

Ι σ τ ω ρ I T E
F O R T H *i s t o r y*

Επιστημονική επιμέλεια

ΣΠΥΡΟΣ ΤΖΟΚΑΣ - ΤΕΛΗΣ ΤΥΜΠΑΣ

2023

1983

ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΕΥΝΑΣ
40 ΧΡΟΝΙΑ

Ιστωρ I T E F O R T H *i s t o r y*

Επιστημονική επιμέλεια τόμου
ΣΠΥΡΟΣ ΤΖΟΚΑΣ - ΤΕΛΗΣ ΤΥΜΠΑΣ

Επιστημονική υπεύθυνη Προγράμματος Ιστωρ I T E
ΤΖΕΛΙΝΑ ΧΑΡΑΛΥΤΗ

ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΕΥΝΑΣ
40 ΧΡΟΝΙΑ



ΜΕΡΟΣ Β

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΑ

1	Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής & Λέιζερ (ΙΗΔΛ) Ηρακλής Κατσαλούλης	121
2	Ινστιτούτο Μοριακής Βιολογίας & Βιοτεχνολογίας (ΙΜΒΒ) Κατερίνα Βλαντώνη	171
3	Ινστιτούτο Πληροφορικής (ΙΠ) Γιώργος Ζούκας	249
4	Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών (ΙΥΜ) Γιώργος Ζούκας	301
5	Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών (ΙΜΣ) Μαρίνος Σαρηγιάννης	337
6	Ινστιτούτο Επιστημών Χημικής Μηχανικής (ΙΕΧΜΗ) Χρήστος Καραμπάτσος	389
7	Ινστιτούτο Βιοϊατρικών Ερευνών (ΙΒΕ) Κατερίνα Βλαντώνη	433
8	Αστεροσκοπείο Σκίνακα και Ινστιτούτο Αστροφυσικής (ΙΑ) Ηρακλής Κατσαλούλης	479
9	Ινστιτούτο Γεωενέργειας (ΙΓ) Χρήστος Καραμπάτσος	509
10	Ελληνικό Ινστιτούτο Γονιδιωματικής του Ανθρώπου (ΕΙΓΑ) Κατερίνα Βλαντώνη	531



Μελέτη των χρωστικών του έργου του Δομήνικου Θεοτοκόπουλου «Η βάπτισμα του Χριστού» με φασματοσκοπία πλάσματος επαγόμενου από laser (LIBS) στα εργαστήρια της Ομάδας Εφαρμογών Φωτονικής στην Πολιτιστική Κληρονομιά, ΙΗΔΛ-ΙΤΕ, Ηράκλειο 2005. Αρχείο Κρυσταλλίας Μελεσανάκη. Το έργο ανήκει στη συλλογή έργων τέχνης της Δημοτικής Πινακοθήκης Ηρακλείου και εκτίθεται στο Ιστορικό Μουσείο Κρήτης.

1. Εισαγωγή

Το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ (ΙΗΔΛ) είναι ένα από τα τρία ιδρυτικά Ινστιτούτα του Ερευνητικού Κέντρου Κρήτης (ΕΚΕΚ), προδρόμου του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ). Ιδρύθηκε στα τέλη του 1982 και ξεκίνησε τη λειτουργία του το επόμενο έτος. Στις τέσσερις δεκαετίες λειτουργίας του το ΙΗΔΛ έχει διακριθεί διεθνώς για το υψηλό επίπεδο της επιστημονικής έρευνας που παράγεται σε αυτό, ενώ έχει αποτελέσει πόλο έλξης σημαντικών Ελλήνων, και όχι μόνο, ερευνητών. Η δημιουργία και η εδραίωση ενός ερευνητικού ινστιτούτου διεθνούς εμβέλειας στην Ελλάδα δεν ήταν μια εύκολη υπόθεση· κάθε άλλο. Στο παρόν κεφάλαιο θα αφηγηθούμε την ιστορία του Ινστιτούτου Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ στη διάρκεια αυτών των 40 χρόνων, παρουσιάζοντας τις προσπάθειες που έγιναν ώστε να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός· θα αναφερθούμε στους ανθρώπους που πρωταγωνίστησαν σε αυτή την προσπάθεια και στα επιτεύγματά τους· θα παρουσιάσουμε την έρευνα που έχει παραχθεί στο ΙΗΔΛ καθώς και την υποδομή που έχει δημιουργηθεί, σε πολύ μεγάλο βαθμό από χρηματοδοτήσεις που έχουν προσελκύσει οι ερευνητές του Ινστιτούτου μέσω της διεκδίκησης ερευνητικών έργων.

Θα ξεκινήσουμε την αφήγησή μας με μια πολύ σύντομη παρουσίαση της ιστορίας του Λείζερ και της φυσικής στερεάς κατάστασης, τις δύο βασικές επιστημονικές περιοχές στις οποίες δραστηριοποιείται το ΙΗΔΛ, ώστε να θέσουμε το πλαίσιο εντός του οποίου έκανε την εμφάνισή του. Θα συνεχίσουμε με την καθαυτή ιστορία του ΙΗΔΛ ξεκινώντας με την ίδρυσή του και κάνοντας ιδιαίτερη αναφορά σε δύο κεντρικές φυσιογνωμίες σε αυτή τη διαδικασία, τον Ελευθέριο Οικονόμου και τον Παναγιώτη (Peter) Λαμπρόπουλο (Εικ. 1.1). Για να παρακολουθήσει ο αναγνώστης καλύτερα την πορεία αυτή, θα χωρίσουμε την αφήγησή μας σε τρεις κύριες περιόδους: Στην πρώτη από αυτές, που συμπίπτει χρονικά με την πρώτη δεκαετία ύπαρξης του ΙΗΔΛ, παγιώθηκαν οι ερευνητικές περιοχές στις οποίες δραστηριοποιείται ακόμα το ΙΗΔΛ και έφτασαν στην Κρήτη πολλοί από τους βασικούς πρωταγωνιστές της ιστορίας του Ινστιτούτου. Στη δεύτερη περίοδο, τα 15 χρόνια που ακολούθησαν, το ΙΗΔΛ εδραιώθηκε στη συνείδηση της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας αλλά και της ελληνικής κοινωνίας ως ένας πόλος αριστείας στην παραγωγή της επιστημονικής γνώσης. Κατά την τρίτη περίοδο, από τα μέσα της δεκαετίας του 2000 περίπου, έως σήμερα, το ΙΗΔΛ έχει παγιώσει τη θέση του και αυξάνει συνεχώς το μέγεθός του τόσο ως υποδομή όσο και σε ερευνητικό προσωπικό, ενώ



ΕΙΚΟΝΑ 1.1 Ο Λευτέρης Οικονόμου και ο Παναγιώτης Λαμπρόπουλος κατά τα πρώτα έτη του ΙΗΔΛ.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

ισχυροποιεί τη θέση του στον ευρωπαϊκό ερευνητικό χάρτη, καθώς γίνεται κομβικό μέλος σε μεγάλες ευρωπαϊκές ερευνητικές υποδομές.

Κατά τη διάρκεια των ετών που μελετάμε, στο ΙΗΔΛ υπηρέτησαν τρεις Διευθυντές στους οποίους θα αναφερθούμε εκτενέστερα στη συνέχεια του κειμένου, οι Παναγιώτης Λαμπρόπουλος (1983-1997), Κώστας Φωτάκης (1997-2013) και Σπύρος Αναστασιάδης (2014-2023). Τον Αναστασιάδη διαδέχθηκε ο Βασίλης Ντζιαχρήστος, το 2023. Η περιοδολόγηση που ακολουθείται σε αυτό το κεφάλαιο δεν συμπίπτει με τις θητείες των Διευθυντών, καθώς οι βασικές αρχές και η διάρθρωση του Ινστιτούτου δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές στα χρόνια της λειτουργίας του.

2. Η Φυσική στον 20ό αιώνα

Ο 20ός αιώνας ήταν μια περίοδος κατά την οποία συνέβησαν κοσμογονικές αλλαγές στην επιστήμη, και η Φυσική κατέχει πρωτοπόρο θέση σε αυτές. Η θεωρία της σχετικότητας, η επανάσταση της κβαντικής μηχανικής, η κατασκευή της ατομικής βόμβας και άλλα σημαντικά επεισόδια στην ιστορία του κλάδου προσέδωσαν στους φυσικούς αυξημένο κύρος και μεγάλη αναγνωρισιμότητα στην κοινωνία. Η απόφαση των σύγχρονων κοινωνιών ότι η επιστήμη έπρεπε να υποστηριχθεί, καθώς μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στην ευημερία των ανθρώπων, έμοιαζε μονόδρομος. Νέα ιδρύματα δημιουργήθηκαν για την υποστήριξη της έρευνας και της παραγωγής της επιστημονικής γνώσης. Το σημαντικό χαρακτηριστικό που απέκτησε η επιστήμη μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο είναι ο διεπιστημονικός χαρακτήρας της, καθώς, κατά τη διάρκεια του πολέμου, επιστήμονες με διαφορετικές ειδικότητες αλλά και μηχανικοί συνεργάστηκαν πολύ στενά. Νέοι επιστημονικοί κλάδοι, όπως η φυσική στερεάς κατάστασης και η επιστήμη υλικών, αλλά και νέες ανακαλύψεις, όπως το λέιζερ, τα τρανζίστορ, κ.ά., προήλθαν

από τον διακλαδικό χαρακτήρα της επιστημονικής έρευνας. Στην παρούσα εισαγωγή θα επιχειρήσουμε μια πολύ σύντομη παρουσίαση της ιστορίας δύο ερευνητικών περιοχών της φυσικής που κατείχαν μεγάλο μερίδιο της επιστημονικής έρευνας και παρουσίασαν σημαντικότητα επιτεύγματα, και είναι αυτές ακριβώς οι περιοχές στις οποίες κυρίως δραστηριοποιείται το ΙΗΔΛ: τη φυσική των Λείζερ και τη μελέτη της ύλης.

2.1 Λείζερ

Ο όρος LASER είναι το ακρωνύμιο των λέξεων Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, που στα ελληνικά αποδίδεται ως *ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας*. Το λείζερ δεν είναι λοιπόν κάτι άλλο από φως, το οποίο όμως έχει συγκεκριμένες και πολύ σημαντικές ιδιότητες: μια δέσμη λείζερ αποτελείται από φως ενός μόνο μήκους κύματος και άρα συγκεκριμένου χρώματος (σε αντίθεση με τις άλλες φωτεινές πηγές που εκπέμπουν πολλά μήκη κύματος μαζί), έχει μεγάλη κατευθυντικότητα και παρουσιάζει συμφωνία. Το λείζερ προέκυψε από τις αρχές της κβαντικής φυσικής. Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν, ήδη από το 1917, είχε προτείνει ότι τα φωτόνια μπορούν να προκαλέσουν την εκπομπή όμοιων φωτονίων από διεγερμένα άτομα, θέτοντας έτσι τη θεωρητική βάση για την εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας.¹

Πέρασαν αρκετά χρόνια, μέχρι το 1951, όταν ο Charles H. Townes του Columbia University, έκανε το επόμενο διανοητικό βήμα, προτείνοντας τη δυνατότητα εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας στην περιοχή των μικροκυμάτων. Τρία χρόνια αργότερα, μαζί με τον φοιτητή του James Gordon, ο Townes παρουσίασε τον πρόγονο του λείζερ, το MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation, Ενίσχυση Μικροκυμάτων με Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας).² Το 1958, ο Townes μαζί με έναν ακόμα φυσικό, τον Arthur Schalow των Bell Laboratories, δημοσίευσαν στο περιοδικό *Physical Review Letters* ένα άρθρο-σταθμό στην εξέλιξη των λείζερ, καθώς εκεί υποστήριζαν ότι η κατασκευή μείζερ που θα λειτουργούσε στο οπτικό φάσμα (αυτό που στη συνέχεια ονομάστηκε *λείζερ*) ήταν εφικτή, ενώ παρείχαν το θεωρητικό πλαίσιο για τη δημιουργία του. Πράγματι, ο φυσικός Thomas Maiman, που εργαζόταν στα Hughes Research Laboratories, στις 16 Μαΐου του 1960 κατάφερε την πρώτη εκπομπή ακτίνας λείζερ, χρησιμοποιώντας μια συσκευή λείζερ με βάση κρυστάλλους από ρουμπίνι.³

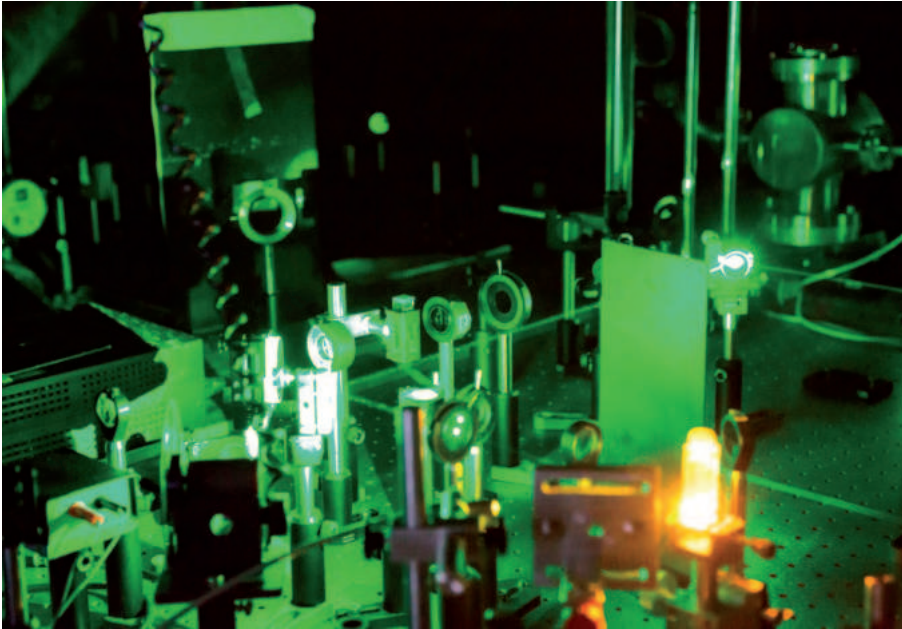
Μια νέα εποχή για την επιστήμη και την τεχνολογία είχε πια ξεκινήσει· όμως ποια ακριβώς ήταν η νέα αυτή εποχή; Μια ρήση που αποδίδεται στον βοηθό του Maiman, τον Irnee D' Haenens, και ήταν αρκετά διαδεδομένη στα πρώτα χρόνια ύπαρξης του λείζερ, ήταν ότι το «λείζερ ήταν μια λύση που αναζητούσε προβλήματα».⁴ Στην πορεία βρέθηκαν πολλά προβλήματα στα οποία θα μπορούσε το

1 J. Hecht, «Short history of laser development», *Applied Optics* 49 (2010), σ. 100-122, εδώ σ. 100.

2 Ό.π.

3 H. Kragh, *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*, Princeton: Princeton University Press, σ. 389.

4 Hecht, ό.π., σ. 104.



ΕΙΚΟΝΑ 1.2 Τυπική διάταξη λέιζερ στο ΙΗΔΛ.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

λέιζερ να προσφέρει λύσεις και, κατά συνέπεια, πολλές εφαρμογές του. Πλέον, η τεχνολογία του λέιζερ χρησιμοποιείται στους οπτικούς δίσκους, στα CDs, στις τηλεπικοινωνίες, στις μηχανές σκαναρίσματος στα σουπερμάρκετ, σε χωρικές μετρήσεις που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια, στην πλοήγηση, για ιατρικούς λόγους, για διάφορες χρήσεις στη βιομηχανία όπως η κοπή υλικών με μεγάλη ακρίβεια, αλλά και για στρατιωτικούς σκοπούς. Πολύ μεγάλη βέβαια είναι η σημασία των λέιζερ και στη διεξαγωγή επιστημονικής έρευνας, καθώς μια δέσμη λέιζερ μπορεί να διεγείρει την ύλη έτσι ώστε να βοηθήσει στη μελέτη της, ενώ η φασματοσκοπία λέιζερ είναι πολύ σημαντική για την παρατήρηση και κατανόηση φυσικών φαινομένων (Εικ. 1.2). Οι εφαρμογές που αναφέρθηκαν είναι ένα μόνο μέρος των εφαρμογών που έχει το λέιζερ, μπορούν όμως να εξηγήσουν γιατί το λέιζερ μαζί με το τρανζίστορ και τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, θεωρούνται ως οι τρεις σημαντικότερες ανακαλύψεις του 20ού αιώνα που επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό τις σύγχρονες κοινωνίες.

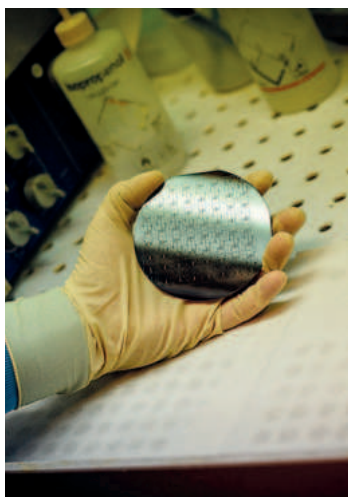
2.2 Μελέτη της ύλης

Στην προηγούμενη ενότητα αναφερθήκαμε στο λέιζερ ως ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα της επιστήμης και της τεχνολογίας στο δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα. Την ίδια περίπου περίοδο λάμβαναν χώρα οι εξελίξεις που συνέβαλαν στη δημιουργία ενός ακόμα τεχνουργήματος που άλλαξε τις σύγχρονες κοινωνίες: του τρανζίστορ. Η εφεύρεση του τρανζίστορ ήταν ένα από τα πολλά και σημαντικά αποτελέσματα της έρευνας σε μια καινούργια επιστημονική περιοχή, η οποία εμφανίζεται με διαφορετικά ονόματα τα οποία δεν έχουν το ίδιο νόημα, αλλά αρκετές φορές χρησιμοποιούνται σαν να αναφέρονται σε περίπου το ίδιο αντικείμενο. Πρόκειται για την περιοχή που αναφέρεται ως φυσική στερεάς

κατάστασης, επιστήμη υλικών, ή φυσική συμπυκνωμένης ύλης. Για τις ανάγκες του παρόντος κειμένου, θα επισημάνουμε απλώς ότι η φυσική στερεάς κατάστασης προήλθε από την ανάγκη των φυσικών που εργάζονταν στη βιομηχανία, πολλές φορές δίπλα σε μεταλλουργούς και άλλους μηχανικούς, να αποκτήσουν τη δική τους διακριτή ταυτότητα μέσα στην κοινότητα των φυσικών. Η προσπάθεια αυτή δεν ήταν δύσκολο να μετεξελιχθεί σε ένα διακλαδικό πεδίο έρευνας στο οποίο συνεργάζονταν φυσικοί, χημικοί, μηχανικοί κ.ά., και ονομάστηκε «επιστήμη υλικών». Πολλοί από τους φυσικούς που είχαν εμπλακεί στην εφαρμοσμένη έρευνα ένωσαν ότι είχαν απομακρυνθεί από τα ερευνητικά τους ενδιαφέροντα, και η επιθυμία τους να επιστρέψουν στη διερεύνηση θεμελιωδών ερωτημάτων που σχετίζονται με τη δομή της ύλης οδήγησε στη δημιουργία του κλάδου της φυσικής συμπυκνωμένης ύλης.⁵

Για ποιο λόγο όμως θα έπρεπε να υπάρχει ένας επιστημονικός κλάδος, με τόσο μεγάλη έκταση και διαφοροποίηση στα ερευνητικά ενδιαφέροντα, για τον οποίο απουσιάζουν σχεδόν όλα εκείνα τα ενοποιητικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν μια επιστημονική πειθαρχία, όπως η ύπαρξη μιας κυρίαρχης θεωρίας ή ενός συνόλου βασικών εξισώσεων, κάτι που ισχύει στις σημαντικότερες περιοχές της σύγχρονης φυσικής, όπως για παράδειγμα η σχετικότητα ή η κβαντική φυσική. Η απάντηση βρίσκεται, ως ένα βαθμό, στη διάκριση ύλης (matter) και υλικού (material), όπως την έχει επισημάνει ο σημαντικός ιστορικός της μεταλλουργίας Cyril Stanley Smith το 1968: Η ύλη σχετίζεται με ό,τι υπάρχει στον κόσμο, ενώ τα υλικά με όλες εκείνες τις διαμορφώσεις της ύλης που μπορούν να είναι χρήσιμες για τους ανθρώπους. Η ατομική θεωρία, η κυρίαρχη θεωρία για την εξήγηση της δομής της ύλης, είχε βοηθήσει σημαντικά στην κατανόηση των ατόμων που συνθέτουν την ύλη, δεν μπορούσε όμως να προσφέρει σημαντικά στην κατανόηση των ιδιοτήτων συνθετότερων μορφών ύλης αλλά ούτε και στην τροποποίηση και διαμόρφωση της ύλης με τέτοιο τρόπο ώστε να παραχθούν νέα υλικά. Από την ανάγκη κατανόησης και εξήγησης των πιο σύνθετων μορφών ύλης αλλά και τη δημιουργία νέων υλικών προέκυψαν οι νέοι επιστημονικοί κλάδοι όπως η φυσική στερεάς κατάστασης, η επιστήμη υλικών και η φυσική συμπυκνωμένης ύλης, μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο.⁶

Τα επιτεύγματα των νέων αυτών κλάδων είναι τόσο σημαντικά που έχουν αλλάξει σε μεγάλο βαθμό τη μορφή των σύγχρονων κοινωνιών και τον τρόπο ζωής των ανθρώπων. Αναφερθήκαμε ήδη στην ανακάλυψη του τρανζίστορ, που προέκυψε από την ανακάλυψη και τη μελέτη των ημιαγωγών· όπου όμως κι αν στρέψουμε το βλέμμα μας, αντικρίζουμε τα αποτελέσματα της έρευνας και της μελέτης που γίνεται σε σχέση με τα υλικά: στα κινητά μας τηλέφωνα, σε όλες τις ηλεκτρονικές συσκευές, στα αυτοκίνητα, στα αεροπλάνα ή στα τρένα με τα οποία κινούμαστε, καθώς και σε πολλές άλλες εφαρμογές (Εικ. 1.3).



ΕΙΚΟΝΑ 1.3 Δισκίο ημιαγωγού με ηλεκτρονικές διατάξεις.

ΠΗΓΗ: Συλλογή Μικροηλεκτρονικής, Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

⁵ C.C.M. Mody & J.D. Martin (2020), «Materials Science», Encyclopedia of the History of Science, <doi: 10.34758/6afy-w006>.

⁶ Ό.π.

3. Η δημιουργία του Ινστιτούτου

Το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ (ΙΗΔΛ) αποτελεί ένα από τα πρώτα Ινστιτούτα με τα οποία ξεκίνησε τη λειτουργία του το Ερευνητικό Κέντρο Κρήτης (ΕΚΕΚ) το 1983, παράλληλα με το Ινστιτούτο Μοριακής Βιολογίας και Βιοτεχνολογίας και το Ινστιτούτο Πληροφορικής. Δημιουργήθηκε επίσημα τον Δεκέμβριο του 1982, ενώ ξεκίνησε να λειτουργεί τον Μάιο του 1983, έχοντας από την πρώτη στιγμή ισχυρούς δεσμούς συνεργασίας και ανατροφοδότησης με το Πανεπιστήμιο Κρήτης. Στα πρώτα χρόνια της λειτουργίας του, η έμφαση των ερευνών κατευθύνονταν τόσο στον τομέα των υλικών και ειδικότερα στην κατανόηση των φυσικών και ηλεκτρονικών ιδιοτήτων τους, με σκοπό την ανάπτυξη εφαρμογών στην Ηλεκτρονική, όσο και στη μελέτη των αλληλεπιδράσεων δεσμών λείζερ με υλικά και στον σχεδιασμό νέων διατάξεων λείζερ. Η δραστηριότητα του ΙΗΔΛ χωριζόταν σε δύο μεγάλους ερευνητικούς τομείς, τον τομέα Λείζερ και Εφαρμογών και τον τομέα Υλικών και Διατάξεων.⁷ Οι δύο αυτοί τομείς συνυπήρχαν διαρκώς, καταλαμβάνοντας μεγάλο μέρος της βασικής ερευνητικής δραστηριότητας του ΙΗΔΛ σε όλα τα χρόνια λειτουργίας του Ινστιτούτου. Το 1984 άρχισε να αναπτύσσεται στο ΙΗΔΛ ο τομέας της Αστρονομίας και Αστροφυσικής, και το 1986 εγκαινιάστηκε το Αστεροσκοπείο Σκίνακα. Η ομάδα Αστροφυσικής ανήκε στο ΙΗΔΛ μέχρι το 2018, οπότε και ξεκίνησε τη λειτουργία του το αυτόνομο Ινστιτούτο Αστροφυσικής του ΙΤΕ.^{8,9}

Η δημιουργία ενός ερευνητικού ινστιτούτου με αντικείμενο τα λείζερ και τη μελέτη των υλικών ήταν μια κίνηση που θα έθετε την παραγόμενη εγχώρια έρευνα σε διεθνές ερευνητικό πλαίσιο, σε μια περίοδο που αυτά τα πεδία έρευνας ήταν σε σχετικά νεαρή ηλικία και ο ορίζοντας για την έρευνα και τις εφαρμογές της ήταν εντελώς ανοικτός. Οι άνθρωποι που ίδρυσαν το ΙΗΔΛ προέρχονταν από πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα που βρίσκονταν στην αιχμή της σχετικής έρευνας, και είχαν εργαστεί δίπλα σε ορισμένους από τους σημαντικότερους επιστήμονες σε αυτά τα πεδία.

Ιδρυτικές φιγούρες του ΙΗΔΛ υπήρξαν δύο από τις σημαντικότερες μορφές του ΙΤΕ, που συνέδεσαν το όνομά τους με το Ίδρυμα. Ο Ελευθέριος Ν. Οικονόμου, ο οποίος διετέλεσε πρώτος Πρόεδρος του ΕΚΕΚ και μετέπειτα του ΙΤΕ, από το 1983 έως το 2004, και ο Παναγιώτης Λαμπρόπουλος που διετέλεσε Διευθυντής του ΙΗΔΛ από την έναρξη της λειτουργίας του, το 1983, έως το 1997.

Πριν έρθουν στην Κρήτη, οι Οικονόμου και Λαμπρόπουλος βρίσκονταν συγχρόνως στις ΗΠΑ κατά τις δεκαετίες 1960 και 1970 για σπουδές, και στη συνέχεια για εργασία, και είχαν αναπτύξει προσωπικές σχέσεις. Είχαν εκπαιδευτεί και εργαστεί για πολλά χρόνια, ο καθένας σε μία από τις δύο βασικές ερευνητικές κατευθύνσεις του ΙΗΔΛ. Ο Οικονόμου είναι ένας από τους πλέον καταξιωμένους ερευνητές και συγγραφείς στη φυσική στερεάς κατάστασης και στη μελέτη των υλικών διεθνώς,

7 S.D. Peteves, «Up Close: Institute of Electronic Structure and Laser, at the Foundation of Research and Technology – Hellas», *Materials Research Society Bulletin* (November 1988), σ. 74–75.

8 Το Ινστιτούτο Αστροφυσικής ιδρύθηκε επίσημα τον Μάρτιο του 2018.

9 Καθώς στον παρόντα τόμο υπάρχει ξεχωριστό κεφάλαιο αφιερωμένο στο Αστεροσκοπείο Σκίνακα και το Ινστιτούτο Αστροφυσικής (Κεφάλαιο 8), δεν θα επεκταθούμε περισσότερο εδώ.



ΕΙΚΟΝΑ 1.4 Ο Ελευθέριος Οικονόμου το 2005.

ΠΗΓΗ: Αρχείο Γραφείου Διεθνών & Δημοσίων Σχέσεων-ΙΤΕ.

ενώ αντίστοιχα ο Λαμπρόπουλος είναι ένας διεθνώς καταξιωμένος ερευνητής στην Ατομική Φυσική και στη Φυσική των Λείζερ.

Ο Ελευθέριος Οικονόμου απέκτησε το Δίπλωμα του Ηλεκτρολόγου-Μηχανολόγου Μηχανικού από το Ε.Μ.Π. το 1963 (Εικ. 1.4). Συνέχισε τις σπουδές σε μεταπτυχιακό επίπεδο στις ΗΠΑ όπου απέκτησε το διδακτορικό του δίπλωμα το 1969 από το Τμήμα Φυσικής του University of Chicago. Παρέμεινε στην Αμερική και εργάστηκε ως ερευνητής και καθηγητής στο University of Virginia, όπου έφτασε στη βαθμίδα του Καθηγητή. Συγχρόνως, κατείχε την έδρα του Καθηγητή Θεωρητικής Φυσικής από το 1978 έως το 1981 στο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Το 1981 πήρε την απόφαση να δεχτεί τη θέση τού Καθηγητή Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Κρήτης. Για τον Οικονόμου, το Πανεπιστήμιο Κρήτης, στην προσπάθειά του να ξεχωρίσει διεθνώς, χρειαζόταν να λειτουργεί σε συνδυασμό με ένα ανεξάρτητο, αλλά σε στενή σύνδεση με το Πανεπιστήμιο, ερευνητικό κέντρο. Με τα δικά του λόγια, ήταν «εκ των ων ουκ άνευ, ένα Ερευνητικό Κέντρο στήριγμα του Πανεπιστημίου Κρήτης, στο στόχο του για διεθνή παρουσία».¹⁰ Η σύνδεση αυτή θα βοηθούσε «την εύρυθμη ερευνητική εργασία των φοιτητών και ερευνητών, την προσέλκυση σημαντικών ερευνητών (κάτι στο οποίο δεν βοηθούσαν οι γραφειοκρατικές δυσκολίες που υπήρχαν στο Πανεπιστήμιο), στη διεκδίκηση κονδυλίων από επιστημονικούς φορείς της Ευρωπαϊκής Ένωσης (τότε ΕΟΚ), και στην υποβοήθηση σε Έρευνα και Ανάπτυξη συστημάτων Λείζερ κατάλληλων για βιομηχανικές και ιατρικές εφαρμογές».¹¹ Από τη μετάβασή του στην Κρήτη, ο Οικονόμου συνέδεσε την επαγγελματική του πορεία με το ΕΚΕΚ/ΙΤΕ αλλά και με το ΙΗΔΛ ειδικότερα, στην ανάπτυξη του οποίου συνέβαλε σε σημαντικό βαθμό με την ερευνητική του προσπάθεια. Άλλωστε, ο Οικονόμου ήταν ο μοναδικός από τα πολύ σημαντικά στελέχη του πρωτοστάτησαν στη δημιουργία του ΕΚΕΚ/ΙΤΕ, παραιτήθηκε από τις θέσεις που κατείχε

¹⁰ Ε. Οικονόμου (2018), *Πανεπιστήμιο Κρήτης, Τμήμα Φυσικής, ΙΤΕ: Μια προσωπική μαρτυρία*. Συλλογή Ε. Ν. Οικονόμου.

¹¹ Συνέντευξη με Ελευθέριο Ν. Οικονόμου, Μάιος 2022.



ΕΙΚΟΝΑ 1.5 Ο Παναγιώτης (Peter) Λαμπρόπουλος κατά την απονομή του Βραβείου Εξάιρετης Πανεπιστημιακής Διδασκαλίας Βασίλη Ξανθόπουλου – Στέφανου Πνευματικού, 2003.

ΠΗΓΗ: Αρχείο Τμήματος Διεθνών & Δημοσίων Σχέσεων-ΙΤΕ.

σε ιδρύματα του εξωτερικού, και αφοσιώθηκε στο ΙΤΕ, ως Πρόεδρος του αλλά και ως ερευνητής με σπουδαία ερευνητικά αποτελέσματα.

Ο Παναγιώτης Λαμπρόπουλος ξεκίνησε τις σπουδές του στην Αθήνα, όπου απέκτησε δίπλωμα Ηλεκτρολόγου-Μηχανολόγου Μηχανικού από το Ε.Μ.Π. το 1958 (Εικ. 1.5). Μετά το τέλος των σπουδών του μετέβη για σπουδές στις ΗΠΑ, και συγκεκριμένα στο University of Michigan, όπου έλαβε δύο μεταπτυχιακά διπλώματα: το πρώτο στην Πυρηνική Μηχανική (1962) και το δεύτερο στη Φυσική (1963). Το 1965 ολοκλήρωσε τις σπουδές του λαμβάνοντας διδακτορικό δίπλωμα στην Πυρηνική Επιστήμη από το ίδιο Πανεπιστήμιο. Εργάστηκε σε μια σειρά αμερικανικών ερευνητικών κέντρων και πανεπιστημίων (University of Southern California, University of Colorado, Argonne National Laboratory) μέχρι το 1979, οπότε και δίδαξε για τρία χρόνια στο Πανεπιστήμιο της Πάτρας. Από το 1982 μέχρι και το 2003, όταν και συνταξιοδοτήθηκε, διετέλεσε Καθηγητής στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης. Υπήρξε ο πρώτος Διευθυντής του ΙΗΔΛ από το 1983 έως το 1997, και ο άνθρωπος που είχε πολύ σημαντικό ρόλο στην είσοδο της επιστήμης και της τεχνολογίας λέιζερ στην Ελλάδα. Ο Λαμπρόπουλος ήταν αυτός που έθεσε τις πρώτες ερευνητικές κατευθύνσεις στην Ελλάδα στον τομέα των λέιζερ, ενώ στελέχωσε το ΙΗΔΛ στα αρχικά του στάδια με επιστήμονες που είχαν πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του Ινστιτούτου και του ΙΤΕ, όπως για παράδειγμα ο Κώστας Φωτάκης, στον οποίο θα αναφερθούμε στη συνέχεια.

4. Η αρχή

Με την ίδρυση του ΙΗΔΛ ξεκίνησαν οι πρώτες ερευνητικές προσπάθειες που αποσκοπούσαν στην αναγνώρισή του ως ενός σημαντικού ερευνητικού ινστιτούτου, αλλά και στο να τεθούν οι βάσεις για τη μετέπειτα πορεία του. Οι προσπάθειες στις οποίες θα εστιάσουμε τοποθετούνται χρονικά στην πρώτη δεκαετία ύπαρξης του

ΙΗΔΛ. Θα παρουσιάσουμε επίσης την οργάνωση του Ινστιτούτου και τη διαίρεσή του στις βασικές ερευνητικές ομάδες, η οποία παρέμεινε σε μεγάλο βαθμό σταθερή στα χρόνια που ακολούθησαν.

Όπως αναφέραμε, οι επιστήμονες που έπαιξαν καταλυτικό ρόλο στη δημιουργία του ΙΗΔΛ ήταν κατά κύριο λόγο ο Λαμπρόπουλος και ο Οικονόμου. Αυτοί έφεραν μαζί τους την ειδημοσύνη που είχαν αποκτήσει από την έρευνα που διεξήγαγαν στην Αμερική· ο πρώτος στα λέιζερ και ο δεύτερος στη μελέτη της ύλης και στη φυσική στερεάς κατάστασης. Το Ινστιτούτο χωρίστηκε σε δύο τομείς: τον Τομέα Λέιζερ και Εφαρμογών, και τον Τομέα Υλικών και Διατάξεων. Οι στόχοι που τέθηκαν για τη λειτουργία του ΙΤΕ ήταν σε πλήρη συμφωνία με τις επιστημονικές εξελίξεις στο διεθνές επίπεδο καθώς και με τους στόχους που έθεταν τα αντίστοιχα ερευνητικά κέντρα του εξωτερικού. Από τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας του ΙΗΔΛ, η έμφαση των ερευνών δόθηκε στις ακόλουθες κατευθύνσεις: α) την ανάπτυξη εφαρμογών στην Ηλεκτρονική, β) τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων δεσμών Λέιζερ με υλικά, γ) τον σχεδιασμό νέων διατάξεων Λέιζερ, καθώς και νέων οπτο-ηλεκτρονικών διατάξεων, και δ) την κατανόηση των ιδιοτήτων και την ανάπτυξη ημιαγωγών III-V με στόχο την εφαρμογή τους.¹² Ήταν «στρατηγική επιλογή για την ανάπτυξη του ΙΗΔΛ από την πρώτη στιγμή η έμφαση σε πρωτοβουλίες που βασίζονται στην υπέρβαση των διαχωριστικών γραμμών ανάμεσα στη φυσική, τη χημεία και τη βιολογία».¹³ Τόσο η επιστήμη των λέιζερ όσο και η μελέτη της ύλης, όπως έχουμε αναφέρει, είναι ερευνητικές περιοχές στις οποίες μπορούν να συναντηθούν φυσικοί, χημικοί, βιολόγοι, μηχανικοί, κ.ά. Η διεπιστημονικότητα ήταν παρούσα από τα πρώτα στάδια λειτουργίας του ΙΗΔΛ.

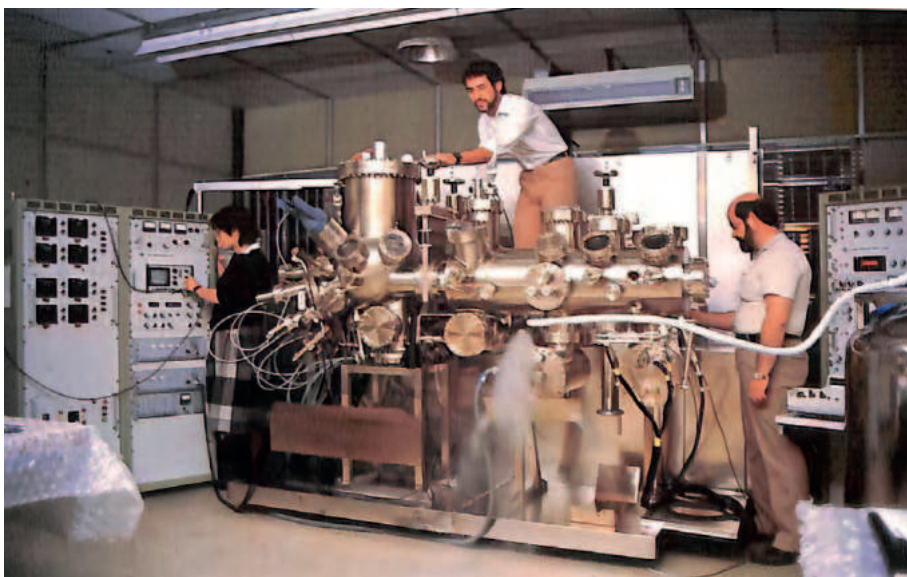
Οι Λαμπρόπουλος και Οικονόμου ήταν θεωρητικοί φυσικοί με σπουδαία συμβολή στις θεωρητικές αναζητήσεις που υπήρχαν στους τομείς της έρευνάς τους. Αυτό που χρειαζόταν πλέον το ΙΗΔΛ ήταν να βρεθούν οι κατάλληλοι άνθρωποι για τη δημιουργία, λειτουργία και ανάπτυξη των αντίστοιχων εργαστηρίων. Ο Οικονόμου, έχοντας γνώση του διεθνούς πλαισίου διεξαγωγής της έρευνας (state of the art) και των αναζητήσεων που λάμβαναν χώρα στη φυσική στερεάς κατάστασης και τη μελέτη των υλικών γενικότερα, θεώρησε ότι η φυσική των ημιαγωγών (τρανζίστορ) ήταν μια περιοχή όπου διαφαίνονταν σημαντικές δυνατότητες σπουδαίων ανακαλύψεων. Ήταν ήδη κατανοητό επίσης ότι η σημασία των εφαρμογών των ημιαγωγών στις σύγχρονες κοινωνίες ήταν πολύ μεγάλη.¹⁴ Είδαμε ότι το τρανζίστορ, η σημαντικότερη ανακάλυψη-απόρροια των ημιαγωγών θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα της επιστήμης και της τεχνολογίας του 20ού αιώνα.

Το 1985 ξεκίνησε τη λειτουργία της η ομάδα Μικροηλεκτρονικής, με τη δημιουργία του εργαστηρίου για την ανάπτυξη ημιαγωγών III-V με τη μέθοδο της Επίταξης με Μοριακές Δέσμες (Molecular Beam Epitaxy, MBE). Οι ημιαγωγοί αυτού του τύπου ονομάζονται έτσι διότι αποτελούν χημικές ενώσεις από στοιχεία των ομάδων III και V του Περιοδικού Πίνακα. Η πρώτη δραστηριότητα του Εργαστηρίου αφορούσε την ανάπτυξη καινοτόμων ημιαγωγών GaAs (Αρσενικούχο Γάλλιο) και

¹² Μπροσούρα ΙΗΔΛ, 1989, Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ.

¹³ Συνέντευξη με Ελευθέριο Ν. Οικονόμου, Μάιος 2022.

¹⁴ Συνέντευξη με Αλέξανδρο Γεωργακίλα, Νοέμβριος 2022.



ΕΙΚΟΝΑ 1.6 (Επάνω) Οι Α. Γεωργακίλας και Κ. Τσαγκαράκη σε Εργαστήριο Μικροηλεκτρονικής του ΙΗΔΛ στο κτίριο της Κνωσού το 1989. (Κάτω) Ο Άρης Χρήστου (στο κέντρο), υπεύθυνος για τη δημιουργία της ομάδας Μικροηλεκτρονικής στο ΙΗΔΛ στα μέσα της δεκαετίας του 1980, και (δεξιά) ο Καθηγητής Κ. Βαρμάζης κατά την εγκατάσταση της πρώτης διάταξης μοριακής επίταξης του Εργαστηρίου Μικροηλεκτρονικής.

Πηγή: Συλλογή Μικροηλεκτρονικής, ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

σχετικούς αρσενικούχους ημιαγωγούς, ενώ τα επόμενα χρόνια οι δραστηριότητες επεκτάθηκαν σε Επίταξη με Μοριακές Δέσμες που περιλαμβάνει και την ομάδα IV (Si και SiC) (Εικ. 1.6).

Ο πρώτος επικεφαλής της ομάδας, από το 1986 έως το 1990, ήταν ο Αρίστος Χρήστου. Ο Χρήστου σπούδασε στις ΗΠΑ όπου έλαβε το διδακτορικό του δίπλωμα στην Επιστήμη Υλικών το 1971 από το University of Pennsylvania. Εργάστηκε στη φυσική των ημιαγωγών στο Ερευνητικό Κέντρο του Ναυτικού των ΗΠΑ (Naval Research Laboratory) για περίπου μια δεκαετία πριν έλθει στο ΙΤΕ, το 1985. Αξιοποιώντας χρηματοδότηση από το ίδρυμα Fullbright του οποίου ήταν υπότροφος, αλλά και του NATO, ξεκίνησε το Εργαστήριο Μικροηλεκτρονικής στο ΙΗΔΛ έναν χρόνο αργότερα. Από την αρχή συνεργάστηκε μαζί του ο Ζαχαρίας Χατζόπουλος και, από το 1987, ο Γεώργιος Χαλκιάς. Ο Χατζόπουλος έλαβε διδακτορικό δίπλωμα στη Φυσική από το University of Wales του Ηνωμένου Βασιλείου το 1979, ενώ ο Χαλκιάς απέκτησε το δικό του διδακτορικό δίπλωμα στη Μικροηλεκτρονική από το Πανεπιστήμιο της Lille της Γαλλίας.



ΕΙΚΟΝΑ 1.7 Ο Κώστας Φωτάκης είναι μια από τις σημαντικότερες μορφές στην επιστήμη και τεχνολογία των λέιζερ στην Ελλάδα και από τους πρωτεργάτες στην έρευνα συντήρησης μνημείων και έργων τέχνης με εφαρμογές των λέιζερ διεθνώς. Η φωτογραφία είναι από τα πρώτα χρόνια του στο ΙΗΔΛ, τη δεκαετία του 1980.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

Η μέθοδος της Επίταξης με Μοριακές Δέσμες (MBE) είναι μια πολύ σημαντική μέθοδος που άρχισε να αναπτύσσεται στην έρευνα και τη βιομηχανία για την παραγωγή ημιαγωγών στα τέλη της δεκαετίας του 1960 στα εργαστήρια εταιρειών όπως τα Bell Laboratories της AT&T και τα ερευνητικά εργαστήρια της IBM. Οι αρχές λειτουργίας της μεθόδου μπορούν να εντοπιστούν στη σύγκλιση μιας σειράς πεδίων όπως η Φυσική Στερεάς Κατάστασης, η Επιστήμη Υλικών και η Φυσική Επιφανειών τη δεκαετία του 1950. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική, οι ερευνητές μπορούν να δημιουργήσουν νέα νανοδομημένα υλικά αποτελούμενα από λεπτά στρώματα διαφορετικών ημιαγωγών (ετεροδομές) με ακρίβεια έως ένα ατομικό επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό σχεδιάζονται και υλοποιούνται κβαντικά συστήματα με ιδιαίτερες ιδιότητες, για μελέτες βασικής έρευνας και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Το μεγαλύτερο μέρος της ερευνητικής δραστηριότητας της ομάδας Μικροηλεκτρονικής κατά τις δεκαετίες του 1980 και του 1990 υποστηρίχθηκε από μια σειρά ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων ESPRIT (European Strategic Programme for Research and Development in Information Technology). Η χρηματοδότηση αυτών των προγραμμάτων προερχόταν κατά 50% από τη βιομηχανία των ηλεκτρονικών υπολογιστών, ώστε να διασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα θα έχουν «γνήσιο» ενδιαφέρον για τη βιομηχανία. Οι σχέσεις του Εργαστηρίου Μικροηλεκτρονικής με το Πανεπιστήμιο Κρήτης ήταν από την αρχή και εξακολουθούν να είναι πολύ στενές, καθώς οι εγκαταστάσεις της ομάδας στεγάζονται στο κτίριο του Τμήματος Φυσικής, ενώ επίσης αρκετά μέλη ΔΕΠ συνεργάζονται με την ομάδα.

Από τους πρώτους επιστήμονες που ήλθαν στο ΙΗΔΛ για να εργαστούν πειραματικά στον τομέα των λέιζερ ήταν ο Κώστας Φωτάκης (Εικ. 1.7). Ο Φωτάκης αποφοίτησε από το Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών το 1973, ενώ απέκτησε το Διδακτορικό του Δίπλωμα στη Χημειοφυσική το 1977, από το University of Edinburgh στο Ηνωμένο Βασίλειο. Αφού εργάστηκε για ορισμένα χρόνια στο Ηνωμένο Βασίλειο (στο Εδιμβούργο και τη Γλασκώβη), ως μεταδιδακτορικός

ερευνητής και διδάσκων, επέστρεψε στην Ελλάδα, στο Πανεπιστήμιο Κρήτης όπου διορίστηκε αναπληρωτής Καθηγητής, και στο ΙΤΕ όπου ίδρυσε τον Τομέα Λείζερ και Εφαρμογών του ΙΗΔΛ. Αργότερα, το 1997, κατέλαβε τη θέση του Διευθυντή του ΙΗΔΛ, την οποία κατείχε έως το 2013, διαδεχόμενος τον πρώτο Διευθυντή, Παναγιώτη Λαμπρόπουλο. Πριν την έλευσή του στο ΙΤΕ ο Φωτάκης είχε εργαστεί στους τομείς της φασματοσκοπίας λέιζερ και της φωτονικής, και, ειδικότερα, στις αλληλεπιδράσεις λέιζερ με υλικά και βιοϋλικά και σχετικές βιοϊατρικές εφαρμογές διάγνωσης και επεξεργασίας. Ο Φωτάκης, εκτός από τη συμβολή του στην ερευνητική παραγωγή, είχε σημαντικότατο ρόλο στην οργάνωση και τη στελέχωση του Ινστιτούτου.

Ο Τομέας Λείζερ και Εφαρμογών προσανατολιζόταν στη βασική έρευνα, όπως η φασματοσκοπία λέιζερ, η μη γραμμική οπτική, η αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης κ.ά. Ωστόσο, η εφαρμοσμένη έρευνα ήταν πάντα μια βασική επιλογή για το ΙΗΔΛ με σημαντικά αποτελέσματα σχετικά με τη χρήση λέιζερ για βιομηχανικές και ιατρικές εφαρμογές. Το ΙΗΔΛ μάλιστα κατασκεύαζε και το ίδιο λέιζερ ήδη από τη δεκαετία του 1980. Ένα από τα λέιζερ που φτιάχτηκε αυτή την περίοδο πωλήθηκε σε άλλο ελληνικό πανεπιστήμιο.¹⁵ Κρίσιμο ρόλο στην πορεία του ΙΗΔΛ είχε η κατασκευή και η χρήση από το ΙΗΔΛ των λέιζερ τύπου excimer (excited dimer). Τα λέιζερ excimer προτάθηκαν το 1960, αλλά πέρασε μια δεκαετία μέχρι να κατασκευαστεί το πρώτο. Αργότερα, στα μέσα της δεκαετίας του 1970, κατασκευάστηκαν ισχυρά λέιζερ excimer στην περιοχή του υπεριώδους.¹⁶ Τα λέιζερ αυτά βρήκαν εφαρμογή σε πεδία της μικρομηχανικής και, σταδιακά, επικράτησαν σε τομείς μικροεπεξεργασίας υλικών, καθώς η ακτινοβολία τους απορροφάται εύκολα ενώ παράλληλα είναι ικανή να σπάει απευθείας τους χημικούς δεσμούς ενός υλικού. Το ΙΗΔΛ χρησιμοποιώντας και μελετώντας αυτού του τύπου τα λέιζερ συνεισέφερε στον χαρακτηρισμό και στην επεξεργασία υλικών, τόσο σε ερευνητικό επίπεδο όσο και για τη βιομηχανία, στην ολογραφία καθώς και στις ιατρικές εφαρμογές των λέιζερ.

Μια σημαντική εξέλιξη για τον Τομέα των Λείζερ ήταν η ένταξη του ΙΗΔΛ στην ευρωπαϊκή υποδομή λέιζερ ως Εγκατάσταση «Ultraviolet Laser Facility» (ULF) από το 1990. Η εγκατάσταση αυτή αποτελεί συνεχώς από τότε μέρος των διαδοχικών Ευρωπαϊκών Υποδομών Λείζερ και, από το 2004, της ευρύτερης ευρωπαϊκής ερευνητικής υποδομής «LASERLAB-Europe» που συνδέει 26 μεγάλες ευρωπαϊκές υποδομές λέιζερ. Το ΙΗΔΛ είχε πρωταγωνιστικό ρόλο στη δημιουργία αυτής της υποδομής, σε μια εποχή όπου τέτοιου τύπου προσπάθειες δεν ήταν τόσο διαδεδομένες στην Ευρώπη όσο είναι σήμερα. Με την ένταξή του στη συγκεκριμένη υποδομή, το ΙΗΔΛ αύξησε την αναγνωρισιμότητά του στο εξωτερικό, αναδεικνύοντας την αξιοπιστία και αποτελεσματικότητά του (Εικ. 1.8).

Από τα πρώιμα στάδια του ΙΗΔΛ, η έρευνα στράφηκε και προς αυτό που ονομάζεται *χαλαρή ύλη* (soft matter). Τα συστήματα χαλαρής ύλης αποτελούν μια κατηγορία υλικών συμπυκνωμένης ύλης τα οποία δεν είναι τόσο σκληρά όσο μια πέτρα, για παράδειγμα, αλλά δεν ρέουν κιόλας όπως τα υγρά. Παραδείγματα χαλαρής ύλης είναι η μαγιονέζα, τα χρώματα-μπογιές, οι κόλλες, το μελάνι που υπάρχει

¹⁵ Peteves 1988, σ. 75.

¹⁶ Hecht 1999, σ. 110.



ΕΙΚΟΝΑ 1.8 Χάρτης της ευρωπαϊκής υποδομής Laserlab Europe. Το ΙΗΔΛ έπαιξε σημαντικό ρόλο στη δημιουργία της και είναι μέλος της από τα πρώτα χρόνια λειτουργίας της.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

σε μια πένα, οι υγροί κρύσταλλοι που υπάρχουν σε μια οθόνη, τα ελαστικά του αυτοκινήτου. Χρησιμοποιώντας την τελευταία περίπτωση, τα ελαστικά δηλαδή, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα την πολυπλοκότητα της χαλαρής ύλης: κοιτάζοντας μακροσκοπικά το ελαστικό ενός αυτοκινήτου, είναι ένα στερεό σώμα αναμφίβολα· αν όμως το μελετήσουμε μικροσκοπικά με τη μέθοδο, π.χ., του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού, θα το αναγνωρίσουμε ως υγρό.¹⁷

Τα συστήματα χαλαρής ύλης αποτελούν μια κατηγορία υλικών που περιλαμβάνει πολυμερή, κολλοειδή, γαλακτώματα, τασιενεργές ουσίες και υγρούς κρυστάλλους. Τα πολυμερή είναι ίσως τα πιο διάσημα από αυτά τα υλικά, καθώς η σημασία των εφαρμογών τους για τις σύγχρονες κοινωνίες δύσκολα μπορεί να υπερεκτιμηθεί – με την πιο γνωστή από αυτές να είναι τα πλαστικά.

Η κατανόηση των σχέσεων μεταξύ δομής και ιδιοτήτων της χαλαρής ύλης είναι το κεντρικό ζητούμενο στην έρευνα των πολυμερών. Για να επιτύχει αυτόν τον σκοπό η ομάδα του ΙΗΔΛ χρησιμοποίησε πειραματικές τεχνικές (σκέδαση φωτός, σκέδαση και ανάκλαση ακτίνων Χ και νετρονίων, ρεολογία τηγμάτων και διαλυμάτων πολυμερών, συστήματα μέτρησης επιφανειακών ιδιοτήτων, κ.ά.), αλλά και θεωρητικές μεθόδους για την ποσοτικοποίηση της συμπεριφοράς των υλικών.¹⁸ Το ΙΗΔΛ αποδείχθηκε εξαιρετικό μέρος για τη διεξαγωγή έρευνας σε πολυμερή για έναν επιπλέον λόγο: στη δεκαετία του 1960 ανέτειλε μια νέα εποχή για το πεδίο ανάπτυξης υλικών και διατάξεων στα πολυμερή, καθώς αυτή η διαδικασία μπορούσε πια να γίνει με τη χρήση λέιζερ. Η γεινίαση μιας ομάδας που δραστηριοποιείται

¹⁷ P.G. de Gennes, «Soft Matter: The birth and growth of concepts, 1593-1615», στο L.M. Brown, A. Pais & B. Pippard, *Twentieth Century Physics*, New York: Institution of Physics Publications, 1995.

¹⁸ FORTH Brochure 1993, Αναφορά Προόδου ΙΗΔΛ 1995. Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ.



ΕΙΚΟΝΑ 1.9 Η Ομάδα Πολυμερών του ΙΗΔΛ με την αρχική της σύνθεση, στις αρχές της δεκαετίας του 1990 (Γιώργος Φυτάς, στο κέντρο, Σπύρος Αναστασιάδης δεξιά, Δημήτρης Βλασσόπουλος αριστερά, με μία επισκέπτη).

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

στην έρευνα των πολυμερών με μια ομάδα που ειδικεύεται στα λέιζερ συνιστά ευνοϊκή συγκυρία και για τις δύο ερευνητικές ομάδες. Μια συγκυρία η οποία αναδεικνύει ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του ΙΗΔΛ: επιστήμονες που δραστηριοποιούνται σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία μοιράζονται τους χώρους του ίδιου ινστιτούτου, κάτι που διευκολύνει την ανταλλαγή απόψεων αλλά και τη δημιουργία συνεργασιών.

Η Ομάδα Πολυμερών δημιουργήθηκε με την έλευση στην Κρήτη του Γιώργου Φυτά. Ο Φυτάς σπούδασε Χημεία στο Πανεπιστήμιο Αθηνών και απέκτησε το διδακτορικό του δίπλωμα στη Φυσικοχημεία (Physical Chemistry) από το Leibniz University Hannover το 1975. Αφού εργάστηκε για μια δεκαετία περίπου στην Ευρώπη και την Αμερική, μετέβη στην Κρήτη όπου διορίστηκε Καθηγητής στο Τμήμα Χημείας το 1985, ενώ το 1988 ίδρυσε την Ομάδα Πολυμερών του ΙΗΔΛ. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα σχετιζόνταν με τη δυναμική πολυμερών και, ιδιαίτερα, με εφαρμογές των τεχνικών σκέδασης λέιζερ στην επιστήμη πολυμερών. Τα πρώτα μέλη που προστέθηκαν στην ομάδα μετά τον Φυτά ήταν ο Σπύρος Αναστασιάδης και ο Δημήτρης Βλασσόπουλος. Ο Αναστασιάδης, αφού απέκτησε το δίπλωμα του χημικού μηχανικού από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης το 1983, ταξίδεψε στην Αμερική, και συγκεκριμένα στο Princeton University, όπου έλαβε μεταπτυχιακή ειδίκευση και το διδακτορικό του δίπλωμα το 1988 από το Πρόγραμμα Πολυμερικών Υλικών του Τμήματος Χημικών Μηχανικών. Στη συνέχεια εργάστηκε στο Almaden Research Center της IBM στις ΗΠΑ, και τον Σεπτέμβριο του 1991 ήλθε ως συνεργαζόμενος ερευνητής στο ΙΤΕ, ενώ το 1993 διορίστηκε Επίκουρος Καθηγητής στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης. Ο Αναστασιάδης το 1993, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα αφότου ήρθε στο ΙΤΕ, έλαβε μια σημαντική χρηματοδότηση στο πλαίσιο του προγράμματος NATO Science for Stability Programme III 1993, ύψους ~950.000 ευρώ (38.105.000 βελγικά φράγκα). Ο Βλασσόπουλος απέκτησε το δίπλωμα του χημικού μηχανικού το 1983 από το Εθνικό

Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ενώ έλαβε και αυτός το διδακτορικό του δίπλωμα από το Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Princeton University, το 1990. Εργάστηκε στη βιομηχανία πετρελαιοειδών (Mobil), ενώ το 1992 ξεκίνησε να εργάζεται στο ΙΗΔΛ ως συνεργαζόμενος ερευνητής (Εικ. 1.9).

Η μεγάλη σημασία των ημιαγωγών και των εφαρμογών τους είχε ως αποτέλεσμα να δοθεί μεγάλη έμφαση από την επιστημονική κοινότητα στη μελέτη αυτών των ιδιαίτερων υλικών. Η Ομάδα Άμορφων Ημιαγωγών του ΙΗΔΛ κατά τις δεκαετίες του 1980 και του 1990, ασχολήθηκε με τη μελέτη της φυσικής λεπτών υμενίων ημιαγωγών, κυρίως υδρογονωμένου πυριτίου, καθώς και με τη μελέτη της δομής και των οπτικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων υμενίων αγώγιμων οξειδίων και κραμάτων. Η έρευνα της ομάδας στράφηκε προς την κατεύθυνση των ηλεκτρονικών ισχύος και του ελέγχου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπου αναπτύχθηκε συνεργασία με το Φωτοβολταϊκό Πάρκο Κρήτης. Πιο συγκεκριμένα, οι προσπάθειες στράφηκαν στη σχεδίαση και παραγωγή κυκλωμάτων απαραίτητων στην παραγωγή, αποθήκευση και διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αναστροφείς (inverters), διατάξεις που μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο, και μετατροπείς (converters) που μετατρέπουν συνεχές ρεύμα σε συνεχές διαφορετικού πλάτους, καθώς και συστήματα διαχείρισης ισχύος βασισμένα σε microcontrollers χαμηλού κόστους.¹⁹ Επικεφαλής της ομάδας ήταν ο Γιώργος Κυριακίδης και ο Παναγιώτης Τζανετάκης. Ο Κυριακίδης σπούδασε Φυσική στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και έλαβε διδακτορικό δίπλωμα από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του University of Salford στο Ηνωμένο Βασίλειο, το 1979. Το 1981 ήρθε στο Τμήμα Φυσικής Πανεπιστημίου Κρήτης, και το 1985 διορίστηκε μέλος ΔΕΠ και έγινε συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ. Είναι ιδρυτικό μέλος και πρώτος διευθυντής του Επιστημονικού και Τεχνολογικού Πάρκου Κρήτης (1993-1997). Ο Τζανετάκης έλαβε το διδακτορικό του δίπλωμα από το Université de Grenoble της Γαλλίας το 1978, και επέστρεψε στην Ελλάδα το 1982 όταν πρωτοήρθε στο Πανεπιστήμιο Κρήτης. Το 1985 έγινε Επίκουρος Καθηγητής, ενώ έχει μεγάλη προσφορά στο ΙΤΕ ως συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ. Πρωτοστάτησε επίσης στη δημιουργία του Φωτοβολταϊκού Πάρκου στο ΤΕΙ Κρήτης.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και τις αρχές της δεκαετίας του 1990 είχαν πλέον αναγνωριστεί οι ερευνητικές περιοχές στις οποίες το ΙΗΔΛ θα δραστηριοποιούνταν τα επόμενα χρόνια, ενώ είχαν σχηματιστεί οι αντίστοιχες ομάδες. Τα εργαστήρια είχαν στελεχωθεί σε έναν πρώτο βαθμό και είχε ήδη ξεκινήσει η παραγωγή ερευνητικού έργου υψηλού επιπέδου. Το 1988 το ΙΗΔΛ αριθμούσε 23 συνεργαζόμενα μέλη ΔΕΠ του Πανεπιστημίου Κρήτης και ερευνητές του ΙΤΕ, 5 μεταδιδακτορικούς ερευνητές, 15 επισκέπτες ερευνητές, 8 μεταπτυχιακούς φοιτητές, και 12 άτομα ως διοικητικό και τεχνικό προσωπικό.²⁰ Ένα σημαντικό στοιχείο για τη συνέχεια του ΙΗΔΛ ήταν ότι το ίδιο είχε ξεκινήσει την εκπαίδευση των μελλοντικών στελεχών του, καθώς στις εγκαταστάσεις του εκπαιδεύονταν προπτυχιακοί και μεταπτυχιακοί φοιτητές.

19 FORTH Brochure 1993, Αναφορά Προόδου ΙΗΔΛ 1995. Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ.

20 Peteves 1988, σ. 74.

5. Η εδραίωση του ΙΗΔΛ

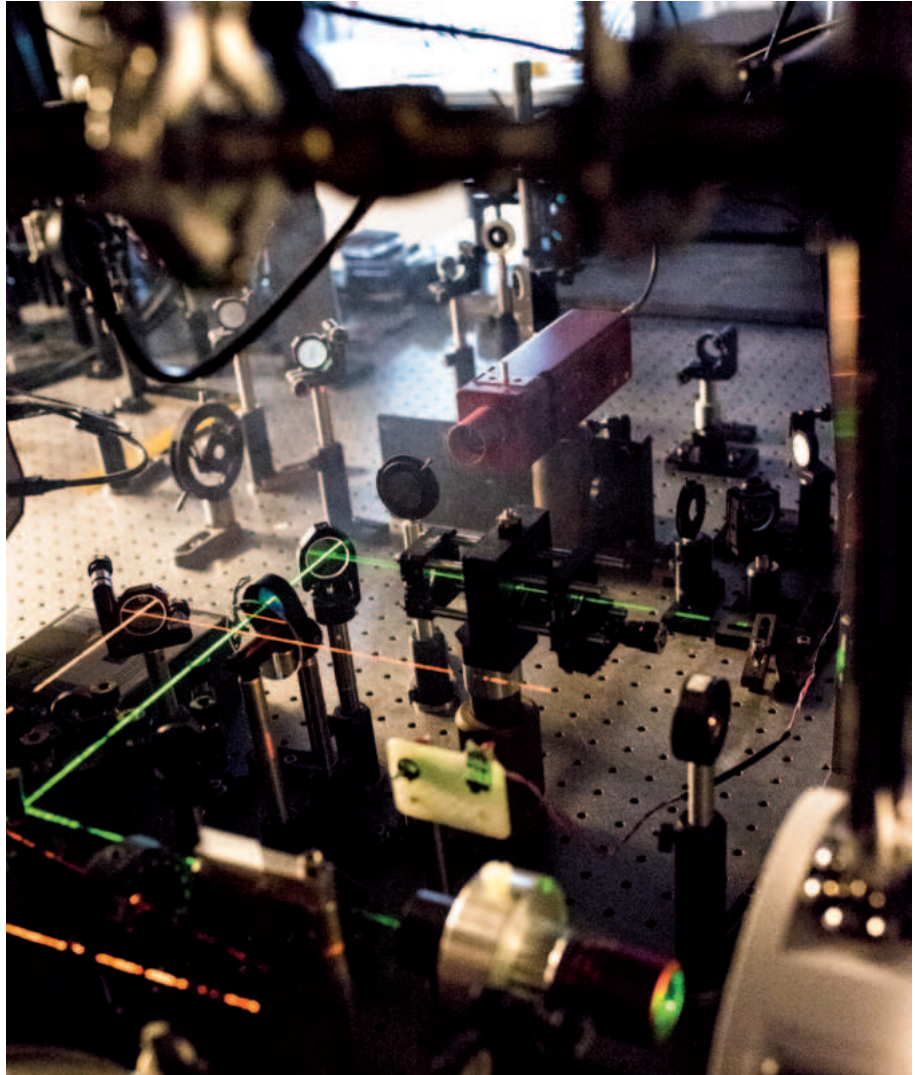
Τα τέλη της δεκαετίας του 1990 βρίσκουν το ΙΗΔΛ εμφανώς ενισχυμένο. Ενδεικτικά, το 1999 εργάζονταν στο ΙΗΔΛ 79 ερευνητές διαφόρων κατηγοριών (ερευνητές ΙΤΕ, συνεργαζόμενα μέλη ΔΕΠ, κ.ά.), 35 άτομα τεχνικό προσωπικό, 7 διοικητικό προσωπικό και 24 φοιτητές — συνολικά 142 άτομα, αριθμός υπερδιπλάσιος από τα 63 άτομα του 1988.²¹ Στην παρούσα ενότητα θα παρακολουθήσουμε πώς το ΙΗΔΛ εδραιώθηκε ως ένα ερευνητικό ινστιτούτο διεθνούς εμβέλειας, στη δεύτερη φάση της λειτουργίας του, η οποία διήρκεσε περίπου μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 2000. Θα αναφερθούμε στη δομή και τη διάρθρωση του Ινστιτούτου, αλλά και σε ορισμένα σημαντικά επιτεύγματα και διακρίσεις που είχαν μεγάλη σημασία για την εξέλιξη του ΙΗΔΛ.²²

Σε αυτή την περίοδο, το ΙΗΔΛ χωρίζεται σε τέσσερις τομείς. Ο πρώτος ήταν ο Τομέας Λέιζερ και Εφαρμογών, με υπεύθυνο τον Κώστα Φωτάκη, στον οποίο καλυπτόταν ένα ευρύ φάσμα έρευνας: βασικής, εφαρμοσμένης και βιομηχανικής. Οι περιοχές που απετέλεσαν αντικείμενο μελέτης και για τις οποίες δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες ερευνητικές ομάδες ήταν: φασματοσκοπία λέιζερ, ατομική και μοριακή φυσική, νέες πηγές σύμφωνης ακτινοβολίας, μη γραμμική οπτική (Εικ. 1.10). Στη συνέχεια αυτής της ενότητας θα αναφερθούμε εκτενώς σε δύο πολύ σημαντικές δραστηριότητες του Τμήματος Λέιζερ και Εφαρμογών, την έρευνα στην επιστήμη των αττοδευτερολέπτων και τη συντήρηση μνημείων και έργων τέχνης με λέιζερ.

Ο δεύτερος τομέας ήταν ο Τομέας Υλικών και Διατάξεων, ο οποίος χωριζόταν σε τρεις ομάδες. Την Ομάδα Μικροηλεκτρονικής, η οποία συνέχισε την επιτυχημένη έρευνα στην επίταξη με μοριακές δέσμες, που ήταν η κύρια αρχική δραστηριότητα του εργαστηρίου, ενώ ενδυναμώθηκε η έρευνα στον σχεδιασμό, την κατασκευή και ανάλυση τρανζίστορ (MESFET και HEMT), ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (MMICs), καθώς και οπτοηλεκτρονικών διατάξεων (φωτοανιχνευτών, LEDs, Διόδων Λέιζερ, κ.ά.). Μετά την επιστροφή του Αρίστου Χρήστου στην Αμερική, διευθυντής της ομάδας για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα (1994-1997) διετέλεσε ο Παύλος Παναγιωτάτος, Καθηγητής στο Rutgers University των ΗΠΑ, με τη συνδρομή του Γιώργου Χαλκιά έως το 1996. Σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και τη διεύθυνση της ομάδας και του εργαστηρίου στα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1990, αλλά και μετά την αποχώρηση Παναγιωτάτου και Χαλκιά, είχαν οι μεταδιδακτορικοί ερευνητές, τότε, Αλέξανδρος Γεωργακίλας και Γιώργος Κωνσταντινίδης. Ο Γεωργακίλας, μετά την απόκτηση του πτυχίου Φυσικής από το Πανεπιστήμιο Πατρών το 1984, ήρθε στην Κρήτη για να συνεχίσει τις σπουδές του. Έγινε ο πρώτος που απέκτησε διδακτορικό στην επίταξη με μοριακές δέσμες το 1990, δουλεύοντας στην ομάδα του ΙΗΔΛ, και επί 8 μήνες σε εργαστήριο της Thomson-CSF-LCR στο Παρίσι. Στη συνέχεια εργάστηκε ως μεταδιδάκτορας στο University of Maryland των ΗΠΑ το 1991-1992 και ως ερευνητής με σύμβαση στο ΙΗΔΛ μέχρι

²¹ FORTH Brochure 1999.

²² Οι πληροφορίες σχετικά με τη διάρθρωση του Ινστιτούτου έχουν ληφθεί από Αναφορές Προόδου ΙΗΔΛ της δεκαετίας 1990 (πιο συγκεκριμένα, 1995, 1996, 1997), Brochure FORTH 1999.



ΕΙΚΟΝΑ 1.10 Διάταξη λέιζερ στο ΙΗΔΛ.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

το 1995, οπότε διορίστηκε Επίκουρος Καθηγητής στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης. Ο Κωνσταντινίδης ολοκλήρωσε τις διδακτορικές του σπουδές στην ηλεκτρονική στερεάς κατάστασης στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του University of Salford στο Ηνωμένο Βασίλειο, το 1988. Επέστρεψε στην Ελλάδα την ίδια χρονιά και εντάχθηκε ως μεταδιδακτορικός ερευνητής στην Ομάδα Μικροηλεκτρονικής του ΙΗΔΛ. Συνέχισε να δουλεύει στην ομάδα ως επιστήμονας εφαρμογών και στη συνέχεια ως ερευνητής. Επίσης, την ίδια περίοδο ο Κωνσταντίνος Ζεκεντές (με σπουδές Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Κρήτης και Διδακτορικό στη Φυσική στο Πανεπιστήμιο Montpellier της Γαλλίας το 1989), αρχικά ως μεταδιδακτορικός ερευνητής και στη συνέχεια ως ερευνητής, ανέπτυξε ερευνητική δραστηριότητα στην επίταξη και διατάξεις του ημιαγωγού SiC. Ορόσημο για τη είσοδο της ομάδας στην έρευνα οπτοηλεκτρονικών διατάξεων αποτελεί η ανάληψη και υλοποίηση του ευρωπαϊκού έργου BONTEC (Bonding Technology for Monolithic Integration of GaAs Optoelectronic Devices on Si Substrates for



ΕΙΚΟΝΑ 1.11 Διάταξη Περίθλασης Ακτίνων Χ με γεννήτρια Περιστρεφόμενης Ανόδου της Ομάδας Πολυμερών του ΙΗΔΛ, τη δεκαετία του 1990.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

chip-to-chip Optical Interconnections, 1998-2000) με επιστημονικό υπεύθυνο τον Αλέξανδρο Γεωργακίλα, όπου κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά στην Ελλάδα δίοδοι λέιζερ και αποδείχθηκε ότι είναι εφικτή η υλοποίηση μιας καινοτόμου τεχνολογίας για ολοκλήρωση οπτικών διασυνδέσεων GaAs σε ολοκληρωμένα κυκλώματα πυριτίου.

Η Ομάδα Πολυμερών ήταν μία από τις αρχικές ομάδες του ΙΗΔΛ τα ενδιαφέροντα της οποίας επικεντρώνονταν στην κατανόηση των σχέσεων που συνδέουν τη μικροσκοπική δομή και δυναμική με τη μακροσκοπική συμπεριφορά, και τον σχεδιασμό νέων υλικών μέσω της κατανόησης αυτών των σχέσεων (Εικ. 1.11). Την περίοδο στην οποία αναφερόμαστε η έρευνα της ομάδας παρήγαγε πολλά σημαντικά αποτελέσματα. Μία από τις σημαντικότερες επιτυχίες της ήταν η δημοσίευση, το 1996, στο περιοδικό *Science*, ένα από τα πλέον εμβληματικά επιστημονικά περιοδικά, ενός πολύ σημαντικού άρθρου στο οποίο προτάθηκε μια πειραματική τεχνική για τη μέτρηση της δυναμικής διακυμάνσεων συγκέντρωσης για πολυμερική ψήκτρα από ακροτενώς αγκυρωμένες πολυμερικές αλυσίδες σε στερεή επιφάνεια από διάλυμα.²³ Με αυτή την τεχνική είναι δυνατόν να μελετηθεί πώς οι συλλογικές μικροσκοπικές κινήσεις ενός πολυμερούς σε διεπιφάνειες επηρεάζουν μακροσκοπικές ιδιότητες όπως η λίπανση, η συνάφεια, κ.ά. Η συγκεκριμένη δημοσίευση προκάλεσε τη δημοσίευση ενός άρθρου *Perspective* στο ίδιο περιοδικό.²⁴ Τα άρθρα τύπου *Perspective* δεν παρουσιάζουν πρωτογενή έρευνα αλλά την άποψη του/της συγγραφέα για ένα θέμα ή για ερευνητικά αποτελέσματα που ανήκουν στην πρωτοπορία της επιστημονικής έρευνας και θεωρούνται πολύ σημαντικά.

23 G. Fytas, S.H. Anastasiadis, R. Seghrouchni, D. Vlassopoulos, J. Li, B.J. Factor, W. Theobald & C. Toprakcioglu, «Probing Collective Motions of Terminally Anchored Polymers», *Science* 274 (1996), σ. 2041-2044, <doi:10.1126/science.274.5295.2041>.

24 A.C. Balazs, «Capturing the Dynamic Behavior of Adsorbed Polymers» *Science* 274 (1996), σ. 2036-2037, <doi:10.1126/science.274.5295.2036>.

Κεντρική επιλογή των ιδρυτών του ΙΗΔΛ —καταξιωμένων θεωρητικών φυσικών άλλωστε— ήταν η ύπαρξη μιας ισχυρής θεωρητικής ομάδας, η οποία θα ενίσχυε όχι μόνο το πνευματικό περιβάλλον του Ινστιτούτου αλλά και την παραγωγική αλληλεπίδραση μεταξύ θεωρίας και πειράματος. Γι' αυτό τον λόγο δημιουργήθηκε η Ομάδα Θεωρητικής και Υπολογιστικής Φυσικής και Χημείας. Η έρευνά της σχετιζόταν με τη στατιστική φυσική, τη μαθηματική φυσική, τη φυσική στερεάς κατάστασης, την ατομική και μοριακή φυσική, τη μη γραμμική και κβαντική οπτική, την κβαντική χημεία κ.ά. Υπεύθυνος της ομάδας ήταν ο Νικόλαος Παπανικολάου. Ο Παπανικολάου έλαβε διδακτορικό δίπλωμα στη Φυσική από το New York University το 1975. Στη συνέχεια εργάστηκε σε πανεπιστήμια των ΗΠΑ και της Γαλλίας. Δίδαξε στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης από το 1985 έως 2014, με μόνη σχέση με το Ινστιτούτο από το 1990 ως συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ.

Μία ομάδα που δεν υπήρχε αρχικά στο ΙΗΔΛ αλλά δημιουργήθηκε στη συνέχεια ήταν η Ομάδα Περιβάλλοντος, η έρευνα της οποίας εστιαζόταν στην παρακολούθηση και προσομοίωση οικολογικών συστημάτων και φυσικοχημικών διεργασιών στο περιβάλλον. Οι ερευνητικές περιοχές που κάλυπτε η ομάδα ήταν η ατμοσφαιρική χημεία, ο προσδιορισμός των ρύπων στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά αποθέματα, η διάδοση ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και η μέτρηση του ισοζυγίου ηλιακής και γήινης ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης, η μελέτη της μείωσης του στρώματος του όζοντος και η δημιουργία προσομοιώσεων αυτής της διαδικασίας, καθώς και η εγκατάσταση αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών για τη μέτρηση βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων. Υπεύθυνος της ομάδας ήταν ο Ηλίας Βαρδαβάς. Ο Βαρδαβάς έλαβε το διδακτορικό του δίπλωμα στη Διάδοση Ακτινοβολίας σε Αστρικές Ατμόσφαιρες από το University of Sydney της Αυστραλίας το 1977, ενώ δίδαξε στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης την περίοδο 1993-2015.

Η Ομάδα Άμορφων Ημιαγωγών συνέχισε με τα ίδια ερευνητικά ενδιαφέροντα, τη μελέτη της δομής και των οπτικών-ηλεκτρικών ιδιοτήτων λεπτών υμενίων άμορφων ημιαγωγών, ενώ ενδυνάμωσε τη σύνδεσή της με το Τεχνολογικό Πάρκο Κρήτης.

Η διεξαγωγή έρευνας υψηλού επιπέδου απαιτεί και την παροχή υποστήριξης αντίστοιχου επιπέδου. Γι' αυτό τον λόγο δημιουργήθηκαν, από τα πρώτα βήματα του ΙΗΔΛ, Μηχανουργείο και Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Σχεδίασης και Ανάπτυξης. Το Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Σχεδίασης κατά καιρούς ανέπτυξε πρωτότυπα όργανα και συσκευές, ορισμένα από τα οποία αγοράστηκαν από άλλα εργαστήρια της Ελλάδας ή του εξωτερικού.

5.1 Σημαντικά στιγμιότυπα

5.1.1 Συντήρηση και καθαρισμός μνημείων

Η μελέτη, συντήρηση και αποκατάσταση έργων τέχνης, μνημείων και υλικών που ανήκουν στη σφαίρα της Πολιτιστικής Κληρονομιάς είναι ένα θέμα που έχει απασχολήσει έντονα τις αναπτυγμένες κοινωνίες. Η φροντίδα των ιστορικών μνημείων και των αντικειμένων τέχνης θεωρείται μείζονος σημασίας όχι μόνο για



ΕΙΚΟΝΑ 1.12 Συντήρηση εικόνας του 17ου αιώνα με τη χρήση λέιζερ. Αριστερά φαίνεται η εικόνα πριν την παρέμβαση με λέιζερ, και δεξιά, μετά την παρέμβαση.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

τη διατήρηση της αισθητικής τους αρτιότητας αλλά και για την απόκτηση σημαντικών ιστορικών πληροφοριών και την κατανόηση των υλικών και πρώιμων τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν. Η διαρκής έκθεσή τους στην περιβαλλοντική ρύπανση, ειδικά μετά τη βιομηχανική επανάσταση και τους νέους τύπους ρύπων που διαχύθηκαν στην ατμόσφαιρα, καθώς και άλλοι παράγοντες όπως ο χρόνος, προκαλούν φθορές και καταπονήσεις που δυσχεραίνουν τη διαδικασία αποκατάστασης με συμβατικές μεθόδους. Η τεχνολογία των λέιζερ διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, όταν ξεκίνησε η συστηματική χρήση τους από ερευνητικά κέντρα και ινστιτούτα συντήρησης, παράλληλα με την ανάπτυξη εξειδικευμένων συστημάτων λέιζερ και μεθοδολογιών για την αντιμετώπιση των ποικίλων προκλήσεων που εμφανίζονταν σε διαφορετικά υλικά και τύπους φθορών.²⁵ Οι πρώτες προτάσεις για χρήση λέιζερ για τη συντήρηση έργων τέχνης στην Ελλάδα, και συγκεκριμένα για τις εργασίες αποκατάστασης τμημάτων του Παρθενώνα, κατατέθηκαν ύστερα από πολύχρονη έρευνα και πολύτιμες κατευθυντήριες οδηγίες του καθηγητή Θεόδωρου Σκουλικίδη, χημικού μηχανικού, το 1994.²⁶ Η εφαρμογή της ακτινοβολίας λέιζερ για την αφαίρεση ανεπιθύμητων επικαθίσεων από πέτρινες επιφάνειες αποτελεί αντικείμενο έρευνας της ομάδας του ΙΗΔΛ από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, όταν και έγιναν οι πρώτες διεθνείς δημοσιεύσεις, με επικεφαλής της ομάδας τον Κώστα Φωτάκη.²⁷

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την Ομάδα Φωτονικής για την Πολιτιστική Κληρονομιά (Photonics for Heritage Science) του ΙΗΔΛ έχει οδηγήσει στην

25 A. Zanini, V. Trafeli V. & L. Bartol, «The laser as a tool for the cleaning of Cultural Heritage», *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, <doi:10.1088/1757-899X/364/1/012078>.

26 Θ. Σκουλικίδης, *Πρόταση για τον καθαρισμό των Μνημείων της Ακροπόλεως, Μελέτη αποκαταστάσεως του Παρθενώνος*, 1994, τ. 3γ, σ. 3-14.

27 Π.χ. C. Fotakis et al., «Lasers for Art's Sake!», *Optics & Photonics News* 6 (May 1995), σ. 30.

τεχνολογική ανάπτυξη προηγμένων λέιζερ και οπτικών εργαλείων που προσφέρουν νέες αποτελεσματικές προσεγγίσεις στην ανάλυση, διάγνωση και συντήρηση έργων τέχνης και αρχαιοτήτων. Σκοπός των μελετών της ομάδας είναι η καλύτερη κατανόηση των υλικών, κατεργασιών και μεθόδων σχετικά με τα αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς, καθώς και η ανάπτυξη ευέλικτων και αποτελεσματικών εργαλείων για ανάλυση, διάγνωση, συντήρηση και αποκατάσταση αρχαιολογικών / ιστορικών αντικειμένων, έργων τέχνης και μνημείων (Εικ. 1.12).

Το μεγαλύτερο έργο που έχει αναλάβει η ομάδα ήταν το πρόγραμμα καθαρισμού των γλυπτών της Ακρόπολης από τις επικαθίσεις ατμοσφαιρικών ρύπων με χρήση τεχνολογιών λέιζερ. Κατά τη διάρκειά του πραγματοποιήθηκε καθαρισμός σε 70 γλυπτά και θραύσματα, κυρίως σε αρχιτεκτονικά γλυπτά προερχόμενα από τον Παρθενώνα, το Ερέχθειο και τον ναό της Αθηνάς Νίκης. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε κατά τον καθαρισμό της δυτικής ζωφόρου του Παρθενώνα σε συνεργασία με την Υπηρεσία Συντήρησης Μνημείων Ακροπόλεως (ΥΣΜΑ), τα έτη 2002–2005, ενώ ο καθαρισμός των γλυπτών ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2021. Για τις ανάγκες του προγράμματος αναπτύχθηκε από το ΙΗΔΛ ένα πρωτότυπο σύστημα λέιζερ, ένα τροποποιημένο σύστημα Q switched Nd:YAG. Η ανάπτυξη του νέου τροποποιημένου συστήματος λέιζερ ικανού να λειτουργεί παράλληλα σε δύο διαφορετικά μήκη κύματος, έδινε τη δυνατότητα ασφαλούς απομάκρυνσης των επικαθίσεων, χωρίς χρωματικές ή άλλες αλλοιώσεις των επιφανειών.

Η ομάδα έχει συνεργαστεί με κορυφαία παγκοσμίως κέντρα έρευνας και ανάπτυξης καινοτόμων τεχνολογιών λέιζερ και οπτικής, καθώς και με μουσεία όπως η Εθνική Πινακοθήκη στην Αθήνα, τα Μουσεία Guggenheim και Μοντέρνας Τέχνης της Νέας Υόρκης, η Tate Gallery στο Λονδίνο, κ.ά., για ανάλυση και καθαρισμό έργων τέχνης. Το ΙΗΔΛ επελέγη το 2009 ως Ευρωπαϊκή Εγκατάσταση για «Έρευνα και ανάπτυξη νέων μεθόδων και οργανολογίας λέιζερ στη διαγνωστική και συντήρηση αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς με λέιζερ» στο πλαίσιο του χρηματοδοτούμενου από την ΕΕ έργου Ευρωπαϊκής Ερευνητικής Υποδομής CHARISMA.

Σημαντικό ρόλο σε αυτή την προσπάθεια έχει ο Δημήτρης Άγγλος, Καθηγητής στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης και συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ, όπου διευθύνει από το 2001 το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Φασματοσκοπίας. Ο Άγγλος απέκτησε διδακτορικό δίπλωμα το 1994 από το Cornell University των ΗΠΑ. Μετά το διδακτορικό του υπηρέτησε ως μεταδιδακτορικός ερευνητής στο ΙΗΔΛ μέχρι το 2001, όταν εκλέχθηκε ερευνητής, ενώ το 2009 διορίστηκε ως Καθηγητής στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης. Από τους πρωτεργάτες της προσπάθειας είναι η Παρασκευή Πουλή, η οποία έλαβε το διδακτορικό της δίπλωμα από το Πανεπιστήμιο του Loughborough το 1999. Ήρθε στο ΙΗΔΛ το 2000 και ασχολήθηκε εξ αρχής με τη διερεύνηση βέλτιστων στρατηγικών καθαρισμού με λέιζερ για τα γλυπτά της Ακρόπολης, όπως και με την κατανόηση και πρόληψη πιθανών παρενεργειών, όπως φαινόμενα αποχρωματισμού. Η Πουλή εκλέχθηκε Ειδική Λειτουργική Επιστήμων (ΕΛΕ) του ΙΗΔΛ το 2016.



ΕΙΚΟΝΑ 1.13 Ο Δημήτρης Χαραλαμπίδης με τον Παναγιώτη Λαμπρόπουλο τα πρώτα χρόνια του ΙΗΔΛ.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

5.1.2 Επιστήμη αττοδευτερολέπτων

Το αττοδευτερόλεπτο (attosecond) είναι ένα πολύ μικρό κλάσμα του δευτερολέπτου (ένα αττοδευτερόλεπτο είναι ένα δισεκατομμυριοστό του δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου). Ένας παλμός λέιζερ της τάξης του αττοδευτερολέπτου είναι ένας πολύ βραχύς χρονικά παλμός, και η παραγωγή παλμών τέτοιας διάρκειας ήταν πολύ έξω από τις δυνατότητες των πρώτων λέιζερ. Οι τεχνολογικές δυνατότητες για κάτι τέτοιο εμφανίστηκαν στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1980, όταν κατασκευάστηκαν λέιζερ ζαφειριού με ενέσεις τιτανίου. Η τεχνολογική αυτή εξέλιξη παρείχε τις προϋποθέσεις για τη γένεση μιας νέας ερευνητικής κατεύθυνσης με μεγάλο ενδιαφέρον για την Φυσική: της επιστήμης αττοδευτερολέπτων στην οποία απονεμήθηκε το βραβείο Nobel Φυσικής 2023.

Η παραγωγή παλμών αττοδευτερολέπτου δίνει στους επιστήμονες μια δυνατότητα που δεν είχαν προηγουμένως, να μελετήσουν φαινόμενα ταχείας δυναμικής. Βασική αρχή είναι ότι, για να μελετηθεί ένα φαινόμενο, πρέπει να υπάρχει ένα όργανο μέτρησης το οποίο θα είναι ευαίσθητο σε κλίμακες χρόνου συγκρίσιμες με εκείνες του προς μελέτη φαινομένου. Ενδεικτικά, η μελέτη της κίνησης ενός δρομέα των 100 μέτρων εντός του πλαισίου των αγώνων δρόμου, όπως διεξάγονται σήμερα, απαιτεί να έχουμε στη διάθεσή μας ένα χρονόμετρο που μετρά με ακρίβεια εκατοστού του δευτερολέπτου. Αντιστοίχως, η μελέτη της κίνησης ενός ηλεκτρονίου στο εσωτερικό ενός ατόμου, μορίου ή ιόντος απαιτεί να έχουμε τη δυνατότητα να προκαλέσουμε τη διέγερσή του με έναν παλμό λέιζερ της τάξης των αττοδευτερολέπτων.

Στο ΙΗΔΛ δημιουργήθηκε ένα από τα λίγα εργαστήρια παγκοσμίως που έχουν τη δυνατότητα να υπηρετούν την επιστήμη των αττοδευτερολέπτων. Βασικός ερευνητής σε αυτή την ομάδα ήταν από την αρχή ο Δημήτρης Χαραλαμπίδης, Ομότιμος Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης, από το 2020 (Εικ. 1.13). Ο Χαραλαμπίδης έλαβε πτυχίο Φυσικής από το Πανεπιστήμιο Αθηνών, ενώ συνέχισε τις σπουδές του στη Φυσική στη Γερμανία, όπου έλαβε το διδακτορικό του στη Φυσική από το Albert-Ludwigs-Universität Freiburg το 1987. Από το 1988 μέχρι το 1992 ήταν ερευνητής στο ΙΤΕ, ενώ το 1992 διορίστηκε μέλος ΔΕΠ στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης. Από την αρχή της θητείας του στο ΙΤΕ συνεργάστηκε με τον Παναγιώτη Λαμπρόπουλο σε θέματα επιστήμης των λέιζερ, αποκτώντας ειδικευση στην περιοχή μελέτης των πολυφωτονικών διαδικασιών, ενώ στα μέσα της δεκαετίας του 1990 στράφηκε στην ερευνητική περιοχή των αττοδευτερολέπτων.²⁸ Το εργαστήριο του ΙΗΔΛ ήταν ένα από τα πρώτα παγκοσμίως που δημιούργησαν, ανίχνευαν και μέτρησαν παλμούς αττοδευτερολέπτων στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε μια πολύ σημαντική δημοσίευση για τον κλάδο των αττοδευτερολέπτων.²⁹ Η ομάδα συνέχισε να παράγει σημαντικά αποτελέσματα και εξίσου σημαντικές δημοσιεύσεις στα χρόνια που ακολούθησαν, μερικές των οποίων με συνσυγγραφείς δύο από τους τρεις Νομπελίστες του 2023 (Anne L' Huillier και Ferenc Krausz), κάτι που την καθιστά μια από τις πιο σημαντικές διεθνώς, σε αυτή την περιοχή.

5.1.3 Μεταϋλικά

Η έρευνα για τα μεταϋλικά (metamaterials) αποτελεί την πιο καινοτόμα και προχωρημένη ερευνητική περιοχή στην επιστήμη και τεχνολογία των υλικών. Τα υλικά αυτής της κατηγορίας δεν συναντώνται στη φύση αλλά είναι δημιουργήματα του ανθρώπου, μέσα στα ερευνητικά εργαστήρια. Συνίστανται από συνήθη υλικά (μέταλλο και πλαστικό), αλλά με συγκεκριμένη διάταξη στον χώρο ενώ συχνά γίνεται αναφορά σε αυτά με το όνομα *αριστερόστροφα υλικά* (left-handed materials). Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν απολύτως αναπάντεχες ιδιότητες: διαθλούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αντίθετα απ' ό,τι τα συνήθη υλικά, μπορούν να δώσουν μηδενική ανάκλαση του φωτός και τέλεια απεικόνιση αντικειμένων κ.ά. Λόγω των καταπληκτικών ιδιοτήτων τους αναμένεται να έχουν μεγάλη σημασία για συγκεκριμένους τομείς της βιομηχανίας, όπως η αεροναυπηγική, η αυτοκινητοβιομηχανία, η βιομηχανία των ηλεκτρονικών κ.ά.³⁰ Πιο συγκεκριμένα, αυτά τα υλικά μπορούν να χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα συσκευών και διατάξεων, όπως μικροκυματικές διατάξεις (φίλτρα ή κεραίες), κατασκευή επίπεδων φακών, κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μικρότερου μεγέθους, αύξηση χωρητικότητας οπτικών ινών κ.ά.

²⁸ Συνέντευξη με τον Δημήτρη Χαραλαμπίδη, Νοέμβριος 2022.

²⁹ N.A. Papadogiannis, B. Witzel, C. Kalpouzos & D. Charalambidis, «Observation of attosecond light localization in higher order harmonic generation», *Physical Review Letters* 83 (1999), σ. 4289.

³⁰ R. Kumar, M. Kumar, J.S. Chohan & S. Kumar, «Overview on metamaterial: History, types and applications», *Materials Today: Proceedings* 56 (2022), σ. 3016-3024, <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.423>>.

Στο ΙΗΔΛ διεξάγεται σημαντική έρευνα στην περιοχή των μεταλλικών, η οποία ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του 1990 περίπου, με κύριους ερευνητές τους καθηγητές Σούκουλη και Οικονόμου. Ο Κώστας Σούκουλης (1951-2024) ήταν Καθηγητής στο University of Iowa των ΗΠΑ και συνεργαζόμενος ερευνητής του ΙΗΔΛ από το 1984. Σπούδασε Φυσική στο Πανεπιστήμιο Αθηνών και έλαβε το διδακτορικό του από το University of Chicago το 1978. Στη συνέχεια εργάστηκε ως Επισκέπτης Καθηγητής στο Τμήμα Φυσικής του University of Virginia και αργότερα ως ερευνητής στην Exxon Research and Engineering, ενώ από το 1984 υπηρέτησε ως Καθηγητής στο University of Iowa και Ερευνητής στο Ames Laboratory. Στο University of Virginia ξεκίνησε και η πολύχρονη επιστημονική του συνεργασία με τον Λευτέρη Οικονόμου, ο οποίος βρισκόταν εκεί ως Καθηγητής την ίδια περίοδο. Λίγο καιρό αργότερα εργάστηκαν και οι δύο για την Exxon, με τις προσπάθειές τους να επικεντρώνονται στη θεωρία των άμορφων ημιαγωγών με έμφαση στις οπτικές ιδιότητες και τις διαδράσεις ηλεκτρονίων-φωτονίων.³¹

Η Ομάδα Φωτονικών, Φωνονικών και Μεταλλικών διεξήγαγε πρωτοπόρα θεωρητική και πειραματική έρευνα στον τομέα των μεταλλικών, με πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα τους φωτονικούς κρυστάλλους και τα αριστερόστροφα υλικά ως τεχνητά σύνθετα υλικά, ενώ παρήγαγε σημαντικότερες δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά υψηλού κύρους, με αρκετές από αυτές να θεωρούνται θεμελιώδεις στην εξέλιξη του νεοσύστατου τομέα των μεταλλικών. Επιστημονικές δημοσιεύσεις των βασικών ερευνητών της ομάδας εισήγαγαν νέα πεδία μελέτης, όπως για παράδειγμα, η εργασία των Οικονόμου και Σιγάλα στον τομέα των φωνονικών κρυστάλλων και της διάδοσης ακουστικών κυμάτων σε πολύπλοκα συστήματα.³²

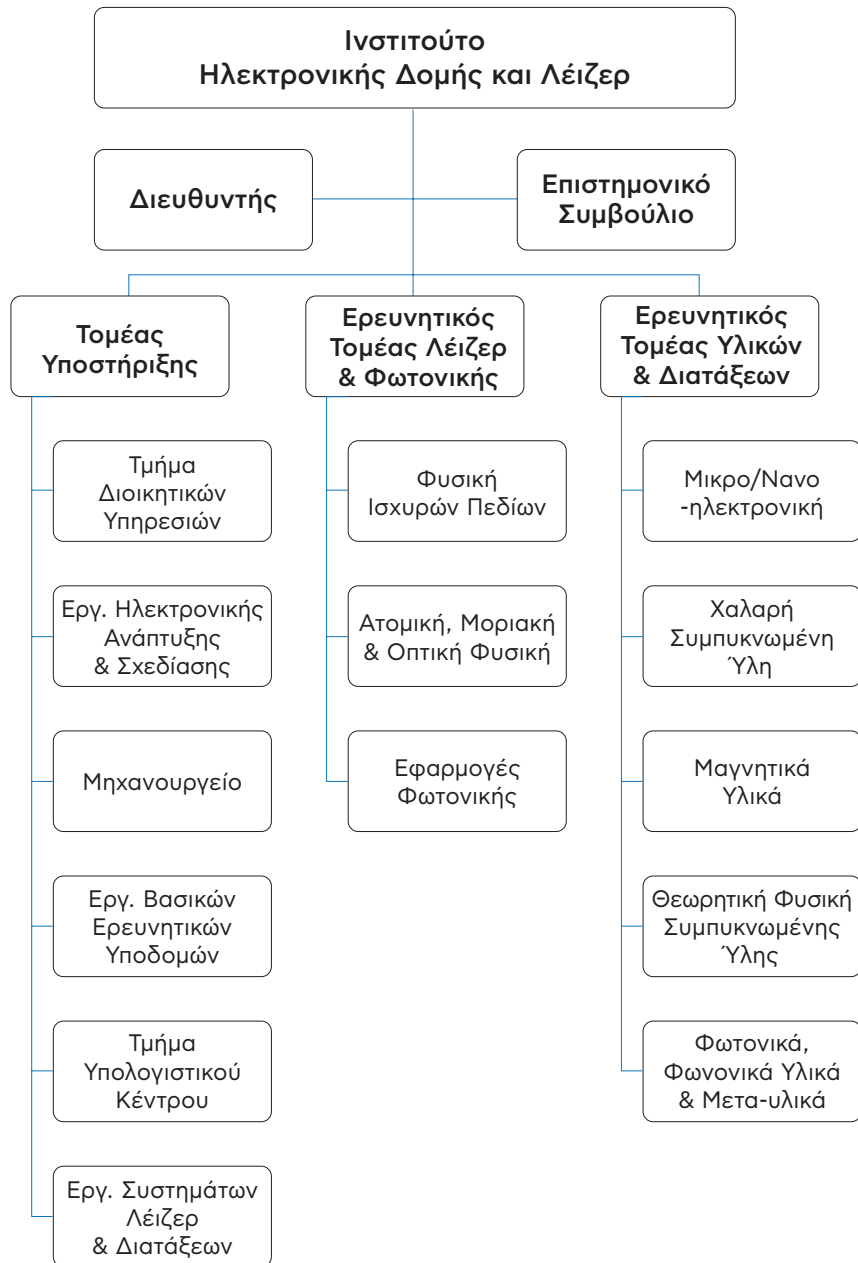
Η σημαντική θέση της ομάδας μεταλλικών του ΙΗΔΛ στη διεθνή κοινότητα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία συνεργασιών με ιδρύματα του εξωτερικού που παρήγαγαν σημαντικά αποτελέσματα. Η επιτυχής συνεργασία σε μεταλλικά αρνητικού δείκτη διάθλασης που είχε επικεφαλής τους Σούκουλη και Οικονόμου και συμμετέχοντες επιστήμονες από το Imperial College (Sir John Pendry), το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Karlsruhe (Martin Wegener) και το Πανεπιστήμιο Bilkent της Τουρκίας (Ekmel Özbay), αναγνωρίστηκε διεθνώς με την απονομή του Βραβείου Descartes της Ευρωπαϊκής Ένωσης για συνεργατική έρευνα το 2005 για το ερευνητικό έργο EXEL (Extending Electromagnetism through Novel Artificial Materials). Το Βραβείο Descartes ήταν ένα από τα σημαντικότερα βραβεία που δινόταν για την επιστημονική έρευνα στην Ευρώπη.

6. Το ΙΗΔΛ μεγαλώνει

Κατά τις δύο πρώτες περιόδους λειτουργίας του ΙΗΔΛ οργανώθηκαν οι τομείς, οι ερευνητικές ομάδες και τα εργαστήρια του Ινστιτούτου, ενώ τέθηκαν οι βάσεις για

31 M.H. Cohen, «E.N. Economou and the metal-to-insulator transition», *Physica B: Condensed Matter* 296/1-3 (2001), σ. 7-20, <doi:10.1016/s0921-4526(00)00772-9>.

32 M. Sigalas & E.N. Economou, «Elastic and Acoustic Wave Band Structure», *Journal of Sound and Vibration*, 158(1992), σ. 377-382, <http://dx.doi.org/10.1016/0022-460X(92)90059-7>.



ΕΙΚΟΝΑ 1.14 Το Οργανόγραμμα του ΙΗΔΛ κατά την τρίτη περίοδο λειτουργίας του Ινστιτούτου.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ- ΙΤΕ

την παραγωγή έρευνας υψηλού επιπέδου. Στην τρίτη περίοδο λειτουργίας του ΙΗΔΛ, ορίζοντας την από τα μέσα της δεκαετίας του 2000, το ΙΗΔΛ αναπτύσσεται προσελκύοντας περισσότερους ερευνητές, διεκδικώντας μεγαλύτερες χρηματοδοτήσεις και αποκτώντας σημαντικότερες υποδομές. Η εξωστρέφεια ήταν πάντα χαρακτηριστικό γνώρισμα του ΙΗΔΛ, και αυτή την περίοδο γίνεται ακόμα πιο έντονη καθώς το ΙΗΔΛ εδραιώνει τη συμμετοχή του σε διεθνείς επιστημονικές υποδομές και αποκτά εξέχουσα θέση στη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Σε αυτό το πλαίσιο της εξωστρέφειας εντάσσεται και η ανάπτυξη επιχειρηματικής δραστηριότητας

ερευνητών του ΙΗΔΛ, με την ίδρυση και συμμετοχή σε εταιρείες που αξιοποιούν την ερευνητική παραγωγή του Ινστιτούτου.

Στο χρονικό διάστημα που εστιάζει η συγκεκριμένη ενότητα δημιουργήθηκαν αρκετά νέα εργαστήρια, ενώ τα ήδη υπάρχοντα εμπλούτισαν την έρευνά τους διευρύνοντας τον ορίζοντα των ενδιαφερόντων τους. Το ανθρώπινο δυναμικό του ΙΗΔΛ συνέχισε την αυξητική του πορεία: το 1989 οι εργαζόμενοι στο ΙΗΔΛ ήταν 63, το 1999 ήταν 142, ενώ είκοσι χρόνια μετά, το 2019, οι εργαζόμενοι στο ΙΗΔΛ ήταν πια 337, με τους ερευνητές (μόνιμους ή μη, χωρίς τους φοιτητές) να είναι 114.³³ Το ΙΗΔΛ συνέχισε να δραστηριοποιείται στις ερευνητικές περιοχές της Αλληλεπίδρασης Λέιζερ-Υλης και Φωτονικής, Υλικών και Διατάξεων, αλλά και Αστροφυσικής (έως το 2019) (Εικ. 1.14).

Η έρευνα που διεξάγεται στο ΙΗΔΛ από τα μέσα της δεκαετίας του 2000 είναι πολύπλευρη και προς πολλές κατευθύνσεις, γεγονός που διευκολύνεται και ενισχύεται από τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας του Ινστιτούτου. Όταν ένας ερευνητής εισέρχεται στο ΙΗΔΛ εντάσσεται μεν σε κάποια ομάδα, αλλά απολαμβάνει πλήρους ερευνητικής ανεξαρτησίας. Ο κάθε ερευνητής έχει την ελευθερία να αναπτύξει τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα και την υποχρέωση να προσπαθήσει να εξασφαλίσει τη χρηματοδότηση για την έρευνά του με όποιον τρόπο θεωρεί πρόσφορο, αρκεί να μην έρχεται σε αντίθεση με τους κανόνες δεοντολογίας.

Στο ΙΗΔΛ διεξάγεται βασική έρευνα υψηλού επιπέδου για την οποία έχει εξασφαλιστεί χρηματοδότηση μέσα από πολύ ανταγωνιστικές εθνικές και διεθνείς προκηρύξεις, καθώς και εφαρμοσμένη έρευνα, για την οποία επίσης υπάρχει χρηματοδότηση από φορείς χρηματοδότησης της έρευνας, αλλά υπάρχει σύνδεση και με επιχειρήσεις. Όπως είδαμε, από την αρχή της λειτουργίας του ΙΗΔΛ υπήρχε η αντίληψη της συνεργασίας με άλλους κλάδους και επιστημονικές περιοχές, όπως η Βιολογία, η Χημεία κ.ά., και το στοιχείο αυτό της διεπιστημονικότητας είναι ακόμα πιο έντονο τα τελευταία χρόνια.

6.1 Τομέας Αλληλεπιδράσεων Λέιζερ-Υλης και Φωτονικής

Ο τομέας Αλληλεπιδράσεων Λέιζερ-Υλης και Φωτονικής (Laser Interactions and Photonics Division) είναι η μετεξέλιξη του Τομέα Λέιζερ και Εφαρμογών. Στο τέλος της περιόδου που μελετάμε εδώ, έχει φτάσει να αριθμεί 15 εργαστήρια σε τρεις ερευνητικές περιοχές: τη Φυσική Ισχυρών Πεδίων, την Ατομική, Μοριακή και Οπτική Φυσική, και τις Εφαρμογές Φωτονικής Επιστήμης.

Μια συσκευή λέιζερ, όπως και μια πειραματική διάταξη που έχει ως βάση μια συσκευή παραγωγής παλμών φωτός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολύ πρακτικούς σκοπούς (όπως να ακούσει κάποιος μουσική μέσω ενός CD), ή ως ένα ερέθισμα που μπορεί να διεγείρει την ύλη, καθιστώντας δυνατή τη μελέτη της στη μικρότερη κλίμακα. Η έρευνα που διεξάγεται στο ΙΗΔΛ καλύπτει τόσο τη χρήση λέιζερ για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων όσο και την έρευνα για την κατανόηση της φύσης σε θεμελιώδες επίπεδο. Πολύ συχνά βέβαια τα όρια ανάμεσα στη βασική και την εφαρμοσμένη έρευνα είναι δυσδιάκριτα ακόμα και εντός του

³³ IESL Report, Evaluation Period 2018-2021.

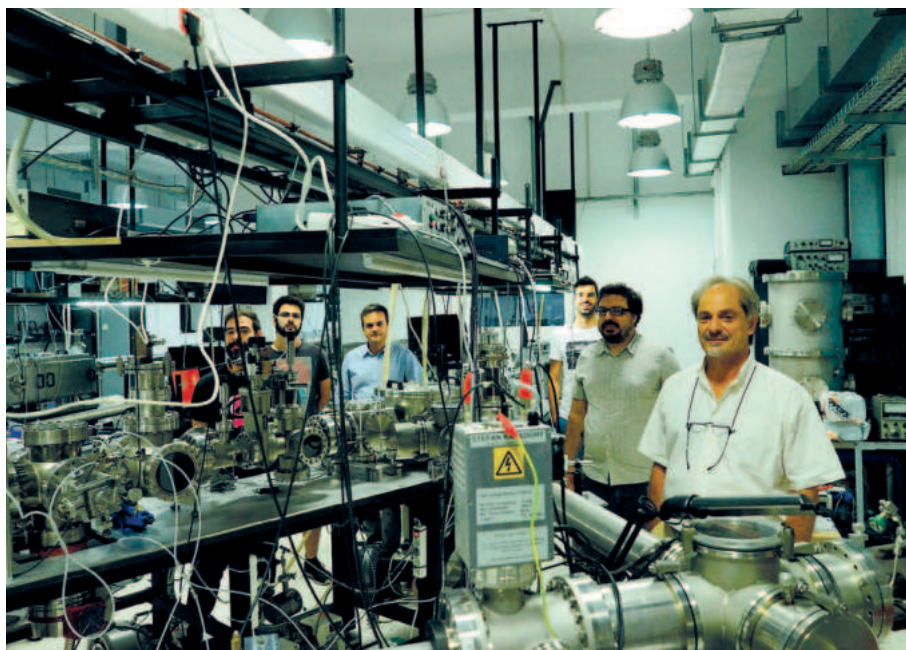
ίδιου εργαστηρίου, καθώς θα δούμε ότι εργαστήρια που παράγουν κυρίως βασική έρευνα παράλληλα αναπτύσσουν εφαρμογές της έρευνάς τους και, αντίστροφα, εργαστήρια που εστιάζουν στην παραγωγή εφαρμοσμένης έρευνας έχουν σημαντική συνεισφορά στην απάντηση θεμελιωδών ερωτημάτων που απασχολούν τον κλάδο τους.

6.1.1 Βασική έρευνα

Έχουμε αναφερθεί στην έρευνα στην περιοχή των αττοδευτερολέπτων και τα σημαντικά επιτεύγματα που είχε η ομάδα με επικεφαλής τον Δημήτρη Χαραλαμπίδη στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Το Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Αττοδευτερολέπτων³⁴ (Attosecond Science and Technology Laboratory) συνέχισε και στην τρίτη περίοδο του ΙΗΔΛ να παράγει σημαντικές δημοσιεύσεις και ερευνητικά αποτελέσματα, καθώς η επιστήμη αττοδευτερολέπτων παρέμεινε κατά τις δύο πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα μια από τις πιο προχωρημένες ερευνητικές περιοχές στη Φυσική. Δεν είναι τυχαίο ότι το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής για το έτος 2023 απονεμήθηκε στους Pierre Agostini (Ohio University, ΗΠΑ), Ferenc Krausz (Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Γερμανία) και Anne L’Huillier (Lund University, Σουηδία), για τη δουλειά τους σε «πειραματικές μεθόδους που παράγουν παλμούς φωτός αττοδευτερολέπτων για τη μελέτη της δυναμικής των ηλεκτρονίων στην ύλη».³⁵ Ορισμένα από τα πειράματα που συνέβαλαν με τα αποτελέσματά τους στην απονομή του Βραβείου Νόμπελ σε επιστήμονες από την περιοχή της φυσικής των αττοδευτερολέπτων διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Αττοδευτερολέπτων, καθώς το ΙΗΔΛ παρέμεινε ένα από τα σημαντικότερα εργαστήρια διεξαγωγής της σχετικής έρευνας διεθνώς. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι το εργαστήριο έχει τη δυνατότητα να παράγει την πιο ισχυρή δέσμη παλμών αττοδευτερολέπτων, δηλαδή αυτή με τον μεγαλύτερο αριθμό φωτονίων, από όλα τα εργαστήρια διεθνώς. Τα τελευταία χρόνια το εργαστήριο ακολούθησε και μια άλλη κατεύθυνση με σκοπό τη σύνδεση της κβαντικής οπτικής με την επιστήμη των αττοδευτερολέπτων. Η συγκεκριμένη έρευνα επικεντρώνεται στη δημιουργία, τον χαρακτηρισμό και τις εφαρμογές υπεριώδους ακτινοβολίας πολύ υψηλής ενέργειας (extreme ultraviolet, XUV) που εκπέμπεται με τη μορφή παλμών αττοδευτερολέπτων και στοχεύει στην ανάπτυξη, αναβάθμιση και λειτουργία μιας επιτραπέζιας εγκατάστασης λέιζερ αττοδευτερολέπτων τελευταίας τεχνολογίας, αφιερωμένης στη διερεύνηση της υπερταχείας δυναμικής σε όλες τις καταστάσεις της ύλης. Μετά τη συνταξιοδότηση του καθηγητή Χαραλαμπίδη, υπεύθυνος του εργαστηρίου ανέλαβε ο Παρασκευάς Τζάλλας, ερευνητής του ΙΗΔΛ. Ο Τζάλλας εργάστηκε την περίοδο 2002-2004 ως μεταδιδακτορικός ερευνητής στο Max-Planck-Institut für Quantenoptik και από το 2004 βρίσκεται στο ΙΗΔΛ ως Ερευνητής. Η ομάδα έχει λάβει σημαντικές χρηματοδοτήσεις από εθνικά και ευρωπαϊκά

³⁴ <<https://www.iesl.forth.gr/research/attosecond-science>>. Μελετήθηκε η επίσημη διαδικτυακή ιστοσελίδα του Ινστιτούτου, και παλαιότερες μορφές της με τη βοήθεια της λειτουργίας wayback machine. Η ιστοσελίδα του ΙΗΔΛ ξεκίνησε τη λειτουργία της το 1998 οπότε και έχουμε το πρώτο αντίγραφο της κεντρικής ιστοσελίδας. Το ίδιο ισχύει και για όλα τα υπόλοιπα εργαστήρια.

³⁵ <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics>>.



ΕΙΚΟΝΑ 1.15 Ο Δημήτρης Χαραλαμπίδης και ερευνητικό προσωπικό στο νέο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Αττοδευτερολέπτων.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

έργα. Ξεχωρίζει η χρηματοδότηση ύψους 3.447.000 ευρώ από το επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα» για την ανάπτυξη της ερευνητικής εγκατάστασης μοναδικών προδιαγραφών Επιστήμης & Τεχνολογίας Αττοδευτερολέπτων. Στόχος, ο οποίος πράγματι επετεύχθη, ήταν να λειτουργήσει η εγκατάσταση αυτή ως περιφερειακή συνεργαζόμενη εγκατάσταση της ευρωπαϊκής ερευνητικής υποδομής Extreme Light Infrastructure (ELI) (Εικ. 1.15).

Η Ομάδα Υπερβραχέων μη γραμμικών διαδράσεων και πηγών³⁶ (Ultrashort non-linear interactions and sources, UNIS) διεξάγει μελέτες στον τομέα της ισχυρής αλληλεπίδρασης υπερβραχέων παλμών λέιζερ με την ύλη, και ασχολείται τόσο με θεμελιώδεις επιστημονικές πτυχές όσο και με τεχνολογικές εφαρμογές. Οι τεχνικές εγκαταστάσεις του εργαστηρίου επιτρέπουν μελέτες διεπιστημονικού χαρακτήρα στα όρια της φυσικής, της χημείας, της επιστήμης των υλικών και της βιοϊατρικής. Το εργαστήριο έχει εστιάσει στη μελέτη νέων πηγών ισχυρής ακτινοβολίας σε περιοχές υψηλών συχνοτήτων (Terahertz radiation), η οποία μπορεί να διαπεράσει με ευκολία διάφορα υλικά χωρίς να είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον έλεγχο ασφάλειας των αεροδρομίων, τη διαπίστωση ποιότητας τροφίμων και προϊόντων αλλά και τη μελέτη έργων πολιτιστικής κληρονομιάς. Επίσης, το εργαστήριο έχει ειδικευτεί στη μελέτη και χρήση των φωτονικών πλεγμάτων (photonic lattices) για μια σειρά από εφαρμογές, όπως τον έλεγχο της μη γραμμικής διάδοσης του φωτός, τη μελέτη της πολυπλοκότητας της φυσικής και των κβαντικών πληροφοριών. Στο πλαίσιο της τελευταίας κατεύθυνσης έχει αναπτυχθεί συνεργασία με την ομάδα μεταλλικών του ΙΗΔΛ. Η δυνατότητα ανάπτυξης συνεργειών μεταξύ διαφορετικών εργαστηρίων του ΙΗΔΛ είναι ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του Ινστιτούτου. Το εργαστήριο UNIS ιδρύθηκε

³⁶ <<https://www.iesl.forth.gr/research/ultrashort-non-linear>>.

το 2006 από τον Στέλιο Τζωρτζάκη, κάτοχο από το 2001 διδακτορικού διπλώματος στη μη γραμμική οπτική από την École Polytechnique στο Παρίσι, ο οποίος το 2006 έλαβε το European Union Marie Curie Excellence Grant, χρηματοδότηση με την οποία ίδρυσε το εργαστήριο UNIS.

Η αλληλεπίδραση φωτός και ύλης είναι από τις σημαντικότερες ερευνητικές περιοχές στη φυσική, τόσο για την κατανόηση της φύσης όσο και για τη ανάπτυξη τεχνολογικών εφαρμογών. Δεν είναι παράδοξο λοιπόν ότι υπάρχουν αρκετά εργαστήρια στο ΙΗΔΛ που εστιάζουν στη μελέτη της αλληλεπίδρασης υπερβραχέων παλμών φωτός, όπως αυτά που αναφέραμε προηγουμένως, αλλά και το Εργαστήριο Διαγνωστικών Μεθοδολογιών και Οργανολογίας (Diagnostic Methodologies and Instrumentation) που μελετά τις υπερταχείες και μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις του φωτός με νανοδομημένα υλικά, ενώ χρησιμοποιεί αναλυτική φασματοσκοπία και εξειδικευμένα όργανα για την ανάλυση υγρών και στερεών.³⁷

Μια ιδιότητα του φωτός με μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον είναι η πόλωση του. Ένα εργαστήριο του ΙΗΔΛ που έχει αναπτύξει σημαντική δραστηριότητα σε αυτή την κατεύθυνση είναι αυτό της Φασματοσκοπίας Πόλωσης³⁸ (Polarisation Spectroscopy) που έχει ως αντικείμενο, από τη μία, την ανάπτυξη πολωσιμέτρων χρησιμοποιώντας κοιλότητες για την υπερευαίσθητη μέτρηση της πόλωσης και, από την άλλη, την παραγωγή υψηλής πυκνότητας και υψηλού ρυθμού παραγωγής ισότοπων υδρογόνου πολωμένου κατά σπιν. Το εργαστήριο στα χρόνια της λειτουργίας του έχει αποκτήσει εξειδίκευση στην ανάπτυξη πολωσιμετρίας ενισχυμένης κοιλότητας και στην ανάπτυξη της ελλειψομετρίας (τεχνική οπτικής μέτρησης που βασίζεται στην ανάλυση της αλλαγής στην κατάσταση πόλωσης όταν μια δέσμη πολωμένου φωτός ανακλάται από μια επιφάνεια) ενισχυμένης κοιλότητας. Η ομάδα έχει παραγάγει επιστημονικές δημοσιεύσεις σε ορισμένα από τα σημαντικότερα επιστημονικά περιοδικά,³⁹ ενώ έχει προχωρήσει και στην έκδοση ευρεσιτεχνιών σχετικών με την τεχνική της ελλειψομετρίας Cavity Ring-Down που αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τα μέλη της, το 2009.⁴⁰ Επικεφαλής της ομάδας είναι ο Πέτρος Ρακιτζής, Καθηγητής Ατομικής, Μοριακής και Οπτικής Φυσικής στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης και συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ, ο οποίος το 2008 εξασφάλισε για την έρευνά του το ιδιαίτερα ανταγωνιστικό ERC Starting Grant με τίτλο «Time-resolved Ring-Cavity-Enhanced Polarization Spectroscopy» (TRICEPS) από το European Research Council. Αργότερα εξασφάλισε και δύο ERC Proof of Concept Grants για τη διερεύνηση του δυναμικού καινοτομίας της βασικής έρευνας.

Η κβαντική οπτική είναι μια ερευνητική περιοχή στην οποία το ΙΗΔΛ είχε πάντα σημαντική δραστηριότητα, καθώς η συγκεκριμένη περιοχή ανήκει στα

37 <<https://www.iesl.forth.gr/en/research/diagnostic-methodologies>>.

38 <<https://www.iesl.forth.gr/research/polarization-spectroscopy>>.

39 Ενδεικτικά: T.P. Rakitzis, P.C. Samartzis, R.L. Toomes, T.N. Kitsopoulos, Alex Brown, G.G. Balint-Kurti, O.S. Vasyutinskii & J.A. Beswick, «Spin-Polarized Hydrogen Atoms from Molecular Photodissociation», *Science* 300 (2003), σ. 1936, <DOI:doi.org/10.1126/science.1084809>. D. Sofikitis, L. Bougas, G. Katsoprinakis, A.K. Spiliotis, B. Loppinet & T.P. Rakitzis, «Evanescence-wave and ambient chiral sensing by signal-reversing cavity ringdown polarimetry», *Nature* 514 (2014), σ. 76, <DOI:http://dx.doi.org/10.1038/nature13680>.

40 P. Rakitzis, *Cavity enhanced polarimeter and related methods*, Patent No: US9702812B2.

επιστημονικά ενδιαφέροντα ενός εκ των ιδρυτών του Ινστιτούτου, του Παναγιώτη Λαμπρόπουλου. Η Ομάδα Θεωρητικής Κβαντικής Οπτικής και Τεχνολογίας⁴¹ (Theoretical Quantum Optics and Technology) ξεκίνησε τη λειτουργία της στις αρχές της δεκαετίας του 2010, έχοντας αρχικά την ονομασία Εργαστήριο Κβαντικής Οπτικής και Επεξεργασίας Κβαντικής Πληροφορίας, ως μετεξέλιξη της Ομάδας Ατομικής, Μοριακής και Οπτικής Φυσικής, που είχε επικεφαλής τον Λαμπρόπουλο. Τα τελευταία χρόνια η έρευνα της ομάδας εστιάζει στη μελέτη φαινομένων αλληλεπιδράσεως φωτός και ύλης, όπου οι κβαντικές ιδιότητες παίζουν σημαντικό ρόλο. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, η κβαντική οπτική έχει συνδεθεί με την ανάπτυξη υπολογιστικών τεχνολογιών, καθώς επίσης και της κρυπτογραφίας. Πρόκειται για τεχνολογίες που, πέρα από τη φυσική, εμπλέκουν την επιστήμη των υπολογιστών και σχετίζονται με ζητήματα επεξεργασίας της πληροφορίας στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες ερευνητικές δραστηριότητες δεν αφορούν μόνο εφαρμοσμένη έρευνα (δημιουργία νέων συσκευών, κ.λπ.) αλλά και την εξερεύνηση και απάντηση ερωτημάτων βασικής έρευνας.

Η έρευνα που διεξάγεται στον Τομέα Αλληλεπιδράσεων Λείζερ-Ύλης και Φωτονικής δεν εξαντλείται στην αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη. Υπάρχουν και άλλες ερευνητικές περιοχές στις οποίες παράγονται σημαντικά αποτελέσματα, όπως η μελέτη του συμπυκνώματος Bose-Einstein. Το συμπύκνωμα Bose-Einstein είναι μια ιδιαίτερη κατάσταση της ύλης που δημιουργείται όταν μποζόνια (στοιχειώδη σωματίδια με ακέραιο σπιν) ψύχονται σε θερμοκρασία κοντά στο απόλυτο μηδέν (-273°C), τη μικρότερη θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί. Σε αυτή την περίπτωση, τα μποζόνια δεν συμπεριφέρονται ως μεμονωμένα σωματίδια, αλλά περισσότερο ως ένα μεγάλο άτομο. Η μελέτη του συμπυκνώματος Bose-Einstein έχει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον, αλλά μπορεί να βρει και σημαντικές εφαρμογές. Στο ΙΗΔΛ δραστηριοποιείται σχετική ερευνητική ομάδα⁴² με στόχο να μελετήσει την (απο)συμφωνία ((de)coherence), τη μετάβαση δηλαδή ενός συστήματος από κβαντική σε κλασική συμπεριφορά σε ολοένα και πιο πολύπλοκα κβαντικά συστήματα. Η μελέτη της (απο)συμφωνίας είναι σημαντική, ειδικά σε εφαρμογές που βασίζονται στην κβαντική λειτουργία ενός συστήματος, όπως είναι για παράδειγμα οι κβαντικοί υπολογιστές. Για τους σκοπούς της έρευνας το εργαστήριο έχει διεξάγει τρία βασικά πειράματα. Το BEC 1, το οποίο σχετίζεται με συμβολομετρία ύλης-κύματος (matter wave), όπου τα κύματα ύλης παράγονται από συμπυκνώματα Bose Einstein. Το BEC 2, το οποίο εξετάζει τα συμπυκνώματα Bose-Einstein σε υψηλότερους αριθμούς ατόμων, και το πείραμα BEC στο Διάστημα, όπου το εργαστήριο συντονίζει την ελληνική συνεισφορά στην πανευρωπαϊκή προσπάθεια STE-QUEST για αποστολή BEC στο διάστημα. Η ερευνητική ομάδα ξεκίνησε τη δραστηριότητά της το 2006, όταν έλαβε χρηματοδότηση από το European Union Marie Curie Excellence Grant, ενώ το 2009 το εργαστήριο δημιούργησε το πρώτο συμπύκνωμα Bose-Einstein στη Νοτιοανατολική Ευρώπη και το 2013 κατασκεύασε το λαμπρότερο λέιζερ ατόμων. Η εμπλοκή της ομάδας BEC με τις αποστολές στο

41 <<https://www.iesl.forth.gr/research/theoretical-quantum-optics>>.

42 <<https://www.iesl.forth.gr/research/bec>>.

Διάστημα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας ακόμα σχετικής ομάδας, η οποία ιδρύθηκε μόλις το 2020, της ομάδας Οπτικής του Διαστήματος.⁴³

6.1.2 Έρευνα στις εφαρμογές των Λείζερ

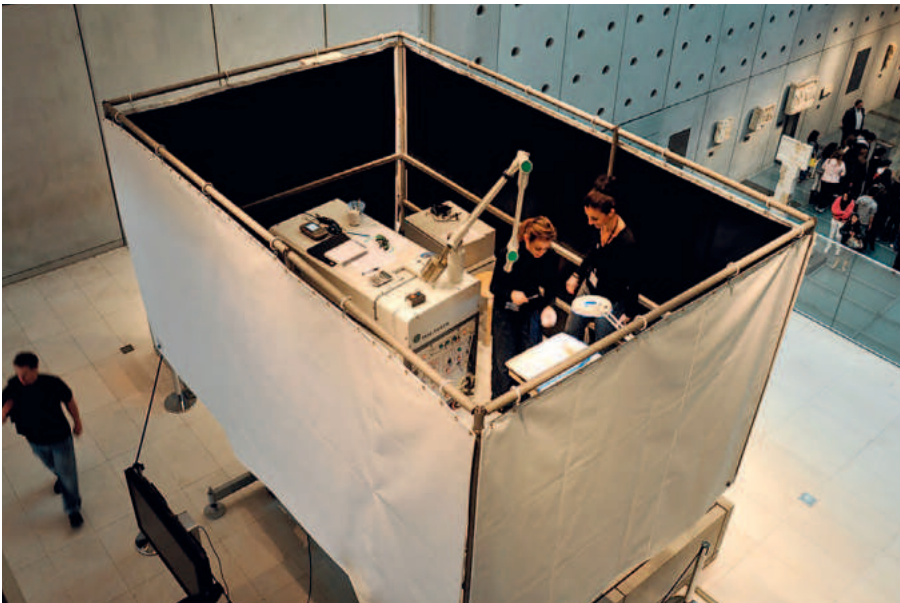
Τα εργαστήρια που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη υποενότητα μπορεί να προσανατολίζονται σε βασική έρευνα αλλά σε πολλές περιπτώσεις δουλεύουν και για την εφαρμογή της έρευνάς τους στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων. Πιο προσανατολισμένη προς την εφαρμοσμένη έρευνα είναι η δραστηριότητα που αναφέρεται ως Εφαρμογές Φωτονικής Επιστήμης. Τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξάγεται από τα εργαστήρια που ανήκουν σε αυτόν τον υποτομέα έχουν συμβάλει τόσο στη δημοσίευση ευρεσιτεχνιών όσο και στη δημιουργία εταιρειών τεχνολογικών, πέραν της σημαντικής τους συμβολής και σε έρευνα που θα χαρακτηριζόταν ως βασική. Καθώς τα προβλήματα που απαιτούν λύση γίνονται όλο και περισσότερο πολύπλοκα, συχνά απαιτείται διεπιστημονική προσέγγιση για την επίλυσή τους. Γι' αυτό τον λόγο αρκετά από τα συγκεκριμένα εργαστήρια συνεργάζονται με μηχανικούς και επιστήμονες από άλλες περιοχές, κυρίως βιολόγους και ιατρούς.

Η Ομάδα Εφαρμογών Φωτονικής στην Πολιτιστική Κληρονομιά⁴⁴ (Photonics for Heritage Science) είναι μία από τις παλαιότερες ομάδες του ΙΗΔΛ, και έχουμε αναφερθεί ήδη εκτενώς στην έρευνα και τα επιτεύγματά της. Η αναγνώριση της διεθνούς κοινότητας στο έργο του ΙΗΔΛ είχε ως αποτέλεσμα τη βράβευση της συνεργασίας του Ινστιτούτου με το Μουσείο της Ακρόπολης με το Βραβείο Keck, το 2012.⁴⁵ Το Βραβείο Keck απονέμεται κάθε δύο χρόνια από το International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works σε άτομα ή ομάδες για το έργο τους στη συντήρηση αρχαιοτήτων ή έργων τέχνης. Στο ΙΗΔΛ απονεμήθηκε η συγκεκριμένη διάκριση για την αποκατάσταση των Καρυάτιδων, καθώς και για το γεγονός ότι δόθηκε στους επισκέπτες η δυνατότητα να παρακολουθήσουν από κοντά διαδικασίες συντήρησης μνημείων, οι οποίες μέχρι τότε γίνονταν μόνο στο εσωτερικό ενός εργαστηρίου (Εικ. 1.16). Η ομάδα συνέχισε να δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων για ανάλυση, διάγνωση και συντήρηση έργων τέχνης και μνημείων, αναπτύσσοντας συνεργασίες εντός της Ελλάδας αλλά και στο εξωτερικό. Μία από τις σημαντικότερες διεθνείς συνεργασίες είναι αυτή με το Μουσείο του Ανακτόρου (Palace Museum) της Απαγορευμένης Πόλης του Πεκίνου για την ίδρυση το 2016 του Κοινού Ελληνο-κινεζικού Εργαστηρίου Τεχνολογιών Λείζερ για την Πολιτιστική Κληρονομιά, με το όνομα «NIKH», το οποίο στη συνέχεια χρηματοδοτήθηκε στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας «China-Greece Belt and Road Joint Laboratory on Cultural Heritage Conservation Technology» (2020-2023) (Εικ. 1.17). Ο σκοπός της συνεργασίας είναι η ανταλλαγή τεχνογνωσίας και εμπειριών για την ανάπτυξη μεθοδολογιών ανάλυσης και καθαρισμού κινεζικών έργων τέχνης. Από το 2012 η ομάδα έχει αναπτύξει μία ακόμα

43 <<https://www.iesl.forth.gr/en/research/space-optics>>.

44 <<https://www.iesl.forth.gr/en/research/photonics-heritage-science>>.

45 <<https://www.iiconservation.org/keck-awards>>.



ΕΙΚΟΝΑ 1.16 (Επάνω) Καθαρισμός μίας εκ των Καρυάτιδων από τις επικαθίσεις ατμοσφαιρικών ρύπων με τη χρήση λέιζερ. Για τις ανάγκες του έργου αναπτύχθηκε εντός του ΙΗΔΛ ένα πρωτότυπο σύστημα λέιζερ ικανού να λειτουργεί παράλληλα σε δύο διαφορετικά μήκη κύματος. (Κάτω) Η πλατφόρμα εργασίας με τον εξοπλισμό λέιζερ του ΙΗΔΛ στον εξώστη του Μουσείου της Ακρόπολης. Οι επισκέπτες παρατηρούσαν τη διαδικασία συντήρησης των Καρυάτιδων μέσα από οθόνη.

Πηγή: © Μουσείο της Ακρόπολης, Φωτογραφία: Γ. Βιτσαρόπουλος



ΕΙΚΟΝΑ 1.17 Επιγραφή του Κοινού Ελληνο-κινεζικού Εργαστηρίου Τεχνολογιών Λείζερ για την Πολιτιστική Κληρονομιά, με το όνομα «ΝΙΚΗ», που βρίσκεται στα εργαστήρια συντήρησης του Μουσείου του Ανακτόρου (Palace Museum) της Απαγορευμένης Πόλης του Πεκίνου. Κάτω, η εκ των πρωτεργατών της πρωτοβουλίας, Δρ Παρασκευή Πουλή, κατά την επίσκεψή της στο Εργαστήριο «ΝΙΚΗ».

Πηγή: ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

σημαντική δραστηριότητα: τη διοργάνωση εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων στις οποίες προσκαλούνται συντηρητές, αρχαιολόγοι κ.ά., με σκοπό να εξοικειωθούν με τις τελευταίες εξελίξεις στις μη επεμβατικές οπτικές τεχνολογίες για τη συντήρηση και αποκατάσταση αντικειμένων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς (Εικ. 1.18). Διαλέξεις από ειδικούς σε σύγχρονες διαγνωστικές και αναλυτικές τεχνικές λείζερ και μεθοδολογίες καθαρισμού με λείζερ συνδυάζονται με πρακτικές επιδείξεις και εργαστηριακές συνεδρίες. Επίσης, διοργανώνονται πειράματα πεδίου επί τόπου σε ένα επιλεγμένο μνημείο της Κρήτης κάθε φορά, προκειμένου να καταδειχθεί η δυνατότητα εφαρμογής των τεχνικών στην πράξη. Η Ομάδα συντονίζεται από τον Δημήτρη Άγγλο και την Παρασκευή Πουλή.

Οι υπερβραχείς παλμοί φωτός είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη της ύλης και έχουν χρησιμοποιηθεί γι' αυτό τον σκοπό από διαφορετικά εργαστήρια του ΙΗΔΛ. Στο Εργαστήριο Μικρο- και Νανο-επεξεργασίας Λείζερ Υπερβραχέων Παλμών⁴⁶ (Ultrafast Laser Micro and Nano Processing Laboratory, ULMNP)

⁴⁶ <<https://www.iesl.forth.gr/en/research/ULNMP-Group>>.



(Εικ. 1.19) έχουν μελετηθεί πιθανές εφαρμογές των υπερβραχέων παλμών για διάφορους σκοπούς. Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην ανάπτυξη υπερβραχέων παλμών λέιζερ για ελεγχόμενη βιομιμητική δόμηση σε μικρο- και νανο-κλίμακα διαφόρων υλικών. Ο όρος *βιομιμητική* χρησιμοποιήθηκε αρχικά από την Janine Benyus, το 1997, για να περιγράψει τις προσπάθειες των επιστημόνων να μιμηθούν ιδιότητες υλικών που υπάρχουν στη φύση με σκοπό την επίλυση προβλημάτων που εμφανίζονται στις σύγχρονες κοινωνίες. Οι βιομιμητικές επιφάνειες που έχουν αναπτυχθεί στο εργαστήριο ULMNP παρουσιάζουν ελεγχόμενη μορφολογία που μιμείται αυτή φυσικών επιφανειών με συναρπαστικές ιδιότητες όπως το φύλλο νούφαρου, το δέρμα του καρχαρία ή τα φτερά ορισμένων ειδών πεταλούδας και του τζιτζικιού, τα οποία διαθέτουν νανοδομές με αντιανακλαστικές ιδιότητες (Εικ. 1.20). Η βιομιμητική μορφολογία που επιτυγχάνεται δημιουργεί αξιολογικές ιδιότητες, όπως υδατοαπωθητικότητα, αυτοκαθαρισμό, αντιβακτηριδιακή, αντικολλητική, αντιθαμβωτική, αντιανακλαστική δράση καθώς και συνδυασμό αυτών. Επί πλέον, οι μικρο/νανο-δομές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως τριδιάστατα ικρίσματα για την καλλιέργεια κυττάρων —π.χ., νευρικών— και την ανάπτυξη ιστού. Το ULMNP έχει αποκτήσει σημαντική χρηματοδότηση μέσω ενός πολύ μεγάλου αριθμού έργων που έχει προσελκύσει. Αναφέρουμε ενδεικτικά το NEUROSTIMSPINAL (A Step Forward to Spinal Cord Injury Repair Using Innovative

ΕΙΚΟΝΑ 1.18 Επίδειξη τεχνικών συντήρησης στον Ναό του Ευαγγελισμού της Θεοτόκου στο Φόδελε, στο πλαίσιο των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων που διοργανώνει το Εργαστήριο Φωτονικής για την Πολιτιστική Κληρονομιά του ΙΗΔΛ.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

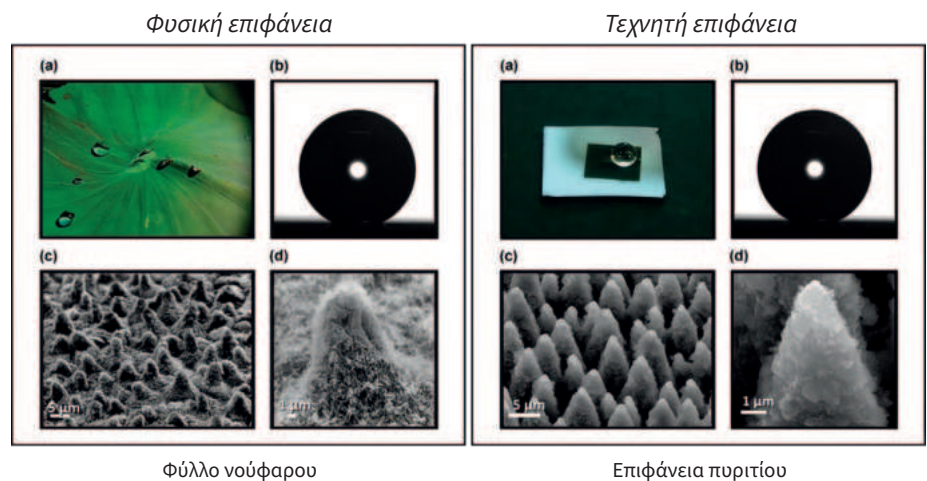


ΕΙΚΟΝΑ 1.19 Νέο Εργαστήριο Μικρο/Νανο-δόμησης Υλικών με υπερβραχείς παλμούς λέιζερ.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

ΕΙΚΟΝΑ 1.20 Στην αριστερή πλευρά της εικόνας φαίνεται ένα φύλλο λούφαρου (Lotus leaf) και το σχεδόν σφαιρικό σχήμα σταγόνας ύδατος επί της επιφάνειας του φύλλου, καθώς και εικόνες του στη μικροκλίμακα που έχουν ληφθεί από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, οι οποίες δείχνουν την ιεραρχική τραχύτητα της επιφάνειας. Στη δεξιά πλευρά φαίνονται οι αντίστοιχες εικόνες για επιφάνεια πυριτίου που έχει υποστεί επεξεργασία με υπερταχείς παλμούς λέιζερ ώστε να μιμείται τις ιδιότητες του Lotus leaf.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ



Stimulated Nanoengineered Scaffolds), όπου συμμετέχει σε μια ευρωπαϊκή ερευνητική κοινοπραξία επτά μεγάλων ερευνητικών κέντρων και πανεπιστημίων με στόχο την ανάπτυξη μιας θεραπείας για ασθενείς μετά από τραυματισμό του νωτιαίου μυελού. Η συμμετοχή του εργαστηρίου σε σημαντικά ερευνητικά έργα και κοινοπραξίες, αλλά και η ενασχόλησή του με ερευνητικά θέματα που μπορούν να παρέχουν λύση σε πρακτικά προβλήματα οδήγησαν στη δημιουργία της εταιρείας «Biomimetic» που ιδρύθηκε το 2020 ως τεχνοβλαστος (spin-off) του ΙΤΕ. Η εταιρεία έχει επενδύσει στην τεχνογνωσία που έχει αποκτηθεί στην εκμετάλλευση τεχνολογιών που μιμούνται τις δομές και τις λειτουργίες ειδών που απαντούν στη φύση. Με τη μίμηση των δομών αυτών προέκυψε ο σχεδιασμός γυαλιών και οθονών που δεν ανακλούν το φως, καθιστώντας τα ιδανικά για τη χρήση τους κατά τη διάρκεια της ημέρας και υπό συνθήκες έντονου ηλιακού φωτός και εφαρμογή τους σε οθόνες ηλεκτρονικών ειδών, ηλιακούς συλλέκτες, καθώς και σε εξειδικευμένα οπτικά συστήματα. Η Biomimetic χρηματοδοτήθηκε με 900.000 ευρώ από την Big Pi Ventures. Διευθύνων Σύμβουλος της εταιρείας είναι ο Εμμανουήλ Στρατάκης, Διευθυντής Ερευνών στο ΙΗΔΛ, ο οποίος είναι επικεφαλής της ομάδας ULMNP. Από το 2015, ο Στρατάκης είναι μέλος της Γενικής Συνέλευσης της ευρωπαϊκής ερευνητικής υποδομής NFFA-Europe, στην οποία θα αναφερθούμε στη συνέχεια.

Το ULMNP είναι ένα από τα εργαστήρια στα οποία υπάρχει διεπιστημονική προσέγγιση στην επίλυση επιστημονικών προβλημάτων, καθώς υπάρχει στενή συνεργασία με βιολόγους στην προσπάθεια να μιμηθούν οι ανθρώπινες κατασκευές τις ιδιότητες οργανισμών που βρίσκονται στη φύση — όμως δεν είναι το μοναδικό. Το Εργαστήριο Βιοφωτονικής και Μοριακής Απεικόνισης⁴⁷ (Biophotonics and Molecular Imaging, BMI) ιδρύθηκε το 2004 ως συνέχεια του Bio-lab που λειτουργούσε από τις αρχές της δεκαετίας του 1990. Οι ερευνητικές δραστηριότητες του εργαστηρίου BMI αφορούν τον σχεδιασμό και την υλοποίηση βασικών τεχνολογιών και εργαλείων για χρήση στη βιολογία και την κλινική πρακτική, καθώς και τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την εφαρμογή νέων τομογραφικών φωτονικών τεχνολογιών για *in vivo* απεικόνιση βιολογικών συστημάτων. Στο εργαστήριο πραγματοποιείται τόσο εφαρμοσμένη όσο και βασική έρευνα σε νέες φωτονικές συσκευές με την ανάπτυξη θεωριών σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις φωτός-βιολογικού ιστού και την κατανόηση των βιολογικών διεργασιών και ασθενειών. Οι δραστηριότητες του εργαστηρίου συνδυάζουν τεχνογνωσία από διαφορετικούς κλάδους της ανάπτυξης τεχνολογίας απεικόνισης: την υπολογιστική μοντελοποίηση, τη βιολογία, τη βιοϊατρική, τη βιοτεχνολογία και τη θεραπευτική (theranostics). Οι εφαρμογές της έρευνας σχετίζονται με λειτουργίες του ανοσοποιητικού συστήματος, ανίχνευση και παρακολούθηση καρκινικών χαρακτηριστικών όπως ο πολλαπλασιασμός των κυττάρων, η υποξία, η αγγειογένεση και η μεταβολική δραστηριότητα, καθώς και η λειτουργική απεικόνιση του εγκεφάλου (Εικ. 1.21). Ο επικεφαλής της ομάδας αυτής, Ιωάννης Ζαχαράκης, εξελέγη Πρόεδρος της Ευρωπαϊκής Εταιρείας Μοριακής Απεικόνισης (European Society of Molecular Imaging, ESMI) για το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020.

47 <<https://www.iesl.forth.gr/en/research/biophotonics>>.



ΕΙΚΟΝΑ 1.21 Η μοριακή τομογραφία φθορισμού (FMT) έχει αναδειχθεί ως ένα ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση βιολογικών λειτουργιών *in vivo* σε μικρά ζώα, παρέχοντας τα μέσα για τον προσδιορισμό ογκομετρικών εικόνων συγκέντρωσης φθορίζουσας πρωτεΐνης. Στην εικόνα φαίνεται η τριδιάστατη απεικόνιση ενός δείγματος μέσω FMT.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

Στην ίδια ερευνητική περιοχή δραστηριοποιείται και το Εργαστήριο Μη Γραμμικής Μικροσκοπίας⁴⁸ (non-linear Microscopy, NLM). Το κύριο ερευνητικό ενδιαφέρον της ομάδας αφορά τη διερεύνηση *in vivo* κυτταρικών και υποκυτταρικών δραστηριοτήτων, με τη χρήση μη επεμβατικών προηγμένων φασματοσκοπικών τεχνικών. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με θεμελιώδη βιολογικά προβλήματα, οδηγώντας στην ανάπτυξη καινοτόμων μεθοδολογιών για την έγκαιρη διάγνωση και θεραπεία αρκετών ασθενειών. Το εργαστήριο έχει επιτύχει την *in vivo* υποκυτταρική διερεύνηση πολύπλοκων βιολογικών δραστηριοτήτων (εμβρυογένεση, νευρωνικός εκφυλισμός, γήρανση, ενεργοποίηση και διαφοροποίηση κυττάρων) και την εξαγωγή πολύτιμων δομικών και μορφολογικών πληροφοριών από διάφορα δείγματα (καρκινικές κυτταρικές σειρές, έμβρυα ποντικού, μικρογλοιακά κύτταρα, T κύτταρα, καρκινικός ιστός).

Το Εργαστήριο Φωτονικής για την Αγροδιατροφή και το Περιβάλλον⁴⁹ (Photonics for Agrofoods and Environment) ιδρύθηκε το 2011 βασιζόμενο στην ερευνητική εμπειρία του ΙΗΔΛ στη μελέτη της αλληλεπίδρασης των λέιζερ με την ύλη, και ειδικότερα στην έρευνα του Εργαστηρίου Φυσικής και Χημείας Συστάδων Ατόμων (Cluster Physics and Chemistry) που υπήρχε στο ΙΗΔΛ από το 1992. Στο εργαστήριο γίνονται μελέτες και αναπτύσσονται τεχνικές και συσκευές για τη γρήγορη παρακολούθηση των χαρακτηριστικών ουσιών που περιέχονται σε δείγματα τροφίμων, καταγράφοντας οπτικά φάσματα που είναι τα χαρακτηριστικά «αποτυπώματα» και αντανακλούν τη χημική σύνθεση ενός δείγματος. Διαφορετικά δείγματα έχουν διαφορετικά αποτυπώματα, και έτσι διαφορές ή ομοιότητες που ανιχνεύονται χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση της προέλευσης του δείγματος και για ποιοτικό έλεγχο. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο είναι φασματοσκοπίες υπεριώδους/ορατού φωτός, εγγύς υπερύθρου, φθορισμού, Raman κ.ά. Οι συγκεκριμένες τεχνικές είναι γρήγορες και με μικρότερο κόστος από τις χρονοβόρες και δαπανηρές συμβατικές τεχνικές ανάλυσης, καθώς και ελάχιστα έως καθόλου επεμβατικές. Χρησιμοποιούνται για τη διάκριση ποικιλιών διαφόρων αγροδιατροφικών προϊόντων (κρασί, λάδι, μέλι, γάλα κ.λπ.), την παρακολούθηση της ωρίμανσης του κρασιού σε σχέση με τον χρόνο και το είδος του βαρελιού, τον ποιοτικό έλεγχο προϊόντων και την ανίχνευση νοθείας.

Ένα ακόμα πεδίο στο οποίο δραστηριοποιούνται τα εργαστήρια του υποτομέα Εφαρμογών Φωτονικής Επιστήμης είναι εκείνο της μελέτης και δημιουργίας νέων υλικών και διατάξεων, κάτι που ήδη αναφέρθηκε στην περίπτωση του ULMNP. Το Εργαστήριο Μη Γραμμικής Λιθογραφίας⁵⁰ (Non-Linear Lithography Laboratory) ερευνά την προσθετική κατασκευή με βάση το φως (Light-based Additive Manufacturing, LAM) στη μικροκλίμακα και τη νανοκλίμακα. Η έρευνα του εργαστηρίου δίνει έμφαση στις εφαρμογές της LAM στη φωτονική και τα μεταλλικά, καθώς και την τριδιάστατη εκτύπωση για βιοϊατρικές εφαρμογές, όπως βιοϊατρικά εμφυτεύματα και ικρίωματα για την ανάπτυξη κυττάρων και τη μηχανική ιστών. Η προσθετική κατασκευή, γνωστή και ως τριδιάστατη εκτύπωση (3D Printing), είναι η

48 <<https://www.iesl.forth.gr/en/research/biophotonics>>.

49 <<https://www.iesl.forth.gr/research/agrophotonics>>.

50 <https://www.iesl.forth.gr/en/research/NLL_Group>.

κατασκευή αντικειμένων μέσω διαδικασιών ελεγχόμενης πρόσθεσης υλικού. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί καινοτόμες μέθοδοι κατασκευής δομών σε κλίμακα των μερικών νανομέτρων. Τέτοιες κατασκευές έχουν ήδη βρει εφαρμογή στα πεδία της μικρο-οπτικής, της ηλεκτρονικής, των τηλεπικοινωνιών, της βιοϊατρικής και των μεταλλικών. Η μη γραμμική λιθογραφία ή απευθείας εγγραφή με λέιζερ, έχει ξεχωρίσει από άλλες τεχνικές ως μία ευέλικτη μέθοδος κατασκευής τριδιάστατων μικρο/νανοδομών, καθώς ένα βασικό πλεονέκτημά της είναι η ποικιλία υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και η πληθώρα των ιδιοτήτων που μπορούν να προσδοθούν στην τελική «δομή».

Στο ίδιο πεδίο της μελέτης και δημιουργίας νέων υλικών και διατάξεων δραστηριοποιείται και το Εργαστήριο Φωτονικών Υλικών και Διατάξεων⁵¹ (Photonic Materials and Devices-Laboratory, PMD-L). Ξεκίνησε τις δραστηριότητές του το 2004 και επικεντρώνεται στην έρευνα υλικών και φαινομένων διάδοσης φωτός, καθώς και τον σχεδιασμό και τις μεθόδους κατασκευής για την ανάπτυξη φωτονικών διατάξεων. Η γνώση που παράγεται από τη μελέτη προβλημάτων και διεργασιών που σχετίζονται με τα υλικά και τα φαινόμενα διάδοσης του φωτός μεταφέρεται άμεσα στην ανάπτυξη φωτονικών συσκευών αυξημένης τεχνολογικής και επιστημονικής προστιθέμενης αξίας. Ένα από τα κύρια ερευνητικά έργα του εργαστηρίου είναι η ανάπτυξη της τεχνολογίας Lab-in-a-fiber, η οποία αναδύεται ως μια νέα και πολλά υποσχόμενη προσέγγιση στην ανάπτυξη πολυλειτουργικών και υψηλής απόδοσης μικροσκοπικών διατάξεων φωτονικής ανίχνευσης και ενεργοποίησης, χρησιμοποιώντας ως μέσο τις οπτικές ίνες, με μεγάλες δυνατότητες εφαρμογής σε διάφορους τομείς της υγείας, της ενεργειακής ασφάλειας, της ασφάλειας και άμυνας καθώς και του περιβάλλοντος. Η ιδέα του Lab-in-a-Fiber είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή μικροδομημένων οπτικών ινών με προσαρμοσμένα χαρακτηριστικά και με συγκεκριμένες ρευστομηχανικές λειτουργίες. Το εργαστήριο έχει συμμετάσχει στις πολύ σημαντικές ερευνητικές υποδομές ACTPHAST 4.0 και PHOTONHUB EUROPE, στις οποίες θα αναφερθούμε στη συνέχεια.

6.2 Τομέας Υλικών και Διατάξεων

Οι ερευνητικές δραστηριότητες του Τομέα Υλικών και Διατάξεων (Materials and Devices Division) καλύπτουν ερευνητικές περιοχές στα πεδία: μικρο/νανοηλεκτρονική σύνθετων ημιαγωγών και των διατάξεών τους, νανοτεχνολογία και νανοφωτονική, επιστήμη και τεχνολογία της χαλαρής ύλης, νανοδομημένα υλικά, βιοϋλικά, μαγνητικά, φωτονικά, φωνονικά και μεταλλικά. Ο Τομέας αποτελείται από συνολικά 14 εργαστήρια.

Έχουμε αναφερθεί στα πρώτα βήματα της Ομάδας Μικρο/Νανο-Ηλεκτρονικής⁵² που ξεκίνησε τη λειτουργία της το 1985 (ως Ομάδα Μικροηλεκτρονικής), όταν δημιουργήθηκε το εργαστήριο για την ανάπτυξη ημιαγωγών III-As με τη μέθοδο της Επίταξης με Μοριακές Δέσμες (Molecular Beam Epitaxy, MBE). Κατά τη δεκαετία του 2000, η ομάδα εμπλουτίστηκε με νέα μέλη και διευρύνθηκαν οι περιοχές έρευνας του εργαστηρίου. Η τεχνογνωσία σε ημιαγωγούς III-As αξιοποιήθηκε από νέα μέλη

51 <<https://www.iesl.forth.gr/en/research/PMDL>>.

52 <<https://www.iesl.forth.gr/en/research/nanoelectronics-photonic-and-quantum-materials>>.



ΕΙΚΟΝΑ 1.22 Εργαστήριο κατασκευής micro-νανο-ηλεκτρονικών διατάξεων.

Πηγή: Συλλογή Μικροηλεκτρονικής, ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

της ομάδας (Νίκος Πελεκάνος και Παύλος Σαββίδης) για οπτοηλεκτρονικές και πολارىτονικές εφαρμογές. Η ομάδα κατασκεύασε το πρώτο πολارىτονικό LED που λειτούργησε σε θερμοκρασία δωματίου⁵³ και λίγο αργότερα κατέδειξε, για πρώτη φορά, τη χειραγώγηση πολارىτονικών συμπυκνωμάτων σε ένα τσιπ.⁵⁴ Παράλληλα, για πρώτη φορά επιδείχθηκε εκπομπή μοναδιαίων φωτονίων σε υψηλές θερμοκρασίες από κβαντικές τελείες από III-As⁵⁵ με εφαρμογές στην κρυπτογραφία. Η έρευνα στην Επίταξη με Μοριακές Δέσμες στράφηκε στη νέα οικογένεια III-V ημιαγωγών, όπως τα III-Νιτρίδια. Αυτοί είναι οι ημιαγωγοί που οδήγησαν στην ανάπτυξη των LED μπλε χρώματος με τα οποία υλοποιούνται οι λάμπες λευκού φωτός, θέμα για το οποίο δόθηκε το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 2014. Το εργαστήριο έχει σημαντικά επιτεύγματα ιδίως στη μελέτη της ανάπτυξης και των ιδιοτήτων επιταξιακών στρωμάτων του ημιαγωγού InN και των κραμάτων του με GaN και AlN (Εικ. 1.22).

Αντίστοιχα, συνεχίστηκε η έρευνα για την ανάπτυξη υλικών και διατάξεων ημιαγωγών με σκοπό να χρησιμοποιηθούν σε τεχνολογίες ενίσχυσης μικροκυμάτων για εφαρμογές σε ασύρματες τεχνολογίες. Το όνομα της ομάδας άλλαξε σε μικρο/νανο-ηλεκτρονική το 2010 περίπου. Πρόκειται για μια αλλαγή που επιβεβαιώνει τη σημασία που έχει η νανοτεχνολογία για την τεχνολογία των ημιαγωγών και την ανάγκη διατήρησης ή και υπέρβασης του νόμου του Moore, σύμφωνα με τον οποίο ο αριθμός των τρανζίστορ σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα διπλασιάζεται κάθε δύο χρόνια. Η έρευνα στις ασύρματες τεχνολογίες κατά την περίοδο αυτή συνεχίζεται και προσανατολίζεται προς την ανάπτυξη «έξυπνων» διατάξεων. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει πειραματισμό με νέα υλικά, με σκοπό την αντικατάσταση του πυριτίου ως κατ' εξοχήν υλικού των ημιαγωγών. Την ίδια περίοδο, και πιο συγκεκριμένα το 2008, το εργαστήριο στράφηκε στην έρευνα για το γραφένιο. Το

53 S.I. Tsintzos, N.T. Pelekanos, G. Konstantinidis, Z. Hatzopoulos & P.G. Savvidis, «A GaAs polariton light-emitting diode operating near room temperature», *Nature* 453 (2008), σ. 372-375.

54 G. Tosi, G. Christmann, N.G. Berloff, P. Tsotsis, T. Gao, Z. Hatzopoulos, P.G. Savvidis & J.J. Baumberg, «Sculpting oscillators with light within a nonlinear quantum fluid», *Nature Physics* 8 (2012), σ. 190-194.

55 S. Germanis, A. Beveratos, G.E. Dialynas, G. Deligeorgis, P.G. Savvidis, Z. Hatzopoulos & N.T. Pelekanos, «Piezoelectric InAs/GaAs quantum dots with reduced fine-structure splitting for the generation of entangled photons», *Phys. Rev. B* 86 (2012), article number 035323.

γραφένιο, όπως οι νανοσωλήνες άνθρακα και άλλα διδιάστατα υλικά, θεωρούνται νανοϋλικά που συγκεντρώνουν προσδοκίες για τη δημιουργία τέτοιων «έξυπνων» «More than Moore» διατάξεων και, κατ' επέκταση, υψηλή χρηματοδότηση. Το γραφένιο είναι υλικό με σπουδαίες ιδιότητες (αντοχή, μικρό μέγεθος, μεγάλη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα κ.ά.) που φτιάχτηκε για πρώτη φορά το 2004, ενώ οι επιστήμονες που το εφηύραν έλαβαν το Νόμπελ Φυσικής το 2010.⁵⁶ Η έρευνα στα διδιάστατα υλικά έχει χρηματοδοτηθεί με σημαντικούς πόρους από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, μέσω προγραμμάτων όπως το SMARTWAVE, το NANOPOLY και το NANOSMART, μεταξύ άλλων και έχουν αξιολογηθεί με «innovation radar» από την ευρωπαϊκή επιτροπή για τη μεγάλη τους καινοτομία.⁵⁷ Επιστημονικός υπεύθυνος αυτών των έργων είναι ο Γιώργος Δεληγεώργης που έλαβε το διδακτορικό του δίπλωμα από το Πανεπιστήμιο Κρήτης το 2008 και, αφού εργάστηκε για ορισμένα χρόνια στη Γαλλία, επέστρεψε το 2014 στο ΙΗΔΛ, ως Ερευνητής.

Την περίοδο αυτή, οι κατασκευαστικές δυνατότητες του εργαστηρίου στην ανάπτυξη διατάξεων και ολοκληρωμένων μονολιθικών μικροκυματικών νανοκυκλωμάτων (MMICs) και ηλεκτρομηχανικών διακοπών (RF MEMS) εξελίχθηκαν σε υψηλά επίπεδα τεχνολογικής ετοιμότητας (Technology Readiness Levels, TRL). Αυτό οδήγησε στην προσέλκυση σημαντικής ευρωπαϊκής χρηματοδότησης για την υλοποίηση μιας πιλοτικής γραμμής κατασκευής τόσο για MMICs όσο και για RF MEMS, με στόχο τη δημιουργία νέας γενιάς πομποδεκτών υψηλών συχνοτήτων και ισχύος (έργο SMARTEC⁵⁸). Η πιλοτική αυτή γραμμή λειτουργεί από την αρχή του 2022 και αποτελεί την πρώτη πιλοτική γραμμή κατασκευής νανοηλεκτρονικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων στην Ελλάδα.

Ο υποτομέας Χαλαρής Ύλης αποτελείται από τα εργαστήρια Πολυμερών και Κολλοειδών⁵⁹ και τα εργαστήρια Υβριδικών Νανοδομών.⁶⁰ Η Ομάδα Πολυμερών και Κολλοειδών δραστηριοποιείται στην πειραματική μελέτη της δυναμικής και της ρεολογίας καλά χαρακτηρισμένων υλικών και στη φυσική κατανόηση των υποκείμενων μηχανισμών που προσδιορίζουν τη συμπεριφορά των υλικών, μέσω της σύνδεσης των μοριακών αλληλεπιδράσεων και διαμορφώσεων με τη μικροσκοπική δομή και τη δυναμική και με τις τελικές ιδιότητες του υλικού. Μακροπρόθεσμος στόχος είναι ο μοριακός σχεδιασμός πολυμερών και κολλοειδών υλικών με εξ αρχής προσδιορισμένη συμπεριφορά (Εικ. 1.23). Τα τελευταία χρόνια το εργαστήριο έχει στραφεί στην έρευνα σχετικά με την αντικατάσταση συνθετικών υλικών της καθημερινής ζωής από ανανεώσιμα υλικά. Γι' αυτή την έρευνα έχει λάβει σημαντική χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για το ερευνητικό έργο FORGREENSOFT (Advancing Research and Innovation of FORTH in Green Soft Matter) στο πλαίσιο του προγράμματος «Widening participation and spreading excellence», με επιστημονικό υπεύθυνο τον Γεώργιο Πετεκίδη, Καθηγητή του

56 <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2010/summary>>.

57 <<https://innovation-radar.ec.europa.eu/innovation/50595>>, <<https://innovation-radar.ec.europa.eu/innovation/44595>>.

58 <<https://cordis.europa.eu/project/id/869817>>.

59 <<https://www.iesl.forth.gr/en/research/polymer-and-colloid-science>>.

60 <<https://www.iesl.forth.gr/en/research/hybrid-nanostructures>>.



ΕΙΚΟΝΑ 1.23 Εργαστήριο ρεολογίας του ΙΗΔΛ: Βλέπουμε ρέμετρα που έχουν αποκτηθεί τόσο από τη δεκαετία του 1990 όσο και πρόσφατα.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών του Πανεπιστημίου Κρήτης και συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ.

Ο υποτομέας των Υβριδικών Νανοδομών αποτελείται από πέντε επιμέρους εργαστήρια/ομάδες. Η Ομάδα Λειτουργικών Πολυμερικών Νανοδομών, με μέλη τον Σπύρο Αναστασιάδη, Καθηγητή του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης, και την Κυριακή Χρυσοπούλου, Ερευνήτρια του ΙΗΔΛ, στοχεύει στην ανάπτυξη λειτουργικών καινοτόμων νανοδομημένων υλικών με ειδικά σχεδιασμένες ιδιότητες, καθώς και στην κατανόηση της σχέσης μεταξύ δομής-ιδιοτήτων των πολυμερικών και υβριδικών υλικών και στη βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων τους. Οι κύριες δραστηριότητες περιλαμβάνουν τη μελέτη επιφανειών και διεπιφανειών πολυμερών και λεπτών υμενίων και την ανάπτυξη πολυμερικών επιστρωμάτων, τη μελέτη λειτουργικών και αποκρίσιμων πολυμερικών υλικών και επιφανειών, την ανάπτυξη πολυμερικών νανοςύνθετων υλικών, τη διερεύνηση της μορφολογίας και της δυναμικής πολυμερών πολλαπλών συστατικών, καθώς και την ανάπτυξη πολυμερικών υλικών για εφαρμογές στον τομέα της ενέργειας. Η Ομάδα Λειτουργικών Πολυμερικών Νανοδομών διαχρονικά έχει προσελκύσει σημαντικές χρηματοδοτήσεις από ελληνικές, ευρωπαϊκές και διεθνείς πηγές που ανέρχονται σε 13,3 εκατομμύρια ευρώ για το ΙΗΔΛ, μεταξύ των οποίων και από το πρόγραμμα υποστήριξης μεγάλων υποδομών του ΕΛΙΔΕΚ (Εικ. 1.24). Επί πλέον, ο Αναστασιάδης εξελέγη και διετέλεσε Πρόεδρος της Ευρωπαϊκής Ομοσπονδίας Πολυμερών (European Polymer Federation, EPF) για τα έτη 2018 και 2019. Το εργαστήριο Σύνθεσης Υλικών, με υπεύθυνη τη Μαρία Βαμβακάκη, Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών του Πανεπιστημίου Κρήτης και συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ, ειδικεύεται στη σύνθεση, τον χαρακτηρισμό και τις εφαρμογές των πολυμερικών και οργανικών/ανόργανων υβριδικών υλικών, πολυμερικών κολλοειδών, αποκρίσιμων υλικών, υδατοδιαλυτών και αμφίφιλων συμπολυμερών κ.ά. Η Ομάδα Σύνθεσης Υλικών είναι διεθνώς αναγνωρισμένη στο πεδίο των βιοσυμβατών/βιοδιασπώμενων



ΕΙΚΟΝΑ 1.24 Η υποδομή του Εργαστηρίου Υβριδικών Νανοδομών του Τομέα Χαλαρής Ύλης εξακολουθεί να μεγαλώνει. Η διάταξη σκέδασης ακτίνων Χ σε μικρές και μεγάλες γωνίες, XENOCs Xeuss 3.0 SAXS / WAXS αποκτήθηκε το 2022 και θα αυξήσει σημαντικά τις δυνατότητες έρευνας και χαρακτηρισμού υλικών του ΙΗΔΛ.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

πολυμερών για βιοϊατρικές εφαρμογές, όπως στοχευμένες και ελεγχόμενες χορηγήσεις φαρμάκων, γονιδιακές θεραπείες και κατασκευή ιστών. Η Ομάδα Φυσικών Βιοϋλικών, με υπεύθυνη την Άννα Μητράκη, Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών του Πανεπιστημίου Κρήτης και συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ, στοχεύει στην ανάπτυξη αυτο-οργανωμένων, βιοεμπνεόμενων νανοϋλικών για καινοτόμες εφαρμογές. Ο σχεδιασμός πρωτεϊνικών και πεπτιδικών δομικών μονάδων με ικανότητα αυτο-οργάνωσης συχνά επιτυγχάνεται αντλώντας έμπνευση από φυσικές ενώσεις πρωτεΐνες όπως κολλαγόνο, ελαστίνη, μετάξι, μετάξι αράχνης. Η ερευνητική ομάδα επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο η θεμελιώδης γνώση επί της δομής φυσικών ινωδών πρωτεϊνών μπορεί να μεταφραστεί σε στρατηγικές ενσωμάτωσης και εφαρμογές στο πεδίο των ινωδών βιο-νανο-υλικών. Η Ομάδα Βιο-υλικών στην Ιστομηχανική, με υπεύθυνη τη Μαρία Χατζηνικολαΐδου, Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών του Πανεπιστημίου Κρήτης και συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ, ασχολείται με την ανάπτυξη βιο-υλικών και ικριωμάτων για θεραπευτικές στρατηγικές μέσω της ιστομηχανικής. Ειδικότερα, η έρευνα του εργαστηρίου επικεντρώνεται στον τομέα του σχεδιασμού καινοτόμων πολυλειτουργικών βιοϋλικών, τη μελέτη της επίδρασης της δομής και των ιδιοτήτων των βιοϋλικών σε συγκεκριμένες βιολογικές αποκρίσεις, την αξιολόγηση της *in vitro* και *in vivo* βιοσυμβατότητας και λειτουργικότητας των ανεπτυγμένων ικριωμάτων, την εξερεύνηση δυνατότητας των εμφυτεύσιμων βιοϋλικών και φαρμάκων για την αναγέννηση των οστών. Η Ομάδα Ηλεκτρονικών Πολυμερών είναι η τελευταία προσθήκη στο ΙΗΔΛ, με υπεύθυνη την Ελένη Παυλοπούλου, Ερευνήτρια του ΙΗΔΛ. Οι ερευνητικές δραστηριότητες του εργαστηρίου επικεντρώνονται στην ανάπτυξη και μελέτη ηλεκτρικά ενεργών πολυμερών και την ενσωμάτωσή τους σε ηλεκτρονικές συσκευές. Η τεχνογνωσία της ομάδας εκτείνεται σε αγώγιμα και ημιαγώγιμα πολυμερή, οργανικούς μικτούς ιοντικούς-ηλεκτρονικούς αγωγούς, καθώς και σιδηροηλεκτρικά/πιεζοηλεκτρικά πολυμερή. Οι εφαρμογές-στόχοι περιλαμβάνουν τη συλλογή ενέργειας από καθαρές και ανανεώσιμες

πηγές (θερμοηλεκτρικά, φωτοβολταϊκά, πιεζοηλεκτρικές νανογεννήτριες), τη βιοηλεκτρονική (ηλεκτρονικά φυτά) και τους αισθητήρες.

Το Εργαστήριο Διαφανών Αγωγίμων Υλικών⁶¹ δραστηριοποιείται επί σειρά ετών στην ανάπτυξη και μελέτη νέων δομών οξειδίων μετάλλων σε μορφή λεπτών υμενίων ή σκόνης, ενώ παράλληλα εφαρμόζει ένα ευρύ φάσμα τεχνικών για τον ηλεκτρικό, δομικό, οπτικό και χημικό χαρακτηρισμό τους. Η ομάδα έχει μακρά ιστορία καθώς ξεκίνησε ως Ομάδα Φωτονικών και Ηλεκτρονικών Υλικών το 1992, και εστιάζει στη σύνθεση οξειδίων μετάλλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες επικίνδυνων αερίων, ως οπτικοί αισθητήρες, σε ηλεκτρονικές εφαρμογές για διαφανή τρανζίστορ και, κυρίως, για φωτο-καταλυτικές εφαρμογές. Οι αισθητήρες αερίων έχουν ευρείες εφαρμογές σε βιομηχανικούς τομείς όπως η αυτοκινητοβιομηχανία και η αεροναυπηγική για τον έλεγχο των καυσαερίων, τη βιομηχανία τροφίμων, την ιατρική αλλά και οικιακές εφαρμογές. Γι' αυτόν τον λόγο η ερευνητική δουλειά της ομάδας έχει οδηγήσει σε ευρεσιτεχνίες⁶² καθώς και στην ίδρυση ενός τεχνοβλαστού, της εταιρείας PCN-Materials IKE, με έδρα στο Ηράκλειο, που χρηματοδοτήθηκε με 830.000 ευρώ από την Big Pi Ventures. Διευθύνων Σύμβουλος της PCN-Materials IKE είναι ο ιδρυτής της ερευνητικής ομάδας Γιώργος Κυριακίδης. Επί πλέον, ο Κυριακίδης εξελέγη και διετέλεσε Πρόεδρος της Ευρωπαϊκής Εταιρείας Έρευνας των Υλικών (European Materials Research Society, E-MRS) για την τριετία 2017-2019.

Τέλος, το Εργαστήριο Κβαντικών Υλικών και Μαγνητισμού με υπεύθυνο τον Αλέξανδρο Λάππα, Ερευνητή του ΙΗΔΛ, μελετά κβαντικά υλικά, μια ομπρέλα συστημάτων που εμπλέκουν δομικά στοιχεία ατομικής κλίμακας τα οποία φέρουν ισχυρά αλληλοεπιδρώσεις στοιχειώδεις μονάδες (π.χ., φορείς φορτίου και ηλεκτρικές/μαγνητικές ροπές) που προκαλούν συλλογικά φαινόμενα, με αξιοσημείωτη φυσική, όπως κβαντικά φαινόμενα λόγω νανο-μεγέθους, υγρά σπιν, υπεραγωγοί, μαγνητοηλεκτρικά κ.λπ. Επί πλέον, η γνώση της δομής σε συστήματα από υβριδικούς νανοκρυστάλλους έως μοριακά υλικά επιτρέπουν καινοτόμες εφαρμογές στη θεραπευοδιαγνωστική (theranostics) ή στις ενεργειακές τεχνολογίες.

Όπως φάνηκε από την παρουσίαση των εργαστηρίων του ΙΗΔΛ, η έρευνα που διεξάγεται σε αυτό δεν περιορίζεται στην περιοχή της φυσικής αλλά είναι σε μεγάλο βαθμό διεπιστημονική και αγγίζει περιοχές όπως η χημεία, η επιστήμη υλικών, η βιολογία, η ιατρική, η επιστήμη πολιτιστικής κληρονομιάς (Heritage Science).

6.3 Συμμετοχή σε ευρωπαϊκές υποδομές

Η επιστήμη είναι μία από τις πλέον συνεργατικές δραστηριότητες του ανθρώπου, ενώ η παραγωγή της επιστημονικής γνώσης είναι μια διαδικασία που γίνεται όλο και περισσότερο απαιτητική σε πόρους, ανθρώπινους και υλικούς. Γι' αυτό τον λόγο, όλο και περισσότερες ομάδες, όλο και περισσότερα εργαστήρια ενώνουν τις

61 <https://www.iesl.forth.gr/en/research/TCM_group>.

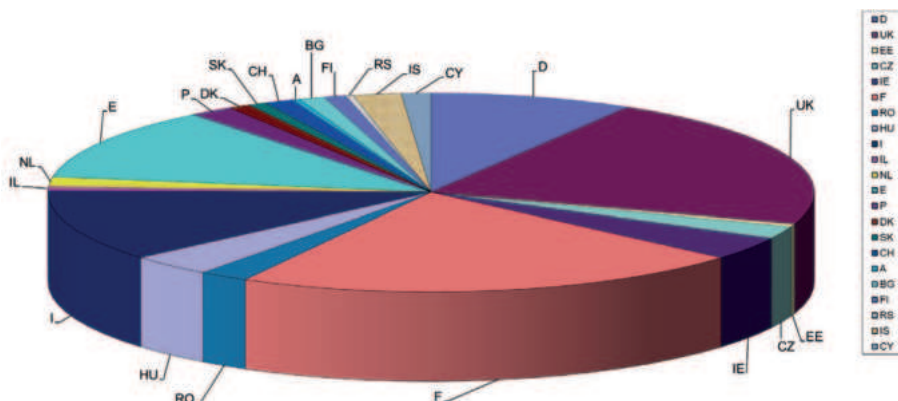
62 G. Kiriakidis & V. Tudose (2009), Photocatalytic powder composed of titanium dioxide and manganese dioxide active under infrared radiation and visible light, Patent No: 20090100724/1007062, και G. Kiriakidis, V. Binas & V. Tudose (2010), Photocatalytic powder comprised of Titanium Dioxide and Manganese Dioxide active under UV and Visible Light, Patent No: PCT/EP2010/070872.

δυνάμεις τους ώστε να σχηματίσουν συνεργατικές ερευνητικές υποδομές που θα ενδυναμώνουν και θα διευκολύνουν την επιστημονική έρευνα. Αυτό είναι πιο εύκολο να γίνει στην ενωμένη Ευρώπη όπου υπάρχουν τα κατάλληλα πολιτικά και μεθοδολογικά εργαλεία. Το ΙΗΔΛ χαρακτηρίζεται από έντονη εξωστρέφεια, ενώ διαθέτει τις κατάλληλες υποδομές ώστε να συμμετάσχει σε τέτοιες ερευνητικές συνέργειες, ισχυροποιώντας ακόμα περισσότερο τη θέση του στο διεθνές τοπίο της έρευνας και προσφέροντας υπηρεσίες στη διεθνή ερευνητική κοινότητα. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν ορισμένες από τις σημαντικότερες ευρωπαϊκές ερευνητικές υποδομές στις οποίες έχει συμμετάσχει και εξακολουθεί να συμμετέχει το ΙΗΔΛ.

Έχουμε ήδη αναφερθεί στην Εγκατάσταση Υπεριώδους Λέιζερ (ULF) και στη συμμετοχή της στην υποδομή LASER-LAB EUROPE (και τους «προγόνους» αυτής), ήδη από το 1990. Στο πλαίσιο της υποδομής LASER-LAB EUROPE και την περίοδο 1990-2023, το ΙΗΔΛ έχει προσφέρει 3842 ημέρες πρόσβασης σε 569 ερευνητές από όλο τον κόσμο (κυρίως από την Ευρωπαϊκή Ένωση) που ασχολήθηκαν με 328 έργα σε συνεργασία με ερευνητές του ΙΗΔΛ (Εικ. 1.25). Η υποδομή LASER-LAB EUROPE ανανεώθηκε το 2019.

Η υποδομή EUSMI (European infrastructure for spectroscopy, scattering and imaging of soft matter) δημιουργήθηκε το 2017, ως μετεξέλιξη της ESMI (European Soft Matter Infrastructure) που είχε ιδρυθεί το 2011, με σκοπό να ενδυναμώσει την έρευνα στη χαλαρή ύλη μέσω της σύνδεσης και επέκτασης των αντίστοιχων ερευνητικών υποδομών στην Ευρώπη, και το ΙΗΔΛ συμμετέχει σε αυτή από την πρώτη στιγμή. Στο πλαίσιο της υποδομής αυτής και την περίοδο 2011-2021, το ΙΗΔΛ έχει προσφέρει 536 ημέρες πρόσβασης σε 42 ερευνητές από όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση που ασχολήθηκαν με 34 έργα σε συνεργασία με ερευνητές του ΙΗΔΛ (Εικ. 1.26). Η υποδομή NFFA-EUROPE (Nanoscience Foundries and Fine Analysis – Europe), ιδρύθηκε το 2015 και υποστηρίζει την πρόσβαση ερευνητών σε υποδομές και ιδρύματα όπου διεξάγεται υψηλής ποιότητας έρευνα στη νανοτεχνολογία και τη νανοεπιστήμη. Στο πλαίσιο της υποδομής αυτής και την περίοδο 2015-2021 το ΙΗΔΛ έχει προσφέρει 631 ημέρες πρόσβασης σε 88 ερευνητές από όλο τον κόσμο (κυρίως από την Ευρωπαϊκή Ένωση) που ασχολήθηκαν με 54 έργα σε συνεργασία με ερευνητές του ΙΗΔΛ (Εικ. 1.27). Η υποδομή ανανεώθηκε το 2020 ως NFFA-Pilot.

Η υποδομή ACTPHAST 4.0 (ACceleraTing PHotonics innovAtion for SME's: a one STop-shop incubator), η οποία αποτελεί τη συνέχεια της πρώτης ACTPHAST

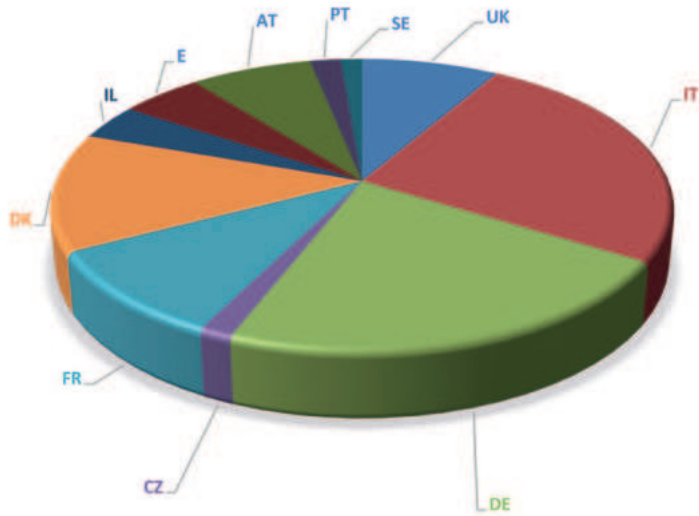


ΕΙΚΟΝΑ 1.25 Κατανομή των 3842 Ημερών Πρόσβασης που το ΙΗΔΛ προσέφερε σε χρήστες στο πλαίσιο της υποδομής LASER-LAB EUROPE κατά την περίοδο 1990-2023. Το ΙΗΔΛ προσέφερε τις ημέρες αυτές σε 569 ερευνητές (κυρίως από την Ευρωπαϊκή Ένωση) που ασχολήθηκαν με 328 έργα σε συνεργασία με ερευνητές του ΙΗΔΛ.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

ΕΙΚΟΝΑ 1.26 Κατανομή των 536 Ημερών Πρόσβασης που το ΙΗΔΛ προσέφερε σε χρήστες στο πλαίσιο της υποδομής EUSMI κατά την περίοδο 2011-2021. Το ΙΗΔΛ προσέφερε τις ημέρες αυτές σε 42 ερευνητές (κυρίως από την Ευρωπαϊκή Ένωση) που ασχολήθηκαν με 34 έργα σε συνεργασία με ερευνητές του ΙΗΔΛ.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

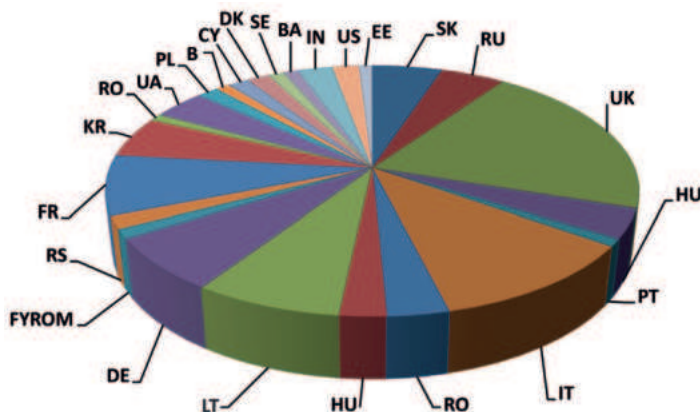


(1913-1917), ξεκίνησε το 2017 με στόχο να υποστηρίζει και να επιταχύνει την ικανότητα καινοτομίας των ευρωπαϊκών εταιρειών, παρέχοντάς τους άμεση πρόσβαση στην τεχνογνωσία και τις σύγχρονες εγκαταστάσεις των κορυφαίων ευρωπαϊκών ερευνητικών κέντρων φωτονικής, και επιτρέποντας στις εταιρείες να αξιοποιήσουν το τεράστιο εμπορικό δυναμικό της εφαρμοσμένης φωτονικής. Παράλληλα με αυτήν, λειτουργεί και η υποδομή ACTPHAST 4R (ACceleraTing Photonics Deployment via one STop shop Advanced Technology Access for Researchers), η οποία υποστηρίζει την ικανότητα καινοτομίας των ευρωπαίων ερευνητών, κατ' αντιστοιχία με την υποδομή ACTPHAST 4.0 για επιχειρήσεις. Το PhotonHub Europe (Photonics Digital Innovation Hub, 2021-2025) έχει δημιουργηθεί με σκοπό να υποστηρίξει έναν πανευρωπαϊκό κόμβο καινοτομίας στη φωτονική, όπου ειδικοί στη φωτονική σε ευρωπαϊκό επίπεδο θα παρέχουν ευκαιρίες κατάρτισης και αναβάθμισης δεξιοτήτων σε ευρωπαϊκές εταιρείες, ιδιαίτερα στις ΜΜΕ και εταιρείες μεσαίας κεφαλαιοποίησης.

Το ΙΗΔΛ κατέχει σημαντική θέση στην έρευνα για τη διατήρηση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς διεθνώς, συνεπώς δεν θα μπορούσε να μην συμμετέχει σε υποδομές που έχουν δημιουργηθεί με σκοπό τη συνεργασία ιδρυμάτων γι' αυτόν τον σκοπό. Το ΙΗΔΛ συμμετέχει από το 2009 σε αντίστοιχες Ευρωπαϊκές Ερευνητικές

ΕΙΚΟΝΑ 1.27 Κατανομή των 631 Ημερών Πρόσβασης που το ΙΗΔΛ προσέφερε σε χρήστες στο πλαίσιο της υποδομής NFFA EUROPE κατά την περίοδο 2015-2021. Το ΙΗΔΛ προσέφερε τις ημέρες αυτές σε 88 ερευνητές (κυρίως από την Ευρωπαϊκή Ένωση) που ασχολήθηκαν με 54 έργα σε συνεργασία με ερευνητές του ΙΗΔΛ.

Πηγή: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ



Σημαντικές διακρίσεις ερευνητών του ΙΗΔΛ

Η ερευνητική δραστηριότητα του ΙΗΔΛ και τα σημαντικά αποτελέσματα που αυτή παρήγαγε είχαν ως αποτέλεσμα τη διάκριση πολλών ερευνητών του Ινστιτούτου τόσο ατομικά όσο και στο επίπεδο ερευνητικών ομάδων. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1990 οι διακρίσεις των ερευνητών του ΙΗΔΛ είναι πολλές και σημαντικές. Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένες από τις σημαντικότερες:

- Το 1998 ο Σπύρος Αναστασιάδης βραβεύθηκε με το John H. Dillon Medal από την Αμερικανική Εταιρεία Φυσικής (American Physical Society, APS), «για τις πρωτοποριακές μελέτες της δομής και της δυναμικής πολυμερικών διαλυμάτων, τηγμάτων, διεπιφανειών και λεπτών υμενίων». Το Βραβείο Dillon είναι ένα ετήσιο βραβείο που καθιερώθηκε το 1983 από το Division of Polymer Physics της APS, και απονέμεται σε αναγνώριση «Εξαιρετικών Ερευνητικών Επιτευγμάτων από Νεαρό Επιστήμονα της Φυσικής των Πολυμερών, ο οποίος δίνει υποσχέσεις για διαπρεπή ερευνητική πορεία». Ήταν η δεύτερη μόλις φορά (η πρώτη ήταν το 1990) που το Βραβείο Dillon απονεμήθηκε σε επιστήμονα που εργαζόταν εκτός ΗΠΑ. Το Βραβείο αυτό ήταν το πρώτο διεθνές Βραβείο από Επιστημονική Εταιρεία που απονεμήθηκε σε ερευνητή ή συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΤΕ (Εικ. 1.28). Ο Αναστασιάδης ήταν τότε Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης.



ΕΙΚΟΝΑ 1.28 Ο Σπύρος Αναστασιάδης κατά την απονομή του John H. Dillon Medal της Αμερικανικής Εταιρείας Φυσικής κατά τη διάρκεια του Συνεδρίου APS March Meeting 1998.

ΠΗΓΗ: Συλλογή Σπύρου Αναστασιάδη

- Στον Κώστα Φωτάκη, Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης και συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ απονεμήθηκε, το 2004, το Leadership Award / New Focus Prize της Optical Society of America, «για δεκαετή ηγετικό ρόλο και προσωπική ερευνητική συμβολή στον τομέα των



ΕΙΚΟΝΑ 1.29 Ο Κώστας Σούκουλης στο βήμα κατά την παραλαβή του βραβείου Descartes της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2006 στο Λονδίνο. Τα μέλη της νικήτριας συνεργατικής ομάδας (από αριστερά προς τα δεξιά) Μ. Καφεσάκη (ΙΤΕ), D. Smith (Πανεπιστήμιο Duke), M. Weneger (Πανεπιστήμιο της Καρλσρούης), E. Ozbay (Πανεπιστήμιο Bilkent) και Sir J. Pendry (Imperial College).

ΠΗΓΗ: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

εφαρμογών λέιζερ στη συντήρηση έργων τέχνης και για τον ηγετικό του ρόλο στην καθιέρωση και καθοδήγηση της επιστημονικής αριστείας στα προγράμματα επιστήμης των λέιζερ στο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ».

- Έχουμε αναφερθεί ήδη στην πολλή σημαντική διάκριση με το Βραβείο Descartes που έλαβε η ομάδα των Σούκουλη και Οικονόμου το 2005 για το έργο EXEL (Εικ. 1.29). Η μεγάλη επιστημονική σημασία των μεταλλικών και η αξία που έχει η ανακάλυψή τους είχε ως αποτέλεσμα να λάβει ο Σούκουλης μία ακόμα σημαντική διάκριση, το Βραβείο James C. McGroddy Prize, το οποίο δίνεται από την Αμερικανική Εταιρεία Φυσικής ως αναγνώριση για την επίτευξη σημαντικών ανακαλύψεων στην επιστήμη υλικών. Με το βραβείο αυτό τιμήθηκε ο Σούκουλης το 2013, από κοινού με τους John B. Pentry και David R. Smith, για την «ανακάλυψη των μεταλλικών» (Εικ. 1.30).
- Το 2013 απονεμήθηκε στον Στέλιο Τζωρτζάκη, Καθηγητή του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών του Πανεπιστημίου Κρήτης και συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ, το Rozhdestvensky Medal από την Εταιρεία Οπτικής της Ρωσίας (Russian Optical Society) «για βασική συμβολή στην οπτική ισχυρών πεδίων λέιζερ και ακτινοβολίας Terahertz (THz)».



ΕΙΚΟΝΑ 1.30 Ο Κώστας Σούκουλης κατά την απονομή του James C. McGroddy Prize της Αμερικανικής Εταιρείας Φυσικής κατά τη διάρκεια του Συνεδρίου APS March Meeting 2013.

ΠΗΓΗ: Συλλογή Σπύρου Αναστασιάδη



ΕΙΚΟΝΑ 1.31 Ο Κώστας Σούκουλης κατά την απονομή του Max Born Award της Optical Society of America, 2014.

ΠΗΓΗ: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

- Το 2014 απονεμήθηκε στον Κώστα Σούκουλη το Max Born Award της Optical Society of America «για δημιουργική και εξαιρετική θεωρητική και πειραματική έρευνα στα πεδία των φωτονικών κρυστάλλων και των αριστερόστροφων μεταλλικών και για νέες εφαρμογές αυτών των υλικών για τον χειρισμό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας» (Εικ. 1.31).
- Τα βραβεία του Alexander von Humboldt Foundation δίνονται σε διακεκριμένους επιστήμονες διεθνώς για την εν γένει προσφορά τους στην επιστήμη. Οι Φυτάς και Σούκουλης τιμήθηκαν το 2002 με τα βραβεία Humboldt Senior Scientist Research Award και Humboldt Research Award

for Senior U.S. Scientists, αντίστοιχα. Το 2004 ο Θεοφάνης Κιτσόπουλος, συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ και επικεφαλής της Ομάδας Χημικής Δυναμικής του ΙΗΔΛ, στην οποία μελετώνται χημικές αντιδράσεις με τη χρήση φωτός λέιζερ, έλαβε το Friedrich von Bessel Award. Το Friedrich von Bessel Award απονεμήθηκε άλλες δύο φορές σε επιστήμονες του ΙΗΔΛ: Το 2014 στον David Petrosyan, Ερευνητή του ΙΗΔΛ, και το 2016 στον Γεώργιο Πετεκίδη, Καθηγητή του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών του Πανεπιστημίου Κρήτης και συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ.

- Ο Δημήτρης Βλασσόπουλος, καθηγητής του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών του Πανεπιστημίου Κρήτης και συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του ΙΗΔΛ, έλαβε το 2019 το Bingham Medal, «για εξαιρετικά επιτεύγματα στην πειραματική ρεολογία χαλαρής ύλης, που συμπεριλαμβάνουν επαναστατικές ανακαλύψεις στους τομείς μιγμάτων πολυμερών, διακλαδισμένων και κυκλικών πολυμερών και μαλακών κολλοειδών, καθώς και για την ανάπτυξη σημαντικών ρεομετρικών και ρεο-οπτικών εργαλείων». Η συγκεκριμένη διάκριση απονέμεται κάθε χρόνο από την Εταιρεία Ρεολογίας σε επιστήμονες με σημαντική συμβολή στο πεδίο της Ρεολογίας (Εικ. 1.32). Επίσης, το 2015 απονεμήθηκε στον Δημήτρη Βλασσόπουλο το Weissenberg Award της European Society of Rheology «για θεμελιώδη συνεισφορά στη ρεολογία και τη ρεοφυσική αρχιτεκτονικά πολύπλοκων πολυμερών και κολλοειδών σε μαζικά δείγματα και σε διεπιφάνειες».



ΕΙΚΟΝΑ 1.32 Ο Δημήτρης Βλασσόπουλος κατά την απονομή του Bingham Medal κατά τη διάρκεια του συνεδρίου της Society of Rheology, 2019.

ΠΗΓΗ: Αρχείο ΙΗΔΛ-ΙΤΕ

Υποδομές, όπως η CHARISMA (Cultural Heritage Advanced Research Infrastructure, 2009-2014), η IPERION CH (Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Culture Heritage, 2015-2019) και η IPERION HS (Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Heritage Science, 2020-2023). Στόχος όλων αυτών των υποδομών είναι η προώθηση της επιστήμης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η επιστήμη της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να συμπεριλάβει τον πολυεπιστημονικό ερευνητικό τομέα που προέρχεται από την επιστήμη της συντήρησης, την αρχαιολογική επιστήμη και την επιστήμη των κτιρίων. Παράλληλα, το ΙΗΔΛ συμμετείχε και στις Υποδομές PARTHENOS (Pooling Activities, Resources and Tools for Heritage E-research Networking, Optimization and Synergies, 2015-2019) και SSHOC (Social Sciences and Humanities Open Cloud, 2019-2022), οι οποίες εμπλέκουν και την επιστήμη της πληροφορικής. Τέλος, το ΙΗΔΛ συμμετέχει στις προετοιμασίες για τη δημιουργία της Υποδομής E-RIHS (European Research Infrastructure for Heritage Science) στο πλαίσιο του European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) ως ERIC. Το ΙΗΔΛ συμμετείχε στα σχετικά προπαρασκευαστικά έργα E-RIHS PP (2017-2020) και E-RIHS IP (2022-2024).

Τέλος, αναφέρεται η υποδομή ELI (Extreme Light Infrastructure) που δημιουργήθηκε το 2013 στο πλαίσιο του ESFRI και είναι η μεγαλύτερη και πιο προχωρημένη υποδομή σε λέιζερ υψηλής ισχύος. Το ΙΗΔΛ είχε σημαντικό ρόλο στη φάση ορισμού της υποδομής, ενώ ο Δημήτρης Χαραλαμπίδης ορίστηκε επικεφαλής επιστημονικός σύμβουλος του πυλώνα της υποδομής ELI-ALPS (Extreme Light Infrastructure – Attosecond Light Pulse Source), που ειδικεύεται στην επιστήμη αττοδευτερολέπτων.

7. Επίλογος

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 ήταν δύσκολο για κάποιον να φανταστεί ότι θα μπορούσε να δημιουργηθεί στην περιφέρεια της Ελλάδας, και πιο συγκεκριμένα στην Κρήτη, ένα ερευνητικό κέντρο αφιερωμένο στη μελέτη και εφαρμογή των λέιζερ, και στη μελέτη των μοντέρνων υλικών. Δεν είναι τυχαίο ότι οι *Financial Times*, μια από τις μεγαλύτερες εφημερίδες παγκοσμίως, αναφερόμενη στο ΙΤΕ, έγραφε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 για την «επιστημονική πλευρά της Κρήτης», μια πλευρά η οποία ήταν απρόσμενη για πολλούς.⁶³ Το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λέιζερ, ένα από τα τρία ιδρυτικά ινστιτούτα του ΙΤΕ, έχει συμβάλει από το 1983 σε πολύ μεγάλο βαθμό στη δημιουργία αυτής της «επιστημονικής πλευράς».

Από την ίδρυσή του, το ΙΗΔΛ έδωσε έμφαση όχι μόνο στη δημιουργία της, έτσι κι αλλιώς απαραίτητης, υλικοτεχνικής υποδομής, αλλά και στην προσέλκυση ανθρώπων ικανών να διεξάγουν επιστημονική έρευνα υψηλού επιπέδου. Οι ιδρυτικές μορφές του ΙΗΔΛ Ελευθέριος Οικονόμου και Παναγιώτης Λαμπρόπουλος, καταξιωμένοι ερευνητές στον χώρο τους οι ίδιοι, κατέβαλαν μεγάλη προσπάθεια για να κάνουν ελκυστικό χώρο προορισμού για τους ερευνητές ένα Ινστιτούτο που βρίσκεται

⁶³ *Financial Times*, 27 Φεβρουαρίου 1990. Η αναφορά βρίσκεται στην μπροσούρα για τα 10 χρόνια του ΙΤΕ, «10 Years FORTH». Συλλογή Ε. Ν. Οικονόμου.

στην περιφέρεια της Ευρώπης, ένα εγχείρημα κάθε άλλο παρά εύκολο, ειδικά στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Παρά τις αντιξοότητες, οι προσπάθειες αυτές πέτυχαν, καθώς στο ΙΗΔΛ εργάστηκαν και συνεχίζουν να εργάζονται ερευνητές μεγάλης αξίας, παράγοντας σημαντικό επιστημονικό έργο. Μέσω του έργου αυτού και των χρηματοδοτήσεων που έχει προσελκύσει στα 40 χρόνια λειτουργίας του, το ΙΗΔΛ έχει δημιουργήσει μια υλικοτεχνική υποδομή που το κατατάσσει στα σημαντικότερα ερευνητικά ινστιτούτα διεθνώς για την έρευνα στα λέιζερ και στην επιστήμη των υλικών, αλλά και στην Αστροφυσική μέχρι το 2019. Ως αποτέλεσμα της συνεχούς ανάπτυξής του σε ανθρώπινους και υλικούς πόρους, το ΙΗΔΛ έχει αποκτήσει κομβικό ρόλο σε πολλές ευρωπαϊκές υποδομές και ισχυρή θέση στη διεθνή κοινότητα, ενώ ερευνητές-μέλη του έχουν αποσπάσει σημαντικά διεθνή Βραβεία από διεθνείς επιστημονικές εταιρείες. Πέρα όμως από την επιστημονική κοινότητα, το ΙΗΔΛ έχει αποκτήσει αναγνωρισιμότητα και στην ελληνική κοινωνία, μέσω δραστηριοτήτων που κινούν το ενδιαφέρον των ανθρώπων, όπως για παράδειγμα η συντήρηση μνημείων και έργων τέχνης. Δεν είναι μικρός άλλωστε ο αριθμός των δημοσιευμάτων στον Τύπο ή ο τηλεοπτικός και ραδιοφωνικός χρόνος που έχει αφιερωθεί στις δραστηριότητες του ΙΗΔΛ. Δεν θα μπορούσαμε να κλείσουμε αυτό το κεφάλαιο χωρίς να αναφερθούμε στον σημαντικό ρόλο που έχει διαδραματίσει το ΙΗΔΛ στην εκπαίδευση των Ελλήνων επιστημόνων — φυσικών και όχι μόνον. Μεγάλος αριθμός φοιτητών, προπτυχιακών, μεταπτυχιακών και διδακτορικών έχει περάσει από τα εργαστήρια του Ινστιτούτου και έχει εκπαιδευτεί, διαμορφώνοντας έτσι ένα σημαντικό μέρος του επιστημονικού δυναμικού της χώρας.

Η συνολική ποιότητα του Ινστιτούτου αναδεικνύεται ακόμη περισσότερο από τις Εκθέσεις των ανεξάρτητων διεθνών Επιτροπών Αξιολόγησης του έργου του, οι οποίες ορίζονται από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Καινοτομίας (παλαιότερα «και Τεχνολογίας»). Η συγκριτική αξιολόγηση των Ινστιτούτων που έγινε το 2014 κατέταξε το ΙΗΔΛ πρώτο (1ο) μεταξύ όλων των Ινστιτούτων στην περιοχή της Φυσικής και, ταυτόχρονα, πρώτο (1ο) μεταξύ όλων των Ερευνητικών Ινστιτούτων της Χώρας βαθμολογώντας το με την μέγιστη βαθμολογία (5,0) σε όλα τα είκοσι επτά (27) κριτήρια που αξιολογήθηκαν, τα οποία συμπεριλάμβαναν θέματα ηγεσίας, αποστολής-στόχων, στρατηγικής και πολιτικής, καταλληλότητας πόρων, πολιτικής χρηματοδότησης, ποιότητας εγκαταστάσεων, ακαδημαϊκής φήμης, σχέσης με την κοινωνία, καθώς και ισορροπίας ισχυρών σημείων και αδυναμιών. Επίσης, η Επιτροπή Αξιολόγησης του 2022 έγραψε, μεταξύ άλλων, στην Έκθεση πως είδε «clear examples of world leading activity across all scientific areas within IESL», πως «IESL [ΙΗΔΛ] is a ‘jewel in the crown’ of scientific research and application within Greece», πως «Every scientific area in IESL [ΙΗΔΛ] had a number of scientists that would be judged to be inside a short (<20) list of worldwide experts of their respective fields» και πως «In general, the EC [Evaluation Committee] wishes to congratulate IESL [ΙΗΔΛ] and its Director and Group Leaders for the excellence of its performance at all these levels». Αυτή είναι η παρακαταθήκη που παραδίδεται στην επόμενη γενιά Ερευνητών και Διοίκησης ούτως ώστε, κτίζοντας πάνω της, να προχωρήσει το Ινστιτούτο ακόμη υψηλότερα στον δρόμο της Αριστείας.