

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α

ΤΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2018: ΤΟΜΟΣ 93ος

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ
ΤΑΞΙΣ ΤΩΝ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ

ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

2018

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α

ΤΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2018: ΤΟΜΟΣ 93ος

ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΝ

ΤΑΞΙΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΛΩΝ ΤΕΧΝΩΝ



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ

ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

2018

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α

ΤΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2018: ΤΟΜΟΣ 93^{ος}

ΤΕΥΧΟΣ ΤΡΙΤΟΝ

ΤΑΞΙΣ ΤΩΝ ΗΘΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ

ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

2018

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α

ΤΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2019: ΤΟΜΟΣ 94ος

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ
ΤΑΞΙΣ ΤΩΝ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ

ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

2019

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α

ΤΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2019: ΤΟΜΟΣ 94ος

ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΝ

ΤΑΞΙΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΛΩΝ ΤΕΧΝΩΝ



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ

ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

2019

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α

ΤΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2019: ΤΟΜΟΣ 94^{ος}

ΤΕΥΧΟΣ ΤΡΙΤΟΝ

ΤΑΞΙΣ ΤΩΝ ΘΘΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ

ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

2019

AKADEMIA ADRIAN

III PAKTIKA

VIII

AKADEMIA ADRIAN

AKADEMIA ADRIAN
AKADEMIA ADRIAN
AKADEMIA ADRIAN

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α

ΤΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2021: ΤΟΜΟΣ 96ος



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ

ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

2021

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
ΤΗΣ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2022: ΤΟΜΟΣ 97^{ος}



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ
ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ
2022

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

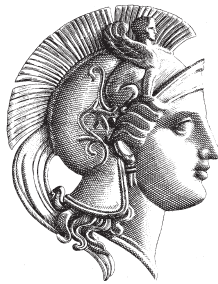
Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Α

ΤΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2018: ΤΟΜΟΣ 93ος

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ
ΤΑΞΙΣ ΤΩΝ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ

ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

2018

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 93ος

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΚΟΥΝΑΔΗ

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

ISSN 0369-8106

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
ΤΗΣ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΤΟΣ 2018: ΤΟΜΟΣ 93ος

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ
ΤΑΞΙΣ ΤΩΝ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ
ΓΡΑΦΕΙΟΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ
2018

ΠΙΝΑΞ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

τοῦ 93ου Τόμου τῶν Πρακτικῶν τοῦ ἔτους 2018

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

	Σελ.
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 16ΗΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2018.....	9
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 6ΗΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2018.....	37
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 8ΗΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2018.....	93
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 6ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ 2018.....	131
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 15ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ 2018.....	143
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 29ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ 2018.....	171
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 19ΗΣ ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2018.....	191
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 24ΗΣ ΜΑΪΟΥ 2018.....	193
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 31ΗΣ ΜΑΪΟΥ 2018.....	239
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 18ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2018.....	241
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 25ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2018.....	247
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 15ΗΣ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2018.....	269
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 11ΗΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2018.....	291
ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 21ΗΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2018.....	327
ΕΚΘΕΣΗ ΠΕΠΡΑΓΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΡΕΥΝΩΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ.....	343
ΕΚΘΕΣΗ ΠΕΠΡΑΓΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΡΕΥΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ.....	351
ΕΚΘΕΣΗ ΠΕΠΡΑΓΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΡΕΥΝΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ.....	360
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟΝ ΚΑΤΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ	363

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΙΑΔΟΧΗ ΤΗΣ ΠΡΟΕΔΡΙΑΣ*

ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΩ ΣΕΙΣΜΟΥ ΠΟΛΥΣΠΟΝΔΥΛΩΤΟΙ ΚΙΟΝΕΣ ΦΕΡΟΝΤΕΣ ΒΑΡΕΑ ΣΩΜΑΤΑ: ΕΝΑ ΕΥΡΗΜΑΤΙΚΟ ΕΥΣΤΑΘΕΣ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΡΧΑΙΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΝΤΟΣ ΠΡΟΕΔΡΟΥ
κ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ Ν. ΚΟΥΝΑΔΗ

Κυρίες και κύριοι,

Με ιδιαίτερη συγκίνηση αλλά και εύλογο δέος αναλαμβάνω τὰ καθήκοντα τοῦ Προέδρου τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν.

Με ιδιαίτερη μὲν συγκίνηση, διότι τῆ σημαντικῆ αὐτῆ στιγμῆ ἡ σκέψη μου στρέφεται στὰ δύσκολα παιδικὰ μου χρόνια καὶ στοὺς ἀείμνηστους γονεῖς μου γιὰ ὅσα μὲ μεγάλες θυσίες, ἀν καὶ ἐνδεεῖς καὶ ἀναγκασμένοι, γενναϊόδωρα μοῦ προσέφεραν σὲ καιροὺς χαλεπούς· ιδιαίτερα μάλιστα ἡ διὰ βίου σκληρὰ δοκιμασθεῖσα μητέρα μου καὶ ἡ πολυπαθὴς μὲ μεγάλο φιλανθρωπικὸ ἔργο ἀείμνηστη ἀδελφῆ μου, ποὺ μοῦ μετάγγισαν τῆ βαθεῖα καὶ ἔμπρακτη πίστη τους στὸ Θεῖο, στὴν Ὁρθοδοξία καὶ στὶς αἰώνιες ἀξίες τοῦ Ἑλληνορθόδοξου Πολιτισμοῦ. Με ιδιαίτερη ἐπίσης συγκίνηση, διότι μοῦ ἐνεπιστεύθησαν τὸ ὑψηλὸ αὐτὸ λειτούργημα διακεκριμένοι συνάδελφοι, πρὸς τοὺς ὁποίους ἐκφράζω καὶ πάλι τὶς ἐκ βάθους καρδίας εὐχαριστίες μου.

Με εύλογο δὲ δέος, ἀναλογιζόμενος τὸ βάρος τῆς εὐθύνης τοῦ ὕπατου αὐτοῦ ἀξιώματος, τὸ ὁποῖον ἐκόσμησαν προσωπικότητες τῶν Ἐπιστημῶν, τῶν Γραμμάτων καὶ τῶν Τεχνῶν κατὰ τῆ λαμπρῆ πορεία τοῦ πρώτου πνευματικοῦ ιδρύματος τῆς χώρας. Εἶμαι ιδιαίτερα εὐτυχῆς, διότι διαδέχομαι

* Δημοσίαι Συνεδρία τῆς 16ης Ἰανουαρίου 2018.

στήν Προεδρία τὸν διακεκριμένο συνάδελφο, κορυφαῖο οικονομολόγο καὶ πρῶην Πρωθυπουργό, μὲ τὸν ὁποῖον κατὰ τὴν ἐνιαύσια θητεία μου ὡς Ἀντιπρόεδρος εἶχα μιὰ εὐχαιρική, γόνιμη καὶ ἁρμονικὴ συνεργασία. Θὰ μείνει ζωηρὴ στὴ μνήμη ὄλων τῶν συναδέλφων ἢ ἐκ μέρους τοῦ ἤρεμη, διαλλακτικὴ καὶ πάντοτε καλὰ προετοιμασμένη διεύθυνση τῶν συνεδριῶν τῆς Ὀλομελείας καὶ τῆς Συγκλήτου. Τὸν συγχαίρω γιὰ τὴν ἀψογὴ προεδρικὴ του θητεία καὶ τὴν πολύτιμη προσφορὰ του στὴν Ἀκαδημία προεχόντως σὲ θέματα οικονομικά. Θερμὰ δὲ τὸν εὐχαριστῶ γιὰ τοὺς ἐπαινετικούς πρὸς τὸ πρόσωπό μου λόγους ποὺ εἶχε τὴν καλοσύνη νὰ μοῦ ἀπευθύνει.

Θέλω νὰ ἐλπίζω στὴν πολύτιμη συνεργασία τῶν ἀξιοτίμων μελῶν τῆς Συγκλήτου, στὴν ὁποία μετέχει καὶ ὁ ἀγαπητὸς συνάδελφος τῆς Β' Τάξεως καθηγητῆς κ. Στ. Ἡμελλος, τὸν ὁποῖο συνοδεύουν οἱ θερμὲς εὐχὲς ὄλων μας γιὰ τὴ σημερινὴ ἀνάληψη τῶν καθηκόντων του ὡς Ἀντιπρόεδρου. Ἰδιαίτερα ἀποβλέπω στὴ συμπαράστασι τοῦ Γ. Γραμματέως κ. Β. Πετράκου, ἢ μακρὰ πείρα τοῦ ὁποίου θὰ συνδράμει στὴν ἐκτέλεση τῶν καθηκόντων τοῦ νέου Προεδρείου καὶ στὴν εὐόδωση τῶν σκοπῶν τῆς Ἀκαδημίας. Θεωρῶ ἐπίσης αὐτονόητη καὶ τὴ συμπαράστασι τοῦ Διοικητικοῦ Προσωπικοῦ, μὲ τὴν πολύτιμη πείρα του στὴν ἐπιτέλεση τοῦ δυσχεροῦς ἔργου ποὺ ἡ Ἀκαδημία τοῦ ἔχει ἐμπιστευθεῖ.

Κυρίες καὶ κύριοι,

Εἴθισται κατὰ τὴν ἀνάληψη τῶν καθηκόντων του ὁ νέος Πρόεδρος νὰ ἐκθέσει ὄλως συνοπτικῶς τίς σκέψεις καὶ προθέσεις του γιὰ τὴν προαγωγὴ τοῦ Ἰδρύματός μας, καὶ προεχόντως τὴ διαφύλαξι τῆς ἐλληνικῆς γλώσσας, τῆς ἐλληνικῆς γραμματείας, τῆς ἱστορίας, τοῦ ἐλληνορθόδοξου οἰκουμενικῆς ἐμβέλειας πολιτισμοῦ μας, τῶν ἐθνικῶν μας παραδόσεων. Παράλληλα ἢ προσπάθεια ὄλων μας θὰ πρέπει νὰ ἐστιαστῆ στὴν προώθησι τῆς ἔρευνας σὲ ὅλους τοὺς τομεῖς μέσῳ τῶν 14 ἐρευνητικῶν μας Κέντρων, τῶν 6 Γραφείων μας καὶ τοῦ ΠΒΕΑΑ, διοικουμένου ἀπὸ πενταμελὲς Συμβούλιο Ἀκαδημαϊκῶν μὲ Πρόεδρο τὸν ἰδρυτὴ καὶ δημιουργό του καθηγητῆ κ. Γρ. Σκαλκιά, ποὺ ὑπῆρξε καὶ μέντοράς μου. Τὸ ΠΒΕΑΑ, ὅπως προαναφέρθηκε ἀπὸ τὸν Πρόεδρο κ. Α. Παπαδῆμο, ἤδη ἐπεκτείνεται μὲ νέο κτίριο ἑξατομικευμένης ἰατρικῆς 20.000 τ.μ. Ἀποφασιστικὴ ἦταν ἐπίσης ἡ συμβολὴ τοῦ κ. Σκαλκιά στὴν ἀνακαίνισι τοῦ Μεγάρου τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν καὶ στὴν ἔκδοσι τοῦ ἐπίτομου Χρηστικοῦ Λεξικοῦ τῆς Ἀκαδημίας. Ἡ ἐμβληματικὴ του προσωπικότητα ἔχει θέσει ἀνεξίτηλη τὴ σφραγίδα της μὲ τὴν τεράστια

προσφορά του στην Ακαδημία, στην Ιατρική και γενικότερα στην ελληνική κοινωνία – και όχι μόνον.

Τὸ ἐπίπεδο τῆς ἔρευνας δὲν ἀποτελεῖ μόνον τὸν δείκτη πολιτισμοῦ μιᾶς χώρας, ἀλλὰ συγχρόνως εἶναι καὶ μοχλὸς γιὰ τὴν ἀνάκαμψη καὶ πρόοδο τῆς ἐθνικῆς οἰκονομίας καὶ συνακόλουθα γιὰ τὴν ἀναπτυξιακὴ της πορεία. Ἡ περιορισμένη ὅμως χρηματοδότηση στὴν ἔρευνα, ἡ ἔλλειψη ὑλικοτεχνικῆς ὑποδομῆς, καταλλήλων χώρων καὶ βοηθητικοῦ προσωπικοῦ ἀποτελοῦν σοβαρὰ προβλήματα ποὺ δυσχεραίνουν τὴν πραγματοποίηση ἔργου ἀναλόγου τῶν δυνατοτήτων τοῦ ὑπηρετοῦντος ἐρευνητικοῦ καὶ ἐπιστημονικοῦ προσωπικοῦ. Καίριας βεβαίως σημασίας γιὰ τὴν προώθηση τοῦ καθόλου ἔργου τῆς Ακαδημίας εἶναι ἡ προσέλκυση ἀξίων ὑποψηφίων γιὰ τὴν κάλυψη τῶν, ἐδῶ καὶ πολλὰ χρόνια, 20 περίπου κενῶν θέσεων Ακαδημαϊκῶν.

Ὁ χρόνος δὲν ἐπιτρέπει νὰ ἀναφερθῶ σὲ ἄλλα θέματα καὶ ἀγκυλώσεις ποὺ ἀφοροῦν τῇ λειτουργίᾳ τῆς Ακαδημίας. Θὰ ἦταν οὕτοια ὁ νέος Πρόεδρος κατὰ τὴ βραχύτατη θητεία του νὰ καταπιαστεῖ μὲ τὴν ἐπίλυση τῶν πολλῶν καὶ ποικίλων προβλημάτων ποὺ ἀπασχολοῦν τὸ ἴδρυμά μας. Ὡστόσο, θεωρῶ εὐλογο καὶ σῶφρον νὰ ἐστιάσω τὴν προσπάθειά μου στὴν προώθηση μόνον ὀρισμένων θεμάτων καίριας σημασίας: θεμάτων σχετιζομένων μὲ τὴν ἐκπλήρωση τῆς βασικῆς ἀποστολῆς τῆς Ακαδημίας, σύμφωνα μὲ τὸ Ἄρθρο Πρῶτο τοῦ Ὁργανισμοῦ της, καθὼς καὶ μὲ τὴν ἐξασφάλιση τῶν ἀναγκαίων χώρων γιὰ τὴν εὐρυθμὴ λειτουργία της. Τὸ πρῶτο θέμα ἀφορᾷ τὸ Ἱστορικὸ Λεξικὸ τῆς Νέας Ἑλληνικῆς Γλώσσης, τοῦ ὁποίου ἡ ἐκδοσὴ ξεκίνησε τὸ 1933 καὶ μόλις πρόσφατα ἐξεδόθη ὁ βος τόμος (ποὺ περιλαμβάνει τὸ 1/3 τοῦ γράμματος Δ), τὸ δὲ δεῦτερο θέμα ἀφορᾷ τὴν κατασκευὴ τοῦ πολυώροφου κτιρίου ἐπὶ τῶν ὁδῶν Σίνα καὶ Βησσαρίωνος, ποὺ προορίζεται γιὰ τὴ στέγαση τῶν διεσπαρμένων σὲ διάφορα κτίρια τῶν Ἀθηνῶν ὑπηρεσιῶν τῆς Ακαδημίας. Δὲν ἔχω ψευδαισθήσεις ὡς πρὸς τὸ ὅτι οἱ δύο αὐτοὶ στόχοι, ἀπὸ μακροῦ περιπεσόντες εἰς λήθην, εἶναι ἰδιαίτερα φιλόδοξοι καὶ δυσχερῶς ἐπιτεύξιμοι, ὅπως δὲ μὴ πραγματοποιήσιμοι στὸν ἕναν χρόνο τῆς θητείας μου. Ὡς πότε, ὅμως, αὐτὰ τὰ ἐξέχουσας σημασίας ἔργα θὰ λιμνάζουν; Φρονῶ ὅτι εἶναι καιρὸς πλέον νὰ ξεκινήσει ἡ δρομολόγησή τους, καὶ πρὸς τὴν κατεύθυνση αὐτὴ ὀφείλουμε ὅλοι νὰ στρέψουμε τὶς δυνάμεις μας. Ἀξίζει νὰ ἀγωνιστοῦμε γιὰ τὴν πραγμάτωση τῶν δύο αὐτῶν μεγάλων ἔργων, ζωτικῆς ὅμως σημασίας γιὰ τὴν Ακαδημία. Ἄν ἀγωνιστοῦμε, ὅπως ἔλεγε καὶ ὁ Μπέρολτ Μπρέχτ, μπορεῖ καὶ νὰ χάσουμε, ἀν δὲν ἀγωνιστοῦμε εἴμαστε ἤδη χαμένοι!

Συμπληρώνοντας τις λίγες αυτές σκέψεις και προτάσεις, θεωρώ σκόπιμο να τονίσω και την ανάγκη τῆς πρὸς τὰ ἔξω ἐπικοινωνίας τῆς Ἀκαδημίας γιὰ θέματα μείζονος κοινωνικῆς σημασίας – και ὄχι μόνον. Ἡ Ἀκαδημία ὀφείλει νὰ ἐνωτίζεται τὰ μηνύματα τῆς κοινωνίας, νὰ μὴ σιωπᾷ και νὰ δημοσιοποιεῖ τις θέσεις της σὲ ἐκπλήρωση τοῦ πνευματικοῦ της χρέους, δικαιώνοντας, στὸ μέτρο τοῦ δυνατοῦ, και τις προσδοκίες ὅσων εὐλόγως ζητοῦν τὴν ἡγετική παρουσία της στὰ δρώμενα τῆς χώρας· ιδιαίτερα μάλιστα σήμερα, μὲ τὴ βαθεῖα και πολύπλευρη οικονομική, κοινωνική και πολιτική κρίση ποὺ διέρχεται ἡ χώρα, κρίση ὀφειλόμενη ὄχι μόνον στὴν ὀλέθρια κακοδιαχείριση τῆς χώρας τις τελευταῖες δεκαετίες ἀλλὰ και στὸ σοβαρὸ ἔλλειμμα ἀνθρωπιστικῆς παιδείας, μὲ ὅλα τὰ παρεπόμενα ἀπαξίωσης θεσμῶν, ἀξιῶν, ἰδανικῶν και ἐθνικῶν παραδόσεων ποὺ ἀπετέλεσαν τὸν ἀκρογωνιαῖο λίθο στήριξης, συνέχειας, ἐπιβίωσης και μεγαλουργίας τοῦ ἑλληνικοῦ ἔθνους. Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ἔχει λάβει ἐπανειλημμένως κατὰ τὴ δεκαετία τοῦ 2000 ἰσχυρὲς θέσεις γιὰ σοβαρὰ θέματα μὲσφ διακηρύξεων κατόπιν ἀποφάσεων τῆς Ὀλομελείας ἢ μὲσφ ἀνακοινώσεων Ἀκαδημαϊκῶν ποὺ ἀφοροῦν τὴ γλώσσα, τὴν ἱστορία (παραδείγματος χάριν, γιὰ τὸ περιβόητο βιβλίο ἱστορίας τῆς ΣΤ΄ Δημοτικοῦ μὲ τὰ περὶ συνωστισμού στὴ Σμύρνη), ζητήματα ἐθνικοῦ χαρακτήρα (γιὰ τὸ Κυπριακὸ, τὸ Σκοπιανό, τὸ πρόβλημα τῆς Θράκης).

Και κάτι ἀκόμη: Ἡ συνέπεια, ἡ διαφάνεια, ἡ ἀξιοκρατία, ἡ ἀριστεία και ὁ σεβασμὸς στὸν ἰδρυτικὸ νόμο και στὸ ἔθος τῆς Ἀκαδημίας θὰ ἐξακολουθήσουν νὰ ἀποτελοῦν πρῶτιστο μέλημά μου, ὅπως και κατὰ τὴν προηγηθεῖσα εἰκοσαετῆ περίπου θητεία μου στὸ πνευματικὸ αὐτὸ ἴδρυμα. Μὲ τις σκέψεις αὐτὲς θὰ προχωρήσω τώρα στὴν ἀνάπτυξη τοῦ θέματός μου.

1. Εἰσαγωγή

Σύμφωνα μὲ τὸ ἄρθρο 83 τοῦ Ὁργανισμοῦ τῆς Ἀκαδημίας, ὁ νέος Πρόεδρος κατὰ τὴν ἐγκατάστασή του ἀνακοινώνει «εὐλόγητως γιὰ ὅλους θέμα τῆς εἰδικότητός του», ὅπως συνήθως γίνεται μὲ τὴν ὀμιλία τῶν νέων Ἀκαδημαϊκῶν κατὰ τὴν ἐπίσημη ὑποδοχή τους. Ἡ εἰσιτήριος ὀμιλία μου, τὸν Μάιο τοῦ 2000, μὲ θέμα «Θεωρία Καταστροφῶν: Μιὰ σύγχρονη μαθηματικὴ μέθοδος εὐρείας ἐφαρμογῆς μὲ φιλοσοφικὲς προεκτάσεις», ὑπῆρξε προϊόν πολυετοῦς θεωρητικῆς κυρίως ἔρευνας.

Ἐφαρμογὴ τῆς θεωρητικῆς αὐτῆς ἔρευνας ἀποτελεῖ ἡ ἀποψινὴ ἀνακοίνωσή μου, προῖόν συστηματικῆς, πολυετοῦς ἔρευνας (2008-2017), ἀπὸ τὴν ὁποία προέκυψαν 15 δημοσιεύσεις (βλ. ἐργασίες [1-12 & 23-25]) σὲ ἐγκριτὰ περιοδικὰ διεθνoῦς κυκλοφορίας. Ἡ ἔρευνα αὐτή, μὲ ἰδιαίτερα πρακτικὸ ἐνδιαφέρον καὶ προσιτὴ ἐλπίζω στὸ ἀκροατήριο, ἀναφέρεται στὴν προστασία μνημείων καὶ νεοκλασικῶν κατασκευῶν ἔναντι (κυρίως) σεισμῶν ἢ ἄλλων φυσικῶν καταστροφῶν. Μεταξὺ τῶν ἀρχαίων ἢ καὶ νεοτέρων αὐτῶν κατασκευῶν (στὴν Ἑλλάδα, στὴν Ἰταλία, στὴν Ἀσία κ.λπ.) περιλαμβάνονται πολυσπονδυλωτοὶ (κυκλικῆς διατομῆς) κίονες στὸ ἄνω ἄκρο τῶν ὁποίων στηρίζονται βαρῆα ἀγάλματα ἢ ἄλλα δομικὰ στοιχεῖα. Κίονες ἀποτελούμενοι ἀπὸ σπονδύλους κατασκευάζονταν στὴ χώρα μας ἀπὸ ἀρχαιοτάτων χρόνων.

Τρία παραδείγματα ἀρχαίων πολυσπονδυλωτῶν κίωνων φαίνονται στὶς παρακάτω εἰκόνες.



Εἰκ. 1: Προτομὴ τοῦ Θεμιστοκλέους καὶ δίπλα σὲ αὐτὴ ἀρχαῖος κίονας μὲ 8 σπονδύλους πρὸς τιμὴν τῆς Ναυμαχίας τῆς Σαλαμίνος (480 π.Χ.).



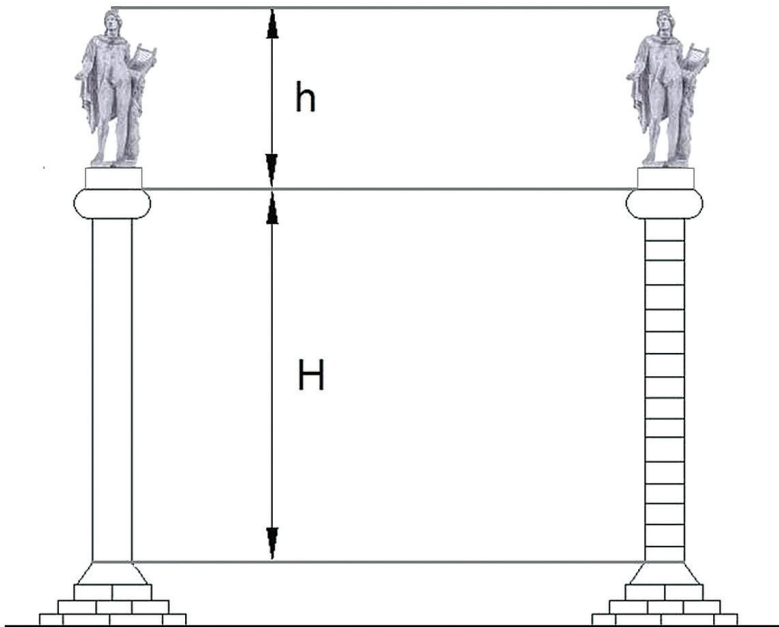
Εικ. 2: Οί πολυσπονδυλωτοί κίονες τοῦ Παρθενῶνος (431 π.Χ.), συμβόλου μοναδικῆς ἀξίας τοῦ παγκόσμιου πολιτισμοῦ.



Εικ. 3: Οί πολυσπονδυλωτοί κίονες τοῦ Ναοῦ τοῦ Διὸς στὴ Νεμέα (330 π.Χ.).

Ο ύπολογισμός τῆς δυναμικῆς συμπεριφορᾶς (λόγω σεισμοῦ) τῆς σύνθετης αὐτῆς κατασκευῆς, «πολυσπονδυλωτοῦ κίονος καὶ τοῦ ἐπ' αὐτοῦ ἀγάλματος ἢ ἄλλου βαρέος στοιχείου», ἀποτελεῖ ἓνα ἰδιαίτερα πολύπλοκο καὶ δυσχερὲς μαθηματικὸ πρόβλημα, πὸν ἀπετέλεσε ἀντικείμενο ἐκτεταμένης ἔρευνας ἀπὸ τὰ μέσα τῆς δεκαετίας τοῦ '50, χωρὶς μέχρι πρότινος νὰ ἔχει δοθεῖ μία ἀξιόπιστη λύση. Στὴν παρατιθέμενη βιβλιογραφία περιλαμβάνονται ὅλως ἐνδεικτικῶς ἀναλύσεις κίονων κυρίως ἐνὸς ἢ δύο σπονδύλων [13-19].

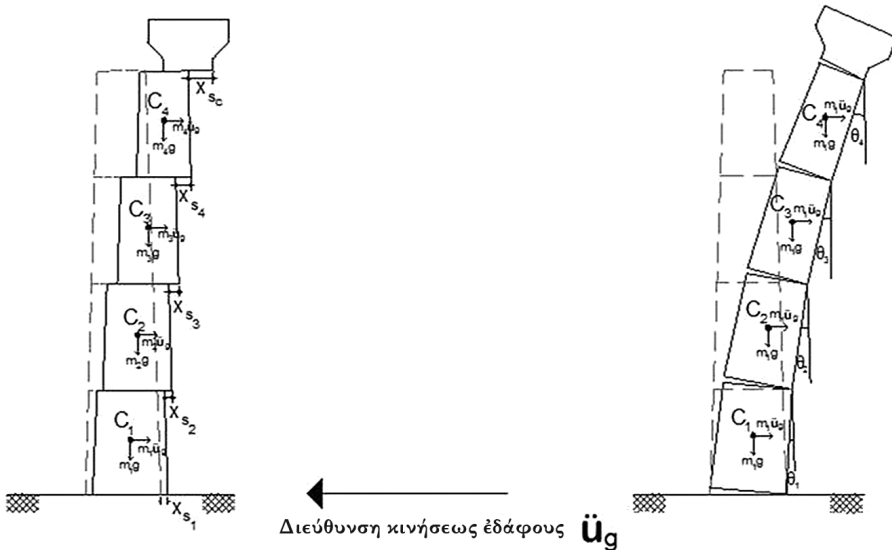
Ὡστόσο, στὴν Ἀρχαία Ἑλλάδα, ὡς φαίνεται, ἐγνώριζαν ἢ ὑπέθεταν ὅτι ἡ ἀντισεισμικὴ προστασία ἐνὸς βαρέος ἀγάλματος ἐδραζομένου ἐλεύθερα στὸ ἄνω ἄκρο ἐνὸς κίονα (δηλαδὴ χωρὶς ὅποιαδήποτε σύνδεση μὲ αὐτὸν ἀλλὰ μόνο μέσω τριβῆς) εἶναι πολὺ μικρότερη ἀν' ὃ κίονας εἶναι μονολιθικός (Σχῆμα 1α) καὶ ὄχι πολυσπονδυλωτός (Σχῆμα 1β), μὲ σπονδύλους ἐλεύθερα ἐδραζομένους ὁ ἓνας ἐπὶ τοῦ ἄλλου, ὥστε νὰ ἐπιτρέπεται (λόγω σεισμοῦ) μικρὴ ὀλίσθηση καὶ ἀκολούθως λικνισμὸς λόγω ἀποχωρισμοῦ τῶν διαδοχικῶν σπονδύλων καὶ στὴ συνέχεια κρούση αὐτῶν.



Σχ. 1α: Μονολιθικός κίονας μὲ ἐλεύθερα ἐδραζόμενο ἀγαλμα στὸ ἄνω ἄκρο του.

Σχ. 1β: Πολυσπονδυλωτός κίονας 15 σπονδύλων μὲ ἐλεύθερα ἐδραζόμενο ἀγαλμα στὸ ἄνω ἄκρο του.

Συγκεκριμένα, ή μεταξύ τῶν σπονδύλων μικρή ὀλίσθηση καὶ κρούση ἔχουν ὡς συνέπεια (ἀθροιστικῶς) τὴ σημαντικὴ ἀπορρόφηση σεισμικῆς ἐνεργείας καὶ συνακόλουθα τὴ μείωση τοῦ κινδύνου ἀνατροπῆς τοῦ ἀγάλματος. Πράγματι, ἡ ὀριζόντια σεισμικὴ διέγερση τοῦ ἐδάφους, ἡ ὁποία ξεκινᾷ ἀπὸ τὴ βάση τοῦ πολυσπονδυλωτοῦ κίονα, καθὼς διαδίδεται καθ' ὕψος ἐλαττώνεται (λόγῳ τῶν μικροολισθήσεων καὶ κρούσεων μεταξύ τῶν σπονδύλων), μὲ ἀποτέλεσμα ἡ ἐναπομένουσα σεισμικὴ διέγερση στὸ ἄνω ἄκρο τοῦ κίονα –ἐπὶ τοῦ ὁποίου ἐδράζεται ἐλεύθερα (μέσῳ τριβῆς) τὸ βαρὺ ἄγαλμα– νὰ καθίσταται, ἐν γένει, ἀνεπαρκῆς γιὰ τὴν ἀνατροπὴ του. Αὐτὸ γίνεται εὐκολότερα κατανοητὸ μὲ ἓνα κίονα, παραδείγματος χάριν, ἀπὸ 4 σπόνδυλους (Σχῆματα 2α,β).



Σχ. 2α: Κίονας 4 σπονδύλων μὲ κιονόκρανο ὑποκείμενος σὲ ὀλίσθήσεις (x_{s1} , x_{s2} , x_{s3} , x_{s4}).

Σχ. 2β: Κίονας 4 σπονδύλων μὲ κιονόκρανο ὑποκείμενος μόνον σὲ λικνισμό (ἀποχωρισμὸς διαδοχικῶν σπονδύλων καὶ ἀκολουθίως κρούση μεταξύ αὐτῶν).

Στὸ Σχῆμα 2α ὁ κίονας ὑπόκειται μόνον σὲ μικρὴ ὀλίσθηση μεταξύ τῶν σπονδύλων, αὐξανόμενη, ἐν γένει, καθ' ὕψος πού προκαλεῖ μείωση τῆς σεισμικῆς διεγέρσεως, ἡ ὁποία περαιτέρω μειώνεται ἀπὸ τὴν κρούση μεταξύ διαδοχικῶν σπονδύλων κατὰ τὸν ἐναλλασσόμενης φορᾶς (δεξιὰ-ἀριστερά) λικνισμό τοῦ κίονα λόγω σειμοῦ (Σχῆμα 2β).

Εἶναι δὲ ἀπορίας ἄξιον πῶς οἱ ἀρχαῖοι Ἕλληνες, στερούμενοι προχωρημένων γνώσεων δυναμικῆς, εἶχαν καταλήξει στὸ συμπέρασμα ὅτι τὸ εὐρηματικὸ καὶ εὐφυὲς αὐτὸ δομικὸ σύστημα (δηλαδὴ ἐνὸς κατακερματισμένου σὲ μικρὰ τμήματα, τοὺς σπονδύλους, κίονα καὶ τοῦ ἐλεύθερα ἐδραζομένου στὸ ἄνω ἄκρο του ἀγάλματος) ἐμφανίζει ἐξαιρετὴ δυναμικὴ συμπεριφορὰ σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὴν ἠϋξημένη ἐναντι σεισμοῦ προστασία τοῦ ἀγάλματος. Μία εὐλογία ἐξήγηση γιὰ τὴν συναγωγὴ αὐτοῦ τοῦ συμπεράσματος φαίνεται νὰ εἶναι ἡ ὑπάρχουσα τότε προγενέστερη πείρα ἢ καὶ ἡ διαίσθηση.

Κίνητρο γιὰ τὴ διεξαγωγὴ τῆς ἔρευνας, ἀντικείμενο τῆς σημερινῆς ἀνακοίνωσης, ἦταν νὰ δοθεῖ ἐπιστημονικὴ ἀπόδειξη μέσω μιᾶς –κατὰ τὸ δυνατόν– ἀκριβοῦς δυναμικῆς ἀναλύσεως ὅτι τὰ φερόμενα ἐπὶ τῶν δύο πολυσπονδυλωτῶν κίωνων στὴν πρόσοψη τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν ἀγάλματα, τῆς Ἀθηνᾶς καὶ τοῦ Ἀπόλλωνα, τοῦ γλύπτη Λ. Δρόσου (Εἰκόνα 4), μεγάλης καλλιτεχνικῆς ἀξίας, εἶναι ἀσφαλῆ μὲ βᾶση τὴ σεισμικὴ ἐπικινδυνότητα τῆς περιοχῆς· συνεπῶς, δὲν ὑπάρχει λόγος καταβίβασῆς τους, μὲ ὅλα τὰ δυσμενῆ ἐπακόλουθα.



Εἰκ. 4: Πρόσοψη τοῦ μεγάρου τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν μὲ τὰ ἀγάλματα τῆς Ἀθηνᾶς (ἀριστερὰ) καὶ τοῦ Ἀπόλλωνα (δεξιὰ) ἐπὶ πολυσπονδυλωτῶν κίωνων.

Ἡ ἐπιστημονικὴ ἀπόδειξη γιὰ τὴν ἀσφάλεια (ἐναντι σεισμοῦ) τῶν δύο ἀγαλμάτων θὰ διευκρινίσει τοὺς λόγους τῆς ἐξαιρετῆς διαχρονικῶς συμπε-

ριφοράς τους. Πράγματι, από τής τοποθετήσεώς τους τή δεκαετία τοῦ 1880 στοὺς ἀντίστοιχους πολυσπονδυλωτοὺς κίονες, παρὰ τὸ ὅτι ἔκτοτε συνέβησαν ἰσχυρότατοι σεισμοί, ἐπεβίωσαν μέχρι σήμερα χωρὶς οὐσιαστικὴ βλάβη. Ἀξίζει, ἐπίσης, νὰ ἐπισημανθεῖ ὅτι ἡ ἀντισεισμικὴ προστασία ἐνὸς βαρέος ἀγάλματος ἐλεύθερα ἐδραζομένου στὸ ἄνω ἄκρο μονολιθικοῦ κίονα (Σχῆμα 1α) ἐπιτυγχάνεται, ὡς ἀπέδειξα πρόσφατα, μέσῳ «ἀκριβοῦς» δυναμικῆς ἀναλύσεως [7-9], λαμβανομένης μάλιστα ὑπόψη τῆς ἐπιρροῆς πολλῶν παραμέτρων. Ἀντίθετα, ἡ ἀντισεισμικὴ προστασία τοῦ ὡς ἄνω ἀγάλματος ἐπὶ πολυσπονδυλωτοῦ κίονα ἀποτελεῖ –ὅπως προανέφερα– ἓνα ἰδιαίτερα πολύπλοκο καὶ δυσχερὲς μαθηματικὸ πρόβλημα δυναμικῆς ἀναλύσεως· ἓνα πρόβλημα τὸ ὁποῖο πολλοὶ ἐρευνητὲς ἐπιχειροῦσαν νὰ ἐπιλύσουν ὅλως προσεγγιστικῶς, ἐξομοιώνοντας τὸν πολυσπονδυλωτὸ κίονα μὲ ἓναν ἢ δύο σπονδύλους!

2. Σκοπὸς τῆς ἔρευνας

Μὲ τὴν παρούσα ἀνακοίνωση ὀλοκληρώνεται μὲ νέα εὐρήματα ἢ μέχρι τὸ 2012 πολυετῆς ἔρευνα, τῆς ὁποίας τὰ ἀποτελέσματα παρουσίασα μὲ ἐπιστημονικὴ ἀνακοίνωσή μου στὴ δημόσια συνεδρία τῆς Ὀλομελείας στὶς 6/12/2012 (*Πρακτικὰ Ἀκαδημίας*, 87 Α', 225-251).

Βασικὸς στόχος εἶναι ἡ εὕρεση τῆς πλέον ἀξιόπιστης προσεγγιστικῆς λύσης τῆς πολύπλοκης δυναμικῆς συμπεριφορᾶς τοῦ δομικοῦ συστήματος «πολυσπονδυλωτοῦ κίονα καὶ τοῦ ἐλεύθερα ἐδραζομένου σὲ αὐτὸν ἀγάλματος». Καὶ τοῦτο διότι, παρὰ τὶς προαναφερθεῖσες πολυετῆς προσπάθειες πολλῶν ἐρευνητῶν, δὲν κατέστη δυνατὴ ἡ ἐπίτευξη μιᾶς ἀκριβοῦς «δυναμικῆς ἀνάλυσης», λόγῳ ἀφ' ἐνὸς μὲν τοῦ τεράστιου ἀριθμοῦ τῶν πρὸς ἐπίλυση ἐντόνως μὴ γραμμικῶν διαφορικῶν ἐξισώσεων 2ας τάξεως, ἀφ' ἐτέρου δὲ λόγῳ τῆς ἀντικειμενικῆς ἀδυναμίας ἐκτιμήσεως τοῦ μεγέθους τῆς μεταξὺ τῶν σπονδύλων ἀπορρόφησης σεισμικῆς ἐνέργειας (ἐξ αἰτίας τῶν μικροολισθήσεων καὶ κρούσεων μεταξὺ διαδοχικῶν σπονδύλων). Ἐπιπροσθέτως, στὶς πολύπλοκες ἐξισώσεις κινήσεως σὲ λικνισμό πολυσπονδυλωτῶν κίωνων, ἐκτὸς τῆς ἐπιρροῆς τῆς μεταξὺ τῶν σπονδύλων πλαστικῆς κρούσεως, θὰ πρέπει νὰ συμπεριληφθεῖ καὶ ἡ σημαντικὴ ἐπιρροὴ τῆς μεταξὺ διαδοχικῶν σπονδύλων μικρῆς ὀλισθήσεως.

Ἐνόψει τῶν μεγάλων αὐτῶν δυσχερειῶν γιὰ τὴν εὕρεση τῆς πλέον ἀξιόπιστης προσεγγιστικῆς λύσης, ποὺ εἶναι καὶ βασικὸς στόχος τῆς Ἀνα-

κοίνωσης, κατέστη αναγκαίο προηγουμένως να επιλυθούν όρισμένα επί μέρους προβλήματα, τὰ ὅποια στή συνέχεια συνέβαλαν στήν «ἀκριβέστερη» ἐκτίμηση τῆς πραγματικῆς συμπεριφορᾶς τοῦ προαναφερθέντος δομικοῦ συστήματος «πολυσπονδυλωτοῦ κίονα καὶ ἀγάλματος».

Εἶναι δὲ εὐλόγο νὰ ξεκινήσουμε μὲ τὴν ἐξέταση πρῶτα τῆς πολὺ-πλοκῆς δυναμικῆς συμπεριφορᾶς τοῦ πολυσπονδυλωτοῦ κίονα [16,20-22] καὶ στή συνέχεια τοῦ δομικοῦ συστήματος «πολυσπονδυλωτοῦ κίονα καὶ ἀγάλματος».

3. Πολυσπονδυλωτὸς κίονας

Στὴ δημοσιευθεῖσα τὴν 1/1/2018 ἐρευνητικὴ μου ἐργασία στὸ διεθνoῦς κυκλοφορίας ἔγκριτο ἐρευνητικὸ περιοδικὸ *Soil Dynamics & Earthquake Engineering* μὲ ἥδη εὐνοϊκὰ σχόλια [25], ἐκτίθενται γιὰ πρώτη φορὰ στή διεθνή βιβλιογραφία ἀναλυτικὰ οἱ γενικευμένες ἐξισώσεις κινήσεως σὲ λικνισμό-ὀλίσθηση ἑνὸς κίονα μὲ n σπονδύλους. Ἡ δυναμικὴ συμπεριφορὰ του συναρτῆσει τοῦ χρόνου καθορίζεται ἂν γνωρίζουμε τίς γωνίες στροφῆς τῶν σπονδύλων $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ κ.λπ., οἱ ὁποῖες προσδιορίζονται μὲσω ἐπιλύσεως συστήματος διαφορικῶν ἐξισώσεων 2ας τάξεως γιὰ δεδομένες ἀρχικὲς-συνοριακὲς συνθῆκες, μὲ ἐφαρμογὴ τῆς ἀρχῆς τῆς στασίμου τιμῆς τοῦ Hamilton [8]

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = 0 \quad (1)$$

ὅπου δ τελεστής τοῦ λογιμοῦ τῶν μεταβολῶν, $L = K - \Omega$ ἡ Λαγκρανζιανή, ἔνθα K ἡ συνολικὴ κινητικὴ ἐνέργεια καὶ Ω τὸ συνολικὸ δυναμικὸ τῶν ἐξωτερικῶν δυνάμεων (τῶν βαρῶν τῶν σπονδύλων).

Γιὰ ἕναν κίονα μὲ n σπονδύλους ἡ ἐξίσωση (1) ὀδηγεῖ στὸ σύστημα τῶν ἐξισώσεων Euler – Lagrange [3,24,25]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial K}{\partial \theta_i} + \frac{\partial \Omega}{\partial \theta_i} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$\text{ὅπου } K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n J_{c_i} \dot{\theta}_i^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i (\dot{u}_{c_i}^2 + \dot{y}_{c_i}^2), \quad \Omega = g \sum_{i=1}^n m_i \tilde{y}_{c_i} \quad (3)$$

καὶ θ_i & $\dot{\theta}_i$ ἡ γωνία στροφῆς καὶ ἡ γωνιακὴ ταχύτης (ἀντίστοιχα) τοῦ i σπονδύλου, $J_{c_i} = (1/3)m_i R_i^2$ ἡ πολικὴ ροπή ἀδρανείας τοῦ i σπονδύλου ὡς

πρὸς τὸ κέντρο βάρους του, m_i & R_i ἡ μάζα καὶ ἡ διαγώνιος τοῦ i σπονδύλου ($i=1,2,\dots,n$), ἐνῶ u_i & \tilde{y}_i εἶναι ἡ ὀριζόντια καὶ κατακόρυφη ἀντίστοιχα μετακίνηση τοῦ κέντρου βάρους C_i τοῦ i σπονδύλου.

Ἡ ἐπίλυση τῶν διαφορικῶν ἐξισώσεων (2) μὲ ἀγνώστους τὶς γωνίες στροφῆς τῶν σπονδύλων θ_i ἔχει ὡς στόχο τὸν προσδιορισμὸ τοῦ μικροτέρου μεγέθους τῆς ἐδαφικῆς διεγέρσεως πὺ ὁδηγεῖ σὲ ἀνατροπὴ τὸν κίονα. Ἡ ἀστάθεια αὐτῆ (λόγω ἀνατροπῆς) ἐκδηλώνεται ἀπὸ μαθηματικῆς (ὑπολογιστικῆς) πλευρᾶς μὲ κίνηση τοῦ κίονα συνεχῶς ἀύξανομένου εὔρους. Ἀξίζει ἐπίσης νὰ τονισθεῖ ὅτι, καθόσον ὁ ἀριθμὸς τῶν σπονδύλων αὐξάνεται, ἡ ἐπίλυση αὐτῆ (ἀριθμητικὴ ὀλοκλήρωση) γίνεται περισσότερο δυσχερῆς λόγω καὶ τῆς ἐντόνου μὴ γραμμικότητος τῶν ἐξισώσεων. Ἐνδεικτικῶς παραθέτουμε κατωτέρω γιὰ ἓνα κίονα μὲ τρεῖς σπονδύλους τὶς 3 διαφορικῆς ἐξισώσεις, λαμβανομένης ὑπόψῃ καὶ τῆς ἐπιρροῆς τῆς ὀλισθήσεως (βλ. Σχῆμα 2α)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{\theta}_1} \right) - \frac{\partial K}{\partial \theta_1} + \frac{\partial \Omega}{\partial \theta_1} = J_{0_1} \ddot{\theta}_1 + [m_1 R_1 \cos(\alpha_1 + \theta_1) + 2(m_2 + m_3) h_1 \cos \theta_1] \ddot{u}_g - \\ - 2(m_2 + m_3) h_1 \ddot{x}_{s_2} \cos(\theta_2 - \theta_1) + 2h_1 [m_2 R_2 \cos(\alpha_2 + \theta_2 - \theta_1) + \\ + (m_2 + m_3) x_{s_2} \sin(\theta_2 + \theta_1) + 2m_3 h_2 \cos(\theta_2 - \theta_1)] \ddot{\theta}_2 + 2m_3 h_1 [R_3 \cos(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_1) + \\ + x_{s_3} \sin(\theta_3 - \theta_1)] \ddot{\theta}_3 - 2m_3 h_1 \ddot{x}_{s_3} \cos(\theta_3 - \theta_1) - 2h_1 [m_2 R_2 \sin(\alpha_2 + \theta_2 - \theta_1) - \\ - (m_2 + m_3) x_{s_2} \cos(\theta_2 - \theta_1) + 2m_3 h_2 \sin(\theta_2 - \theta_1)] \dot{\theta}_2^2 - 2m_3 h_1 [R_3 \sin(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_1) - \\ - x_{s_3} \cos(\theta_3 - \theta_1)] \dot{\theta}_3^2 + 4(m_2 + m_3) h_1 \dot{\theta}_2 \dot{x}_{s_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) + 4m_3 h_1 \dot{\theta}_3 \dot{x}_{s_3} \sin(\theta_3 - \theta_1) - \\ - m_1 g R_1 \sin(\alpha_1 + \theta_1) - 2(m_2 + m_3) g h_1 \sin \theta_1 = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{ὅπου } J_{0_1} = J_{c_1} + m_1 R_1^2 + 4m_2 h_1^2 + 4m_3 h_1^2$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{\theta}_2} \right) - \frac{\partial K}{\partial \theta_2} + \frac{\partial \Omega}{\partial \theta_2} = J_{0_2} \ddot{\theta}_2 + [m_2 R_2 \cos(\alpha_2 + \theta_2) + m_2 x_{s_2} \sin \theta_2 + \\ + m_3 (2h_2 \cos \theta_2 + x_{s_2} \sin \theta_2)] \ddot{u}_g - \{m_2 R_2 \cos \alpha_2 + 2m_3 h_2 [1 + \cos(\theta_3 - \theta_2)]\} \ddot{x}_{s_2} + \\ + 2h_1 [m_2 R_2 \cos(\alpha_2 + \theta_2 - \theta_1) + (m_2 + m_3) x_{s_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) + 2m_3 h_2 \cos(\theta_2 - \theta_1)] \ddot{\theta}_1 + \\ + m_3 [2R_3 h_2 \cos(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_2) - R_3 x_{s_2} \sin(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_2) + 2h_2 x_{s_3} \sin(\theta_3 - \theta_2) + \\ + x_{s_2} x_{s_3} \cos(\theta_3 - \theta_2)] \ddot{\theta}_3 + 2h_1 [m_2 R_2 \sin(\alpha_2 + \theta_2 - \theta_1) - (m_2 + m_3) x_{s_2} \cos(\theta_2 - \theta_1) + \\ + 2m_3 h_2 \sin(\theta_2 - \theta_1)] \dot{\theta}_2^2 - m_3 [2R_3 h_2 \sin(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_2) + R_3 x_{s_2} \cos(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_2) - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -2h_2x_{s_3} \cos(\theta_3 - \theta_2) + x_{s_2}x_{s_3} \sin(\theta_3 - \theta_2)]\dot{\theta}_3^2 + 2\dot{x}_{s_2}\dot{\theta}_2[(m_2 + m_3)x_{s_2} - m_2R_2 \sin \alpha_2] + \\
& + m_3\ddot{x}_{s_3}x_{s_2} \sin(\theta_3 - \theta_2) + m_3\dot{x}_{s_2}\dot{\theta}_3[2h_2 \sin(\theta_3 - \theta_2) + x_{s_3} \cos(\theta_3 - \theta_2)] + \\
& + 2m_3\dot{\theta}_3\dot{x}_{s_3}[x_{s_2} \cos(\theta_3 - \theta_2) + h_2 \sin(\theta_3 - \theta_2)] - m_2g[R_2 \sin(\alpha_2 + \theta_2) - \\
& - x_{s_2} \cos \theta_3] - m_3g[2h_2 \sin \theta_2 - x_{s_2} \cos \theta_2] = 0
\end{aligned} \tag{5}$$

$$\acute{\omicron}\pi\omicron\upsilon J_{0_1} = J_{c_2} + m_2R_2^2 + 4m_3h_2^2 + (m_2 + m_3)x_{s_2}^2 - 2m_2R_2x_{s_2} \sin \alpha_2$$

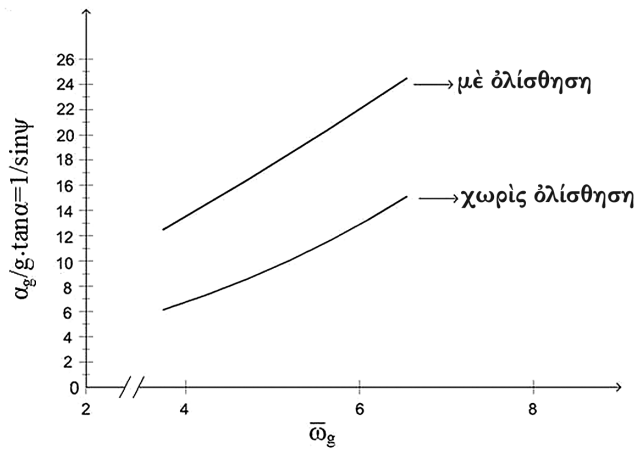
$$\begin{aligned}
& \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{\theta}_3} \right) - \frac{\partial K}{\partial \theta_3} + \frac{\partial \Omega}{\partial \theta_3} = J_{0_1}\ddot{\theta}_3 + m_3[R_3 \cos(\alpha_3 + \theta_3) + x_{s_3} \sin \theta_3]\ddot{u}_g - \\
& - m_3[R_3 \cos(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_2) + x_{s_3} \sin(\theta_3 - \theta_2)]\ddot{x}_{s_2} - m_3R_3\ddot{x}_{s_3} \cos \alpha_3 + \\
& + 2m_3h_1[R_3 \cos(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_1) + x_{s_3} \sin(\alpha_3 + \theta_3)]\dot{\theta}_1 + m_3\{2h_2[R_3 \cos(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_2) + \\
& + x_{s_3} \sin(\theta_3 - \theta_1) + x_{s_2}x_{s_3} \cos(\theta_3 - \theta_2) - R_3x_{s_2} \sin(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_2)]\ddot{\theta}_2 + \\
& + 2m_3h_1[R_3 \sin(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_1) - x_{s_3} \cos(\theta_3 - \theta_1)]\dot{\theta}_1 + m_3\{2h_2[R_3 \sin(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_2) - \\
& - x_{s_3} \cos(\theta_3 - \theta_2)] + x_{s_2}x_{s_3} \cos(\theta_3 - \theta_2) + R_3x_{s_2} \cos(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_2)\}\ddot{\theta}_2 + \\
& + 2m_3[x_{s_3} \cos(\theta_3 - \theta_2) - R_3 \sin(\alpha_3 + \theta_3 - \theta_2)]\dot{x}_{s_2}\dot{\theta}_2 + \\
& + 2m_3(x_{s_3} - R_3 \sin \alpha_3)\dot{x}_{s_3}\dot{\theta}_3 - m_3g[R_3 \sin(\alpha_3 + \theta_3) - x_{s_3} \cos \theta_3] = 0
\end{aligned} \tag{6}$$

$$\acute{\omicron}\pi\omicron\upsilon J_{0_2} = J_{c_3} + m_3R_3^2 + m_3x_{s_3}^2 - 2m_3R_3x_{s_3} \sin \alpha_3$$

Στην περίπτωση κίονα με 4 σπονδύλους οι αντίστοιχες εξισώσεις κινήσεως καταλαμβάνουν περισσότερες από δύο σελίδες.

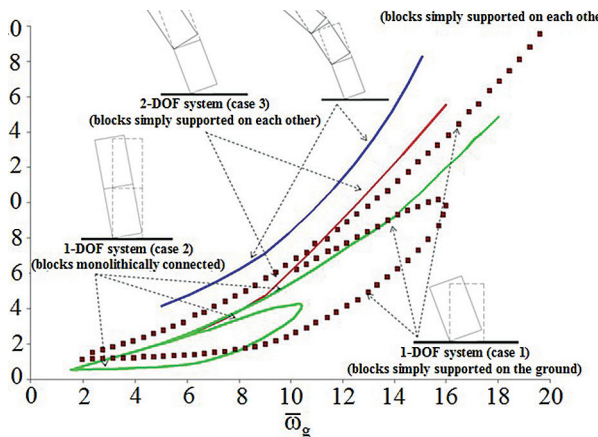
Σημειωτέον ότι οι ανωτέρω εξισώσεις για σπονδύλους με ύψος 4 φορές (τουλάχιστον) μεγαλύτερο τής διαμέτρου των, μπορούν, όπως απέδειξα, να γραμμικοποιηθούν [25], με αποτέλεσμα να είναι ολοκληρώσιμες, οδηγούσες σε κλειστή λύση!

Στό Σχῆμα 3 βλέπουμε ένα ενδιαφέρον διάγραμμα με οριζόντιο άξονα την έξωτερική έδαφική διέγερση (άρμονική συχνότης ενός μήκους κύματος) και κατακόρυφο άξονα τὸ ἐλάχιστο εὔρος διεγέρσεως γιὰ τὸ ὁποῖο ἕνας ἐκ τριῶν σπονδύλων κίονας ἀνατρέπεται. Χαρακτηριστικὸ εἶναι ὅτι, ὅταν λαμβάνεται ὑπόψη ἡ ὀλίσθηση, ὁ πολυσπονδυλωτὸς αὐτὸς κίονας γίνεται εὐσταθέστερος ἀπὸ ἐκεῖνον χωρὶς ὀλίσθηση, διότι ἡ καμπύλη με ὀλίσθηση βρῖσκεται ὑψηλότερα ἀπὸ τὴν καμπύλη χωρὶς ὀλίσθηση.



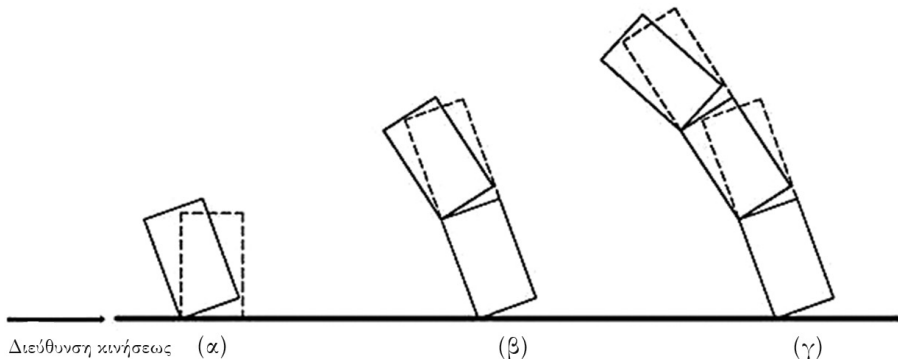
Σχ. 3: Μεταβολή του ελάχιστου εύρους επιταχύνσεως του εδάφους $\alpha_g/g \tan \alpha$ συναρτήσει του $\bar{\omega}_g$ που οδηγεί σε ανατροπή χωρίς ή με όλίσθηση (με $\min \mu_r = 0.255343$, κάτω φράγμα εύρους) για έναν κίονα με δύο όμοιους σπονδύλους ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0.25$ rad, $R_1 = R_2 = 1.606$ m, $p_1^2 = p_2^2 = 2.14$ sec⁻¹, $e = 0.90$).

Επίσης, εξαιρετικά ενδιαφέρον είναι και το παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4)



Σχ. 4: Ελάχιστο εύρος επιταχύνσεως του εδάφους $\alpha_g/g \tan \alpha$ συναρτήσει του $\bar{\omega}_g$ που οδηγεί σε ανατροπή χωρίς όλίσθηση: έναν σπόνδυλο ($\alpha_1 = 0.25$, $e = 0.90$), κίονα εκ δύο όμοιων σπονδύλων ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0.25$, $e = 0.90$, μονολιθικά συνδεδεμένων ή ελεύθερα στρεφόμενων μεταξύ τους) και κίονα από 3 όμοιους σπονδύλους ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0.25$, $e = 0.90$).

Τò διάγραμμα αυτό δίδει τò ελάχιστο εϋρος τῆς ἐδαφικῆς διεγέρσεως συναρτήσῃ τῆς ἐξωτερικῆς ἐδαφικῆς συχνότητος (ἀντίστροφο τῆς περιόδου) πòυ ὀδηγεῖ σὲ ἀστάθεια λόγω ἀνατροπῆς τρεῖς περιπτώσεις κίονων μὲ 1, 2, 3 σπονδύλους πòυ φαίνονται στò Σχῆμα 5α,β,γ: Ὁ πρῶτος κίονας ἀποτελεῖται ἀπò ἕναν σπόνδυλο (Σχῆμα 5α), ὁ δεϋτερος ἀπò δύο σπονδύλους (Σχῆμα 5β) καὶ ὁ 3ος ἀπò τρεῖς σπονδύλους (Σχῆμα 5γ).

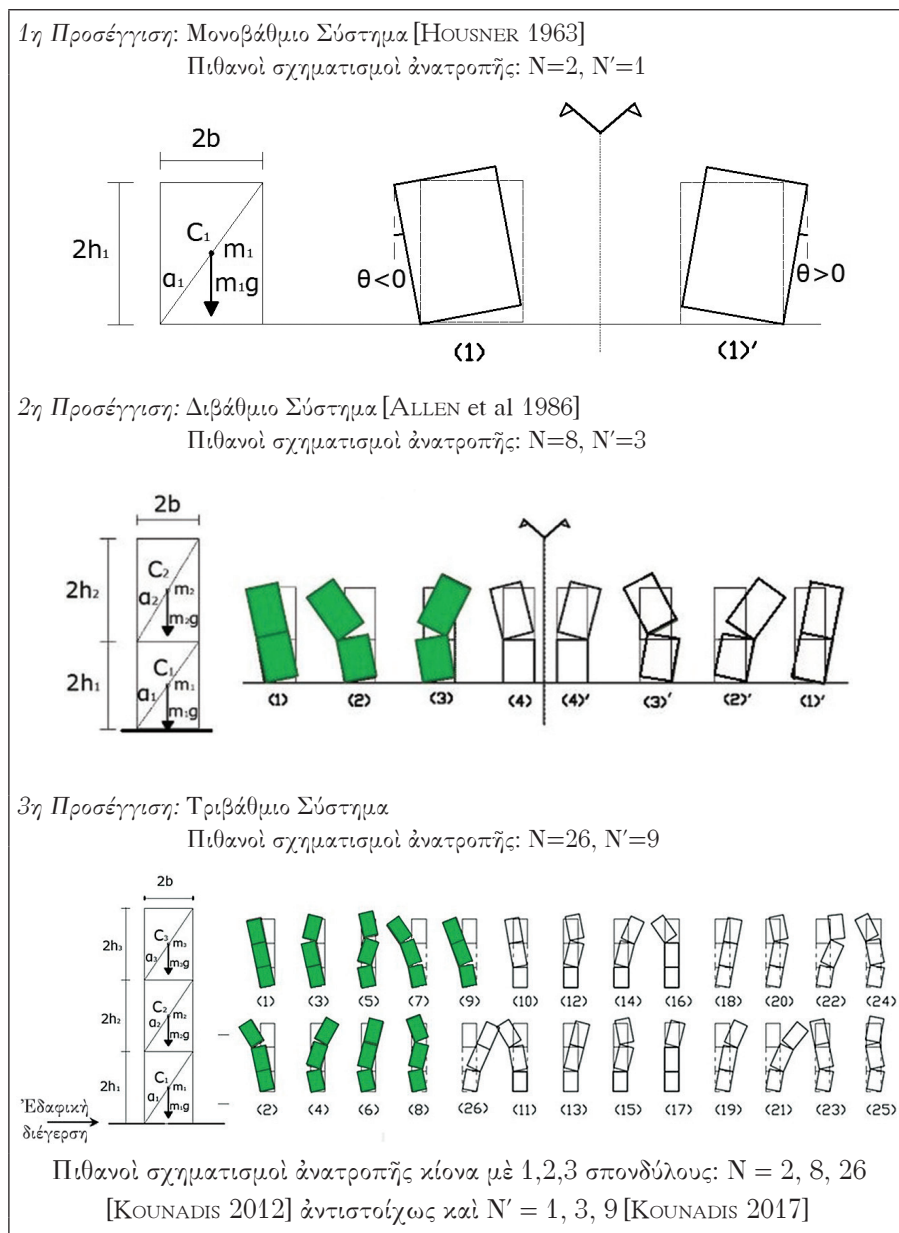


Σχ. 5: Τρεῖς περιπτώσεις κίονων ὑπò ἐδαφικὴ διεγέρση: (α) ἕνας σπόνδυλος ἐδραζόμενος ἀπ' εϋθείας στò ἔδαφος, (β) τοποθετημένος ἐλεύθερα ἐπάνω σὲ ἕναν ὁμοῖό του, καὶ (γ) τοποθετημένος σὲ ἕναν κίονα μὲ δύο ὁμοίους σπονδύλους.

Ἀπò τò διάγραμμα τοῦ Σχῆματος 4 προκύπτει ὅτι ἀσταθέστερος εἶναι ὁ κίονας μὲ ἕναν σπόνδυλο. Ἄν ὅμως τὸν σπόνδυλο αὐτὸν τὸν τοποθετήσουμε πάνω σὲ ἕναν ἄλλο ὁμοῖό του (ὅπως φαίνεται στò Σχῆμα 5β), καθίσταται ἀσφαλέστερος ἔναντι ἀνατροπῆς, διότι ὁ ἐκ δύο πλέον σπονδύλων κίονας γίνεται εϋσταθέστερος. Ὁ ἕνας αὐτὸς σπόνδυλος καθίσταται ἀκόμη ἀσφαλέστερος ἂν τὸν τοποθετήσουμε πάνω σὲ ἕναν κίονα μὲ δύο ὁμοίους σπονδύλους, διότι ὁ ἐκ τριῶν σπονδύλων κίονας (Σχῆμα 5γ) γίνεται ἀκόμη εϋσταθέστερος. Τέλος, ἀξίζει νὰ σημειωθεῖ ὅτι οἱ δύο τελευταῖοι κίονες (ἐκ 2 καὶ 3 σπονδύλων) εἶναι εϋσταθέστεροι ἀπò δύο ἴδιους ἀντίστοιχους κίονες ἀλλὰ μονολιθικοὺς (μονοκόμματα).

Ἡ μεγάλη δυσχέρεια ἐπιλύσεως τῶν διαφορικῶν αὐτῶν ἐξισώσεων, ἀκόμη καὶ στὴν περίπτωση τριῶν σπονδύλων, γίνεται ἀκόμη μεγαλύτερη, διότι πλείονες τοῦ ἑνὸς γεωμετρικοὶ σχηματισμοὶ ἑνὸς πολυσπονδυλωτοῦ κίονα μπορεῖ νὰ τὸν ὀδηγήσουν σὲ ἀνατροπή. Τò ποῖος θὰ εἶναι ὁ πιθανὸς αὐτὸς γεωμετρικὸς σχηματισμὸς ἀνατροπῆς ἐξαρτᾶται καὶ ἀπò τὴν κατεύθυνση τῆς ἐδαφικῆς διεγέρσεως, τὸ μέγεθος, τὴ μορφή καὶ τὴ διάρκειά της.

Στὸν ἀκόλουθο Πίνακα 1 βλέπετε τοὺς πιθανοὺς γεωμετρικοὺς σχηματισμοὺς ἀνατροπῆς γιὰ τὶς περιπτώσεις κίονων μὲ 1, 2 καὶ 3 σπονδύλους.



Πίν. 1: Συνολικὸς ἀριθμὸς σχηματισμῶν ἀνατροπῆς $N = 3^n - 1$ & νέος $N' = 3^{n-1}$.

Στήν 1η περίπτωση (ένος σπονδύλου) ή ανατροπή θα γίνει είτε προς τα αριστερά είτε προς τα δεξιά, στη 2η περίπτωση (δύο σπονδύλων) οί πιθανοί γεωμετρικοί σχηματισμοί είναι 8, ενώ στην 3η περίπτωση 26. Σε παλαιότερη δημοσίευσή μου απέδειξα έπαγωγικώς ότι ο συνολικός αριθμός τών πιθανών γεωμετρικών σχηματισμών ανατροπής για έναν κίονα με «n» σπονδύλους δίδεται από τον τύπο που βλέπετε στο άνω μέρος του Πίνακα 1, $N = 3^n - 1$. Στήν τελευταία δημοσίευσή μου ο συνολικός αριθμός N μειώνεται στο $1/3$, υπολογιζόμενος πλέον από τον τύπο $N' = 3^{n-1}$ (βλ. άνω μέρος Πίνακα 1). Το τελευταίο αυτό εύρημα επιτεύχθηκε μέσω ποιοτικής (θεωρητικής) ανάλυσεως με τη βοήθεια άπλων σχέσεων και εξισώσεων. Οί πιθανοί γεωμετρικοί σχηματισμοί ανατροπής του κίονα βάσει του τελευταίου τύπου έμφανίζονται στον Πίνακα 1 με πράσινο χρώμα. Για κίονα με δύο σπονδύλους ο αριθμός N' περιορίζεται σε 3 γεωμετρικούς σχηματισμούς έναντι συνόλου 8, ενώ για κίονα με 3 σπονδύλους ο αριθμός N' περιορίζεται σε 9 έναντι συνόλου 26, δηλαδή πρακτικώς στο $1/3$.

Έπίσης μέσω ποιοτικής (θεωρητικής) ανάλυσεως, χωρίς τη χρήση πολύπλοκων εξισώσεων και σχέσεων, εύρέθησαν τα ακόλουθα:

1. Για συγκεκριμένης κατευθύνσεως διέγερση του έδάφους προσδιορίστηκε ποίος είναι ο πρώτος γεωμετρικός σχηματισμός (έπί συνόλου $N = 3^n - 1$) ενός κίονα με n σπονδύλους, ο οποίος οδηγεί τουτόν σε λικνισμό στην περίπτωση τόσο μη ύπάρξεως, όσο και ύπάρξεως μικρής όλισθήσεως μεταξù διαδοχικών σπονδύλων.

2. Μεταξù δύο κίωνων του ίδιου ύψους και τής ίδιας διατομής, εκ τών οποίων ο ένας είναι μονολιθικός (μονοκόμματος) και ο άλλος διηρημένος σε κομμάτια (σπονδύλους), ευσταθέστερος έναντι κινήσεως του έδάφους (σεισμοϋ) είναι ο δεύτερος, ο κατακερματισμένος κίονας, λόγω τής απορρόφησης ένεργείας, εξ αιτίας τών μεταξù διαδοχικών σπονδύλων μικροολισθήσεων και κρούσεων.

3. Μεταξù δύο όμοίων κίωνων που έχουν τήν ίδια λυγηρότητα (λόγος ύψους προς διάμετρο διατομής) αλλά διαφορετικό ύψος, ο ύψηλότερος είναι ευσταθέστερος του χαμηλοτέρου.

Τά δύο τελευταία αυτά εύρήματα, που αντίκεινται στην κοινή αντίληψη και προέκυψαν μέσω ποιοτικής ανάλυσης, στη συνέχεια θα έπαληθευτούν πειραματικώς με τη βοήθεια μικρής κλίμακος δοκιμιών, υποκειμένων σε διάφορες κινήσεις-διεγέρσεις του έδάφους (που παριστοϋν σεισμικές δράσεις).

Θὰ σᾶς παρουσιάσω τρία πειράματα (πὸν βιντεοσκοπήθηκαν), τὰ ὁποῖα ἀφοροῦν διαφορετικὰ εὐρήματα. Ἀντίθετα ἀπὸ τὸ τρίτο πείραμα, πὸν ἐκτελέστηκε στὴ σεισμικὴ τράπεζα τοῦ Ἐργαστηρίου Ἐδαφοδυναμικῆς τοῦ ΕΜΠ ὑπὸ τὴ διεύθυνση τοῦ καθηγητοῦ κ. Γ. Γκαζέτα, τὰ δύο πειράματα (μὲ τὰ ὁποῖα θὰ ξεκινήσω) ἔγιναν ἀπὸ μένα σὲ χῶρο γραφείου μὲ ὑποτυπώδη σεισμικὴ τράπεζα. Συγκεκριμένα χρησιμοποίησα ἓνα μικρὸ τραπεζάκι ἐπὶ τοῦ ὁποῖου ἐδράζονταν ἐλεύθερα μικροὶ ξύλινοι κυκλικῆς διατομῆς κίονες. Τὸ τραπεζάκι αὐτὸ ὑποβάλλεται σὲ τρεῖς διαφορετικὲς κινήσεις-διεγέρσεις, οἱ ὁποῖες παρὰ τὴ διαφορετικότητά τους ὀδηγοῦν στὸ ἴδιο ἐρευνητικὸ ἀποτέλεσμα ὡς πρὸς τὴ συμπεριφορὰ τῶν κίωνων.

Στὸ πρῶτο πείραμα ἐδράζονταν ἐπὶ ἐνὸς μικροῦ τραπεζιοῦ δύο κίονες κυκλικῆς διατομῆς, διαμέτρου 4,5 ἐκ. καὶ ὕψους 27 ἐκ. Ὁ ἀριστερὸς εἶναι μονολιθικός (μονοκόμματος), ἐνῶ ὁ δεξιὸς ἀποτελεῖται ἀπὸ ἔξι σπονδύλους, οἱ ὁποῖοι ἐλεύθερα ἐδράζονται ὁ ἓνας ἐπάνω στὸν ἄλλο, δηλαδὴ ὁ κίονας αὐτὸς ἀποτελεῖται ἀπὸ ἔξι κομμάτια.

Ἐπέβαλα σὲ κίνηση τὸ τραπεζάκι (ἀντιστοιχοῦσα σὲ κάποιο σεισμὸ) καὶ ἔπεσε πρῶτος ὁ μονοκόμματος κίονας καὶ ὄχι ὁ κατακερματισμένος. Ἐπανέλαβα τὸ ἴδιο πείραμα μὲ διαφορετικὴ κίνηση-διέγερση ἐν σχέσει μὲ τὴν προηγούμενη. Τότε ἔπεσε καὶ πάλι ὁ μονοκόμματος κίονας καὶ ὄχι ὁ κατακερματισμένος. Ἐπανέλαβα γιὰ τρίτη φορὰ τὸ πείραμα μὲ διαφορετικὴ καὶ πάλι κίνηση-διέγερση τοῦ τραπεζιοῦ. Καὶ πάλι ἔπεσε ὁ μονολιθικός κίονας, ἐνῶ ὁ κατακερματισμένος παρέμεινε ὄρθιος.

Τὸ συμπέρασμα πὸν συνάγεται ἀπὸ τὰ τρία αὐτὰ πειράματα εἶναι ὅτι, παρὰ τὴ διαφορετικότητα τῆς κίνησης-διέγερσης τοῦ τραπεζιοῦ, πέφτουν πάντοτε οἱ μονολιθικοὶ κίονες. Αὐτὸ ὀφείλεται στὸ ὅτι, καθὼς ἡ διέγερση ξεκινάει ἀπὸ τὸ τραπεζάκι μὲ κατεύθυνση πρὸς τὸ ἄνω μέρος τῶν δύο κίωνων, ἀντίθετα ἀπὸ τὸν μονολιθικό, στὸν κατακερματισμένο γίνεται ἀπορρόφηση ἐνέργειας μεταξὺ διαδοχικῶν σπονδύλων λόγω τῆς μεταξὺ τους σχετικῆς ὀλίσθησης· ἀπορρόφηση μάλιστα ἐνέργειας πὸν αὐξάνεται καθ' ὕψος, μὲ ἀποτέλεσμα τὸ ἐναπομένον μέγεθος τῆς διεγέρσεως νὰ μὴν εἶναι ἐπαρκὲς γιὰ τὴν ἀνατροπὴ τοῦ κίονα. Ἀντίθετα, στὸν μονολιθικό κίονα μεταδίδεται πρὸς τὰ ἄνω ὅλη ἡ διέγερση χωρὶς καμμία μείωση, μὲ ἀποτέλεσμα τὴν πτώση του. Τὸ συμπέρασμα εἶναι ὅτι ὁ κατακερματισμένος κίονας εἶναι εὐσταθέστερος τοῦ μονολιθικοῦ, πράγμα ἀντίθετο πρὸς τὴν κοινὴ ἀντίληψη.

Στὸ δεύτερο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν τρεῖς κίονες κυκλικῆς διατομῆς, ἐκ τῶν ὁποίων ὁ πρῶτος (ὑψους 22.5 ἐκ. καὶ διαμέτρου 4.5 ἐκ.) καὶ ὁ δεύτερος (ὑψους 14 ἐκ. καὶ διαμέτρου 2.8 ἐκ.) εἶναι ὅμοιοι, δηλαδή ἔχουν τὴν ἴδια λυγηρότητα ($\lambda = \sqrt{2h}/r = 14.14$). Ὁ τρίτος ἔχει τὴν ἴδια διάμετρο μὲ τὸν δεύτερο (2.8 ἐκ.) ἀλλὰ εἶναι λίγο χαμηλότερος (ὑψους 9.8 ἐκ., συνεπῶς δὲν εἶναι ὅμοιος, μὲ λυγηρότητα $\lambda = 9.9$). Ὑποβάλλεται σὲ κίνηση τὸ τραπεζάκι (ἀντιστοιχοῦσα σὲ κάποιον σεισμό), ὅποτε ἔπεσαν οἱ δύο χαμηλότεροι κίονες, ἐνῶ ὁ ὑψηλότερος παρέμεινε ὄρθιος. Ἐπανελήφθη τὸ ἴδιο πείραμα γιὰ δεύτερη φορά, μὲ διαφορετικὴ κίνηση-διέγερση, ὅποτε ἔπεσε ὁ μεσαῖος κίονας, ἐνῶ ὁ ὑψηλότερος καὶ ὁ χαμηλότερος παρέμειναν ὄρθιοι. Ἐπανελήφθη τὸ πείραμα αὐτὸ γιὰ τρίτη φορά μὲ διαφορετικὴ κίνηση-διέγερση τοῦ τραπεζιοῦ, καὶ τότε ἔπεσε ὁ χαμηλότερος κίονας, ἐνῶ οἱ δύο ἄλλοι ὅμοιοι (ποὺ ἔχουν τὴν ἴδια λυγηρότητα) παρέμειναν ὄρθιοι.

Τὸ συμπέρασμα ἀπὸ τὰ τρία τελευταῖα πειράματα εἶναι ὅτι μεταξὺ τῶν τριῶν (διαφορετικοῦ ὑψους) κίωνων εὐσταθέστερος εἶναι ὁ ὑψηλότερος, πράγμα ποὺ καὶ αὐτὸ ἀντίκειται στὴν κοινὴ ἀντίληψη. Τὸ συμπέρασμα αὐτὸ εἶναι ἰσχυρότερο μεταξὺ ὁμοίων κίωνων (τοῦ πρώτου καὶ τοῦ μεσαίου). Ὡστόσο, κάτω ἀπὸ ὀρισμένες συνθήκες (λυγηρότητος καὶ εἴδους διέγερσης), εἶναι δυνατὸν νὰ πέσει πρῶτος ὁ χαμηλότερος κίονας (ὅπως εἶδαμε στὴν τρίτη ἐπανάληψη) καὶ οἱ δύο ὅμοιοι νὰ παραμείνουν ὄρθιοι. Τοῦτο συμβαίνει διότι ἡ κίνηση-διέγερση ποὺ ξεκινáει ἀπὸ τὸ τραπεζάκι καὶ κατευθύνεται μὲ τὴν ἴδια ταχύτητα πρὸς τὸ πάνω μέρος τῶν κίωνων φθάνει γρηγορότερα στὸ κέντρο βάρους τοῦ χαμηλότερου κίονα (τὸν ὁποῖον καὶ ἀνατρέπει) ἀπ' ὅ,τι στοὺς δύο ὑψηλοτέρους κίονες (ποὺ παραμένουν ὄρθιοι). Διευκρινίζεται ὅτι αὐτὸ μπορεῖ νὰ συμβεῖ στὴν περίπτωση μικρῆς διαφορᾶς λυγηρότητος μεταξὺ τοῦ τρίτου καὶ τῶν δύο ὁμοίων σπονδύλων σὲ συνδυασμὸ μὲ κατάλληλο εἶδος διεγέρσεως. Ἔτσι, μεταξὺ τῶν δύο χαμηλοτέρων κίωνων ποὺ ἔχουν τὴν ἴδια διάμετρο (ἀλλὰ λυγηρότητα 14.14 ὁ πρῶτος καὶ 9.90 ὁ δεύτερος), παρὰ ταῦτα, γιὰ τοὺς λόγους ποὺ ἐξηγήσαμε παραπάνω, κάτω ἀπὸ ὀρισμένη κίνηση-διέγερση ἔπεσε ὁ χαμηλότερος.

Τέλος, ἀξίζει νὰ σημειωθεῖ ὅτι τὰ παραπάνω συμπεράσματα ἔχουν στηριχθεῖ σὲ πολὺ περισσότερα πειράματα ἀπὸ τὰ τρία τὰ ὁποῖα παρουσιάστηκαν ἐνδεικτικῶς.

Στὸ πείραμα ποὺ ἐκτελέστηκε στὴ σεισμικὴ τράπεζα τοῦ Ἐργαστηρίου Ἐδαφοδυναμικῆς τοῦ ΕΜΠ, ὑπὸ τὴ διεύθυνση τοῦ καθηγητοῦ κ. Γ. Γκαζέτα, ἡ γεμάτη μὲ νερὸ φιάλη ποὺ εἶχε τοποθετηθεῖ στὴ βάση τοῦ κίονα

άνετράπη, ενώ στο άνω άκρο του κίονα τὰ ἀντικείμενα που εἶχαν τοποθετηθεῖ δὲν ἀνετράπησαν, λόγω τῆς ἀπορροφήσεως τῆς σεισμικῆς διεγέρσεως ἐξ αἰτίας τῶν μικρολισθήσεων καὶ κρούσεων μεταξύ τῶν διαδοχικῶν σπονδύλων που προκαλοῦν μείωση τῆς διεγέρσεως.

Σὲ πρόσφατη ἐργασία [26] ἐπιχειρεῖται ἡ σύγκριση μέσω ἀριθμητικῆς ἀναλύσεως FEM τῆς δυναμικῆς συμπεριφορᾶς ἑνὸς πολυσπονδυλωτοῦ κίονα μὲ ἕναν ὅμοιό του μονολιθικό. Ὡστόσο, λόγω ἀπλοποιητικῶν παραδοχῶν, μειωμένης ἀξιοπιστίας τῆς ἀναλύσεως, βασισμένης μάλιστα σὲ ἕναν μόνον γεωμετρικὰ συγκεκριμένο κίονα, τὰ σχετικὰ ἀποτελέσματα, ὅπως καὶ οἱ ἴδιοι οἱ συγγραφεῖς παραδέχονται, δὲν ἐπιτρέπουν τῆ συναγωγῆ γενικῶν συμπερασμάτων.

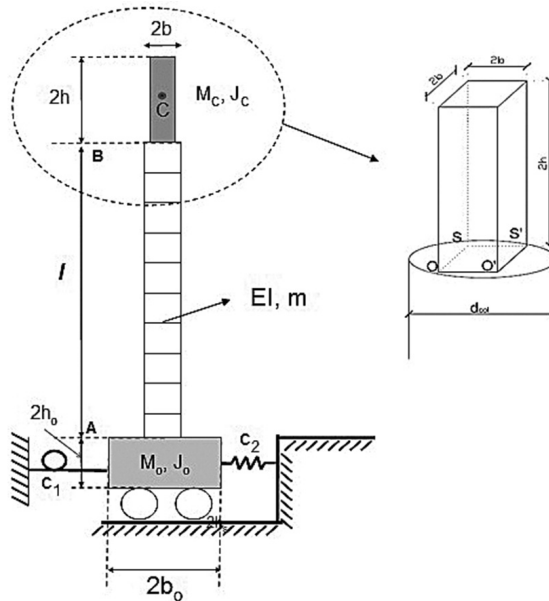
4. Δομικὸ σύστημα «Πολυσπονδυλωτὸς κίονας – ἄγαλμα»

Ἡ ἐπίλυση τοῦ δομικοῦ αὐτοῦ συστήματος, παρὰ τὰ θεωρητικῶς συναχθέντα καὶ πειραματικῶς ἐπαληθευθέντα εὐρήματα, λόγω τοῦ μεγάλου ἀριθμοῦ τῶν ἐντόνως μὴ γραμμικῶν διαφορικῶν ἐξισώσεων που διέπουν τὴν ιδιαίτερα πολύπλοκη συμπεριφορά του, εἶναι ἐξαιρετικὰ δυσχερῆς, ἂν μὴ ἀδύνατη, γιὰ κίονες μὲ περισσότερους ἀπὸ 4-5 σπονδύλους. Στὸ σοβαρὸ αὐτὸ μειονέκτημα προστίθεται καὶ ἡ ὑπάρχουσα στὶς ἐξισώσεις αὐτὲς ἀβεβαιότης ὡς πρὸς τὴν ἀκρίβεια τῆς ἐπιρροῆς τῆς ἀποσβέσεως.

Ἔτσι, γιὰ ἕνα δομικὸ σύστημα μὲ κίονα μὲ πολλοὺς σπονδύλους, κατέστη ἀναγκαία ἡ ἀναζήτηση ἑνὸς ἰσοδυνάμου δομικοῦ συστήματος «μονολιθικοῦ κίονα καὶ ἀγάλματος», τοῦ ὁποῦ ἡ «ἀκριβῆς» δυναμικὴ ἀνάλυση εἶναι πραγματοποιήσιμη σύμφωνα μὲ πρόσφατες δημοσιεύσεις μου [7-9].

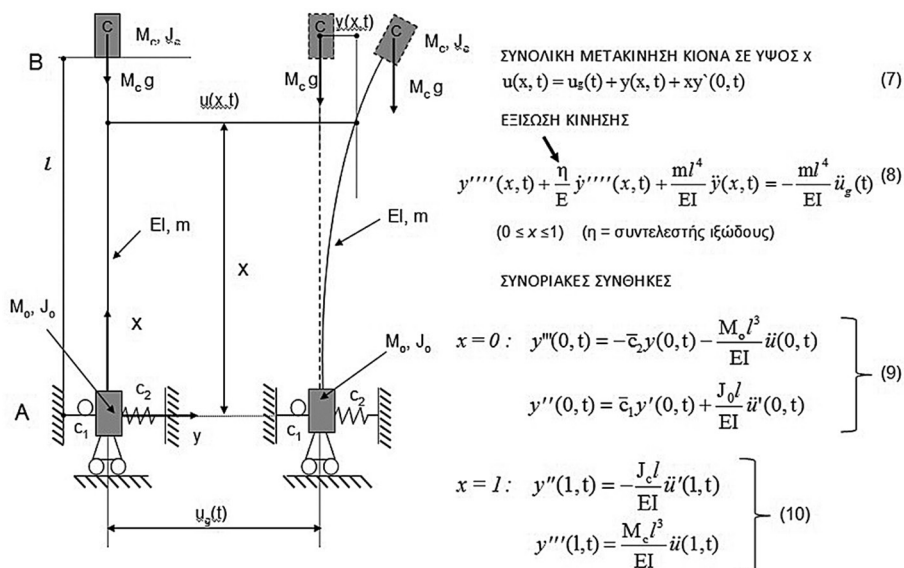
Ὡς «ἰσοδύναμο μονολιθικὸ» κίονα ἐπιλέγουμε ἕναν ἰξωδοελαστικὸ κίονα μὲ συντελεστὴ ἰξώδους «ἰσοδύναμο» (ἢ μικρότερο) πρὸς τὸν βαθμὸ ἀποσβέσεως τοῦ πολυσπονδυλωτοῦ κίονα [7]. Αὐτὸ μπορεῖ νὰ ἐπιτευχθεῖ μόνον πειραματικῶς μὲ δοκίμια μικρῆς κλίμακος μὲ χαρακτηριστικὰ ὑλικοῦ καὶ γεωμετρικὸ σχῆμα, εἰ δυνατόν, τὰ ἴδια μὲ ἐκεῖνα τῶν πολυσπονδυλωτῶν κίωνων. Μέσω τῶν δοκιμῶν αὐτῶν εἶναι δυνατὸς ὁ προσδιορισμὸς μὲ ἱκανοποιητικὴ προσέγγιση τοῦ συντελεστοῦ ἰξώδους, ὥστε ὁ ἰξωδοελαστικὸς μονολιθικὸς κίονας νὰ ἔχει τὴν ἴδια ἢ ἐλάχιστα μικρότερη ἀπόσβεση, τῆς πειραματικῶς ὑπολογισθείσης. Συγκεκριμένα μποροῦμε νὰ ὑπολογίσουμε γιὰ χρονικὸ διάστημα, παραδείγματος χάριν, 4' τῆ μεταβολῆ (συναρτήσῃ τοῦ χρόνου) τοῦ λόγου τῶν ἐπιταχύνσεων (στὸ ἄνω ἄκρο καὶ στὴ βάση τοῦ πολυσπονδυλωτοῦ

προσομοιώματος) για διαφόρους τύπους σεισμῶν. Υπολογίζοντας τὸν ἴδιο λόγο ἐπιταχύνσεων για τὸν μονολιθικὸ ἰξωδοελαστικὸ κίονα με διάφορους συντελεστὲς ἰξώδους, μπορούμε νὰ προσδιορίσουμε τις τιμές τῶν τελευταίων, ὥστε νὰ προσεγγίσουμε ὅσο τὸ δυνατόν περισσότερο τὴ διακύμανση τῆς πειραματικῶς προσδιορισθείσης μεταβολῆς τοῦ λόγου τῶν ἐπιταχύνσεων συναρτήσεϊ τοῦ χρόνου. Σημειωθῆτω ὅτι, ἂν καὶ ἡ μεταφορὰ ἀποτελεσμάτων ἀπὸ τὴ μικρὴ στῆ φυσικὴ κλίμακα ἐνέχει βαθμὸ σφάλματος (size effect), ὥστὸσο τὸ σφάλμα αὐτὸ στὴν περίπτωση τοῦ λόγου τῶν ἐπιταχύνσεων εἶναι πολὺ μικρὸ, διότι αὐτὸ ὑπάρχει τόσο στὸν ἀριθμητῆ ὅσο καὶ στὸν παρονομαστῆ τοῦ λόγου. Ἀξίζει ἐπίσης νὰ τονιστεῖ ὅτι ἡ ἐπίτευξη λύσεως στὸ ἰδιαίτερα αὐτὸ δυσχερὲς μαθηματικὸ πρόβλημα με τὴ συνδρομὴ πειραματικῶν δεδομένων δὲν εἶναι ἀσυνήθης στὴν ἀνάλυση τῶν κατασκευῶν. Ἡ μέσφ θεωρητικῆς μόνον ἀναλύσεως προκύπτουσα λύση, χωρὶς πειραματικὴ ἐπαλήθευση, μπορεῖ ἐνίοτε νὰ εἶναι ἐσφαλμένη ἀλλὰ καὶ ἐπικίνδυνη.



Σχ. 6α: Σπονδυλωτός κίονας.

Στὸ Σχῆμα 6α βλέπετε τὸ πραγματικὸ δομικὸ σύστημα ἐνὸς πολυσπονδυλωτοῦ κίονα, φέροντα στὸ ἄνω ἄκρο του βαρὺ σῶμα (ποὺ παριστάνει τὸ ἄγαλμα), ὃ ὁποῖος πακτώνεται σὲ ἐλαστικὸ θεμέλιο.



Σχ. 6β: Μονολιθικός ιξωδοελαστικός κίονας.

Τὸ Σχῆμα 6β παριστᾶ τὸ «ἰσοδύναμο πρότυπο», ποῦ εἶναι ἕνας μονολιθικός ιξωδοελαστικός κίονας, ὑποκείμενος σὲ καμπτική ταλάντωση λόγω ἔδαφικῆς ἀπὸ σεισμό μετακίνησης $u_g(t)$. Ἡ ἔδαφικὴ αὐτὴ μετακίνηση προκαλεῖ σὲ ὕψος x ἀπὸ τὴ βάση τοῦ κίονα βέλος κάμψεως $y(x, t)$ καὶ ὡς ἐκ τούτου τὸ συνολικὸ βέλος $u(x, t)$ στὸ ὕψος x , συμπεριλαμβανομένου τοῦ βέλους λόγω στροφῆς τοῦ θεμελίου $y'(0, t)$, εἶναι

$$u(x, t) = u_g(t) + y(x, t) + xy'(0, t) \quad (7)$$

Ἡ ἐξίσωση Euler - Lagrange καμπτικῆς ταλάντωσης τοῦ ιξωδοελαστικοῦ μονολιθικοῦ κίονα εἶναι

$$y''''(x, t) + \frac{\eta}{E} y''''(x, t) + \frac{ml^4}{EI} \ddot{y}(x, t) = -\frac{ml^4}{EI} \ddot{u}_g(t) \quad (0 \leq x \leq l) \quad (8)$$

ὅπου η ὁ συντελεστὴς ιξώδους, ὑπολογιζόμενος πειραματικῶς σύμφωνα μὲ τὰ προαναφερθέντα.

Οἱ σχετικὲς μὲ τὴν ἐξίσωση (8) συνοριακὲς συνθῆκες (στὴν βάση καὶ στὸ ἄκρο τοῦ κίονα) δίδονται ἀπὸ τὶς σχέσεις

$$x = 0: \left. \begin{aligned} y'''(0, t) &= -\bar{c}_2 y(0, t) - \frac{M_o l^3}{EI} \ddot{u}(0, t), \quad y''(0, t) = \bar{c}_1 y'(0, t) + \frac{J_o l}{EI} \ddot{u}'(0, t) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$x = 1: \quad y''(1,t) = -\frac{J_c l}{EI} \ddot{u}'(1,t), \quad y'''(1,t) = \frac{M_c l^3}{EI} \ddot{u}(1,t) \quad (10)$$

Ἡ ὀλοκληρώση τῆς διαφορικῆς ἐξισώσεως (8) (4ης τάξεως ὡς πρὸς x καὶ 2ας ὡς πρὸς τὸν χρόνο t) μὲ τὶς ἀνωτέρω συνοριακὲς συνθῆκες (9,10), ὅπως ἀπέδειξα [7], ἐπιδέχεται ἀκριβῆ (κλειστὴ) λύση.

5. Συμπεράσματα

Τὰ κυριότερα πρωτότυπα εὐρήματα εἶναι:

1. Διατυπώθηκαν γιὰ πρώτη φορὰ οἱ ἐντόνως μὴ γραμμικὲς διαφορικὲς ἐξισώσεις ποὺ περιγράφουν τὴν ἰδιαίτερα πολύπλοκη δυναμικὴ συμπεριφορὰ σὲ λικνισμό ἐνὸς πολυσπονδυλωτοῦ κίονα, λαμβανομένης ὑπόψη καὶ τῆς σημαντικῆς ἐπιρροῆς τῶν μεταξὺ τῶν διαδοχικῶν σπονδύλων μικροολισθήσεων.

2. Τὰ εὐρήματα (τῆς προηγούμενης ἔρευνάς μου) γιὰ ἓναν ἢ δύο σπονδύλους ἐπεκτάθηκαν καὶ σὲ κίονες μὲ τρεῖς ἢ καὶ ὄσουσδήποτε (n) σπονδύλους.

3. Μειώθηκε στὸ $1/3$ ὁ συνολικὸς ἀριθμὸς τῶν πιθανῶν γεωμετρικῶν σχηματισμῶν ἀνατροπῆς τοῦ πολυσπονδυλωτοῦ κίονα (μὲ παράλληλη μείωση τοῦ ἀριθμοῦ τῶν μὴ γραμμικῶν διαφορικῶν ἐξισώσεων), ὅπως φαίνεται στὸν Πίνακα 1. Σὲ τοῦτο συνέβαλε ὁ προσδιορισμὸς –γιὰ συγκεκριμένη κατεύθυνση τῆς ἐδαφικῆς διεγέρσεως– τοῦ γεωμετρικοῦ σχηματισμοῦ, ὁ ὁποῖος πρῶτος ὀδηγεῖ τὸν πολυσπονδυλωτὸ κίονα σὲ λικνισμό (μὲ ἢ χωρὶς ὀλίσθηση). Γιὰ τοὺς κίονες τῆς Ἀκαδημίας, μὲ 15 σπονδύλους, ὁ συνολικὸς ἀριθμὸς τῶν πιθανῶν γεωμετρικῶν σχηματισμῶν ἀνέρχεται σὲ $N=3^{15}-1=14.348.906$, ἔναντι τοῦ μειωμένου ἀριθμοῦ τῶν κρίσιμων σχηματισμῶν $N'=3^{14}=4.782.969$ (ἀριθμὸς ὅμως ποὺ ἐξακολουθεῖ νὰ εἶναι πολὺ μεγάλος, καθιστώντας δυσχερῆ ἢ καὶ ἀδύνατη τὴ σχετικὴ λύση).

4. Οἱ μεταξὺ τῶν διαδοχικῶν σπονδύλων μικροολισθήσεις ἐμφανίζονται μὲ τὴν ἑναρξὴ τῆς ἐδαφικῆς διεγέρσεως (διαδιδόμενες ἀπὸ τὴ βίαση τοῦ κίονα μὲ κατεύθυνση πρὸς τὸ ἄνω ἄκρο του). Ὁ πρῶτος μεταξὺ τῶν σπονδύλων ἀποχωρισμὸς (ἑναρξὴ λικνισμοῦ) ἀρχίζει ἀπὸ κάποιον σπόνδυλο συνήθως πρὶν ὀλοκληρωθῶν οἱ μικροολισθήσεις τῶν ἄνωθεν αὐτοῦ εὐρισκομένων σπονδύλων. Μετὰ τὸν πρῶτο αὐτὸ ἀποχωρισμὸ (πράγμα ποὺ ἐξαρτᾶται καὶ ἀπὸ τὰ χαρακτηριστικὰ τῆς ἐδαφικῆς διεγέρσεως), τὸ ἄνωθεν αὐτοῦ μέρος τοῦ πολυσπονδυλωτοῦ κίονα κινεῖται ἐνιαίως ὡς στερεό.

5. Έπετεύχθη ή πλέον αξιόπιστη προσεγγιστική *ἀνάλυση* τοῦ πολυπλοκου δομικοῦ συστήματος («πολυσπονδυλωτὸς κίον – ἄγαλμα») μετὴν ἐξομοίωσή του μέσω πειραματικῶν δεδομένων σὲ «ἰσοδύναμο» σύστημα («μονολιθικοῦ ἰξωδοελαστικοῦ κίονα – ἄγάλματος»), ποῦ ἐπιδέχεται ἀκριβή λύση.

6. Ἡ αὐξηση τοῦ ἀριθμοῦ τῶν σπονδύλων αὐξάνει τὴ συνολικὴ ἀπόσβεση τῆς ἐδαφικῆς (σεισμικῆς) διεγέρσεως, ὅποτε ἡ ἐναπομένουσα διεγερση στὴ βάση τοῦ ἄγάλματος εἶναι, ἐν γένει, ἀνεπαρκῆς γιὰ τὴν ἀνατροπὴ του. Ὅσο ψηλότερα τοποθετεῖται τὸ ἄγαλμα καὶ ὅσο βαρύτερο εἶναι (αὐξάνοντας τὴν ἀντίσταση σὲ ἀνατροπὴ) τόσο εὐσταθέστερο καὶ ἀσφαλὲς ἔναντι ἐδαφικῆς διεγέρσεως καθίσταται.

7. Ἡ αὐξηση τοῦ βάρους τοῦ ἄγάλματος καὶ τῶν γεωμετρικῶν διαστάσεων του αὐξάνει τὴν ὀριζόντια καὶ περιστροφικὴ ἀδράνεια καὶ συνακόλουθα τὴν ἰδιοπερίοδο τοῦ δομικοῦ συστήματος («πολυσπονδυλωτὸς κίονας – ἄγαλμα»). Ἡ ἰδιοπερίδος τοῦ συστήματος αὐτοῦ αὐξάνεται περαιτέρω ἂν ληφθεῖ ὑπόψη συγχρόνως ἡ ὀριζόντια καὶ περιστροφικὴ ἀδράνεια τοῦ θεμελίου (στὸ ὅποιο πακτώνεται ὁ κίονας) σὲ περίπτωση ποῦ αὐτὸ ἐδράζεται ἐπὶ ἐλαστικοῦ ἐδάφους. Οἱ δύο αὐτὲς αὐξήσεις τῆς ἰδιοπερίδου, ὅπως ἀπέδειξα, ἔχουν εὐεργετικὴ ἐπίδραση [11,12] στὴ σεισμικὴ συμπεριφορὰ τοῦ δομικοῦ συστήματος, διότι αὐτὴ ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὴν ἐπικίνδυνη ζώνη τῶν φασμάτων ἐπιταχύνσεως ποῦ προβλέπουν οἱ κανονισμοὶ [7] γιὰ διαφορὲς περιοχάς. Εἰδικότερα μάλιστα, σύμφωνα με σχετικῶς πρόσφατη ἀνακοίνωση στὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν γιὰ τὶς ἐγγυὲς σεισμικὲς ἐστίες, ἡ σεισμικὴ ἐπικινδυνότης γιὰ τὴν περιοχὴ τοῦ κέντρου τῶν Ἀθηνῶν εἶναι μικρὴ ἕως μετρία, ὅπως προκύπτει ἀπὸ σχετικὰ ἱστορικὰ δεδομένα σὲ βάθος χρόνου 200 ἐτῶν.

8. Τὸ εὐρηματικὸ καὶ εὐφυὲς δομικὸ σύστημα «πολυσπονδυλωτοῦ κίονα – ἄγάλματος», ποῦ ἐμφανίζει ἐξαιρετικὴ δυναμικὴ συμπεριφορὰ ἔναντι σεισμοῦ, ἀποτελεῖ ἕνα ἀκόμη λαμπρὸ ἐπίτευγμα τῆς ἀρχαίας ἐλληνικῆς τεχνολογίας.

Συνεπεία τῶν προεκτεθέντων δὲν ὑπάρχει οὐσιαστικῶς πρόβλημα ἀνατροπῆς (λόγω σεισμοῦ) τῶν ἀγαλμάτων Ἀθηνᾶς καὶ Ἀπόλλωνα (Εἰκόνα 4). Ὡστόσο ὑπάρχει πρόβλημα φθορᾶς [2] τούτων ἀπὸ τὴν ἀτμοσφαιρικὴ ρύπανση (καυσαέρια ὀχημάτων, ὄξινος βροχὴ, θειάφι κ.λπ.), ἡ ὁποία ἄρχισε ἀπὸ τὰ μέσα τῆς δεκαετίας τοῦ '50 καὶ αὐξήθηκε ραγδαῖα τὰ τελευταῖα 30 χρόνια. Κατὰ τὴν ἀνακαίνιση τοῦ μεγάρου τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν οἱ ἐπι-

φάνειες και τῶν δύο αὐτῶν ἀγαλμάτων καλύφθηκαν μὲ εἰδικὸ στρώμα προστατευτικοῦ ὑλικοῦ διάρκειας ζωῆς 5-10 ἐτῶν. Ἡ τεχνικὴ αὐτὴ προστασίας μαρμαρίνων ἐπιφανειῶν ἀπὸ ἀτμοσφαιρικὴ ρύπανση ἐξελίσσεται ταχύτατα, χάρις στὴν πρόοδο τῆς σύγχρονης συναφοῦς τεχνολογίας. Κλείνοντας ἐδῶ τὸ ἐπιστημονικὸ μέρος τῆς ὁμιλίας μου, ἐλπίζω νὰ τὸ παρουσίασα κατὰ τρόπο προσιτὸ καὶ εὐληπτο σύμφωνα μὲ τὸν Ὁργανισμό τῆς Ἀκαδημίας.

Εὐχαριστῶ γιὰ τὴν ὑπομονὴ καὶ τὴν προσοχὴ σας.

Κυρίες καὶ κύριοι,

Ὁλοκληρώνοντας ὡς Πρόεδρος τῆς Ἀκαδημίας τὴν πρώτη ὁμιλία μου ἀπὸ τὸ γεραρὸ αὐτὸ βῆμα ποὺ λάμπρυναν σημαντικὲς προσωπικότητες, αἰσθάνομαι βαθειὰ συγκίνηση. Εὐχαριστῶ τὸν Θεὸ ποὺ μὲ ἀξίωσε μιᾶς τόσο ὑψηλῆς τιμῆς, συγχρόνως δὲ Τὸν παρακαλῶ ὅπως μὲ συνδράμει στὴν ἐκπλήρωση τῶν καθηκόντων μου ὥστε νὰ φανῶ ἀντάξιος τῶν προσδοκιῶν τῶν ἀγαπητῶν συναδέλφων, στὴ στήριξη τῶν ὁποίων, μὲ τὴ σοφία καὶ τὴν πείρα ποὺ διαθέτουν, ἰδιαίτερα προσβλέπω καὶ ὑπολογίζω. Τελειώνοντας, εὐχαριστῶ θερμὰ ὅλους ὅσους τιμοῦν μὲ τὴν παρουσία τους τὴν ἀποψινὴ ἐκδήλωση ἐγκατάστασης τῶν νέων ἀρχῶν τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν.

Βιβλιογραφία

1. ΚΟΥΝΑΔΙΣ, Α. Ν., On the overturning instability of a rectangular rigid block under ground excitation, *The Open Mechanics Journal*, 4, 2010, 43-57.
2. ΚΟΥΝΑΔΙΣ, Α. Ν. – ΜΑΚΡΙΣ, Ν., Restoration-preservation in an urban environment and seismic stability of the statues of Athena and Apollo along the fore-front of the Academy of Athens, edited by Rassia, S. Th. – Pardalos, P. M., *Sustainable Environmental Design in Architecture, Impacts on Health*, in: Springer Optimization and its Applications, 56 (Springer, Berlin – Heidelberg – New York), 2012a, 277-305.
3. ΚΟΥΝΑΔΙΣ, Α. Ν. – ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. J. – ΚΟΤΣΟΒΟΣ, D. M., Overturning instability of a two-rigid-block system under ground excitation, *ZAMM – Journal of Applied Mathematics and Mechanics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 92, 7, 2012b, 536-557.
4. ΚΟΥΝΑΔΙΣ, Α. Ν., Rocking of slender cantilever consisting of rigid blocks freely supported on each other under seismic excitation, *Proceedings of the Academy of Athens*, 87A, 2012c, 225-251.

5. KOUNADIS, A. N., Rocking instability of free-standing statues atop slender cantilevers under ground motion, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 48, 2013a, 294-305.
6. KOUNADIS, A. N., Parametric study in rocking instability of a rigid block under harmonic ground pulse: a unified approach, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 45, 2013b, 125-143.
7. KOUNADIS, A. N., Rocking instability of free-standing statues atop slender visco-elastic columns under ground motion, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 63, 2014a, 83-91.
8. KOUNADIS, A. N., Rocking instability under ground motion of large statues freely standing atop elastically supported cantilevers, *Archive of Applied Mechanics*, 84, 7, 2014b, 933-951.
9. KOUNADIS, A. N., On the rocking complex response of ancient multi-spondyle columns: a genius and challenging structural system requiring a reliable solution, *Meccanica*, 50, 2015a, 261-292.
10. KOUNADIS, A. N., New findings in rocking instability of one and two rigid blocks systems under ground motion, *Meccanica*, 50, 9, 2015b, 2219-2238.
11. KOUNADIS, A. N., Dynamic response of cantilevers with attached masses, *J. Eng. Mech., ASCE*, 101, 5, 1975, 695-706.
12. KOUNADIS, A. N., Dynamic response of cantilever beam-columns with attached masses supported on flexible foundation, *International Symposium on Earthquake Structural Engineering*, St Louis Missouri, USA, August 1976.
13. HOUSNER, G. W., The behavior of inverted pendulum structure during earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53, 2, 1963, 403-417.
14. SHENTON, H. W., Criteria for initiation of slide, rock, and slide-rock rigid-body modes, *J. Eng. Mech. ASCE*, 122, 7, 1996, 690-693.
15. YIM, CH.-S. — CHOPRA, A. K. — PENZIEN, J., Rocking response of rigid blocks to earthquakes, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 8, 6, 1980, 565-587.
16. ALLEN, R. H. — OPPENHEIM, I. J. — PARKER, A. R. — BIELAK, J., On the dynamic response of rigid body assemblies, *Earthquake Eng. and Struct. Dyn.*, 14, 6, 1986, 861-876.
17. SPANOS, P. D. — KOH, A.-S., Analysis of block random rocking, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 5, 3, 1986, 178-183.
18. SINOPOLI, A., Kinematic approach in the impact problem of rigid bodies, *Applied Mechanics Reviews (ASME)*, 42, 11, 1989, S233-44.
19. ZHANG, J. — MAKRIS, N., Rocking response of free-standing blocks under cycloidal pulses, *J. Eng. Mech., ASCE*, 127, 2001, 473-483.

20. KONSTANTINIDIS, D. – MAKRIS, N., Seismic response analysis of multi-drum classical columns, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34, 10, 2005, 1243-1270.
 21. DROSOS, V. – ANASTASOPOULOS, I. – GAZETAS, G., Seismic behaviour of classical columns: an experimental study, *Laboratory of Soil Mechanics Research Report: LSM.NTUA-12-01*, 2012.
 22. MOUZAKIS, H. P. – PSYCHARIS, I. N. – PAPASTAMATIOU, D. Ύ. – CARYDIS, P. G. – PAPANTONOPOULOS, C. – ZAMBAS, C., Experimental investigation of the earthquake response of a model of a marble classical column, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 9, 2002, 1681-1698.
 23. KOUNADIS, A. N., On the rocking-sliding instability of rigid blocks under ground excitation: some new findings, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 75, 2015c, 246-258.
 24. KOUNADIS, A. N. – PAPADOPOULOS, G. J., On the rocking instability of a three-rigid block system under ground excitation, *Archive of Applied Mechanics*, 86, 2016, 957-977.
 25. KOUNADIS, A. N., The effect of sliding on the rocking instability of multi-rigid block assemblies under ground motion, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 104, 2018, 1-14.
 26. PITILAKIS, K. – TSINIDIS, G. – KARAFAGKA, ST., Analysis of the seismic behavior of classical multi-drum and monolithic columns, *BULL Earthquake Eng*, 15, 12, 2017, 5281-5307.
-

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 6ΗΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2018

ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ κ. ΕΜΜΑΝΟΥΪΛ ΓΔΟΥΤΟΥ

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΕΔΡΟ
κ. ΑΝΤΩΝΙΟ ΚΟΥΝΑΔΗ

Κυρίες και κύριοι,

Ἡ Σύγκλητος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, μετὰ ἀπὸ πρόταση τῆς Α΄ Τάξεως τῶν Θετικῶν Ἐπιστημῶν, μοῦ ἔκανε τὴν τιμὴ ἀλλὰ καὶ μοῦ ἔδωσε τὴν εὐχαρίστηση νὰ ἀναλάβω τὴν παρουσίαση τοῦ νέου τακτικοῦ μέλους τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, τοῦ καθηγητοῦ Μηχανικῆς τοῦ Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης κ. Ἐμμανουὴλ Γδούτου. Ὡς ὁμότεχνος καὶ φίλος του ἀποδέχτηκα μὲ ἰδιαίτερη χαρὰ τὴν ἐντολὴ νὰ παρουσιάσω τὴν προσωπικότητα καὶ τὸ ἔργο του κατὰ τὴν ἀποψινὴ ἐπίσημη ὑποδοχὴ του.

1. Βιογραφικὰ στοιχεῖα – θέσεις

Ὁ τιμῶμενος γεννήθηκε στὴ Μυτιλήνη τὸ 1948. Τὸ 1971 ἔλαβε τὸ δίπλωμα τοῦ πολιτικοῦ μηχανικοῦ τοῦ Ἐθνικοῦ Μετσόβιου Πολυτεχνείου, ἀπὸ τὸ ὁποῖο τὸ 1973 ἀναγορεύτηκε ἀριστοῦχος διδάκτωρ στὴν περιοχὴ «Μηχανικὴ τῆς Θραύσεως» μὲ ἐπιβλέποντα τὸν ἀείμνηστο καθηγητὴ Περικλῆ Θεοχάρη. Τὸ 1974 διορίστηκε ἐπιμελητὴς στὴν Ἔδρα Μηχανικῆς τοῦ ΕΜΠ. Τὸ 1977 ἐξελέγη ἔκτακτος καθηγητὴς στὴν Ἔδρα τῆς Μηχανικῆς τοῦ Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης καὶ διευθυντὴς τοῦ ἀντίστοιχου Ἐργαστηρίου. Τὸ 1980 ἐξελέγη τακτικὸς καθηγητὴς στὴν ἀνωτέρω ἔδρα. Ὑπῆρξε ἀπὸ τοὺς πρῶτους καθηγητὲς τοῦ ΔΠΘ οἱ ὁποῖοι

συνέβαλαν στην οργάνωση του τότε νεοσύστατου αυτού Πανεπιστημίου. Επίσης οργάνωσε ένα σύγχρονο Έργαστήριο Τεχνικής Μηχανικής, το οποίο έχει αναλάβει πολλά έρευνητικά προγράμματα που έχουν χρηματοδοτηθεί από έθνικούς και κοινοτικούς πόρους.

Διετέλεσε διευθυντής του Τομέα Σχεδιασμού και Κατασκευής Δομικών Έργων (1983-1986, 1993-1998), πρόεδρος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών (1987-1989) και αντιπρόεδρος της Έπιτροπής Έρευνών (1994-1997) του ΔΠΘ.

Διετέλεσε επισκέπτης καθηγητής των Πανεπιστημίων Lehigh των ΗΠΑ (1989-1990), Northwestern των ΗΠΑ (1999-2001, 2002-2003), Michigan Technological University (1984), University of California at Santa Barbara (1986) και Davis (1987), University of Toledo (1991) και διακεκριμένος επισκέπτης καθηγητής Clark Millikan του Πανεπιστημίου Caltech (Distinguished Visiting Clark Millikan Professor, 2013).

Διετέλεσε πρόεδρος της European Structural Integrity Society (2006-2010), της European Association for Experimental Mechanics (2004-2007), της Society for Experimental Mechanics (2014-2015) και της Έλληνικής Έταιρίας Μηχανικής της Θραύσεως (2003-σήμερα), καθώς και αντιπρόεδρος της International Congress on Fracture (2013-2017).

Είναι μέλος της European Academy of Sciences and Arts (2001), της European Academy of Sciences (2008), της Academia Europaea (2008), ξένο μέλος της Ρωσικής Ακαδημίας Μηχανικών (2009), της Βουλγαρικής Ακαδημίας Επιστημών (2010), της International Academy of Engineering (2010) και της Ρωσικής Ακαδημίας Επιστημών (2016), επίτιμο μέλος του Italian Group of Fracture (2004), της Έταιρίας Θεωρητικής και Εφαρμοσμένης Μηχανικής της Πολωνίας (2009) και της Σερβίας (2011) και έταϊρος της American Association for the Advancement of Science (2012), της International Congress on Fracture (2009), της European Society for Experimental Mechanics (2010), της European Structural Integrity Society (2008), της American Academy of Mechanics (2006), της Society for Experimental Mechanics (ΗΠΑ, 2004), της New York Academy of Sciences (2001) και της American Society of Mechanical Engineers (1993). Είναι επίτιμος διδάκτωρ της Ρωσικής Ακαδημίας Επιστημών (2010) και του Πανεπιστημίου της Nis της Σερβίας (2013).

Διετέλεσε μέλος της Έπιτροπής Βραβείων (2005-2008), της Έπιτροπής Έταϊρων (2006-2008) και της Διοικούσης Έπιτροπής (2006-2008)

τῆς Society for Experimental Mechanics, πρόεδρος τῆς Ἐπιτροπῆς Βραβείων τῆς European Association for Experimental Mechanics (EURASEM, 2004-2007) καὶ μέλος τῆς διοικούσης ἐπιτροπῆς τῆς Society for Experimental Mechanics (2006-2008, 2013-2017).

Διετέλεσε πρόεδρος 11 ἐθνικῶν καὶ διεθνῶν συνεδρίων συναφῶν μὲ τὸ πεδίο τῆς Μηχανικῆς, μεταξύ τῶν ὁποίων τοῦ «16ου Εὐρωπαϊκοῦ Συνεδρίου Θραύσεως» (Ἀλεξανδρούπολις, 3-7 Ἰουλίου 2006), τοῦ «13ου Εὐρωπαϊκοῦ Συνεδρίου Πειραματικῆς Μηχανικῆς» (Ἀλεξανδρούπολις, 1-6 Ἰουλίου 2007), τοῦ «17ου Εὐρωπαϊκοῦ Συνεδρίου Πειραματικῆς Μηχανικῆς» (Ρόδος, 3-7 Ἰουλίου 2016) καὶ τοῦ «14ου Διεθνoῦς Συνεδρίου Θραύσεως» (Ρόδος, 18-23 Ἰουνίου 2017).

2. Ἐρευνητικὸ ἔργο – συγγράμματα

Τὸ ἐρευνητικὸ ἔργο τοῦ κ. Γδούτου ἀποτελεῖται ἀπὸ 305 ἐργασίες (ἐκ τῶν ὁποίων 128 δημοσιεύτηκαν σὲ ἔγκριτα διεθνῆ ἐπιστημονικὰ περιοδικὰ, 152 σὲ πρακτικὰ διεθνῶν συνεδρίων, 12 ἀποτελοῦν κεφάλαια βιβλίων καὶ 13 δημοσιεύτηκαν σὲ διάφορες ἐκδόσεις). Οἱ ἀνωτέρω 128 ἐργασίες μπορεῖ νὰ καταταγοῦν σὲ 67 πειραματικὲς καὶ 14 θεωρητικὲς, ἐνῶ σὲ 47 γίνεται χρῆση ἀριθμητικῶν μεθόδων γιὰ τὴν ἐπίλυση προβλημάτων Μηχανικῆς. Οἱ ἐργασίες αὐτὲς ἀναφέρονται στὴ Μηχανικὴ τῆς Θραύσεως, στὴ Πειραματικὴ Μηχανικὴ, στὴ Θεωρία Ἐλαστικότητος, στὴ Νανοτεχνολογία, στὰ Σύνθετα Ὑλικά καὶ σὲ Κατασκευὲς Σάντουιτς.

Ἐδημοσίευσε μόνος του ἢ μὲ συνεργάτες 37 βιβλία (11 στὰ ἑλληνικὰ καὶ 5 στὰ ἀγγλικά, ἐνῶ σὲ 21 εἶναι ἐκδότης).

Τὰ ἑλληνικὰ διδακτικὰ του συγγράμματα ἀναφέρονται στὴ Μηχανικὴ τοῦ Στερεοῦ (στατική, κινηματική) καὶ Παραμορφωσίμου Σώματος (Θεωρία Ἐλαστικότητος καὶ Ἄντοχὴ τῶν Ὑλικῶν) καὶ στὴ Φωτοελαστικὴ Μέθοδο, χρησιμοποιοῦνται δὲ ὡς διδακτικὰ βοηθήματα ἀπὸ Πολυτεχνεῖα τῆς χώρας.

Τὰ ἀγγλικά συγγράμματά του, ἐκδοθέντα ἀπὸ γνωστοὺς ἐκδοτικούς οἴκους (Springer-Verlag, Kluwer Academic Publishers, McGraw-Hill, Springer), ἀναφέρονται στὴ Μηχανικὴ τῆς Θραύσεως καὶ τὴ Φωτοελαστικότητα. Ἀποτελοῦν μονογραφίες χρήσιμες γιὰ τὸν ἐρευνητῆ, ἐνῶ ἓνα σύγγραμμά του χρησιμοποιεῖται ἀπὸ Πανεπιστήμια τῶν ΗΠΑ ὡς διδακτικὸ ἐγχειρίδιο γιὰ μεταπτυχιακὰ μαθήματα Μηχανικῆς τῆς Θραύσεως. Τὸ βιβλίο αὐτὸ

συνοδεύεται από έγχειρίδιο λύσεως τῶν ἀλύτων ἀσκήσεων του καὶ δίδεται μόνον στὸν διδάσκοντα.

3. Μέλος ἐκδοτικῶν ἐπιτροπῶν – προσκεκλημένος ἐκδότης

Διετέλεσε ἐπιστημονικὸς ἐκδότης τοῦ ἔγκριτου διεθνοῦς κυκλοφορίας περιοδικοῦ *Strain – An International Journal for Experimental Mechanics* (2007-2010). Εἶναι βοηθὸς ἐκδότης τοῦ περιοδικοῦ *Meccanica* (2010-σήμερα).

Εἶναι ἐπίσης μέλος τῆς ἐκδοτικῆς ἐπιτροπῆς 11 διεθνοῦς κυκλοφορίας περιοδικῶν (*Open Mechanics Journal, Mechanics of Solids* τῆς Ρωσικῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics, Applied Composite Materials, Advanced Composites Letters, Experimental Mechanics, The Archive of Mechanical Engineering of Polish Academy, Facta Universitatis of the University of Nis, The Open Civil Engineering Journal, The Physicochemical Mechanics of Materials* τῆς Οὐκρανικῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν, *Scientific Technical Review* τῆς Σερβίας), καθὼς καὶ μέλος τῆς ἐκδοτικῆς ἐπιτροπῆς τῆς σειρᾶς βιβλίων («International Series on Advances in Fracture Mechanics»), τοῦ οἴκου WIT Press.

Διετέλεσε προσκεκλημένος ἐκδότης στὰ ἐξῆς εἰδικὰ τεύχη τῶν περιοδικῶν: *International Journal of Fracture*, 79, 2, 1996, 97-208· *Applied Composite Materials*, 3, 5, 1996, 265-353· *International Journal of Fracture*, 98, 3-4, 1999, i-xiii καὶ 195-406 (ἀφιερωμένο στὸν καθηγητὴ Π. Σ. Θεοχάρη), *Facta Universitatis*, 3, 13, 2003, 491-764· *Applied Composite Materials*, 12, 3-4, 2005, 133-261.

4. Τιμητικὲς διακρίσεις – βραβεῖα

Εἶναι ἀποδέκτης 15 διεθνῶν βραβείων, προεχόντως Πειραματικῆς Μηχανικῆς: Συγκεκριμένα, ἀπὸ τὴν (Παγκόσμια) Ἐταιρία Πειραματικῆς Μηχανικῆς (SEM) ἔλαβε τὰ βραβεῖα: Lazan (2009), P. S. Theocaris (2009), Tatnall (2010), Zandman (2011). Ἀπὸ τὴν Εὐρωπαϊκὴ Ἐταιρία Δομικῆς Ἀκεραιότητος τῶν Κατασκευῶν (ESIS) τὸ Βραβεῖο Τιμῆς (Award of Merit) (2008) καὶ τὸ Βραβεῖο Griffith (2010). Ἀπὸ τὴν Εὐρωπαϊκὴ Ἐταιρία Πειραματικῆς Μηχανικῆς (EURASEM) τὸ Βραβεῖο Τιμῆς (2010) καὶ τὸ Βραβεῖο P. S. Theocaris (2012). Ἐπὶ πλέον ἔλαβε Μετάλλιο καὶ Δίπλωμα τῆς Παγκόσμιας Ἀκαδημαϊκῆς Ἀξιολογήσεως Δημοτικότητος (International

Academic Rating of Popularity) «Golden Fortune» (2009), Βραβείο Paton τής Ουκρανικής Ακαδημίας Έπιστημών (2009), Άναμνηστικό Μετάλλιο του 15ου Έτους (Jubilee Medal «XV Year to IAE») τής Διεθνούς Ακαδημίας Μηχανικών (International Academy of Engineering, πρώτη Academy of Engineering of USSR με έδρα τή Μόσχα) (2009), Βραβείο «Golden Sign» τής Ρωσικής Ακαδημίας Μηχανικών (2014), Βραβείο τής Καλλίτερης Έπιστημονικής Έργασίας του Έκδοτικού Οίκου Sage για τήν έργασία Failure Modes of Composite Sandwich Beams, *International Journal of Damage Mechanics*, 11, 309-334, 2002, by DANIEL, I. M. – GDOUTOS, E. E. – WANG, K.-A. – ABOT, J. L., 2012, που άπενεμήθη κατά τò «First International Conference on Damage Mechanics», Belgrade, 25-27 July (2012), Βραβείο «Panetti-Ferrari Prize» (συνοδευόμενο άπό χρηματικό ποσό €10.000) τής Ακαδημίας Έπιστημών του Τορίνου, 2012 [προηγούμενοι βραβευθέντες είναι διακεκριμένοι έπιστήμονες όπως: W. Prager (1963), M. J. Lighthill (1965), C. Truesdell (1967), N. I. Muskhelishvili (1969), W. T. Koiter (1971), R. S. Rivlin (1975), P. Germain (1978), R. Hill (1988), G. I. Barenblatt (1995), D. C. Drucker (1999), H. K. Moffatt (2001), J. L. Ericksen (2003), J. R. Rice (2008), κ.λπ.], Βραβείο «Colonnetti Gold Medal 2012» του Ιταλικού Έρευνητικού Ίνστιτούτου Μετρολογίας (INRIM, με έδρα τò Τορίνο τής Ιταλίας) (2012).

Διετέλεσε μέλος του Advisory Group for Aerospace Research and Technology (1992-1997), είναι μέλος τής Έπιτροπής Έρευνας Συμβούλων και Έταϊρος του Άμερικανικού Βιογραφικού Ίνστιτούτου, μέλος του Διοικητικού Συμβουλίου του Ίδρύματος «Περικλή Σ. Θεοχάρη» (2001-2014). Είναι ιδρυτικό μέλος τής Έλληνικής Έταιρίας Θεωρητικής και Έφρημοσμένης Μηχανικής (μέλους τής International Union of Theoretical and Applied Mechanics – IUTAM, 1978) και μέλος του Γραφείου Θεωρητικής και Έφρημοσμένης Μηχανικής τής Ακαδημίας Άθηνών (2007-σήμερα).

5. Λοιπή δραστηριότητα

Έχει διδακτική πείρα άνω των σαράντα πέντε έτών στη διδασκαλία μαθημάτων Μηχανικής, Πειραματικής Μηχανικής και Μηχανικής τής Θραύσεως στα ακόλουθα ΑΕΙ: Έθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (1972-1977), Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (1977-2015), Πανεπιστήμιο τής Καλιφόρνιας Santa Barbara (1986) και Davis (1987), Michigan Technological

University (1988), University of Toledo (1992), Northwestern University (1999-2001) και California Institute of Technology (2013-2016).

Υπήρξε κύριος έρευνητής σε 20 έρευνητικά προγράμματα που χρηματοδοτήθηκαν από έθνικούς και κοινοτικούς πόρους.

Έπέβλεψε 12 διδακτορικές διατριβές στο ΔΠΘ και στο Πανεπιστήμιο Northwestern των ΗΠΑ.

Είναι μέλος 15 έπιστημονικών εταιριών. Έχει συμμετάσχει σε περισσότερα από 110 διεθνή συνέδρια, έδωσε δε 21 κεντρικές όμιλίες κατόπιν προσκλήσεως.

6. Αναγνώριση από τρίτους έρευνητές

Οι έρευνητικές έργασίες του, δημοσιευθεΐσες σε έγκριτα διεθνοΐς κυκλοφορίας περιοδικά, έχουν τύχει μεγάλης αναγνώρισεως, όρισμένες μάλιστα με ιδιαιτέρως εϋνοϊκά σχόλια, από διακεκριμένους διεθνοΐς έμβέλειας όμοτέχνους του στις έξΐς έρευνητικές περιοχές: Μηχανική τΐς Θραύσεως σε ίσότροπα αλλά και άνισότροπα ύλικά, Πειραματική Μηχανική, Φωτοελαστικότητα, Σύνθετα Ύλικά.

Έπίσης μεγάλη απήχηση στη διεθνή έπιστημονική κοινότητα των όμοτέχνων του είχαν τρία διεθνοΐς κυκλοφορίας συγγράμματα του, εκ των όποιων τα δύο αναφέρονται στη Μηχανική τΐς Θραύσεως και σε Έφαρμογές αΐτης, το δε τρίτο, με συνεκδότη τον αείμνηστο δάσκαλό του Π. Θεοχάρη, αναφέρεται στη Θεωρία Μητρώων στη Φωτοελαστικότητα.

Με τΐ συμπλήρωση του 65ου έτους τΐς ηλικίας του, το διεθνοΐς κύρους περιοδικό *Meccanica* αφιέρωσε πρὸς τιμήν του ειδικό τεΐχος, στο όποιο παρουσιάζονται 23 έργασίες διεθνοΐς γνωστών έρευνητών, με τίτλο «Experimental Solid Mechanics: In Honour of Professor Emmanuel Gdoutos», 50, 2, 2015, 253-590.

Ό κ. Γδοΐτος δέν είναι μόνο ένας κορυφαΐος έπιστήμων, αλλά συγχρόνως ένας σεμνὸς άνθρωπος, προσηνής, γελαστός, εϋχάριστος, συνεργάσιμος, πρόθυμος πάντοτε νά βοηθήσει τοΐς νεωτέρους του. Οί έρευνητικές του δεξιοΐτητες συνδυάζονται με σπάνιες πνευματικές και ήθικες άρετές. Διακρίνεται για τΐ συνέπεια, τΐν άκεραιότητα του χαρακτήρα του, το άδαμάντινο ήθος του, τΐν άφοσίωσή του στην έλληνορθόδοξη παράδοση, τΐν άγάπη του για τΐ γλωσσική και πολιτιστική μας κληρονομιά. Είναι λάτρης

του ἑλληνικοῦ ἰδεώδους καὶ διαπρύσιος κήρυκας τοῦ Ἑλληνισμοῦ στὸ ἐξωτερικό.

Ἀγαπητὲ συνάδελφε καὶ φίλε Μανώλη,

Δὲν νομίζω ὅτι χρειάζεται νὰ ὀμιλήσω περισσότερο, ὅταν πολὺ καλύτερα καὶ πειστικότερα ὀμιλεῖ τὸ λαμπρὸ καὶ διεθνῶς ἐκτιμώμενο ἐρευνητικὸ καὶ γενικότερα ἐπιστημονικὸ σου ἔργο· ἓνα ἔργο τὸ ὁποῖο δικαίως σὲ ἔχει ἀναδείξει διεθνῶς σὲ κορυφαῖο ἐπιστήμονα στὴν ἐρευνητικὴ περιοχὴ τῆς Μηχανικῆς τῆς Θραύσεως καὶ τῆς Πειραματικῆς Μηχανικῆς. Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν, σὲ ἀναγνώριση τῆς μεγάλῃς σου συμβολῆς στὸ ἐρευνητικὸ αὐτὸ πεδίο, σὲ ὑποδέχεται ἀπόψε στοὺς κόλπους τῆς μὲ τὴν εὐχὴ ἀλλὰ καὶ τὴν πεποίθηση ὅτι θὰ ἀνταποκριθεῖς στὶς προσδοκίες τῆς, ἐνισχύοντας καὶ ἀπὸ αὐτὴ τὴ νέα θέση τοῦ τακτικοῦ μέλους τῆς τὴν ἐπιστήμη, στὴν ὁποία τόσο πολλὰ μέχρι σήμερα ἔχεις προσφέρει.

Καὶ τώρα παρακαλῶ τὸν νέο συνάδελφο ὅπως ἀνέλθει στὸ βῆμα καὶ ἀναπτύξει τὸ θέμα «Θεωρητικὴ καὶ Πειραματικὴ Μηχανικὴ: ἐπιστημονικὴ πορεία 50 ἐτῶν».

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ:
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ 50 ΕΤΩΝ

ΕΙΣΙΤΗΡΙΟΣ ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ
κ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΓΔΟΥΤΟΥ

Κύριε Πρόεδρε,

Σας εύχαριστώ θερμά για τὸν ἐγκάρδιο χαιρετισμό σας, τοὺς φιλοφρόνους λόγους σας, τὴν ἀμέριστη συμπαράστασή σας, τὴν τόσο ἐπαινετικὴ παρουσίαση γιὰ τὸ πρόσωπό μου καὶ τὶς θερμὲς εὐχὲς σας.

Εὐχαριστῶ θερμά ἐπίσης τὰ μέλη τῆς Ὀλομελείας τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν γιὰ τὴν τόσο τιμητικὴ ἐκλογή μου στὴ θέση τοῦ τακτικοῦ μέλους τῆς Ἀκαδημίας. Ταυτόχρονα, σὰς διαβεβαιώνω ὅτι θὰ ἐργαστῶ μὲ ὅλες μου τὶς δυνάμεις προκειμένου νὰ φανῶ ἀντάξιός τῆς τιμῆς καὶ τῆς ἐμπιστοσύνης μὲ τὴν ὁποία μὲ περιβάλατε καὶ ὅτι θὰ ἀνταποκριθῶ στὶς προσδοκίες σας.

Ἀνέρχομαι εἰς τὸ βῆμα αὐτὸ μὲ αἰσθήματα συγκινήσεως καὶ δέους: αἰσθήματα συγκινήσεως μὲν, διότι ἀπὸ τὸ 1ο καὶ τὸ 7ο Δημοτικὸ Σχολεῖο Μυτιλήνης, τὸ 2ο Γυμνάσιο Ἀρρένων Μυτιλήνης καὶ τὸ Ἐθνικὸ Μετσόβιο Πολυτεχνεῖο εἰσέρχομαι εἰς τὴν Ἀκαδημίαν Ἀθηνῶν, τὸ ἀνώτατο πνευματικὸ ἴδρυμα τῆς χώρας, εἰς «τῶν ἰδεῶν τὴν πόλιν», σύμφωνα μὲ τὸν ποιητὴ, «στὴν ἀγορὰ (τῆς ὁποίας) βρῖσκεις Νομοθέτας πού δὲν γελᾶ κανένας τυχοδιώκτης». Γεννήθηκα καὶ μεγάλωσα σὲ περιβάλλον ἐκπαιδευτικῶν γονέων, πάππων καὶ θεῶν, οἱ ὁποῖοι μοῦ ἐνέπνευσαν τὰ ἐλληνοχριστιανικὰ ιδεώδη, τὴν πίστη στὴν Ὁρθοδοξία, τὴν ἀριστεία· αἰσθήματα δέους δέ, διότι τὸ βῆμα αὐτὸ ἐκόσμησαν διακεκριμένες προσωπικότητες τῶν ἐπιστημῶν, τῶν γραμμάτων καὶ τῶν τεχνῶν τῆς χώρας μας.

Αἰσθάνομαι ἰδιαίτερη τιμὴ διότι πρόσφατοι προκατόχοί μου στὴν ἔδρα Μηχανικῆς τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν ὑπῆρξαν οἱ ἀείμνηστοι Περικλῆς Θεοχάρης καὶ Κωνσταντῖνος Παπαϊωάννου. Ὁ Περικλῆς Θεοχάρης, τοῦ ὁποίου ἠτύχησα νὰ υπάρξω μαθητῆς, ἐσφράγισε μιὰ ὀλόκληρη ἐποχὴ στὴν περιοχὴ τῆς Τεχνικῆς Μηχανικῆς μὲ τὴν ὀργάνωση ἐνὸς ἀριστα ἐξοπλισμένου Ἐργαστηρίου Μηχανικῆς στὸ Ἐθνικὸ Μετσόβιο Πολυτεχνεῖο, τὴν πλειάδα τῶν μαθητῶν του, οἱ ὁποῖοι σήμερα ἔχουν καταλάβει καθηγητικὲς καὶ ἄλλες ὑψηλὲς θέσεις σὲ πανεπιστήμια καὶ ἐρευνητικὰ ἰδρύματα τῆς ἡμεδαπῆς καὶ τῆς ἀλλοδαπῆς, τὴν ἐντυπωσιακὴ ἐρευνητικὴ του δραστηριότητα. Ὁ

Κωνσταντῖνος Παπαϊωάννου, τὸν ὁποῖο δὲν εἶχα τὴν τύχη νὰ γνωρίσω, συνέγραψε ἐξαίρετα βιβλία, ἀπὸ τὰ ὁποῖα ἐδιδάχθην τὴ Μηχανικὴ τῶν σπουδαστικῶν μου ἐτῶν. Ἡ μεγάλη αὐτὴ τιμὴ συνοδεύεται ἀπὸ τὴν ὑποχρέωση ὅπως συνεχίσω τὸ ἔργο τῶν μεγάλων αὐτῶν διδασκάλων ὑπὸ τὴν ιδιότητα τοῦ τακτικοῦ μέλους τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν.

Εἶναι δέκα περίπου ἔτη ἀπὸ τότε ποὺ ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν μὲ ὑποδέχεται ὡς ἀντεπιστέλλον μέλος, τῆ 18ῃ Μαρτίου 2008, καὶ εἶχα τὴν εὐκαιρία νὰ ἐκφωνήσω ἀπὸ τὸ βῆμα αὐτὸ ὀμιλία σχετικὰ μὲ τὴ Μηχανικὴ τῆς Ἀστοχίας Ὑλικῶν καὶ Κατασκευῶν.

Συμπληρώθηκαν 50 χρόνια τῆς ἐρευνητικῆς μου πορείας εἰς τὴν περιοχή τῆς Θεωρητικῆς καὶ Πειραματικῆς Μηχανικῆς, ἡ ὁποία ξεκίνησε τὸ 1967, ὅταν ἤμουν σπουδαστὴς τοῦ δευτέρου ἔτους τῆς Σχολῆς Πολιτικῶν Μηχανικῶν τοῦ Ἐθνικοῦ Μετσοβίου Πολυτεχνείου, ὑπὸ τὴν καθοδήγηση τοῦ ἀειμνήστου καθηγητοῦ-ἀκαδημαϊκοῦ Περικλῆ Θεοχάρη. Τὰ πρῶτα ἀποτελέσματα τῆς ἐρευνητικῆς μου ἐργασίας δημοσιεύτηκαν στὴν ἐπιστημονικὴ ἔκδοση τοῦ Τεχνικοῦ Ἐπιμελητηρίου Ἑλλάδος *Τεχνικὰ Χρονικὰ* τὸ 1971, σὲ ἐργασία μὲ τίτλο «Ἡ ἐπίδρασις τοῦ λόγου, τῆς ἀκτίνος πρὸς τὸ πλάτος, ὀρθογωνικοῦ μὲ δύο συμμετρικὰς ἡμικυκλικὰς ἐγκοπὰς δίσκου εἰς ἐφελκυσμόν, ἐπὶ τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως», καὶ ἐν συνεχείᾳ στὸ περιοδικὸ *Journal of Applied Mechanics* τῆς Ἀμερικανικῆς Ἑταιρίας Μηχανολόγων Μηχανικῶν τὸ 1972 σὲ ἐργασία μὲ τίτλο «An optical method for determining opening-mode and edge sliding-mode stress intensity factors». Ἀπὸ τὴν ἐποχὴ αὐτὴ τῶν σπουδαστικῶν χρόνων μέχρι καὶ σήμερα ἀσχολήθηκα μὲ ἓνα εὐρύτατο πεδίο ἐρευνητικῶν θεμάτων, τὰ ὁποῖα, ἐν γένει, ἀντιστοιχοῦν στὶς ἐπιστημονικὰς προκλήσεις τῶν διαφόρων ἐποχῶν. Μολονότι τὰ ἐρευνητικὰ ἀντικείμενα οὐδέποτε ἐξαντλοῦνται καὶ οὐδέποτε παλαιῶνουν, ἐν τούτοις, τὸ ἐπιστημονικὸ ἐνδιαφέρον ἐπικεντρώνεται σὲ συγκεκριμένα προβλήματα κατὰ τὰς διαφόρους χρονικὰς περιόδους. Ἡ ἐρευνητικὴ μου ἐργασία, ἐν γένει, ἐντάσσεται μέσα στὸ πλαίσιο αὐτό.

Τὰ παραμορφώσιμα σώματα ἀντιπροσωπεύουν τὰ φυσικὰ, τὰ πραγματικὰ σώματα, τὰ ὁποῖα παραμορφώνονται, ἀλλάζουν σχῆμα, ὅταν σὲ αὐτὰ ἐπιβληθοῦν ἐξωτερικὲς ἐπιδράσεις, ὅπως δυνάμεις, πεδία κ.λπ. Καὶ τοῦτο, κατ' ἀντιδιαστολὴ μὲ τὰ στερεὰ σώματα, τὰ ὁποῖα μελετῶνται μὲ τὴν ἀπλοποιητικὴν παραδοχὴν ὅτι δὲν παραμορφώνονται, ἀλλὰ διατηροῦν τὸ σχῆμα τους μετὰ τὴν ἐπιβολὴν ἐξωτερικῶν ἐπιδράσεων. Ἡ μελέτη τῶν σωμάτων αὐτῶν ἀποτελεῖ ἀντικείμενο τῆς Κινηματικῆς καὶ Δυναμικῆς τοῦ

Στερεοῦ Σώματος. Ἡ Μηχανικὴ τῶν Παραμορφωσίμων Σωμάτων εἶναι δυνατὸν νὰ διακριθεῖ σὲ «Θεωρητικὴ Μηχανικὴ» καὶ «Πειραματικὴ Μηχανικὴ», μολονότι σαφὴς διάκριση τῶν δύο αὐτῶν περιοχῶν εἶναι δύσκολο νὰ διατυπωθεῖ. Ἡ «Θεωρητικὴ Μηχανικὴ» ἀντλεῖ τὰ προβλήματα τῆς ἀπὸ πειραματικὰ ἀποτελέσματα, τὰ ὁποῖα καὶ ἐπιλύει βασιζόμενη στὸ ἐργαλεῖο τῆς μαθηματικῆς θεωρίας τοῦ παραμορφωσίμου σώματος. Οἱ ἐξισώσεις πεδίου, οἱ καταστατικὲς ἐξισώσεις, οἱ ὁποῖες περιγράφουν τὴν εἰδικὴ συμπεριφορὰ τοῦ παραμορφωσίμου σώματος, καὶ οἱ συνοριακὲς συνθήκες, οἱ ὁποῖες περιγράφουν τὴν κατάσταση τῶν τάσεων καὶ μετατοπίσεων στὰ σύνορα τοῦ σώματος, συνιστοῦν τὸ σύνολο τῶν συνθηκῶν οἱ ὁποῖες ὀδηγοῦν στὴ λύση τοῦ ἐκάστοτε προβλήματος. Ἡ «Πειραματικὴ Μηχανικὴ» ἔρχεται ὄχι μόνον νὰ ἐπαληθεύσει τὰ ἀποτελέσματα τῶν θεωρητικῶν ἀναζητήσεων, ἀλλὰ καὶ νὰ δημιουργήσει νέες προκλήσεις γιὰ τὴ θεωρητικὴ ἀνάλυση. Ὁ σχεδιασμὸς ἐνὸς πειράματος τὸ ὁποῖο ἐπικεντρώνεται στὴν ἀνάλυση τῆς ἐπιρροῆς συγκεκριμένων παραμέτρων ἐπὶ τῆς συμπεριφορᾶς κατασκευῶν ἢ ἐπὶ ἰδιοτήτων ὑλικῶν, μὲ τὸν ταυτόχρονο ἀποκλεισμὸ ἄλλων ἀνεπιθυμητῶν ἐξωτερικῶν ἐπιρροῶν, στηρίζεται σὲ βαθὺ θεωρητικὸ ὑπόβαθρο. Στεῖρα παράθεση πειραματικῶν ἀποτελεσμάτων ἀποτελεῖ ἐμπειρικὴ ἀντιμετώπιση τοῦ προβλήματος καὶ ἔχει μικρὰν ἐπιστημονικὴν σημασίαν, ἀν δὲν συνοδεύεται ἀπὸ ἀναλυτικὴ ἐπεξεργασία καὶ διατύπωση μοντέλων ἢ θεωριῶν, οἱ ὁποῖες θὰ ἦσαν δυνατὸν νὰ προβλέψουν μεγαλύτερη ὁμάδα πειραματικῶν ἀποτελεσμάτων. Ἐν ἐναντίᾳ περιπτώσει, θὰ ἀπαιτεῖτο ἡ διεξαγωγὴ μεγάλου ἀριθμοῦ πειραμάτων ποὺ νὰ καλύπτει ἀντίστοιχο μεγάλο ἀριθμὸ περιπτώσεων, πράγμα ἀνέφικτο ἢ ἀντιοικονομικόν.

Μὲ τὴν εὐκαιρίαν τῆς συμπληρώσεως 50 ἐτῶν ἐρευνητικῆς μου πορείας στὴν περιοχὴ τῆς Θεωρητικῆς καὶ Πειραματικῆς Μηχανικῆς, θὰ παρουσιάσω κατὰ τὴ σημερινὴ ὑποδοχὴ μου στὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ἕνα ἀνθολόγιο σὲ ὀκτὼ ἐνότητες τῆς συμβολῆς μου στὴν ἐπίλυση μιᾶς σειρᾶς προβλημάτων Μηχανικῆς. Σὲ κάθε μία ἀπὸ τίς ὀκτὼ ὁμάδες προβλημάτων θὰ ἐκθέσω ἐν ἀρχῇ μιὰ εἰσαγωγικὴ ἐνημέρωση καὶ ἐν συνεχείᾳ θὰ παρουσιάσω ἀποτελέσματα τῶν ἐρευνητικῶν δραστηριοτήτων ἐμοῦ καὶ συνεργατῶν μου.

1. Άνωμαλίες τάσεων στην κορυφή πολυσφήνων [1-5]

Η επίλυση πλείστων προβλημάτων μηχανικής, όπως έγκοπών, ρωγμών, πολυσφήνων κ.λπ., μέσα στο πλαίσιο της μαθηματικής θεωρίας της ελαστικότητας οδηγεί σε άπειρισμό των τάσεων σε κρίσιμα σημεία, αυτό που ονομάζουμε άνωμαλίες τάσεων (stress singularities). Οί τασιικές αυτές άνωμαλίες έχουν ιδιαίτερη σημασία διότι στην περιοχή των κρίσιμων αυτών σημείων άρχεται ή άστοχία των κατασκευών. Αί πλείστοι των ύφισταμένων πειραματικών μεθόδων άδυνατοῦν νά αναλύσουν την έντονη αυτή μεταβολή των τάσεων στα κρίσιμα σημεία. Κατά συνέπεια, ή μαθηματική μελέτη των άνωμαλιών αυτών έχει ιδιαίτερη σημασία. Θά εξετάσουμε τις τασιικές άνωμαλίες στην κορυφή πολυσφήνων μέσα στο πλαίσιο της μαθηματικής θεωρίας της ελαστικότητας των μιγαδικών συναρτήσεων.

Τό πεδίο των όρθογωνίων συνιστωσών των τάσεων και μετατοπίσεων, σ_x , σ_y , τ_{xy} και u_x , u_y , αντίστοιχα, δίδεται συναρτήσει των δύο μιγαδικών τασιικών δυναμικών $\varphi(z)$ και $\psi(z)$ άπό τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\sigma_x + \sigma_y = 4\text{Re}[\varphi'(z)]$$

$$\sigma_y - \sigma_x + 2i\tau_{xy} = 2[\bar{z}\varphi''(z) + \psi'(z)] \quad (1)$$

$$2G(u_x + i u_y) = u\varphi(z) - z\varphi'(z) - \overline{\psi(z)}$$

όπου z είναι ή μιγαδική μεταβλητή ($z = x+iy = re^{i\theta}$), Re παριστᾶ τό πραγματικό μέρος της αντίστοιχου μιγαδικής συναρτήσεως, ό τόνος σε μία συνάρτηση σημαίνει την πρώτη παράγωγό της αναφορικά με τη μεταβλητή z , G είναι τό μέτρο διατμήσεως, και $\nu = (3-4\nu)$ ή $(3-\nu)/(1+\nu)$ για συνθήκες επιπέδου παραμορφώσεως ή επιπέδου τάσεως, αντίστοιχα, όπου ν παριστᾶ τόν λόγο Poisson τοῦ ὑλικοῦ.

Οί έφηρμοσμένες συνοριακές δυνάμεις X_n , Y_n κατά μήκος μιᾶς καμπύλης S έκφράζονται συναρτήσει των μιγαδικών δυναμικών $\varphi(z)$ και $\psi(z)$ άπό την ακόλουθη εξίσωση:

$$\varphi(z) + \overline{z\varphi'(z)} + \overline{\psi(z)} = i \int (X_n + iY_n) ds + \text{constant} \quad (2)$$

όπου X_n , Y_n είναι οί καρτεσιανές συνιστώσες των δυνάμεων αυτών.

Άς θεωρήσουμε τώρα ένα σύνθετο σώμα που αποτελείται από δύο όμογενεις, ελαστικούς και ισότροπους σφήνες οί όποιοι είναι τελείως ένω-

μένονι κατά μήκος τῆς κοινῆς τους διεπιφάνειας ὑπὸ συνθήκας ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς ἢ ἐντατικῆς καταστάσεως. Ἀναφέρουμε τὸ σῶμα σὲ ἓνα σύστημα πολικῶν συντεταγμένων με ἀρχὴ O στὴν κορυφὴ τοῦ δισφήνου καὶ τὸν πολικὸ ἄξονα κατὰ μήκος τῆς κοινῆς διεπιφάνειας. Ὁ σφήνας με ἀριθμὸ 1 καταλαμβάνει τὸ τμήμα μεταξὺ τῶν γραμμῶν $\theta = 0^0$ καὶ $\theta = \varphi_1$, ἐνῶ ὁ σφήνας με ἀριθμὸ 2 καταλαμβάνει τὸ τμήμα μεταξὺ τῶν γραμμῶν $\theta = 0^0$ καὶ $\theta = \varphi_2$. Σύμφωνα με τὶς ἐξισώσεις (1) καὶ (2), ἡ συνέχεια τῶν τάσεων καὶ μετατοπίσεων κατὰ μήκος τῆς κοινῆς διεπιφάνειας τῶν δύο σφηνῶν ἐκφράζεται ἀπὸ τὶς ἀκόλουθες δύο ἐξισώσεις:

$$\varphi_1(t) + t \overline{\varphi_1'(t)} + \overline{\psi_1(t)} = \varphi_2(t) + t \overline{\varphi_2'(t)} + \overline{\psi_2(t)} \quad (3a)$$

$$\Gamma[u_1\varphi_1(t) - t \overline{\varphi_1'(t)} - \overline{\psi_1(t)}] = u_2\varphi_2(t) - t \overline{\varphi_2'(t)} - \overline{\psi_2(t)} \quad (3b)$$

ὅπου t εἶναι ἡ μιγαδικὴ μεταβλητὴ κατὰ μήκος τῆς διεπιφάνειας καὶ $\Gamma = G_2/G_1$.

Γιὰ τὴν περίπτωσι τοῦ πρώτου θεμελιώδους προβλήματος, ὅταν οἱ δύο ἐπιφάνειες τοῦ δισφήνου στὴ γειτονιὰ τῆς κορυφῆς του εἶναι ἐλεύθερες τάσεων, οἱ συνοριακὲς συνθῆκες κατὰ μήκος τῶν ἐπιφανειῶν αὐτῶν προκύπτουν ἀπὸ τὸν μηδενισμό τοῦ ἀριστεροῦ καὶ δεξιῦ μέλους τῆς ἐξισώσεως (3a) γιὰ τοὺς σφῆνες 1 καὶ 2 με $t = re^{i\theta_1}$ καὶ $t = re^{i\theta_2}$, ἀντίστοιχα. Ὁμοίως, γιὰ τὴν περίπτωσι τοῦ δευτέρου θεμελιώδους προβλήματος, ὅταν οἱ δύο ἐπιφάνειες τοῦ δισφήνου στὴ γειτονιὰ τῆς κορυφῆς του δὲν ἔχουν μετατοπίσεις, οἱ συνοριακὲς συνθῆκες κατὰ μήκος τῶν ἐπιφανειῶν αὐτῶν προκύπτουν ἀπὸ τὸν μηδενισμό τοῦ ἀριστεροῦ καὶ δεξιῦ μέλους τῆς ἐξισώσεως (3b) γιὰ τοὺς σφῆνες 1 καὶ 2 με $t = re^{i\theta_1}$ καὶ $t = re^{i\theta_2}$, ἀντίστοιχα. Τέλος, γιὰ τὴν περίπτωσι τοῦ μεικτοῦ θεμελιώδους προβλήματος, ὅταν ἡ ἐπιφάνεια $\theta = \varphi_1$ εἶναι ἐλεύθερη μετατοπίσεων καὶ ἡ ἐπιφάνεια $\theta = \varphi_2$ εἶναι ἐλεύθερη τάσεων, οἱ συνοριακὲς συνθῆκες προκύπτουν ἀπὸ τὸν μηδενισμό τοῦ πρώτου μέλους τῆς ἐξισώσεως (3b) με $t = re^{i\theta_1}$ καὶ ἀπὸ τὸν μηδενισμό τοῦ δευτέρου μέλους τῆς ἐξισώσεως (3a) με $t = re^{i\theta_2}$.

Δεδομένου ὅτι ἐνδιαφερόμεθα γιὰ τὴ συμπεριφορὰ τῶν μιγαδικῶν συναρτήσεων $\varphi(z)$ καὶ $\psi(z)$ στὴ γειτονιὰ τῆς κορυφῆς τοῦ δισφήνου, θέτουμε τὶς συναρτήσεις αὐτὲς ὑπὸ ἀσυμπτωτικὴ μορφή ὡς ἑξῆς:

$$\varphi_1(z) = a_{11}z^\lambda + a_{21}z^{\bar{\lambda}}, \quad \psi_1(z) = b_{11}z^\lambda + b_{21}z^{\bar{\lambda}} \quad (4)$$

γιὰ τὸ ὕλικὸ 1, καὶ

$$\varphi_2(z) = a_{12}z^\lambda + a_{22}z^{\bar{\lambda}}, \psi_2(z) = b_{12}z^\lambda + b_{22}z^{\bar{\lambda}} \quad (5)$$

για τὸ ὕλικό 2.

Αντικαθιστώντας τὶς μιγαδικὲς συναρτήσεις $\varphi_i(z)$, $\psi_i(z)$ ($i = 1, 2$) ἀπὸ τὶς σχέσεις (4) καὶ (5) στὶς ἐξισώσεις (3), καὶ ἀναζητώντας λύσεις ἀνεξάρτητες τῶν Γ^λ καὶ $\Gamma^{\bar{\lambda}}$ λαμβάνουμε τὶς ἀκόλουθες ἐξισώσεις:

$$\begin{aligned} a_{11} + \lambda \bar{a}_{21} + \bar{b}_{21} &= a_{12} + \lambda \bar{a}_{22} + \bar{b}_{22} \\ \lambda a_{11} + \bar{a}_{21} + \bar{b}_{11} &= \lambda a_{12} + \bar{a}_{22} + \bar{b}_{12} \end{aligned} \quad (6)$$

ἀπὸ τὶς ἐξισώσεις (3a), καὶ

$$\begin{aligned} \Gamma(u_1 a_{11} - \lambda \bar{a}_{21} - \bar{b}_{21}) &= u_2 a_{12} - \lambda \bar{a}_{22} - \bar{b}_{22} \\ \Gamma(-\lambda a_{11} + u_1 \bar{a}_{21} - \bar{b}_{11}) &= -\lambda a_{12} + u_2 \bar{a}_{22} - \bar{b}_{12} \end{aligned} \quad (7)$$

ἀπὸ τὶς ἐξισώσεις (3b), γιὰ τὴν κοινὴ διεπιφάνεια τῶν δύο σφηνῶν τοῦ δισφήνου.

Ὅμοίως, γιὰ τὴν περίπτωση ποὺ οἱ δύο ἐπιφάνειες $\theta = \varphi_1$ καὶ $\theta = \varphi_2$ τοῦ δισφήνου εἶναι ἐλεύθερες τάσεων λαμβάνουμε τὶς ἀκόλουθες ἐξισώσεις

$$\begin{aligned} a_{11}e^{2i\lambda\varphi_1} + \lambda \bar{a}_{21}e^{2i\varphi_1} + \bar{b}_{21} &= 0 \\ \lambda a_{11}e^{-2i\varphi_1} + \bar{a}_{21}e^{-2i\lambda\varphi_1} + b_{11} &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

γιὰ τὴν ἐπιφάνεια $\theta = \varphi_1$, καὶ

$$\begin{aligned} a_{12}e^{2i\lambda\varphi_2} + \lambda \bar{a}_{22}e^{2i\varphi_2} + \bar{b}_{22} &= 0 \\ \lambda a_{12}e^{-2i\varphi_2} + \bar{a}_{22}e^{-2i\lambda\varphi_2} + b_{12} &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

γιὰ τὴν ἐπιφάνεια $\theta = \varphi_2$.

Ὅταν οἱ ἐπιφάνειες $\theta = \varphi_1$ καὶ $\theta = \varphi_2$ τοῦ δισφήνου εἶναι ἐλεύθερες μετατοπίσεων λαμβάνουμε ἀντίστοιχα

$$\begin{aligned} u_1 a_{11}e^{2i\lambda\varphi_1} - \lambda \bar{a}_{21}e^{2i\varphi_1} - \bar{b}_{21} &= 0 \\ -\lambda a_{11}e^{-2i\varphi_1} + u_1 \bar{a}_{21}e^{-2i\lambda\varphi_1} - b_{11} &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

γιὰ τὴν ἐπιφάνεια $\theta = \varphi_1$, καὶ

$$\begin{aligned} u_2 a_{12} e^{2i\lambda\varphi_2} - \lambda \bar{a}_{22} e^{2i\lambda\varphi_2} - \bar{b}_{22} &= 0 \\ -\lambda a_{12} e^{-2i\lambda\varphi_2} + u_2 \bar{a}_{21} e^{-2i\lambda\varphi_2} - b_{12} &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

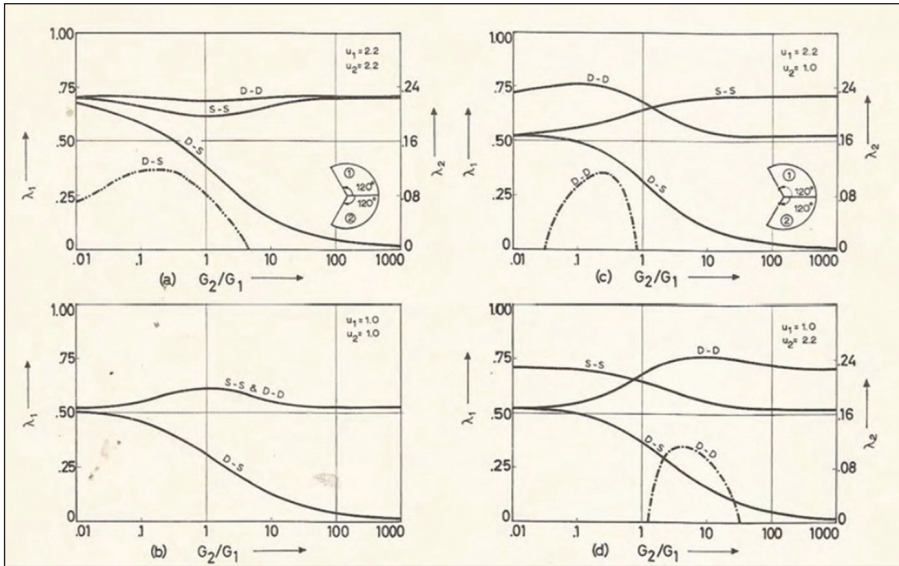
για τήν ἐπιφάνεια $\theta = \varphi_2$.

Οἱ ἐξισώσεις (6), (7), (8) καὶ (9) γιὰ τὴν περίπτωση τοῦ πρώτου θεμελιώδους προβλήματος, οἱ ἐξισώσεις (6), (7), (10) καὶ (11) γιὰ τὴν περίπτωση τοῦ δευτέρου θεμελιώδους προβλήματος, καὶ οἱ ἐξισώσεις (6), (7), (9) καὶ (10) γιὰ τὴν περίπτωση τοῦ μικτοῦ θεμελιώδους προβλήματος ὅταν ἡ ἐπιφάνεια $\theta = \varphi_1$ εἶναι ἐλεύθερη μετατοπίσεων καὶ ἡ ἐπιφάνεια $\theta = \varphi_2$ εἶναι ἐλεύθερη τάσεων συνιστοῦν ἓνα γραμμικὸ ὁμογενὲς σύστημα σχετικὰ μὲ τοὺς ἀγνώστους $a_{11}, a_{12}, \bar{a}_{21}, \bar{a}_{22}, b_{11}, b_{12}, \bar{b}_{21}, \bar{b}_{22}$. Γιὰ μὴ μηδενικὴ λύση τοῦ συστήματος αὐτοῦ οἱ ἀντίστοιχες ὀρίζουσες τῶν ἀνωτέρω συντελεστῶν πρέπει νὰ μηδενίζονται. Εἶναι δυνατὸν ἐν τούτοις τὸ σύστημα τῶν 8×8 ἐξισώσεων νὰ ἀπλοποιηθεῖ σὲ σύστημα 4×4 ἐξισώσεων μὲ ἀπάλειψη τῶν συντελεστῶν $b_{11}, b_{12}, \bar{b}_{21}, \bar{b}_{22}$. Οὕτως, λαμβάνεται ἓνα νέο γραμμικὸ ὁμογενὲς σύστημα ἀναφορικὰ μὲ τοὺς συντελεστὰς $a_{11}, a_{12}, \bar{a}_{21}, \bar{a}_{22}$ ἀπὸ τὸν μηδενισμό τῆς ὀρίζουσας τοῦ ὁποῦ λαμβάνεται ἡ κατωτέρα ἐξίσωση γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς τιμῆς τῆς τασικῆς ἀνωμαλίας λ γιὰ τὴν περίπτωση τοῦ πρώτου θεμελιώδους προβλήματος κατὰ τὴν ὁποία οἱ ἐπιφάνειες τοῦ δισφῆνου εἶναι ἐλεύθερες τάσεων:

$$\begin{aligned} A(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) \beta^2 + 2B(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) \alpha\beta + C(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) \alpha^2 + 2D(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) \beta \\ + 2E(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) \alpha + 2L(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

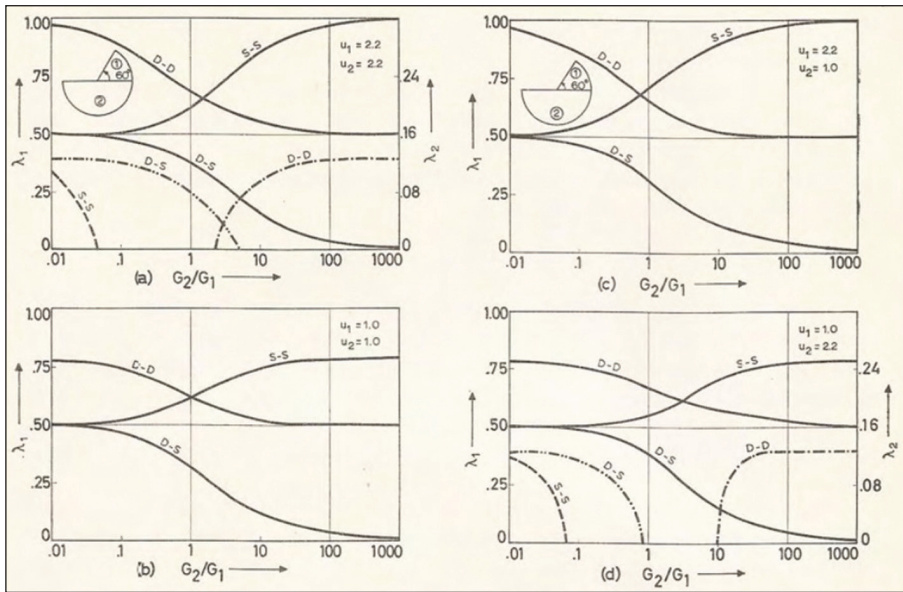
ὅπου

$$\begin{aligned} A(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) &= 4H(\varphi_1, 1, \lambda)H(\varphi_2, 1, \lambda) \\ B(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) &= 2\lambda^2 [\sin^2\varphi_1 H(\varphi_2, 1, \lambda) + \sin^2\varphi_2 H(\varphi_1, 1, \lambda)] \\ C(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) &= 4\lambda^2(\lambda^2-1) \sin^2\varphi_1 \sin^2\varphi_2 + H(\varphi_1 + \varphi_2, 1, \lambda) \\ D(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) &= 2\lambda^2(\sin^2\varphi_1 \sin^2\lambda\varphi_2 - \sin^2\varphi_2 \sin^2\lambda\varphi_1) \\ E(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) &= -D(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) + H(\varphi_2, 1, \lambda) - H(\varphi_1, 1, \lambda) \\ 2L(\varphi_1, \varphi_2, \lambda) &= H(\varphi_1 - \varphi_2, 1, \lambda) \\ H(x, \nu, \lambda) &= \nu \sin^2\lambda x + \lambda^2 \sin^2 x \\ \alpha &= \frac{(\Gamma u_1 - u_2) + (\Gamma - 1)}{(\Gamma u_1 + u_2) + (\Gamma + 1)}, \quad \beta = \frac{(\Gamma u_1 - u_2) - (\Gamma - 1)}{(\Gamma u_1 + u_2) + (\Gamma + 1)} \end{aligned} \quad (13)$$



Σχ. 1: Πραγματικές λ_1 (συνεχείς γραμμές) και φανταστικές λ_2 (διακεκομμένες γραμμές) τιμές τής τασικῆς ἀνωμαλίας $\lambda (= \lambda_1 + i\lambda_2)$ για τὴν περίπτωσι δισφῆνου με ἴσες γωνίες $\varphi_1 = -\varphi_2 = 120^\circ$ για $u_1 = u_2 = 2.2$ (a), $u_1 = u_2 = 1.0$ (b), $u_1 = 2.2, u_2 = 1.0$ (c) καὶ $u_1 = 1.0, u_2 = 2.2$ (d), συναρτήσεσι τοῦ λόγου G_2/G_1 τῶν μέτρων διατμήσεως G_1 καὶ G_2 για τὸ πρῶτο (S-S), τὸ δεύτερο (D-D) καὶ τὸ τρίτο (D-S) θεμελιῶδες πρόβλημα.

Ἀπὸ τὴν ἐπίλυσι τῆς ἐξισώσεως (12) για διαφορετικὲς τιμὲς τῶν μηχανικῶν ιδιοτήτων τῶν δύο ὑλικῶν καὶ για συγκεκριμένη γεωμετρία τοῦ δισφῆνου λαμβάνονται οἱ τιμὲς τῆς τασικῆς ἀνωμαλίας λ . Ἀντίστοιχες ἐξισώσεις εἶναι δυνατὸν νὰ ληφθοῦν για τὴν περίπτωσι τοῦ δευτέρου καὶ τοῦ μεικτοῦ θεμελιῶδους προβλήματος. Τὸ Σχῆμα 1 παριστᾷ τίς πραγματικὲς λ_1 (συνεχείς γραμμές) καὶ φανταστικὲς λ_2 (διακεκομμένες γραμμές) τιμὲς τῆς τασικῆς ἀνωμαλίας $\lambda (= \lambda_1 + i\lambda_2)$ για τὴν περίπτωσι δισφῆνου με ἴσες γωνίες $\varphi_1 = -\varphi_2 = 120^\circ$ για $u_1 = u_2 = 2.2$ (a), $u_1 = u_2 = 1.0$ (b), $u_1 = 2.2, u_2 = 1.0$ (c) καὶ $u_1 = 1.0, u_2 = 2.2$ (d), συναρτήσεσι τοῦ λόγου G_2/G_1 τῶν μέτρων διατμήσεως G_1 καὶ G_2 για τὸ πρῶτο (S-S), τὸ δεύτερο (D-D) καὶ τὸ μεικτὸ (D-S) θεμελιῶδες πρόβλημα. Ἀνάλογα ἀποτελέσματα παρουσιάζονται στὸ Σχῆμα 2 για τὴν περίπτωσι ἐνὸς σφηνῶς γωνίας 60° ποῦ εἶναι συνδεδεμένος με ἡμιεπίπεδο ($\varphi_1 = 60^\circ, \varphi_2 = -180^\circ$).



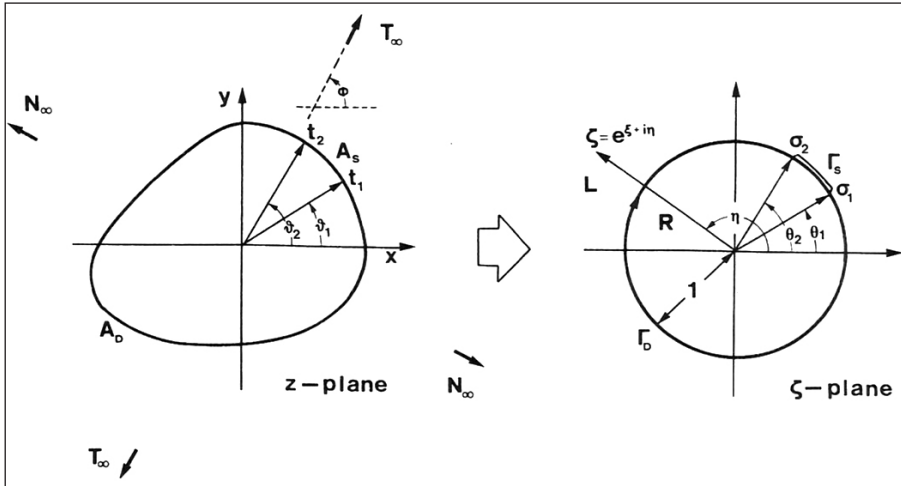
Σχ. 2: "Όπως τὸ Σχῆμα 1 γιὰ τὴν περίπτωση σφηνῶς γωνίας 60° ποὺ εἶναι συνδε-
δεμένος μὲ ἡμιεπίπεδο ($\varphi_1=60^\circ$, $\varphi_2=-180^\circ$).

2. Προβλήματα ὀπῶν ἢ ἐγκλωβισμάτων μερικῶς συγκολλημένων σὲ ἐλαστικὴ μῆτρα [6-9]

Ἐπίπεδα σώματα μὲ ὀπὲς ἢ μὲ ἐγκλωβίσματα ἀπὸ διαφορετικὸ ὑλικὸ συναντῶνται συχνὰ σὲ κατασκευὲς τοῦ μηχανικοῦ. Στὴν περίπτωση τῶν ἐγκλωβισμάτων, συνήθως εἶναι ἡ μερικὴ ἀποκόλλησή τους ἀπὸ τὴ μῆτρα. Τὸ ἀποκολλημένο τμήμα τοῦ ἐγκλωβίσματος συνιστᾷ διεπιφανειακὴ ρωγμὴ. Στις περιπτώσεις αὐτὲς ὑπάρχει συγκέντρωση τάσεων κατὰ μῆκος τοῦ συνόρου τῶν ὀπῶν ἢ στὰ ἄκρα τῆς διεπιφανειακῆς ρωγμῆς. Ὁ προσδιορισμὸς τοῦ πεδίου τῶν τάσεων στις περιοχὲς αὐτὲς εἶναι οὐσιώδους σημασίας.

Στὸ ἐδάφιο αὐτὸ ἐπιλύονται προβλήματα ὀπῶν ἢ ἐγκλωβισμάτων μερικῶς συγκολλημένων σὲ ἄπειρη ἐλαστικὴ μῆτρα μὲ τὴ θεωρία τῶν μιγαδικῶν δυναμικῶν γιὰ καμπυλόγραμμα σύνορα. Τὸ πρόβλημα ἀνάγεται σὲ μὴ ὁμογενὲς πρόβλημα Hilbert.

Ἄς θεωρήσουμε ἄπειρο ἐλαστικὸ διδιάστατο σῶμα τὸ ὁποῖο καταλαμβάνει τὸ z -ἐπίπεδο καὶ περιέχει ἓνα ἄκαμπτο ἐγκλωβίσμα, τὸ ὁποῖο εἶναι συγκολλημένο κατὰ μῆκος A_D τοῦ συνόρου του (Σχῆμα 3). Τὸ ὑπόλοιπο



Σχ. 3: Γεωμετρία άκάμπτου καμπυλογράμμου έγκλωβίσματος, το όποιο είναι μερικώς συγκολλημένο σε έλαστική μήτρα, και ή σύμμορφός του άπεικόνισις στον μοναδιαίο κύκλο.

τμήμα του συνόρου του έγκλωβίσματος A_S σχηματίζει διεπιφανειακή ρωγμή. Το σώμα υπόκειται σε διαξονική φόρτιση N και T στο άπειρο, ή ή όπη σε έσωτερική πίεση p . Το σύνορο A του σώματος περιγράφεται κατά ώρολογιακή θετική φορά ούτως ώστε ή μήτρα να βρίσκεται προς τα άριστερά όταν κινούμεθα κατά μήκος του συνόρου κατά τή θετική φορά. Θεωρούμε τή σύμμορφη άπεικόνιση του έπιπέδου z στο έπίπεδο ζ με τήν έξίσωση:

$$z = m(\zeta) = R \left(\zeta + \frac{b_1}{\zeta} + \dots + \frac{b_i}{\zeta^i} + \dots + \frac{b_p}{\zeta^p} \right) \quad (14)$$

όπου οί ποσότητες $b_i = b_1, \dots, b_i, \dots, b_p$ είναι πραγματικοί άριθμοί. Η άνωτέρω έξίσωση άπεικονίζει τήν καμπύλη A στο έπίπεδο z στον μοναδιαίο κύκλο Γ ($|\zeta| = 1$) στο έπίπεδο ζ , και το έγκλώβισμα έντός τής κλειστής καμπύλης A στην περιοχή έντός του μοναδιαίου κύκλου Γ . Τα άκραία σημεία $t_1 = re^{i\theta_1}$ και $t_2 = re^{i\theta_2}$ τής διεπιφανειακής ρωγμής άπεικονίζονται στα σημεία $\sigma_1 = e^{i\theta_1}$ και $\sigma_2 = e^{i\theta_2}$ του κύκλου Γ . Δεδομένου ότι στην άνωτέρω έξίσωση (14) έλήφθη περατωμένος άριθμός όρων, ή πολυγωνική καμπύλη A στο έπίπεδο z έχει καμπύλες πλευρές και στρογγυλεμένες γωνίες.

Ἡ ἐξίσωση ἀπεικονίσεως (14) ὀρίζει ἓνα σύστημα ὀρθογωνίων καμπυλογράμμων συντεταγμένων (ξ, η) στὸ ἐπίπεδο z γιὰ $\zeta = e^{\xi+i\eta}$. Οἱ συνιστώσες τῆς τάσεως $\sigma_{\xi\xi}$, $\sigma_{\eta\eta}$, $\sigma_{\xi\eta}$ στὸ σύστημα (ξ, η) καὶ ἡ μετατόπιση $D = u+iv$ εἶναι δυνατὸν νὰ ἐκφραστοῦν συναρτήσῃ δύο μιγαδικῶν συναρτήσεων $W(\zeta)$ καὶ $\bar{W}(\bar{\zeta})$ διὰ τῶν ἀκόλουθων σχέσεων:

$$\begin{aligned} 2(\sigma_{\xi\xi} + i\sigma_{\eta\eta}) &= W(\zeta) + \bar{W}(\bar{\zeta}) - \frac{\bar{\zeta}m(\zeta)}{\zeta m'(\zeta)} \bar{W}'(\bar{\zeta}) - \frac{\bar{\zeta}\bar{m}'(\bar{\zeta})}{\zeta m'(\zeta)} \bar{W}(\bar{\zeta}) \\ 2(\sigma_{\eta\eta} - i\sigma_{\xi\eta}) &= W(\zeta) + \bar{W}(\bar{\zeta}) + \frac{\bar{\zeta}m(\zeta)}{\zeta m'(\zeta)} \bar{W}'(\bar{\zeta}) + \frac{\bar{\zeta}\bar{m}'(\bar{\zeta})}{\zeta m'(\zeta)} \bar{W}(\bar{\zeta}) \\ 4\mu \frac{\partial D}{\partial \eta} &= [uW(\zeta) + \bar{W}(\bar{\zeta})]i\zeta m'(\zeta) + [m(\zeta)\bar{W}'(\bar{\zeta}) + \bar{m}'(\bar{\zeta})\bar{W}(\bar{\zeta})]i\bar{\zeta} \end{aligned} \quad (15)$$

Ὅπου χρησιμοποιήθηκε ὁ ἀκόλουθος συμβολισμός:

$$\bar{F}(z) = \overline{F(\bar{z})}, \text{ ὅποτε } \bar{F}(\bar{z}) = \overline{F(z)} \quad (16)$$

Οἱ συναρτήσεις $W(\zeta)$ καὶ $\bar{W}(\bar{\zeta})$ στὸ ἄπειρο ἔχουν τὴ μορφή:

$$\begin{aligned} W(\zeta) &= \frac{N+T}{2} + O\left(\frac{1}{\zeta^2}\right) \\ \bar{W}(\bar{\zeta}) &= (N-T)e^{-2i\varphi} + O\left(\frac{1}{\zeta^2}\right) \end{aligned} \quad (17)$$

Μιὰ δυναμικὴ μέθοδος γιὰ τὴν ἐπίλυση προβλημάτων ἐλαστικότητας χρησιμοποιεῖ τὴν ἐπέκταση τοῦ ὀρισμοῦ τῆς συναρτήσεως $W(\zeta)$ ἀπὸ τὴν περιοχὴ ἐκτὸς στὴν περιοχὴ ἐντὸς τοῦ ἐγκλωβίσματος ἢ τῆς ὀπῆς. Μὲ τὸν τρόπο αὐτὸν ἡ ἐπίλυση τοῦ προβλήματος ἀνάγεται στὸν ὑπολογισμὸ μιᾶς συναρτήσεως ($W(\zeta)$) καὶ ὄχι δύο ($W(\zeta)$, $\bar{W}(\bar{\zeta})$) συναρτήσεων. Γιὰ τὴν περίπτωση μιᾶς ὀπῆς ἢ ὀπῆς ἢ ὀπῆς ὅποια ὑπὸκειται σὲ ἐσωτερικὴ πίεση p , παραλείποντες τὶς μαθηματικὲς λεπτομέρειες καὶ παριστώντας μὲ $W^L(\sigma)$ καὶ $W^R(\sigma)$ τὶς ὀριακὲς τιμὲς τῆς συναρτήσεως $W(\zeta)$ ὅταν τὸ ζ τείνει στὸ σημεῖο σ τοῦ συνόρου ἀπὸ τὴν ἀριστερὴν περιοχὴ L καὶ ἀπὸ τὴ δεξιὰν περιοχὴ R , ἀντίστοιχα (ὅταν κινούμεθα στὸν κύκλο κατὰ τὴν ὀρολογιακὴ θετικὴ φορά), λαμβάνουμε τὴν ἀκόλουθη ἐξίσωση:

$$W_0^L(\sigma) - W_0^R(\sigma) = -2pm'(\sigma) \quad (18)$$

ὅπου

$$W_0(\zeta) = m'(\zeta)W(\zeta) \quad (19)$$

Ἡ ἐξίσωση (18) ἀποτελεῖ τὸ μὴ ὁμογενὲς πρόβλημα Hilbert μὲ γραμμὴ ἀσυνεχείας τῆς συναρτήσεως $W_0(\zeta)$ τὴν περιφέρειαν τοῦ μοναδιαίου κύκλου Γ ($|\zeta| = 1$). Ἡ ἐπίλυση τῆς ἐξισώσεως (18) δίνει γιὰ τὴν ἄγνωστη συνάρτηση $W_0(\zeta)$:

$$W_0(\zeta) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{-2pm'(\sigma)}{\sigma - \zeta} d\sigma + R(\zeta), \quad \zeta \in L \text{ or } R \quad (20)$$

ὅπου

$$R(\zeta) = A_0 + \frac{A_1}{\zeta} + \frac{A_2}{\zeta^2} + \dots + \frac{A_{\rho+1}}{\zeta^{\rho+1}} \quad (21)$$

Ἡ μορφή τῆς συναρτήσεως $R(\zeta)$ τῆς ἐξισώσεως ὑπαγορεύεται ἀπὸ τὸ γεγονός ὅτι ἡ συνάρτηση $W_0(\zeta)$ ποὺ ὀρίζεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση (21) εἶναι ὁλόμορφη στὸ L καὶ ἔχει πόλο τῆς τάξεως $\rho+1$ στὸ μηδέν.

Ἡ ἐξίσωση (20) παρέχει τὶς τιμὲς τῆς συναρτήσεως $W_0(\zeta)$ συναρτήσει τῶν $\rho+2$ ἀγνώστων συντελεστῶν A_j ($j = 0, 1, \dots, \rho+1$). Οἱ συντελεστὲς αὗτοι προσδιορίζονται ἀπὸ τὴ συνθήκη ὅτι ἡ συνάρτηση $W(\zeta)$ εἶναι ὁλόμορφη στὴν περιοχὴ L στὸ ἐξωτερικὸ τοῦ μοναδιαίου κύκλου στὸ ἐπίπεδο ζ καὶ ἡ συμπεριφορὰ τῆς στὸ ἄπειρο ὑπαγορεύεται ἀπὸ τὶς ἐξισώσεις (17).

Οἱ συντελεστὲς A_j ἔχουν προσδιοριστεῖ γιὰ περιπτώσεις διαφόρων πολυγώνων τῆς ὁπῆς σὲ σῶμα ποὺ φορτίζεται μὲ διαξονικὴ φόρτιση στὸ ἄπειρο ἢ ἐσωτερικὴ πίεση κατὰ μῆκος τῆς ὁπῆς ἢ ἀκάμπτων ἐγκλωβισμάτων μερικῶς συγκολλημένων σὲ ἐλαστικὴ μῆτρα μὲ ρωγμὴ κατὰ μῆκος τῆς διεπιφάνειας [6-9].

3. Διάδοση ρωγμῶν [10-18]

Ἡ ἀστοχία τῶν κατασκευῶν ἔχει ἀφετηρία τὴ διάδοση προϋπαρχουσῶν ρωγμῶν, οἱ ὁποῖες ἐν γένει ἐνυπάρχουν στὸ ἐσωτερικὸ τῶν σωμάτων. Οἱ ρωγμὲς αὐτὲς διαδίδονται κατὰ εὐσταθῆ ἢ ἀσταθῆ τρόπο. Ἡ εὐσταθῆ διάδοση τῶν ρωγμῶν δὲν ὀδηγεῖ σὲ ἄμεση καταστροφή τῆς κατασκευῆς, ἐν ἀντιθέσει μὲ τὴν ἀσταθῆ διάδοση. Πολλὲς κατασκευὲς ἔχουν καταστραφεῖ ἀκαριαίως λόγῳ ἀσταθοῦς διαδόσεως ρωγμῶν. Ἡ μελέτη, κατὰ συνέπεια, τῆς διαδόσεως τῶν ρωγμῶν στὸ ἐσωτερικὸ τῶν κατασκευῶν ἔχει ἰδιαιτέραν σημασίαν γιὰ τὴ δομικὴ ὑπόσταση αὐτῆς ταύτης τῆς κατασκευῆς.

Θὰ ἀναλύσουμε ἐνδεικτικῶς μερικὲς περιπτώσεις προσδιορισμοῦ τοῦ κρισίμου φορτίου ἐνάρξεως διαδόσεως ρωγμῶν σὲ ἐπίπεδα σώματα ποὺ

υπόκεινται στην επιβολή έξωτερικῶν φορτίων. Ἡ ἀνάλυση τῆς διαδόσεως τῶν ρωγμῶν θὰ πραγματοποιηθεῖ μὲ τὴ θεωρία τῆς ἐλαχίστης πυκνότητος τῆς ἐνέργειας παραμορφώσεως [10]. Ἡ θεωρία αὐτὴ εἶναι δυνατὸν νὰ μελετήσῃ τὴ διάδοση ρωγμῶν εὐρισκομένων ἐντὸς σωμάτων ὑποκειμένων σὲ γενικευμένα ἐξωτερικὰ φορτία γιὰ τὰ ὁποῖα ἡ διεύθυνση διαδόσεως τῆς ρωγμῆς δὲν εἶναι ἐκ τῶν προτέρων γνωστὴ. Προσδιορίζονται τόσο ἡ γωνία ἐνάρξεως διαδόσεως τῆς ρωγμῆς, ὅσο καὶ τὸ ἀντίστοιχο κρίσιμο φορτίο. Ἐπίσης, εἶναι δυνατὸν νὰ προσδιοριστεῖ ἡ πορεία τῆς ρωγμῆς κατὰ τὴν εὐσταθὴ διάδοσή της.

Γιὰ τὴν περίπτωση ρωγμῆς εὐρισκομένης ἐντὸς διδιαστάτου ἐντατικοῦ πεδίου τὸ ὁποῖο ὀρίζεται ἀπὸ τὶς τιμὲς τοῦ ἐφελκυστικοῦ, K_I , καὶ διατμητικοῦ, K_{II} , συντελεστοῦ ἐντάσεως τῶν τάσεων ἢ θεωρία τῆς ἐλαχίστης πυκνότητος τῆς ἐνέργειας παραμορφώσεως ὀδηγεῖ στὶς κατωτέρω σχέσεις [10]:

$$\begin{aligned} & [2\cos\theta - (\kappa-1)] \sin\theta k_I^2 + 2[2\cos 2\theta - (\kappa-1) \cos\theta] k_I k_{II} \\ & + [(\kappa-1-6\cos\theta) \sin\theta] k_{II}^2 = 0 \\ & [2\cos 2\theta - (\kappa-1) \cos\theta] k_I^2 + 2[(\kappa-1) \sin\theta - 4\sin 2\theta] k_I k_{II} \\ & + [(\kappa-1)\cos\theta - 6\cos 2\theta] k_{II}^2 > 0 \end{aligned} \quad (22)$$

ὅπου $k_j = K_j/\sqrt{\pi}$ ($j = I, II$) καὶ θ παριστᾷ τὴ γωνία σὲ σύστημα πολικῶν συντεταγμένων μὲ ἀρχὴ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς.

Ὅταν γιὰ ἓνα συγκεκριμένο πρόβλημα ρωγμῆς οἱ συντελεστὲς ἐντάσεως τῶν τάσεων k_I καὶ k_{II} εἶναι γνωστοί, οἱ ρίζες τῆς ἀνωτέρω ἐξίσωσσεως οἱ ὁποῖες ἱκανοποιοῦν τὴν ἀνισότητα τῆς σχέσης (22) ἀποτελοῦν τὶς γωνίες θ_c τῆς ἀρχικῆς διαδόσεως τῆς ρωγμῆς. Τὸ κρίσιμο φορτίο τῆς ἀσταθοῦς διαδόσεως τῆς ρωγμῆς ὑπολογίζεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση

$$S(\theta_c) = S_c \quad (23)$$

ὅπου S_c ἀποτελεῖ σταθερὰ τοῦ ὕλικου, καὶ

$$\begin{aligned} S(\theta_c) &= a_{11} k_I^2 + 2 a_{12} k_I k_{II} + a_{22} k_{II}^2 \\ 16\mu a_{11} &= (1+\cos\theta)(\kappa-\cos\theta) \\ 16\mu a_{12} &= \sin\theta[2\cos\theta - (\kappa-1)] \\ 16\mu a_{22} &= (\kappa+1)(1-\cos\theta) + (1+\cos\theta)(3\cos\theta-1) \end{aligned} \quad (24)$$

Για την περίπτωση ρωγμής μήκους $2a$ εύρισκομένης εντός άπειρου σώματος ύποκειμένου σε μονοαξονική έφελκυστική ή θλιπτική τάση σ υπό γωνία β αναφορικά με τη διεύθυνση τής ρωγμής, οί συντελεστές έντάσεως τών τάσεων k_I, k_{II} δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$k_I = \sigma a^{1/2} \sin^2 \beta, \quad k_{II} = \sigma a^{1/2} \sin \beta \cos \beta \quad (25)$$

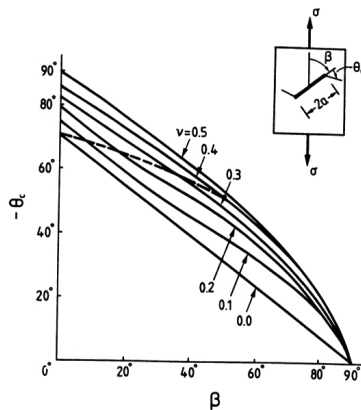
Άντικαθιστώντας τις τιμές αυτές τών k_I, k_{II} στην έξίσωση (24) λαμβάνουμε την ακόλουθη έξίσωση για τον παράγοντα S :

$$S = \sigma^2 a (a_{11} \sin^2 \beta + 2a_{12} \sin \beta \cos \beta + a_{22} \cos^2 \beta) \sin^2 \beta \quad (26)$$

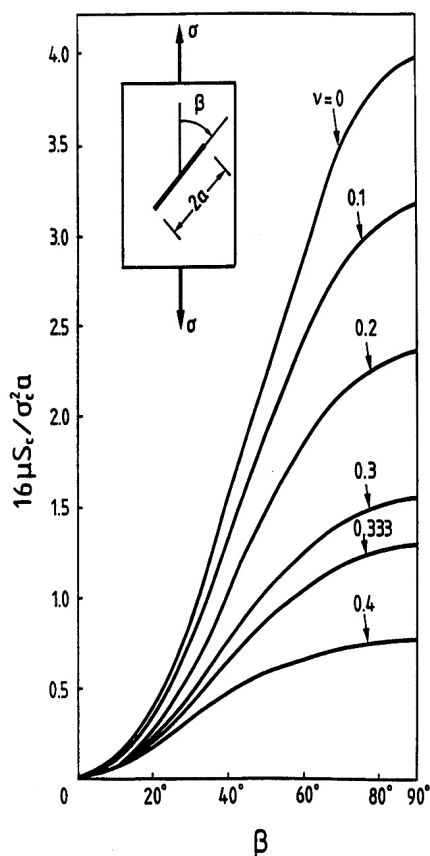
ένω ή έξίσωση τής σχέσης (22) για τον ύπολογισμό τής γωνίας θ_c λαμβάνει τή μορφή:

$$(\kappa-1) \sin(\theta_c-2\beta) - 2\sin[2(\theta_c-\beta)] - \sin 2\theta_c = 0, \quad \beta \neq 0 \quad (27)$$

Η μεταβολή τής κρισίμου γωνίας διαδόσεως τής ρωγμής $-\theta_c$ συναρτήσει τής γωνίας κλίσεως τής ρωγμής σχετικά με τη διεύθυνση τής έφηρομοσμένης μονοαξονικής έφελκυστικής τάσεως σ στο άπειρο παρουσιάζεται στο Σχήμα 4 για συνθήκες έπιπέδου παραμορφωσιακής καταστάσεως για τις ακόλουθες τιμές του λόγου Poisson του ύλικου $\nu = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$. Άποτελέσματα για συνθήκες έπιπέδου έντατικής καταστάσεως είναι



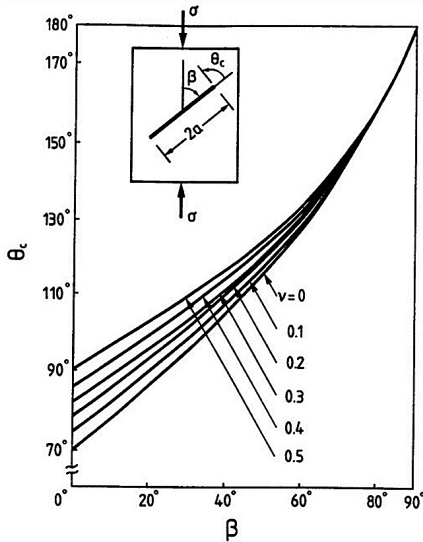
Σχ. 4: Μεταβολή τής κρισίμου γωνίας διαδόσεως τής ρωγμής $-\theta_c$ συναρτήσει τής γωνίας κλίσεως τής ρωγμής β σχετικά με τη διεύθυνση τής έφηρομοσμένης μονοαξονικής έφελκυστικής τάσεως σ στο άπειρο.



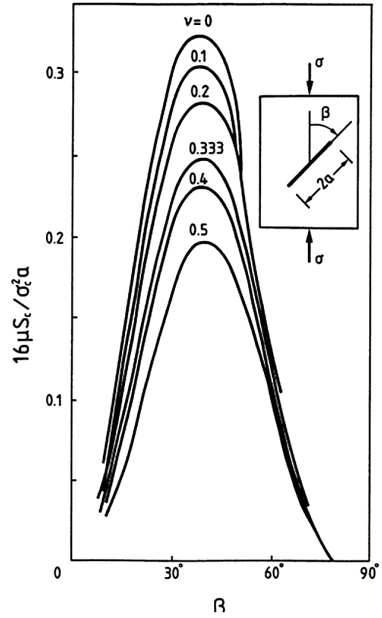
Σχ. 5: Μεταβολή τῆς ποσότητας $16\mu S_c / \sigma^2 a$ συναρτήσεως τῆς γωνίας β ὑπὸ συνθήκας ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς καταστάσεως γιὰ ἐφηρμοσμένη μονοαξονικὴ ἐφελκυστικὴ τάση σ στὸ ἄπειρο.

δυνατὸν νὰ ληφθοῦν μὲ τὴν ἀντικατάσταση τοῦ ν μὲ $\nu/(1+\nu)$. Ἡ διακεκομμένη γραμμὴ στὸ Σχῆμα 4 ἀναφέρεται σὲ ἀποτελέσματα ποὺ ἐλήφθησαν μὲ τὴ θεωρία τῆς μεγίστης τάσεως. Ἡ μεταβολὴ τῆς ποσότητας $16\mu S_c / \sigma^2 a$ συναρτήσεως τῆς γωνίας β παρουσιάζεται στὸ Σχῆμα 5. Ἀντίστοιχα ἀποτελέσματα γιὰ θλιπτικὴ ἐπιβαλλόμενη τάση σ στὸ ἄπειρο ἐμφαίνονται στὰ Σχῆματα 6 καὶ 7.

Γιὰ τὴν περίπτωσι ἀπείρου διδιαστάτου σώματος τὸ ὁποῖο περιέχει μιὰ κυκλικὴ ρωγμὴ ἀκτίνοσ R καὶ γωνίας β καὶ ὑπόκειται σὲ μονοαξονικὴ



Σχ. 6: Όπως στο Σχήμα 4 για θλιπτική έφρημοσιμένη τάση.



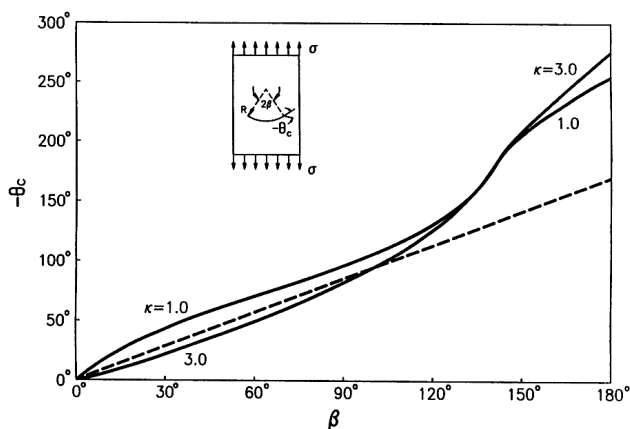
Σχ. 7: Όπως στο Σχήμα 5 για θλιπτική έφρημοσιμένη τάση.

τάση σ στο άπειρο κάθετη στη χορδή της ρωγμής οι συντελεστές έντάσεως των τάσεων στο άκρο της ρωγμής δίνονται από τις σχέσεις:

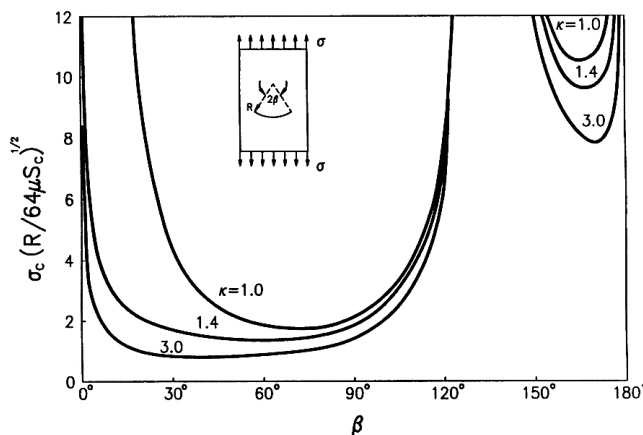
$$k_1 = \frac{\sigma}{2} (R \sin \beta)^{1/2} \left[\frac{(1 - \sin^2 \frac{\beta}{2} \cos^2 \frac{\beta}{2}) \cos \frac{\beta}{2}}{1 + \sin^2 \frac{\beta}{2}} + \cos \frac{3\beta}{2} \right]$$

$$k_2 = \frac{\sigma}{2} (R \sin \beta)^{1/2} \left[\frac{(1 - \sin^2 \frac{\beta}{2} \cos^2 \frac{\beta}{2}) \cos \frac{\beta}{2}}{1 + \sin^2 \frac{\beta}{2}} + \sin \frac{3\beta}{2} \right] \quad (28)$$

Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, όπως στην περίπτωση της κεκλιμένης ρωγμής, λαμβάνουμε την κρίσιμη γωνία θ_c και το κρίσιμο φορτίο σ_c διαδόσεως της ρωγμής. Η μεταβολή της γωνίας $-\theta_c$ και της κρίσιμης

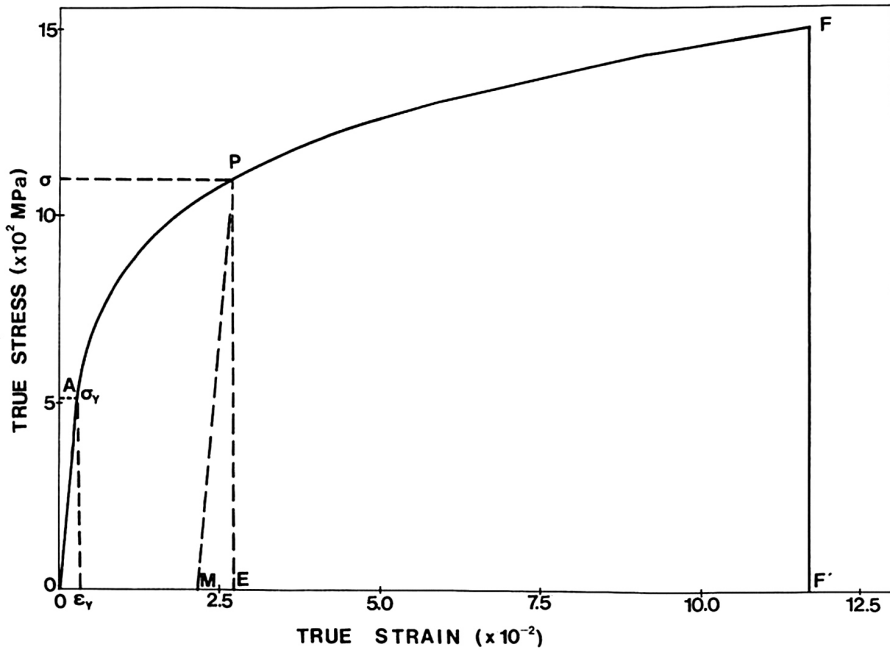


Σχ. 8: Μεταβολή τῆς γωνίας $-\theta_c$ διάδοσης τῆς ρωγμῆς συναρτῆσει τῆς ἡμίσεως γωνίας β τῆς κυκλικῆς ρωγμῆς ἢ χορδῆ τῆς ὁποίας εἶναι κάθετος στὴ διεύθυνση τῆς ἐφηρμοσμένης ἐφελκυστικῆς τάσεως σ γιὰ $\kappa=1.0$ καὶ 3.0.



Σχ. 9: Μεταβολή τῆς κρίσιμης ἀνηγγμένης τάσεως σ_c συναρτῆσει τῆς ἡμίσεως γωνίας β τῆς κυκλικῆς ρωγμῆς γιὰ τρεῖς τιμές τοῦ συντελεστοῦ κ ($=1.0, 1.4, 3.0$).

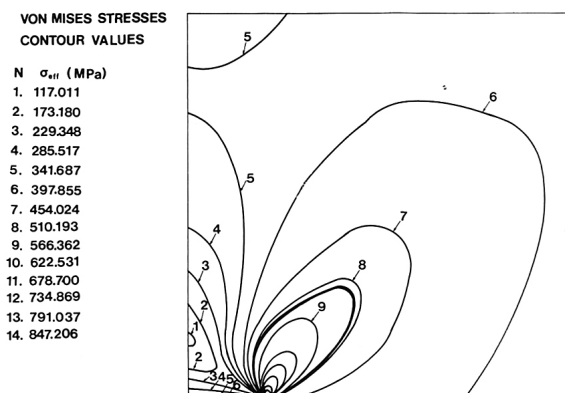
ἀνηγγμένης τάσεως σ_c συναρτῆσει τῆς ἡμίσεως γωνίας β τῆς κυκλικῆς ρωγμῆς διὰ δύο ($\kappa = 1.0, 3.0$) καὶ τρεῖς ($\kappa = 1.0, 1.4, 3.0$) τιμές τοῦ συντελεστοῦ κ παρουσιάζονται στὰ Σχήματα 8 καὶ 9. Ἡ εὐθεῖα διακεκομμένη γραμμὴ στὸ Σχῆμα 8 ἀντιστοιχεῖ σὲ διάδοση τῆς ρωγμῆς σὲ διεύθυνση κάθετη στὸ ἐφηρμοσμένο φορτίο.



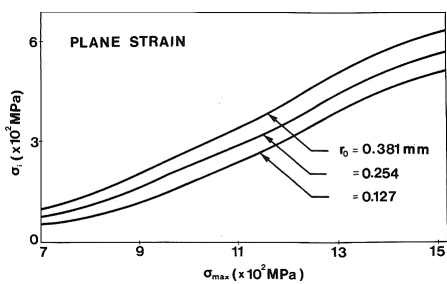
Σχ. 10: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σε έφελκυσμό ελαστοπλαστικού ύλικου.

Οι άνωτέρω δύο περιπτώσεις αντιστοιχούν σε άσταθη διάδοση ρωγμών. Σε ύλικα τὰ ὁποῖα ἐμφανίζουν μεγάλη ελαστοπλαστική συμπεριφορά προηγείται μία περίοδος εὐσταθοῦς διαδόσεως τῆς ρωγμῆς. Ἡ ἔκταση τῆς εὐσταθοῦς διαδόσεως ἐξαρτᾶται ἀπὸ πολλοὺς παράγοντες, ὅπως τὸ ύλικό, τὴν ταχύτητα καὶ ἱστορία φορτίσεως, τὸ μέγεθος τῆς κατασκευῆς καὶ περιβαλλοντολογικοὺς παράγοντες. Θεωροῦμε ὀρθογωνικὸ σῶμα πλάτους $2b = 25.4 \text{ cm}$ καὶ ὕψους $2h = 25.4 \text{ cm}$ μὲ κεντρικὴ ρωγμὴ μήκους $2a$. Τὸ σῶμα ὑπόκειται σὲ μονοτονικὰ αὐξανόμενη ἐφελκυστικὴ τάση κάθετη στὸ ἐπίπεδο τῆς ρωγμῆς. Τὸ πάχος τοῦ σώματος εἶναι πολὺ μικρὸ ἢ πολὺ μεγάλο οὕτως ὥστε ἡ ἐντατικὴ κατάσταση στὸ σῶμα νὰ εἶναι δυνατὸ νὰ προσεγγιστεῖ ὡς ἐπίπεδη ἐντατικὴ ἢ ἐπίπεδη παραμορφωσιακὴ. Τὸ ύλικὸ τοῦ σώματος εἶναι ελαστοπλαστικὸ – τὸ διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων τοῦ ὁποῖο ἐμφαίνεται στὸ Σχῆμα 10. Τὸ ύλικὸ ἔχει τὶς ἀκόλουθες ιδιότητες:

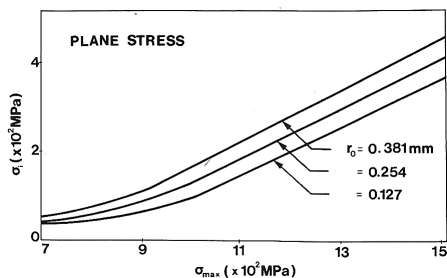
$$E = 2.0684 \times 10^5 \text{ MPa}, \nu = 0.3, \sigma_{ys} = 5.171 \times 10^2 \text{ MPa}$$



Σχ. 11: Ίσοϋψείς καμπύλες τῆς τάσεως von-Mises σ_{eff} γιὰ ἐφρημοσιμένη τάση $\sigma/\sigma_{ys}=0.85$ καὶ συνθήκες ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς καταστάσεως. Τὸ ἐλαστοπλαστικὸ ὄριο ἐμφαίνεται μὲ ἔντονη γραμμὴ.

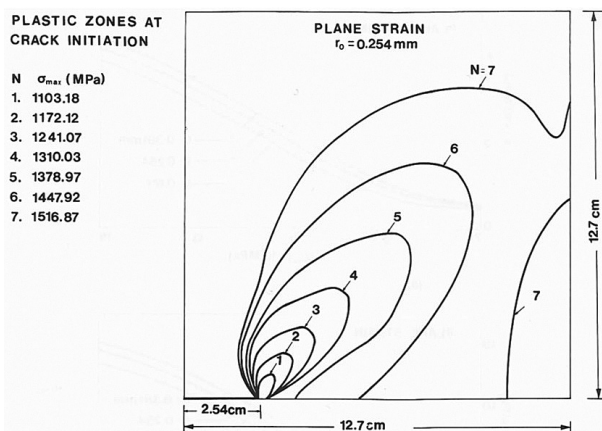


(a)



(b)

Σχ. 12: Μεταβολὴ τῆς κρίσιμου τάσεως ἐνάρξεως διαδόσεως τῆς ρωγμῆς συναρτήσῃ τῆς μεγίστης τάσεως σ_{max} τοῦ ὕλικου σὲ ἐφελκυσμὸ γιὰ διάφορες τιμὲς τῆς ἀκτίνοσ r_0 τῆς κρίσιμου ζώνης ποὺ περιβάλλει τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς ὑπὸ συνθήκας ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς (a) καὶ ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως (b). Τὸ μῆκος τῆς ρωγμῆς εἶναι $2a=5.08 \text{ cm}$.



Σχ. 13: Μεταβολή του ελαστοπλαστικού συνόρου που περιβάλλει το άκρο της ρωγμής για διάφορες τιμές της μέγιστης τάσεως σ_{max} . Το μήκος της ρωγμής είναι $2a = 5.08 \text{ cm}$.

όπου E είναι το μέτρο ελαστικότητας, ν ο λόγος Poisson και σ_{ys} ή τάση διαρροής. Η μέγιστη τάση σ_{max} του διαγράμματος τάσεων-παραμορφώσεων του υλικού λαμβάνει διάφορες τιμές οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ $6.89 \times 10^2 \text{ MPa}$ και $15.16 \times 10^2 \text{ MPa}$.

Για την περίπτωση αυτή έλαβε χώρα ελαστοπλαστική ανάλυση της έντατικής καταστάσεως στο σώμα για μία μονοτονικά αυξανόμενη εφρμοσμένη τάση και προσδιορίστηκε η κρίσιμη τάση έναρξεως διαδόσεως της ρωγμής. Το Σχήμα 11 παριστᾶ τις ισοϋψείς καμπύλες της τάσεως von-Mises, σ_{eff} για εφρμοσμένη τάση $\sigma/\sigma_{ys} = 0.85$ και συνθήκες επιπέδου παραμορφωσιακής καταστάσεως. Το ελαστοπλαστικό σύνορο εμφανίζεται στο σχήμα με έντονη γραμμή. Η μεταβολή της κρίσιμου τάσεως έναρξεως διαδόσεως της ρωγμής συναρτήσει της μέγιστης τάσεως σ_{max} εμφανίζεται στο Σχήμα 12 για διάφορες τιμές της ακτίνας r_0 της κρίσιμου ζώνης που περιβάλλει το άκρο της ρωγμής υπό συνθήκες επιπέδου παραμορφωσιακής και έντατικής καταστάσεως. Το μήκος της ρωγμής είναι $2a = 5.08 \text{ cm}$. Η μεταβολή του ελαστοπλαστικού συνόρου που περιβάλλει το άκρο της ρωγμής για διάφορες τιμές της μέγιστης τάσεως σ_{max} εμφανίζεται στο Σχήμα 13.

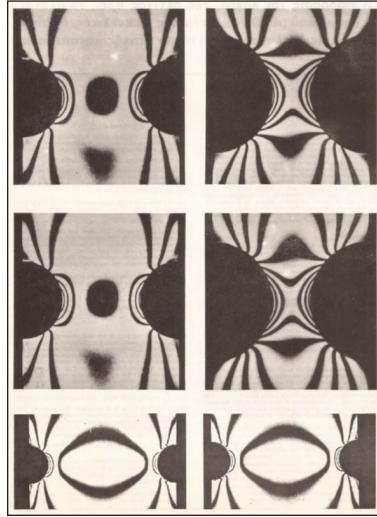
4. Ὀπτικές μέθοδοι [19-25]

Οἱ ὀπτικές μέθοδοι κατέχουν ἰδιαιτέρα σημασία μεταξύ τῶν πειραματικῶν μεθόδων γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τοῦ ἐντατικοῦ πεδίου τὸ ὁποῖο δημιουργεῖται στὸ ἐσωτερικὸ τῶν σωμάτων, ὅταν αὐτὰ ὑπόκεινται σὲ ἐξωτερικὲς διαταραχές, ὅπως ἐφηρμοσμένα φορτία, θερμοκρασιακὲς μεταβολές κ.λπ. Οἱ βασικότερες ὀπτικές μέθοδοι ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὴ μηχανικὴ εἶναι: ἡ φωτοελαστικότητα, οἱ φωτοελαστικὲς ἐπικαλύψεις, ἡ ὀπτικὴ συμβολή, ἡ ὀλογραφία, ἡ μέθοδος τῶν καυστικῶν, ἡ μηχανικὴ συμβολή (moiré), ἡ ψηφιακὴ ἀνάλυση εἰκόνας, οἱ ὀπτικὲς ἴνες. Οἱ μέθοδοι αὐτὲς βασίζονται στὸ φαινόμενο τῆς διπλοθλαστικότητος τῶν σωμάτων σύμφωνα μὲ τὸ ὁποῖο ὅταν ἓνα διαφανὲς σῶμα ὑποβληθεῖ σὲ ἐντατικὸ πεδίο συμπεριφέρεται ὡς διπλοθλαστικὸς κρύσταλλος. Ἡ διπλοθλαστικότης τοῦ σώματος διαρκεῖ μόνον κατὰ τὴ διάρκειά τῆς ἐπιβολῆς τῶν φορτίων καὶ ἐξαφανίζεται ὅταν τὰ φορτία ἀπομακρυνθοῦν. Οἱ κύριοι ἄξονες διπλοθλαστικότητος τοῦ σώματος συμπίπτουν μὲ τὲς κύριες διευθύνσεις τῶν τάσεων τοῦ ἐπιβαλλομένου ἐντατικοῦ πεδίου καὶ ἡ ὀπτικὴ διπλοθλαστικότης δ δίνεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση

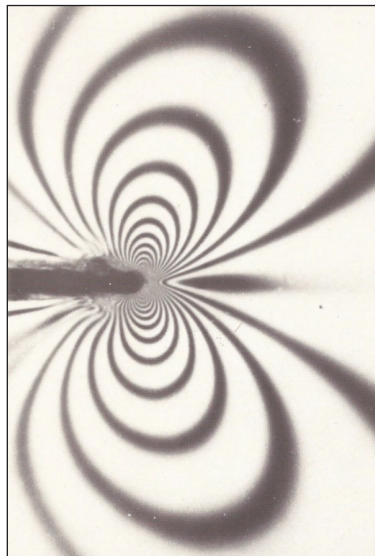
$$\delta = C(\sigma_1 - \sigma_2)d \quad (29)$$

ὅπου σ_1 καὶ σ_2 εἶναι οἱ κύριες τάσεις, C εἶναι ἡ φωτοελαστικὴ σταθερὰ τοῦ ὑλικοῦ καὶ d εἶναι τὸ πάχος τοῦ σώματος.

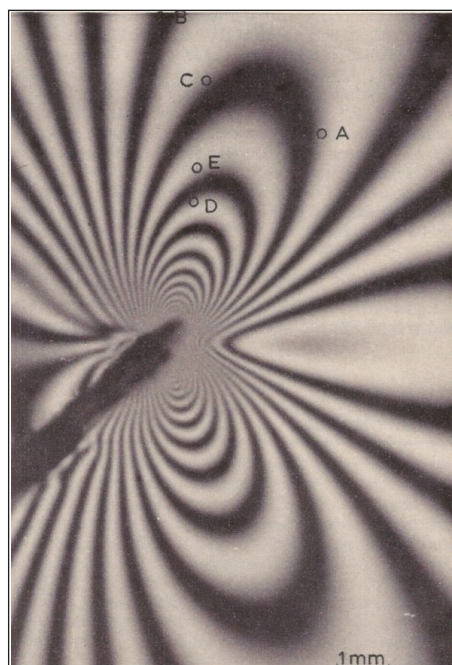
Ἡ μέθοδος τῆς φωτοελαστικότητος χρησιμοποιήθηκε ἀπὸ τὸν συγγραφέα ἐκτεταμένως γιὰ τὴν ἐπίλυση προβλημάτων μηχανικῆς. Ἐνδεικτικῶς ἀναφέρω τὸ πρόβλημα τῶν ἡμικυκλικῶν ἐγκοπῶν διαστατάτου δίσκου καὶ τὸ πρόβλημα σωμάτων ὁμογενῶν ἢ συνθέτων μὲ ρωγμὲς κάθετες καὶ κεκλιμένες ἀναφορικὰ μὲ τὰ ἐπιβαλλόμενα φορτία. Τὸ Σχῆμα 14 παριστᾷ τὰ δίκτυα τῶν ἰσοχρωματικῶν κροσσῶν ἀκεραίας τάξεως σὲ ἐπίπεδη πλάκα μὲ ἡμικυκλικὲς ἐγκοπὲς γιὰ διάφορες τιμὲς τοῦ λόγου τῆς ἀκτίνας τῆς ἐγκοπῆς πρὸς τὸ πλάτος τοῦ δίσκου. Ἀπὸ τὴν ἀνάλυση τῶν δικτύων αὐτῶν τῶν ἰσοχρῶμων σὲ συνδυασμὸ μὲ τὸ δίκτυο τῶν ἰσοκλινῶν (καμπύλων μὲ τὴν ἴδια κλίση τῶν κυρίων τάσεων), τὸ ὁποῖο λαμβάνεται ἀπὸ τὸ ἐπίπεδο πολωσισκόπιο, προκύπτουν οἱ τιμὲς τῶν κυρίων τάσεων καὶ ἡ γωνία κλίσεώς τους. Γιὰ ἐπίπεδο σῶμα ποὺ ὑπόκειται σὲ ἐφελκυστικὴ δύναμη κάθετη στὸ ἐπίπεδο τῆς ρωγμῆς τὸ Σχῆμα 15 παριστᾷ τὸ δίκτυο τῶν ἰσοχρῶμων στὴν ἐγγὺς περιοχὴ τοῦ ἄκρου μιᾶς ρωγμῆς. Ἀπὸ τὴν ἀνάλυση τοῦ πεδίου τῶν ἰσοχρῶμων προκύπτουν οἱ τιμὲς τοῦ συντελεστοῦ ἐντάσεως



Σχ. 14: Δίκτυα ισοχρωματικών κροσσών άκρικής τάξεως σε επίπεδη πλάκα με ήμικυκλικές έγκοπές για τιμές του λόγου τής ακτίνας R τής έγκοπής προς το πλάτος του δίσκου D , $R/D = 0.375, 0.250, 0.125$.



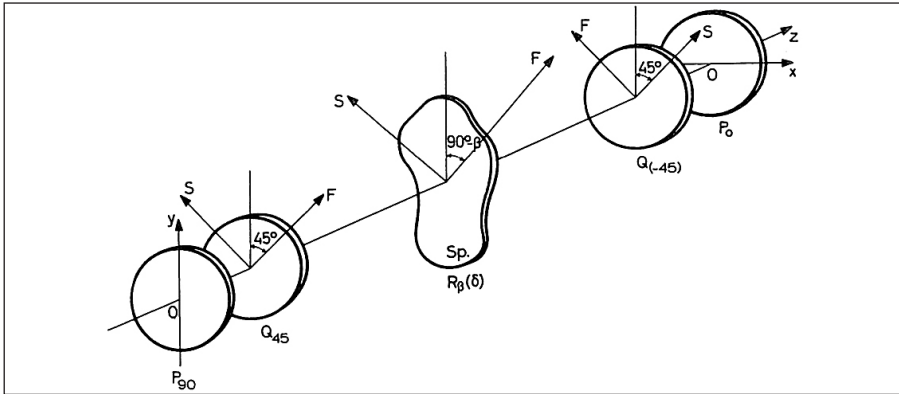
Σχ. 15: Δίκτυο ισοχρώμων στην έγγυς περιοχή του άκρου μιās κεντρικής ρωγμής εντός επίπεδου σώματος τὸ ὁποῖο ὑπόκειται σε έφελκυστική δύναμη κάθετη στο επίπεδο τής ρωγμής.



Σχ. 16: Δίκτυο ίσοχρώμων για την περίπτωση άκρᾶς ρωγμῆς ὑπὸ γωνία $\beta = 50^\circ$ ἀναφορικὰ μὲ τὴ διεύθυνση τοῦ ἐφηρμοσμένου ἐφελκυστικοῦ φορτίου.

τῶν τάσεων K_I . Ἀντίστοιχο πεδίο ίσοχρώμων για τὴν περίπτωση μιᾶς ρωγμῆς κεκλιμένης ἀναφορικὰ μὲ τὸ ἐφηρμοσμένο φορτίο παρουσιάζεται στὸ Σχῆμα 16. Ἀπὸ τὴν ἀνάλυση τοῦ πεδίου τῶν ίσοχρώμων προκύπτουν οἱ τιμὲς τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων K_I καὶ K_{II} .

Οἱ ὀπτικοὶ μετασχηματισμοὶ ποὺ λαμβάνουν χώρα κατὰ τὴ δίοδο τοῦ φωτὸς διὰ μέσου τοῦ διπλοθλαστικοῦ δοκιμίου καὶ ὀπτικῶν στοιχείων πραγματοποιοῦνται συνήθως μὲ τὴν ἀρχὴ τοῦ διανύσματος τοῦ φωτὸς. Ἐν τούτοις, ὅταν ὁ ἀριθμὸς τῶν ὀπτικῶν στοιχείων εἶναι μεγάλος οἱ ἀπαιτούμενοι ὑπολογισμοὶ εἶναι μακροσκελεῖς καὶ ἐπίπονοι. Γιὰ τὸν σκοπὸ αὐτὸ ἔχουν ἀναπτυχθεῖ προσφορότερες μέθοδοι βασιζόμενες στὸν μητρικὸ λογισμὸ για τὴν περιγραφὴ τοῦ φωτὸς καὶ τῶν ἀντιστοίχων μετασχηματισμῶν, ὅταν τὸ φῶς διέρχεται διὰ μέσου σειρᾶς ὀπτικῶν στοιχείων. Οἱ μητρικὲς μέθοδοι περιγραφῆς τοῦ φωτὸς προσφέρονται για τὴν ταχεῖα ἐπίλυση προβλημάτων ὀπτικῆς μέσῳ ἠλεκτρονικοῦ ὑπολογιστοῦ. Ἡ μη-



Σχ. 17: Διάταξις οπτικών στοιχείων του κυκλικού πολωτισκοπίου σκοτεινού πεδίου (πολωτής, αναλύτης, δύο πλάκες τετάρτου μήκους κύματος, δοκίμιο).

τρωνική μέθοδος περιγραφής του πολωμένου φωτός μέσω του λογισμού Mueller χρησιμοποιεί το διάνυσμα Stokes, που δίνεται από τη σχέση [25]:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix} \quad (30)$$

όπου

$$s_0 = A_x^2 + A_y^2, s_1 = A_x^2 - A_y^2, s_2 = 2A_x A_y \cos\delta, s_3 = 2A_x A_y \sin\delta \quad (31)$$

A_x και A_y παριστούν τα εύρη του έλλειπτικώς πολωμένου φωτός και δ τη διαφορά φάσεως των συνιστωσών α_x και α_y του διανύσματος του φωτός.

Για την περίπτωση π.χ. του κυκλικού πολωτισκοπίου σκοτεινού πεδίου (πολωτής, αναλύτης, δύο διασταυρούμενες πλάκες τετάρτου μήκους κύματος, δοκίμιο) (Σχῆμα 17) το διάνυσμα Stokes \mathbf{S}' του φωτός που εξέρχεται από τον αναλύτη αφού ἔχει διαπεράσει από τον πολωτή, την πρώτη πλάκα τετάρτου μήκους κύματος, το δοκίμιο, τη δεύτερη πλάκα τετάρτου μήκους κύματος και τον αναλύτη δίνεται από τη σχέση [25]:

$$\mathbf{S}' = \mathbf{P}_0 \mathbf{R}_\beta(\delta) \mathbf{P}_{90} \mathbf{S} \quad (32)$$

ῆ

$$\begin{bmatrix} s'_0 \\ s'_1 \\ s'_2 \\ s'_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos^2 2\beta + \sin^2 2\beta \cos \delta & (1 - \cos \delta) \sin 2\beta \cos 2\beta & -\sin 2\beta \sin \delta \\ 0 & (1 - \cos \delta) \sin 2\beta \cos 2\beta & \sin^2 2\beta + \cos^2 2\beta \cos \delta & \cos 2\beta \sin \delta \\ 0 & \sin 2\beta \sin \delta & -\cos 2\beta \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \sin^2 2\beta \sin^2 (\delta/2) \\ \sin^2 2\beta \sin^2 (\delta/2) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

Ἡ φωτεινὴ ἔνταση τοῦ ἀνωτέρω μητρῶου Stokes δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$I = \frac{1}{2} \sin^2 2\beta \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad (34)$$

ὅπου ἡ γωνία β παριστᾷ τὴ γωνία κλίσεως τῶν κυρίων τάσεων. Ἡ ἐξίσωση (34) παριστᾷ τὸ γνωστὸ ἀποτέλεσμα τῆς φωτοελαστικῆς ἀναλύσεως διδιαστάτου δοκιμίου ἐντὸς τοῦ κυκλικοῦ πολωσισκοπίου.

Ἡ μητρικὴ μέθοδος Müller καθὼς καὶ ἡ μητρικὴ μέθοδος Jones ἔχουν χρησιμοποιηθεῖ ἀπὸ τὸν συγγραφέα γιὰ τὴν ἐπίλυση τρισδιάστατων προβλημάτων φωτοελαστικότητος [25].

5. Ἡ ὀπτικὴ μέθοδος τῶν καυστικῶν [26-35]

Ἡ ὀπτικὴ μέθοδος τῶν καυστικῶν, ἡ ὁποία ἀνεπτύχθη οὐσιαστικὰ στὸ Ἐργαστήριον Θεωρητικῆς καὶ Ἐφαρμοσμένης Μηχανικῆς τοῦ Ἐθνικοῦ Μετσοβίου Πολυτεχνείου, ἀποτελεῖ μιὰ εὐχρηστὴ καὶ δυναμικὴ μέθοδο γιὰ τὸν

προσδιορισμό του έντατικού πεδίου σε προβλήματα τασιικών ανωμαλιών, όπως των συντελεστών εντάσεως των τάσεων στο άκρο ρωγμών στο έσω-τεριχό επίπεδων σωμάτων. Η μέθοδος επεξετάθη από τον συγγραφέα στην περίπτωση οποιασδήποτε επιφάνειας [29]. Για την περίπτωση επιφάνειας που δίνεται από την εξίσωση:

$$z = f(x,y) \quad (35)$$

ή μετατόπιση φωτεινής ακτίνας από το σημείο $P(x,y)$ της επιφάνειας στο σημείο $P'(W_x, W_y)$ σε οθόνη που απέχει απόσταση z_0 από το σημείο P δίνεται από την εξίσωση:

$$W_x = x + [f(x,y) - z_0] \frac{2\partial f(x,y)/\partial x}{1 - \left[\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \right]^2}$$

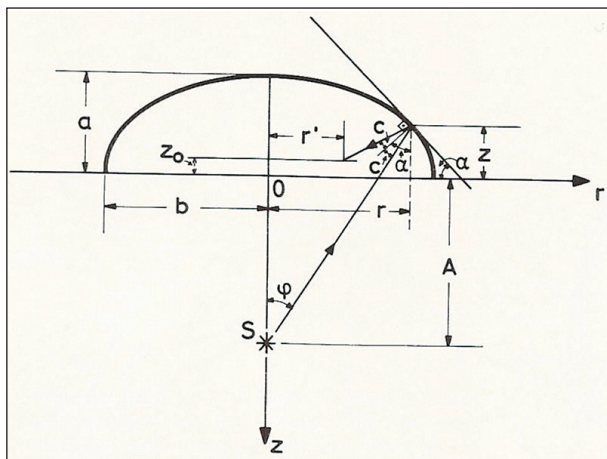
$$W_y = y + [f(x,y) - z_0] \frac{2\partial f(x,y)/\partial y}{1 - \left[\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \right]^2} \quad (36)$$

Η εξίσωση (36) απεικονίζει κάθε σημείο $P(x,y)$ της επιφάνειας στο σημείο $P'(W_x, W_y)$ στην οθόνη. Η αναγκαία και ικανή συνθήκη προκειμένου τα σημεία P' στην οθόνη να ανήκουν σε μία γραμμή αποτελεί ο μηδενισμός της ιακωβιανής όριζουσας του ανωτέρω μετασχηματισμού. Η όριζουσα αυτή εκφράζεται από την εξίσωση

$$J = \frac{(\partial W_x, \partial W_y)}{\partial(x,y)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial W_x}{\partial x} & \frac{\partial W_x}{\partial y} \\ \frac{\partial W_y}{\partial x} & \frac{\partial W_y}{\partial y} \end{vmatrix} = 0 \quad (37)$$

Η εξίσωση (37) όριζει μία καμπύλη στην επιφάνεια $z = f(x,y)$, ή οποία ονομάζεται αρχική καμπύλη, ενώ το σύστημα των εξισώσεων (36) και (37) όριζει στην οθόνη την αντίστοιχη καυστική καμπύλη.

Για την περίπτωση ενός άξονοσυμμετρικού έλλειψοειδούς κατόπτρου με ημιάξονες a και b κατά μήκος των άξόνων z και r , αντίστοιχα, το οποίο φωτίζεται με σημειακή φωτεινή πηγή σε απόσταση A από την εμπρόσθια



Σχ. 18: Γεωμετρία τῆς ἔλλειπτικῆς διατομῆς ἀξονοσυμμετρικοῦ κατόπτρου τὸ ὁποῖο φωτίζεται μὲ σημειακὴ φωτεινὴ πηγὴ S.

ἐπιφάνεια τοῦ κατόπτρου κειμένη ἐπὶ τοῦ ἄξονος συμμετρίας (Σχῆμα 18) λαμβάνουμε τὴν ἀκόλουθη ἐξίσωση γιὰ τὴν ἀρχικὴ καμπύλη τῆς καυστικῆς

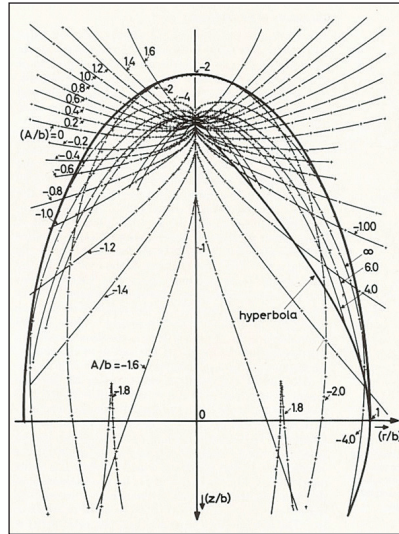
$$\frac{z_0}{b} = \frac{B_1 \left[1 - \left(\frac{r}{b} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + B_2}{\Delta_1 \left[1 - \left(\frac{r}{b} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \Delta_2} \quad (38)$$

μὲ

$$B_1 = 2 \left(\frac{a}{b} \right)^2 \left\{ 1 + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{r}{b} \right)^2 - \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right\} + \left\{ 1 - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^2 + 1 \right] \left(\frac{r}{b} \right)^2 - 2 \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right\} \left(\frac{A}{b} \right)^2$$

$$B_2 = \left(\frac{A}{b} \right) \left(\frac{a}{b} \right) \left\{ 3 \left\{ 1 + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{r}{b} \right)^2 \right\} - 4 \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right\}$$

$$\Delta_1 = \left(\frac{A}{b} \right) \left\{ 1 + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{r}{b} \right)^2 - 4 \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right\}$$



Σχ. 19: Καυστικές που σχηματίζονται όταν άξονοσυμμετρικό έλλειπτικό κάτοπτρο με $a/b = 2$ φωτίζεται με σημειακή πηγή που βρίσκεται σε διάφορες αποστάσεις A/b από την έμπρόσθια όψη του κατόπτρου ($A/b = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 4.0, 6.0, \infty, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1.0, -1.2, -1.4, -1.6, -1.8, -2.0, -4.0$).

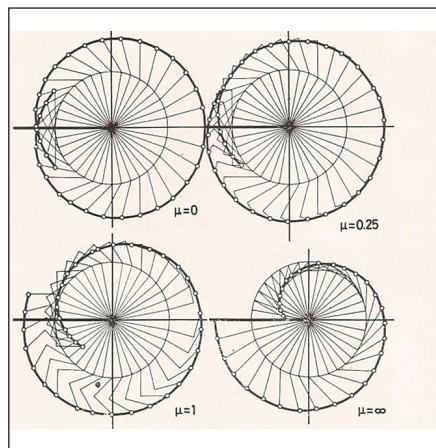
$$\Delta_2 = \left(\frac{a}{b}\right) \left\{ \left[1 + \left[\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1 \right] \left(\frac{r}{b}\right)^2 - \left(\frac{a}{b}\right)^2 \right] - 2 \left\{ \left(\frac{a}{b}\right)^2 - \left[\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1 \right] \left(\frac{r}{b}\right)^2 \right\} - 2 \left(\frac{A}{b}\right)^2 \right\} \quad (39)$$

Η εξίσωση της καυστικής εκφράζεται από την εξίσωση

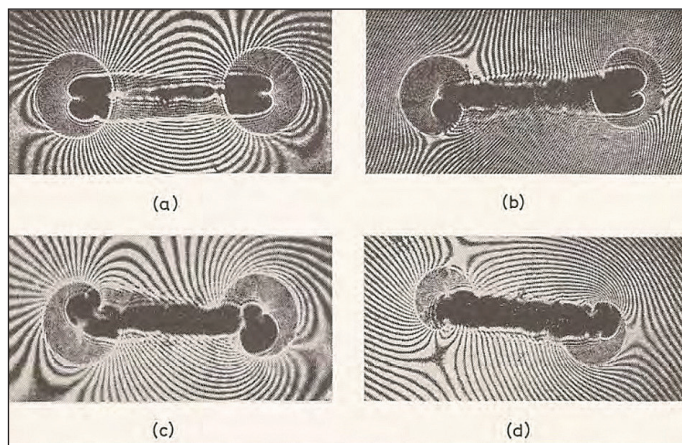
$$\frac{r'}{b} = \frac{2 \left(\frac{a}{b}\right) \left\{ \left[\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1 \right] - \left(\frac{A}{b}\right)^2 \right\} \left(\frac{r}{b}\right)^3}{\Delta_1 \left[1 - \left(\frac{r}{b}\right)^2 \right]^{1/2} + \Delta_2} \quad (40)$$

όπου το r ικανοποιεί την εξίσωση (38).

Το Σχῆμα 19 παριστᾶ τις καυστικές που σχηματίζονται όταν άξονοσυμμετρικό έλλειπτικό κάτοπτρο με $a/b = 2$ φωτίζεται με σημειακή πηγή



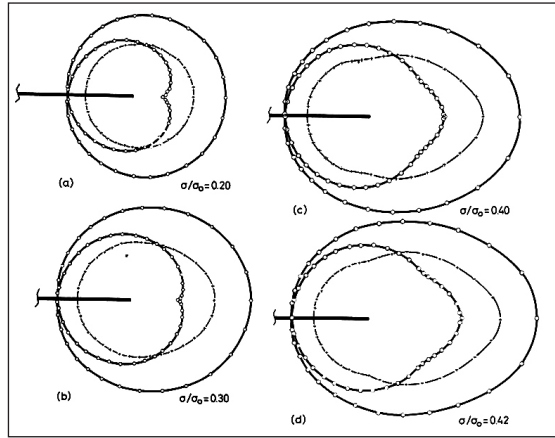
Σχ. 20: Καυστικές υπό τή μορφή γενικευμένων ἐπικυκλωειδῶν γιά διάφορες τιμές τοῦ λόγου $\mu = 0, 0.25, 1.0$ καί ∞ .



Σχ. 21: Πεδία ὀπτικῆς συμβολῆς καί ἀντίστοιχες καυστικές γιά ρωγμές κεκλιμένες ἀναφορικά μέ τή διεύθυνση τοῦ ἐφηρμοσμένου ἐφελκυστικοῦ φορτίου ὑπό γωνίαν $\beta = 90^\circ$ (a), 75° (b), 45° (c), 30° (d).

ποῦ βρίσκεται σέ διάφορες ἀποστάσεις ἀπό τήν ἐμπρόσθια ὄψη τοῦ κατόπτρου.

Ἡ μέθοδος τῶν καυστικῶν χρησιμοποιήθηκε γιά τόν προσδιορισμό τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων K_I καί K_{II} στό ἄκρο ρωγμῆς ἐπιπέδου σώματος τὸ ὁποῖο ὑπόκειται σέ φορτία ὑπό γωνία ἀναφορικά μέ τὸ



Σχ. 22: Θεωρητικές καυστικές και αντίστοιχες αρχικές καμπύλες για τέσσερες τιμές του έπιβαλλόμενου έξωτερικού φορτίου $\sigma/\sigma_0 = 0.20, 0.30, 0.40, 0.42$. σ_0 παριστᾶ τὴν τάση διαρροῆς τοῦ ὑλικοῦ.

έπίπεδο τῆς ρωγμῆς. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ἡ έξίσωση τῆς καυστικῆς δίδεται ἀπὸ τὶς έξισώσεις [26]:

$$\begin{aligned} x' &= r_0 \left[\cos\theta + \frac{2}{3} (1+\mu^2)^{-1/2} \cos \frac{3\theta}{2} - \frac{2}{3} \mu (1+\mu^2)^{-1/2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \\ y' &= r_0 \left[\sin\theta + \frac{2}{3} (1+\mu^2)^{-1/2} \sin \frac{3\theta}{2} + \frac{2}{3} \mu (1+\mu^2)^{-1/2} \cos \frac{3\theta}{2} \right] \end{aligned} \quad (41)$$

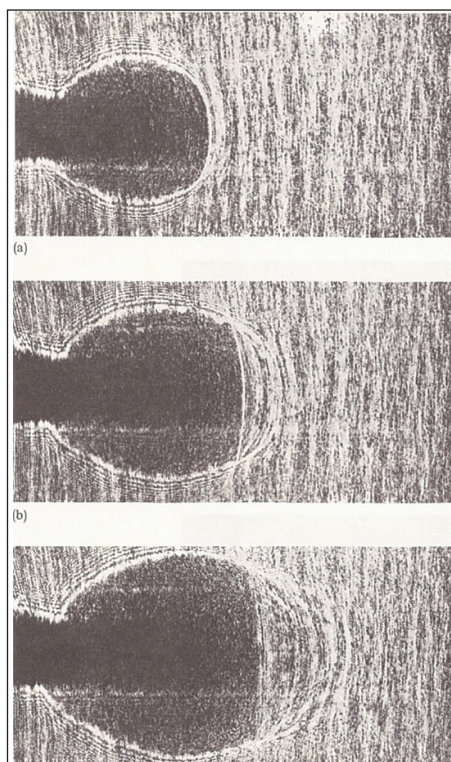
ένῳ ἡ ἀρχικὴ καμπύλη ἀπὸ τὴν έξίσωση:

$$r_0 = \left(\frac{3}{2} c \sqrt{K_I^2 + K_{II}^2} \right)^{2/5} \quad (42)$$

ὅπου c εἶναι σταθερὰ τοῦ ὑλικοῦ καὶ $\mu = K_I/K_{II}$.

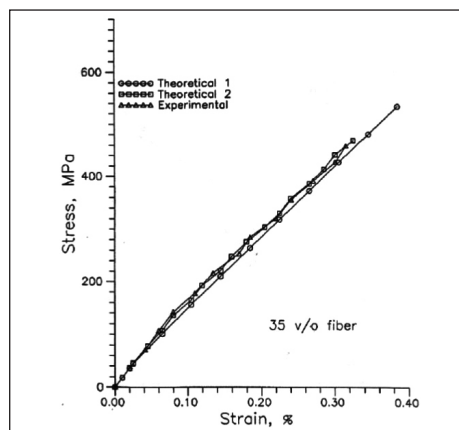
Ἀπὸ τὶς έξισώσεις (41) καὶ (42) συνάγεται ὅτι ἡ καυστικὴ ἔχει τὴ μορφή ἐπικυκλοειδοῦς καμπύλης, ένῳ ἡ ἀρχικὴ καμπύλη εἶναι κύκλος. Τὸ Σχῆμα 20 παριστᾶ καυστικές γιὰ διάφορες τιμές τοῦ λόγου μ , ένῳ στὸ Σχῆμα 21 ἐμφαίνονται πειραματικὲς καυστικές.

Οἱ ἀνωτέρω καυστικὲς ἀντιστοιχοῦν σὲ γραμμικὰ ἐλαστικὰ ὑλικά. Στὴν περίπτωση ποὺ τὸ ὑλικὸ ἐμφανίζει ἐλαστοπλαστικὴ συμπεριφορὰ ἡ μορφή τῆς καυστικῆς διαφέρει ἀπὸ τὴν ἐπικυκλοειδῆ. Τὸ Σχῆμα 22 πα-



Σχ. 23: Καυστικές που δημιουργούνται στο άκρο έγκαρσίας ρωγμής εντός επίπεδου δίσκου από ελαστοπλαστικό υλικό υποβαλλόμενου σε τέσσερες αύξανόμενες τιμές του έφρημοσμένου έξωτερικού φορτίου. Παρατηρούμε ότι το σχήμα τής ρωγμής αποκλίνει από αυτό τής έπικυκλοειδοϋς μετά τή μετάβαση του υλικού στο άκρο τής ρωγμής στην ελαστοπλαστική περιοχή.

ριστᾶ καυστικές με τις αντίστοιχες αρχικές καμπύλες για τέσσερες τιμές του έπιβαλλόμενου έξωτερικού φορτίου σε ρωγμή εύρισκομένη εντός επίπεδου δοκιμίου από χάλυβα US Steel T1 ό όποιος έμφανίζει ελαστοπλαστική συμπεριφορά. Παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές του φορτίου ή μορφή τής καυστικής πλησιάζει προς τήν έπικυκλοειδή, ενώ για μεγαλύτερες τιμές του φορτίου ή καυστική είναι έπιμηχυμένη κατά τή διεύθυνση τής ρωγμής. Αντίστοιχες πειραματικές καυστικές έμφανίζονται στο Σχῆμα 23. Οι καυστικές αυτές δημιουργούνται από τήν ανάκλαση από τήν έμπρόσθια έπιφάνεια του δοκιμίου, ή όποία έχει καταλλήλως λειανθεί.



Σχ. 24: Θεωρητική και πειραματική καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων σε έφελ-
 κυσμό κατά τη διεύθυνση τών ίνών συνθέτου υλικού από μήτρα αλουμινίου και ίνες
 από $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Ο λόγος κατ' όγκον ίνών προς μήτρα είναι 35%. Τα θεωρητικά άπο-
 τελέσματα έλήφθησαν για μήτρα από καθαρό αλουμίνιο (καμπύλη 1) και έμπορικό
 αλουμίνιο (καμπύλη 2).

6. Σύνθετα υλικά [36-42]

Τά προηγμένα σύνθετα υλικά με συνεχείς ίνες χρησιμοποιούνται ευρύ-
 τατα σε κατασκευές μηχανικού, όπως αεροπλάνα, διαστημόπλοια, αυτοκί-
 νητα, γέφυρες κ.λπ., λόγω τών εξαιρετικών ιδιοτήτων τους (ύψηλή άντοχή
 και άκαμψία, μικρός συντελεστής όπτικής διαστολής κ.λπ.). Τά υλικά αυτά
 αποτελούνται από κεραμικές ίνες ύψηλης άντοχής και άκαμψίας μέσα σε
 μεταλλική, κεραμική ή έποξειδική μήτρα. Οί ιδιότητες του συνθέτου υλικού
 εξαρτώνται από τις ιδιότητες τών συστατικών υλικών, τής διεπιφάνειας και
 του ποσοστού τών ίνών στη μήτρα. Θα παρουσιάσουμε άποτελέσματα μη-
 χανικής και θερμικής συμπεριφοράς συνθέτων υλικών με μεταλλική και
 κεραμική μήτρα.

Στήν περίπτωση τής μεταλλικής μήτρας αναλύσαμε τις περιπτώσεις
 συνθέτων υλικών με ίνες από πυριτικό καρβίδιο και όξειδιο αλουμινίου
 ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) και μήτρα από αλουμίνιο. Και στις δύο περιπτώσεις ίνών, οί ίνες
 παρουσιάζουν γραμμικά έλαστική μηχανική συμπεριφορά, ενώ ή συμπερι-
 φορά τής μήτρας είναι έλαστοπλαστική. Το Σχήμα 24 παριστά την καμ-
 πύλη τάσεων-παραμορφώσεων κατά τη διεύθυνση τών ίνών για σύνθετο
 υλικό με ίνες όξειδίου αλουμινίου ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) και μήτρα από αλουμίνιο για

λόγο διατομῆς ἰνῶν πρὸς μήτρα 35%. Γιὰ τὴν πρόβλεψη τῆς καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων χρησιμοποιήθηκε κυλινδρικό στοιχείο τοῦ ὁποίου ὁ ἐσωτερικὸς κύλινδρος παριστᾷ τὴν ἴνα καὶ ὁ ἐξωτερικὸς κύλινδρος παριστᾷ τὴν μήτρα. Τὸ πρότυπο αὐτὸ ἀναλύθηκε πρῶτα γιὰ τὴν περίπτωση ποῦ ἡ ἴνα καὶ ἡ μήτρα συμπεριφέρονται ὡς γραμμικὰ ἐλαστικὰ ὑλικά. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ἡ μετατόπιση u κατὰ τὴν ἀκτινικὴ διεύθυνση καὶ οἱ τάσεις σ_r , σ_θ , καὶ σ_z κατὰ τὴν ἀκτινικὴ, περιφερειακὴ καὶ ἀξονικὴ κατεύθυνση, ἀντιστοίχως, δίνονται ἀπὸ τὶς ἀκόλουθες σχέσεις:

$$\begin{aligned} u &= Ar + \frac{B}{r} \\ \sigma_r &= K[A - (1-2\nu)\frac{B}{r^2} + \nu\varepsilon_z] \\ \sigma_\theta &= K[A + (1-2\nu)\frac{B}{r^2} + \nu\varepsilon_z] \\ \sigma_z &= K[2\nu A + (1-2\nu)\varepsilon_z] \end{aligned} \quad (43)$$

ὅπου ε_z εἶναι ἡ ἀξονικὴ παραμόρφωση καὶ A καὶ B εἶναι σταθερὲς οἱ ὁποῖες προσδιορίζονται ἀπὸ τὶς συνοριακὲς συνθῆκες τοῦ προβλήματος καὶ K εἶναι τὸ μέτρο διογκώσεως τοῦ ὑλικοῦ τὸ ὁποῖο δίνεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$K = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (44)$$

ὅπου E εἶναι τὸ μέτρο ἐλαστικότητος καὶ ν εἶναι ὁ λόγος Poisson.

Γιὰ τὴν περίπτωση ποῦ ὁ ἐσωτερικὸς κύλινδρος καὶ τὸ ἐξωτερικὸ κέλυφος εἶναι συγκολλημένα, οἱ σταθερὲς A καὶ B γιὰ τὴν περίπτωση μιᾶς ἐφηρμοσμένης σταθερῆς ἀξονικῆς παραμορφώσεως ε_z προσδιορίζονται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση

$$\begin{bmatrix} R_1 & -R_1 & -R_1^{-1} \\ K_1 & -K_2 & (1-2\nu_2)K_2R_1^{-2} \\ 0 & 1 & -(1-2\nu_2)R_2^{-2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -K_1\nu_1 + K_2\nu_2 \\ -\nu_2 \end{bmatrix} \varepsilon_z \quad (45)$$

$$B_1 = 0$$

ὅπου οἱ δείκτες 1 καὶ 2 ἀναφέρονται στὸν ἐσωτερικὸ κύλινδρο (ἴνα) καὶ ἐξωτερικὸ κέλυφος (μήτρα) καὶ R_1 καὶ R_2 εἶναι ἡ ἐσωτερικὴ καὶ ἐξωτερικὴ ἀκτίνα τοῦ συνθέτου κυλίνδρου.

Ἡ μέση τιμὴ τῆς ἀξονικῆς τάσεως σ στὸν σύνθετο κύλινδρο προσδιορίζεται ἀπὸ τὶς μέσες τιμὲς τῶν ἀξονικῶν σταθερῶν τάσεων στὰ δύο τμήματα τοῦ συνθέτου κυλίνδρου καὶ δίδεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση

$$\sigma = \frac{\sigma_{z1}R_1^2 + \sigma_{z2}(R_2^2 - R_1^2)}{R_2^2} \quad (46)$$

Ἡ κρίσιμη τιμὴ τῆς ἐφηρμοσμένης παραμορφώσεως $(\varepsilon_z)_{cr}$ γιὰ τὴν ὁποία τὸ πλεόν καταπονούμενο στοιχεῖο τῆς μήτρας στὴ διεπιφάνεια ἴνας-μήτρας φτάνει στὸ ὄριο διαρροῆς προσδιορίζεται ἀπὸ τὸ κριτήριο von-Mises ποὺ ἐκφράζεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση

$$\sigma_{eff} = \sigma_{my} \quad (47)$$

ὅπου σ_{my} παριστᾷ τὴν τάση διαρροῆς τοῦ ἀλουμινίου (μήτρας) καὶ ἡ τάση σ_{eff} δίνεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση

$$\sigma_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2]^{1/2} \quad (48)$$

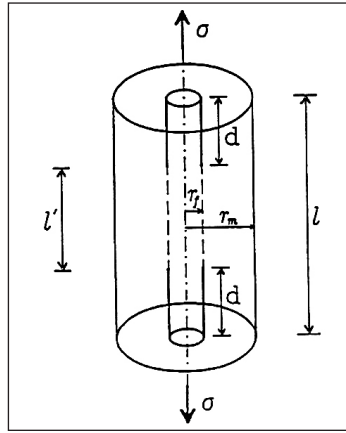
Ὅταν ἡ ἐφηρμοσμένη παραμόρφωση στὸν σύνθετο κύλινδρο αὐξηθεῖ πέραν τῆς κρίσιμου τιμῆς ἐνάρξεως διαρροῆς στὸ στοιχεῖο τῆς μήτρας στὴ διεπιφάνεια ἴνας-μήτρας, ἡ πλαστικὴ παραμόρφωση ἐπεκτείνεται στὴ μήτρα ὑπὸ τὴ μορφή ὁμοκέντρων κυλίνδρων. Γιὰ τὴ μελέτη τῆς ἐξαπλώσεως τῆς πλαστικῆς παραμορφώσεως στὴ μήτρα ἀπαιτεῖται ἔλαστοπλαστικὴ ἀνάλυση ἡ ὁποία θὰ ἐπιτρέψει τὸν προσδιορισμὸ τοῦ ἔλαστοπλαστικοῦ συνόρου καὶ τῶν τάσεων. Γιὰ τὸν σκοπὸ αὐτὸ χρησιμοποιήθηκε ἡ θεωρία τῶν παραμορφώσεων τῆς πλαστικότητος σὲ συνδυασμὸ μὲ τὸ κριτήριο von-Mises. Τὸ κέλυφος τοῦ ἀλουμινίου διηρέθη σὲ N ὁμοκέντρους κυλίνδρους, οἱ ὁποῖοι ἔχουν διαφορετικὰ μέτρα ἐλαστικότητος καὶ λόγους Poisson ἀνάλογα μὲ τὸν βαθμὸ παραμορφώσεώς τους. Ἀπὸ τὴν ἐπίλυση τοῦ ἀριθμητικοῦ αὐτοῦ προβλήματος προσδιορίστηκε ἡ θεωρητικὴ καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων τοῦ συνθέτου ὕλικου ἡ ὁποία παρουσιάζεται στὸ Σχῆμα 24. Παρατηροῦμε ὅτι τὰ πειραματικὰ ἀποτελέσματα εὐρίσκονται σὲ ἱκανοποιητικὴ σύμπτωση μὲ τὶς θεωρητικὲς προβλέψεις. Τὸ Σχῆμα 25 παρουσιάζει εἰκόνα ληφθεῖσα μὲ ἠλεκτρονικὸ μικροσκόπιο διατομῆς τοῦ συνθέτου ὕλικου, ἀπὸ τὴν ὁποία ἐμφαίνονται οἱ περιοχὲς ἀστοχίας τῆς μήτρας στὴ διεπιφάνεια μὲ τὶς ἴνες.

Ἐντελῶς διαφορετικὴ εἶναι ἡ συμπεριφορὰ ἀστοχίας τῶν συνθέτων ὕλικῶν μὲ κεραμικὴ μήτρα. Μολονότι ἀμφότερα τὰ συστατικὰ ὕλικὰ τοῦ



Σχ. 25: Εικόνα ληφθεῖσα με ἠλεκτρονικὸ μικροσκόπιο διατομῆς τοῦ συνθέτου ὑλικοῦ, ἀπὸ τὴν ὁποία ἐμφαίνονται οἱ περιοχὲς ἀστοχίας τῆς μήτρας στὴ διεπιφάνεια μετὰ τὶς ἴνες.

συνθέτου ὑλικοῦ εἶναι ψαθυρὰ μετὰ γραμμικὰ ἐλαστικὴ συμπεριφορὰ, ἐν τούτοις ἡ μακροσκοπικὴ καμπύλη τάσεως-παραμορφώσεως τοῦ ὑλικοῦ ὑπὸ ἀξονικὴ φόρτιση παρουσιάζει ὁμοιότητα μετὰ αὐτῆ τῶν μαλακῶν χαλύβων μετὰ ἓνα σημεῖο («διαρροῆς») καὶ ἓνα τμήμα («παραμορφωσιακῆς σκληρότητος»). Τὸ σημεῖο («διαρροῆς») ἀντιστοιχεῖ στὴν ἔναρξιν τοῦ σχηματισμοῦ τῶν ρωγμῶν στὴ μήτρα, ἐνῶ τὸ τμήμα («παραμορφωσιακῆς σκληρότητος») ὀφείλεται στὴν ἀποκόλλησιν τῶν ἰνῶν κατὰ τὴ διάρκειαν ἑνὸς σταδιακῶς ἀξανομένου ἐξωτερικοῦ φορτίου. Μετὰ τὸ σημεῖο «διαρροῆς» ἀκολουθεῖ μιὰ περιοχὴ «διαρροῆς» κατὰ τὴν ὁποία ἡ μακροσκοπικὴ παραμόρφωσις ἀυξάνεται ὑπὸ σταθερῆ ἐπιβαλλόμενῃ ἐξωτερικῇ φόρτιση. Πειραματικὰ ἀποτελέσματα ἀποκαλύπτουν ὅτι στὴν περιοχὴ αὐτὴ λαμβάνει χώρα πολλαπλασιασμὸς τῶν ρωγμῶν στὴ μήτρα μέχρι ἑνὸς σημείου κορεσμοῦ τὸ ὁποῖο καὶ σηματοδοτεῖ τὴν ἔναρξιν τῆς περιοχῆς «διαρροῆς». Τὸ Σχῆμα 26 παρουσιάζει κυλινδρικὸ στοιχεῖο τοῦ συνθέτου ὑλικοῦ μετὰξὺ δύο διαδοχικῶν ρωγμῶν στὴ μήτρα καὶ ἀποκόλλησιν κατὰ τὴ διεπιφάνειαν ἴνας-μήτρας. Τὸ στοιχεῖο αὐτὸ χρησιμοποιήθηκε γιὰ τὴν ἀνάλυσιν τῶν μηχανισμῶν ἀστοχίας συνθέτων ὑλικῶν μετὰ κεραμικὴ μήτρα.

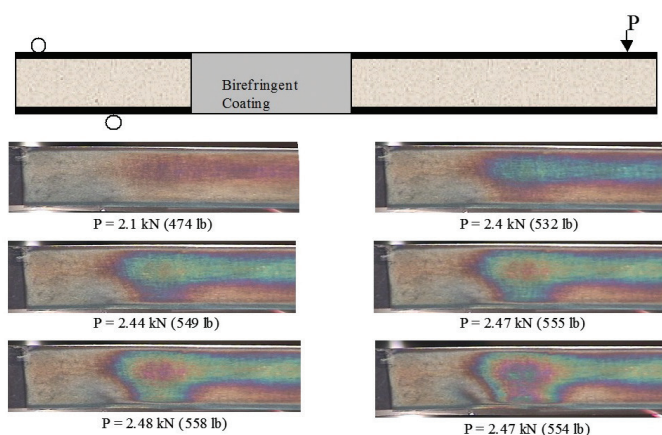


Σχ. 26: Κυλινδρικό στοιχείο συνθέτου υλικού μεταξύ δύο διαδοχικών ρωγμών στη μήτρα και αποκόλληση κατά τη διεπιφάνεια ίνας-μήτρας.

7. Υλικά σάντουιτς [43-50]

Οι κατασκευές σάντουιτς αποτελούνται από δύο λεπτά πέλματα μεγάλης άντοχής και άκαμψιας μεταξύ των οποίων τοποθετείται ελαφρός κορμός, ο οποίος επικολλάται στα πέλματα. Οι κατασκευές αυτές χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις πρακτικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων της μεγάλης άντοχής και άκαμψιας σε συνδυασμό με το μικρό βάρος που παρουσιάζουν. Τα πέλματα αναλαμβάνουν τις καμπτικές και επίπεδες εφελκυστικές και θλιπτικές δυνάμεις της κατασκευής, ενώ ο κορμός βοηθά στην σταθεροποίηση των πελμάτων και αναλαμβάνει τις διατμητικές δυνάμεις. Διά της τοποθέτησής τους σε αρκετή απόσταση μεταξύ τους μέσω του κορμού επιτυγχάνεται μεγάλη αύξηση της ροπής αδρανείας, πράγμα το οποίο οδηγεί σε αύξημένη καμπτική άκαμψια της κατασκευής σάντουιτς. Συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται για τα πέλματα είναι τα μέταλλα και τα σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες, ενώ ο κορμός αποτελείται από μεταλλικά ή μη μεταλλικά κυψελώδη υλικά, αφρώδη υλικά ή ξύλο.

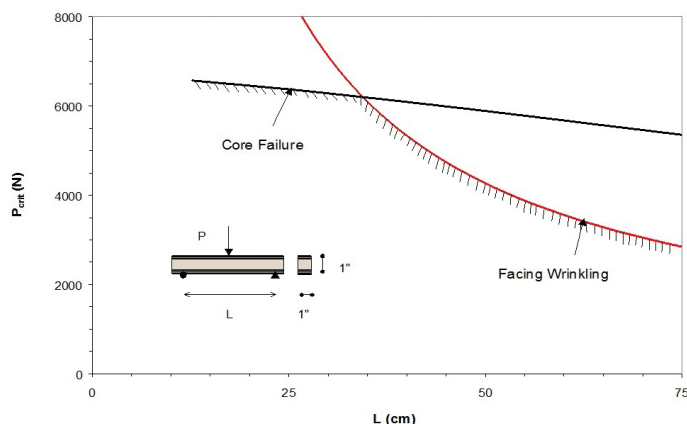
Η μηχανική συμπεριφορά και η άστοχία των κατασκευών σάντουιτς εξαρτάται από τις ιδιότητες των πελμάτων, του κορμού και της κόλλας μεταξύ του κορμού και των πελμάτων, τις γεωμετρικές διαστάσεις της κατασκευής και τη μορφή φορτίσεως. Πιθανές μορφές άστοχίας των κατα-



Σχ. 27: Πεδία ίσοχρωματικών χροσσών φωτοελαστικών έπικαλύψεων προβόλου σάντουιτς που καταπονείται από άκραιο συγκεντρωμένο φορτίο.

σκευών σάντουιτς περιλαμβάνουν έφελκυστική ή θλιπτική άστοχία τών πελμάτων, άποκόλληση τών πελμάτων από τόν κορμό, άστοχία λόγω διεισδύσεως τών έφαρμοσμένων συγκεντρωμένων φορτίων στόν κορμό, διατμητική άστοχία του κορμού, ρυτίδωση του θλιπτικού πέλματος και όλικό λυγισμό. Μετά τήν έναρξη ένός τύπου άστοχίας, είναι δυνατόν νά ξεκινήσει ένας νέος τύπος άστοχίας, ό όποιος νά άλληλεπιδράσει με τόν προηγούμενο τύπο, και ή τελική άστοχία νά άκολουθήσει διαφορετική τροχιά. Ό συγγραφέας με συνεργάτες του μελέτησε μηχανισμούς άστοχίας δοκών σάντουιτς που άποτελούνται από πέλματα από σύνθετα ύλικά και κορμό από άφρώδες πολυβινυλικό χλωρίδιο (PVC) ή κυψελοειδές άλουμίνιο, και καταπονούνται σέ καθαρή κάμψη ή κάμψη τριών σημείων, ή προβόλων σάντουιτς που καταπονούνται με συγκεντρωμένο φορτίο στό άκρο του προβόλου [43-50].

Όπως κατεδείχθη πειραματικώς, ό κορμός καταπονείται σέ σχεδόν όμοιόμορφη διατμητική παραμόρφωση, ένώ ή καμπτική ροπή άναλαμβάνεται κυρίως από τά δύο πέλματα τής δοκού. Αυτό όδηγεί σέ μεγάλες όρθές τάσεις τών πελμάτων με μικρές παραμορφώσεις λόγω του μεγάλου μέτρου έλαστικότητας τών πελμάτων. Έξ άλλου, οί διατμητικές τάσεις άναλαμβάνονται κυρίως από τόν κορμό, πράγμα που όδηγεί σέ μεγάλες παραμορφώσεις του κορμού λόγω του μικρού μέτρου διατμήσεως. Έτσι, ό κορμός διατελεί υπό καθαρά διάτμηση. Αυτό είναι άληθές μόνον στην έλαστική περιοχή, όπως καταδεικνύεται με τή μέθοδο τών φωτοελαστικών έπικαλύ-



Σχ. 28: Μεταβολή του κρίσιμου φορτίου συναρτήσει του μήκους της δοκού για έναρξη άστοχίας λόγω διατμητικής άστοχίας του κορμού (για δοκούς μήκους μικρότερου των 35 εκ.) ή άστοχίας ρυτιδώσεως του θλιπτικού πέλματος (για δοκούς μήκους μεγαλύτερου των 35 εκ.).

ψεων στο Σχήμα 27. Στη μη γραμμική και πλαστική περιοχή ο κορμός αρχίζει να υφίσταται διαρροή και η διατμητική παραμόρφωση γίνεται αρκετά μη γραμμική με μέγιστη τιμή στο κέντρο. Η άστοχία του κορμού επιταχύνεται από συνδυασμό θλιπτικών και διατμητικών τάσεων. Οι πλαστικές παραμορφώσεις στον κορμό που προκαλούνται από τις διατμητικές τάσεις ή συνδυασμό διατμητικών και θλιπτικών τάσεων μειώνουν τον ρόλο του κορμού να υποστηρίζει τα πέλματα και μπορεί να οδηγήσουν στην έναρξη άλλων μηχανισμών άστοχίας, όπως, παραδείγματος χάριν, ρυτίδωση του θλιβομένου πέλματος.

Οι τύποι άστοχίας, ή έναρξη, ή διάδοση και ή αλληλεπίδρασή τους εξαρτάται από τις συνθήκες φορτίσεως. Στην περίπτωση των δοκών σε κάμψη τριών σημείων αυτό είναι δυνατό να εξηγηθεί αν μεταβληθεί το μήκος της δοκού. Για δοκούς μικρού μήκους, άστοχία του κορμού λαμβάνει χώρα πρώτα και κατόπιν ακολουθεί ρυτίδωση του θλιπτικού πέλματος. Για δοκούς μεγάλου μήκους ρυτίδωση του θλιπτικού πέλματος συμβαίνει πριν από την άστοχία του κορμού.

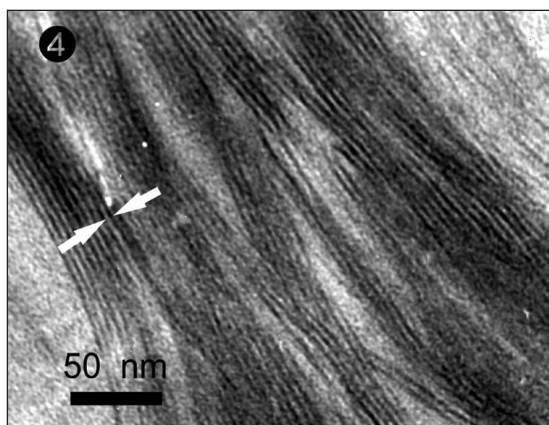
Το Σχήμα 28 παριστᾶ τις καμπύλες του κρίσιμου φορτίου συναρτήσει του μήκους της δοκού για έναρξη άστοχίας λόγω διατμητικής άστοχίας του κορμού ή άστοχίας λόγω ρυτιδώσεως του θλιβομένου πέλματος. Η τομή

των δύο καμπύλων ορίζει τη μετάβαση από την έναρξη της διατμητικής άστοχίας του κορμού σε έναρξη της άστοχίας ρυτιδώσεως του θλιβομένου πέλματος. Για δοκό σάντουιτς με πέλματα από σύνθετα ύλικά ινών άνθρακα (όκτώ στρώσεις φύλλων ινών άνθρακα-έποξειδικής ρητίνης τύπου AS4/3501) και κορμού από PVC τύπου (Divinycell H250) διατομής 2.5×2.5 cm, το μήκος δοκού για μετάβαση από τον έναν τύπο άστοχίας στον άλλο είναι $L = 35$ cm.

8. Νανοςύνθετα ύλικά [51-55]

Τα νανοςύνθετα ύλικά αποτελούν μία νέα κατηγορία υλικών όπου ένα από τα συστατικά ύλικά έχει διαστάσεις στην κλίμακα 1-100 nm ($1\text{nm} = 10^{-9}$ m). Η βασική διαφορά στη συμπεριφορά μεταξύ των συμβατικών και των νανοϋλικών οφείλεται στο ότι τα τελευταία έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια της προστιθέμενης φάσης ανά μονάδα όγκου του υλικού. Δεδομένου ότι πολλές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες στα ύλικά διέπονται από την επιφάνεια της προστιθέμενης φάσης, ένα νανοϋλικό αναμένεται να έχει διαφορετικές ιδιότητες από ένα συμβατικό υλικό της ίδιας σύνθεσης. Θα εξετάσουμε δύο κατηγορίες νανοςυνθέτων υλικών: αυτά που αποτελούνται από σωματίδια μοντμοριλλονίτη διασκορπισμένα σε μήτρα από έποξειδική ρητίνη και αυτά που αποτελούνται από νάνο-σωληνες ή νάνο-ίνες διασκορπισμένες σε τσιμεντοειδή ύλικά.

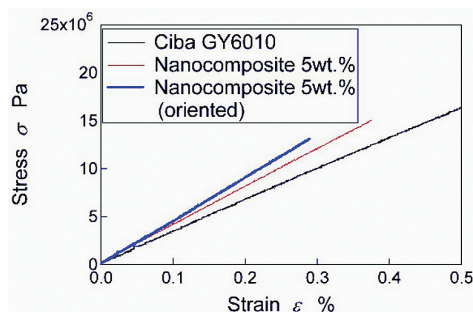
Για την πρώτη περίπτωση των νανοςυνθέτων υλικών που αποτελούνται από σωματίδια μοντμοριλλονίτη διασκορπισμένα σε μήτρα από έποξειδική ρητίνη ή παραγωγή τους προκύπτει από την αποκόλληση των έπαλλήλων στρώσεων του μοντμοριλλονίτη, οι όποιες συγγρατούνται μεταξύ τους με άσθενεις δυνάμεις van der Waals. Πολλοί τύποι στρωματωδών μη όργανικών υλικών είναι δυνατό να διασπασθούν σε λεπτά δισκοειδή φύλλα με πάχος της τάξεως του νανομέτρου (nm) με μεγάλη άντοχη και άκαμψία. Οι επίπεδες διαστάσεις των φύλλων αυτών είναι 100-1000 φορές το πάχος τους. Αυτό οδηγεί σε μεγάλο έμβαδόν της παράπλευρης επιφάνειας της τάξεως των 750 τ.μ. ανά γραμμάριο υλικού. Το πάχος των φύλλων αυτών μπορεί να φτάσει το ένα νανόμετρο, ενώ ή απόσταση μεταξύ των φύλλων τα δύο νανόμετρα. Τα σωματίδια του μοντμοριλλονίτη όταν αναμειχθούν σε μιá πολυμερή μήτρα είναι δυνατό να σχηματίσουν τριών ειδών σύνθετα νανοϋλικά, τα συμβατικά σύνθετα ύλικά στα όποια τα σωματίδια



Σχ. 29: Μικροφωτογραφία με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο που δείχνει επάλληλες στρώσεις μοντμοριλλονίτη διασκορπισμένες σε εποξειδική ρητίνη.

του μοντμοριλλονίτη δεν διαχωρίζονται, τα σύνθετα νανοϋλικά, στα όποια τα σωματίδια του μοντμοριλλονίτη διασκορπίζονται στη μήτρα, και τα σύνθετα νανοϋλικά, στα όποια τα σωματίδια του μοντμοριλλονίτη διαχωρίζονται σε επάλληλες στρώσεις με τη διείσδυση εποξειδικής ρητίνης μεταξύ των στρώσεων. Στα συμβατικά σύνθετα υλικά ή εισαγωγή των σωματιδίων της μήτρας ελάχιστα επηρεάζει τις ιδιότητες του υλικού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επιφάνεια των σωματιδίων ανά μονάδα όγκου είναι μικρή. Στα σύνθετα νανοϋλικά, στα όποια τα σωματίδια του μοντμοριλλονίτη αποχωρίζονται και διασκορπίζονται μέσα στη μήτρα, οι ιδιότητες του συνθέτου υλικού είναι αρκετά βελτιωμένες σε σχέση με τις ιδιότητες της μήτρας λόγω της μεγάλης επιφάνειας των σωματιδίων ανά μονάδα όγκου. Βελτίωση, σε μικρότερη όμως κλίμακα, παρουσιάζεται και στα σύνθετα νανοϋλικά, στα όποια τα σωματίδια του μοντμοριλλονίτη διαχωρίζονται σε επάλληλες στρώσεις με τη διείσδυση εποξειδικής ρητίνης μεταξύ των στρώσεων.

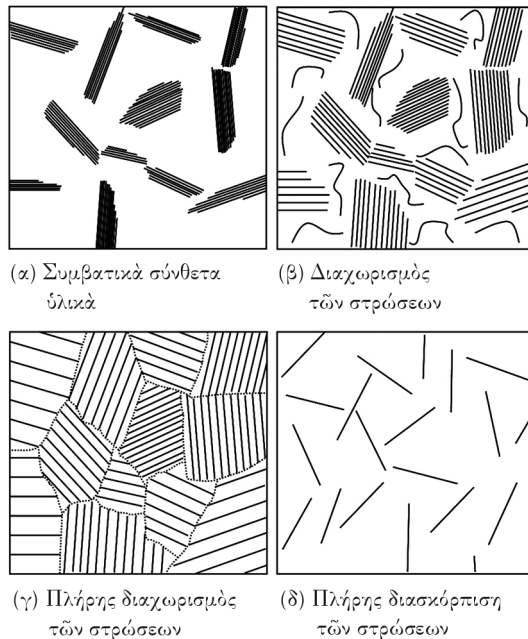
Για την παραγωγή των νανοσυνθέτων υλικών ανεπτύχθη ειδική μεθοδολογία για τη διασπορά των σωματιδίων του μοντμοριλλονίτη στη μήτρα. Το Σχήμα 29 παρουσιάζει μικροφωτογραφία με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο που δείχνει επάλληλες στρώσεις μοντμοριλλονίτη διασκορπισμένες σε εποξειδική ρητίνη. Η απόσταση μεταξύ των στρώσεων του μοντμοριλλονίτη είναι 1.85 nm πριν από την ανάμειξή του με την εποξειδική ρητίνη. Η



Σχ. 30: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων της έποξειδικής ρητίνης και του νανοσυνθέτου υλικού με περιεκτικότητα 5% μοντμοριλλονίτη.

μετρηθεῖσα μεγαλύτερη απόσταση τῆς τάξεως τῶν 3.4-3.8 nm καταδεικνύει ὅτι τὰ μεγάλα μακρομόρια τῆς έποξειδικῆς ρητίνης ἔχουν διεισδύσει μεταξύ τῶν στρώσεων τοῦ μοντμοριλλονίτη. Τὸ Σχῆμα 30 παρουσιάζει τὸ διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων τῆς έποξειδικῆς ρητίνης καὶ τοῦ νανοσυνθέτου υλικοῦ με περιεκτικότητα 5% μοντμοριλλονίτη. Ἀπὸ τὸ σχῆμα αὐτὸ προκύπτει ὅτι τὸ μέτρο ἐλαστικότητας αὐξάνει κατὰ 50%, ἐνῶ παρατηρεῖται καὶ σημαντικὴ αὐξηση τῆς ἀντοχῆς τοῦ νανοσυνθέτου υλικοῦ.

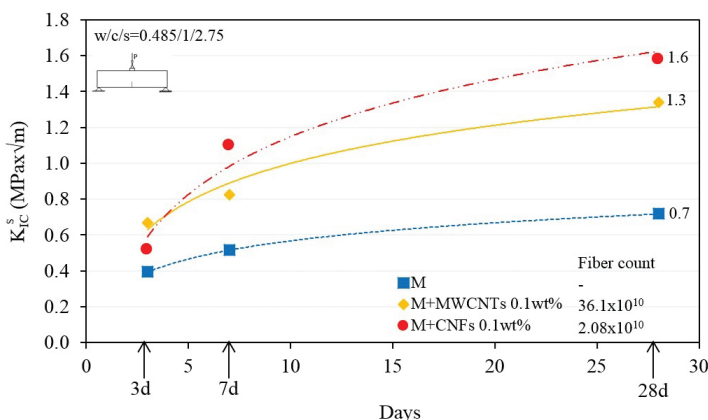
Ἡ μοντελοποίηση τῆς μηχανικῆς συμπεριφορᾶς τοῦ νανοσυνθέτου υλικοῦ δὲν εἶναι δυνατὸ νὰ πραγματοποιηθεῖ μετὰ τὰ μηχανικὰ μοντέλα τῶν συνθέτων υλικῶν, δεδομένου ὅτι στὸ νανοςύνθετο υλικὸ δὲν εἶναι δυνατὸ νὰ ἐπιτευχθοῦν ἰδανικὲς συνθήκες διασπάσεως τῶν στρώσεων τοῦ υλικοῦ ἢ ὁμοιομόρφου διασπορᾶς τῶν στρώσεων μέσα στὴ μήτρα. Ἀνάλογα μετὰ τὴ διαδικασία παραγωγῆς εἶναι δυνατὸ νὰ ἔχουμε νανοςύνθετα υλικά με διαφορετικὰ ποσοστὰ διασπάσεως τῶν στρώσεων τοῦ υλικοῦ ἢ διασπορᾶς τῶν στρώσεων μέσα στὴ μήτρα. Οἱ διασκορπισμένες στρώσεις τῶν φύλλων τῶν σωματιδίων μέσα στὴ μήτρα εἶναι δυνατὸ νὰ θεωρηθοῦν σὰν τυχαῖα διασκορπισμένα ἐγκλωβίσματα, μετὰ λόγος πάχους πρὸς ἐπίπεδες διαστάσεις τῆς τάξεως τοῦ 1000 χωρὶς νὰ ἔχουν κάποιο συγκεκριμένο προσανατολισμό. Ἐπίσης, τὰ σωματίδια τοῦ μοντμοριλλονίτη στὰ ὁποῖα ἔχει διεισδύσει έποξειδικὴ ρητίνη μπορεῖ νὰ θεωρηθοῦν σὰν ἕνας τύπος συνθέτου υλικοῦ ποὺ ἀποτελεῖται ἀπὸ τὶς ἐπάλληλες στρώσεις καὶ τὴ ρητίνη μεταξύ τῶν στρώσεων. Γιὰ τὸ σύνθετο αὐτὸ διφασικὸ υλικὸ εἶναι δυνατὸ νὰ χρησιμοποιηθοῦν οἱ σχέσεις τῶν πολυστρωτων συνθέτων υλικῶν γιὰ τὴν πρόβλεψη τῆς μηχανικῆς τους συμπεριφορᾶς. Τὰ δύο αὐτὰ μοντέλα πρέπει νὰ συνδυαστοῦν γιὰ



Σχ. 31: Τύποι συνθέτων υλικών από πολυμερή μήτρα και μοντμοριλλονίτη. (α) Συμβατική διασπορά, (β) διαχωρισμός τών στρώσεων, γ) πλήρης διαχωρισμός τών στρώσεων, (δ) όλικη διασπορά τών στρώσεων του μοντμοριλλονίτη στη μήτρα.

τήν πρόβλεψη τής μηχανικής συμπεριφοράς του ναοσυνθέτου υλικού, στο οποίο υπάρχει ένα ποσοστό διασκορπισμένων στρώσεων και ένα ποσοστό στρώσεων στις οποίες έχει διεισδύσει έποξειδική ρητίνη. Για τη μοντελοποίηση τής μηχανικής συμπεριφοράς του ναοσυνθέτου υλικού είναι δυνατό να διακριθούν τα μοντέλα που φαίνονται στο Σχήμα 31. Τα μοντέλα αυτά έχουν αναλυθεί και χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη του μέτρου ελαστικότητας του ναοσυνθέτου υλικού ανάλογα με την εκάστοτε κατάσταση διασποράς τών φύλλων του μοντμοριλλονίτη στη μήτρα.

Για τη δεύτερη περίπτωση τών ναοσυνθέτων υλικών που αποτελούνται από νάνο-σωλήνες ή νάνο-ίνες διασκορπισμένες σε τσιμεντοειδή υλικά ή παραγωγή τών υλικών αυτών εξαρτάται από την κατάλληλη διασπορά τών νάνο-σωλήνων ή τών νάνο-ινών στη μήτρα από τσιμέντο, κονίαμα ή σκυρόδεμα. Για το πρόβλημα αυτό έχει αναπτυχθεί ειδική μέθοδος



Σχ. 32: Μεταβολή του κρίσιμου συντελεστοῦ ἐντάσεως τῶν τάσεων K_{IC}^S συναρτήσεως τοῦ χρόνου (μέχρι 28 ἡμερῶν) γιὰ τσιμεντοκονίαμα ἐνισχυμένο μὲ νάνο-σωλήνες ἢ νάνο-ἴνες σὲ ποσοστὸ 0.1% κατ' ὄγκο τοῦ τσιμεντοῦ.

ἡ ὁποία ἐπιτρέπει τὴν ἀποκόλληση τῶν νάνο-σωλήνων ἢ τῶν νάνο-ινῶν μεταξύ τους ἀπὸ συμπλέγματα καὶ τὴ διασπορά τους στὴ μήτρα. Ἔχει καταδειχθεῖ ὅτι μικρὰ ποσὰ νάνο-σωλήνων ἢ τῶν νάνο-ινῶν τῆς τάξεως τοῦ 0.1% κατ' ὄγκο κατάλληλα διασκορπισμένα ὀδηγοῦν σὲ σημαντικὲς ἀυξήσεις τοῦ μέτρου ἐλαστικότητος καὶ τῆς ἐφελκυστικῆς ἀντοχῆς τοῦ τσιμεντοειδοῦς ὑλικοῦ τῆς τάξεως τοῦ 25% καὶ 100%, ἀντίστοιχα. Ἀνάλογη εἶναι καὶ ἡ εὐεργετικὴ ἐπίδραση τῶν νάνο-σωλήνων ἢ τῶν νάνο-ινῶν ἐπὶ τῶν χαρακτηριστικῶν ἀστοχίας τῶν τσιμεντοειδῶν ὑλικῶν. Τὸ Σχῆμα 32 παριστᾷ τὴ μεταβολὴ τοῦ κρίσιμου συντελεστοῦ ἐντάσεως τῶν τάσεων K_{IC}^S συναρτήσεως τοῦ χρόνου (μέχρι 28 ἡμερῶν) γιὰ τσιμεντοκονίαμα ἐνισχυμένο μὲ νάνο-σωλήνες ἢ νάνο-ἴνες σὲ ποσοστὸ 0.1% κατ' ὄγκο τοῦ τσιμεντοῦ. Ὁ λόγος ὕδατος, τσιμεντοῦ καὶ ἄμμου ἔχει τὴν τιμὴ $w/c/s = 0.485/1/2.75$. Ἀπὸ τὸ σχῆμα παρατηροῦμε ὅτι ἡ τιμὴ K_{IC}^S τοῦ νανο-συνθέτου ὑλικοῦ εἶναι ἀυξημένη ἀπὸ τὸ μὴ ἐνισχυμένο τσιμεντοκονίαμα κατὰ 129% γιὰ τὴν ἐνίσχυση μὲ νάνο-ἴνες καὶ κατὰ 86% γιὰ τὴν ἐνίσχυση μὲ νάνο-σωλήνες.

Ἐπίλογος

Παρουσίασα περιληπτικῶς τὰ βασικώτερα ἐπιτεύγματα τῶν ἐρευνητικῶν δραστηριοτήτων μου στὴν ἐπίλυση προβλημάτων Θεωρητικῆς καὶ Πειραματικῆς Μηχανικῆς. Κατὰ τὴν πενηντονταετῆ ἐρευνητικὴ μου διαδρομὴ εἶχα τὴν εὐκαιρία, τύχη ἀγαθῆ, νὰ συνεργαστῶ μὲ ἐξέχοντας ἐπιστήμονες τοῦ διεθνοῦς στερεώματος, οἱ ὅποιοι διεδραμάτισαν σημαντικὸ ρόλο στὴ διαμόρφωση τῆς ἐρευνητικῆς μου πορείας. Ἐπίσης, εἶχα τὴν εὐκαιρία νὰ ἔχω ἀφοσιωμένους συνεργάτες, οἱ ὅποιοι συνέβαλαν στὴν ὑλοποίηση τῶν ἐρευνητικῶν μου κατευθύνσεων καὶ σκέψεων. Στυλοβάτες καὶ συμπαράστατες σὲ ὅλη αὐτὴ τὴν πορεία ὑπῆρξαν ἡ ἐγγὺς καὶ ἡ εὐρύτερη οἰκογένεια, οἱ συγγενεῖς καὶ φίλοι. Ὅλους αὐτοὺς τοὺς εὐχαριστῶ ἐκ βάθους καρδίας. Τέλος, θὰ ἤθελα νὰ εὐχαριστήσω ὅλους ἐσᾶς, κυρίες καὶ κύριοι, οἱ ὅποιοι μὲ τὴν παρουσία σας σήμερα τιμᾶτε τὴν ἐπίσημη, σεμνὴ καὶ τόσο συγκινητικὴ γιὰ μένα τελετὴ αὐτῆ.

Σᾶς εὐχαριστῶ θερμᾶ.

Βιβλιογραφία

1. GDOUTOS, E. E. – THEOCARIS, P. S., Stress concentrations at the apex of a plane indenter acting on an elastic half-plane, *Journal of Applied Mechanics*, 42, Trans. ASME, 97, 1975, 688-692.
2. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., Stress singularities at equal angle biwedges and two-material composite half-planes with rough interfaces, *Journal of Applied Mechanics*, 43, Trans. ASME, 98, 1976, 64-68.
3. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., The bimaterial full-plane with a crack at any angle to the interface, *Materialprüfung*, 18, 1976, 472-475.
4. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., Stress singularities in cracked composite full-planes, *International Journal of Fracture*, 13, 1977, 763-773.
5. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E. – THIREOS, C. G., Stress singularities in a biwedge under various boundary conditions, *Acta Mechanica*, 29, 1978, 55-73.
6. GDOUTOS, E. E. – EFTAXIOPOULOS, D. A. – KATTIS, M. A., A rigid triangular inclusion partially bonded in an elastic matrix, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 8, 1987, 173-185.
7. GDOUTOS, E. E. – KATTIS, M. A. – KOUROUNIS, C. G., An infinite plate weakened by a curvilinear hole, *Engineering Fracture Mechanics*, 31, 1988, 55-64.
8. GDOUTOS, E. E. – KATTIS, M. A., Partially bonded rigid polygonal inclusions in an elastic matrix, *International Journal of Fracture*, 43, 1989, 133-159.

9. GDOUTOS, E. E. – KATTIS, M. A., A rigid curvilinear inclusion partially bonded in an elastic matrix, *International Journal of Engineering Science*, 27, 1989, 1287-1298.
10. GDOUTOS, E. E., Fracture mechanics – An introduction, Second Edition, Springer, 2005, i-xv and 1-369.
11. GDOUTOS, E. E., Fracture of plates with circular cracks, *Materialprüfung*, 22, 1980, 83-86.
12. GDOUTOS, E. E., Interaction between two equal skew parallel cracks, *Journal of Strain Analysis*, 15, 1980, 127-136.
13. GDOUTOS, E. E., Failure of a bimaterial plate with a crack at an arbitrary angle to the interface, *Fibre Science and Technology*, 15, 1981, 27-40.
14. GDOUTOS, E. E., Fracture of cracked plates under localised moments, *International Journal of Mechanical Sciences*, 23, 1981, 121-128.
15. GDOUTOS, E. E., Failure of a plate with a circular hole resulting from an array of surface cracks, *Engineering Fracture Mechanics*, 15, 1981, 457-467.
16. GDOUTOS, E. E. – PAPAΚΑΛΙΑΤΑΚΙΣ, G., Crack growth initiation in elastic-plastic materials, *International Journal of Fracture*, 32, 1986, 143-156.
17. GDOUTOS, E. E. – PAPAΚΑΛΙΑΤΑΚΙΣ, G., Dependence of crack growth initiation of the form of the stress-strain diagram of the material in tension, *Engineering Fracture Mechanics*, 34, 1989, 143-151.
18. GDOUTOS, E. E., Crack growth instability studied by the strain energy density theory, *Archive of Applied Mechanics*, 82, 2012, 1361-1376.
19. ΓΔΟΥΤΟΣ, Ε., Ἡ ἐπίδρασις τοῦ λόγου, τῆς ἀκτίνου πρὸς τὸ πλάτος, ὀρθογωνικοῦ μὲ δύο συμμετρικὰς ἡμικυκλικὰς ἐγκοπὰς δίσκου εἰς ἐφελκυσμὸν, ἐπὶ τῆς Ἐντατικῆς Καταστάσεως, *Τεχνικὰ Χρονικὰ*, 40, 1971, 341-346.
20. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., An interferometric method for the direct evaluation of principal stresses in plane-stress fields, *Journal of Physics D: Appl. Physics*, 7, 1974, 472-482.
21. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., A photoelastic determination of K_{I} stress intensity factors, *Engineering Fracture Mechanics*, 7, 1975, 331-339.
22. GDOUTOS, E. E. – THEOCARIS, P. S., A photoelastic determination of mixed mode stress intensity factors, *Experimental Mechanics*, 18, 1978, 87-96.
23. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., A unified interpretation of interferometric and holographic fringe patterns, *Journal of Strain Analysis*, 13, 1978, 95-102.
24. GDOUTOS, E. E., On the photoelastic determination of K_{I} stress intensity factors in duplex specimens, *International Journal of Fracture*, 16, 1980, R83-R84.
25. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., Matrix theory of photoelasticity, *Springer Series in Optical Sciences*, 11, Springer Verlag, 1979, i-xi and 1-352.

26. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., An optical method for determining opening-mode and edge sliding-mode stress intensity factors, *Journal of Applied Mechanics*, 39, Trans. ASME, 94, 1972, 91-97.
27. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., Verification of the validity of the Dugdale-Barenblatt model by the method of caustics, *Engineering Fracture Mechanics*, 6, 1974, 523-535.
28. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., The modified Dugdale-Barenblatt model adapted to various fracture configurations in metals, *International Journal of Fracture*, 10, 1974, 549-564.
29. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., Surface topography by caustics, *Applied Optics*, 15, 1976, 1629-1638.
30. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., Experimental solution of flexed plates by the method of caustics, *Journal of Applied Mechanics*, 44, Trans. ASME, 99, 1977, 107-111.
31. THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., Distance measuring based on caustics, *Applied Optics*, 16, 1977, 722-728.
32. KONSTA-GDOUTOS, M. – GDOUTOS, E. E., Guidelines for applying the method of caustics in crack problems, *Experimental Techniques*, 16, 1992, 25-28.
33. KONSTA-GDOUTOS, M. – GDOUTOS, E. E., Some remarks on caustics in mode I stress intensity factor evaluation, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 17, 1992, 47-60.
34. KONSTA-GDOUTOS, M. – GDOUTOS, E. E., Limits of applicability of the method of caustics in crack problems, *Engineering Fracture Mechanics*, 42, 1992, 251-263.
35. GDOUTOS, E. E., The optical method of caustics, *Optics and Lasers in Engineering*, 79, 2016, 68-77.
36. GDOUTOS, E. E. – KARALEKAS, D. – DANIEL, I. M., Micromechanical analysis of filamentary metal matrix composites under axial load, *Journal of Composites Technology and Research*, 13, 1991, 168-174.
37. GDOUTOS, E. E. – KARALEKAS, D. – DANIEL, I. M., Thermal stress analysis of a silicon carbide/aluminum composite, *Experimental Mechanics*, 31, 1991, 202-208.
38. MELETIS, E. I. – CHOUDHURI, S. – GDOUTOS, E. E., Stress-strain behavior of Al matrix α -Al₂O₃ fiber composites, *Composite Structures*, 19, 1991, 89-103.
39. KARALEKAS, D. – GDOUTOS, E. E. – DANIEL, I. M., Micromechanical analysis of nonlinear thermal deformation of filamentary metal matrix composites, *Computational Mechanics*, 9, 1991, 17-26.

40. GDOUTOS, E. E. – GIANNAKOPOULOU, A. – ZACHAROPOULOS, D. A., Failure instability of a debonded interface in the presence of a main crack, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 22, 1995, 219-227.
41. GDOUTOS, E. E. – GIANNAKOPOULOU, A., Stress and failure analysis of brittle matrix composites, I. Stress Analysis, *International Journal of Fracture*, 98, 1999, 263-277.
42. GDOUTOS, E. E. – GIANNAKOPOULOU, A. – ZACHAROPOULOS, D. A., Stress and failure analysis of brittle matrix composites, II. Failure Analysis, *International Journal of Fracture*, 98, 1999, 279-291.
43. GDOUTOS, E. E. – DANIEL, I. M. – WANG, K.-A. – ABOT, J. L., Nonlinear behavior of composite sandwich beams in three-point bending, *Experimental Mechanics*, 41, 2001, 182-188.
44. GDOUTOS, E. E. – DANIEL, I. M. – WANG, K.-A., Indentation failure in composite sandwich structures, *Experimental Mechanics*, 42, 2002, 426-431.
45. DANIEL, I. M. – GDOUTOS, E. E. – WANG, K.-A., Failure of composite sandwich beams, *Advanced Composites Letters*, 11, 2002, 49-57.
46. DANIEL, I. M. – GDOUTOS, E. E. – WANG, K.-A. – ABOT, J. L., Failure modes of composite sandwich beams, *International Journal of Damage Mechanics*, 11, 2002, 309-334.
47. ABOT, J. L. – DANIEL, I. M. – GDOUTOS, E. E., Contact law for composite sandwich beams, *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 4, 2002, 157-173.
48. GDOUTOS, E. E. – DANIEL, I. M. – WANG, K.-A., Failure of cellular foams under multiaxial loading, *Composites: Part A*, 33, 2002, 163-176.
49. GDOUTOS, E. E. – DANIEL, I. M. – WANG, K.-A., Compression facing wrinkling of composite sandwich structures, *Mechanics of Materials*, 35, 2003, 511-522.
50. DANIEL, I. M. – GDOUTOS, E. E., Failure modes of composite sandwich beams, in: *Major accomplishments in composite materials and sandwich structures – An anthology of ONR sponsored research*, edited by DANIEL, I. M. – GDOUTOS, E. E. – RAJAPAKSE, Y. D. S., Springer, 2009, 197-227.
51. DANIEL, I. M. – MIYAGAWA, H. – GDOUTOS, E. E. – LUO, J. J., Processing and characterization of epoxy/clay nanocomposites, *Experimental Mechanics*, 43, 2003, 348-354.
52. GDOUTOS, E. E. – DANIEL, I. M., Clay/epoxy nanocomposites, *Strain*, 45, 2009, 487-488.
53. GDOUTOS, E. E. – KONSTA-GDOUTOS, M. S. – DANOGLIDIS, P. A., Portland cement mortar nanocomposites at low carbon nanotube and carbon nanofiber content: a fracture mechanics experimental study, *Cement and Concrete Composites*, 70, 2016, 110-118.

54. DANOGLIDIS, P. A. – KONSTA-GDOUTOS, M. S. – GDOUTOS, E. E. – SHAH, S. P., Strength, energy absorption capability and self-sensing properties of multifunctional carbon nanotube reinforced mortars, *Construction and Building Materials*, 120, 2016, 265-274.
 55. GDOUTOS, E. E. – KONSTA-GDOUTOS, M. S. – DANOGLIDIS, P. A. – SHAH, S. P., Advanced cement based nanocomposites reinforced with MWCNTs and CNFs, *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 10, 2016, 142-149.
-

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 8ΗΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2018

THERMODYNAMICS AND CATALYSIS OF THE GENERATION OF MASS

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ
κ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟ ΒΑΓΕΝΑ

Abstract

A review is presented of the current state of the art of the rotating lepton model (RLM) which describes the structure of the composite elementary particles (hadrons and bosons) by following the methodology of the Bohr H atom model, but uses gravity rather than electrostatic attraction as the centripetal force. The model considers three fast neutrinos or a neutrino- e^\pm pair caught in a circular orbit due to their gravitational attraction. By accounting for special relativity, for Newton's universal gravitational law, for the equivalence principle of inertial and gravitational mass and for the de Broglie wavelength expression, one finds that, surprisingly, the rotational structures formed by the three neutrinos have the mass and other properties of baryons, while those corresponding to rotational e^\pm -neutrino pairs, trios or tetrads are W^\pm , Z^0 and Higgs bosons respectively.

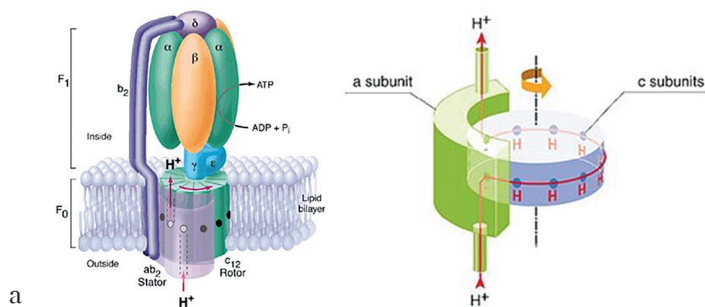
The RLM shows how gravity generates mass and allows for the computation of the masses of hadrons and bosons with an accuracy of typically 1% without any adjustable parameters. It also allows for the computation of their basic thermodynamic properties. This review also summarizes our current understanding of the mechanism of hadronization and of the decisive catalytic role played in it by electrons and positrons.

The results of the RLM show conclusively that the strong force is relativistic gravity between neutrinos while the weak force is relativistic gravity between e^\pm - neutrino pairs. This results to a new simpler table of elementary particles and to a new simpler taxonomy of the fundamental composite particles, the masses of which can now be computed *ab initio*. These new results summarized here show that apparently there exist only two fundamental forces in nature, namely gravity and electromagnetism. Both the strong and the weak forces are gravitational forces between relativistic particles.

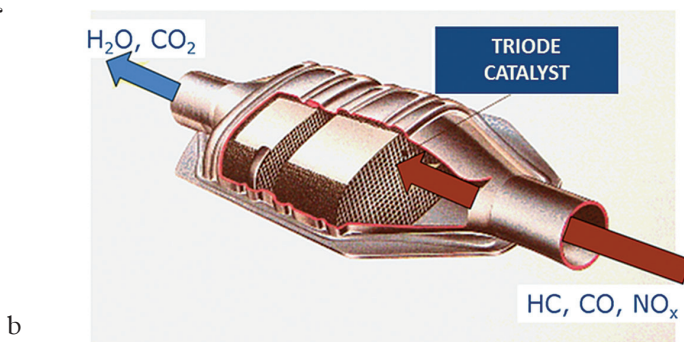
1. Introduction

Thermodynamics dictates what is possible in our universe. This is done primarily via its first and second laws. The first law dictates energy conservation for all processes, the second one dictates entropy increase of the universe for all processes, with the limit $\Delta S=0$ approached for reversible processes.

BIOLOGY



CHEMISTRY



PHYSICS

?

Fig. 1: Catalysis in biology, chemistry and physics.

Kinetics and Catalysis on the other hand describe how fast an allowed process can take place. Nature has devised some amazing catalysts, termed enzymes, for biology, such as the α -synthase (Fig. 1a) for the synthesis of ATP, a process necessary for feeding our cells. Both nature and humans have devised effective catalysts for chemical reactions, such as ammonia synthesis and car exhaust treatment (Fig. 1b). It is thus quite reasonable to expect that nature has also devised catalysts for the generation of matter, commonly termed hadronization or baryogenesis or quark-gluon condensation [1-3], that generated hadrons, such as protons and neutrons, which together with leptons (electrons, positrons, neutrinos) constitute the vast (99.999999%) majority of the visible matter which surrounds us.

Matter is currently known to interact via four types of force i.e. gravity, electromagnetism, strong force and weak force, and it had been Einstein's dream and hope to unify them. In this respect, electromagnetism and weak force are currently known as Electroweak Interactions. In this direction there has been a Springer book named *Gravity, special relativity and strong force* [4], which has shown, in a simple and straightforward manner based entirely on Einstein's special relativity [5-7] and on the equivalence principle, that the strong force is gravity [4] and that quarks are rotating, partly polarized, ultrarelativistic neutrinos. The book and subsequent publications by the same group [8-11] have shown that *gravity generates mass*. This is very simple and is based on Einstein's equation [5-7,12]

$$E = \gamma m_0 c^2 \quad (1)$$

where m_0 is the rest mass of the particle and γ is the Lorentz factor, which is defined by the particle speed, v :

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2)$$

The product γm_0 is known as the relativistic mass of the particle. Thus, if a particle is initially at rest with an observer ($v=0$) and then is accelerated by some force or force field to some finite velocity, v , and corresponding Lorentz factor, γ , then its energy increases by

$$\Delta E = (\gamma - 1) m_0 c^2 \quad (3)$$

and its relativistic mass is increased by

$$\Delta m = (\gamma - 1)m_0 \quad (4)$$

The RHS of equation (3) is, in special relativity, the kinetic energy of the particle.

Since $\gamma - 1$ is very small in chemical systems, little attention is commonly paid to the RHS of equation (4). In particle physics, however, there are systems of great importance, such as some discussed in this paper, where the RHS is quite significant since γ takes very large values [4,8-11].

We can thus define on the basis of equation (4) a new parameter, ξ , as

$$\xi = \frac{\text{final mass}}{\text{initial mass}} = \gamma \quad (5)$$

Returning to the accelerating particle of our thought experiment, we note that if the particle is brought back to its initial, zero, velocity, the new mass vanishes ($\xi = \gamma = 1$). If, however, it is somehow maintained in its new accelerated velocity, then it will retain its increased mass, by simply maintaining its high speed. The best way to do this is to allow this particle to interact electrostatically or gravitationally with one or more others and thus to stay in a rotating circular orbit. In this way it will retain its kinetic energy and increased mass according to equation (5). This is the key idea behind the rotating lepton model (RLM) in which the Bohr model of the H atom also belongs, despite its small $\gamma - 1$ value.

The Bohr model of the H atom [13] comprises two equations which account for the dual, corpuscular and ondular (wave), nature of the electron, i.e.

$$F = \gamma m_e v^2 / r = \frac{e^2}{\epsilon r^2} \quad (6)$$

$$\gamma m_e v / r = n \hbar \quad (7)$$

which lead to

$$v / c = \alpha / n ; r = \frac{n^2 \hbar}{\alpha m_e c} = n^2 a_0 ; a_0 = 0.51 \cdot 10^{-10} \text{ m} \quad (8)$$

$$E = -\frac{\alpha^2 m_e c^2}{n^2} = -13.6 / n^2 \text{ eV} \quad (9)$$

where $\alpha = e^2 / ec \hbar \approx 1 / 137.035$ is the fine structure constant. Thus for $n=1$ it is $v/c \approx 1 / 137.035$, thus $\gamma = 1 + 2.66 \cdot 10^{-5}$, therefore

$$\xi_e = \gamma_e = 1 + 2.66 \cdot 10^{-5} = \frac{1}{(1 - \alpha^2)^{1/2}} \quad (10)$$

Note that this mass increase is due to the kinetic energy of the rotating electron. The total energy

$$E_e = \gamma_e \alpha^2 m_e c^2 \quad (11)$$

is the sum of the electron rest energy, $E_{re} = \alpha^2 m_e c^2$ and of the kinetic energy

$$(\gamma_e - 1) \alpha^2 m_e c^2 \quad (12)$$

or, in view of (10)

$$E_e = (\xi_e - 1) \alpha^2 m_e c^2 \quad (13)$$

The sum of the relativistic energy, $E_e (= E_{re} + T_e$, where E_{re} is the rest energy and T_e is the kinetic energy of the electron), and of the potential energy of the electron, V_e , is the Hamiltonian of the system:

$$\mathcal{H} = E_e + V_e \quad ; \quad V_e = \frac{e^2}{\epsilon r} = -2T_e \quad (14)$$

where the last equation ($V_e = -2T_e$) is due to the virial theorem [14], which holds when the centripetal force constant does not depend on the particle velocity. A negative value of the Hamiltonian is necessary for the stability of a system.

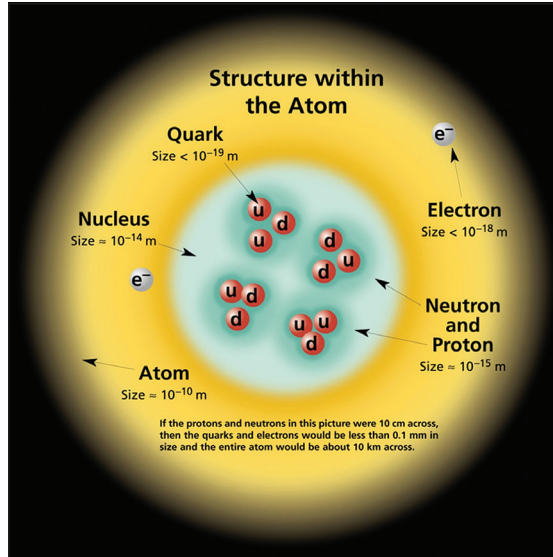


Fig. 2: Schematic of a He atom showing its nucleus according to the Standard Model (SM).

Figure 2 shows the current model for the internal structure of hadrons for the case of a He atom. Protons and neutrons contain subparticles named quarks. The proton contains two u (up) quarks and one d (down) quark. Quarks have partial charges and are held confined in hadrons due to the action of gluons. Quarks and gluons have never been isolated. According to the prevailing view in the standard model (SM) “quark-antiquark pairs are produced and annihilated as virtual particles from the gluons in field of the strong interaction. They are called sea quarks” [1,2,15]. The current standard model of a proton is shown in Figure 3.

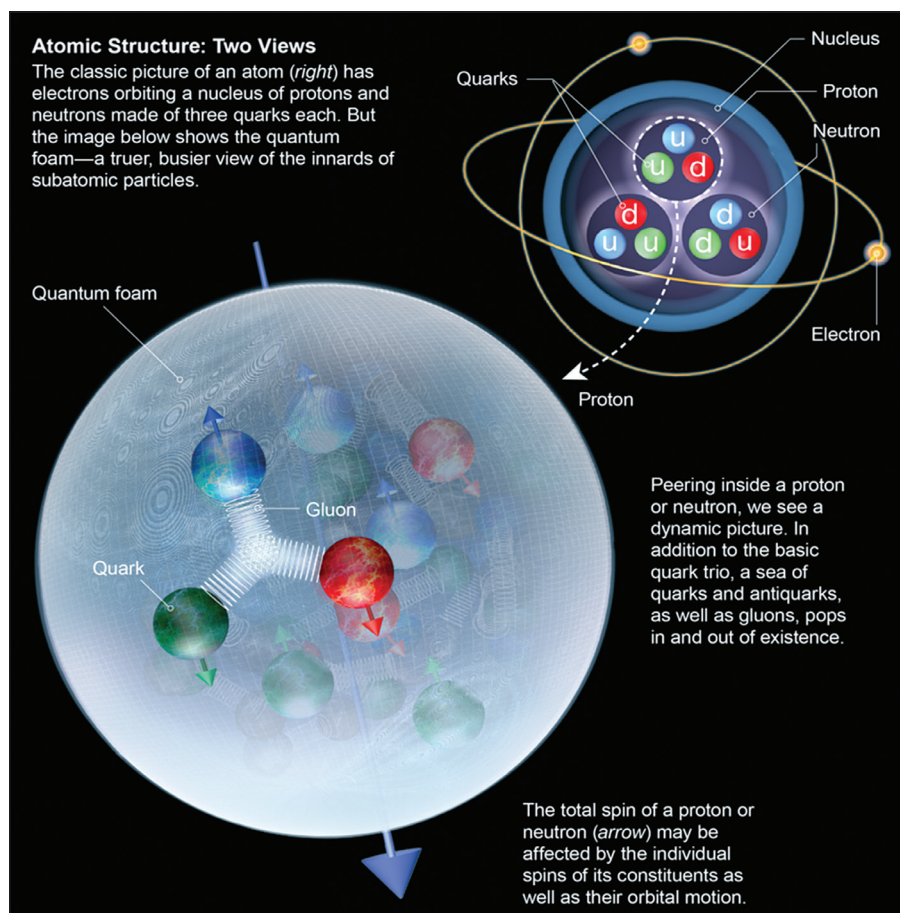


Fig. 3: Proton structure according to the SM showing the quarks, gluons and virtual quarks.

2. The rotating lepton model

The basic idea of the rotating lepton model (RLM) (Fig. 4) is much simpler than that of the SM. It utilizes the fact that protons and neutrons have three components in a very simple way:

Protons and neutrons are assumed to comprise a three rotating neutrino ring. The three neutrinos are held in their circular orbit due to their gravitational attraction, which as shown below can be very strong for ultrarelativistic particle velocities, i.e. for neutrino kinetic energies above 200 MeV.

2.1 Newton's relativistic gravitational law

The gravitational force between the rotating neutrinos can be conveniently expressed via Newton's universal gravitational law (Fig. 5) utilizing the relativistic gravitational masses rather than the rest masses of the rotating neutrinos.

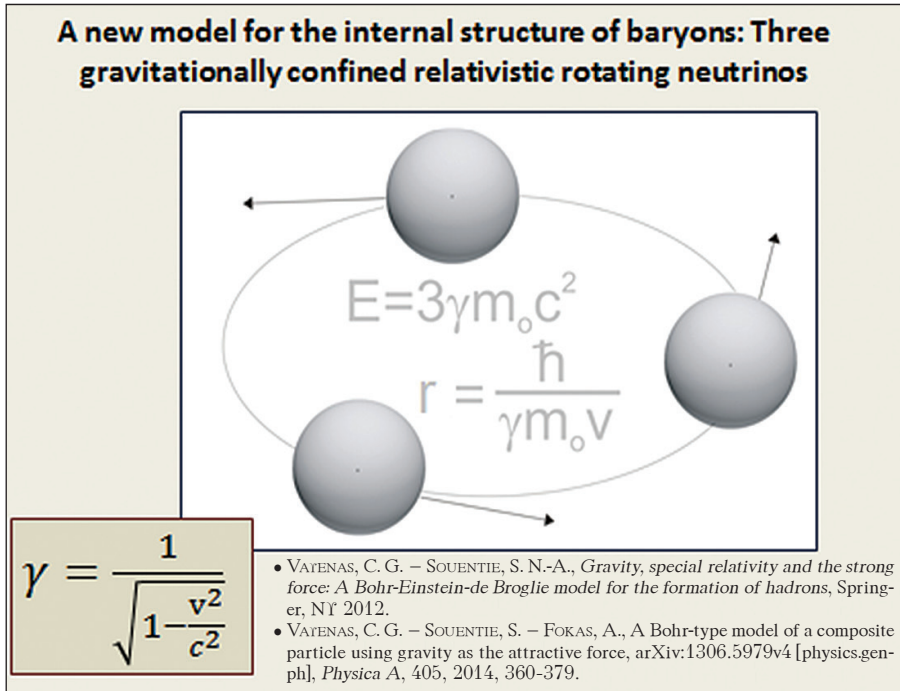



Fig. 4: The rotating lepton model (RLM) for the structures of baryons [4,11].

Newton's universal gravitational law

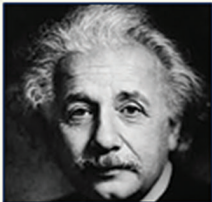


$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

“We owe it to that great man to proceed very carefully in modifying or retouching his law of gravitation,” cautioned Ludwig Silberstein gesturing at Newton's portrait.”
 ISAACSON, W., *Einstein: His life and universe*, Simon & Schuster, NY 2007, 261.

Fig. 5: Newton's universal gravitational law.

SPECIAL RELATIVITY (1905)



Rest mass: m_0

Relativistic mass: γm_0

Inertial mass: $m_i = \gamma^3 m_0$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Lorentz factor

$$m_i = dF/da = d(dp/dt)/d(dv/dt) = d(d(\gamma m_0 v)/dt)/d(dv/dt) =$$

$$= m_0[\gamma + 1/2v(1 - v^2/c^2)^{-3/2}(2v/c^2)] = m_0[\gamma + (v^2/c^2)\gamma^3] = m_0[\gamma + (1 - 1/\gamma^2)\gamma^3] = \gamma^3 m_0$$

Gravitational mass: $m_g = m_i$ Equivalence principle

Therefore:
$$F = \frac{Gm_{1,0}m_{2,0}\gamma_1^3\gamma_2^3}{r^2}$$
 Newton's relativistic law

If $m_{1,0} = m_{2,0} = m_0$ and $v_1 = v_2$ then
$$F = \frac{Gm_0^2\gamma^6}{r^2}$$

Fig. 6: Special relativity and Newton's gravitational law utilizing gravitational rather than rest masses.

According to Einstein’s special relativity [5-7] each body, or particle, has three masses, as shown in Figure 6:

- The rest mass m_o
- The relativistic mass γm_o (15)

- The inertial mass $m_i = \gamma^3 m_o$ (16)

- The gravitational mass m_g , which according to the well proven equivalence principle is equal to m_i , i.e.

$$m_g = m_i = \gamma^3 m_o ; \quad \gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \quad (17)$$

The proof for equation (17), first derived in [5], is given in Figure 6.

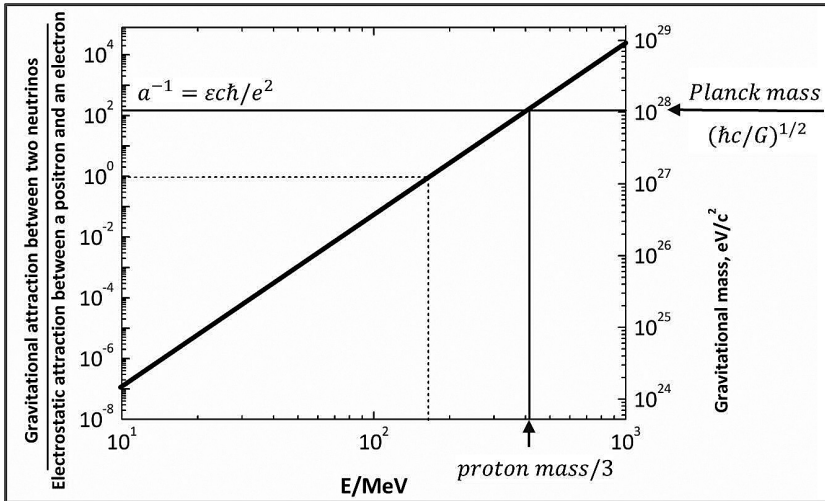


Fig. 7: Ratio of gravitational attraction between two neutrinos and electrostatic attraction of a $e^+ - e^-$ pair as a function of the neutrino kinetic energy, $E = (\gamma - 1)m_o c^2$ for $m_o = 0.5 \text{ eV}/c^2$. Corresponding neutrino gravitational mass $\gamma^3 m_o$ and comparison with the Planck mass. Note that $\gamma^3 m_o$ reaches the Planck mass at one third the proton mass. This shows that the strong force is relativistic gravity.

Consequently, Newton’s universal gravitational law for the force between two particles of rest masses $m_{1,o}$, $m_{2,o}$ and speeds v_1 and v_2 relative to an observer takes the form

$$F = \frac{G m_{1,o} m_{2,o} \gamma_1^3 \gamma_2^3}{r^2} \quad (18)$$

If $m_{1,o}=m_{2,o}$ and $v_1=v_2$ then equation (18) takes the form

$$F = \frac{Gm_o^2\gamma^6}{r^2} \quad (19)$$

as also shown in Figure 6. It is really amazing that for more than 105 years after Einstein's pioneering special relativity paper [5], we have been all using equations (18) and (19) with $\gamma_1=\gamma_2=\gamma=1$, i.e. we have been using rest masses rather than gravitational masses in Newton's universal gravitational law.

When we finally use the correct equations (18) and (19), commonly written for an observer at rest with respect to the center of mass of the rotating composite particle, then a whole new world appears. This paper provides a brief review of this beautiful world.

2.2 The magnitude of the relativistic gravitational force

Figure 7 is based on equation (19) and on Coulomb's law and shows that the relativistic gravitational force between two neutrinos exceeds, surprisingly, the Coulombic force of a e^+e^- pair at the same distance for neutrino energies above $E=180$ MeV and reaches the value of $(\hbar c/G)^{1/2}c^2=m_{p1}c^2$, i.e. that of the strong force, at one third the mass of the proton, i.e. at the effective mass of u or d quarks [1,2,11].

This observation shows clearly that the strong force, keeping the proton constituents confined, is relativistic gravity.

It is worth emphasizing that, via the use of the effective potential of Schwarzschild geodesics, equations (18) and (19) are found [11,16,17,18] to be in good agreement with the theory of general relativity (GR).

Figure 8 shows again how gravity creates the mass of a neutron or a proton. Initially the three neutrinos are at rest, their rest energy is $E_r=3m_0c^2$ and their rest mass is $3m_0$. Upon formation of the bound rotational state, their kinetic energy becomes $T=3(\gamma-1)m_0c^2$ and their total relativistic energy, E_r+T , becomes $3\gamma m_0c^2$. This is also the rest energy of the newly formed composite particle. Consequently in the confined state the kinetic energy of the neutrinos has become rest mass of the composite state. The new mass formed is $3(\gamma-1)m_0c^2$ and thus the neutron mass increase ratio, ξ_n , is

$$\xi_n = \frac{\text{final mass}}{\text{initial mass}} = \frac{3\gamma m_0c^2}{3m_0c^2} = \gamma \quad (20)$$

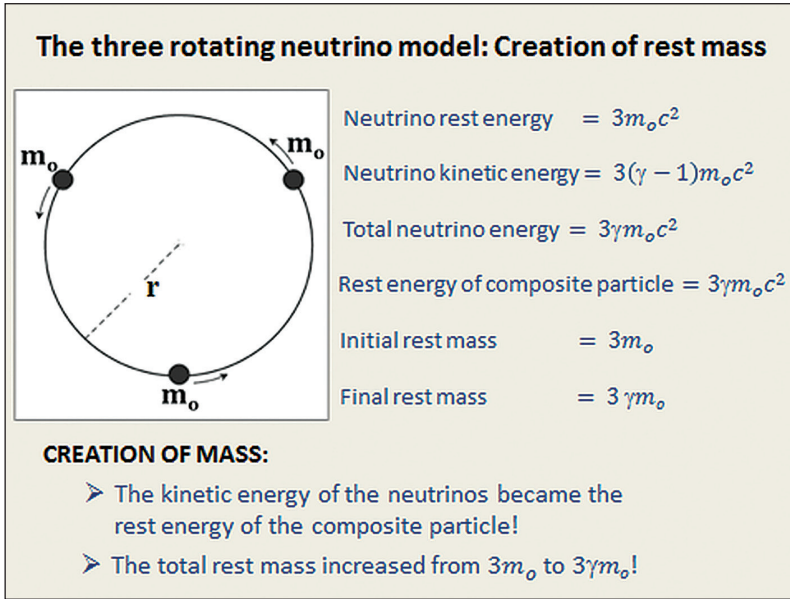


Fig. 8: Mass generation in the formation of a proton or neutron.

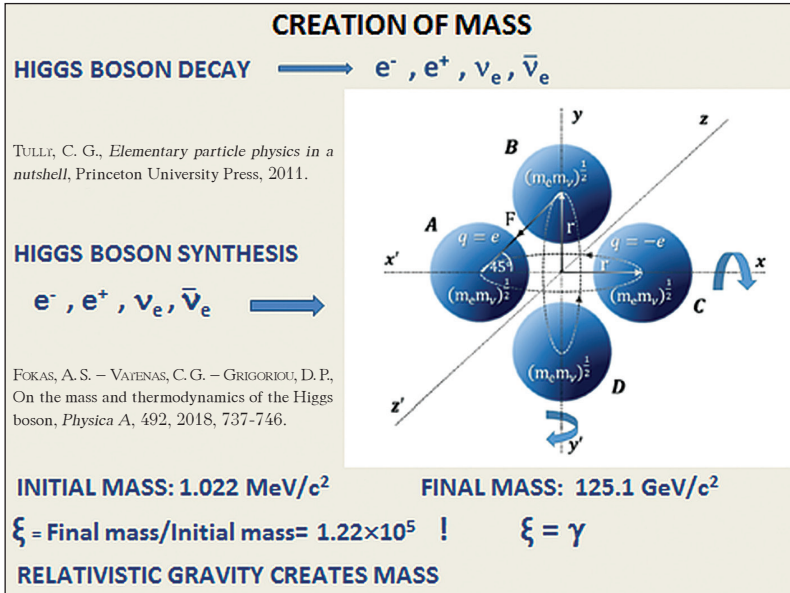


Fig. 9: Mass generation in the Higgs boson synthesis [2,19].

Another example can be obtained from our recent Higgs boson structure and mass paper [19], as shown in Figure 9. The Higgs boson decays primarily via [1,2]

$$H^0 \rightarrow e^-, e^+, \nu_e, \bar{\nu}_e \quad (21)$$

The total rest mass of the four decay products is $1.022 \text{ MeV}/c^2$ [1,2,19]. We have thus modeled the creation of a H^0 by considering the overall synthesis reaction [19]

$$e^- + e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_e \rightarrow H^0 \quad (22)$$

and we have found that the H^0 boson mass is $125.1 \text{ GeV}/c^2$ [19], in very good agreement with the experimental value of $125.7 \text{ GeV}/c^2$. Consequently

$$\xi_H = \frac{\text{final mass}}{\text{initial mass}} = \frac{125.1 \text{ GeV}/c^2}{1.022 \text{ MeV}/c^2} = 1.22 \cdot 10^5 \quad (23)$$

i.e. the mass increases by more than 5 orders of magnitude. These examples show clearly how gravity generates mass. They also show the uniqueness of the RLM in explaining these huge ξ (or γ) values via special relativity.

2.3 The baryon RLM model

Model synopsis			
Bohr model for the H atom		Bohr model for the neutron	
Electron as particle		Neutrino as particle	
$m_e \frac{v^2}{r} = \frac{e}{\epsilon r^2}$		$\gamma m_o \frac{v^2}{r} = \frac{G m_o^2 \gamma^6}{\sqrt{3} r^2}$	
Newton's 2nd law	Coulomb law	Relativistic equation of motion for circular motion	Newton's gravitational law accounting for special relativity ($m_i = \gamma^3 m_o$) and for equivalence principle ($m_g = m_i$)
Electron as wave		Neutrino as wave	
$\frac{\hbar}{m_e v} = r$ de Broglie (for $n = 1$)		$\frac{\hbar}{\gamma m_o v} \approx \frac{\hbar}{\gamma m_o c} = r$ de Broglie (for $n = 1$)	

Table 1: Comparison of the Bohr models for the H atom and for the neutron.

As shown in Table 1, the mathematical model of the neutron is very similar to the Bohr model of the H atom, and their second equations, i.e. the de Broglie wave equations, are identical, i.e.

$$\gamma_e m_e v_e r_e = \hbar ; \gamma_v m_v v_v r = \hbar \quad (24)$$

since $\gamma_e \approx 1$. The two equations of motion differ only in the number of rotating particles and in the nature of the attractive force. Thus using equation (19) and simple geometry we have

$$\frac{\gamma m_o v^2}{r} = \frac{G m_o \gamma^6}{\sqrt{3} r^2} \Leftrightarrow r = \frac{G m_o}{\sqrt{3} c^2} \gamma^5 \left(\frac{\gamma^2}{\gamma^2 - 1} \right) = \frac{r_s}{2\sqrt{3}} \gamma^5 \left(\frac{\gamma^2}{\gamma^2 - 1} \right) \quad (25)$$

where $r_s (= 2Gm_o/c^2)$ is the Schwarzschild radius, and

$$r = \frac{\hbar}{\gamma m_o v} \quad (26)$$

(Figure 10). For $\gamma \gg 1$, which turns out to be the case, there is a simple analytical solution (Figure 11):

$$\gamma_n = 3^{1/12} (m_{Pl} / m_o)^{1/3} \approx 7.169 \cdot 10^9 ; v \approx c \quad (27)$$

$$r_n \approx \hbar / \gamma m_o c \approx 0.63 \text{ fm} \quad (28)$$

where $m_{Pl} (= (\hbar c / G)^{1/2})$ is the Planck mass. Equation (28) is in very good agreement with experiment [4,11].

The mass of the composite particle formed is given by

$$m_n = 3\gamma_n m_o = 3^{13/12} m_o^{2/3} m_{Pl}^{1/3} \quad (29)$$

Substituting $m_o = 0.0437 \text{ eV}/c^2$ [4,11,20] and $m_{Pl} = 1.224 \cdot 10^{28} \text{ eV}/c^2$ [1,2] one finds

$$m_n = 939.565 \text{ MeV}/c^2 \quad (30)$$

which, remarkably, is the neutron mass!

One may solve equation (29) for m_o , using the neutron mass, m_n , to obtain:

$$m_o = \frac{(m_n / 3)^{3/2}}{3^{1/8} m_{Pl}^{1/2}} = 0.04372 \text{ eV}/c^2 \quad (31)$$

which is in very good agreement with the Superkamiokande data [20] and even better with the most recent Icecube experimental value for the heaviest neutrino, i.e. $0.048 \pm 0.01 \text{ eV}/c^2$ [21] (Fig. 12).

The corresponding mathematical model

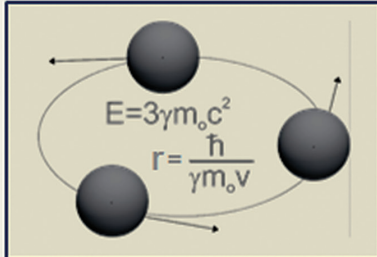
Attractive force = Gravity

A: Neutrino's corpuscular nature

- Newton-Einstein equation for cycling motion:
- Newton's gravitational law:
 m_g : gravitational mass

B: Neutrino's ondular nature

de Broglie :



$$F = \gamma m_o \frac{v^2}{r}$$

$$F = G \frac{m_g^2}{\sqrt{3}r^2}$$

$$r = \hat{\lambda} = \frac{\hbar}{\gamma m_o v}$$

Fig. 10: The RLM model for a neutron; $m_g = \gamma^3 m_o$ [5,4,7,11].

Model solution

$$\gamma_n = 3^{1/12} m_{Pl}^{1/3} / m_o^{1/3}$$

$$= 7.163 \cdot 10^9 ; v \approx c$$

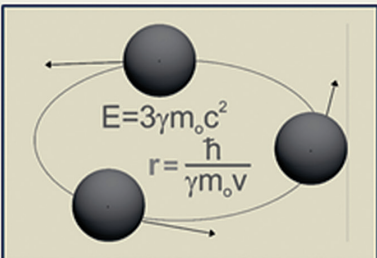
$r = 0.63 \text{ fm}$

Composite particle mass:

$$m = 3\gamma_n m_o = 3^{13/12} m_o^{2/3} m_{Pl}^{1/3}$$

$$m_{Pl} = (\hbar c / G)^{1/2} \text{ [Planck mass]}$$

If $m_o = 0.0437 \text{ eV}/c^2$
(~ heaviest neutrino mass)
Then $m = 939.565 \text{ MeV}/c^2$
(neutron mass!)



Good agreement with neutron radius (0.8fm)!

Fig. 11: The solution of the RLM model for the neutron.

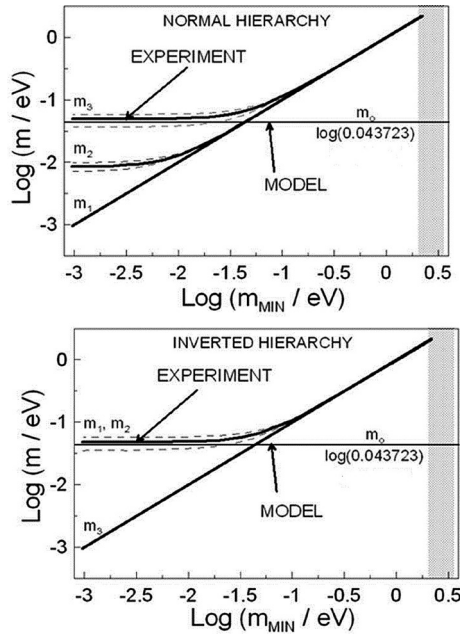


Fig. 12: Comparison of computed via the RLM and experimental heaviest flavor neutrino mass [4,20,21].

2.4 Why neutrinos as building blocks of hadrons and of our universe?

By eliminating γ between equations (1) and (17), i.e. between

$$E = \gamma m_o c^2 \tag{1}$$

and

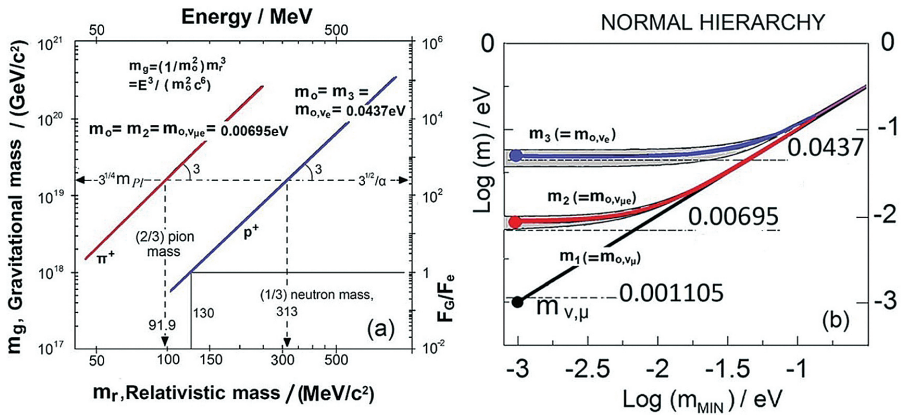
$$m_g = \gamma^3 m_o \tag{17}$$

one obtains

$$m_g = E^3 / m_o^2 c^6 \tag{32}$$

This equation shows why neutrinos are such excellent building blocks for creating heavier composite particles: As equation (32) shows, for given particle energy, E , the gravitational mass, m_g , is maximized when the rest mass, m_o , is minimized. Since neutrinos have by far the smallest rest mass among all known particles, this explains why they are the building blocks of all hadrons. This is shown in Figure 13, which plots equation (32) for the m_o

values of the m_2 and m_3 masses of the corresponding flavors on the normal hierarchy [22]. The heavier mass m_3 ($=0.0437 \text{ eV}/c^2$, [9,20]) corresponds to the electron neutrinos, while the mass m_2 ($=0.00695 \text{ eV}/c^2$) corresponds to muon neutrinos [22]. From equations (32) one computes that if nature were to build composite particles using neutral leptons with the rest mass of electrons, then the required energy would be of the order of $\sim 10 \text{ TeV}$.



$$m_g = (1/m_0^2 c^6) E^3$$

Fig. 13: Plot of equation (32) for the two heavier neutrino flavors and corresponding composite particle formed, i.e. a proton from ν_e neutrinos and a pion from $\nu_{\mu e}$ neutrinos [22]. The latter are a hybridized state resulting from a rotating relativistic $\nu_{\mu} - \nu_e$ pair in a muon or pion structure [22].

2.5 Potential energy and Hamiltonian

The second equation (25) can be used to eliminate r or γ in the first equation (25) for $\gamma \gg 1$. In the former case (i.e. elimination of r) one obtains

$$F_G = \frac{\sqrt{3}c^4}{\gamma^4 G} \quad (33)$$

and thus, for any fixed value of γ or r , the attractive force is uniquely determined by the familiar G/c^4 parameter of the gravitational field equations of general relativity [23,24], i.e.

$$G_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik} \quad (34)$$

which relates the Einstein tensor G_{ik} with the stress-momentum-energy tensor T_{ik} [23,24].

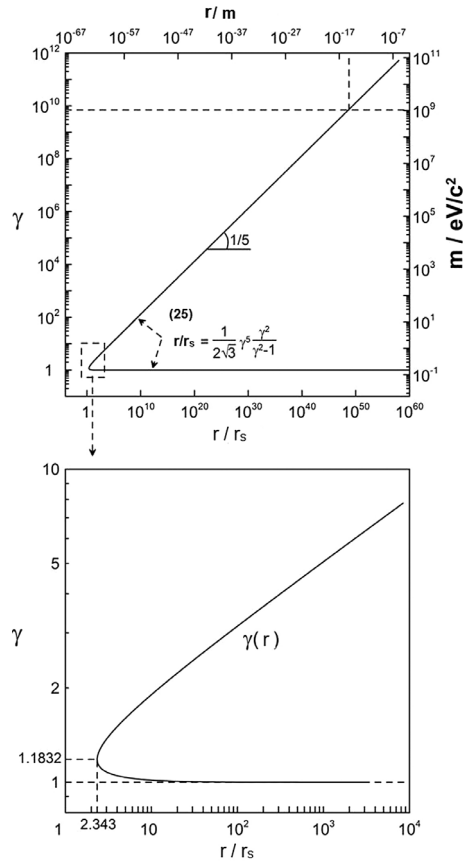


Fig. 14: Plot of γ from eq. (25) for r values up to 10^{-5} m (top) and near the minimum r , denoted r_{\min} ($=2.343$, bottom). The m axis is constructed from $m=3\gamma m_0$ with $m_0=5\cdot 10^{-2}$ eV/ c^2 [4].

In the latter case, i.e. elimination of γ , one obtains

$$F_G = -m_0 c^2 \left(\frac{2\sqrt{3}}{r_s} \right)^{1/5} \frac{1}{r^{4/5}} \tag{35}$$

where $r_s=2Gm_0/c^2$ is the neutrino Schwarzschild radius.

The force equation (35) refers to circular orbits only and defines a certain conservative force. Since it depends on r only, this force is Lorentz invariant, i.e. the same force is perceived by all observers, and since the work done in moving the particles between two points r_1 and r_2 , corresponding to two dif-

ferent states with radii r_1 and r_2 is fixed, its value is independent of the path taken. The force vector direction is also defined, as it is always pointing to the center of rotation, and thus a conservative force field is defined which is the gradient of a scalar potential, denoted $V_G(r)$. The latter is the gravitational potential energy of the three rotating particles when accounting for their rotational motion and corresponds to the energy associated with transfer of particles from a minimum circular orbit radius r_{\min} (Fig. 14) to an orbit of radius of interest r . The function $V_G(r)$ is obtained via integration of equation (35) from the minimum circular orbit radius r_{\min} (Fig. 14) to the radius of interest r . Thus denoting by r' the dummy variable, one obtains

$$V_G(r) - V_G(r_{\min}) = \int_{r_{\min}}^r dr' = -5m_0c^2 \left(\frac{2\sqrt{3}}{r_s} \right)^{1/5} (r^{1/5} - r_{\min}^{1/5}) \quad (36)$$

Noting that $r_{\min} = 2.343r_s$ [4] and that the value of the Schwarzschild radius, $r_s (= 2Gm_0/c^2)$, for neutrinos is extremely small ($\sim 10^{-63}$ m), it follows that for any realistic r value (e.g. above the Planck length value of 10^{-35} m), equation (36) reduces to

$$V_G(r) = -5\gamma m_0c^2 \quad ; \quad \gamma = \left(\frac{2\sqrt{3}r}{r_s} \right)^{1/5} \quad (37)$$

From the latter equation, we obtain

$$r = (r_s / 2\sqrt{3})\gamma^5 \quad ; \quad V_G(r) = -5m_0c^2 \left(\frac{2\sqrt{3}r}{r_s} \right)^{1/5} \quad (38)$$

The exact value of $V_G(r_c)$ can be found by using equation (27) in (17) or (28) in (38). In the first case it is

$$V_G(r_c) = -5 \cdot 3^{1/12} (m_{Pl} / m_0)^{1/3} m_0c^2 = -(5/3)m_n c^2 \quad (39)$$

where m_n is the neutron mass. In the second case it is

$$\begin{aligned} V_G(r_c) &= -5m_0c^2 \left(\frac{2\sqrt{3}\hbar c^2}{\gamma_c m_0 c^2 2Gm_0} \right)^{1/5} = -5m_0c^2 \left[\frac{\sqrt{3}m_{Pl}^2 / m_0^2}{\gamma_c} \right]^{1/5} \\ &= -5m_0c^2 \left[\frac{3^{1/2}}{3^{1/12}} (m_{Pl} / m_0)^{5/3} \right]^{1/5} = -5m_0c^2 \left[3^{1/12} (m_{Pl} / m_0)^{1/3} \right] = -(5/3)m_n c^2 \end{aligned} \quad (40)$$

i.e. the same result with equation (39) is obtained.

The Hamiltonian, \mathcal{H} , is the sum of the relativistic energy, $E = 3\gamma m_0c^2$, of the three particle system and of the above computed potential energy $V_G(r)$. Thus it is

$$\begin{aligned}
 \mathcal{H}(r) &= E(r) + V_G(r) = 3\gamma m_0 c^2 - 5\gamma m_0 c^2 \\
 &= -2\gamma m_0 c^2 \\
 &= -(2/3)m_n c^2
 \end{aligned}
 \tag{41}$$

The negative sign indicates that the rotational composite structure is stable. Since the potential energy equation (40) does not depend on the number of rotating particles, one may conclude from equation (41) that the tetraquark is also stable but the stability of the pentaquark ($\mathcal{H} = 0$) is marginal.

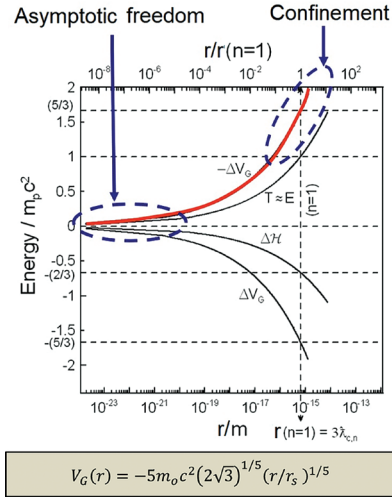


Fig. 15: Dependence on rotational radius of potential energy, kinetic energy and Hamiltonian.

2.6 Confinement and asymptotic freedom

It is important to note in Figure 15 that the $V_G(r)$ equations (36), (37) and (38) for the potential energy of the neutrinos exhibit both asymptotic freedom ($V_G(r) \rightarrow 0 ; r \rightarrow 0$) and confinement ($-V_G(r) \rightarrow \infty ; r \rightarrow \infty$), which are two key characteristics of the strong force [1,2,4]. In comparison with the rather complex approach used in the SM to describe these two important properties of the strong force [1,2], one may appreciate the simplicity and natural way with which the RLM predicts both asymptotic freedom and confinement, as shown in Figure 15.

2.7 Gravitational mass and Planck mass

Another important result of the model solution equation (27) is that the gravitational mass, $\gamma^3 m_o$, of the rotating neutrinos in the neutron and proton structure is very close to the Planck mass.

Indeed using equation (27) it follows

$$m_g = \gamma^3 m_o = 3^{1/4} m_{Pl} \quad (42)$$

Notably this result does not depend on the value of m_o . It is interesting to compute the corresponding gravitational force and compare it with the electrostatic attraction of a e^+e^- pair and the gravitational attraction of two neutrinos at rest.

Thus using equation (42) in Newton's universal gravitational law we obtain

$$F_{SR} = \frac{G m_o^2 \gamma^6}{3^{1/2} r^2} = \frac{G \cdot 3^{1/2} \cdot m_{Pl}^2}{3^{1/2} r^2} = \frac{G(\hbar c / G)}{r^2} = \frac{\hbar c}{r^2} \quad (43)$$

This is the result expected for the strong force [1,2,4]. Its ratio with the Coulombic force between a positron and an electron at the same distance is

$$\frac{F_{SR}}{F_c} = \frac{\hbar c}{e^2 / \epsilon} = \frac{\epsilon c \hbar}{e^2} = \alpha^{-1} \approx 137.035 \quad (44)$$

as expected for the strong force [1,2,4]. Also denoting by F_N the nonrelativistic ($\gamma=1$) gravitational force, one computes

$$F_{SR} / F_N = \gamma^6 = 3^{1/2} (m_{Pl} / m_o)^2 = 1.35 \cdot 10^{59} \quad (45)$$

This shows how amazingly stronger the relativistic gravitational force is related to $\gamma=1$ gravity, yet both are surprisingly described by the same equation (19).

In Table 1 we have compared the classical Bohr model for the H atom with the RLM. The only significant difference is in the nature of the attractive force, i.e. gravity vs electrostatics. It is also important to note that the RLM does not represent any new physical theory. It is just the synthesis of three extremely simple and important equations of physics due to Newton, Einstein and de Broglie.

It is useful to discuss briefly using Figure 16 how the RLM accounts for the proton charge and also for the apparent fractional electric charges of the quarks. The proton charge is easily accounted for by assuming that a positron resides at the center of the rotating ring [25-28]. Its presence is strongly sup-

ported by the observed emission of a positron when a neutrino hits a proton [25-28]. This positron contributes little ($0.511 \text{ MeV}/c^2$) to the mass of the proton since it is at rest ($\gamma = 1$) with the center of mass of the proton which is at rest with the laboratory observer. By introducing two quantum numbers, n_B and ℓ , as ratios of r and the de Broglie wavelength, λ , one can also derive analytical expressions for the Λ , Σ , Ξ , Ω , Σ^* , Δ^* and Ξ^* baryons masses, which are in very good agreement with experiment [27,28], as also shown in the last figure and the last table of the present review.

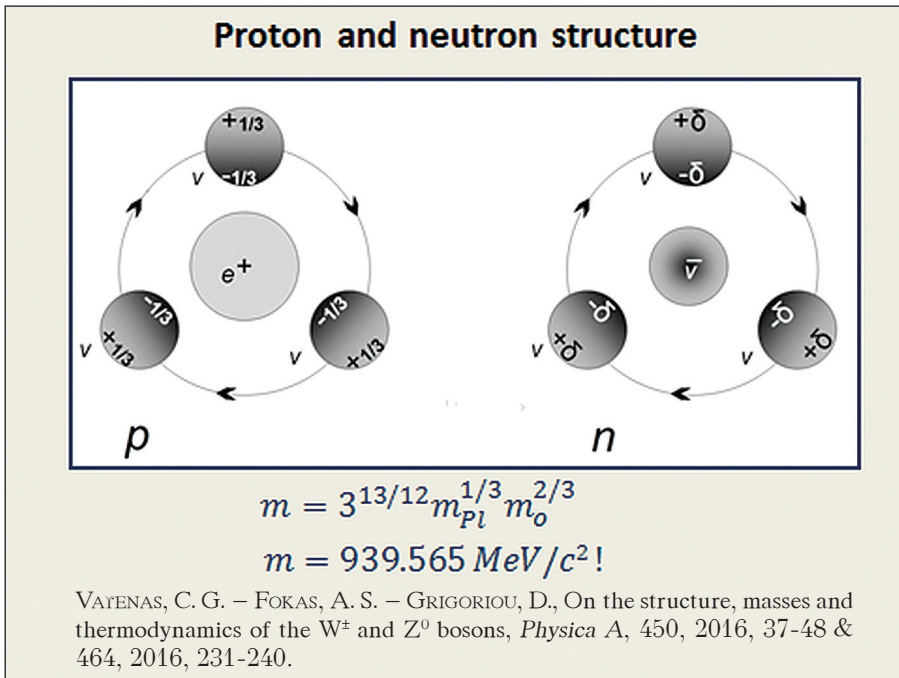


Fig. 16: Models of the proton and neutron structures [26, 29].

2.8 Muons, pions and neutrino oscillations

Using the same methodology and the m_2 neutrino value of Figure 13 we have applied recently the RLM to compute the mass of the center and right structures shown in Figure 17 which have been found to correspond to those of the muon and the pion [22]. Thus, surprisingly, the muon, μ^\pm , is found to comprise a central positron or electron and two rotating neutrinos, $\bar{\nu}_e$ and ν_μ ,

which actually hybridize, forming a $\nu_{e\mu}$ neutrino with a mass $m_{\nu_{e\mu}}$ equal to m_2 , which is found to equal $(m_{\nu_e} m_{\nu_\mu})^{1/2}$ [22]. The computed muon mass is $105.86 \text{ MeV}/c^2$ which is the experimental value for $m_{\nu_{e\mu}} = 1.105 \cdot 10^{-3} \text{ eV}/c^2$ [4,22]. Similarly, the pion, π^\pm , is found to comprise a central positron or electron, two or one rotating ν_μ and one or two rotating ν_e , which again hybridize [22]. The computed mass is $137.82 \text{ MeV}/c^2$ [22] in good agreement with the experimental values of 134.98 and $139.56 \text{ MeV}/c^2$ [22]. We note that this neutrino hybridization phenomenon, described in more detail in [22], may be directly related to the phenomenon of neutrino oscillation [2].

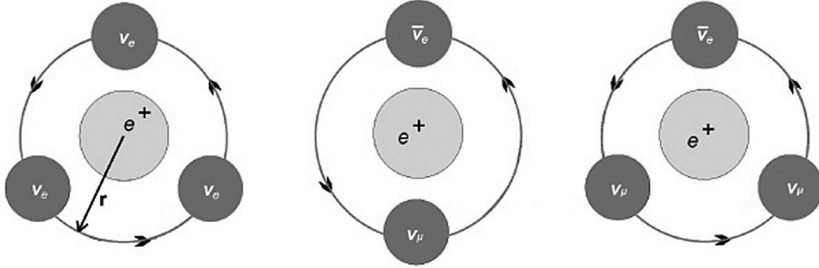


Fig. 17: Rotating neutrino model geometry for a proton (a) [14], for a muon μ^+ (b) and for a pion π^\pm (c) [22]. The central positron is at rest with respect to the observer ($\gamma=1$) and thus adds little ($0.511 \text{ MeV}/c^2$) to the total mass of the composite state; ν_μ and $\bar{\nu}_e$ get hybridized in the μ^\pm and π^\pm structures [22].

2.9 Comparison with the Schwarzschild geodesics of general relativity

The key results of the RLM given by equations (42), (43), (44) and (45) have been obtained via the basic equation (17), i.e. $m_g = m_i = \gamma^3 m_o$. The same results have been also obtained [11,16,17] using the Schwarzschild geodesics of general relativity in conjunction with the Heisenberg uncertainty principle. The same good agreement between the γ^3 treatment and the GR treatment has been also obtained in the computation of the mercury perihelion precession [18].

3. The rotating lepton model for bosons

In the previous section we have focused on ν_e - ν_e and ν_e - ν_μ gravitational interactions. It was a great surprise when the first investigation of a ν_e - e interaction yielded the mass of the W^- boson, as shown in Figure 18 [26].

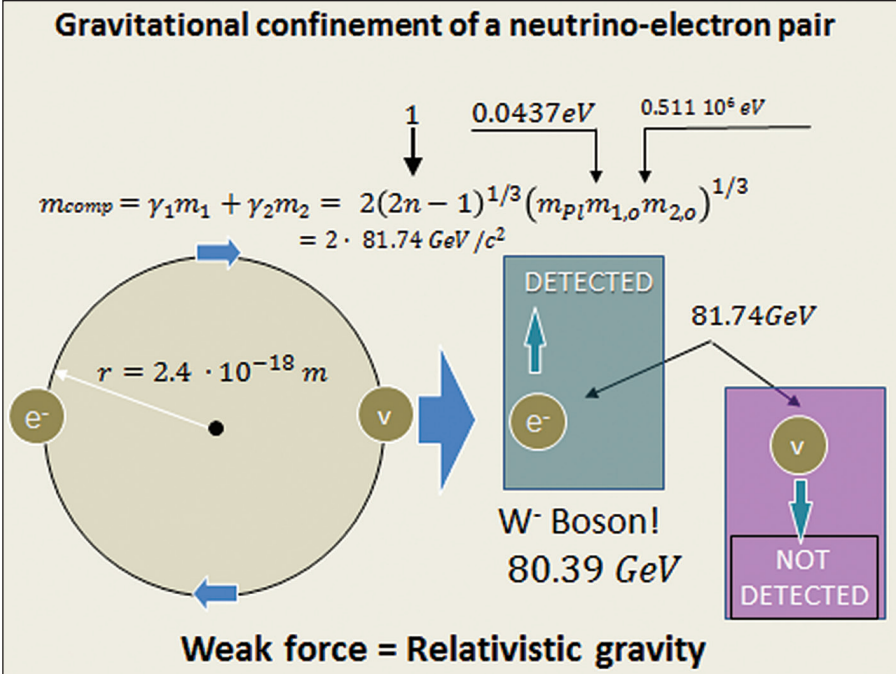


Fig. 18: Structure and mass computation of the W^- boson [26]. Since W^- and Z^0 bosons mediate the charged and neutral Weak Interactions respectively [1,2], it appears that the weak force is relativistic gravity between neutrinos and e^\pm [36].

Figure 19 shows the starting equations of motion

$$\frac{\gamma_e m_e r}{v^2} = \frac{\gamma_\nu m_\nu r}{v^2} = \frac{G \gamma_e^3 m_e \gamma_\nu^3 m_\nu r}{4r^2} \tag{46}$$

Using $v \approx c$ and accounting for

$$\gamma_e m_e r c = \gamma_\nu m_\nu r c = \hbar \tag{47}$$

one obtains

$$m_w = \gamma_e m_e + \gamma_\nu m_\nu = (2m_{p1} m_e m_\nu)^{1/3} = 81.74 \text{ GeV} / c^2 \tag{48}$$

which is in very good agreement with the experimental value of $80.39 \text{ GeV}/c^2$ for the W^\pm boson mass. Similarly good agreement between the RLM and experiment has been obtained for the Z boson, modeled as a rotating $e^+ - e^- - \nu_e$ trio [26], and more recently for the Higgs boson, modeled as a rotor structure comprising a square rotational $e^+ e^- \nu_e \bar{\nu}_e$ structure, rotating around three axes [16]. As shown in Figures 18 and 19, agreement between the computed and experimental mass values is semiquantitative ($\sim 1\%$). This agreement, in conjunction with Figures 19 and 20, show that the weak force, which according to the SM is mediated by the W and Z bosons, is simply related to the formation and decay of the W and Z composite particles. This shows that the weak force is the relativistic gravitational force between electrons and neutrinos.

	$\left. \begin{aligned} \frac{\gamma_e m_e v^2}{r} = \frac{\gamma_\nu m_\nu v^2}{r} = \frac{G m_e m_\nu \gamma_e^3 \gamma_\nu^3}{4r^2} \\ \gamma_e m_e v_e r = \gamma_\nu m_\nu v_\nu r = h \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Newton + SR} \\ \text{de Broglie} \end{array}$ $m_W = \gamma_e m_e = \gamma_\nu m_\nu = (2m_{Pl} m_e m_\nu)^{1/3} = 81.74 \text{ GeV} / c^2$ $m_{W, \text{exp}} = 80.42 \text{ GeV} / c^2$
	$\frac{\gamma_e m_e v^2}{r} = \frac{\gamma_\nu m_\nu v^2}{r} = \frac{G m_e m_\nu \gamma_e^3 \gamma_\nu^3}{\sqrt{3}r^2} \quad \begin{array}{l} \text{Newton + SR} \\ \text{de Broglie} \end{array}$ $\gamma_e m_e v_e r = \gamma_\nu m_\nu v_\nu r = h$ $m_Z = 2^{1/2} (m_{Pl} m_e m_\nu)^{1/3} = 91.72 \text{ GeV} / c^2$ $m_{Z, \text{exp}} = 91.19 \text{ GeV} / c^2$
	$m_{\text{ev}} = (m_e m_\nu)^{1/2} = 149 \text{ eV} / c^2; \quad \gamma_{\text{ev}} = (\gamma_e \gamma_\nu)^{1/2} \quad \text{Hybridization}$ $F = \gamma_{\text{ev}} m_{\text{ev}} \frac{c^2}{r} = n_{\text{ev}} \frac{\hbar c}{r^2}; \quad V_T = -n_{\text{ev}} \frac{4\hbar c}{r} \quad \begin{array}{l} \text{Newton + SR} \\ \text{Potential} \\ \text{energies of} \\ \text{rotating} \\ \text{particles} \\ \text{around Z, x} \\ \text{and y axes} \end{array}$ $V_z = -\frac{4Gm_{\text{ev}}^2 \gamma_{\text{ev}}^6}{r} \left[2(\sqrt{2}/2)^3 + \frac{1}{4} \right] - \frac{2e^2}{4\epsilon r}$ $V_{xy} = -\frac{4Gm_{\text{ev}}^2 \gamma_{\text{ev}}^6}{r} \left(\frac{1}{4} \right)$ $m_H = 2 \left[\frac{1 - (\alpha/4)}{2^{-1/2} + 2^{-1}} \right]^{1/6} n^{1/6} (m_{Pl} m_e m_\nu)^{1/3} = 125.7 \text{ GeV} / c^2$ $\approx 2(5/6)^{1/6} (m_{Pl} m_e m_\nu)^{1/3} \approx 125.7 \text{ GeV} / c^2$ $m_{H, \text{exp}} = 125.1 \text{ GeV} / c^2$

Fig. 19: Structure and mass computation of the W^\pm , Z^0 and Higgs bosons [26,29,19].

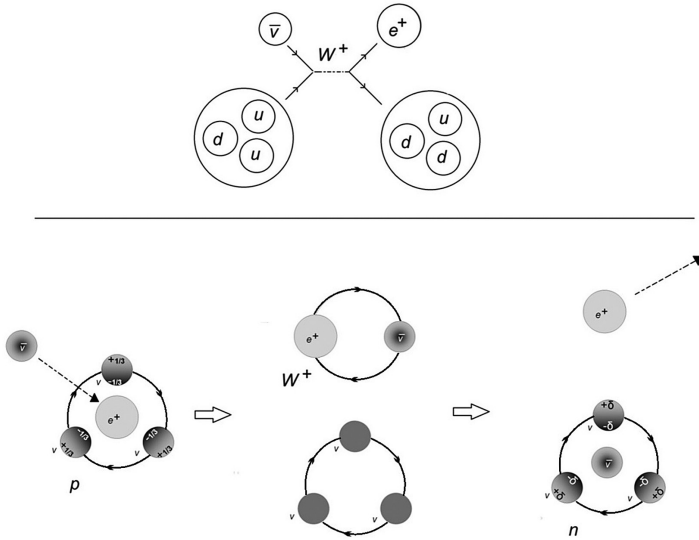


Fig. 20: The neutrino-proton interaction in the SM, as a Feynman diagram, and in the RLM [26,29].

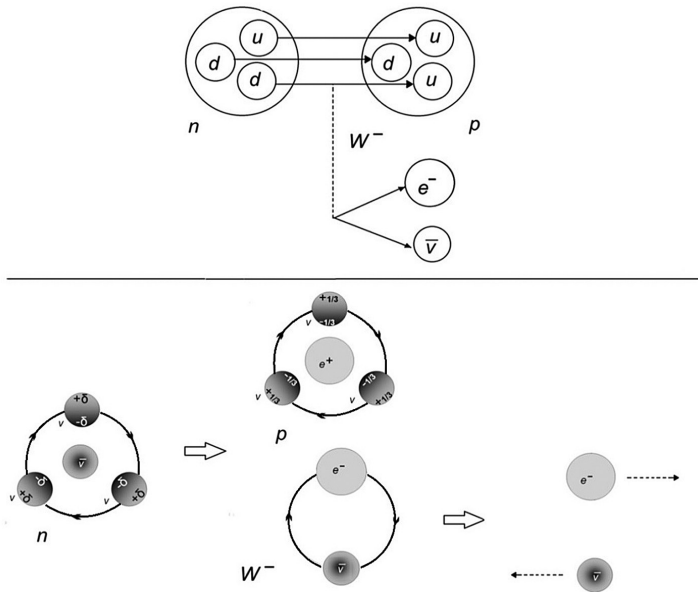


Fig. 21: The β -decay in the SM and in the RLM.

3.1 The catalysis of baryogenesis

Figure 22 shows the approach of two neutrinos to form a meson which is a two particle composite rotational structure comprising two neutrinos [4,30]. It has been computed via the RLM [30] that, in order to form the meson, the kinetic energy of the neutrino must be 360 MeV when it reaches at the edge of the Compton wavelength $\hbar / \gamma m_0 c (= 5.48 \cdot 10^{-16} \text{ m}$, Fig. 22 [30]). This implies that the incoming neutrino must start with a kinetic energy of at least 250 MeV, if no e^\pm is present at the center of rotation. If, however, there is, then, due to its strong gravitational attraction to the incoming neutrino, it suffices that the initial kinetic energy of the neutrino is 10 MeV (Fig. 22). There is therefore a 25 fold decrease in the activation energy of hadronization which corresponds to an at least 10^{10} fold enhancement in the rate of hadronization [27]. Consequently, electrons and positrons are extremely efficient catalysts for hadronization. This is also shown in the autocatalytic cycle of Figure 23.

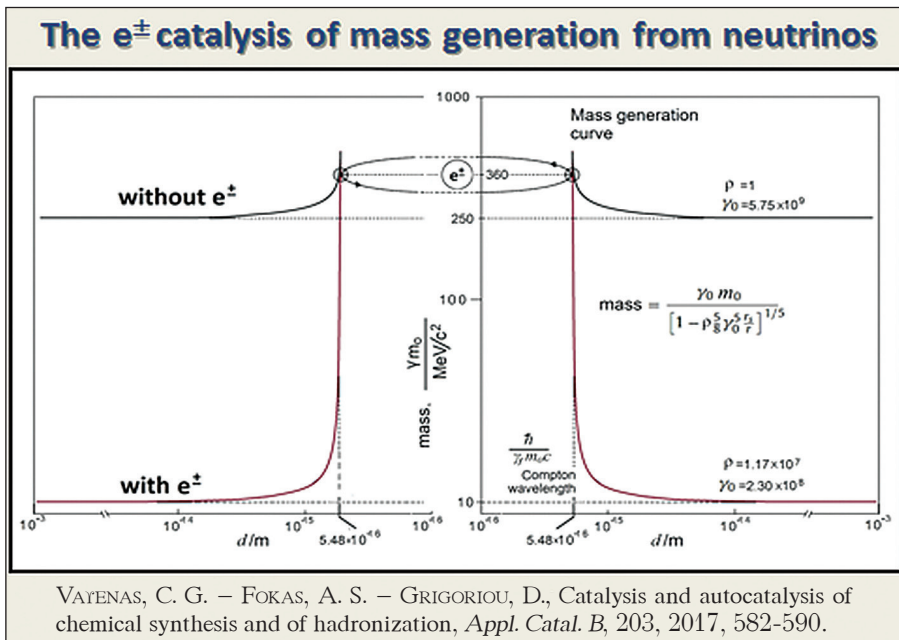


Fig. 22: The e^\pm catalysis of mass generation from neutrinos. Note how the presence of a e^\pm decreases the activation energy from 250 to 10 MeV/c² [30].

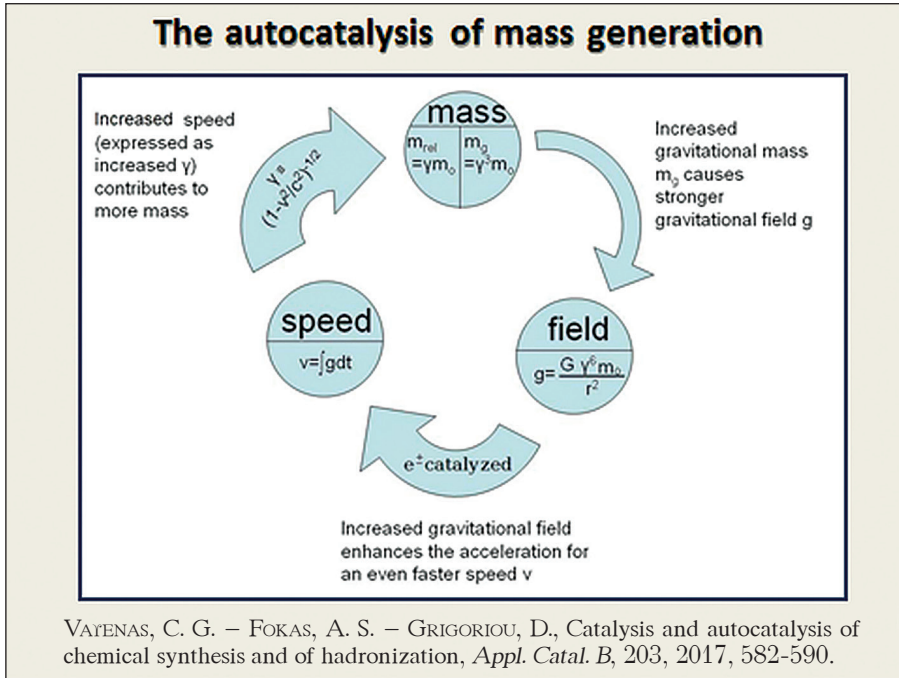


Fig. 23: The autocatalysis of mass generation [30]. The mass generating Higgs field appears to be the mass generating gravitational field of ultrarelativistic particles.

The necessity of catalysis in baryogenesis is shown by Table 2 and Figure 24. Similarly to all important synthesis reactions in chemistry and physics, baryogenesis is exothermic and has a negative entropy change ΔS . Consequently, the maximum thermodynamically allowed conversion, x , decreases with increasing temperature (Fig. 24) and thus the reaction has to take place at low T where, according to the kinetic law of Arrhenius, the reaction rate is slow, unless an efficient catalyst is used. In this case the conversion, x , passes through a maximum with temperature. Figure 25 demonstrates that this occurs both in physics [28] and in chemistry [29].

	ΔH kJ/mol	ΔH eV/atom	ΔS J/mol-K	$T_{cr} = \Delta H / \Delta S$ K	$T_{eq} = -\Delta H / C_p$ K
$\frac{1}{2} N_2 + \frac{3}{2} H_2 \rightarrow NH_3$	-45.85	-0.48	-99.1	463	1565
HUMAN SURVIVAL					
$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$	-241.8	-2.51	-44.5	5433	8255
BIOLOGICAL EXISTENCE					
$p + e^- \rightarrow H$	-1312	-13.6	-5.81	22600	44800
CREATION OF ATOMS AND MOLECULES					
$4p \rightarrow {}^4He + 2e^+ + 2\nu_e$	$-2.57 \cdot 10^9$	$-2.67 \cdot 10^7$	-9.19	$2.81 \cdot 10^{11}$	$8.8 \cdot 10^{10}$
HYDROGEN FUSION					
"Quark-gluon plasma condensation" = Baryogenesis					
$3\nu_e + e^+ \rightarrow p^+$	$-6.02 \cdot 10^{10}$	$-625 \cdot 10^9$	-11.6	$5.19 \cdot 10^{12}$	$2.05 \cdot 10^{12}$
CREATION OF VISIBLE MATTER					
ALL ARE EXOTHERMIC WITH COMPARABLE ΔS					

Table 2: Thermodynamics of some important chemical and physical synthesis reactions.

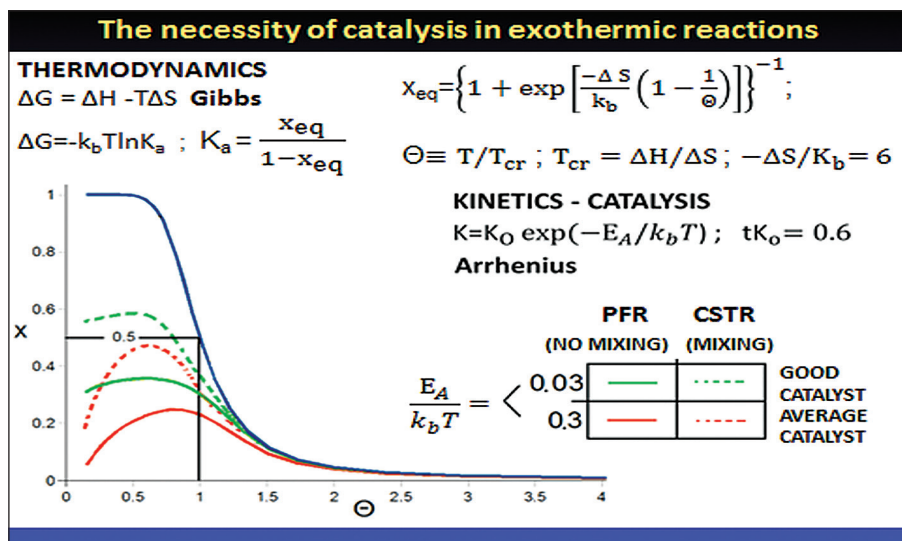


Fig. 24: The necessity of catalysis in synthesis reactions of Table 2 which are all exothermic.

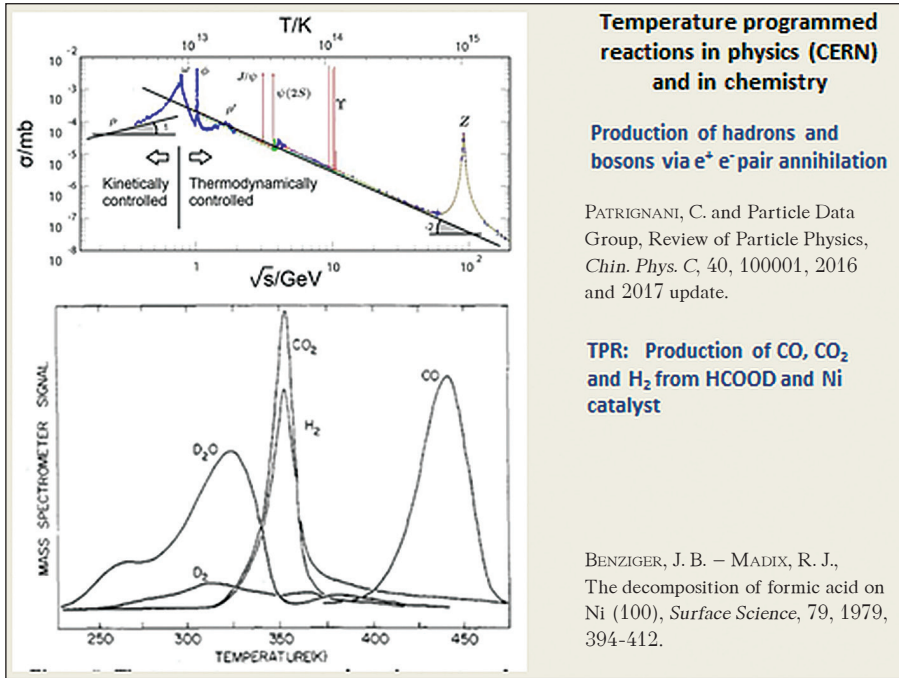


Fig. 25: Temperature programmed reaction (TPR) in physics [33] and in chemistry [34]. It appears that e^+ and e^- play an important catalytic role in hadronization too, due to their strong gravitational attraction on the omnipresent neutrinos, which may be the real main reactants of hadronization [30].

3.2 The elementary particles according to SM and RLM

Figure 26 shows the current list of the elementary particles of the Standard Model [1,2] and the changes which are suggested by the RLM.

The main changes are the following:

- Up and down quarks are electron neutrinos [4,11].
- Charm quarks are excited states of the electron neutrinos [27].
- Muons are composite rotational ν_μ - ν_e states with a positron/electron at the center [22].
- There are no gluons, their role is played by gravity [4,11].
- The three bosons, W^+ , Z^0 and H are rotational electron-neutrino structures [26,19,19].

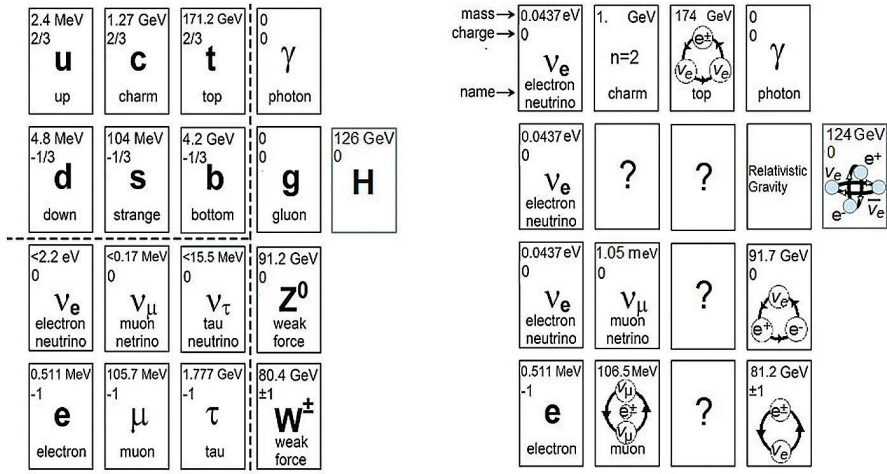


Fig. 26: The standard model and the recent developments [30].

3.3 Emerging RLM taxonomy

Figure 27 shows the new emerging taxonomy of leptons and composite particles (baryons, mesons, bosons). It presents the dependence of the computed masses of hadrons on their experimental values. The $y=x$ line indicates exact agreement. As shown in the figure (and in the accompanying Table 3), there is excellent (better than $\pm 2\%$) agreement between model and experiment without any adjustable parameters. All 15 composite particles fall practically on the $y=x$ line. Figure 27 and Table 3 also include the results from a recent investigation of the structure and mass of kaons which have been found to comprise six neutrinos arranged at the vertices of a regular octahedron which rotates around the axis defined by the centers of (any) two opposing triangular faces [37]. The computed mass in $495.7 \text{ MeV}/c^2$, in good agreement with the experimental values [37].

Figure 27 also gives three general approximate expressions for the masses of baryons and bosons, i.e.

$$m \approx (m_p m_{v,e}^2)^{1/3} \approx 0.9 \text{ GeV} / c^2 \quad \text{for baryons} \quad (49)$$

$$m \approx (m_p m_{v,\mu} m_{v,e})^{1/3} \approx 0.2 \text{ GeV} / c^2 \quad \text{for light baryons} \quad (50)$$

$$m \approx (m_p m_c m_{v,e}^2)^{1/3} \approx 90 \text{ GeV} / c^2 \quad \text{for bosons} \quad (51)$$

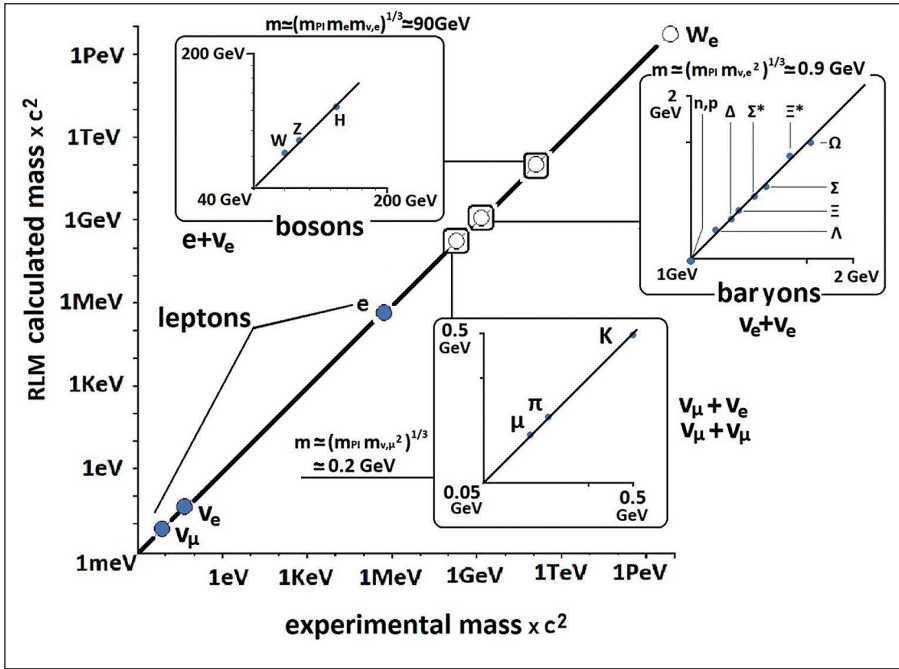


Fig. 27: Elementary particle taxonomy and comparison of the RLM computed masses of composite particles with the experimental values. Agreement is better than 2% without any adjustable parameters. The three approximate mass expressions provide the order of magnitude of hadron and boson masses [31,36].

The exact expressions for each particle are given in the accompanying Table 3.

According to the SM, these light baryons are currently thought to be elementary particles (muons) or mesons (pions and kaons). However, the very good agreement between their experimental masses and those computed from RLM shows that they are most likely light baryons, i.e. their rotating rings comprise both ν_{μ} and ν_e neutrinos [22,37].

Ref.	Particle	Formula	Computed value mass / (eV/c ²)	Experimental value mass / (eV/c ²)
	e^\pm			$0.511 \cdot 10^6$
	ν_e			0.0437
	$\nu_{\mu,e}, \nu_\mu$			$0.00695, 1.11 \cdot 10^{-3}$
BARYONS mass / (MeV/c²)				
[4,11]	p	$3^{13/12} (m_p m_{\nu,e}^2)^{1/3}$		938.272
[4,11]	n	$3^{13/12} (m_p m_{\nu,e}^2)^{1/3}$	939.565	939.565
[27]	Λ	$\left[n_B^2 (2\ell_B + 1) \right]^{1/6} m_p \quad n_B = 1 ; \ell_B = 1$	1127	1116
[27]	Δ	$\left[n_B^2 (2\ell_B + 1) \right]^{1/6} m_p \quad n_B = 1 ; \ell_B = 2$	1228	1232
[27]	Ξ^-, Ξ^0	$\left[n_B^2 (2\ell_B + 1) \right]^{1/6} m_p \quad n_B = 1 ; \ell_B = 3$	1300	1318
[27]	Σ^*	$\left[n_B^2 (2\ell_B + 1) \right]^{1/6} m_p \quad n_B = 1 ; \ell_B = 4$	1356	1384
[27]	$\Sigma^-, \Sigma^0, \Sigma^+$	$\left[n_B^2 (2\ell_B + 1) \right]^{1/6} m_p \quad n_B = 2 ; \ell_B = 0$	1183	1192
		$\left[n_B^2 (2\ell_B + 1) \right]^{1/6} m_p \quad n_B = 2 ; \ell_B = 1$	1420	-
[27]	$\Xi^{*,-}, \Xi^{*,0}$	$\left[n_B^2 (2\ell_B + 1) \right]^{1/6} m_p \quad n_B = 2 ; \ell_B = 2$	1547	1532
[27]	Ω	$\left[n_B^2 (2\ell_B + 1) \right]^{1/6} m_p \quad n_B = 2 ; \ell_B = 3$	1636	1672
LIGHT BARYONS mass / (MeV/c²)				
[22]	μ	$2^{1/3} (m_p m_{\nu,\mu} m_{\nu,e})^{1/3}$	105.66	105.66
[22]	π	$(1/2) 3^{13/12} (m_p m_{\nu,\mu} m_{\nu,e})^{1/3}$	137.82	134.98 – 139.56
[This Work, 37]	K	$6 \left[\frac{2\sqrt{3}}{3} + \frac{1}{6} \right] (m_p m_{\nu,\mu} m_{\nu,e})^{1/3}$	494.51	497.65
BOSONS mass / (GeV/c²)				
[26]	W^\pm	$2^{1/3} (m_p m_e m_{\nu,e})^{1/3}$	81.74	80.42
[16]	Z	$2^{1/3} (m_p m_e m_{\nu,e})^{1/3}$	91.72	91.19
[19]	H^0	$2 \left(\frac{1 - \alpha/4}{2^{1/2} + 2^{-1}} \right)^{1/6} (m_p m_e m_{\nu,e})^{1/3}$	125.7	125.1 $\alpha = e^2 / \epsilon \hbar \approx 1/137.035$

Table 3: RLM computed masses and experimental masses of composite particles.

4. Conclusions

The main conclusions emerging from the current and previous RLM works [4,8-11,16,17,19,22,25-28,29-32,35,36] are the following:

1. Gravity creates mass [4,8,11,16,17,19,22,25-28,29-32,35,36].
 2. The strong force is relativistic gravitational force between neutrinos [4,8,11,16,17].

3. The weak force is relativistic gravitational force between neutrinos and electrons/positrons [26,29,16,35,36].

4. Quarks are relativistic neutrinos [4,8,11,16,17].

5. Electromagnetism and gravity suffice to describe our universe [4,11].

6. Electrons and positrons catalyze both Chemical Synthesis and Mass Generation reactions [30]. The reasons are different: The catalytic action of e^\pm in chemistry is due to their very high charge to mass ratio. Their catalytic role in physics is due to their very large mass relative to that of neutrinos.

7. The RLM contains no adjustable parameters and predicts the masses of composite particles with an accuracy better than 2% [4,11,26,29,16].

8. It is likely that the Big Bang was created by the violently exothermic baryosynthesis reaction $3\nu_e + e^+ \rightarrow p$ [30]

9. More than 99.99% of visible matter corresponds to the kinetic energy of neutrinos [4,11,30].

10. Most likely there is no dark matter. We postulate its existence because we use Newton's gravitational law without the γ^6 correction. By underestimating the gravitational force, via omission of the γ^6 term, we are led to postulate the existence of undetectable dark matter [4].

11. The relativistic Newton-Einstein equation

$$F = \frac{Gm_1m_2\gamma_1^3\gamma_2^3}{r^2}$$

is in good semiquantitative agreement with general relativity [11,16,17] and describes with great accuracy phenomena from the microcosmos of quarks to the macrocosmos of planets [18] and pulsars.

12. The Lepton number is conserved [4,11], provided we account for those captured in hadron structures.

13. The Hadron number is not conserved [4,11].

14. Parity violation may be connected with our current experimental inability to detect in situ neutrinos involved in weak interaction processes [35,36].

15. Another success of the RLM is that it has predicted [30] the catalytic role of electrons and positrons in the baryogenesis [33]. Indeed, it appears that the baryogenesis experiments associated with e^+e^- annihilation can be interpreted as occurring due the presence of neutrinos which react via the catalytic action of e^+ [30,33].

References

- [1] GRIFFITHS, D., *Introduction to elementary particles*, 2nd ed., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2008.
- [2] TULLY, C. G., *Elementary particle physics in a nutshell*, Princeton University Press, 2011.
- [3] BRAUN-MUNZINGER, P. – STACHEL, J., The quest for the quark-gluon plasma, *Nature*, 448, 2007, 302-309.
- [4] VAYENAS, C. G. – SOUENTIE, S. N.-A., *Gravity, special relativity and the strong force: A Bohr-Einstein-de Broglie model for the formation of hadrons*, Springer, NY 2012.
- [5] EINSTEIN, A., Zür Elektrodynamik bewegter Körper. *Ann. der Physik*, XVII, 17, 1905, 891-921; (English translation) On the electrodynamics of moving bodies (<http://fourmilab.ch/etexts/einstein/specrel/www/>) by G.B. Jeffery and W. Perrett, 1923.
- [6] FRENCH, A. P., *Special relativity*, W. W. Norton and Co., New York 1968.
- [7] FREUND, J., *Special relativity for beginners*, World Scientific Publishing, Singapore 2008.
- [8] VAYENAS, C. G., Mathematical modeling of the structure of protons and neutrons, *Proceedings of the Academy of Athens*, 88A, 2013, 87-114.
- [9] VAYENAS, C. G. – SOUENTIE, S. N. – FOKAS, A., A Bohr-type model of a composite particle using gravity as the attractive force, arXiv:1306.5979v4 [physics.gen-ph], 2014.
- [10] VAYENAS, C. G., Mathematical modeling of mass generation via confinement of relativistic particles, *Journal of Physics*, Conf. Ser. 490, 012084 (2014).
- [11] VAYENAS, C. G. – SOUENTIE, S. – FOKAS, A., A Bohr-type model of a composite particle using gravity as the attractive force, arXiv:1306.5979v4 [physics.gen-ph], *Physica A*, 405, 2014, 360-379.

- [12] SCHWARZ, P. M. – SCHWARZ, J. H., *Special relativity: from Einstein to strings*, Cambridge University Press, Cambridge 2004.
- [13] BOHR, N., *On the constitution of atoms and molecules*, Part I, *Philos Mag*, 26, 1913, 1-25.
- [14] ROLL, P. G. – KROTKOV, R. – DICKE, R.G., The equivalence of inertial and passive gravitational mass, *Annals of Physics*, 26, 3, 1964, 442-517.
- [15] POVH, B. – RITH, K. – SCHOLZ, CH. – ZETSCHKE, F., *Particles and nuclei: an introduction to the physical concepts*, 5th ed., Springer, Berlin – Heidelberg 2006.
- [16] VAYENAS, C. G. – GRIGORIOU, D., Microscopic black-hole stabilization via the uncertainty principle, *J. Physics, Conf. Ser.*, 574, 012059 (1-8), 2015.
- [17] GRIGORIOU, D. P. – VAYENAS, C. G., Schwarzschild geodesics and the strong force, in *Proceedings of the 18th Lomonosov Conference*, in: “Particle Physics at the Year of 25th Anniversary of the Lomonosov Conferences”, in press, 2018.
- [18] FOKAS, A. S. – VAYENAS, C. G. – GRIGORIOU, D., Analytical computation of the Mercury perihelion precession via the relativistic gravitational law and comparison with general relativity, arXiv:1509.03326v1 [gr-qc], 2015.
- [19] FOKAS, A. S. – VAYENAS, C. G. – GRIGORIOU, D. P., On the mass and thermodynamics of the Higgs boson, *Physica A*, 492, 2018, 737-746.
- [20] MOHAPATRA, R. N. et al., Theory of neutrinos: a white paper, *Rept Prog Phys*, 70, 2007, 1757-1867.
- [21] AARTSEN, M. G. ET AL., Measurement of atmospheric neutrino oscillations at 6-56 GeV with IceCube DeepCore, *Phys. Rev. Lett.*, 120, 071801, 2018.
- [22] VAYENAS, C. G. – GRIGORIOU, D. P., Hadronization via gravitational confinement, in: *Proceedings of the 18th Lomonosov Conference*, in: “Particle Physics at the Year of 25th Anniversary of the Lomonosov Conferences”, in press, 2018.
- [23] WHEELER, J. A., Geons, *Phys. Rev.*, 97, 2, 1955, 511-536.
- [24] MISNER, CH. W. – THORNE, K. S. – WHEELER, J. A., *Gravitation*, W. H. Freeman, San Fransisco 1973.
- [25] VAYENAS, C. G. – FOKAS, A. – GRIGORIOU, D., Gravitational mass and Newton’s universal gravitational law under relativistic conditions, *J. Physics, Conf. Ser.*, 633, 012033 (1-5), 2015.
- [26] VAYENAS, C. G. – FOKAS, A. S. – GRIGORIOU, D., On the structure, masses and thermodynamics of the W^\pm bosons, *Physica A*, 450, 2016, 37-48.
- [27] VAYENAS, C. G. – FOKAS, A.S. – GRIGORIOU, D.P., Relations between the baryon quantum numbers of the Standard Model and of the rotating neutrino model, arXiv:1606.09570 [physics.gen-ph], 2016.

- [28] FOKAS, A. S. – VAYENAS, C. G., Computation of masses and binding energies of some hadrons and bosons according to the rotating lepton model and the relativistic Newton equation, *J. Physics: Conf. Ser.*, 738, 1, 012080, 2016.
- [29] FOKAS, A. S. – VAYENAS, C. G., On the structure, mass and thermodynamics of the Z^0 bosons, *Physica A*, 464, 2016, 231-240.
- [30] VAYENAS, C. G. – FOKAS, A. S. – GRIGORIOU, D., Catalysis and autocatalysis of chemical synthesis and of hadronization, *Appl. Catal. B*, 203, 2017, 582-590.
- [31] VAYENAS, C. G. – FOKAS, A. S. – GRIGORIOU, D., Gravitationally confined relativistic neutrinos, *J. Phys., Conf. Ser. (JPCS)*, 888, 012174, 2017.
- [32] VAYENAS, C. G. – GRIGORIOU, D., Hadronization via gravitational confinement, *J. Phys., Conf. Ser. (JPCS)*, 936, 012078, 2017.
- [33] PATRIGNANI, C. and Particle Data Group, Review of Particle Physics, *Chin. Phys. C*, 40, 100001, 2016 and 2017 update.
- [34] BENZIGER, J. B. – MADIX, R. J., The decomposition of formic acid on Ni (100), *Surface Science*, 79, 1979, 394-412.
- [35] VAYENAS, C. G. – GRIGORIOU, D., *Dependence of the cross section for $\bar{\nu}_e e^- \rightarrow \bar{\nu}_e e^-$ scattering on the $\bar{\nu}_e$ gravitational mass*, in preparation, 2018.
- [36] VAYENAS, C. G. – GRIGORIOU, D., *Neutral and charged weak interactions in the Standard Model and in the Rotating Neutrino Model*, in preparation, 2018.
- [37] VAYENAS, C. G. – GRIGORIOU, D., *On the mass and thermodynamics of kaons*, in preparation, 2018.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θερμодυναμική και κατάλυση τής δημιουργίας τής μάζας

Παρουσιάζεται μια επισκόπηση τής τρέχουσας κατάστασης του προτύπου των περιστρεφόμενων λεπτονίων (Rotating Lepton Model, RLM), που περιγράφει τή δομή συνθέτων στοιχειωδών σωματιδίων (άδρονίων και μποζονίων) ακολουθώντας τή μεθοδολογία του προτύπου Bohr για τὸ ἄτομο τοῦ H, ἀλλὰ μὲ τή βαρυτική ἔλξη ὡς κεντρομόλο δύναμη. Τὸ νέο πρότυπο ἐξετάζει τρία περιστρεφόμενα σχετικιστικὰ νετρίνα, ἢ ἓνα περιστρεφόμενο σχετικιστικὸ ζεῦγος e^\pm - νετρίνου, που κινοῦνται σὲ κυκλικὲς τροχιὲς λόγω τής βαρυτικῆς τους ἔλξης. Χρησιμοποιώντας τὴν Εἰδικὴ Σχετικότητα, τὸν βαρυτικὸ νόμο τοῦ Νεύτωνα, τὴν ἀρχὴ τής ἰσοδυναμίας τής ἀδρανειακῆς καὶ τής βαρυτικῆς μάζας, καὶ τὴν ἐξίσωση τοῦ μήκους κύματος de Broglie, ὑπολογίζει κανεὶς πρὸς κατάπληξιν ὅτι οἱ περιστρεφόμενες δομὲς τῶν τριῶν

νετρίνων έχουν τή μάζα και τις άλλες ιδιότητες τών βαρυονίων, ενώ οι δομές τών περιστρεφόμενων ζεύγων e^+ - νετρίνου ή τών περιστρεφόμενων τριάδων e^+e^- - νετρίνου έχουν τή μάζα και τις άλλες ιδιότητες τών W^\pm και Z^0 μποζονίων αντίστοιχα. Το πρότυπο τών περιστρεφόμενων λεπτονίων δείχνει πώς ή βαρύτητα δημιουργεί μάζα και επιτρέπει τόν ύπολογισμό τών μαζών τών άδρονίων και μποζονίων με ακρίβεια τής τάξης του 1% χωρίς καμία προσαρμοζόμενη σταθερά. Επίσης επιτρέπει τόν ύπολογισμό τών βασικών θερμοδυναμικών ιδιοτήτων τών δομών αυτών. Στην παρούσα επισκόπηση συνοψίζεται ή τρέχουσα κατανόηση του μηχανισμού τής άδρονιοποίησης (ή βαρυογένεσης), καθώς και του πολύ σημαντικού καταλυτικού ρόλου τών ήλεκτρονίων και ποζιτρονίων.

Τά αποτελέσματα του RLM δείχνουν ότι ή ισχυρή δύναμη είναι σχετικιστική βαρύτητα μεταξύ νετρίνων, ενώ ή ασθενής δύναμη είναι σχετικιστική βαρύτητα μεταξύ νετρίνων και ήλεκτρονίων ή ποζιτρονίων. Αυτό οδηγεί σε έναν σημαντικά απλούστερο πίνακα στοιχειωδών σωματιδίων σε σχέση με τόν καθιερωμένο πρότυπο (SM) και σε μιá απλούστερη ταξινόμια τών στοιχειωδών συνθέτων σωματιδίων, οι μάζες τών όποιων μπορούν πλέον νά ύπολογισθούν από τις βασικές άρχές τής φυσικής χωρίς καμία άγνωστη σταθερά.

Ένα άλλο σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι οι μέχρι τώρα λογιζόμενες ως τέσσερις (4) δυνάμεις τής φύσης είναι, εξ όσων φαίνεται, μόνον δύο (2), ή βαρύτητα και ό ήλεκτρομαγνητισμός.

Acknowledgements

Sincere thanks are expressed to Professor Athanasios Fokas for invaluable collaboration resulting to ten refereed papers, to my Springer book coauthor Dr. Stamatios Souentie and my coworker Mr. Dimitrios Grigoriou for numerous helpful discussions and technical support, to Professors S. Aretakis, K. Kokkotas and E. Vagenas for extremely helpful comments and discussions, as well as to Mrs. Chryssa Pilisi and Olga Sterghiou for technical support, and to Mrs. Eugenia Saranti for careful editing.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 6ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ 2018

ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΞΕΝΟΥ ΕΤΑΙΡΟΥ

κ. ZDENĚK P. BAŽANT

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΕΔΡΟ

κ. ΑΝΤΩΝΙΟ ΚΟΥΝΑΔΗ

Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ὑποδέχεται σήμερα μὲ ἰδιαίτερη χαρὰ καὶ τιμὴ τὸν κ. Zdeněk Bažant, καθηγητὴ Μηχανικῆς καὶ Γεωυλικῶν τοῦ Πανεπιστημίου Northwestern τῶν ΗΠΑ, τὸν ὁποῖο ἡ Ὀλομέλεια ἐξέλεξε κατὰ τὸ ἔτος 2017 ὡς ξένο ἐταῖρο τῆς στήν Τάξην τῶν Θετικῶν Ἐπιστημῶν.

Ὁ κ. Zdeněk Bažant γεννήθηκε στὴν Πράγα τὸ 1937. Τὶς βασικὲς τοῦ σπουδὲς ὀλοκλήρωσε τὸ 1960 στὸ Τσεχικὸ Τεχνικὸ Πανεπιστήμιο τῆς Πράγας. Τὸ 1963 ἔλαβε τὸ διδακτορικὸ του δίπλωμα ἀπὸ τὴν Τσεχοσλοβακικὴ Ἀκαδημία Ἐπιστημῶν, τὸ δὲ 1973 ἐξελέγη καθηγητὴς στὸ Πανεπιστήμιο Northwestern τῶν ΗΠΑ, στὸ ὁποῖο καὶ ἐξεπὸνήσε τὸ μεγαλύτερο μέρος τοῦ ἐρευνητικοῦ του ἔργου. Στὸ πανεπιστήμιο αὐτό, ὅπου ὑπηρετεῖ μέχρι σήμερα, καθὼς ἐπίσης καὶ σὲ πολλὰ ἄλλα ξένα πανεπιστήμια, ἐδίδαξε μαθήματα τῆς εὐρύτερης περιοχῆς τῆς μηχανικῆς καὶ τῶν γεωυλικῶν. Ἐδημοσίευσε πλῆθος ἐπιστημονικῶν ἐργασιῶν καὶ ἐξέδωσε πολλὰ βιβλία, ἔλαβε ἐπίσης πολλὰ βραβεῖα καὶ ἐπιστημονικὰ διακρίσεις, εἶναι μέλος τῆς Ἐθνικῆς Ἀκαδημίας Μηχανικῶν (NAE) καὶ τῆς Ἐθνικῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν τῶν ΗΠΑ (NAS), τῆς Ἀμερικανικῆς Ἀκαδημίας Τεχνῶν καὶ Ἐπιστημῶν (AAAS), ξένο μέλος τῆς Royal Society, μέλος ξένων ἀκαδημιῶν καὶ κάτοχος τιμητικῶν τίτλων πανεπιστημίων καὶ ἐπιστημονικῶν ἐταιριῶν. Εἶναι ἐπιστημονικὸς ἐκδότης διεθνῶν περιοδικῶν, διετέλεσε πρόεδρος ἐπιστημονικῶν ἐταιριῶν, διοργάνωσε μεγάλα διεθνή ἐπιστημονικὰ συνέδρια

καὶ ἔδωσε πλῆθος προσκεκλημένων διαλέξεων σὲ διεθνή ἐπιστημονικά συνέδρια καὶ πανεπιστήμια. Ἐπίσης ὑπῆρξε ἐπιστημονικὸς ὑπεύθυνος πολλῶν ἐρευνητικῶν προγραμμάτων.

Ὁ κ. Zdeněk Bažant συγκαταλέγεται μεταξύ τῶν πλέον διακεκριμένων ἐπιστημόνων στὸ διεθνὲς στερέωμα τῆς θεωρητικῆς καὶ ἐφαρμοσμένης μηχανικῆς. Ἐγινε διεθνῶς γνωστός, διότι πρῶτος αὐτὸς ἔδωσε ἐπιστημονικὴν ἀνάλυση τοῦ τρόπου κατάρρευσης τὸ 2001 τῶν δίδυμων πύργων στὴ Νέα Ὑόρκη μετὰ τὴν τρομοκρατικὴ ἐνέργεια πτώσεως ἐπάνω τους δύο ἀεροπλάνων. Τὸ θέμα τῆς ἀποψινῆς του ὁμιλίας εἶναι μείζονος πρακτικῆς σημασίας, διότι ἀφορᾷ στὴ σύγχρονη τεχνικὴ ἐξόρυξης φυσικοῦ ἀερίου καὶ πετρελαίου μέσω υδραυλικῆς θραύσεως πετρωμάτων σχιστολίθου.

Κύριε συνάδελφε, ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν εἶναι εὐτυχῆς καλωσορίζοντάς σας ἀπόψε, σᾶς ἀπευθύνει δὲ θερμὲς εὐχὲς γιὰ τὴν ἐπιτυχή συνέχιση τοῦ ἐρευνητικοῦ καὶ γενικώτερα τοῦ ἐπιστημονικοῦ σας ἔργου.

Dear colleague, the Academy of Athens is honored to welcome you tonight, and extends to you warm wishes for the successful continuation of your research and generally speaking your scientific work.

Καὶ τώρα σᾶς καλῶ γιὰ νὰ σᾶς περιβάλω μὲ τὸ διάσημο τοῦ ξένου ἐταίρου τοῦ Ἰδρύματος καὶ νὰ σᾶς ἐπιδώσω τὸ σχετικὸ δίπλωμα.

And now I am inviting you to surround you with the decoration chain medal of the Foreign Fellow of the Academy of Athens and to give you the relevant Diploma.

Τώρα παρακαλῶ τὸν συνάδελφο ἀκαδημαϊκὸ καὶ ὁμότεχνο τοῦ καθηγητῆ κ. Bažant κ. Ἐμμανουὴλ Γδοῦτο ὅπως προσέλθει στὸ βῆμα καὶ παρουσιάσει τὴν προσωπικότητά, τὸ ἐρευνητικὸν καὶ γενικώτερα ἐπιστημονικὸν ἔργον τοῦ νέου ξένου ἐταίρου.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ
κ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΓΔΟΥΤΟ

Ἡ Σύγκλητος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, μετὰ ἀπὸ πρόταση τῆς Τάξεως τῶν Θετικῶν Ἐπιστημῶν, μοῦ ἔκανε τὴν τιμὴ ἀλλὰ καὶ μοῦ ἔδωσε τὴν εὐχαρίστηση νὰ ἀναλάβω τὴν παρουσίαση τοῦ νέου ξένου ἐταίρου τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, τοῦ καθηγητοῦ Μηχανικῆς καὶ Γεωυλικῶν τοῦ Πανεπιστημίου Northwestern τῶν ΗΠΑ κ. Zdeněk P. Bažant. Ὡς ὁμότεχνος καὶ φίλος του ἀποδέχτηκα μὲ ἰδιαίτερη χαρὰ τὴν πρόταση νὰ παρουσιάσω τὴν προσωπικότητα καὶ τὸ ἔργο του κατὰ τὴν ἀποψινὴ ἐπίσημη ὑποδοχὴ του.

1. Βιογραφικὰ στοιχεῖα – θέσεις

Ὁ τιμῶμενος γεννήθηκε στὴν Πράγα τὸ 1937. Τὸ 1960 ἔλαβε τὸ δίπλωμα τοῦ πολιτικοῦ μηχανικοῦ ἀπὸ τὸ Τσεχικὸ Τεχνικὸ Πανεπιστήμιο τῆς Πράγας μὲ τίς ὑψηλότερες ἐπιδόσεις, καθὼς ἦταν πρῶτος στὴν τάξη του κατὰ τὴ διάρκεια τῶν πεντέμισι ἐτῶν τῆς φοίτησής του. Τὸ 1963 ἀναγορεύτηκε ἀριστοῦχος διδάκτωρ στὴν Τεχνικὴ Μηχανικὴ τῆς Τσεχοσλοβακικῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν. Τὸ 1966 ἔλαβε μεταπτυχιακὸ δίπλωμα στὴ θεωρητικὴ φυσικὴ ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Καρόλου τῆς Πράγας καὶ τὸ 1967 ἀνακηρύχθηκε ὑφηγητὴς στὴν περιοχὴ τῶν Κατασκευῶν Σκυροδέματος τοῦ Τσεχικοῦ Τεχνικοῦ Πανεπιστημίου τῆς Πράγας. Διετέλεσε ἐρευνητὴς στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Τορόντο (1967-1968), στὸ Πανεπιστήμιο Berkeley τῆς Καλιφόρνιας (1968-1969), ἀναπληρωτὴς καθηγητὴς στὸ τμήμα Πολιτικῶν Μηχανικῶν τοῦ Πανεπιστημίου Northwestern (1969-1973) καὶ καθηγητὴς στὸ ἴδιο Πανεπιστήμιο ἀπὸ τὸ 1973 μέχρι σήμερα. Ἀπὸ τὸ 1990 κατέχει τὴν ἔδρα Walter Murphy καὶ ἀπὸ τὸ 2002 τὴν ἔδρα McCormick. Ἐπίσης, κατέχει τὴν ἄδεια ἀσκήσεως ἐπαγγέλματος πολιτικοῦ μηχανικοῦ στὴν Πολιτεία τοῦ Illinois τῶν ΗΠΑ.

Εἶναι μέλος τῆς National Academy of Engineering (1996) καὶ τῆς National Academy of Sciences (2002) τῶν ΗΠΑ, καθὼς καὶ τῆς American Academy of Sciences and Arts (2008). Εἶναι ξένο μέλος τῆς Royal Society of London (2015), ἀντεπιστέλλον ξένο μέλος τῆς Αὐστριακῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν (2000), ξένο μέλος τῆς Ἰταλικῆς Ἐθνικῆς Ἀκαδημίας Lincei (2006), ἀντεπιστέλλον ξένο μέλος τῆς Βασιλικῆς Ἰσπανικῆς Ἀκαδημίας Μηχανικῶν (2008), ξένο μέλος τῆς Ἀκαδημίας Μηχανικῶν τῆς Τσεχίας

(1998), τῆς Ἀκαδημίας Lambard τοῦ Μιλάνου (2002) καὶ τῆς Ἀκαδημίας Europaea (2014) καὶ μέλος τῆς Εὐρωπαϊκῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν καὶ Τεχνῶν (2008).

Εἶναι ἐπίτιμος διδάκτωρ τοῦ Τεχνικοῦ Πανεπιστημίου τῆς Τσεχίας (1991), τοῦ Πανεπιστημίου Fridericiana τῆς Γερμανίας (1997), τοῦ Πανεπιστημίου τοῦ Colorado τῶν ΗΠΑ (2000), τοῦ Πολυτεχνείου τοῦ Μιλάνου (2001), τοῦ Ἐθνικοῦ Ἰνστιτούτου Ἐφαρμοσμένων Ἐπιστημῶν τῆς Λυῶν (2004), τοῦ Τεχνικοῦ Πανεπιστημίου τῆς Βιέννης (2005) καὶ τοῦ Πολιτειακοῦ Πανεπιστημίου τοῦ Ohio (2011).

Εἶναι ἐπίτιμο μέλος τῶν Ἀμερικανικῶν Ἐταιρειῶν Πολιτικῶν Μηχανικῶν (2007) καὶ Μηχανολόγων Μηχανικῶν (2012), τοῦ Ἀμερικανικοῦ Ἰνστιτούτου Σκυροδέματος (2011), τῆς RILEM (2015), τῆς Τσεχικῆς Ἐταιρείας Πολιτικῶν Μηχανικῶν (1991), τοῦ Ἐρευνητικοῦ Ἰνστιτούτου Κτιρίων τῆς Ἰσπανίας (1991) καὶ τῶν Τσεχικῶν Ἐταιρειῶν Σκυροδέματος (2005) καὶ Μηχανικῆς (2009).

Ἔχει ἐκλεγεῖ ἐταῖρος τῆς Ἀμερικανικῆς Ἀκαδημίας Μηχανικῆς (1978), τῆς Ἀμερικανικῆς Ἐταιρείας Μηχανικῶν (1977), τῆς RILEM (1977), τῶν Ἀμερικανικῶν Ἐταιριῶν Μηχανολόγων Μηχανικῶν (1989), Πολιτικῶν Μηχανικῶν (1979) καὶ Ὑπολογιστικῆς Μηχανικῆς (2009), τῆς Τσεχοσλοβακικῆς Ἐταιρείας Τεχνῶν καὶ Ἐπιστημῶν (2003), καθὼς καὶ τοῦ Ἰνστιτούτου Μηχανικῆς τῆς Ἀμερικανικῆς Ἐταιρείας Πολιτικῶν Μηχανικῶν (2013).

Ἡ Ἀμερικανικὴ Ἐταιρεία Πολιτικῶν Μηχανικῶν καθιέρωσε τὸ Μετάλλιο Zdeněk P. Bažant (2015) καὶ ἡ Τσεχικὴ Ἐταιρεία Μηχανικῆς, ὁμοῦ μὲ τὸ Τσεχικὸ Πανεπιστήμιο τῆς Πράγας καὶ τὴν Τσεχικὴ Ἀκαδημία Μηχανικῆς, καθιέρωσαν πρὸς τιμὴν του τὸ βραβεῖο Zdeněk P. Bažant.

Διετέλεσε ἐπισκέπτῃς καθηγητῆς στὰ Πανεπιστήμια Berkeley τῆς Καλιφόρνιας (1968-1969, 1978), Stanford (1978) καὶ E.T.H. τῆς Ζυρίχης (1979), στὸ Τεχνολογικὸ Πανεπιστήμιο τῆς Καλιφόρνιας (1979), στὸ Τεχνολογικὸ Ἰνστιτούτο τῆς Μασαχουσέτης (1979), στὸ Τεχνικὸ Πανεπιστήμιο τῆς Βιέννης (1981), στὰ Πανεπιστήμια τοῦ Cape Town (1984), τῆς Ἀδελαΐδος (1985) καὶ τοῦ Τόκιο (1987), στὸ Πολυτεχνεῖο τῆς Μαδρίτης (1992), στὸ Πανεπιστήμιο τῆς Καταλωνίας στὴ Βαρκελώνη (1994, 1999), στὸ Πανεπιστήμιο Lulea τῆς Σουηδίας (1994) καὶ στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Παλέρμο (1998).

Όμιλῆι, πέραν τῆς τσεχικῆς καὶ ἀγγλικῆς γλώσσας, τὴν γαλλικὴν, γερμανικὴν καὶ ρωσικὴν.

2. Τιμητικὲς διακρίσεις – βραβεῖα

Ἐλαβε μεταξύ ἄλλων τὰ ἀκόλουθα βραβεῖα: τὰ μετάλλια Timoshenko (2009), Warner (1997), Nadai (2008) τῆς Ἀμερικανικῆς Ἐταιρείας Μηχανολόγων Μηχανικῶν (2009), τὰ μετάλλια Theodore von Kármán (2005), Newmark (1996), Mindlin (2015), καὶ Maurice Biot (2014) τῆς Ἀμερικανικῆς Ἐταιρείας Πολιτικῶν Μηχανικῶν, καθὼς καὶ τὸ μετάλλιο Prager τῆς Ἀμερικανικῆς Ἐταιρείας Ἐπιστημῶν τοῦ Μηχανικοῦ (1996).

3. Μέλος ἐκδοτικῶν ἐπιτροπῶν – προσκεκλημένος ἐκδότης

Διετέλεσε ἐπιστημονικὸς ἐκδότης τοῦ ἔγκριτου διεθνοῦς κυκλοφορίας περιοδικοῦ *Journal of Engineering Mechanics* τῆς Ἀμερικανικῆς Ἐταιρείας Πολιτικῶν Μηχανικῶν (1988-1994) καὶ μέλος τῆς ἐκδοτικῆς ἐπιτροπῆς τῶν περιοδικῶν *International Journal of Fracture*, *Cement and Concrete Research*, *Materials and Structures*, *Journal of Engineering Mechanics Division* τῆς ASCE, *Applied Mechanics Reviews*, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, *Archive of Applied Mechanics*, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, *Probabilistic Engineering Mechanics*.

Ἐπίσης διετέλεσε πρόεδρος τῆς Ἐταιρείας Ἐπιστημῶν τοῦ Μηχανικοῦ (1988-1994), πρόεδρος καὶ ἰδρυτὴς τῆς Διεθνοῦς Ἐταιρείας Μηχανικῆς τῆς Θραύσεως Κατασκευῶν Σκυροδέματος (1991-1993), πρόεδρος καὶ ἰδρυτὴς τῆς Διεθνοῦς Ἐταιρείας Ἐρπυσμοῦ καὶ Ἀνθεκτικότητος τοῦ Σκυροδέματος (2001-2008), τῆς Ἀμερικανικῆς Ἐπιτροπῆς Μηχανικῆς τῆς Θραύσεως (1985-1992). Προήδρευσε καὶ συμμετείχε σὲ πληθώρα ἐπιστημονικῶν ἐπιτροπῶν ἑταιρειῶν μηχανικῆς καὶ σκυροδέματος εἰς τὸν διεθνή χῶρον καὶ εἰς ΗΠΑ.

4. Ἐπιστημονικὸ – διδακτικὸ ἔργο

Δημοσίευσε περισσότερες ἀπὸ 550 ἐργασίες σὲ ἔγκριτα διεθνή ἐπιστημονικὰ περιοδικά, 52 ἐργασίες ἀνασκοπήσεως καὶ 230 ἐργασίες σὲ πρα-

κτικὰ συνεδρίων. Συνέγραψε, μόνος ἢ μὲ συνεργάτες, 6 βιβλία καὶ ὑπῆρξε ἐπιστημονικὸς ἐκδότης 20 βιβλίων.

Τὸ ἐπιστημονικὸ τοῦ ἔργου ἀναφέρεται στὶς περιοχὲς τῆς Μηχανικῆς, τοῦ Σκυροδέματος, τῶν Γεωειδῶν Ὑλικῶν καὶ Κατασκευῶν. Πιὸ συγκεκριμένα ἀναφέρεται στὴ μηχανικὴ τῶν ὑλικῶν καὶ τῶν κατασκευῶν καὶ τῆ δομικὴ ἀσφάλεια, μὲ ἔμφαση στὴ μηχανικὴ τῆς ἀστοχίας, βλάβης καὶ ἐρπυσμοῦ, τὴν εὐστάθεια τῶν κατασκευῶν, τὴν πεπερασμένη παραμόρφωση, τὸ φαινόμενο μεγέθους καὶ κλιμακώσεως, τὴν πιθανοτικὴ μηχανικὴ, τὴ νανο-μηχανικὴ, τὴ διάχυση καὶ τὰ ὕδροθερμικὰ ἀποτελέσματα, καὶ μὲ ἐφαρμογὲς σὲ σκυρόδεμα, σύνθετα ὑλικά ἀπὸ ἴνες, σκληρὰ κεραμικά, πετρώματα, σχιστόλιθο, ἐδάφη, λεπτὰ φίλμ, ὀστά, χιόνι καὶ θαλάσσιο πάγο. Διακρίθηκε στὶς ἀκόλουθες τέσσερις ἐπιστημονικὲς περιοχὲς, στὶς ὁποῖες ἡ συμβολὴ του ἦταν ἐξέχουσα:

1. Ἀποτέλεσμα τοῦ μεγέθους τῆς κατασκευῆς ἐπὶ τῆς ἀστοχίας καὶ θραύσεώς της,
2. Ἀβεβαιότητα τῆς δομικῆς ἀντοχῆς,
3. Ἐρπυσμὸς, ἀνθεκτικὸτητα καὶ ἀντοχὴ σκυροδέματος, καὶ
4. Εὐστάθεια κατασκευῶν.

Ἐπέβλεψε 57 διδακτορικὲς διατριβὲς καὶ διαθέτει ὑπερπεντηκονταετὴ διδακτικὴ πείρα. Μεταξὺ τῶν μαθημάτων ποὺ δίδαξε περιλαμβάνονται τὰ ἑξῆς: 1. Σταθερότητα κατασκευῶν, 2. Ἀνελαστικὴ ἀνάλυση κατασκευῶν, 3. Ἀστοχία κατασκευῶν σκυροδέματος, 4. Ὁμοιογενὴς ἀστοχία καὶ κλιμάκωση, 5. Μηχανικὴ συνεχῶν μέσων, 6. Δομικὴ ἀνάλυση, 7. Προηγμένη δομικὴ ἀνάλυση, 8. Σχεδιασμὸς κατασκευῶν ὀπλισμένου σκυροδέματος, 9. Σχεδιασμὸς κατασκευῶν προεντεταμένου σκυροδέματος, 10. Ἀνελαστικὸτητα σκυροδέματος, 11. Συμπεριφορὰ ὀπλισμένου σκυροδέματος, 12. Κελύφη ἀπὸ σκυρόδεμα, 13. Ἀνελαστικὴ δομικὴ εὐστάθεια, 14. Ἀρχὲς μοντελοποίησης ὑλικῶν, 15. Μηχανικὴ (στατικὴ καὶ δυναμικὴ), 16. Μηχανικὴ ὑλικῶν, 17. Ἐπιλεγμένα θέματα στὴν ἐπιστῆμη τῶν ὑλικῶν.

5. Ἀναγνώριση ἀπὸ τρίτους ἐρευνητῆς

Οἱ ἐρευνητικὲς του ἐργασίες, δημοσιευθεῖσες σὲ ἔγκριτα διεθνοῦς κυκλοφορίας περιοδικά, ἔχουν τύχει μεγάλης ἀναγνώρισεως, ὀρισμένες μάλιστα ἀπέσπασαν ἰδιαίτερος εὐνοϊκὰ σχόλια ἀπὸ διακεκριμένους διεθνοῦς ἐμβέλειας ὁμότεχνούς του. Ἔχει περισσότερες ἀπὸ 14.000 ἀναφορὲς καὶ

h-index 67 κατὰ τὴ βᾶση δεδομένων ISI καὶ εἶναι ἓνας ἀπὸ τοὺς 100 περισσότερο ἀναφερομένους ἐπιστήμονες σὲ ὅλες τὶς περιοχὲς τῶν μηχανικῶν.

6. Λοιπὴ δραστηριότητα

Ὁ καθηγητὴς Bažant ἔδωσε 89 κεντρικὲς ὁμιλίες, 139 ὁμιλίες κατόπιν προσκλήσεως, 473 παρουσιάσεις σὲ σεμινάρια καὶ 426 παρουσιάσεις σὲ συνέδρια. Διοργάνωσε καὶ προήδρευσε σὲ 14 συνέδρια καὶ ἡμερίδες. Τὸ ἐπιστημονικὸ του ἔργο χρηματοδοτήθηκε μὲ 65 ἐρευνητικὰ προγράμματα ἀπὸ τὸ Ἐθνικὸ Ἰδρυμα Ἐρευνῶν τῶν ΗΠΑ, τὸ Γραφεῖο Ναυτικῆς Ἐρευνας, τὸ Γραφεῖο Ἐρευνας καὶ Τεχνολογίας τῆς Ἀεροπορίας, τὸ Ὑπουργεῖο Ἐνέργειας, τὸ Ὑπουργεῖο Ἀμυνας, τὸ Ἐρευνητικὸ Ἰνστιτοῦτο Ἡλεκτρικῆς Ἐνέργειας, τὴν Ἐπιτροπὴ Προκεχωρημένων Ἐρευνητικῶν Προγραμμάτων καὶ ἀπὸ τὶς ἐταιρεῖες Boeing, Ford, Chrysler, μεταξὺ ἄλλων.

Ὁ καθηγητὴς Bažant συνεργάζεται στενὰ μὲ καθηγητὲς καὶ ἐρευνητὲς ἑλληνικῶν ΑΕΙ (ΕΜΠ, ΔΠΘ), μὲ τοὺς ὁποίους ἔχει ἀπὸ κοινοῦ ἐκπονήσει ἐργασίες, μετασχὼν σὲ διεθνῆ συνέδρια καὶ συμπόσια ποὺ ἔχουν ὀργανωθεῖ στὴν Ἑλλάδα. Πρόσφατα, ὁ κ. Bažant ἔδωσε κεντρικὲς ὁμιλίες στὰ συνέδρια «17th International Conference on Experimental Mechanics» καὶ «14th International Conference on Fracture», τὰ ὁποῖα ὀργάνωσε ὁ ὁμιλῶν στὴ Ρόδο τὸ 2016 καὶ τὸ 2017, ἀντίστοιχα. Ὁ ὁμιλῶν, κατὰ τὴ διάρκειά τῶν ἐπισκέψεών του στὸ Πανεπιστήμιο Northwestern, συνεργάστηκε μὲ τὸν καθηγητὴ Bažant καὶ δημοσίευσαν ἀπὸ κοινοῦ ἐργασία μὲ τίτλο «Size Effect on Fracture of Composite and Sandwich Structures», ἣ ὁποία περιελήφθη στὸ βιβλίον *Major Accomplishments in Composite Materials and Sandwich Structures – An Anthology of ONR Sponsored Research*. Τὴν ἐπιμέλεια τῆς ἐκδόσεως εἶχε ὁ ὁμιλῶν μὲ τὸν καθηγητὴ I. M. Daniel καὶ τὸν δρ. Y. D. S. Rajapakse. Τὸ βιβλίον αὐτὸ κυκλοφόρησε ἀπὸ τὸν ἐκδοτικὸ οἶκο Springer τὸ 2009.

Εὐχαριστῶ.

HYDRAULIC FRACTURING OF SHALE
FOR GAS OR OIL EXTRACTIONΕΙΣΙΤΗΡΙΟΣ ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΞΕΝΟΥ ΕΤΑΙΡΟΥ
κ. ZDENĚK P. BAŽANT

The astonishing recent success of horizontal drilling and hydraulic fracturing (aka fracking, or frac) of gas or oil shale, developed over the past seventy years (with no government funding), has ensured energy independence of the U.S. for the foreseeable future. It altered the world geopolitical situation and caused that (according to Economist) the U.S. satisfies the CO₂ emissions required by the Kyoto Treaty (not signed by the U.S.), while major European countries do not. However, the topology, geometry, evolution, and permeability of the crack system produced hydraulically in the shale are still an enigma limiting the technology potential. Indeed, only about 5% of the gas, rarely up to 15%, gets nowadays extracted from the shale stratum. Expert opinions differ widely and reexamination of fracture mechanics, poromechanics and permeability is needed. While the growth of an isolated hydraulic crack has been clarified, the optimization of fracking is limited by gaps in understanding of the stability of an interacting system of hydraulic cracks, of their branching, spacing and width, of the forces induced by diffusion through shale nanopores, of the poromechanics of damaged solid, and of the permeability of ancient preexisting tectonic cracks. Scientific breakthrough is needed to allow extracting a higher percentage of gas or oil, as well as reducing the environmental footprint and mitigating seismicity.

The lecture begins by a brief overview of the fracking technology. Five recent advances at Northwestern University are then discussed. First, the classical solutions of the critical states of localization instability of a system of cooling or shrinkage cracks in plane strain are described and their transferability to the system of hydraulic cracks is demonstrated. It is concluded that if the hydraulic pressure along the cracks can be made almost uniform, with a steep pressure drop at the front, then the localization instability, which increases the crack separation, can be avoided.

Second, it is shown that, contrary to widespread opinion, the preexisting tectonic shear cracks that arose over the last ~200 million years cannot ex-

plain why the global shale permeability to gas, inferred from the gas production rate at wellhead, is about 10,000-times higher than the gas permeability measured on deep core samples. These tectonic cracks must have gotten closed within <1 million years by secondary creep of shale, whose magnitude is estimated from geological observations. It is shown that the observed halftime of the decay of gas production rate at the wellhead implies the spacing of the frac-induced cracks to be of the order of 0.1 m (and not 10 m, as commonly assumed in oil industry).

Third, the importance of the body forces due to gradients of the pressure of water leak-off or diffusion into shale nanopores is highlighted. These forces, which have been neglected in previous studies, are shown capable of producing extensive lateral branching, as verified by computer simulations based on the new concept of a three-phase homogenized medium consisting of the solid, the nanopore water, and the water in hydraulic cracks of millimeter dimensions. The branching can explain the observed gas production rate without any speculations about preexisting cracks. Analysis of the nano- and micro-pores containing immiscible water, methane and kerogen, with capillary and adsorption stresses, shows that the Biot coefficient of poromechanics of such a medium must be variable and increase strongly in the direction normal to microcracks aligned with preexisting closed natural fractures. This is a feature that helps to explain lateral crack branching.

Fourth, some particular computational challenges are discussed. Due to high confinement, the parallel cracks under near-uniform hydraulic pressure do not localize, as revealed by analysis of the positive definiteness of the second variation of the free energy of the crack system. This analysis would pose prohibitive computational demands, but these demands can be circumvented by certain random perturbations in the computational model. The microplane anisotropic damage constitutive model, coupled with the crack band model, is used to capture the quasibrittle nature of the material.

Fifth and last, it is shown that lateral branching of the hydraulic cracks can be triggered by producing a small initial zone of dense fracturing. It is argued that this must be the outcome of steel casing perforation by shape charges, and is explained by material fragmentation at high compressive strain rates caused by the release of the kinetic energy of the shear strain rate field in forming fragments.

The lecture closes with a discussion of various other ideas on improving the efficiency, including shale comminution near casing perforation by shock waves generated by electric pulsed arc. Finally, spinoffs to deep sequestration of CO₂ and other fluids, and to geothermal energy extraction from hot dry rock, are pointed out.

References

- BAŽANT, Z. P. – SALVIATO, M. – CHAU, V. T. – VISWANATHAN, H. – ZUBELEWICZ, A., Why fracking works, *ASME J. of Applied Mechanics*, 81 (Oct.), 101010-1---101010-10, 14) and 64, 2014, 236-248.
- CHAU, V. T. – BAŽANT, Z. P. – SU, Y., Growth model for large branched three-dimensional hydraulic crack system in gas or oil shale, *Philosophical Transactions of Royal Society, A*, 374 (issue 2078, Oct.), 2016.
- BAŽANT, Z. P. – CHAU, V. T. , Recent advances in global fracture mechanics of growth of large hydraulic crack systems in gas or oil shale: a review, Chapter 13, 2016, 435-460, in: JIN, C. – CUSATIS, G. (eds.), *New Frontiers in Oil and Gas Exploration*, Springer International Publishing, Switzerland, 2016.
- CHAU, V. T. – LI, C. – RAHIMI-AGHDAM, S. – BAŽANT, Z. P., The enigma of large-scale permeability of gas shale: pre-existing or frac-induced? *ASME J. of Applied Mechanics*, 84 (June), 2017, 061008-1--061008-11.
- CHAU, V. T. – BAŽANT, Z. P. – SU, Y., Growth model for large branched 3D hydraulic crack system in gas or oil shale, *Philosophical Transactions of Royal Society, A* 374:20150418 (issue 10, Oct.) (DOI: 10.1098/rsta.2015.0418), 2016.
- SU, Y. – BAŽANT, Z. P. – ZHAO, Y. – SALVIATO, M. – KIRANE, K., Viscous energy dissipation of kinetic energy of particles comminuted by high-rate shearing in projectile penetration, with potential ramification to gas shale, *Int. J. of Fracture*, 193, 1, 2015, 77-85.
- BAŽANT, Z. P. – OHTSUBO, H., Stability conditions for propagation of a system of cracks in a brittle solid, *Mechanics Research Communications*, 4, 5, 1977, 353-366.
- BAŽANT, Z. P. – WAHAB, A. B., Instability and spacing of cooling or shrinkage cracks, *J. of the Engrg. Mech. Div.*, Proc. ASCE, 105, 1979, 873-889.
- LI, CUNBAO – CANER, F. C. – CHAU, V. T. – BAŽANT, Z.P., Spherocylindrical microplane constitutive model for shale and other anisotropic rocks, *J. of the Mechanics and Physics of Solids* 103, 2017, 155-178 (dx.doi.org/10.1016/j.jmps.03.006).

- CHAU, V. – LI, C. – RAHIMI-AGHDAM, S. – BAZANT, Z.P., The enigma of large-scale permeability of gas shale: Pre-existing or frac-induced?, *J. of Applied Mechanics ASME*, 84 (June), 2017, 061008-1--061008-11.
- RAHIMI-AGHDAM, S. – CHAU, V.-T. – LEE, H. – NGUYEN, H. – LI, W.-X. – KARRAB, S. – ROUGIER, E. – VISWANATHAN, H. – SRINIVASAN, G. – BAZANT, Z.P., Branching of hydraulic cracks in gas or oil shale with closed natural fractures: How to master permeability, *Proc. National Academy of Sciences*, 2018, in press.
-

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 15ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ 2018

Η ΟΠΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΤΙΚΩΝ – ΝΕΩΤΕΡΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ
κ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΓΔΟΥΤΟ

Περίληψη

Στήν έργασία αὐτή παρουσιάζονται νεώτερα ἀποτελέσματα γιὰ τὴν ἐφαρμογὴ τῆς ὀπτικῆς μεθόδου τῶν καυστικῶν στὸν πειραματικὸ προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων σὲ προβλήματα ρωγμῶν. Ἐκτίθενται οἱ βασικὲς ἀρχὲς τῆς μεθόδου, ἀναλύονται τὰ ὄρια ἐφαρμογῆς τῆς, εἰσάγεται ἓνας ἐμπειρικὸς συντελεστῆς τριαξονικότητος γιὰ τὴν περιγραφή τοῦ πεδίου τῶν τάσεων καὶ προτείνεται ἡ χρῆση ὀπτικῶς διπλοθλαστικῶν ὑλικῶν γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων. Ἡ μέθοδος τῶν καυστικῶν βασίζεται στὴν ὑπόθεση τῆς ἐπίπεδης ἐντατικῆς κατάστασης στὴν περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς. Ἐν τούτοις, ἡ κατάσταση τῶν τάσεων μεταβάλλεται ἀπὸ ἐπίπεδη παραμορφωσιακὴ πολὺ κοντὰ στὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς σὲ ἐπίπεδη ἐντατικὴ πέραν κάποιας κρίσιμης ἀπόστασης ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς, ἐνῶ στὴν ἐνδιάμεση περιοχὴ ἐπικρατοῦν συνθῆκες τρισδιάστατης ἐντατικῆς κατάστασης. Ἡ καυστικὴ καμπύλη ἀποτελεῖ ἀπεικόνιση ἐπὶ τοῦ πετάσματος ἀναφορᾶς τῆς οὕτως ὀνομαζομένης ἀρχικῆς καμπύλης, ἡ ὁποία βρίσκεται ἐπὶ τοῦ δοκιμίου, καὶ ἐπομένως ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ἐπικρατοῦσα κατάσταση τῶν τάσεων κατὰ μῆκος τῆς ἀρχικῆς καμπύλης. Γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων στὴ μέθοδο τῶν καυστικῶν ἀπαιτοῦνται οἱ τιμὲς τῶν φωτοτασσο-

πτικῶν σταθερῶν. Οἱ τιμές ὅμως αὐτές ἐξαρτῶνται σημαντικὰ ἀπὸ τὴν ἐπικρατοῦσα ἐντατικὴ κατάσταση, ἢ ὅποια εἶναι δυνατόν νὰ εἶναι ἐπίπεδη ἐντατικὴ, ἐπίπεδη παραμορφωσιακὴ ἢ τρισδιάστατη. Τὸ γεγονός αὐτὸ περιπλέκει τὸν προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων. Στὴν ἐργασία αὐτὴ προσδιορίζονται τὰ ὄρια ἐφαρμογῆς τῆς μεθόδου τῶν καυστικῶν γιὰ συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως με βᾶση τὴν παραδοχὴ, ἢ ὅποια ἔχει τεκμηριωθεῖ ἀπὸ ἀναλυτικὲς καὶ πειραματικὲς ἀναλύσεις, ὅτι ἡ ἐντατικὴ κατάσταση γίνεται ἐπίπεδη ἐντατικὴ σὲ ἀποστάσεις μεγαλύτερες τοῦ ἡμίσεος τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς. Γιὰ τὸν χαρακτηρισμὸ τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως στὴν περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς προτείνεται ἡ εἰσαγωγὴ ἑνὸς ἐμπειρικοῦ συντελεστοῦ τριαξονικότητος καὶ προσδιορίζονται οἱ τιμές τῶν φωτοτασεοπτικῶν σταθερῶν συναρτήσῃ τοῦ συντελεστοῦ αὐτοῦ. Τέλος, ἀναπτύσσεται μία μεθοδολογία, βασιζομένη στὴ χρῆση ὀπτικῶς διπλοθλαστικῶν ὑλικῶν, ἢ ὅποια ἐπιτρέπει τὸν προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων ἀνεξαρτήτως τῆς θέσεως τῆς ἀρχικῆς καμπύλης, ἢ ὅποια εἶναι δυνατόν νὰ βρισκεται στὴν περιοχὴ τῆς ἐπίπεδης ἐντατικῆς, τῆς ἐπίπεδης παραμορφωσιακῆς ἢ τῆς τρισδιάστατης ἐντατικῆς κατάστασης.

1. Εἰσαγωγὴ

Οἱ ὀπτικὲς μέθοδοι ἀναλύσεως τῶν τάσεων, ὅπως ἡ φωτοελαστικότητα, ἡ συμβολομετρία, ἡ ὀλογραφία, ἡ μέθοδος *moiré*, ἢ μέθοδος τῶν στιγμάτων ἢ συνδυασμὸς τῶν μεθόδων αὐτῶν ἔχουν χρησιμοποιηθεῖ ἐκτενῶς γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τοῦ ἐντατικοῦ πεδίου σὲ διδιάστατα ἢ τρισδιάστατα σώματα ὑποκείμενα στὴν ἐπιβολὴ στατικῶν ἢ δυναμικῶν φορτίων [1]. Ἡ μέθοδος τῆς φωτοελαστικότητος ἐνεφανίσθη στὶς ἀρχὲς τῆς τριακονταετίας τοῦ 20οῦ αἰῶνα καὶ ἔφθασε σὲ πλήρη ἀκμὴ στὶς δεκαετίες τοῦ 1950 καὶ 1960 [2, 3]. Ἡ μέθοδος βασίζεται στὸ φαινόμενο τῆς προσωρινῆς ἢ τεχνητῆς διπλοθλαστικότητος μὴ κρυσταλλικῶν ὑλικῶν ἢ στὸ οὕτως καλούμενο φωτοελαστικὸ φαινόμενο, τὸ ὁποῖο ἀνεκαλύφθη τὸ 1816 ἀπὸ τὸν Sir David Brewster.

Ἡ φωτοελαστικότητα εἶναι καθιερωμένη μέθοδος καὶ βρῆκε μεγάλες ἐφαρμογὲς στὴν ἀνάλυση προβλημάτων διερευνήσεως ἐντατικῶν καταστάσεων. Οἱ μέθοδοι τῆς ὀλογραφίας, τῆς συμβολομετρίας καὶ τῶν στιγμάτων ἐνεφανίσθησαν μετὰ τὴν ἀνακάλυψη τῶν φωτεινῶν πηγῶν λέιζερ τὸ 1948.

Τὸ φαινόμενο *moiré* τῆς μηχανικῆς συμβολῆς φωτὸς διὰ τῆς ὑπερθέσεως πλεγμάτων γραμμῶν χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά τὸ 1954 ἀπὸ τὸν Dantu γιὰ τὴ μελέτη τῶν μετατοπίσεων καὶ κινήσεων σωμάτων. Ἡ μέθοδος *moiré* βρῆκε πολλές ἐφαρμογές στὴ μελέτη τοῦ πλήρους πεδίου τῶν παραμορφώσεων καὶ τάσεων σὲ σώματα ὑποκείμενα στὴν ἐπιβολὴ φορτίων.

Οἱ ἀνωτέρω ὀπτικές μέθοδοι εἶναι κατάλληλες γιὰ τὴ μελέτη τοῦ πλήρους πεδίου τῶν τάσεων καὶ παραμορφώσεων ἐπιπέδων καὶ τρισδιάστατων σωμάτων ὑποκειμένων σὲ διαφόρους τύπους φορτίσεων. Ἐν τούτοις, ὁ προσδιορισμὸς τοῦ ἐντακτικοῦ πεδίου ἐμφανίζει σημαντικὲς δυσχέρειες ὅταν οἱ μέθοδοι αὐτὲς χρησιμοποιηθοῦν γιὰ τὴν ἀνάλυση προβλημάτων τασικῶν ἀνωμαλιῶν οἱ ὁποῖες ἐμφανίζονται, παραδείγματός χάριν, σὲ προβλήματα ρωγμῶν. Ὁ προσδιορισμὸς τῶν τάσεων στὴν περιοχὴ τῶν ἄκρων ρωγμῶν μὲ χρῆση τῶν ἰσοχρωματικῶν κροσσῶν στὴ μέθοδο τῆς φωτοελαστικότητος παρουσιάζει σοβαρὲς δυσχέρειες [3]. Στὴν περιοχὴ αὕτη ὑπάρχει μεγάλη συγκέντρωση ἰσοχρωματικῶν κροσσῶν λόγῳ τῆς μεγάλης συγκέντρωσής τῶν ἀναπτυσσομένων τάσεων. Γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς ἐντακτικῆς καταστάσεως οἱ μετρήσεις ἐπὶ τῶν ἰσοχρωματικῶν κροσσῶν ὀφείλουν νὰ λαμβάνονται σὲ κρίσιμες ἀποστάσεις μακρὰν τοῦ ἄκρου τῶν ρωγμῶν, ὅπου ἡ ἐπίδραση τῶν τασικῶν ἀνωμαλιῶν καὶ τῶν μὴ γραμμικῶν φαινομένων εἶναι ὅσο τὸ δυνατὸ μικρῆ. Ἐν τούτοις, οἱ μετρήσεις αὐτὲς δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ χρησιμοποιηθοῦν ἐπιτυχῶς γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων, οἱ ὁποῖοι χαρακτηρίζουν τὸ ἐντακτικὸ πεδίο στὴν ἐγγὺς περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῶν ρωγμῶν.

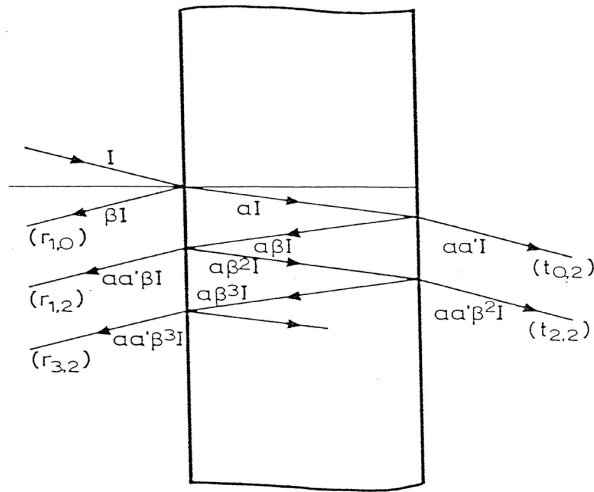
Ἡ ὀπτικὴ μέθοδος τῶν καυστικῶν συνιστᾷ μία ἀπλὴ καὶ εὐχρηστὴ μέθοδο γιὰ τὴν ἀνάλυση προβλημάτων τασικῶν ἀνωμαλιῶν, ὅπως προβλημάτων ρωγμῶν, στὴν ὁποία τὰ δεδομένα λαμβάνονται κοντὰ στὴν περιοχὴ τῆς τασικῆς ἀνωμαλίας. Διὰ φωτισμοῦ τοῦ δοκιμίου ἡ τασικὴ ἀνωμαλία μετατρέπεται σὲ ὀπτικὴ ἀνωμαλία καὶ ἀπεικονίζεται σὲ μία ἐντόνως φωτιζομένη καμπύλη ἐπὶ πετάσματος ἀναφορᾶς, ἢ οὕτως καλουμένη καυστικῆ. Ἡ μέθοδος χρησιμοποιήθηκε πρῶτα ἀπὸ τὸν Manogg [4] γιὰ τὴ μελέτη τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων στὰ ἄκρα δυναμικῶς διαδιδόμενων ρωγμῶν ἐντὸς διαφανῶν δοκιμίων. Οἱ λαμβανόμενες καυστικὲς προέκυψαν ἀπὸ φωτισμὸ τοῦ δοκιμίου ἀπὸ δέσμη διερχομένων ὀπτικῶν ἀκτίνων. Ἡ μέθοδος ἀνεπτύχθη περαιτέρω μὲ τὴ χρῆση φωτεινῶν ἀκτίνων ποὺ ἀνα-

κλώνται από την έμπροσθία ή όπισθία έπιφάνεια του δοκιμίου από τον Theocaris [5]. Η μέθοδος των καυστικών χρησιμοποιήθηκε σε πολλά προβλήματα ρωγμών σε δοκίμια με διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και συνθήκες φορτίσεως. Μεταξύ των προβλημάτων αυτών αναφέρουμε ένδεικτικώς τα ακόλουθα: ρωγμές ύποκειμενες σε μεικτούς τύπους φορτίσεων [6]· διακλαδιζόμενες και άλληλεπιδρώσες ρωγμές [7, 8]· ρωγμές σε έλαστοπλαστικά ύλικά [9, 10]· διεπιφανειακές ρωγμές [11]· ρωγμές ύποκειμενες σε δυσμενείς περιβαλλοντολογικές συνθήκες [12]· δυναμικώς διαδιδόμενες ρωγμές [13, 14]. Μελετήθηκαν επίσης οι καυστικές που δημιουργούνται από τον φωτισμό έπιφανειών οίασδήποτε μορφής, με εφαρμογές σε άξονοσυμμετρικά έλλειψοειδή κάτοπτρα [15], καθώς επίσης και οι καυστικές σε μη ρηγματωμένες πλάκες ύποκειμενες σε κάμψη [16]. Μελέτες ανασκοπήσεως των εφαρμογών τής μεθόδου των καυστικών για τον προσδιορισμό των συντελεστών έντάσεως των τάσεων σε προβλήματα ρωγμών δημοσιεύτηκαν από τους Theocaris [17] και Kalthoff [18].

Στην έργασία αυτή αναπτύσσονται νεώτερες εξελίξεις στην εφαρμογή τής όπτικης μεθόδου των καυστικών για τον προσδιορισμό των συντελεστών έντάσεως των τάσεων σε προβλήματα ρωγμών. Παρουσιάζονται οι βασικές άρχες τής μεθόδου και αναλύονται τα όρια εφαρμογής της. Για τον χαρακτηρισμό τής τριαξονικής καταστάσεως των τάσεων στην περιοχή του άκρου τής ρωγμής εισάγεται ένας έμπειρικός συντελεστής τριαξονικότητας και εκφράζονται οι φωτοτασσοτικές σταθερές του ύλικού συναρτήσει του συντελεστού αυτού. Τέλος, αναπτύσσεται μία μεθοδολογία για τον προσδιορισμό των συντελεστών έντάσεως των τάσεων χωρίς να λαμβάνεται ύπ' όψη ή θέση τής άρχικης καμπύλης με τή χρήση όπτικώς διπλοθλαστικών ύλικών.

2. Ένταση τής όπτικης άκτινοβολίας που προσπίπτει σε διαφανές ύλικό

Φωτεινή άκτινοβολία προσπίπτουσα σε διαφανές ύλικό διέρχεται πολλαπλές φορές διά μέσου του πάχους του (Σχ. 1). Τμήμα τής άκτινοβολίας ανακλάται από την έμπροσθία έπιφάνεια, ένω τμήμα της διέρχεται διά μέσου του δοκιμίου. Η διερχομένη άκτινοβολία συναντᾶ την όπισθία έπιφάνεια του δοκιμίου και τμήμα της ανακλάται, ένω τμήμα της διέρχεται διά τής όπισθίας έπιφάνειας του δοκιμίου. Οι διαδοχικές αυτές ανακλάσεις από



Σχ. 1: Ένταση φωτεινών ακτίνων ανάκλωμένων από την εμπροσθία και όπισθία επιφάνεια και διερχομένων δια διαφανούς δοκιμίου.

τις δύο επιφάνειες επαναλαμβάνονται, ούτως ώστε μία άπειρία φωτεινών ακτίνων αναδύεται από την εμπροσθία και όπισθία επιφάνεια του δοκιμίου.

Το ποσοστό μείωσης της έντασεως της οπτικής ακτινοβολίας είναι το αυτό για κάθε διαδοχική ανάκλαση από την εμπροσθία ή όπισθία επιφάνεια του δοκιμίου, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό διαφέρει για τις εισερχόμενες από την εμπροσθία επιφάνεια ή τις αναδιδόμενες από την όπισθία επιφάνεια του δοκιμίου ακτίνες. Η ένταση της οπτικής ακτινοβολίας των αναδιδόμενων από την εμπροσθία ή όπισθία επιφάνεια του δοκιμίου ακτίνων δίνεται από την Έξίσωση [1]:

$$I_{r,t,k,l} = \beta^k(1-\beta)I, \quad (1)$$

όπου $k = 1, l = 0, 2$ ή $k = 3, 5, 7, \dots, l = 2$ για τις αναδιδόμενες ακτίνες από την εμπροσθία επιφάνεια και $k = 0, 2, 4, \dots$ και $l = 2$ για τις αναδιδόμενες ακτίνες από την όπισθία επιφάνεια του δοκιμίου και I είναι η ένταση της προσπιπτούσης ακτινοβολίας.

Η τιμή του συντελεστού β δίνεται από την Έξίσωση [1]:

$$\beta = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2, \quad (2)$$

όπου n είναι ο δείκτης διαθλάσεως του υλικού του δοκιμίου.

Για $n = 1.5$, τὸ ὁποῖο ἀντιστοιχεῖ προσεγγιστικῶς στοὺς περισσότε-
ρους τύπους ὑάλων καὶ πλαστικῶν, ἡ Ἐξίσωση 2 δίνει $\beta = 0.04$. Ἀπὸ τὴν
Ἐξίσωση 1 λαμβάνουμε τὶς ἐντάσεις τῶν ἀκτίνων ποὺ ἀναδύονται ἀπὸ τὴν
ἐμπροσθία ἐπιφάνεια τοῦ δοκιμίου $I_{r1,0} = 0.04I$, $I_{r1,2} = 0.03686I$, $I_{r3,2} =$
 $0.00006I$ καὶ γιὰ τὶς ἀκτίνες ποὺ ἀναδύονται ἀπὸ τὴν ὀπίσθια ἐπιφάνεια τοῦ
δοκιμίου $I_{i0,2} = 0.92160I$, $I_{i2,2} = 0.00147I$. Ἀπὸ τὶς τιμὲς αὐτὲς συνάγεται
ὅτι μόνον οἱ ἐντάσεις τῶν ἀκτινοβολιῶν $I_{r1,0}$, $I_{r1,2}$ καὶ $I_{i0,2}$ εἶναι ἄξιες θεωρή-
σεως σὲ συνήθεις περιπτώσεις συμβολομετρίας.

3. Φωτοτασεοπτικὲς ἐξισώσεις

Στὸ ἐδάφιο αὐτὸ συνάγονται οἱ φωτοτασεοπτικὲς ἐξισώσεις ποὺ διέ-
πουν τὴ μεταβολὴ τοῦ ὀπτικοῦ δρόμου φωτεινῆς ἀκτίνος ἢ ὁποῖα διέρχεται
τὸ δοκίμιο ἢ ἀνακλᾶται ἀπὸ τὴν ἐμπροσθία ἢ ὀπίσθια ἐπιφάνεια διαφανοῦς
δοκιμίου. Οἱ περιπτώσεις τῆς ἐπιπέδου ἐντατικῆς καὶ ἐπιπέδου παραμορ-
φωσιακῆς κατάστασης ἐξετάζονται χωριστά.

3.1. Ἐπίπεδη ἐντατικὴ κατάσταση

Ἡ μεταβολὴ τοῦ ὀπτικοῦ δρόμου φωτεινῆς ἀκτίνος προσπιπτούσης
καθέτως ἐπὶ διαφανοῦς δοκιμίου κατὰ τὶς διευθύνσεις τῶν κυρίων τάσεων σ_1
καὶ σ_2 δίνεται ἀπὸ τὴν Ἐξίσωση [1]:

$$\Delta s_{1,2} = d\Delta n_{1,2} + (n - n_0)\Delta d \quad (3)$$

ὅπου d εἶναι τὸ πάχος τοῦ δοκιμίου, $n_{1,2}$ ὁ δείκτης διαθλάσεως κατὰ τὶς δι-
ευθύνσεις τῶν κυρίων τάσεων σ_1 καὶ σ_2 ὅταν τὸ ὑλικὸ τελεῖ ὑπὸ καθεστῶς
ἐντατικῆς καταστάσεως, n ὁ δείκτης διαθλάσεως τοῦ ὑλικοῦ τοῦ ἀφορτί-
στου δοκιμίου, καὶ n_0 ὁ δείκτης διαθλάσεως τοῦ περιβάλλοντος τὸ δοκίμιο
μέσου. Δ παριστᾷ τὴ μεταβολὴ τῆς ἀντιστοίχου ποσότητος.

Σύμφωνα μὲ τὸν φωτοτασεοπτικὸ νόμο τῶν Neumann – Maxwell γιὰ
τὴν περίπτωσι γραμμικῆς ἐλαστικῆς συμπεριφορᾶς, ἡ μεταβολὴ τοῦ δείκτη
διαθλάσεως $\Delta n_{1,2}$ λόγῳ φορτίσεως κατὰ τὶς διευθύνσεις τῶν κυρίων τάσεων
 $\sigma_{1,2}$ δίνεται ἀπὸ τὴν Ἐξίσωση [1]:

$$\Delta n_{1,2} = n_{1,2} - n = b_1 \varepsilon_{1,2} + b_2 (\varepsilon_{2,1} + \varepsilon_3) \quad (4)$$

ὅπου b_1 καὶ b_2 εἶναι οἱ τασεοπτικὲς σταθερὲς τοῦ ὑλικοῦ τοῦ δοκιμίου καὶ ε_1 ,
 ε_2 , ε_3 εἶναι οἱ κύριες παραμορφώσεις.

Γιὰ συνθῆκες γενικευμένης ἐντατικῆς κατάστασης ($\sigma_3 = 0$), εἰσάγοντας τὸν νόμο τοῦ Hooke στὶς Ἐξισώσεις 4 λαμβάνουμε:

$$\Delta n_{1,2} = n_1 - n = C_{1,2} \sigma_1 - C_{2,1} \sigma_2 \quad (5)$$

ὅπου:

$$C_1 = \frac{b_1 - 2\nu b_2}{E} \quad C_2 = \frac{b_2 - \nu(b_1 + b_2)}{E} \quad (6)$$

ὅπου ν παριστᾷ τὸν λόγὸ Poisson τοῦ ὑλικοῦ.

Ἡ Ἐξίσωση 4 εἶναι δυνατὸν νὰ τεθεῖ ὑπὸ τῆ μορφῆ:

$$\Delta s_{1,2} = (\alpha_t \sigma_{1,2} + b_t \sigma_{2,1})d, \quad (7)$$

ὅπου:

$$\alpha_t = C_1 - \frac{\nu}{E}(n - n_0), \quad b_t = C_2 - \frac{\nu}{E}(n - n_0). \quad (8)$$

Ἡ Ἐξίσωση 7 εἶναι δυνατὸν νὰ τεθεῖ ὑπὸ τῆ μορφῆ:

$$\Delta s_{1,2} = c_t [(\sigma_1 + \sigma_2) \pm \xi_t (\sigma_1 - \sigma_2)]d, \quad (9)$$

ὅπου:

$$c_t = \frac{\alpha_t + b_t}{2}, \quad \xi_t = \frac{\alpha_t - b_t}{\alpha_t + b_t}, \quad (10)$$

Γιὰ ὀπτικῶς ἰσότροπα ὑλικά ($b_1 = b_2 = b$, $\xi_t = 0$) ἡ Ἐξίσωση 9 λαμβάνει τῆ μορφῆ:

$$\Delta s_{11} = \Delta s_{22} = c_t (\sigma_1 + \sigma_2)d, \quad (11)$$

ὅπου:

$$\alpha_t = b_t = c_t = \frac{1}{E} \left[b(1 - 2\nu) - \nu(n - n_0) \right]. \quad (12)$$

Ἄς θεωρήσουμε τώρα τὴν περίπτωση ὅπου τὸ φῶς προσπίπτει καθέτως ἐπὶ τοῦ δοκιμίου, διέρχεται διὰ μέσου τοῦ πάχους του καὶ ἀνακλάται ἀπὸ τὴν ὀπισθία ἐπιφάνειά του. Ἡ μεταβολὴ τοῦ ὀπτικοῦ δρόμου φωτεινῆς ἀκτίνος κατὰ μῆκος τῶν διευθύνσεων τῶν κυρίων τάσεων δίνεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$\Delta s_{r1,2} = \left[(n_{1,2} - n)d + \left(n - \frac{n_0}{2} \right) \Delta d \right]. \quad (13)$$

Γιὰ συνθήκες γενικευμένης έντατικῆς καταστάσεως ($\sigma_3 = 0$), εισάγοντας τὲς ἐξισώσεις τῶν νόμων Newman – Maxwell καὶ Hooke λαμβάνουμε τὴν Ἐξίσωση:

$$\Delta s_{r1,2} = 2(\alpha_r \sigma_{1,2} + b_r \sigma_{2,1})d, \quad (14)$$

ὅπου:

$$\alpha_r = C_1 - \frac{\nu}{E} \left(n - \frac{n_0}{2} \right), \quad b_r = C_2 - \frac{\nu}{E} \left(n - \frac{n_0}{2} \right). \quad (15)$$

Ἡ Ἐξίσωση 14 εἶναι δυνατόν νὰ τεθεῖ ὑπὸ τὴ μορφή:

$$\Delta s_{r1,2} = 2c_r [(\sigma_1 + \sigma_2) \pm \xi_r (\sigma_1 - \sigma_2)]d, \quad (16)$$

ὅπου:

$$c_r = \frac{\alpha_r + b_r}{2}, \quad \xi_r = \frac{\alpha_r - b_r}{\alpha_r + b_r}, \quad (17)$$

Γιὰ ὀπτικῶς ισότροπα ὑλικά ($b_1 = b_2 = b$, $\xi_r = 0$) ἡ Ἐξίσωση 16 λαμβάνει τὴ μορφή:

$$\Delta s_{r1} = \Delta s_{r2} = 2c_r (\sigma_1 + \sigma_2)d. \quad (18)$$

ὅπου:

$$\alpha_r = b_r = \frac{1}{E} \left[(1 - 2\nu)b - \nu \left(n - \frac{n_0}{2} \right) \right] \quad (19)$$

Τέλος, ἄς θεωρήσουμε τὴν περίπτωση ὀπτικῆς ἀκτίνος ἡ ὁποία προσπίπτει καθέτως ἐπὶ τοῦ δοκιμίου καὶ ἀνακλᾶται ἀπὸ τὴν ἐμπροσθία ἐπιφάνειά του. Ἡ μεταβολὴ τοῦ ὀπτικοῦ δρόμου τῆς ἀκτίνος κατὰ τὲς διευθύνσεις τῶν κυρίων τάσεων σ_1 καὶ σ_2 γιὰ συνθήκες γενικευμένης έντατικῆς καταστάσεως ὀφείλεται μόνο στὴ μεταβολὴ τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου καὶ δίνεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$\Delta s_{r1} = \Delta s_{r2} = c_f (\sigma_1 + \sigma_2)d, \quad c_f = -\nu/E \quad (20)$$

3.2 Ἐπίπεδη παραμορφωσιακὴ κατάσταση

Ἡ μεταβολὴ τοῦ ὀπτικοῦ δρόμου φωτεινῆς ἀκτίνος προσπιπτούσης καθέτως ἐπὶ τοῦ δοκιμίου κατὰ μῆκος τῶν διευθύνσεων τῶν κυρίων τάσεων σ_1 καὶ σ_2 ὑπὸ συνθήκας ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς καταστάσεως ($\varepsilon_3 = 0$, $\sigma_3 = \nu(\sigma_1 + \sigma_2)$) λαμβάνεται ἀπὸ τὴν Ἐξίσωση 4 καὶ τὸν νόμο τοῦ Hooke ὡς ἀκολούθως:

$$\Delta s_{t,2} = (\alpha_t \sigma_{1,2} + b_t \sigma_{2,1})d, \quad (21)$$

όπου:

$$\alpha_t = \frac{1}{E} \left[(1 - 2\nu^2)b_1 - \nu(1 + \nu)b_2 \right], \quad b_t = \frac{1}{E} \left[-\nu(1 + \nu)b_1 - (1 - \nu^2)b_2 \right]. \quad (22)$$

Για άκτινα φωτός που προσπίπτει καθέτως επί του δοκιμίου, διέρχεται διά μέσου του πάχους του και ανακλάται από την όπισθια επιφάνεια του δοκιμίου, ή μεταβολή του όπτικού δρόμου δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta s_{r,2} = (\alpha_r \sigma_{1,2} + b_r \sigma_{2,1})d, \quad (23)$$

όπου:

$$\alpha_r = 2\alpha_t, \quad b_r = 2b_t \quad (24)$$

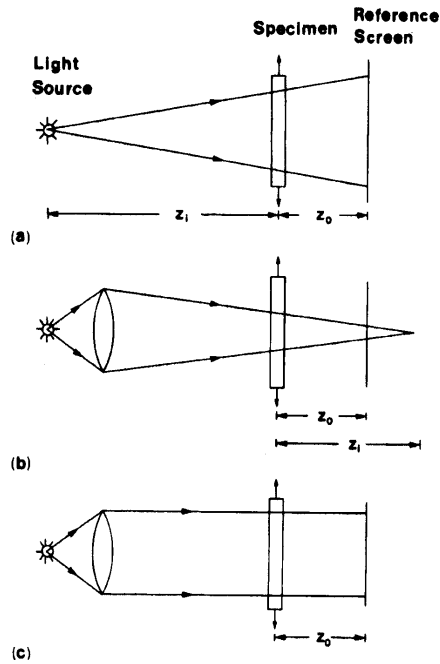
Τελικά, ή μεταβολή του όπτικού δρόμου φωτεινής ακτίνος που ανακλάται από την εμπροσθια επιφάνεια του δοκιμίου υπό συνθήκας επιπέδου παραμορφωσιακής καταστάσεως είναι μηδέν (δεδομένου ότι το πάχος του δοκιμίου δεν μεταβάλλεται).

4. Η όπτική μέθοδος τών καυστικών

Άς θεωρήσουμε επίπεδο δοκίμιο με ρωγμή διά μέσου του πάχους του, τὸ ὁποῖο ὑπόκειται σὲ φορτία κάθετα πρὸς τὸ ἐπίπεδο τῆς ρωγμῆς. Τὸ πεδίο τῶν τάσεων, σ_x , σ_y , τ_{xy} , στὴν ἐγγύς περιοχή τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς δίνεται ἀπὸ τὶς ἀκόλουθες Ἐξισώσεις [19]:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \\ \sigma_y &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \\ \tau_{xy} &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \end{aligned} \quad (25)$$

όπου r , θ εἶναι οἱ πολικὲς συντεταγμμένες με κέντρο τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς καὶ K_I εἶναι ὁ συντελεστὴς ἐντάσεως τῶν τάσεων. Ὁ συντελεστὴς K_I ἐξαρτᾶται



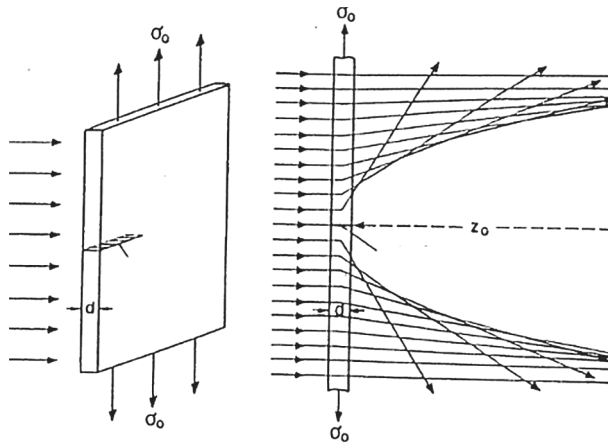
Σχ. 2: Όπτικές διατάξεις στη μέθοδο τῶν καυστικῶν. (a) Ἀποκλίνουσα δέσμη φωτός, (b) συγκλίνουσα δέσμη φωτός, καὶ (c) παράλληλη δέσμη φωτός.

ἀπὸ τὸ μῆκος τῆς ρωγμῆς, τὶς διαστάσεις καὶ τὴ γεωμετρία τοῦ δοκιμίου καὶ τὰ ἐφηρμοσμένα φορτία.

Γιὰ τὴν περίπτωση κεντρικῆς ρωγμῆς μῆκους $2a$ εὐρισκομένης ἐντὸς ἀπείρου ἐπιπέδου πλακῶς ὑποκειμένης σὲ ὁμοιόμορφο φορτίο σ κάθετο στὸ ἐπίπεδο τῆς ρωγμῆς ὁ συντελεστῆς K_I δίνεται ἀπὸ τὴν ἀκόλουθη Ἐξίσωση [19]:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \quad (26)$$

Ὅταν τὸ δοκίμιο ὑπὸ καθεστῶς φορτίσεως φωτιστεῖ μὲ δέσμη φωτὸς (παράλληλη, συγκλίνουσα ἢ αποκλίνουσα) (Σχ. 2), οἱ φωτεινὲς ἀκτίνες ὑφίστανται μεταβολὴ τοῦ ὀπτικοῦ δρόμου τους. Ἡ μεταβολὴ αὕτὴ ὀφείλεται στὴ μεταβολὴ τοῦ πάχους (λόγω τοῦ φαινομένου Poisson) καὶ τοῦ δείκτη διαθλάσεως (λόγω τοῦ φωτοελαστικοῦ φαινομένου) τοῦ δοκιμίου. Στὴν περίπτωση ἀνωμάλων ἐντατικῶν πεδίων, ὅπως γιὰ παράδειγμα στὸ ἄκρο ρωγμῆς, οἱ ἀνακλόμενες ἢ διερχόμενες ὀπτικὲς ἀκτίνες σχηματίζουν μίαν ἐντόνως φωτιζομένη τρισδιάστατη ἐπιφάνεια στὸν χῶρο. Ὅταν ἡ ἐπιφάνεια



Σχ. 3: Καυστική επιφάνεια που σχηματίζεται από τις ακτίνες που διέρχονται διά μέσου διαφανούς δοκιμίου. Όταν η καυστική επιφάνεια τμηθεί με ένα επίπεδο αναφοράς, σχηματίζεται η καυστική καμπύλη.

αυτή τμηθεί με ένα επίπεδο αναφοράς, δημιουργείται η ούτως καλουμένη καυστική καμπύλη ή απλώς καυστική (Σχ. 3). Οι εξισώσεις της καυστικής δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις [17, 18]:

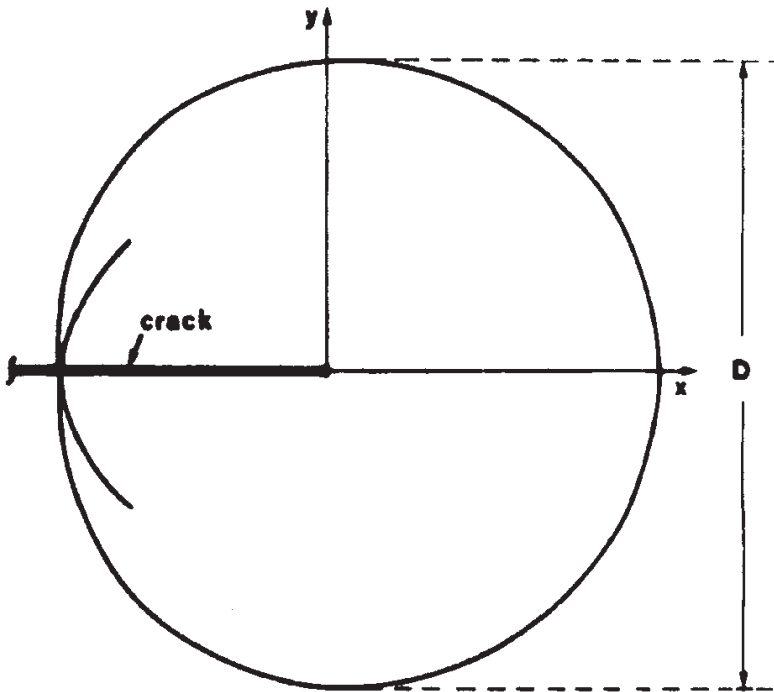
$$x = r_0 \left(\cos \theta + \frac{2}{3} \cos \frac{3\theta}{2} \right) \quad (27)$$

$$y = r_0 \left(\sin \theta + \frac{2}{3} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$$

όπου r_0 είναι η ακτίνα της ούτως καλουμένης αρχικής καμπύλης της καυστικής, ή οποία σχηματίζεται επί του δοκιμίου. Η καυστική αποτελεί την απεικόνιση της αρχικής καμπύλης επί του επιπέδου αναφοράς επί του οποίου σχηματίζεται η καυστική. Η ακτίνα r_0 για την περίπτωση οπτικώς ισοτρόπων υλικών είναι σταθερή (η αρχική καμπύλη είναι κύκλος) και δίνεται από την Έξισωση:

$$r = r_0 = \left(\frac{0.5984 z_0 c d K_I}{m} \right)^{2/5} \quad (28)$$

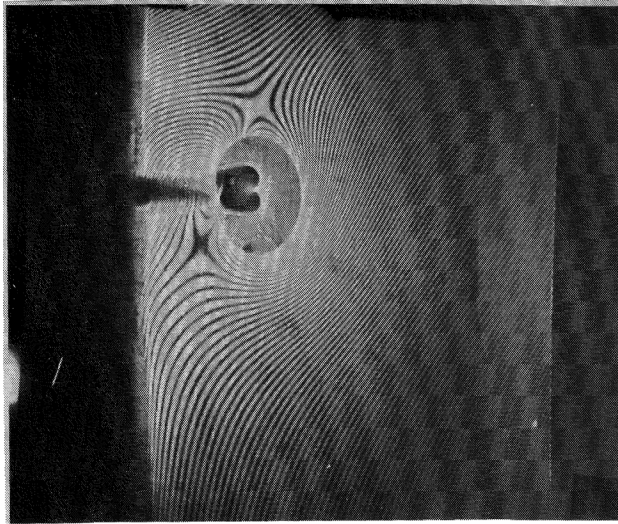
όπου z_0 είναι η απόσταση μεταξύ του δοκιμίου και του επιπέδου αναφοράς επί του οποίου σχηματίζεται η καυστική, c είναι η φωτοτασεοπτική στα-



Σχ. 4: Γεωμετρία τής καυστικής για τον πρώτο τύπο φορτίσεως (φορτία κάθετα στο επίπεδο τής ρωγμής).

θερά τοῦ ὑλικοῦ τοῦ δοκιμίου ὑπὸ συνθήκας ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως (c_t ἢ $2c_r$ γιὰ διερχόμενες ἢ ἀνακλώμενες ἀπὸ τὴν ὀπισθία ἐπιφάνεια τοῦ δοκιμίου ἀκτίνες), d εἶναι τὸ πάχος τοῦ δοκιμίου, m εἶναι ὁ συντελεστὴς μεγεθύνσεως τῆς ὀπτικῆς διατάξεως ὁ ὁποῖος ὀρίζεται ὡς ὁ λόγος ἐνὸς μήκους ἐπὶ τοῦ ἐπιπέδου ἀναφορᾶς στὸ ὁποῖο σχηματίζεται ἡ καυστικὴ διὰ τοῦ ἀντιστοίχου μήκους ἐπὶ τοῦ δοκιμίου, καὶ D εἶναι ἡ ἐγκαρσία διάμετρος τῆς καυστικῆς, ἡ ὁποία περιβάλλει τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς. Στὴν Ἐξίσωση 28 ὑποτίθεται ὅτι ἡ κατάστασις τῶν τάσεων στὴν ἐγγυρὸς περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς εἶναι ἐπίπεδη ἐντατικὴ, οὕτως ὥστε ἡ τιμὴ τῆς φωτοτασεοπτικῆς σταθερᾶς c ἡ ὁποία εἰσέρχεται στὴν ἐξίσωσις αὐτὴ νὰ ἀντιστοιχεῖ σὲ συνθήκας ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως.

Τὸ Σχῆμα 4 παρουσιάζει μίαν σχηματικὴν μορφήν τῆς καυστικῆς, ἡ ὁποία ἔχει τὴν μορφήν ἐπικυκλοειδοῦς καμπύλης. Ἡ πειραματικὴ καυστικὴ ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὶς ἀκτίνες ποὺ ἀνακλῶνται ἀπὸ τὴν ὀπισθία (ἐξω-



(α)

Σχ. 5: Πειραματική καυστική που σχηματίζεται από τις ακτίνες που ανακλώνται από την όπισθία (έξωτερική καμπύλη) και την εμπροσθία (έσωτερική καμπύλη) επιφάνεια διαφανούς δοκιμίου από plexiglas. Οι παρατηρούμενοι κροσσοί δημιουργούνται από την οπτική συμβολή των ανακλωμένων ακτίνων από την όπισθία και εμπροσθία επιφάνεια του δοκιμίου.

τερική καμπύλη) και εμπροσθία (έσωτερική καμπύλη) επιφάνεια δοκιμίου από plexiglas με ρωγμή υποκειμένη σε ομοιόμορφο άξονικό έφελκυστικό φορτίο κάθετο στο επίπεδο της ρωγμής φαίνεται στο Σχήμα 5. Στην περίπτωση διαφανών υλικών σχηματίζονται τρείς καυστικές από τις ακτίνες που ανακλώνται από την εμπροσθία και όπισθία επιφάνεια του δοκιμίου και από αυτές που διέρχονται δια μέσου του δοκιμίου. Συγκεκριμένα δύο καυστικές σχηματίζονται επί πετάσματος τοποθετούμενου εμπρός της εμπροσθίας επιφάνειας του δοκιμίου για τις ανακλώμενες ακτίνες και μία καυστική επί πετάσματος τοποθετούμενου όπισω της όπισθίας επιφάνειας του δοκιμίου για τις διερχόμενες ακτίνες. Στην περίπτωση άδιαφανών δοκιμίων σχηματίζεται μία μόνο καυστική από τις ακτίνες που ανακλώνται από την εμπροσθία επιφάνεια του δοκιμίου.

Από την Έξίσωση 28 λαμβάνεται ο συντελεστής εντάσεως των τάσεων K_{exp} από την ακόλουθη Έξίσωση [17,18]:

$$K_I = \frac{0.0939}{z_0 c t m^{3/2}} D_t^{5/2} \quad (29)$$

Για όπτικῶς ισότροπα ὑλικά, ἡ ἀκτίνα τῆς ἀρχικῆς καμπύλης δίνεται ἀπὸ τὴν ἀκόλουθη Ἐξίσωση [17]:

$$r = 0.316 \text{ m D} \quad (30)$$

5. Ἡ ἐντατικὴ κατάσταση στὴν περιοχὴ ἐγγὺς τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς

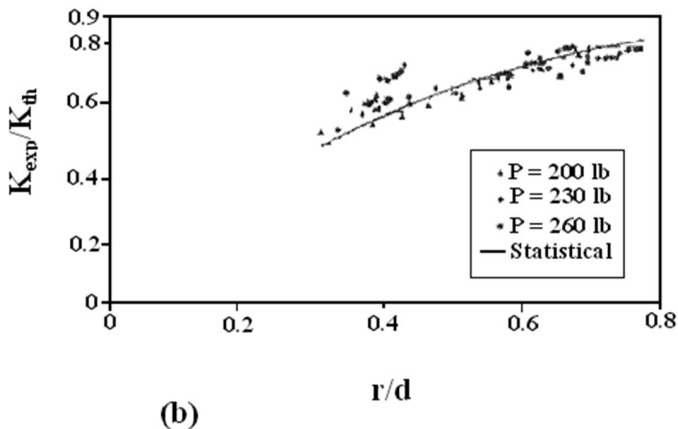
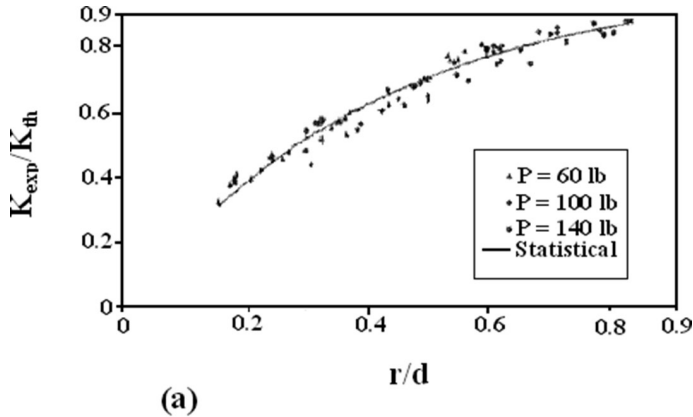
Ἡ ἐντατικὴ κατάσταση στὴν περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς μεταβάλλεται ἀπὸ ἐπίπεδη παραμορφωσιακὴ πολὺ κοντὰ στὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς σὲ ἐπίπεδη ἐντατικὴ, σὲ κάποια κρίσιμη ἀπόσταση ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς. Μεταξὺ τῶν δύο αὐτῶν περιοχῶν ἡ ἐντατικὴ κατάσταση εἶναι τρισιδιάστατη. Τὸ ἀποτέλεσμα αὐτὸ ἔχει τεκμηριωθεῖ ἀπὸ ἐκτεταμένους ἀναλυτικὲς καὶ πειραματικὲς μελέτες. Οἱ Levi et al [20], ἀπὸ τὴν ἀνάλυση τοῦ ἐντατικοῦ πεδίου σὲ ἓνα ἐπίπεδο δοκίμιο πεπερασμένων διαστάσεων μὲ μία εὐθεία ρωγμὴ, χρησιμοποιοῦντας τὴ μέθοδο τῶν πεπερασμένων στοιχείων κατέληξαν στὸ συμπέρασμα ὅτι ἡ κυρία τάση ἢ κάθετη στὸ ἐπίπεδο τοῦ δοκιμίου πλησιάζει τὸ μηδὲν σὲ μία ἀπόσταση ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς ἴση μὲ τὸ ἥμισυ τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου. Τὸ ἀποτέλεσμα αὐτὸ καταδεικνύει ὅτι σὲ ἀποστάσεις ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς μεγαλύτερες τοῦ ἡμίσεος τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου ὑπερισχύουν συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς κατάστασης, ἐνῶ σὲ μικρότερες ἀποστάσεις ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς ἡ ἐντατικὴ κατάσταση εἶναι περίπλοκος καὶ δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ προσεγγιστεῖ ἀπὸ τὶς ἐξιδακνικευμένες καταστάσεις τῆς ἐπιπέδου ἐντατικῆς ἢ τῆς ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς κατάστασης. Οἱ τάσεις μεταβάλλονται διὰ μέσου τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου καὶ ἡ ἐντατικὴ κατάσταση εἶναι τρισιδιάστατος.

Πειράματα ποὺ διεξήχθησαν ἀπὸ τοὺς Rosakis and Ravi-Chandar [21] μὲ χρῆση τῆς ὀπτικῆς μεθόδου τῶν καυστικῶν κατέληξαν στὸ συμπέρασμα ὅτι οἱ συντελεστὲς ἐντάσεως τῶν τάσεων ποὺ ἀντιστοιχοῦν σὲ διαφορετικὲς τιμὲς τῆς ἀκτίνας τῆς ἀρχικῆς καμπύλης τῆς καυστικῆς δὲν ἔχουν σταθερὴ τιμὴ (ὡς ὀφείλαν), ἀλλὰ μεταβάλλονται καὶ προσεγγίζουν μία ὀριακὴ τιμὴ γιὰ ἀποστάσεις τῆς ἀρχικῆς καμπύλης ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς μεγαλύτερες ἀπὸ τὸ ἥμισυ τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου. Στὴν ἀποτίμηση τῶν πειραμάτων αὐτῶν οἱ τιμὲς τῶν φωτοασεοπτικῶν σταθερῶν, οἱ ὁποῖες εἰσέρ-

χονται για τόν υπολογισμό τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων, ἀντιστοιχοῦν στίς τιμές τῶν συντελεστῶν αὐτῶν για ἐπίπεδη ἐντατική κατάσταση. Με βάση τὰ ἀποτελέσματα αὐτὰ οἱ Rosakis and Ravi-Chandar [21] προσδιόρισαν τήν περιοχὴ τῆς τριαξονικότητος τοῦ ἐντατικοῦ πεδίου στήν περιοχὴ ἐγγύς τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς καὶ κατέληξαν στοῦ συμπέρασμα ὅτι ἡ ἐντατικὴ κατάσταση πλησιάζει τήν ἐπίπεδη ἐντατικὴ σὲ ἀποστάσεις ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς μεγαλύτερες ἀπὸ τὸ ἥμισυ τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου. Τὸ πρόβλημα τῆς τρισδιάστατου ἐντατικῆς καταστάσεως στήν περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς μελετήθη διεξοδικῶς ἀπὸ τοὺς Meletis et al. [22] καὶ Konsta-Gdoutos et al. [23]. Οἱ ἀνωτέρω ἐρευνητὲς ἐξετέλεσαν πειράματα σὲ δοκίμια διπλοῦ προβόλου ἀπὸ κράμα ἀλουμινίου 2090 Al με διάφορα πάχη χρησιμοποιώντας τὴ μέθοδο τῶν καυστικῶν. Ἀπὸ τὰ πειράματα αὐτὰ κατέληξαν στοῦ συμπέρασμα ὅτι ἡ ἐντατικὴ κατάσταση κοντὰ στοῦ ἄκρο τῆς ρωγμῆς εἶναι τριαξονικὴ μέχρι μιὰ ὀριακὴ ἀπόσταση ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς, μετὰ τὴν ὁποία γίνεται ἐπίπεδη ἐντατικὴ. Ἡ ὀριακὴ αὐτὴ ἀπόσταση ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸν λόγου τοῦ μήκους τῆς ρωγμῆς πρὸς τὸ πάχος τοῦ δοκιμίου, d , καὶ μεταβάλλεται ἀπὸ d ἕως $0.4d$ για πάχη δοκιμίου 3 mm μέχρι 12.5 mm.

Τὸ Σχῆμα 6 παριστᾶ τὴ μεταβολὴ τοῦ λόγου K_{exp}/K_{th} τοῦ πειραματικοῦ συντελεστοῦ ἐντάσεως τῶν τάσεων, K_{exp} , πρὸς τὸν θεωρητικὸ συντελεστὴ ἐντάσεως τῶν τάσεων, K_{th} , συναρτήσσει r/d (r παριστᾶ τὴν ἀπόσταση ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς) για πάχος δοκιμίου $d = 4.5$, μῆκος ρωγμῆς $a = 15.5$ mm, καὶ πλάτος δοκιμίου $w = 47.5$ mm (Σχ. 6a) καὶ $w = 63$ mm (Σχ. 6b). Τὰ πειραματικὰ σημεῖα στοῦ Σχῆμα 6 ἀντιστοιχοῦν σὲ διαφορετικὰς τιμὰς τοῦ ἐφηρμοσμένου φορτίου, P , τοῦ συντελεστοῦ μεγεθύνσεως τῆς πειραματικῆς διατάξεως, m , καὶ τῆς ἀποστάσεως, z_0 , μετὰξὺ τοῦ δοκιμίου καὶ τοῦ πετάσματος ἀναφορᾶς στοῦ ὁποῖο σχηματίζεται ἡ καυστικὴ. Ἀπὸ τὸ Σχῆμα 6 παρατηροῦμε ὅτι ὁ λόγος K_{exp}/K_{th} αὐξάνει με τὴν αὐξηση τοῦ λόγου r/d καὶ πλησιάζει τὴ μονάδα ὅταν ἡ ἀκτίνα τῆς ἀρχικῆς καμπύλης λάβει μιὰ ὀριακὴ τιμὴ, r_c . Στὴν τιμὴ αὐτὴ $r = r_c$ ἡ ἐντατικὴ κατάσταση στήν περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς γίνεται ἐπίπεδη ἐντατικὴ. Για ἀποστάσεις r μικρότερες ἀπὸ τὴν τιμὴ r_c ἡ κατάσταση τῶν τάσεων εἶναι τριαξονικὴ, ἐνῶ τιμὰς τοῦ r μεγαλύτερες τοῦ r_c ἐπικρατοῦν συνθῆκες ἐπίπεδου ἐντατικῆς καταστάσεως. Κατεδείχθη ὅτι ἡ κρίσιμος τιμὴ τοῦ r για τὴν ὁποία ἡ ἐντατικὴ κατάσταση γίνεται ἐπίπεδη ἐντατικὴ ἐξαρτᾶται ὄχι μόνο ἀπὸ τὸ d , ἀλλὰ καὶ ἀπὸ τὰ γεωμετρικὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ δοκιμίου,

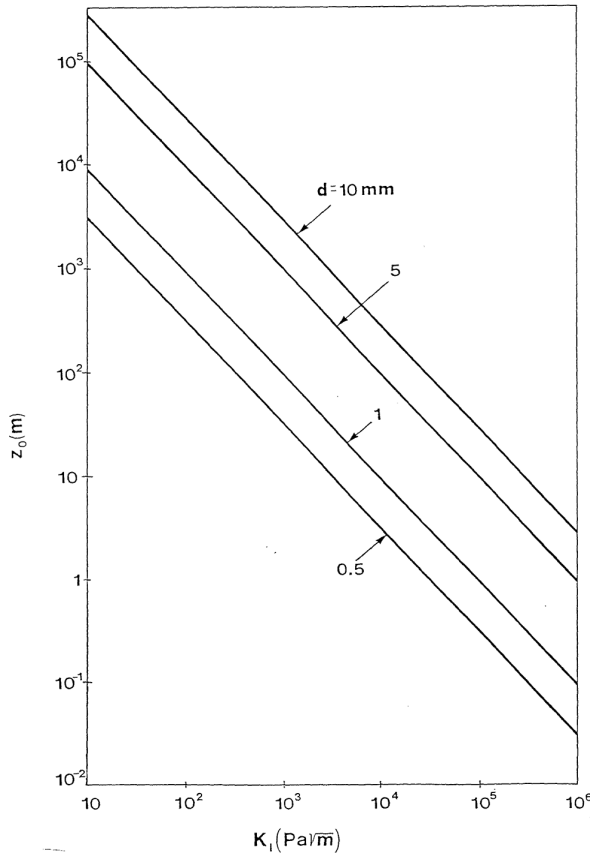
καί ειδικώτερα από τόν λόγο τοῦ μήκους τῆς ρωγμῆς πρὸς τὸ πάχος τοῦ δοκιμίου (a/d).



Σχ. 6: Μεταβολή τοῦ λόγου K_{exp}/K_{th} συναρτήσει τοῦ r/d γιὰ $a = 15.5$ mm, $d = 4.5$ mm καὶ $w = 47.5$ mm (a) καὶ $w = 63$ mm (b) (w παριστᾷ τὸ πλάτος τοῦ δοκιμίου).

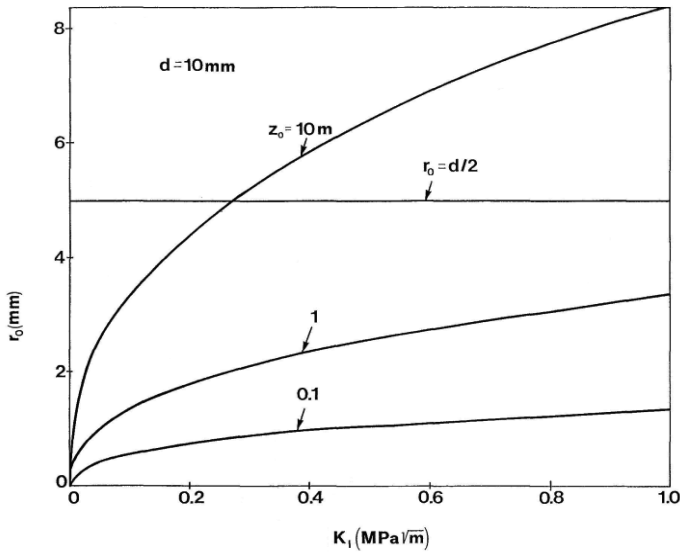
6. Περιοχὴ ἐφαρμογῆς τῆς μεθόδου τῶν καυστικῶν

Ἡ συνθήκη ὅτι ἡ ἀρχικὴ καμπύλη τῆς καυστικῆς ὀφείλει νὰ βρῆσκειται σὲ ἀποστάσεις ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς μεγαλύτερες κάποιου κλάσματος τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου εἰσάγει περιορισμοὺς στὶς διαφόρους παραμέτρους



Σχ. 7: Μεταβολή τῆς μεγίστης τιμῆς τοῦ z_0 συναρτῆσει τοῦ K_I γιὰ παράλληλο φῶς μὲ $d = 0.5, 1.0, 5.0$ καὶ 10.00 mm.

(ἀπόσταση μεταξύ τοῦ δοκιμίου καὶ τῆς ὀθόνης ἀναφορᾶς ἐπὶ τῆς ὁποίας σχηματίζεται ἡ καυστική, συντελεστῆς μεγεθύνσεως τῆς πειραματικῆς διατάξεως, διαστάσεις δοκιμίου καὶ πάχος του, ἐφηρμοσμένα φορτία), οἱ ὁποῖες εἰσέρχονται στὸν προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων [24-26]. Οἱ παράγοντες αὐτοὶ πρέπει νὰ ἐπιλεγοῦν καταλλήλως, οὕτως ὥστε ἡ ἀρχικὴ καμπύλη τῆς καυστικῆς νὰ βρισκεται στὴν περιοχὴ ὅπου ἐπικρατοῦν συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως. Στὴν περίπτωσι αὐτῇ οἱ τιμές τῶν φωτοτασεοπτικῶν σταθερῶν οἱ ὁποῖες ἀντιστοιχοῦν σὲ συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως πρέπει νὰ χρησιμοποιηθοῦν γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων.

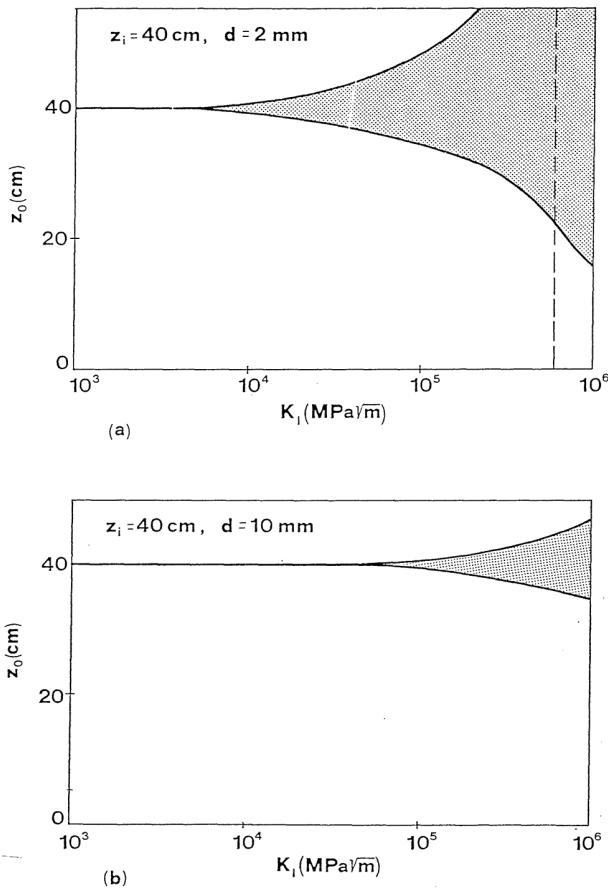


Σχ. 8: Μεταβολή του r_0 συναρτήσει του K_I για παράλληλο φῶς. $d = 10$ mm, $z_0 = 0.1, 1$ και 10 m.

Λαμβάνοντας την ακτίνα τῆς ἀρχικῆς καμπύλης μεγαλύτερη τοῦ ἡμίσεος τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου καταλήγουμε στὴν ἀκόλουθη σχέση:

$$\left(\frac{3.385z_0cK}{m} \right)^{2/3} > d \quad (31)$$

Ἡ ἀνισότητα (31) καθιερώνει μίαν συνθήκη τὴν ὁποία ὀφείλουν νὰ ἐκανοποιοῦν οἱ ποσότητες z_0 , c , K_I , m , d προκειμένου οἱ καυστικές νὰ δημιουργοῦνται ἀπὸ ἀρχικὲς καμπύλες, οἱ ὁποῖες βρίσκονται στὴν περιοχή ὅπου ἐπικρατοῦν συνθήκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως. Τὸ Σχῆμα 7 παριστᾶ τὴ μεταβολὴ τῆς μεγίστης τιμῆς τοῦ z_0 συναρτήσει τοῦ K_I γιὰ παράλληλο φῶς σὲ δοκίμιο plexiglas μὲ $d = 0.5, 1.0, 5.0$ καὶ 10.00 mm. Ἡ καυστικὴ δημιουργεῖται ἀπὸ τὶς διερχόμενες ἀκτίνες φωτὸς ($c_i = 1.08 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ N}^{-1}$). Τὸ Σχῆμα 8 παριστᾶ μὲ μεταβολὴ τοῦ r_0 συναρτήσει τοῦ συντελεστοῦ ἐντάσεως τῶν τάσεων, K_I , γιὰ δοκίμιο μὲ ρωγμὴ ἀπὸ plexiglas μὲ πάχος $d = 10$ mm, τὸ ὁποῖο φωτίζεται ἀπὸ παράλληλο δέσμη φωτὸς. Ἡ καυστικὴ δημιουργεῖται ἀπὸ τὶς ἀκτίνες φωτὸς οἱ ὁποῖες διέρχονται διὰ μέσου τοῦ δοκιμίου καὶ ἡ ὀθόνη ἀναφορᾶς ἐπὶ τῆς ὁποίας σχηματίζεται ἡ



Σχ. 9: Όρια εφαρμογής τής μεθόδου τών καυστικών για αποκλίνουσα δέσμη φωτός με $z_i = 40$ cm, $d = 2$ mm (a) και 10 mm (b).

καυστική τοποθετείται σε αποστάσεις $z_0 = 0.1, 1$ και 10 m από το δοκίμιο. Ο συντελεστής K_I μεταβάλλεται μέχρι 1 MPa√m, που αντιστοιχεί στην κρίσιμη τιμή του συντελεστοῦ αὐτοῦ για plexiglas. Στὸ αὐτὸ Σχῆμα ἐμφαίνεται ἡ γραμμὴ $r_0 = d/2$. Παρατηροῦμε ὅτι τὸ r_0 αὐξάνει ὅσο τὰ K_I καὶ z_0 ἐπίσης αὐξάνουν. Μόνο γιὰ τὸ τμῆμα τῶν καμπύλων ποὺ βρίσκονται ὑπεράνω τῆς εὐθείας $r_0 = d/2$, ἡ ἀκτῖνα τῆς ἀρχικῆς καμπύλης r_0 βρίσκεται στὴν περιοχὴ ὅπου ἐπικρατοῦν συνθήκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως. Παρατηροῦμε ὅτι ἡ περιοχὴ ἰσχύος τῆς μεθόδου τῶν καυστικῶν ὑπὸ συνθήκας ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως αὐξάνει μετὴν αὐξήση τῶν K_I καὶ z_0 . Τε-

λικά, τὸ Σχῆμα 9 παρουσιάζει τὰ ὄρια ἐφαρμογῆς τῆς μεθόδου τῶν καυστικῶν γιὰ δέσμη συγκλίνοντος φωτὸς μὲ $z_i = 40 \text{ cm}$, $d = 2 \text{ mm}$ (a) καὶ 10 mm (b). Παρατηροῦμε ὅτι ὅσο τὸ πάχος τοῦ δοκιμίου αὐξάνει τόσο τὰ ὄρια ἐφαρμογῆς τῆς μεθόδου τῶν καυστικῶν ἐλαττώνονται.

7. Συντελεστὴς τριαξονικότητας

Ὅταν ἡ ἀρχικὴ καμπύλη τῆς καυστικῆς βρίσκεται στὴν περιοχὴ ὅπου ἐπικρατοῦν συνθῆκες τρισδιάστατου ἐντατικῆς καταστάσεως, ἡ κατάλληλος τιμὴ τῆς φωτοτασεοπτικῆς σταθερᾶς, c , γιὰ τὸν ὀρθὸ ὑπολογισμό τοῦ συντελεστοῦ ἐντάσεως τῶν τάσεων πρέπει νὰ χρησιμοποιηθεῖ. Ἡ τιμὴ αὐτὴ μεταβάλλεται μεταξὺ τῆς τιμῆς ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ συνθῆκες ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς καταστάσεως κοντὰ στὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς καὶ τῆς τιμῆς ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως σὲ ἀποστάσεις μεγαλύτερες ἀπὸ κάποια κρίσιμη ἀπόσταση ἀπὸ τὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς. Ὅπως ἀνεφέρθη προηγουμένως, ἡ κρίσιμη ἀπόσταση πέραν τῆς ὁποίας ἐπικρατοῦν συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως εἶναι ἴση προσεγγιστικῶς μὲ τὸ ἥμισυ τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου. Προκειμένου νὰ χαρακτηρίσουμε τὴν τρισδιάστατη ἐντατικὴ κατάσταση ἢ ὁποία ἐπικρατεῖ στὴν περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς, εἰσάγουμε ἕναν ἐμπειρικὸ συντελεστὴ τριαξονικότητας, k , ἀπὸ τὴν Ἐξίσωση

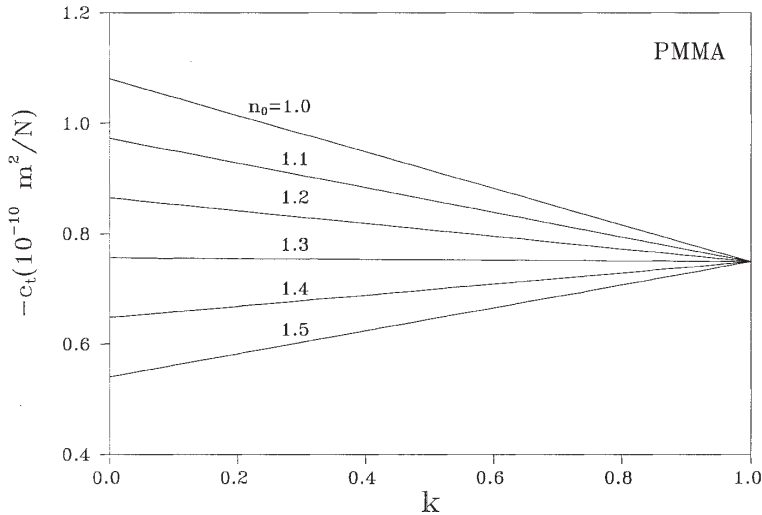
$$\sigma_z = k\nu(\sigma_x + \sigma_y) \quad (32)$$

ὅπου σ_z εἶναι ἡ ὀρθὴ τάση κάθετη στὸ ἐπίπεδο τοῦ δοκιμίου, καὶ σ_x καὶ σ_y εἶναι οἱ ἐπίπεδες ὀρθές τάσεις. Ὁ συντελεστὴς τριαξονικότητας k λαμβάνει τιμὲς μεταξὺ 0 καὶ 1 γιὰ συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως ($\sigma_z = 0$) καὶ ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς κατάστασης [$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$], ἀντίστοιχα.

Μὲ βάση τὴν Ἐξίσωση 32 οἱ φωτοτασεοπτικὲς σταθερές α_i καὶ β_i γιὰ φωτεινὲς ἀκτίνες ποὺ διέρχονται διὰ μέσου τοῦ δοκιμίου δίνονται ἀπὸ τὶς ἀκόλουθες ἐξισώσεις:

$$\alpha_i = \frac{1}{E} \left[(1 - k\nu^2) b_1 - \nu [2 - k(1 - \nu)] b_2 \right] + (n - n_0) \nu (k - 1) \quad (33)$$

$$\beta_i = \frac{1}{E} \left[-\nu(1 + k\nu) b_1 + (1 - \nu)(1 + \nu k) b_2 + (n - n_0) \nu (k - 1) \right]$$



Σχ. 10: Μεταβολή του φωτοτασεοπτικού συντελεστοῦ c_t συναρτήσει του συντελεστοῦ τριαξονικότητος k για PMMA για διάφορες τιμές του δείκτη διάθλασης n_0 του περιβάλλοντος τὸ δοκίμιο μέσου. Οἱ τιμές $k = 0$ και $k = 1$ ἀντιστοιχοῦν σὲ συνθήκες ἐπιπέδου ἐντατικής και ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς καταστάσεως, ἀντίστοιχα.

ἐνῶ γιὰ ὀπτικές ἀκτίνες ποὺ ἀνακλῶνται ἀπὸ τὴν ὀπισθία ἐπιφάνεια τοῦ δοκιμίου οἱ φωτοτασεοπτικές σταθερές α_r και β_r δίνονται ἀπὸ τὶς ἀκόλουθες ἐξισώσεις:

$$\alpha_r = \frac{1}{E} \left[(1 - kv^2) b_1 - v[2 - k(1 - v)] b_2 + \left(n - \frac{n_0}{2} \right) v(k - 1) \right] \quad (34)$$

$$\beta_r = \frac{1}{E} \left[-v(1 + kv) b_1 - (1 - v)(1 + vk) b_2 + \left(n - \frac{n_0}{2} \right) v(k - 1) \right]$$

Ὄταν προσδιοριστεῖ ὁ συντελεστὴς τριαξονικότητος k , ὑπολογίζονται οἱ τιμές τῶν φωτοτασεοπτικῶν σταθερῶν α_r , β_r ἢ α_r , β_r και ἐπομένως ἡ τιμὴ τῆς φωτοτασεοπτικῆς σταθερᾶς, c , (c_t ἢ c_r), ἡ ὁποία ἐν συνεχείᾳ χρησιμοποιεῖται γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τοῦ συντελεστοῦ ἐντάσεως τῶν τάσεων K_r . Τὸ Σχῆμα 10 παριστᾷ τὴ μεταβολὴ τοῦ φωτοτασεοπτικοῦ συντελεστοῦ c_t γιὰ δέσμη φωτὸς ποὺ διέρχεται διὰ μέσου τοῦ δοκιμίου γιὰ plexiglas (PMMA)

συναρτήσει τῆς τιμῆς τοῦ k , ἡ ὁποία μεταβάλλεται ἀπὸ τὴν τιμὴν ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ συνθήκας ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως ($k = 0$) στὴν τιμὴν ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ συνθήκας ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς καταστάσεως ($k = 1$) γιὰ διάφορες τιμὲς τοῦ δείκτη διαθλάσεως n_0 τοῦ περιβάλλοντος τὸ δοκίμιο μέσου. Παρατηροῦμε ὅτι ὁ συντελεστὴς c_i μεταβάλλεται γραμμικὰ μὲ τὸ k . Ἀπὸ τὸ Σχῆμα 10 συνάγεται ὅτι ὁ συντελεστὴς c_i παραμένει σχεδὸν σταθερὸς γιὰ $n_0 = 1.3$. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι, ὅταν ὁ δείκτης διαθλάσεως τοῦ περιβάλλοντος τὸ δοκίμιο μέσου n_0 εἶναι ἴσος μὲ 1.3, τότε ὁ φωτοτασσοπτικὸς συντελεστὴς c_i εἶναι ἀνεξάρτητος τῆς ἐπικρατούσης ἐντατικῆς καταστάσεως στὴν περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς. Ὑπὸ αὐτὰς τὰς συνθήκας ἡ Ἐξίσωση 29 εἶναι δυνατὸ νὰ χρησιμοποιηθεῖ χωρὶς κανέναν περιορισμὸ γιὰ τὸν ἀκριβῆ ὑπολογισμὸ τοῦ συντελεστῆ ἐντάσεως τῶν τάσεων K_I .

8. Χρῆση ὀπτικῶς ἀνισοτρόπων ὑλικῶν

Σὲ ὀπτικῶς ἀνισότροπα ὑλικά ἡ μεταβολὴ τοῦ ὀπτικοῦ δρόμου φωτεινῆς ἀκτίνος, ἡ ὁποία διέρχεται διὰ μέσου τοῦ δοκιμίου ἢ ἀνακλᾶται ἀπὸ τὴν ὀπίσθια ἐπιφάνειά του κατὰ μῆκος τῶν κυρίων διευθύνσεων, δίνεται ἀπὸ τὴν Ἐξίσωση 9 ἢ 16. Ὑπὸ αὐτὰς τὰς συνθήκας οἱ παραμετρικὲς ἐξισώσεις τῆς καυστικῆς δίνονται ἀπὸ τὶς ἀκόλουθες ἐξισώσεις [27]:

$$X_{r,t} = \left(\frac{3}{2} C_{r,t} \right)^{2/5} \left[A^{2/5} \cos \theta + \frac{2}{3} A^{-3/5} + \left\{ (\cos 3\theta/2) \pm \frac{3}{4} \xi_{r,t} \sin 2\theta \right\} \right] \quad (35a)$$

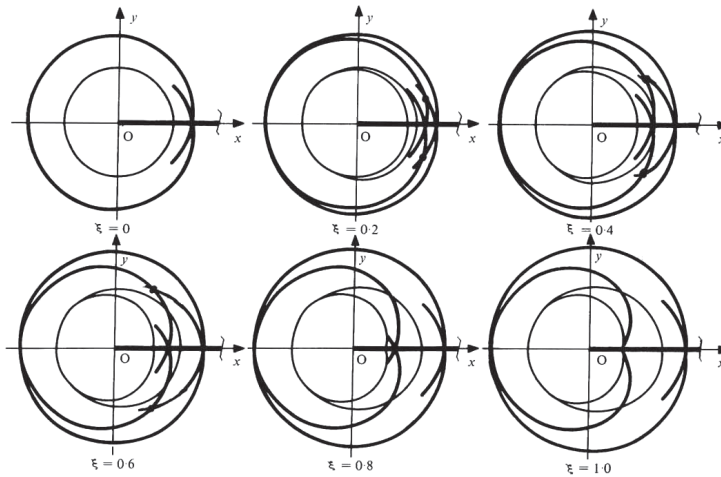
$$Y_{r,t} = \left(\frac{3}{2} C_{r,t} \right)^{2/5} \left[A^{2/5} \sin \theta + \frac{2}{3} A^{-3/5} + \left\{ (\sin 3\theta/2) \pm \frac{1}{4} \xi_{r,t} (1 + 3\cos 2\theta) \right\} \right] \quad (35b)$$

ὅπου:

$$A = \pm \frac{1}{4} \xi_{r,t} \sin \theta + \left[1 \pm \frac{1}{4} \xi_{r,t} \left\{ (7\sin \theta/2 + (\sin 3\theta/2)) \right\} + \frac{1}{32} \xi_{r,t}^2 (25 + 9\cos 2\theta) \right]^{1/2} \quad (36)$$

$$C_{r,t} = \frac{\epsilon z_0 d c_{r,t} K_I}{(2\pi)^{1/2}} \quad (37)$$

Ἡ ἐξίσωση τῆς ἀρχικῆς καμπύλης τῆς καυστικῆς δίνεται ἀπὸ τὴν ἀκόλουθη ἐξίσωση:



Σχ. 11: Αρχικές καμπύλες και αντίστοιχες καυστικές σέ επίπεδο σώμα με ρωγμή από διπλοθλαστικά υλικά με $\xi = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ και 1.0 .

$$r = r_0 = \left\{ \frac{3}{2} C_{r,t} A \right\}^{2/5} \quad (38)$$

Οι Έξισώσεις 35 εκφράζουν τις εξισώσεις τής καυστικής καμπύλης για όπτικως ανισότροπα υλικά. Λαμβάνονται δύο καυστικές οι όποιες σχετίζονται με τὸ συν και τὸ πλὴν σημείο τῶν εξισώσεων, και ἀντιστοιχοῦν στις δύο διευθύνσεις τῶν κυρίων τάσεων σ_1, σ_2 . Παρατηροῦμε ὅτι για $\xi_{r,t} = 0$ οί Έξισώσεις 35 και 36 ἀνάγονται στις εξισώσεις τής καυστικής για όπτικως ισότροπα υλικά. Τὸ Σχῆμα 11 παριστᾶ τις ἀρχικές καμπύλες και τις ἀντίστοιχες καυστικές σέ επίπεδα σώματα με ρωγμές πὸν ὑπόκεινται σέ ἐφελκυστικά φορτία ἀπὸ διπλοθλαστικά υλικά με $\xi = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ και 1.0 . Παρατηροῦμε ὅτι ὅσο αὐξάνει τὸ ξ τόσο τὸ σχῆμα τῶν ἀρχικῶν καμπύλων και τῶν καυστικῶν ἀποκλίνει ἀπὸ αὐτὰ πὸν ἀντιστοιχοῦν σέ όπτικως ισότροπα υλικά. Ἐπίσης, ἡ ἀπόσταση μεταξύ τῶν δύο καυστικῶν αὐξάνει. Ἡ τιμὴ τοῦ ξ (ξ_r ἢ ξ_t) μεταβάλλεται με τὸν συντελεστὴ τριαξονικότητας k . Ἡ τιμὴ αὐτὴ τοῦ ξ μπορεῖ νὰ προσδιοριστεῖ ἀπὸ τὴν ἀπόκλιση τῶν δύο καυστικῶν και νὰ χρησιμοποιηθεῖ ἐν συνεχείᾳ για τὸν προσδιορισμὸ τοῦ συντελεστοῦ τριαξονικότητας k . Τοῦτο ὀδηγεῖ στὸν προσδιορισμὸ τής φωτοτασεόπτικης σταθερᾶς c , και ἐν συνεχείᾳ στὸν ὑπολογισμὸ τοῦ συντελεστοῦ ἐντάσεως τῶν τάσεων, K_r .

9. Συμπεράσματα

Στήν έργασία αὐτή παρουσιάστηκαν οἱ βασικὲς ἀρχὲς τῆς ὀπτικῆς μεθόδου τῶν καυστικῶν καὶ ἀνεπτύχθησαν νεώτερα ἀποτελέσματα γιὰ τὴν ἀποτελεσματικώτερη ἐφαρμογὴ τῆς μεθόδου στὸν πειραματικὸ προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων προβλημάτων ρωγμῶν. Γιὰ τὸν ἀκριβῆ ὑπολογισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων ὀφείλει νὰ διαπιστωθεῖ ὅτι ἡ ἀρχικὴ καμπύλη τῆς καυστικῆς βρίσκεται στὴν περιοχὴ ὅπου ἐπικρατοῦν συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως. Τοῦτο ἐπιτρέπει τὴ χρησιμοποίησι τῆς ἀντιστοίχου τιμῆς τῆς φωτοτασεοπτικῆς σταθερᾶς. Τὰ ὅρια ἐφαρμογῆς τῆς μεθόδου ἐπηρεάζονται ἀπὸ τὶς τιμὲς τῶν ἐφηρμοσμένων φορτίων, τῶν ἰδιοτήτων τοῦ ὑλικοῦ, τῶν διαστάσεων τῆς ὀπτικῆς διατάξεως, τοῦ μήκους τῆς ρωγμῆς, τοῦ πάχους καὶ τῶν διαστάσεων τοῦ δοκιμίου. Γιὰ τὸν χαρακτηρισμὸ τοῦ τριδιαστάτου χαρακτήρος τοῦ ἐντατικοῦ πεδίου στὴν περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς εἰσήχθη ἕνας ἐμπειρικός συντελεστὴς τριαξονικότητος καὶ παρουσιάστηκαν οἱ ἐξισώσεις τῶν φωτοτασεοπτικῶν σταθερῶν συναρτήσῃ τοῦ συντελεστοῦ αὐτοῦ. Ἡ χρῆσι ὀπτικῶς διπλοθλαστικῶν ὑλικῶν ὀδηγεῖ στὸν προσδιορισμὸ τοῦ συντελεστοῦ τριαξονικότητος, καὶ ἐπομένως στὸν ὑπολογισμὸ τῆς ὀρθῆς τιμῆς τῆς φωτοτασεοπτικῆς σταθερᾶς γιὰ τὸν ἀκριβῆ ὑπολογισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων. Τὰ βασικὰ συμπεράσματα τῆς ἐργασίας αὐτῆς εἶναι δυνατὸν νὰ συνοψιστοῦν ὡς ἀκολούθως:

1. Ἡ ὀπτικὴ μέθοδος τῶν καυστικῶν συνιστᾷ μία ἀπλή καὶ εὐχρηστὴ μέθοδο γιὰ τὸν πειραματικὸ προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεων τῶν τάσεων προβλημάτων ρωγμῶν.

2. Ἡ χρῆσι τῆς τιμῆς τῆς φωτοτασεοπτικῆς σταθερᾶς γιὰ συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς κατάστασης ὀφείλει νὰ συνοδεύεται ἀπὸ τὴν ἀπαίτησι ὅτι ἡ ἀρχικὴ καμπύλη τῆς καυστικῆς βρίσκεται ἐντὸς τῆς περιοχῆς ὅπου ἐπικρατοῦν συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς κατάστασης. Διαφορετικά, καὶ χωρὶς τὴν ἐκπλήρωσι τῆς ἀπαίτησης αὐτῆς, εἶναι δυνατὸν νὰ προκύψουν σημαντικὰ σφάλματα στὸν προσδιορισμὸ τῶν συντελεστῶν ἐντάσεως τῶν τάσεων.

3. Τὸ ὑλικὸ καὶ οἱ διαστάσεις τοῦ δοκιμίου, τὸ μήκος τῆς ρωγμῆς, τὰ ἐφηρμοσμένα φορτία καὶ οἱ γεωμετρικὲς διαστάσεις τῆς ὀπτικῆς διάταξης πρέπει νὰ ἐπιλεγοῦν καταλλήλως, οὕτως ὥστε ἡ ἀρχικὴ καμπύλη τῆς καυ-

στικῆς νὰ εὐρίσκεται ἐντὸς τῆς περιοχῆς ὅπου ἐπικρατοῦν συνθῆκες ἐπιπέδου ἐντατικῆς καταστάσεως.

4. Ἡ ἀνωτέρω συνθήκη ἱκανοποιεῖται γιὰ ὑψηλές τιμές τῶν ἐφηρμοσμένων φορτίων, μικρές τιμές τοῦ πάχους τοῦ δοκιμίου, μεγάλες ἀποστάσεις μεταξύ τοῦ δοκιμίου καὶ τῆς ὀθόνης ἀναφορᾶς ὅπου σχηματίζεται ἡ καυστική καὶ μικρές τιμές τῶν συντελεστῶν μεγεθύνσεως τῆς ὀπτικῆς διατάξεως.

5. Γιὰ δοκίμια ἀπὸ plexiglas ὁ φωτοτασεοπτικὸς συντελεστὴς γιὰ δέσμη φωτὸς ποὺ διαδίδεται μέσῳ τοῦ δοκιμίου εἶναι ἀνεξάρτητος τῆς ἐπικρατοῦσης ἐντατικῆς καταστάσεως (ἐπιπέδου ἐντατικῆς, ἐπιπέδου παραμορφωσιακῆς, τρισδιαστάτου) στὸ ἄκρο τῆς ρωγμῆς γιὰ τιμὴ τοῦ δείκτου διαθλάσεως τοῦ περιβάλλοντος τὸ δοκίμιο μέσου ἴσου μὲ 1.3. Ὑπὸ αὐτὰς τὰς συνθήκας ἡ τιμὴ τῆς φωτοτασεοπτικῆς σταθερᾶς εἶναι δυνατὸ νὰ χρησιμοποιηθεῖ γιὰ ὅποιαδήποτε θέση τῆς ἀρχικῆς καμπύλης.

6. Εἰσήχθη ἕνας νέος συντελεστὴς τριαξονικότητος ὁ ὁποῖος περιγράφει τὴν τριαξονικὴ ἐντατικὴ κατάσταση ἡ ὁποία ἀναπτύσσεται στὴν περιοχὴ τοῦ ἄκρου τῆς ρωγμῆς καὶ διατυπώθηκαν οἱ ἐξιιώσεις τῶν φωτοτασεοπτικῶν σταθερῶν συναρτήσεσι τοῦ συντελεστοῦ αὐτοῦ.

7. Ὁ προσδιορισμὸς τοῦ συντελεστοῦ τριαξονικότητος εἶναι δυνατὸν νὰ ἐπιτευχθεῖ μὲ τὴν χρησιμοποίησιν διπλοθλαστικῶν ὑλικῶν. Τοῦτο ὀδηγεῖ στὸν ὑπολογισμὸ τῆς ἀκριβοῦς τιμῆς τῆς φωτοτασεοπτικῆς σταθερᾶς γιὰ ὅποιαδήποτε θέση τῆς ἀρχικῆς καμπύλης τῆς καυστικῆς στὴν περιοχὴ ὅπου ἐπικρατοῦν συνθῆκες τρισδιαστάτου ἐντατικῆς καταστάσεως.

Βιβλιογραφία

- [1] THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., *Matrix theory of photoelasticity*, Springer Verlag, 1979.
- [2] COKER, E. G. – FILON, L. N. G., *A treatise on photoelasticity*, Cambridge UK, University Press, 1957.
- [3] GDOUTOS, E. E., Photoelastic study of crack problems, στὸ: A. S. PAIPETIS – G. S. HOLLISTER (ἐπιμ.), *Photoelasticity in engineering practice*, Barking UK, Elsevier, 1985, 181-204.
- [4] MANOGG, P., *Anwendung der Schattenoptik zur Untersuchung des Zerreißvorgangs von Platten* (διδασκορικὴ διατριβή), Freiburg, Germany, 1964.
- [5] THEOCARIS, P. S., Local yielding around a crack tip in plexiglas, *J Appl Mech*, 92, 1970, 409-415.

- [6] THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., An optical method for determining opening-mode and edge sliding-mode stress intensity factors, *J Appl Mech*, 94, 1972, 91-97.
- [7] THEOCARIS, P. S., Interaction between collinear asymmetric cracks, *J Strain Anal*, 7, 1972, 186-193.
- [8] THEOCARIS, P. S., Stress intensity factors at bifurcated cracks, *J Mech Phys Sol*, 20, 1972, 265-279.
- [9] THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., Verification of the validity of the Dugdale-Barenblatt model by the method of caustics, *Eng Fract Mech*, 6, 1974, 523-535.
- [10] THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., The modified Dugdale-Barenblatt model adapted to various fracture configurations in metals, *Int J Fract*, 10, 1974, 549-564.
- [11] THEOCARIS, P. S., Partly unbounded interfaces between dissimilar materials under normal and shear loading, *Acta Mech*, 24, 1976, 99-115.
- [12] GDOUTOS, E. E. – AIFANTIS, E. C., The method of caustics in environmental cracking, *Eng Fract Mech*, 23, 1986, 423-430.
- [13] KATSAMANIS, F. – RAFTOPOULOS, D. – THEOCARIS, P. S., Static and dynamic stress intensity factors by the method of transmitted caustics, *J Eng Mat Tech*, 99, 1977, 105-109.
- [14] KALTHOFF, J. F. – WINKLER, S. – BEINERT, J., Dynamic stress intensity factors for arresting cracks in DCB specimens, *Int J Fract*, 12, 1976, 317-319.
- [15] THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., Surface topography by caustics, *Appl Optics*, 15, 1976, 1629-1638.
- [16] THEOCARIS, P. S. – GDOUTOS, E. E., Experimental solution of flexed plates by the method of caustics, *J Appl Mech*, 44, 1977, 107-111.
- [17] THEOCARIS, P. S., Elastic stress intensity factors evaluated by caustics, $\sigma\tau\acute{o}$: G. C. SIH ($\xi\pi\iota\mu.$), *Mechanics of Fracture Vol 7. Experimental evaluation of stress concentration and intensity factors*, Martinus Nijhoff: Dordrecht, The Netherlands, 1991, 189-252.
- [18] KALTHOFF, J. F., Shadow optical method of caustics, $\sigma\tau\acute{o}$: A. S. KOBAYASHI ($\xi\pi\iota\mu.$), *Handbook on experimental mechanics*, Englewood Cliffs NJ USA: Prentice Hal, 1987, 430-500.
- [19] GDOUTOS, E. E., *Fracture mechanics – an introduction*, Springer, ²2005.
- [20] LEVI, N. – MARCAL, P. V. – RICE, J. R., Progress in three-dimensional elastic-plastic stress analysis for fracture mechanics, *Nucl Eng Des*, 17, 1971, 64-75.
- [21] ROSAKIS, A. J. – RAVI-CHANDAR, K., On crack tip stress state – An experimental evaluation of three-dimensional effects, *Int J Sol Struct*, 22, 1986, 121-134.

- [22] MELETIS, E. I. – HUANG, WEIJI – GDOUTOS, E. E., A study of the three-dimensional region at crack tips by the method of caustics, *Eng Fract Mech*, 39, 1991, 875-885.
 - [23] KONSTA-GDOUTOS, M. – GDOUTOS, E. E. – MELETIS, E. I., The state of stress at a crack tip studied by caustics, *Proc VII Int Cong Exp Mech*, 1992, 797-801.
 - [24] KONSTA-GDOUTOS, M. – GDOUTOS, E. E., Some remarks on caustics in mode-I stress intensity factor evaluation, *Theor Appl Fract Mech*, 17, 1992, 47-60.
 - [25] KONSTA-GDOUTOS, M. – GDOUTOS, E. E., Guidelines for applying the method of caustics in crack problems, *Exp Tech*, 16, 1992, 25-28.
 - [26] KONSTA-GDOUTOS, M. – GDOUTOS, E. E., Limit of applicability of the method of caustics in crack problems, *Eng Fract Mech*, 42, 1992, 251-263.
 - [27] THEOCARIS, P. S. – PAPADOPOULOS, G. A., Stress intensity factors from reflected caustics in birefringent plates with cracks, *J Strain Anal*, 16, 1981, 29-36.
-

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 29ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ 2018

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ ΤΟΝ 21ο ΑΙΩΝΑ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΕΝ ΕΞΕΛΙΞΕΙ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ¹

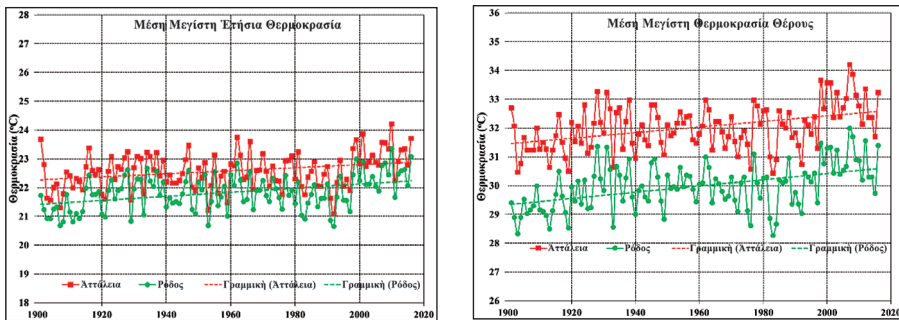
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ
ΤΩΝ ΙΩΑΝΝΗ ΚΑΨΩΜΕΝΑΚΗ, ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ ΝΑΣΤΟΥ,
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΑΤΟΥ, ΘΕΟΔΩΡΑΣ ΑΝΤΩΝΑΚΑΚΗ,
ΗΛΙΑΝΑΣ ΠΟΛΥΧΡΟΝΗ ΚΑΙ ΛΗΔΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΟΥ

ΔΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ κ. ΧΡΗΣΤΟΥ Σ. ΖΕΡΕΦΟΥ

1. Είσαγωγή

Ἡ παρούσα ἐργασία ἀποσκοπεῖ στὸ νὰ ἀναδείξει τὰ χαρακτηριστικὰ τῶν δεικτῶν εὐφορίας ποὺ ἐπικρατοῦν καὶ ἀναμένεται νὰ ἐπικρατήσουν σὲ ἓνα δεῖγμα πόλεων στὴν Ἑλλάδα καὶ σὲ πόλεις τοῦ ἐξωτερικοῦ οἱ ὁποῖες ἀπὸ πλευρᾶς τουρισμοῦ εἶναι ἀνταγωνιστικές. Ἡ σύγκριση τῶν χαρακτηριστικῶν δεικτῶν ἐπεκτείνεται μέχρι τὸ τέλος τοῦ 21ου αἰῶνα. Οἱ ἐπιλεγεῖσες ἐλληνικὲς πόλεις εἶναι οἱ: Ἀθήνα, Ρόδος, Νάξος, Μεθώνη, μὲ ἀντίστοιχες τουριστικὰ ἀνταγωνιστικὲς πόλεις στὸ ἐξωτερικὸ τίς: Μαδρίτη, Ἀττάλεια, Palma de Mallorca καὶ Μάλτα. Ἡ μεθοδολογία ποὺ ἀκολουθήθηκε εἶναι πρακτικὰ ἡ ἴδια τὴν ὁποία εἴχαμε ἀκολουθήσει στὶς ἐκτιμήσεις οἱ

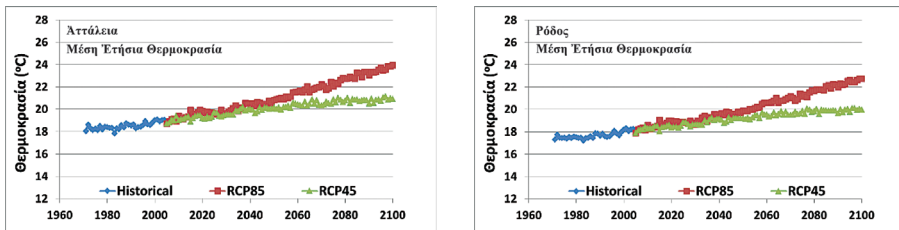
1. Ἀνακοίνωση τῶν ἀποτελεσμάτων τῆς συνεργασίας τοῦ Κέντρου Ἐρεῦνης Φυσικῆς τῆς Ἀτμοσφαιρας καὶ Κλιματολογίας τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, τοῦ Ἐργαστηρίου Κλιματολογίας καὶ Ἀτμοσφαιρικοῦ Περιβάλλοντος καὶ τοῦ Ἰνστιτούτου τοῦ Συνδέσμου Ἑλληνικῶν Τουριστικῶν Ἐπιχειρήσεων (ΙΝΣΕΤΕ).



Σχήμα 1: Χρονική εξέλιξη τής μέσης ετήσιας (αριστερά) και τής μέσης τιμής θέρους (δεξιά) τής μεγίστης θερμοκρασίας στή Ρόδο και στήν Άττάλεια από τò 1900 μέχρι και σήμερα. Ή γραμμική παλινδρόμηση εἶναι διακεκομμένη.

ὁποῖες ἔγιναν καὶ συνεχίζονται στὸ πλαίσιο τῶν ἐργασιῶν τῆς Ἐπιτροπῆς Μελέτης τῆς Κλιματικῆς Ἀλλαγῆς τῆς Τραπεζῆς τῆς Ἑλλάδος (ΤτΕ) καὶ τῆς μελέτης ἡ ὁποία ἐκπονήθηκε στὸ Κέντρον Ἐρευνῆς Φυσικῆς τῆς Ἀτμοσφαιρας καὶ Κλιματολογίας τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν σὲ συνεργασία μὲ τὸ Ἰνστιτοῦτο τοῦ Συνδέσμου Ἑλληνικῶν Τουριστικῶν Ἐπιχειρήσεων (ΙΝΣΕΤΕ).

Ὅπως θὰ φανεῖ ἀναλυτικὰ στὰ ἐπόμενα, ἡ περιοχή τοῦ Αἰγαίου εἶναι ἡ περιοχή ἡ ὁποία ἔχει κατ' ἐξοχὴν μικρότερη τρωτότητα σὲ ὅλα τὰ σενάρια τῆς ἐξελισσόμενης ἀνθρωπογενοῦς κλιματικῆς ἀλλαγῆς, ὅπως αὐτὰ ἔχουν καθιερωθεῖ ἀπὸ τὴ Διακυβερνητικὴ Ἐπιτροπὴ γιὰ τὴν Κλιματικὴ Ἀλλαγὴ (IPCC). Τὸ φυσικὸ αἶτιο γι' αὐτὸ τὸ σημαντικὸ ἀποτέλεσμα ὀφείλεται κυρίως στὸν ἐξαιρετικὸ ἀερισμὸ ὁ ὁποῖος ἐπικρατεῖ κατὰ τοὺς θερινοὺς μῆνες λόγω τῆς πνοῆς τῶν ἐτήσιων ἀνέμων οἱ ὁποῖοι ρυθμίζουν ὡς θερμορυθμιστὲς τοὺς δείκτες εὐφορίας σὲ ὅλη τὴν περιοχή τοῦ Αἰγαίου. Εἶναι χαρακτηριστικὸ ὅτι στὴν περίπτωσι συγκρίσεως τῆς Ρόδου μὲ τὴν Ἀττάλεια οἱ διαφορὲς εἶναι σημαντικὲς. Τὸ ἴδιο συμβαίνει ὅταν συγκριθοῦν ἑλληνικὲς νῆσοι μὲ τὶς ἀπέναντι γειτονικὲς ἀκτὲς τῆς Ἰωνίας (δυτικῆς Τουρκίας) στὸ Αἶγαῖο. Ὅπως προκύπτει ἀπὸ τὴν παρούσα ἀνάλυσι, ἐὰν συγκρίνομε τὴ χρονικὴ εξέλιξι τῆς μέσης ετήσιας μεγίστης θερμοκρασίας στὴ Ρόδο καὶ στὴν Ἀττάλεια κατὰ τὸν τελευταῖο αἰῶνα, παρατηροῦμε ὅτι ἡ μέση ετήσια μεγίστη θερμοκρασία παρουσιάζει αὐξητικὴ τάσι κατὰ περίπου 1 βαθμὸ ἀνὰ 100 ἔτη. Ἡ αὐξητικὴ τάσι εἶναι μεγαλύτερη κατὰ τὴ θερινὴ περίοδο, ὅπως φαίνεται στὸ Σχῆμα 1, τόσο γιὰ τὴ Ρόδο (αριστερά) ὅσο καὶ γιὰ τὴν



Σχήμα 2: Χρονική εξέλιξη τῆς μέσης ἐτήσιας θερμοκρασίας στὴ Ρόδο καὶ τὴν Ἀττάλεια ἀπὸ τὸ 1970 μέχρι τὸ 2100 μὲ βάση τὶς προσομοιώσεις ἑνὸς συνόλου 15 περιοχικῶν κλιματικῶν μοντέλων (RCMs) τοῦ προγράμματος CORDEX. Οἱ ἐκτιμήσεις τοῦ μελλοντικοῦ κλίματος ἔγιναν γιὰ τὴν περίπτωση τῶν σεναρίων RCP45 καὶ RCP85 (πράσινη καὶ κόκκινη γραμμὴ ἀντίστοιχα).

Ἀττάλεια (δεξιὰ). Ἐπιπλέον, μὲ βάση τὶς ἐκτιμήσεις τοῦ συνόλου 15 περιοχικῶν κλιματικῶν μοντέλων, ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέρος προβλέπεται ὅτι θὰ συνεχίσει νὰ αὐξάνει, καὶ μάλιστα μὲ μεγαλύτερο ρυθμὸ, κατὰ τὰ προσεχῆ 100 χρόνια (Σχήμα 2). Ὅπως προκύπτει ἀπὸ τὸ Σχήμα 2, μὲ βάση τὸ κλιματικὸ Σεναριο RCP45 τῆς Διακυβερνητικῆς Ἐπιτροπῆς γιὰ τὴν Κλιματικὴ Ἀλλαγὴ, ἡ μέση ἐτήσια θερμοκρασία ἀναμένεται ὅτι θὰ συνεχίσει νὰ αὐξάνει μὲ ρυθμὸ 2 βαθμῶν ἀνὰ ἑκατονταετία, ἐνῶ, μὲ τὸ πιὸ ἀκραῖο Σεναριο RCP85, ἡ αὐξηση ἀναμένεται νὰ φθάσει ἀκόμα καὶ τοὺς 4 βαθμοὺς Κελσίου ἀνὰ ἑκατονταετία. Τὸ πλεονέκτημα τῆς Ρόδου ἔναντι τῆς Ἀττάλειας εἶναι ὄρατὸ καὶ θὰ ἐξακολουθήσει στὸ μέλλον.

Ἐπειδὴ ὑπάρχουν μακροχρόνιες μετρήσεις τῆς μέσης ἐτήσιας καὶ τῆς μέσης τιμῆς τοῦ θέρους σὲ τέσσερις ἱστορικὲς πόλεις μὲ πολὺ μεγαλύτερο πληθυσμὸ ἀπὸ ἐκεῖνων τῆς Ρόδου καὶ τῆς Ἀττάλειας, ἐπιλέξαμε νὰ μελετήσουμε τὴν Ἀθήνα, τὴ Σμύρνη, τὴ Θεσσαλονίκη καὶ τὴν Ἀλεξάνδρεια ἀπὸ τὸ 1900 μέχρι σήμερα. Οἱ πόλεις αὐτὲς δὲν ἔχουν μόνον μακροχρόνιες παρατηρήσεις καὶ μεγαλύτερο πληθυσμὸ, ἀλλὰ διαθέτουν καὶ ἱστορικοὺς λιμένες. Καὶ οἱ τέσσερις λιμένες, οἱ ὁποῖοι ἰδρύθηκαν κατὰ τὴν κλασικὴ καὶ τὴν ἑλληνιστικὴ περίοδο, παρουσιάζουν σχεδὸν κοινὰ χαρακτηριστικὰ ὡς πρὸς τὸν προσανατολισμὸ τους ἀλλὰ καὶ ὡς πρὸς τὶς διαστάσεις τῶν λιμένων αὐτῶν, ὅπως φαίνεται στὸ Σχήμα 3.

Σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ στὴν εξέλιξη τῶν θερμοκρασιῶν στὰ ἑνὸς λόγῳ λιμάνια, τὰ Σχήματα 4 καὶ 5 δείχνουν τὶς ἀντίστοιχες μεταβολὲς τὶς ὁποῖες εἶδαμε

Πειραιάς, Αθήνα



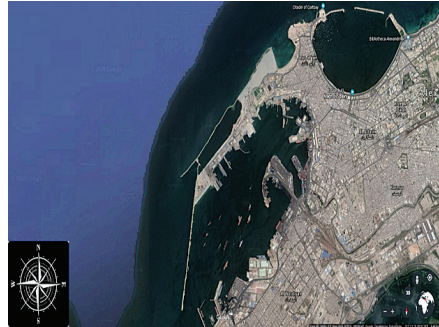
Σμύρνη



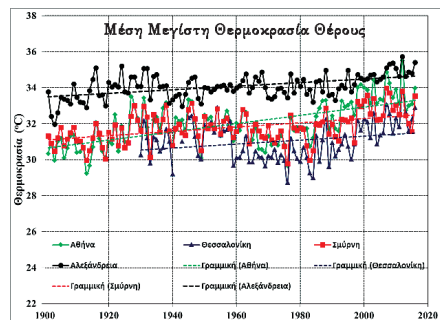
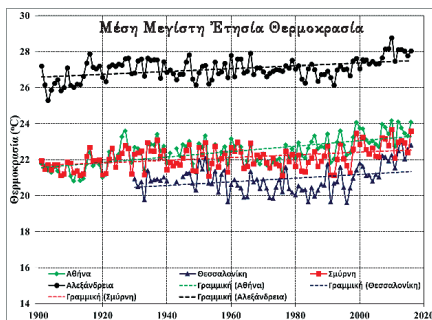
Θεσσαλονίκη



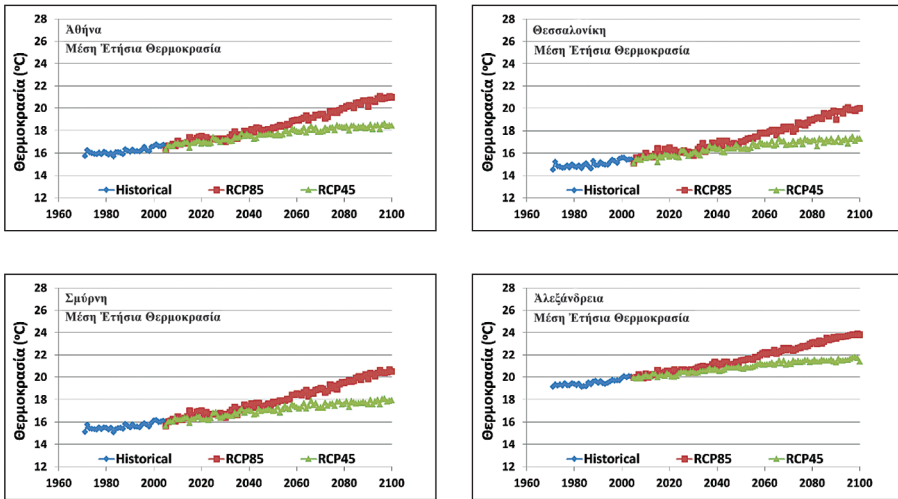
Άλεξάνδρεια



Σχήμα 3: Ιστορικοί λιμένες τῆς Ἀνατολικῆς Μεσογείου.



Σχήμα 4: Χρονική εξέλιξη τῆς μέσης ἐτήσιας (ἀριστερά) καὶ τῆς μέσης τιμῆς θέρους (δεξιά) τῆς μεγίστης θερμοκρασίας στὴν Ἀθήνα, τὴ Θεσσαλονίκη, τὴ Σμύρνη καὶ τὴν Ἀλεξάνδρεια ἀπὸ τὸ 1900 μέχρι καὶ σήμερα. Ἡ γραμμικὴ παλινδρόμηση εἶναι διακεκομμένη.



Σχῆμα 5: Χρονική εξέλιξη τῆς μέσης ἐτήσιας θερμοκρασίας στὴν Ἀθήνα, τὴ Θεσσαλονίκη, τὴ Σμύρνη καὶ τὴν Ἀλεξάνδρεια ἀπὸ τὸ 1970 μέχρι τὸ 2100 μὲ βάση τὶς προσομοιώσεις ἑνὸς συνόλου 15 περιοχικῶν κλιματικῶν μοντέλων (RCMs) τοῦ προγράμματος CORDEX. Οἱ ἐκτιμήσεις τοῦ μελλοντικοῦ κλίματος ἔγιναν γιὰ τὴν περίπτωση τῶν σεναρίων RCP45 καὶ RCP85 (πράσινη καὶ κόκκινη γραμμὴ ἀντίστοιχα).

στὴν περίπτωση συγκρίσεως τῆς Ρόδου μὲ τὴν Ἀττάλεια. Πιο συγκεκριμένα, στὸ Σχῆμα 4 φαίνεται ἡ χρονικὴ εξέλιξη τῆς μέσης ἐτήσιας μεγίστης θερμοκρασίας στὴν Ἀθήνα, τὴ Θεσσαλονίκη, τὴ Σμύρνη καὶ τὴν Ἀλεξάνδρεια ἀπὸ τὸ 1900 μέχρι καὶ σήμερα (Σχῆμα 4, ἀριστερά). Εἶναι ἐμφανὲς ὅτι καὶ στὶς τέσσερις πόλεις ἡ μέση ἐτήσια μεγίστη θερμοκρασία παρουσιάζει αὐξητικὴ τάση περίπου κατὰ $0,1^{\circ}\text{C}/\text{δεκαετία}$. Ἡ αὐξητικὴ τάση καὶ στὶς τέσσερις πόλεις εἶναι ἐντονότερη κατὰ τὴ θερινὴ περίοδο (Σχῆμα 4, δεξιά) καὶ προσεγγίζει τοὺς $0,2^{\circ}\text{C}/\text{δεκαετία}$ στὴν περιοχή τῶν Ἀθηνῶν. Σημειώνεται ἐδῶ ὅτι, μὲ βάση τὶς ἐκτιμήσεις ἑνὸς συνόλου 15 περιοχικῶν κλιματικῶν μοντέλων, ἡ θερμοκρασία ἀέρος θὰ συνεχίσει νὰ αὐξάνεται καὶ μάλιστα μὲ ἐντονότερο ρυθμὸ καὶ στὰ προσεχῆ 100 χρόνια γιὰ τὴν περίπτωση δύο ἐκ τῶν τελευταίων σεναρίων μεταβολῆς τῶν ἀερίων τοῦ θερμοκηπίου τοῦ μετριοπαθοῦς σεναρίου RCP45 καὶ τοῦ πιὸ ἀκραίου σεναρίου RCP85 (Σχῆμα 5). Πιο συγκεκριμένα, μὲ βάση τὸ Σενάριο RCP45 ἡ μέση ἐτήσια θερμοκρασία ἀναμένεται νὰ αὐξηθεῖ μὲ ρυθμὸ $0,2^{\circ}\text{C}/\text{δεκαετία}$, ἐνῶ

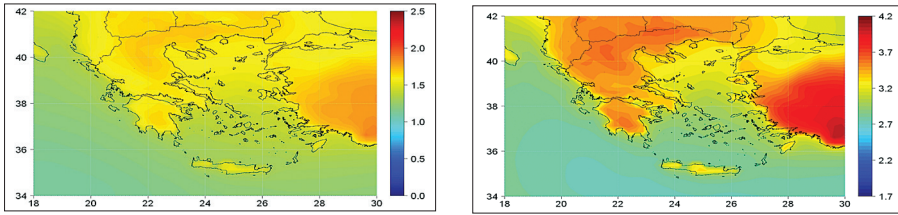
μέ βάση τὸ Σενάριο RCP85 ἡ αὐξηση ἀναμένεται ἐντονότερη καὶ θὰ φτάσει τοὺς 0,4°C/δεκαετία.

2. Μεταβολές τῶν βασικῶν κλιματικῶν παραμέτρων ποὺ σχετίζονται μὲ τὸ τουριστικὸ προϊόν κατὰ τὸν 21ο αἰώνα μὲ βάση τὶς ἐκτιμήσεις τῶν κλιματικῶν προτύπων προσομοίωσης

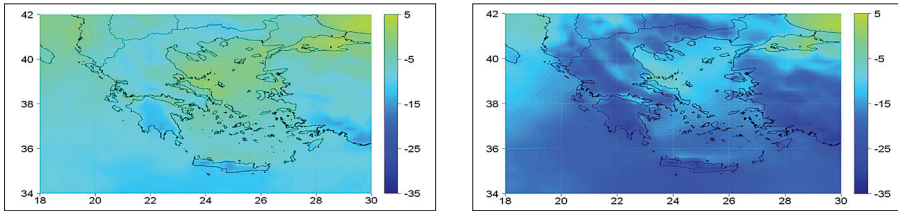
Στὰ ἐπόμενα παρουσιάζονται οἱ προβλεπόμενες μεταβολές τῆς θερμοκρασίας στὴν εὐρύτερη περιοχή ποὺ περιλαμβάνει Ἑλλάδα καὶ μέρος τῆς Τουρκίας. Συγκεκριμένα, στὸ Σχῆμα 6 φαίνεται ἡ χωρική κατανομή τῆς μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας τοῦ ἀέρα μεταξὺ τῆς περιόδου 2021-2050 (ἐγγὺς μέλλον) καὶ τῆς περιόδου ἀναφορᾶς 1961-1990, καθὼς καὶ μεταξὺ τῆς περιόδου 2071-2100 (ἀπώτερο μέλλον) καὶ τῆς περιόδου ἀναφορᾶς 1961-1990 γιὰ τὴν περίπτωση τοῦ Σεναρίου Ἐκπομπῶν A1B. Οἱ χάρτες προέρχονται ἀπὸ τὴν ἔρευνα τῆς Ἐπιτροπῆς Μελέτης Ἐπιπτώσεων τῆς Κλιματικῆς Ἀλλαγῆς τῆς ΤτΕ καὶ δείχνουν καθαρὰ ὅτι ἡ μέση ἐτήσια θερμοκρασία ἀναμένεται σὲ ἐπίπεδο ἐπικράτειας νὰ ἀνέβει κατὰ 1,5°C ἕως τὸ 2050 καὶ κατὰ 3,5°C ἕως τὸ 2100. Ἡ ἄνοδος ἀναμένεται νὰ εἶναι μεγαλύτερη στὶς ἠπειρωτικὲς σὲ σύγκριση μὲ τὶς νησιωτικὲς περιοχὲς τῆς Ἑλλάδος. Ἐπιπρόσθετα, μὲ βάση τὰ ἀποτελέσματα τῆς ἀνωτέρω μελέτης, μεγαλύτερη ἄνοδος τῆς θερμοκρασίας ἀναμένεται τὸ θέρος καὶ τὸ φθινόπωρο καὶ μικρότερη τὴν ἀνοιξη καὶ τὸ χειμῶνα.

Στὸ Σχῆμα 7 φαίνεται ἡ χωρική κατανομή τῆς μεταβολῆς τῆς βροχόπτωσης μεταξὺ τῆς περιόδου 2021-2050 (ἐγγὺς μέλλον) καὶ τῆς περιόδου ἀναφορᾶς 1961-1990, καθὼς καὶ μεταξὺ τῆς περιόδου 2071-2100 (ἀπώτερο μέλλον) καὶ τῆς περιόδου ἀναφορᾶς 1961-1990 γιὰ τὴν περίπτωση τοῦ Σεναρίου Ἐκπομπῶν A1B. Σὲ ἐπίπεδο ἐπικράτειας ἀναμένεται μείωση τοῦ μέσου ἐτήσιου ὕψους βροχῆς κατὰ 6,5% ἕως τὸ 2050. Ἡ μείωση αὐτὴ ἀναμένεται νὰ εἶναι ἀκόμα μεγαλύτερη καὶ θὰ ἀγγίξει σὲ ἐπίπεδο ἐπικράτειας τὸ 20% στὸ τέλος τοῦ αἰώνα. Ἀκόμα ἐντονότερη ποσοστιαία μείωση, ἕως καὶ κατὰ 35%, ἀναμένεται στὴν ὄροσειρὰ τῆς Πίνδου, τὰ ὄρεινά τῆς Πελοποννήσου καθὼς καὶ τὴν Κρήτη.

Ποσοστιαία ἐλάττωση κατὰ 2% στὴν ἠπειρωτικὴ Ἑλλάδα ἐκτιμᾶται ὅτι θὰ ἐμφανίσει ἐπίσης ἡ μέση ἐτήσια τιμὴ τῆς σχετικῆς ὑγρασίας κατὰ τὴν περίοδο 2021-2050 σὲ σχέση μὲ τὴν περίοδο ἀναφορᾶς γιὰ τὴν περι-



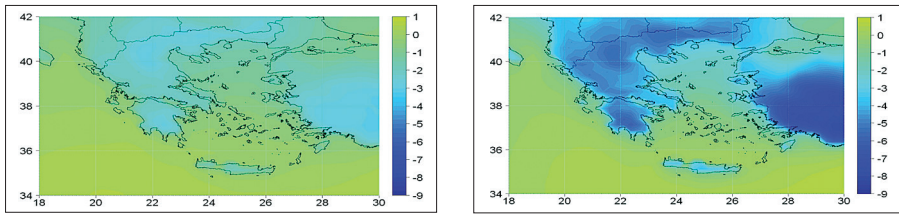
Σχήμα 6: Μεταβολές τής μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (°C) μεταξύ των περιόδων (αριστερά) 2021-2050 και 1961-1990, (δεξιά) 2071-2100 και 1961-1990, με βάση τη μέση εκτίμηση ενός συνόλου 12 περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs) του προγράμματος ENSEMBLES από το Σενάριο Έκπομπών A1B (Έκθεση ΤτΕ 2011).



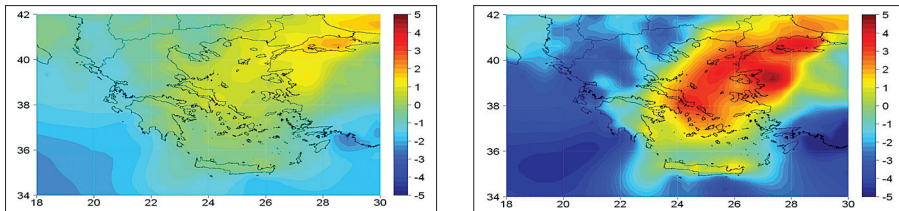
Σχήμα 7: Ποσοστιαίες μεταβολές (%) του μέσου ετήσιου ύψους βροχής μεταξύ των περιόδων (αριστερά) 2021-2050 και 1961-1990, (δεξιά) 2071-2100 και 1961-1990, με βάση τη μέση εκτίμηση ενός συνόλου 12 περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs) του προγράμματος ENSEMBLES υπό το Σενάριο Έκπομπών A1B (Έκθεση ΤτΕ 2011).

πτωση του Σεναρίου A1B. Η μείωση θα ενισχυθεί έως τα τέλη του αιώνα και θα αγγίξει το 6% στα ήπειρωτικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μείωση τής σχετικής υγρασίας θα είναι μεγαλύτερη κατά το θέρος. Τέλος στις νησιωτικές περιοχές ή σχετική υγρασία δεν θα μεταβληθεί σημαντικά.

Η μέση ετήσια τιμή τής ταχύτητας του ανέμου στην επικράτεια δεν θα μεταβληθεί κατά τον 21ο αιώνα. Ωστόσο, όπως είναι εμφανές στο Σχήμα 9, η μέση ετήσια τιμή τής ταχύτητας του ανέμου στο Αιγαίο Πέλαγος θα αυξηθεί την περίοδο 2021-2050 έως και κατά 2% και έως και κατά 5% την περίοδο 2071-2100 σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990, ενώ αντίστοιχες μειώσεις αναμένονται στο Ίονιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά



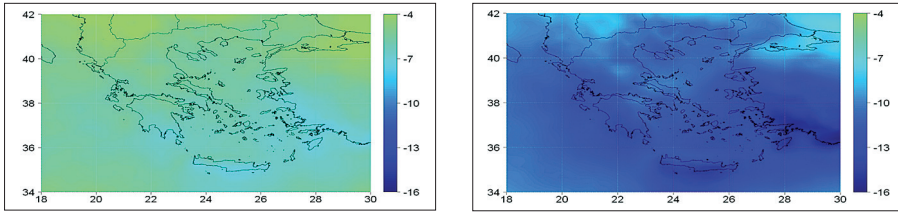
Σχήμα 8: Ποσοστιαίες μεταβολές (%) τής μέσης ετήσιας τιμής τής σχετικής υγρασίας μεταξύ τών περιόδων (άριστερά) 2021-2050 και 1961-1990, (δεξιά) 2071-2100 και 1961-1990, με βάση τή μέση εκτίμηση ενός συνόλου 12 περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs) τού προγράμματος ENSEMBLES υπό τò Σενάριο Έκπομπών A1B (Έκθεση ΤτΕ 2011).



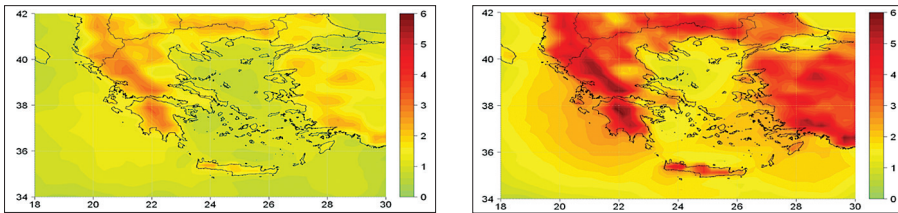
Σχήμα 9: Ποσοστιαίες μεταβολές (%) τού μέσου ετήσιου άνεμου μεταξύ τών περιόδων (άριστερά) 2021-2050 και 1961-1990, (δεξιά) 2071-2100 και 1961-1990 με βάση τή μέση εκτίμηση ενός συνόλου 12 περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs) τού προγράμματος ENSEMBLES υπό τò Σενάριο Έκπομπών A1B (Έκθεση ΤτΕ 2011).

τò μακρινò μέλλον (2071-2100) αναμένεται σημαντική ένισχυση τών ετήσιων άνεμων έως και κατά 10%.

Στὰ Σχήματα 10 και 11 παρουσιάζονται οί χωρικές κατανομές τών μεταβολών τής νεφοκάλυψης και τής εισερχόμενης ήλιακης ακτινοβολίας, αντίστοιχα, μεταξύ τής περιόδου 2021-2050 (έγγυς μέλλον) και τής περιόδου αναφοράς 1961-1990, και μεταξύ τής περιόδου 2071-2100 (άπώτερο μέλλον) και τής περιόδου αναφοράς 1961-1990 για τήν περίπτωση τού Σεναρίου Έκπομπών A1B. Όπως είναι έμφανές, κατά τò έγγυς μέλλον αναμένεται ομοιόμορφη μείωση τής νεφοκάλυψης στην Ελλάδα έως και κατά 6%, ενώ ή μείωση θά φτάσει τò 15% έως τò τέλος τού αιώνα. Στòν αντίποδα, κατά τò έγγυς μέλλον αναμένεται αύξηση τής εισερχόμενης



Σχήμα 10: Ποσοστιαίες μεταβολές (%) τής μέσης ετήσιας τιμής τής νεφοκάλυψης μεταξύ τών περιόδων (αριστερά) 2021-2050 και 1961-1990, (δεξιά) 2071-2100 και 1961-1990, με βάση τή μέση εκτίμηση ενός συνόλου 12 περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs) του προγράμματος ENSEMBLES υπό τò Σενάριο Έκπομπών A1B (Έκθεση ΤΤΕ 2011).

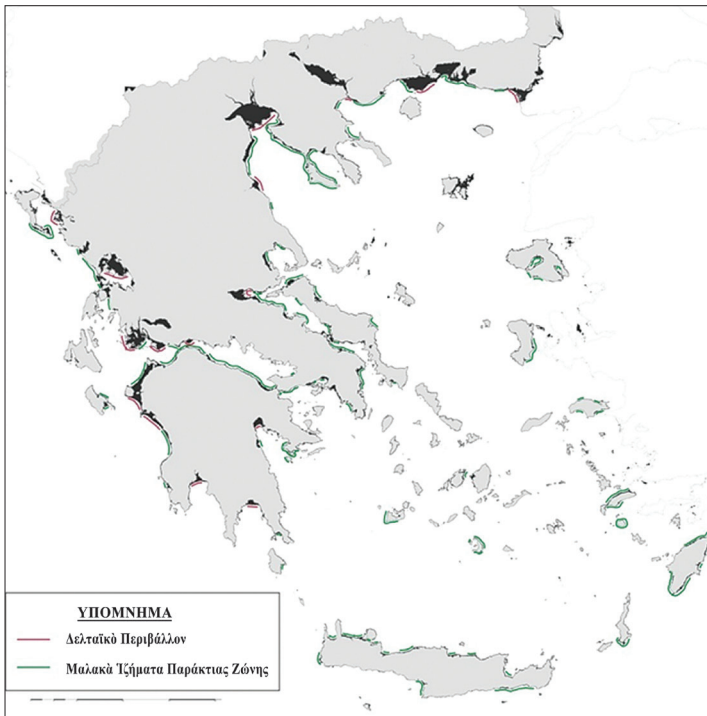


Σχήμα 11: Μεταβολές τής μέσης ετήσιας τιμής τής εισερχόμενης ήλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) μεταξύ τών περιόδων (αριστερά) 2021-2050 και 1961-1990, (δεξιά) 2071-2100 και 1961-1990, με βάση τή μέση εκτίμηση ενός συνόλου 12 περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs) του προγράμματος ENSEMBLES υπό τò Σενάριο Έκπομπών A1B (Έκθεση ΤΤΕ 2011).

ήλιακής ακτινοβολίας κατά $1,3 W/m^2$. Η αύξηση αυτή θα φτάσει τα $3,5 W/m^2$ έως τò τέλος του αιώνα 2071-2100. Ακόμα μεγαλύτερη θα είναι ή αύξηση στις ηπειρωτικές περιοχές, και ιδιαίτερα στα δυτικά και βόρεια ηπειρωτικά.

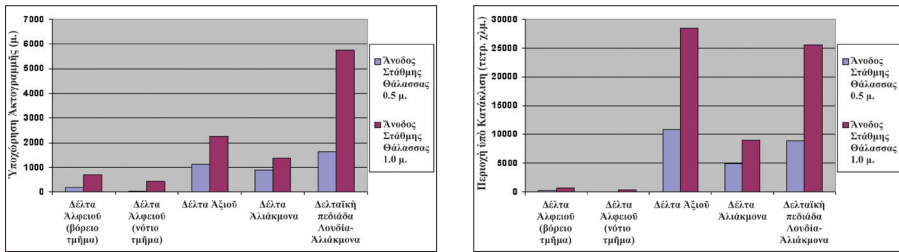
3. Μεταβολές στην παράκτια ζώνη εξαιτίας τής ανόδου τής στάθμης τής θάλασσας

Έκτος τών άνωτέρω μεταβολές αναμένονται στην παράκτια ζώνη εξαιτίας τής ανόδου τής στάθμης τής θάλασσας (ΑΣΘ). Τò φαινόμενο τής ανόδου τής στάθμης τής θάλασσας άποτελεί σημαντική άπειλή για τις πα-



Σχήμα 12: Χάρτης με τις παράκτιες περιοχές: α) μέτριας τρωτότητας (πράσινο χρώμα), και β) ύψηλης τρωτότητας (έρυθρό χρώμα).

ράκτιες περιοχές, θέτοντας σε κίνδυνο τις τουριστικές υποδομές και τις υλοποιούμενες σε αυτές δραστηριότητες. Στο πλαίσιο της ΕΜΕΚΑ έπισημάνθησαν και ποσοτικοποιήθηκαν οι φυσικές και οικονομικές συνέπειες του εν λόγω φαινομένου στην ελληνική ακτογραμμή. Συγκεκριμένα, οι παράκτιες περιοχές της Ελλάδος κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις κύριες ζώνες (δελταϊκές, νεογενών και τεταρτογενών «μαλακών») ίζημάτων, και βραχώδεις και προσδιορίστηκαν οι περιοχές που αναμένεται να πληγούν από μια υποθετική ΑΣΘ κατά 1 μέτρο έως το 2100. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 12, οι παράκτιες ζώνες οι οποίες κινδυνεύουν άμεσα περιλαμβάνουν α) αυτές που χαρακτηρίζονται ως μέτριας τρωτότητας στην ΑΣΘ (πράσινο χρώμα) και συνίστανται από μαλακά ίζηματα νεογενοῦς-τεταρτογενοῦς ηλικίας συνήθως χαμηλοῦ ὑψομέτρου, και β) αυτές που χαρακτηρίζονται ως ὑψηλῆς τρωτότητας και ἀφοροῦν δελταϊκὲς ἀποθέσεις χαμηλοῦ ὑψομέτρου (έρυθρό χρώμα).



Σχήμα 13: Έκτιμηση τής υποχώρησης τής ακτογραμμής (αριστερά) και τής περιουχής που αναμένεται νά κατακλυστεί από ύδατα (δεξιά) για τήν περίπτωση άνοδου τής στάθμης τής θάλασσας κατά 0,5 μ. (μώβ ράβδοι) και 1 μ. (φούξια ράβδοι) αντίστοιχα.

Στό Σχήμα 13 παρατίθενται ένδεικτικές προσεγγιστικές τιμές τής υποχώρησης τής ακτογραμμής (άριστερά) και τής επιφάνειας κατάκλισης παράκτιων ζωνών (δεξιά) σέ δελταϊκές περιοχές ύψηλης έπικινδυνότητας, όπως είναι τοῦ Άξιου-Άλιάνκμονα και τοῦ Άλφειου. Τό εὔρος τής υποχώρησης τής ακτογραμμής για ὑποθετική άνοδο 0,5 μέτρου κυμαίνεται μεταξύ 30 και 2.750 μέτρων, ένῳ τό αντίστοιχο εὔρος για ὑποθετική άνοδο 1 μέτρου κυμαίνεται μεταξύ 400 και 6.500 μέτρων.

4. Δείκτης PET (Physiological Equivalent Temperature)

Ό δείκτης PET (MAYER – HÖPPE 1987· HÖPPE 1999) όρίζεται ως ή θερμοκρασία σέ όποιοδήποτε χώρο (έσωτερικό ή έξωτερικό) που είναι ισοδύναμη με τή θερμοκρασία του άέρα στην όποία τό ενεργειακό φορτίο ένός «τυπικού άνθρώπου» σέ ένα «τυπικό» έσωτερικό περιβάλλον έξισορροπείται με τίς θερμοκρασίες του δέρματος και του έσωτερικού του σώματός του και είναι ίσες με αυτές που ισχύουν στο έξωτερικό περιβάλλον. Ό δείκτης PET είναι ένας καθολικός δείκτης για τόν χαρακτηρισμό του θερμικού βιοκλίματος, που επιτρέπει τήν αξιολόγηση τών θερμικών συνθηκών, βασίζεται (HÖPPE 1993· TAFFÉ 1997) στο ενεργειακό ίσοζύγιο του άνθρώπου και προέρχεται από τό μοντέλο Munich Energy-balance Model for Individuals (MEMI) και περιγράφει τήν επίδραση του κλίματος όχι μόνον για τίς κρύες αλλά και για τίς θερμές συνθήκες (MATZARAKIS ET AL. 1999· NASTOS – MATZARAKIS 2013· BLETA ET AL. 2014). Γενικά, ό δείκτης PET περιγράφει και αξιολογεί τήν επίδραση του θερμικού περιβάλλοντος στο άνθρώπινο σώμα.

Σε σχέση με άλλους βιομετεωρολογικούς δείκτες, ο PET αναφέρεται στην εύρεως γνωστή μονάδα θερμοκρασίας, των βαθμῶν Κελσίου (°C). Τὸ γεγονός αὐτὸ καθιστᾷ τὰ ἀποτελέσματα ἀπὸ τὸν ὑπολογισμό του εὐκόλα κατανοητὰ γιὰ τοὺς πιθανοὺς χρήστες. Αὐτὸ ἰδιαίτερα ἰσχύει γιὰ τοὺς ἀρμόδιους ποὺ ἀσχολοῦνται μὲ τὸν ἀστικό ἢ περιφερειακὸ σχεδιασμό, αὐτοὺς ποὺ λαμβάνουν ἀποφάσεις, ἀκόμα καὶ τὸ εὐρὸ κοινὸ ποὺ μπορεῖ νὰ μὴν εἶναι ἐξοικειωμένο μὲ τὴ σύγχρονη ὁρολογία ἢ ὁποῖα σχετίζεται μὲ τὴν ἀνθρώπινη βιομετεωρολογία (HÖPPE 1999· MATZARAKIS ET AL. 1999). Ὁ δείκτης PET ἔχει, ἐπίσης, τὸ πλεονέκτημα ὅτι μπορεῖ νὰ χρησιμοποιηθεῖ καθ' ὅλη τὴ διάρκεια τοῦ ἔτους καὶ σὲ ἓνα εὐρὸ φάσμα κλιματικῶν συνθηκῶν. Οἱ μετεωρολογικὲς παράμετροι ποὺ ἐπηρεάζουν τὸ ἀνθρώπινο ἐνεργειακὸ ἰσοζύγιο, ὅπως ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀέρα, ἡ ὑγρασία τοῦ ἀέρα, ἡ ταχύτητα τοῦ ἀνέμου καὶ ἡ μικροῦ καὶ μεγάλου μήκους κύματος ἀκτινοβολία, ἐμπεριέχονται στὶς τιμὲς τοῦ PET (GULIÁS – MATZARAKIS 2007). Ἐπιπλέον, ὁ PET ἐξετάζει καὶ τὴν ἀντίσταση μεταφορᾶς θερμότητας λόγω τῆς ἔνδυσης καὶ τῆς ἐσωτερικῆς παραγωγῆς θερμότητας. Γιὰ νὰ ὑπογραμμιστεῖ περαιτέρω ἡ σημασία τοῦ PET, ἀξίζει νὰ σημειωθεῖ ὅτι ἡ Γερμανικὴ Ἐνωσὴ Μηχανικῶν (VDI, 1998) προτείνει τὴν ἐφαρμογὴ του γιὰ τὴν ἀξιολόγηση τῆς θερμικῆς κατάστασης διαφορετικῶν κλιματικῶν συνθηκῶν. Ἔτσι, ἔχουν γίνεῖ ἐφαρμογὲς τοῦ δείκτη PET γιὰ τὴν ἀξιολόγηση τοῦ θερμικοῦ φορτίου διαφορετικῶν μικροκλιμάτων καὶ τὴν περαιτέρω ἀξιοποίησή τους στὸν ἀστικό σχεδιασμό.

Ὁ δείκτης PET ἔχει χρησιμοποιηθεῖ:

- στὴν ἐκτίμηση τῶν ἐπιδράσεων τῆς γεωμετρίας τῶν ὁδοχαραδρῶν καὶ στὴ θερμικὴ αἴσθηση κατοίκων τροπικῶν περιοχῶν (JOHANSSON – ROHINTON 2006),

- σὲ δομημένες περιοχὲς γιὰ τὸν συσχετισμὸ τῶν χρήσεων γῆς μὲ τὶς ἐνεργειακὲς ἀπαιτήσεις καὶ τὴ θερμικὴ ἄνεση τοῦ ἀνθρώπου (SVENSSON – ELIASSON 2002),

- γιὰ τὴ μελέτη τῆς ἐπιρροῆς τῶν διαφορετικῶν πολιτισμῶν (π.χ. σκανδιναβικῶν καὶ ἀσιατικῶν), ἀλλὰ καὶ τῆς περιβαλλοντικῆς προέλευσής τους (π.χ. ἀστικῆς καὶ μὴ ἀστικῆς) στὴ θερμικὴ, συναισθηματικὴ καὶ ἀντιληπτικὴ ἀπόκριση τῶν ἀτόμων κατὰ τὴν παραμονή τους σὲ ἓνα δημόσιο χῶρο ὑπὸ συνθῆκες θερμικῆς ἄνεσης (KNEZ – THORSSON 2006),

- γιὰ τὴν ἀξιολόγηση τῶν συνθηκῶν ποὺ ἐπικρατοῦν σὲ ἡμέρες μὲ μέγιστη θερμοκρασία ἀέρα μεγαλύτερη τῶν 30,0°C. Πιο συγκεκριμένα, ὁ PET

ἀναλύθηκε, σὲ ἡμερήσια βάση, γιὰ τὴν περιοχὴ τοῦ Ἑλληνικοῦ (Ἀθήνα) κατὰ τὴ χρονικὴ περίοδο ἀπὸ τὸ 1960 ἕως τὸ 2000 (NASTOS – MATZARAKIS 2008),

- γιὰ τὴν ἀξιολόγηση τῆς θερμικῆς αἴσθησης σὲ σύνθετα ὑπαίθρια καὶ ἡμι-ὑπαίθρια περιβάλλοντα ἀθλητικῶν ἐγκαταστάσεων (σταδίων). Στὴν περίπτωση αὐτὴ ἐξετάζεται ἡ δυνατότητα προσέγγισης, ποὺ συνδυάζει δεδομένα ἀεροδυναμικῆς καὶ ὑπολογισμοῦ τοῦ ἀνθρώπινου θερμικοῦ ἰσοζυγίου (BOUYER ET AL. 2007),

- γιὰ τὴ μελέτη τῶν ἐπιδράσεων τοῦ ἀστικοῦ βιοκλίματος στὴν ἀνθρώπινη νοσηρότητα (SCHWARTZ ET AL. 2004· NASTOS – MATZARAKIS 2006· MICHELOZZI ET AL. 2007),

- γιὰ τὴ μελέτη τῶν ἐπιδράσεων τοῦ ἀστικοῦ βιοκλίματος στὴν ἀνθρώπινη θνησιμότητα (CURRIERO ET AL. 2002· ANALITIS ET AL. 2008· BACCINI ET AL. 2008· HAJAT – KOSATKI 2010· ALMEIDA ET AL. 2010· NASTOS – MATZARAKIS 2012),

- γιὰ μελέτες πολεοδομικοῦ σχεδιασμοῦ (CARMONA ET AL. 2003; NIKOLOPOULOU – STEEMERS 2003; NIKOLOPOULOU – LYKOURDIS 2006; THORSSON ET AL. 2004),

- γιὰ μελέτες σὲ ἀστικὸ δομημένο χῶρο μὲ πολύπλοκα μοτίβα σκίασης καὶ γιὰ τὴ δημιουργία ἀκριβῶν προβλέψεων γιὰ τὸ θερμικὸ περιβάλλον (THORSSON ET AL. 2007· GULIÁS ET AL. 2006),

- τέλος ὁ δείκτης PET ἔχει χρησιμοποιηθεῖ γιὰ τὴ μελέτη θεμάτων σχετικὰ μὲ τὸν τουρισμὸ καὶ τὴ λήψη ἀποφάσεων (DE FREITAS 2003· DIDASKALOU – NASTOS 2003· HAMILTON – LAU 2005· MATZARAKIS – NASTOS 2011· MATZARAKIS ET AL. 2014).

Ἡ ἀξιολόγηση τῆς ἀνθρώπινης θερμικῆς αἴσθησης ἀποτελεῖ μιὰ δύσκολη διαδικασία. Ἡ δυσκολία αὐτὴ ὀφείλεται στὴν ἔλλειψη περιεκτικῶν πειραματικῶν μελετῶν, οἱ ὁποῖες θὰ παρέχουν ἀρκετὰ ἀξιόπιστα στοιχεῖα ὥστε νὰ προσομοιωθεῖ ἡ πολυπλοκότητα τῶν θερμικῶν ἀλληλεπιδράσεων μεταξὺ ἑνὸς μεμονωμένου ἀτόμου (ἐὰν ληφθοῦν ὑπόψη ἡ δραστηριότητα, ἡ ψυχολογία, ἡ φυσιολογία καὶ ἡ ἐνδυμασία του) καὶ ἐνὸς ἰδιαίτερου περιβάλλοντος, ποὺ συνδυάζει τὴ θερμοκρασία τοῦ ἀέρα, τὴ σχετικὴ ὑγρασία, τὴν ταχύτητα τοῦ ἀνέμου, τὴν ἡλιακὴ ἀκτινοβολία καὶ ἄλλα δεδομένα. Ἐπιπλέον, ἀποτελεῖ δύσκολη διαδικασία λόγω τῆς ἔλλειψης ἐνὸς ἀπλοῦ δείκτη, εὐχρηστοῦ καὶ κατανοητοῦ, ποὺ θὰ ἔδινε τὴ δυνατότητα στοὺς μηχανικοὺς νὰ ἐκτιμήσουν τὶς συνέπειες τῶν σχεδιαστικῶν τους ἐπιλογῶν στὴ θερμικὴ ἄνεση τοῦ ἀνθρώπου. Ἄν καὶ σήμερα ἓνας τέτοιος δείκτης δὲν εἶναι διαθέ-

σιμος, ο δείκτης PET αποτελεί μια πρώτη λύση, αφού με αυτόν ποσοτικοποιούνται τα θερμικά δεδομένα ενός συγκεκριμένου υπαίθριου περιβάλλοντος και ανάγονται σε μια θερμοκρασία ιδεατού έσωτερικού χώρου, που προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα, όπως αυτό γίνεται αισθητό από ένα «τυπικό» άτομο.

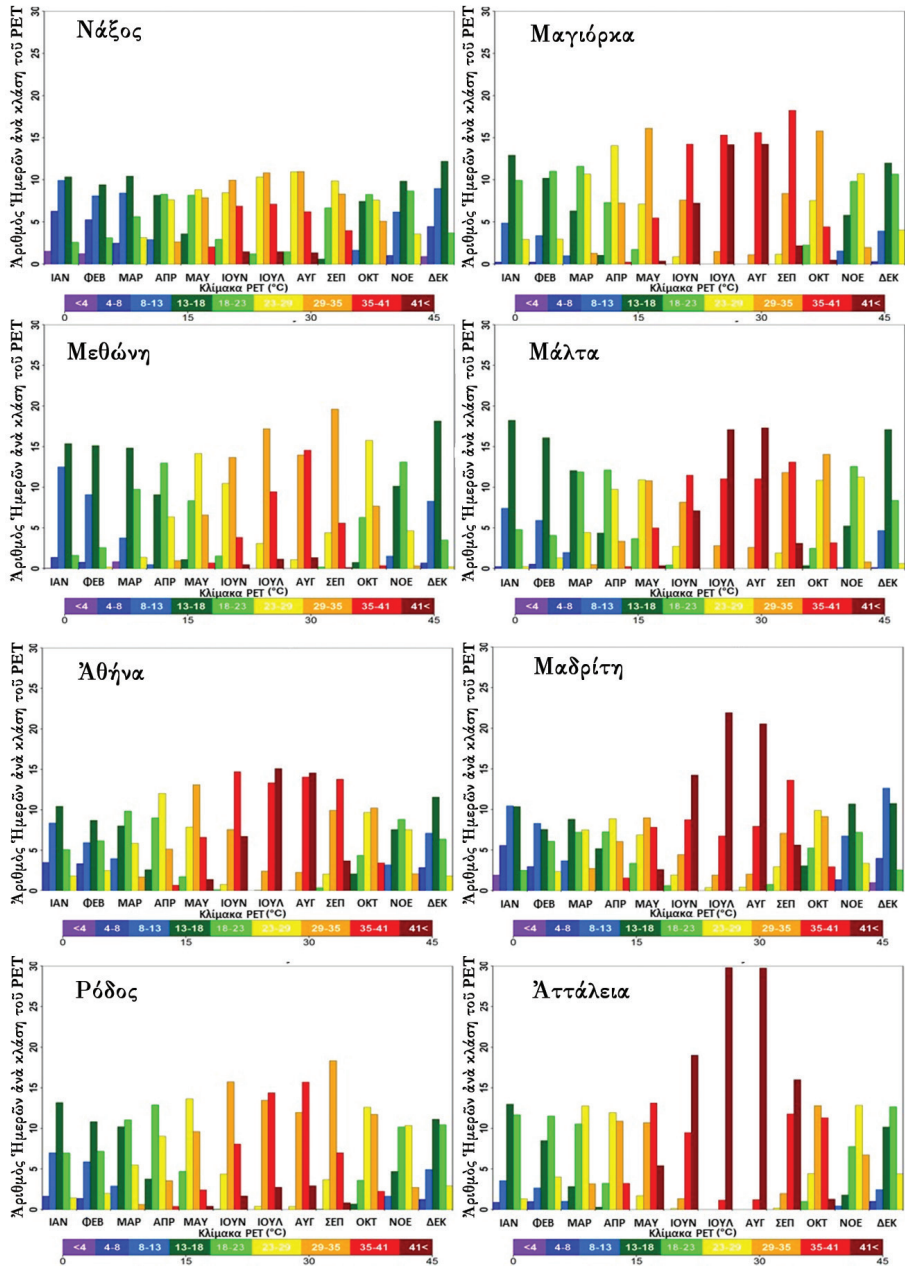
Στόν Πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η εκτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος με βάση τις διαφορές τιμές του PET, όπου κατηγοριοποιείται η ανθρώπινη θερμική αίσθηση και ο αντίστοιχος βαθμός φυσιολογικής καταπόνησης, στη βάση μιας συγκεκριμένης έξ' όρισμού κλίμακας τιμών του δείκτη, που ισχύει μόνον για τις κατ' υπόθεση τιμές της έσωτερικής παραγωγής θερμότητας 80W και θερμικής μόνωσης που προκαλείται από την ένδυμασία 0,9 clo.

PET(°C)	Θερμική αίσθηση (Thermal sensation)	Βαθμός θερμο-φυσιολογικής επιβάρυνσης (Physiological stress level)
<4	Πάρα πολύ κρύο (Very cold)	Άκραία ψυχρή επιβάρυνση (Extreme cold stress)
4-8	Κρύο (Cold)	Ίσχυρη ψυχρή επιβάρυνση (Strong cold stress)
8-13	Δροσερό (Cool)	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση (Moderate cold stress)
13-18	Έλαφρά δροσερό (Slightly cool)	Έλαφρά ψυχρή επιβάρυνση (Slight cold stress)
18-23	Θερμικά ουδέτερο (Comfortable)	Δέν υπάρχει θερμική επιβάρυνση (No thermal stress)
23-29	Έλαφρά θερμό (Slightly warm)	Έλαφρά θερμή επιβάρυνση (Slight heat stress)
29-35	Θερμό (Warm)	Μέτρια θερμή επιβάρυνση (Moderate heat stress)
35-41	Ζεστό (Hot)	Ίσχυρη θερμή επιβάρυνση (Strong heat stress)
>41	Πάρα πολύ ζεστό (Very hot)	Άκραία θερμή επιβάρυνση (Extreme heat stress)

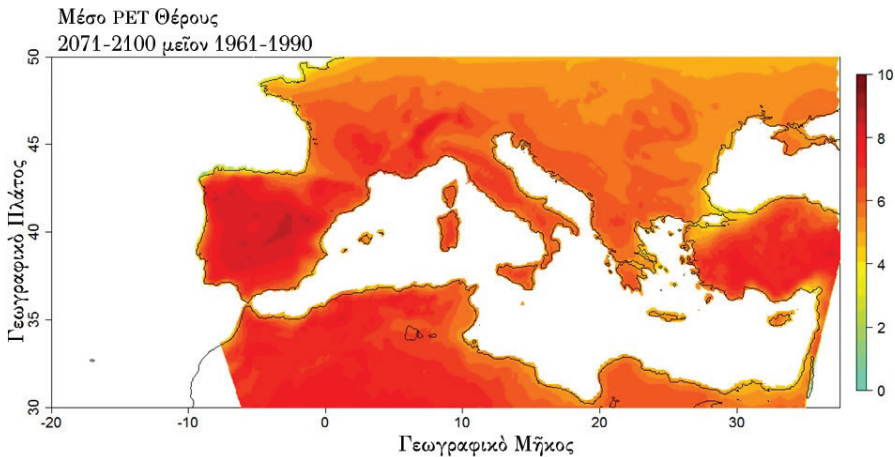
Πίνακας 1: Οι τιμές του δείκτη PET σε σχέση με διάφορους βαθμούς θερμικής άνεσης (φυσιολογικής καταπόνησης των ανθρώπων) (MATZARAKIS ET AL. 1999).

Στὰ ραβδογράμματα τοῦ Σχήματος 14 φαίνεται ἡ σύγκριση τῶν βιοκλιματικῶν συνθηκῶν ποὺ ἐπικρατοῦν σὲ ἑλληνικοὺς τουριστικοὺς προορισμοὺς καὶ σὲ ἀνταγωνιστικοὺς προορισμοὺς τοῦ ἐξωτερικοῦ κατὰ τὴ διάρκεια τοῦ ἔτους ἀνὰ μῆνα. Πιὸ συγκεκριμένα, δίνονται τέσσερα παραδείγματα, στὰ ὁποῖα συγκρίνονται κατὰ ζεύγη ἡ Νάξος μὲ τὴ Μαγιόρκα, ἡ Μεθώνη μὲ τὴ Μάλτα, ἡ Ἀθήνα μὲ τὴ Μαδρίτη καὶ ἡ Ρόδος μὲ τὴν Ἀττάλεια. Οἱ πορτοκαλί, κόκκινες καὶ ἔντονα κόκκινες ράβδοι ἀντιστοιχοῦν σὲ βιοκλιματικὲς συνθῆκες μὲ μέτρια, ἰσχυρὴ καὶ ἀκραία θερμὴ ἐπιβάρυνση ἀντίστοιχα, οἱ ράβδοι σὲ ἀποχρώσεις τοῦ πράσινου, ἀνοιχτοῦ πράσινου καὶ κίτρινου σὲ βιοκλιματικὲς συνθῆκες μὲ ἐλαφρὰ ψυχρὴ ἐπιβάρυνση, θερμοκλὰ οὐδέτερες (θερμικῆς ἄνεσης) καὶ μὲ ἐλαφρὰ θερμὴ ἐπιβάρυνση, καὶ τέλος οἱ ράβδοι μὲ μώβ, βαθὺ μπλε καὶ ἀνοιχτὸ μπλε σὲ συνθῆκες μὲ ἀκραία, ἰσχυρὴ καὶ μέτρια ψυχρὴ ἐπιβάρυνση ἀντίστοιχα. Σὲ ὅλα τὰ ζεύγη εἶναι ἐμφανὴς ἡ ὑπεροχὴ τῶν ἑλληνικῶν τουριστικῶν προορισμῶν σὲ σχέση μὲ ἀνταγωνιστικοὺς προορισμοὺς τοῦ ἐξωτερικοῦ. Πιὸ συγκεκριμένα, κατὰ τὴ διάρκεια τοῦ θέρους σὲ ὅλους τοὺς ἑλληνικοὺς προορισμοὺς ἐπικρατεῖ σημαντικὰ μικρότερος ἀριθμὸς ἡμερῶν μὲ ἰσχυρὴ ἢ ἀκραία θερμὴ ἐπιβάρυνση καὶ ἀντίστοιχα σημαντικὰ μεγαλύτερος ἀριθμὸς ἡμερῶν κατὰ τις ὁποῖες ἐπικρατεῖ θερμοκλὰ ἄνεση ἢ ἐλαφρὰ θερμὴ ἐπιβάρυνση, δηλαδὴ συνθῆκες ἰδανικὲς γιὰ τοὺς τουρίστες σὲ σύγκριση μὲ τοὺς ἀνταγωνιστικοὺς προορισμοὺς τοῦ ἐξωτερικοῦ. Ἀντίστοιχο πλεονέκτημα ἐμφανίζεται ἐπίσης κατὰ τὴν ἀρχὴ καὶ τὸ τέλος τῆς τουριστικῆς περιόδου (Ἀπρίλιο-Μάιο καὶ Σεπτέμβριο-Ὀκτώβριο), περιόδους κατὰ τις ὁποῖες καὶ πάλι σὲ ὅλους τοὺς ἑλληνικοὺς προορισμοὺς ἐπικρατεῖ μικρότερος ἀριθμὸς ἡμερῶν μὲ ἰσχυρὴ θερμὴ ἐπιβάρυνση καὶ ἀντίστοιχα μεγαλύτερος ἀριθμὸς ἡμερῶν κατὰ τις ὁποῖες ἐπικρατεῖ θερμοκλὰ ἄνεση. Τέλος, κατὰ τὴν χειμερινὴ περίοδο, στὰ ζεύγη ποὺ παρατίθενται, οἱ βιοκλιματικὲς συνθῆκες ποὺ ἐπικρατοῦν στοὺς ἑλληνικοὺς καὶ στοὺς ἀνταγωνιστικοὺς προορισμοὺς τοῦ ἐξωτερικοῦ εἶναι παρόμοιες ἢ ἐλαφρὰ κατώτερες, ἀλλὰ σὲ κάθε περίπτωση δὲν ἀντιστρέφουν οὔτε κατ' ἐλάχιστον τὸ σημαντικὸ πλεονέκτημα ποὺ ἐπικρατεῖ στοὺς ἑλληνικοὺς προορισμοὺς κατὰ τὴ διάρκεια τῶν περιόδων μὲ ἔντονη προσέλευση τουριστῶν.

Τέλος στὸ Σχῆμα 15 παρουσιάζονται οἱ μεταβολὲς τοῦ μέσου PET κατὰ τὸ θέρους, μεταξὺ τῆς μελλοντικῆς περιόδου 2071-2100 καὶ τῆς περιόδου ἐλέγχου 1961-1990 ἀνὰ τὴ Μεσόγειο μὲ βάση τις ἐκτιμήσεις τοῦ περιοχικοῦ κλιματικοῦ μοντέλου RAMCO-2 (KNMI), γιὰ τὴν περίπτωση



Σχήμα 14: Παραδείγματα υπεροχής των ελληνικών τουριστικών προορισμών σε σχέση με ανταγωνιστικούς προορισμούς του εξωτερικού.



Σχήμα 15: Μεταβολές του μέσου PET ($^{\circ}\text{C}$) θέρος μεταξύ τής περιόδου 2071-2100 και 1961-1990, με βάση την εκτίμηση του περιοχικού κλιματικού μοντέλου (RCM) RACMO2 του προγράμματος ENSEMBLES υπό το Σενάριο Έκπομπών A1B.

του Σεναρίου Έκπομπών A1B. Όπως αναμένεται, λόγω τής ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής, σε όλη τη Μεσόγειο το μέσο PET και επομένως ο αριθμός των ημερών με ισχυρή ή άκραία θερμή επιβάρυνση αυξάνονται. Ωστόσο είναι εμφανές ότι η αναμενόμενη αύξηση στην Ελλάδα και άρα η υποβάθμιση του τουριστικού προϊόντος τη θερινή περίοδο είναι σημαντικά μικρότερη σε σύγκριση με την Ισπανία, τη Βόρειο Αφρική, την Τουρκία και σε μικρότερο βαθμό την Ιταλία, κάτι το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την ακόμα μεγαλύτερη υπεροχή των ελληνικών προορισμών έναντι των ανταγωνιστικών προορισμών τής Μεσογείου στο μέλλον.

Συμπεράσματα

Από την έκτενη ανάλυση που προηγήθηκε προέκυψαν σημαντικά πλεονεκτήματα για τον ελληνικό τουρισμό έναντι ανταγωνιστικών προορισμών εκτός Ελλάδος. Όσον αφορά στον θερινό τουρισμό, ευνοϊκές συνθήκες επικρατούν από τον Μάιο μέχρι και τον Οκτώβριο στα νησιά του Αιγαίου. Η υπεροχή αυτή συνεχίζεται και στις επερχόμενες δεκαετίες παρά την εξελισσόμενη ανθρωπογενή επίδραση στο κλίμα, ειδικότερα στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους. Οί υποδεέστερες σχετικά με το Αιγαίο βιοκλιμα-

τικές συνθήκες που εμφανίζονται στους τουριστικούς προορισμούς των νησιών του Ίονιου κατά το θέρους αντιστρέφονται σε ιδανικές κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου. Το ίδιο αναμένεται να συνεχιστεί και κατά τις προσεχείς δεκαετίες.

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη υποστηρίχθηκε από το Ίνστιτούτο του Συνδέσμου Έλληνικών Τουριστικών Επιχειρήσεων (ΙΝΣΕΤΕ), το Navarino Environmental Observatory (NEO) και την Έπιτροπή Μελέτης της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ) της Τραπέζης της Ελλάδος.

Βιβλιογραφία

- ALMEIDA, S. P. – CASIMIRO, E. – CALHEIROS, J., Effects of apparent temperature on daily mortality in Lisbon and Oporto, Portugal, *Environmental Health*, 9, 2010, 12.
- ANALITIS, A. – KATSOUYANNI, K. – BIGGERI, A. – BACCINI, M. – FORSBERG, B. – BISANTI, L. – KIRCHMAYER, U. – BALLESTER, F. – CADUM, E. – GOODMAN, P. G. – HOJS, A. – SUNYER, J. – TIITTANEN, P. – MICHELOZZI, P., Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project, *American Journal of Epidemiology*, 168, 12, 2008, 1397-1408.
- BACCINI, M. – BIGGERI, A. – ACCETTA, G. – KOSATSKY, T. – KATSOUYANNI, K. – ANALITIS, A. – ANDERSON, H. R. – BISANTI, L. – D'IPPOLITI, D. – DANOVA, J. – FORSBERG, B. – MEDINA, S. – PALDY, A. – RABCZENKO, D. – SCHINDLER, C. – MICHELOZZI, P., Heat effects on mortality in 15 European cities, *Epidemiology*, 19, 5, 2008, 711-719.
- BLETA, A. – NASTOS, P. T. – MATZARAKIS, A., Assessment of bioclimatic conditions on Crete Island, Greece, *Regional Environmental Change*, 14, 2014, 1967-1981.
- BOUYER, J. – VINET, J. – DELPECH, P. – CARRÉ, S., Thermal comfort assessment in semi-outdoor environments: Application to comfort study in stadia, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95, 2007, 963-976.
- CARMONA, M. – HEATH, T. – OC, T. – TIESDELL, S., Public places-urban spaces: the dimensions of urban design, *Architectural Press*, Elsevier, Burlington, 2003.
- CURRIERO, F. C. – HEINER, K. S. – SAMET, J. M. – ZEGER, S. L. – STRUG, L. – PATZ, J. A., Temperature and mortality in 11 cities of eastern United States, *American Journal of Epidemiology*, 155, 2002, 80-87.

- DE FREITAS, C. R., Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector, *International Journal of Biometeorology*, 4, 2003, 45-54.
- DIDASKALOU, E. – NASTOS, P., The role of climatic and bioclimatic conditions in the development of health tourism product, *Anatolia*, 14, 2, 2003, 107-126.
- GULIÁS, Á. – MATZARAKIS, A., Selected examples of bioclimatic analysis applying the physiologically equivalent temperature in Hungary, *Acta Climatologica et Chorologica, Universitatis Szegediensis*, 40-41, 2007, 37-46.
- GULIÁS, Á. – UNGER, J. – MATZARAKIS, A., Assessment of the microclimatic and thermal comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements, *Building and Environment*, 41, 2006, 1713-1722.
- HAJAT, S. – KOSATKI, T., Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity, *Journal of Epidemiology & Community Health*, 64, 2010, 753-760.
- HAMILTON, J. M. – LAU, M. A., The role of climate information in tourist destination choice decision-making, *Proceedings of the 17th International Congress of Biometeorology*, 2005, 608-611.
- HÖPPE, P., Heat balance modelling, *Experientia*, 49, 1993, 741-746.
- HÖPPE, P., The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *International Journal of Biometeorology*, 43, 1999, 71-75.
- HÖPPE, P. – SEIDL, H., Problems in the assessment of the bioclimate for vacationists at the seaside, *International Journal of Biometeorology*, 35, 1991, 107-110.
- JOHANSSON, E. – ROHINTON, E., The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka, *International Journal of Biometeorology*, 51, 2006, 119-133.
- KNEZ, I. – THORSSON, S., Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square, *International Journal of Biometeorology*, 50, 2006, 258-268.
- MATZARAKIS, A. – NASTOS, P. T., Analysis of tourism potential for Crete Island, Greece, *Global NEST Journal*, 13, 2011, 141-149.
- MATZARAKIS, A. – ENDLER, C. – NASTOS, P. T., Quantification of climate-tourism potential for Athens, Greece – recent and future climate simulations, *Global NEST Journal*, 16, 1, 2014, 43-51.
- MATZARAKIS, A. – MATER, H. – IZIOMON, M. G., Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature, *International Journal of Biometeorology*, 43, 1999, 76-84.
- MATER, H. – HÖPPE, P., Thermal comfort of man in different urban environments, *Theoretical and Applied Climatology*, 38, 1987, 43-49.

- MICHELOZZI, P. – KIRCHMAYER, U. – KATSOUYANNI, K. – BIGGERI, A. – MCGREGOR, G. – MENNE, B. – KASSOMENOS, P. – ANDERSON, H. R. – BACCINI, M. – ACCETTA, G. – ANALYTIS, A. – KOSATSKY, T., Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe, the PHEWE project: background, objectives, design, *Environmental Health*, 6, 2007, 12.
- NASTOS, P. T. – MATZARAKIS, A., Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece, *International Journal of Biometeorology*, 50, 2006, 358-369.
- NASTOS, P. T. – MATZARAKIS, A., Variability of tropical days over Greece within the second half of the twentieth century, *Theoretical and Applied Climatology*, 93, 2008, 75-89.
- NASTOS, P. T. – MATZARAKIS, A., The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 2012, 591-599.
- NASTOS, P. T. – MATZARAKIS, A., Human bioclimatic conditions, trends, and variability in the Athens University Campus, Greece, *Advances in Meteorology*, article ID 976510, 8 pages, 2013.
- NIKOLOPOULOU, M. – LYKOUKIDIS, S., Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries, *Building and Environment*, 41, 2006, 1455-1470.
- NIKOLOPOULOU, M. – STEEMERS, K., Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces, *Energy and Buildings*, 35, 2003, 95-101.
- SCHWARTZ, J. – SAMET, J. – PATZ, J., Hospital admissions for heart disease: the effects of temperature and humidity, *Epidemiology*, 15, 2004, 755-761.
- SVENSSON, M. K. – ELIASSON, I., Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning, *Landscape and Urban Planning*, 61, 2002, 37-54.
- TAFFÉ, P., A qualitative response model of thermal comfort, *Building and Environment*, 32, 1997, 115-121.
- THORSSON, S. – LINDQVIST, M. – LINDQVIST, S., Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden, *International Journal of Biometeorology*, 48, 2004, 149-156.
- THORSSON, S. – HONJO, T. – LINDBERG, F. – ELIASSON, I. – LIM, E., Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public places, *Environment Behaviour*, 39, 2007, 1-25.
- https://www.bankofgreece.gr/BogEkdoseis/%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%B7%CF%82_%CE%95%CE%BA%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%B7.pdf
-

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 19ΗΣ ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2018

ΑΝΑΓΓΕΛΙΑ ΘΑΝΑΤΟΥ

Ὁ Πρόεδρος τῆς Ἀκαδημίας κ. Ἀντώνιος Κουνάδης ἀναγγέλλει τὸν θάνατο τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους Ἀνθιμου Χριστοφορίδου.

Μετὰ τὸν Πρόεδρο λαμβάνει τὸν λόγο ὁ ἀκαδημαϊκὸς κ. Γρηγόριος Σκαλιέας καὶ λέγει γιὰ τὸν Ἀνθιμο Χριστοφορίδου τὰ ἑξῆς:

«Ὁ καθηγητὴς Ἀνθιμος Χριστοφορίδης, ἀντεπιστέλλον μέλος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, ἀνεπαύθη ἐν εἰρήνῃ, πλήρης ἡμερῶν, στὸ σπίτι του, περιστοιχιζόμενος ἀπὸ τὴν οἰκογένειά του, τὴν ἀγαπημένη του σύζυγο καὶ τοὺς τέσσερις γιούς του.

Ὁ ἀείμνηστος Χριστοφορίδης γεννήθηκε στὴ Σύλλη τῆς Μ. Ἀσίας. Περάτωσε τὶς ἐγκύκλιες σπουδές του στὴ Θεσσαλονίκη καὶ ἀκολούθως ἔλαβε τὸ πτυχίον τῆς Ἰατρικῆς Σχολῆς ἀπὸ τὸ Ἐθνικὸ καὶ Καποδιστριακὸ Πανεπιστήμιον Ἀθηνῶν. Ἀφοῦ ἐξεπλήρωσε τὶς στρατιωτικὰς του ὑποχρεώσεις, μετέβη στὸ Ohio State University τῶν ΗΠΑ με ὑποτροφία, γιὰ εἰδίκευση στὸν κλάδον τῆς Ἀκτινολογίας.

Μετὰ τὸ πέραν τῆς εἰδικεύσεώς του, τοῦ προτάθηκε νὰ καταλάβει θέσιν στὸ Πανεπιστήμιον καὶ νὰ πολιτογραφηθῆ Ἀμερικανὸς πολίτης, διατηρώντας παράλληλα καὶ τὴν ἐλληνικὴν του ὑπηκοότητα. Ἀπεδέχθη τὴν πρότασιν καὶ παρέμεινε στὸ Πανεπιστήμιον, ὅπου καὶ ἀνῆλθε ὅλες τὶς βαθμίδες τῆς ἱεραρχίας, ἐκλεγείναι καμψήφει τακτικὸς καθηγητὴς Ἀκτινολογίας τὸ 1965. Παράλληλα μετὰ τὰ διδασκτικὰ του καθήκοντα ὀργάνωσε πειραματικὸν ἐργαστήριον, ὅπου μαζὶ με τοὺς συνεργάτας του ἀσχολήθηκε μετὰ τὴν εἰσαγωγὴν πειραματικῶν μεθόδων στεφανιογραφίας ἀρχικὰ σὲ σκυλιὰ καὶ ἀργότερα σὲ κλινικὴν ἐφαρμογὴν. Ἀσχολήθηκε ἐπίσης μετὰ τὴν ἔρευνα ἀκτινολογικῶν εὐρημάτων σὲ παθήσεις τοῦ λεπτοῦ ἐντέρου μετὰ πειραματικὰς ἐργασίας μηχανικῆς ἀποφράξεως, ἀγγειακῆς ἀποφράξεως καὶ στραγγαλισμοῦ τοῦ ἐντέρου.

Τὴν περίοδο αὐτὴ συνεργάστηκε μὲ τοὺς διακεκριμένους καθηγητὲς Zollinger καὶ Ellison στὴ μελέτη τῶν ἀκτινολογικῶν σημείων τοῦ γαστρινώματος. Τὰ εὐρήματα ἀνακοινώθηκαν σὲ συνέδρια καὶ τὸ σύνδρομο Zollinger – Ellison περιεγράφη γιὰ πρώτη φορὰ στὸ Ohio State University.

Κατὰ τὴν παραμονή του στὶς ΗΠΑ ἐπισκέφθηκε πολλὰ Πανεπιστήμια ὡς προσκεκλημένος ὁμιλητῆς, διηύθυνε μεταπτυχιακὰ τμήματα καὶ ἔκανε ἀνακοινώσεις σὲ πολλὰ παγκόσμια συνέδρια ἀκτινολογίας.

Τὸ 1970 ἡ Ἱατρικὴ Σχολὴ τοῦ Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης ζήτησε παμψηφεί τὴ μετάκλησή του, προκειμένου νὰ καταλάβει τὴν κενωθεῖσα ἔδρα τῆς Ἀκτινολογίας, τὴν ὁποία καὶ ἀπεδέχθη. Ἐκεῖ δραστηριοποιήθηκε στὴν ὀργάνωση τῆς κλινικῆς ἀκτινολογίας καὶ στὴν ἐκπαίδευση ἀκτινολόγων, μὲ ἔμφαση στοὺς τομεῖς τῆς ἀγγειοκαρδιογραφίας, στὴν ἀγγειογραφία τῶν σπλαχνικῶν καὶ περιφερικῶν ἀγγείων, καθὼς καὶ στὴ χρῆση ὑπερήχων.

Παράλληλα μὲ τὰ καθήκοντά του στὸ Πανεπιστήμιο, κατόπιν παρακλήσεως τοῦ Κωνσταντίνου Τσάτσου, ἀνέλαβε τὴ διεύθυνση τοῦ Θεαγνείου Ἀντικαρκινικοῦ Ἰνστιτούτου. Διετέλεσε ἐπίσης Ἀντιπρόεδρος τῆς Ἑλληνικῆς Ἀντικαρκινικῆς Ἑταιρείας.

Παρὰ τὰ αὐξημένα καθήκοντά του συνέχιζε νὰ ἐπισκέπτεται ἐπιστημονικὰ κέντρα στὸ ἐξωτερικὸ καὶ διετήρησε τὸν τίτλο τοῦ ἐπισκέπτη καθηγητῆ στὸ Ohio State University, στὸ Ἀκτινολογικὸ Τμῆμα τοῦ ὁποίου ἐξελέγη Πρόεδρος, ἐν μέσω πολλῶν ὑποψηφίων. Ἐπέστρεψε ἔτσι ὀριστικὰ ἐκεῖ ὅπου ξεκίνησε τὴν πανεπιστημιακὴ του καριέρα.

Ὁ καθηγητῆς Χριστοφορίδης ὑπῆρξε ἐπιστήμων διεθνοῦς κύρους, πρωτοπόρος στὴν ἐξέλιξη τῆς σύγχρονης ἀκτινολογίας. Διαπνεόταν ὅμως καὶ ἀπὸ ἐθνικὸ φρόνημα καὶ μεγάλη ἀγάπη πρὸς τὴ μητέρα πατρίδα, ποὺ ἐξέφραζε ἔντονα τόσο στὸν δημόσιο ὅσο καὶ στὸν ἰδιωτικὸ του βίο.

Σύντροφος τῆς ζωῆς του ἡ διακεκριμένη γλύπτρια Ἄννα, μὲ τὴν ὁποία ἀπέκτησε τέσσερις γιούς, διακεκριμένους ἐπιστήμονες, οἱ ὁποῖοι αἰσθάνονται ὑπερήφανοι γιὰ τὴν ἑλληνικὴ τους καταγωγή καὶ ἐπισκέπτονται τακτικὰ τὴν Ἑλλάδα.

Ἡ μνήμη του θὰ παραμείνει αἰωνία».

Ἡ Ὀλομέλεια τηρεῖ ἐνὸς λεπτοῦ σιγὴ εἰς μνήμη του ἐκλιπόντος.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 24ΗΣ ΜΑΪΟΥ 2018

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΗΡΕΑΣΜΟΥ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ:
ΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ
ΤΗΝ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
κ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ Α. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ

1. Εισαγωγή

1.1 Η σημερινή συγκυρία επαναστατικών αλλαγών στις μεταφορές

Βρισκόμαστε σήμερα μπροστά σε μια περίοδο δυναμικών αλλαγών στις μεταφορές, όπου όλο και περισσότερα καινοτομικά προϊόντα και υπηρεσίες εισέρχονται στην αγορά μέσα από μια συνεχώς αυξανόμενη συνέργεια μεταξύ της επιστημονικής-έρευνητικής κοινότητας και της επιχειρηματικής, δηλαδή του ιδιωτικού τομέα γενικότερα. Όρισμένα από τα προϊόντα αυτά δημιουργούν τις προϋποθέσεις για ριζικές αλλαγές στις σημερινές συνθήκες και συνήθειες μετακινήσεων, γεγονός που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως «επαναστατική» καινοτομία και αλλαγή.

Υπάρχουν τρεις τομείς των Μεταφορών στους οποίους ένα σύνολο καινοτομικών αλλαγών τα τελευταία χρόνια αλλάζει ριζικά το τοπίο, με απόβλεπτες συνέπειες για το μέλλον. Πρόκειται για τους εξής τομείς:

I. *Αυτόνομα και «εύφυη» οχήματα για επίγειες και εναέριας μεταφορές.* Η χρήση τέτοιων οχημάτων (κυρίως ηλεκτρικών), κινού-

μενων με̄ ἐξελιγμένους ἀλγορίθμους εὕρεσης διαδρομῶν, προβλέπεται νὰ ἐπιφέρει ἐπαναστατικές ἀλλαγές στὸν τρόπο καὶ τὰ χαρακτηριστικά τῶν μετακινήσεων ἰδίως σὲ ἀστικές περιοχές. Οἱ πρῶτες πειραματικές –περισσότερο ἐπιδεικτικές– ἐφαρμογές ἔχουν ἀρχίσει πρὸ δεκαετίας καὶ πλέον. Ἡ εὐρεία ἐφαρμογὴ ἐπίγειων αὐτόνομων ὀχημάτων σὲ λειτουργία γιὰ τὶς καθημερινές μας μετακινήσεις ἀναμένεται σὲ χρονικὸ ὀρίζοντα πενταετίας, δηλαδή πρὸς τὸ 2023, ἐνῶ ἡ χρῆση ἐναέριων αὐτόνομων ὀχημάτων (drones) γιὰ μετακινήσεις ἀτόμων (ἱπτάμενα ταξί) ἢ γιὰ μεταφορές ἐμπορευμάτων σὲ μικρὲς ἀποστάσεις θὰ ἔρθει λίγο ἀργότερα.

II. Ἡλεκτροκίνηση καὶ «καθαρὴ» κινητικότητα. Ἡ χρῆση καθαρῶν πηγῶν ἐνέργειας στὶς μεταφορές, καὶ ἰδίως ἡ ἠλεκτροκίνηση, ἀποτελεῖ τὸν δεῦτερο μεγάλο τομέα ἀλλαγῶν ποὺ συντελοῦνται. Τὰ ἠλεκτρικὰ ὀχήματα με̄ μπαταρίες ἔχουν ἤδη μπεῖ στὴν κυκλοφορία καὶ συνεχῶς αὐξάνονται, τόσο σὲ ἀριθμὸ νέων μοντέλων ποὺ παράγονται ὅσο καὶ σὲ ἀριθμὸ τεμαχίων ποὺ πωλοῦνται κάθε χρόνο¹. Παραμένει ὅμως τὸ πρόβλημα τῆς ἀκτίνας δράσης τους –λόγω χρόνου ἰσχύος μιᾶς φόρτισης τῆς μπαταρίας–, ἀλλὰ καὶ τοῦ χρόνου ποὺ ἀπαιτεῖται γιὰ τὴν ἐπαναφόρτιση. Ἡ ἄλλη παραλλαγὴ τῆς ἠλεκτροκίνησης εἶναι τὰ ὀχήματα με̄ κυψέλες ὑδρογόνου τὰ ὁποῖα χρησιμοποιοῦν ὡς καύσιμο τὸ ὑδρογόνο γιὰ παραγωγὴ ἠλεκτρισμοῦ σὲ μιὰ κυψέλη καυσίμου καὶ χρῆση τοῦ ἠλεκτρισμοῦ γιὰ τὴν κίνηση τοῦ ὀχήματος. Αὐτὴ ἡ τεχνολογία εἶναι ἀποδοτικότερη με̄ τὴν ἔννοια τῆς μεγαλύτερης ἀκτίνας δράσης καὶ τῆς ἄμεσης φόρτισης, ἀλλὰ ἡ παραγωγὴ καὶ διάθεση τοῦ ὑδρογόνου ἀποτελεῖ ἀκόμα τὸ μεγάλο πρόβλημα (EASAC 2018).

III. «Συνεργατικὰ-συνδεδεμένα» συστήματα μεταφορῶν (Cooperative transport systems). Σύνδεση τῶν ὀχημάτων –μέσω δικτύων τηλεπικοινωνιῶν ὑψηλῶν συχνοτήτων ἢ τοῦ internet of things– με̄ τὶς ὑποδομές (περιλαμβανομένων τῶν κέντρων κυκλοφοριακοῦ ἐλέγχου) καὶ

1. Κατὰ τὸν *Economist*: «Τὰ αὐτόνομα ἠλεκτροκίνητα ὀχήματα κατὰ τὸν 21ο αἰῶνα πρόκειται νὰ ἀλλάξουν τὸν κόσμον κατὰ τὸν ἴδιον ριζικὸν τρόπον ποὺ καὶ τὰ ὀχήματα με̄ μηχανές ἐσωτερικῆς καύσης τὸν ἀλλάξαν στὸν 20ὸ αἰῶνα. Θὰ εἶναι ὅμως ἀνώμαλος ὁ δρόμος» (BERKELEY 2017).

τὰ ἄλλα ὀχήματα. Ταυτόχρονα, μετὴν συλλογὴ καὶ ἀνάλυση «μεγάλων δεδομένων» γιὰ τὴν κυκλοφορία καὶ τὸ περιβάλλον, ἀναμένεται δημιουργία πολλῶν νέων ὑπηρεσιῶν μεταφορᾶς, ποὺ ὅλες μαζί θὰ ἀποτελέσουν τὴ βάση γιὰ τὰ συστήματα βιώσιμης κινητικότητας τοῦ μέλλοντος καὶ τὴν παροχὴ «ὑπηρεσιῶν κινητικότητας», ποὺ θὰ ἐπιφέρουν ταυτόχρονα καὶ τὴ λεγόμενη «κοινόχρηστη κινητικότητα»², δηλαδή τὴν κοινή χρήση ΙΧ ὀχημάτων ἀπὸ πολλοὺς μετακινούμενους οἱ ὅποιοι δὲν θὰ ἔχουν τὴν ἰδιοκτησία τῶν ὀχημάτων. Μετὴν –ἀναμενόμενη– ἐπικράτηση τῶν ὑπηρεσιῶν κινητικότητας καὶ τὴν κοινόχρηστη κινητικότητα θὰ ἀλλάξει ριζικὰ ὁ δείκτης ἰδιοκτησίας τῶν ΙΧ αὐτοκινήτων μετὰ κυριότερες ἀναμενόμενες ἐπιπτώσεις:

- α. Μικρότερο ἀριθμὸ κυκλοφορούντων ὀχημάτων στοὺς δρόμους – ἕως καὶ 50% στὶς ἀστικές περιοχές.
- β. Λιγότερους χώρους στάθμευσης – ἀπελευθέρωση ἀστικοῦ χώρου ἕως καὶ 25%.
- γ. Μεγαλύτερου μήκους μετακινήσεις – ἐπίπτωση στὴν πολεοδομικὴ ἀνάπτυξη.

Μιὰ ἀναλυτικὴ περιγραφή καὶ τῶν τριῶν αὐτῶν καινοτομιῶν ἀλλαγῶν, μετὰ ἔμφαση στὶς νέες τεχνολογίες, ὑπάρχει σὲ προηγούμενες ἐργασίες τοῦ συγγραφέως, δημοσιευμένες στὰ Πρακτικὰ τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν (ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ 2015· ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ 2017). Ὅλες οἱ παραπάνω καινοτομικὲς τεχνολογίες καὶ ὑπηρεσίες βρῖσκονται σήμερα σὲ φάση πλήρους ἀνάπτυξης ὅσον ἀφορᾷ τόσο τὶς τεχνολογίες ὅσο καὶ τὸ κανονιστικὸ πλαίσιο. Θὰ χρειαστεῖ ὅμως ἀκόμα ἀρκετὸς χρόνος γιὰ νὰ ὀριμιάσουν πλήρως καὶ ἐφαρμοστοῦν στὴν πράξη, ἐπιφέροντας ριζικὲς-ἐπαναστατικὲς ἀλλαγὲς στὸν τρόπο ποὺ μετακινοῦνται στὸ μέλλον ἄνθρωποι καὶ ἐμπορεύματα.

Ἐνας χρήσιμος παραλληλισμὸς, γιὰ νὰ γίνῃ κατανοητὴ ἡ περίοδος ριζικῶν ἀλλαγῶν στὴν ὁποία βρισκόμαστε σήμερα καὶ ἡ προοπτικὴ τῶν ἐπιπτώσεών τους στὴν καθημερινότητά μας, θὰ ἦταν νὰ τὴ συγκρίνουμε μετὰ τὴν ἀντίστοιχη περίοδο ἀνάπτυξης τοῦ αὐτοκινήτου μετὰ τὴ μηχανὴ ἐσωτερικῆς καύσης 100 χρόνια πρὶν, δηλαδή τὸ 1918. Θὰ λέγαμε ὅτι οἱ νέες τε-

2. Στὰ ἀγγλικά οἱ ὄροι ποὺ χρησιμοποιοῦνται εἶναι «Mobility as a service – MaaS» καὶ «shared mobility».

χνολογίες τις οποίες αναφέραμε παραπάνω βρίσκονται σήμερα στο ίδιο περίπου σημείο στο οποίο βρισκόταν και η μηχανή έσωτερικῆς καύσης στην αντίστοιχη χρονική περίοδο το 1918... Χρειάστηκαν τότε άλλα 40 περίπου χρόνια για να αρχίσουν τα αυτοκίνητα να προσομοιάζουν στη μορφή που τα ξέρουμε σήμερα και να υλοποιούνται οι επαναστατικές τεχνολογικές αλλαγές του περασμένου αιώνα, που εξαπλώθηκαν πλήρως στο δεύτερο ήμισυ του αιώνα. Με ανάλογο τρόπο αναμένεται να εξελιχθούν και να εξαπλωθούν οι νέες καινοτομίες και οι συναφείς με αυτές τεχνολογικές αλλαγές σε αυτόν τον αιώνα (λαμβανομένης βεβαίως υπόψη τῆς καθυστέρησης που προήλθε τον περασμένο αιώνα από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο και τις επιπτώσεις του).

1.2 Όρισμός τῆς καινοτομίας και ἀντικείμενο τῆς ἐργασίας

Ὁ πιό ἀπλὸς ὀρισμὸς τῆς «καινοτομίας» εἶναι αὐτὸς ποὺ δόθηκε ἀρχικὰ ἀπὸ τὸν Schumpeter. Κατ' αὐτόν, καινοτομία εἶναι ἀπλῶς ἡ «ἐμπορικὴ ἐκμετάλλευση νέων ιδεῶν»³. Ὁ βασικὸς αὐτὸς ὀρισμὸς ἰσχύει καὶ σήμερα, ἀλλὰ μποροῦμε νὰ τὸν ἐξειδικεύσουμε περισσότερο μὲ τὴν ἐξῆς διατύπωση: «Καινοτομία εἶναι ἡ μετατροπὴ τῶν ἀποτελεσμάτων τῆς ἔρευνας σὲ ἐκμεταλλεύσιμα ἐμπορικὰ προϊόντα τὰ ὁποῖα καλύπτουν ἀνάγκες τῆς κοινωνίας καὶ τῆς ἀγορᾶς». Ἡ ὑπαρξὴ ἐνδιαφέροντος ἀπὸ τὴν «ἀγορὰ» γιὰ τὴν ἐμπορικὴ ἀξιοποίηση ἑνὸς ἐρευνητικοῦ ἀποτελέσματος εἶναι βασικὸ συστατικὸ τῆς ἔννοιας τῆς «καινοτομίας». Μάλιστα, ὅπως χαρακτηριστικὰ ἀναφέρεται ἀπὸ πολλοὺς συγγραφεῖς, «ἂν ἡ ἔρευνα εἶναι ἡ μετατροπὴ οἰκονομικῶν πόρων σὲ γνώση, ἡ καινοτομία εἶναι ἡ “μετατροπὴ” γνώσης σὲ οἰκονομικοὺς πόρους».

Τὰ δύο βασικὰ ἐρωτήματα ποὺ ἀναφύονται ὡς συνέπεια τῶν παραπάνω ὀρισμῶν τῆς καινοτομίας εἶναι τὸ κατὰ πόσον οἱ διατιθέμενοι πόροι γιὰ ἔρευνα δημιουργοῦν καινοτομία ἴσης ἢ ἀντίστοιχης ἀξίας καὶ πῶς ἡ παραγόμενη καινοτομία μπορεῖ νὰ ἔχει πολλαπλασιαστικὰ ὀφέλη γιὰ τὴν τοπικὴ καὶ τὴν ἐθνικὴ οἰκονομία γενικότερα.

3. Joseph Alois Schumpeter (1883-1950), οἰκονομολόγος τῶν ἀρχῶν τοῦ προηγούμενου αἰώνα ποὺ ἔγινε γνωστὸς μὲ τὸ βιβλίο του *Capitalism, Socialism, and Democracy* καὶ τὴ θεωρία περὶ δυναμικῆς οἰκονομικῆς ἀνάπτυξης, γνωστὴ καὶ ὡς θεωρία τῆς «δημιουργικῆς καταστροφῆς» (creative destruction) (SCHUMPETER 2014).

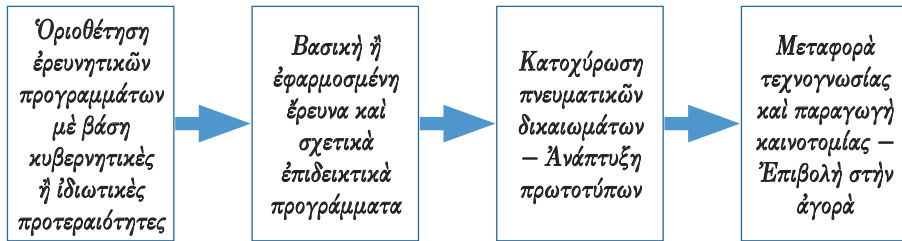
Ἡ παρούσα ἐργασία ἀσχολεῖται μὲ τὴ διερεύνηση τοῦ τρόπου καὶ τῶν διαδικασιῶν παραγωγῆς («καινοτομίας») καὶ τῶν παραγόντων ποὺ τὴν ἐπηρεάζουν. Ἀποτελεῖ τμῆμα μιᾶς διετοῦς ἐρευνητικῆς ἐργασίας τοῦ συγγραφέα στὸ πλαίσιο συγγραφῆς ἐνὸς βιβλίου γιὰ τὴν καινοτομία στὸν Τομέα τῶν Μεταφορῶν, ἡ ὁποία περιλαμβάνει καὶ δέκα ἔρευνες περιπτώσεων (case studies) σχετικὰ μὲ ἐπιτυχημένες περιπτώσεις καινοτομικῶν οἰκονομικῶν ἀποβλημάτων (GIANNOPOULOS – MUNRO 2018). Κύριο πεδίο ἀναφορᾶς τῶν θεωριῶν καὶ τῶν ἀπόψεων ποὺ διατυπώνονται ἐδῶ εἶναι ὁ τομέας τῶν Μεταφορῶν. Στόχος τῆς παρούσας ἐργασίας εἶναι νὰ ἐκθέσει τὶς βασικὲς «διαστάσεις» καὶ τὰ χαρακτηριστικὰ τῶν μηχανισμῶν παραγωγῆς καινοτομίας, νὰ ἐξετάσει τὴ σημερινὴ κατάσταση στὴν Ἑλλάδα ὅσον ἀφορᾷ τὰ θέματα αὐτὰ καὶ νὰ σκιαγραφήσει τοὺς στόχους μιᾶς πιθανῆς ἐλληνικῆς πολιτικῆς γιὰ ὑποστήριξη καὶ ἀνάπτυξη τῆς καινοτομίας στὴν Ἑλλάδα.

2. Κλασικὲς θεωρίες καὶ μοντέλα καινοτομίας

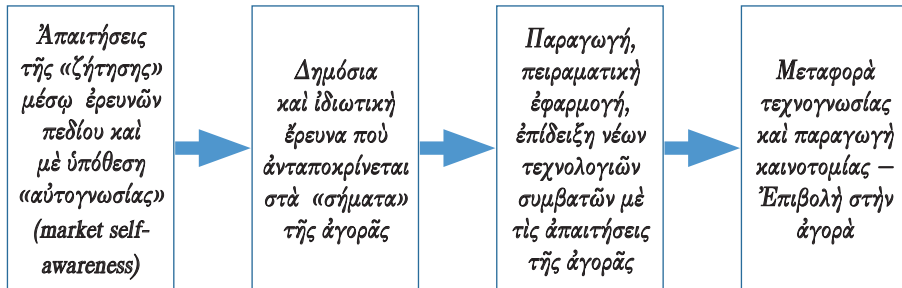
2.1 Γραμμικὰ μοντέλα καινοτομίας

Οἱ κλασικὲς θεωρίες σχετικὰ μὲ τὴ δημιουργία καινοτομίας μποροῦν νὰ διακριθοῦν σὲ δυὸ βασικὲς («σχολές»): τὴ λεγόμενη «κανονιστικὴ» σχολὴ (normative) καὶ ἐκείνην τῆς ἀπλῆς μονοδιάστατης (ἢ γραμμικῆς) θεώρησης. Ἡ πρώτη ἐπιχειρεῖ γενικὰ νὰ ἐξηγήσει τί δὲν λειτουργεῖ σωστὰ σὲ ἓνα ἔθνικὸ σύστημα καινοτομίας καὶ προτείνει τὶς ἀναγκαῖες λύσεις καὶ πολιτικὲς γιὰ τὴ βελτίωσή του. Χαρακτηριστικὴ περίπτωση τῆς σχολῆς αὐτῆς εἶναι ἡ ἀνάλυση τῶν Bonvillian καὶ Weiss, οἱ ὁποῖοι ἀναλύουν τὴ διαδικασία καινοτομίας στὶς ΗΠΑ καὶ ὑποστηρίζουν ὅτι ὑπάρχουν δυσλειτουργίες καὶ ἐμπόδια ποὺ ὀφείλονται κυρίως στὴν ὑπαρξη καὶ δράση, ὡς ἀνασταλτικῶν παραγόντων, ἰσχυρῶν «παραδοσιακῶν» (legacy) ἐνδιαφερόντων καὶ συμφερόντων σὲ βασικοὺς τομεῖς τῆς οἰκονομίας ὅπως οἱ Μεταφορές, ἡ ἐνέργεια, ἡ ἐκπαίδευση καὶ οἱ κατασκευές (BONVILLIAN – WEISS 2015). Γιὰ τὸν τομέα τῶν Μεταφορῶν, οἱ ἴδιοι ἀναφέρουν ὅτι ἡ καινοτομία ἀναπτύσσεται τμηματικὰ (incremental) καὶ σὲ ἐπὶ μέρους περιοχὲς τοῦ τομέα οἱ ὁποῖες δὲν ἔχουν ἰσχυρὰ «παραδοσιακὰ» συμφέροντα.

Ἡ δευτέρη («σχολή»), ἡ ὁποία μπορεῖ καὶ νὰ συνυπάρχει μὲ τὴν πρώτη, χρησιμοποιεῖ ἓνα ἀπλὸ γραμμικὸ μοντέλο «μεταφορᾶς τεχνολογίας» γιὰ νὰ ἐξηγήσει καὶ ἀναλύσει τὴν ὅλη διαδικασία παραγωγῆς καινοτομίας. Τὸ γραμμικὸ αὐτὸ μοντέλο ἀποτελεῖται ἀπὸ στάδια ποὺ ξεκινοῦν ἀπὸ τὴν ἀρ-



1α: Τò μοντέλο «τεχνολογικής ώθησης».



1β: Τò μοντέλο «τεχνολογικής έλξης».

Σχῆμα 1: Σχηματική παράσταση του γραμμικού μοντέλου παραγωγής καινοτομίας.

χική χρηματοδότηση τής βασικής ή εφαρμοσμένης έρευνας, προχωρούν στις διάφορες δραστηριότητες τεχνολογικής ανάπτυξης και έλέγχου πρωτοτύπων, ακολουθούν τὰ στάδια κατοχύρωσης πνευματικών δικαιωμάτων, εύρεσης χρηματοδότησης και τέλος τής εισόδου στην αγορά (DODGSON – HINZE 2000). Διαγραμματικά τò «γραμμικό» μοντέλο φαίνεται στò Σχῆμα 1α και 1β. Ἡ πρώτη έκδοχή του εἶναι ἡ λεγόμενη έκδοχή «τεχνολογικής ώθησης» (technology push), ἐνῶ ἡ δεύτερη «τεχνολογικής έλξης» (technology pull). Στὴν πρώτη περίπτωση, ἡ τεχνολογική καινοτομία προχωρεῖ και ἐμφανίζεται στὴν «ἀγορά» χωρὶς ιδιαίτερη ἀναφορά ἢ ἀνάλυση τής «ζήτησης» και τῶν χαρακτηριστικῶν τής και ξεκινάει με τὴν προκήρυξη έρευνας σὲ συγκεκριμένους τομεῖς που ἐνδιαφέρουν τὸν χρηματοδότη τής έρευνας – δημόσιο ἢ ιδιωτικό φορέα (Σχῆμα 1α). Ἡ προώθηση τής συγκεκριμένης καινοτομίας γίνεται με τὴν προοπτική ἐπιρροασμοῦ τής «ζήτησης» και «ἐπιβολῆς» τῶν νέων καινοτομικῶν προϊόντων στὴν ἀγορά. Συνήθως στὴ διαδικασία αὐτὴ υπάρχουν και συγκεκριμένα κυβερνητικά κίνητρα

τόσο πρὸς τοὺς φορεῖς παραγωγῆς καινοτομίας ὅσο καὶ πρὸς τοὺς φορεῖς τῆς ἀγορᾶς.

Στὴ δεύτερη περίπτωση, τῶν μοντέλων «τεχνολογικῆς ἑλιξης», γίνεται ἡ ὑπόθεση ὅτι ἡ «ἀγορὰ» ἔχει συλλογικὴ συνείδηση καὶ ξέρεи τί θέλει ἢ τί χρειάζεται καὶ ὅτι ὑπάρχουν οἱ κατάλληλοι δίαυλοι ἐπικοινωνίας μὲ τὴν ἔρευνα ὥστε νὰ διατυπωθοῦν οἱ περιοχὲς ὅπου ἡ «ἀγορὰ» ἔχει ἀνάγκη νέων προϊόντων. Ἀντίστοιχα, διατυπώνονται τὰ ἐρευνητικὰ προγράμματα τὰ ὁποῖα χρηματοδοτοῦνται, γιὰ νὰ παραχθοῦν κατόπιν τὰ σχετικὰ καινοτομικὰ προϊόντα, σύμφωνα πάντα μὲ μιὰ γραμμικὴ λογικὴ (Σχῆμα 1β).

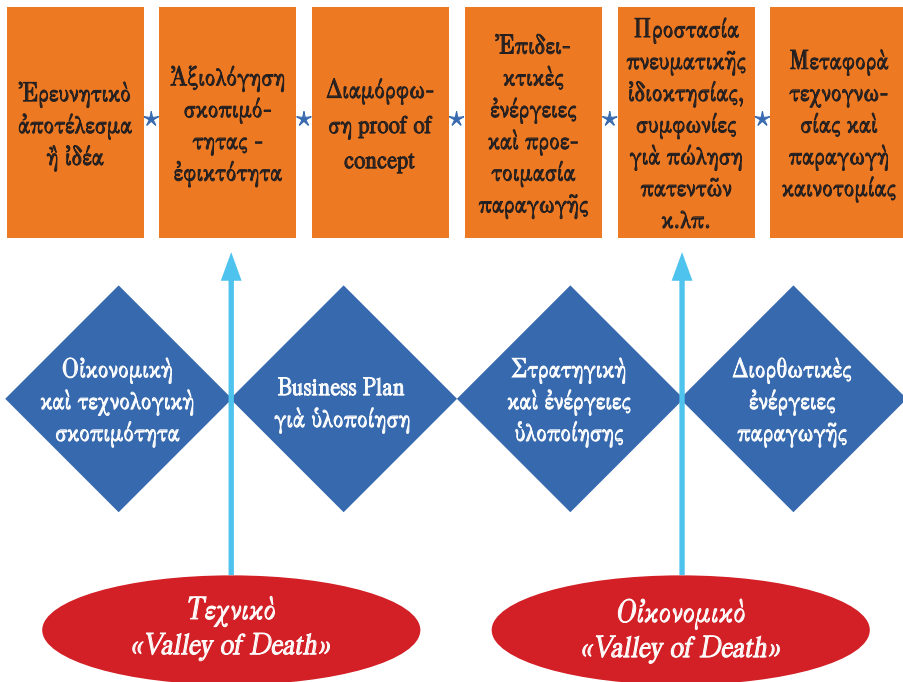
Ἡ βασικὴ ἀδυναμία τῶν γραμμικῶν μοντέλων εἶναι ἡ ὑπεραπλούστευση τῶν σχετικῶν διαδικασιῶν καὶ ἡ ἔλλειψη ἀναφορᾶς στὶς πολύπλοκες ἀλληλεξαρτήσεις μεταξὺ τῶν διαφόρων «παικτῶν» στὴ διαδικασία καινοτομίας καὶ τῶν διακριτῶν ρόλων ποὺ αὐτοὶ ἔχουν. Ἐπὶ πλέον, τὰ μοντέλα τεχνολογικῆς «ἑλιξης» βασίζονται στὴν ὑπόθεση ὅτι οἱ ἀγορὲς «ξέρουν τί θέλουν» καὶ λειτουργοῦν στὴ βάση λογικῆς. Αὐτὸ δὲν συμβαίνει ἔτσι στὴν πράξη καὶ πολλὲς φορὲς ἡ ὑπάρχουσα «ζήτηση» δὲν μπορεῖ νὰ καθορίσει τίς προτιμήσεις ἢ τίς ἐπιλογὲς τῆς ἔρευνας. Ἡ πραγματικότητα εἶναι ὅτι οἱ ἀγορὲς πολλὲς φορὲς ἐπηρεάζονται ἀπὸ τίς ὑπάρχουσες τεχνολογίες καὶ συστήματα καὶ δὲν γνωρίζουν τί ἀκριβῶς εἶναι αὐτὸ ποὺ θὰ ἐπηρεάσει καθοριστικὰ τίς προτιμήσεις τῆς «ζήτησης».

Ἀπὸ τὴν ἄλλη πλευρά, τὰ μοντέλα τεχνολογικῆς ὄθησης δὲν ἔχουν τὴ δυνατότητα νὰ λάβουν ὑπόψη κυκλικὲς διαδικασίες καὶ ἀνατροφοδοτήσεις τῆς διαδικασίας, ἐνῶ θεωροῦν ὅτι ἡ ἀγορὰ εἶναι ἀπόλυτα «ἐλαστικὴ» στοὺς νὰ δέχεται νέα προϊόντα τεχνολογικὰ ἄγνωστα καὶ σὲ τιμὲς ἀσύμβατες μὲ τίς δυνατότητές της⁴.

2.2 Ἄλλα μοντέλα καινοτομίας

Στὴ διάρκεια τῶν τελευταίων 30 ἐτῶν διαμορφώθηκαν παραλλαγὲς τῶν γραμμικῶν μοντέλων γιὰ τὴν καινοτομία στὴ βάση πρὸ σύνθετων

4. Π.χ. τὰ ηλεκτρικὰ αὐτοκίνητα ποὺ μπῆκαν στὴν ἀγορὰ μέχρι σήμερα εἶχαν τιμὴ ἀγορᾶς σχεδὸν ἀπαγορευτικὴ, μὲ ἀποτέλεσμα τὴ μικρὴ διείσδυσή τους. Ἐπίσης εἶναι ἄγνωστο ἂν ἡ ἀγορὰ θὰ δεχτεῖ τελικὰ νὰ «ἀγκαλιάσει» τίς νέες καινοτομίες στοὺς τομεῖς τῶν αὐτόνομων ὀχημάτων τῆς κοινόχρηστης κινητικότητας (shared mobility) κ.ἄ.

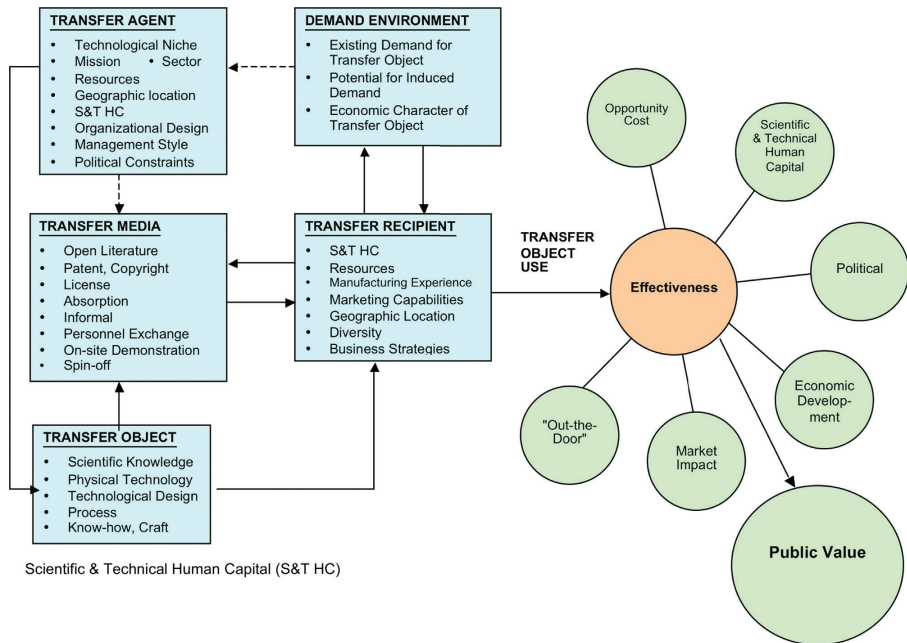


Σχήμα 2: Διαγραμματική παράσταση του γραμμικού μοντέλου καινοτομίας.

δομῶν. Μία πιό σύνθετη μορφή τῶν γραμμικῶν μοντέλων εἶναι αὐτὴ τοῦ Σχήματος 2. Αὐτὴ ἡ μορφή ἀποτελεῖ τὸ κλασικὸ πλέον «γραμμικὸ» μοντέλο καινοτομίας μὲ τὶς δύο «κοιλιάδες θανάτου» (valleys of death), δηλαδή τὶς περιοχὲς ὅπου ἡ ὅλη διαδικασία κινδυνεύει νὰ ἀνατραπεῖ εἴτε ἀπὸ τὴν ἀδυναμία τεχνικῆς διαμόρφωσης τῶν σχετικῶν «προϊόντων» εἴτε ἀπὸ τὴν ἀδυναμία εὔρεσης οἰκονομικῆς ὑποστήριξης γιὰ τὴν τελικὴ εἴσοδο στὴν ἀγορά.

Ἡ χρῆση τῆς ἔννοιας τῆς «κοιλιάδας θανάτου» ἀντιπροσωπεύει μιὰ βασικὴ διαφοροποίηση ἀπὸ τὴν ἀρχικὴ ἀπλουστευμένη μορφή γραμμικῆς διαδικασίας, ὅπου ἡ καινοτομία ἐμφανιζόταν σχεδὸν ὡς ἀναπόφευκτο προϊόν μιᾶς διαδοχικῆς σειρᾶς ἐνεργειῶν. Δείχνει τουλάχιστον ὅτι ἡ ὅλη διαδικασία εἶναι κάθε ἄλλο παρὰ ὁμαλὴ καὶ προκαθορισμένη καὶ ὅτι ἀντίθετα εἶναι ἀρκετὰ εὐθραυστὴ καὶ ἀβέβαιη.

Ἄλλες προσπάθειες διατύπωσης ἑνὸς πιό σύνθετου μοντέλου καινοτομίας περιλαμβάνουν τὸ μοντέλο «ἐνδεχόμενης ἀποτελεσματικότητας» (con-



Σχήμα 3: Διαγραμματική παράσταση του μοντέλου «ένδεχόμενης αποτελεσματικότητας» (Contingent Effectiveness Model). Πηγή: BOZEMAN ET AL. 2015.

tingent effectiveness model), το οποίο αναπτύχθηκε από το MIT και περιλαμβάνει μια σειρά από «είσοδες», «έκροες» και αναδράσεις (BOZEMAN ET AL. 2015). Το μοντέλο αυτό πλησιάζει περισσότερο τη «συστημική» θεώρηση που προτείνεται στα επόμενα και εμφανίζεται στο Σχήμα 3.

Περιλαμβάνει μια περιοχή κυκλικών αναδράσεων (loops) μεταξύ πέντε βασικών όντοτήτων του καινοτομικού συστήματος:

1. Τοῦ πράκτορα μεταφορᾶς τεχνολογίας (Transfer Agent).
2. Τῶν μέσων μεταφορᾶς τῆς τεχνολογίας.
3. Τοῦ ἀντικειμένου μεταφορᾶς (καὶ ἀντίστοιχα καινοτομίας).
4. Τοῦ περιβάλλοντος «ζήτησης» μέσα στο ὁποῖο δημιουργεῖται ἡ καινοτομία, καί, τέλος
5. Τῶν ἀποδεκτῶν τῆς μεταφορᾶς καινοτομίας.

Τὸ τελικὸ ἀποτέλεσμα τῶν ἀναδρομῶν αὐτῶν εἶναι ἡ «ἀποτελεσματικότητα χρήσης» τοῦ καινοτομικοῦ ἀποτελέσματος ἢ ὁποῖα εἶναι «συνιστάμενη» ἐπτά διαφορετικῶν παραγόντων, ὅπως τὸ εὐκαιριακὸ κόστος (opportunity cost), τὸ ἐπιστημονικὸ κεφάλαιο κ.λπ.

3. Πρὸς ἓνα νέο μοντέλο καινοτομίας

3.1 Ἐννοια καὶ χαρακτηριστικά τῶν βιολογικῶν οἰκοσυστημάτων

Τὸ βασικὸ πρόβλημα μὲ τὰ «κλασικὰ» μοντέλα καινοτομίας εἶναι ὅτι ἡ διαδικασία δημιουργίας καινοτομίας δὲν εἶναι γραμμικὴ ἀλλὰ κυκλική, πολυ-παραμετρικὴ καὶ σύνθετη. Πρόκειται γιὰ ἓνα «σύστημα» ἀλληλεπιδρώντων στοιχείων καὶ παραγόντων ποὺ κατὰ τὴ γνώμη μας παραλληλίζεται ἐντυπωσιακὰ μὲ ἓνα βιολογικὸ οἰκοσύστημα. Ἡ ἔννοια τοῦ βιολογικοῦ «οἰκοσυστήματος» προῆλθε ἀπὸ τὴ σύνθεση δύο κλασικῶν καὶ καθιερωμένων σήμερα θεωριῶν:

– Τῆς «οἰκολογικῆς θεωρίας», ἡ ὁποία ἀσχολεῖται μὲ τὴν προσαρμογὴ τῶν ἔμβιων ὄντων καὶ ὀργανισμῶν στὸ περιβάλλον τους καὶ τῶν τρόπων μὲ τοὺς ὁποίους αὐτὰ ἐπιτυγχάνουν μιὰ δυναμικὴ-βιώσιμη ἰσορροπία⁵. Καὶ

– Τῆς «γενικῆς θεωρίας τῶν συστημάτων» (General Systems Theory), ἡ ὁποία ἀποτελεῖ μιὰ θεωρία ποὺ μελετᾷ «σύνολο ἐμπλεκόμενων καὶ ἀλληλεπιδρώντων στοιχείων», μιὰ θεωρία ποὺ παρέχει ἓνα ὀργανωτικὸ πλαίσιο γιὰ μιὰ συνθετικὴ-συνολικὴ ἀνάλυση κατὰ τὰ ἄλλα μεμονωμένων καὶ ἀνεξάρτητων στοιχείων⁶.

Ἡ σύνθεση τῆς οἰκολογικῆς θεωρίας μὲ τὴ γενικὴ θεωρία συστημάτων ἔδωσε τὴν ἔννοια τοῦ βιολογικοῦ «οἰκοσυστήματος» ἢ «βιοσυστήματος», ἡ ὁποία πρωτοεμφανίστηκε στὶς ἐργασίες τῶν AUERSWALD 1968, MEYER 1976, CAPRA 1996, MATTAINI ET AL. 2002, καὶ ἄλλων συγγραφέων. Τὰ κυριότερα χαρακτηριστικὰ ἐνὸς βιολογικοῦ οἰκοσυστήματος, ὅπως αὐτὰ διατυπώνονται στὴ βιβλιογραφία ποὺ προαναφέρθηκε, εἶναι τὰ ἑξῆς:

- I. Ὅλα τὰ συστατικὰ ἐνὸς βιολογικοῦ οἰκοσυστήματος (π.χ. τὰ κύτταρα, τὰ ἐνὸργανα ἢ ἀνόργανα ὄντα ποὺ ὑπάρχουν σὲ αὐτό, τὰ

5. Οἱ οἰκολογικὲς θεωρίες καὶ ἔννοιες βασίστηκαν στὶς ἀρχικὲς ἰδέες τοῦ Arthur Tansley τοῦ 1935 (TANSLEY 1935) ἀλλὰ ξεκίνησαν οὐσιαστικὰ ἀπὸ τὶς ἐργασίες τῶν ODUM 1953 καὶ DUBOS 1972. Σύντομα υἱοθετήθηκαν ὡς καθιερωμένες ἔννοιες καὶ ἀρχές ποὺ ἀναφέρονται πλέον σὲ πανεπιστημιακοῦ τύπου ἐγχειρίδια καὶ ἐργασίες, π.χ. KIRST-ASHMAN 2008.

6. Ὅσον ἀφορᾷ τὴ γενικὴ θεωρία συστημάτων, μιὰ καλὴ περιγραφή της εἶναι αὐτὴ τοῦ Ludwig von Bertalanffy στὴν ἀναφορὰ VON BERTALANFFY 1967.

στοιχεῖα τοῦ περιβάλλοντος κ.λπ.) εἶναι ἀλληλένδετα σὲ τεραστίων διαστάσεων καὶ πολυπλοκότητας («δίκτυα συσχετίσεων»), ποὺ χαρακτηρίστηκαν μάλιστα καὶ ὡς τὸ διαδίκτυο τῆς ζωῆς – *web of life* (CAPRA 1996).

- II. Τὰ συστατικά ἐνὸς οἰκოსυστήματος ἀντλοῦν τὰ χαρακτηριστικά τους, ἀκόμη καὶ τὴν ὑπόστασή τους, ἀπὸ τὶς μεταξὺ τους συσχετίσεις καὶ τὸ δίκτυο τῶν σχέσεων τους περισσότερο ἀπ' ὅ,τι ἀπὸ τὴν αὐτοτελὴ ὑπαρξή τους. Ἡ θεώρηση, συνεπῶς, τῶν δικτυακῶν συσχετίσεων μεταξὺ τῶν ἐμπλεκομένων συστατικῶν τοῦ οἰκოსυστήματος καὶ ἡ μελέτη τους εἶναι πιὸ σημαντικὴ ἀπὸ τὴ θεώρηση τῶν μεμονωμένων συστατικῶν του.
- III. Ὑπάρχει ἓνας μηχανισμὸς αὐτοοργάνωσης στὰ βιολογικὰ οἰκოსυστήματα ὁ ὁποῖος βασιζέται στὴν ἐξισορρόπηση τῶν συνθηκῶν μὲ τὴν ἔννοια τῆς ἰσοροπίας μεταξὺ «εἰσορῶν» καὶ «ἐκροῶν» στὸ σύνολο καὶ σὲ κάθε συστατικὸ τοῦ συστήματος. Π.χ. τὸ μέγεθος τοῦ πληθυσμοῦ τοῦ κάθε συστατικοῦ τοῦ οἰκოსυστήματος προσαρμόζεται στὰ ὑπάρχοντα διαθέσιμα ἀποθέματα τροφῆς, ἐνέργειας, κλίματος (εἰσορές), ἐνῶ παρέχει συγκεκριμένες «παροχές» ἢ ἐκροές πρὸς τὸ οἰκοσύστημα, συντηρώντας ἔτσι ἄλλα συστατικά του. Ὁ μηχανισμὸς αὐτὸς αὐτοοργάνωσης καὶ «ἐξισορρόπησης» ἐνὸς βιολογικοῦ οἰκოსυστήματος περιγράφεται ἀναλυτικὰ στὸ HUDSON 2000.
- IV. Κάθε βιολογικὸ οἰκοσύστημα ἔχει ἓνα «ὄριο» (boundary) μέσα στὸ ὁποῖο ὑπάρχει. Τὸ ὄριο αὐτὸ ὑπάρχει νοητὰ ἢ καθορίζεται ἀπὸ τὴν περιοχὴ μέσα στὴν ὁποία ἀναπτύσσονται καὶ συντηροῦνται οἱ διεργασίες ἐπηρεασμοῦ καὶ ἐξισορρόπησης μεταξὺ τῶν στοιχείων τοῦ οἰκოსυστήματος ποὺ προαναφέρθηκαν. Ὅποιοδῆποτε ἐρέθισμα, ἐξωτερικὸ τοῦ ὁρίου αὐτοῦ, μπορεῖ νὰ ἐπηρεάσει τὸ οἰκοσύστημα καὶ νὰ ἀνατρέψει ἢ νὰ μετατρέψει τὴν κατάσταση ἰσοροπίας του. Ὁ τρόπος μὲ τὸν ὁποῖο ἀντιδρᾷ τὸ οἰκοσύστημα σὲ ἓνα ἐξωτερικὸ ἐρέθισμα ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν κατάσταση ἰσχύος ἢ μὴ τῶν συστατικῶν του καὶ τὴ δομὴ καὶ ἰσχύ τῶν μεταξὺ τους σχέσεων.
- V. Ἡ «ποικιλία» (diversity) μεταξὺ τῶν στοιχείων ἐνὸς συστήματος ἔχει μεγάλη σημασία καὶ θεωρεῖται τὸ «κλειδί» γιὰ τὴν ἐπίτευξη σταθερότητας καὶ ἰσοροπίας. Ὅσο πιὸ «ποικίλο» εἶναι ἓνα σύστημα καὶ ὅσο πιὸ ποικίλες εἶναι οἱ σχέσεις καὶ συσχετίσεις μεταξὺ τῶν συστατικῶν του, τόσο πιὸ «ἀνθεκτικὸ» (resilient) εἶναι αὐτὸ (CAPRA 1996).

Μάλιστα, σέ αντίθεση με τήν ανθρώπινη κοινωνία, ή οποία θεωρεῖ τήν ὑπαρξή «ποικιλίας» – με τήν ἔννοια τῆς διαφορετικότητας – ὡς θέμα «πολιτικῆς ὀρθότητας», στά οἰκολογικά συστήματα ή «ποικιλία» ἀποτελεῖ ὄρο ὑπαρξῆς (MATTAINI ET AL. 2002).

3.2 Συσχέτιση τῶν βιολογικῶν οἰκοσυστημάτων με τήν καινοτομία – οἰκοσυστήματα καινοτομίας

Σέ κατ' εὐθείαν ἀναλογία πρὸς τίς παραπάνω ἔννοιες καί χαρακτηρηστικά ἐνὸς οἰκοσυστήματος βιολογίας μπορεῖ νά ὑποστηριχθεῖ ὅτι ὑπάρχουν καί λειτουργοῦν μηχανισμοί ἀνάλογοι καί στόν χῶρο τῆς καινοτομίας. Πράγματι, ή παραγωγή καί ή ἀνάπτυξη καινοτομίας συνάδει με τήν ἔννοια τοῦ «οἰκοσυστήματος». Ἡ παραγωγή καινοτομίας εἶναι μιὰ σύνθετη, δυναμική καί πολυδιάστατη διαδικασία («συστήματος») στήν ὅποια συμμετέχουν καί ἀλληλεπιδροῦν διάφορα «στοιχεῖα», ὅπως π.χ.:

- Ὅργανισμοί καί φορεῖς ἔρευνας.
- Ὅργανισμοί καί φορεῖς χρηματοδότησης.
- Ὅργανισμοί καί φορεῖς τῆς ἀγορᾶς (ἀγοραστές καί πωλητές ἀγαθῶν, φορεῖς προώθησης προϊόντων, ἀναλυτές ἀγορᾶς κ.λπ.).
- Ὅργανισμοί καί φορεῖς παροχῆς καί προώθησης πρώτων ὑλῶν ἢ τελικῶν προϊόντων τοῦ συνολικά ὀρίζονται με τόν ὄρο supply chain.
- Κυβερνητικοί ὀργανισμοί καί νομοθετικό-διοικητικό πλαίσιο.

Μεταξὺ τῶν φορέων αὐτῶν ὑπάρχουν διεργασίες, συνεργασίες καί ἐπενέργειες ὅπως χρηματικές ροές (εἰσροές καί ἀντίστοιχες ἐκροές-δημιουργούμενη ἀξία), παραγωγή καί κατοχύρωση «προϊόντων» (καινοτομικῶν ἢ ἄλλων), συνεργασία καί ἀλληλεπίδραση στήν παραγωγή προϊόντων κ.ο.κ. Ἡ ποικιλότητα καί ή διαφορετικότητα τῶν στοιχείων ἐνὸς συστήματος καινοτομίας εἶναι ἀπαραίτητη γιά τήν ἀνάπτυξη ὑγιοῦς ἀνταγωνισμοῦ καί εἶναι στοιχεῖο ὑγείας καί «ἀνθεκτικότητας» τοῦ συστήματος, ὅπως ἀκριβῶς καί σέ ἓνα βιολογικό οἰκοσύστημα. Ἐπιπρόσθετα, ὑπάρχουν καί ἐδῶ ἐπαναληπτικές διαδικασίες «ἀνατροφοδότησης» (πού εἴτε γίνονται ἀναγκαστικά εἴτε λόγω τοῦ νομοθετικοῦ πλαισίου εἴτε λόγω τῆς φύσης τῶν διεργασιῶν) οἱ ὅποιες, μαζί με ἄλλες διαδικασίες «αὐτοσυντήρησης», φέρουν τὸ σύστημα πρὸς μιὰ κατάσταση ἰσορροπίας.

Οἱ παραλληλισμοί πού μποροῦν νά γίνουν μεταξύ ἐνὸς βιολογικοῦ καί ἐνὸς καινοτομικοῦ οἰκοσυστήματος εἶναι πολλοί καί ἀναδεικνύουν μιὰ ἐκ-

πληκτική ομοιότητα συμπεριφορᾶς ἢ ὅποια μπορεῖ νὰ σκιαγραφηθεῖ ἀπὸ τὰ πολλὰ «κοινὰ» χαρακτηριστικὰ μετὰξὺ τῶν βιολογικῶν καὶ τῶν καινοτομικῶν οἰκοσυστημάτων. Τὰ χαρακτηριστικὰ αὐτὰ εἶναι τὰ ἑξῆς:

1. Τὰ βιολογικὰ οἰκοσυστήματα λειτουργοῦν καὶ καθορίζονται σὲ μιὰ συγκεκριμένη γεωγραφικὴ ἐνότητα ἢ ὄριο (boundary). Μέσα στὴν ἐνότητα αὐτὴ συνυπάρχουν ὅλα τὰ ὄργανικὰ καὶ ἀνόργανα στοιχεῖα τοῦ οἰκοσυστήματος, τὰ ὅποια ἀντιδρῶν καὶ ἀλληλεπιδρῶν τόσο μετὰξὺ τους ὅσο καὶ μὲ τὰ στοιχεῖα τοῦ περιβάλλοντός τους. Κατὰ τὸν ἴδιο τρόπο ἓνα οἰκοσύστημα καινοτομίας περιλαμβάνει ὀργανισμοὺς καὶ «στοιχεῖα» τὰ ὅποια δρῶν μέσα σὲ ἓνα συγκεκριμένο γεωγραφικὸ πλαίσιο μὲ τοὺς κανόνες καὶ τὸ (νομικὸ) περιβάλλον ποὺ ὀρίζει ἢ συγκεκριμένη τοπικὴ ἢ κεντρικὴ διακυβέρνηση. Τὸ καινοτομικὸ οἰκοσύστημα ἀντλεῖ πόρους καὶ εἰσροές (inputs) εἴτε ἀπὸ τὸ περιβάλλον του εἴτε ἔξω ἀπὸ αὐτό, π.χ. ἐπενδυτικὰ κονδύλια, ἐξειδικευμένο προσωπικὸ, βιομηχανικὲς-κατασκευαστικὲς ὑπηρεσίες κ.ο.κ.

2. Τόσο τὰ βιολογικὰ ὅσο καὶ τὰ καινοτομικὰ οἰκοσυστήματα χαρακτηρίζονται ἀπὸ μεταβαλλόμενες συνθῆκες ἰσορροπίας. Π.χ. ἓνα βιολογικὸ οἰκοσύστημα σὲ ἰσορροπία χαρακτηρίζεται ἀπὸ τὴν ὑπαρξὴ ἐπαρκῶν πόρων γιὰ τὴν τροφοδοσία τῶν ἔμβιων ὀργανισμῶν τοῦ συστήματος καὶ τὴν ὑγιή ὑπαρξή τους, καθὼς ἐπίσης καὶ ἄλλων διεργασιῶν (ποὺ ἀποκαλοῦνται «ὑπηρεσίες» στὴν ὀρολογία τῶν βιολογικῶν ἐπιστημῶν). Οἱ διεργασίες αὐτὲς ρυθμίζουν καὶ συντηροῦν τὴν κατάσταση ἰσορροπίας τοῦ συστήματος ὅπως ἓνας θερμοστάτης ρυθμίζει τὴ θερμοκρασία ἐνὸς χώρου. Ἀντίστοιχα, σὲ ἓνα οἰκοσύστημα καινοτομίας ἢ («τροφοδοσία») καὶ ἰσορροπία του ἐξασφαλίζεται ἀπὸ μιὰ σειρά «πόρων» καὶ («διεργασιῶν») ἢ («ὑπηρεσιῶν») ποὺ προσφέρονται ἀπὸ φορεῖς ὅπως χρηματοδοτικοὶ φορεῖς (venture capitals, ἰδιῶτες ποὺ χρηματοδοτοῦν, κυβερνητικὰ κονδύλια κ.ο.κ), συμβουλευτικοὶ φορεῖς ποὺ παρέχουν συμβουλευτικὲς ὑπηρεσίες (mentors καὶ mentoring) καὶ φυσικὰ ἐρευνητικοὶ φορεῖς ποὺ παράγουν τὶς ἀρχικὲς ἰδέες καὶ ἐρευνητικὰ προϊόντα ποὺ θὰ μετατραποῦν σὲ ἐμπορικὰ μέσῳ τῆς καινοτομίας. Ὅταν ἡ ἰσορροπία σὲ ἓνα οἰκοσύστημα καινοτομίας διαταραχθεῖ ἀπὸ κάποιον ἐξωτερικὸ παράγοντα (π.χ. ἡ οἰκονομικὴ κρίση) ἢ κάποια ἐσωτερικὴ του ἀδυναμία ἢ διαταραχὴ, ἐνεργοποιοῦνται μηχανισμοὶ ἐξισορρόπησης. Οἱ μηχανισμοὶ αὐτοὶ περιλαμβάνουν, ἐνδεικτικὰ, τὸν ἀναπροσανατολισμὸ τῶν ἐπενδυτικῶν κεφαλαίων πρὸς περισσότερο «ὑγιεῖς» καὶ δοκιμασμένες ἐπενδύσεις, τὴν ἀναπροσαρμογὴ τῶν «ὀρίων» τοῦ συστήματος μὲ ἐπέκτασή τους ἢ περιορισμὸ τους γιὰ νὰ περιλάβουν τὰ στοιχεῖα ποὺ τοὺς λείπουν κ.ο.κ. Ὅταν ἡ νέα ἰσορροπία δὲν μπορεῖ νὰ

έπιτευχθεῖ, τότε –καταληκτικᾶ– ἓνα οἰκοσύστημα καινοτομίας (ὅπως καὶ ἓνα βιολογικὸ) θὰ ἀτονήσει καὶ θὰ καταρρεύσει.

3. Ἡ ὕπαρξη ποικιλίας σὲ ἓνα βιολογικὸ οἰκοσύστημα (βιοποικιλότητα) εἶναι κεφαλαιώδους σημασίας γιὰ τὴν ὕπαρξή του. Οἱ σχέσεις («ἀνταγωνισμοῦ») μεταξὺ τῶν στοιχείων τοῦ συστήματος συντηροῦν τοὺς κύκλους γιὰ τροφή, ἐνέργεια, ἀσφάλεια, καὶ εἶναι τόσο πιὸ («ὕγιεις») καὶ βιώσιμοι ὅσο περισσότερη ποικιλία εἰδῶν καὶ («ὑπηρεσιῶν») ὑπάρχει στὸ σύστημα. Ἀντίστοιχα, σὲ ἓνα οἰκοσύστημα καινοτομίας ὑπάρχει ἀνάλογη ἀνάγκη γιὰ ποικιλία («παικτῶν») ὥστε νὰ διατηρεῖται σὲ κατάσταση ὑγιοῦς καὶ βιώσιμου ἀνταγωνισμοῦ. Σὲ περιπτώσεις ὅπου ὑπάρχουν μονοπωλιακὲς καταστάσεις ποὺ χαρακτηρίζονται ἀπὸ τὴν ἐπικράτηση μικροῦ ἀριθμοῦ («παικτῶν») σὲ ἓνα καινοτομικὸ οἰκοσύστημα, ἡ βιωσιμότητά του καὶ ἡ ἀντίστασή του σὲ ἔκτακτες καταστάσεις (resilience), καθὼς καὶ οἱ προοπτικὲς γιὰ ἐπιβίωσή του, εἶναι μειωμένες.

4. Σὲ ἓνα βιολογικὸ οἰκοσύστημα, ὑπάρχει πάντα ἓνας «πυρήνας» βασικῶν στοιχείων ποὺ ἀποτελοῦν τοὺς κύριους πυλῶνες τοῦ συστήματος καὶ τὸ χαρακτηρίζουν. Σὲ μεγάλο βαθμὸ ὁ πυρήνας αὐτὸς ἀποτελεῖται ἀπὸ εἶδη καὶ στοιχεῖα ποὺ κατὰ κάποιον τρόπο («ξεκίνησαν») τὴ δημιουργία τοῦ οἰκοσυστήματος ἀρχικὰ καὶ ἀποτελοῦν τὸν κύριο μοχλὸ συντήρησής του. Ἀνάλογος «πυρήνας» βασικῶν «παικτῶν» ὑπάρχει καὶ σὲ ἓνα οἰκοσύστημα καινοτομίας, ὅπως ἀναλυτικὰ ἀναφέρεται στὰ ἐπόμενα. Ὁ πυρήνας αὐτὸς ἀποτελεῖ τὴν ἀναγκαῖα συνθήκη ὕπαρξης καὶ ἑναρξης μιᾶς καινοτομικῆς δραστηριότητας σὲ μιὰ συγκεκριμένη ἐπιστημονικὴ περιοχὴ.

5. Ὁ «μεταβολισμὸς», ποὺ εἶναι μιὰ βασικὴ διεργασία ἑνὸς βιολογικοῦ οἰκοσυστήματος καὶ ἀναφέρεται στὴ συνολικὴ ἐνέργεια (ἡλιακὴ, τροφικὴ κ.ο.κ.) ποὺ («διεκπεραιώνεται») ἀπὸ τὸ σύστημα, ἔχει τὸ ἀντίστοιχό του σὲ ἓνα οἰκοσύστημα καινοτομίας. Πρόκειται γιὰ τὸ συνολικὸ ποσοδὸ οἰκονομικῶν πόρων ποὺ («διεκπεραιώνεται») σὲ αὐτό, δηλαδὴ τῶν χρηματοδοτικῶν πηγῶν καὶ τῆς («ἀποδοτικότητάς») τους μὲ τὴν ἔννοια τῆς ἀναλογίας τῶν διατιθέμενων πόρων πρὸς τὰ ἀποτελέσματα. Ἡ («ἀποδοτικότητα») αὕτη γίνεται τόσο μεγαλύτερη ὅσο περισσότερες εἶναι οἱ σχέσεις συνέργειας ποὺ ἀναπτύσσονται μέσα στὸ «οἰκοσύστημα», σὲ ἀντίθεση μὲ τὴν περίπτωση μεμονωμένων («παικτῶν») ποὺ ξεκινοῦν νὰ δημιουργήσουν καινοτομία ἀπὸ μόνοι τους⁷.

7. Γι' αὐτὸ ἄλλωστε καὶ βλέπουμε τὴν ἐγκατάσταση διαφόρων ἐταιρειῶν σὲ ἐπιτυχημένα οἰκοσυστήματα καινοτομίας σὲ χῶρες ἐκτὸς τῆς χώρας προέλευσής

6. Ἡ ἀλληλεπίδραση τῶν στοιχείων ἑνὸς βιολογικοῦ οἰκοσυστήματος μὲ στοιχεῖα ἄλλων οἰκοσυστημάτων εἶναι συχνὸ φαινόμενο καὶ συνήθως ἀποτελεῖ παράγοντα ἀνάπτυξης καὶ προόδου. Π.χ. ἡ ἀλληλεπίδραση μεταξὺ τῶν ἀνθοφόρων φυτῶν καὶ τῶν ἐντόμων ποὺ τὰ γονιμοποιοῦν ἀποτελεῖ τρόπο ἀνάπτυξης, «προόδου», ἀλλὰ καὶ λόγο ὑπαρξῆς τοῦ πρώτου. Ἄν διατυπωθεῖ κατ' ἄλλον τρόπο ἢ ἀρχὴ αὐτή, διαπιστώνεται ὅτι ἡ βιωσιμότητα καὶ παραγωγικότητα ἑνὸς καινοτομικοῦ οἰκοσυστήματος ἐξαρτᾶται καὶ ἀπὸ τὴν ἱκανότητά του νὰ ἀνταποκρίνεται καὶ νὰ ἐκμεταλλεύεται ἐρεθίσματα ἀπὸ ἐξωτερικοὺς παράγοντες. Κατ' ἀντίστοιχο τρόπο καὶ σὲ ἓνα οἰκοσύστημα καινοτομίας ἡ ἐπίδραση ἐξωτερικῶν παραγόντων (δηλαδὴ καινοτομιῶν) εἶναι σημαντικὴ ἀλλὰ ἡ σχέση μπορεῖ νὰ εἶναι ἀμφίδρομη, δηλαδὴ νὰ ὑπάρχει ἐπίδραση τοῦ συγκεκριμένου οἰκοσυστήματος σὲ ἄλλα⁸. Π.χ. στὸν τομέα τῶν ὀδικῶν Μεταφορῶν, πολλὲς ἐταιρεῖες ποὺ καινοτομοῦν σὲ περιοχὲς ὅπως ἡ αὐτόνομη ὁδήγηση ἢ ἡ ἠλεκτροκίνηση ἐπωφελοῦνται ἀπὸ συνέργειες καὶ συνεργασίες μὲ ἄλλα οἰκοσυστήματα καινοτομίας, ὅπως στὸν χῶρο τῶν τηλεπικοινωνιῶν, τῆς πληροφορικῆς κ.ο.κ.

7. Κάθε οἰκοσύστημα –βιολογικὸ ἢ καινοτομίας– βρίσκεται σὲ μιὰ συνεχὴ κατάσταση ἀλλαγῆς, τόσο μὲ τὴν ἔννοια πολλῶν μικρῶν ἀλλαγῶν ποὺ μπορεῖ σταδιακὰ νὰ ἀλλάξουν συνολικὰ τὴ μορφὴ του, ὅσο καὶ μὲ τὴν ἔννοια τῶν ἀπότομων –ἐπαναστατικῶν– ἀλλαγῶν ποὺ λαμβάνουν χώρα κάτω ἀπὸ εἰδικὲς συνθήκες καὶ ἀλλάζουν τελείως τὴ μορφὴ του. Οἱ ἀλλαγὲς εἶναι πάντα φαινόμενα κυκλικὰ ποὺ βασίζονται σὲ «βρόγχους ἀνατροφοδότησης» (feedback loops), ὅπου τὰ ἀποτελέσματα μιᾶς πρώτης ἀλλαγῆς ἐρχονται καὶ ἀναμορφώνουν τὰ χαρακτηριστικὰ της, ὥστε σταδιακὰ νὰ διαμορφώνεται μιὰ ἐντελῶς νέα κατάσταση.

8. Τέλος, ἡ χρονικὴ στιγμή κατὰ τὴν ὁποία συμβαίνει μιὰ ἀλλαγὴ σὲ ἓνα ἢ περισσότερα στοιχεῖα τοῦ οἰκοσυστήματος εἶναι κρίσιμης σημασίας γιὰ τὸ μέγεθος τῶν ἐπιπτώσεών της καὶ τὸ τελικὸ της ἀποτέλεσμα. Αὐτὸ ἀντανακλᾷ τὴ συνολικὴ κατάσταση στὴν ὁποία βρίσκεται τὸ οἰκοσύστημα τὴ δεδομένη χρονικὴ στιγμή καὶ τὴ θέση τοῦ στοιχείου ποὺ ὑφίσταται τὴν

τους, π.χ. ἡ ἐγκατάσταση μεγάλων κινεζικῶν, ἀμερικανικῶν, ἰαπωνικῶν καὶ ἄλλων ἐταιρειῶν σὲ ζῶνες καινοτομίας στὴν Ἀμερικὴ (Silicon Valley κ.ἄ.), τὸ Ἴσραήλ κ.ἄ.

8. Οἱ σχέσεις αὐτὲς εἶναι γνωστὲς στὴν ἀγγλικὴ ὀρολογία ὡς «spillover effects».

άλλαγή σε σχέση με τα υπόλοιπα αλληλεπιδρώντα στοιχεία του συστήματος. Αυτό είναι επίσης κοινό χαρακτηριστικό και των δύο οικοσυστημάτων (βιολογικών και καινοτομίας).

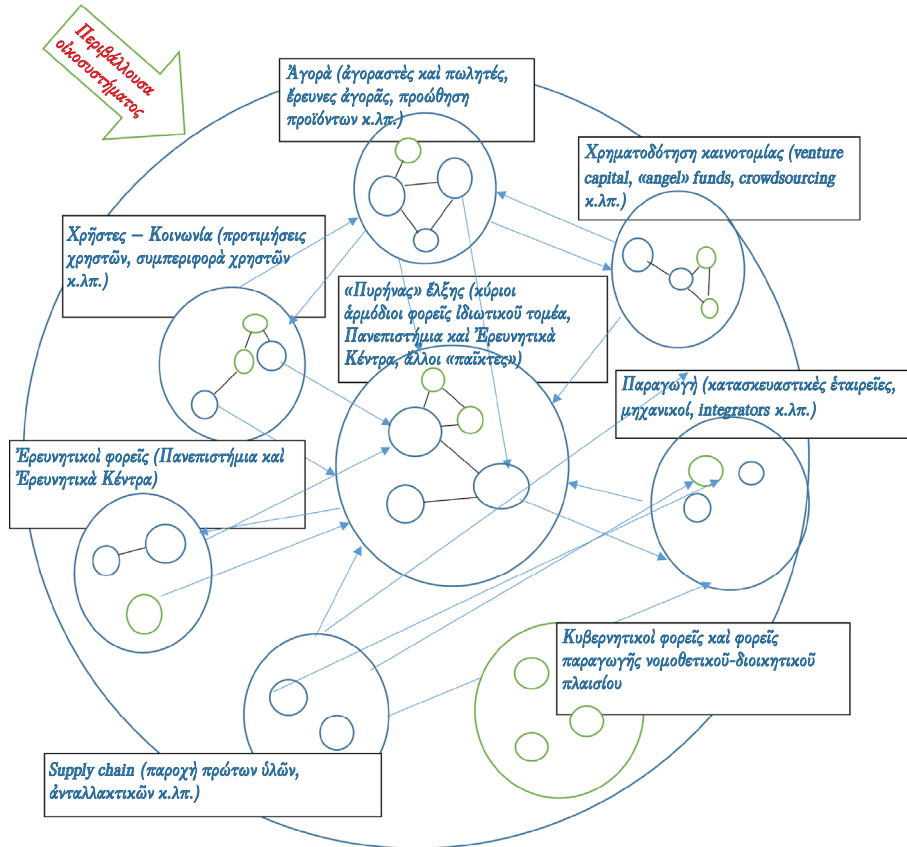
4. Το προτεινόμενο οικοσυστημικό μοντέλο καινοτομίας

4.1 Περιγραφή

Ένα «οικοσύστημα καινοτομίας» μπορεί να οριστεί ως ένα μεγάλης έκτασης και πολυπλοκότητας «δίκτυο συσχετίσεων» μεταξύ φορέων στον χώρο της καινοτομίας, αυτοπροσαρμοζόμενο στο «περιβάλλον» καινοτομίας που υπάρχει και εύρισκόμενο σε μια δυναμική, βιώσιμη ισορροπία. Κατ' αντίστοιχία με τον όρο *διαδίκτυο της ζωής* του Capra (*web of life*), που αναφέρεται στα βιολογικά οικοσυστήματα, μπορούμε έτσι να μιλήσουμε εδώ για το *διαδίκτυο καινοτομίας* – *web of innovation*.

Η συστημική θεώρηση της καινοτομίας, σύμφωνα με τα παραπάνω, φαίνεται διαγραμματικά στο Σχῆμα 4. Το σχῆμα αυτό δείχνει ἔμφαση στην ὑπαρξη και τη λειτουργία του δικτύου αλληλεπιδρώντων «στοιχείων» τα ὁποῖα –συνεργαζόμενα ὅλα μαζί– παρέχουν τις κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη καινοτομίας. Στο κέντρο ἑνός βιώσιμου και ισορροπημένου οικοσυστήματος καινοτομίας ὑπάρχει ἕνας («πυρήνας») φορέων και συντελεστών οικοσυστήματος οἱ ὁποῖοι συνήθως εἶναι και ἀπὸ τοὺς πρώτους φορεῖς που ἐνεργοποιοῦνται στὸ συγκεκριμένο οικοσύστημα και κάνουν τὴ δημιουργία καινοτομίας σε αὐτὸ μιὰ βιώσιμη και ἀποδοτικὴ διεργασία. Ἀποτελοῦν –οἱ φορεῖς αὐτοὶ– και τὴν «κρίσιμη μάζα» πάνω ἀπὸ τὴν ὁποία τὸ οικοσύστημα εἶναι αὐτοδύναμο και βιώσιμο, ἐνῶ κάτω ἀπὸ αὐτὴν εἶναι θνησιγενές και φθίνον. Με τὴν ἔννοια αὐτή, ὁ («πυρήνας») ἑνός οικοσυστήματος καινοτομίας «ἔλκει» και συγκρατεῖ σε «τροχιὰ καινοτομίας» μιὰ σειρά ἄλλων φορέων που ὅλοι μαζί συμβάλλουν στὴν ανάπτυξη και τὴ βιώσιμη λειτουργία του οικοσυστήματος. Ὁ («πυρήνας ἑλιξης») εἶναι μιὰ βασικὴ ἔννοια στὸ οικοσυστημικὸ μοντέλο καινοτομίας.

Με βάση τὴ «συστημικὴ» θεώρηση τῆς καινοτομίας, παρουσιάζεται στὸ Σχῆμα 5 μιὰ ἀπεικόνιση του προτεινόμενου οικοσυστημικοῦ μοντέλου. Τὸ σχῆμα αὐτὸ ἀναδεικνύει τὴν κυκλικὴ αλληλεπίδραση μεταξύ τῶν διαφόρων στοιχείων και συντελεστῶν καινοτομίας, μέσα στὴν «περιβάλλουσα» περιοχὴ του οικοσυστήματος. Οἱ βασικὲς εἰσροές (*inputs*) τῆς διαδικασίας

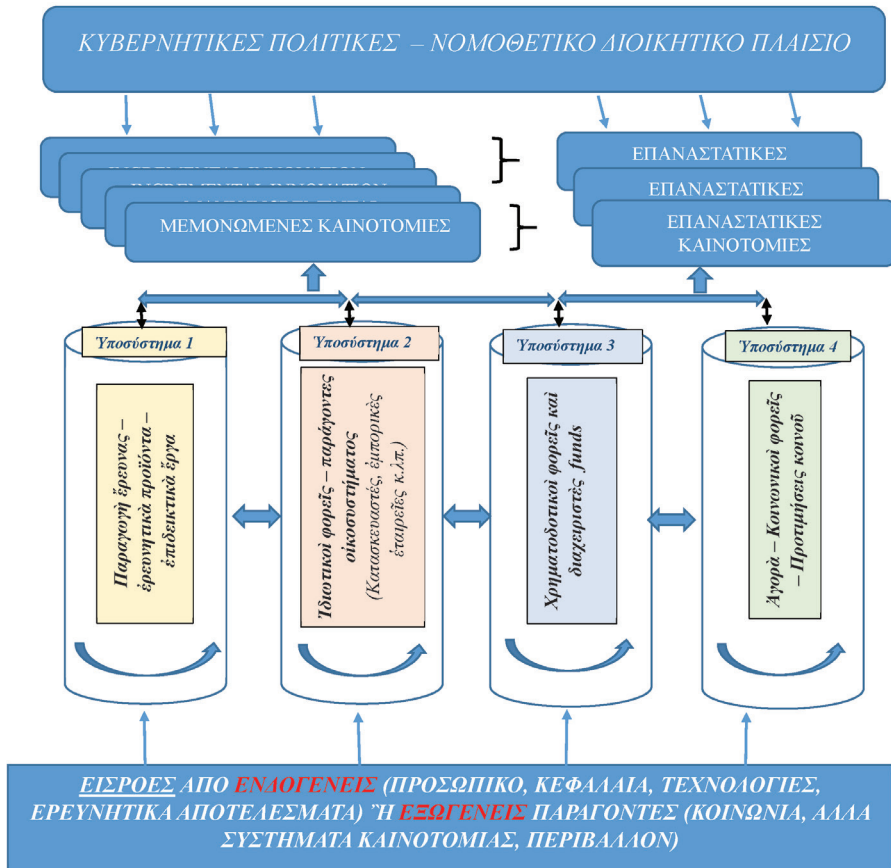


Σχήμα 4: Διαγραμματική παρουσίαση τής συστημικής θεώρησης ενός συστήματος καινοτομίας.

προέρχονται από ένδογενείς⁹ και εξωγενείς¹⁰ παράγοντες και όλα αυτά κάτω από την επίδραση του υπάρχοντος νομοθετικού και διοικητικού περιβάλλοντος τής χώρας. Οί έκροες από τὸ σύστημα (outputs) εἶναι καινοτομικά προϊόντα εἴτε μεμονωμένου τύπου (incremental) εἴτε «ἐπαναστατικοῦ» τύπου, ποὺ ἀλλάζουν δηλαδή τὴ μορφή τοῦ συστήματος, καθὼς και οικονομικά ὀφέλη ἀπὸ τὴν ἐμπορική ἀξιοποίησή τους.

9. Π.χ. προσωπικό, κεφάλαια, τεχνολογίες, ἐρευνητικά ἀποτελέσματα.

10. Π.χ. κοινωνικές ἐπιδράσεις, εἰσροές ἀπὸ ἄλλα συστήματα καινοτομίας, περιβαλλοντικές ἀπαιτήσεις κ.λπ.



Σχήμα 5: Σχηματική παράσταση τών διεργασιών παραγωγής καινοτομίας σέ ένα «οίκουσύστημα καινοτομίας».

Μέσα στό προτεινόμενο οίκουσύστημα μοντέλο τοῦ Σχήματος 5 ὑπάρχει καί μιὰ σειρά ὑποσύστηματων ὁμοειδῶν λειτουργιῶν, ὅπως π.χ. τὸ ὑποσύστημα ἐρευνητικῶν δραστηριοτήτων καί παραγωγῆς ἐρευνητικῶν ἀποτελεσμάτων, τὸ ὑποσύστημα τῶν κατασκευαστικῶν ἢ ἐμπορικῶν δραστηριοτήτων, τῶν χρηματοδοτικῶν κ.ο.κ. Μέσα σέ αὐτὰ τὰ ὑποσύστηματα διενεργοῦνται διαδικασίες ἀλληλεξάρτησης καί «ἐσωτερικῆς» ἰσορροπίας εἰσοδῶν-ἐκροδῶν. Ταυτόχρονα ὑπάρχουν καί μεταξὺ τῶν ὑποσύστηματων αὐτῶν κυκλικές διαδικασίες ἀλληλεπίδρασης οἱ ὁποῖες καί καθορίζουν τὴν τελικὴ –συνολικὴ– μορφή καί τὴν ἐπίτευξη ἰσορροπίας σὸ οίκουσύστημα.

“Όλες οι δράσεις αλληλεξάρτησης στο μοντέλο του Σχήματος 5 νοούνται αμφίδρομες, δηλαδή τα επενεργούντα υποσυστήματα και στοιχεία του οικοσυστήματος επηρεάζουν και επηρεάζονται σε μια αμφίσημη διαδικασία αλληλεπίδρασης.

4.2 Η διαδικασία και η σημασία επίτευξης ισορροπίας

Σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή (ή περίοδο) το οίκοςυστήμα καινοτομίας λειτουργεί, ή πρέπει να λειτουργεί, κάτω από συνθήκες βιώσιμης ισορροπίας. Σε ένα βιολογικό οίκοςυστήμα, «βιώσιμη ισορροπία» υπάρχει όταν υπάρχει ισορροπία μεταξύ των εισροών (π.χ. θρεπτικά συστατικά, ηλιακό φως κ.λπ.) και των εκροών (π.χ. καρποί, καθαρισμός του αέρα κ.λπ.) που παράγονται. Η ισορροπημένη χρήση και η αξιοποίηση των εισροών και των εκροών σε κάθε βαθμίδα ή υποσύστημα του όλου συστήματος είναι βασική συνθήκη ώστε το σύστημα να είναι αυτοσυντήρητο και βιώσιμο. Η «ίσορροπία» που δημιουργείται είναι δυναμική, δηλαδή αλλάζει ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά στον χρόνο ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν και επηρεάζουν.

Κατ’ ανάλογο τρόπο και ένα οίκοςυστήμα καινοτομίας λειτουργεί (ή πρέπει να λειτουργεί) κάτω από συνθήκες ισορροπίας σε κάθε δεδομένη χρονική περίοδο. Πρέπει δηλαδή να υπάρχει ισορροπία μεταξύ των «εισροών» (π.χ. κεφαλαίων για έρευνα και καινοτομία, ανθρώπινου δυναμικού, κινήτρων, υλικοτεχνικών υποδομών, νομοθετικού πλαισίου κ.ο.κ.) και «εκροών» (δηλαδή συστηματική και διευκολυνόμενη έμπορική ανάπτυξη καινοτομικών τεχνολογιών και διαδικασιών, κατοχύρωση πνευματικών δικαιωμάτων, διατήρηση και επαύξηση ανθρώπινου δυναμικού, όριζόντια και κάθετη διασύνδεση δεδομένων και εφαρμογών κ.ο.κ.).

Η έννοια της «ίσορροπίας» ισχύει και σε επίπεδο των επί μέρους υποσυστημάτων. Υπάρχει δηλαδή έδω και έσωτερική ισορροπία, με την έννοια κατά περίπτωση έννοια:

- Το δίκτυο των ερευνητικών Όργανισμών πρέπει να βρίσκεται σε «ίσορροπία» με την έννοια της σχετικής ισοτιμίας μεταξύ των κονδυλίων που διατίθενται για έρευνα και της «αξίας» των παραγόμενων από την έρευνα αυτή προϊόντων, με την έννοια της κατοχύρωσης των πνευματικών δικαιωμάτων και της διάθεσής τους σε ενδιαφερόμενους επενδυτές.

- Το δίκτυο των επιχειρήσεων των σχετικών με την καινοτομία (κατασκευαστές, διανομείς, πωλητές, πάροχοι υπηρεσιών, χρηματοδοτικοί φορείς

κ.λπ.) πρέπει να είναι σε ισορροπία, με την έννοια της ισοτιμίας μεταξύ των αναγκαιών επενδύσεων για κάλυψη του κόστους παραγωγής και του τελικού οικονομικού οφέλους από τις πωλήσεις.

– Η αγορά πρέπει να είναι σε ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης σε σχέση με τα προς διάθεση καινοτομικά προϊόντα.

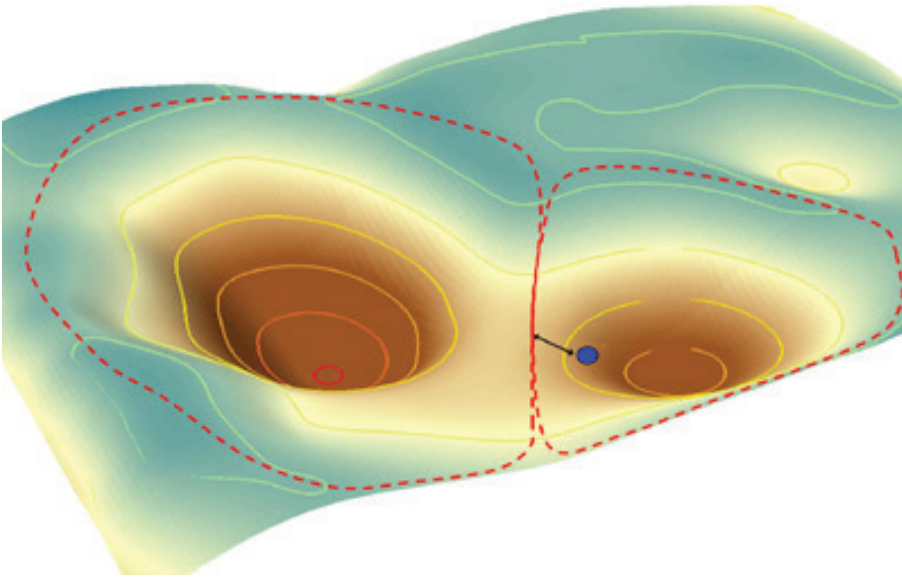
– Η κοινωνία πρέπει να αποδέχεται τη συγκεκριμένη καινοτομία με προϋπόθεση ύπαρξης μιᾶς κατ' ελάχιστο ενημέρωσης και αποδοχής.

4.3 Μεταβολή της ισορροπίας οικοσυστήματος στον χρόνο – περιγραφή με τη θεωρία των «λεκανῶν ἑλξης»

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του προτεινόμενου οικοσυστημικού μοντέλου καινοτομίας είναι η δυναμική φύση του, που εκφράζεται από τις συνεχῶς μεταβαλλόμενες συνθήκες επίτευξης ισορροπίας στον χρόνο. Αυτό γίνεται –και πρέπει να γίνεται– για να υπάρχει η απαραίτητη ευελιξία προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας, τις τεχνολογικές και χρηματοδοτικές δυνατότητες και το μεταβαλλόμενο νομικό και διοικητικό πλαίσιο. Η δυναμική αυτή μεταβολή υπάρχει και συνεχίζεται όσο το οικοσύστημα βρίσκεται σε μιᾶ κατάσταση διαμόρφωσης και ανάπτυξης, από τις αρχικές του συνθήκες λειτουργίας (πάντα κάτω από την επένεργεια του «πυρήνα ἑλξης») μέχρι την τελική του ώριμαση και «μόνιμη» κατάσταση ισορροπίας και βιωσιμότητας.

Οι παραπάνω έννοιες βρίσκουν την καλύτερη δυνατή απεικόνισή τους και μπορεί να μελετηθῶν με μαθηματικό τρόπο με βάση τη θεωρία των «λεκανῶν ἑλξης» (basins of attraction) και τῶν συναφῶν με αὐτὲς μαθηματικῶν διατυπώσεων και απεικονίσεων. Στὰ μαθηματικά, ἡ έννοια τῶν «λεκανῶν ἑλξης» ξεκίνησε ἀπὸ τὶς θεωρίες τῶν Ludwig Boltzmann, Henri Poincaré και Willard Gibbs σχετικά με τὸν χῶρο τῶν φάσεων (phase space)¹¹. Οἱ ἀρχικὲς συνθήκες λειτουργίας τοῦ συστήματος (πὸ καθορίζονται ἀπὸ τὸν «πυρήνα ἑλξης») ἀποτελοῦν ἓνα σημεῖο σὲ μιὰ λεκάνη ἑλξης. Τὸ σύνολο

11. Δηλαδή τὴν τριδιάστατη καμπύλη πὸ ὀρίζεται ἀπὸ τὴ θέση και τὴν ἀντίστοιχη ὄρμη (γιὰ κάθε βαθμὸ ἐλευθερίας τοῦ συστήματος) ἑνὸς κινουμένου σημείου. Μιὰ ἀναλυτικὴ περιγραφή τῶν μαθηματικῶν τοῦ χῶρου τῶν φάσεων βρίσκεται στὴν ἀναφορὰ NOLTE 2010.

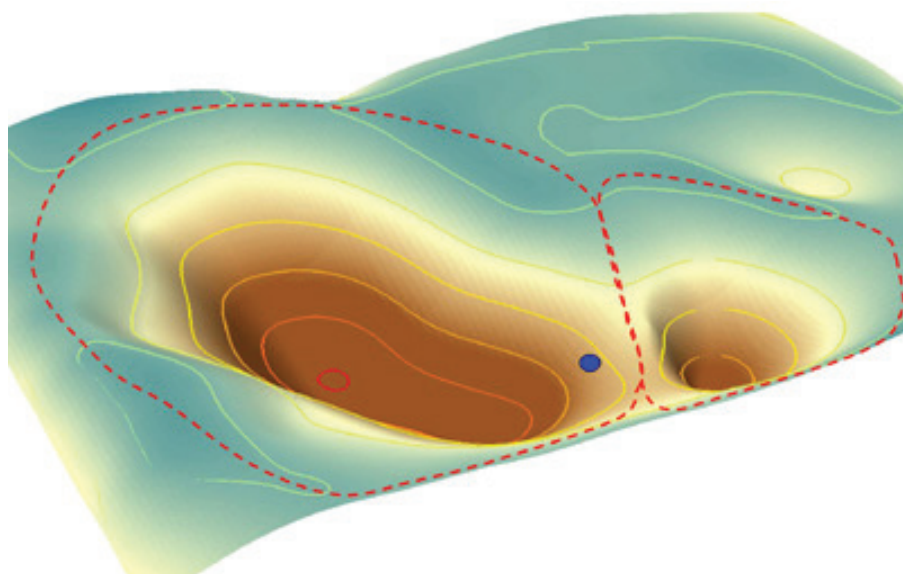


Σχήμα 6: Σχηματική απεικόνιση δύο «λεκανών έλξης» που δημιουργούνται από την «κίνηση» σημείων με βάση τη θεωρία του χώρου φάσεων. Η κουκκίδα απεικονίζει το σημείο ισορροπίας ενός οικοσυστήματος καινοτομίας σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Πηγή: Ocean Tipping Points Project (<http://oceantippingpoints.org/>).

των σημείων ισορροπίας στον χρόνο δημιουργούν μια τριδιάστατη καμπύλη «χώρου φάσεων» («λεκάνη έλξης») και τείνουν προς ένα σημείο όριστικής ισορροπίας στη βάση της καμπύλης. Μια γραφική παράσταση δύο λεκανών έλξης φαίνεται στο Σχήμα 6.

Η έννοια των «λεκανών έλξης» έχει χρησιμοποιηθεί συστηματικά στη βιολογία για να περιγράψει την κατάσταση ενός βιοσυστήματος. Για παράδειγμα, σε ένα δασικό βιοσύστημα ή ποσότητα των διαθέσιμων δέντρων κατά κατηγορία, της χλόης, των ζώων κ.λπ. αντιπροσωπεύει ένα σημείο στο διάγραμμα χώρου-φάσεων για τη δεδομένη χρονική στιγμή και η συνολική-δυναμική εικόνα μια «λεκάνη έλξης» (SUDING – HOBBS 2009). Στα συστήματα που τείνουν προς μια κατάσταση ισορροπίας, ή κατάσταση αυτή οδηγείται από έναν ή περισσότερους «παράγοντες έλξης» (attractors), ή δε «λεκάνη έλξης» είναι το σύνολο των επί μέρους συνθηκών που οδηγούν προς αυτή την κατάσταση ισορροπίας. Μια ανάλυση της δυναμικής κατά-



Σχήμα 7: Σχηματική απεικόνιση μιᾶς ριζικῆς ἢ «ἐπαναστατικῆς» ἀλλαγῆς σὲ ἓνα οἰκოსύστημα καινοτομίας ὅπου ἡ θέση ἰσοροπίας ἔχει μεταπηδήσει καὶ ἀκολουθεῖ τὶς συνθηκὲς λειτουργίας καὶ ἰσοροπίας μιᾶς ἄλλης «λεκανῆς ἑλξῆς».

Πηγή: Ocean Tipping Points Project (<http://oceantippingpoints.org/>).

στασης ἰσοροπίας σὲ βιολογικὰ οἰκოსυστήματα μέσα ἀπὸ τὴ θεωρία τῶν «λεκανῶν ἑλξῆς» μπορεῖ νὰ βρεθεῖ στὴν ἀναφορὰ WALKER ET AL. 2004. Ἡ πιὸ πρόσφατη προσπάθεια χρήσης τῆς θεωρίας τῶν λεκανῶν ἑλξῆς στὴ βιολογία ἀποτελεῖ τὸ μεγάλο ἐρευνητικὸ ἔργο Ocean Tipping Points Project¹² σχετικὰ μὲ τὶς διαδικασίες ἀνάπτυξης, ἐξέλιξης καὶ ἀλλαγῆς θαλάσσιων οἰκოსυστημάτων.

Στὴν περίπτωση ἑνὸς οἰκოსυστήματος καινοτομίας τόσο οἱ ἀρχικὲς τοῦ συνθηκὲς (δηλαδὴ ἡ ἀρχικὴ κατάσταση τοῦ «πυρήνα ἑλξῆς») ὅσο καὶ οἱ μετέπειτα συνθηκὲς λειτουργίας τοῦ μποροῦν νὰ ἀπεικονισθοῦν ἀπὸ τὰ σημεῖα ἰσοροπίας σὲ μιὰ «λεκανὴ ἑλξῆς» ὅπως αὐτὴ τοῦ Σχήματος 6. Τὸ σύστημα κινεῖται πρὸς ἓνα σημεῖο τελικῆς ἰσοροπίας στὸ κέντρο τῆς λεκανῆς ἑλξῆς ὡς

12. Γιὰ περισσότερες λεπτομέρειες <http://oceantippingpoints.org/>

αποτέλεσμα τῆς δράσης ἑνὸς ἢ περισσότερων «παραγόντων ἑλξης». Τὸ ποιοὶ εἶναι οἱ συνθῆστεροι παράγοντες ἑλξης (attractors) στὰ οἰκοσυστήματα καινοτομίας ἐξετάζεται ἀναλυτικότερα στὸ ἐπόμενο κεφάλαιο.

Ὁ παραλληλισμὸς μιᾶς λεκάνης ἑλξης μὲ ἓνα οἰκοσύστημα καινοτομίας σὲ ἰσορροπία διευκολύνει πολὺ τὴν κατανόηση τῶν διεργασιῶν καὶ τῶν διαδικασιῶν γιὰ τὴ δημιουργία καὶ τὴν ἀνάπτυξη τέτοιων καινοτομικῶν οἰκοσυστημάτων.

Ἡ ὑπαρξὴ μιᾶς «ἐπαναστατικῆς» καινοτομίας, πὺ ἀλλάζει δηλαδὴ τὶς συνθῆκες λειτουργίας τοῦ οἰκοσυστήματος¹³, θὰ ἀπεικονίζεται ἀπὸ μιὰ νέα λεκάνη ἑλξης μὲ νέες συνθῆκες λειτουργίας καὶ ἰσορροπίας τοῦ συστήματος. Αὐτὸ φαίνεται στὸ Σχῆμα 7, ὅπου ἡ κουκκίδα πὺ ἀντιπροσωπεύει τὴν ἰσορροπία τοῦ συστήματος ἔχει διασχίσει τὸ περίγραμμα-ὄριο τοῦ ἀρχικοῦ οἰκοσυστήματος καὶ ἔχει μεταπηδήσει σὲ μιὰ ἄλλη λεκάνη ἑλξης μὲ διαφορετικὰ χαρακτηριστικὰ καὶ συνθῆκες ἰσορροπίας.

Ὅσον ἀφορᾷ τοὺς παράγοντες ἑλξης (attractors) πὺ καθορίζουν τὴν ἰσορροπία σὲ μιὰ λεκάνη ἑλξης ἑνὸς οἰκοσυστήματος καινοτομίας, αὐτοὶ ἐξετάζονται ἀναλυτικότερα στὴν ἐπόμενη ἐνότητα.

5. Παράγοντες ἐπηρεασμοῦ τῆς καινοτομίας

5.1 Θεωρητικὴ τοποθέτηση

Μὲ βάση τὸ μοντέλο δημιουργίας καινοτομίας πὺ προαναφέρθηκε, οἱ «παραγόντες ἑλξης» πὺ ὑπάρχουν καὶ ἐπενεργοῦν στὴ δημιουργία μιᾶς «λεκάνης καινοτομίας» εἶναι ταυτόχρονα καὶ οἱ παράγοντες ἐπηρεασμοῦ τῆς καινοτομίας μὲ τὴ θετικὴ ἢ τὴν ἀρνητικὴ ἔννοια.

Μὲ βάση τὴν ὑπάρχουσα ἐμπειρία μπορεῖ νὰ ὀρισθοῦν ὡς παράγοντες «ἑλξης» πὺ ἐπηρεάζουν τὴν ἰσορροπία σὲ μιὰ λεκάνη ἑλξης ἑνὸς οἰκοσυστήματος καινοτομίας οἱ ἑξῆς:

1) Ὑπαρξὴ «πυρήνων» καινοτομίας στὶς ἀντίστοιχες ἐπιστημονικὲς περιοχές, γιὰ δημιουργία θετικῶν ἀρχικῶν συνθηκῶν καὶ συντήρηση τοῦ

13. Αὐτὲς ἀλλάζουν ὡς ἀποτέλεσμα ἐξωτερικῶν ἐπιδράσεων (π.χ. οικονομικὴ κρίση) ἢ ἐσωτερικῶν ἐπιδράσεων (π.χ. ἀνατροπὴ τοῦ «πυρήνα ἑλξης» ἢ ἔλλειψη προσωπικοῦ κ.λπ.), ἢ τέλος ἀπὸ κάποια νέα «ἐπαναστατικὴ» τεχνολογία πὺ ἀλλάζει τοὺς ὅρους τοῦ παιχνιδιοῦ.

όλου οίκου συστήματος καινοτομίας όταν αυτό αρχίσει να λειτουργεί και είναι βιώσιμο.

2) Καλά χρηματοδοτούμενα προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης (με σταθερή ροή) από τον ιδιωτικό και τον δημόσιο τομέα. Η ύπαρξη και διάθεση ιδιωτικών πόρων για έρευνα και ανάπτυξη είναι σημαντικότετος παράγων υγείας του όλου συστήματος και η απουσία τους δημιουργεί συνθήκες αστάθειας και μη βιωσιμότητας.

3) Ύπαρξη επαρκούς μεγέθους αγορών που να επιτρέπουν την ανάληψη «ρίσκου» από τους επιχειρηματίες για την υλοποίηση ιδεών ή «άυλων» έρευνητικών αποτελεσμάτων.

4) Ύπαρξη κανονιστικού πλαισίου που να διευκολύνει την προσπάθεια αξιοποίησης και εκμετάλλευσης των αποτελεσμάτων τής έρευνας, κατοχύρωσης πνευματικών δικαιωμάτων, παραγωγής πρωτοτύπων, έγκρίσεων κ.λπ.

5) Παροχή οικονομικών κινήτρων (έμπορικών και άλλων) από το κράτος για ένα αρχικό στάδιο, κυρίως για στήριξη του πυρήνα του οίκου συστήματος και μέχρι να αποκτηθεί ή απαιτούμενη «κρίσιμη» μάζα ώστε να μπορεί να λειτουργεί το σύστημα αυτοσυντηρούμενο.

6) Αντίστοιχα ύπαρξη επαρκούς αριθμού και διαφοροποίησης πηγών χρηματοδότησης για την καινοτομία.

7) Αξιόλογο εκπαιδευτικό σύστημα και σύστημα διαρκούς εκπαίδευσης και ανάπτυξης ανθρώπινου δυναμικού ικανού να στελεχώσει τους οργανισμούς και τους φορείς στο οίκου σύστημα καινοτομίας.

8) Επιχειρηματικός και κοινωνικός περίγυρος που να ενδιαφέρεται, να αναγνωρίζει και να μπορεί να στηρίζει την ανάπτυξη καινοτομικών πρωτοβουλιών και προϊόντων.

Πέρα από τους παραπάνω βασικούς παράγοντες έλλξης, υπάρχουν και άλλοι, ίσως λιγότερο εμφανείς αλλά καθ' όλα σημαντικοί, όπως π.χ.:

– Η ύπαρξη «ποικιλίας», με την έννοια του ικανού αριθμού μονάδων, σε κάθε κατηγορία φορέων που εμπλέκονται στην όλη διαδικασία. Η ανάγκη «ποικιλίας» ισχύει ιδιαίτερα για την περίπτωση των φορέων χρηματοδότησης, ώστε να υπάρχει ανταγωνισμός και επιλογή.

– Ύπαρξη καθιερωμένης πρακτικής, δηλαδή ιστορικό επιτυχημένων προηγούμενων προσπαθειών καινοτομίας που να δημιουργούν μια «πρακτική» και «παράδοση».

– Ύψιστοι βαθμοί οριζόντιας και κάθετης τεχνολογικής «ενοποίησης» μεταξύ των διαφόρων τεχνολογικών κλάδων.

– Έξωτερικοί πολιτικοί και κανονιστικοί παράγοντες έπηρεασμού της καινοτομίας που να προωθούν την ανάπτυξη και τη συντήρηση της καινοτομίας σε όλα τα επίπεδα. Στους παράγοντες αυτούς εντάσσονται και εκείνοι που παρέχουν «προστασία» και αποτροπή έπηρεασμού της καινοτομικής διαδικασίας και καινοτομίας από αυτούς που υποστηρίζουν τα παραδοσιακά συστήματα (legacy systems).

Στους αποτρεπτικούς παράγοντες θα αναφέραμε τη μεγάλη σημασία που έχουν οι «άρχιες συνθήκες» και η ύπαρξη παραγόντων που στηρίζουν υπάρχοντα συστήματα (legacy) αντί των καινοτομικών. Αποτρεπτική είναι επίσης η ύπαρξη «μονοπωλιακών συνθηκών», οι όποιες όταν υπάρχουν δίνουν την ευκαιρία σε έναν μικρό μόνον αριθμό εταιρειών να επιβάλλουν τους όρους τους έναντι όλων των άλλων και εμποδίζουν την ανάπτυξη καινοτομικών πρωτοβουλιών από όλους τους άλλους. Το ίδιο αποτρεπτική είναι και η ύπαρξη «συμμαχιών», που δημιουργεί ύψηλα κόστη καινοτομίας για τα μη μέλη των συμμαχιών αυτών.

Ένα παράδειγμα τέτοιων συμμαχιών είναι η περίπτωση της Apple και της Google στον τομέα των εφαρμογών κινητής τηλεφωνίας στις συνδεδεμένες Μεταφορές (smart phone integrations in the connected car market). Οι θυγατρικές τους εταιρείες Apple Carplay και Android Auto κυριαρχούν στο σχετικό οικοσύστημα καινοτομίας της Silicon Valley και αποτρέπουν άλλους μικρότερους παίκτες να εισέλθουν στο οικοσύστημα. Η σχετική διαμάχη ήρθε στο φως από την αντίδραση της εταιρείας IndriX, η οποία καινοτόμησε με το σύστημά της Opencar (IANSITI – LAKHANI 2017). Αποτρεπτικός τέλος παράγων είναι και η ύπαρξη προβληματικών, γραφειοκρατικών και πολυέξοδων διαδικασιών για την κατοχύρωση των πνευματικών δικαιωμάτων.

5.2 Αποτελέσματα έρευνών πεδίου

Στο πλαίσιο πρόσφατης έρευνας σχετικά με την καινοτομία στον τομέα των Μεταφορών που αναφέρεται αναλυτικά στην αναφορά ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ – MUNRO 2018, έγιναν δέκα μελέτες περιπτώσεων (case studies) σε έπτα χώρες: ΗΠΑ (τρεις περιπτώσεις), Γερμανία (δύο περιπτώσεις), Ίταλία, Ίσραήλ, Ελλάδα, Μ. Βρετανία και Κίνα. Από τη μελέτη των περι-

πτώσεων αυτών προκύπτει μιὰ σειρά ἀπὸ ἀποτελέσματα σχετικὰ μὲ τοὺς παράγοντες ἐπηρεασμοῦ καὶ τὶς προϋποθέσεις ποὺ συμβάλλουν στὴ δημιουργία ἐπιτυχημένων οἰκосуστημάτων καινοτομίας.

Εἶναι ἐνδιαφέρον νὰ περιγραφοῦν συνοπτικὰ οἱ παράγοντες αὐτοὶ καὶ νὰ συνεκτιμηθοῦν στὸ πλαίσιο τῶν δομῶν οἰκосуστημάτων καινοτομίας ποὺ προαναφέρθηκαν¹⁴:

i. *Ἀρχικὴ δυναμικὴ – ὀλοκληρωμένη – συστηματικὴ ὑποστήριξη ἀπὸ τὴν κυβέρνηση μὲσῶ συγκεκριμένου σχεδίου καὶ πολιτικῆς.* Στὴν περίπτωση τοῦ Ἰσραὴλ ἡ κυβέρνηση ἔκανε ἀπὸ τὴ δεκαετία τοῦ '80 μιὰ συστηματικὴ στροφὴ πρὸς τὴν ἐπιχειρηματικότητα καὶ τὴν καινοτομία, μὲ δημοσίευση μακροχρόνιου σχεδίου καὶ λήψη νομοθετικῶν μέτρων ποὺ δὲν ἀποσύρθηκαν ἀπὸ τὶς ἐπόμενες κυβερνήσεις. Αὐτὸ ὀδήγησε στὴν οἰκοδόμηση ἐνὸς σταθεροῦ νομοθετικοῦ καὶ διοικητικοῦ πλαισίου ποὺ προστατεύει τὴν καινοτομία, τὴν ἐπιχειρηματικότητα καὶ τὴν προστασία καινοτομιῶν, νεοφυῶν καὶ μὴ, ἐπιχειρήσεων.

ii. *Συστηματικὴ καλλιέργεια ἐξειδικευμένου ἀνθρώπινου δυναμικοῦ καὶ ἐργασιακοῦ ἤθους ποὺ ἐνθαρρύνει τὴν καινοτομία καὶ δέχεται τὴν ἀποτυχία.* Ἡ συστηματικὴ προσέλευση ἐξειδικευμένων ἐπιστημόνων στὸ οἰκόςυστημα καινοτομίας ἀπὸ τὸ ἐσωτερικὸ ἢ τὸ ἐξωτερικὸ, ἀλλὰ καὶ ἡ κατάλληλη (διὰ βίου) ἐκπαίδευση ἐγγύριου δυναμικοῦ, εἶναι σημαντικὸς παράγων ἐπιτυχίας. Ἄν ἡ ὑπαρξὴ τέτοιου δυναμικοῦ συνδυάζεται μὲ ἐργασιακὸ ἤθος προσανατολισμένο στὴ σκληρὴ δουλειὰ καὶ στὴν ἐπιχειρηματικότητα μὲ διάθεση ἀνάληψης ρίσκου, τὸ ἀποτέλεσμα μπορεῖ νὰ εἶναι ἐντυπωσιακό¹⁵. Ἡ κυριότερη ὅμως ἐπισήμανση στὸ πλαίσιο τοῦ ἐργασιακοῦ ἤθους εἶναι ἡ ὑπαρξὴ «κουλτούρας» ἀλλὰ καὶ νομοθετικοῦ πλαισίου ποὺ νὰ δέχεται τὴν ἀποτυχία καὶ δίνει μιὰ δεύτερη καὶ τρίτη εὐκαιρία. Μὲ ἄλλα λόγια, ἐνδεχόμενη ἀποτυχία μιᾶς νεοφυοῦς ἐπιχείρησης στὸ Ἰσραὴλ δὲν ἔχει τὶς ἐπιπτώσεις ποὺ ἔχει σὲ ἄλλες χῶρες.

14. Τὰ συγκεκριμένα συμπεράσματα ποὺ ἀναφέρονται παρακάτω ἀφοροῦν κυρίως τὴν περίπτωση τοῦ Ἰσραὴλ.

15. Μιὰ σημαντικὴ παράμετρος στὴν ἐπιτυχία τῶν οἰκосуστημάτων καινοτομίας τοῦ Ἰσραὴλ ἦταν ἡ μαζικὴ εἴσοδος στὴ χώρα 1 ἑκατομμυρίου καὶ πλέον Ρώσων ἐπιστημόνων ἐβραϊκῆς καταγωγῆς ἀπὸ τὴν πρώην Σοβιετικὴ Ἐνωση στὶς ἀρχὲς τῆς δεκαετίας τοῦ '90.

iii. *Προώθηση-ύποστήριξη τῆς συστηματικῆς συνεργασίας μεταξύ δημόσιου καὶ ἰδιωτικοῦ τομέα.* Ὁ ἰδιωτικὸς τομέας πρέπει νὰ ὑποστηρίζεται πλήρως ἀπὸ τὸν δημόσιο καὶ ἡ συνεργασία τῶν δύο φαίνεται νὰ εἶναι ἀγαστὴ καὶ σὲ βάση ἐμπιστοσύνης. Ὁ ἰδιωτικὸς τομέας εἶναι ὁ κύριος «παίκτης» στὰ οἰκονομικὰ καινοτομίας ἀλλὰ πολλὲς φορές, ἰδίως γιὰ «ἐπαναστατικές» καινοτομίες, μπορεῖ νὰ χρειάζεται τὴ συμμετοχὴ καὶ τὴ συνεργασία τοῦ δημόσιου τομέα γιὰ κάλυψη τοῦ «ρίσκου».

iv. *Ἐθνικὸς προγραμματισμὸς καὶ συντονισμὸς ποὺ νὰ δίνει ἔμφαση σὲ ἀγορές καὶ τομεῖς ὅπου ὑπάρχει «ἐθνικὸ πλεονέκτημα».* Ὁ ἐθνικὸς προγραμματισμὸς εἶναι ὁπωσδήποτε ἀπαραίτητος σὲ ὅλα τὰ ἐπίπεδα, ἀλλὰ κυρίως γιὰτὶ θὰ μποροῦσε νὰ ἐντοπίσει τὴ δημιουργία καινοτομίας σὲ ὀρισμένους τομεῖς στοὺς ὁποίους ἡ χώρα (ἢ μιὰ περιοχὴ τῆς) ἔχει συγκριτικὸ πλεονέκτημα. Θὰ ὑπάρχει ἔτσι μιὰ θετικὴ δυναμικὴ ἀπὸ τὴν ἀρχὴ καὶ ὀρθολογικότερος καταμερισμὸς τῶν διαθέσιμων πόρων.

v. *Ἀναγνώριση τῆς κατάλληλης χρονικῆς συγκυρίας καὶ ἀξιοποίηση τῶν «κύματων» καινοτομίας καὶ τῆς ἐπαναστατικῆς ἀλλαγῆς σὲ ἄλλους τομεῖς.* Τὰ ἐπερχόμενα («κύματα») τεχνολογικῆς καινοτομίας σὲ ἄλλους τομεῖς πρέπει νὰ ἀναγνωρίζονται καὶ νὰ ἀξιοποιοῦνται ἔγκαιρα προκειμένου νὰ ἀναπτυχθεῖ καινοτομία στὸν ὑπὸ ἐξέταση τομέα. Π.χ. στὸ Ἰσραήλ, ὁ τομέας τῶν Μεταφορῶν εἶναι σχετικὰ πρόσφατη προσθήκη ὡς «οἰκονομικὸ αἰχμῆς» στὸ σύστημα καινοτομίας τῆς χώρας αὐτῆς, ἐπειδὴ ἀκριβῶς ἔγινε ἔγκαιρη ἀναγνώριση καὶ προσπάθεια ἀξιοποίησης τοῦ «κύματος καινοτομίας» ποὺ δημιουργήθηκε σὲ τομεῖς ὅπως ἡ ἐνέργεια, οἱ τηλεπικοινωνίες, ἡ πληροφορικὴ καὶ ἡ ρομποτικὴ.

vi. *Δημιουργία καὶ συστηματικὴ ὑποστήριξη «θυλάκων καινοτομίας» («pools» of innovation) κατὰ τὴ λογικὴ τῶν οἰκονομικῶν καινοτομίας καὶ τῶν λεκανῶν ἑλξῆς.* Ἡ ἀνάπτυξη καὶ ἡ ὑποστήριξη τέτοιων «θυλάκων» παίρνει τὴ μορφή «Ζωνῶν Καινοτομίας», «Γραφείων Τεχνολογικῆς Μεταφορᾶς» (Technology Transfer Offices – TTOs) καὶ παρόμοιων δομῶν, ποὺ ἀναπτύσσονται συνήθως μὲ γεωγραφικὴ γειτνίαση ὥστε νὰ ὑπάρχει ἡ δυνατότητα ἀλληλεπίδρασης καὶ συνεργασίας ὁμοειδῶν ἐπιχειρήσεων καὶ ἄλλες οἰκονομικὲς κλίμακας. Ἡ κυβέρνησις πρέπει νὰ ὑποστηρίξει¹⁶ τέτοιους «θύ-

16. Στὴν περίπτωσι τοῦ Ἰσραήλ ὑπάρχουν συγκεκριμένα φορολογικὰ καὶ ἄλλα κίνητρα.

λακες» με συγκεκριμένη φορολογική και δανειοδοτική πολιτική. Σε έπιτυχημένα και αυτόδύναμα οίκου συστήματα καινοτομίας, στις Ζώνες Καινοτομίας έγκραθίστανται συνήθως και οί «πυρρήνες έλξης» τοῦ οίκου συστήματος. Στις περιοχές αυτές τοῦ Ἰσραήλ π.χ. ὑπάρχουν έγκατεστημένα τὰ μεγαλύτερα όνόματα τῆς διεθνοῦς τεχνολογίας και έπιχειρηματικότητας.

vii. Ἰπαρξή πολλαπλῶν και έξειδικευμένων συμβουλευτικῶν ὑπηρεσιῶν ειδικὰ γιὰ θέματα ανάπτυξης καινοτομίας. Πρόκειται γιὰ ὑπηρεσίες «καθοδήγησης» (mentoring) και «έπιτάχυνσης» (accelerating) τῆς καινοτομίας ποῦ γίνονται ἀπὸ πληθώρα ιδιωτικῶν φορέων και εταιρειῶν, πολλές ἀπὸ τις ὁποῖες μπορεῖ νὰ εἶναι και οί ίδιες νεοφυεῖς. Π.χ. ὁ ἀριθμὸς τῶν εταιρειῶν ποῦ παρέχουν τέτοιες συμβουλευτικές και εκπαιδευτικές ὑπηρεσίες per capita στὸ Ἰσραήλ εἶναι ὁ ὑψηλότερος στὸν κόσμο.

6. Ἐφαρμογή τοῦ οίκου συστημικοῦ μοντέλου καινοτομίας στὴν Ἑλλάδα

6.1 Ἀποτίμηση τῆς σημερινῆς κατάστασης ὡς πρὸς τὰ στοιχεῖα τοῦ συστήματος

Με βάση τὴν ὁρολογία τοῦ οίκου συστημικοῦ μοντέλου καινοτομίας ποῦ ἀναπτύχθηκε στὰ προηγούμενα γίνεται στὰ έπόμενα μιὰ ἀποτίμηση τῆς σημερινῆς κατάστασης ποῦ επικρατεῖ στὴν Ἑλλάδα. Ἡ ἀποτίμηση αὐτὴ γίνεται σχετικὰ με τὰ «στοιχεῖα» τοῦ οίκου συστήματος ὅπως αὐτὰ περιεγράφηκαν παραπάνω στὴν ένότητα 3.2 και φαίνονται διαγραμματικὰ στὸ Σχῆμα 4, δηλαδή:

- Ὅργανισμοὶ και φορεῖς έρευνας.
 - Ὅργανισμοὶ και φορεῖς χρηματοδότησης.
 - Ὅργανισμοὶ και φορεῖς τῆς ἀγορᾶς (ἀγοραστὲς και πωλητὲς ἀγαθῶν, φορεῖς προώθησης προϊόντων, ἀναλυτὲς ἀγορᾶς κ.λπ.).
 - Ὅργανισμοὶ και φορεῖς έφοδιαστικῆς ἀλυσίδας γιὰ τὴ διακίνηση πρώτων ὑλῶν ἢ τελικῶν προϊόντων.
 - Κυβερνητικοὶ ὅργανισμοὶ και νομοθετικὸ-διοικητικὸ πλαίσιο.
- Ἡ σημερινὴ κατάσταση στὴν Ἑλλάδα σχετικὰ με τις παραπάνω κατηγορίες φορέων συνοψίζεται στὰ έπόμενα.

Όργανισμοί και φορείς έρευνας

Έπιστημονική έρευνα γίνεται συστηματικά στην Ελλάδα στα Άνωτατα Έκπαιδευτικά Ίδρύματα τής χώρας (κυρίως τὰ Πανεπιστήμια), καθώς επίσης και στα Έρευνητικά Κέντρα τής χώρας. Υπάρχουν σήμερα στην Ελλάδα 23 Πανεπιστήμια¹⁷, με συνολικό έπιστημονικό και διοικητικό προσωπικό τής τάξης τῶν 20.000 ατόμων. Υπάρχουν επίσης 18 Έρευνητικά Κέντρα (ΕΚ), με προσωπικό τής τάξης τῶν 12.000 σέ όλες τις ειδικότητες. Στους περισσότερους από τους φορείς αυτούς υπάρχουν αξιόλογες έρευνητικές ομάδες που κάνουν συστηματική έρευνα διεθνούς επιπέδου. Λείπει όμως ή έπαρκής και συστηματική χρηματοδότηση τής έρευνας αυτής από πλευρᾶς τόσο τοῦ δημόσιου ὅσο και τοῦ ιδιωτικού τομέα.

Σύμφωνα με τὰ πιὸ πρόσφατα υπάρχοντα στατιστικά στοιχεία (τοῦ ἔτους 2016)¹⁸, ή χρηματοδότηση τής έρευνας στην Ελλάδα σκιαγραφείται ὡς ἐξής (ΕΚΤ 2018):

– Η κατανομή τής συνολικῆς χρηματοδότησης για έρευνα και ανάπτυξη είναι: ιδιωτικός τομέας 42,5% (705,5 εκατ. ευρώ)¹⁹, Έλληνικό Δημόσιο (κυρίως από τὸν προϋπολογισμό) 45% (746,8 εκατ. ευρώ), Εὐρωπαϊκή Έπιτροπή (ΕΕ) 12,5% (208,5 εκατ. ευρώ).

– Εἰδικά για τὸ ποσοστὸ που προέρχεται από τὴν ΕΕ, ἀξίζει νὰ σημειωθεῖ ὅτι αὐτὸ ἐξαρτᾶται από τὴν ἐπιτυχία τῶν ἑλληνικῶν έρευνητικῶν προτάσεων που γίνονται στὸ πλαίσιο ἀνταγωνιστικῶν προκηρῦξεων τῶν έρευνητικῶν προγραμμάτων τής ΕΕ. Μέχρι σήμερα οἱ ἑλληνικοὶ έρευνητικοὶ φορεῖς εἶναι ιδιαίτερα ἐπιτυχεῖς στὶς προτάσεις αὐτές. Για παράδειγμα, τὸ ποσοστὸ τῶν ἑλληνικῶν έρευνητικῶν φορέων σὲ χρηματοδοτού-

17. Περιλαμβάνονται ή Ἀνωτάτη Σχολή Καλῶν Τεχνῶν, τὸ Διεθνὲς και τὸ Ἀνοικτὸ Πανεπιστήμιο, καθώς και τὸ Πανεπιστήμιο Δυτικῆς Ἀττικῆς, που δημιουργήθηκε πρόσφατα από τὴ συγχώνευση δύο ΤΕΙ.

18. Στατιστικά στοιχεία για τὴν έρευνα στην Ελλάδα συλλέγονται και διατίθενται από τὸ Ἐθνικὸ Κέντρο Τεκμηρίωσης τοῦ Ἐθνικοῦ Ίδρυματος Έρευνῶν (ΕΚΤ/ΕΙΕ). Η πιὸ πρόσφατη τέτοια έρευνα και τὰ σχετικά στοιχεία εὐρίσκονται στὸν σύνδεσμο <http://metrics.ekt.gr/el/node/339>, καθώς και στην ἴστοσελίδα τοῦ ΕΚΤ www.metrics.ekt.gr

19. Τὸ μεγαλύτερο ποσοστὸ από αὐτὸ τὸ ποσὸ διατίθεται για ἱατρική έρευνα από τις μεγάλες φαρμακευτικὲς ἐταιρεῖες.

μενα έργα του πολὺ ανταγωνιστικοῦ εὐρωπαϊκοῦ προγράμματος ἔρευνας Horizon 2020 εἶναι περίπου 10%.

– Ἡ ἔρευνα ποὺ ἔγινε στὸν ἰδιωτικὸ τομέα (σὲ ἐπίπεδο ἐπιχειρήσεων) χρηματοδοτήθηκε στὸ 87,6% (648,5 ἑκατ. εὐρώ) ἀπὸ ἴδια κεφάλαια. Ἡ ἔρευνα ποὺ ἔγινε στοὺς διάφορους κρατικούς φορεῖς (Ἐρευνητικὰ Κέντρα καὶ ἐρευνητικὰ ἐργαστήρια τῶν διαφόρων Ὑπουργείων) χρηματοδοτήθηκε κατὰ 79,9% (349,9 ἑκατ. εὐρώ) ἀπὸ τὸ Ἑλληνικὸ Δημόσιο. Γιὰ τοὺς φορεῖς τριτοβάθμιας ἐκπαίδευσης (ΑΕΙ, ΤΕΙ) τὸ 65,3% τῆς χρηματοδότησης (371,1 ἑκατ. εὐρώ) ἦταν ἀπὸ τὸ Ἑλληνικὸ Δημόσιο.

– Ὁ δείκτης «ἔντασης τῆς ἔρευνας» (συνολικὴ χρηματοδότηση ἔρευνας πρὸς τὸ συνολικὸ ΑΕΠ) εἶναι παραδοσιακὰ πολὺ χαμηλὸς στὴν Ἑλλάδα, τῆς τάξης τοῦ 0,6%, ἂν καὶ τὰ τελευταῖα χρόνια, μὲ τὴν οἰκονομικὴ κρίση καὶ τὴ δραματικὴ μείωση τοῦ ΑΕΠ τῆς χώρας, ἐμφανίζεται αὐξημένος καὶ τὸ 2016 ἔφτασε τὸ 1,01%.

– Τρία Ἐρευνητικὰ Κέντρα τῆς χώρας βρίσκονται στὰ 500 πρῶτα τοῦ κόσμου, σύμφωνα μὲ τὰ κριτήρια καὶ τὴν κατάταξη τοῦ Ranking Web of Research Centers²⁰.

– Ὅσον ἀφορᾷ τὰ Πανεπιστήμια, στὴ γενικὴ κατάταξη τοῦ QS World University Rankings (ποὺ διαμορφώνεται μὲ τὴ χρῆση ἀναφορῶν ποὺ προέρχονται ἀπὸ τὴ βάση δεδομένων τοῦ Elsevier Scopus), τὸ 2017 ὑπῆρχαν τρία ἑλληνικὰ Πανεπιστήμια στὰ κορυφαῖα 500 τοῦ κόσμου: τὸ ΕΜΠ, τὸ Πανεπιστήμιο Πατρῶν καὶ τὸ Πανεπιστήμιο Κρήτης.

– Στις κατατάξεις μὲ βάση τις ἐπὶ μέρους εἰδικότητες, τὸ Ἀριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ) καταλαμβάνει τὴ 16η θέση στὴν εἰδικότητα Κλασικὴ καὶ Ἀρχαία Ἱστορία, ἐνῶ τὸ Ἐθνικὸ Μετσόβιο Πολυτεχνεῖο κατέχει, στὴν εἰδικότητα τῶν Πολιτικῶν Μηχανικῶν, τὴν 42η θέση· δηλαδὴ δύο ἑλληνικὰ Πανεπιστήμια κατατάσσονται μεταξὺ τῶν 50 κορυφαίων τοῦ κόσμου στὶς δύο αὐτὲς εἰδικότητες²¹. Ἐπίσης τὸ ΑΠΘ δια-

20. Πρόκειται κατὰ σειρά γιὰ τὸ Ἴδρυμα Τεχνολογίας καὶ Ἐρευνας (ΙΤΕ) [233ο], τὸ Ἐθνικὸ Κέντρο Ἐρευνας καὶ Τεχνολογικῆς Ἀνάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) [322ο] καὶ τὸ Ἰνστιτοῦτο Τεχνολογίας Ὑπολογιστῶν καὶ Ἐκδόσεων «Διόφαντος» (ΙΤΥΕ) [489ο].

21. Ἡ ὄγδοη ἔκδοση τοῦ διεθνοῦς πίνακα κατάταξης πανεπιστημίων τῆς QS ἀνὰ εἰδικότητα (τὸ QS World University Rankings by Subject) ἀπαριθμεῖ τὰ κορυφαῖα πανεπιστήμια τοῦ πλανήτη σὲ 48 διαφορετικὲς εἰδικότητες.

κρίνεται και σε 20 άλλες ειδικότητες, αν και όχι σε τόσο περίοπτη θέση. Συνολικά, έξι ελληνικά Πανεπιστήμια εμφανίζονται 57 φορές στους 48 πίνακες ειδικοτήτων της QS²².

– Τα ελληνικά Πανεπιστημιακά Ίδρύματα λαμβάνουν επίσης υψηλή βαθμολογία 76,44/100 στον δείκτη έτεροαναφορών ανά μονάδα έπιστημονικού προσωπικού («Citations per Faculty»). Το 9% των ελληνικών έπιστημονικών δημοσιεύσεων κατατάσσεται μεταξύ αυτών με τις περισσότερες αναφορές παγκοσμίως. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά υψηλό και πάνω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο.

Παρ' όλα όμως τα προηγούμενα, θετικά αποτελέσματα (τα όποια ή σημερινή οικονομική συγκυρία καθιστά πιο σημαντικά και έλπιδοφόρα), υπάρχουν και μερικά σαφώς άρνητικά αποτελέσματα και ένδείξεις άπαξίωσης οι όποίες είναι ιδιαίτερα άνησυχητικές. Για δεύτερη συνεχόμενη χρονιά, το 2017, κανένα ελληνικό Πανεπιστήμιο δέν μπόρεσε να βελτιώσει τη θέση του έναντι του προηγούμενου έτους. Κανένα ελληνικό Πανεπιστήμιο δέν συγκαταλέγεται πλέον στα κορυφαία 400 Πανεπιστήμια του κόσμου. Π.χ. το Έθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το όποιο είχε παραδοσιακά την καλύτερη έπίδοση από τα ελληνικά ΑΕΙ, σημειώνει πτώση και, από την 395η θέση που ήταν, βρίσκεται τώρα στη κατηγορία 401-410. Το ίδιο συμβαίνει και με το ΑΠΘ, που βρίσκεται τώρα στην κατηγορία 501-550, σαφώς χαμηλότερα από τις προηγούμενες αξιολογήσεις. Τα Πανεπιστήμια της Ελλάδας σημειώνουν επίσης πτώση των θέσεων τους στους δείκτες «φήμης» τόσο στους ακαδημαϊκούς όσο και τους έργοδοτικούς δείκτες. Οι δείκτες αυτοί μετρούν τη γνώμη των ακαδημαϊκών και των έργοδοτικών κύκλων σχετικά με τα συγκεκριμένα Πανεπιστήμια²³. Τέλος, όλα τα ελληνικά Πανεπιστήμια λαμβάνουν μικρότερη βαθμολογία στη μέτρηση του δείκτη φοιτητών προς μέλη ΔΕΠ²⁴ (λόγω μείωσης του ΔΕΠ).

22. QS University Rankings στό: <https://www.topuniversities.com/university-rankings>

23. Πρόκειται για αποτύπωση της γνώμης από μια μεγάλη δεξαμενή «έμπειρογνομόνων» ή όποια αποτελείται από 70.000 ακαδημαϊκούς και περισσότερους από 40.000 έργοδότες σε όλο τον κόσμο.

24. Διδακτικό Έπιστημονικό Προσωπικό.

Ἡ παραπάνω εἰκόνα δείχνει ὅτι ἡ Ἑλλάδα διαθέτει ἀκόμα ἓνα ἀξιοσημείωτο ἐπιστημονικὸ καὶ ἐρευνητικὸ δυναμικὸ, τὸ ὁποῖο ὅμως βαίνει σὲ φθίνουσα πορεία. Ἐπὶ πλέον τὸ δυναμικὸ αὐτὸ μένει ἀνεκμετάλλευτο ὡς πρὸς τὴν παραγωγή καινοτομίας, δεδομένου ὅτι ἡ ἐπιστημονικὴ γνώση ποὺ παράγεται δὲν μετατρέπεται κατὰ κανόνα σὲ ἐπιχειρηματικὴ δραστηριότητα. Λαμβάνοντας ὡς δείκτη τὸν ἀριθμὸ αἰτήσεων κατοχύρωσης εὐρεσιτεχνίας ἀνὰ ἑκατομμύριο κατοίκους καὶ σύμφωνα μὲ στοιχεῖα τοῦ European Innovation Scoreboard, ἡ Ἑλλάδα ἔρχεται σχεδὸν τελευταία στὸν δείκτη αὐτό, μὲ τεράστια διαφορὰ ἀπὸ τὶς ἄλλες χῶρες (σύμφωνα μὲ στοιχεῖα τοῦ 2016, ἡ Ἑλλάδα ἔχει δείκτη 9, ἐνῶ ἡ Φινλανδία ἔχει 294, ἡ Σουηδία 313, ἡ Γερμανία 225, ἡ Ὁλλανδία 209 κ.ο.κ. – μόνον ἡ Πολωνία καὶ ἡ Ρωσία ἐμφανίζονται μὲ μικρότερους δείκτες ἀπὸ τὴν Ἑλλάδα).

Συνεπῶς, παρ' ὅλο ποὺ τὰ ἑλληνικὰ Ἐρευνητικὰ Ἰδρύματα καὶ τὰ Πανεπιστήμια παράγουν ἱκανοποιητικὸ ἀριθμὸ ἐπιστημονικῶν δημοσιεύσεων, ἐλάχιστες μετατρέπονται σὲ καινοτόμα ἐμπορεύσιμα προϊόντα. Ἀντίθετα, τὸ ἑλληνικὸ ἐρευνητικὸ δυναμικὸ, ὅταν μεταναστεύσει σὲ ἄλλες, φιλικότερες πρὸς τὴν ἔρευνα καὶ τὸ ἐπιχειρεῖν χῶρες, πρωτοστατεῖ στὴν παραγωγή καινοτομίας καὶ οἰκονομικῆς ἀνάπτυξης.

Ἡ ἔρευνα καὶ ἡ ἀνάπτυξη στὸν ἰδιωτικὸ τομέα εἶναι ἀκόμα πολὺ χαμηλὴ. Συνολικὰ ἡ συμμετοχὴ τοῦ ἰδιωτικοῦ τομέα στὴ δαπάνη γιὰ ἔρευνα καὶ ἀνάπτυξη εἶναι περίπου τὸ 30%. Τὸ γεγονὸς αὐτὸ δὲν ἐπιτρέπει στίς ἑλληνικὲς ἐπιχειρήσεις εἴτε νὰ παράγουν νέα γνώση εἴτε νὰ χρησιμοποιοῦν τὴ γνώση ποὺ παράχθηκε ἀπὸ ἐρευνητικὰ ἰδρύματα, μετατρέποντάς τη σὲ νέα προϊόντα καὶ ὑπηρεσίες. Ἡ ἔρευνα καὶ ἀνάπτυξη ἀπὸ τὶς ἐπιχειρήσεις εἶναι κομβικῆς σημασίας γιὰ τὴν εἰσαγωγή τῆς καινοτομίας στὴν ἀγορά. Ἐπιπλέον, στὴν Ἑλλάδα τὰ Πανεπιστήμια ἐστιάζουν πολὺ στὴ βασικὴ ἔρευνα, μὲ ἀποτέλεσμα ἡ ἔλλειψη ἐφαρμοσμένης ἔρευνας νὰ δυσχεραίνει ἀκόμα περισσότερο τὴν ἀνάπτυξη καινοτομίας καὶ ἐμπορευματοποίησης τῶν ἐρευνητικῶν ἀποτελεσμάτων.

Ὅργανισμοὶ καὶ φορεῖς χρηματοδότησης

Κυριότερες χρηματοδοτικὲς πηγὲς τῆς ἔρευνας καὶ καινοτομίας στὴν Ἑλλάδα σήμερα (κατὰ φθίνουσα σειρὰ σημασίας καὶ ὄγκου διατιθέμενων κεφαλαίων) εἶναι οἱ ἀκόλουθες:

1. *Ἴδια κεφάλαια*. Σὲ πρόσφατὴ ἔρευνα τῆς Γενικῆς Γραμματείας Βιομηχανίας στὸ πλαίσιο τῆς εὐρωπαϊκῆς διαβούλευσης γιὰ τὴν ἐνίσχυση

νεοφυῶν επιχειρήσεων, τὸ 83,5% τῶν ἐρωτηθέντων δήλωσαν τὰ «ἴδια κεφάλαια» ὡς πηγὴ τῆς χρηματοδότησής τους καὶ μόλις τὸ 4,7% δανεισμὸ ἀπὸ Τράπεζα.

2. *Εὐρωπαϊκὰ κονδύλια.* Ὅσον ἀφορᾷ τὴν καινοτομία, πρόκειται κυρίως γιὰ κονδύλια ποὺ προέρχονται ἀπὸ τὸ εὐρωπαϊκὸ πρόγραμμα Jeremie, τὸ ὁποῖο στὴν Ἑλλάδα εἶχε ἐπενδύσει μέχρι τὸ τέλος τοῦ 2017 50 περίπου ἑκατ. εὐρῶ σὲ 60 νεοφυεῖς ἐταιρεῖες. Ἡ χρηματοδότηση γίνεται μέσῳ τεσσάρων ἐπενδυτικῶν σχημάτων (Jeremie Funds), ποὺ εἶναι τὰ ἑξῆς:

- Odyssey Jeremie Fund,
- Eliconos Jeremie SICAR,
- PJ Tech Catalyust Fund, καὶ
- OpenFund I καὶ II.

3. Ἄλλες εὐρωπαϊκὲς χρηματοδοτικὲς πηγές, κυρίως τὸ Εὐρωπαϊκὸ Ταμεῖο Ἐπενδύσεων (European Investment Fund – EIF) τῆς Εὐρωπαϊκῆς Τράπεζας Ἐπενδύσεων (European Investment Bank – EIB).

4. Τὰ διάφορα Venture Capitals τοῦ ἐσωτερικοῦ²⁵ ἢ τοῦ ἐξωτερικοῦ. Τὰ VC ποὺ ἐνεργοποιοῦνται σήμερα στὴν Ἑλλάδα συνήθως χρηματοδοτοῦν τις πρῶτες 100.000 καὶ φθάνουν τὸ πολὺ ἕως 500.000 εὐρῶ. Πάνω ἀπὸ τὸ ποσὸν αὐτό, καὶ ἰδίως πάνω ἀπὸ 1.000.000 εὐρῶ, πρέπει κάποιος νὰ ἀπειθουθεῖ στὸ ἐξωτερικὸ καὶ αὐτὸ εἶναι δύσκολο νὰ γίνεῖ ὅταν βρῖσκεσαι στὴν Ἑλλάδα. Ἐτσι πολλὲς ἐλληνικὲς start-ups ποὺ χρειάζονται μεγαλύτερα ποσὰ χρηματοδότησης ἀπὸ 500.000 εὐρῶ συνήθως λαμβάνουν τὴν ἀπόφαση νὰ μεταφερθοῦν στὸ ἐξωτερικὸ. Στὸ ΕΣΠΑ 2014-2020 ἔχει προβλεφθεῖ ἕνα ἀρκετὰ μεγάλο κονδύλι γιὰ χρηματοδότηση Venture Capital Funds καὶ αὐτὸ θὰ συνδυαστεῖ μὲ χρήματα ἰδιωτῶν ἐπενδυτῶν.

Συνολικὰ, ὁ ὄγκος τῶν χρηματοδοτήσεων καὶ οἱ γραφειοκρατικὲς διαδικασίες ποὺ ὑπάρχουν, ἰδίως γιὰ τις χρηματοδοτήσεις ἀπὸ δημόσιες πηγές, κάνουν τὸ τοπίο γιὰ χρηματοδότηση τῆς καινοτομίας στὴ χώρα μας δύσκολο καὶ «καχεκτικόν», ἰδίως σὲ σχέση μὲ ἄλλες συγκρίσιμες χῶρες τοῦ ἐξωτερικοῦ.

25. Στὴν Ἑλλάδα σήμερα ὑπάρχουν 5-6 ἐνεργὰ venture capitals. Ὑπῆρχαν κατὰ καιροὺς καὶ περισσότερα, ἀλλὰ ὅλα ὑπολειποῦν λόγω τῆς οἰκονομικῆς κρίσης. Λίστα τῶν venture capitals στὴν Ἑλλάδα στό: <https://www.bankerbay.com/c/Greece/Venture-Capital-Funds/GR/3/All/1>

Όργανισμοί και φορείς τῆς ἀγορᾶς

“Όλοι οἱ φορεῖς τῆς ἀγορᾶς ποὺ θὰ μπορούσαν νὰ ἀπορροφήσουν καὶ νὰ ὑποστηρίξουν μιὰ καινοτόμο πρωτοβουλία καὶ δράση ὑπάρχουν στὴν Ἑλλάδα. Ἡ ἔννοια τῶν «φορέων ἀγορᾶς» χρησιμοποιεῖται ἐδῶ μὲ τὴν εὐρεία ἔννοια, δηλαδὴ περιλαμβάνει ὅλους ἐκείνους τοὺς φορεῖς ποὺ εἶναι δυνάμει χρήστες καινοτόμων προϊόντων καὶ μὲ τὴν ἔννοια αὐτὴ ἀποτελοῦν οἱ ἴδιοι μιὰ «ὑποαγορά» τῆς εὐρύτερης «ἀγορᾶς» στὴν ὁποία ἀναφερόμαστε. Ὅπως εἶναι φυσικό, κατὰ τομέα οἱ φορεῖς αὐτοὶ διαφέρουν.

Γιὰ τὸν τομέα τῶν Μεταφορῶν οἱ «φορεῖς τῆς ἀγορᾶς», μὲ τὴν παραπάνω ἔννοια, μπορούν γιὰ τὴ χώρα μας νὰ συνοψισθοῦν στοὺς φορεῖς:

- Ἐμπορίας νέων ἢ μεταχειρισμένων ὀχημάτων.
- Μηχανολογικῆς συντήρησης ὀχημάτων.
- Παροχῆς ἐμπορικῶν ὑπηρεσιῶν μεταφορῶν καὶ κινητικότητας (ταξί, φορεῖς ἐμπορευματικῶν μεταφορῶν, φορεῖς ἐπιβατικῶν μεταφορῶν ὅπως ΚΤΕΛ, ὀργανισμοὶ ἀστικῶν συγκοινωνιῶν, ναυτιλιακῶν μεταφορῶν, ἀεροπορικῶν μεταφορῶν) κ.ο.κ.
- Κατασκευαστὲς ἀνταλλακτικῶν ἢ ἐξαρτημάτων γιὰ τὰ ὀχήματα στὸν τομέα τῶν Μεταφορῶν.
- Κατασκευαστὲς τῶν κάθε εἴδους ὑποδομῶν μεταφορῶν.
- Διαχειριστὲς τῶν κάθε εἴδους μεταφορικῶν ὑποδομῶν, ὅπως διαχειριστὲς διοδίων, ἐταιρεῖες διαχείρισης καὶ λειτουργίας αὐτοκινητοδρόμων, ἐταιρεῖες διαχείρισης καὶ λειτουργίας ὑπηρεσιῶν κυκλοφοριακοῦ ἐλέγχου καὶ ρύθμισης τῆς κυκλοφορίας κ.ο.κ.
- Συλλογῆς κυκλοφοριακῶν δεδομένων καὶ ἀνάλυσης-ἀξιοποίησής τους.

Πρόκειται γιὰ σχετικὰ μεγάλο ἀριθμὸ φορέων, οἱ ὁποῖοι θὰ μπορούσαν νὰ ὑποστηρίξουν, στηρίξουν καὶ «προκαλέσουν» τὴ δημιουργία καινοτομίας στὸν τομέα τῶν Μεταφορῶν καὶ Συγκοινωνιῶν στὴ χώρα μας. Μέχρι σήμερα ὅμως ἡ μεγάλη πλειονότητα τῶν φορέων αὐτῶν προτιμᾷ τὴν εἰσαγωγή καινοτομίας ἀπὸ τὸ ἐξωτερικὸ παρά τὴ στήριξη καὶ τὴν ἀνάπτυξη ἐγχώριας καινοτομίας, δηλαδὴ βασισμένης σὲ ἐλληνικὴ ἔρευνα καὶ ὑλοποιούμενης ἀπὸ ἐλληνικοὺς φορεῖς. Τὸ πρόβλημα ὀφείλεται στοὺς ἐξῆς –κυρίως– λόγους:

1. Ἡ ἐπικρατοῦσα στὴν Ἑλλάδα οἰκονομικὴ κρίση καὶ δυσπραγία γιὰ πολλὰ πλεόν χρόνια. Ἡ κατάσταση αὐτὴ εἶναι φυσικὸ νὰ δημιουργεῖ συνθηκὲς ἐπενδυτικῆς ἀσφυξίας γιὰ τοὺς περισσότερους ἐλληνικοὺς φορεῖς τῆς

ἀγορᾶς καὶ ἀπροθυμία δέσμευσης κονδυλίων γιὰ ἐγχώρια ἔρευνα καὶ καινοτομία.

2. Ἀνυπαρξία «κουλτούρας» γιὰ ἐπιστημονικὴ καὶ ἐρευνητικὴ ὑποστήριξη, καὶ χαμηλὴ ἔως ἀνύπαρκτη ἐμπιστοσύνη στὴν ἐγχώρια ἐπιστημονικὴ παραγωγή. Ἄλλωστε ἡ ἴδια σχεδὸν «ἀπροθυμία» τῶν ἑλληνικῶν φορέων τῆς «ἀγορᾶς» νὰ ἐπενδύσουν στὴ χρῆση ἐγχώριας ἔρευνας καὶ καινοτομίας ὑπῆρχε καὶ πρὶν ἀπὸ τὴν οἰκονομικὴ κρίση. Σὲ ἕναν βαθμὸ ἡ ἀπροθυμία αὐτὴ δικαιολογεῖται ἀπὸ τὸ γεγονὸς ὅτι σὲ ὄρισμένες περιπτώσεις ἡ εἰσαγόμενὴ καινοτομία μπορεῖ νὰ εἶναι φθηνότερη ἀπὸ τὴν ἐγχώρια παραγωγή της, ἐνῶ εἶναι σίγουρα ταχύτερη.

3. Ἀνυπαρξία φορολογικῶν «κινήτρων» ἀπὸ πλευρᾶς Πολιτείας γιὰ τὴν ὑποβοήθηση μιᾶς ἐντονότερης καὶ βιώσιμης παρουσίας τῶν φορέων τῆς ἀγορᾶς στὴν ἑλληνικὴ καινοτομία (τουλάχιστον στὸν τομέα τῶν Μεταφορῶν). Ἡ μόνη κρατικὴ «ὑποβοήθηση» τῶν φορέων τῆς ἀγορᾶς στὴν Ἑλλάδα γιὰ νὰ συμμετάσχουν καὶ νὰ ὑποστηρίξουν τὴν ἔρευνα καὶ τὴν καινοτομία στὸν τομέα τῶν Μεταφορῶν εἶναι ἡ προκήρυξη καὶ ἡ χρηματοδότηση κοινῶν ἐρευνητικῶν προγραμμάτων, δηλαδή προγραμμάτων στὰ ὁποῖα μετέχουν καὶ οἱ φορεῖς τῆς ἀγορᾶς.

4. Τὸ μέγεθος τῆς ἐγχώριας ἀγορᾶς εἶναι γενικὰ μικρό. Τὸ γεγονὸς αὐτὸ δημιουργεῖ συνθήκες ἐπενδυτικῆς ἀπροθυμίας γιὰ καινοτομία, δεδομένου ὅτι μιὰ σχετικὴ ἀνάλυση κόστους-ὀφελῶν δὲν δημιουργεῖ συνθήκες θετικῶς δεῖκτες.

Ὅργανισμοὶ καὶ φορεῖς ἐφοδιαστικῆς ἀλυσίδας γιὰ τὴ διακίνηση πρῶτων ὑλῶν ἢ τελικῶν προϊόντων

Ἡ κατηγορία αὐτὴ εἶναι σημαντικὴ κυρίως στὶς περιπτώσεις οἰκονομικῶν καινοτομίας μὲ ἐντονὴ «κατασκευαστικὴ» δραστηριότητα, δηλαδή δραστηριότητα πλήρους παραγωγῆς καινοτομικῶν προϊόντων στὴν Ἑλλάδα. Ἡ Ἑλλάδα εἶναι μιὰ κατ' ἐξοχὴν περιοχὴ ἡ ὁποία προσφέρεται γιὰ ἀνάπτυξη ἐξελιγμένων μορφῶν ὑπηρεσιῶν μεταφορᾶς καὶ logistics. Οἱ λόγοι ποὺ δικαιολογοῦν μιὰ τέτοια ἐκτίμηση ὀφείλονται σὲ μιὰ σειρὰ διαπιστώσεων ποὺ εἶναι οἱ ἀκόλουθες:

1. Ἡ γεωγραφικὴ θέση τῆς χώρας στὴ διασταύρωση μεγάλων παγκόσμιων ἀξόνων μεταφορᾶς καὶ logistics. Κυρίως ἡ θέση της ἀμέσως μετὰ τὴ διώρυγα τοῦ Σουέζ καὶ ἡ ἐγγύτητα ποὺ ἔχει στὴν ἔξοδο/εἴσοδο ἀπὸ τὴ διώρυγα αὐτή. Ἡ θέση αὐτὴ ἦταν τὸ κύριο κίνητρο γιὰ τὴ μεγάλη κινεζικὴ

εταιρεία μεταφορών και logistics COSCO να επενδύσει στο λιμάνι του Πειραιά, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μια κύρια πύλη εισόδου για τις μεταφορές της προς Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη.

2. Η παραδοσιακή πρωτοπορία της χώρας στον τομέα της έσωτερικής και διεθνούς ναυτιλίας και των θαλάσσιων μεταφορών. Η πρωτοπορία αυτή στρέφει συνεχώς την ανάπτυξη στη χώρα μας προς μια σειρά δραστηριοτήτων στον χώρο της εφοδιαστικής αλυσίδας και των logistics.

3. Η δεξαμενή έμφυχου υλικού που υπάρχει στη χώρα με δεξιότητες και εμπειρία στον χώρο αυτό. Πρόκειται για Έλληνες μεταφορείς και παρόχους υπηρεσιών logistics οι οποίοι εργάζονται στις ειδικότητες αυτές ή έχουν εξειδικευτεί επιστημονικά για πολλά χρόνια.

Κυβερνητικοί οργανισμοί και νομοθετικό-διοικητικό πλαίσιο

Ο κυβερνητικός οργανισμός που είναι υπεύθυνος για την έρευνα και την καινοτομία στην Ελλάδα είναι η Γενική Γραμματεία Έρευνας και Καινοτομίας (ΓΓΕΤ) του Υπουργείου Παιδείας. Παλαιότερα το Υπουργείο Ανάπτυξης είχε ενεργότερη συμμετοχή στα θέματα καινοτομίας (άφου ανήκε σε αυτό η ΓΓΕΤ), αλλά σήμερα έχει ουσιαστικά αποσύρει το ενδιαφέρον του. Το νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με την έρευνα και παραγωγή καινοτομίας είναι δυστυχώς ρευστό και συνεχώς αλλάζει.

Ο πιο μακροχρόνιος βασικός νόμος για την έρευνα και καινοτομία ήταν ο Ν. 1514/85, ο οποίος, παρά τη σωρεία τροποποιήσεων, παρέμενε το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο μέχρι το 2008. Το 2008, με τον Ν. 3653/08, επιχειρήθηκε μια αλλαγή, η οποία όμως έμεινε ανενεργή αφού ο νόμος αυτός παρέμεινε σε αναστολή λόγω αντιδράσεων. Η επόμενη ριζική αλλαγή ήρθε το 2014 με τον Ν. 4310/14²⁶. Ο νόμος αυτός αποτέλεσε ριζική τομή για την προαγωγή της έρευνας, της τεχνολογικής ανάπτυξης και της καινοτομίας στη χώρα, ευθυγραμμισμένος με τη σχετική Ευρωπαϊκή Στρατηγική. Αναφερόταν, για πρώτη φορά, σε ανάπτυξη και καινοτομία μέσα από τη δημιουργία ενός εθνικού «οικοσυστήματος» έρευνας φιλικού προς την καινοτομία και την επιχειρηματικότητα, καθώς και του Ένιαίου Εθνικού

26. Ο νόμος αυτός είχε τίτλο «Νόμος για την Έρευνα, Τεχνολογική Ανάπτυξη και Καινοτομία και άλλες διατάξεις» και δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ Α 258/8.12.2014.

Χώρου Έρευνας. Οί έννοιες αυτές, καθώς και οί σχετικές διατάξεις του νόμου εκείνου, ήταν πολύ κοντά στις έννοιες που διατυπώθηκαν στα προηγούμενα. Αφορούσαν τὸ σύνολο του «οίκουσυστήματος», δηλαδή τους δημόσιους έρευνητικούς και τεχνολογικούς φορείς, τους ιδιωτικούς έρευνητικούς οργανισμούς, τὰ έρευνητικά κέντρα που έποπτεύονται από άλλους δημόσιους φορείς κ.ο.κ. Καθόριζε επίσης μιὰ Έθνική Στρατηγική Έρευνας, Τεχνολογικής Ανάπτυξης και Καινοτομίας (ΕΣΕΤΑΚ) και προέβλεπε τὰ μέσα για τήν ύλοποίησή της. Δυστυχώς ούτε και αυτός ὁ νόμος πρόλαβε νὰ ύλοποιηθεῖ και νὰ εφαρμοστεῖ – για πολιτικούς λόγους λόγω τῆς ἀλλαγῆς κυβέρνησης τὸ 2015. Τὸ 2016 ψηφίστηκε νέος νόμος με τίτλο «Ρυθμίσεις για τήν έρευνα και άλλες διατάξεις». Ὁ νέος αυτός νόμος χαρακτηρίστηκε ὡς «μεταβατική νομοθετική παρέμβαση» στους τομείς τῆς έρευνας και τῆς τεχνολογίας για νὰ ἀντικαταστήσει τὸν Ν. 4310/14 και νὰ ἐπιλύσει ὀρισμένα διαδικαστικά και λειτουργικά προβλήματα που εἶχαν δημιουργηθεῖ. Ἐπίσης τὸ 2016 (στις 18 Ὀκτωβρίου) ψηφίστηκε και ἕνα ἄλλο νομοσχέδιο τὸ ὁποῖο δημιούργησε τὸ Ἑλληνικό Ἴδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ). Πρόκειται για εἰδικὸ νομικὸ πρόσωπο, για τὴ χρηματοδότηση τῆς έρευνας που παράγεται ἀποκλειστικά στα ΑΕΙ και τὰ Έρευνητικά Κέντρα τῆς χώρας, καθώς και για τὴ χρηματοδότηση συνεργατικῶν έρευνητικῶν προγραμμάτων ἀνάμεσα σὲ δημόσιους έρευνητικούς φορείς και καινοτομικές ἐπιχειρήσεις, ὅπως και σὲ δράσεις προβολῆς τῆς ἐπιστημονικῆς έρευνας στὴν κοινωνία.

Ένας ἀπὸ τους πὸ σημαντικούς λόγους που ἡ Ἑλλάδα ἔχει κακές ἐπιδόσεις στὸ πεδίο τῆς καινοτομίας εἶναι ὅτι οί καινοτομικές ἐπιχειρήσεις στὴν Ἑλλάδα ἀντιμετωπίζουν ἕνα δυσμενὲς ρυθμιστικὸ πλαίσιο, τὸ ὁποῖο ἀποθαρρύνει ἐπενδυτές, διαχειριστές και ἐπιχειρηματίες νὰ ἐπενδύσουν στὴν έρευνα και στὴν καινοτομία. Οί ἑλληνικές ἐπιχειρήσεις (νεοφυεῖς ἢ ὄχι) ἀντιμετωπίζουν πολλαπλὰ ρυθμιστικά ἐμπόδια, περιορισμούς και γραφειοκρατία. Οί ρυθμίσεις τῆς ἀγορᾶς προϊόντων παρεμποδίζουν τίς ἐπενδύσεις και τίς ἐξαγωγές π.χ. μέσω τῆς ἀκαμψίας τῶν τιμῶν ἢ τῶν περιορισμῶν εἰσόδου στὴν ἀγορά, καθώς και μέσω του ἀναποτελεσματικοῦ συστήματος χωροταξικοῦ σχεδιασμοῦ (RICHTER K. ET AL. 2015). Οί σύνθετοι κανονισμοὶ σὲ διαφορετικούς τομείς, καθώς και οί χρονοβόρες και πολυδάπανες διαδικασίες, δημιουργοῦν ἀβεβαιότητα και ἐμποδίζουν τὴν ἐπιχειρηματικὴ δραστηριότητα, και ἰδιαίτερα τὴν καινοτομία και τὴν ἐπιχειρηματικότητα. Σύμφωνα με τὴν ἐτήσια ἔκθεση *Doing Business* τῆς

Παγκόσμιας Τράπεζας τοῦ 2016, τὸ 2010 ἡ Ἑλλάδα κατετάγη στὴν 109ῃ θέση μεταξύ 183 χωρῶν καὶ κατάφερε νὰ βελτιωθεῖ –φτάνοντας στὴν 60ῃ θέση μεταξύ 189 χωρῶν– τὸ 2016. Παρὰ τὴ βελτίωση αὐτή, ἡ Ἑλλάδα παραμένει μιὰ χώρα μὲ ἔντονη κρατικὴ παρέμβαση καὶ ὑπερβολικὲς νομοθετικὲς ρυθμίσεις σὲ σύγκριση μὲ ἄλλες χῶρες²⁷.

6.2 Ἀποτίμηση ὡς πρὸς τοὺς παράγοντες ἐπηρεασμοῦ καὶ τὴ λειτουργία συστήματος

Πέρα ἀπὸ τὴν ἀποτίμηση σχετικὰ μὲ τὰ «συστατικὰ» τοῦ οἰκοσυστήματος καινοτομίας στὴν Ἑλλάδα, χρειάζεται καὶ μιὰ ἀποτίμηση σχετικὰ μὲ τὴ συνολικὴ λειτουργία τοῦ συστήματος καινοτομίας στὴ χώρα. Ἀκολουθεῖται γιὰ τὸν σκοπὸ αὐτὸ ἡ ὀρολογία τῶν «οἰκοσυστημάτων καινοτομίας» ποὺ χρησιμοποιήθηκε στὴν ἐργασία αὐτή.

Ἕπαρξη «πυρῆνων» καινοτομίας:

«Πυρῆνες ἔλξης» καινοτομίας, μὲ τὴν ἔννοια τῆς ἀρχικῆς ομάδας φορέων ποὺ ἐνεργοποιοῦν καὶ ἐμπλέκονται σὲ ἓνα οἰκοςύστημα καινοτομίας σὲ μιὰ συγκεκριμένη ἐπιστημονικὴ περιοχὴ, ὑπάρχουν στὴν Ἑλλάδα ἐλάχιστα. Οἱ τομεῖς στοὺς ὁποίους ἐστιάζονται αὐτοὶ εἶναι κυρίως οἱ τομεῖς τῆς πληροφορικῆς, τῆς ἐνέργειας καὶ τῆς ἱατρικῆς ἔρευνας (κυρίως βιοτεχνολογίας-βιοϊατρικῆς). Κατὰ τὸν γράφοντα, οἱ κυριότεροι τέτοιοι «πυρῆνες» καινοτομίας στὴν Ἑλλάδα, στὴν παρούσα χρονικὴ περίοδο, εἶναι τρεῖς:

27. Τὰ τελευταῖα χρόνια ὑπάρχουν βελτιώσεις (τῶν ὁποίων ὅμως ἡ ἀποτελεσματικότητά μὲν νὰ ἀποδειχθεῖ στὴν πράξη) στὰ ἀκόλουθα πεδία: «ἰδρυση ἐπιχειρήσεων», «προστασία μειοψηφούντων ἐπενδυτῶν», «διασυνοριακὲς ἐμπορικὲς συναλλαγές» καὶ «πτωχευτικὴ διαδικασία». Ὡστόσο οἱ ἐπιδόσεις τῆς Ἑλλάδας παραμένουν πολὺ χαμηλές σὲ ὀρισμένους τομεῖς: «καταχώρηση περιουσιακῶν στοιχείων» (θέση 144η), «ἐκτέλεση συμβάσεων» (θέση 132η). Τὸ πρόβλημα τῆς πολυνομίας στὴν Ἑλλάδα, ὅπως ἐπισημαίνεται καὶ σὲ σχετικὴ μελέτη τῆς ΔιαΝΕΟσης, συνίσταται στὴν ὑπαρξὴ περισσοτέρων ἀπὸ 550 κανονισμῶν ποὺ ἀφοροῦν τομεῖς ὅπως ἡ ἐπεξεργασία τροφίμων, τὸ λιανικὸ ἐμπόριο, τὰ οἰκοδομικὰ ὑλικά, ὁ τουρισμὸς καὶ ἄλλοι, κανονισμοὶ ποὺ θὰ πρέπει νὰ καταργηθοῦν χωρὶς ἀντικατάσταση (ΔιαΝΕΟσις, 2016).

1. Το Έρευνητικό Κέντρο «Αθηνᾶ» στην Αθήνα²⁸. Δημιουργήθηκε το 2003 και έχει αναπτύξει σημαντικούς «πυρῆνες» καινοτομίας, από τους οποίους έχουν ἤδη προκύψει συγκεκριμένες και ἐπιτυχημένες καινοτομίες. Οἱ περιοχές «αἰχμῆς» τῶν δραστηριοτήτων τοῦ Κέντρου εἶναι στὰ θέματα «πληροφορικῆς και πληροφοριακῶν συστημάτων», «ἐπεξεργασίας λόγου», «περιβαλλοντικῶν τεχνολογιῶν» και «ρομποτικῆς». Τὸ Κέντρο ἔχει τρία Έρευνητικὰ Ἴνστιτούτα (Έπεξεργασίας λόγου, Βιομηχανικῶν Συστημάτων και Πληροφοριακῶν Συστημάτων), καθὼς και πέντε ἐρευνητικὲς «Μονάδες». Ἄν δὲν εἶναι ἡ πρώτη, εἶναι πάντως ἀπὸ τίς πρώτες προσπάθειες δημιουργίας «καινοτομικῶν πυρῆνων» στὴν Ἑλλάδα και θεωρεῖται ἐπιτυχημένη. Στηρίζει τὸν πλήρη κύκλο καινοτομίας: ἔρευνα (βασικὴ και ἐφαρμοσμένη) – δημιουργία πρωτότυπων συστημάτων και προϊόντων – μεταφορὰ τεχνολογίας – ἐπιχειρηματικότητα/σύνδεση μὲ τὴν ἀγορά.

2. Ἡ Ἀλεξάνδρεια Ζώνη Καινοτομίας (AZK) στὴ Θεσσαλονίκη²⁹, ὅπου περιλαμβάνονται τὰ δύο μεγάλα Πανεπιστήμια τῆς Θεσσαλονίκης (Ἄριστοτέλειο και Μακεδονίας), τὸ Ἐθνικὸ Κέντρο Ἑρευνας και Τεχνολογικῆς Ἀνάπτυξης – ΕΚΕΤΑ και πολλοὶ ἐκπαιδευτικοὶ/ἐρευνητικοὶ και ἐπιχειρηματικοὶ φορεῖς τῆς περιοχῆς. Ἡ AZK Θεσσαλονίκης ιδρύθηκε ὡς φορέας τὸ 2006, ἀλλὰ ἡ πορεία τῆς ὑπῆρξε ἀργὴ και κατάφερε νὰ δραστηριοποιηθεῖ οὐσιαστικὰ μόλις πρόσφατα. Στὴν οὐσία «πυρῆνες ἑλξῆς» καινοτομίας ὑπῆρχαν και ὑπάρχουν στὴν περιοχή τῆς Θεσσαλονίκης πρὶν ἀπὸ τὴν AZK, ἀλλὰ ἡ AZK ἤρθε κυρίως νὰ συντονίσει και νὰ ἐνθαρρύνει τοὺς πυρῆνες αὐτοὺς³⁰. Πρόσφατα (2017) ξεκίνησε μιὰ νέα προσπάθεια δημιουργίας ἐνὸς

28. Περισσότερες λεπτομέρειες γιὰ τὸ «Αθηνᾶ» στὴν ἰστοσελίδα του <https://www.athena-innovation.gr/>

29. Περισσότερες λεπτομέρειες στὴν ἰστοσελίδα τῆς Ζώνης Καινοτομίας Θεσσαλονίκης <http://www.thessinnozone.gr/>

30. Οἱ δραστηριότητες τῆς AZK περιλαμβάνουν: κατάρτιση ἐνὸς στρατηγικοῦ σχεδίου ἀνάπτυξης τῆς Ζώνης Καινοτομίας Θεσσαλονίκης, ἀπόκτηση –μὲ παραχώρηση– δημόσιας ἑκτασης 60 στρεμμάτων γιὰ ἀνάπτυξη τοῦ πρώτου θύλακα ὑποδοχῆς καινοτομικῶν δραστηριοτήτων (ΘΥΚΔ), ὑπογραφή μνημονίου συνεργασίας μεταξὺ 12 κορυφαίων φορέων ἔρευνας και καινοτομικῆς ἐπιχειρηματικότητας στὴν περιοχή Θεσσαλονίκης, ἐξασφάλιση προνομιακοῦ καθεστώτος ὅπου προβλέπονται 5% ἐπιπλέον ἐνισχύσεις γιὰ τὰ ἐπενδυτικὰ σχέδια ποὺ ὑλοποιοῦνται ἐντὸς τῆς Ζώνης Καινοτομίας Θεσσαλονίκης, και δημιουργία τοῦ Thessaloniki

πάρκου καινοτομίας σέ έκταση 70 στρεμμάτων κοντά στο αεροδρόμιο Θεσσαλονίκης, με πρόθεση νά στεγάσει έξι οικοσυστήματα καινοτομίας στους τομείς τών ύλικών, τής νανοτεχνολογίας, τής τεχνητής εύφυίας, τής ένέργειας, τών logistics και τής βιώσιμης κινητικότητας. Πρόκειται για τήν πρωτοβουλία ThessINTEC, ή όποία σημειωτέον είναι ιδιωτική έπιχειρηματική πρωτοβουλία, με τήν ύποστήριξη τής Έταιρείας Διαχείρισης & Ανάπτυξης Τεχνολογικού Πάρκου Θεσσαλονίκης (ΤΠΘ).

3. Τό Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ) στην Κρήτη³¹. Τό ΙΤΕ είναι σήμερα ένα από τά μεγαλύτερα και πιό άρτια έξοπλισμένα και στελεχωμένα Έρευνητικά Κέντρα τής χώρας – πυρήνας καινοτομικών οικοσυστημάτων σέ διάφορους τομείς. Περιλαμβάνει έξι Έρευνητικά Ίνστιτούτα (Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ, Μοριακής Βιολογίας και Βιοτεχνολογίας, Πληροφορικής, Ύπολογιστικών Μαθηματικών, Μεσογειακών Σπουδών και Χημικής Μηχανικής). Άλλες μονάδες του ΙΤΕ είναι οί Πανεπιστημιακές Έκδόσεις Κρήτης (ΠΕΚ), τό Άστεροσκοπείο Σκίνακα, τό Έπιστημονικό και Τεχνολογικό Πάρκο Κρήτης (ΕΤΕΠ-Κ) και τό Δίκτυο ΠΡΑΞΗ.

Ύπαρξη καλά χρηματοδοτούμενων προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης:

Όπως αναφέρθηκε ήδη, ύπάρχει μιá μάλλον πενιχρή χρηματοδότηση τής έρευνας από τόν κρατικό προϋπολογισμό, ή όποία όμως δέν είναι σταθερή ούτε έπαρκής κατ' ούδένα τρόπο. Η πλέον σταθερή και συστηματική χρηματοδότηση προέρχεται από τά έρευνητικά προγράμματα τής ΕΕ. Η συμβολή του ιδιωτικού τομέα είναι –συνολικά– στο επίπεδο του 30-40%, γεγονός αντίστροφο από αυτό που συμβαίνει σέ άλλες χώρες (όπου ή σχέση ιδιωτικών πρòς δημόσια κονδύλια είναι 60% ιδιωτικά-40% δημόσια).

Ύπαρξη έπαρκους μεγέθους άγορών και κινήτρων:

Η έλληνική άγορά είναι μικρή για νά ύποστηρίξει «έλκυστικά» πακέτα χρηματοδότησης τής καινοτομίας. Συνεπώς, κύρια διέξοδος είναι ή ύπαρξη πρόσβασης στις άγορές του έξωτερικού. Όσον άφορã «κίνητρα»

Smart Innohub, τό όποιο ύποστηρίζει νέα έπιχειρηματικά σχέδια για τή μετατροπή τους σέ νεοφυείς έπιχειρήσεις.

31. Περισσότερες λεπτομέρειες στην ίστοσελίδα του ΙΤΕ <https://www.forth.gr/>

για την καινοτομία, ουσιαστικά τέτοια κίνητρα δέν υπάρχουν. Αύτὰ πού δίνονται εἶναι δυστυχῶς περισσότερο συμβολικά καί ὄχι οὐσιαστικά (π.χ. 5% ἐπί πλέον στό ποσοστό ἐπιδότσης τοῦ ἀναπτυξιακοῦ νόμου). Κονδύλια γιά τήν ἐξασφάλιση πνευματικῶν δικαιωμάτων (πατέντες κ.λπ.) δέν δίνονται ἤ εἶναι ἐλάχιστα.

Ὑπαρξή κανονιστικοῦ πλαισίου πού νά διευκολύνει τήν προσπάθεια ἀξιοποίησης καί ἐκμετάλλευσης τῶν ἀποτελεσμάτων τῆς ἔρευνας:

Τό ὑπάρχον κανονιστικό πλαίσιο γιά τήν καινοτομία δημιουργεῖ πολλά γραφειοκρατικά ἐμπόδια παρὰ τίς μεμονωμένες –καί συνήθως ἀποσπασματικές– προσπάθειες γιά βελτίωσή του. Οἱ ἐλληνικές ἐπιχειρήσεις (νεοφυεῖς ἤ ὄχι) ἀντιμετωπίζουν πολλαπλά ρυθμιστικά ἐμπόδια, περιορισμούς καί γραφειοκρατία. Οἱ ρυθμίσεις τῆς ἀγορᾶς προϊόντων παρεμποδίζουν τίς ἐπενδύσεις καί τίς ἐξαγωγές π.χ. μέσω τῆς ἀκαμψίας τῶν τιμῶν ἤ τῶν περιορισμῶν εἰσόδου στήν ἀγορά.

Ἀξιόλογο ἐκπαιδευτικό σύστημα καί σύστημα συνεχοῦς ἐκπαίδευσης καί ἀνάπτυξης ἀνθρώπινου δυναμικοῦ:

Τό πολὺ ἀξιόλογο ἀνθρώπινο δυναμικό τῶν ἐλληνικῶν Πανεπιστημίων ἀπαξιώνεται ἀπό τήν ἀπαράδεκτη κατάσταση ἀναρχίας στά ἐλληνικά ΑΕΙ καί ΤΕΙ. Ἡ διὰ βίου ἐκπαίδευση βρίσκεται σέ χαμηλὰ ἐπίπεδα καί γίνεται μόνον ἂν ὑπάρξουν κονδύλια ἀπό τήν ΕΕ.

Ἐπιχειρηματικός καί κοινωνικός περίγυρος πού νά ἐνδιαφέρεται καί νά στηρίζει τήν ἀνάπτυξη καινοτομικῶν πρωτοβουλιῶν:

Ἡ οικονομική κρίση ἔχει δυστυχῶς ἀποστερήσει σχεδόν κάθε ἐνδιαφέρον παρέμβασης στά θέματα καινοτομίας τοῦ ἐπιχειρηματικοῦ καί κοινωνικοῦ παράγοντα στήν Ἑλλάδα. Ἡ καινοτομία, γιά νά ἀναδειχθεῖ καί νά συντηρηθεῖ στήν Ἑλλάδα, χρειάζεται ἀλλαγὴ ἐπενδυτικῆς νοοτροπίας καί τὸ κατάλληλο κοινωνικό περιβάλλον πού νά εἶναι ἔτοιμο νά τῆ δεχθεῖ. Ἡ ἐπενδυτικὴ νοοτροπία πρέπει μεταξὺ ἄλλων νά δέχεται (καί νά μὴν τιμωρεῖ) τήν ἀποτυχία, νά ἔχει ἐξωστρεφὴ καί ὄχι ἐσωστρεφὴ χαρακτηριστῆρα καί νά δημιουργήσει κίνητρα γιά νά προσελκύσει ἀνθρώπινο δυναμικό τόσο ἀπὸ τὸ ἐσωτερικό ὅσο καί ἀπὸ τοὺς Ἑλληνας ἐρευνητὲς καί ἐπιχειρηματίες τοῦ ἐξωτερικοῦ.

7. Συμπεράσματα

Ἡ κατανόηση καὶ ἡ ἀνάλυση τῶν μηχανισμῶν καὶ διαδικασιῶν παραγωγῆς καινοτομίας εἶναι βασικῆς σημασίας γιὰ τὴ δημιουργία καινοτομίας σὲ μιὰ χώρα. Στὴν ἐργασία αὐτὴ ἀναλύθηκε ἡ διαδικασία δημιουργίας καινοτομίας καὶ προτάθηκε ἕνα σύνθετο καὶ πολυ-παραμετρικὸ μοντέλο ποὺ βασίζεται στὴν ἔννοια τοῦ «οἰκосуστήματος» καινοτομίας, δηλαδὴ ἐνὸς συνόλου φορέων οἱ ὁποῖοι ἀλληλεπιδροῦν καὶ ἐνεργοῦν ὡς «σύστημα» ποὺ ἔχει συγκεκριμένες εἰσροὲς καὶ ἐκροὲς γιὰ τὴ λειτουργία του καὶ βρῖσκεται σὲ μιὰ συνεχῆ δυναμικὴ κατάσταση ἐξισορρόπησης. Ἡ ἔννοια τοῦ «οἰκосуστήματος καινοτομίας» παραλληλίστηκε μὲ τὴν ἔννοια τῶν βιολογικῶν οἰκосуστημάτων, ἀπὸ τὴ θεωρία τῶν ὁποίων δανείστηκε πολλὰ χαρακτηριστικά.

Κύρια συστατικὰ ἐνὸς οἰκосуστήματος καινοτομίας εἶναι:

- Ὁ «πυρήνας» βασικῶν φορέων ποὺ δημιουργοῦν τὶς ἀναγκαῖες ἀρχικὲς συνθῆκες γιὰ τὴ δημιουργία τοῦ οἰκосуστήματος καινοτομίας σὲ ἕναν ἐπιστημονικὸ τομέα καὶ τὴ μετέπειτα ὑποστήριξη βιώσιμης λειτουργίας του.
- Ἕνας ἰσχυρὸς οἰκονομικὰ καὶ διατεθειμένος νὰ ἐπενδύσει στὴν καινοτομία ἰδιωτικὸς τομέας.
- Κατάλληλες συνθῆκες χρηματοδότησης, ποὺ χαρακτηρίζονται ἀπὸ μιὰ ἐπαρκὴ καὶ ἀνταγωνιστικὴ («ἀγορὰ») χρηματοδοτικῶν φορέων.
- Ρυθμιστικὸ πλαίσιο ποὺ νὰ διευκολύνει καὶ ἐπιβραβεύει (δίνοντας καὶ σχετικὰ οἰκονομικὰ κίνητρα) τὴν επιχειρηματικότητα, τὴν κατοχύρωση πνευματικῶν δικαιωμάτων καὶ τὴν πρόσβαση στὴν ἀγορὰ.
- Ἐπαρκῶς ἀνεπτυγμένη («ἀγορὰ») γιὰ τὰ καινοτομικὰ προϊόντα (στὸ ἐσωτερικὸ τῆς χώρας ἢ τὸ ἐξωτερικὸ).
- Σύγχρονο, ἀποδοτικὸ καὶ ἐπαρκῶς ἀξιολογούμενο ἐκπαιδευτικὸ σύστημα γιὰ τὴ δημιουργία πλήρως καταρτισμένου ἀνθρώπινου δυναμικοῦ.
- Κοινωνικὴ ἀποδοχὴ καὶ συνέργεια σὲ κάθε πρωτοβουλία δημιουργίας καινοτομίας.

Ἐγινε ἐπίσης μιὰ ἀναλυτικὴ διερεύνηση τῆς σημερινῆς κατάστασης ὅσον ἀφορᾷ τοὺς παράγοντες ποὺ ἐπηρεάζουν τὴν καινοτομία στὴν Ἑλλάδα σὲ σχέση καὶ μὲ τοὺς φορεῖς ποὺ θὰ ἀπαρτίσουν τὰ οἰκосуστήματα καινοτομίας στὸ μέλλον (ὄργανισμοὶ καὶ φορεῖς ἔρευνας/ὄργανισμοὶ καὶ φορεῖς χρηματοδότησης/ὄργανισμοὶ καὶ φορεῖς τῆς ἀγορᾶς/ὄργανισμοὶ καὶ φορεῖς ἐφοδιαστικῆς ἀλυσίδας/κυβερνητικοὶ ὄργανισμοὶ καὶ νομοθετικὸ-διοικη-

τικό πλαίσιο). Από τη διερεύνηση αυτή προκύπτει ότι η χώρα μας έχει σημαντικά κενά και δυσλειτουργίες σχεδόν σε όλες τις κατηγορίες παραγόντων αλλά και των στοιχείων (φορέων) που απαρτίζουν ένα οίκοσύστημα καινοτομίας. Συνοπτικά διαπιστώνεται ότι:

- Στόν τομέα τής διεξαγωγής έρευνας, ή Ελλάδα διαθέτει ακόμα ένα αξιοσημείωτο έπιστημονικό και έρευνητικό δυναμικό, τὸ ὁποῖο ὅμως βαίνει σὲ φθίνουσα πορεία. Ἡ χρηματοδότηση τής έρευνας προέρχεται κυρίως ἀπὸ δημόσιες πηγές στὸ 60% και πλέον. Ὁ ἰδιωτικὸς τομέας συμμετέχει σχετικὰ λίγο (σὲ ἀκριβῶς ἀντίθετη θέση μὲ τὲς ἄλλες εὐρωπαϊκὲς χῶρες). Τὸ γεγονός αὐτὸ δὲν διευκολύνει τὲς ἑλληνικὲς ἐπιχειρήσεις εἴτε νὰ παράγουν νέα γνώση εἴτε νὰ χρησιμοποιοῦν τὴ γνώση πὸν παράχθηκε ἀπὸ έρευνητικὰ ἰδρύματα, μετατρέποντάς τη σὲ νέα προϊόντα και ὑπηρεσίες. Περισσότερη έρευνα και ἀνάπτυξη ἀπὸ τὲς ἴδιες τὲς ἐπιχειρήσεις εἶναι κομβικῆς σημασίας γιὰ τὴν εἰσαγωγή τής καινοτομίας στὴν ἑλληνικὴ ἀγορὰ και τής ἑλληνικῆς καινοτομίας στὴ διεθνή ἀγορὰ.

- Στὰ ἑλληνικὰ Πανεπιστήμια δὲν καλλιεργεῖται, μὲ κάποιον συστηματικὸ τρόπο, κλίμα ὑποστήριξης τής ἐπιχειρηματικότητας και τής καινοτομίας. Ἡ πορεία τῶν ἑλληνικῶν Πανεπιστημίων στὲς διεθνεῖς ἀξιολογήσεις τῶν Πανεπιστημίων βαίνει φθίνουσα. Τὰ Ἀνώτατα Ἐκπαιδευτικὰ Ἰδρύματα θὰ πρέπει νὰ ἀναπτύξουν συνεργατικούς σχηματισμούς, ὁργανωμένους κατὰ τὰ διεθνή πρότυπα, μὲ αὐστηρὴ ἀξιολόγηση, ἀνεξάρτητη διοίκηση, ἐξασφαλισμένη ἀνεξαρτησία και κίνητρα γιὰ τὴν προσέλκυση τῶν ὑψηλοῦ ἐπιπέδου Ἑλλήνων έρευνητῶν και ἀνάπτυξη συστηματικῶν πρωτοβουλιῶν στήριξης τής καινοτομίας κατὰ τὰ πρότυπα τῶν *Tech Transfer Offices (TTOs)* τῶν Πανεπιστημίων τοῦ ἔξωτερικοῦ.

- Στόν τομέα τής χρηματοδότησης τής καινοτομίας και τὸ ὕψος τῶν χρηματοδοτήσεων, τὸ τοπίο ἐμφανίζεται ἐπίσης θολὸ και καχεκτικό. Ὑπάρχουν πολὺ λίγοι φορεῖς πὸν χρηματοδοτοῦν τὴν καινοτομία, ἐνῶ τὴν κατάσταση ἐπιδεινώνουν οἱ γραφειοκρατικὲς διαδικασίες πὸν ὑπάρχουν, ἰδίως γιὰ τὲς χρηματοδοτήσεις ἀπὸ τράπεζες και δημόσιες πηγές.

- Ὅσον ἀφορᾷ τὴ συμμετοχὴ και δραστηριοποίηση τῶν φορέων τής ἀγορᾶς στὴν παραγωγή και ὑποστήριξη καινοτομίας, ἡ μεγάλη πλειονότητα τῶν ὑπαρχόντων φορέων προτιμᾷ τὴν εἰσαγωγή καινοτομίας ἀπὸ τὸ ἔξωτερικό. Οἱ κυριότεροι λόγοι γιὰ τὴ συμπεριφορὰ αὐτὴ μπορεῖ νὰ συνοψισθοῦν στὴν ἐπικρατοῦσα στὴν Ἑλλάδα οἰκονομικὴ κρίση και δυσπραγία, ἀλλὰ και στὸ γεγονός ἀνυπαρξίας «κουλτούρας» γιὰ ἐπιστημονικὴ και

έρευνητική ύποστήριξη, άνυπαρξία φορολογικῶν ἢ ἄλλων «κινήτρων», τὸ σχετικὰ ὑψηλὸ κόστος τῆς ἐγχώριας καινοτομίας (σὲ σχέση μετὰ τὴν εἰσαγωγόμενη) καὶ τὸ μέγεθος τῆς ἐγχώριας ἀγορᾶς, τὸ ὁποῖο γενικὰ εἶναι μικρό.

– Τέλος, τὸ νομοθετικὸ καὶ κανονιστικὸ πλαίσιο χρειάζεται βελτίωση μετὰ μείωση τῆς γραφειοκρατίας, ἄρση τῶν διοικητικῶν βαρῶν γιὰ τὸ ἄνοιγμα, τὴ λειτουργία καὶ τὸ κλείσιμο τῶν ἐπιχειρήσεων, μεγαλύτερη (κατὰ προτίμηση καθολικὴ) εἰσαγωγή τῆς ἠλεκτρονικῆς διακυβέρνησης, ἀπλοποίηση τῆς νομοθεσίας καὶ ἀπλοποίηση καὶ σταθεροποίηση τῆς φορολογικῆς πολιτικῆς.

“Ὅλα τὰ παραπάνω προϋποθέτουν πολὺ σοβαρὲς καὶ βαθιὲς τομὲς στὴν ἑλληνικὴ κοινωνικὴ καὶ πολιτικὴ πραγματικότητα καὶ μιὰ σειρὰ ἀπὸ δύσκολες πολιτικὲς ἀποφάσεις, ἂν θέλουμε νὰ προωθηθεῖ οὐσιαστικὰ καὶ μετὰ μόνιμο τρόπο ἡ καινοτομία. Προϋποθέτουν ἐπίσης μιὰ ξεκάθαρη καὶ μακροχρόνια στρατηγικὴ στόχευση στὰ θέματα ἔρευνας καὶ καινοτομίας ποὺ νὰ εἶναι σταθερὴ καὶ κατὰ τὸ δυνατόν ἀνεξάρτητη ἀπὸ πολιτικὲς ἀλλαγές. Χρειάζεται, ἐπιπλέον, μιὰ ἀλλαγὴ ὑποδείγματος στὸ ἑλληνικὸ ἐπιχειρεῖν, μετὰ περισσότερο ἐξωστρεφὴ, καινοτόμο καὶ ἀνταγωνιστικὸ χαρακτῆρα καὶ ἀπαλλαγὴ ἀπὸ τὸν φόβο (καὶ τὶς παράλογες σημερινὲς νομικὲς συνέπειες) τῆς ἀποτυχίας.

Ἄναφορὲς

- AUERSWALD, E. H., Interdisciplinary versus ecological approach, *Family Process*, 7, 2, 1968, 202-215.
- BERKELEY, J., The death of the internal combustion engine, *The Economist*, 12.8.2017, καὶ στὸ: <https://www.economist.com/news/leaders/2017/08/12/the-death-of-the-internal-combustion-engine>
- BONVILLIAN, W. B. – WEISS, CH., *Technological Innovation in Legacy Sectors*, New York 2015.
- BOZEMAN, H. ET AL., The evolving state-of-the-art in technology transfer research: Revisiting the contingent effectiveness model, *Research Policy*, 44, 1, February 2015, 34-49.
- CAPIRE, *European Roadmap Electrification of Road Transport 2nd Edition*, EU funded project CAPIRE, Deliverable 5.4, editors BRIEC, E. – RENAULT, C. M. – MEYER, G. – MÜLLER, B., σὲ συνεργασία μετὰ ERTRAC, EPoss, SmartGrids, Βρυξέλλες 2012, στὸ: www.green-cars-initiative.eu
- CAPRA, F., *The Web of Life*, New York 1996.

- DODGSON, M. – HINZE, S., Indicators used to measure the innovation process: defects and possible remedies, *Research Evaluation*, 9, 2, August 2000, 101-114.
- DUBOS, R., *A God Within*, New York 1972.
- E4TECH, *The Fuel Cell Industry Review 2016*, E4Tech, Λωζάννη 2016, στί: www.FuelCellIndustryReview.com
- EASAC, *Decarbonization in the field of Transport in Europe*, European Academies Science Advisory Council, Brussels 2018.
- EUROSTAT, *Transport Statistics*, Eurostat, Luxembourg 2016.
- GIANNOPOULOS, G. – MUNRO, J., *The Accelerating Transport Innovation Revolution: A Global, Case-Study Based Assessment of Current Experience, Cross Sectorial Effects and Socio-Economic Transformations*, 2019.
- HUDSON, C. G., From social Darwinism to self-organization: Implications for social change theory, *Social Service Review*, 74, 4, 2000, 533-559.
- IANSITI, M. – LAKHANI, M., Managing our hub economy, *Havard Business Review*, στί: <https://hbr.org/2017/09/managing-our-hub-economy>, September-October 2017.
- IEA, *Electric and Plug-in Hybrid Vehicle Roadmap*, International Energy Agency, Paris 2015, στί: www.iea.org/roadmaps
- KIRST-ASHMAN, K., *Human Behavior, Communities, Organisations and Groups in the Macro-Social Environment: An Empowerment Approach*, Belmont, CA 2008.
- MATTAINI, M. ET AL. (eds), *Foundations of Social Work Practice: A Graduate Text*, Washington, DC 2002.
- MEYER, C. H., *Social Work Practice: The Changing Landscape*, New York 1976.
- NOLTE, D. D., The tangled tale of phase space, *Physics Today*, 63, 4, 2010, 33-38.
- ODUM, E., *Fundamentals of Ecology*, Philadelphia 1959.
- OECD, *Economic Assessment of Biofuel Support Policies*, OECD, Directorate for Trade and Agriculture, Paris, 16.7.2008.
- RICHTER, K. ET AL., Product market reforms in Greece – Unblocking investments and exports, *Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung*, 84, 3, 2015, 107-127.
- SCHUMPETER, J., *Capitalism, Socialism and Democracy [1942] (2nd ed.)*, New York: Floyd, Virginia 2014.
- SUDING, K. N. – HOBBS, R. J., Threshold models in restoration and conservation: a developing framework, *Trends in Ecology and Evolution*, 24, 5, 2009, 271-279.
- TANSLEY, A. G., The use and abuse of vegetational concepts and terms, *Ecology*, 16, 3, 1935, 284-307.
- VON BERTALANFFY, L., General systems theory, στί: N. D. (ed.), *Systems Change and Conflict*, New York 1967, 119-129.

- WALKER ET AL., Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems, *Ecology and Society*, 9, 2, 5, 2004.
- ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ, Ένέργεια και Μεταφορές στην Ελλάδα: Προϋποθέσεις και μέτρα για καθαρή και βιώσιμη ενέργεια στις Μεταφορές, Ακαδημία Αθηνών, Έπιτροπή Ενέργειας, Πρακτικά Ημερίδας «Μεταφορές και Ένέργεια», 7 Οκτωβρίου 2016, Αθήνα 2016.
- ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. Α., Τεχνολογικές εξελίξεις και αναμενόμενες καινοτομίες στο σύστημα των αστικών Μεταφορών και Συγκοινωνιών: Έπιπτώσεις και ένδεικνόμενες πολιτικές για την Ελλάδα, Πρακτικά τής Ακαδημίας Αθηνών, 90 Α', 2015, 61-86.
- ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. Α., Ένεργειακή αποτύπωση του τομέα των Μεταφορών στην Ελλάδα και οι προοπτικές για το μέλλον, Ακαδημία Αθηνών, Έπιτροπή Ενέργειας, Πρακτικά Ημερίδας «Μεταφορές και Ένέργεια», 7 Οκτωβρίου 2016, Αθήνα 2016.
- ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. Α., Η απεξάρτηση του τομέα των Μεταφορών από τα καύσιμα άνθρακα και οι επιπτώσεις της στα μελλοντικά συστήματα Μεταφορών και Συγκοινωνιών, Πρακτικά τής Ακαδημίας Αθηνών, 92 Α', 2017, 47-93.
- ΔΙΑΝΕΟΣΙΣ, Έρευνα και καινοτομία στην Ελλάδα – Μια μελέτη (Έρευνα του γερμανικού οργανισμού German Institute for Economic Research DIW Econ), στό: https://www.dianeosis.org/2016/11/research_policy/), Αθήνα 2016.
- ΕΕ, *European Transport Policy for 2010: Time to Decide*, Ευρωπαϊκή Έπιτροπή, report COM(2001) 370 final, Βρυξέλλες, 12.9.2001.
- ΕΚΤ, *Βασικοί δείκτες Έρευνας και ανάπτυξης για δαπάνες και προσωπικό το 2016 στην Ελλάδα*, Έθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης, Αθήνα 2018.
- ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ, *Ευρωπαϊκή στρατηγική για κινητικότητα χαμηλών εκπομπών (A European Strategy for Low-Emission Mobility)*, Ευρωπαϊκή Έπιτροπή, COM(2016) 501 final, Βρυξέλλες, 20.7.2016.
- ΟΗΕ, *Paris Agreement*, Paris, 5.12.2015, και στό: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>: Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties, Twenty-first session (COP21), 2015.
-

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 31ΗΣ ΜΑΪΟΥ 2018

ΑΝΑΓΓΕΛΙΑ ΘΑΝΑΤΟΥ

Ὁ Πρόεδρος τῆς Ἀκαδημίας κ. Ἀντώνιος Κουνάδης ἀναγγέλλει τὸν θάνατο τοῦ ἀντεπιστελλόντος μέλους Ἰωάννου Παπαπαναγιώτου καὶ λέγει τὰ ἑξῆς:

«Ὁ Ἰωάννης Παπαπαναγιώτου γεννήθηκε στὴν Πάτρα τὸ 1921. Ἐλαβε τὸ πτυχίο του ἀπὸ τὴν Ἱατρικὴ Σχολὴ τοῦ Πανεπιστημίου Ἀθηνῶν τὸ 1947, καὶ τὸ 1954, ὡς Fellow τῆς Παγκόσμιας Ὀργάνωσης Ὑγείας, ἐκπαιδεύτηκε στὸ Κεντρικὸ Ἐργαστήριο Δημόσιας Ὑγείας τοῦ Λονδίνου καὶ ὡς ἐσωτερικὸς βοηθὸς τοῦ Ἐργαστηρίου Clinical Pathology τοῦ Γενικοῦ Νοσοκομείου Bury-Manchester.

Τὴν εἰδικότητα τοῦ μικροβιολόγου ἔλαβε τὸ 1950, καὶ τὸ 1955 ὀργάνωσε τὸ πρῶτο στὴ χώρα μας τμήμα μελέτης τῶν ἰώσεων. Ὑπηρετήσε ἐπὶ 23 χρόνια ὡς καθηγητὴς Μικροβιολογίας τῆς Ἱατρικῆς Σχολῆς τοῦ Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, τὸ ὁποῖο καὶ τοῦ ἀπένευσε τὸν τίτλο τοῦ ὁμότιμου καθηγητοῦ τὸ 1970.

Κατὰ τὴν πολύχρονη σταδιοδρομία του ὑπηρετήσε ἀδιαλείπτως καὶ διηύθυνε ἐργαστήρια κρατικῶν νοσηλευτηρίων τῆς συμπτωτεύουσας, καὶ κυρίως τοῦ νοσοκομείου ΑΧΕΠΑΝΣ, τοῦ ὁποῖου ὑπῆρξε κυριολεκτικῶς ἐγκέφαλος καὶ καρδιά, καὶ τὸ ὁποῖο ἀναγνωρίσθηκε ὡς κέντρο ἀναφορᾶς γρίπης καὶ Aids γιὰ τὴ Βόρεια Ἑλλάδα καὶ νόσου τῶν Λεγεωναρίων, ἐντεροϊῶν καὶ αἱμορραγικῶν πυρετῶν γιὰ ὅλη τὴν ἐπικράτεια. Στὶς πολλὰς του δραστηριότητες, ἐπιστημονικὲς, ὀργανωτικὲς, ἐρευνητικὲς καὶ ἄλλες, περιλαμβάνεται καὶ λαμπρὴ ἐκπαιδευτικὴ δραστηριότητα στὸν τομέα τῆς Μικροβιολογίας ἔτσι ὥστε νὰ ἀποτελεῖ κοινὸ τόπο ὅτι διὰ τῆς φωτισμένης διδαχῆς του ἀνέβασε τὸ ἐπίπεδο τῆς μικροβιολογίας στὴ Βόρεια Ἑλλάδα.

Ὁ Ἰωάννης Παπαπαναγιώτου ὑπῆρξε διακεκριμένος ἐπιστήμων ποὺ ἄφησε πίσω του σημαντικὸ ἔργο, ἀπὸ τὸ ὁποῖο, συνοψίζοντας, χαρακτηριστικότερο εἶναι ἡ ὑποδειγματικὴ ὀργάνωση τοῦ Ἐργαστηρίου Μικροβιολογίας τοῦ Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, καθὼς καὶ τὸ γεγονός ὅτι ὑπῆρξε ὁ πρῶτος ὁ ὁποῖος ἀσχολήθηκε συστηματικὰ μὲ τὴν Ἰολογία, τὸν κλάδο τῆς Μικροβιολογίας ὑπὸ τὸ φῶς τοῦ ὁποῖου ἐπιτελέσθηκαν λαμπρὰ ἐπιτεύγματα.

Ἔφυγε πλήρης ἡμερῶν σὲ ἡλικία 97 ἐτῶν».

Ἡ Ὀλομέλεια τηρεῖ ἐνὸς λεπτοῦ σιγῆ εἰς μνήμην τοῦ ἐκλιπόντος.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 18ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2018

ΑΝΑΓΓΕΛΙΑ ΘΑΝΑΤΟΥ

Ὁ Πρόεδρος τῆς Ἀκαδημίας κ. Ἀντώνιος Κουνάδης ἀναγγέλλει τὸν θάνατο τοῦ ἀκαδημαϊκοῦ Γρηγορίου Σκαλκέα καὶ λέγει τὰ ἑξῆς:

«Κύριε βουλευτά, κυρίες καὶ κύριοι συνάδελφοι, ἐκλεκτοὶ προσκεκλημένοι, κυρίες καὶ κύριοι,

Ὁμολογῶ ὅτι αὐτὴ τῇ στιγμή διακατέχομαι ἀπὸ βαθιὰ συγκίνηση ἀλλὰ καὶ δέος ἀναγγέλλοντας τὸν θάνατο ἑνὸς συναδέλφου, μιᾶς ἀπὸ τὶς πλέον ἐμβληματικὲς καὶ περίβλεπτες προσωπικότητες ποὺ ἀνέδειξε ἡ χώρα μας τὶς τελευταῖες δεκαετίες· μιᾶς “προσωπικότητας” μὲ ἀπίστευτα μεγάλη προσφορὰ λόγῳ τοῦ ἀνεκτίμητης ἀξίας, πολυσχιδοῦς ἔργου ποὺ μιᾶς κατέλιπε. Τὸ ἔργο αὐτὸ καὶ ἡ προσωπικότητα τοῦ χαρισματικοῦ αὐτοῦ ἀνδρὸς δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ περιγραφοῦν κατὰ τὸν προσήκοντα τρόπο στὰ περιορισμένα χρονικὰ ὅρια μιᾶς δημόσιας συνεδρίας τῆς Ἀκαδημίας, καὶ μάλιστα μόνον ἀπὸ ἕναν ὁμιλητὴ, λόγῳ τῆς πολὺπλευρης δράσεως τοῦ ἐκλιπόντος, ἐντὸς καὶ ἐκτὸς τῆς Ἀκαδημίας.

Ἐνόψει τούτου καὶ ἰδιαίτερα τῆς ἐπιθυμίας ἀρκετῶν συναδέλφων νὰ μιλήσουν γιὰ τὸν ἐκλιπόντα, ἔκρινα σκόπιμο ὅπως τὸν προσεχῆ Δεκέμβριο πραγματοποιηθεῖ ἐπιστημονικὸ μνημόσυνο γιὰ τὸν μεταστάνα, μὲ ὁμιλητὲς συναδέλφους τοῦ ἀκαδημαϊκοῦ ἀλλὰ καὶ ὁμοτέχνους τοῦ ἀπὸ τὴν πανεπιστημιακὴ κοινότητα, ὥστε νὰ καλυφθοῦν οἱ ποικίλες πτυχὲς τῆς προσωπικότητος αὐτῆς προσωπικότητος.

Ἔτσι ἡ σημερινή μου ὁμιλία θὰ εἶναι εὐσύνοπτη, βασισμένη κυρίως στὴν προσωπικὴ μου μαρτυρία, μιᾶς κοινῆς γιὰ τριάντα καὶ πλέον χρόνια πορείας στενοῦ συνεργασίας καὶ φιλίας.

Ὁ ἐκλιπὼν γεννήθηκε στὴν Ἀρεόπολη τῆς Μάνης ἀπὸ ἀρχοντικὴ οἰκογένεια. Ἡ μητέρα του Σοφία ἀνῆκε στὸ γένος Χρηστεά, ὁ δὲ πατέρας του Διονύσιος Σκαλκιάς ἦταν φιλόλογος καὶ γυμνασιάρχης.

Ὁ ἐκλιπὼν μετὰ τὶς ἐγκύκλιες σπουδὲς του εἰσήχθη, κατόπιν (ἐπιτυχῶν) ἐξετάσεων στὴν Ἱατρικὴ Σχολὴ τοῦ Πανεπιστημίου Ἀθηνῶν, ἀποφοιτήσας τὸ 1953. Τὸ 1956 ἀναγορεύθηκε διδάκτωρ τῆς Ἱατρικῆς Σχολῆς Ἀθηνῶν καὶ τὸ 1957 ἔλαβε τὴν εἰδίκευση τοῦ γενικοῦ χειρουργοῦ. Μετὰ τὴν ἐκπλήρωση τῶν πρὸς τὴν πατρίδα στρατιωτικῶν ὑποχρεώσεων του μετέβη στὸ ἐξωτερικὸ γιὰ μεταπτυχιακὲς σπουδὲς (στὴν Ἀγγλία καὶ στὶς ΗΠΑ), ὅπου ἀπέκτησε τὴν εἰδικότητα τῆς θωρακικῆς καὶ καρδιαγγειακῆς χειρουργικῆς καὶ τὴν ἐξειδίκευση στὶς μεταμοσχεύσεις. Μετὰ τὴν ἐπιστροφή του στὴν Ἑλλάδα διορίστηκε ἐπιμελητὴς τοῦ Τμήματος Καρδιαγγειακῆς καὶ Θωρακικῆς Χειρουργικῆς στὴν Α' Χειρουργικὴ Κλινικὴ τοῦ Πανεπιστημίου Ἀθηνῶν, ἀκολούθως δὲ ἀνέλαβε τὴ διεύθυνσή της κατόπιν ἐκλογῆς. Τὸ Τμῆμα αὐτὸ μετέφερε τὸ 1974 στὸ νοσοκομεῖο νοσημάτων θώρακος ΣΩΤΗΡΙΑ, δυνάμειος τότε 35 κλινῶν, μὲ 8 κλίνες στὴ μονάδα ἐντατικῆς θεραπείας, ὅπου πραγματοποιήθηκαν οἱ πρῶτες ἐπεμβάσεις συγγενῶν καρδιοπαθειῶν καὶ ἀντικατάστασης βαλβίδων.

Νέος ἀκόμη γιαντρός ἀνέλαβε καθήκοντα Προέδρου στὸ Νοσοκομεῖο ΚΑΤ, τὸ ὁποῖο λειτουργοῦσε τότε ὡς Νοσοκομεῖο Ἀτυχημάτων, ἐξυπηρετώντας τραυματίες. Μετέφερε μάλιστα στὸ ΚΑΤ τὴν Ὀρθοπαιδικὴ Κλινικὴ τοῦ Λαϊκοῦ Νοσοκομείου, ἐνῶ παράλληλα δημιούργησε στὸ ΚΑΤ Νευροχειρουργικὴ καὶ Χειρουργικὴ Κλινικὴ, καθὼς καὶ μονάδα αὐξημένης φροντίδας. Τὸ 1964 ἀναγορεύθηκε ὁμόφωνα ὑφηγητὴς καὶ στὴ συνέχεια τὸ 1965 ἐξελέγη ἐντεταλμένος ὑφηγητὴς. Τὸν Φεβρουάριο τοῦ 1967 ἐξελέγη τακτικὸς καθηγητὴς τῆς Χειρουργικῆς, τὸ δὲ 1994 ὁμότιμος καθηγητὴς. Τὸ 1971 ἴδρυσε τὴν ἐπίσημη μονάδα μεταμοσχεύσεων τῶν Ἀθηνῶν πραγματοποιήσας μὲ τοὺς συνεργάτες του αἰμίνηστο Ἰωάννη Χωματᾶ καὶ κ. Ἀλκιβιάδη Κωστάκη τὴν πρώτη μεταμόσχευση νεφροῦ στὴν Ἀθήνα, τὸ δὲ 1989 τὴν πρώτη ταυτόχρονη μεταμόσχευση νεφροῦ καὶ παγκρέατος μὲ τὸν συνεργάτη του κ. Ἀλκιβιάδη Κωστάκη. Τὸ 1974 ἴδρυσε τὸ πρῶτο ἐργαστήριο Πειραματικῆς Χειρουργικῆς καὶ Χειρουργικῆς Ἐρευνας, πού ἀπὸ τὸ 1984 ἀποτελεῖ τὴν Α' Ἐδρα Πειραματικῆς Χειρουργικῆς στὴν Ἑλλάδα.

Ἔχει ἐπιβλέψει 200 περίπου διδακτορικὲς διατριβὲς καὶ 50 ἐπὶ ὑφηγεία. Ἔχει ἐκπαιδεύσει μεγάλο ἀριθμὸ χειρουργῶν, ἐκ τῶν ὁποίων 24

είναι τακτικοί καθηγητές Χειρουργικής σέ πανεπιστήμια τῆς χώρας, πολλοὶ δὲ ἀναπληρωτές, ἐπίκουροι καθηγητῆς καὶ διευθυντές σέ μεγάλα νοσοκομεία τῆς χώρας. Διετέλεσε Πρόεδρος τῆς Ἱατρικῆς Ἐταιρείας Ἀθηνῶν, τῆς Ἑλληνικῆς Χειρουργικῆς Ἐταιρείας καὶ ἄλλων ἐπιστημονικῶν ἐταιρειῶν. Ἦταν ξένος ἐταῖρος τῆς Ἀκαδημίας Χειρουργικῆς, μέλος τῆς Academia Europaea, κλινικὸς καθηγητῆς τοῦ Κρατικοῦ Νοσοκομείου τοῦ Ὀχάιο, ἐπίτιμος καθηγητῆς τοῦ Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, ἐπίτιμος διδάκτορας τῆς Ἱατρικῆς Σχολῆς τοῦ ΔΠΘ καὶ ἐπίτιμος καθηγητῆς του. Ὑπῆρξε ἰδρυτῆς τοῦ Ἑλληνικοῦ Τμήματος τῆς Εὐρωπαϊκῆς Λέσχης Ὑγείας. Ἐπίσης ἴδρυσε πολλές νέες ἐπιστημονικὲς ἐταιρεῖες, καθὼς καὶ τὸ Ἑλληνικὸ Τμήμα τοῦ Διεθνoῦς Κολλεγίου Χειρουργικῆς τῆς κοιλίας (BIGESTIVAE). Εἶχε συγγράψει τέσσερα ἐπιστημονικὰ βιβλία καὶ δημοσιεύσει πολλές ἐρευνητικὲς ἐργασίες σέ ἔγκριτα περιοδικὰ διεθνoῦς κυκλοφορίας.

Κορυφαῖο ἐπίτευγμά του ἦταν ἡ δημιουργία τοῦ ΠΒΕΑΑ, τοῦ Ἰδρύματος Ἱατροβιολογικῶν Ἐρευνῶν (ἐκτάσεως 28.000 τ.μ.). Τὸ ἐντυπωσιακὸ αὐτὸ ἔργο, ἀπὸ πλευρᾶς συλλήψεως καὶ τόλμης ἐκτελέσεως, εἶναι ἐπίτευγμα ἑνὸς μόνου ἀνδρός, ὁ ὁποῖος συγχρόνως ἐξασφάλισε ἀπὸ ἑλληνικὲς καὶ εὐρωπαϊκὲς πηγές τὴν ἀναγκαία χρηματοδότηση γιὰ τὴν ἀνέγερση, τὸν ἐξοπλισμὸ, τὴ στελέχωση καὶ τὴ λειτουργία του. Τὰ ἐγκαίνια λειτουργίας του ἔγιναν τὸ 2002 μὲ μιὰ λαμπρὴ τελετὴ, παρουσίᾳ τοῦ Οἰκουμενικοῦ Πατριάρχου κ.κ. Βαρθολομαίου, τοῦ ἀειμνήστου Προέδρου τῆς Δημοκρατίας Κωνσταντίνου Στεφανόπουλου, τοῦ μακαριστοῦ Ἀρχιεπισκόπου Ἀθηνῶν καὶ Πάσης Ἑλλάδος Χριστοδούλου, τοῦ τότε Πρωθυπουργοῦ Κώστα Σημίτη, τοῦ τότε Προέδρου τῆς Βουλῆς Ἀπόστολου Κακλαμάνη, τῶν ἀρχηγῶν κομμάτων τῆς Βουλῆς, πολλῶν Ὑπουργῶν καὶ πλήθους κόσμου πὸν εἶχε κατακλύσει τὸ μεγάλο ἀμφιθέατρο τοῦ Ἰδρύματος. Τὸ ΠΒΕΑΑ στεγάζει σήμερα ἐρευνητικὰ κέντρα πὸν καλύπτουν ὅλη τὴ σύγχρονη ἱατροβιολογικὴ ἔρευνα, συμβάλλοντες ἐπίσης στὴν ἐπίλυση προβλημάτων ὑγείας τοῦ ἑλληνικοῦ λαοῦ. Τελευταίως, μάλιστα, μέσῳ νέου κτιρίου ἐκτάσεως 20.000 τ.μ., ἡ ἐρευνητικὴ καὶ γενικότερα ἡ ἐπιστημονικὴ δραστηριότητα τοῦ ΠΒΕΑΑ ἐπεκτείνεται στὸν πρωτοποριακὸ τομέα τῆς «ἐξάτομικευμένης ἱατρικῆς» ἢ «ἱατρικῆς ἀκριβείας».

Σήμερα τὸ ΠΒΕΑΑ ἔχει 450 περίπου ἄτομα ἐρευνητικοῦ προσωπικοῦ, 200 περίπου μεταπτυχιακοὺς φοιτητές, σύνολο δὲ μαζί μὲ τὸ διοικητικὸ προσωπικὸ 500 καὶ πλέον ἐργαζομένους.

Ὁ ἐκλιπὼν εἶχε τύχει μεγάλων ἑλληνικῶν καὶ διεθνῶν βραβεύσεων, καθὼς καὶ ὑψηλῶν διακρίσεων γιὰ τὴ μεγάλη του συμβολὴ στὴν ἰατρικὴ ἐπιστήμη καὶ γενικότερα τὴν προσφορὰ του στὴν ἑλληνικὴ κοινωνία. Ὡστόσο, λόγῳ τοῦ περιορισμένου χρόνου, θὰ ἀναφέρω τὶς πιὸ σημαντικῆς.

Ἦταν Ἄρχων Μέγας Ρεφερενδάριος τοῦ Οἰκουμενικοῦ Πατριαρχείου, κάτοχος τοῦ Ἀνώτερου Ταξιάρχη τῶν Ὀρθοδόξων Σταυροφόρων τοῦ Παναγίου Τάφου τοῦ Πατριαρχείου Ἱεροσολύμων, τοῦ Ταξιάρχη τοῦ Φοίνικος, τοῦ Ἱππότη τῆς Λεγεώνας τῆς Τιμῆς τῆς Γαλλικῆς Δημοκρατίας. Εἶχε τιμηθεῖ ἀπὸ τὴ Δημοκρατία τῆς Μολδαβίας καὶ τὴν Ὀρθόδοξη Ἐκκλησία της. Ὑπῆρξε ἐπίτιμος δημότης τῆς πόλεως Ἀτλάντας τῆς Γεωργίας τῶν ΗΠΑ, τῆς Καλαμάτας, τῆς Δυτικῆς καὶ Ἀνατολικῆς Μάνης. Διετέλεσε Πρόεδρος τοῦ Συμβουλίου Ἑρευνας τοῦ Ὑπουργείου Παιδείας καὶ Πρόεδρος τοῦ Ἐθνικοῦ Γνωμοδοτικοῦ Συμβουλίου Ἑρευνας καὶ Τεχνολογίας ἀπὸ τὸ 1992 ἕως τὸ 1994, μὲ Ἀντιπρόεδρο τὸν ὀμιλοῦντα. Ἐπίσης εἶχε διατελέσει Ἀντιπρόεδρος τοῦ Ὑπηρεσιακοῦ Συμβουλίου τοῦ Ὑπουργείου Ὑγείας καὶ Πρόεδρος τοῦ Ἐπιστημονικοῦ τοῦ Συμβουλίου. Σημειωθῆτω ὅτι γιὰ τὶς ὁποιοσδήποτε ὑπηρεσίες πού προσέφερε οὐδέποτε ἔλαβε ἀμοιβή, ἔστω κι ἂν προβλεπόταν. Τὸ 2003 ἐξελέγη Πρόεδρος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, τὸ δὲ 2013 ὁ Πρόεδρος τῆς Ἑλληνικῆς Δημοκρατίας τοῦ ἀπένειμε σὲ εἰδικὴ τελετῇ στὸ Προεδρικὸ Μέγαρο τὸν Μεγαλόσταυρο τοῦ Τάγματος τοῦ Φοίνικος.

Ὡς Πρόεδρος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν πραγματοποίησε δύο σημαντικὰ ἐπίσης ἔργα: πρῶτον τὴν ἀνακαίνιση (ἐξωτερικὴ καὶ ἐσωτερικὴ) τοῦ Μεγάρου τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, τὸ ὁποῖο ἀπὸ τὸ 1885 δὲν εἶχε συντηρηθεῖ, μὲ ἀποτέλεσμα τὸ 2000 νὰ καταρρέουν τμήματα ὀροφῶν καὶ τοίχων, καὶ δεύτερον τὴ συμβολὴ του στὴν ἐκδοσὴ τοῦ Χρηστικοῦ Λεξικοῦ τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν.

Ὁ ὀμιλῶν, διατηρώντας τὶς ἀγαθότερες τῶν ἀναμνήσεων ἀπὸ τὴν τριακονταετὴ κοινὴ πορεία στενῆς συνεργασίας καὶ φιλίας μὲ τὸν μεταστάντα, εἶχε τὴν εὐκαιρία νὰ γνωρίσει καλῶς τὸν ἄνδρα, τὴν προσωπικότητα καὶ τὸ ἔργο μιᾶς ἀπὸ τὶς πλέον περίβλεπτες καὶ χαρακτηριστικῆς προσωπικότητες πού ἀνέδειξε ἡ χώρα μας τὶς τελευταῖες δεκαετίες· μιὰ ἐμβληματικὴ προσωπικότητα διακρινόμενη γιὰ τὴ βαθιὰ πίστη της στὸν ἑλληνορθόδοξο πολιτισμὸ καὶ τὶς ἐθνικῆς μας παραδόσεις, ἕναν μεγάλο ὀργανιστὴ καὶ δημιουργὸ προικισμένο μὲ σπάνιες διοικητικῆς καὶ ὀργανω-

τικές δεξιότητες, αλλά και ἀρετές πνευματικές, ψυχικές, ἠθικές, ἕναν εὐπα-
τρίδη, φιλόανθρωπο, γενναιοδωρο, ἀληθινὸ ἄρχοντα, ἢ λαμπρὴ διαδρομὴ τοῦ
ὁποίου ἔχει ἀφήσει ἀνεξίτηλο τὸ ἀποτύπωμά της μὲ τὴν ἀνεκτίμητη προ-
σφορά του στὸ ΠΒΕΑΑ, στὴν ἰατρικὴ, στὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν καὶ γενικό-
τερα στὴν ἐλληνικὴ κοινωνία. Αὐτὰ τὰ λόγια τὰ καταθέτω ὡς λίγα λου-
λούδια, ἀποτίοντας ἐλάχιστο φόρο τιμῆς σὲ ἀναγνώριση τοῦ τεράστιου καὶ
ἀνεκτίμητου ἀξίως ἔργου ποὺ μᾶς κληροδότησε, τὸ ὁποῖο θὰ μείνει ἀρρήκτως
συνδεδεμένο γιὰ πάντα μὲ τὸ ὄνομά του, ὥστε νὰ ἀποτελέσει γιὰ τοὺς νεωτέ-
ρους φάρο φωτεινὸ, πηγὴ ἐμπνεύσεως καὶ ὁραματισμοῦ γιὰ τὴν πραγματο-
ποίηση μεγάλων ἔργων.

Οἱ συνάδελφοί του στὴν Ἀκαδημία καὶ ὅλοι οἱ συνεργάτες στὸ ΠΒΕΑΑ
θὰ στρέφουν ἔσασαι εὐγνώμονα τὴ σκέψη πρὸς ὅ,τι ὥραϊο, μεγάλο καὶ ἀλη-
θινὸ μᾶς κατέλιπε. Ἄς εἶναι αἰωνία ἡ μνήμη του.

Τὸ Δ.Σ. τοῦ ΠΒΕΑΑ ἀπεφάσισε κατὰ τὴ συνεδρία τῆς 12/10/2018
ὅπως τὸ Κέντρο αὐτὸ ὀνομασθεῖ Ἰατροβιολογικὸ Ἰδρυμα τῆς Ἀκαδημίας
Ἀθηνῶν – Γρηγόρης Σκαλκέας».

Ἡ Ὁλομέλεια τηρεῖ ἐνὸς λεπτοῦ σιγὴ εἰς μνήμην τοῦ ἐκλιπόντος.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΑΝΗΓΥΡΙΚΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 25ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2018
ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΟΡΤΑΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΕΤΕΙΟΥ ΤΗΣ 28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1940

ΕΙΣΗΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΕΔΡΟΥ
κ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΚΟΥΝΑΔΗ

Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν συνεορτάζει μαζί με τοὺς ἀπανταχοῦ τῆς γῆς Ἕλληνες τὴν ἐπέτειο τῆς 28ης Ὀκτωβρίου τοῦ 1940 – τοῦ ἱστορικοῦ ΟΧΙ–, τῆς μεγάλης αὐτῆς ἡμέρας ποὺ ἡ χώρα μας ἀποφάσισε νὰ ἀκολουθήσει μόνη της, μαζί με τὴ μόνη τότε μαχόμενη Ἀγγλία, τὸν δρόμο τοῦ πόνου, τῶν δακρύων, τῆς σκληρῆς δοκιμασίας. Καὶ καθὼς οἱ λαοὶ τῆς Εὐρώπης εἶχαν γονατίσει καὶ στέναζαν κάτω ἀπὸ τὸν ζυγὸ τῶν σιδηρόφρακτων στρατιῶν τοῦ Ἄξονα, «ἦταν ὅλα σιωπηλὰ/γιατὶ τὰ ἴσκιαζε ἡ φοβέρα/καὶ τὰ πλάκωνε ἡ σκλαβιά». Καὶ ἦρθε τότε ξαφνικὰ καὶ ἀνέλπιστα τὸ ἱστορικὸ ΟΧΙ τῆς μικρῆς Ἑλλάδας, ποὺ ἄστραψε καὶ βρόντηξε, φώτισε καὶ σκόρπισε τὴν ἐλπίδα, στὴ συνέχεια δὲ ὀδήγησε στὴν περιφανῆ νίκη.

Ἡ πατρίδα μας, λαμβάνοντας τὴν ἱστορικὴ αὐτὴ ἀπόφαση, σύμφωνη ἄλλωστε μετὰ τὴ μεγάλη παράδοση τῶν ἐνδόξων ἀγώνων τοῦ Γένους, θὰ ἐμάχετο ὄχι μόνον γιὰ τὴ λευτεριά της, ἀλλὰ καὶ κατὰ τῆς ἐπικράτησης τοῦ ἰταλικοῦ φασισμού καὶ τοῦ γερμανικοῦ ναζισμού.

Αὐτὴ ἡ μεγαλουργία τοῦ Ἔπους τοῦ '40 εἶθε νὰ φωτίζει κάθε νέα γενιὰ τῆς πατρίδας μας, προκειμένου καὶ αὐτὴ νὰ ἀκολουθήσει τὴ δόξα τῶν προγόνων μας, σὲ περίπτωση ποὺ τύχει νὰ βρεθεῖ σὲ ἀνάλογη ἱστορικὴ στιγμή, τὴν ὁποῖαν ἀπευχόμεθα.

Θὰ ἦταν ὅμως παράλειψη ἀπόψε ἡ μὴ ἀναφορὰ σὲ ὅσα πρωτόγνωρα βιώνουμε τὰ τελευταῖα χρόνια μετὰ τὴ βαθιὰ καὶ πολὺπλευρὴ οικονομική, πολιτική, κοινωνική καὶ ὑπαρξιακὴ κρίση.

Θὰ μνημονεύσω ἐν προκειμένῳ μιὰ προφητικὴ καὶ συγκλονιστικὰ ἐπί-
καιρη σήμερα δήλωση ἐνὸς ἐξέχοντος Ἑλληνα διανοουμένου καὶ πολιτικοῦ,
λίγο πρὶν ἀπὸ τὴν ἐπέτειο τῆς 28ης Ὀκτωβρίου 1985:

«Ἡ χώρα μας διέρχεται μίαν ἀπὸ τὶς κρισιμότερες ὥρες τῆς. Ἡ ὥρα
αὐτὴ δὲν εἶναι λιγότερο κρίσιμη ἀπὸ τὴν 28ῃ Ὀκτωβρίου 1940. Τότε ἐγερ-
θήκαμε ὅλοι γιὰ νὰ σώσουμε τὴν τιμὴ μας καὶ τὴν ἐδαφικὴ ἀκεραιότητα τῆς
χώρας μας. Τώρα πρέπει νὰ ἐγερθοῦμε γιὰ νὰ σώσουμε τὴν ἴδια μας τὴν
ὑπαρξή, πὺ κινδυνεύει μάλιστα, ὄχι ἀπὸ ξένο εἰσβολέα, ἀλλὰ ἀπὸ ἐμᾶς
τοὺς ἴδιους... βαρύτερη εὐθύνη φέρουμε ὅλοι οἱ Ἕλληνες γιὰ τὸ κατάν-
τημα στὸ ὁποῖον ἔχει περιέλθει ἡ οἰκονομία μας. Φταῖνε χωρὶς ἄλλο οἱ
ὀλίγοι, ἰδιαίτερα ἐκεῖνοι πὺ διατηρώντας ἢ ἀυξάνοντας τὴν περιουσία τους
κατάντησαν προβληματικὲς τὶς ἐπιχειρήσεις τους, ἀλλὰ φταῖνε καὶ οἱ πολλοὶ
πὺ ζητοῦν ὄλο καὶ περισσότερα γιὰ τὸν ἑαυτὸ τους, ἄρα ἀπὸ τὸ κοινωνικὸ
σύνολο, χωρὶς νὰ σκέπτονται ὅτι στὸ σύνολο αὐτὸ ἀνήκουν καὶ οἱ ἴδιοι... Ἄν,
μέσα σὲ δύο ἢ τρία χρόνια, δὲν μειωθοῦν οὐσιωδῶς τὰ ἐλλείμματα τοῦ
κρατικοῦ προϋπολογισμοῦ καὶ γενικότερα οἱ δαπάνες τοῦ δημοσίου τομέα...,
ἂν δὲν διπλασιαστεῖ ἢ ἀπόδοση τῆς ἐργασίας ὄλων, ἂν δὲν ἐπιβάλομε στοὺς
ἑαυτοὺς μας νὰ γίνουμε πτωχότεροι, ἢ μᾶλλον νὰ ξοδεύουμε μόνον τόσα ὅσα
θὰ ξοδεύαμε ἂν ἦμασταν φτωχοί, ἂν δὲν σταματήσουν οἱ κινητοποιήσεις καὶ
οἱ ἀντιδράσεις καὶ δὲν πνεύσει ἓνα καθαρὸ ἀεράκι θυσίας, εἴτε μὲ ἓνα σύ-
στημα “νεοφιλελεύθερο” (ἂν ὑπάρχει), ἢ “μικτῆς οἰκονομίας”, εἴτε μὲ σύ-
στημα “σοσιαλιστικόν”, θὰ παύσει (ἢ χώρα μας) νὰ εἶναι ἀνεξάρτητο κράτος
καὶ ὁ λαὸς μας θὰ παύσει νὰ ἔχει τὸ κεφάλι του ψηλά».

Αὐτὴ ἡ δήλωση, πὺ συμπυκνώνει μὲ πειστικὸ τρόπο τὴν κατάσταση
γιὰ τὴν σύγχρονη Ἑλλάδα, εἶναι τοῦ ἀείμνηστου Ἀκαδημαϊκοῦ καὶ πρώην
Πρωθυπουργοῦ Παναγιώτη Κανελλόπουλου.

Καὶ τώρα παρακαλῶ τὸν συνάδελφο κ. Χρῆστο Ζερεφὸ ὅπως ἀνέλθει
στὸ βῆμα καὶ ἐκφωνήσει τὸν Πανηγυρικὸ τῆς ἡμέρας μὲ θέμα: «Ἡ συμβολὴ
τοῦ ἔπους 1940-41 καὶ τὰ ἀκραῖα φαινόμενα τῶν χειμῶνων στὴν ἔκβαση
τοῦ Β' Παγκοσμίου Πολέμου».

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΠΟΥΣ 1940-1941
ΚΑΙ ΤΑ ΑΚΡΑΙΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΧΕΙΜΩΝΩΝ
ΣΤΗΝ ΕΚΒΑΣΗ ΤΟΥ Β' ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΠΟΛΕΜΟΥ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ
κ. ΧΡΗΣΤΟΥ Σ. ΖΕΡΕΦΟΥ

“Όλα ξεκίνησαν στις 15 Αυγούστου του 1940, όταν το ιστορικό καταδρομικό «Έλλη» τορπιλίζεται και βυθίζεται από το ιταλικό υποβρύχιο «Delfino», προμήνυμα των όρέξεων του τότε ιταλικού καθεστώτος εν καιρῷ ειρήνης. Ο Ίταλός πρέσβυς Γκράτσι θα παρατηρήσει αργότερα στα γραπτά του: «Τὸ ἔγκλημα τῆς Τήνου εἶχε ὡς ἀποτέλεσμα, γιὰ νὰ μὴν πῶ ἔκανε τὸ θαῦμα, νὰ δημιουργηθεῖ στὴν Ἑλλάδα ἀπόλυτη ἐνόητα ψυχῶν. Ὅλοι τότε πείσθησαν ὅτι ἕναν μόνο ἀδυσώπητο ἐχθρὸ ἔχουν: τὴν Ἰταλία!»

Ἡ κρίσιμη ἱστορική στιγμή τῆς σύγκρουσης ἀνάμεσα στὴ φασιστικὴ Ἰταλία καὶ στὸ ἐλεύθερο φρόνημα τοῦ ἑλληνικοῦ λαοῦ ἦρθε στις τρεῖς παρὰ δέκα τὸ πρωὶ τῆς 28ης Ὀκτωβρίου τοῦ 1940. Ὁ πρωθυπουργός, διαβάζοντας τὸ τηλεσίγραφο τῆς Ἰταλίας, εἶπε: «Ὡστε, λοιπόν, πόλεμος». Καὶ μισὴ ὥρα πρὶν ἀπὸ τὴν ἐκπνοὴ τοῦ τηλεσιγράφου ἐξεδόθη τὸ πρῶτο ἱστορικό πολεμικὸ ἀνακοινωθέν:

«Αἱ ἰταλικαὶ στρατιωτικαὶ δυνάμεις προσβάλλουν ἀπὸ τῆς 5ης καὶ 30' πρωινῆς σήμερον τὰ ἡμέτερα τμήματα προκαλύψεως τῆς ἑλληνοαλβανικῆς μεθορίου. Αἱ ἡμέτεραι δυνάμεις ἀμύνονται τοῦ πατρίου ἐδάφους».

Ὁ πόλεμος διεξήχθη μεταξὺ μιᾶς ἐξαιρετικῶς ἄνισης κατανομῆς τῶν δυνάμεων (17 μεραρχίες πεζικοῦ ἀντιμετώπισαν 63 ἰταλικὲς μεραρχίες καὶ 14 ἀλβανικὰ τάγματα, 27 παλαιὰ πλοῖα πολέμησαν μὲ 315 ἰταλικά, καὶ 150 παλαιὰ ἀεροπλάνα μὲ 4.000 ἰταλικά).

Τὸ χτύπημα ὑπῆρξε βαρὺ γιὰ τὸν ἑλληνικὸ λαό, ποὺ μόλις εἶχε ἀρχίσει νὰ συνέρχεται ἀπὸ τὴν αἰμορραγία τῶν πολεμικῶν ἐπιχειρήσεων τῶν ἐτῶν 1916 ἕως 1922 καὶ ἀπὸ τὸν συγκλονισμὸ τῆς Μικρασιατικῆς Καταστροφῆς. Βαριὰ ὅμως καὶ ἡ ἐθνικὴ κληρονομία τῆς ἱστορίας τῶν Ἑλλήνων μέσα στοὺς αἰῶνες, ἀπὸ τὸ ὄχι τοῦ Προμηθεά καὶ τῆς Ἀντιγόνης, τὸ μολὼν λαβὲ τοῦ Λεωνίδα, τὸ ὄχι στοὺς Ρωμαίους καὶ στὸν Μωάμεθ τὸν Πορθητὴ καὶ τὸ ὄχι τοῦ ἀγῶνα τῆς ἀνεξαρτησίας τῆς Ἑλλάδος, στὸ ὄχι τοῦ 1940.

Ἡ νίκη στεφάνωσε τὰ ἑλληνικά ὄπλα στὸν δίκαιο καὶ πολυαίμακτο ἀγώνα γιὰ τὸ πάτριον ἔδαφος· τὸν ἀγώνα ποὺ διεξήγαγαν μὲ αὐταπάρηση καὶ ἥρωισμό οἱ στρατιῶτες καὶ οἱ ἀξιωματικοὶ τῆς Μεραρχίας Ἰωαννίνων στὴν Ἠπειρο, τοῦ ἀποσπασματος Δαβάκη στὴν Πίνδο, τῶν Κρητῶν καὶ τῶν ἄλλων μονάδων, τοῦ πεζικοῦ, τοῦ ἵππικοῦ, τοῦ πυροβολικοῦ, τῆς ἀεροπορίας καὶ τοῦ ναυτικοῦ.

Οἱ χιλιάδες νεκροὶ καὶ τραυματίες, οἱ νίκες στὴν Κορυτσά, στὸ Πόγραδετς, στὸ Ἀργυρόκαστρο, στοὺς Ἁγίους Σαράντα, στὴν Κλεισοῦρα, καὶ ὁ βαρὺς χειμώνας, ὁ θάνατος στὰ χιονισμένα ἀλβανικά βουνὰ καὶ οἱ συνέπειες τῆς νίκης τῶν Ἑλλήνων ἡρώων ἀποτελοῦν τὸ περιεχόμενο τῆς σημερινῆς πανηγυρικῆς ὁμιλίας. Θὰ φανεῖ πράγματι ὅτι ὁ ἥρωισμὸς τῶν Ἑλλήνων μεγεθύνεται κατὰ πολὺ ἐὰν ληφθεῖ ὑπόψη τὸ γεγονός ὅτι οἱ νικηφόρες περίοδοι πολλὰς φορὲς συνέβησαν μὲ ἐξαιρετικὰ ἀκραΐες καὶ δυσμενεῖς μετεωρολογικὲς συνθῆκες.

Στὰ χρονικά τοῦ Γενικοῦ Ἐπιτελείου Στρατοῦ Χειμερινὰ Ἐπιχειρήσεις – Ἰταλικὴ Ἐπίθεσις Μαρτίου 1941 σχετικὰ μὲ τὴν τραγωδία τόσο στὴν Τρεμπεσίνα τῶν Μεραρχιῶν Κρητῶν ὅσο καὶ στὸ νότιο μέτωπο, στὴν ἐπίθεση τοῦ Α' Σώματος Στρατοῦ τῆς 15ης Φεβρουαρίου 1941, ἀναφέρονται μεταξὺ ἄλλων καὶ τὰ ἑξῆς:

«Τὸ κρύο κατεβαίνει δεκαπέντε καὶ εἴκοσι βαθμοὺς κάτω ἀπὸ τὸ μηδὲν ἀκόμα καὶ τὴν ἡμέρα. Καὶ ἀρχίζουν τὰ ὁμαδικὰ κρουπαγήματα. Ὅσοι προσβάλλονται σὲ ὑψηλὸ βαθμὸ πεθαίνουν ἐπὶ τόπου· ἀπὸ ψύξη. Πολλοὶ προσβάλλονται ἐλαφρότερα καὶ στέλνονται στὰ μετόπισθεν. Ἄν φτάσουν σὲ νοσοκομεῖο, θὰ εἶναι τυχεροὶ ἂν τοὺς κόψουν ἓνα μόνο πόδι. Οἱ περισσότεροὶ εἶναι ἄτυχοι. Τοὺς κόβουν καὶ τὰ δύο. Ἀλλὰ ὑπάρχουν καὶ οἱ ἐντελῶς κακότυχοι. Αὐτοὶ μὲ τίς ἀκατάλληλες γιὰ παγωμένο χιόνι ἀρβύλες γλιστροῦν, κατακυλοῦν στὰ βάραθρα τῆς Τρεμπεσίνας καὶ χάνονται γιὰ πάντα. Εἶναι τόσο ἰσχυρὴ ἡ χιονοθύελλα ὥστε σημαντικὸς ἀριθμὸς ἀξιωματικῶν καὶ ὀπλιτῶν τοῦ 44ου Συντάγματος Πεζικοῦ Ρεθύμνης διαρρέει, συνεπείᾳ παγοπληξιῶν. Ὀλόκληρο τάγμα σαρώθηκε ἀπὸ χιονοθύελλα καὶ διευθύνει τὴν ἐπίθεση ὁ ὑποδιοικητὴς του, παγόπληκτος καὶ ὑποβασταζόμενος καὶ αὐτός. Δύο ἀπὸ τὰ τάγματα τοῦ συντάγματος αὐτοῦ ἀπέμειναν μὲ 500 ἄνδρες. Ἀπὸ τὴς 29 Ἰανουαρίου μέχρι τῆς 18ης Φεβρουαρίου, σὲ 20 μόλις μέρες, ἡ Vη Μεραρχία ἔχασε 3.344 ἄνδρες. Ἀπὸ αὐτοὺς νεκροὶ 237, τραυματίες 1.179, παγόπληκτοι 1.813 καὶ 115 ἐξαφανισθέντες σὲ βάραθρα. Στὴς ἐπόμενες πέντε μέρες ἡ ἴδια μεραρχία ἔχασε ἄλλους 3.356, οἱ περισσότεροὶ παγόπλη-

κτοι. Συνολικά, σύμφωνα με τὰ στοιχεῖα τῆς ἱστορίας τοῦ ΓΕΣ, στὴν Τρεμπεσίνα χάθηκαν 6.700 ἀπὸ τοὺς 15.975 ἄνδρες ποὺ εἶχε ἡ μεραρχία. Βεβαίως οἱ Κρητικοὶ προκάλεσαν στὸν ἀντίπαλο βαρύτερες ἀπώλειες καὶ συνέβαλαν μὲ τὸν ὑπέριμετρο ἡρωισμό τους στὶς νίκες ποὺ ἀκολούθησαν... Παρόμοια τραγωδία ἐκτυλίσσεται καὶ στὸ Νότιο Μέτωπο. Τὸ Α' Σῶμα Στρατοῦ ἐπιτέθηκε τῇ 15ῃ Φεβρουαρίου. Κερδίζει ἔδαφος, ἀλλὰ μὲ βαρύτερες ἀπώλειες, κυρίως ἀπὸ παγοπληξίες. Στὸ Ἀπόσπασμα Π. Κατσῶτα, στὸ Γκόλικο, σημειώνονται καθημερινὰ 60 μὲ 80 κρούσματα. Ἡ VIII Μεραρχία ἔχει τὸν Φεβρουάριο 236 τραυματίες καὶ 611 παγόπληκτους».

Δὲν ἦταν μόνον οἱ στρατιῶτες στὸ μέτωπο ποὺ συνάντησαν τεράστιες δυσκολίες ἀπὸ τὶς καιρικὲς συνθῆκες, δυσκολίες συνάντησαν καὶ οἱ ἔφεδροι μετεωρολόγοι ἀξιωματικοὶ τοῦ πυροβολικοῦ, ὅπως προκύπτει καὶ ἀπὸ τὴν ἀναφορά τοῦ ἔφεδρου ἀξιωματικοῦ τοῦ πυροβολικοῦ Στέφανου Παπαγιαννάκη. Ὁ Παπαγιαννάκης συνέλεξε παρατηρήσεις τόσο ἀπὸ τοὺς μετεωρολογικοὺς σταθμοὺς ἐκστρατείας τῆς 8ης Μεραρχίας ὅσο καὶ ἀπὸ ἄλλους, μὲ στοιχεῖα ἀκροβάθμιων θερμομέτρων. Εἶναι ἀπαραίτητο ἐδῶ νὰ τονιστοῦν οἱ δυσκολίες ποὺ συνάντησε ὄχι μόνον ὁ ἔφεδρος μετεωρολόγος ἀλλὰ καὶ ἄλλοι συνάδελφοί του τόσο κατὰ τὴ διάρκεια τοῦ ἑλληνοϊταλικοῦ πολέμου ὅσο καὶ μετὰ τὴ γερμανικὴ εἰσβολή. Οἱ δυσκολίες αὐτές, ὅπως φαίνεται καὶ στὸ συνημμένο ἔγγραφο, συνοψίζονται στὶς γενικὲς παρατηρήσεις τοῦ Παπαγιαννάκη σὲ ἀναφορά του πρὸς τὸ ΓΕΣ μὲ ἡμερομηνία 18.12.1943.

Ἡ ἔρευνα τῶν στοιχείων αὐτῶν συνεπληρώθη μὲ τὴ μελέτη συνοπτικῶν χαρτῶν καὶ κυρίως τῶν εὐρωπαϊκῶν ἐπαναλύσεων τῶν μετεωρολογικῶν παραμέτρων. Ἀπὸ τὴν παρούσα ἔρευνα καὶ ἐκείνη τοῦ Παπαγιαννάκη προκύπτει ὅτι τὰ κυριότερα κύματα ψύχους τοῦ χειμῶνα 1940-1941 σημειώθηκαν κατὰ τὶς ἐξῆς χρονικὲς περιόδους:

1. 21 Νοεμβρίου ἕως 4 Δεκεμβρίου
2. 7 ἕως 17 Δεκεμβρίου
3. 24 ἕως 30 Δεκεμβρίου
4. 9 ἕως 14 Μαρτίου
5. 5 ἕως 15 Ἀπριλίου

Ἐξ ὧλων αὐτῶν, τὸ ἰσχυρότερο κύμα ψύχους ὑπῆρξε ἐκεῖνο τῆς περιόδου 7 ἕως 17 Δεκεμβρίου, μὲ πτώσεις θερμοκρασίας ποὺ κυμάνθηκαν μεταξὺ -11°C καὶ -19°C. Κατὰ τὴ διάρκεια τῶν ψυχρῶν εἰσβολῶν σημειώθηκαν καὶ οἱ ἐλάχιστες θερμοκρασίες τοῦ χειμῶνα ποὺ παρατηρήθηκαν

στούς περισσότερους σταθμούς τῆς ζώνης τῶν ἐπιχειρήσεων καὶ τῆς λοιπῆς Ἑλλάδος.

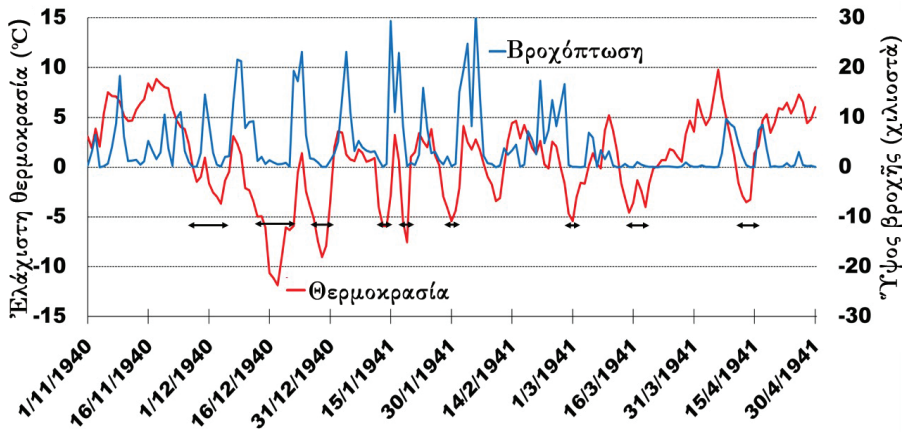
Γιὰ νὰ ἔχουμε πληρέστερη εἰκόνα τῶν καιρικῶν συνθηκῶν κατὰ τὶς περιόδους κυμάτων ψύχους, παρατίθενται στὸν Πίνακα 1 μερικὲς ἀπὸ τὶς χαμηλότερες ἐλάχιστες θερμοκρασίες μὲ τὶς ἀντίστοιχες ἡμερομηνίες:

Δεκέμβριος 1940
Μάρτιος 1941

Τοποθεσία	Θερμοκρασία	Ἡμερομηνία
Ἰωάννινα	-5,0	20 Δεκεμβρίου
	-3,0	19 Ἰανουαρίου
Καστοριά	-7,4	18 Δεκεμβρίου
	-10,6	30 Δεκεμβρίου
	-4,4	11 Ἰανουαρίου
Φλώρινα	-10,0	17 καὶ 18 Δεκεμβρίου
	-17,0	22 Δεκεμβρίου
	-12,0	14 Ἰανουαρίου
Κορυτσά	-7,0	17 καὶ 18 Ἰανουαρίου
	-9,0	30 Δεκεμβρίου
	-8,0	14 Ἰανουαρίου
	-4,0	14 καὶ 15 Μαρτίου
Μοσχόπολις	-11,0	17 καὶ 18 Δεκεμβρίου
	-19,0	30 Δεκεμβρίου
	-20,0	14 Ἰανουαρίου
	-10,0	15 Μαρτίου

Πίνακας 1: Ἀπόλυτες ἐλάχιστες θερμοκρασίες Δεκεμβρίου 1940-Μαρτίου 1941 στούς μετεωρολογικοὺς σταθμοὺς στὴν περιοχή τοῦ ἑλληνοαλβανικοῦ μετώπου (ἐκθεση Σ. Παπαγιαννάκη).

Βλέπουμε ὅτι οἱ ἐλάχιστες θερμοκρασίες -19°C καὶ -20°C σημειώθηκαν στὴ Μοσχόπολη σὲ ὕψος 1.200 μ. Μποροῦμε νὰ συμπεράνουμε ὅτι στὶς χιονοσκεπεῖς κορυφές μὲ ὑψόμετρο ἄνω τῶν 1.500 μ. οἱ θερμοκρασίες κάτω τῶν -20°C ἦσαν συχνές, ἰδίως κατὰ τὶς αἰθριες νύχτες. Στὸ Σχῆμα 1 ἐμφανίζεται ἡ χρονοσειρὰ τῶν ἡμερήσιων τιμῶν θερμοκρασίας καὶ βροχῆς στὴν ὄρεινὴ ζώνη τῆς Πίνδου σὲ ὑψόμετρο ἄνω τῶν 1.500 μ. ἀπὸ τὴ στάθμη τῆς θάλασσας. Τὰ ὀριζόντια βέλη στὸ σχῆμα δείχνουν περιόδους σημαντικῶν πολεμικῶν ἐπιχειρήσεων κατὰ τὸν ἑλληνοϊταλικὸ πόλεμο. Παρατη-



Σχήμα 1: Έπανα-ανάλυση ημερησίων τιμών θερμοκρασίας και βροχής στην όρεινη ζώνη της Πίνδου σε ύψομετρο μεγαλύτερο τῶν 1.500 μέτρων ἀπὸ τῆ στάθμη τῆς θάλασσας.

ροῦμε ὅτι σὲ ὀρισμένες περιόδους καιρικά συστήματα δημιούργησαν βροχοπτώσεις, σὲ ὀρισμένες περιπτώσεις σημαντικές, οἱ ὁποῖες δυστυχῶς μετέτρεψαν ὀρισμένες παγωμένες περιοχές σὲ περιοχές μὲ λάσπη, μὲ ἀποτέλεσμα νὰ γίνουν ἀκόμα δυσκολότερες οἱ μετακινήσεις τῶν στρατευμάτων καὶ τοῦ ἐξοπλισμοῦ.

Στὸ σημεῖο αὐτὸ θὰ πρέπει νὰ τονίσουμε ὅτι οἱ ἀνωτέρω θερμοκρασίες τοῦ ἀέρος καταγράφηκαν μὲ θερμομέτρα ἐγκατεστημένα ἐντὸς μετεωρολογικοῦ κλωβοῦ καὶ ὅτι οἱ θερμοκρασίες τοῦ χιονοσκεποῦς ἐδάφους, μὲ τίς ὁποῖες κυρίως σχετίζονται τὰ κρυοπαγήματα τῶν κάτω ἄκρων, ἀσφαλῶς παρουσίαζαν ἀκόμα χαμηλότερες ἐλάχιστες τιμές. Ἀπὸ πλευρᾶς τραυματιολογικῆς, σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε καὶ ἡ στολή τῶν φαντάρων σχετικὰ μὲ τὰ κρυοπαγήματα τῶν κάτω ἄκρων, διότι οἱ ὑγρανθεῖσες γκέτες ποῦ φοροῦσαν οἱ στρατιῶτες πάγωναν καὶ διαστελλόμενες διέκοπταν τὴν κυκλοφορία τοῦ αἵματος σὲ θερμοκρασίες πολὺ χαμηλές, μὲ τραγικὰ ἀποτελέσματα.

Παρ' ὅλες τίς τραγωδίες καὶ τὸν ἄνισο ἀγῶνα, οἱ Ἕλληνες νικοῦν καὶ ἀπωθοῦν τοὺς εἰσβολεῖς ὄχι μόνον τὸν χειμῶνα τοῦ 1940-1941 ἀλλὰ καὶ κατὰ τὴν ἀνοιξη. Μάλιστα δέ, οἱ ἰταλικές ἀποτυχίες συγκλόνισαν τόσο πολὺ τὸν Μουσολίνι, ὥστε νὰ πάψει πλέον νὰ ἀναφέρεται στὴ Μεσόγειο ὡς «mare nostrum», κάτι τὸ ὁποῖο συνήθιζε νὰ κάνει πρὶν καὶ κατὰ τὴν ἰταλικὴ εἰσβολή.

Μετά τὴν ἀποτυχία καὶ τῆς ἐαρινῆς ἐπιδρομῆς τῶν ἰταλικῶν στρατευμάτων ἀλλὰ καὶ τὸ πραξικόπημα τοῦ Βελιγραδίου τῆς 27ης Μαρτίου 1941, ὁ Χίτλερ ἀποφάσισε τὴν πραγματοποίηση ἐκστρατείας κατὰκτησης τῶν Βαλκανίων, ἐξαναγκασθεὶς συγχρόνως νὰ ἀναβάλει γιὰ τέσσερις ἐβδομάδες καὶ τὴν ἐκστρατεία ἐναντίον τῆς Ρωσίας μὲ τὸν κωδικὸ Barbarossa. Βεβαίως ὁ Χίτλερ γνώριζε πόσο κρίσιμος ἦταν ὁ παράγων χρόνος γιὰ τὴν ἐκβασὴ τῆς ἐκστρατείας τῆς Ρωσίας καὶ εἶχε μάλιστα προκαθορίσει τὴν εἰσβολὴ γιὰ τὰ μέσα Μαΐου. Γι' αὐτὸ τὸν λόγο, ὅταν εἰσέβαλε στὴν Ἑλλάδα, εὐελπιστοῦσε νὰ ἐπιτύχει τὴν κάμψη τῆς μόνον μὲ τὴν ἐπίδειξη δυνάμεως.

Πρὶν ἀκόμα χαράζει ἡ αὐγὴ τῆς 6ης Ἀπριλίου 1941, ἐκατοντάδες γερμανικὰ μαχητικὰ ἀεροπλάνα ἀνοιζαν τὴν ἐπίθεση μὲ μιὰ σφοδρὴ ἐπιδρομὴ κατὰ τοῦ Βελιγραδίου, ποὺ διήρκεσε ἐπὶ τρεῖς συνεχεῖς ἡμέρες. Ἡ ἐκδικητικὴ μανία τῶν εἰσβολέων ἀπαιτοῦσε νὰ μετατραπεῖ ἡ πρωτεύουσα τῆς Γιουγκοσλαβίας σὲ ἐρείπια. Ἀκόμα καὶ τὸ ὄνομα ποὺ ἐδόθη στὴν ἐπιχείρηση αὐτὴ τῆς Λουφτβάφε ἦταν χαρακτηριστικὸ: «ΤΙΜΩΡΙΑ»!

Ἐν τῷ μεταξύ τὰ γερμανικὰ στρατεύματα τῆς Δωδεκάτης Στρατιᾶς τοῦ φόν Λίστ κτύπησαν ταυτοχρόνως τὴν Ἑλλάδα καὶ τὴ Γιουγκοσλαβία, ἡ Ἰταλία κηρύσσει τὸν πόλεμο κατὰ τῆς Γιουγκοσλαβίας καὶ οὐγγρικὲς δυνάμεις εἰσβάλλουν. Μέσα σὲ λίγες μέρες ὁ γιουγκοσλαβικὸς στρατός, πρὶν ἀκόμα προλάβει νὰ κινητοποιηθεῖ, εἶχε τεθεῖ ἐκτὸς μάχης.

Στὴν Ἑλλάδα, παρ' ὅλη τὴ γερμανικὴ ὑπεροχὴ, ὁ φόν Λίστ δὲν κατόρθωσε νὰ ἐξοντώσει τὸ συμμαχικὸ ἐκστρατευτικὸ σῶμα. Ἀπὸ τὰ λιμάνια τῆς Πελοποννήσου τὸ βρετανικὸ ναυτικὸ, μὲ τὴν πολύτιμη βοήθεια τῶν ἑλληνικῶν πλοίων, διέσωσε σὲ μιὰ νέα ἐπιχείρηση Δουνκέρκης, κάτω ἀπὸ πολὺ δυσμενέστερους ὄρους, τὸ μέγιστο μέρος τοῦ ἐκστρατευτικοῦ σώματος. Ἀπὸ τὶς 21 ἕως τὶς 29 Ἀπριλίου βυθίστηκαν σὲ αὐτὴ τὴν ἐπιχείρηση εἴκοσι ἕξι πλοῖα, ἀπὸ τὰ ὁποῖα τὰ εἴκοσι ἕνα ἦταν ἑλληνικά, συμπεριλαμβανομένων καὶ πέντε νοσοκομειακῶν. Ἡ ἀποχώρησις τοῦ Βασιλέως καὶ τῆς Κυβερνήσεως ἀπὸ τὴν ἠπειρωτικὴν Ἑλλάδα στίς 24 Ἀπριλίου σημεῖωσε τὸ τέλος τῆς ὀργανωμένης ἑλληνικῆς ἀμυνας. Ἔτσι, μὲ μιὰ σημαντικὸτατη ἐπιβράδυνση στὴν ἐφαρμογὴ τοῦ σχεδίου τους, οἱ δυνάμεις τοῦ Ἄξονα κυριάρχησαν σὲ ὁλόκληρο τὸν βαλκανικὸ χῶρο. Ὁ ἐπίλογος τῆς ἐκστρατείας αὐτῆς ἐπρόκειτο νὰ γραφεῖ ὕστερα ἀπὸ ἕναν περίπου μῆνα στὴ σκληρὴ, πολυαίμακτη καὶ ἥρωικὴ μάχη τῆς Κρήτης.

Τὸ γερμανικὸ σχέδιο προέβλεπε τὴ μεταφορὰ μεγάλων δυνάμεων ἀλεξιπτωτιστῶν, μὲ παράλληλη ἀπόβαση ἀπὸ τὴ θάλασσα δυνάμεων πεζικοῦ.

Υπολογίζονται σὲ 16.000 οἱ στρατιῶτες πὸ ἐπρόκειτο νὰ ριφθοῦν ἀπὸ τὸν ἀέρα. Οἱ ἀεροπορικές δυνάμεις πὸ συμμετεῖχαν καὶ ὑποστήριζαν τὴν ἐπιχείρηση ἦσαν ἐπίσης ἐπιβλητικές: ἔλαβαν μέρος συνολικὰ 1.280 ἀεροπλάνα.

Ἡ ἀντίσταση πὸ προέβαλαν οἱ ἐλληνοαγγλικές δυνάμεις ὑπῆρξε ἰσχυρὴ καὶ ἐνισχύθηκε ἀπὸ τὸ γεγονός ὅτι, δίπλα στὰ τακτικὰ στρατεύματα πὸ ἐμάχοντο, ἔσπευσε ὁ ἥρωικός λαὸς τῆς Κρήτης καί, μὲ πρόχειρα καὶ πολλὰς φορές πρωτόγονα μέσα, ἀντιμετώπισε τοὺς πάνοπλους ἀλεξιπτωτιστές. Οἱ γερμανικές ἀπώλειες ὑπῆρξαν βαρύντατες. Πολλὰ μεταγωγικὰ ἀεροπλάνα κατερρίφθησαν στὸν ἀέρα γεμάτα Γερμανοὺς στρατιῶτες, ἀπὸ τὴν ἀντιαεροπορική ἄμυνα καὶ ἄλλες πολλὰς δεκάδες κατεστρέφοντο στὴν προσπάθειά τους νὰ προσγειωθοῦν στὰ, ἀνεσκαμμένα ἀπὸ τὶς γερμανικές βόμβες, πεδία προσγειώσεως. Ἐκατοντάδες ἀλεξιπτωτιστές ἐφονεύθησαν κατὰ τὴν κάθοδό τους ἢ ἐπὶ τοῦ ἐδάφους τόσο ἀπὸ τμήματα τοῦ τακτικοῦ στρατοῦ ὅσο καὶ ἀπὸ ἔνοπλες ομάδες τοῦ λαοῦ. Ἀλλὰ οἱ Γερμανοὶ συνέχισαν τὴ μεταφορὰ ἀεραγχημάτων, ἀδιαφοροῦντες γιὰ τὶς βαρύντατες αὐτὲς ἀπώλειες. Ἐξαιτίας αὐτῶν, ἔκτοτε περιορίστηκε σημαντικὰ ἡ χρῆση ἀλεξιπτωτιστῶν ἀπὸ τοὺς Γερμανοὺς στὶς ἐπόμενες ἐπιχειρήσεις τοῦ Β' Παγκοσμίου Πολέμου.

Τὴν ἕκτη ἡμέρα τῆς μάχης, ἡ θέση τῶν ἐλληνοβρετανικῶν στρατευμάτων ἔγινε κρίσιμη καὶ τὴν ἴδια νύχτα ἐλήφθη ἡ ἀπόφαση τῆς ἐκκενώσεως τῆς Κρήτης. Βρετανικὰ σκάφη ἀνέλαβαν νὰ ἀποσύρουν τὰ στρατεύματα ἀπὸ τὸ Ἡράκλειο καὶ τὰ Σφακιά στὴ νότια ἀκτὴ τῆς Κρήτης, καὶ πραγματοποιοῦσαν ὡς τὶς 20 Μαΐου αὐτὸ τὸ δυσχερέστατο ἔργο μὲ βαρύντατες ἀπώλειες, κάτω ἀπὸ τὴ συνεχῆ καταδίωξη τῆς γερμανικῆς ἀεροπορίας. Ἡ φρουρὰ τοῦ Ρεθύμνου, κυκλωμένη, ἐξακολουθοῦσε νὰ μάχεται ὡς τὶς 30 Ἀπριλίου, ὅποτε καὶ παρεδόθη ἀφοῦ ἐξήντηλε τὰ τρόφιμα καὶ τὰ πολεμοφόδια τῆς.

Ἔτσι τερματίστηκε ἡ μάχη τῆς Κρήτης, μὲ τοὺς Γερμανοὺς στὴ συνέχεια νὰ στρέφονται μὲ ἰδιαίτερο μένος ἐναντίον τῶν ἥρωικῶν κατοίκων τοῦ νησιοῦ. Δὲν τοὺς συγχώρησαν τὴν ἥρωική ἀντίσταση πὸ προέβαλαν καὶ πὸν δυσχέρανε τόσο τὴν κατάληψη τῆς Μεγαλονήσου. Ἐκατοντάδες ἀπὸ αὐτοὺς, ἄνδρες καὶ γυναῖκες, συνελήφθησαν ἀμέσως μὲ τὴν κατηγορία ὅτι διέπραξαν ὀμότητες καὶ ἐστάλησαν στὰ χιτλερικά στρατόπεδα ἐξοντώσεως.

Στὶς 24 Σεπτεμβρίου 1942 ὁ ὑπουργὸς τῶν Ἐξωτερικῶν τῆς Μεγάλης Βρετανίας Ἄντονυ Ἦντεν, σὲ ὀμιλία του στὴ Βρετανικὴ Αὐτοκρατορικὴ Λέσχη τοῦ Λονδίνου, εἶπε: «...ἡ Ἑλλὰς πρώτη ἔδωσε ἀλησμόνητο μάθημα στὸν Μουσολίνι, διότι αὐτὴ ὑπῆρξε ἡ ἀφορμὴ τῆς ἐθνικῆς ἐπαναστάσεως

στή Γιουγκοσλαβία έναντιον τοῦ Ἄξονα, διότι αὐτή, μὲ τὴ μικρὴ βοήθεια ποὺ σταθῆκαμε τότε ἱκανοὶ νὰ τῆς δώσουμε, κράτησε τοὺς Γερμανοὺς στὸ ἠπειρωτικὸ τῆς ἔδαφος καὶ στὴν Κρήτη ἐπὶ ἕξι ἐβδομάδες, διότι αὐτὴ ἀνέτρεψε τὴ χρονολογικὴ σειρὰ ὄλων τῶν σχεδίων τοῦ γερμανικοῦ Ἐπιτελείου καὶ ἔτσι ἐπέφερε ριζικὴ μεταβολὴ στὴν ὅλη πορεία τοῦ πολέμου. Ἐμεῖς οἱ Ἄγγλοι δὲν θὰ λησμονήσουμε ποτὲ τὴν ἀνακούφιση καὶ τὴν παρηγοριὰ ποὺ μᾶς προσέφερε κατὰ τὶς ἀγωνιώδεις ἐκεῖνες στιγμὲς τοῦ πολέμου ἢ τιμιότητα καὶ ἡ ἀξιοπρέπεια τῆς στάσεως τῶν Ἑλλήνων». Ἐκπομπὴ τῆς 27ης Ἀπριλίου 1942 τοῦ Ραδιοφωνικοῦ Σταθμοῦ τῆς Μόσχας, μὲ θέμα «Χαιρετισμὸς πρὸς Ἑλληνας», ἀνέφερε: «...Ἐπολεμήσατε μικροὶ ἐναντίον μεγάλων καὶ ἐπικρατήσατε. Δὲν ἦταν δυνατὸ νὰ γίνει διαφορετικὰ, γιατί εἴστε Ἑλληνας. Ὡς Ρῶσοι κερδίσαμε, χάρις στὴ θυσία σας, χρόνο γιὰ νὰ ἀμυνθοῦμε. Σᾶς εὐγνωμονοῦμε». Ὁ δὲ Φραγκλίνος Ροῦσβελτ ἔγραψε: «Ὅταν πολλοὶ ἄνθρωποι εἶχαν ἀπωλέσει κάθε ἐλπίδα γιὰ τὴ νίκη, ὁ ἑλληνικὸς λαὸς τόλμησε νὰ ἀμφισβητήσῃ τὸ ἀήττητο τοῦ Ἄξονα, ἀντιτάσσων, ἐναντίον τῶν ἀπάνθρωπων μηχανημάτων τοῦ πολέμου, μόνον τὸ δικό του ὑπερήφανο πνεῦμα τῆς ἐλευθερίας».

Ἡ μάχη τῆς Μόσχας (1941-1942)

Ὅπως εἶδαμε προηγουμένως, ὁ Χίτλερ εἶχε δαπανήσει ἕξι πολύτιμες ἐβδομάδες γιὰ τὴν κατάκτηση τῆς Ἑλλάδος καὶ τῆς Κρήτης (6 Ἀπριλίου-20 Μαΐου) καὶ ἐπιπλέον ἄλλες 33 ἡμέρες (20 Μαΐου-22 Ἰουνίου) γιὰ τὶς μετακινήσεις τῶν στρατευμάτων τῆς Βαλκανικῆς καὶ τὴν ἀνασύνταξή τους στὴν Πολωνία. Τὸ γερμανικὸ σχέδιο ἀστραπιαίου πολέμου προέβλεπε τὴν πλήρη ἐκμηδένιση τῶν Ρώσων πρὶν ἀπὸ τὸν ρωσικὸ χειμῶνα. Ὅμως, ἀντὶ τῆ ἐπίθεσης νὰ πραγματοποιηθεῖ στὰ μέσα Μαΐου, ἡ γερμανικὴ εἰσβολὴ ξεκίνησε στὶς 22 Ἰουνίου 1941.

Πρὸ τῆς ἰσχυρότατης γερμανικῆς πίεσης, οἱ Ρῶσοι, μαχόμενοι σκληρά, ὑποχώρησαν καταστρέφοντας κάθε τι χρήσιμο γιὰ τὸν ἐχθρό. Ἐκκένωσαν τὸ Σμολένσκ τὴ 10η Αὐγούστου, ἀφοῦ ὅμως καθυστέρησε ἡ γερμανικὴ προέλαση γιὰ ἀρκετὲς ἐβδομάδες.

Σοβαρὴ ἐπίσης καθυστέρηση προκάλεσε καὶ ἡ ἀπόφαση τῶν Γερμανῶν νὰ ἐξαπολύσουν μεγάλη κυκλωτικὴ κίνηση κατὰ τοῦ Κιέβου, ἡ ὁποία ἀποκόμισε μὲν 600.000 Ρώσους αἰχμαλώτους τὸν Σεπτέμβριο, ἀλλὰ συγχρόνως ἐπέφερε τὴν ἀπώλεια πολυτιμῶτατων ἐβδομάδων πρὸ τοῦ ἐπερχόμενου χειμῶνα.

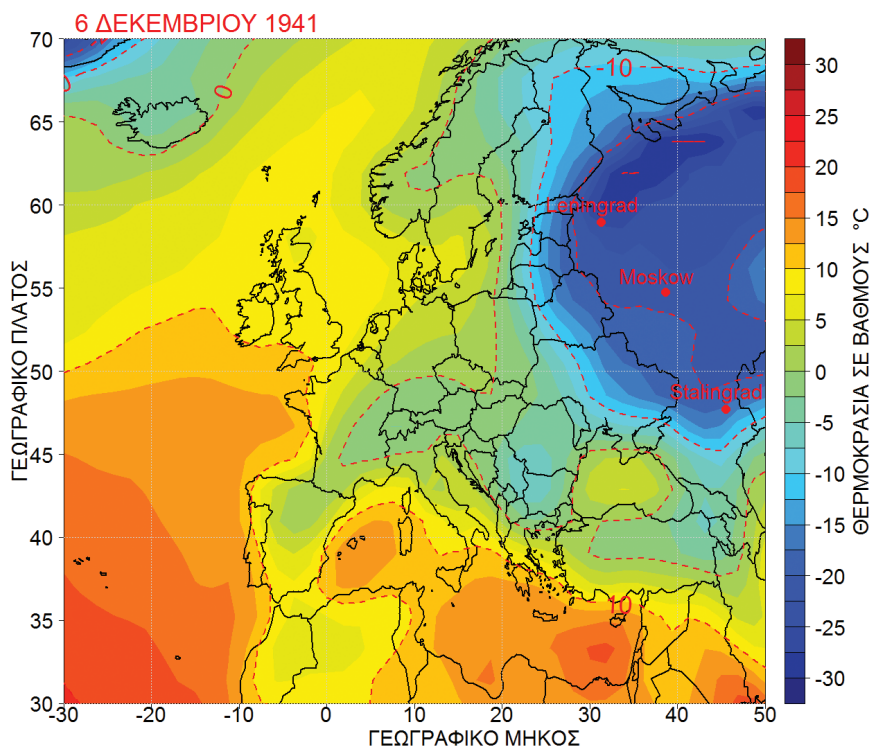
Οί λαμπρές αυτές επιτυχίες του γερμανικού στρατού έδιναν την εντύπωση ότι το τέλος της Ρωσίας θα έρχόταν σύντομα. Άλλα για άλλη μία φορά ο χρόνος λειτουργούσε υπέρ των Ρώσων, των οποίων η αντίσταση, αντί να εξασθενεί λόγω των τεραστίων απωλειών, αντίθετα αύξανε προοδευτικά όσο οι θωρακισμένες μεραρχίες του Χίτλερ εισέδιδαν βαθύτερα στην απέραντη Ρωσία.

Άπο πλευράς Γερμανίας, η προέλαση των στρατιωτών της έδωσε τόση αυτοπεποίθηση ότι η έκστρατεία θα τελείωνε πριν από τον χειμώνα, ώστε παραμέλησε να εφοδιάσει τους άνδρες της με κατάλληλο ρουχισμό για την αντιμετώπιση του ρωσικού ψύχους. Οί γερμανικές στρατιές υπό μορφήν τεράστιας λαβίδας προσπάθησαν να απομονώσουν τη Μόσχα. Η γερμανική όμως προέλαση συνέχισε με ρυθμό συνεχώς επιβραδυνόμενο, για να σταματήσει μόλις μετά τρεις εβδομάδες. Τα γερμανικά ανακοινωθέντα απέδιδαν συνεχώς την επιβράδυνση της προέλασης στον καιρό. Πράγματι ο χειμώνας είχε ένσκήψει νωρίτερα και γενικώς υπήρξε δριμύτερος του μέσου όρου.

Είναι χαρακτηριστικό ότι μετά την πρώτη επίθεση κατά της Μόσχας, το γερμανικό Γενικό Έπιτελείο συμβούλευσε ο στρατός να οργανώσει θέσεις για τον χειμώνα, για να προφυλαχθεί όχι μόνον από τις επιθέσεις αλλά και από το ψύχος. Ο Χίτλερ όμως, αγνοώντας τη διαταγή του Έπιτελείου, προτίμησε να διακινδυνεύσει τον άγώνα, διατάζοντας τη δεύτερη γερμανική επίθεση, που άρχισε τη 15η Νοεμβρίου με το θερμόμετρο να συνεχίζει να κατεβαίνει. Την 4η Δεκεμβρίου 1941 τα γερμανικά στρατεύματα προωθούντο βραδέως και με μεγάλες απώλειες. Είχαν μάλιστα πλησιάσει σε κάποιο σημείο σε απόσταση 30 μόλις χιλιομέτρων από τη Μόσχα.

Και από την άλλη όμως πλευρά η κατάσταση στη συνεχώς βομβαρδιζόμενη Μόσχα ήταν δραματική. Οί Δημόσιες Υπηρεσίες και ο περιττός πληθυσμός είχαν μεταφερθεί προς ανατολάς και γινόντουσαν οί τελευταίες ετοιμασίες για την άμυνα της πόλης, στην οποία παρέμενε ακόμα και ο Στάλιν. Έν τω μεταξύ ο Joukon είχε σημαντικότερα ενισχυθεί με τρεις νέες στρατιές από τον Βόλγα, τα Ουράλια και τη Σιβηρία.

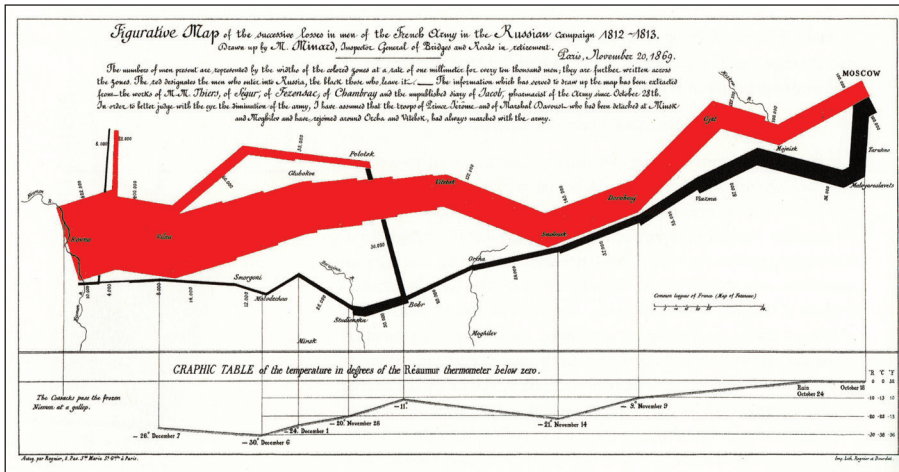
Την 5η Δεκεμβρίου, με πυκνό χιόνι και δριμύτατο ψύχος, εξαπελύθη η τελευταία θυελλώδης γερμανική επίθεση κατά της έξωτερικης άμυνας της πρωτεύουσας. Λόγω όμως των εξαιρετικά χαμηλών θερμοκρασιών, η πήξη των ελαίων καθήλωσε στο έδαφος 1.000 άρματα του Guderian και τα αεροπλάνα της Luftwaffe, ενώ οί ρωσικές μηχανές ήταν καλύτερα προσαρμοσμένες στο κλίμα του τόπου. Ο Γάλλος στρατιωτικός συγγραφέας Guil-



Σχήμα 2: Θερμοκρασίες του αέρα στην Ευρώπη κατά την 6η Δεκεμβρίου 1941.

laume αναφέρει ότι λόγω του υπερβολικού ψύχους άχρηστεύονταν τὰ τηλεβόλα από τις συστολές και καταστρέφονταν οί κινητήρες και οί άτμομηχανές από τις διαστολές. Τέλος στις 6 Δεκεμβρίου αρχίζει ή μεγάλη ρωσική άντεπίθεση στη μέγιστη δριμύτητα του χειμώνα και τότε διατάχθη ή γενική ύποχώρηση. Οί ποταμοί είχαν ήδη πήξει, τὸ χιόνι στὸ ἔδαφος ἔφθανε μέχρι τὴν κοιλιὰ τῶν ἀλόγων, ή θερμοκρασία ἦταν κάτω ἀπὸ τοὺς -33° Κελσίου, με τοὺς Γερμανοὺς ἀποδεκατισμένους ἀπὸ τὰ κρυοπαγήματα και τις συνεχεῖς ἐπιθέσεις τῆς σιβηρικῆς στρατιάς. Στὸ Σχήμα 2 φαίνονται οί θερμοκρασίες τοῦ αἰρα στην Ευρώπη τὴν 6η Δεκεμβρίου 1941, τότε πὸν πάγωσαν ὅλα ἀπὸ τὸ Λένινγκραντ και τὴ Μόσχα μέχρι τὸ Στάλινγκραντ.

Τὴν 8η Δεκεμβρίου ὁ Χίτλερ ὑποχρεώθηκε νὰ ἐξαγγεῖλει ὅτι ἐξαιτίας τοῦ καιροῦ ή ἐπίθεση στὸ Ἄνατολικὸ Μέτωπο σταμάτησε, στις δὲ 19 Δε-



Σχήμα 3: Ο αριθμός των στρατιωτών του γαλλικού στρατού κατά τη διάρκεια της επίθεσης (κόκκινη γραμμή) και κατά τη διάρκεια της υποχώρησης (μαύρη γραμμή). Το πλάτος των γραμμών δείχνει το σύνολο του γαλλικού στρατού. Στο κάτω μέρος του διαγράμματος φαίνεται η θερμοκρασία του αέρα, βάσει της κλίμακας Ρεωμόρου, μετά την έξοδο της Μεγάλης Στρατιάς από τη Μόσχα (από τα δεξιά στ' αριστερά) [Minard (1869)].

κεμβρίου ανέλαβε ο ίδιος προσωπικά την αρχηγία των ενόπλων δυνάμεων. Στις 7 Ιανουαρίου 1942 επήλθε το τραγικό τέλος της μάχης της Μόσχας.

Οι απώλειες του γερμανικού στρατού στη μάχη της Μόσχας υπήρξαν τεράστιες. Ξεπέρασαν τις 300.000 οι νεκροί. Αντίστοιχα, τεράστιες ήταν και οι απώλειες κατά την εκστρατεία του Ναπολέοντα, όπως προκύπτει και από την περιφημη αναπαράσταση των ανθρώπινων απωλειών του Minard, η οποία εμφανίζεται στο Σχήμα 3. Κατά τον Minard (1869), ο στρατός του Ναπολέοντα είχε 422.000 άνδρες κατά τον Ιούνιο του 1812, από τους οποίους επέστρεψαν μόλις 10.000 άνδρες. Στο σχήμα φαίνονται και οι χαμηλές θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν στις διάφορες ημερομηνίες, ιδίως της επιστροφής των όσων επέζησαν.

Ιδιαίτερη εντύπωση προξενούν διάφορες συμπτώσεις ημερομηνιών, μεθόδων, επιδιώξεων και άλλων χαρακτηριστικών και στις δύο εκστρατείες, του 1812 και του 1941.

1. Στις 24 Ιουνίου άρχισε την επίθεση ο Ναπολέων, στις 22 Ιουνίου ο Χίτλερ. Και στις δύο περιπτώσεις η επίθεση άρχισε σε πολύ προχωρη-

μένη εποχή. Καί ὁ Ναπολέων καί ὁ Χίτλερ ἦσαν ἀπολύτως πεπεισμένοι ὅτι ἡ ἀποφασιστικὴ νίκη θὰ ἐπιτυγχανόταν πρὶν ἀπὸ τὸν χειμῶνα.

2. Ἡ ἀλαζονεία γιὰ βέβαιη, σύντομη νίκη ὀδήγησε καί στίς δύο περιπτώσεις στὸ γεγονός ὅτι τόσο οἱ Γάλλοι ὅσο καί οἱ Γερμανοὶ ἦσαν ἀνεπαρκῶς ντυμένοι καί παρασκευασμένοι γιὰ τὸν ρωσικὸ χειμῶνα. Τὰ ἄλογα τῶν Γάλλων ἐστεροῦντο ἀγκιστρωτῶν πετάλων γιὰ νὰ βαδίζουν πάνω στοὺς πάγους. Τὰ μηχανέλαια τῶν γερμανικῶν ἀρμάτων εἶχαν ὑψηλὸ σημεῖο πῆξεως.

3. Ἡ κατάκτηση τοῦ Σμολένσκ καθυστέρησε πολὺ καί τοὺς δύο ἐπιδρομεῖς. Στίς 18 Αὐγούστου κατελήφθη ἀπὸ τοὺς Γάλλους, στίς 10 Αὐγούστου ἀπὸ τοὺς Γερμανούς.

4. Καί στίς δύο περιπτώσεις –ὅπως λέγει ὁ Liddell Hart, τόσο ὁ Χίτλερ ὅσο καί ὁ Ναπολέων ὑπέπεσαν στὰ ἴδια σφάλματα στὴν ἴδια περιοχὴ– ὁ χρόνος λειτούργησε ὑπὲρ τῶν Ρώσων διπλά: καί διότι τοὺς ἔδωσε τὸν καιρὸ νὰ ἀποπερατώσουν τὴν ἐπιστράτευσή τους καί διότι ἔφερε τὸν πόλεμο πρὸς τὸν χειμῶνα, ὁ ὁποῖος ἔπαιξε ἀποφασιστικὸ ρόλο καί στοὺς δύο πολέμους.

5. Στὴ μία περίπτωση οἱ Ρῶσοι καῖνε τὴ Μόσχα. Στὴ δευτέρῃ περιπτώσει ὅλα ἔχουν ἐτοιμασεῖ γιὰ νὰ ἐπαναληφθεῖ ἡ καταστροφὴ.

6. Στίς 13 Ὀκτωβρίου τοῦ 1812 ἐσημειώθη στὴ Μόσχα ὁ πρῶτος παγετός. Περὶ τὰ μέσα Ὀκτωβρίου τοῦ 1941 ἔπεσαν οἱ πρῶτες νιφάδες χιονιοῦ. Οἱ μετεωρολογικὲς συνθήκες ἄρχισαν νὰ ἐπιδεινώνονται μετὰ τὴν 15ῃ Ὀκτωβρίου, ὅταν ἐξαπελύθη ἡ πρώτη γερμανικὴ ἐπίθεση κατὰ τῆς Μόσχας, ἐνῶ ἡ πρώτη ἐπίθεση τοῦ Ναπολέοντα εἶχε ἤδη ξεκινήσει ἕναν μῆνα νωρίτερα. Ἴσως ἔτσι νὰ ἐξηγεῖται καί ἡ ἐπιτυχία τῶν Γάλλων νὰ καταλάβουν γιὰ λίγο τὴ Μόσχα.

7. Γιὰ λόγους γοήτρου καθυστερεῖ ὁ Ναπολέων ἐπικίνδυνα τὴν ἀποχώρηση ἀπὸ τὴ Μόσχα. Γιὰ λόγους γοήτρου ἐπιμένει ὁ Χίτλερ στὴ δευτέρῃ ἀτυχῇ ἐπίθεση κατὰ τῆς Μόσχας.

8. Οἱ κατατρυχόμενοι ἀπὸ τὸ ψύχος καί τις στερήσεις Γάλλοι ἤλπιζαν ὅτι θὰ σώζοντο, κατὰ τὴν ἐπιστροφή, εἰσερχόμενοι στὸ Σμολένσκ, ὅπου ὅμως δὲν βρῆκαν πουθενὰ καταφύγιο. Ἡ φαντασία τῶν ἐξαντλημένων Γερμανῶν ἐξήπτετο ἀπὸ τὸ ὄραμα τοῦ καταφυγίου τῆς Μόσχας, στὴν ὁποία οὐδέποτε εἰσῆλθαν ἐκτὸς ὡς αἰχμάλωτοι.

9. Τόσο ὁ Χίτλερ ὅσο καί ὁ Ναπολέων στοὺς λόγους τοὺς χρέωσαν ὀλόκληρο τὸ βᾶρος τῆς καταστροφῆς στὸν ρωσικὸ χειμῶνα.

10. Ἡ Μόσχα ὑπῆρξε ἐξ ἴσου μοιραία καί γιὰ τοὺς δύο εἰσβολεῖς. Ὁ Ναπολέων κατέλαβε τὴ Μόσχα, ἐνῶ ὁ Χίτλερ δὲν τὸ κατόρθωσε. Παρὰ ταῦτα

οί Γερμανοί κατέκτησαν πολύ μεγαλύτερες εκτάσεις από τους Γάλλους, τις διατήρησαν για περισσότερο χρόνο, οί καταστροφές που προξένησαν όσο και οί απώλειες που υπέστησαν ήσαν ασυγκρίτως μεγαλύτερες και τέλος πλησίασαν πολύ περισσότερο προς την αποφασιστική νίκη από τους εισβολείς του 1812.

11. Και οί δύο πόλεμοι ενέπνευσαν μεγάλους μουσουργούς. Στην περίπτωση του Ναπολέοντα, ο Beethoven συνθέτει τὸ Πένθιμο Ἐμβατήριο στην 3η του Συμφωνία στη μνήμη τῶν πεσόντων και ἀφιερωμένο στην ἀρχή στον Μέγα Ναπολέοντα, ἀφιέρωση τὴν ὁποία στη συνέχεια ἀφαίρεσε. Πολύ ἀργότερα, κατὰ παραγγελία του Τσάρου, ὁ Tchaikovsky συνθέτει τὴν οὐβερτούρα «1812» και ὁ Prokofiev τὴν ὄπερα «Πόλεμος και Εἰρήνη» σὲ λιμπρέτο του Leon Tolstoy. Ἐπίσης ὁ Shostakovich ἀφιερώνει τις Συμφωνίες του Λένινγκραντ και του Στάλινγκραντ στις νίκες τῶν Ρώσων. Τέλος, ἡ μεγάλη σύνθεση του 1961 του Benjamin Britten «War Requiem» εἶναι ὄρατόριο ἐμπνευσμένο ἀπὸ τὸν Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, σὲ ποίηση που γράφτηκε κατὰ τὸν Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο.

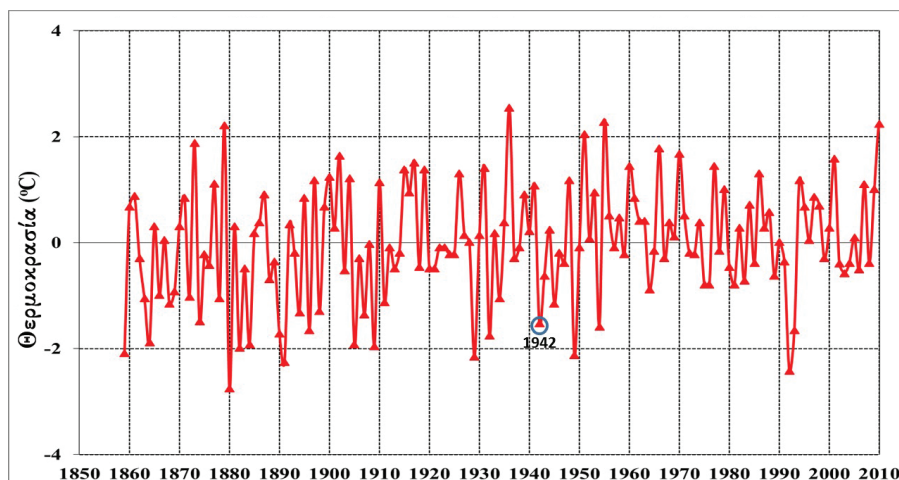
12. Στὸ Σχῆμα 4 φαίνονται οί μέσες θερμοκρασίες του ἀέρα κατὰ τὸν χειμῶνα στην Ἁγία Πετρούπολη ἀπὸ τὸ 1750 μέχρι τὸ 2010. Μὲ κύκλο εἶναι σημειωμένες οί ἀκρότατες μέσες θερμοκρασίες που ἐπικράτησαν και στοὺς δύο πολέμους και εἶναι κάτω τῶν -10° Κελσίου. Στην περίπτωση τῆς γερμανικῆς ἐπίθεσης ἦταν ἀκόμα χαμηλότερες. Ἐνα ἰσχυρότατο φαινόμενο El Niño ἔδρασε ἔτσι ὥστε νὰ ἐπιδεινωθοῦν οί χειμῶνες τῆς περιόδου 1941-43 και νὰ συγκαταλέγονται στοὺς πλέον δριμεῖς χειμῶνες. Εἶναι χαρακτηριστικό ὅτι, ὅπως προκύπτει ἀπὸ τὸ Σχῆμα 5, ὅπου φαίνονται και οί χειμῶνες στὸ Ἐθνικὸ Ἀστεροσκοπεῖο Ἀθηνῶν ἀπὸ τὸ 1860 και μετά, οί χειμῶνες 1942 και 1943 μποροῦν νὰ χαρακτηριστοῦν ἐπίσης ὡς δριμεῖς χειμῶνες. Εἶναι τὰ ἔτη τῆς Κατοχῆς, τὰ ἔτη τῆς πείνας και του ψύχους, ὅπου χιλιάδες ἄμαχοι Ἕλληνες ἔχασαν τὴ ζωή τους κάτω ἀπὸ ἐξαιρετικὰ δυσοίωνες θερμοκρασίες, ἀλλὰ και κυρίως ἀπὸ τὴν πείνα που προκάλεσε σὲ ὅλη τὴ χώρα ἡ γερμανοϊταλικὴ κατοχή.

Ἡ μάχη του Στάλινγκραντ (1942-1943)

Ἀκόμα μεγαλύτερη καταστροφή υπέστησαν οί Γερμανοί στὸ Στάλινγκραντ. Ἐκεῖ τὸν Ὀκτώβριο του 1942 ἡ βροχὴ μετέβαλε τὸ πεδίο τῆς μάχης σὲ βόρβορο. Ὁλόκληρο τὸ βάρος του ἀνεφοδιασμοῦ τῶν περικυκλωμένων Γερμανῶν ἔπεσε στοὺς ὤμους τῆς γερμανικῆς ἀεροπορίας. Πυρομα-



Σχήμα 4: Μέσες θερμοκρασίες αέρα κατά τόν χειμώνα στην Άγια Πετρούπολη από τόν 1750 μέχρι τόν 2010.



Σχήμα 5: Άποχές τής μέσης θερμοκρασίας αέρα τού χειμώνα από τόν κλιματικό μέσο όρο στόν σταθμό τού Έθνικου Άστεροσκοπείου Άθηνών κατά τή χρονική περίοδο 1860-2010.

χικά, καύσιμα, υγειονομικό υλικό, παντός είδους εφόδια και τὸ σιτηρέσιο πείνας μετεφέροντο ἀπὸ τὰ μεταγωγικά ἀεροπλάνα, τῶν ὁποίων ὅμως οἱ ἀφίξεις μειώνονταν συνεχῶς τόσο λόγω ἐπιδείνωσης τοῦ καιροῦ ὅσο και λόγω τῆς ἀπομάκρυνσης ἀπὸ τὶς βάσεις ἀνεφοδιασμοῦ. Στὴν προσπάθειά της αὐτὴ ἡ γερμανικὴ ἀεροπορία ἔχασε 600 μεταγωγικά ἀεροπλάνα.

Στὶς ἀρχές τοῦ Ἰανουαρίου 1943 ἡ κατάσταση τῶν περικυκλωμένων Γερμανῶν εἶχε καταστῆ τραγικὴ. Τὰ πυρομαχικά τὰ κατανάλωναν μόνο σὲ ἀναπόφευκτη ἀνάγκη. Τὸ σιτηρέσιο περιορίστηκε σὲ 100 γραμμάρια ἄρτου καὶ 30 γραμμάρια λιπαρῶν. Ὅλοι οἱ ἵπποι τοῦ Ρουμανικοῦ Σώματος καταναλώθηκαν. Κατέφαγαν σκύλους, γάτες, ἀκόμα καὶ πτώματα.

Ἡ ἐξαθλίωση εἶχε φθάσει στὸ ἔσχατο σχεδὸν ὄριο, ὅταν ὁ von Paulus κλήθηκε στὸ Βερολίνο ἀεροπορικῶς γιὰ νὰ προαχθεῖ –φεῦ!– σὲ στρατάρχη καὶ νὰ ἐπιστρέφει στὴ συνέχεια στὸ ρωσικὸ μέτωπο, γιὰ νὰ μοιραστεῖ τὴν ἴδια τύχη μὲ τὴ στρατιά του.

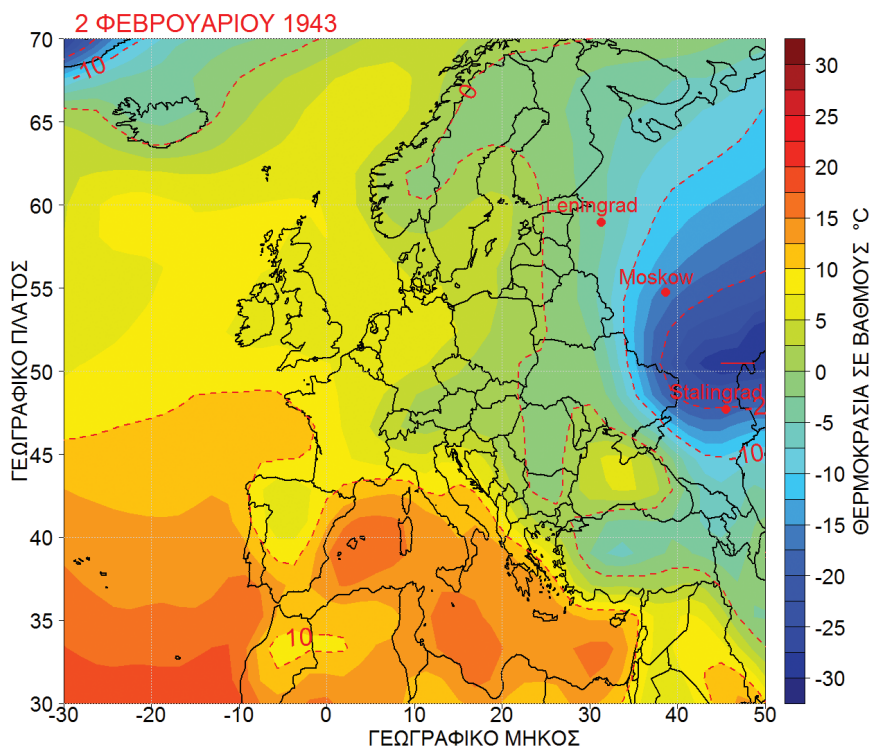
Στὶς 13-14 Ἰανουαρίου, στὸν τομέα Novo Alexeivski, οἱ Γερμανοὶ ἐκδιώχθηκαν ἀπὸ τὰ χαρακώματα, κατατρεχόμενοι στὴ γυμνὴ στέπα, ἐνῶ ἡ θερμοκρασία εἶχε κατέβει μέχρι τοὺς -28° Κελσίου, ἐγκαταλείποντας στοὺς Ρώσους νοσοκομεῖα γεμάτα μὲ πληγωμένους καὶ ἀναπήρους ἀπὸ τὰ κρουπαγήματα. Στὸ Σχῆμα 6 φαίνονται οἱ θερμοκρασίες τοῦ ἀέρα στὴν Εὐρώπη τὴ 2α Φεβρουαρίου 1943, ὅταν δηλαδὴ ἐπῆλθε τὸ τέλος τῆς μάχης τοῦ Στάλινγκραντ.

Χαρακτηριστικὸ τοῦ τρόμου τὸν ὁποῖο προκάλεσε στοὺς Γερμανοὺς τὸ ψύχος ἀποτελεῖ ἡ ἀκόλουθη περικοπὴ ἡμερήσιας διαταγῆς τοῦ von Paulus:

«Ἄν ἡ Στρατιὰ καταπαύσει τὴν ἀντίσταση», λέγει ὁ στρατάρχης, «ἓνα εἶδος θανάτου πρέπει νὰ ἀναμένουμε· εἴτε ἀπὸ ἐχθρικές σφαῖρες εἴτε ἀπὸ τὸ ψύχος καὶ τὴν πεῖνα».

Ἡ μάχη τοῦ Στάλινγκραντ σημεῖωσε τὸ τέλος τοῦ ἀστραπιαίου πολέμου, τὸ δὲ κλίμα ἔπαιξε σημαντικὸ ρόλο στὴν ἔκβασή της. Οἱ Γερμανοὶ στὴ μάχη αὐτὴ ἀπώλεσαν περισσότερους ἀπὸ 400.000 ἄνδρες, ἓνα στρατάρχη, 16 στρατηγούς καὶ ὀριστικὰ τὴν ἐλπίδα νὰ νικήσουν στὸν πόλεμο αὐτό.

Ἡ ἱστορία ἀποδεικνύει ὅτι οἱ κλιματικὲς ἀκρότητες προσέφεραν πάντοτε προστασία στὴ χώρα ποὺ δέχεται τὴν εἰσβολή, ἰδίως ὅταν αὐτὴ ἔχει μεγάλη γεωγραφικὴ ἔκταση. Στὸ σημεῖο αὐτὸ θὰ πρέπει νὰ τονιστεῖ ὅτι οἱ ἐπικρατούσες καιρικὲς συνθῆκες ἀπέβησαν δυσμενέστατες στὸν ἐπιτιθέμενο, κυρίως σὲ δύο ἐποχές τοῦ ἔτους: ἀφενὸς μὲν κατὰ τὴ διάρκεια τῶν ἰσχυρῶν χειμερινῶν παγετῶν, ἀφ' ἑτέρου δὲ κατὰ τὴν περίοδο τῆς τήξης τῶν πάγων κατὰ τὴν ἀνοιξή, ὅποτε τὰ πάντα καθηλώνονταν ἐπάνω στὴ λάσπη.



Σχήμα 6: Θερμοκρασίες του αέρα στην Ευρώπη κατά τη 2α Φεβρουαρίου 1943.

Αυτό προκύπτει σαφέστατα από τα πρώτα δύο έτη του ρωσογερμανικού πολέμου, στον οποίο ο κανόνας ήταν να υπερισχύουν οι Γερμανοί κατά το θέρος, κυρίως λόγω της υπεροχής τους σε αεροπορία και άρματα, και να υπερέχουν οι Ρώσοι κατά τον χειμώνα. Μόνον μετά το 1943, όταν η πλάστιγγα έκλινε οριστικά υπέρ των Συμμάχων, απέκτησαν σε όλες τις εποχές υπεροχή οι Ρώσοι. Τόσο στη ρωσογερμανική σύρραξη του 1941-1943 όσο και στη ρωσογαλλική σύρραξη (1812-1813), οι στρατάρχες υποτίμησαν τον καιρό, ο οποίος ήταν αντίζοος κυρίως για τους επιτιθέμενους. Η μικρή Ελλάδα άντεστη ήρωικά και οι ελληνικές νίκες είχαν σπουδαίες συνέπειες στο διεθνές διπλωματικό πεδίο διότι διέψευσαν τον θρύλο του αήττητου Άξονα και έξυπνισαν σε πρώτη φάση τον Μουσολίνι. Ο πόλεμος στην Ελλάδα, συμπαράσύροντας και τη Γερμανία, είχε ως αποτέλεσμα τη δέσμευση ισχυρών δυνάμεων στα Βαλκάνια. Καί, τέλος, ακόμα πιο σημαντική υπήρξε

ή συμβολή τοῦ πολέμου στὴν Ἑλλάδα γιὰ τὴν ἥττα τῶν Γερμανῶν στὸ ἀνατολικὸ μέτωπο. Ἡ ἀναβολὴ τῆς εἰσβολῆς κατὰ ἕξι ἐβδομάδες στὴν ἐπιχειρήση Barbarossa ἔφερε τοὺς Γερμανοὺς πολὺ κοντὰ στὸν βαρύτερο ρωσικὸ χειμῶνα, πρὶν προφθάσουν νὰ ἐπιτύχουν τὴν ἀστραπιαία νίκη ποὺ εὐελπιστοῦσαν.

Κυρίες καὶ κύριοι,

Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν, τιμώντας τὰ ἑλληνικὰ ἀνδραγαθήματα τοῦ πολέμου 1940-1941, ἀπένειμε διακρίσεις καὶ μετάρλια στὶς Ἑνοπλεις Δυνάμεις μας καὶ σὲ μεμονωμένους ἥρωες, ὅπως φαίνεται στὸν Πίνακα 2, γιὰ νὰ ἀκολουθήσει τὸ 1948 καὶ ἡ ἀπονομὴ μεταλλίων ἀνδρείας σὲ Ἑλληνας ἀπὸ τὴ Μεγάλῃ Βρετανία καὶ ὄχι μόνον.

Ψήφισμα τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν ἐπὶ τῇ κηρύξει τοῦ πολέμου κατὰ τῆς Ἑλλάδος	24 Μαρτίου 1941
Χρυσοῦν Μετάλλιον εἰς τὰς Ἑνόπλους Δυνάμεις τῆς χώρας	Ἑκτακτος Συνεδρία 31ης Ὀκτωβρίου 1946. Τὸ Μετάλλιον ἐπεδόθη στὸν Βασιλέα Γεώργιο Β΄ ὡς Ἀρχηγὸ τῶν Ἑνόπλων Δυνάμεων
Ἀργυροῦν Μετάλλιον εἰς τὸ Σῶμα Διπλωματούχων Ἀδελφῶν, Ἑθελοντῶν Νοσοκόμων καὶ Ἑθελοντῶν Οἰκονόμων τοῦ Ἑλληνικοῦ Ἐρυθροῦ Σταυροῦ	Πανηγυρικὴ Συνεδρία 24ης Μαρτίου 1946
Βραβεῖον Ἐθνικῆς Ἀρετῆς καὶ Αὐτοθυσίας «Εἰς τὴν Ἑλληνίδα» τῆς Πίνδου	Πανηγυρικὴ Συνεδρία 24ης Μαρτίου 1947
Βραβεῖον στὴν Ὄργάνωση «Φανέλλα τοῦ Στρατιώτου»	Πανηγυρικὴ Συνεδρία 30ῆς Δεκεμβρίου 1947
Ἀργυροῦν Μετάλλιον μετὰ θάνατον εἰς τὸν Δαβάκηη Κωνσταντῖνον	Πανηγυρικὴ Συνεδρία 24ης Μαρτίου 1948

Πίνακας 2: Ψήφισμα καὶ ἀπονομὴ βραβείων καὶ μεταλλίων ἀπὸ τὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν σχετικὰ μὲ τὸν πόλεμο 1940-1941.

Θὰ τελειώσω ὑπενθυμίζοντας τὰ λόγια τοῦ ἀειμνήστου ἐθνικοῦ μας ποιητῆ Κωστῆ Παλαμᾶ καὶ πρώτου Γραμματέα ἐπὶ τῶν Πρακτικῶν τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν:

*Ἡ μεγαλοσύνη
στά ἔθνη δὲ μετρίεται μὲ τὸ στρέμμα,
μὲ τῆς καρδιᾶς τὸ πύρωμα
μετρίεται
καὶ μὲ τὸ αἶμα.*

Παράρτημα: Ἡ ἱστορικὴ σημασία τοῦ Ἑλληνοϊταλικοῦ καὶ τοῦ Ἑλληνογερμανικοῦ Πολέμου

Οἱ ἐλληνικὲς νίκες εἶχαν σπουδαιότατες συνέπειες στὸ διεθνὲς διπλωματικὸ πεδίο ἤδη ἀπὸ τὴν ἀρχὴ τῶν ἐχθροπραξιῶν. Διέψευσαν τὸν θρόλο γιὰ τὸ ἀήττητο τοῦ Ἄξονα. Κράτη ποὺ θεωροῦνταν βέβαιο ὅτι θὰ συμμετεῖχαν στὸν πόλεμο ὑπὲρ τοῦ Ἄξονα ἄρχισαν νὰ ἐμφανίζουν διστακτικότητα ἢ ἀκόμα καὶ νὰ προβάλλουν ἄρνηση.

Σχετικὰ οἱ *Times* τοῦ Λονδίνου ἔγραφαν στὸ φύλλο τους τῆς 28ης Νοεμβρίου: «Οἱ ἐλληνικὲς νίκες εἶχαν τεράστια ἀπήχηση στὴν Ἑγγὺς Ἀνατολή... Στὴν Αἴγυπτο διέλυσαν τελείως τὶς ἀνησυχίες γιὰ ἰταλικὴ εἰσβολὴ καὶ μετέβαλαν τὸν Μουσολίνι, ποὺ θεωροῦνταν ἀπὸ τὴ λαϊκὴ φαντασία ὡς κάτι σπουδαῖο, σὲ κωμικὸ πρόσωπο». Κλασσικὸ παράδειγμα στὴ χώρα μας ἀποτελεῖ ἡ παράφραση τῆς γνωστῆς ναπολετάνικης καντσονέτας μὲ τίτλο «Κορόιδο Μουσολίνι».

Τὴν 1η Δεκεμβρίου ἡ ἐφημερίδα *Daily Telegraph* τόνιζε: «Ὁ Νοέμβριος ἔφερε μεγάλη μεταβολὴ στὴ διπλωματικὴ μας κατάσταση. Ὁ Χίτλερ ἀναζητοῦσε μάταια νὰ βρεῖ νέους συμμάχους. Δὲν μπόρεσε νὰ ἐξασφαλίσει παρὰ μόνον τὴν Οὐγγαρία καὶ τὴ Ρουμανία, ποὺ ἦταν ἤδη ὑπὸ τὸ πέλμα του. Καὶ ὁ κύριος λόγος τῆς ἀποτυχίας αὐτῆς ὑπῆρξαν οἱ ἐλληνικὲς ἐπιτυχίες ἐναντίον τῆς Ἰταλίας». Μάλιστα, ἡ πιὸ χαρακτηριστικὴ περίπτωση κράτους ποὺ ἀρνήθηκε τότε τὴ σύμπραξη μὲ τὸν Ἄξονα ἦταν ἡ Ἰσπανία.

Ἐκτὸς ὅμως ἀπὸ τὶς συνέπειες ποὺ εἶχε ὁ πόλεμος τῆς Ἑλλάδας ἐναντίον τοῦ Ἄξονα στὸ διπλωματικὸ πεδίο, τὸ γεγονὸς ὅτι συμπαρέσυρε καὶ τὴ Γερμανία εἶχε ὡς ἀποτέλεσμα τὴ δέσμευση ἰσχυρῶν δυνάμεων τοῦ Ἄξονα, ποὺ διαφορετικὰ θὰ εἶχαν διατεθεῖ σὲ ἄλλα μέτωπα, δίνοντας ἔτσι τὴ δυνα-

τότητα στους Βρετανούς να σταθεροποιήσουν τη θέση τους στην Αφρική, και ιδιαίτερα στη Μέση Ανατολή.

Τέλος, ακόμα πιο σημαντική υπῆρξε η συμβολή του πολέμου της Ελλάδος στην ήττα των Γερμανών στο ανατολικό μέτωπο. Η εμπλοκή ειδικά της Γερμανίας στον πόλεμο αυτό και οι ευρύτερες επιχειρήσεις στα Βαλκάνια που υποχρεώθηκε να διενεργήσει ήταν η κυριότερη αίτια για την αναβολή της έναρξης της επιθέσεως έναντι της Σοβιετικής Ένώσεως κατά πέντε ως έξι εβδομάδες. Οι συνέπειες της αναβολής αυτής υπῆρξαν κρίσιμες για τους Γερμανούς, καθώς επῆλθε ο βαρύτερος ρωσικός χειμώνας πριν προφθάσουν να επιτύχουν αποφασιστικά αποτελέσματα.

(Όλοκληρη η όμιλία έχει βιντεοσκοπηθεί και δημοσιεύεται στον ιστότοπο <http://www.blod.gr/lectures/Pages/viewlecture.aspx?LectureID=4357>, που αποτελεί μία πρωτοβουλία του Ίδρυματος Μποδοσάκη.)

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 15ΗΣ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2018

Η ΟΙΚΟΥΜΕΝΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΑΛΦΑΒΗΤΟΥ ΣΤΙΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ
κ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΓΔΟΥΤΟΥ

Ἡ γλώσσα ἡ ἑλληνική.

Ἡ γλώσσα πού ὀμιλεῖται γιά 40 αἰῶνες καί γράφεται μέ τὸ ἴδιο ἀλφάβητο γιά 28 αἰῶνες.

Ἡ πιὸ παλιὰ τοῦ κόσμου.

Ἡ γλώσσα μέ τὸ πιὸ πλούσιο λεξιλόγιο ἀπὸ ὅλες τὶς γλώσσες.

Ἡ γλώσσα πού δάνεισε χιλιάδες λέξεις στὴ λατινική καὶ ἄλλες σύγχρονες γλώσσες, χωρὶς νὰ ἔχει δανειστεῖ ἀπὸ ἄλλες γλώσσες.

Ἡ γλώσσα τῆς ἀκριβολογίας, τῆς κυριολεξίας, τῆς μουσικότητος (Ἵομηρος).

Ἡ γλώσσα στὴν ὁποία γράφτηκαν τὰ ἀριστουργήματα τῆς διεθνοῦς λογοτεχνίας, τῆς φιλοσοφίας, τοῦ δικαίου καὶ τῶν περισσοτέρων ἐπιστημονικῶν θεωριῶν, φιλοσοφικῶν στοχασμῶν καὶ λογοτεχνικῶν εἰδῶν.

Ἡ γλώσσα τοῦ ὀρθοῦ λόγου καὶ τῆς ἐκφραστικότητος τῶν ἰδεῶν καὶ σκέψεων.

Ἡ γλώσσα τῆς Σαπφοῦς, τοῦ Ὀμήρου, τοῦ Θαλῆ, τοῦ Ἡρόδοτου, τοῦ Σωκράτη, τοῦ Πλάτωνα, τοῦ Ἀριστοτέλη, τοῦ Θουκυδίδη, τοῦ Σοφοκλῆ, τοῦ Εὐριπίδη, τοῦ Αἰσχύλου, τοῦ Ἀριστοφάνη.

Ἡ γλώσσα πού ἀπὸ τὰ μέσα τοῦ 8ου ὡς τὸν 6ον π.Χ. αἰῶνα ἀπλώθηκε στὴ Μεσόγειο, στὴ Μαύρη Θάλασσα, στὴν Ἰταλία, στὴ Βόρειο Ἀφρική.

Ἡ γλώσσα πού στὰ ἑλληνιστικά χρόνια τοῦ Μ. Ἀλεξάνδρου ἔφτασε ὡς τὸν Ἰνδὸ ποταμό.

Ἡ γλώσσα πού στή ρωμαϊκὴ περίοδο εἰσέδυσσε στή Συρία, τὴν Αἴ-γυπτο, τὴν Παλαιστίνη, τὴν Ἰορδανία.

Ἡ γλώσσα πού κατὰ τὴ βυζαντινὴ περίοδο εἰσέδυσσε στὶς σλαβόφωνες περιοχὲς τῆς βόρειας Βαλκανικῆς κι ἀκόμα παραπέρα.

Ἡ γλώσσα τῶν Εὐαγγελίων, τῶν βιβλίων τῆς Καινῆς Διαθήκης, τῆς μετάφρασης τῶν Ἑβδομήκοντα τῆς Παλαιᾶς Διαθήκης.

Ἡ γλώσσα τῶν ἱερῶν ὕμνογράφων Ρωμανοῦ τοῦ Μελωδοῦ, Ἰωάννη τοῦ Δαμασκηνοῦ, Κοσμᾶ τοῦ Μελωδοῦ, Κασσιανῆς, Ἰωάννη Κουκουζέλη, Ἀγίου Θεοδώρου Στουδίτη, Μάρκου τοῦ Μοναχοῦ, τῶν τόσων ἄλλων τῆς πλουσίας καὶ ἀπαραμίλλου κάλλους ἐκκλησιαστικῆς μας ὕμνογραφίας.

Ἡ γλώσσα τοῦ Σολωμοῦ, τοῦ Καβάφη, τοῦ Καζαντζάκη, τοῦ Παπαδιαμάντη, τοῦ Κάλβου, τοῦ Μαβίλη, τοῦ Σικελιανοῦ, τοῦ Μυριβήλη, τοῦ Βενέζη, τοῦ Σεφέρη, τοῦ Ἐλύτη, τῆς Δημοῦλα, τοῦ Βαλτινοῦ, καὶ τόσων ἄλλων.

Ἡ γλώσσα τῶν ἐπιστημονικῶν ὄρων τῆς ἰατρικῆς, τῆς βιολογίας, τῆς ἀστρονομίας, τῆς ζωολογίας, τῆς βοτανολογίας κ.λπ.

Ἡ γλώσσα ἢ μικρὴ, πού σήμερα ὀμιλεῖται ἀπὸ ἓνα ἐλάχιστο ποσοστὸ τοῦ παγκόσμιου πληθυσμοῦ [περὶ τὰ 12.000.000 ἄνθρωποι στὴν Ἑλλάδα καὶ στὴν Κύπρο ἔχουν μητρικὴ γλώσσα τὴν Ἑλληνικὴ, ἐνῶ 15.000.000 ὀμιλοῦν τὴν Ἑλληνικὴ ὡς πρώτη ἢ δευτέρα γλώσσα, ποσοστὸ δύο χιλιοστὰ τοῦ πληθυσμοῦ τῆς γῆς (7 δισεκατομμύρια)].

Εἶναι ἡ γλώσσα ἢ μεγάλη.

Τὰ γράμματά της χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὸν συμβολισμό ποσοτήτων τῆς φυσικῆς, τῆς χημείας, τῆς βιολογίας, τῶν μαθηματικῶν, τῆς ἀστρονομίας, καὶ ἄλλων ἐπιστημῶν.

Τὰ γράμματά της ἀντηχοῦν στὶς αἴθουσες διδασκαλίας καὶ στὰ ἀμφιθέατρα τῶν δημοτικῶν, τῶν γυμνασίων, τῶν λυκείων καὶ τῶν πανεπιστημίων τοῦ σύμπαντος κόσμου γιὰ νὰ θυμίζουσι ὅτι οἱ ἐπιστῆμες καὶ οἱ τέχνες θεμελιώθηκαν ἀπὸ τοὺς Ἑλληνας χιλιάδες χρόνια πρὶν, μέσα στὸν μικρὸ χῶρο τῆς Ἑλλάδος.

Καὶ αὐτοὶ πού δὲν ἔχουσι τὴν τύχη νὰ μάθουσι ἢ νὰ ὀμιλοῦσι τὴν ἑλληνικὴ γλώσσα ὑπὸ τὴν κοινὴ ἔννοια, ἐν τούτοις τὴν ὀμιλοῦσι ἐμμέσως, χρησιμοποιώντας τὰ γράμματά της γιὰ νὰ ἐκφράσουσι ἐπιστημονικὲς ποσότητες. Τὰ γράμματά της ἀποτελοῦσι καθημερινὸ τμήμα τῆς ζωῆς τῶν μηχανικῶν, τῶν

φυσικῶν, τῶν βιολόγων, τῶν χημικῶν, μεταξὺ ἄλλων. Καὶ ἐκστομίζονται σὰν ἀναπόσπαστο τμήμα τῆς καθημερινῆς τους ὀμιλίας.

Σήμερα, τὰ 24 γράμματα τοῦ ἑλληνικοῦ ἀλφαβήτου παίζουν σημαντικό ρόλο στὶς ἐπιστῆμες, στὰ μαθηματικά, στοὺς μηχανικούς.

Θὰ παραθέσουμε ἐνδεικτικὰ τὶς ἔννοιες ποὺ δηλώνουν ὀρισμένα γράμματα τοῦ ἑλληνικοῦ ἀλφαβήτου, τὰ ὁποῖα χρησιμοποιοῦνται σὲ παγκόσμια κλίμακα. Θὰ παρουσιάσουμε τὶς πλέον συνήθεις ἔννοιες ποὺ δηλώνουν τὰ γράμματα αὐτά. Δὲν θὰ ἀναφερθοῦμε σὲ περιπτώσεις ποὺ ἀπαιτοῦν ἐξειδικευμένες γνώσεις, ἀλλὰ σὲ ἀπλές ἔννοιες ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὴ διδασκαλία τῶν φυσικῶν καὶ μαθηματικῶν ἐπιστημῶν στὸ Γυμνάσιο, τὸ Λύκειο ἢ τὶς πρῶτες τάξεις τῆς ἀνωτάτης ἐκπαιδύσεως τῶν θετικῶν ἐπιστημῶν.

Ἔτσι θὰ καταδείξουμε τὴν οἰκουμενικότητα τῆς ἑλληνικῆς γλώσσας, αὐτῆς ποὺ ὀμιλεῖται μὲν ἀπὸ ἓνα ἐλάχιστο ποσοστὸ τοῦ παγκόσμιου πληθυσμοῦ, τὰ γράμματά της ὅμως χρησιμοποιοῦνται ἀπὸ ὀλόκληρο τὸν παγκόσμιο πληθυσμὸ τῶν ἐπιστημόνων.

Αὐτῆς τῆς γλώσσας τῆς μικρῆς, τῆς μεγάλης (ὅπως θὰ ἔλεγε ὁ Ἐλύτης).

Ἄλφα (α)

1. Ἀκτίνες α ἢ σωματίδια α

Τὰ σωματίδια α ἀποτελοῦνται ἀπὸ δύο πρωτόνια καὶ δύο νετρόνια ἐνωμένα μεταξὺ τους σ' ἓνα σωματίδιο ταυτόσημο μὲ τὸν πυρήνα τοῦ στοιχείου τοῦ ἀτόμου τοῦ Ἡλίου (${}^4_2\text{He}$). Ἡ μάζα τοῦ σωματιδίου εἶναι 6.644656×10^{-27} kg, ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ ἐνέργεια 3.72738 GeV. Συμβολίζονται μὲ τὸ γράμμα α ἢ α^{2+} . Ἐὰν τὸ ἰὸν προσλάβει ἠλεκτρόνια ἀπὸ τὸ περιβάλλον, τὸ σωματίδιο α μετατρέπεται σὲ κανονικὸ (ἠλεκτρικῶς οὐδέτερο) ἄτομο τοῦ Ἡλίου ${}^4_2\text{He}$. Σωματίδια α ἐκπέμπονται ἀπὸ ἓναν ἀσταθῆ πυρήνα, ὁ ὁποῖος ὀδηγεῖται σὲ μεταστοιχείωσή του σὲ κάποιον ἐλαφρύτερο καὶ σταθερότερο. Μὲ τὴν ἐκπομπὴ σωματιδίων α ὁ μαζικός ἀριθμὸς τοῦ μητρικοῦ πυρήνα μειώνεται κατὰ 4. Κατὰ τὴ μετατροπὴ ἑνὸς πυρήνα σὲ ἄλλον ἐκλύεται ἐνέργεια, μὲ ταυτόχρονη ἐκπομπὴ ἀκτινοβολίας. Αὐτὸ εἶναι τὸ φαινόμενο τῆς ραδιενέργειας. Τὰ σωματίδια α μπορεῖ νὰ κατευθυνθοῦν εὐκολὰ λόγῳ τοῦ θετικοῦ ἠλεκτρικοῦ φορτίου τους. Χαρακτηρίζονται ἀπὸ μικρὴ διεισδυτικότητα.

2. Γωνιακή έπιτάχυνση

Γωνιακή έπιτάχυνση ονομάζουμε τόν ρυθμό μεταβολής τής γωνιακής ταχύτητος ένός σώματος. Μετρᾶται σέ άκτίνια άνά δευτερόλεπτα στο τετραγωνο (rad/s^2). Μαθηματικά, ή γωνιακή έπιτάχυνση όρίζεται ώς:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

όπου $d\theta$ είναι ή μεταβολή τής γωνίας που άντιστοιχεί στο διαγραφόμενο τόξο και $d\omega/dt$ είναι ή μεταβολή τής γωνιακής ταχύτητος.

Ή έννοια τής γωνιακής έπιτάχυνσης χρησιμοποιείται στη μελέτη τής κινήσεως τών σωμάτων.

3. Συντελεστής θερμοικής διαστολής

Ό συντελεστής θερμοικής διαστολής περιγράφει τήν άλλαγή του σχήματος ένός αντικειμένου με τήν άλλαγή τής θερμοκρασίας. Ύπάρχουν διάφοροι συντελεστές θερμοικής διαστολής σχετιζόμενοι με τήν άλλαγή του όγκου, τής έπιφάνειας ή τή μεταβολή του μήκους μιᾶς γραμμής του σώματος.

Ό γραμμικός συντελεστής θερμοικής διαστολής όρίζεται άπό τή σχέση:

$$\alpha_L = \frac{1}{L} \frac{dL}{dT}$$

όπου L είναι τó μήκος και T είναι ή θερμοκρασία.

Ό συντελεστής θερμοικής διαστολής όγκου α_v ένός στερεού, ύγρου ή άερίου δίνεται άπό τή σχέση:

$$\alpha_v = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

όπου V είναι ό όγκος και T ή θερμοκρασία. Ό δείκτης p παριστᾶ τήν πίεση, ή όποία παραμένει σταθερή κατά τήν αύξηση του όγκου. Για ισότροπα ύλικά ό συντελεστής θερμοικής διαστολής έπιφάνειας και όγκου είναι διπλάσιος και τριπλάσιος, αντίστοιχα, του γραμμικού συντελεστού θερμοικής διαστολής.

Ό συντελεστής θερμοικής διαστολής είναι σταθερά του ύλικού. Λαμβάνει τιμές $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ έως $26 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ για μέταλλα και $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ έως $100 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ για πλαστικά και μη μεταλλικά ύλικά.

4. Γωνία

Χρησιμοποιείται για τον συμβολισμό της γωνίας. Π.χ. οί γωνίες ενός τριγώνου που κείνται απέναντι τών πλευρών με μήκη a, b, c συμβολίζονται με α, β, γ , και ίκανοποιούν τον νόμο τών ημιτόνων της τριγωνομετρίας:

$$\frac{\sin\alpha}{a} = \frac{\sin\beta}{b} = \frac{\sin\gamma}{c}$$

Βήτα (β)

1. Σωματίδια ή ακτίνες β

Σωματίδια ή ακτίνες ή ακτινοβολία β είναι ένα ηλεκτρόνιο ύψηλης ενέργειας και ύψηλης ταχύτητος που εκπέμπεται κατά τη ραδιοενεργή αποσύνθεση ενός ατομικού πυρήνα κατά τη διαδικασία της αποσυνθέσεως β . Τα σωματίδια β μπορεί να χρησιμοποιηθούν στη θεραπεία του καρκίνου τών οφθαλμών ή τών οστών. Τα σωματίδια αυτά αποτελούν πηγή ποζιτρονίων που χρησιμοποιούνται στην τομογραφία PET (Positron Emission Tomography).

2. Γωνία

Χρησιμοποιείται για τον συμβολισμό της γωνίας.

Γάμμα (γ)

1. Συνάρτηση Γ

Η συνάρτηση Γ για n θετικό ακέραιο δίνεται από τη σχέση:

$$\Gamma(n) = (n-1)! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \dots (n-1)$$

Για μιγαδικό αριθμό, z , η συνάρτηση ορίζεται από τη σχέση:

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} x^{z-1} e^{-x} dx$$

Η χρήση του γράμματος Γ οφείλεται στον Legendre. Εάν το πραγματικό μέρος του μιγαδικού αριθμού z είναι θετικό ($\text{Re}(z) > 0$), τότε το άνωτέρω ολοκλήρωμα συγκλίνει, και είναι γνωστό ως το ολοκλήρωμα Euler δευτέρου τύπου.

Μία βασική ιδιότητα της συναρτήσεως Γ είναι:

$$\Gamma(z+1) = z \Gamma(z), \text{ με } \Gamma(1) = 1$$

2. Είδικό βάρος

Το είδικό βάρος γ είναι το βάρος ενός ύλικου ανά μονάδα όγκου. Ορίζεται από τη σχέση:

$$\gamma = \rho g$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του ύλικου (μάζα ανά μονάδα όγκου) και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s^2).

Αντίθετα με την πυκνότητα, το είδικό βάρος δεν αποτελεί σταθερά του ύλικου, δεδομένου ότι μεταβάλλεται με τη μεταβολή της επιταχύνσεως βαρύτητας g [έχει διαφορετική τιμή στον Ήσημερινό (9.832 ms^{-2}) και στους Πόλους (9.780 ms^{-2}) της Γης, στη Σελήνη (1.625 ms^{-2}) κ.λπ.].

3. Ακτίνες γ

Οι ακτίνες γ ή ακτινοβολία γ είναι μια διεισδυτική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προκύπτει από τη ραδιενεργή αποσύνθεση του πυρήνα του ατόμου. Συνίσταται από φωτόνια υψηλής ενέργειας. Ανακαλύφθησαν από τον Γάλλο φυσικοχημικό Paul Villard το 1903. Η ονομασία γ οφείλεται στον Ernest Rutherford, ο οποίος είχε προηγουμένως ανακαλύψει δύο τύπους ακτινοβολίας, τις ακτίνες α και β με άνοδιούσα διεισδυτική ικανότητα, και με μεγαλύτερη των δύο αυτή των ακτίνων γ .

Οι ακτίνες γ , σε αντίθεση με τις ακτίνες α και β , έχουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα και μπορεί να καταστρέψουν τον μυελό των όστων και έσωτερικά όργανα. Μολονότι μπορεί να προξενήσουν καρκίνο, εν τούτοις χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία όρισμένων μορφών καρκίνου, δεδομένου ότι καταστρέφουν τα καρκινικά κύτταρα. Στην ούτως αποκαλούμενη χειρουργική γ -μαχαίρας πολλαπλές ακτίνες γ συγκεντρώνονται προκειμένου να σκοτώσουν τα καρκινικά κύτταρα. Χρησιμοποιούνται επίσης στην πυρηνική Ιατρική, όπως π.χ. στη σάρωση PET, για τον έντοπισμό καρκινικών κυττάρων.

4. Γωνία

Χρησιμοποιείται για τον συμβολισμό της γωνίας.

Δέλτα (δ)

1. Πεπερασμένη διαφορά

Τὸ Δ παριστᾶ πεπερασμένη διαφορά μιᾶς συναρτήσεως τοῦ τύπου $f(x+b) - f(x+a)$. Χρησιμοποιεῖται π.χ. στὸν ὄρισμὸ τῆς παραγώγου συναρτήσεως $f(x)$ μιᾶς μεταβλητῆς ὡς ἐξῆς:

$$f'(x) = \frac{df}{dx} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta f}{\Delta x}$$

2. Τελεστής Laplace

Ὁ τελεστής Laplace Δ ἀποτελεῖ διαφορικὸ τελεστή δευτέρας τάξεως στὸν εὐκλείδιο χῶρο n διαστάσεων καὶ ὀρίζεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$\Delta f = \nabla^2 f = \nabla \cdot \nabla f$$

ὅπου f εἶναι συνάρτηση παραγωγίσιμη δύο φορές.

Τὸ ∇ δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_n} \right)$$

ὅποτε

$$\Delta f = \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2}$$

Σὲ δύο διαστάσεις ὁ τελεστής Laplace Δ δίνεται σὲ καρτεσιανές συντεταγμένες ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$\Delta f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

καὶ σὲ πολικὲς συντεταγμένες ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$\Delta f = \frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial f}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 f}{\partial \theta^2}$$

3. Τὸ σύμβολο Kronecker

Ἀποτελεῖ συνάρτηση δύο μεταβλητῶν ἀκεραίων μὴ ἀρνητικῶν ἀριθμῶν. Ἡ συνάρτηση εἶναι 1 ἐὰν οἱ μεταβλητὲς εἶναι ἴσες καὶ μηδὲν ἐὰν ὄχι.

$$\delta_{ij} = 1 \text{ για } i = j; \delta_{ij} = 0 \text{ για } i \neq j$$

4. Η συνάρτηση Dirac

Η συνάρτηση Dirac είναι μία συνάρτηση μιᾶς μεταβλητῆς πού είναι μηδέν παντοῦ ἐκτὸς ἀπὸ τὴν ἀρχὴ τοῦ ἄξονα τῶν x στὴν ὁποία εἶναι ἀπειρή.

Ὅρίζεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\delta(x) = \infty, \text{ για } x = 0; \delta(x) = 0, \text{ για } x \neq 0$$

καὶ ἱκανοποιεῖ τὴν ἐξίσωση:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta x \, dx = 1$$

Ἐψιλὸν (ε)

1. Μιὰ μικρὴ ποσότητα

Τὸ ε χρησιμοποιεῖται γιὰ τὴν παράσταση μιᾶς μικρῆς ποσότητος καὶ ἔχει εὐρεία ἐφαρμογὴ στὸν ὑπολογισμό τοῦ ὁρίου μιᾶς ἀκολουθίας ἀριθμῶν ἢ μιᾶς συναρτήσεως. Π.χ. ἔστω ὅτι τὸ ὄριο σειρᾶς πραγματικῶν ἀριθμῶν a_1, a_2, \dots εἶναι ἴσο μὲ L , δηλ.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = L$$

Τότε, σύμφωνα μὲ τὸν ὄρισμό τοῦ ὁρίου, γιὰ κάθε πραγματικὸ ἀριθμὸ $\varepsilon > 0$, ὑπάρχει ἓνας φυσικὸς ἀριθμὸς N τέτοιος ὥστε γιὰ $n > N$ νὰ εἶναι $|a_n - L| < \varepsilon$.

2. Τὸ σύμβολο Levi-Civita

Τὸ σύμβολο Levi-Civita ε_{ijk} σὲ τρεῖς διαστάσεις ὀρίζεται ὡς ἐξῆς:

$$\varepsilon_{ijk} = 1, \text{ για } (i, j, k) \text{ ἴσο μὲ } (1, 2, 3), (2, 3, 1), (3, 1, 2)$$

$$\varepsilon_{ijk} = -1, \text{ για } (i, j, k) \text{ ἴσο μὲ } (3, 2, 1), (1, 3, 2), (2, 1, 3)$$

$$\varepsilon_{ijk} = 0, \text{ για } i = j, j = k, k = i$$

Χρησιμοποιεῖται στὸν τανυστικὸ λογισμό στὰ μαθηματικά, τὴ μηχανική, τὶς φυσικὲς ἐπιστῆμες κ.λπ.

3. Παραμόρφωση $\varepsilon = \Delta L/L$

Ἡ παραμόρφωση στὴ μηχανικὴ ὀρίζεται ὡς ὁ λόγος τῆς μεταβολῆς, ΔL , τοῦ μήκους ἑνὸς γραμμικοῦ τμήματος διὰ τοῦ ἀρχικοῦ μήκους, L . Δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L - L_0}{L}$$

ὅπου L εἶναι τὸ τελικὸ μῆκος τοῦ γραμμικοῦ τμήματος καὶ L_0 τὸ ἀρχικὸ μῆκος.

Ἡ παραμόρφωση ἀποτελεῖ κεντρικὸ στοιχεῖο στὴ μηχανικὴ τῶν παραμορφωσίμων σωμάτων.

4. Ἡλεκτρικὴ σταθερὰ ἢ διαπερατότητα

Ἡ διηλεκτρικὴ σταθερὰ ἢ ἠλεκτρικὴ διαπερατότητα εἶναι μία σταθερὰ τοῦ ὕλικου καὶ συμβολίζεται μὲ ε , ἐνῶ στὴν περίπτωσι ποὺ ἀναφέρεται στὸ κενὸ συμβολίζεται μὲ ε_0 ($\varepsilon_0 \approx 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{A}^2 \cdot \text{s}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}}{\text{F/m}}$ (Φαράντ ἀνὰ μέτρο)). Ἡ σταθερὰ ε ἀποτελεῖ μέτρο τῆς χωρητικότητας, ἢ ὁποῖα συναντᾶται ὅταν δημιουργεῖται ἠλεκτρικὸ πεδίο σὲ κάποιον μέσο, καὶ ὀρίζει τὸ ποσοστὸ τοῦ φορτίου ποὺ ἀπαιτεῖται γιὰ τὴ δημιουργία μιᾶς μονάδος ἠλεκτρικῆς ροῆς στὸ μέσο.

Στὸν ἠλεκτρομαγνητισμὸ τὸ πεδίο τῆς ἠλεκτρικῆς μετατοπίσεως D συνδέεται μὲ τὸ ἠλεκτρικὸ πεδίο E γιὰ ἰσότροπα ὕλικά μὲ τὴ σχέση:

$$D = \varepsilon E$$

Ἡ διηλεκτρικὴ σταθερὰ ε_0 ἐμφανίζεται στὸν νόμο τοῦ Κουλόμπ:

$$F_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

ὅπου F_C εἶναι ἡ δύναμη μεταξὺ δύο φορτίων q_1 καὶ q_2 , καὶ r ἡ μεταξὺ τους ἀπόστασις.

Ἡτα (η)

1. Δείκτης διαθλάσεως

Ὁ δείκτης διαθλάσεως ἑνὸς ὕλικου ἀποτελεῖ χαρακτηριστικὴ ποσότητα τοῦ ὕλικου καὶ ὀρίζεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\eta = \frac{v}{c}$$

όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό και v είναι η ταχύτητα του φωτός στο μέσο.

Ο δείκτης διαθλάσεως αποτελεί βασική ποσότητα στην οπτική.

Θήτα (θ)

1. Γωνία

Η γωνία που σχηματίζεται από μία συγκεκριμένη διεύθυνση και τον άξονα των x σε σύστημα πολικών, κυλινδρικών ή σφαιρικών συντεταγμένων συμβολίζεται με θ .

2. Άνηγγμένη μεταβολή του όγκου

Ορίζεται από τη σχέση:

$$\theta = \frac{\Delta V}{V}$$

όπου V είναι ο όγκος του σώματος.

Παριστᾶ τὴν ἀνηγγμένη μεταβολή του όγκου ενός σώματος όταν υπόκειται στην έπιβολή φορτίων. Έχει μεγάλη σημασία στη μηχανική των παραμορφωσίμων σωμάτων.

Ίωτα (I)

1. Τὸ μοναδιαῖο μητρῶο

Τὸ μοναδιαῖο μητρῶο στὸν μητρωικὸ λογισμὸ δίνεται σὲ μία, δύο ἢ τρεῖς ...διαστάσεις ἀπὸ τὴ σχέση:

$$I_1=1 \quad I_2=\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad I_3=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \dots$$

Κάππα (κ)

1. Καμπυλότητα

Καμπυλότητα είναι ένας αριθμός ο οποίος εκφράζει την απόκλιση μιᾶς επιφάνειας από το επίπεδο ή μιᾶς γραμμῆς από τὴν εὐθεία. Συμβολίζεται με τὸ γράμμα κ ἀπὸ τὴν ἑλληνικὴ λέξη «καμπυλότητα». Ὅρίζεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\kappa = \frac{1}{R}$$

ὅπου R εἶναι ἡ ἀκτίνα καμπυλότητος.

Ἡ καμπυλότητα τῆς καμπύλης $y = f(x)$ δίνεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$\kappa = \frac{|y''|}{(1+y'^2)^{3/2}}$$

ὅπου ὁ τόνος συμβολίζει τὴν πρώτη παράγωγο καὶ οἱ δύο τόνοι τὴ δεύτερη παράγωγο.

Λάμδα (λ)

1. Ἰδιοτιμές καὶ ἰδιοδιανύσματα

Οἱ ἰδιοτιμές καὶ τὰ ἰδιοδιανύσματα ἐμφανίζονται σὲ γραμμικοὺς μετασχηματισμοὺς στὴ γραμμικὴ ἄλγεβρα. Ἐὰν A εἶναι ἓνα μητρώο $n \times n$, ὁ ἀριθμὸς λ εἶναι μιὰ ἰδιοτιμὴ τοῦ A ἐὰν ὑπάρχει ἓνα μὴ μηδενικὸ διάνυσμα \mathbf{v} τέτοιο ὥστε:

$$A \mathbf{v} = \lambda \mathbf{v}$$

Τὸ διάνυσμα \mathbf{v} ὀνομάζεται ἰδιοδιάνυσμα τοῦ A πὸ ἀντιστοιχεῖ στὴν τιμὴ λ .

Ἡ ἀνωτέρω ἐξίσωση γράφεται ὡς ἐξῆς:

$$(A - \lambda I) \mathbf{v} = 0$$

ὅπου I εἶναι τὸ μοναδιαῖο μητρώο. Προκειμένου νὰ ικανοποιεῖται ἡ ἐξίσωση αὐτὴ γιὰ ἓνα μὴ μηδενικὸ διάνυσμα \mathbf{v} , πρέπει ἡ ὀρίζουσα τοῦ μητρώου $A - \lambda I$ νὰ εἶναι μηδέν. Οἱ ρίζες τῆς ἐξισώσεως αὐτῆς εἶναι οἱ ἰδιοτιμές τοῦ μητρώου A καὶ τὰ διανύσματα \mathbf{v} πὸ ἀντιστοιχοῦν στὶς ἰδιοτιμές λ εἶναι τὰ ἰδιοδιανύσματα τοῦ A .

2. Πολλαπλασιαστές Lagrange

Ἡ μέθοδος τῶν πολλαπλασιαστῶν Lagrange χρησιμοποιεῖται γιὰ τὴν εὕρεση τῶν τοπικῶν μεγίστων ἢ ἐλαχίστων μιᾶς συναρτήσεως πὺ ὑπόκειται σὲ περιορισμοὺς πὺ περιγράφονται ἀπὸ ἀντίστοιχες ἐξισώσεις. Οἱ πολλαπλασιαστές Lagrange συμβολίζονται μὲ λ . Χρησιμοποιοῦνται εὐρύτατα στὴ Μηχανικὴ τοῦ στερεοῦ σώματος.

3. Μῆκος κύματος

Εἶναι ἡ ἀπόσταση μεταξὺ δύο διαδοχικῶν σημείων τοῦ κύματος πὺ ἔχουν τὴν ἴδια φάση. Τὸ μῆκος κύματος ἐνὸς κύματος πὺ κινεῖται μὲ σταθερὴ ταχύτητα v δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

ὅπου f εἶναι ἡ συχνότης.

Στὴν περίπτωση ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων, ὅπως τὸ φῶς, ἡ ταχύτητα τοῦ κύματος εἶναι 3×10^8 m/s. Ἐτσι τὸ μῆκος κύματος ἐνὸς ραδιοκύματος μὲ συχνότητα 100 MHz εἶναι 3 m. Τὸ μῆκος κύματος τοῦ ὁρατοῦ φωτὸς κυμαίνεται ἀπὸ περίπου 700 nm (βαθὸ κόκκινο) σὲ 400 nm (βιολετί).

Ἡ ταχύτητα τοῦ ἤχου στὸν ἀέρα εἶναι 343 m/s. Τὸ μῆκος συχνοτήτων ἠχητικῶν κυμάτων πὺ γίνονται ἀντιληπτές ἀπὸ τὸ ἀνθρώπινο οὖς κυμαίνεται μεταξὺ 20 Hz καὶ 20 kHz, καὶ ἐπομένως τὸ ἀντίστοιχο μῆκος κύματος τοῦ ἤχου κυμαίνεται μεταξὺ 17 m καὶ 17 mm.

4. Σταθερὰ Lamé

Χρησιμοποιεῖται στὴ διατύπωση τοῦ νόμου τοῦ Hooke, ὁ ὁποῖος συνδέει τὶς τάσεις μὲ τὶς παραμορφώσεις γιὰ ἰσότροπα ὑλικά μὲ τὴ σχέση:

$$\boldsymbol{\sigma} = 2\mu\boldsymbol{\varepsilon} + \lambda \text{Tr}(\boldsymbol{\varepsilon}) \mathbf{I}$$

ὅπου $\boldsymbol{\sigma}$ εἶναι ὁ τανυστὴς τῆς τάσεως, $\boldsymbol{\varepsilon}$ εἶναι ὁ τανυστὴς τῆς παραμορφώσεως, \mathbf{I} εἶναι τὸ μοναδιαῖο μητρώο. Τὸ $\text{Tr}(\boldsymbol{\varepsilon})$ παριστᾷ τὸ ἄθροισμα τῶν στοιχείων τῆς κυρίας διαγωνίου τοῦ μητρώου τοῦ τανυστῆ τῶν παραμορφώσεων ($\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$).

Οἱ σταθερές Lamé λ καὶ μ χαρακτηρίζουν τὴ μηχανικὴ συμπεριφορὰ τοῦ ὑλικοῦ. Συνδέονται μὲ τὸ μέτρο ἐλαστικότητος καὶ τὸν λόγος Poisson τοῦ ὑλικοῦ.

Μὲ (μ)

1. Ἐνα ἑκατομμυριοστὸ (10^{-6})

Τὸ μ χρησιμοποιεῖται ὡς πρόθεμα στὸ μετρικὸ σύστημα γιὰ νὰ δηλώσει τὸν παράγοντα ἓνα ἑκατομμυριοστὸ (10^{-6}). Προέρχεται ἀπὸ τὴν ἑλληνικὴ λέξι μίκρος.

2. Συντελεστὴς τριβῆς

Ὅριζεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\mu = \frac{F_i}{F_n}$$

ὅπου F_i εἶναι ἡ δύναμη τριβῆς, ἡ ὁποία εἶναι παράλληλη πρὸς τὴν ἐπιφάνεια ἐπαφῆς δύο σωμάτων καὶ ἀντίθετη πρὸς τὴ διεύθυνση κινήσεως, καὶ F_n εἶναι ἡ κάθετη δύναμη πρὸς τὴν ἐπιφάνεια ἐπαφῆς ποὺ ἀσκεῖται ἀπὸ τὴ μία ἐπιφάνεια στὴν ἄλλη.

Ἡ τριβὴ ἔχει μεγάλη σημασία γιὰ τὴ ζωὴ μας. Χωρὶς τριβὴ θὰ ἦταν ἀδύνατο νὰ περπατήσουμε, ἓνα ὄχημα δὲν θὰ μπορούσε νὰ σταματήσει, μιὰ σκάλα θὰ ἦταν ἀδύνατο νὰ στηριχθεῖ μὲ ἀπλὴ ἐπαφὴ σὲ κατακόρυφο τοῖχο. Ἐκτὸς ὅμως ἀπὸ τὶς εὐεργετικὲς ἐπιδράσεις τῆς τριβῆς στὴ ζωὴ μας, σὲ πολλὲς περιπτώσεις τὰ ἀποτελέσματα τῆς τριβῆς εἶναι δυσμενῆ καὶ προσπαθοῦμε, ὅσο εἶναι δυνατό, νὰ τὰ ἐλαττώσουμε. Ἔτσι, σὲ μηχανολογικὲς π.χ. κατασκευές, στὶς ὁποῖες ἔχουμε μετάδοση τῆς κίνησης ἀπὸ ἓνα στοιχεῖο σ' ἓνα ἄλλο, οἱ δυνάμεις τριβῆς συντελοῦν στὴν ἀπώλεια ἐνέργειας, ἡ ὁποία καὶ μετατρέπεται σὲ θερμότητα.

Ὁ συντελεστὴς τριβῆς ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴ φύση τῶν ἐπιφανειῶν τῶν δύο σωμάτων ποὺ βρίσκονται σὲ ἐπαφὴ καὶ παίρνει τιμὲς 0.15-0.50 ὅταν οἱ δύο ἐπιφάνειες εἶναι ἀπὸ μέταλλο, 0.30-0.60 ὅταν ἔχουμε δέρμα καὶ ξύλο ἢ 0.03 ὅταν ἔχουμε μέταλλο καὶ πάγο.

3. Δυναμικὸ διατμητικὸ ἰξῶδες

Τὸ ἰξῶδες μ ἑνὸς ὑγροῦ ἀποτελεῖ μέτρηση τῆς ἀντιστάσεώς του σὲ σταδιακὴ παραμόρφωσή του λόγῳ διατμητικῆς τάσεως. Ἐκφράζεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

ὅπου τ εἶναι ἡ διατμητικὴ τάση καὶ u ἡ ταχύτητα κατὰ τὴ διεύθυνση y.

Τὸ ἰξῶδες παριστᾷ τὴν ιδιότητα ἑνὸς ὑγροῦ νὰ ἀντιτίθεται στὴ σχετική κίνηση μεταξὺ ἐπιφανειῶν του, οἱ ὁποῖες κινοῦνται μὲ διαφορετικὰς ταχύτητες. Τὸ ἰξῶδες παριστᾷ τὴν τριβὴν μεταξὺ τῶν μορίων τοῦ ὑγροῦ. Ὅλα τὰ ὑγρά εἶναι ἰξῶδη. Μηδενικὸ ἰξῶδες ἐμφανίζεται σὲ ἰδανικὰ ὑγρά σὲ πολὺ χαμηλὰς θερμοκρασίαις.

4. Μαγνητικὴ διαπερατότητα

Ἡ μαγνητικὴ διαπερατότητα ὀρίζεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

ὅπου \mathbf{H} εἶναι ἡ ἔνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου καὶ \mathbf{B} εἶναι ἡ ἔνταση τῆς μαγνητικῆς ροῆς ποὺ δημιουργεῖται στὸ ὑλικὸ ἀπὸ τὸ μαγνητικὸ πεδίο.

Γιὰ ἰσότροπα ὑλικά τὸ μ εἶναι βαθμωτὸ μέγεθος, ἐνῶ γιὰ ἀνισότροπα ὑλικά εἶναι τανυστὴς δευτέρας τάξεως.

5. Σταθερὰ Lamé μ

Ὅριστηκε ἀνωτέρω ἀπὸ κοινοῦ μὲ τὴ σταθερὰ Lamé λ .

6. Μέτρο διατμήσεως

Ὅρίζεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma}$$

ὅπου τ εἶναι ἡ διατμητικὴ τάση καὶ γ ἡ διατμητικὴ παραμόρφωση.

Τὸ μέτρο διατμήσεως χαρακτηρίζει τὴ συμπεριφορὰ τοῦ ὑλικοῦ στὴν ἐπιβολὴ διατμητικῶν φορτίων καὶ ἀποτελεῖ σταθερὰ τοῦ ὑλικοῦ. Συνδέεται μὲ τὸ μέτρο ἐλαστικότητος καὶ τὸν λόγον Poisson τοῦ ὑλικοῦ.

$N_i(\nu)$

1. Συχνότητα

Εἶναι ὁ ἀριθμὸς τῶν ἐπαναλήψεων ἑνὸς ἐπαναλαμβανομένου φαινομένου στὴ μονάδα τοῦ χρόνου. Μετρᾶται σὲ Hertz (ἀντίστροφο τοῦ δευτερολέπτου, s^{-1}). Συνδέεται μὲ τὴν περίοδο τοῦ φαινομένου T , ποὺ μετρᾶται σὲ δευτερόλεπτα (s), μὲ τὴν σχέση:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

2. Λόγος Poisson

Είναι ή απόλυτος τιμή του λόγου της εγκαρσίας παραμορφώσεως ενός δοκιμίου υποκειμένου σε μονοαξονικό έφελκυσμό ή θλίψη προς την άξονική παραμόρφωση. Είναι άδιάστατο μέγεθος και έχει θετική τιμή. Δίνεται από τη σχέση:

$$\nu = \frac{d\varepsilon_y}{d\varepsilon_x}$$

όπου $d\varepsilon_y$ είναι ή εγκάρσια παραμόρφωση και $d\varepsilon_x$ είναι ή άξονική παραμόρφωση.

Αποτελεϊ σταθερά του υλικού. Για ισότροπα υλικά κυμαίνεται μεταξύ 0 και 0.5.

Πì (π)

1. Τελεστής γινομένου

Όρίζεται από τη σχέση:

$$\prod_{i=m}^n x_i = x_m \cdot x_{m+1} \cdot x_{m+2} \cdot \dots \cdot x_{n-1} \cdot x_n$$

Τò κάτω όριο $i = m$ του Π δίνει τον πρώτο όρο του γινομένου, ενώ τò άνω όριο n τόν τελευταίο όρο.

$$\text{Π.χ. } \prod_{i=1}^6 i = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 = 720$$

2. Η σταθερά του Αρχιμήδη

Ό αριθμός π όρίζεται ως ό λόγος του μήκους της περιφέρειας ενός κύκλου προς τη διάμετρό του. Ό συμβολισμός του προέρχεται από τò αρχικό γράμμα της λέξεως «περιφέρεια». Ό αριθμός π έχει άπειρα ψηφία.

Ό καθηγητής μαθηματικών του Πανεπιστημίου Άθηνών Ν. Χατζηδάκης (1872-1942) συνέθεσε την ακόλουθη φράση για τὰ πρώτα 22 δεκαδικά ψηφία του π . Τò πλήθος τών γραμμάτων κάθε λέξης δηλώνει τò αντίστοιχο ψηφίο του π .

Αεὶ ὁ Θεὸς ὁ Μέγας γεωμετρεῖ,	3 1 4 1 5 9
τὸ κύκλου μῆκος ἵνα ὀρίσῃ διαμέτρῳ,	2 6 5 3 5 8
παρήγαγεν ἀριθμὸν ἀπέραντον,	9 7 9
καὶ ὄν, φεῦ,	
οὐδέποτε ὄλον θνητοὶ θὰ εὔρωσι.	3 2 3 8 4 6 2 6

Ὁ ἀριθμὸς π ἐμφανίζεται σὲ πολλοὺς τύπους τῶν μαθηματικῶν καὶ τῆς φυσικῆς. Μὲ τὴ χρήση ὑπολογιστῶν ἔχουν ὑπολογιστεῖ τρισεκατομύρια ψηφία τοῦ π.

Ρῶ (ρ)

1. Πυκνότης

Ἡ πυκνότης, ρ, μιᾶς οὐσίας εἶναι ἡ μάζα της ἀνὰ μονάδα ὄγκου. Δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

ὅπου M εἶναι ἡ μάζα καὶ V ὁ ὄγκος.

Ἡ πυκνότης ἀποτελεῖ σταθερὰ τοῦ ὑλικοῦ καὶ εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὴ θέση του στὸ πεδίο βαρύτητος.

2. Εἰδικὴ ἠλεκτρικὴ ἀντίσταση

Ἀποτελεῖ χαρακτηριστικὴ ιδιότητα τοῦ ὑλικοῦ, ἡ ὁποία ὀρίζει τὴν ἀντίσταση ποὺ προβάλλει τὸ ὑλικὸ στὴ ροὴ ἠλεκτρικοῦ ρεύματος. Γιὰ τὴν περίπτωσι ράβδου μήκους l καὶ διατομῆς A ὀρίζεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωσι:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

ὅπου R εἶναι ἡ ἠλεκτρικὴ ἀντίσταση τοῦ ὑλικοῦ καὶ ρ ἡ εἰδικὴ ἠλεκτρικὴ ἀντίσταση.

Στὸ διεθνὲς σύστημα SI ἔχει μονάδες *ohm.metre* ($\Omega.m$).

Σίγμα (σ)

1. Σύμβολο ἀθροίσματος

Παριστᾶ τὸ ἄθροισμα μιᾶς διαδοχῆς ἀριθμῶν. Π.χ.

$$\sum_1^{100} i = 1+2+3+\dots+100$$

2. Όρθή (κάθετη) τάση στη μηχανική

Όρίζεται από τη σχέση:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

όπου F είναι η δύναμη που είναι κάθετη στην επιφάνεια και A η επιφάνεια στην οποία ασκείται η δύναμη.

3. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Όρίζεται ως το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντιστάσεως, ρ , από τη σχέση:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Μετρά την ικανότητα του υλικού να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα και αποτελεί σταθερά του υλικού.

Ταῦ (τ)

1. Στρεπτική ροπή

Η στρεπτική ροπή τ δύναμης F ως προς σημείο ορίζεται από το εξωτερικό γινόμενο:

$$\tau = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

όπου \mathbf{r} είναι το διάνυσμα της απόστασης του σημείου από οποιοδήποτε σημείο του άξονος τῆς δυνάμεως F .

2. Διατμητική τάση

Είναι η συνιστώσα του διανύσματος τῆς τάσεως ἐπὶ τοῦ ἐπιπέδου τῆς διατομῆς. Προκύπτει ἀπὸ τῆ συνιστώσα τοῦ διανύσματος τῆς δυνάμεως F πὺ εἶναι παράλληλη πρὸς τῆ διατομῆ και δίνεται ἀπὸ τῆ σχέση:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

όπου A είναι η επιφάνεια τῆς διατομῆς.

3. Πρωτεΐνη

Με τ συμβολίζεται πρωτεΐνη που σχετίζεται με ασθένειες του νευρικού συστήματος, όπως Alzheimer's και Parkinson's.

Υψίλον (Υ)

1. 10^{24}

Χρησιμοποιείται ως πρόθεμα στο μετρικό σύστημα για να δηλώσει τον παράγοντα 10^{24} .

Συνήθη παραδείγματα:

- Η μάζα της γης είναι 5,972.6 Υg
- Η μάζα των ωκεανών είναι περίπου 1.4 Υg
- Η ολική έξερχομένη ενέργεια του ήλιου είναι περίπου 385 ΥW
- Η διάμετρος του διαστήματος που παρατηρούμε εκτιμάται σε 880 Υm.

Φι (φ)

1. Μαγνητική ροή

Η μαγνητική ροή Φ_B μέσω μιᾶς επιφάνειας είναι ανάλογη με τον αριθμό των μαγνητικών γραμμών που περνούν μέσω της επιφάνειας αυτής. Εάν το μαγνητικό πεδίο είναι σταθερό, ή μαγνητική ροή μέσω μιᾶς επιφάνειας δίνεται από το έσωτερικό γινόμενο:

$$\Phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = B.S \cos\theta$$

όπου \mathbf{B} (Wb/m², Tesla) είναι το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου, \mathbf{S} είναι το έμβαδόν της επιφάνειας και θ ή γωνία μεταξύ του \mathbf{B} και της καθέτου στην επιφάνεια.

Για μεταβλητό μαγνητικό πεδίο δίνεται από το διπλό ολοκλήρωμα στην επιφάνεια \mathbf{S} .

$$\Phi_B = \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

2. Ό χρυσός λόγος

Δύο θετικοί αριθμοί a και b ($a, b > 0$) ικανοποιούν τον χρυσό λόγο ϕ όταν ο λόγος τους είναι ίσος με τον λόγο του άθροισματός τους και της μεγαλύτερης από τις δύο ποσότητες.

Με $a > b$, έχουμε τή συνθήκη:

$$\varphi = \frac{a+b}{a} = \frac{a}{b}$$

όποτε:

$$\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1,6180339887\dots$$

Οι ιδιότητες του χρυσού λόγου πρώτα μελετήθηκαν από τον Ευκλείδη. Ο χρυσός λόγος εμφανίζεται σε όρισμένα πρότυπα στη φύση και χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση αναλογιών σε φυσικά αντικείμενα. Καλλιτέχνες και αρχιτέκτονες όπως ο Dalí και ο Le Corbusier έδωσαν αναλογίες στα έργα τους που προσεγγίζουν τον χρυσό λόγο, θεωρώντας ότι η αναλογία αυτή είναι αισθητικώς ευχάριστη.

3. Γωνία

Χρησιμοποιείται για τον συμβολισμό γωνίας σε σύστημα καρτεσιανών, πολικών, κυλινδρικών ή σφαιρικών συντεταγμένων.

Ωμέγα (Ω , ω)

1. Μονάδα μετρήσεως της ηλεκτρικής αντίστασεως

Το Ω αποτελεί μονάδα μετρήσεως της ηλεκτρικής αντίστασεως στο σύστημα SI ($\Omega\mu$). Ορίζεται ως η ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ δύο σημείων ενός αγωγού όταν ένα σταθερό δυναμικό 1 V (βόλτ) μεταξύ των σημείων αυτών παράγει ρεύμα 1 A (άμπέρ).

$$\Omega = \frac{V}{A}$$

2. Γωνιακή ταχύτητα

Γωνιακή ταχύτητα είναι η μεταβολή της γωνίας, φ , αναφορικά με τον χρόνο, t . Δίνεται από την εξίσωση:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

3. Γωνιακή συχνότητα στη θεωρία τῶν ταλαντώσεων

Θεωροῦμε ἐλατήριο στὸ ὁποῖο ἐπιβάλλουμε δύναμη ἢ ὁποία εἶναι ἀνάλογη μὲ τὴ μετακίνησή του. Ἡ γωνιακὴ συχνότης τῆς κινήσεως δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

ὅπου k εἶναι ἡ σταθερὰ τοῦ ἐλατηρίου καὶ m ἡ μάζα τοῦ σώματος.

4. Γωνία

Χρησιμοποιεῖται γιὰ τὸν συμβολισμό γωνίας.

Ἐπίλογος

Ἄντι ἐπιλόγου θὰ παραθέσω ἀποσπάσματα διακεκριμένων λογοτεχνῶν γιὰ τὴν ἑλληνικὴ γλῶσσα.

Κικέρων: «Εἰ θεοὶ διαλέγονται τῇ τῶν Ἑλλήνων γλώττῃ χρῶνται».

Διονύσιος Σολωμός: «Μήγαρις ἔχω ἄλλο στὸ νοῦ μου πάρεξ ἐλευθερία καὶ γλῶσσα;»

Κωστῆς Παλαμᾶς: «Γιὰ τὴ μητέρα γλῶσσα μας τὰ λάβαρα κρατῆστε», («Ὡ γλῶσσα τῆς Ρωμισσύνης, ὦ νικήτρια τοῦ θανάτου»).

Κωνσταντῖνος Καβάφης: «Καὶ τὴν Κοινήν Ἑλληνικὴ Λαλιὰ ὡς μέσα στὴν Βακτριανὴ τὴν πήγαμεν, ὡς τοὺς Ἴνδους».

Γιῶργος Σεφέρης: «Ἀπὸ τὴν ἐποχὴ ποὺ μίλησε ὁ Ὅμηρος ὡς τὰ σήμερα, μιλοῦμε, ἀνασαίνουμε καὶ τραγουδοῦμε μὲ τὴν ἴδια γλῶσσα».

Ὀδυσσεύς Ἐλύτης: «Μὴν ξεχνᾶτε τὴν πατρίδα μας, καὶ πρὸ παντός, τὴ γλῶσσα μας... Εἴμαστε οἱ μόνοι σ' ὀλόκληρη τὴν Εὐρώπη ποὺ ἔχουμε τὸ προνόμιο νὰ λέμε τὸν οὐρανὸ "οὐρανὸ" καὶ τὴ θάλασσα "θάλασσα" ὅπως τὴν ἔλεγε ὁ Ὅμηρος καὶ ὁ Πλάτωνας πρὶν δυόμισι χιλιάδες χρόνια... Ἡ γλῶσσα δὲν εἶναι μόνον ἓνα μέσον ἐπικοινωνίας. Κουβαλαίει τὴν ψυχὴ τοῦ λαοῦ μας καὶ ὅλη του τὴν ἱστορία καὶ ὅλη του τὴν εὐγένεια» (ἀπὸ ὀμιλία του στοὺς Ἑλληνας τῆς Στοκχόλμης μετὰ τὴν ἀπονομὴ τοῦ βραβείου Νόμπελ).

«Τὴ γλῶσσα μοῦ ἔδωσαν ἑλληνικὴ. Τὴ γλῶσσα μοῦ ἔδωσαν ἑλληνικὴ, τὸ σπῆτι φτωχικὸ στὶς ἀμμουδιές τοῦ Ὀμήρου... Μονάχη ἔγνοια ἡ γλῶσσα μου στὶς ἀμμουδιές τοῦ Ὀμήρου... Μονάχη ἔγνοια ἡ γλῶσσα μου, μὲ τὰ

πρῶτα-πρῶτα Δόξα Σοι!.. Μονάχη ἔγνοια ἡ γλῶσσα μου, μέ τὰ πρῶτα λόγια τοῦ Ὑμνου!...) (Ἄξιόν Ἔστι).

Νικηφόρος Βρεττάκος: «Όταν κάποτε φύγω ἀπό τοῦτο τὸ φῶς θὰ ἐλιχθῶ πρὸς τὰ πάνω ὅπως ἓνα ρυακάκι πού μουρμουρίζει. Κι ἂν τυχόν κάπου ἀνάμεσα στοὺς γαλάζιους διαδρόμους συναντήσω ἀγγέλους, θὰ τοὺς μιλήσω ἑλληνικά, ἐπειδὴ δὲν ξέρουνε γλῶσσες. Μιλᾶνε μεταξύ τους μέ μουσική».

Francisco Adrados (γλωσσολόγος): «Ἡ Ἑλληνική καὶ ἡ Κινεζική εἶναι οἱ μόνες γλῶσσες μέ συνεχή ζωσα παρουσία ἀπὸ τοὺς ἴδιους λαοὺς καὶ... στὸν ἴδιο χῶρο ἐδῶ καὶ 4.000 ἔτη. Ὅλες οἱ γλῶσσες θεωροῦνται κρυφοελληνικές, μέ πλούσια δάνεια ἀπὸ τὴ μητέρα τῶν γλωσσῶν, τὴν Ἑλληνική».

Κική Δημουλά: «Σὲ προσκυνῶ, γλῶσσα, πολλὰ τὰ θαύματά σου... Ἀμέτρητα τὰ θαύματά σου...»

Ἅγιος Παΐσιος ὁ Ἁγιοριτίης: «Τὸ δόγμα τῆς πίστεώς μας καμιὰ γλῶσσα δὲν μπορεῖ νὰ τὸ ἀποδώσει... Ἄν δὲν ξέρει ἀρχαῖα ἑλληνικά κανεῖς, καὶ ἀσχολεῖται μέ τὸ δόγμα, μπορεῖ νὰ πλανηθεῖ».

Καὶ θὰ τελειώσω μέ τὸ ποίημα τοῦ Καβάφη «Ποσειδωνιάται», τὸ ὁποῖο εἶναι ἐνδεικτικὸ τῆς σημασίας τῆς γλώσσης στὴν ταυτότητα ἑνὸς λαοῦ. Τὸ ποίημα αὐτὸ συνέθεσε ὁ Καβάφης βασιζόμενος στὸ κατωτέρω χωρίο τοῦ ἱστορικοῦ Ἀθήναιου:

«Ποσειδωνιάταις τοῖς ἐν τῷ Τυρρηρικῷ κόλπῳ τὸ μὲν ἐξ ἀρχῆς Ἑλληνισιν οὖσιν ἐκβαρβαρῶσθαι Τυρρηνοῖς ἢ Ρωμαίοις γεγονόσι καὶ τὴν τε φωνὴν μεταβεβλημέναι, τὰ τε πολλὰ τῶν ἐπιτηδευμάτων, ἄγειν δὲ μίαν τινα αὐτοῦς τῶν ἑορτῶν τῶν Ἑλλήνων ἔτι καὶ νῦν, ἐν ἧ συνιόντες ἀναμιμνήσκονται τῶν ἀρχαίων ὀνομάτων τε καὶ νομίμων, ἀπολοφυράμενοι πρὸς ἀλλήλους καὶ δακρύσαντες ἀπέρχονται».

Ποσειδωνιάται

*Τὴν γλῶσσα τὴν ἑλληνική οἱ Ποσειδωνιάται
ἐξέχασαν τόσους αἰῶνας ἀνακατευμένοι
μέ Τυρρηνοὺς, καὶ μέ Λατίνους, κι ἄλλους ξένους.
Τὸ μόνο πού τοὺς ἔμενε προγονικὸ
ἦταν μιὰ ἑλληνική γιορτή, μέ τελετές ὠραῖες,
μέ λύρες καὶ μέ αὐλοὺς, μέ ἀγῶνας καὶ στεφάνους.
Κ' εἶχαν συνήθειο πρὸς τὸ τέλος τῆς γιορτῆς*

τὰ παλαιὰ τους ἔθιμα νὰ διηγῶνται,
καὶ τὰ ἑλληνικὰ ὀνόματα νὰ ξαναλένε,
ποὺ μόλις πιά τὰ καταλάμβαναν ὀλίγοι.
Καὶ πάντα μελαγχολικὰ τελείων' ἡ γιορτὴ τους.
Γιατὶ θυμοῦνταν ποὺ κι αὐτοὶ ἦσαν Ἕλληνες –
Ἰταλιῶται ἓναν καιρὸ κι αὐτοί·
καὶ τώρα πῶς ἐξέπεσαν, πῶς ἔγιναν,
νὰ ζοῦν καὶ νὰ ὀμιλοῦν βαρβαρικὰ
βγαλμένοι –ὦ συμφορά!– ἀπ' τὸν Ἑλληνισμό.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 11ΗΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2018

ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ ΚΥΡΙΑΣ ΛΥΔΙΑΣ ΚΑΒΡΑΚΗ

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΕΔΡΟ
κ. ΑΝΤΩΝΙΟ ΚΟΥΝΑΔΗ

Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ὑποδέχεται σήμερα μὲ ἰδιαίτερη τιμὴ τὴν καθηγήτρια κυρία Λύδια Καβράκη, τὴν ὁποία ἡ Ὀλομέλεια ἐξέλεξε ἀντεπισταλλον μέλος κατὰ τὸ ἔτος 2017 ἀπὸ ἐπιστήμονες τοῦ ἐξωτερικοῦ στὴν Τάξη τῶν Θετικῶν Ἐπιστημῶν, στὸν κλάδο τῆς «Ἐπιστήμης τῶν Ὑπολογιστῶν – Ἐμβιομηχανικῆς».

Ἡ καθηγήτρια κυρία Λύδια Καβράκη τελείωσε τὶς προπτυχιακὲς τῆς σπουδὲς στὸ Πανεπιστήμιο τῆς Κρήτης τὸ 1989 καί, στὴ συνέχεια, ὀλοκλήρωσε τὶς μεταπτυχιακὲς τῆς σπουδὲς στὸ Πανεπιστήμιο Stanford τῶν ΗΠΑ. Σήμερα εἶναι καθηγήτρια στὴν ἔδρα Noah Harding, στὰ Τμήματα Ἐπιστήμης Ὑπολογιστῶν καὶ Ἐμβιομηχανικῆς (Bioengineering) τοῦ Πανεπιστημίου Rice, στὸ Χιούστον τοῦ Τέξας. Μὲ τὴν ιδιότητά της ὡς Προέδρου τοῦ Κέντρου Keck ἔχει τὴν ἐποπτεία τῆς ἐκπαίδευσης καὶ τῆς ἔρευνας στὶς ἐφαρμοσμένες ἐπιστῆμες Ὑγείας στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Rice καὶ σὲ ἕξι ἀκόμα ἰδρύματα στὴν περιοχή τοῦ Χιούστον.

Ἡ κυρία Καβράκη εἶναι μέλος σὲ Ἀκαδημίες καὶ Ὄργανισμοὺς παγκόσμιας ἐμβέλειας, ὅπως ἡ Ἐθνικὴ Ἀκαδημία Ἰατρικῆς τῶν ΗΠΑ καὶ τὸ American Institute for Medical and Biological Engineering. Ἡ ἐπιστημονικὴ καὶ ἀκαδημαϊκὴ προσφορά της ἔχει ἀναγνωρισθεῖ καὶ τιμηθεῖ μὲ πολλὰ βραβεῖα, ἐνῶ ἡ ἔρευνητικὴ της δουλειὰ ἔχει υἱοθετηθεῖ εὐρέως ἀπὸ τὴ διεθνή ἀκαδημαϊκὴ κοινότητα. Τέλος, πλούσιο εἶναι καὶ τὸ συγγραφικὸ

ἔργο της, μὲ περισσότερα ἀπὸ 230 ἄρθρα σὲ ἐπιστημονικὰ περιοδικὰ καὶ πρακτικὰ συνεδρίων. Ἰδιαίτερη μνεῖα πρέπει νὰ γίνῃ στὸ γεγονός ὅτι εἶναι συγγραφέας ἑνὸς βιβλίου-ἑρώσημο στὸν τομέα τῆς ρομποτικῆς μὲ τίτλο *Ἀρχές τῆς Ρομποτικῆς Κίνησης (Principles of Robot Motion)*, τὸ ὁποῖο ἐξέδωσε τὸ MIT.

Κυρία Καβράκη,

Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν σᾶς καλωσορίζει ἀπόψε μὲ ἰδιαίτερη τιμὴ καὶ εὐχαρίστηση καὶ σᾶς ἀπευθύνει θερμὲς εὐχὲς γιὰ τὴν ἐπιτυχή συνέχιση τοῦ ἔργου σας.

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

Παρακαλῶ τὸν ἀκαδημαϊκὸ κ. Ἀθανάσιο Φωκᾶ ὅπως προσέλθῃ στὸ βῆμα καὶ παρουσιάσῃ τὸ ἔργο καὶ τὴν προσωπικότητα τῆς νέας συναδέλφου.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ
κ. ΑΘΑΝΑΣΙΟ ΦΩΚΑ

Εὐχαριστῶ τὴ Σύγκλητο τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν γιὰ τὴν ἀνάθεση τῆς παρουσίας τοῦ ἔργου καὶ τῆς προσωπικότητας τοῦ νέου ἀντεπιστέλλοντος μέλους της, καθηγήτριας κυρίας Λύδιας Καβράκη.

Ἀγαπητὴ φίλη Λύδια, αὐτὴ ἡ ἀνάθεση ἀποτελεῖ γιὰ μένα ἰδιαίτερη τιμὴ ἀλλὰ καὶ συγχρόνως πηγὴ εὐδαιμονίας.

Ἡ κυρία Καβράκη γεννήθηκε στὴν Κρήτη τὸ 1967. Κατὰ συνέπεια, εἶναι τὸ νεότερο σὲ ἡλικία μέλος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν. Ἐλαβε τὸ πτυχίον τῆς Ἐπιστήμης τῶν Ὑπολογιστῶν ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιον Κρήτης τὸ 1989 καὶ διδακτορικὸν δίπλωμα τὸ 1995 ἀπὸ τὸ Τμῆμα Ἐπιστήμης Ὑπολογιστῶν τοῦ Πανεπιστημίου Stanford τῶν ΗΠΑ. Διετέλεσε ἐρευνητικὴ συνεργάτις τοῦ ἰδίου Πανεπιστημίου γιὰ δύο χρόνια καί, ἀμέσως μετὰ, ἐνετάχθη στὴν ἀκαδημαϊκὴ κοινότητα τοῦ γνωστοῦ Πανεπιστημίου Rice, στὸ Χιούστον τοῦ Τέξας. Ἀπὸ τὸ 2004 εἶναι καθηγήτρια στὴν ἑδρα Noah Harding, στὸ Τμῆμα τῆς Ἐπιστήμης τῶν Ὑπολογιστῶν καὶ Ἐμβιομηχανικῆς (Bioengineering) τοῦ ἀνωτέρου Πανεπιστημίου. Ἐπίσης, διδάσκει καὶ συνεργάζεται μὲ τὸ Τμῆμα Ἠλεκτρολόγων καὶ Μηχανικῶν Ὑπολογιστῶν καί, στὸ Rice, μὲ τὸ Τμῆμα Μηχανολόγων Μηχανικῶν. Ἀπὸ τὸ 1996 εἶναι Πρόε-

δρος του Κέντρου KECK, το οποίο αποτελεί τμήμα του GULF COAST CON-SORTIA, ενός σημαντικού οργανισμού για τη διαπανεπιστημιακή συνεργασία μεγάλου αριθμού Ίδρυμάτων για θέματα υγείας. Με αυτήν την ιδιότητα έποπτεύει διάφορες συνεργασίες εκπαίδευσης και έρευνας σε θέματα υγείας, ανάμεσα στο Πανεπιστήμιο του Rice και σε έξι ακόμα Ίδρύματα στο Χιοϋστον.

Το εϋρος των έρευνητικών δραστηριοτήτων της κυρίας Καβράκη είναι έντυπωσιακό. Όντως, είναι μία από τις κορυφαίες παγκοσμίως έρευνήτριες στις ακόλουθες περιοχές: στη ρομποτική, στη βιοπληροφορική και στην ύπολογιστική δομική βιολογία.

Ρομποτική

Σ' αυτήν την εξαιρετικά σημαντική από πλευράς εφαρμογών περιοχή, ή κυρία Καβράκη έχει αναπτύξει μια ένοποιημένη θεωρία για την επίλυση ποικίλων προβλημάτων. Ίδιαίτερα, εισήγαγε μια νέα γενιά αλγορίθμων για τον σχεδιασμό κίνησης ρομπότ, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον αλγόριθμο Probabilistic Roadmap Method. Αυτή ή μέθοδος βασίζεται στη δειγματοληψία του χώρου και συνδυάζει την τυχαιότητα με τοπικές γεωμετρικές τεχνικές. Η μέθοδος ύπολογίζει μονοπάτια που μπορεί να ακολουθήσει ένα ρομπότ για να εκτελέσει ένα συγκεκριμένο έργο, αποφεύγοντας παράλληλα τις συγκρούσεις με το περίπλοκο περιβάλλον στο οποίο κινείται. Η αρχική δημοσίευση της μεθόδου το 1996 στο περιοδικό *Transactions on Robotics and Automation* έχει περισσότερες από 4.500 αναφορές. Με αυτόν τον αλγόριθμο, αλλά και τις μετέπειτα έργασίες της, ή καθηγήτρια κυρία Καβράκη έχει έδραιώσει μια νέα έρευνητική κατεύθυνση για τον σχεδιασμό κίνησης ρομπότ. Αυτή ή κατεύθυνση είναι, πλέον, κυρίαρχη σε αυτόν τον τομέα. Για παράδειγμα, ύπάρχουν θεματικές ένότητες σε κορυφαία συνέδρια ρομποτικής, οι οποίες είναι εξ ολοκλήρου αφιερωμένες σε μεθόδους σχετικές με την Probabilistic Roadmap Method. Η άνωτέρω μεθοδολογία έχει υιοθετηθεί τόσο από την ακαδημαϊκή κοινότητα όσο και από τον χώρο της βιομηχανίας. Η κυρία Καβράκη έχει αποδείξει πως οι αρχές στις οποίες βασίζεται ή μέθοδος της μπορούν να επεκταθούν από καθαρά γεωμετρικά προβλήματα σε προβλήματα που συμπεριλαμβάνουν κινηματικούς και δυναμικούς περιορισμούς, καθώς και περιορισμούς λόγω των φυσικών ιδιοτήτων και της ύψηλης διάστασης των χώρων λύσεων. Έχει έργασθει σε

πλήθος προβλημάτων, από τον σχεδιασμό κίνησης για μικρά ρομπότ μέχρι την πρόσδεση διαστημοπλοίων στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό. Αυτή την περίοδο, εργάζεται σε συνεργασία με τη NASA στον σχεδιασμό κίνησης του ανθρωποειδούς ρομπότ Robonaut 2. Το ρομπότ αυτό έχει 31 βαθμούς ελευθερίας, και αυτό καθιστά τον σχεδιασμό της κίνησής του ένα άκρως απαιτητικό πρόβλημα. Η κυρία Καβράκη αναπτύσσει αλγορίθμους που συνδυάζουν δειγματοληψία χώρου με μηχανική μάθηση και βελτιστοποίηση, με στόχο το Robonaut 2 να εξελιχθεί σε ρομπότ-βοηθό για διαστημικές αποστολές.

Οι εφαρμογές των ανωτέρω μεθόδων έχουν πολύ μεγάλες δυνατότητες. Για παράδειγμα, η κυρία Καβράκη έχει ασχοληθεί με τον διαχωρισμό αντικειμένων χρησιμοποιώντας ρομποτικούς βραχίονες, καθώς επίσης και με τον διαχωρισμό πολύ μικρών αντικειμένων χρησιμοποιώντας μικροηλεκτρονικές συσκευές.

Από το 2017, ηγείται της ομάδος του Rice που συμμετέχει στο νεοϊδρυθέν Ίνστιτούτο Έξελιγμένης Ρομποτικής Βιομηχανίας, το οποίο προσφάτως έχρηματοδοτήθη με το ποσόν των 250 εκατομμυρίων δολαρίων από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ. Η σχετική έρευνα της κυρίας Καβράκη αφορά την αυτοματοποίηση της μεταποίησης και συναρμολόγησης στη βιομηχανία.

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στη ρομποτική είναι η ασφάλεια και η αξιοπιστία των σχετικών ρομποτικών συστημάτων. Προς αυτήν την κατεύθυνση η κυρία Καβράκη έχει αναπτύξει αλγορίθμους για τον έλεγχο μοντέλων, καθώς και συγκεκριμένες μεθόδους επαλήθευσης, με τελικό στόχο την κατασκευή συνεργατικών ρομπότ, δηλαδή ρομπότ που θα ενεργούν ως βοηθοί για επαναλαμβανόμενες, επικίνδυνες και σωματικά απαιτητικές εργασίες.

Βιοπληροφορική και υπολογιστική δομική βιολογία

Ένα από τα θεμελιώδη προβλήματα της επιστήμης των υπολογιστών είναι το ακόλουθο: Πώς επιτυγχάνεται αναζήτηση σε έναν χώρο μεγάλου αριθμού διαστάσεων; Η κυρία Καβράκη, συνδυάζοντας γεωμετρία και φυσική, έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο σχετικά με το ανωτέρω ερώτημα. Χρησιμοποιώντας λίαν πρωτότυπες μεθόδους, έχει μελετήσει το βασικό πρόβλημα των τρισδιάστατων μορφών βιομορίων. Ήταν μία από τις

πρώτες έρευνήτριες που πρότειναν την εφαρμογή μεθόδων από το πεδίο τής ρομποτικής στην ανάλυση τής χωροταξικής δομής τών πρωτεϊνών για τόν σχεδιασμό φαρμάκων. Με αυτόν τόν τρόπο έγκαινάσθηκε μιá νέα κατεύθυνση έρευνας για τήν ανακάλυψη θεραπευτικῶν ούσιων.

Πιο συγκεκριμένα, έχει αναπτύξει μιá μέθοδο ή όποια κατασκευάζει ύπολογιστικά ένα σύνολο χωροταξικῶν δομῶν που χαρακτηρίζουν μιá πρωτεΐνη σε φυσιολογικές συνθήκες, έμπεριέχοντας δομές που προκύπτουν από κινήσεις τής πρωτεΐνης σε διαφορετικούς χρονικούς όρίζοντες. Αυτές οι δομές είναι βασικής σημασίας για τήν κατανόηση τής λειτουργίας τών πρωτεϊνῶν και μέχρι πρόσφατα ήταν διαθέσιμες μόνον μέσω πειραματικῶν μεθόδων. Η έρευνά της χρησιμοποιεΐται για τή λειτουργική έπισήμανση πρωτεϊνῶν και συμπεριλαμβάνεται στη λίστα *Faculty of 1000 Biology*, μιá λίστα από προτεινόμενες δημοσιεύσεις οι όποϊες έχουν επιλεγεί από κορυφαίους βιοεπιστήμονες. Η δρ. Καβράκη μελετá τήν εύκαμψία πολύ μεγάλων βιομορίων, εισάγοντας καινοτόμους μεθόδους αναζήτησης, και επίσης στατιστική ανάλυση και έπεξεργασία ύπολογιστικά απαιτητικῶν δεδομένων. Οι τεχνικές της έχουν εφαρμοστεί στη μελέτη του συστήματος του συμπληρώματος, τó όποιο ως γνωστόν παΐζει σημαντικό ρόλο για τήν έμφυτη άνοσία και είναι στόχος πολλῶν φαρμάκων.

Τέλος, πρέπει νά σημειωθεί ότι ή κυρία Καβράκη έχει μοντελοποιήσει τήν περίπλοκη διαδικασία μετατροπής τών προ-καψιδίων ίων σε λοιμογόνους παράγοντες. Αυτή τήν περίοδο αναπτύσσει ύπολογιστικές μεθόδους για τή μελέτη τής πρόσδεσης μεταξύ πεπτιδίων και ύποδοχέων αντιγόνων ανθρώπινων λευκοκυττάρων, με άπώτερο στόχο τή μείωση τών τοξικῶν παρενεργειῶν κατά τήν αντιμετώπιση του καρκίνου με άνοσοθεραπευτικές μεθόδους. Η κυρία Καβράκη συνεργάζεται με τó Άντικαρκινικό Κέντρο M. D. Anderson στο Χιούστον, προκειμένου νά χρησιμοποιηθοῦν τά εύρηματα τής έρευνάς της σε κλινικές μελέτες για τή βελτίωση τής ανθρώπινης υγείας.

Έργο και διακρίσεις

Τό νέο άντεπιστέλλον μέλος τής Ακαδημίας Αθηνῶν έχει γράψει περισσότερα από 230 άρθρα σε έπιστημονικά περιοδικά και πρακτικά συνέδριων. Έπίσης, είναι συγγραφέας ενός βιβλίου-όρόσημο στον τομέα τής ρομποτικής, με τίτλο *Άρχές τής Ρομποτικής Κίνησης (Principles of Robot*

Motion), τὸ ὁποῖο ἔχει ἐκδοθεῖ ἀπὸ τὸ MIT. Οἱ δημοσιεύσεις της ἀριθμοῦν πάνω ἀπὸ 24.000 ἀναφορές, μὲ h-index 67.

Τὸ ὕψος τῆς ἐρευνητικῆς της χρηματοδότησης ἀνέρχεται σὲ 15 ἑκατομμύρια δολάρια. Ἐπίσης, ἔχει λάβει 3,6 ἑκατομμύρια δολάρια σὲ ἐκπαιδευτικὲς ἐπιχορηγήσεις. Τὰ ἐρευνητικὰ της ἀποτελέσματα ἔχουν υἱοθετηθεῖ εὐρέως ἀπὸ τὴν ἀκαδημαϊκὴ κοινότητα καὶ ἔχουν βρεῖ πρακτικὲς ἐφαρμογές. Ἡ κυρία Καβράκη ὑλοποίησε τοὺς ἀλγορίθμους σὲ μιὰ γνωστὴ βιβλιοθήκη ἀνοικτοῦ κώδικα, τὴν *Open Source Motion Planning Library*. Αὐτὴ ἡ βιβλιοθήκη χρησιμοποιεῖται σὲ 65 διαφορετικὰ ρομποτικὰ συστήματα καὶ ἔχει περισσότερους ἀπὸ 43.000 ἐγγεγραμμένους χρήστες. Οἱ ἀλγόριθμοι σχεδιασμοῦ κίνησης ρομπότ πού ἔχει ἀναπτύξει ἀποτελοῦν πλέον τμῆμα τῆς διδακτέας ὕλης σὲ μαθήματα ρομποτικῆς. Ἐπιπρόσθετα, ἐρευνητὲς ἀπὸ τὸ Ἀντικαρκινικὸ Κέντρο M. D. Anderson, καθὼς καὶ ἀπὸ τὴν Ἰατρικὴ Σχολὴ τοῦ Baylor College, ἔχουν χρησιμοποιήσει τὶς μεθόδους μελέτης πρόδρασης μορίων γιὰ τὴν ἀνάπτυξη πεπτιδομιμητικῶν φαρμάκων κατὰ τοῦ ἄσθματος.

Λαμβανομένων ὑπ' ὄψιν τῶν ἀνωτέρω ἐρευνητικῶν ἀποτελεσμάτων, εἶναι εὐλόγο ὅτι ἡ κυρία Καβράκη ἔχει λάβει μεγάλο ἀριθμὸ βραβείων καὶ τιμητικῶν διακρίσεων. Πάνω ἀπὸ ὅλα, εἶναι μέλος τῆς Ἐθνικῆς Ἀκαδημίας Ἰατρῶν τῶν ΗΠΑ. Εἶναι ἐπίσης μέλος τῶν κάτωθι: τῆς Ἀκαδημίας Ἰατρικῆς, Μηχανικῆς καὶ Ἐπιστήμης τοῦ Τέξας, τῆς Association for Computing Machinery (ACM), τοῦ Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), τοῦ Association for the Advancement of Artificial Intelligence, τοῦ American Institute for Medical and Biological Engineering, τῆς American Association for the Advancement of Science καὶ τοῦ World Technology Network.

Μεταξὺ τῶν πολλῶν διακρίσεων ἀναφέρονται τὰ ἐξῆς: Ἔχει διατελέσει ἐταῖρος τοῦ ὀργανισμοῦ Sloan, καθὼς καὶ διακεκριμένη ἐρευνήτρια τοῦ ὀργανισμοῦ Whitaker· ἔχει βραβευθεῖ μὲ τὸ περίφημο Grace Murray Hopper Award τῆς Association for Computing Machinery, μὲ τὸ ὁποῖο ἀπὸ τὸ 1971 ἔχουν τιμηθεῖ παγκοσμίως μόνον 44 ἐρευνητὲς ἀπὸ τὸν τομέα τῆς Ἐπιστήμης τῶν Ὑπολογιστῶν.

Ὁ ἴδιος ὀργανισμὸς ἀναγόρευσε τὴν κυρία Καβράκη σὲ 2018 Athena Lecturer, μιὰ τιμητικὴ διάκριση πού ἀπονέμεται κάθε χρόνο σὲ μιὰ μόνον ἐρευνήτρια τῆς Ἐπιστήμης τῶν Ὑπολογιστῶν. Ἀκόμα, στὴν κυρία Κα-

βράβη έχουν απονεμηθεί το Technical Leadership Award του Ίνστιτούτου Anita Borg, το βραβείο για «Εξέχουσες Γυναίκες του Τέξας στην Έπιστήμη», το IEEE Early Career Award in Robotics and Automation, το βραβείο Career από το Έθνικό Ίδρυμα Έπιστήμης (National Science Foundation – NSF) των ΗΠΑ. Έχει, τέλος, τιμηθεί με το Presidential Mentoring Award και το Charles Duncan Award for Outstanding Academic Achievement από το Πανεπιστήμιο του Rice. Έχει συμπεριληφθεί στους «10 Λαμπρότερους Έπιστήμονες» από το περιοδικό *Popular Science* και στους «100 Κορυφαίους Νέους Έρευνητές στον Κόσμο» από το περιοδικό *Technology Review* του MIT.

Είναι άκρως έντυπωσιακή ή προσφορά της κυρίας Καβράκη στην ακαδημαϊκή κοινότητα. Έχει επιβλέψει 17 μεταδιδακτορικούς έρευνητές, 20 διδακτορικούς φοιτητές, 34 μεταπτυχιακούς και έναν μεγάλο αριθμό προπτυχιακών φοιτητών. Από τους μαθητές της, έντεκα κατέχουν ακαδημαϊκές θέσεις. Είναι ιδρυτικό στέλεχος του κορυφαίου συνεδρίου ρομποτικής («Robotics: Science and Systems») και κατέχει πολλές ήγετικές θέσεις, μεταξύ των οποίων και τη θέση του εκλεγμένου μέλους στο σώμα που προεδρεύει της IEEE Robotics and Automation Society. Έχει διατελέσει πρόεδρος σε κορυφαία συνέδρια και συμμετέχει σε έξωτερικές συμβουλευτικές επιτροπές σε αρκετά πανεπιστήμια και οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου του Πανεπιστημίου Ίωαννίνων. Είναι μέλος της συντακτικής επιτροπής σε όκτώ διεθνή περιοδικά και σε σειρά βιβλίων στον τομέα της ρομποτικής. Διευθύνει ένα από τα δεκατέσσερα εκπαιδευτικά προγράμματα της Έθνικής Βιβλιοθήκης Ίατρικής των ΗΠΑ στη βιοπληροφορική. Στο πλαίσιο της συνεισφοράς της στη διεθνή συζήτηση αναφορικά με τα όφελη και τους κινδύνους της τεχνολογίας, ή κυρία Καβράκη πρωτοστάτησε στην οργάνωση το 2016 του συνεδρίου «Άνθρωποι, Μηχανές και το Μέλλον της Έργασίας». Συμμετείχε, επίσης, στην ίδρυση ενός νέου Ίνστιτούτου στο Rice με την ονομασία «Τεχνολογία, Κοινωνία και Πολιτισμός».

Έχει προσκληθεί να παρουσιάσει τη δουλειά της σε κορυφαία συνέδρια, καθώς και στο συμπόσιο «Frontiers of Engineering» της Έθνικής Ακαδημίας Μηχανικής των ΗΠΑ και στις «Διακεκριμένες Διαλέξεις» του Έθνικού Ίδρύματος Έπιστήμης των ΗΠΑ. Έχει δώσει πάνω από 210 προσκεκλημένες ομιλίες.

Πάντα θαυμάζω τους έρευνητές που κατορθώνουν να παράγουν εκπληκτικά αποτελέσματα και συγχρόνως μπορούν να απολαμβάνουν μια

όλοκληρωμένη οικογενειακή ζωή. Προφανώς αυτό είναι ακόμη πιο δύσκολο για γυναίκες έπιστήμονες, μηχανικούς ή ιατρούς. Η κυρία Καβράκη έχει μια υπέροχη οικογένεια: είναι παντρεμένη με τον εξάριετο μηχανικό και άνθρωπο Αντώνιο Μίκο και έχουν δύο παιδιά, τη Μαίρη και τον Γιώργο, 15 ετών, που λίαν συντόμως θα ακούσουν με συγκίνηση και υπερηφάνεια τη μητέρα τους να μιλά από το βήμα της Ακαδημίας Αθηνών. Η νέα γενιά, στην Ελλάδα αλλά και παγκοσμίως, έχει ανάγκη σήμερα, ίσως όσο ποτέ άλλοτε, από πρότυπα. Υπό αυτήν την έννοια ή προσφορά της κυρίας Καβράκη ξεπερνά τα όρια των μεγάλων επιστημονικών και τεχνολογικών αποτελεσμάτων που μόλις προδλίγου σάς παρουσίασα. Η κυρία Λυδία Καβράκη αποτελεί πρότυπο.

Για τους άνωτέρω λόγους τα μέλη της Ακαδημίας Αθηνών υποδέχονται τη νέα συνάδελφό τους με μεγάλη χαρά, αλλά κυρίως με έκδηλο θαυμασμό.

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΣΤΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ

ΕΙΣΙΤΗΡΙΟΣ ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
ΚΥΡΙΑΣ ΛΥΔΙΑΣ ΚΑΒΡΑΚΗ

1. Είσαγωγή

Σᾶς εὐχαριστῶ πολύ, κύριε Φωκᾶ, γιὰ τὴ θερμὴ σας εἰσαγωγὴ.

Κύριε Πρόεδρε τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν,

Κυρίες καὶ κύριοι ἀκαδημαϊκοί,

Κυρίες καὶ κύριοι,

Μὲ τὴ σειρά μου θὰ ἤθελα νὰ ἐκφράσω τὶς πιὸ εὐλικρινεῖς εὐχαριστίες μου πρὸς τὰ μέλη τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν γιὰ τὴ μεγάλη τιμὴ ποὺ μοῦ κάνετε. Τὴν ἐκλαμβάνω ὡς μιὰ ἀναγνώριση, ἰδιαίτερα σημαντικὴ γιὰ μένα, καθὼς προέρχεται ἀπὸ τὴ χώρα στὴν ὁποία γεννήθηκα καὶ μεγάλωσα, τὴ χώρα ποὺ μοῦ πρόσφερε τὶς βάσεις τῆς μόρφωσης, τῶν ἀξιῶν καὶ τῶν ἀρχῶν ποὺ με καθορίζουν, καὶ πάνω ἀπὸ ὅλα τὴ χώρα ποὺ εἶναι ἡ πατρίδα μου καὶ ὅπου κατοικεῖ τὸ μεγαλύτερο μέρος τῆς οἰκογένειάς μου, αὐτὴ τὴ χώρα ποὺ ἀγαπῶ τόσο πολύ.

Γι' αὐτὸ καὶ ἡ σημερινὴ τελετὴ εἶναι τόσο σημαντικὴ γιὰ μένα. Ἐκφράζω τὴ βαθιὰ εὐγνωμοσύνη μου. Στέκομαι ἐδῶ, μέσα σ' αὐτὴν τὴν ὑπέροχη ἱστορικὴ αἴθουσα τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, ἀνάμεσα σὲ ἀγαπημένους δασκάλους, συναδέλφους, συγγενεῖς καὶ φίλους, μὲ τὴ μετριοφροσύνη τοῦ ἐπιστήμονα, καὶ εὐχαριστῶ ἀπὸ καρδιᾶς ποὺ μοῦ προσφέρετε τὴν εὐκαιρία νὰ παρουσιάσω τὸ ἐπιστημονικὸ μου ἔργο καὶ αὐτὸ τοῦ ἐργαστηρίου μου.

Ἐργάζομαι στὸ πεδίο τῆς Ἐπιστήμης τῶν Ὑπολογιστῶν, ἐνὸς ἐπιστημονικοῦ κλάδου σχετικὰ σύγχρονου. Τὰ τελευταῖα ἐξήντα χρόνια ἡ πληροφορικὴ ἔχει εἰσβάλει σὲ ὅλες τὶς πτυχὲς τῆς ζωῆς μας. Στὴν πραγματικότητα ὅλοι μας ζοῦμε ἐν μέσῳ μιᾶς ἐπανάστασης ἡ ὁποία συνδέεται μὲ τοὺς ἠλεκτρονικοὺς ὑπολογιστές. Εἶναι μιὰ ἐπανάσταση στὴν ἐκπαίδευση, στὴν ἐπικοινωνία, στὴν ψυχαγωγία, στὶς μεταφορές, μιὰ ἐπανάσταση στὴν ἰατρικὴ. Πρὶν ξεκινήσω τὶς προπτυχιακὲς σπουδὲς μου στὸ Τμῆμα Ἐπιστήμης Ὑπολογιστῶν τοῦ Πανεπιστημίου τῆς Κρήτης, δὲν εἶχα καμιὰ ἐπαφὴ μὲ ἠλεκτρονικοὺς ὑπολογιστές – καὶ τώρα ἐργάζομαι σὲ τομεῖς

στούς όποιους ή πληροφορική έχει και θά έχει τεράστιο αντίκτυπο στην ποιότητα τής ζωής μας.

Στήν έρευνά μου χρησιμοποιώ ηλεκτρονικούς ύπολογιστές για τήν επίλυση προβλημάτων που έμφανίζονται στον φυσικό κόσμο, και ειδικότερα στή ρομποτική και τή βιοϊατρική. Συνδυάζω θεωρητική δουλειά με πρακτικές εφαρμογές. Για αρκετά χρόνια, οί ύπολογιστές επέλυαν αποκλειστικά προβλήματα μέσα σε τεχνητούς κόσμους, κόσμους δημιουργημένους από ύπολογιστές. Τώρα, όμως, καθώς οί ηλεκτρονικοί ύπολογιστές είναι πανταχού παρόντες, αυξάνεται και ή προσδοκία μας να μπορούν να αναπαριστάνουν και να αναλύουν τον φυσικό κόσμο, καθώς και να άλληλεπιδρούν με αυτόν. Αυτό άκριβώς έπιχειρεί να κάνει τó έργαστήριό μου με τήν άνάπτυξη πρωτοποριακών μεθόδων, οί όποιες, λόγω τής άφαιρετικής μοντελοποίησης που χρησιμοποιούν, βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς, όπως για παράδειγμα στον ύπολογισμό τής κίνησης ρομποτικών συστημάτων για διαστημικές πτήσεις και τον ύπολογισμό τής άλληλεπίδρασης βιομορίων για τή δημιουργία νέων φαρμάκων και θεραπειών.

Στήν όμιλία μου θά σας παρουσιάσω τά έρευνητικά έγχειρήματα του έργαστηρίου μου τά τελευταία είκοσι χρόνια. Όλη αυτή ή δουλειά δέν θά είχε ποτέ πραγματοποιηθεί άν δέν ύπήρχαν οί μέντορές μου, οί συνεργάτες μου, οί φοιτητές μου, παλιοί και νέοι, καθώς και ή ύποστήριξη από τήν οίκογένειά μου.

1.1 Ύπολογιστές και άλγόριθμοι

Ό μηχανισμός τών Άντικυθήρων, ό όποιος χρονολογείται τó 87 π.Χ., ήταν από τους πρώτους αναλογικούς ύπολογιστές. Δέν έπρόκειτο ώστόσο για προγραμματιζόμενο ύπολογιστή. Οί άρχαίοι Έλληνες τον χρησιμοποιούσαν για να προβλέπουν, για ήμερολογιακούς και άστρολογικούς σκοπούς, τή θέση άστρονομικών σωμάτων και τις έκλείψεις, δεκαετίες προτού αυτές συμβούν. Με τήν έλευση του 19ου αιώνα είχαμε τά πρώτα πρότυπα προγραμματιζόμενων ύπολογιστών, άλλά μέχρι τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο ή χρήση τους παρέμενε άποκλειστικό προνόμιο τών κυβερνήσεων και τών ένόπλων δυνάμεων. Όταν όμως τή δεκαετία του 1950 έφευρέθηκαν τά τρανζίστορ, οί προγραμματιζόμενοι ύπολογιστές έγιναν εύκολότεροι στην κατασκευή και μπήκαν έτσι πρώτα στα πανεπιστήμια και τις έπιχειρήσεις και κατόπιν στα σπίτια μας.

Οί αλγόριθμοι υπαγορεύουν στους υπολογιστές τί να κάνουν. Κάθε αλγόριθμος έχει δεδομένα εισόδου και αποτελέσματα εξόδου. Αφότου λάβουν τα δεδομένα εισόδου, οί αλγόριθμοι εκτελούν μια σειρά από βήματα, προκειμένου να παραγάγουν αποτελέσματα εξόδου. Η σύλληψη τής έννοιας του αλγορίθμου είναι, επίσης, μια ιδέα των Αρχαίων. Τόν 4ο αιώνα π.Χ., ό Ευκλείδης ό Άλεξανδρεός μας ξδωσε τόν αλγόριθμο για τόν υπολογισμό του μέγιστου κοινού διαιρέτη δύο αριθμών· τó κόσκινο του Έρατοσθένη του Κυρηναίου (τόν 3ο αιώνα π.Χ.) είναι ένας αλγόριθμος για τόν προσδιορισμό τών πρώτων αριθμών, ενώ ό προσεγγιστικός υπολογισμός του αριθμού π έγινε από τόν Αρχιμήδη τόν Συρακούσιο κατά τόν 3ο αιώνα π.Χ. Αυτό όμως πού άλλαξε με τούς σύγχρονους υπολογιστές είναι ή δυνατότητα να εκτελούμε αλγορίθμους πολύ γρήγορα. Αυτή ή δυνατότητα θέτει μπροστά μας τήν πρόκληση να διερευνήσουμε τί προβλήματα μπορούν να επιλυθούν από τούς υπολογιστές και πόσο γρήγορα μπορούν να επιτευχθούν οί λύσεις αυτές.

1.2 Υπολογισμοί σε τεχνητούς και φυσικούς κόσμους

Αρχικά οί υπολογιστές εκτελούσαν γρήγορα μαθηματικές πράξεις. Η ραγδαία όμως εξέλιξή τους μάς οδήγησε στη δημιουργία καινούργιων τεχνητών κόσμων και στην επινόηση υπολογισμών σε αυτούς τούς άθέατους κόσμους. Δημιουργήσαμε βάσεις δεδομένων, δηλαδή περιέκτες γεμάτους δεδομένα, και βρήκαμε τρόπους αποθήκευσης, οργάνωσης, προστασίας και διανομής αυτών τών δεδομένων κατά περίπτωση. Χρησιμοποιήσαμε τήν πληροφορική προκειμένου να υποστηρίξουμε τó ηλεκτρονικό μας ταχυδρομείο, τίς μηχανές αναζήτησης, αλλά και τά δίκτυα τών τηλεπικοινωνιών και τó τραπεζικό μας σύστημα. Έχουν σχεδιαστεί αξιοθαύμαστα αποδοτικοί αλγόριθμοι για τή διαχείριση τής πληροφορίας μέσα σε κόσμους δημιουργημένους από υπολογιστές, οί όποιοι αποκαλύπτουν έτσι τó μέγεθος τής ανθρώπινης ευφυΐας και έφευρετικότητας.

Όστόσο, καθώς οί υπολογιστές έγιναν αλληλένδετοι με τή ζωή μας, θελήσαμε κάτι περισσότερο από αφηρημένους υπολογισμούς σε τεχνητούς διαδικτυακούς κόσμους. Κατέστη δυνατή ή προσομοίωση φυσικών φαινομένων για τήν πρόβλεψη του καιρού, για τή βιολογία και τή φυσική, αν και συχνά άπαγορευτική από άποψη υπολογιστικού φόρτου. Έγινε τότε σαφές πώς χρειαζόμαστε όχι μόνον προσομοιώσεις πού να επιχειρούν να συλλάβουν κάθε λεπτομέρεια του φυσικού κόσμου, αλλά και εύλογες προσεγγίσεις

του αναλογικού (δηλαδή του συνεχούς) φυσικού κόσμου και νέα είδη αλγορίθμων, που θα μπορούσαν να παρέχουν χρήσιμες προβλέψεις ή συχνά απλώς και μόνον υποθέσεις εντός ενός λογικού χρονικού πλαισίου. Τέτοιου είδους υπολογισμοί, όταν συνδέονται στενά με πειραματικές τεχνικές, μπορούν να οδηγήσουν σε καλύτερο επίπεδο κατανόησης του κόσμου μας.

Στή βιοϊατρική, η ομάδα μου αντιμετωπίζει διαρκώς την πρόκληση όρισμού αφαιρετικών μηχανισμών και τής σχεδίασης αντίστοιχων αλγορίθμων. Παρόμοια πρόκληση αντιμετωπίζουμε και στη ρομποτική. Αυτός ο κλάδος παρέχει ένα άρχειτυπικό παράδειγμα, στο οποίο ο υπολογιστής εντίθεται στον φυσικό κόσμο. Ένας υπολογιστής βλέπει τον φυσικό κόσμο μέσω αισθητήρων και υπολογίζει την κίνηση των μηχανισμών μέσω των οποίων είναι δυνατό να επέλθουν μεταβολές. Προκειμένου τα ρομπότ να είναι χρήσιμα στους ανθρώπους, αυτή η αλληλεπίδραση οφείλει να γίνεται με βάση τους κανόνες που ισχύουν στον φυσικό κόσμο, και όχι στον τεχνητό διαδικτυακό κόσμο. Το έργαστήριό μου έχει βρεθεί στην αιχμή των εξελίξεων στη ρομποτική, ιδίως σε ό,τι αυτές έχουν να κάνουν με τον υπολογισμό των ρομποτικών κινήσεων.

Η διαδικασία των υπολογισμών στον πραγματικό κόσμο, ή αλλιώς η φυσική υπολογιστική, απαιτεί ένα διαφορετικό είδος αλγορίθμων σε σχέση με εκείνους που χρησιμοποιούνται για την επίλυση παραδοσιακών προβλημάτων (δηλαδή του τεχνητού κόσμου). Οί αλγόριθμοι του τεχνητού κόσμου έχουν πλήρη έλεγχο και τέλεια πρόσβαση στα αναγκαία δεδομένα. Αντιθέτως, οί φυσικοί αλγόριθμοι έχουν εφαρμογή σε αντικείμενα του πραγματικού κόσμου, τα οποία όμως υπόκεινται σε ανεξάρτητους και άτελως μοντελοποιημένους φυσικούς νόμους. Πώς μπορεί να γίνει αυτό με ακρίβεια, αποδοτικά και αξιόπιστα; Η ανάπτυξη των φυσικών αλγορίθμων έχει αποτελέσει καθοδηγητικό στοιχείο στην έρευνά μου τα τελευταία είκοσι χρόνια. Η δουλειά μου συνδυάζει κλασικούς αλγορίθμους, υπολογιστική γεωμετρία, θεωρία βελτιστοποίησης, τυπικές μεθόδους, μηχανική μάθηση, στατιστική ανάλυση, μοντελοποίηση βασισμένη στη φυσική και οπτικοποίηση. Μελετούμε τα θεμελιώδη ζητήματα που ανακύπτουν όταν οί υπολογιστές αναλύουν τον φυσικό κόσμο και αλληλεπιδρούν με αυτόν, και επιδιώκουμε να αναπτύσσουμε πλαίσια συνεκτικών λύσεων που μπορούν να γενικευτούν και, όπως θα πω παρακάτω, να εφαρμοστούν εύρως, από τα ρομπότ μέχρι και τα μόρια. Από θεωρητική πλευρά, η έρευνά μας έχει εκμεταλλευτεί σε τεράστιο βαθμό τη δύναμη τής τυχαιοποίησης. Από πρα-

κτική πλευρά, έχει έμμεταλλευτεί τή μαζική ύπολογιστική δύναμη που έχουμε πιά στη διάθεσή μας.

2. Ρομποτική

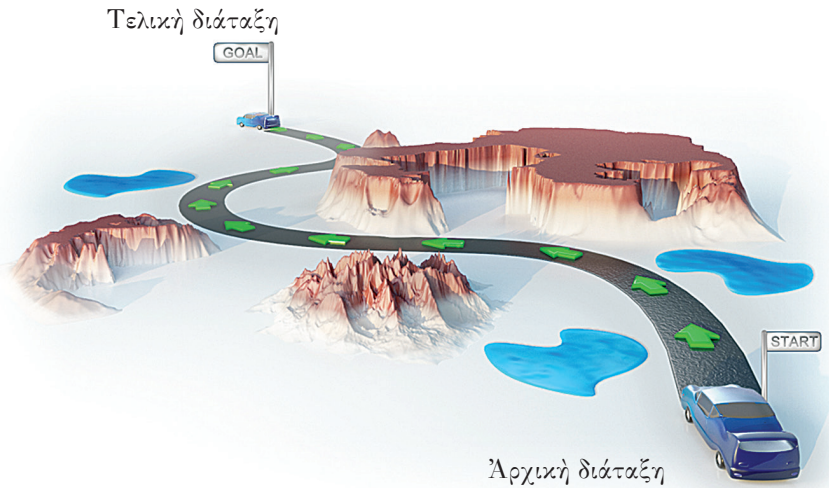
2.1 Τά ρομπότ από τήν αρχαιότητα μέχρι σήμερα

Σε αντίθεση με τους ύπολογιστές, οί όποιοι διαχειρίζονται πληροφορίες, τά ρομπότ κινούνται και άλληλεπιδρούν στον φυσικό κόσμο. Πολύ πριν από τήν έλευση τών σύγχρονων ρομπότ, ή ιδέα τής αυτοματοποιημένης τεχνολογίας υπήρχε στην αφήγηση και τή φαντασία τών αρχαίων κοινωνιών. Ό Όφαιστος, ό σιδεράς τών μυθικών έλληνικών θεών, έφτιαξε τς Χρυσές Κόρες (Κοῦραι χρυσέαι) στην Ίλιάδα του Όμήρου και, κατά τον Άπολλόδωρο, τον Τάλω, τον μυθικό φύλακα τής Κρήτης. Ό προέλευση όμως τής λέξης «ρομπότ» ανάγεται σε ένα τσέχικο θεατρικό έργο του 1920, στο όποιο τά ρομπότ είναι ύπηρετές και τελικά επαναστατούν έναντίον τών ανθρώπων, που είναι τά αφεντικά τους. Ό αλήθεια είναι ότι ακόμα και σήμερα τά ρομπότ παραμένουν λιγότερο ικανά, κατά πολύ μάλιστα.

Ό εποχή τής ρομποτικής ξεκίνησε πραγματικά τό 1954, όταν τό πρώτο βιομηχανικό ρομπότ (τό Unimate) εγκαταστάθηκε στα έργοστάσια τής άμερικανικής βιομηχανίας παραγωγής αυτοκινήτων τής General Motors. Σήμερα τά ρομπότ δέν περιορίζονται πλέον μόνον στα έργοστάσια. Βλέπουμε τά πρώτα δείγματα ρομποτικών «μπάτλερ» και προσωπικών βοηθών, καθώς και τά πρώτα δείγματα αυτόνομων όχημάτων χωρίς όδηγό. Τό πλανητικό όχημα Opportunity διήνυσε 45 χιλιόμετρα πάνω στην έπιφάνεια του Άρη. Ό NASA πειραματίζεται με ρομπότ στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό και συζητά τή χρήση ρομπότ τά όποια θα φροντίζουν κοιμισμένους ανθρώπους σε διαστημικές εξερευνήσεις μεγάλων άποστάσεων.

2.2 Τό πρόβλημα του σχεδιασμού κίνησης

Ένα από τά θεμελιωδέστερα αντικείμενα τής ρομποτικής είναι ό σχεδιασμός τής κίνησης, θέμα πάνω στο όποιο έχω αφιερώσει μεγάλο μέρος τής επαγγελματικής μου ζωής. Ό σχεδιασμός τής κίνησης σχετίζεται με τό ακόλουθο πρόβλημα (Σχήμα 1): Δεδομένης μιās αρχικής θέσης (μιās αρχικής διάταξης) ενός ρομπότ και μιās έπιθυμητής τελικής διάταξης, ποιά είναι μιā έφικτή διαδρομή ή όποια συνδέει τήν αρχική με τήν τελική

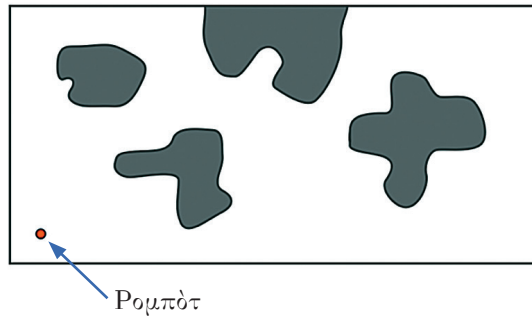


Σχήμα 1: Το πρόβλημα του σχεδιασμού κίνησης ενός αυτόνομου οχήματος από μια αρχική σε μια τελική διάταξη.

διάταξη; "Όταν ξεκίνησα αυτό το κομμάτι της δουλειάς μου, οι προοπτικές ήταν μάλλον αποκαρδιωτικές. Άρκετοι έρευνητές πριν από μένα είχαν αποδείξει την ύψηλη υπολογιστική περιπλοκότητα του συγκεκριμένου προβλήματος· ακόμα και οι ταχύτεροι αλγόριθμοι που είχαμε στη διάθεσή μας δεν είχαν καμία απολύτως πρακτική αξία. Η έρευνητική κοινότητα είχε σχεδόν εγκαταλείψει την ιδέα πως μια μέρα θα μπορούσαμε να κατασκευάσουμε ρομπότ που θα εκτελούν δύσκολες, βαρετές και επικίνδυνες εργασίες για λογαριασμό των ανθρώπων.

Το πρόβλημα του σχεδιασμού κίνησης αποτελεί κλασική περίπτωση ενός γεωμετρικού προβλήματος που εμφανίζεται στον φυσικό κόσμο. Η πολυπλοκότητά του, όπως συμβαίνει και με πολλά άλλα προβλήματα στον φυσικό κόσμο, οφείλεται όχι μόνον στην πολυπλοκότητα του αντίστοιχου πεδίου, δηλαδή του περιβάλλοντος στο οποίο κινείται το ρομπότ και των ιδιοτήτων του, αλλά επίσης και στην ύψηλη διάσταση του χώρου εντός του οποίου επιλύεται το πρόβλημα (δηλαδή του χώρου με όλες τις επιτρεπτές διατάξεις¹ του συστήματος). Τα περισσότερα σύγχρονα ρομπότ είναι πολύ-

1. Ο όρος διάταξη χρησιμοποιείται για τον αγγλικό όρο *configuration*, ο οποίος αποδίδεται επίσης και ως «διαμόρφωση». Σ' αυτό το κείμενο ο όρος



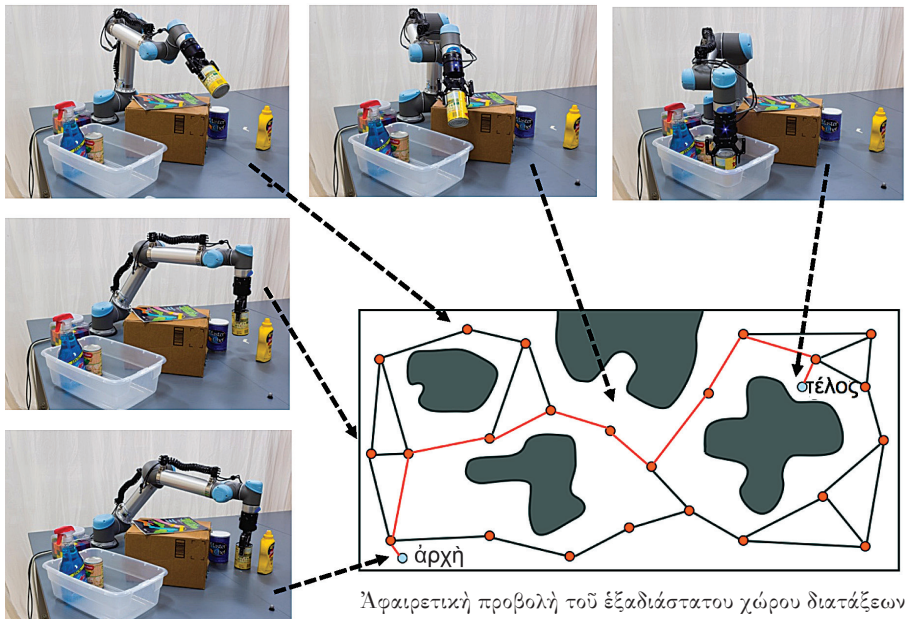
Σχήμα 2: Αφαιρετική απεικόνιση ενός χώρου διατάξεων. Το ρομπότ είναι ένα σημείο στον χώρο αυτό. Τα εμπόδια (άπαγορευμένες περιοχές) σημειώνονται με μαύρο χρώμα.

πλοκα: Συχνά έχουν πόδια και ύψηλῆς ἐπιδεξιότητῆς ἀρθρωτὰ χέρια. Ἄν ἓνα ρομπότ ἔχει ἕξι ἀρθρώσεις, γιὰ παράδειγμα, τότε ὁ χώρος τῶν διατάξεων του εἶναι ἑξαδιάστατος. Ἐνα σημεῖο σὲ αὐτὸν τὸν χώρο ἀντιπροσωπεύει μιὰ πλήρη διάταξη τοῦ συγκεκριμένου ρομπότ (Σχήμα 2). Γιὰ κάθε δεδομένο σημεῖο στὸν χώρο διατάξεων, μπορούμε νὰ ὑπολογίσουμε τὴν τρισδιάστατη θέση τοῦ ρομπότ στὸ φυσικὸ περιβάλλον καὶ νὰ ἐλέγξουμε ἐὰν συγκρούεται μὲ ὀποιοδήποτε ἀντικείμενο μέσα σ' αὐτὸ τὸ περιβάλλον. Ἐπομένως, τὸ πρόβλημα τοῦ σχεδιασμοῦ κίνησης γιὰ ἓνα ρομπότ μὲ ἕξι ἀρθρώσεις μετατρέπεται σὲ ἀναζήτηση μιᾶς συνεχοῦς καμπύλης στὸν ἑξαδιάστατο χώρο διατάξεων, ἔτσι ὥστε κανένα σημεῖο κατὰ μῆκος αὐτῆς τῆς διαδρομῆς νὰ μὴ συγκρούεται μὲ τίποτα. Σήμερα ἐπιδιώκουμε τὸν ὑπολογισμὸ διαδρομῶν γιὰ ἐξαιρετικὰ πολὺπλοκα ρομπότ, ποὺ ὀρίζουν χώρους διατάξεων μὲ δέκα ἢ καὶ τριάντα διαστάσεις.

2.3 Σχεδιασμὸς κίνησης μὲ δειγματοληψία διατάξεων

Κατὰ τὴν ἔρευνά μας συνηγορήσαμε ὑπὲρ τοῦ συνδυασμοῦ τῆς τυχαιοποίησης, ὡς μεθόδου γιὰ τὴν ἐξερεύνηση χώρων πολλῶν διαστάσεων, μὲ τοπικὲς τεχνικὲς, οἱ ὁποῖες ἐνσωματώνουν γεωμετρικὴ καὶ φυσικὴ γνώση, εἰδικὰ γιὰ τὸ κατὰ περίπτωσιν ἐξεταζόμενον πρόβλημα. Προβαίνουμε σὲ

διαμόρφωση χρησιμοποιεῖται γιὰ τὸν ἀγγλικὸ ὄρο *conformation* καὶ χαρακτηρίζει μοριακὲς δομές.



Άφαιρετική προβολή του εξαδιάστατου χώρου διατάξεων

Σχήμα 3: Σχεδιασμός κίνησης με δειγματοληψία διατάξεων. Διαφορετικές διατάξεις του ρομπότ αντιστοιχούν σε διαφορετικά σημεία. Ένα ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ δύο διατάξεων δηλώνει ότι το ρομπότ μπορεί να κινηθεί από τη μία διάταξη στην άλλη. Το κόκκινο μονοπάτι συνδέει την αρχική με την τελική διάταξη.

δειγματοληψία διατάξεων, ένιστε τυχαία και άλλοτε μέσω κατάλληλων εύρετικών κανόνων, και συνδέουμε μόνον κοντινές διατάξεις, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους οι οποίοι διασφαλίζουν ελεύθερες διαδρομές μεταξύ γειτονικών διατάξεων. Οί αλγόριθμοι αυτοί λαμβάνουν υπόψη τους όλους τους φυσικούς περιορισμούς του συγκεκριμένου ρομπότ, αλλά δέν χρειάζεται να υπολογίσουν περίπλοκες κινήσεις. Το μυστικό είναι να διατηρούνται αυτοί οι τοπικοί αλγόριθμοι άπλοι και γρήγοροι. Υπολογίζουμε και αποθηκεύουμε σύντομες διαδρομές και ανατρέχουμε κατόπιν σε αυτές και τις συνενώνουμε μεταξύ τους όταν θέλουμε να υπολογίσουμε πολύπλοκες κινήσεις (Σχήμα 3). Οί πειραματικές παρατηρήσεις τής δικής μας ομάδας, καθώς και οι παρατηρήσεις πολλών άλλων ομάδων, κατέδειξαν ότι οι αλγόριθμοί μας λειτουργούν θεαματικά καλά στην πράξη. Δουλέψαμε για πολλά χρόνια προκειμένου να ολοκληρώσουμε τή μαθηματική ανάλυση που έπε-

ξηγει και χαρακτηρίζει αυτά που θυσιάζονται από το πλαίσιο εργασίας μας (γιατί υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες αδυνατούμε να βρούμε λύση, αλλά αυτές οι περιπτώσεις είναι πολύ σπάνιες στην πράξη). Σήμερα οι αλγόριθμοί μας έχουν καταστεί κυρίαρχοι στη χρήση, και μαζί με πολλούς άλλους αλγόριθμους που ακολουθήσαν τη δική μας δουλειά είναι ομαδοποιημένοι υπό την ονομασία «αλγόριθμοι για τον σχεδιασμό κίνησης οι όποιοι βασίζονται στη δειγματοληψία».

2.4 Έφαρμογές

Ανέκαθεν ή αντίληψή μας για τη ρομποτική ήταν εξαιρετικά ευρεία. Ένα ρομπότ μπορεί να είναι ένας μηχανικός βραχίονας πάνω σε μια κινητή βάση. Αλλά και ένα μηχανολογικό εξάρτημα, για παράδειγμα, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ρομπότ με δυνατότητα ελεύθερης μετακίνησης στον χώρο. Έμπνεόμενοι από απαιτητικά προβλήματα που μας δίνονταν από την General Electric, εφαρμόσαμε τους αλγορίθμους μας για να διευκολύνουμε τη βελτίωση της σχεδίασης των κινητήρων αεροσκαφών. Όταν ή σχεδίαση ενός κινητήρα γίνεται μέσω υπολογιστή, οι αλγόριθμοί μας μπορούν να υπολογίζουν διαδρομές αφαίρεσης των εξαρτημάτων, αντιμετωπίζοντας το εξάρτημα ως ένα ρομπότ χωρίς καθόλου περιορισμούς στην κίνησή του, με αρχική διάταξη τη θέση όπου είναι συναρμολογημένο και τελική διάταξη τη θέση του εκτός του συγκροτήματος του κινητήρα. Η ύπαρξη μιας διαδρομής αφαίρεσης παρέχει την έπιβεβαίωση ότι ο κινητήρας είναι σωστά σχεδιασμένος. Σ' αυτή την περίπτωση ο σχεδιασμός κίνησης αποτελεί εργαλείο το οποίο μπορεί να βοηθήσει τους μηχανικούς να δοκιμάσουν αρκετές εκδοχές στη σχεδίαση, αποφεύγοντας να υποπέσουν σε σχεδιαστικά σφάλματα τα όποια θα είχαν μεγάλο κόστος. Η διαδικασία ονομάζεται «κατασκευή εικονικού πρωτοτύπου» και βρίσκει εφαρμογή σε μηχανολογικές κατασκευές εν γένει και όχι μόνον σε κινητήρες αεροσκαφών.

Πολλές από τις επιτυχίες μας αναφέρονται σε συστήματα που χαρακτηρίζονται από πολύπλοκους κινηματικούς και δυναμικούς περιορισμούς. Ένα ρομπότ-μπάτλερ χρειάζεται να κρατά πάντα οριζόντιο το γεμάτο με νερό ποτήρι που μεταφέρει, ένα ρομπότ πρέπει να γυρίζει μια βαλβίδα με ακριβή κυκλική κίνηση και να ανοίγει μια πόρτα χωρίς να την ξηλώνει από τους μεντεσέδες της. Τοῦτο σημαίνει ότι ή κίνηση πρέπει να υπολογιστεί σε υποχώρους του αρχικού χώρου διατάξεων οι όποιοι ικανοποιούν συγκεκρι-

μένους περιορισμούς· αυτοί οι υποχῶροι χρειάζεται να προσεγγιστούν με ακρίβεια. Μόλις πέρυσι δείξαμε πῶς να τελεῖται με γενικό τρόπο ἡ δειγματοληψία διατάξεων πού ἔχουν περιορισμούς – ἕνα ἔργο τὸ ὁποῖο ἐπεκτείνει σημαντικά τις δυνατότητες τῶν ρομποτικῶν χειρῶν. Ἡ δουλειά μας τώρα μελετᾷ τὸν χειρισμὸ εὐκαμπτων ἀντικειμένων, ὅπως εἶναι τὰ ὑφάσματα καὶ τὰ καλώδια, ἕνα θέμα πού ἀκόμα ἀντιστέκεται σὲ ἀποδοτικές λύσεις, ἀποτελεῖ ὡστόσο προϋπόθεση γιὰ τὴν ἀποτελεσματικὴ εἰσαγωγή τῶν ρομπὸτ σὲ καθημερινές λειτουργίες.

Τὰ αὐτοκίνητομορφα ρομπὸτ ἀποτελοῦν σήμερα ἕνα δημοφιλές θέμα στὴ ρομποτικὴ, κυρίως λόγῳ τῶν ἐφαρμογῶν πού ὑπόσχονται τὰ αὐτόνομα ὀχήματα χωρὶς ὄδηγό. Τὰ αὐτοκίνητα κατὰ κανόνα δὲν μποροῦν νὰ κινηθοῦν πρὸς τὸ πλάι, καὶ συνήθως ἔχουμε ἔλεγχο μόνον στὴν ἐπιτάχυνση-ἐπιβράδυνση καὶ στὴν ταχύτητα περιστροφῆς τοῦ τιμονιοῦ. Γιὰ συστήματα ὅπως τὰ αὐτοκίνητα, τῶν ὁποίων οἱ κινήσεις περιγράφονται ἀπὸ κινηματικές καὶ δυναμικές διαφορικές ἐξισώσεις, ἐξετάζουμε τὴν κατάσταση τοῦ συστήματος καὶ ὄχι ἀπλῶς τὴ διάταξή του. Δουλεύουμε ἀπευθείας μὲ τις μεταβλητές ἐλέγχου, κάνουμε δειγματοληψία αὐτῶν καὶ χρησιμοποιοῦμε ὀλοκληρωτικὸ λογισμὸ, γιὰ νὰ ἐξελιξοῦμε τὴν κατάσταση τοῦ ρομπὸτ σύμφωνα μὲ τις διαφορικές ἐξισώσεις πού ὀρίζουν τὴν κίνησή του. Ὅταν οἱ ἐν λόγω ἐξισώσεις δὲν εἶναι διαθέσιμες, χρησιμοποιοῦμε φυσικούς προσομοιωτές, παρόμοιους μὲ ἐκείνους πού χρησιμοποιοῦνται στὴν προσομοίωση τῆς παραμόρφωσης τῶν μετάλλων ὅταν ἕνα αὐτοκίνητο συγκρούεται. Τὸ σημαντικό εἶναι πῶς ἡ δουλειά μας δὲν συνίσταται μόνον στὴν προσομοίωση ἑνὸς συστήματος. Ἐχουμε μιὰ ἀποστολὴ καὶ ἕναν τελικὸ σκοπὸ. Ὑπολογίζουμε πῶς νὰ ἐλέγχουμε τὸ ρομπὸτ γιὰ νὰ κάνει αὐτὸ πού θέλουμε νὰ κάνει. Ἡ προσομοίωση ἀποτελεῖ ἀπλῶς ἕνα ἐργαλεῖο γιὰ τὴν ἐπίτευξη τοῦ τελικοῦ μας στόχου. Μὲ τὴ δουλειά μας καταδεικνύουμε πῶς ἡ στενὴ συνεργασία φυσικῆς καὶ γεωμετρίας σὲ ἕνα πιθανολογικὸ δειγματοληπτικὸ πλαίσιο ἐργασίας προσφέρει ἀποδοτικὴ ἐπίλυση σὲ προβλήματα σχεδιασμοῦ κίνησης.

2.5 Σχεδιασμὸς κίνησης σὲ μεταβαλλόμενα ἢ ἀβέβαια περιβάλλοντα

Ὅταν τὰ ρομπὸτ λειτουργοῦν στὸν πραγματικὸ κόσμο, σπάνια εἶναι διαθέσιμα ἀκριβῆ γεωμετρικὰ μοντέλα, καὶ σπάνια τὰ ρομπὸτ κινοῦνται σύμφωνα μὲ τὴν ἐντολὴ πού τοὺς δίνεται· πάντοτε ὑπάρχει σφάλμα. Αὐτὸ

θά μπορούσε να είναι ή ολίσθηση σε ένα γυαλισμένο πάτωμα ή η αύξημένη τριβή πάνω σε ένα χαλί. Στη ρομποτική μιλούμε συχνά για τον βρόχο αίσθησης-σχεδιασμός-ένέργεια. Η πληροφορία συλλέγεται από τον φυσικό κόσμο με τη χρήση αισθητήρων. Είναι σημαντικό να ειπωθεί πως τα ρομπότ δεν βλέπουν τραπέζια και καρέκλες και δωμάτια, αλλά νέφη σημείων. Η αντίληψη που έχει ένα ρομπότ για τον κόσμο είναι παντελώς διαφορετική από τη δική μας. Χρειάζεται να συνθέσουμε τα αισθητηριακά δεδομένα του ρομπότ, να χαρτογραφήσουμε τον χώρο, να σχεδιάσουμε ενέργειες στον ελεύθερο χώρο, να προγραμματίσουμε τα ρομπότ μας να εκτελέσουν αυτές τις ενέργειες και να παρατηρήσουμε και πάλι το περιβάλλον, προκειμένου να διορθώσουμε την πορεία του ρομπότ αν χρειαστεί, και να του έπικαιροποιήσουμε την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου. Ο ταχύς σχεδιασμός της κίνησης είναι καίριας σημασίας για την επιτυχία του βρόχου αίσθησης-σχεδιασμός-ένέργεια, και η δική μας μεθοδολογία σχεδιασμού κίνησης ανταποκρίθηκε επιτυχώς στην πρόκληση.

Ωστόσο, τροποποιήσαμε τους αλγορίθμους μας προκειμένου να μπορούμε να αναλύσουμε διάφορες πηγές αβεβαιότητας: αβεβαιότητα στην αντίληψη, στην ενεργοποίηση των μηχανισμών κίνησης και στη μοντελοποίησή τους. Συχνά βρίσκουμε πολιτικές κίνησης, και όχι σχέδια κίνησης. Μια πολιτική είναι μια συλλογή από σχέδια: "Ό,τι κι αν συμβεί, το ρομπότ έχει πάντοτε ένα σχέδιο για τη συνέχιση εκτέλεσης μιᾶς ἐργασίας. Στη δουλειά μας διατηρούμε κατανομές πιθανοτήτων για ένα σύνολο καταστάσεων του ρομπότ που βασίζονται σε ένα σύνολο παρατηρήσεων και πιθανοτήτων παρατηρήσεων, καθώς επίσης και των διαθέσιμων ενεργειών για το ρομπότ, και σχεδιάζουμε αλγορίθμους για τον αποδοτικό υπολογισμό των πολιτικών.

Τελευταίο και εξίσου σημαντικό: Οί σύγχρονες μέθοδοι μηχανικής μάθησης έχουν προσδώσει αναμφίβολα μια έντελως νέα διάσταση στις μεθοδολογίες μας. Μαθαίνουμε πως να κάνουμε δειγματοληψία στους χώρους μας και, επίσης, αποθηκεύουμε και εκμεταλλευόμαστε ἐμπειρίες που είχε το ρομπότ. Συνήθως αυτές οι ἐμπειρίες είναι διαδρομές συνδεδεμένες με περιβάλλοντα. Αυτό έχει κάνει τον σχεδιασμό μας γρήγορο και, συχνά, φορέα περισσότερων πληροφοριών, καθότι οι ἐμπειρίες μπορούν να διαβαθμιστούν από τους ανθρώπους με βάση τις δικές τους προτιμήσεις και όχι τις προτιμήσεις του ρομπότ.

2.6 Άλληλεπίδραση τῶν ρομπότ μὲ τοὺς ἀνθρώπους

Ὅλοένα καὶ συχνότερα, τὰ ρομπότ μοιράζονται τὸν ἴδιο χῶρο μὲ τοὺς ἀνθρώπους. Γιὰ νὰ εἶναι χρήσιμος στοὺς ἀνθρώπους, ὁ σχεδιασμός κίνησης πρέπει νὰ εἶναι συνδεδεμένος μὲ ἀνάλυση ἀνώτερου ἐπιπέδου. Γιὰ παράδειγμα, ἓνας ἄνθρωπος μπορεῖ νὰ θελήσει νὰ δώσει ἐντολὴ σὲ ἓνα ρομπότ νὰ στρώσει τὸ τραπέζι χρησιμοποιώντας μιὰ ἐπιλογή ἀπὸ πιάτα, ποτήρια καὶ μαχαιροπίρουνα, μὲ βάση μιὰ ὑψηλοῦ ἐπιπέδου προδιαγραφὴ γιὰ τὴν τελικὴ διαμόρφωση τοῦ τραπεζιοῦ· ἐντούτοις δὲν θέλει νὰ ἀπαριθμήσει ὅλα τὰ ἐνδιάμεσα βήματα πού πρέπει νὰ γίνουν γιὰ νὰ ὀλοκληρωθεῖ αὐτὴ ἢ εὐκολὰ ἀντιληπτὴ ἐργασία. Στὴν Τεχνητὴ Νοημοσύνη, μιὰ τέτοια ἐργασία μπορεῖ νὰ περιγραφεῖ μὲ μιὰ γλώσσα πού βασίζεται στὴν τυπικὴ λογικὴ, καὶ γιὰ τὴν ἐπίλυσή της προσδιορίζουμε μιὰ ἀκολουθία ἀπὸ διακριτὲς ἐνέργειες πού ἐπιτυγχάνουν τὴ δεδομένη προδιαγραφὴ. Στὴ ρομποτικὴ αὐτὲς οἱ διακριτὲς ἐνέργειες πρέπει νὰ ὑλοποιοῦνται μέσα ἀπὸ συνεχεῖς διαδρομές. Τὰ τελευταῖα πέντε χρόνια ἔχουμε ἐργαστεῖ σὲ μεθόδους πού διαρκῶς μεταφέρουν πληροφορίες μεταξὺ τοῦ ὑπολογισμοῦ ἐνεργειῶν σὲ διακριτοὺς χώρους καὶ τοῦ ὑπολογισμοῦ κίνησης σὲ συνεχεῖς χώρους καὶ τὰνάπαλιν, ἀποκτώντας ἔτσι τὴ γνώση γιὰ τὸ τί μπορεῖ νὰ γίνῃ στοὺς ἐπιμέρους χώρους καὶ πῶς νὰ καθοδηγοῦμε τὴ διαδικασίαν ὑπολογισμοῦ μέχρι τὴν ἐπίτευξη τῆς τελικῆς λύσης. Ἡ δουλειά μας πάνω στὸν ἐνοποιημένο σχεδιασμό ἐργασιῶν καὶ κίνησης ἀντλεῖ ἀρχὲς ἀπὸ τὴ θεωρίαν τῆς αὐτοματοποιημένης σύνθεσης προγραμμάτων καὶ χρησιμοποιεῖ ἔλεγχο μοντέλων καὶ μεθόδους ἐπαλήθευσης γιὰ νὰ διασφαλιστεῖ ἡ ἀσφάλεια καὶ ἡ ἀξιοπιστία τῆς τελικῆς λύσης. Στὴν περίπτωση δὲ πού ἄνθρωποι ἀλληλεπιδροῦν μὲ τὸ ρομπότ, χρησιμοποιοῦμε τὴ θεωρίαν παιγνίων καὶ τὸν ἀναπτυσσόμενο κλάδο τῆς ἀλληλεπίδρασης ἀνθρώπου-ρομπότ, ἐνὸς πεδίου πού ἐπιχειρεῖ νὰ ποσοτικοποιήσῃ τὸ πῶς οἱ ἄνθρωποι προτιμοῦν νὰ χρησιμοποιοῦν τὰ ρομπότ.

2.7 Ἡ Ἀνοιχτὴ Βιβλιοθήκη Σχεδιασμοῦ Κίνησης

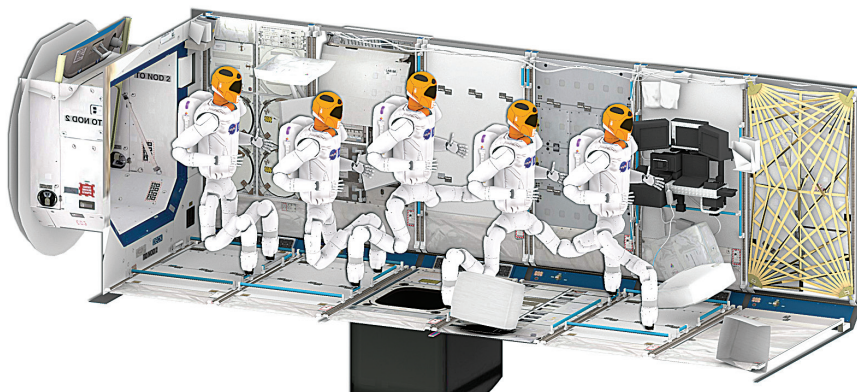
Σήμερα ὑπάρχουν πάνω ἀπὸ ἑκατὸ ἐκδόσεις σχεδιαστῶν πού βασίζονται στὴ δειγματοληψία. Ἄρκετοὶ ἀπὸ αὐτοὺς τοὺς σχεδιαστὲς ἔχουν ἐφευρεθεῖ ἀπὸ φοιτητὲς πού ἔχουν ἐργαστεῖ κατὰ τὴν τελευταία εἰκοσαετία στὸ ἐργαστήριό μου καὶ πολλοὶ ἄλλοι ἔχουν ἀναπτυχθεῖ ἀπὸ ἄλλες ομάδες ἀπὸ ὀλόκληρο τὸν κόσμο. Καθένας ἀπὸ αὐτοὺς τοὺς ἀλγορίθμους ἔχει περιοχὲς ἐφαρμογῆς στὶς ὁποῖες εἶναι ἰδιαίτερα ἀποδοτικὸς. Ἐχουμε, λοιπόν,

ἀναπτύξει και ὑποστηρίζουμε μιὰ πρότυπη βιβλιοθήκη γιὰ τὸν σχεδιασμὸ κίνησης ρομπότ, ἡ ὁποία περιλαμβάνει ὑλοποιήσεις ὑψηλῆς ποιότητας ὄλων τῶν καλὰ ἐδραιωμένων ἀλγορίθμων ποὺ βασίζονται στὴ δειγματοληψία. Ὀνομάζεται «Ἀνοιχτὴ Βιβλιοθήκη Σχεδιασμοῦ Κίνησης» (Open Motion Planning Library – OMPL). Καταπληκτικοὶ φοιτητές, μὲ τοὺς ὁποίους εἶχα τὴν εὐκαιρία νὰ συνεργαστῶ, ἔχουν ἐνσωματώσει τὴ βιβλιοθήκη αὐτὴ στὸ ρομποτικὸ λειτουργικὸ σύστημα ROS και, ἐπομένως, ἡ βιβλιοθήκη διανέμεται πλέον μαζὶ μὲ κάθε ρομπότ ποὺ χρησιμοποιεῖ τὸ ROS, ποὺ εἶναι τὸ καθιερωμένο λειτουργικὸ σύστημα στὴ ρομποτική.

Ἡ βιβλιοθήκη προσφέρει ἐκτεταμένες δυνατότητες γιὰ σύγκριση ἐπιδόσεων διαφορετικῶν ἀλγορίθμων, διευκολύνοντας ἔτσι τὴν ἐπιλογή ἑνὸς ἀλγορίθμου ἢ τὴ ρύθμιση τῶν παραμέτρων του γιὰ μιὰ συγκεκριμένη ἐφαρμογὴ ἐνδιαφέροντος. Πολλὲς ομάδες ἔχουν συνεισφέρει στὴ βιβλιοθήκη μὲ ὑλοποιήσεις νέων ἀλγορίθμων, καθὼς και μὲ πλῆθος ἄλλες βελτιώσεις. Αὐτὸ ἔχει ἀποτελέσει γιὰ ἐμᾶς ἕναν τρόπο γιὰ νὰ συνεργαζόμαστε μὲ ομάδες στὴν Ἀμερική, τὴν Εὐρώπη και τὴν Ἀσία. Θὰ ἀναφέρω τὴ δουλειά μας μὲ τὸ Πανεπιστήμιο τῆς Girona στὴν Ἰσπανία, μὲ τὴν ὁποία ὑπολογίζουμε τὴν κίνηση αὐτόνομων ὑποβρύχιων ὀχημάτων γιὰ τὴν ἐξερεύνηση θαλάσσιων σπηλαίων και ναυαγίων. Στούς αὐτοματισμοὺς τῆς κατασκευαστικῆς βιομηχανίας οἱ ἀλγόριθμοί μας χρησιμοποιοῦνται γιὰ νὰ προγραμματίζουν τὰ ρομπότ τῆς γραμμῆς παραγωγῆς νὰ κατασκευάζουν διαφορετικὰ προϊόντα. Στὴν ἰατρικὴ ρομποτική, οἱ ἀλγόριθμοί μας βρίσκουν ἐφαρμογὴ στὸν σχεδιασμὸ διαδρομῶν εἰσαγωγῆς γιὰ εὐκαμπτες χειρουργικὲς βελόνες ποὺ χρησιμοποιοῦνται σὲ βιοψίες. Ἡ εἰσαγωγὴ τῆς βελόνας κατὰ τρόπο ποὺ νὰ ἀποφεύγονται κρίσιμοι ἴστοι ὀπτικοποιεῖται κατόπιν γιὰ νὰ βοηθήσει τὸν χειρουργὸ νὰ ἐκτελέσει τὴ βιοψία. Εἶναι ἐνδιαφέρον ὅτι οἱ ἀλγόριθμοί μας ἔχουν χρησιμοποιηθεῖ ἀκόμα και σὲ ταινίες κινούμενων σχεδίων σὲ ὑπολογιστὴ, γιὰ νὰ σχεδιαστεῖ ἡ κίνηση τῶν εἰκονικῶν χαρακτῆρων, και στὴν ἀνάπτυξη βιντεοπαιχνιδιῶν. Ὅμως ἡ πιὸ ἀγαπημένη ἐφαρμογὴ τῆς ομάδας μου εἶναι ἡ δουλειά μας πάνω στὸ Robonaut 2.

2.8 Ρομπότ γιὰ διαστημικὰ ταξίδια

Τὴν τελευταία πενταετία, συνεργαζόμαστε μὲ τὸ Διαστημικὸ Κέντρο Johnson τῆς NASA στὸ Χιούστον γιὰ τὴν ἐπαύξηση τοῦ βαθμοῦ αὐτονομίας τοῦ Robonaut 2, ἐνὸς ἀνθρωποειδοῦς ρομπότ ποὺ θὰ βοηθᾷ τοὺς ἀστρο-



Σχήμα 4: Προσομοίωση τής κίνησης του Robonaut 2, ενός ανθρωποειδούς ρομπότ τής NASA.

ναυτες στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό (Σχήμα 4). Πρόκειται για ένα πραγματικά απαιτητικό σύστημα με 31 κύριες άρθρώσεις και πολύπλοκους κινηματικούς και δυναμικούς περιορισμούς. Κινείται σε μηδενική βαρύτητα, πράγμα που σημαίνει ότι οι κινητήρες του δεν πρέπει να καταπονηθούν υπερβολικά και ότι το ρομπότ πρέπει συνεχώς να κρατιέται από μια χειρολαβή για να μην περιφέρεται άσκοπα στον χώρο. Ο σχεδιασμός κίνησης αποτελεί πρόκληση, καθότι το ρομπότ αυτό κινείται σε εξαιρετικά περιορισμένους χώρους. Το Robonaut 2 είναι επιφορτισμένο με πολύπλοκες λειτουργίες: Πρέπει να μπορεί να σκαρφαλώνει, να περιστρέφει βαλβίδες, να ανοίγει πόρτες και να χειρίζεται πτυσσόμενες θήκες αποθήκευσης. Στο μέλλον ένα τέτοιο ρομπότ θα επιθεωρεί την εξωτερική κατάσταση ανθρωπινων ενδιατημάτων στο διάστημα, προκειμένου να εξαλειφθεί ή ανάγκη για επικίνδυνους διαστημικούς περιπάτους από ανθρώπους. Η δουλειά μας πάνω στον ένοπιημένο σχεδιασμό εργασιών και κίνησης δίνει τη δυνατότητα στο Robonaut 2 να προσφέρει βοήθεια στους αστροναύτες με ελάχιστη ανάγκη ανθρώπινης καθοδήγησης.

2.9 Από τή ρομποτική στη βιοϊατρική

Όλα αυτά τα χρόνια έχουμε σχεδιάσει διαδρομές για μια μεγάλη ποικιλία ρομπότ, τα όποια κινούνται στην επιφάνεια τής γής σε εργοστάσια, νοσοκομεία και σπίτια, μέσα στο νερό, στον αέρα και στο διάστημα. Τα

περιβάλλοντα γίνονται αντιληπτά μέσω αισθητήρων. Έργαζόμαστε με άτελη μοντέλα του περιβάλλοντός μας, τόσο όσον αφορά τη γεωμετρία όσο και όσον αφορά τη φυσική, κι όμως παράγουμε αξιόπιστη και ασφαλή κίνηση. Στην έρευνά μας πάντα προσπαθούμε να κατανοήσουμε ποιό είναι το σωστό επίπεδο αφαίρεσης για τους αλγορίθμους μας. Στόν βαθμό του δυνατού, σχεδιάζουμε αλγορίθμους που δεν έπαυζάνουν αλλά αντίθετα περιορίζουν την ήδη υπάρχουσα αβεβαιότητα του περιβάλλοντος, και παρέχουμε έναν χαρακτηρισμό των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των αλγορίθμων μας. Έλάχιστα, ωστόσο, φανταζόμουν πριν από είκοσι χρόνια ότι οι μεθοδολογίες μας θα αποδεικνύονταν σημαντικές στην ανάλυση του σχήματος και της εύκαμψίας των μορίων και ότι θα έριχναν φως στον πολύπλοκο τρόπο της λειτουργίας των μορίων για την κατανόηση της ανθρώπινης υγείας και ασθένειας.

3. Βιοϊατρική

3.1 Πρωτεΐνες και πρωτεϊνική εύκαμψία

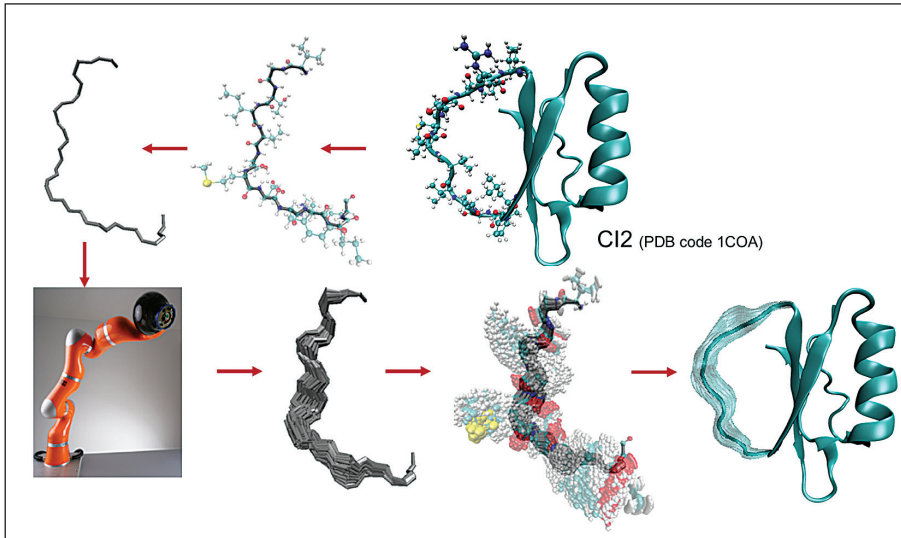
Οι πρωτεΐνες είναι λειτουργικά μόρια, σαν μικροσκοπικές μηχανές, που συμμετέχουν στις βασικότερες πτυχές της ζωής, όπως ο μεταβολισμός, η κίνηση, ή άμυνα του οργανισμού μας ενάντια σε ξένους εισβολείς όπως τα βακτήρια και οι ιοί, καθώς και η επικοινωνία μεταξύ των κυττάρων.

Κάθε πρωτεΐνη αποτελείται από μια σειρά, μια αλληλουχία αμινοξέων, ή όποια είναι αναδιπλωμένη έτσι ώστε να δημιουργείται μια τρισδιάστατη δομή. Μολονότι ο προσδιορισμός της υποκείμενης αλληλουχίας μιας δεδομένης πρωτεΐνης (ή ακόμα και όλόκληρου του DNA ενός ατόμου) αποτελεί πλέον μια διαδικασία ρουτίνας, δεν θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε το ίδιο και για τον προσδιορισμό της πρωτεϊνικής δομής, ή όποια έχει τόσο καιρία σημασία για την κατανόηση της λειτουργίας των πρωτεϊνών. Η πρώτη πρωτεϊνική δομή προσδιορίστηκε στη δεκαετία του 1950, με τη χρήση κρυσταλλογραφίας ακτίνων X. Ο αριθμός των προσδιορισμένων δομών αυξάνεται σταθερά από τότε, χάρη στις βελτιώσεις που έγιναν στην κρυσταλλογραφία ακτίνων X, καθώς και στην ανάπτυξη απεικονιστικών τεχνικών, όπως ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός και η κρυσταλλογραφία μικροσκοπία. Το 2018 η Βάση Δεδομένων Πρωτεϊνών, που είναι ένα δημόσιο μητρώο τρισδιάστατων δομών, περιέχει περισσότερες από 146.000 μοριακές δομές.

Οί πρωτεΐνες, ώστόσο, δὲν εἶναι στατικές δομές. Ἐνῶ ἐπιτελοῦν τὶς διάφορες λειτουργίες τους, μεταβάλλουν διαρκῶς τὸ σχῆμα τους ἢ τὴ διαμόρφωσή τους. Στὴν πραγματικότητα, εἰκάζεται ὅτι σὲ ποσοστὸ πού κυμαίνεται ἀπὸ τὸ ἓνα τρίτο ἕως τὸ ἓνα δεύτερο, οἱ ἀνθρώπινες πρωτεΐνες ἐναλλάσσονται διαρκῶς μεταξὺ διαφορετικῶν τρισδιάστατων μορφῶν. Παρόλο πού οἱ πειραματικές μέθοδοι ἀναπτύσσονται γρήγορα, αὐτὸ πού καταφέρνουν συνήθως εἶναι νὰ καταγράφουν μόνον στιγμιότυπα τῶν πρωτεϊνῶν σὲ δράση. Ἐπίσης, ἔχουν περιορισμοὺς σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὸ μέγεθος τῶν πρωτεϊνῶν πού μποροῦν νὰ ἐξετάσουν, καθὼς καὶ τὸ ἐπίπεδο τῆς εὐκρίνειας πού ἐπιτυγχάνεται σὲ κάθε ἀνάλυση. Ἡ ἐπίτευξη τῆς ἀπεικόνισης στὴν κλίμακα τοῦ ἀτόμου καὶ ἡ μηχανιστικὴ κατανόηση τῆς λειτουργίας τῶν πρωτεϊνῶν συνιστοῦν μιὰ καίρια πρόκληση καὶ δυσκολία στὴ βιολογικὴ ἔρευνα.

Οἱ βιομοριακὲς προσομοιώσεις βάσει φυσικῶν ἰδιοτήτων, πού ἐκτελοῦνται μὲ ὄλο καὶ ἀκριβέστερα μοντέλα, ἀποτελοῦν ἓνα ἐργαλεῖο ἀσυναγώνιστο ὅσον ἀφορᾷ τὴν ἀποκάλυψη τῶν ἐσωτερικῶν διεργασιῶν τῶν πρωτεϊνῶν. Οἱ λεπτομερεῖς βιομοριακὲς προσομοιώσεις ὅμως ἀπαιτοῦν ἑβδομάδες ἢ ἀκόμα καὶ μῆνες ὑπολογιστικοῦ χρόνου, μὲ τὴν ταυτόχρονη λειτουργία ἑκατοντάδων ἢ χιλιάδων ἐξειδικευμένων ἐπεξεργαστῶν, γιὰ τὴ λήψη προσομοιώσεων μικροδευτερολέπτων. Τὸ συμπέρασμα εἶναι ὅτι ὑπάρχει τεράστια ἀνάγκη γιὰ ὑπολογιστικὰ πλαίσια τὰ ὁποῖα θὰ δημιουργοῦν, μὲ ἀποδοτικότητα ἀλλὰ καὶ ἀξιοπιστία, συναφεῖς δομές, οἱ ὁποῖες θὰ ἐπεξηγοῦν ἓνα πείραμα ἢ θὰ χρησιμοποιοῦνται ὡς ἐναρκτήρια σημεῖα γιὰ λεπτομερεῖς προσομοιώσεις. Αὐτὸ ἀκριβῶς τὸ κενὸ ἔρχεται νὰ καλύψει τὸ ἔργο μας. Μὲ ἔμπνευση ἀπὸ τὴ ρομποτικὴ καὶ μὲ τὴν πείρα μας ἀπὸ τὴ φυσικὴ ὑπολογιστικὴ, ἀναπτύξαμε μεθόδους μὲ σκοπὸ νὰ αποκωδικοποιήσουμε τὸ σχῆμα καὶ τὴ λειτουργία τῶν μορίων καὶ τῶν μοριακῶν συμπλεγμάτων, ἀλλὰ καὶ νὰ συμβάλουμε στὴ διαδικασία τῆς σχεδίασης² φαρμάκων. Οἱ δικές μας μεθοδολογίες, πού δὲν περιλαμβάνουν τεχνικὲς προσομοίωσης, συμπληρώνουν καὶ συνδέουν τὶς πειραματικὲς μεθόδους καὶ τὴ βιοφυσικὴ προσομοίωση καὶ βοηθοῦν στὴν κατανόηση τῆς σύνθετης φύσης τῶν πρωτεϊνῶν.

2. Γιὰ τὸ *drug design* χρησιμοποιεῖται ὁ ὅρος *σχεδίαση φαρμάκων* ἀντὶ τοῦ συνηθέστερου *σχεδιασμὸς φαρμάκων*, μιὰ καὶ ὁ ὅρος *σχεδιασμὸς* χρησιμοποιεῖται στὸν *σχεδιασμὸ κίνησης*.



Σχῆμα 5: Μοντελοποίηση εύκαμπτου βρόχου με τεχνικές έμπνευσμένες από τῆ ρομποτική.

3.2 Ἀλγόριθμοι έμπνευσμένοι από τῆ ρομποτική για τῆν κατανόηση τῆς πρωτεϊνικῆς εύκαμψίας

Τῆν τελευταία δεκαετία, με έμπνευση από τῆ ρομποτική, διερευνήσαμε με τῆν ομάδα μου διάφορες προσεγγίσεις, προκειμένου νὰ μοντελοποιήσουμε τῆν πρωτεϊνική δομή και τῆν πρωτεϊνική εύκαμψία. Οἱ πρωτεΐνες δὲν τίθενται σὲ κίνηση ὅπως τὰ ρομπότ, ἀλλὰ μετακινοῦνται σὲ ενεργειακά πεδία πού δημιουργοῦνται ἀπὸ τῆ δικῆ τους τρισδιάστατη δομή και χημική σύνθεση, καθὼς και ἀπὸ τῆς ἀντίστοιχες παραμέτρους τοῦ περιβάλλοντός τους. Εἶναι εὐτύχημα ὅτι τὰ φυσικά μοντέλα πού μελετοῦν τῆ δομή και τῆ δυναμική τῶν πρωτεϊνῶν βελτιώνονται χάρις στῆν έντατική έργασία πού συντελεῖται στὸ πεδίο τῆς θεωρητικῆς βιολογικῆς φυσικῆς. Ἡ μαθηματική μοντελοποίηση και οἱ ὑπολογιστικῆς κατασκευῆς πού ἀπαιτοῦνται για τῆν ψηφιακή ἀναπαράσταση τῶν πρωτεϊνῶν εἶναι ἀπροσδόκητα παρόμοιες με τῆς ἀντίστοιχες για τὰ ρομπότ, και αὐτῆ εἶναι μιὰ παρατήρηση πού αξιοποιήσαμε σὲ πολὺ μεγάλο βαθμὸ στὸ έργο μας.

Σὲ συνεργασία με συναδέλφους χημικούς και βιοχημικούς στὸ Πανεπιστήμιο Rice, συνδυάσαμε τῆς δικῆς μας, βάσει δειγματοληψίας, μεθοδολογίες για τῆ διερεύνηση τῶν διαμορφωτικῶν χώρων, με τῆ θεωρία τῆς

στατιστικής μηχανικής, για να παραγάγουμε σύνολα (συλλογές) των φυσικών διαμορφώσεων μιᾶς πρωτεΐνης. Το έργο αυτό καθιστά δυνατή τη μοντελοποίηση των εύκαμπτων βρόχων που συχνά απουσιάζουν από τις πρωτεϊνικές δομές, καθώς η δομή τους είναι δύσκολο να προσδιοριστεί πειραματικά (Σχήμα 5). Με τις μεθόδους μας που εμπνευστήκαμε από τη ρομποτική, μπορούμε τώρα να υπολογίζουμε σύνολα ισορροπίας για όλοκληρες πρωτεΐνες, και όχι μόνον για βρόχους. Τα σύνολα που παράγονται χαρακτηρίζουν τις διαμορφώσεις της φυσικής κατάστασης μιᾶς πρωτεΐνης, και υπάρχει αξιοσημείωτη συμφωνία μεταξύ των δικών μας υπολογισμένων θερμοδυναμικών παρατηρήσιμων μεταβλητών και των πειραματικών δεδομένων, όταν τα τελευταία είναι διαθέσιμα.

Αφού προσδιορίσαμε τους απαιτούμενους συμβιβασμούς μεταξύ των μεθόδων που παρέχουν αποτελέσματα με φυσική ακρίβεια και αυτών που παρέχουν γρήγορα προσεγγιστικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά την κατανόηση της πρωτεϊνικής εύκαμψίας, προτείναμε έναν νέο αλγόριθμο, ο οποίος εισάγει επαναλαμβανόμενες μικρές διαταραχές σε πρωτεϊνικά θραύσματα, με τρόπο τέτοιο ώστε να διατηρείται η πρωτεϊνική δομή και να αποκαλύπτεται η εύκαμψία σε μεγάλη κλίμακα. Στον αλγόριθμό μας, μπορούμε να εκτελέσουμε δειγματοληψία σε μια διαμόρφωση πλήρους βρόχου. Ή μπορούμε να εκτελέσουμε δειγματοληψία σε έναν μετασχηματισμό που μετακινεί με άκαμπτο τρόπο ένα μέρος του μορίου σε σχέση με κάποιο άλλο, ενώ εξασφαλίζουμε ταυτόχρονα με γεωμετρικούς τρόπους την ένδιαμέσως δομική άκεραιότητα. Για τη διερεύνηση του διαμορφωτικού χώρου μιᾶς πρωτεΐνης και την παρακολούθηση της κάλυψης αυτού του χώρου χρησιμοποιούμε αλγόριθμους σχεδιασμού κίνησης, όπως και στη ρομποτική. Παρόλο που με διαφορετικό τρόπο αλλάζουν οι διαμορφώσεις μιᾶς πρωτεΐνης και οι διατάξεις ενός ρομπούτ, πολλές αλγοριθμικές επιλογές είναι παρόμοιες. Αντί να ελέγχουμε για τυχόν συγκρούσεις, χρησιμοποιούμε βιβλιοθήκες μοριακής μοντελοποίησης, οι οποίες μπορούν να υπολογίσουν αν μια συγκεκριμένη διαμόρφωση είναι έφικτη ή όχι από βιοφυσική άποψη. Η έπιστήμη της φυσικής διαδραματίζει και πάλι πολύ σημαντικό ρόλο, όπως και στη ρομποτική, και είναι συνυφασμένη με τους αλγορίθμους μας. Σε συνεργασία με συναδέλφους από την Ίατρική Σχολή Baylor στο Χιούστον χρησιμοποιούμε τους αλγορίθμους μας για να αναλύσουμε τη δράση των πρωτεϊνών που σχετίζονται με την αντι-αποπτωτική δραστηριότητα και την έγγενη ανοσολογική απόκριση.

3.3 Ανάλυση τῶν ἀποτελεσμάτων πειραματικῶν μεθόδων

Τὸ ἔργο μας συμπληρώνει ἐπίσης, ἀλλὰ καὶ ἐπεκτείνει, τὸ πεδίο ἐφαρμογῆς τῶν πειραματικῶν μεθόδων. Ἡ τελευταία μας δουλειὰ πρὸς αὐτὴ τὴν κατεύθυνση ἀφορᾷ τὴν τεχνικὴ τῆς ἀνταλλαγῆς ὕδρογόνου-δευτερίου, ποὺ ἀνιχνεύεται μέσῳ φασματομετρίας μαζῶν. Αὐτὴ ἡ σχετικὰ πρόσφατη μέθοδος παρέχει πολὺτιμες πληροφορίες σχετικὰ μὲ τὴ δυναμικὴ μιᾶς πρωτεΐνης, χρειάζεται μικρὸς μόνον ποσότητες δειγμάτων πρωτεϊνῶν καὶ δὲν περιορίζεται ἀπὸ τὸ μέγεθος τῶν πρωτεϊνῶν. Δυστυχῶς, τὰ δεδομένα ποὺ παράγονται ἀπὸ τέτοια πειράματα ἐρμηνεύονται συχνὰ μὲ τὴ χρῆση μιᾶς κρυσταλλικῆς δομῆς τῆς πρωτεΐνης. Ἔχουμε καταδείξει ὅτι οἱ ἐρμηνεῖες ποὺ προέρχονται ἀν χρησιμοποιήσει κανεὶς τὶς δικές μας μεθόδους εἶναι πιὸ ἀκριβεῖς ἀπὸ αὐτὲς ποὺ προέρχονται ἀπὸ κρυσταλλικὲς δομὲς ἢ σύνολα μοριακῆς δυναμικῆς. Ἐπιπλέον, οἱ ὑπολογιστικὲς μας μέθοδοι γιὰ τὴ διαμορφωτικὴ δειγματοληψία πρωτεϊνῶν μποροῦν νὰ ἐπηρεαστοῦν ἀπὸ πειραματικὰ δεδομένα ἀνταλλαγῆς ὕδρογόνου, γεγονός ποὺ μᾶς ἐπιτρέπει τὴ δημιουργία διαμορφώσεων γιὰ πρωτεΐνες ποὺ ὑφίστανται μεγάλης κλίμακας ἀλλαγές στὴν τρισδιάστατη μορφή τους κατὰ τὴ δρᾶση τους. Καὶ πάλι, τὸ ἔργο μας στοχεύει στὴν ἀνάπτυξη γενικῶν μεθοδολογιῶν γιὰ τὴν ὀρθὴ ἀνάλυση καὶ ἐρμηνεία τῶν πειραματικῶν δεδομένων.

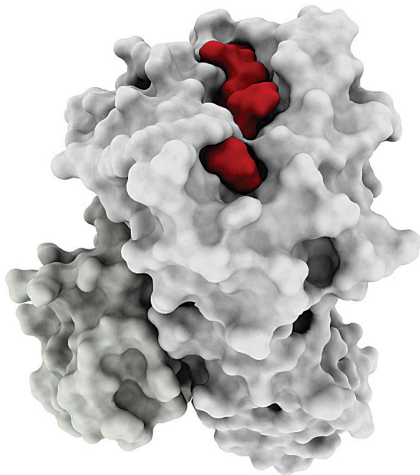
3.4 Ἀλγόριθμοι γιὰ τὴ σχεδίαση φαρμάκων καὶ ἐφαρμογές σὲ ἐξατομικευμένη ἀντικαρκινικὴ ἀνοσοθεραπεία

Οἱ μέθοδοί μας ἀφοροῦν, ἐπίσης, τὴν ὑποβοηθούμενη ἀπὸ ὑπολογιστὲς δομικὴ σχεδίαση φαρμάκων, δηλαδή τὴ διαδικασία τῆς ἀνακάλυψης νέων φαρμάκων βάσει τῆς δομῆς ἑνὸς βιολογικοῦ στόχου. Ὡς ἐπὶ τὸ πλεῖστον, τὸ φάρμακο εἶναι ἓνα μικρὸ ὀργανικὸ μόριο τὸ ὁποῖο ἀποκαλεῖται προσδέτης καὶ τὸ ὁποῖο ἐνεργοποιεῖ ἢ ἀναστέλλει τὴ δρᾶση ἑνὸς μορίου, ὅπως μιᾶς πρωτεΐνης, μέσῳ τῆς δέσμευσῆς του στὸ ἐνεργό της κέντρο. Αὐτὴ ἡ ἐνεργοποίηση ἢ ἡ ἀναστολὴ μεταφράζεται σὲ ἐπακόλουθο θεραπευτικὸ ὄφελος γιὰ τὸν ἀσθενή. Καθὼς οἱ πρωτεΐνες εἶναι εὐκαμπτα μόρια καὶ οἱ προσδέτες μποροῦν, ἐπίσης, νὰ εἶναι εὐκαμπτα μόρια, ἡ πρόβλεψη τῆς διαμόρφωσης ἑνὸς συμπλέγματος πρωτεΐνης-προσδέτη ἀποτελεῖ ἀξεπέραστο πρόβλημα. Στὸν κλάδο τῆς φαρμακευτικῆς βιομηχανίας ἔχουν ἀναπτυχθεῖ ὑπολογιστικοὶ ἀλγόριθμοι πρόσδεσης γιὰ τὴν πρόβλεψη τῶν διαμορφώσεων δύο συνδεδεμένων μορίων. Οἱ ἀλγόριθμοι πρόσδεσης χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὴν

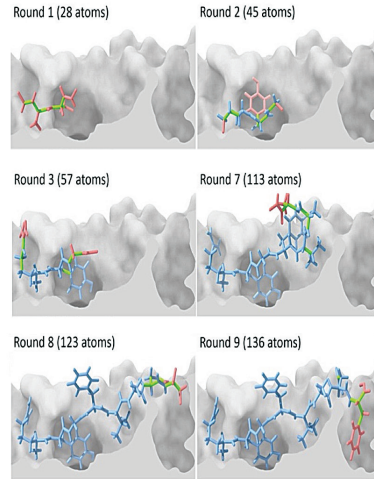
εκτέλεση «εικονικῶν διαλογῶν» ἑκατοντάδων χιλιάδων μικρῶν μορίων, μιὰ διαδικασία ποὺ ὀδηγεῖ στὴ δημιουργία μιᾶς βραχείας λίστας θετικῶν («εὐβάσεων»), οἱ ὁποῖες δυναμικὰ δεσμεύουν τὴν πρωτεΐνη ἐνδιαφέροντος. Αὐτὴ ἢ εἰκονικὴ διαλογὴ εἶναι ἓνα ἀπὸ τὰ πρῶτα βήματα, στὴν πραγματικότητα ἓνα κρίσιμο βῆμα, στὴ διαδικασία τῆς ἀνακάλυψης ἑνὸς φαρμάκου, ἢ ὁποῖα περιλαμβάνει πρόσθετες πειραματικὲς καὶ ὑπολογιστικὲς ἀναλύσεις. Ἐὰν συνυπολογιστοῦν ὅλα τὰ βήματα ποὺ σχετίζονται μὲ τὴν τεκμηρίωση καὶ τὴν ἀξιολόγηση τῆς ἀσφάλειας ἑνὸς φαρμάκου, χρειάζονται 12 ἕως 15 χρόνια μέχρι νὰ κυκλοφορήσει ἓνα νέο φάρμακο στὴν ἀγορά, μὲ κόστος δύο ἕως τριῶν δισεκατομμυρίων δολαρίων.

Τὰ τελευταῖα χρόνια ἀπολαμβάνουμε τὰ ὀφέλη πολλῶν φαρμάκων, τὰ ὁποῖα εἶναι προϊόντα σχεδίασης φαρμάκων ὑποβοηθούμενης ἀπὸ ὑπολογιστές. Τὰ περισσότερα φάρμακα εἶναι μικρὰ μόρια μὲ 3-6 περιστρεφόμενους δεσμούς. Ἡ εὐκαμψία τῶν φαρμακευτικῶν μορίων ἀποδίδεται μὲ τὸν ἀριθμὸ τῶν περιστρεφόμενων δεσμῶν ποὺ ὑπάρχουν στὴ χημικὴ τους σύνθεση. Σήμερα, ὥστόσο, αὐξάνεται συνεχῶς τὸ ἐνδιαφέρον γιὰ τὴ χρῆση μεγαλύτερων προσδετῶν, ὅπως εἶναι τὰ πεπτίδια, γιὰ διάφορες ἐφαρμογές, ὅπως τῆς ἀντιμικροβιακῆς δράσης καὶ τῆς ἀντικαρκινικῆς θεραπείας. Τὰ πεπτίδια εἶναι μικρὰ πολυμερῆ ἀμινοξέων, δηλαδὴ σὰν τμήματα πρωτεϊνῶν. Εἶναι πολὺ πιὸ εὐκαμπτα ἀπὸ τοὺς προσδέτες τύπου φαρμάκου καὶ ἔχουν 10-40 περιστρεφόμενους δεσμούς. Σὲ πρόσφατες μελέτες καταδείχθηκε ὅτι τὰ ὑφιστάμενα ὑπολογιστικὰ ἐργαλεῖα πρόσδεσης δὲν ὀδηγοῦν σὲ σωστὲς προβλέψεις γιὰ τὰ πεπτίδια αὐτά. Σὲ συνεργασία μὲ συναδέλφους στὸ Ἀντικαρκινικὸ Κέντρο MD Anderson τοῦ Χιούστον καὶ ἀντλώντας ἔμπνευση ἀπὸ τοὺς δικούς μας ἀλγόριθμους ρομποτικῆς, ἀναπτύξαμε μιὰ βαθμιαῖα αὐξητικὴ προσέγγιση μετα-πρόσδεσης, DINC (Σχῆμα 6).

Στὴν μέθοδό μας, ἀντὶ νὰ ὑποβάλουμε σὲ δειγματοληψία ὁλόκληρο τὸν προσδέτη διὰ μιᾶς, τὸ κάνουμε μόνο σὲ ἓνα μικρὸ θραῦσμα τοῦ προσδέτη. Τὰ καλύτερα ἀποτελέσματα πρόσδεσης χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὴν ἀνάπτυξη τοῦ ἀρχικοῦ θραύσματος μὲ ἐλεγχόμενο τρόπο. Αὐτὰ τὰ βήματα πρόσδεσης καὶ ἐπέκτασης ἐπαναλαμβάνονται μὲ βαθμιαῖες αὐξήσεις, ἕως ὅτου προβλεφθεῖ ὁλόκληρος ὁ προσδέτης. Ἐφαρμόζουμε, ἐπίσης, τὶς δικές μας διαδικασίες σύγκλισης βρόχου ἀπὸ τὴ ρομποτικὴ, ὥστε νὰ παραλάβουμε διαμορφώσεις προσδέτη ποὺ ἀγκυρώνονται σὲ σημεῖα ἐνδιαφέροντος τῶν θυλάκων δέσμευσης. Ἡ ομάδα μας ἔχει χρησιμοποιήσει μὲ ἐπιτυχία τὶς μεθόδους αὐτὲς σὲ πεπτιδομιμητικά, γιὰ τὴν παρεμπόδιση μιᾶς ἀλληλου-



HLA-A*24:02 με τόν προσδέτη
H1N1-derived peptide PB1₄₉₈₋₅₀₅
(PDB code 4F7T)



Υπολογισμός πρόσδεσης από τόν
άλγόριθμο DINC με πεπτίδιο με
28 περιστρεφόμενους δεσμούς.

Σχήμα 6: Παράδειγμα HLA-προσδέτη και υπολογισμού πρόσδεσης.

χίας αντιδράσεων που οδηγούν σε φλεγμονή των αεραγωγών και συμπτώματα άσθματος. Σήμερα συνεργαζόμαστε με μια μεγάλη ομάδα επιστημόνων από το Αντικαρκινικό Κέντρο MD Anderson του Χιούστον, για τη διαλογή πεπτιδίων προσερχόμενων από όγκο ενός καρκινοπαθούς ασθενούς, ώστε να προσδιορίσουμε εκείνα που μπορούν να δεσμευθούν στους υποδοχείς του ανθρώπινου λευκοκυτταρικού αντιγόνου (HLA) του ίδιου ασθενούς και να πυροδοτήσουν την ενεργοποίηση των T-κυττάρων.

Αυτή η διεργασία παρέχει διάφορες ευκαιρίες για ανοσοθεραπεία, όπως την ανάπτυξη αντινεοπλασματικών εμβολίων πεπτιδικής βάσης ή την επαγωγή θεραπευτικών T-κυττάρων. Σύμφωνα με πρόσφατες στατιστικές της Αμερικανικής Αντικαρκινικής Έταιρείας, στις Ήνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και μόνον, κάθε έτος διαγιγνώσκονται περισσότερα από 1,7 εκατομμύρια νέα περιστατικά καρκίνου, ενώ για το 2018 αναμένονται περισσότεροι από 600.000 θάνατοι. Η έξατομικευμένη αντικαρκινική ανοσοθεραπεία αναδύεται ως μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για την αντιμετώπιση διαφόρων μορφών καρκίνου. Είναι σαφές ότι η φυσική υπολογιστική πρόκειται να διαδραματίσει τεράστιο ρόλο στην υλοποίηση των έξατομι-

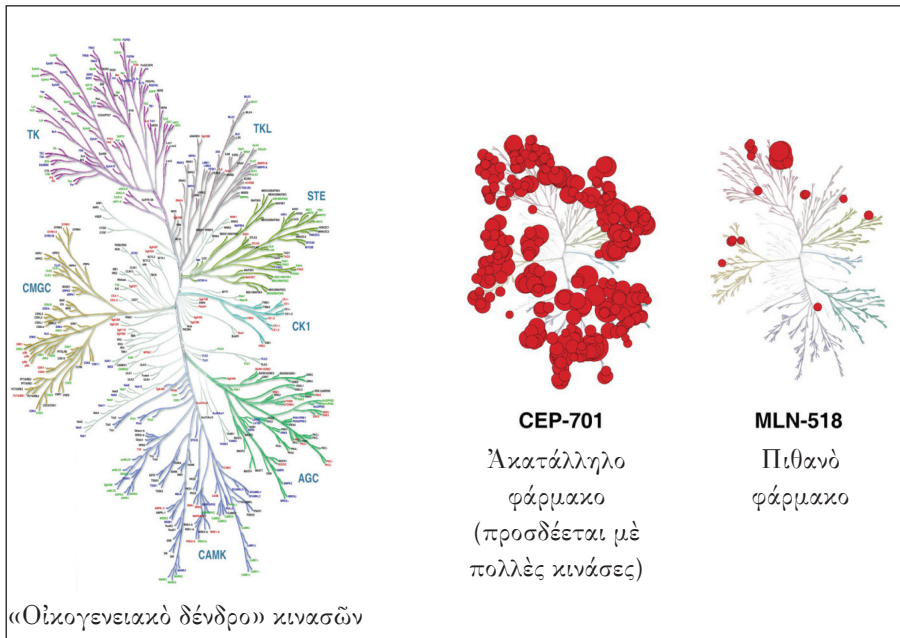
κευμένων θεραπειών μέσω της κατασκευής ύπολογιστικών φίλτρων, όπως αυτό που τώρα ή ομάδα μου αναπτύσσει, τα όποια θα έπεξεργάζονται πρωτοφανείς ποσότητες δεδομένων σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα και τα όποια θα βοηθούν στην έστιαση των πειραμάτων εκεί όπου οι πιθανότητες για την εύρεση θεραπειών είναι αυξημένες.

3.5 Αλγόριθμοι για τη σχεδίαση φαρμάκων με μεγάλη έξειδίκευση

Ακόμα και όταν δεν έχουμε τρισδιάστατες δομές στη διάθεσή μας, μπορούμε να μάθουμε πολλά εξετάζοντας όλες τις δομές πρωτεϊνών που έχουν στενή συνάφεια. Το καλύτερο σχετικό παράδειγμα είναι πιθανότατα μια οικογένεια πρωτεϊνών που αποκαλούνται κινάσες. Οι κινάσες συνιστούν τη μεγαλύτερη οικογένεια ένζυμων που κωδικοποιούνται από το ανθρώπινο γονιδίωμα, με περισσότερες από 500 γνωστές πρωτεΐνες. Στο «οικογενειακό δένδρο» των κινασών, οι γενετικά παρόμοιες κινάσες είναι τοποθετημένες σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, ενώ οι ανόμοιες σε μακρινή. Μολονότι η αναδίπλωση των κινασών είναι πολύ διατηρημένη στο ανθρώπινο κίνωμα, στο σύνολο δηλαδή των κινασών που κωδικοποιούνται από το ανθρώπινο γονιδίωμα, συγκεκριμένες μεταλλάξεις σε διαφορετικές κινάσες δημιουργούν ανεπαίσθητες δομικές παραλλαγές στο σχήμα της θέσης δέσμευσης, οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν μερικές φορές σε μεγάλες αλλαγές στον τύπο των προσδετών που μπορούν να αλληλεπιδράσουν με αυτήν. Ορισμένες μεταλλάξεις κινασών συνδέονται με καρκίνους και άλλες παθήσεις. Οι κινάσες αποτελούν, κατά συνέπεια, έναν μείζονα στόχο στην ανάπτυξη φαρμάκων.

Ένα πετυχημένο φάρμακο κατά των κινασών θα στοχεύει αποκλειστικά τη συγκεκριμένη υπο-οικογένεια κινασών που συμμετέχει στη λειτουργία ενδιαφέροντος. Δεν θα δεσμεύεται σε άλλες κινάσες, όποτε οι μη σχετικές βιολογικές διεργασίες που ρυθμίζονται, επίσης, από κινάσες δεν θα επηρεάζονται. Η σταυροσπορίνη, ένα από τα πρώτα φάρμακα με στόχο τις κινάσες, μπορεί να δεσμευθεί σχεδόν με τα πάντα, που σημαίνει ότι πρόκειται για ένα φάρμακο με πολλές παρενέργειες. Η ιματινίμπη, το Gleevec, που είναι ένα από τα πιο επιτυχημένα φάρμακα που στοχεύουν κινάσες, δεσμεύεται σε λίγες μόνον κινάσες.

Προκειμένου να σχεδιάσουμε καλύτερα φάρμακα, πρέπει να κατανοήσουμε ποιές μεταβολές στη θέση δέσμευσης αντιστοιχούν σε λειτουργικές



Σχήμα 7: Προσδέτες για την οικογένεια των κινασών.

μεταβολές και ποιές είναι μη λειτουργικές διακυμάνσεις. Έχουμε δείξει ότι οι διαφορές της γενετικής αλληλουχίας αυτών των διαφορετικών κινασών δεν επαρκούν για να εξηγήσουν τη διαφορά στη συγγένεια δέσμευσης με ένα συγκεκριμένο φάρμακο που παρατηρείται μεταξύ κινασών. Ακόμα και η σύγκριση ολόκληρων των δομών των θέσεων δέσμευσης δεν επαρκεί. Συνήθως, λίγα μόνον αμινοξέα συμμετέχουν στη δέσμευση, αλλά δεν γνωρίζουμε ποιά είναι αυτά. Αναπτύξαμε έναν νέο αλγόριθμο αναζήτησης, ο οποίος αναγνωρίζει αυτομάτως εκείνες τις δομικές παραλλαγές που μπορούν να εξηγήσουν τη συγγένεια δέσμευσης, και καταδείξαμε ότι η συγγένεια δέσμευσης 38 διαφορετικών φαρμάκων κατά των κινασών μπορεί να εξηγηθεί με σταθερά ύψηλη πιστότητα και ακρίβεια, εάν χρησιμοποιηθεί η δομική και χημική παραλλαγή έξι το πολύ αμινοξέων της θέσης δέσμευσης των κινασών (Σχήμα 7). Με την αναγνώριση συγκεκριμένων δομικών μεταβολών, βοηθήσαμε τους χημικούς να αναγνωρίσουν τους μοριακούς μηχανισμούς που οδηγούν στη σχεδίαση νέων φαρμάκων με ακόμα μεγαλύτερη εξειδίκευση.

4. Σύνοψη του έργου μας

Με το έργο μας στη ρομποτική καταδείξαμε ότι είναι δυνατό να τιθασεύσουμε άτελη φυσικά μοντέλα και να παραγάγουμε μια σωστή συνεχή κίνηση με τη χρήση ενός ψηφιακού υπολογιστή. Κάναμε τους αλγορίθμους μας τόσο γρήγορους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα σύγχρονα ρομπότ. Η πρόβλεψη ότι στο μέλλον τα ρομπότ θα είναι τόσο συνηθισμένα όσο είναι σήμερα τα αυτοκίνητα, οι υπολογιστές και τα κινητά τηλέφωνα δεν είναι καθόλου υπερβολική. Τα ρομπότ μπορούν να μάς βοηθήσουν να εξερευνήσουμε τον πλανήτη μας και το διάστημα. Μπορούν να γίνουν οι πρώτοι που συντρέχουν σε φυσικές καταστροφές ή οι βοηθοί σε κατοικίες, σχολεία και νοσοκομεία. Η ρομποτική μπορεί να μάς απελευθερώσει από τις μονότονες εργασίες και να μάς επιτρέψει να συγκεντρωθούμε στα δημιουργικά, κοινωνικά και ύψηλων απαιτήσεων έργα, τα όποια οι υπολογιστές αδυνατούν να διεκπεραιώσουν.

Με το έργο μας στη βιοϊατρική έχουμε καταδείξει ότι μέσω των υπολογιστών αποκαλύπτονται πτυχές της μοριακής δομής και λειτουργίας σε σύντομο χρόνο, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαδικασίες παραγωγής εξατομικευμένων θεραπειών και γενικότερα για να κατανοήσουμε καλύτερα τους βιομοριακούς μηχανισμούς. Οι επιστήμονες ανακαλύπτουν τον κόσμο μέσα από διαδικασίες παρατηρήσεων, χειρισμών, μετρήσεων, προσεγγίσεων, αφαιρέσεων και πειραματισμών. Το έργο μας στη φυσική υπολογιστική ενσωματώνει θεωρητικές και τεχνολογικές εξελίξεις, και προσφέρει υπολογιστικά πλαίσια ικανά να ταξινομοούν τεράστιες ποσότητες μοριακών δεδομένων, ώστε να διατυπώνονται υποθέσεις, να μειώνονται και να αιτιολογούνται οι πειραματισμοί, καθώς και να παρέχονται νέοι τρόποι εξέτασης της πολυπλοκότητας των βιολογικών συστημάτων σε καταστάσεις υγείας και νόσου.

5. Ευχαριστίες

Σ' αυτό το σημείο οφείλω να αναγνωρίσω ότι κανένα μέρος του έργου που σας περιέγραψα σήμερα δεν θα ήταν δυνατό χωρίς την παρουσία και τη βοήθεια πολλών σημαντικών προσώπων. Έλαβα το πτυχίο μου από το Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών του Πανεπιστημίου της Κρήτης. Είχα τη μοναδική τύχη να σπουδάσω με εξαιρετικούς καθηγητές: τον Γιάννη

Βασιλείου, τὸν Βασίλη Δουγαλή, τὸν Μανόλη Κατεβαΐνη, τὸν Κώστα Κουρκουμπέτη, τὸν Πάνο Κωνσταντόπουλο, τὸν Στέλιο Ὁρφανουδάκη καὶ τὸν Χρίστο Χαμζᾶ. Θὰ ἀναφέρω ἀκόμα τὴν ὑποστήριξη καὶ τὴ φιλία τῆς Μαίρης Μαμαλάκη καὶ τῆς Ρένας Καλαϊντζάκη. Ὅταν πῆγα στὸ Πανεπιστήμιο Stanford, σπούδασα μὲ τὸν καθηγητὴ Jean-Claude Latombe, ὁ ὁποῖος ὄχι μόνον μὲ εἰσήγαγε στὴ ρομποτική, ἀλλὰ καὶ ἐπηρέασε βαθιὰ τὸν τρόπο σκέψης μου καὶ προσέγγισης ἐπιστημονικῶν προβλημάτων. Ὁ ἀκαδημαϊκὸς Νίκος Πέππας μὲ βοήθησε νὰ χαράξω τὴν ἐπαγγελματικὴ μου καριέρα καὶ μοῦ ἄνοιξε τοὺς ὀρίζοντες στὴ βιοϊατρική. Ἡ ὑποστήριξη καὶ ἡ φιλία του μοῦ εἶναι ἀνεκτίμητες. Ὁ συνάδελφός μου καὶ ἀκαδημαϊκὸς Moshe Vardi στὸ Πανεπιστήμιο Rice, στὸ ὁποῖο ἐργάζομαι σήμερα, πίστεψε σ' ἐμένα ἀπὸ τὴ στιγμή πού μὲ συνάντησε, στήριξε τὶς προσπάθειές μου καὶ εἶναι ἕνας ἐκπληκτικὸς συνεργάτης τὰ τελευταῖα δέκα χρόνια. Συνάδελφοι καὶ φίλοι μοιράστηκαν μαζί μου τὶς ἐπιτυχίες καὶ τὶς ἀγωνίες πολλῶν χρόνων, ὅπως ἡ ἀκαδημαϊκὸς Ρένα Μπίζιου καὶ ὁ καθηγητὴς Τριαντάφυλλος Μούντζιαρης. Οἱ συνεργάτες μου στὸ Πανεπιστήμιο Rice, στὸ Διαστημικὸ Κέντρο Johnson τῆς NASA στὸ Χιούστον καὶ στὸ Ἰατρικὸ Κέντρο τοῦ Texas ὑπῆρξαν ἀναντικατάστατοι ὅλα αὐτὰ τὰ χρόνια. Κατὰ καιροὺς εἶχα, ἐπίσης, τὴν εὐκαιρία νὰ δουλέψω μὲ συναδέλφους ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιο Ἰωαννίνων καὶ τὸ Ἐθνικὸ Κέντρο Ἐρευνας Φυσικῶν Ἐπιστημῶν «Δημόκριτος».

Μοιράζομαι τὶς ἐπιτυχίες μου μὲ ὅλους τοὺς συνεργάτες μου, καὶ κυρίως μοιράζομαι τὶς ἐπιτυχίες μου μὲ τοὺς φοιτητές μου. Περισσότεροι ἀπὸ 40 διδακτορικοὶ καὶ μεταδιδακτορικοὶ φοιτητές ἔχουν ἐκπαιδευτεῖ στὸ ἐργαστήριό μου, ἐνῶ πολυάριθμοι μεταπτυχιακοὶ καὶ προπτυχιακοὶ φοιτητές ἔχουν ὀλοκληρώσει συναρπαστικὰ προγράμματα μαζί μας. Εἶναι τώρα οἱ ἴδιοι καθηγητές σὲ ἔγκριτα πανεπιστήμια, ἐρευνητές σὲ κορυφαῖα ἐργαστήρια σὲ ὀλόκληρο τὸν κόσμον, τεχνολόγοι σὲ σπουδαῖες ἐταιρεῖες καὶ ἐπιχειρηματίες. Ὁ Κώστας Μπεκρής, πού εἶναι τώρα ἀναπληρωτὴς καθηγητὴς στὸ Πανεπιστήμιο Rutgers, μοῦ δίδαξε περισσότερα ἀπὸ ὅ,τι τὸν δίδαξα ἐγώ, ἐνῶ ἡ Ἐλένη Λίτσα καὶ ὁ Κωνσταντῖνος Χαμζᾶς, πού εἶναι τώρα φοιτητές μου, μοῦ ὑπεθυμίζουν συνέχεια τὴ ζωντάνια τοῦ ἑλληνικοῦ πνεύματος.

Ἡ οἰκογένειά μου μοῦ πρόσφερε ἀτελείωτη ὑποστήριξη ὅλα αὐτὰ τὰ χρόνια. Ἀπὸ τότε πού ἤμουν μικρή, μοῦ ἔμαθε ὅτι δὲν ὑπάρχει ὄριο σ' αὐτὰ πού θὰ μπορούσα νὰ ἐπιτύχω. Ἀπὸ τὴ μητέρα μου καὶ τὸν πατέρα μου –τὴ

Μαίρη και τὸν Εὐάγγελο Καβράκη, πὸ εἶναι καὶ οἱ δύο σήμερα ἐδῶ – πῆρα σπουδαῖα μαθήματα ζωῆς. Ἡ ἀδελφή μου Ἐλίζα μὲ τὴν ἐξυπνάδα καὶ τὸ χιοῦμορ της στάθηκε δίπλα μου σὲ ὅλες τὶς περιστάσεις, ἐνῶ ἡ γιαιγιά μου, πὸ μὲ κατσαδίαζε ἀλλὰ καὶ μὲ ἐπαινοῦσε, μοῦ ἔμαθε νὰ δίνω, νὰ κερδίζω καὶ νὰ χάνω μάχες. Οἱ συγγενεῖς μου μὲ στήριζαν καὶ μὲ ἐνέπνευσαν. Ἀνάμεσα τους ἡ γιαιτρὸς Ἀναστασία Καραφουλίδου μοῦ ἔδειξε τί μπορεῖ νὰ καταφέρει μιὰ ἀποφασισμένη γυναίκα καὶ πῶς μπορεῖ νὰ ἀντεπεξέλθει σὲ δύσκολες περιστάσεις. Τέλος, ὁ σύζυγός μου, Ἀντώνης Μίκος, καὶ τὰ παιδιὰ μου Μαίρη καὶ Γιώργος, στοὺς ὁποίους ἀφιερώνω αὐτὴ τὴν ἡμέρα, εἶναι ὅ,τι καλῦτερο ἔχει συμβεῖ στὴ ζωὴ μου καὶ μοῦ ὑπενθυμίζουν συνεχῶς γιὰ ποιοὺ λόγους εἶναι σημαντικὸ νὰ διαμορφώνουμε τὴν τεχνολογία μὲ τρόπο πὸ θὰ βοηθήσει τὶς ἐπόμενες γενιές.

6. Ἐπίλογος

Ἡ ἐνασχόληση μὲ τὴν ἐπιστήμη τῶν ὑπολογιστῶν ἦταν καὶ παραμένει συναρπαστικὴ γιὰ μένα. Τὰ ὀφέλη εἶναι σχεδὸν αὐτονόητα. Γιὰ παράδειγμα, ἡ δυνατότητα προφύλαξης τῆς ἀνθρώπινης ζωῆς πὸ παρέχουν τὰ αὐτοκίνητα χωρὶς ὀδηγούς εἶναι τεράστια. Οἱ ἐξατομικευμένες θεραπείες πὸ ὑποβοηθοῦνται ἀπὸ *in silico* ἀναλύσεις, δηλαδὴ ἀπὸ ἀναλύσεις πὸ διενεργοῦνται μὲ τὴ χρήση ὑπολογιστῶν, μποροῦν νὰ ἔχουν θεαματικὸ ἀντίκτυπο στὴν ὑγεία μας.

Ὅμως ὅλο καὶ περισσότερο γίνεται ἀντιληπτὸ ὅτι ἡ πανταχοῦ παρουσία τῶν ὑπολογιστῶν δὲν ἔχει μόνον κοινωνικὰ ὀφέλη, ἀλλὰ συνοδεύεται καὶ ἀπὸ σημαντικὸ κοινωνικὸ τίμημα. Ἡ τεχνολογία ἦταν βέβαια πάντα ἓνα δίκιοπο μαχαίρι. Ἡ ἀνακάλυψη τῆς φωτιᾶς, γιὰ παράδειγμα, ἦταν κρίσιμη γιὰ τὴν πρόοδο τοῦ ἀνθρώπου. Ἡ ἑλληνικὴ μυθολογία τὴν ἀπέδωσε στὸν Προμηθεά καὶ στὴν κλοπὴ της ἀπὸ τοὺς θεοὺς, ὅπως ἀπεικονίζεται μὲ τόση δύναμη σὲ αὐτὴν τὴν αἴθουσα στὴν ὁποία βρισκόμαστε σήμερα. Ἡ φωτιὰ ὅμως μπορεῖ ἐπίσης νὰ εἶναι ὀδυνηρὰ καταστρεπτικὴ. Ἡ ἱστορία δείχνει ὅτι οἱ πολιτισμοὶ τοῦ ἀνθρώπου δὲν μπόρεσαν ποτὲ νὰ σταματήσουν τὶς τεχνολογικὲς ἐξελιξίσεις. Μᾶλλον μαθαίνουμε μὲ τὸ πέρασμα τοῦ χρόνου νὰ διαβλέπουμε καὶ νὰ ἀντιμετωπίζουμε ἐν μέρει τὶς δυσμενεῖς ἐπιδράσεις τῆς τεχνολογίας.

Ἡ τεχνολογία τῶν ὑπολογιστῶν τροφοδοτεῖ τὴν Τέταρτη Βιομηχανικὴ Ἐπανάσταση. Ἡ Πρώτη Βιομηχανικὴ Ἐπανάσταση ἦταν ἡ ἀτμομη-

χανή που άλλαξε τη γεωργία και τις κατασκευές. Η Δεύτερη ήταν η εποχή των επιστημών και της μαζικής παραγωγής. Η Τρίτη Έπανάσταση ήταν μια ψηφιακή επανάσταση. Και τώρα, η Τέταρτη Βιομηχανική Έπανάσταση χαρακτηρίζεται από μια συγχώνευση, μια σύντηξη τεχνολογιών που θολώνει τις διαχωριστικές γραμμές μεταξύ της ψηφιακής, της φυσικής και της βιολογικής σφαίρας. Η καινοτομία πια θά βασιίζεται σε συνδυασμούς τεχνολογιών.

Όπως και οι προηγούμενες επαναστάσεις, η Τέταρτη Βιομηχανική Έπανάσταση έχει τη δυναμική να βελτιώσει την ποιότητα ζωής σε πληθυσμούς σε όλοκληρο τον κόσμο. Αντίθετα με τις προηγούμενες, αυτή η επανάσταση, χάρη στη ραγδαία εξέλιξη της επιστήμης των υπολογιστών, είναι άμεση και πανταχού παρούσα. Έξαπλώνεται άστραπιαία σε κάθε σημείο της Γης μας. Το διακύβευμα είναι πολύ μεγάλο αυτή τη φορά. Σαφώς, υπάρχει επείγουσα ανάγκη να ενταχθεί ο ανθρωπισμός στην εκπαίδευση των τεχνολόγων και να εμπλακούν άτομα από όλα τα κοινωνικά στρώματα στην ανάπτυξη της τεχνολογίας. Ως γυναίκα, είμαι περήφανη για τον ρόλο που έχουν διαδραματίσει οι γυναίκες στην επιστήμη των υπολογιστών και ως γυναίκα πιστεύω, επίσης, ότι ο ρόλος που τις περιμένει στο μέλλον είναι μοναδικός. Οι γυναίκες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ευαισθησία τους, τη συμπόνια τους, τη φινέτσα, την πειθώ, το συλλογικό πνεύμα, τη μοναδική τους ευφυΐα και τις ευρείες προοπτικές του νοῦ τους για να καινοτομήσουν και να χρησιμοποιήσουν την επιστήμη των υπολογιστών με τρόπο που να επιδρά θετικά στους ανθρώπους. Για όλους, και ιδιαίτερος για τις νέες γυναίκες σ' αυτό το ακροατήριο, παρουσιάζεται τώρα μια άπιστευτη ευκαιρία να εφευρεθούν ανθρωποκεντρικές και αντισυμβατικές χρήσεις της τεχνολογίας των υπολογιστών. Είναι επιβεβλημένο να συμμετάσχουμε ὅλοι στην κοινωνία της τεχνολογίας των υπολογιστών και να εστιάσουμε την προσοχή μας στα θεμελιώδη ζητήματα τα ὁποῖα ὀρίζουν την ανθρώπινη φύση και ἀξιοπρέπεια και τα ὁποῖα μᾶς κάνουν αἰσιόδοξους για τὸ μέλλον των παιδιῶν μας.

Σᾶς εὐχαριστῶ πολὺ.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΑΝΗΓΥΡΙΚΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 21ΗΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2018

ΕΚΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΕΠΡΑΓΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ
ΚΑΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2018

ΥΠΟ ΤΟΥ ΠΡΟΕΔΡΟΥ κ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ Ν. ΚΟΥΝΑΔΗ

Κέντρα

1. Κέντρον Ἐρεύνης τῶν Νεοελληνικῶν Διαλέκτων καὶ Ἰδιωμάτων (ΚΕΝΔΙ) καὶ τοῦ Ἱστορικοῦ Λεξικοῦ τῆς Νέας Ἑλληνικῆς (ΙΑΝΕ)

Στὸ Κέντρο (ΚΕΝΔΙ) – (ΙΑΝΕ) συνεχίστηκε ἡ συμπλήρωση τοῦ λημματολογίου τοῦ Λεξικοῦ μὲ ἀνασυνταγμένα λήμματα τῶν γραμμάτων ε-ζ-η-θ-ι-κ. Τὸ Κέντρο διοργάνωσε ἡμερίδα μὲ ἐπιστημονικὲς εἰσηγήσεις γιὰ τὴν παρουσίαση τοῦ 6ου τόμου τοῦ Ἱστορικοῦ Λεξικοῦ, ξεκίνησε καὶ ὀλοκλήρωσε τὸ πρόγραμμα ψηφιοποίησης τῶν Δελτίων τοῦ Ἀρχείου του, ἐμπλουτίστηκε μὲ νέα χειρόγραφα διαλεκτικοῦ ὕλικου, βιβλία καὶ περιοδικά, ἐνῶ παράλληλα συνεχίζει τὴ σύνταξη τοῦ 7ου τόμου τοῦ Ἱστορικοῦ Λεξικοῦ. Τὸ Ἀρχεῖο Τοπωνυμίων προσέθεσε στὴν ψηφιακὴ του βάση δεδομένων χιλιάδες νέα ἀνέκδοτα τοπωνύμια μὲ τὸν συνολικὸ ἀριθμὸ τους νὰ φτάνει τὰ 190.000. Τὸ ἐρευνητικὸ προσωπικὸ ἔλαβε μέρος μὲ ἀνακοινώσεις σὲ ὀκτῶ συνέδρια καὶ ἡμερίδες, εἶχε 15 ἀκόμη ἐπιστημονικὲς δημοσιεύσεις, ἔδωσε σεμιναριακὰ μαθήματα καὶ διαλέξεις, ἐδίδαξε σὲ μεταπτυχιακὰ μαθήματα καὶ συμμετεῖχε σὲ τέσσερα ἐκλεκτορικὰ σώματα κρίσεως πανεπιστημιακῶν καθηγητῶν.

2. Κέντρον Ἐρεῦνης τῆς Ἑλληνικῆς Λαογραφίας (ΚΕΕΛ)

Κατὰ τὸ ἔτος 2018 τὸ Κέντρο ἐξέδωσε τὰ ἔργα:

1. *Λαϊκὴ ἰατρικὴ καὶ ἰατρικὴ ἐπιστῆμη. Σχέσεις ἀμφίδρομες. Πρακτικὰ Πανελληνίου Ἐπιστημονικοῦ Συνεδρίου*, τόμ. Α' καὶ Β'.

2. *Δημοτικὰ τραγούδια Εὐρυτανίας. Συλλογὴ Σπυριδωνος Δ. Περιστέρη 1959, 1962.*

Με τὴν εὐκαιρία συμπλήρωσης 100 χρόνων λειτουργίας τοῦ Κέντρου (1918-2018), ὁργανώθηκε στὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν τὸν Σεπτέμβριο τοῦ 2018 διεθνὲς συνέδριο μὲ θέμα «Ἀπὸ τὴν ἐπιτόπια ἔρευνα στὸ ἀρχεῖο: τὰ λαογραφικὰ καὶ ἐθνολογικὰ ἀρχεῖα ὡς πόλοι ἔρευνας, ἐκπαίδευσης καὶ πολιτισμοῦ». Στὸ συνέδριο συμμετεῖχαν ἐπιστῆμονες ἀπὸ δέκα εὐρωπαϊκὲς χῶρες.

Ἐρευνητὲς τοῦ Κέντρου πραγματοποιοῦσαν ἀποστολὲς γιὰ ἐπιτόπια λαογραφικὴ ἔρευνα. Στὸ Ἀρχεῖο τοῦ Κέντρου εἰσῆχθησαν συλλογὲς λαογραφικοῦ ὕλικου ἀπὸ ἐρευνητὲς καὶ ἰδιῶτες καὶ στὴ Βιβλιοθήκη 200 τίτλοι νέων βιβλίων, στὴ συνέχεια δὲ ἔγινε ἠλεκτρονικὴ τεκμηρίωση καὶ καταλογογράφησή τους.

3. Κέντρον Ἐρεῦνης τοῦ Μεσαιωνικοῦ καὶ Νέου Ἑλληνισμοῦ (ΚΕΜΝΕ)

1. Σὲ συνεργασία μὲ τὴν Ἱερὰ Μεγίστη Μονὴ Βατοπαιδίου τυπώθηκε ὁ τόμος *Εὐγένιος Βούλγαρης, ὁ homo universalis τοῦ νέου Ἑλληνισμοῦ, 300 χρόνια ἀπὸ τὴ γέννησή του*, μὲ ἐπιστημονικὴ ἐπιμέλεια τοῦ Χαρίτωνος Καρανάσιου.

2. Συνεχίστηκε γιὰ ἕκτη χρονιά τὸ μεταπτυχιακὸ σεμινάριο «Ὁ ἑλληνολατινικὸς κόσμος (13ος-18ος αἰῶνες)», ποὺ διοργανώνει τὸ Κέντρο σὲ συνεργασία μὲ τὸ Πανεπιστήμιο Ἀθηνῶν καὶ τὸ Ἐθνικὸ Ἰδρυμα Ἐρευνῶν, μὲ ἐπιστημονικὸ ὑπεύθυνο τὸν κ. Κώστα Λαμπρινὸ καὶ θέμα: «Ἡ οἰκογένεια στὸν ἑλληνοβενετικὸν κόσμον. Ἐννοιολόγησις, θεσμοί, λειτουργίαι».

3. Οἱ ἐρευνητὲς τοῦ Κέντρου Χαρίτων Καρανάσιος καὶ Κώστας Λαμπρινὸς καὶ οἱ ἐρευνητρίαι Δέσποινα Βλάμη καὶ Ἀναστασία Κοντογιαννοπούλου δημοσίευσαν πολυάριθμες μελέτες σὲ σύμμεικτους τόμους καὶ ἐπιστημονικὰ περιοδικὰ διεθνοῦς κύρους καὶ συμμετεῖχαν μὲ ἀνακοινώσεις τους σὲ τοπικὰ ἢ διεθνῆ συνέδρια, σεμινάρια καὶ ἄλλες ἐπιστημονικὲς συναντήσεις.

4. Πραγματοποιήθηκαν δύο ἐρευνητικὲς ἀποστολές: α) τοῦ Χαρίτωνος Καρανάσιου στὴ Ρουμανία μὲ σκοπὸ τὴ μελέτη καὶ τὴ φωτογράφιση ἑλλη-

νικῶν χειρογράφων ἀπὸ τῆ Βιβλιοθήκη Μιχαὶ Ἐμινέσκου, τῆ Βιβλιοθήκη τῆς Μητροπόλεως Μολδαβίας καὶ Μπουκοβίνας καὶ τῆ Βιβλιοθήκη τῆς Ρουμανικῆς Ἀκαδημίας, β) τοῦ Κώστα Λαμπρινοῦ στὴ Βικελαία Βιβλιοθήκη τῆς Κρήτης μὲ σκοπὸ τὸν ἐντοπισμὸ μαρτυριῶν σχετικῶν μὲ τὴν ἱστορία τῆς βενετοκρατούμενης Κρήτης.

4. Κέντρον Ἐρεῦνης τῆς Ἱστορίας τοῦ Ἑλληνικοῦ Δικαίου (ΚΕΙΕΔ)

1. Κατὰ τὸ ἔτος 2018 ἐκδόθηκε, ὑπὸ τὴν ἐπιμέλεια τῆς Διευθύνουσας τὸ Κέντρο, ὁ 48ος τόμος τῆς Ἐπετηρίδος τοῦ Κέντρου αὐτοῦ (290 σελ.), ὁ ὁποῖος φιλοξενεῖ πέντε μελέτες Ἑλλήνων ἱστορικῶν τοῦ δικαίου, καθὼς καὶ μιὰ ἐκτεταμένη θεματικὴ ἐπισκόπηση τοῦ συγγραφικοῦ καὶ ἐρευνητικοῦ ἔργου Ἑλλήνων ἐπιστημόνων ποὺ ἔχει ἐκπονηθεῖ κατὰ τὴν τελευταία ἑπταετία (ἔτη 2010-2017) στοὺς τομεῖς τῶν δικαίων τῆς ἑλληνικῆς καὶ ρωμαϊκῆς ἀρχαιότητος, τοῦ βυζαντινοῦ καὶ μεταβυζαντινοῦ δικαίου, καθὼς καὶ τοῦ δικαίου τοῦ νεοτέρου ἑλληνισμοῦ.

2. Στις 7 Μαρτίου καὶ στις 28 Νοεμβρίου 2018 τὸ ΚΕΙΕΔ διοργάνωσε τὶς δύο πρώτες ἡμερίδες τοῦ κύκλου «Βυζαντινὸ καὶ Μεταβυζαντινὸ Δίκαιο. Τομῆς, συνέχειες καὶ προεκτάσεις στὴ σύγχρονη νομικὴ πραγματικότητα» (ὑπεύθυνες διοργάνωσης: Λυδία Παπαρρήγα, Διευθύνουσα τὸ ΚΕΙΕΔ, καὶ Ἐλευθερία Παπαγιάννη, Καθηγήτρια Νομικῆς Σχολῆς τοῦ ΕΚΠΑ).

3. Στὸ στάδιο ἐκτύπωσης εὐρίσκεται ὁ αὐτοτελὴς τόμος τοῦ 15ου Παραρτήματος τῆς Ἐπετηρίδος τοῦ Κέντρου, ποὺ περιλαμβάνει τὴ μονογραφία τῆς ἀκαδημαϊκοῦ κυρίας Ἄνας Μπενάκη-Ψαρούδα μὲ τίτλο Ἐγγυήσεις «δίκαιης δίκης» καὶ δικαιώματα τοῦ κατηγορουμένου στὴν «Ποινικὴ Δικονομία» τοῦ 1834. Ἐπισκόπηση τῆς ποινικῆς νομολογίας τοῦ Ἀρείου Πάγου τῶν ἐτῶν 1835-1855 (περίπου 352 σελ.).

5. Κέντρον Ἐρεῦνης τῆς Ἱστορίας τοῦ Νεωτέρου Ἑλληνισμοῦ (ΚΕΙΝΕ)

Τὸ ἔτος 2018 ἐκδόθηκαν ἀπὸ τὸ ΚΕΙΝΕ:

1. Μονογραφία τῆς ἐρευνήτριας Α' τοῦ Κέντρου κυρίας Εὐαγγελίας Καρούζου μὲ τίτλο Ἐθνικὲς γαῖες. Ἐθνικὰ δάνεια καὶ ἐθνικὴ κυριαρχία. Βρετανικὴ διπλωματία καὶ γαιοκτησία στὸ ἑλληνικὸ κράτος 1833-1843.

2. Ὁ 5ος τόμος τοῦ περιοδικοῦ τοῦ Κέντρου μὲ τίτλο *Νεοελληνικά Ἱστορικά*. Τὸ εἰδικὸ ἀφιέρωμα τοῦ περιοδικοῦ μὲ τίτλο «Ἡ Ἑλλάδα ἀπὸ τὴ χρεοκοπία τοῦ 1893 ἕως τὴν Ἀνόρθωση τοῦ 1910» περιέλαβε ἑπτὰ μελέτες, μὲ θέματα, μεταξὺ ἄλλων, τὴν οἰκονομία, τὴν ἐξωτερικὴ πολιτικὴ, τὸν στρατό, τὰ κόμματα καὶ τὰ ἰδεολογικὰ ρεύματα τῆς ἐποχῆς. Ἐπίσης, δημοσιεύθηκαν στὸ περιοδικὸ μελέτες τῶν ἐρευνητῶν τοῦ Κέντρου σχετικὰ μὲ τὴν οἰκονομικὴ κρίση τοῦ Μεσοπολέμου, τὶς σχέσεις Ἑλλάδας-Γερμανίας ἀπὸ τὸ 1936 ἕως τὸ 1939 καὶ τὸν ἐορτασμὸ τῆς ἐθνικῆς ἐπετείου τῆς 28ης Ὀκτωβρίου κατὰ τὴν περίοδο τῆς Κατοχῆς.

Κατὰ τὸ 2018 πραγματοποιήθηκαν:

1. Ἡμερίδα τοῦ KEINE σὲ συνεργασία μὲ τὸν Σύνδεσμο Ἐπιτελῶν Ἑθνικῆς Ἀμύνης μὲ θέμα «100 χρόνια ἀπὸ τὴ λήξη τοῦ Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Ἱστορικὴ καὶ γεωστρατηγικὴ σημασία τῆς ἐλληνικῆς συμμετοχῆς στὸν Μεγάλον Πόλεμον».

2. Σεμινάριο Νεώτερης Ἱστορίας, τὸ ὁποῖο ἐγκαινιάστηκε μὲ σκοπὸ τὴ διάχυση τῶν ἐρευνητικῶν προγραμμάτων τοῦ KEINE στὴν ἀκαδημαϊκὴ κοινότητα. Πραγματοποιήθηκαν ἤδη δύο συνεδρίες καὶ προβλέπονται ἄλλες τρεῖς γιὰ τὸ 2019.

6. Κέντρον Ἐρεῦνης τῆς Ἑλληνικῆς καὶ Λατινικῆς Γραμματείας (ΚΕΕΛΓ)

Τὸ ἔτος 2018:

1. Ὁλοκληρώθηκε τὸ 2ο ἐπιστημονικὸ σεμινάριο τοῦ Κέντρου (2017-2018) μὲ τίτλο «Νέες προσεγγίσεις στὸ ἀρχαῖο ἔπος», τὸ ὁποῖο πραγματοποιεῖται μηνιαίως μὲ τὴ συμμετοχὴ Ἑλλήνων καὶ ξένων ἐπιστημόνων στὴν Ἀνατολικὴ Αἴθουσα τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν.

2. Ἐγίναν ἀνακοινώσεις ἀπὸ τοὺς καθηγητὲς κ.κ. Ὁρέστη Καραβᾶ, Εὐάγγελον Καρακάση, Margalit Finkelberg, Filippomaria Pontani, Gregory Hutchinson, Egbert Bakker καὶ Anton Bierl. Τὸν Ὀκτώβριον τοῦ 2018 ξεκίνησε τὸ 3ο ἐπιστημονικὸ σεμινάριο τοῦ Κέντρου (2018-2019) μὲ τίτλο «Ἡ ἀρχαία ἐλληνικὴ λογοτεχνία σὲ διάλογο μὲ τὸ ξένο», πραγματοποιήθηκαν δὲ οἱ πρῶτες τέσσερις διαλέξεις μὲ ὁμιλητὲς τοὺς καθηγητὲς Ἐφη Παπαδόδημα, Κώστα Βλασόπουλο, Luigi Battezzato καὶ Irad Malkin.

3. Στις 18.6.2018 οργανώθηκε στην Ανατολική Αΐθουσα τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν διεθνῆς ἡμερίδα μὲ τίτλο «Σημασίες καὶ ὄψεις τῆς σιωπῆς στὴν ἀρχαία ἐλληνικὴ λογοτεχνία».

4. Δημοσιεύθηκαν οἱ ἀκόλουθες ἐκδόσεις: Εὐριπίδου *Βάκχες* (εἰσαγωγή, ἀρχαῖο κείμενο, μετάφραση, σχόλια Ἀθανασίου Δ. Στεφανῆ), Σοφοκλέους *Αἴας* (εἰσαγωγή, μετάφραση, σχόλια Ἔφης Παπαδόδημα), Πλωτίνου *Ἐννεάς Πρώτη* (ἀρχαῖο κείμενο, μετάφραση, σχόλια Παύλου Καλλιγᾶ, 3η ἀνατύπωση) καὶ Πλωτίνου *Ἐννεάς Ἐκτη* (ἀρχαῖο κείμενο, μετάφραση, σχόλια Παύλου Καλλιγᾶ), βιβλίο μὲ τὸ ὁποῖο ὁλοκληρώθηκε ἡ ἔκδοση τῶν *Ἐννεάδων* τοῦ Πλωτίνου.

7. Κέντρον Ἐρευνῶν Ἀστρονομίας καὶ Ἐφηρμοσμένων Μαθηματικῶν (ΚΕΑΕΜ)

Τὸ ἔτος 2018:

1. Διεξήχθησαν στὸ ΚΕΑΕΜ ἔρευνες στοὺς τομεῖς τῆς Γαλαξιακῆς Δυναμικῆς, τῆς Μῆ-Γραμμικῆς Δυναμικῆς καὶ τοῦ Χάους, τῆς Ἡλιακῆς Φυσικῆς, τῆς Μαγνητοῦδροδυναμικῆς καὶ τῆς Κοσμολογίας.

2. Δημοσιεύθηκαν ἢ εἶναι ὑπὸ ἐκτύπωση 43 ἐργασίες ἐρευνητῶν τοῦ ΚΕΑΕΜ σὲ διεθνῆ ἐπιστημονικὰ περιοδικὰ μὲ κριτές, 15 ἐργασίες σὲ πρακτικὰ διεθνῶν συνεδρίων ἢ σὲ ἄλλα περιοδικὰ, ἐνῶ ἐρευνητὲς τοῦ ΚΕΑΕΜ ἦσαν ἐκδότες (editors) σὲ τρεῖς εἰδικὲς ἐκδόσεις.

3. Ἐρευνητὲς τοῦ ΚΕΑΕΜ συμμετεῖχαν σὲ ἐπιτροπὲς διοργάνωσης ὀκτώ διεθνῶν ἐπιστημονικῶν συνεδρίων καὶ ἡμερίδων, ἔδωσαν 31 ὀμιλίες (ἐκτὸς τοῦ Κέντρου) σὲ συνέδρια, πανεπιστήμια καὶ ἐρευνητικὰ ἰδρύματα στὴν Ἑλλάδα καὶ στὸ ἐξωτερικὸ, οἱ περισσότερες τῶν ὁποίων ἦταν κατόπιν προσκλήσεως.

4. Πραγματοποιήθηκαν ἑπτὰ ἐπισκέψεις κατόπιν προσκλήσεως σὲ ἐρευνητικὰ ἰδρύματα τοῦ ἐξωτερικοῦ.

8. Κέντρον Ἐρεύνης τῆς Ἑλληνικῆς Φιλοσοφίας (ΚΕΕΦ)

Τὸ ἔτος 2018 πραγματοποιήθηκαν:

1. Τρεῖς ἐκδόσεις: (α) *Ἀριστοτέλης, διαχρονικὸς καὶ ἐπιστημονικῶς ἐπίκαιρος – Aristotle, timeless and scientifically timely* (Πρακτικὰ Διεθνοῦς Συνεδρίου Φιλοσοφίας γιὰ τὰ 2.400 χρόνια ἀπὸ τὴ γέννηση τοῦ Ἀριστο-

τέλους), *Ἀθήναι* 2018, (β) Κάρλ Πόππερ, *Ἀένη Ἀναζήτηση*. *Αὐτοβιογραφία*, *Ἀθήναι* 2018, (γ) *Φιλοσοφία*, 48, 2018 (ὑπὸ δημοσίευση).

2. Τρία φιλοσοφικά σεμινάρια μὲ τὴ συμμετοχὴ πανεπιστημιακῶν καθηγητῶν, ἐρευνητῶν καὶ μεταπτυχιακῶν φοιτητῶν ἀπὸ τὴν Ἑλλάδα καὶ τὸ ἐξωτερικό.

3. Συνεχίστηκε ἡ συνεργασία μὲ τὸ Ἐθνικὸ Κέντρο Ἐπιστημονικῆς Ἑρευνας (CNRS) Γαλλίας, Σορβόννη – Paris IV, μὲ τὸ Πανεπιστήμιο τῆς Βιέννης, μὲ τὸ Πανεπιστήμιο τῆς Ὁξφόρδης, μὲ σκοπὸ τὴν προώθηση τῶν ἐρευνητικῶν προγραμμάτων, καὶ μὲ τὴ Βρετανικὴ Σχολὴ Ἀθηνῶν γιὰ τὶς δύο ἐτήσιες φιλοσοφικὲς διαλέξεις.

4. Ἀναρτήθηκαν 14 ἐκδόσεις τοῦ ΚΕΕΦ στὴ διαδικτυακὴ πύλη «Εὐδοξος» προκειμένου νὰ χρησιμοποιηθοῦν ἀπὸ τοὺς φοιτητὲς ὡς πανεπιστημιακὰ ἐγχειρίδια.

5. Οἱ ἐκδόσεις *Πλάτωνος Θεαίτητος* τοῦ I. N. Θεοδωρακόπουλου καὶ *Εἰσαγωγή στὴν Ἀρχαία Φιλοσοφία* τοῦ Livio Rossetti ἐπιλέχθηκαν στὸ ἐαρινὸ ἐξάμηνο διδασκαλίας 2018 ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιο Ἀθηνῶν.

9. Κέντρον Ἑρεῦνης Ἐπιστημονικῶν Ὁρων καὶ Νεολογισμῶν (ΚΕΕΟΝ)

Τὸ ἔτος 2018:

1. Τὸ ΚΕΕΟΝ ἐξέδωσε τὸν 14ο τόμο τοῦ *Δελτίου Ἐπιστημονικῆς Ὁρολογίας καὶ Νεολογισμῶν* μὲ τίτλο «Ὁψεις τῆς Σωματοκειμενικῆς Γλωσσολογίας». Ἡ ἐκδοσις ἀφορᾷ σὲ γλωσσολογικὰ θέματα σωμάτων κειμένων προφορικοῦ, γραπτοῦ, λογοτεχνικοῦ, δημοσιογραφικοῦ κ.λπ. λόγου. Συμμετεῖχαν ἔγκριτοι καθηγητὲς γλωσσολογίας, Ἕλληνες καὶ ξένοι, ἀπὸ τὴν Κολωνία καὶ τὴ Βιέννη (ὁ ἀκαδημαϊκὸς W. U. Dressler). Οἱ ἐρευνητρίες Ἀφεντουλίδου καὶ Χριστοφίδου συνέβαλαν στὸ ἠλεκτρονικὸ περιβάλλον ποὺ ἔχει ὀργανώσει τὸ ΚΕΕΟΝ γιὰ τὴ συλλογὴ νεολογισμῶν ἀπὸ ἠλεκτρονικὲς ἐφημερίδες, ἀλλὰ καὶ τὴ συλλογὴ καὶ ταξινόμηση κειμένων δημοσιογραφικοῦ λόγου.

2. Συνεχίστηκε ὁ ἔλεγχος ὑποψήφιων νεολογισμῶν καὶ ἡ καταγραφὴ/ἀπόδοσις ξενόγλωσσων νεολογισμῶν, παράλληλα μὲ τὴ συλλογὴ δεδομένων δημοσιογραφικοῦ λόγου, καθὼς καὶ ἡ ἐπεξεργασία πολλῶν ἑκατομμυρίων λέξεων γιὰ τὴ συγκρότηση τοῦ *Σώματος Ἐποπτείας Νεολογισμῶν*, σὲ συνεργασία μὲ φοιτητὲς/τριες πρακτικῆς ἄσκησης.

3. Τὸν Ὀκτώβριο ἐνεκρίθη ἐρευνητικὸ πρόγραμμα τῆς Ἐπιτροπῆς Ἐρευνῶν γιὰ ἀναβάθμιση τοῦ ἠλεκτρονικοῦ περιβάλλοντος τοῦ Κέντρου (ΝΕΟΔΗΜΙΑ), μὲ ἐνσωμάτωση προηγμένων ὑπολογιστικῶν τεχνικῶν στὴν ἡμιαυτόματη καταγραφή δεδομένων ἀπὸ μεγάλες συλλογές κειμένων καὶ τὴν ταξινόμησή τους βάσει τεχνητῆς νοημοσύνης (μηχανικὴ μάθηση).

4. Ἡ Διευθύνουσα τὸ ΚΕΕΟΝ κα Α. Χριστοφίδου ἐξέδωσε, δημοσίευσε ἢ παρέδωσε πρὸς δημοσίευση συνολικὰ τὸ 2018 (μόνη ἢ σὲ συνεργασία) ἕναν τόμο καὶ τέσσερις μελέτες.

10. Κέντρον Ἐρεύνης Φυσικῆς τῆς Ἀτμοσφαιράς καὶ Κλιματολογίας (ΚΕΦΑΚ)

Τὸ Κέντρο κατὰ τὸ ἔτος 2018:

1. Συμμετεῖχε σὲ 12 ἀνταγωνιστικὰ ἐρευνητικὰ προγράμματα στὸ πλαίσιο τῶν ὁποίων ἀπασχολήθηκαν πέντε συνεργαζόμενοι νέοι ἐρευνητές, ἐκπονήθηκαν ὀκτῶ ἄρθρα σὲ ὑψηλῆς στάθμης ἐπιστημονικὰ περιοδικά, παρουσιάστηκαν 18 ἀνακοινώσεις σὲ διεθνῆ ἐπιστημονικὰ συνέδρια καὶ 20 σὲ ἐθνικὰ ἐπιστημονικὰ συνέδρια. Δύο ἀπὸ τὰ δημοσιευμένα ἄρθρα παρουσιάσθηκαν στὸν ἑορτασμό τῶν 30 χρόνων τοῦ Πρωτοκόλλου τοῦ Μόντρεαλ, πού ἔγινε στὴ Γαλλικὴ Ἀκαδημία.

2. Ἐρευνητὲς τοῦ Κέντρου συμμετεῖχαν στὴν ἐκπόνηση τῆς Ἐθνικῆς Στρατηγικῆς γιὰ τὴν Κλιματικὴ Ἀλλαγὴ τοῦ ΥΠΕΝ, ἡ ὁποία ἔγινε νόμος τοῦ κράτους.

3. Ὁ ἐπόπτης τοῦ Κέντρου, καθηγητῆς κ. Χρ. Ζερεφός, τιμήθηκε μὲ τὸν τίτλο τοῦ ἐπιτίμου καθηγητῆ τοῦ Τμήματος Φυσικῆς τοῦ ΑΠΘ, μὲ τὸ μετάλλιο τιμῆς τῆς Βουλγαρικῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν καὶ μὲ τὸ μετάλλιο «Ioan Ursu» τῆς Βαλκανικῆς Ἐνώσεως Φυσικῶν.

11. Κέντρον Ἐρεύνης τῆς Ἀρχαιότητος (ΚΕΑ)

Κατὰ τὸ 2018:

1. Οἱ ἐρευνητὲς τοῦ Κέντρου προώθησαν ποικιλοτρόπως τὰ ἐρευνητικὰ τους προγράμματα, ἐνῶ παράλληλα ὑποστηρίζουν τὰ διεθνῆ προγράμματα πού ἐκπονοῦνται μὲ εὐθύνη τοῦ ΚΕΑ. Πρὸς τοῦτο πραγματοποιήθηκαν ἐρευνητικὲς ἀποστολές στὴν Ἔφεσο, στὴ Θήβα καὶ στὰ Χανιά.

2. Ὑπὸ δημοσίευση εἶναι τὸ ἔργο τῆς Διευθύνουσας τὸ ΚΕΑ κυρίας Βασιλικῆς Μαχαίρα μὲ τίτλο Ἑλληνιστικὰ γλυπτὰ τῆς Ρόδου, Κατάλογος, τόμος II, ἐνῶ ἤδη δημοσιεύθηκαν δύο σχετικὰ ἄρθρα της.

3. Μὲ τὴν ἐνεργὸ συμμετοχὴ τοῦ ἐρευνητῆ κ. Χρήστου Μπουλώτη περιελήφθησαν γιὰ πρώτη φορὰ ἀντικείμενα ἀπὸ τὸν οἰκισμὸ Κουκονήσι στὸ Ἀρχαιολογικὸ Μουσεῖο τῆς Μύρινας (Λήμνου), τὸ ὁποῖο ἐγκαινιάσθηκε τὸν Ἰούλιο 2018.

4. Κυκλοφόρησαν 2 τόμοι σὲ διεθνεῖς σειρὲς ὑπὸ τὴν αἰγίδα τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, πού ἐκπονοῦνται μὲ εὐθύνη τῆς Διευθύνουσας καὶ τῶν καθ' ὕλην ἀρμόδιων ἐρευνητῶν τοῦ ΚΕΑ:

α. *Corpus Signorum Imperii Romani (CSIR): Athens, National Archaeological Museum I. Attic Sarcophagi with Garlands, Erotes and Dionysiac Themes* (ὑπὸ Στυλιανοῦ Κατάκη).

β. *Corpus Vasorum Antiquorum (CVA): Athens, National Archaeological Museum, Fasc. 7. Attic Black- and Red-figure Hydriai* (ὑπὸ Ὀλγας Τζάχου Ἀλεξανδρῆ).

12. Κέντρον Ἐρεῦνης τῆς Ἑλληνικῆς Κοινωνίας (ΚΕΕΚ)

1. Ἐκδόσεις τοῦ Κέντρου:

Κυκλοφόρησε στὰ «Δημοσιεύματα τοῦ Κέντρου Ἐρεῦνης τῆς Ἑλληνικῆς Κοινωνίας» (ἀριθμ. 18) ἡ μελέτη τοῦ ἐξωτερικοῦ συνεργάτη τοῦ Κέντρου δρ. Χαράλαμπου Τσέκερη μὲ τίτλο *Κρίση, θεσμοί, ταυτότητες καὶ νεολαία στὴ σύγχρονη ἑλληνικὴ κοινωνία*.

2. Ἐρευνες τοῦ Κέντρου:

α. «Ἡ ἑλληνικὴ οἰκογένεια ἀπὸ τὸν Μεσοπόλεμο ὡς σήμερα: κοινωνικὲς σχέσεις, φτώχεια, ἐργασία, παραοικονομία» (ἐρευνήτρια Ἀλίκη Βαξεβάνογλου).

β. «Οἱ κοινωνικὲς ἐπιπτώσεις τῆς φτώχειας στὴν οἰκογένεια καὶ στὴ σύγχρονη ἑλληνικὴ διασπορά» (ἐρευνήτρια Κατερίνα Βασιλικοῦ).

γ. «Οἰκονομικὴ κρίση, κοινωνικὴ ὀδύνη καὶ πολιτικὴ χειραγώγηση: ὀψεις τῆς παθολογίας τῶν μεσαίων στρωμάτων» (ἐρευνήτης Νίκος Καμπέρης).

δ. «Εἰκόνες ἑαυτοῦ καὶ ἐπαγγελματικὴ ταυτότητα τῶν καθηγητῶν τῆς δευτεροβάθμιας ἐκπαίδευσης ὀφειλόμενες στὴν κρίση καὶ στὶς ἐκπαιδευτικὲς ἀλλαγές» (ἐρευνήτρια Ἀλκηστὶς Βερέβη).

3. Ὁ ἐρευνητὴς κ. Νίκος Καμπέρης παρήγαγε ὀπτικοακουστικὸ ὑλικὸ μὲ ταινία μικροῦ μήκους: «Ὁ Εὐρωπαῖος πολίτης».

4. Τὸ Κέντρο συνέχισε τὶς ἐκπαιδευτικὲς τοῦ δραστηριοτήτες.

13. Κέντρον Ἐρεῦνης τῆς Βυζαντινῆς καὶ Μεταβυζαντινῆς Τέχνης (ΚΕΒΜΤ)

Κατὰ τὸ ἔτος 2018:

1. Οἱ ἐρευνητὲς τοῦ Κέντρου κυρία Ἰωάννα Μπίθα, κ. Ἰωάννης Βιταλιώτης, κυρίες Ὑλγα Καραγιώργου καὶ Ἰωάννα Χριστοφοράκη καὶ κ. Ἰωάννης Γαλερίδης προώθησαν ἐρευνητικὰ προγράμματα ποῦ ἀφοροῦν στὴν καταγραφή καὶ τὴ μελέτη βυζαντινῶν καὶ μεταβυζαντινῶν τοιχογραφιῶν, μολυβδοβούλλων καὶ ὑπαίθριων σύγχρονων γλυπτῶν.

2. Ὁλοκληρώθηκε ἡ καταγραφή τοῦ Σχεδιαστικοῦ καὶ τοῦ Φωτογραφικοῦ Ἀρχείου τοῦ Ἁγίου Ὅρους, μέρους τῆς δωρεᾶς τοῦ ἀειμνήστου ἀκαδημαϊκοῦ Παύλου Μυλωνᾶ. Ἀκόμα, ἀπὸ τὸν ἐρευνητὴ τοῦ Κέντρου κ. Ἰ. Βιταλιώτη πραγματοποιήθηκε ἐρευνητικὴ ἀποστολὴ καταγραφῆς τοιχογραφιῶν καὶ εἰκόνων στὴν Ἀλβανία.

3. Ἐρευνητὲς τοῦ Κέντρου ἔδωσαν τρεῖς διαλέξεις, παρουσίασαν ἀνακοινώσεις σὲ τέσσερα ἐλληνικὰ καὶ διεθνῆ συνέδρια καὶ ὑπέβαλαν γιὰ δημοσίευση σειρὰ ἄρθρων.

Στὴν ἐκδοτικὴ σειρὰ τοῦ Κέντρου «Εὐρετήριο Βυζαντινῶν Τοιχογραφιῶν τῆς Ἑλλάδος» δημοσιεύθηκε ἀπὸ τὸν ἀκαδημαϊκὸ κ. Παναγιώτη Λ. Βοκοτόπουλο καὶ τοὺς συνεργάτες του τόμος ἀφιερωμένος στὰ Ἴονια Νησιά.

4. Διοργανώθηκε ἡ ἐτήσια διάλεξη «Μνήμη Μανόλη Χατζηδάκη», στὴν ὁποία μίλησε ἡ καθηγήτρια τῆς Βυζαντινῆς Τέχνης τοῦ Πανεπιστημίου Harvard, στὴν ἔδρα Dumbarton Oaks, κυρία Ἰόλη Καλαβρέζου μὲ θέμα «Ὁ συμβολισμὸς τοῦ φωτὸς στὴ βυζαντινὴ πολιτικὴ ἰδεολογία».

14. Κέντρον Ἐρευνῶν Θεωρητικῶν καὶ Ἐφαρμοσμένων Μαθηματικῶν (ΚΕΘΕΜ)

Ἡ ἔρευνα τοῦ ΚΕΘΕΜ ἐστιάστηκε στὴ δημιουργία ἀλγόριθμων ἀνακατασκευῆς ἱατρικῆς εἰκόνας γιὰ τὰ ἀπεικονιστικὰ συστήματα PET, CT καὶ SPECT. Τὸ ἔτος 2018 τὸ ΚΕΘΕΜ εἶχε ἐπίσης τὶς ἀκόλουθες δραστηριότητες:

1. Ὁ ἐπόπτης τοῦ Κέντρου, ἀκαδημαϊκὸς κ. Ἀθανάσιος Φωκᾶς, παρουσίασε μία πρωτοπόρα μέθοδο γιὰ τὴν ἀπόδειξη τῆς ὑπόθεσης Lindelöf, ἐνὸς ἀπὸ τὰ σημαντικότερα ἀνοικτὰ προβλήματα στὴν ἱστορία τῶν μαθηματικῶν.

2. Τὰ μέλη του δημοσίευσαν τρεῖς ἐργασίες στὰ ἐπιστημονικὰ περιοδικὰ *Journal of The Royal Society Interface*, *Frontiers in Chemistry* καὶ *Molecular Medicine Reports*.

3. Τὸ Κέντρο μετέσχε ἐπίσης στὰ ἐρευνητικὰ προγράμματα «Ἀντίστροφα Προβλήματα καὶ Ἰατρικὴ Ἀπεικόνιση» καὶ «Ἀνάπτυξη καὶ Ἀξιολόγηση Νέου Τρισδιάστατου Ἀλγόριθμου Ἀνακατασκευῆς Ἰατρικῆς Εἰκόνας PET».

Γραφεῖα

1. Γραφεῖον Θεωρητικῆς καὶ Ἐφαρμοσμένης Μηχανικῆς

Τὰ μέλη καὶ ὁ ἐπόπτης τοῦ Γραφείου (Ἄ. Κουνάδης) δημοσίευσαν πλέον τῶν 30 ἐρευνητικῶν ἐργασιῶν σὲ ἔγκριτα περιοδικὰ καὶ πρακτικὰ συνεδρίων. Εἰδικότερα ὁ ἐπόπτης τοῦ Γραφείου:

α. Δημοσίευσε τέσσερις ἐρευνητικὲς ἐργασίες του σὲ ἔγκριτα διεθνῆ περιοδικά.

– Kounadis, A. N., The effect of sliding on the rocking instability of multi-rigid block assemblies under ground motion, *Soil Dyn & Earth Eng*, 104, 2018, 1-14.

– Kounadis, A. N., Author's reply to discussers on The effect of sliding on the rocking instability of multi-rigid block assemblies under ground motion, *Soil Dyn & Earth Eng*, 104, 2018, 369-371.

– Kounadis, A. N., Seismic rocking of multi-spondyle columns carrying heavy bodies, *Proceedings of the Academy of Athens*, 93 A', 2018.

– Kounadis, A. N., Seismic instability of free-standing statues atop multispondyle columns: A heuristic very stable system of ancient technology, *Soil Dyn & Earth Eng* (ὑπὸ δημοσίευση).

β. Κήρυξε τὴν ἐναρξὴ ἐργασιῶν ἢ χαιρέτισε τέσσερις ἐκδηλώσεις:

– Στὸ Πανεπιστήμιο Πατρῶν μὲ θέμα «Οἱ δραματικὲς ἀλλαγὲς στὸν πλανήτη καὶ οἱ ἐλληνικὲς ρίζες τῆς οἰκολογικῆς ἠθικῆς» (17-20.6.2018).

– Στὸ Μουσεῖο τῆς Ἀκρόπολης μὲ θέμα «Ἡ Ἑλλάδα στὸν σύγχρονο κόσμος: Ἡ ἐθνικὴ ταυτότητα καὶ οἱ προκλήσεις τοῦ 21ου αἰῶνα».

– Στὸ ΣΤ΄ Πανελλήνιο/Διεθνὲς Συνέδριο: «Ἡ Νάξος διὰ μέσου τῶν αἰώνων», ποὺ ἔγινε στὴ Νάξο (30.8 - 2.9.2018).

γ. Ἔλαβε τιμητικὲς διακρίσεις:

– Στις 30.8.2018 τιμῆθηκε ἀπὸ τὸν Δῆμο Νάξου καὶ Μικρῶν Κυκλάδων.

– Στις 14.9.2018 ἔλαβε τὸν Χρυσοῦν Σταυρὸν τοῦ Ἁγίου Ἰσιδώρου ἀπὸ τὸν Μητροπολίτη Χίου, Ψαρῶν καὶ Οἴνουσσῶν κ.κ. Μάρκο.

– Στις 14.9.2018 τιμῆθηκε ἀπὸ τὸ Ἴδρυμα «Μαρία Τσάκος» στὶς ἐκδηλώσεις κατὰ τὰ ἐγκαίνια τοῦ νέου Ἰδιωτικοῦ Λυκείου Ναυτικῆς Ἐκπαίδευσης στὴ Χίο.

– Στις 17.9.2018 ἀναγορεύτηκε ἐπίτιμος Πρόεδρος τῆς «Ἐστίας Ν. Σμύρνης».

– Στις 20.11.2018 ἀναγορεύτηκε ἐπίτιμος καθηγητῆς τοῦ Τμήματος Πολιτικῶν Μηχανικῶν τοῦ Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης (ΔΠΘ).

– Στις 14.12.2018 ἔλαβε τὸν Χρυσοῦν Σταυρὸν τοῦ Ἀποστόλου Παύλου τῆς Μητροπόλεως Θεσσαλονίκης ἀπὸ τὸν Παναγιώτατο κ.κ. Ἄνθιμο.

2. Γραφεῖον Πειραματικῆς Φυσικῆς

Τὸ Γραφεῖο συνέχισε τὶς ἐργασίες του γιὰ τὴν προαγωγή τῆς ἐπιστήμης καὶ τῆς τεχνολογίας τῆς ἐνέργειας στὴν Ἑλλάδα, καὶ τὴν εἰς βάθος μελέτη τῶν ἐνεργειακῶν ἀναγκῶν τῆς Ἑλλάδος, καθὼς καὶ τὶς συνεργασίες του μὲ Ἀκαδημίες Ἐπιστημῶν χωρῶν τῆς Ε.Ε. Συγκεκριμένα:

1. Ἐξέδωσε τὰ Πρακτικὰ Ἡμερίδας τῆς Ἐπιτροπῆς Ἐνέργειας τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν μὲ θέμα Ἐνεργειακὲς προοπτικὲς τῆς Ἑλλάδας μὲ ὀρίζοντα τὸ 2050 (Ἀθήνα 2018).

2. Συγκρότησε ὁμάδα ἐργασίας σὲ συνεργασία μὲ τὴν Ἐπιτροπὴ Ἐνέργειας τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν καὶ τὸ Πανεπιστήμιο Ἰωαννίνων, συνδιοργάνωσε δὲ ἐκδήλωση μὲ τὸν Ὀμιλο Πολιτικοῦ καὶ Κοινωνικοῦ Προβληματισμοῦ Ἰωαννίνων τῆ Δευτέρα 11 Ἰουνίου 2018 μὲ θέμα «Ἐρευνα ὑδρογονανθράκων στὴν Ἀνατολικὴ Μεσόγειο: προοπτικὲς καὶ προκλήσεις».

3. Διοργάνωσε ἡμερίδα μὲ θέμα «Ἐρευνα στὸν τομέα τῆς ἐνέργειας στὴν Ἑλλάδα» (Ἀθήνα, Νοέμβριος 2018).

4. Ὁ διεθνὴς ἐκδοτικὸς οἶκος Springer ἐξέδωσε τὸ βιβλίον τοῦ ἀκαδημαϊκοῦ κ. Α. Γ. Χριστοφόρου μὲ τίτλο *Emerging Dynamics: Science, Energy, Society and Values* (Ἰούλιος 2018).

5. Ὁ ἐπόπτης κ. Α. Χριστοφόρου ἐκπροσώπησε τὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν σὲ συνεδριάσεις Διεθνῶν Ὄργανισμῶν Ἀκαδημιῶν ὅπως τὴν ALLEA, τὸ EASAC καὶ τὸ ISC (International Science Council).

3. Γραφεῖον Διαστημικῆς Ἐρεῦνης καὶ Τεχνολογίας

Τὰ σημαντικότερα ἔργα καὶ δραστηριότητες τοῦ Γραφείου, μὲ ἐπόπτη τὸν ἀκαδημαϊκό, καθηγητὴ κ. Σταμάτη Κριμιζῆ, ἐπιστημονικὸ συνεργάτη τὸν δρ. Νίκο Σέρρη καὶ ἐξωτερικὸ συνεργάτη τὸν δρ. Κωνσταντῖνο Διαλυνᾶ, γιὰ τὸ ἔτος 2018 εἶναι:

1. Προετοίμασε τὴν ὑποψηφιότητα τῆς χώρας μας γιὰ τὸ 44ο Ἐπιστημονικὸ Συνέδριο τῆς COSPAR (Ἐπιτροπὴ Διαστημικῆς Ἔρευνας – Committee on Space Research τοῦ International Council of Scientific Unions-ICSU), τὸ ὁποῖο θὰ γίνῃ τὸ 2022.

2. Ὄργάνωσε τὸ συνέδριο Europlanet Workshop (NA1), «Uniting Planetary Models and Data Analysis Tools/Resources» (Καλαμάτα, 11-14.9.2018).

3. Δημοσίευσε/ὑπέβαλε 21 ἔργασίες σὲ περιοδικὰ μὲ κριτές, εἶχε 19 συμμετοχὲς σὲ ἐπιστημονικὰ συνέδρια καὶ συμπόσια, 41 ὁμιλίες σὲ δημόσιες παρουσιάσεις/σεμινάρια στὴν Ἑλλάδα καὶ τὸ ἐξωτερικὸ, 19 συνεντεύξεις στὴν Ἑλλάδα καὶ 17 παρουσιάσεις σὲ ἐπιστημονικὰ συνέδρια.

4. Τὸ Ἑλληνικὸ Τμήμα τῆς International Board on Books for Young People (IBBY) – Κύκλος τοῦ Ἑλληνικοῦ Παιδικοῦ Βιβλίου ἀπένευσε στὸν κ. Κριμιζῆ τὸ Βραβεῖο «Βίτω Ἀγγελοπούλου» γιὰ τὸ βιβλίον του γιὰ παιδιὰ *Ταξίδι στὸ Ἡλιακὸ Σύστημα: Ἀπὸ τὸν Ἐρμῆ στὸν Πλούτωνα σὲ 50 χρόνια*, Ἐκδόσεις Παπαδόπουλος.

4. Γραφεῖον Ἐρεῦνης Διεθνῶν καὶ Συνταγματικῶν Θεσμῶν

Τὸ Γραφεῖο συνεχίζει τὴν ἔρευνα γιὰ τὴν ἑλληνικὴ ναυτιλία καὶ τοὺς ναυτικούς καὶ ὀλοκληρώνει μελέτη γιὰ τὴν ἑλληνικὴ ἀλιεία καὶ τοὺς Ἑλληνες ἀλιεῖς. Ἐπίσης μὲ πρόγραμμα τοῦ ἐξετάζεται τὸ δημόσιο χρέος τῆς Ἑλλάδος στὸ πλαίσιο τοῦ διεθνοῦς καὶ τοῦ εὐρωπαϊκοῦ δικαίου. Τὸ Γραφεῖο συνεργάζεται ἐνεργῶς μὲ τὸ Παγκόσμιο Ἀκαδημαϊκὸ Δίκτυο Προστασίας τῶν Ἀνθρωπίνων Δικαιωμάτων.

ΠΒΕΑΑ

Τὸ Ἴδρυμα Ἱατροβιολογικῶν Ἐρευνῶν τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν (ΠΒΕΑΑ) συνέχισε σταθερὰ καὶ κατὰ τὸ τρέχον ἔτος τὴν ἀνοδική του πορεία μὲ τὶς ἀκόλουθες δραστηριότητες:

1. Στὸ ΠΒΕΑΑ ἐκπαιδεύονται 51 ὑποψήφιοι γιὰ τὴν ἀπόκτηση πτυχίου MSc, 104 γιὰ τὴν ἀπόκτηση διδακτορικοῦ διπλώματος καὶ 78 κάτοχοι διδακτορικοῦ διπλώματος, τὰ ἔξοδα τῶν ὁποίων καλύπτονται ἀπὸ ἀνταγωνιστικὰ ἐρευνητικὰ προγράμματα.

2. Δημοσιεύθηκαν φέτος 230 καὶ πλέον ἐργασίες σὲ ἔγκριτα περιοδικὰ διεθνoῦς κυκλοφορίας ὑψηλοτάτου δείκτου ἀπηχῆσεως. Ἐξ αὐτῶν προέκυψαν νέα σημαντικὰ εὐρήματα καὶ καινοτόμες ἰδέες γιὰ τὴ μελέτη τῶν μοριακῶν μηχανισμῶν ρυθμίσεως τῆς «γονιδιακῆς ἐκφράσεως», δημιουργίας φλεγμονῶν, καρκινογενέσεως, αὐτοανοσίας, προστασίας καὶ λειτουργίας τῶν καρδιακῶν κυττάρων, βιολογίας τῶν βλαστικῶν κυττάρων καὶ μετατροπῆς τους σὲ ἄλλα κύτταρα.

3. Ὁλοκληρώνεται ἡ σύνταξη τοῦ Ἐσωτερικοῦ Κανονισμοῦ τοῦ ΠΒΕΑΑ.

4. Νέες συνεργασίες:

α. Κατόπιν διεθνoῦς διαγωνισμοῦ ἡ Ἑλληνικὴ Αἱματολογικὴ Ἐταιρεία ἀνέθεσε στὸ Κέντρο Γονιδιωματικῆς τοῦ ΠΒΕΑΑ τὸν ἔλεγχο τῶν γονιδίων τῶν ἀντιγόνων ἱστοσυμβατότητος ἐθελοντῶν δοτῶν μυελοῦ τῶν ὀστέων, τοῦ ὁποίου ἡ πρώτη φάση ὑλοποιήθηκε μὲ τὴ χρήση τῶν πλέον σύγχρονων τεχνολογιῶν γονιδιωματικῆς.

β. Ὑπεγράφη σύμφωνα συνεργασίας μὲ τὴν Ὀγκολογικὴ Μονάδα «ΟΡΑΜΑ ΕΛΠΙΔΑΣ» τοῦ Νοσοκομείου Παίδων ΑΓ. ΣΟΦΙΑ γιὰ τὸν ἔλεγχο τῶν γονιδίων ἱστοσυμβατότητος 40.000 ἐθελοντῶν δοτῶν μυελοῦ ὀστέων. Τοῦτο θὰ συμβάλει στὴν ταχύτερη καὶ ἀσφαλέστερη εὕρεση τοῦ καταλλήλου δότη μυελοῦ τῶν ὀστέων (γιὰ τὴ θεραπεία παιδικoῦ καρκίνου καὶ ἄλλων σοβαρῶν ἀσθενειῶν).

γ. Ὑπεγράφη μνημόνιο συνεργασίας μὲ τὸ Ἑλληνικὸ Ἴδρυμα Ὑγείας γιὰ τὴ φιλοξενία τῆς βιολογικῆς βάσεως αὐτοῦ στὸ ΠΒΕΑΑ μὲ στόχο τὴν ἀνάληψη κοινῶν ἐρευνητικῶν προγραμμάτων πρὸς ὄφελος τῆς δημόσιας υγείας.

δ. Συνεχίζεται ἡ συνεργασία μὲ τὸ φημισμένο ἴδρυμα τοῦ Πανεπιστημίου Harvard (Dana Faber Cancer Institute) γιὰ τὴν ἐκτέλεση προγραμμάτων

γονιδιωματικής ανάλυσης με στόχο την καταπολέμηση του παιδικού καρκίνου σε συνεργασία και με την Όγκολογική Μονάδα «ΟΡΑΜΑ ΕΛΠΙΔΑΣ».

5. Το Ίδρυμα ολοκλήρωσε επιτυχώς τις προβλεπόμενες από τον νόμο απαραίτητες διαδικασίες για την εκτέλεση κλινικών δοκιμών (γενοσήμων ή νέων φαρμάκων), αλλά και πραγματοποίησε με επιτυχία για πρώτη φορά στην Ελλάδα μελέτες βιοϊσοδυναμίας γενοσήμων φαρμάκων ελληνικών φαρμακευτικών εταιρειών. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ανακαινισμένοι από το ΠΒΕΑΑ χώροι του συνεργαζομένου Νοσοκομείου ΣΩΤΗΡΙΑ.

6. Έπεκτείνονται οι δραστηριότητες του ΠΒΕΑΑ στον τομέα έρευνας και παροχής υπηρεσιών «έξατομικευμένης ή Ιατρικής ακριβείας» με την ανέγερση νέου κτιρίου (20.000 τ.μ.), που βρίσκεται στη φάση προετοιμασίας των τευχών δημοπράτησης. Η δραστηριότητα αυτή θα συμβάλει στην επιλογή της πλέον ένδεδειγμένης θεραπείας για κάθε ασθενή (κατάλληλο φάρμακο και σωστή δόση), πράγμα που θα βοηθήσει στην αύξηση του προσδοκίμου επιβίωσης με παράλληλη μείωση των εξόδων νοσηλείας και έντατικής θεραπείας. Το έργο αυτό και η συντήρησή του για 25 χρόνια χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Ανοικοδόμησης και Ανάπτυξης.

Αξιίζει να τονισθεί ότι μόνον το 9% των συνολικών δαπανών του ΠΒΕΑΑ καλύπτεται από κρατική χρηματοδότηση· οι υπόλοιπες δαπάνες του ΠΒΕΑΑ καλύπτονται από εθνικά και ευρωπαϊκά προγράμματα, ως και από την παροχή εξειδικευμένων υπηρεσιών υγείας.

Παρά τη δραματική μείωση της κρατικής επιχορήγησης (λόγω της οικονομικής κρίσης), το ΠΒΕΑΑ θα συνεχίσει την έρευνητική προσπάθεια πρόωξης της έρευνας και καινοτομίας, των δύο αυτών βασικών πυλώνων ανάπτυξης της χώρας.

ΕΚΘΕΣΕΙΣ ΠΕΠΡΑΓΜΕΝΩΝ
ΤΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΕΡΕΥΝΗΣ

ΕΚΘΕΣΕΙΣ

ΚΕΝΤΡΟΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

Κατὰ τὸ 2018 συνεχίστηκαν οἱ πολλαπλές δραστηριότητες τοῦ Κέντρου, με ἀξιόλογα ἐπιστημονικά ἀποτελέσματα τοῦ δημοσιεύτηκαν σὲ περιοδικὰ διεθνοῦς κύρους, με διεθνεῖς συνεργασίες, ἀποστολές σὲ Ἰδρύματα τοῦ ἐξωτερικοῦ καὶ ἐβδομαδιαῖα σεμινάρια με ὀμιλητὲς ἀπὸ τὴν Ἑλλάδα καὶ τὸ ἐξωτερικό.

Ἡ ἔρευνα τοῦ ΚΕΑΕΜ ἐστίασε στὰ ἀκόλουθα πέντε ἐπιστημονικά πεδία:

- Θεωρητικὴ καὶ Παρατηρησιακὴ Γαλαξιακὴ Δυναμικὴ
- Μὴ Γραμμικὴ Δυναμικὴ καὶ Χάος
- Ἡλιακὴ Φυσικὴ
- Μαγνητοῦδροδυναμικὴ
- Κοσμολογία

Δημοσιεύσεις

Κατὰ τὸ ἔτος 2018 δημοσιεύθηκαν 61 ἐργασίες, ἐκ τῶν ὁποίων 35 σὲ περιοδικὰ με σύστημα κριτῶν. Ἐννέα ἐργασίες δημοσιεύθηκαν σὲ πρακτικὰ συνεδρίων καὶ 11 σὲ ἑλληνικὰ περιοδικὰ καὶ εἰδικοὺς τόμους.

Δημοσιεύσεις σὲ διεθνῆ περιοδικὰ με κριτὲς

HARSOULA, M. – CONTOPOULOS, G., Global and local diffusion in the Standard Map, *Phys. Rev. E.*, 97, 2018, 022215.

TZEMOS, A. C. – CONTOPOULOS, G., Integrals of motion in 3-d Bohmian Trajectories, *J. Phys. A.*, 51, 2018, 075101.

TZEMOS, A. C. – EFTHYMIPOULOS, C. – CONTOPOULOS, G., Origin of chaos in 3-d quantum vortices: A general Bohmian theory, *Phys. Rev. E.*, 97, 2018, 042201.

PATSI, P. A. – HARSOULA, M., Building CX peanut-shaped disk galaxy profiles. The relative importance of the 3D families of periodic orbits bifurcating at the vertical 2:1 resonance, *Astron. Astroph.*, 612, 2018, 114.

PAEZ, R. – EFTHYMIPOULOS, C., Secondary resonances and the boundary of effective stability of Trojan motions, *Cel. Mech. Dyn. Astron.*, 130, 20, 2018, 1.

KYZIROPOULOS, P. – FILELIS-PAPADOPOULOS, C. K. – GRAVVANIS, G. – EFTHYMIPOULOS, C., Toward the design of a novel hybrid parallel N-body method in scope of modern cloud architectures, *J. Supercomputing*, 74, 2018, 569.

CONTOPOULOS, I., The immediate environment of an astrophysical black hole, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 473, L146, 2018.

CONTOPOULOS, I. – NATHANAIL, A. – SADOWSKI, A. – KAZANAS, D. – NARAYAN, R., Numerical simulations of the Cosmic Battery in accretion flows around astrophysical black holes, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 473, 2018, 721.

CHRISTODOULOU, D. M. – LAYCOCK, S. G. T. – KAZANAS, D. – CONTOPOULOS, I., Flaring activity from quiescent states in neutron-star X-ray binaries, *Res. Astron. Astrophys.*, 18, 2018, 142.

YEATES, E. R. – AMARI, T. – CONTOPOULOS, I. *καὶ 17 συν-συγγραφεῖς*, Global non-potential magnetic models of the solar corona during the March 2015 eclipse, *Space Sci. Rev.*, 214, 99.

FUKUMURA, K. – KAZANAS, D. – SHRADER, C. – BEHAR, E. – TOMBESI, F. – CONTOPOULOS, I., Variable nature of magnetically Driven ultra-fast outflows, *Astroph. J.*, 864, L27, 2018.

BOGOVALOV, S. V. – CONTOPOULOS, I. – PROSEKIN, A. – TRONIN, I. – AHARONIAN, F. A., Magnetic absorption of VHE photons in the magnetosphere of the Crab pulsar, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 476, 2018, 4213.

FUKUMURA, K. – KAZANAS, D. – SHRADER, C. – BEHAR, E. – TOMBESI, F. – CONTOPOULOS, I., Magnetized Disk-Winds in NGC 3783, *Astroph. J.*, 853, 2018, 40.

BASILAKOS, S. – PALIATHANASIS, A. – BARROW, J. D. ET AL., Cosmological singularities and analytical solutions in varying vacuum cosmologies, *Eur. Phys. J. C.*, 78, 2018, 684.

BASILAKOS, S. – NESSERIS, S. – ANAGNOSTOPOULOS, F. K. ET AL., Updated constraints on $f(T)$ models using direct and indirect measurements of the Hubble parameter, *JCAP*, 08, 008, 2018.

ANAGNOSTOPOULOS, F. – BASILAKOS, S., Constraining the dark energy models with $H(z)$ data: An approach independent of H_0 , *Phys. Rev. D.*, 97, 3503, 2018.

KAMALI, V. – BASILAKOS, S. – MEHRABI, A. – MOTAHARFAR, M. – MASSAELI, E., Tachyon warm inflation with the effects of loop quantum cosmology in the light of Planck 2015, *Int. J. Pod. Phys. D.*, 27 1850056, 2018.

KARPATHOPOULOS, L. – BASILAKOS, S. – LEON, G. – PALIATHANASIS, A. – TSAMPARLIS, M., Cartan symmetries and global dynamical systems analysis in a higher-order modified teleparallel theory, *Gen. R. Grav.*, 50, 79, 2018.

LUNA, C. A. – BASILAKOS, S. – NESSERIS, S., Cosmological constraints on γ -gravity models, *Phys. Rev. D.*, 98, 023516, 2018.

MEHRABI, A. – BASILAKOS, S., Dark energy reconstruction based on the Padé approximation; an expansion around the Λ CDM, *Eur. Phys. J. C.*, 78, 889, 2018.

FERNANDEZ, A. – TERLEVICH, E. – TERLEVICH, R. ET AL. (BASILAKOS, S.), An independent determination of the local Hubble constant, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 474, 1250, 2018.

PAPAGEORGIU, A. – BASILAKOS, S. – PLIONIS, M., Comparison of the linear bias models in the light of the Dark Energy Survey, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 476, 2621, 2018.

PAPAGIANNOPOULOS, G. – BASILAKOS, S. – BARROW, J. D. – PALIATHANASIS, A., New integrable models and analytical solutions in $f(R)$ cosmology with an ideal gas, *Phys. Rev. D.*, 97, 024026, 2018.

AKHLAGHI, I. A. – MALEKJANI, M. – BASILAKOS, S. – HAGHI, H., Model selection and constraints from holographic dark energy scenarios, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 477, 3659, 2018.

GONTIKAKIS, C. – VIAL, J.-C., Effects of resonant scattering of the Si IV doublet near 140 nm in a solar active region, *Astron. Astroph.*, 619, 64, 2018.

KONTOGIANNIS, I. – GONTIKAKIS, C. – TSIROPOULA, G. – TZIOTZIOU, K., Probing the quiet solar atmosphere from the Photosphere to the Corona, *Sol. Phys.*, 293, 56, 2018.

GEORGOULIS, M. K. – PAPAIOANNOU, A. – SANBERG, I. – DAGLIS, I. A. – ANASTASIADIS, A. – RODRIGUEZ-GASEN, R. – ARAN, A. – SANAHUJA, B. – NIEMINEN, P., Analysis and interpretation of inner-heliospheric SEP events with the ESA Standard Radiation Environment Monitor (SREM) Onboard the Integral and Rosetta Mission, *J. Space Wea. Space Clim.*, 8, A40, 2018.

PARK, S.-H. – GUERRA, J. A. – GALLAGHER, P. T. – GEORGOULIS, M. K. – BLOOMFIELD, D. S., Photospheric shear flows in solar active regions and their relation to flare occurrence, *Solar Phys.*, 293, 114, 2018.

KONTOGIANNIS, I. – GEORGIOULIS, M. K. – PARK, S.-H. – GUERRA, J. A., Testing and improving a set of morphological predictors of flaring activity, *Solar Phys.*, 293, 96, 2018.

FLORIOS, K. – KONTOGIANNIS, I. – PARK, S.-H. – GUERRA, J.-A. – BENVENUTO, F. – BLOOMFIELD, D. S. – GEORGIOULIS, M. K., Forecasting solar flares using magnetogram-based predictors and machine learning, *Solar Phys.*, 293, 28, 2018.

GUERRA, J. A. – PARK, S.-H. – GALLAGHER, P. T. – KONTOGIANNIS, I. – GEORGIOULIS, M. K. – BLOOMFIELD, D. S., Active region photospheric magnetic properties derived from line-of-sight and radial fields, *Solar Phys.*, 293, 9, 2018.

TRITAKIS, V. – REPAPIS, C. – KARAMANOS, A., Confirmation of an early estimation for an increase in the seismic activity towards the end of the twentieth century, *J. Seismol.*, 22, 921, 2018.

VOTIS, C. – TATSIS, G. – CHRISTOFILAKIS, V. – KOSTARAKIS, P. – REPAPIS, C. – TRITAKIS, V., A new portable ELF Schumann resonance receiver: design and detailed analysis of the antenna and the analog front-end, *EURASIP J Wirel Commun Netw.*, 155, 2018, <https://doi.org/10.1186/s13638-018-1157-7>

CHRISTODOULIDI, H. – BOUNTIS, A. – DROSSOS, L., The effect of long-range interactions on the dynamics and statistics of 1D Hamiltonian lattices with on-site potential, *Eur. Phys. J. Sp. Topics*, 227, 563, 2018.

PAPADOPOULOS, P. P. – BISBAS, T. G. – ZHANG, Z.-Y., New places and phases of CO-poor/C I-rich molecular gas in the Universe, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 478, 1716, 2018.

Δημοσιεύσεις στα έλληνικά

ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ, Γ., Οί διάφορες απόψεις του Hawking, περιοδικό *Ακτίνες*, 2018.

Έκδόθηκε το τεύχος *Νεότερες Έξελίξεις στην Αστρονομία 2017* (ISSN-2585-3767) με 10 εργασίες έρευνητών του ΚΕΑΕΜ.

ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. – ΕΥΘΥΜΙΟΠΟΥΛΟΣ, Χ. – ΤΖΕΜΟΣ, Α. Χ., *Πώς εισάγεται το Χάος στην Κβαντομηχανική.*

ΠΑΤΗΣΗΣ, Π., *Μοντέλα άργα περιστρεφόμενων ραβδωτών-σπειροειδών γαλαξιών.*

ΕΥΘΥΜΙΟΠΟΥΛΟΣ, Χ., *Προσομοιώνοντας τὸ περιβάλλον τῶν γαλαξιακῶν δίσκων.*

ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ, Ι., *Μαγνητικοὶ Ἄνεμοι γύρω ἀπὸ Μελανὲς Ὅπες στὸ Διάστημα.*

ΒΑΣΙΛΑΚΟΣ, Σ., *Περὶ τοῦ ρυθμοῦ διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος.*

ΓΟΝΤΙΚΑΚΗΣ, Κ., *Σκέδαση ἀκτινοβολίας στὶς φασματικὲς γραμμὲς ἐκπομπῆς τοῦ ὑπεριώδους πού ἐκπέμπονται ἀπὸ τὴν μεταβατικὴ ζώνη χρωμόσφαιρας-στέμματος.*

ΓΕΩΡΓΟΥΛΗΣ, Μ. – ΠΑΤΣΟΥΡΑΚΟΣ, Σ., *Γένεση καὶ διάδοση τῶν ἡλιακῶν ἐκρήξεων στὴν ἡλιόσφαιρα: τί συνάγουμε γιὰ τὶς ἀστρικές ἐκρήξεις καὶ τὴν ἐπίδρασή τους σὲ ἐξωπλανῆτες;*

ΧΑΡΣΟΥΛΑ, Μ., *Χαοτικὲς σπεῖρες σὲ ραβδωτοὺς σπειροειδεῖς γαλαξίες.*

ΤΡΙΤΑΚΗΣ, Β., *Ἀτμοσφαιρικός Ἡλεκτρισμός, Ἄντηχῆσεις Schumann καὶ σχετικὲς μετρήσεις στὸν Ἑλληνικὸ χῶρο.*

ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗΣ, Ι., *Δεῖκτες πρόγνωσης τῶν ἡλιακῶν ἐκλάμψεων: παραμετροποιώντας τὴν ἐκρηκτικότητα τῶν κέντρων δράσης.*

Οἱ ἐρευνητὲς τοῦ Κέντρου ἐπιμελήθηκαν κατὰ τὸ 2018 τὴν ἔκδοση τεσσάρων εἰδικῶν τόμων. Ἔδωσαν 49 ὀμιλίες σὲ συνέδρια, ἡμερίδες καὶ ἄλλες συναφεῖς ἐπιστημονικὲς ἐκδηλώσεις, καθὼς καὶ σὲ πανεπιστημιακὰ καὶ ἐρευνητικὰ ἰδρύματα στὴν Ἑλλάδα καὶ τὸ ἐξωτερικόν. Ἐπίσης, κατὰ τὴ διάρκεια τοῦ ἔτους ἔγιναν στὸ ΚΕΑΕΜ 37 σεμινάρια γιὰ θέματα ἀστρονομίας, ἀστροφυσικῆς καὶ μηχανικῆς. Οἱ ἐρευνητὲς ἔδωσαν σειρὰ μαθημάτων σὲ μεταπτυχιακὰ πανεπιστημιακὰ τμήματα, ἐπέβλεψαν 15 διδακτορικὲς διατριβὲς ὑποψηφίων διδακτόρων, τρεῖς μεταπτυχιακὲς ἐργασίες γιὰ τὴν κτήση διπλώματος εἰδίκευσης (Masters), συμμετεῖχαν σὲ 37 ἑλληνικὲς καὶ εὐρωπαϊκὲς ἐπιστημονικὲς ἐπιτροπὲς καὶ ἐπιτροπὲς κρίσεων ἐρευνητῶν καὶ πανεπιστημιακῶν σὲ ἰδρύματα τῆς Ἑλλάδος καὶ τοῦ ἐξωτερικοῦ, καθὼς καὶ σὲ ἐπιτροπὲς κρίσης διδακτορικῶν διατριβῶν, καὶ ἦταν κριτὲς πολλῶν ἐργασιῶν σὲ ἔγκριτα διεθνῆ ἐπιστημονικὰ περιοδικά. Τέλος οἱ ἐρευνητὲς τοῦ ΚΕΑΕΜ ἔδωσαν σειρὰ ὀμιλιῶν σὲ ἐκπαιδευτικὰ ἰδρύματα καὶ σὲ ἐκδηλώσεις γιὰ τὸ κοινόν. Ἔδωσαν συνεντεύξεις γιὰ ἐπιστημονικὰ θέματα καὶ ἔγραψαν ἐνημερωτικὰ ἄρθρα στὸν ἔντυπο καὶ ἠλεκτρονικὸ τύπο.

Συμμετοχή σέ συνέδρια καί όμιλίεσ

Γεώργιοσ Κοντόπουλοσ

Highlights in Chaos Research, όμιλία στο 25ο Θερινό Σχολείο με θέμα: «Dynamical Systems and Complexity» (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτοσ, 9-17 Ιουλίου).

Πάνοσ Πάτσησ

Οί γαλαξιακοί δίσκοι ώσ πολύπλοκα δυναμικά συστήματα, όμιλία στο 25ο Θερινό Σχολείο με θέμα: «Dynamical Systems and Complexity» (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτοσ», 9-17 Ιουλίου).

Τρία σεμινάρια στο Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) (Tonanzitla, Μεξικό, 27, 29 καί 31 Αυγούστου).

Χρήστοσ Εύθυμιόπουλοσ

«Metastability dynamics and FPU timescales: the perspective of perturbation theory. Invited talk in “FPU-2018”», Workshop (Università degli Studi di Padova, 12 Άπριλίου).

«Methods and Applications in Manifold Dynamics: from molecules to Space and galaxies. Invited talk in “Perspectives in Hamiltonian Dynamics”», an ERC Funded Conference (Università degli Studi di Padova, Venezia, 18 Ιουνίου).

Applications of Invariant Manifolds in Dynamical Systems, όμιλία στο 25ο Θερινό Σχολείο με θέμα: «Dynamical Systems and Complexity», (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτοσ, 9 Ιουλίου).

«Computational Hamiltonian Perturbation Theory and its Applications», Σεμινάριο (Dept. of Mathematica, Università degli Studi di Padova, 15 Όκτωβρίου).

«Applications of Invariant Manifolds in Dynamical Astronomy», Σεμινάριο (Astronomical Institute, Czech Academy of Sciences, Prague, 20 Νοεμβρίου).

Ιωάννησ Κοντόπουλοσ

Η προέλευση του μαγνητικού πεδίου στο διάστημα: μιá κοσμική μπαταρία, όμιλία στο «17ο Πανελλήνιο Συνέδριο τής Ένωσής Έλλήνων Φυσικών» (Θεσσαλονίκη, 15-18 Μαρτίου).

A cosmic battery in accretion flows around astrophysical black holes, *όμιλία* στο «Workshop on Relativistic Astrophysics» (Πανεπιστήμιο Purdue, West Lafayette, IN, 6-9 Μαΐου).

A cosmic battery in accretion flows around astrophysical black holes (<https://www.youtube.com/watch?v=mB3Cu07185c>), *όμιλία* στο διεθνές συνέδριο με θέμα: «Black Holes as Cosmic Batteries: UHECRs and Multi-messenger Astronomy» (Foz do Iguacu, Βραζιλία, 12-15 Σεπτεμβρίου).

Αριθμητικές προσομοιώσεις βιομηχανικών διεργασιών, *όμιλία* στη Σχολή Χημικών Μηχανικών (13 Μαρτίου).

The black hole magnetosphere, *όμιλία* στο NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD (ΗΠΑ, 3 Μαΐου).

A cosmic battery in accretion flows around astrophysical black holes, *όμιλία* στο Τμήμα Αστρονομίας του Πανεπιστημίου του Chicago (9 Μαΐου).

Αριθμητικές προσομοιώσεις στη βιομηχανία, *όμιλία* στο Ίνστιτούτο Φυσικής MEPHl της Μόσχας (6 Σεπτεμβρίου).

A cosmic battery around astrophysical black holes, *όμιλία* στο Πανεπιστήμιο της Grenoble (16 Οκτωβρίου).

Κωνσταντῖνος Γοντικάκης

Resonant scattering in Transition Region Si IV lines, *συμμετοχή* στο 9ο Συνέδριο IRIS (Göttingen, 25-29 Ιουνίου).

Συμμετοχή στη σύσκεψη Solar Orbiter MADAWG (Modeling And Data Analysis Working Group) (Αθήνα, 26-29 Σεπτεμβρίου).

Study of the solar corona and transition region through Extreme Ultraviolet Spectroscopy, *όμιλία* στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης (25 Οκτωβρίου).

Έμμανουήλ Γεωργούλης

Remote sensing magnetograph observations with solar orbiter: issues and caveats», *όμιλία* στο «Solar Orbiter MADAWG Workshop 11» (Τουλούζη, Γαλλία, 22-24 Ιανουαρίου).

From physical understanding to forecasting of solar flares and coronal mass ejections», *όμιλία* στο «High Performance Computing (HPC) @ Sheffield», Συνάντηση Έργασίας (Πανεπιστήμιο Sheffield, Μεγάλη Βρετανία, 27 Μαρτίου).

Pre-eruption conditions in solar active regions: O2R and a meaningful EST role, *όμιλία* στο «European Solar Telescope (EST) Science Meeting, Giardini Naxos» (Ιταλία, 14-18 Μαΐου).

Σταχυολόγηση εμπειριών συγγραφής έρευνητικών προτάσεων, *όμιλία* στην Ημερίδα «Ορίζοντας 2020» (Ακαδημία Αθηνών, 28 Ιουνίου).

«42nd COSPAR General Assembly» (Pasadena, ΗΠΑ, 14-22 Ιουλίου). Δύο *όμιλίες*. Συγκεκριμένα, *όμιλία* με τίτλο: Forecast verification in the framework of the EU FLARECAST project, και *όμιλία* με τίτλο: Eruptive flare initiation and the CME magnetic field.

Solar radiation, *όμιλία* στο «2018 EMF & Health Workshop» (IBEEA Ακαδημίας Αθηνών, 14-15 Σεπτεμβρίου).

Tools and results of the FLARECAST project useful to solar orbiter operations, *όμιλία* στο «Solar Orbiter MADAWG Workshop 12» (Αθήνα, 26-28 Σεπτεμβρίου).

European efforts for Heliophysics data integration and assimilation, *όμιλία* στο «EarthCube RCN: Toward Integration of Heliophysics, Data, Models and Analysis Tools, New Jersey Institute of Technology (NJIT)» (14-16 Νοεμβρίου).

«Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU)» (Washington, DC, 10-14 Δεκεμβρίου). Δύο παρουσιάσεις. Συγκεκριμένα, *όμιλία* με τίτλο: Future steps and an architecture for predicting the solar end of space weather, και *αφίσσα* με τίτλο: A chain of evolutionary processes forming the core structure (s) of solar eruptions.

Μαρία Χαρσούλα

The role of chaos in barred spiral galaxies, *όμιλία* στο 25ο Θερινό Σχολείο με θέμα: «Dynamical Systems and Complexity» (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, 9-17 Ιουλίου).

KENTRON EPREYNHS FYΣIKHS THS ATMOSΦAIRAS
KAI KAIMATOLOGIAS

Δημοσιεύσεις

Δημοσιεύσεις σε έπιστημονικά περιοδικά με κριτές

1. ZEREFOS, C. – KAPSOMENAKIS, J. – ELEFATHERATOS, K. – TOURPALI, K. – PETROPAVLOVSKIKH, I. – HUBERT, D. – GODIN-BEEKMANN, S. – STEINBRECHT, W. – FRITH, S. – SOFIEVA, V. – HASSLER, B., Representativeness of single lidar stations for zonally averaged ozone profiles, their trends and attribution to proxies, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 9, 2018, 6427-6440.

2. RAPTIS, P.-I. – KAZADZIS, S. – ELEFATHERATOS, K. – AMIRIDIS, V. – FOUNTOULAKIS, I., Single scattering Albedo's spectral dependence effect on UV irradiance, *Atmosphere*, 9, 364, 2018 (doi:10.3390/atmos9090364).

3. GAUDEL, A. – COOPER, O. R. – ANCELLET, G. – BARRET, B. – BORNARD, A. – BURROWS, J. P. – CLERBAUX, C. – COHEUR, P.-F. – CUESTA, J. – CUEVAS, E. – DONIKI, S. – DUFOUR, G. – EBOJIE, F. – FORET, G. – GARCIA, O. – GRANADOS-MUNOZ, M. J. – HANNIGAN, J. W. – HASE, F. – HASSLER, B. – HUANG, G. – HURTMANS, D. – JAFFE, D. – JONES, N. – KALABOKAS, P. – KER-RIDGE, B. – KULAWIK, S. – LATTER, B. – LEBLANC, T. – LE FLOCHMOËN, E. – LIN, W. – LIU, J. – LIU, X. – MAHIEU, E. – MCCLURE-BEGLEY, A. – NEU, J. L. – OSMAN, M. – PALM, M. – PETETIN, H. – PETROPAVLOVSKIKH, I. – QUEREL, R. – RAHPOE, N. – ROZANOV, A. – SCHULTZ, M. G. – SCHWAB, J. – SIDDANS, R. – SMALE, D. – STEINBACHER, M. – TANIMOTO, H. – TARASICK, D. W. – THOURET, V. – THOMPSON, A. M. – TRICKL, T. – WEATHERHEAD, E. – WESPES, C. – WORDEN, H. – VIGOUROUX, C. – XU, X. – ZENG, G. – ZIEMKE, J., Tropospheric Ozone Assessment Report: Present-day distribution and trends of tropospheric ozone relevant to climate and global atmospheric chemistry model evaluation, *Elem. Sci. Anth*, 6, 39 (doi: <https://doi.org/10.1525/elementa.291>).

4. GIERENS, K. – ELEFATHERATOS, K. – SAUSEN, R., Intercalibration between HIRS/2 and HIRS/3 channel 12 based on physical considerations, *Atmospheric Measurement Techniques*, 11, 2018, 939-948 (<https://doi.org/10.5194/amt-11-939-2018>).

5. VOLOUDAKIS, D. – KARAMANOS, A. – ECONOMOU, G. – KAPSOMENAKIS, J. – ZEREFOS, C., A comparative estimate of climate change impacts on cotton and maize in Greece, *Journal of Water and Climate Change*, accepted, 2018.

6. FOUNTOULAKIS, I. – ZEREFOS, C. S. – BAIS, A. F. – KAPSOMENAKIS, J. – KOUKOULI, M. E. – OHKAWARA, N. – FIOLETOV, V. – DE BACKER, H. – LAKKALA, K. – KARPPINEN, T. – WEBB, A. R., 25 years of spectral UV-B measurements over Canada, Europe and Japan: trends and effects from 1 changes in ozone, aerosols, clouds and surface reflectivity, *Comptes Rendus Geoscience*, accepted, 2018.

7. KALABOKAS, P. – JENSEN, N. R. – HJORTH, J. – ROVERI, M. – ERE-MENKO, M. – DUFOUR, G. – FORET, G. – BEEKMANN, M., A study of the influence of tropospheric subsidence on spring and summer surface ozone concentrations at the JRC-Ispra station in northern Italy, *Atmos. Chem. Phys.*, submitted, 2018.

8. ELEFATHERATOS, K. – ZEREFOS, C. – BALIS, D. – KOUKOULI, M. E. – KAPSOMENAKIS, J. – LOYOLA, D. – VALKS, P. – COLDEWEY-EGBERS, M. – LEROT, C. – FRITH, S. – SØVDE-HASLERUD, A. – ISAKSEN, I. – HASSINEN, S., The use of QBO, ENSO and NAO perturbations in the evaluation of GOME-2/ MetopA total ozone measurements, *Atmos. Meas. Techn. Discuss.* (<https://doi.org/10.5194/amt-2018-198>), in review, 2018.

Παρουσιάσεις και συμμετοχή σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια και συναντήσεις

1. ZEREFOS, C., The Mediterranean as a hotspot for manmade significant interventions to the environment, MED2018, ESA/ESRIN (Italy, 11-12 December 2018).

2. ZEREFOS, C. – KAPSOMENAKIS, J. N. – ELEFATHERATOS, K. – SØVDE-HASLERUD, A. – PETROPAVLOVSKIKH, I. V. – FRITH, S. M., Vertical structure of ozone trends based on Oslo CTM3 runs, lidar and SBUV data (dedicated to the memory of Ivar Isaksen), AGU 2018 Fall Meeting (Washington, D.C, 10-14 December 2018), Abstract ID: 444449, Paper Number: A34C-01, 2018.

3. GARANE, K. – BALIS, D. – KOUKOULI, M. E. – BAIS, A. – LAMBERT, J.-C. – VERHOELST, T. – GRANVILLE, J. – PAZMINO, A. – BAZUREAU, A. –

GOUTAIL, F. – POMMEREAU, J-P. – FIOLETOV, V. – MCLINDEN, C. – HEUE, K.-P. – LOYOLA, D. – LEROT, C. – VAN ROOZENDAEL, M. – ZEREFOS, C., Almost one year of TROPOMI/S5P total ozone column data: global ground based validation, ESA ATMOS2018 Conference (Salzburg, Austria, 26-29 November 2018).

4. AMIRIDIS, V. – BALIS, D. – DASKALOPOULOU, V. – GEORGIU, A. – GERASOPOULOS, E. – GIALITAKI, A. – GKIKAS, A. – KANAKIDOU, M. – KAZADZIS, S. – KONTOES, C. – MARINOU, E. – MIHALOPOULOS, N. – PAPAYANNIS, A. – PROESTAKIS, E. – SOLOMOS, S. – TETONI, E. – TSEKERI, A. – ZEREFOS, C., Validation and exploitation of the FORUM mission products using the PANACEA infrastructure of PANGEA Observatory, The 1st Workshop on the Far-infrared Outgoing Radiation Understanding and Monitoring (FORUM) mission (Florence, Italy, 23-25 October 2018).

5. ZEREFOS, C., The Copernicus Atmosphere Monitoring Service 3rd General Assembly (Lisbon, Portugal, 16-18 October 2018).

6. KALABOKAS, P. – KAPSOMENAKIS, J. – MIHALOPOULOS, N. – REPAPIS, C. – ZEREFOS, C., Synoptic meteorological conditions during high ozone episodes over the eastern Mediterranean, «14th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP2018)» (Alexandroupolis, Greece, 15-17 October 2018).

7. PHILANDRAS, C. M. – KAPSOMENAKIS, J. – KALABOKAS, P. – ZEREFOS, C. – REPAPIS, C., Climatology of upper air temperature over the wider Greek region, «14th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP2018)» (Alexandroupolis, Greece, 15-17 October 2018).

8. BALIS, D. – KOUKOULI, M. E. – GARANE, K. – ZYRICHIDOU, I. – LAMBERT, J.-C. – VERHOELST, T. – GRANVILLE, J. – PAZMINO, A. – BAZUREAU, A. – GOUTAIL, F. – POMMEREAU, J-P. – HEUE, K.-P. – LOYOLA, D. – LEROT, C. – VAN ROOZENDAEL, M. – ZEREFOS, C., Initial validation of TROPOMI/S5P total ozone columns 133, «14th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP2018)» (Alexandroupolis, Greece, 15-17 October 2018).

9. NTAGKOUNAKIS, G. – PHILANDRA, S. – KAPSOMENAKIS, I. – PHILANDRAS, C. – NASTOS, P. – ZEREFOS, C., Climatology of upper air temperature in the wider European and Mediterranean region, «14th International Confer-

ence on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COM-ECAP2018)» (Alexandroupolis, Greece, 15-17 October 2018).

10. POLITI, N. – SFETSOS, A. – VLACHOGIANNIS, D. – NASTOS, P. – KAPSOMENAKIS, J., Sensitivity of WRF model initialization for regional climate dynamical downscaling in the domain of Greece, «14th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COM-ECAP2018)» (Alexandroupolis, Greece, 15-17 October 2018).

11. ZYRICHIDOU, I. – BALIS, D. – TOURPALI, K. – ELEFATHERATOS, K. – ZEREFOS, C. – RONALD VAN DER, A., Monitoring of long-term total ozone characteristics from space at the Northern polar and middle latitudes for the winter-spring period 1979-2018 157, «14th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COM-ECAP2018)» (Alexandroupolis, Greece, 15-17 October 2018).

12. ZEREFOS, C., Manmade destabilization of the climate of Greece, «5th International Interdisciplinary Symposium Poiessa» (Rhodes, Greece, 5-7 October 2018).

13. KAPSOMENAKIS, J. – ZEREFOS, C. – ELEFATHERATOS, K. – SØVDE-HASLERUD, A. – PETROPAVLOVSKIKH, I. – FRITH, S., Ozone trends from lidar, sonde, SBUV and chemical transport model data (dedicated to the memory of Ivar Isaksen), «2nd LOTUS Workshop» (Geneva, Switzerland, 17-19 September 2018).

14. ZEREFOS, C., Optical perspectives of environmental phenomena by great masters: paradigms from Turner and Tetsis, «9th Visual and Physiological Optics meeting (VPO 2018)» (Athens, Greece, 29-31 August 2018).

15. ZEREFOS, C., From Ancient Greece to the birth of modern Meteorology on the 19th century, International Conference «The Dramatic Changes on the Planet and the Hellenic Roots of Ecological Ethics» (Patras, Greece, 17-20 June 2018).

16. ZEREFOS, C., «Doing the Math: Response», Toward a Green Attica. Preserving the Planet and Protecting Its People (Spetses, Greece, 5-8 June 2018).

17. ZEREFOS, C., Session “Curbing Climate Change and Sustaining Economic Growth”, «Delphi Economic Forum III: New Globalization and Growth Challenges» (Delphi, Greece, 1-4 March 2018).

18. ZEREFOS, C. – KAPSOMENAKIS, J. – ELEFATHERATOS, K. – TOURPALI, K. – PETROPAVLOVSKIKH, I. – HUBERT, D. – GODIN-BEEKMANN, S. – STEINBRECHT,

W. – FRITH, S. – SOFIEVA, V. – HASSLER, B., The ranking of the effect of proxies on the space and time variability of stratospheric ozone profiles, *Geophysical Research Abstracts*, 20, EGU2018-13062, EGU General Assembly 2018.

Συμμετοχή σε έθνικα έπιστημονικά συνέδρια

1. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., «Εκδήλωση τής Ένωσης Έλλήνων Φυσικών “Η Φυσική Μαγεύει”» (Αθήνα, 14 Δεκεμβρίου 2018).

2. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Προστατευτικό στρώμα του όζοντος και μελέτες από το ΕΤΗ, Σύλλογος Έλλήνων Αποφοίτων του Όμοσπονδιακού Πολυτεχνείου Ζυρίχης (Αθήνα, 4 Δεκεμβρίου 2018).

3. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ. – ΑΜΑΝΑΤΙΔΗΣ, Γ., Εύρωπαϊκή πολιτική για την ενέργεια και το κλίμα προς το 2030 και το 2050, Ημερίδα τής Έπιτροπής Ένέργειας τής Ακαδημίας Αθηνών (30 Νοεμβρίου 2018).

4. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Άνθρωπογενή και συνεργιστικά φαινόμενα στο περιβάλλον, Έπιστημονική Έσπερίδα τής Σχολής Αρχιτεκτόνων του ΕΜΠ, τής Έλληνικής Έταιρείας Περιβάλλοντος και Πολιτισμού και τής Έπιστημονικής Έταιρείας Δικαίου Πολεοδομίας και Χωροταξίας (Αθήνα, 7 Νοεμβρίου 2018).

5. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Άκραϊα καιρικά φαινόμενα και κλιματική αλλαγή: Η περίπτωση τής Ελλάδας, Ημερίδα τής Περιφέρειας Άττικής, με θέμα: «Κλιματική αλλαγή και φυσικές καταστροφές» (Αθήνα, 31 Όκτωβρίου 2018).

6. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Συνέργεια άνθρωπογενών παρεμβάσεων στο περιβάλλον και συνέπειες, Ημερίδα του Τεχνικού Έπιμελητηρίου Ελλάδος, με θέμα: «Φυσικές Καταστροφές: Πρόληψη, Πολιτική Προστασία και Έργα Υποδομής» (Αθήνα, 30 Όκτωβρίου 2018).

7. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Περιβάλλον και Βιοηθική, «2ο Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή – Ελλάδα-Εύρώπη 2020: Έκπαίδευση, Διά Βίου Μάθηση, Έρευνα, Νέες Τεχνολογίες, Καινοτομία και Οικονομία» (Λαμία, 28-30 Σεπτεμβρίου 2018).

8. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Η κλιματική αλλαγή στην Άττική: από την έλληνιστική Άττική μέχρι σήμερα, Ημερίδα τής Περιφέρειας Άττικής, με θέμα: «Έπιπτώσεις τής κλιματικής αλλαγής: προκλήσεις και προοπτικές» (Αθήνα, 9 Όυλίου 2018).

9. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Συνάντηση εργασίας του Έλληνικού Ίδρύματος Έρευνας και Καινοτομίας με το European Research Council με τίτλο: «Διάλογος Έργασίας για την Έρευνα και την Καινοτομία» (Αθήνα, 27 Ιουνίου 2018).

10. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Κλιματική αλλαγή και εύάλωτοι πληθυσμοί, «51η Έτησια Θεραπευτική Ενημέρωση της Α΄ Παιδιατρικής Κλινικής της Ιατρικής Σχολής του ΕΚΠΑ» (Αθήνα, 14-15 Απριλίου 2018).

11. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Συνέπειες από τη σύμπτωση της περιβαλλοντικής με την οικονομική κρίση: Η περίπτωση της Ελλάδος, «17ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών “Η Φυσική Συναντά την Κοινωνία”» (Θεσσαλονίκη, 15-18 Μαρτίου 2018).

Όμιλίες

1. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Η συμβολή του έπους 1940-41 και των άκραίων χειμώνων στην έκβαση του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, Όμιλία στην Πανηγυρική Συνεδρία της Ακαδημίας Αθηνών για τον έορτασμό της έπετείου της 28ης Οκτωβρίου 1940 (Αθήνα, 25 Οκτωβρίου 2018).

2. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Έπιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και πώς επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία με άμεσο και έμμεσο τρόπο, Όμιλία στο Pen-telica Pharmacy (14 Ιουνίου 2018).

3. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον του άπολλωνείου φωτός, Διάλεξη στο Σώμα Όμοτίμων Καθηγητών ΕΚΠΑ (Αθήνα, 30 Απριλίου 2018).

4. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Οί μετεωρολογικές παρατηρήσεις από τα παρατήγματα και το Ήλιοτρόπιο του Μέτωνα μέχρι το παγκόσμιο σύστημα παρακολούθησης της Γης, Θεματική Βραδιά στο Κέντρο Έπισκεπτών Θησειού του Έθνικού Άστεροσκοπείου Αθηνών (Αθήνα, 28 Απριλίου 2018).

5. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Το άπολλώνιον φως και το Λύκειον, Έκδήλωση του Λυκείου Έλληνίδων-Τμήμα Περιβάλλοντος (Αθήνα, 6 Μαρτίου 2018).

6. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Κλιματική αλλαγή, Διάλεξη στο Δημοτικό Έλεύθερο Πανεπιστήμιο Δήμου Χολαργού-Παπάγου (5 Μαρτίου 2018).

7. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Ώσμωση της Μέσης Ανατολής με τη Δύση, Κύκλος Διαλέξεων του Συμβουλίου Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς της Έλληνικής Έταιρείας Περιβάλλοντος και Πολιτισμού (Αθήνα, 26 Φεβρουαρίου 2018).

8. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Άνθρωπογενής κλιματική αλλαγή, Ημερίδα της Ένώσεως Νέων Αυτόδιοικητικών Ελλάδος («Πικέριμι: ή Ακρόπολη της Παλαιοντολογίας») (Άθήνα, 26 Ιανουαρίου 2018).

9. ΖΕΡΕΦΟΣ, Χ., Περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της Ελλάδος τον 21ο αιώνα εντός της έν εξέλιξει υπερθέρμανσης της Μεσογείου, Ανακοίνωση τών αποτελεσμάτων της συνεργασίας του Κέντρου Έρεύνης Φυσικής της Άτμοσφαιρας και Κλιματολογίας της Άκαδημίας Άθηνών, του Έργαστηρίου Κλιματολογίας και Άτμοσφαιρικού Περιβάλλοντος και του Ίνστιτούτου του Συνδέσμου Έλληνικών Τουριστικών Έπιχειρήσεων (ΙΝΣΕΤΕ) (Άθήνα, 29 Μαρτίου 2018).

Άνταγωνιστικά έρευνητικά προγράμματα

NEO (*Navarino Environmental Observatory*)

Τό πρόγραμμα NEO (*Navarino Environmental Observatory*) είναι μιá συνεργασία μεταξύ της Άκαδημίας Άθηνών, του Πανεπιστημίου της Στοκχόλμης και της έταιρείας TEMES. Άφορã στη δημιουργία και στη λειτουργία Περιβαλλοντικού Παρατηρητηρίου στην περιοχή της Μεσσηνίας, με καθορισμένους έρευνητικούς και εκπαιδευτικούς στόχους.

Έρευνητικά προγράμματα άπό τό έξωτερικό

1. Πρόγραμμα ΕΠΑνΕΚ ΕΣΠΑ 2014-2020 «Panhellenic Infrastructure for Atmospheric Composition and Climate Change (PANACEA)». Έπεύθυνος προγράμματος: Νικόλαος Μιχαλόπουλος. Έρευνητές: Χρήστος Ζερεφός, Κώστας Έλευθεράτος.

2. Πρόγραμμα της ΕΕ «Copernicus Atmosphere Monitoring Service CAMS-84: Global and Regional a Posteriori Validation, Including Focus on the Arctic and Mediterranean Areas-CAMS-84». Έπεύθυνος προγράμματος: Henk Eskes. Έρευνητές: Χρήστος Ζερεφός, Ίωάννης Καψωμενάκης.

3. Πρόγραμμα Horizon 2020 «SMart URBan Solutions for Air Quality, Disasters and City Growth (SMURBS)». Έπεύθυνος προγράμματος: Nicola Pirrone. Έρευνητές: Χρήστος Ζερεφός, Ίωάννης Καψωμενάκης, Λ. Δημητριάδου, Ήλιána Πολυχρόνη.

4. Πρόγραμμα Horizon 2020 «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». Υπεύθυνος προγράμματος: Χάρης Κοντοές. Έρευνητές: Χρήστος Ζερεφός, Ιωάννης Καψωμενάκης, Ηλιάνα Πολυχρόνη.

5. Πρόγραμμα τής ΕΕ «EU Cloud Intercomparison, Process Study and Evaluation Project-EUCLIPSE». Έρευνητής: Χρήστος Ζερεφός.

6. Πρόγραμμα τής ΕΕ «Infrastructure for the European Network for the Earth System Modelling-IS-ENES». Υπεύθυνος προγράμματος: S. Jousrme. Έρευνητής: Χρήστος Ζερεφός.

7. Πρόγραμμα τής ΕΕ «Copernicus Application Facility for Environmental Effects on Health and Comfort-CLAIRE». Υπεύθυνος προγράμματος: Ι. Κεραμιτσόγλου. Έρευνητές: Χρήστος Ζερεφός, Ιωάννης Καψωμενάκης.

8. Πρόγραμμα LIFE «Boosting the implementation of adaptation policy across Greece: LIFE-IP AdaptInGR». Υπεύθυνος προγράμματος: Χρήστος Ζερεφός. Έρευνητής: Ιωάννης Καψωμενάκης.

9. Πρόγραμμα ERASMUS+ «Strengthening Education, Research And Innovation For Climate Smart Crops In India-AdaptNET», Υπεύθυνος προγράμματος: Α. Βολουδάκης. Έρευνητές: Χ. Ζερεφός, Ι. Καψωμενάκης.

10. Πρόγραμμα τής ΕΕ «EIT Climate-KIC Hub Greece». Υπεύθυνη προγράμματος: Φ. Κουντούρη. Έρευνητές: Χρήστος Ζερεφός, Ιωάννης Καψωμενάκης.

Έρευνητικά προγράμματα από τὸ ἐσωτερικὸ

Πρόγραμμα τής Περιφέρειας Πελοποννήσου «Περιφερειακὸ Σχέδιο γιὰ τὴν Προσαρμογὴ στὴν Κλιματικὴ Ἀλλαγὴ (ΠεΣΠΚΑ) Πελοποννήσου». Υπεύθυνος προγράμματος: Χρήστος Ζερεφός. Έρευνητής: Ιωάννης Καψωμενάκης.

Συνεργασίες μὲ ἐρευνητικὰ κέντρα τοῦ ἐξωτερικοῦ

University of Giessen – Γερμανία (J. Luterbacher, E. Xoplaki), University of Oslo – Νορβηγία (A. Sönve), University of Toulouse – Γαλλία (J.-P. Cammas, V. Thouret), Έρευνητικὸ Κέντρο Juelich – Γερμανία (A. Volz-Thomas), Εὐρωπαϊκὸ Κέντρο Έρευνῶν JRC Ispra – Ἰταλία (J. Hjorth, N. Jensen), Ἰνστιτοῦτο Τεχνολογίας Κύπρου (M. Lange, Π. Χατζηνικολάου),

Laboratoire de Météorologie Dynamique – Paris (J.-L. Dufresne, H. Chepfer),
 Laboratoire Universitaire des Systèmes Atmosphériques – Paris (M. Beek-
 mann, G. Foret), NOAA Earth System Research Laboratory – ΗΠΑ (O.
 Cooper, A. Gaudel, I. Petropavlovskikh).

Συνεργασίες με έλληνικά ιδρύματα

Άριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Δ. Μπαλής, Π. Ζάνης),
 Έθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Α. Παπαγιάννης), Έθνικό Άστεροσκοπείο
 Αθηνών (Ν. Μιχαλόπουλος, Ε. Γερασόπουλος, Χ. Γιαννακόπουλος, Δ. Φουντά,
 Β. Άμοιρίδης, Χ. Κοντοές), Έθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
 (Π. Νάστος), Πανεπιστήμιο Πατρών (Α. Καζαντζίδης, Α. Άργυρίου), Ύπουρ-
 γείο Περιβάλλοντος.

Διακρίσεις

Ζερεφός, Χ., Έπίτιμος Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Άρι-
 στοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Ζερεφός, Χ., «Ioan Ursu» Medal of Honor of the Balkan Physical
 Union.

Ζερεφός, Χ., Τιμητική διάκριση από τη Βουλγαρική Ακαδημία Έπι-
 στημών.

Ζερεφός, Χ., Life Member, European Geosciences Union.

Ζερεφός, Χ., Πρόεδρος του Έλληνικού Ίδρύματος Έρευνας και Και-
 νοτομίας του Ύπουργείου Παιδείας.

Ζερεφός, Χ., Μέλος του Έθνικού Συμβουλίου για την Προσαρμογή
 στην Κλιματική Άλλαγή του Ύπουργείου Περιβάλλοντος και Ένέργειας.

Ζερεφός, Χ., Συντονιστής τής Έπιτροπής Μελέτης Έπιπτώσεων Κλι-
 ματικής Άλλαγής τής ΤτΕ και έπισπεύδων στην έκπόνηση τής Έθνικής
 Στρατηγικής για την Προσαρμογή στην Κλιματική Άλλαγή του Ύπουρ-
 γείου Περιβάλλοντος και Ένέργειας.

Zerefos, Ch., Member, Nominating Committee for the election of the
 Executive Committee of the International Association of Meteorology and
 Atmospheric Sciences (IAMAS).

Zerefos, Ch., Expert, «Climate Change and Health» project, European
 Academies' Science Advisory Council.

ΚΕΝΤΡΟΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

Ἡ ἔρευνα τοῦ ΚΕΘΕΜ ἐστιάζεται στή δημιουργία ἀλγόριθμων ἀνακατασκευῆς λατρικῆς εἰκόνας (image reconstruction). Αὐτή ἡ διαδικασία εἶναι ἀπαραίτητη γιά τή δημιουργία τομογραφικῆς εἰκόνας στά σύγχρονα ἀπεικονιστικά συστήματα PET, CT καί SPECT.

Κατά τή διάρκεια τοῦ 2018 ὁ ἐπόπτης, ὁ διευθύνων, οἱ ἐπιστημονικοὶ συνεργάτες καί οἱ διδακτορικοὶ φοιτητές τοῦ ΚΕΘΕΜ εἶχαν τίς ἀκόλουθες δραστηριότητες:

1. Ὁ ἐπόπτης τοῦ Κέντρου Ἀθανάσιος Φωκᾶς παρουσίασε μιὰ πρωτόπορα μέθοδο γιά τήν ἀπόδειξη τῆς ὑπόθεσης Lindelöf, ἐνός ἀπό τὰ σημαντικότερα ἀνοικτὰ προβλήματα στήν ἱστορία τῶν μαθηματικῶν.

2. Δημοσιεύθηκε ἀπό τοὺς ἐρευνητές τοῦ Κέντρου ἡ μελέτη PROTONOTARIOS, N. E. – FOKAS, A. S. – KOSTARELOS, K. – KASTIS, G. A., The attenuated spline reconstruction technique for single photon emission computed tomography, *Journal of the Royal Society Interface*, 15, 2018509, 2018 (doi: 10.1098/rsif.2018.05092018).

3. Δημοσιεύθηκε, σέ συνεργασία μὲ τὸ Ἐργαστήριο Ραδιοχημικῶν Μελετῶν τοῦ ΙΠΠΕΤΕΑ τοῦ ΕΚΕΦΕ («Δημόκριτος»), ἡ μελέτη TSOUKALAS, C. – PSIMADAS, D. – KASTIS, G. A. – KOTTOYLIDES, V. – HARRIS, A. L. – PARAVATOU-PETSOTAS, M. – KARAGEORGOU, M. – FURENLID, L. R. – MOULOPOULOS, L.A. – STAMOPOULOS, D. – BOUZIOS, P., A novel metal-based imaging probe for targeted dual-modality SPECT/MR imaging of angiogenesis, *Frontiers in Chemistry*, 6, 2018 (doi: 10.3389/fchem.2018.00224).

4. Δημοσιεύθηκε, σέ συνεργασία μὲ τὸ Ἐργαστήριο Ραδιοχημικῶν Μελετῶν τοῦ ΙΠΠΕΤΕΑ τοῦ ΕΚΕΦΕ («Δημόκριτος») καί τοῦ Ἐργαστηρίου Παρασκευῆς Ραδιοφαρμάκων, Τμῆμα Πυρηνικῆς Ἰατρικῆς-PET/CT, ΓΝΑ «Ὁ Εὐαγγελισμός», ἡ μελέτη PAPACHRISTOU, M. – KASTIS, G. A. – STAVROU, P. Z. – XANTHOPOULOS, S. – FURENLID, L. R. – DATSERIS, I. E. – BOUZIOS, P., Radiolabelled Methotrexate as a diagnostic agent of inflammatory target sites in patients with rheumatoid arthritis, *Molecular Medicine Reports*, 17, 2442-2448, 2018 (doi: 10.3892/mmr.2017.8166).

5. Παρουσιάστηκε η έργασία με τίτλο: Έπισημασμένη Μεθοτρεζάτη με ^{99m}Tc ως ίχνηθέτης φλεγμονών σε ασθενείς με ρευματοειδή αρθρίτιδα – Προκλινικά αποτελέσματα, στο «44ο Έτήσιο Πανελλήνιο Ιατρικό Συνέδριο» (Αθήνα, 9-12 Μαΐου 2018).

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟΝ ΚΑΤΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

	Σελ.
ΒΑΓΕΝΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ. – Thermodynamics and catalysis of the generation of mass.....	93
BAŽANT ZDENĚK. – Hydraulic fracturing of shale for gas or oil extraction. Εισιτήριοσ λόγος του ξένου έταίρου κατά την ύποδοχή του στην Άκαδημία.....	138
ΓΔΟΥΤΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ. – Θεωρητική και Πειραματική Μηχανική: έπιστημονική πορεία 50 έτων. Εισιτήριοσ λόγος του άκαδημαϊκού κατά την ύποδοχή του στην Άκαδημία.....	44
ΓΔΟΥΤΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ. – Παρουσίαση του ξένου έταίρου κ. Zdeněk Bažant κατά την ύποδοχή του στην Άκαδημία.....	133
ΓΔΟΥΤΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ. – Η όπτική μέθοδος των καυστικών – Νεώτερες έξελίξεις.....	143
ΓΔΟΥΤΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ. – Η οίκουμενικότητα του έλληνικού άλφα-βήτου στις έπιστῆμες.....	269
ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ. – Παράγοντες έπηρεασμού και μηχανισμοί δημιουργίας καινοτομίας: Μιά συστημική θεώρηση με βάση την έμπειρία του τομέα Μεταφορών.....	193
ΖΕΡΕΦΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ. – Περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα τῆς Έλλάδος τον 21ο αιώνα εντός τῆς έν εξέλιξει ύπερθέρμανσης τῆς Μεσογείου ...	171
ΖΕΡΕΦΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ. – Η συμβολή του έπους 1940-1941 και των άκραιων χειμώνων στην έκβαση του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Όμιλία κατά την Πανεγυρική Συνεδρία για τον έορτασμό τῆς έπετείου τῆς 28ης Όκτωβρίου 1940.....	249
ΚΑΒΡΑΚΗ ΛΥΔΙΑ. – Η συμβολή τῆς έπιστῆμης των ύπολογιστών στη ρομποτική και τῆ βιοϊατρική. Εισιτήριοσ λόγος του άντεπιστέλλοντος μέλους κατά την ύποδοχή του στην Άκαδημία.....	299
ΚΟΥΨΑΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ. – Λικνιζόμενοι λόγω σεισμού πολυσπονδυλωτοί κίονες φέροντες βαρέα σώματα: ένα εύρηματικό εύσταθές δομικό σύστημα άρχαίας τεχνολογίας. Λόγος του άναλαμβάνοντος Προέδρου....	9

ΚΟΥΝΑΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ. – Προσφώνηση τοῦ Προέδρου καὶ παρουσίαση τοῦ ἀκαδημαϊκοῦ κ. Ἐμμανουήλ Γδούτου κατὰ τὴν ὑποδοχὴ τοῦ στὴν Ἀκαδημία	37
ΚΟΥΝΑΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ. – Προσφώνηση τοῦ Προέδρου κατὰ τὴν ὑποδοχὴ τοῦ ξένου ἐταίρου κ. Zdeněk Bažant στὴν Ἀκαδημία	131
ΚΟΥΝΑΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ. – Ἀναγγελία τοῦ θανάτου τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους Ἄνθιμου Χριστοφορίδη	191
ΚΟΥΝΑΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ. – Ἀναγγελία τοῦ θανάτου καὶ νεκρολογία τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους Ἰωάννου Παπαπαναγιώτου	239
ΚΟΥΝΑΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ. – Ἀναγγελία τοῦ θανάτου καὶ νεκρολογία τοῦ ἀκαδημαϊκοῦ Γρηγορίου Σκαλκέα.....	241
ΚΟΥΝΑΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ. – Εἰσήγηση τοῦ Προέδρου κατὰ τὴν Πανηγυρική Συνεδρία γιὰ τὸν ἐορτασμὸ τῆς ἐπετείου τῆς 28ης Ὀκτωβρίου 1940	247
ΚΟΥΝΑΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ. – Προσφώνηση τοῦ Προέδρου κατὰ τὴν ὑποδοχὴ τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κυρίας Λύδιας Καβράκη στὴν Ἀκαδημία	291
ΚΟΥΝΑΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ. – Ἐκθεση τῶν πεπραγμένων τῶν Κέντρων Ἐρεῦνης καὶ τῶν Γραφείων τῆς Ἀκαδημίας κατὰ τὸ ἔτος 2018.....	327
ΣΚΑΛΚΕΑΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ. – Νεκρολογία τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους Ἄνθιμου Χριστοφορίδη	191
ΦΩΚΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ. – Παρουσίαση τοῦ ἀντεπιστέλλοντος μέλους κυρίας Λύδιας Καβράκη κατὰ τὴν ὑποδοχὴ της στὴν Ἀκαδημία	292

Έκδοτική Παραγωγή



ΕΠΤΑΛΟΦΟΣ Α.Β.Ε.Ε.

Άρδηττοῦ 12-16, 116 36 Ἀθήνα
Τηλ.: 210.921.7513, 210.921.4820 • Fax: 210.923.7033
www.eptalofos.gr • e-mail: info@eptalofos.gr

