσιου Μπούντη στὴν Ἀκαδημία	95
ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. – Προσφώνηση τοῦ Προέδρου κατὰ τὴν ὑποδοχὴ τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κ. Χριστόδουλου Α. Φλούδα στὴν Ἀκαδημία.....	123

ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. – Προσφώνηση τοῦ Προέδρου κατὰ τὴν ὑποδοχὴ τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κ. Ἀνδρέα Τζάκη στὴν Ἀκαδημία.....	169
ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. – Προσφώνηση τοῦ Προέδρου κατὰ τὴν ὑποδοχὴ τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κυρίας Anne M. Thompson στὴν Ἀκαδημία.....	179
ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. – Ὁ μίτος τῆς Ἀριάδνης γιὰ τὴν ἀνάκτηση τῆς χαμένης πληροφορίας ἀπὸ τὸν λαβύρινθο τῶν μαύρων ὀπῶν. Λόγος τοῦ Προέδρου κατὰ τὴν Πανηγυρικὴ Συνεδρία τῆς 22ας Δεκεμβρίου.....	201
ΠΑΤΣΗΣ ΠΑΝΟΣ, βλ. ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ.....	219
ΡΟΥΣΣΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ. – Παρουσίαση τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κ. Ἀνδρέα Τζάκη κατὰ τὴν ὑποδοχὴ του στὴν Ἀκαδημία.....	170
ΣΚΑΡΒΕΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. – Ἡ ἐπέτειος τῆς «Μάχης τῶν Ὁχυρῶν».....	119
ΣΚΑΡΒΕΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. – Παρουσίασης τῆς προγραμματιζόμενης ἡμερίδας τοῦ Γραφείου Στρατιωτικῶν καὶ Ἀμυντικῶν Θεμάτων τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν μὲ θέμα «Ἡ ἐσωτερικὴ ἀσφάλεια τῆς χώρας: παρούσα κατάσταση καὶ προοπτικὲς).....	177
ΤΖΑΚΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ. – The miracle of transplantation. Εἰσιτήριοις λόγος τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κατὰ τὴν ὑποδοχὴ του στὴν Ἀκαδημία.....	175
THOMPSON ANNE. – Tracking global ozone with satellites, aircraft and balloons. Εἰσιτήριοις λόγος τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κατὰ τὴν ὑποδοχὴ του στὴν Ἀκαδημία.....	183
ΦΛΟΥΔΑΣ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΣ. – Μαθηματικὴ βελτιστοποίηση στὴν ἐνέργεια καὶ στὴν υγεία: ὀδοιπορικὸ τριάντα χρόνων. Εἰσιτήριοις λόγος τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κατὰ τὴν ὑποδοχὴ του στὴν Ἀκαδημία....	129
ΦΩΚΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ. – Ἀπὸ τὸν μετασχηματισμὸ Fourier στὸν ἐνοποιημένο μετασχηματισμὸ: σύνθεση καὶ ὄχι διαχωρισμὸς.....	87
ΦΩΚΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ. – Παρουσίαση τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κ. Χριστόδουλου Φλούδα κατὰ τὴν ὑποδοχὴ του στὴν Ἀκαδημία.....	124
ΦΩΚΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ. – Ἐκθεση τῶν πεπραγμένων τοῦ Κέντρου Ἐρευνῶν Θεωρητικῶν καὶ Ἐφηρμοσμένων Μαθηματικῶν.....	222

Έκδοτική Παραγωγή



ΕΠΤΑΛΟΦΟΣ Α.Β.Ε.Ε.

Άρδηττού 12-16, 116 36 Άθήνα
Τηλ.: 210.921.7513, 210.921.4820 • Fax: 210.923.7033
www.eptalofos.gr • e-mail: info@eptalofos.gr

