Αξιότιμε εκπρόσωπε του Προέδρου της Κυβέρνησης και Γενικέ Γραμματέα Έρευνας και Καινοτομίας, κύριε Αθανάσιε Κυριαζή,

Εκπρόσωπε του Μακαριωτάτου Αρχιεπισκόπου Αθηνών και πάσης Ελλάδος, Αιδεσιμότατε Πρωτοπρεσβύτερε πατέρα Θωμά Συνοδινέ,

Εκπρόσωπε του Περιφερειάρχη Αττικής και Προέδρου του Αναπτυξιακού Οργανισμού της Περιφέρειας, κύριε Νίκο Παπαγεωργίου,

Αξιότιμε κύριε Αντιπρόεδρε της Ακαδημίας Αθηνών,

Αξιότιμε κύριε Γενικέ Γραμματέα της Ακαδημίας Αθηνών,

Αξιότιμες και αξιότιμοι συνάδελφοι,

Κυρίες και κύριοι,

Ο τίτλος της ομιλίας μου σήμερα είναι:

Το Χαμηλής Κινητικής Ενέργειας Ηλεκτρόνιο και η Σύγχρονη Επιστημονική Τεχνολογία

Λουκάς Γ. Χριστοφόρου

Ακαδημία Αθηνών

1. Εισαγωγή

Στις 29 Ιανουαρίου του 2002 πραγματοποιήθηκε η Επίσημη Υποδοχή μου στην Ακαδημία Αθηνών. Τότε, όπως και σήμερα, είχα την τιμή και τη χαρά να είναι παρόντα μέλη της Οικογενείας μου, τα οποία ευχαριστώ με ευγνωμοσύνη για την παρουσία τους.

Ο τίτλος της ομιλίας μου τότε ήταν:

«Ελεύθερα Ηλεκτρόνια: Βασικές Αντιδράσεις και Εφαρμογές».

Σήμερα, θα αναφερθώ ακόμη μια φορά, στο πρώτο στοιχειώδες σωματίδιο του μικρόκοσμου, το ηλεκτρόνιο, και θα το χρησιμοποιήσω ως παράδειγμα για να δείξω περιληπτικά πώς η κάθε ανακάλυψη στην επιστήμη οδηγεί στην επόμενη και πώς, αργά ή γρήγορα, η κάθε βασική γνώση που αποκτάται, οδηγεί σε νέες πρωτοποριακές επιστημονικές τεχνολογίες.

Το ηλεκτρόνιο ανακαλύφθηκε πριν από περίπου 125 χρόνια, το 1897, από τον J. J. Thomson. Ήταν το πρώτο σωματίδιο του μικρόκοσμου που γρήγορα αναγνωρίστηκε ως ακτίνες β, ως η βάση του ηλεκτρικού ρεύματος, και ως το κοινό συστατικό όλων των ατόμων. Ήταν το σωματίδιο που οδήγησε στο πρώτο μοντέλο του ατόμου (του ατόμου του Υδρογόνου) και στην έννοια της δυαδικότητας των σωματιδιακών και των κυματικών ιδιοτήτων των στοιχειωδών σωματιδίων.

Το ηλεκτρόνιο είναι ένα από τα πολυπληθέστερα και δραστικότερα σωματίδια στη φύση. Είναι το σωματίδιο που, πάνω από κάθε άλλο, επέτρεψε και επιτρέπει την κατανόηση της ύλης και των συστατικών της

και, ταυτόχρονα, είναι ο κόκκος της ύλης στον οποίο βασίζεται εν πολλοίς ένα μεγάλο μέρος της σύγχρονης επιστημονικής τεχνολογίας. Στην πειραματική επιστήμη, στηριζόμαστε κατά κανόνα στα σήματα που οφείλονται στα ηλεκτρόνια και, ως εκ τούτου, το ηλεκτρόνιο αποτελεί τη βάση των πειραμάτων, των μετρήσεων και της γνώσης που βασίζεται στο πείραμα.

2. Αλληλεπιδράσεις χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων με άτομα και μόρια

Όλες οι ακτινοβολίες υψηλών ενεργειών (all ionizing radiations), όταν αντιδρούν και επιδρούν με την ανόργανη και την οργανική ύλη, παράγουν σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (συνήθως μικρότερο του ενός τρισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου) τεράστιους αριθμούς χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρόνια. **Επομένως,** η κατανόηση της επίδρασης κάθε είδους ακτινοβολίας πάνω στην ύλη προϋποθέτει την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων των χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων με τα άτομα και τα μόρια της ύλης.

Οι πιθανότητες αντίδρασης (οι ενεργές διατομές, cross sections όπως αποκαλούνται) των χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων με τα άτομα και τα μόρια της ύλης εξαρτώνται από **την κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων, την εσωτερική ενέργεια των ατόμων και των μορίων με τα οποία συγκρούονται, καθώς και την κατάσταση της ύλης στην οποία η αντίδραση λαμβάνει χώρα (Εικόνα 1).**

Στη φύση, λοιπόν, τα ηλεκτρόνια είναι είτε περιορισμένα στο χώρο (όπως όταν περιστρέφονται γύρω από τους πυρήνες των ατόμων), είτε ελεύθερα (όπως όταν κινούνται με υψηλές κινητικές ενέργειες στους επιταχυντές), ή με χαμηλές και πολύ χαμηλές κινητικές ενέργειες σε χαμηλής πυκνότητας αέρια, είτε ημιελεύθερα όταν κινούνται σε ορισμένες μορφές της ύλης, είτε, επί πλέον, ως τοποθετημένα **(localized)** σε ορισμένες συμπυκνωμένες μορφές της ύλης **(Εικόνα 1)**.

Τα ηλεκτρόνια επιτρέπουν την ανακάλυψη της δομής της ύλης και, μάλιστα, χαρακτηριστικά της που δεν μπορούν να ανιχνευτούν με άλλου είδους σωματίδια, **λ.χ., με φωτόνια**.

Ας έλθουμε, λοιπόν, στις βασικές αλληλεπιδράσεις των χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων με την ύλη και τις εφαρμογές τους. Ας έλθουμε στη θεμελίωση, στην επέκταση, και στις τεχνολογικές εφαρμογές του πεδίου της αλληλεπίδρασης των ελεύθερων ηλεκτρονίων με την ύλη, όπως αυτή επιτεύχθηκε στα τελευταία 60 περίπου χρόνια, εν πολλοίς από την έρευνα τη δική μου αλλά και των συνεργατών μου. **Οι ακόλουθες εικόνες, είναι μερικά από τα βιβλία μου που περιγράφουν αυτές τις έρευνες (Εικόνες 2, 3, 4) και δείχνουν μερικούς από τους συνεργάτες μου στην εκτέλεση αυτού του είδους πειραμάτων (Εικόνα 5).**

Στον περασμένο αιώνα, τον 20^{ο}, θεωρητικές και πειραματικές μελέτες αποκάλυψαν λεπτομερώς την ποικιλία των αντιδράσεων του ηλεκτρονίου

με την ύλη. Οι μελέτες αυτές προσδιόρισαν ποσοτικά πώς κινητική ενέργεια από τα ηλεκτρόνια μεταβιβάζεται στα άτομα και τα μόρια της ύλης και πώς, ακολούθως, αυτή η ενέργεια ενεργοποιεί τα άτομα και τα μόρια και εκπέμπεται ως φως, ή ως ηλεκτρόνια χαμηλότερης κινητικής ενέργειας, ή ως άλλου είδους σωματίδια.

Οι μελέτες αυτές έδειξαν επίσης τη μεγάλη δραστικότητα των ηλεκτρονίων, κυρίως όταν οι κινητικές τους ενέργειες είναι πολύ χαμηλές, μέχρι και τις θερμικές και τις υποθερμικές (thermal and subthermal). Ενώ σε υψηλές κινητικές ενέργειες (άνω των περίπου 100 eV), η διάρκεια της σύγκρουσης του ηλεκτρονίου με τα άτομα και τα μόρια είναι πολύ μικρή και το ηλεκτρόνιο σκεδάζεται μακριά από τα άτομα και τα μόρια με τα οποία συγκρούεται.

Η επόμενη εικόνα (Εικόνα 6) δείχνει σχηματικά τους κύριους μηχανισμούς ελαστικής ή ανελαστικής σκέδασης ηλεκτρονίων από μόρια σε αυτές τις συγκρούσεις που λαμβάνουν χώρα σε απόσταση από το άτομο ή το μόριο ώστε να θεωρούνται direct **(non-resonant)**. Όταν, όμως, η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι μικρή (μικρότερη από περίπου 5.0 eV), η διάρκεια της σύγκρουσής του με τα άτομα και τα μόρια της ύλης είναι ανάλογη με τον χρόνο περιστροφής των δέσμιων ηλεκτρονίων στις ατομικές και τις μοριακές τροχιές και, **συνεπώς**, το ελεύθερο ηλεκτρόνιο μπορεί να εισέλθει στις μη κατειλημμένες (στις κενές) ηλεκτρονικές τροχιές του μορίου και να συνδεθεί προσωρινά με το μόριο αυτό, δημιουργώντας, έτσι, μετασταθή αρνητικά ιόντα, όπως

δείχνουν τα σχήματα στο άνω μέρος της Εικόνας 7. Η έμμεση σύγκρουση του ηλεκτρονίου με τα μόρια είναι δυνατόν ακόμη να οδηγήσει στην οριστική εξαφάνιση του ηλεκτρονίου ως ελεύθερου σωματιδίου και να οδηγήσει στη δημιουργία σταθερών αρνητικών ιόντων, όπως παριστάνει συμβολικά το κάτω μέρος της Εικόνας 7. Στην περίπτωση που το χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρόνιο συλλαμβάνεται προσωρινά από το άτομο ή το μόριο, η ενέργειά του είναι ίση με την ενέργεια συντονισμού και το ηλεκτρόνιο κατακρατείται προσωρινά στις τροχιές συντονισμού και ακολούθως αποδιεγείρεται με διάφορους τρόπους και με μεγάλες πιθανότητες, μεγάλες ενεργές διατομές.

Η επόμενη εικόνα (Εικόνα 8) δίνει τις πειραματικές ενεργές διατομές (τις cross sections) για τον σκεδασμό του ελεύθερου ηλεκτρονίου από το μόριο του τετραφθοριούχου άνθρακα (CF_4), με ταυτόχρονη διέγερση πυρηνικών ταλαντώσεων του μορίου, ή με ταυτόχρονη διάσπαση του μορίου, ή με ιονισμό του μορίου, ή με σύλληψη του ηλεκτρονίου από το μόριο, ή με ελαστική σκέδαση του ηλεκτρονίου, ή με άλλου είδους αντιδράσεις. Το σχήμα της συνολικής πιθανότητας σκεδασμού του ηλεκτρονίου, $\sigma_{sc,t}$, από το μόριο (η πιο υψηλή συνεχής γραμμή στην εικόνα 8) είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον, γιατί παρουσιάζει ένα σημαντικό ελάχιστο στην ολική (total) πιθανότητα σκέδασης του ηλεκτρονίου σε περίπου 0.1 eV, ενώ προς τα δεξιά του δείχνει μία τεράστια πιθανότητα σκεδασμού του ηλεκτρονίου με διέγερση του μορίου CF_4 σε πυρηνικές στάθμες ταλαντώσεως (η καμπύλη με το κόκκινο χρώμα). Έτσι, τα

ηλεκτρόνια με κινητικές ενέργειες που διεγείρουν πυρηνικές στάθμες ταλαντώσεως, σκεδάζουν τα ηλεκτρόνια στην περιοχή που η πιθανότητα σκέδασης του ηλεκτρονίου είναι ελάχιστη και, επομένως, οι ταχύτητες μετατόπισής των ηλεκτρονίων είναι μέγιστες.

Από τα δεδομένα στην Εικόνα 8, είναι προφανές ότι σε κάθε τιμή της κινητικής ενέργειας του ηλεκτρονίου αντιστοιχούν καθορισμένες πιθανότητες παραγωγής νέων σωματιδίων που διαφέρουν από αντίδραση σε αντίδραση. Η επίδραση που προκαλούν στην ύλη τα ηλεκτρόνια είναι η συνέπεια αυτών των αντιδράσεων μέσω των οποίων ενέργεια από το ηλεκτρόνιο μεταφέρεται στο μόριο και στα νέα σωματίδια που παράγονται. Η λεπτομερής πειραματική μελέτη αυτών των αντιδράσεων είναι αναγκαία τόσο για την κατανόηση της αλληλεπίδρασης ύλης και ακτινοβολίας, όσο και για τη σύγχρονη επιστημονική τεχνολογία.

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 9) παρουσιάζονται οι ενεργές διατομές, σ_{da}, για τη σύλληψη χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων από διάφορα μόρια, που οδηγεί στη διάσπαση των μορίων. Όσο μικρότερη είναι η ενέργεια συντονισμού (η ενέργεια που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της cross section για το κάθε μόριο στην Εικόνα 9), τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα σύλληψης του ηλεκτρονίου από το μόριο.

Η θεωρητική καμπύλη $πλ^2$ (κόκκινη καμπύλη στην Εικόνα 9) δίνει τη μέγιστη δυνατή τιμή της πιθανότητας σύλληψης του ηλεκτρονίου ως υλικού κύματος και δείχνει πώς οι θεωρητικές τιμές σε πολύ χαμηλές

ενέργειες συμπίπτουν (συμφωνούν) με τις πειραματικές μετρήσεις. ***Καταδεικνύουν ότι στις πολύ χαμηλές κινητικές ενέργειες, κάθε ηλεκτρόνιο έχει μέγιστη πιθανότητα σύλληψής του από τα μόρια, και κάθε ηλεκτρόνιο συλλαμβάνεται από το μόριο με πιθανότητα 100% και διασπάται.***

Οι ποσοτικές αυτές μετρήσεις είναι τεράστιας σημασίας για τη μελέτη των μηχανισμών επίδρασης των μορίων των χημικών αυτών ενώσεων με τα υλικά μόλυνσης του περιβάλλοντος. Πολλά από αυτά τα μόρια (όπως οι αλογονούχοι υδρογονάνθρακες) συλλαμβάνουν με πολύ μεγάλες πιθανότητες χαμηλής ενέργειας ηλεκτρόνια, διασπώνται με τον μηχανισμό αυτό, και τα φράγματά τους αντιδρούν με ατμοσφαιρικά μόρια που ευθύνονται για τη μόλυνση του περιβάλλοντος.

Στην Εικόνα 10 παρατηρούνται οι τεράστιες ταχύτητες μετακίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων **(drift velocities)** σε αέρια μείγματα αργού και τετραφθοριούχου άνθρακα (CF_4) σε συνάρτηση με το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Τα αέρια αυτά μείγματα είναι πολύ σημαντικά, γιατί οι ταχύτητες μετακίνησης των ηλεκτρονίων που παράγονται σε αυτά από πολύ υψηλής ενέργειας στοιχειώδη σωματίδια, είναι πολύ μεγάλες, και, επομένως, τα υλικά αυτά είναι κατ΄ εξοχήν κατάλληλα για απαριθμητές (detectors) τέτοιων σωματιδίων.

Στην εικόνα η καμπύλη (γράμματα με κόκκινο χρώμα) δείχνει το αέριο μείγμα 90% Ar + 10% CH_4 (P-10), που χρησιμοποιείτο για πολλά χρόνια

λόγω των μεγάλων ταχυτήτων μετακίνησης των ηλεκτρονίων στο υλικό αυτό που επιτρέπουν στα επιστημονικά όργανα να συλλέγουν τα ηλεκτρόνια από το κάθε είδος σωματιδίου πολύ γρήγορα, ώστε να προσδιορίζεται η θέση, η ενέργεια, το είδος και οι ιδιότητες του κάθε είδους σωματιδίου. Τα νέα ταχέα μείγματα που βασίζονται σε βασική γνώση των αντιδράσεων ατόμων του αργού και του μορίου του τετραφθοριούχου άνθρακος, αντικατέστησαν το παλιό μείγμα **P-10 γιατί τα νέα υλικά είναι πάνω από 4 φορές πιο ταχέα και πιο κατάλληλα για προσιτές τιμές του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου που χρησιμοποιείται**. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε όργανα για τη μελέτη σωματιδίων πολύ υψηλών ενεργειών και για την αναγνώριση και τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων τους.

Ανάλογα με την τιμή του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου, τέτοια αέρια, “fast gases” («ταχέα αέρια»), όπως τα αποκαλούμε, είναι τα πλέον κατάλληλα για χρήση σε απαριθμητές για τη μελέτη σωματιδίων υψηλών ενεργειών, όταν αυτά αντιδρούν με την ύλη.

3. Αλληλεπιδράσεις χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων με διεγερμένα άτομα και μόρια

Οι πιθανότητες αντίδρασης των χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων με μόρια που έχουν διεγερθεί σε στάθμες ταλαντώσεως των πυρήνων τους, ή σε διεγερμένες ηλεκτρονικές στάθμες, είναι κατά κανόνα πολύ μεγαλύτερες σε σύγκριση με τις αντίστοιχες στη θεμελιώδη

κατάσταση. Όταν η εσωτερική ενέργεια των ατόμων και των μορίων με τα οποία συγκρούονται τα χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρόνια αυξάνεται, αυξάνεται και η ενεργός διατομή αυτής της σύγκρουσης.

Οι μετρήσεις στην Εικόνα 11, δείχνουν πώς η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας των μορίων του Οξυγόνου, λόγω διέγερσης των ταλαντώσεων του μορίου του Οξυγόνου $O_2(^3\Sigma_g^-)$ οδηγεί σε σχηματισμό μετασταθών αρνητικών ιόντων του μορίου του Οξυγόνου O_2^{*-} $(^2\Pi_u)$, που διασπούν το μόριο, με αποτέλεσμα την αποτελεσματικότερη σύλληψη του ηλεκτρονίου από τα μοριακά φράγματα.

Θα συνεχίσω τονίζοντας τη βασική έρευνα γιατί επιθυμώ να παρουσιάσω δύο ακόμη κατευθύνσεις σχετικά με τις βασικές αλληλεπιδράσεις της ύλης και των ελεύθερων ηλεκτρονίων χαμηλής κινητικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, επιθυμώ να τονίσω την εξάρτηση των αλληλοεπιδράσεων όχι μόνο από την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου, αλλά και από την εσωτερική ενέργεια του διεγερμένου ατόμου ή μορίου, καθώς και από το περιβάλλον εντός του οποίου οι αντιδράσεις αυτές λαμβάνουν χώρα.

Πειραματικές μελέτες που κάνουν χρήση της φασματοσκοπίας των ηλεκτρονίων, των αρνητικών ιόντων και των παλμικών λέιζερ (pulsed lasers) έδειξαν ότι χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρόνια αντιδρούν με διεγερμένα άτομα και διεγερμένα μόρια με πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα σε σύγκριση με την αντίστοιχη πιθανότητα για αδιέγερτα άτομα και μόρια. Οι ενεργές διατομές για τη σύλληψη ηλεκτρονίων από μόρια που

έχουν διεγερθεί σε υψηλότερες ηλεκτρονικές στάθμες, ξεπερνούν σημαντικά τις ενεργές διατομές που αντιστοιχούν στην θεμελιώδη κατάσταση -- κατά παράγοντες μεγαλύτερους του ενός εκατομμυρίου. Αυτό φαίνεται από πολλά παραδείγματα, αλλά και από τα πειραματικά δεδομένα της Εικόνας 12 όπου συγκρίνονται οι ενεργές διατομές σκέδασης του ηλεκτρονίου από τη θεμελιώδη κατάσταση Ar (3^1S_0) του ατόμου του αργού (κάτω καμπύλη), καθώς και από την πρώτη διεγερμένη ηλεκτρονική στάθμη $Ar^*(4\ ^3P_2)$ του ατόμου του αργού (άνω καμπύλη).

Στην επόμενη Εικόνα (Εικόνα 13), το δεξιό μέρος της, δείχνει αντιπροσωπευτικές μετρήσεις ενεργών διατομών για τη σκέδαση ηλεκτρονίων από το διεγερμένο άτομο του αργού $Ar^*(4^3P_2)$ και από το αδιέγερτο Ar (3^1S_0) άτομο του αργού.

Στο αριστερό μέρος της Εικόνας 13, παρουσιάζονται τα πρώτα πειραματικά δεδομένα που αφορούν στη σύλληψη ηλεκτρονίων από μόρια διεγερμένα με λέιζερ στην πρώτη ηλεκτρονική στάθμη $C_6H_5SH^*(T_1)$ και με τα αντίστοιχα αδιέγερτα οργανικά μόρια της Βενζενοθειόλης (C_6H_5SH). Τα μόρια διεγείρονται με λέιζερ στην πρώτη ηλεκτρονική στάθμη και συλλαμβάνουν ηλεκτρόνια με ενεργειακές διατομές μέχρι 100,000 φορές μεγαλύτερες από τα αντίστοιχα μόρια στη θεμελιώδη κατάσταση.

Η βασική γνώση πάνω στις αντιδράσεις των ελεύθερων ηλεκτρονίων με τα μόρια που βρίσκονται υπό την επίδραση εξωτερικών ηλεκτρικών

πεδίων, επιτρέπει τον προσδιορισμό των πλέον κατάλληλων συνθηκών για την παραγωγή των κρίσιμων για την συγκεκριμένη παραγωγή σωματιδίων λ.χ., στο πλάσμα. Στην ίδια γνώση βασίζεται και η τεχνολογία υλικών (αερίων στην προκειμένη περίπτωση) για χρήση στους ανιχνευτές και στους επιταχυντές σωματιδίων, στα λέιζερ, κ.λπ. **Το πλέον ουσιώδες στοιχείο των εφαρμογών αυτών, είναι η δυνατότητα που μας παρέχει η βασική έρευνα να ρυθμίζουμε τις ενέργειες και τους αριθμούς των ελεύθερων ηλεκτρονίων στα υλικά τα οποία βρίσκονται υπό την επίδραση εξωτερικών ηλεκτρικών πεδίων.**

Ένα σχετικό χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το λέιζερ του διοξειδίου του άνθρακος (CO_2) που είναι λέιζερ υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όπως δείχνει η Εικόνα 14, το μόριο του CO_2 διεγείρεται πρώτα στη στάθμη ταλάντωσης 00^01 από την αποδιέγερση της οποίας προέρχονται οι δύο υπέρυθρες ακτινοβολίες του λέιζερ του CO_2. Από την αποδιέγερση της στάθμης 00^01 που καταλήγει στη στάθμη 10^00 εκπέμπεται η ακτινοβολία 10,4 μ -- και από την αντίστοιχη που καταλήγει στη στάθμη 02^00 -- εκπέμπεται η ακτινοβολία 9,4 μ, όπως δείχνουν τα κόκκινα βέλη στην Εικόνα 14.

Η απόδοση του λέιζερ εξαρτάται κρίσιμα από την δυνατότητα διέγερσης του μορίου του CO_2 στη στάθμη 00^01, η οποία επιτυγχάνεται μέσω των συγκρούσεων των ελεύθερων ηλεκτρονίων με τα μόρια του διοξειδίου του άνθρακος. **Η γνώση των ενεργών διατομών για εκείνες τις αντιδράσεις των ελεύθερων ηλεκτρονίων, που διεγείρουν το μόριο**

του CO_2 στη στάθμη η οποία εκπέμπει την ακτινοβολία του λέιζερ, αποτελεί τη βάση για την αποδοτικότερη λειτουργία του λέιζερ.

Ένας αποτελεσματικός τρόπος υποδεικνύεται στα δεξιά της Εικόνας 14. Η ενέργεια της στάθμης 00^01 του CO_2 είναι σχεδόν ίση με την ενέργεια ταλάντωσης του μορίου του Αζώτου (N_2) στην πρώτη στάθμη ταλάντωσης, ν_1, του μορίου του Αζώτου. Λόγω της ενεργειακής αυτής σύμπτωσης, τα διεγερμένα μόρια του Αζώτου N_2^* σε αυτή τη στάθμη ταλάντωσης όταν συγκρουσθούν με τα αδιέγερτα μόρια του CO_2 μεταφέρουν την ενέργειά τους στα μόρια του CO_2 και τα διεγείρουν στην στάθμη 00^01 που εκπέμπει την ακτινοβολία του λέιζερ.

Επομένως, θα μπορούσε να επιτευχθεί ένα λέιζερ του CO_2 με πολύ μεγαλύτερη απόδοση εάν χρησιμοποιείτο αντί καθαρό CO_2, μείγμα CO_2 και N_2 και εάν υπήρχε κατάλληλος τρόπος να παραχθεί στο αέριο αυτό, ένα μείγμα από διεγερμένα μόρια Αζώτου στην πρώτη στάθμη ταλάντωσής, $N_2^*(\nu = 1)$, του μορίου.

Οι αντιδράσεις στο κάτω μέρος της Εικόνας 15 δείχνουν την εφαρμογή της βασικής αυτής γνώσης σε αυτήν την τεχνολογία. Στην ηλεκτρική εκκένωση που γίνεται στο αέριο μείγμα CO_2 + N_2 ρυθμίζεται το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο και η πυκνότητα του αερίου μείγματος, έτσι ώστε η πλειονότητα των ελεύθερων ηλεκτρονίων που παράγονται να έχουν τις κατάλληλες κινητικές ενέργειες να δημιουργούν μετασταθή αρνητικά ιόντα του Αζώτου N_2^{-*} ($^2\Pi_g$), τα οποία, όταν αποδιεγερθούν

παράγουν μόρια Αζώτου διεγερμένα στην πρώτη στάθμη ταλάντωσης, ν_1 του μορίου. Τα διεγερμένα αυτά μόρια του αζώτου N_2^* (ν=1), συγκρουόμενα ακολούθως με τα αδιέγερτα μόρια του CO_2 μεταφέρουν την ενέργειά τους σε αυτά διεγείροντάς τα στη στάθμη CO_2^* (00^01), η οποία εκπέμπει την υπέρυθρη ακτινοβολία του CO_2 λέιζερ, όπως δείχνει η Εικόνα 14.

Αυτή η εξαιρετικά αποδοτική μεταφορά ενέργειας από την ηλεκτρική εκκένωση, μέσω των ελεύθερων ηλεκτρονίων και του μετασταθούς αρνητικού ιόντος του αζώτου, στη στάθμη $CO_2^*(00^01)$ του CO_2 , η οποία εκπέμπει την ακτινοβολία του λέιζερ είναι η βάση της λειτουργίας του περίφημου λέιζερ του CO_2, που βρίσκει μεγάλο αριθμό εφαρμογών στην έρευνα και μάλιστα στην ιατρική. **Το λέιζερ αυτό αποκαλείται λέιζερ του CO_2, είναι όμως, ουσιαστικά, λέιζερ του μείγματος $CO_2 + N_2$.**

Η λεπτομερής μελέτη των αντιδράσεων χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων με διεγερμένα άτομα και μόρια αποκαλύπτει νέα χαρακτηριστικά της ηλεκτρονικής δομής του ατόμου και του μορίου, όπως την ισχύ των κβαντικών κανόνων επιλογής. Η μελέτη αυτή δείχνει, επίσης, ότι οπτικά μέσα (λ.χ., παλμικοί λέιζερ, pulsed lasers) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταχεία μεταλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών, κυρίως **των ηλεκτρικών ιδιοτήτων** των υλικών (όπως, για παράδειγμα, την κατά βούληση μετατροπή των υλικών από αγώγιμα σε μονωτικά και από μονωτικά σε αγώγιμα, σε χρονικά διαστήματα της τάξης του ενός δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου 10^{-9} s).

Η συστηματική μελέτη των έμμεσων αντιδράσεων των χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων και η βασική γνώση που έχει επιτευχθεί οδήγησε και στην κατανόηση των αλληλεπιδράσεων ύλης και ακτινοβολίας γενικότερα, καθώς και στους μηχανισμούς της βλάβης που προκαλούν οι διάφορες ακτινοβολίες στην ανόργανη και την οργανική ύλη. **Μάθαμε, για πρώτη φορά, τους μηχανισμούς των έμμεσων συγκρούσεων των ηλεκτρονίων με τα μακρομόρια των οργανικών συστημάτων, που οδηγούν στη διάσπαση των μακρομορίων και στην επακόλουθη βιολογική βλάβη.**

Στην επόμενη Εικόνα (Εικόνα 16), παρουσιάζεται σχηματικά ένας τέτοιος μηχανισμός και πειραματικά δεδομένα του μηχανισμού βιολογικής βλάβης που προκαλεί στο μόριο του *DNA* η σύγκρουσή του με ηλεκτρόνιο χαμηλής κινητικής ενέργειας. Οι έμμεσες συγκρούσεις αποτελούν τους διαύλους μέσω των οποίων ελεύθερα ή ημιελεύθερα ηλεκτρόνια συλλαμβάνονται προσωρινά από τα μακρομόρια. Αν και ασφαλώς, οι μηχανισμοί επηρεάζονται από το βιολογικό περιβάλλον, εν τούτοις οι έμμεσες συγκρούσεις των ηλεκτρονίων με τα βιολογικά μόρια, συνιστούν βασικούς μηχανισμούς μέσω των οποίων ενέργεια από τις διάφορες ακτινοβολίες διοχετεύεται στην οργανική ύλη.

Τα χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρόνια εισέρχονται στο *DNA* με μεγάλες πιθανότητες **έμμεσα**, μέσω των μετασταθών αρνητικών ιόντων των μοριακών μονάδων του *DNA* και προκαλούν διάσπαση των μονών και διπλών δεσμών του *DNA*. Αυτή η βλάβη προκαλείται από την ταχεία

αποδιέγερση των μοριακών συντονισμών στα συστατικά του *DNA*, όπως δείχνει η Εικόνα 17 στην περίπτωση, A, του μορίου της Θυμίνης (Thymine), ή στην περίπτωση, C, του μορίου της Τετραυδροφουρφουρυλικής Αλκοόλης (Tetrahydrofurfuryl Alcohol) στη δεξιά μεριά της Εικόνας 17).

Τα ηλεκτρόνια έχουν χαρακτηριστικές τιμές κινητικής ενέργειας ίσες με τις ενέργειες συντονισμού των μονάδων αυτών. Η ενέργειά τους μεταφέρεται ταχέως από τα ηλεκτρόνια στις μοριακές μονάδες του *DNA* και προκαλεί τη διάσπασή τους και την επακόλουθη απλή (μονή) ή διπλή θραύση των δεσμών της έλικας του *DNA*, με αποτέλεσμα τη βιολογική βλάβη.

Στο αριστερό μέρος της Εικόνας 17, δίδονται οι αντίστοιχες πειραματικές μετρήσεις εκεί που η πιθανότητα τέτοιου μηχανισμού, σε συνάρτηση με την ενέργεια του ηλεκτρονίου, δείχνει αντίστοιχα τη βλάβη που προκαλείται στο μόριο του *DNA* με τη διάσπαση των μονών ή διπλών δεσμών (breaking of single or double bonds) του μορίου του *DNA*. **Μάθαμε, λοιπόν, κυρίες και κύριοι, ότι πολύ χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρόνια προκαλούν σοβαρή βλάβη στο *DNA* και ότι η βλάβη αυτή από τα χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρόνια εξαρτάται από την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου. Προφανώς, οι μελέτες αυτές συνιστούν φυσικό υπόβαθρο βασικής γνώσης για τη βιολογία και τη βιοιατρική.**

4. Τεχνολογίες σχηματισμού παλμών (pulses) ηλεκτρικής τάσεως και αλλαγής (switching) των ηλεκτρικών ιδιοτήτων υλικών.

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 18) παρουσιάζονται τα κατάλληλα σχήματα που πρέπει να έχει η πιθανότητα σύλληψης ηλεκτρονίων k_a (*E/N*) (δεξιά της κάτω εικόνας), και η ταχύτητα μετακίνησης των ηλεκτρονίων w (*E/N*) (αριστερά της κάτω εικόνας) σε ένα αέριο μείγμα, ώστε να είναι κατάλληλο για την ταχεία μεταλλαγή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του αερίου από την αγώγιμη (conducting) φάση στην μονωτική (opening) φάση (stage) και αντιστρόφως. Στην Εικόνα 18 (κάτω μέρος) δίδονται τα κατάλληλα χαρακτηριστικά σε ό,τι αφορά τις ενεργειακές διατομές σύλληψης των ηλεκτρονίων και της μετακίνησής των. Στην Εικόνα 18, δίδονται επίσης αντιπροσωπευτικές τιμές του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου στην αγώγιμη και τη μονωτική φάση.

Βλέπει κανείς πώς μπορεί να χρησιμοποιήσει δεδομένα πάνω στις μετακινήσεις και τις συλλήψεις χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων συναρτήσει του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου (*E/N*), για να μεταπηδήσει το υλικό με μεγάλη συχνότητα ($>10^6$ Hz), από αγώγιμο σε μονωτικό και αντιστρόφως. Τα αναγκαία χαρακτηριστικά του υλικού στην αγώγιμη (conducting) φάση (stage) είναι: μέγιστη ταχύτητα μετακίνησης των ηλεκτρονίων w (*E/N*), μέγιστη ενεργός διατομή για παραγωγή επί πλέον ηλεκτρονίων με ιονισμό των μορίων, μικρή πιθανότητα σύλληψης των ηλεκτρονίων από τα μόρια, καθώς και μικρή

πιθανότητα επανασύνδεσης (recombination) των ηλεκτρονίων και των θετικών ιόντων.

Στη μονωτική φάση (Opening stage of the switch) (δεξιά, μεγάλες τιμές του *E/N*): η ταχύτητα μετατόπισης των ηλεκτρονίων (drift velocity) πρέπει να είναι ελάχιστη, η σύλληψη των ηλεκτρονίων πρέπει να είναι μέγιστη και η τιμή της ηλεκτρικής τάσης στην οποία γίνεται η μετάβαση από την μονωτική στην αγώγιμη φάση πρέπει να είναι μεγάλη.

Εάν, κυρίες και κύριοι, η βασική έρευνα είναι δύσκολη, η μετάβαση από τη βασική στην εφαρμοσμένη έρευνα είναι ακόμη δυσκολότερη. **Στην πρώτη, μελετάμε όλες τις δυνατότητες που πηγάζουν από τη βασική έρευνα, στη δεύτερη συνήθως επιλέγουμε την πλέον πιθανή δυνατότητα.** Και οι δύο, επιβάλλουν υπομονή και επιμονή. Και στις δύο δραστηριότητες το χαμηλής ενέργειας ηλεκτρόνιο παραμένει το κρίσιμο σωματίδιο.

Στη βάση, λοιπόν, των πλέον προχωρημένων τεχνολογικών κατευθύνσεων (“bio”, “nano”, και “info” τεχνολογίες όπως συχνά αποκαλούνται) βρίσκεται το χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρόνιο και η λεπτομερής κατανόηση της αλληλεπίδρασής του με τα άτομα και τα μόρια της ύλης. Για παράδειγμα, οι βασικές αντιδράσεις του ηλεκτρονίου με τα άτομα και τα μόρια, βρίσκουν άμεση εφαρμογή στους τομείς της τεχνολογίας που χρησιμοποιούν πηγές ψυχρού, χαμηλής πυκνότητας

πλάσματος (cold, low density, non-equilibrium plasmas), όπως η τεχνολογία των μικροηλεκτρονικών, των ημιαγωγών και άλλων.

Στην ίδια βασική γνώση στηρίζεται και η τεχνολογία υλικών για χρήση στους ανιχνευτές και επιταχυντές σωματιδίων, στα λέιζερ τα οποία στηρίζονται σε ηλεκτρικές εκκενώσεις, στα αέρια διηλεκτρικά που χρησιμοποιούνται στη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνες 19, 20), κ.ο.κ.

Επιτρέψτε μου, όμως, να σταθώ για λίγο ακόμη στην εφαρμογή της βασικής γνώσης πάνω στις αντιδράσεις ελεύθερων ηλεκτρονίων με μόρια. Αυτή η γνώση οδήγησε σε μία άλλη, εντελώς νέα τεχνολογία για τη μεταφορά και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση διηλεκτρικών (μονωτικών) αερίων. Μία τέτοια «ηλεκτρική γραμμή» υψηλής τάσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 19. Ο αγωγός υψηλής τάσης βρίσκεται εντός του γειωμένου σωλήνα και η μεταξύ τους ηλεκτρική μόνωση επιτυγχάνεται με διηλεκτρικό αέριο σε πίεση γύρω στις 4 ατμόσφαιρες. Τέτοιου είδους γραμμές, μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια σε πολύ υψηλές τάσεις και λιγοστεύουν έτσι σημαντικά τις θερμικές απώλειες. Η χρήση τους γίνεται σήμερα σε όλο τον κόσμο.

Η νέα αυτή τεχνολογία μεταφοράς ηλεκτρισμού έγινε δυνατή διότι η πειραματική φυσική ανακάλυψε και μελέτησε τις βασικές αντιδράσεις ελεύθερων ηλεκτρονίων με μόρια, μέτρησε ποσοτικά και λεπτομερώς τις αντίστοιχες ενεργές διατομές και με υπόβαθρο αυτή τη γνώση,

προσδιόρισε τις ιδιότητες των υλικών που τα κάνουν κατάλληλα ως μονωτικά υψηλής ηλεκτρικής τάσης. **Έκανε, έτσι, ο επιστήμονας της πειραματικής φυσικής, επιτυχώς, τη μετάβαση από τη βασική έρευνα στην εφαρμογή της.**

Η Εικόνα 19 συνοψίζει τη βασική θεμελίωση της νέας τεχνολογίας που χρησιμοποιεί στην προκειμένη περίπτωση μονωτικά αέρια σε υψηλές πιέσεις (γύρω στις 4-5 ατμόσφαιρες). Οι μονωτικές ιδιότητες των αερίων εξαρτώνται από τη συμπεριφορά των ελεύθερων ηλεκτρονίων που πάντοτε βρίσκονται σε αυτά, και που προέρχονται από διάφορες πηγές, κυρίως από τη φυσική ραδιενέργεια. Όταν στον αγωγό της Εικόνας 19, η ηλεκτρική τάση και επομένως το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο αυξάνει, αυξάνεται και η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων στο μονωτικό υλικό του σωλήνα που περιέχει τον αγωγό. Σε μία ορισμένη τιμή της ηλεκτρικής τάσης, ένα μικρό ποσοστό (α΄΄) των ελεύθερων ηλεκτρονίων στο μονωτικό αέριο αποκτά κινητικές ενέργειες ικανές να ιονίσουν τα μόρια του αερίου, οπότε, ο αριθμός των ηλεκτρονίων πολλαπλασιάζεται γρήγορα, έτσι ώστε το αέριο να μετατρέπεται από μονωτικό σε αγώγιμο, προκαλώντας βραχυκύκλωμα. **Το πλέον κατάλληλο μονωτικό αέριο είναι εκείνο στο οποίο η μετατροπή αυτή στις ηλεκτρικές του ιδιότητες (από μονωτικό σε αγώγιμο) γίνεται σε όσο το δυνατό υψηλότερη ηλεκτρική τάση.**

Τέτοια μονωτικά αέρια, μας λέει η πειραματική φυσική, πρέπει να έχουν μικρή ενεργό διατομή για ιονισμό του αερίου, ώστε να παράγονται

λιγότερα νέα ελεύθερα ηλεκτρόνια, πρέπει να έχουν μεγάλη πιθανότητα για σύλληψη των ελεύθερων ηλεκτρονίων ώστε αυτά να συλλαμβάνονται και να απομακρύνονται από το αέριο. Και, επειδή πάλι γνωρίζουμε από την πειραματική φυσική, πως όσο πιο μικρή είναι η κινητική ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα ιονισμού και τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα σύλληψής τους από τα μόρια, το μονωτικό αέριο πρέπει να σκεδάζει τα ηλεκτρόνια από υψηλές σε χαμηλές κινητικές ενέργειες πολύ αποτελεσματικά. Όσο οι κινητικές ενέργειες των ελεύθερων ηλεκτρονίων στο αέριο είναι χαμηλές (όπως δείχνει η Εικόνα 19) τόσο η σύλληψή τους από τα μόρια του αερίου είναι μεγαλύτερη της παραγωγής τους και το αέριο παραμένει μονωτικό.

Με βάση τα πειραματικά δεδομένα καθορίστηκαν άριστα μονωτικά αέρια, όπως το εξαφθοριούχο θείο (SF_6), καθώς και συνδυασμοί αερίων, όπως μείγματα SF_6/N_2, που το ένα αέριο (το N_2) σκεδάζει τα ηλεκτρόνια στις θερμικές ενέργειες και το άλλο (το SF_6) τα συλλαμβάνει με πολύ μεγάλη ικανότητα. Το SF_6 είναι ένα άριστο μονωτικό υλικό, είναι όμως πολύ βλαβερό για το περιβάλλον. Για αυτό, σχεδιάστηκαν μείγματα SF_6 και N_2 (το άζωτο είναι αδρανές αέριο) — και συγκεκριμένα, το μείγμα 80% N_2 + 20% SF_6 το οποίο έχει άριστες μονωτικές ιδιότητες και περιορισμένες περιβαλλοντικές επιδράσεις. Η επόμενη εικόνα (Εικόνα 20) δείχνει τέτοιες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας τοποθετημένες σε σήραγγα και μονωμένες με το διηλεκτρικό αέριο μείγμα 80% N_2 + 20% SF_6. Η τεχνολογία αυτή έχει αναπτυχθεί σημαντικά

παγκοσμίως. Η χρήση μονωτικών αερίων σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, έχει φτάσει τάσεις μέχρι 1.5 MV.

Το ηλεκτρόνιο, είναι βασικό στοιχείο σε ό,τι αφορά στην ενέργεια και μάλιστα στην ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό διαφαίνεται και από τις εργασίες στις Ημερίδες που διοργάνωσε η Επιτροπή Ενέργειας της Ακαδημίας Αθηνών για την ενέργεια στα τελευταία 17 χρόνια. Διαφαίνεται, επίσης, και από τα αποτελέσματα της μακράς βασικής έρευνας της ομάδας μου στις ΗΠΑ και τις εφαρμογές αυτών των βασικών αποτελεσμάτων, όπως περιγράφονται στους 10 τόμους των Πρακτικών των 10 διεθνών συνεδρίων με τίτλο «Gaseous Dieletrics” (Εικόνες 21, 22).

Πήγαμε, λοιπόν, μεθοδικά και συστηματικά από τη βασική έρευνα στις εφαρμογές της. Κατανοήσαμε, όχι μόνο νέες ιδιότητες της ύλης, αλλά θέσαμε τις βάσεις για τις τελευταίες τεχνολογίες, που ακόμη συνεχίζουν.

Και αυτό δεν είναι παρά ένα μικρό μέρος της γνώσης που αποκτήσαμε και αποκτούμε με τη χρήση ενός σωματιδίου, του ηλεκτρονίου, και των τεχνολογιών που προκύπτουν από την εφαρμογή σχετικής επιστημονικής γνώσης από τη δική μας μακροχρόνια έρευνα.

Το κάθε βήμα, η κάθε ανακάλυψη, χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται ως σκαλοπάτι για το επόμενο βήμα, στην αέναη πορεία της επιστημονικής έρευνας για νέα γνώση και για νέα επιστημονική τεχνολογία.

Στην Εικόνα 23 συνοψίζονται οι αλληλεπιδράσεις χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων, μέσω των οποίων μπορούν να ελεγχθούν οι

ενέργειες των ηλεκτρονίων, καθώς και οι πυκνότητές τους στα υλικά. Ομοίως, στην Εικόνα 24 συνοψίζονται οι αλληλεπιδράσεις ηλεκτρονίων με υλικά για τον έλεγχο της ενέργειας και του αριθμού των φορτισμένων σωματιδίων στην ύλη υπό την επίδραση εξωτερικών ηλεκτρικών πεδίων

5. Η Φυσική της Ενδιάμεσης Κατάστασης της Ύλης (Interphase Physics)

Οι μελέτες που πολύ περιληπτικά περιέγραψα εκτελούνται συνήθως κάτω από συνθήκες υψηλού κενού, όπου οι αντιδράσεις είναι μεμονωμένες, ώστε ένα ηλεκτρόνιο αντιδρά με ένα μόνο άτομο ή μόριο. Τίθεται λοιπόν το οξύ ερώτημα: πώς η γνώση που αποκτά ο φυσικός επιστήμονας πάνω στις στοιχειώδεις αλληλεπιδράσεις ύλης και ακτινοβολίας κάτω από μεμονωμένες συνθήκες συνδέεται με τη γνώση πάνω στη συμπεριφορά των αντιδράσεων αυτών μέσα στην πυκνή ύλη; Στην αναζήτηση απάντησης, η σύγχρονη επιστήμη χάραξε ένα νέο πεδίο που αποβλέπει στην ενοποίηση της γνώσης στις διάφορες καταστάσεις της ύλης (Εικόνα 25).

Το νέο αυτό πεδίο που ονομάσαμε Φυσική της Ενδιάμεσης Κατάστασης της Ύλης (Interphase Physics), ακολουθεί δύο γενικές κατευθύνσεις: (1) τη μελέτη αλλαγής των ατομικών και των μοριακών ιδιοτήτων και των αντιδράσεων με την αύξηση του αριθμού των ατόμων ή των μορίων σε συμπλέγματα (σε clusters), και (2) τη μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων και των αντιδράσεων υπό συνθήκες κενού, μέσα σε αέρια χαμηλών, υψηλών

και πολύ υψηλών πιέσεων, και μέσα στην υγρά και στη στερεά κατάσταση της ύλης. ***Στην πρώτη κατεύθυνση, η ενδιάμεση περιοχή της ύλης καλύπτεται με τη συστηματική αύξηση του μεγέθους των συμπλεγμάτων (των clusters). Στη δεύτερη περίπτωση, οι βασικές αντιδράσεις και ιδιότητες μελετώνται μεμονωμένα και ακολούθως σε περιβάλλοντα με πυκνότητες που καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή από το κενό ως την υγρά και τη στερεά κατάσταση.*** Η Εικόνα 25 δείχνει την αρχή αυτών των ερευνών που έχουν σκοπό την ενοποίηση της γνώσης στις διάφορες καταστάσεις της ύλης.

Η έρευνα αυτή, αποκαλύπτει τους χαρακτηριστικούς τρόπους με τους οποίους το είδος, η πυκνότητα και η κατάσταση της ύλης επηρεάζουν τους βασικούς μηχανισμούς αλληλεπίδρασης ύλης και ακτινοβολίας.

Ας δώσουμε ένα από τα πλέον απλά παραδείγματα: την ελαστική σκέδαση του ηλεκτρονίου από το άτομο του ξένου (Xe), όταν το ηλεκτρόνιο και το άτομο του ξένου συγκρούονται μεμονωμένα και όταν η σύγκρουσή τους λαμβάνει χώρα στη συμπυκνωμένη ύλη (σε υγρό ξένο). Η αντίδραση παρουσιάζει τεράστιες διαφορές όπως δείχνουν οι ενεργές διατομές (οι cross sections) στην Εικόνα 26 για το αέριο και για το υγρό ξένο. Η ενεργός διατομή που στην αέρια κατάσταση χαρακτηρίζεται από την καμπύλη σ_{mG} (κόκκινο χρώμα, ένθετο σχήμα) στη συμπυκνωμένη κατάσταση συμπεριφέρεται όπως δείχνει η καμπύλη $\sigma_{m,L}$ (**πράσινο χρώμα, ένθετο σχήμα**). Οι διαφορές αυτές στις ενεργές διατομές προκαλούν ουσιώδεις μεταβολές στις ηλεκτρικές ιδιότητες των

υλικών, λ.χ. του αερίου και του υγρού ξένου. Για παράδειγμα, λόγω των διαφορών αυτών βλέπουμε (Εικόνα 26) στην προκειμένη περίπτωση, πώς οι ταχύτητες μετατόπισης (drift velocities) των ελεύθερων ηλεκτρονίων στο υγρό ξένο να είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές στο αέριο ξένο. Το εκ πρώτης όψεως παράδοξο αυτό αποτέλεσμα, δεν είναι παρά ένα από τα πολλά παραδείγματα των μεγάλων αλλαγών που επιφέρει το είδος, η πυκνότητα και η μορφή της ύλης στις αλληλεπιδράσεις ηλεκτρονίων και ατόμων ή μορίων, ***αλλαγές που σε άλλου είδους υλικά είναι ακριβώς οι αντίθετες, όπως και οι εφαρμογές τους.***

Παρόμοιες έρευνες στις αντιδράσεις χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίων σε όλο το φάσμα της ενδιάμεσης κατάστασης της ύλης από πολύ χαμηλές πυκνότητες αέρια υλικά, μέχρι τη συμπυκνωμένη κατάσταση της ύλης έχουν γίνει και υπήρξαν βασικότατες στην ανεύρεση νέων ιδιοτήτων και νέων εφαρμογών της ενδιάμεσης κατάστασης της ύλης.

Αξίζει να αναφερθεί, τελικά, εκτός από την περίπτωση του αερίου και του υγρού ξένου στην οποία αναφέρθηκα, ένα ακόμη κλασσικό παράδειγμα: η σύγκριση της συμπεριφοράς του αερίου και του υγρού τετραμεθυλιούχου πυριτίου ($Si(CH_3)_4$) (Εικόνα 27).

Εδώ, ενώ στα αέρια υλικά, όπως στην περίπτωση του ξένου, συνήθως, τα ηλεκτρόνια έχουν μεγαλύτερες ταχύτητες μετατόπισης στην αέρια κατάσταση από ότι στην αντίστοιχη υγρά κατάσταση, στην περίπτωση

ορισμένων υλικών όπως το τετραμεθυλιούχο πυρίτιο ($Si(CH_3)_4$) αυτό αντιστρέφεται. Έτσι, το υγρό τετραμεθυλιούχο πυρίτιο ($Si(CH_3)_4$) είναι πολύ καλύτερο από το αντίστοιχο αέριο τετραμεθυλιούχο πυρίτιο σε πολλές εφαρμογές. Λόγου χάρη, στο υγρό τετραμεθυλιούχο πυρίτιο οι ταχύτητες μετατόπισης των ηλεκτρονίων είναι πολύ μεγαλύτερες από ό,τι στο αντίστοιχο αέριο και χρησιμοποιείται το υλικό αυτό σε θερμοκρασία δωματίου στους απαριθμητές για τη μελέτη στοιχειωδών σωματιδίων πολύ μεγάλων ενεργειών.

Συνοψίζοντας, κυρίες και κύριοι, επιθυμώ να τονίσω: πρώτον (1), ότι η μελέτη της αλληλεπίδρασης ελεύθερων ηλεκτρονίων χαμηλής κινητικής ενέργειας με αδιέγερτα και διεγερμένα άτομα και κυρίως με αδιέγερτα και διεγερμένα μόρια είναι κατάμεστη από νέα βασική γνώση και δυνατότητες για νέες επιστημονικές τεχνολογίες, και, δεύτερον (2), ότι η σύγχρονη προσπάθεια για ενοποίηση της γνώσης μας στον τομέα αυτό, σε όλες τις καταστάσεις της ύλης, υπόσχεται τη διείσδυση της φυσικής επιστήμης στο δύσκολο, αλλά ουσιώδη τομέα, της βιολογίας και της βιοιατρικής.

Τελικά, κυρίες και κύριοι, μπορώ να πω ότι η σύγχρονη επιστήμη πρόσθεσε και προσθέτει στον πολιτισμό μας μία ενιαία και ιδιαίτερα μεγαλοπρεπή εικόνα του φυσικού κόσμου -- πλούτισε τη γνώση και τη διανόησή μας και άνοιξε μπροστά μας ένα κόσμο απεριόριστης ομορφιάς και περιπέτειας. Ταυτόχρονα, η εφαρμογή της επιστημονικής γνώσης, οδήγησε και οδηγεί σε επιστημονικές τεχνολογίες απίστευτων

δυνατοτήτων, για το καλό ή το κακό της ανθρωπότητας, που άλλαξαν και αλλάζουν ριζικά τη ζωή μας.

Η διπλή αυτή επίδραση της επιστήμης – στη διανόηση και στη θεώρηση του φυσικού κόσμου και της ζωής αφενός, και στην εξυπηρέτηση των υλικών αναγκών του ανθρώπου αφετέρου – ριζώνει την επιστήμη βαθιά στην κοινωνία και επιβάλλει στον επιστήμονα, παράλληλα με την υποχρέωσή του στην επιστημονική αλήθεια, το καθήκον του στον άνθρωπο.

Σας ευχαριστώ.