

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΤΑΚΤΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 29^{ΗΣ} ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2002

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΟΥ ΠΕΡΓΑΜΟΥ ΙΩΑΝΝΟΥ (ΖΗΖΙΟΥΛΑ)

ΕΠΙΣΗΜΗ ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ κ. ΛΟΥΚΑ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥ

ΧΑΙΡΕΤΙΣΜΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΕΔΡΟ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ
ΣΕΒΑΣΜΙΩΤΑΤΟ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΗ ΠΕΡΓΑΜΟΥ κ. ΙΩΑΝΝΗ (ΖΗΖΙΟΥΛΑ)

Ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ὑποδέχεται σήμερα μεῖ ιδιαίτερη χαρὰ καὶ τιμὴ ὡς τακτικὸ μέλος τῆς τὸν διαπρεπῆ ἐπιστήμονα κ. Λουκᾶ Χριστοφόρου, τὸν ὁποῖον τὸ σῶμα τῆς Ὀλομελείας τῆς ἐξέλεξε στὴν ἔδρα τῆς Πειραματικῆς Φυσικῆς κατὰ τὸ παρελθὸν ἔτος.

Ὁ νέος ἀκαδημαϊκός, γέννημα τῆς ἱστορικῆς ὅσο καὶ μαρτυρικῆς μεγαλονήσου Κύπρου, μετὰ ἀπὸ λαμπρὲς σπουδὲς στὴν Ἑλλάδα καὶ τὴ Μ. Βρετανία, διέπρεψε ὡς ἐρευνητῆς καὶ πανεπιστημιακὸς καθηγητῆς στὶς Ἡνωμένες Πολιτεῖες τῆς Ἀμερικῆς καὶ σὲ ἄλλα περιώνυμα ἐπιστημονικὰ κέντρα τῆς ἀλλοδαπῆς, ἀπέσπασε δὲ διακρίσεις ἀπὸ τὴν διεθνῆ ἐπιστημονικὴ κοινότητα, οἱ ὁποῖες τιμοῦν μεγάλως τὸν ἴδιο, ἀλλὰ καὶ τὸ ἑλληνικὸ ὄνομα.

Γιὰ τὸ πλούσιο ἐπιστημονικὸ του ἔργο καὶ τὴν ὄλη σταδιοδρομία του θὰ ὁμιλήσει εὐθὺς ἀμέσως ἀρμόδιος πρὸς τοῦτο ἀκαδημαϊκός. Ὡς Πρόεδρος τῆς Ἀκαδημίας ἔχω τὴ μεγάλη χαρὰ νὰ σᾶς ὑποδεχθῶ ἐκ μέρους τῆς Ὀλομελείας τῆς, κύριε συνάδελφε, κατὰ τὴν ἐπίσημη αὐτὴ στιγμή, νὰ σᾶς συγχαρῶ ἀπὸ καρδίας γιὰ τὴν ἐκλογή καὶ συμπερίληψή σας μεταξὺ τῶν τακτικῶν μελῶν τοῦ ἀνωτάτου πνευματικοῦ ἰδρύματος τῆς χώρας μας, καὶ νὰ σᾶς περιβάλω μετὰ τὸ μεγάλο διάστημα τῆς Ἀκαδημίας.

Εὐχομαι ὁ Θεὸς νὰ σᾶς χαρίζει ὑγεία καὶ δύναμη, γιὰ νὰ διακονήσετε τὴν ἐπιστήμη μετὰ τὴν ἴδια πάντοτε ἐπιτυχία καὶ ἀναγνώριση ἐπὶ ἔτη ἀκόμα πολλά.

Καὶ τώρα παρακαλῶ τὸν ἀκαδημαϊκὸ κ. Γεώργιο Κοντόπουλο νὰ παρουσιάσει τὸ ἔργο καὶ τὴν προσωπικότητα τοῦ νέου ἀκαδημαϊκοῦ.

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ κ. Γ. ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟ

Σεβασμιώτατε Πρόεδρε τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν
Κυρίες καὶ Κύριοι Ἀκαδημαϊκοί
Κυρίες καὶ Κύριοι

Μὲ πολλὴ χαρὰ χαιρετίζω σήμερα τὸν νέο Ἀκαδημαϊκὸ τῆς Πειραματικῆς Φυσικῆς κ. Λουκᾶ Χριστοφόρου.

Ὁ κ. Χριστοφόρου γεννήθηκε στὴν Λεμεσό τῆς Κύπρου τὸ 1937. Ἐφοίτησε στὸ Πανεπιστήμιο Ἀθηνῶν καὶ πῆρε πτυχίό Φυσικῆς τὸ 1960. Ἀκολούθως πῆρε Diploma in Advanced Physics ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Manchester τὸ 1961, καὶ τέλος Ph.D. ἀπὸ τὸ Department of Physics τοῦ ἰδίου Πανεπιστημίου τὸ 1963.

Ἡ Ἀκαδημαϊκὴ του σταδιοδρομία ὑπῆρξε πολὺ ἐπιτυχημένη. Διετέλεσε Assistant Professor of Physics στὸ University of Tennessee τὰ ἔτη 1964-1966, Associate Professor τὰ ἔτη 1966-1969 καὶ κατόπιν Ford Foundation Professor of Physics, στὸ University of Tennessee τὰ ἔτη 1969-1997. Συνολικὰ ἐδίδαξε προπτυχιακὰ καὶ μεταπτυχιακὰ μαθήματα στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Tennessee ἐπὶ 33 ἔτη.

Στὸ διάστημα αὐτὸ διετέλεσε ἐπισκέπτης καθηγητῆς στὸ Πανεπιστήμιο τῶν Παρισίων στὸ Orsay τὸ 1979, καὶ στὸ Βερολίνο τὰ ἔτη 1991-1992.

Ἐπίσης ἐργάστηκε στὸ Oak Ridge National Laboratory ἐπὶ πολλὰ ἔτη, ἀπὸ τὸ 1963-1994, κυρίως ὡς ὑπεύθυνος τῶν ομάδων Atomic and Molecular Radiation Physics Group, καὶ Atomic, Molecular and High Voltage Physics Group. Τέλος, ἀπὸ τὸ 1995 μέχρι τὸ 2001 ὑπῆρξε Senior Physicist στὸ National Institute of Standards and Technology.

Στὴ σταδιοδρομία του εἶχε πολλὲς διακρίσεις:

– Doctor of Science, University of Manchester, 1969 (τιμητικὴ διάκριση μετὰ τὸ PhD).

– Oak Ridge National Laboratory Corporate Fellow 1981; Senior Corporate Fellow 1991.

– Πρόεδρος στὸ Distinguished Scientist Program στὸ Oak Ridge National Laboratory 1983-1990.

– Πρόεδρος τῶν Corporate Fellows 1984-1992.

– Ἐπὶ τρία ἔτη πῆρε τὰ βραβεῖα σημαντικῶν ἐπιδόσεων στὸ Oak Ridge National Laboratory.

Ἐπίσης πῆρε 7 βραβεῖα κατὰ διαστήματα ἀπὸ τὴν Ἑταιρεία Martin Marietta Energy Systems, καὶ 1 βραβεῖο ἀπὸ τὴν ὀργάνωση Alexander von Humbolt.

- Έγινε άντεπιστέλλον μέλος τής Ἀκαδημίας Ἀθηνών τὸ 1980.
- Παρασημοφορήθηκε μετὸν Ταξίαρχη τοῦ Τάγματος τοῦ Φοίνικος τὸ 1997.
- Τέλος ἐξελέγη τακτικὸν μέλος τής Ἀκαδημίας Ἀθηνών τὸ 2001.

Εἶναι μέλος τῶν Ἐκδοτικῶν Ἐπιτροπῶν τῶν διεθνῶν περιοδικῶν:

1) NIST Journal of Research.

2) IEEE Publication Digest on Dielectrics ὅπου διετέλεσε Co editor τὰ ἔτη 1983-1987.

Ἐπίσης ὑπῆρξε μέλος διαφόρων ἐπιστημονικῶν ἐνώσεων καὶ πολλῶν ἐπιστημονικῶν, ἐρευνητικῶν, ἀκαδημαϊκῶν, κυβερνητικῶν καὶ ἄλλων ἐπιτροπῶν. Συνέβαλε οὐσιαστικά στὴν ἴδρυση 10 γενικῶν ἐπιστημονικῶν ἐρευνητικῶν προγραμμάτων στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Tennessee, στὸ Oak Ridge National Laboratory, καὶ στὸ National Institute of Standards and Technology. Καθιέρωσε τὰ διεθνή συνέδρια «Gaseous Dielectrics» καὶ ὀργάνωσε 14 διεθνή ἐπιστημονικά συνέδρια.

Ἵπῆρξε μέλος πολλῶν ἐπιτροπῶν ἀξιολογήσεως προγραμμάτων τής Atomic Energy Commission, τής National Science Foundation, κλπ. Ἐπίσης εἶναι κριτῆς (Reviewer) πολλῶν διεθνῶν ἐπιστημονικῶν περιοδικῶν φυσικῆς.

Ἐδημοσίευσε 16 βιβλία (σὲ 5 βιβλία εἶναι συγγραφεὺς καὶ σὲ 11 ἐκδότης (editor)). Ἐνα τελευταῖο του βιβλίου, ἐκδόσεως 2001, ἔχει τὸν τίτλο «Place of Science in a World of Values and Facts» (Ἡ Θέση τής Ἐπιστήμης σ' ἓνα Κόσμο Ἀξιῶν καὶ Δεδομένων) ὅπου περιέχει τὴν ὅλη του φιλοσοφία γιὰ τὴν ἐπιστήμη καὶ τὴν τεχνολογία. Ἐπέβλεψε 19 διδακτορικὲς διατριβές, 10 διατριβές Master's καὶ 18 μεταδιδακτορικοὺς ὑποτρόφους (postdoctoral fellows).

Ἐκαμε πάνω ἀπὸ 500 ἀνακοινώσεις σὲ ἐπιστημονικά συνέδρια, διαλέξεις καὶ σεμινάρια, ἐκ τῶν ὁποίων οἱ 82 εἶναι προσκεκλημένες ὁμιλίες σὲ συνέδρια καὶ 210 εἶναι προσκεκλημένες διαλέξεις ἢ σεμινάρια.

Ὁ κ. Χριστοφόρου ἐδημοσίευσε περίπου 350 ἐργασίες, κυρίως σὲ διεθνή περιοδικὰ ποὺ περιλαμβάνονται στὸ Citation Index καὶ σὲ πρακτικὰ διεθνῶν συνεδρίων.

Οἱ κυριώτερες ἐπιστημονικὲς ἐργασίες του ἐμπίπτουν στοὺς ἐξῆς τομεῖς:

- 1) Ἀντιδράσεις Ἡλεκτρονίων μετὰ Μόρια καὶ Ἄτομα
- 2) Ἀντιδράσεις Ἡλεκτρονίων μετὰ Διεγερμένα Ἄτομα καὶ Μόρια
- 3) Φυσικὴ τής Ἐνδιαμέσου Καταστάσεως τής Ὑλης
- 4) Ἡλεκτρικὲς Ἰδιότητες τής Ὑγρᾶς Φάσεως τής Ὑλης
- 5) Φωτοφυσικὴ

6) Ἀπὸ τῆ Βασικῆ καὶ Ἐφαρμοσμένη Ἐρευνα στὴν Προκεχωρημένη Τεχνολογία.

Λεπτομερέστερα:

1) Αντιδράσεις Ήλεκτρονίων με Μόρια και Άτομα.

Ο κ. Χριστοφόρου έχει δημιουργήσει μια από τις καλύτερες ομάδες στον κόσμο στα θέματα αυτά. Μελέτησε αέρια σε διάφορες πιέσεις, από πολύ μικρές, μέχρι πολύ μεγάλες που οδηγούν στην υγρή φάση. Σε πολλές μελέτες του ασχολήθηκε με τη δημιουργία αρνητικών ιόντων. Ίδιαίτερα μελέτησε τις επιδράσεις της ακτινοβολίας με την ύλη (ιδίως με μόρια). Το βιβλίο του «Atomic and Molecular Radiation Physics», Wiley-Interscience, N. York, 1971, μελετά λεπτομερώς τα θέματα αυτά (672 σελίδες). Επίσης δύο τόμοι που εξέδωσε με τίτλο «Electron-Molecule Interactions and Their Applications» (I και II) περιέχουν κεφάλαια γραμμένα από τον ίδιο και από διάφορους συνεργάτες και έχουν εκδοθεί από τον οίκο Academic Press, N. York, 1984 (712 και 680 σελίδες).

2) Αντιδράσεις Ήλεκτρονίων με διεγερμένα Άτομα και Μόρια.

Πρόκειται για ένα νέο τομέα έρευνας που αναπτύχθηκε κυρίως από τον κ. Χριστοφόρου και τους συνεργάτες του. Παρατηρήθηκαν αντιδράσεις με ενεργό διατομή 10^6 φορές μεγαλύτερη από ό,τι σε μη διεγερμένα άτομα. Τα κύρια συμπεράσματα των ερευνών αυτών περιλαμβάνονται σε ένα άρθρο επισκοπήσεως «Advances in Atomic, Molecular and Optical Physics», 2000.

3) Μελέτη της Ενδιαμέσου Φάσεως της Ύλης.

Πρόκειται για την κατάσταση μεταξύ αερίου και υγρᾶς φάσεως. Το θέμα αυτό παρουσιάζει πολύ ενδιαφέρον τα τελευταία έτη. Ο κ. Χριστοφόρου με 2 άλλους είναι εκδότης ενός σχετικού βιβλίου με τίτλο, «Linking the Gaseous and the Condensed Phases of Matter», Plenum Press, N. York, 1994 (590 σελίδες).

4) Ηλεκτρικές Ιδιότητες της Υγρᾶς Φάσεως της Ύλης.

Ο κ. Χριστοφόρου με τους συνεργάτες του έχουν κάμει σημαντικές μελέτες στον τομέα αυτό και έχουν συγκεντρώσει πολλά νέα στοιχεία. Ο κ. Χριστοφόρου με 2 άλλους είναι εκδότης του βιβλίου «The Liquid State and its Electric Properties», Plenum Press, N. York, 1998 (573 σελίδες), που περιγράφει την εξέλιξη των ερευνών στον τομέα αυτό.

5) Φωτοφυσική.

Αναφέρεται στην επίδραση της ακτινοβολίας στην ύλη (ιδίως στα μόρια, και ειδικότερα στα διεγερμένα διμερή μόρια που λέγονται excimers). Π.χ. παρατηρήθηκαν σε excimers φαινόμενα φθορισμού και βρέθηκαν οι μηχανισμοί ιονισμού μορίων στην αέρια και συμπυκνωμένη ύλη με πολλά φωτόνια.

Οι έρευνες αυτές συνεχίστηκαν και από άλλες ομάδες, που κατόρθωσαν να δημιουργήσουν νέου τύπου lasers με excimers.

6) Από τη Βασική και Εφαρμοσμένη Έρευνα στην Προκεχωρημένη Τεχνολογία.

Οί ἔρευνες τῆς ομάδος τοῦ κ. Χριστοφόρου εἶχαν πολλές νέες τεχνολογικές ἐφαρμογές. Π.χ. α) Τεχνολογίες πλάσματος ὅπως τὰ μικροηλεκτρονικά,

β) Ἄερια διελεκτρικά,

γ) Νέοι ἀνιχνευτὲς ἀκτινοβολίας καὶ σωματίων,

δ) Νέοι τρόποι δημιουργίας ἐντόνων παλμῶν ἀκτινοβολίας καί,

ε) Νέου τύπου ἡμαγωγοί.

Ἰδιαιτέρη σημασία ἔχουν τὰ ἀερία διελεκτρικά. Πάνω στὰ θέματα αὐτὰ ἔγιναν 9 διεθνή συνέδρια καὶ ὁ κ. Χριστοφόρου (μόνος ἢ μὲ ἓνα συνεργάτη) ἦταν ὁ ἐκδότης τῶν πρακτικῶν αὐτῶν.

Τὸ σύνολο τῶν 9 αὐτῶν τόμων ἀποτελεῖ ἓνα ἐντυπωσιακὸ ἔργο 5420 σελίδων.

Τέλος ὁ κ. Χριστοφόρου ἦταν ἐκδότης τοῦ τόμου *Electron and Ion Swarms*, Pergamon Press, N. York, 1981 (279 σελίδες).

Γενικά τὸ ἔργο τοῦ κ. Χριστοφόρου εἶναι ἐντυπωσιακὸ σὲ ἔκταση καὶ ποιότητα. Εἶναι χαρακτηριστικὲς οἱ κρίσεις τρίτων γιὰ τὸ ἔργο τοῦ κ. Χριστοφόρου.

Σὲ διάφορες ἐργασίες τρίτων ἀναφέρονται ἐργασίες τοῦ Λουκᾶ Χριστοφόρου ὡς «excellent example», ὡς «a terrific amount of work», ὡς «long-standing work», ὡς ἐργασίες σὲ θέματα θεμελιώδους σημασίας (of fundamental importance καὶ basic importance for applications), ὡς major contribution, ὡς excellent survey, κλπ.

Πολλοὶ ἀναφέρουν τὸν κ. Λουκᾶ Χριστοφόρου ὡς ἡγέτη τῆς ομάδος τοῦ Oak Ridge καὶ ὅτι πρῶτος ἀνακάλυψε καὶ ἐξήγησε διάφορα φαινόμενα, ἐνῶ ἄλλοι ἀκολουθοῦν τὶς μεθόδους τοῦ Χριστοφόρου, ἢ μελετοῦν τὰ ἴδια προβλήματα καὶ βρίσκουν παρόμοια ἀποτελέσματα.

Ὁρισμένες ἐργασίες του χρησιμοποιοῦνται σὲ ἐφαρμογές, πού φθάνουν μέχρι τὴ δομὴ τοῦ DNA καὶ ἄλλα βιολογικὰ προβλήματα.

Συνολικά ὁ κ. Χριστοφόρου ἔχει πάνω ἀπὸ 7.000 ἀναφορὲς τρίτων στὶς ἐργασίες του, ἓνα πραγματικὰ ἐντυπωσιακὸ ἀριθμὸ.

Μετὰ ἀπὸ μιὰ τόσο πλούσια ἐπιστημονικὴ καριέρα 38 ἐτῶν ὡς καθηγητοῦ στὴν Ἀμερικὴ, ὁ κ. Χριστοφόρου, μετὰ τὴν ἐκλογή του στὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν, παραιτήθηκε ἀπὸ τὴν Ἀμερικὴ καὶ ἐγκαταστάθηκε μόνιμα στὴν Ἀθήνα. Ἀλλὰ δὲν σταμάτησε τὶς δραστηριότητές του. Συνεχίζει τὴ συνεργασία του μὲ τὸ ἐξωτερικὸ, τὶς δημοσιεύσεις του, τὴν ὀργάνωση συνεδρίων κλπ.

Γι' αὐτὸ θεωρῶ τὸν κ. Χριστοφόρου ὡς ἓνα πολῦτιμο καὶ δραστήριο συνεργάτη, πού εἶμαι βέβαιος ὅτι θὰ προσφέρει πολλὰ στὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν.

Τὸν καλωσορίζω λοιπὸν μὲ χαρὰ καὶ μὲ πολλές ἐλπίδες καὶ τοῦ εὐχομαι καλὴ συνέχεια στὸ ἔργο του.

ΕΛΕΥΘΕΡΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ κ. ΛΟΥΚΑ Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥ

Σεβασμιώτατε Πρόεδρε τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν,
κυρίες καὶ κύριοι συνάδελφοι Ἀκαδημαϊκοί,
κυρίες καὶ κύριοι.

Εὐχαριστῶ θερμὰ Σεβασμιώτατε Πρόεδρε τῆς Ἀκαδημίας καὶ κύριε συνάδελφε Κοντόπουλε γιὰ τὰ καλά σας λόγια. Εὐχαριστῶ ἐπίσης τόσο ἐσᾶς ὅσο καὶ τὴν Ὀλομέλεια τῆς Ἀκαδημίας γιὰ τὴν ξεχωριστὴ τιμὴ πού μου κάνατε, ἐκλέγοντάς με τακτικὸ μέλος τῆς Ἀκαδημίας.

Εὐχαριστῶ ἐπίσης ὅλους σας γιὰ τὴν παρουσία σας πού πολὺ μὲ συγκινεῖ καὶ ἰδιαιτέρα μὲ τιμᾶ.

Στὸ μικρὸ, ἀπλό, καὶ ταπεινὸ Κυπριακὸ χωριό, τὸ Πεντάκωμο τῆς Λεμεσοῦ, πού γεννήθηκα χρωστῶ τὴ διδασχὴ τῶν ἐλληνοχριστιανικῶν ἀξιῶν, γιὰ τὴν ὁποία εἶμαι εὐγνώμων.

Ἰδιαιτέρη εὐγνωμοσύνη χρωστᾶω στοὺς γονεῖς μου γιὰ τὴν ἀγάπη, τὴ στοργή, καὶ τὴν αὐτοθυσίαν τους καὶ στοὺς καθηγητές μου, ἰδιαιτέρα στὸ σεβαστό μου καθηγητὴ Καίσαρα Ἀλεξόπουλο, γιὰ τὸ πρότυπο πού μου ἔδωσαν.

Εὐχαριστῶ θερμὰ τοὺς συνεργάτες μου καὶ τοὺς φοιτητές μου γιὰ τὴν προσφορά τους καὶ γιὰ τὴν ἀφοσίωσή τους στὸ ἐρευνητικὸ ἔργο μου, πού εἶναι καὶ δικό τους ἔργο.

Μαζὶ μὲ τὴ σύζυγό μου Ἐρατῶ καὶ τίς κόρες μου Πηνελόπη καὶ Ἰωάννα περπάτησα βῆμα μὲ βῆμα τὸ δύσκολο ἀλλὰ ὁμορφὸ δρόμο πού, μὲ τὴ χάρη τοῦ Θεοῦ, μ' ἔφερε ἀπόψε στὴν ξεχωριστὴ αὐτὴ συγκέντρωση, στὸν ἐπιβλητικὸ τοῦτο χώρο τῆς Ἀκαδημίας.

Δεῖγμα τῆς εὐγνωμοσύνης μου σ' ὅλους ἐσᾶς —καὶ σὲ τόσοὺς ἄλλους πού δὲν μὸ ἐπιτρέπει ὁ χρόνος νὰ ἀναφέρω— ἀφιερώνω τὴν ἀποφινὴ ὁμιλία.

Εἰσαγωγή

Τὸ θέμα τῆς ὁμιλίας μου εἶναι «Ἐλεύθερα Ἡλεκτρόνια: Βασικὲς Ἀντιδράσεις καὶ Ἐφαρμογές».

Πέρασαν 105 χρόνια ἀπὸ τότε πού ὁ J.J. Thomson ἀνακάλυψε τὸ ἠλεκτρόνιο, τὸ πρῶτο στοιχειῶδες σωματίδιο τοῦ μικρόκοσμου, τοῦ κόσμου τῶν ἀτομικῶν καὶ

υποατομικῶν διαστάσεων. Ἄν καὶ σήμερα γνωρίζουμε ὅτι ἡ ὕλη συνίσταται καὶ ἀπὸ πολλὰ ἄλλα στοιχειώδη σωματίδια, ἐν τούτοις τόσο γιὰ τὴν ἐπιστήμη ὅσο καὶ γιὰ τὸν ἄνθρωπο τὸ ἠλεκτρόνιο ἀποτελεῖ ἴσως τὸ πιὸ οὐσιῶδες σωματίδιο τοῦ μικρόκοσμου. Εἶναι ὁ κόκκος τῆς ὕλης στὸν ὁποῖο βασίστηκε καὶ βασίζεται ἐν πολλοῖς ἡ σύγχρονη τεχνολογία καὶ ταυτόχρονα τὸ σωματίδιο ποῦ πάνω ἀπὸ κάθε ἄλλο ἐπέτρεψε καὶ ἐπιτρέπει τὴν κατανόηση τῆς ὕλης καὶ τῶν συστατικῶν της. Στὴν πειραματικὴ ἐπιστήμη γιὰ παράδειγμα, στηρίζομαστε κατὰ κανόνα στὰ σήματα ποῦ ὀφείλονται στὰ ἠλεκτρόνια καὶ ὡς ἐκ τούτου τὸ ἠλεκτρόνιο ἀποτελεῖ τὴ βάση τῶν πειραμάτων, τῶν μετρήσεων, καὶ τῆς γνώσης ποῦ βασίζεται στὸ πείραμα. Στὸ ἠλεκτρόνιο στηρίζομαστε ἐπίσης γιὰ τὴν κατασκευὴ νέων ὀργάνων καὶ νέων φασματοσκοπικῶν διατάξεων ὅπως τὰ νέου εἴδους μικροσκόπια —τὰ transmission καὶ scanning tunneling ἠλεκτρονικὰ μικροσκόπια— ποῦ ἀνοιξαν τὸ δρόμο γιὰ τὴ μελέτη τῶν ἐπιφανειῶν τῶν ὑλικῶν καὶ γιὰ τὶς ἀντίστοιχες ἐφαρμογές. Πρέπει νὰ τονισθεῖ ἀκόμα ὅτι ἐπειδὴ ὅλες οἱ ἀκτινοβολίες ὑψηλῶν ἐνεργειῶν (ionizing radiation) ὅταν ἀντιδρῶν καὶ ἐπιδρῶν στὴν ὕλη παράγουν σὲ πολὺ μικρὸ χρονικὸ διάστημα (λιγότερο ἀπὸ ἓνα τρισεκατομμυριοστὸ τοῦ δευτερολέπτου) τεράστιους ἀριθμοὺς χαμηλῆς κινητικῆς ἐνέργειας ἠλεκτρόνια, ἡ κατανόηση τῆς ἐπίδρασης τῆς ἀκτινοβολίας πάνω στὴν ὕλη προϋποθέτει τὴν κατανόηση τῶν ἀλληλεπιδράσεων χαμηλῆς ἐνέργειας ἠλεκτρονίων μὲ τὰ ἄτομα καὶ τὰ μόρια τῆς ὕλης. Ἴσως, δὲν θὰ ἦταν ὑπερβολὴ νὰ λεχθεῖ πὼς ἡ κατάλληλη ἀναγνώριση τῆς συμπεριφορᾶς καὶ τοῦ ρόλου τοῦ ἠλεκτρονίου σ' ὅλο της τὸ εὖρος περιλαμβάνει σχεδὸν ὀλόκληρη τὴ σύγχρονη φυσικὴ, τὴ χημεία, καὶ τὴ βιολογία.

Στὴ φύση τὰ ἠλεκτρόνια εἶναι εἴτε περιορισμένα στὸ χῶρο (ὅπως ὅταν περιστρέφονται γύρω ἀπὸ τοὺς πυρῆνες τῶν ἀτόμων), εἴτε εἶναι ἐλεύθερα (ὅπως ὅταν κινοῦνται μὲ ὑψηλές ἐνέργειες στοὺς ἐπιταχυντὲς ἢ μὲ χαμηλές ἐνέργειες σ' αὐτὴ τὴν αἴθουσα), εἴτε, ἀκόμα, εἶναι ἡμιελεύθερα (ὅπως ὅταν κινοῦνται μέσα σὲ ὀρισμένες μορφές τῆς συμπεκνωμένης ὕλης).

Στὸν περιορισμένο χῶρο τοῦ ἀτόμου, τὸ ἠλεκτρόνιο διαγράφει χαρακτηριστικὲς τροχιές ποῦ τὶς περιγράφουν κυματικὲς συναρτήσεις οἱ ὁποῖες καθορίζουν τὴν πιθανότητα εὕρεσής του στὸν ἐξωπυρηνικὸ χῶρο τοῦ ἀτόμου. Ἡ εἰκόνα 1 δείχνει τὰ χαρακτηριστικὰ σχήματα αὐτῶν τῶν ἠλεκτρονικῶν κυματικῶν συναρτήσεων γιὰ τὶς χαμηλότερες ἐνεργειακὲς στάθμες τοῦ ἀτόμου τοῦ ὕδρογόνου. Στὰ χαρακτηριστικὰ αὐτὰ σχήματα τῶν ἠλεκτρονικῶν τροχιῶν ὀφείλουν τὰ ἄτομα καὶ τὰ μόρια τῆς ὕλης τὶς φυσικὲς καὶ τὶς χημικὲς τοὺς ιδιότητες. Οἱ τρόποι καὶ οἱ νόμοι ποῦ διέπουν τὶς μεταπηδήσεις τοῦ ἠλεκτρονίου μεταξὺ τῶν χαρακτηριστικῶν αὐτῶν κβαντικῶν καταστάσεων ἐρμηνεύουν τὶς ιδιότητες τῆς ἀτομικῆς καὶ τῆς μοριακῆς δομῆς, τὴν ἀπορρόφηση καὶ τὴν ἐκπομπὴ ἠλεκτρομαγνητικῆς ἀκτινοβολίας ἀπὸ τὴν ὕλη καὶ τὶς ἀλληλεπιδράσεις ὕλης καὶ ἀκτινοβολίας. Ἐπίσης, καθιστοῦν δυνατὴ τὴν ἐπιλογή μορίων γιὰ

τὴν τεχνολογία τοῦ μέλλοντος, ὅπως, γιὰ παράδειγμα, τὴν ἐπιλογή ὀργανικῶν μορίων γιὰ χρήση στὰ μοριακὰ ἠλεκτρονικὰ (molecular electronics). Θὰ μποροῦσε ἴσως νὰ λεχθεῖ ὅτι τὰ χαρακτηριστικὰ σχήματα τῶν τροχιῶν στὴν εἰκόνα 1 παριστάνουν ἀρχέγονες μορφές τῆς φύσης (primal shapes of nature), ποὺ καθορίζουν τὸ σχῆμα καὶ τὸ μέγεθος τῶν ἀτόμων, τὴ συγκρότηση τῶν μορίων ἀπὸ τὰ ἄτομα, τὶς πολύπλοκες μορφές τῶν βιολογικῶν μακρομορίων, καί, κατ' ἐπέκταση, τὴν ποικιλία στὸ σχῆμα, στὴ μορφή καὶ στὸ μέγεθος ποὺ παίρνουν τὰ διάφορα ὕλικά στὴ φύση.

Ἐὰν εἴθουμε ὅμως στὰ ἐλεύθερα ἠλεκτρόνια, στὶς ἀλληλεπιδράσεις τους μὲ τὰ μόρια καὶ στὶς ἐφαρμογές τους. Θὰ ἀναφερθῶ περιληπτικὰ στὴ θεμελίωση, ἐπέκταση, καὶ στὶς ἐφαρμογές τοῦ πεδίου τῆς ἀλληλεπίδρασης τῶν ἐλευθέρων ἠλεκτρονίων μὲ τὴν ὕλη ὅπως ἐπετεύχθηκε ἐν πολλοῖς ἀπὸ τὴν ἔρευνα τῆ δικῆ μου καὶ τῶν συνεργατῶν μου.

Ἐπιδράσεις Ἐλευθέρων ἠλεκτρονίων μὲ Μόρια καὶ οἱ Ἐφαρμογές τους

Ἡ ἐπόμενη εἰκόνα (εἰκόνα 2) δείχνει σχηματικὰ τὴν ἀρχὴ μιᾶς ομάδας πειραμάτων μὲ ἐλεύθερα ἠλεκτρόνια. Τὰ ἠλεκτρόνια ἀπελευθερώνονται ἀπὸ μεταλλικὲς ἐπιφάνειες, ἐπιταχύνονται σὲ καθορισμένες κινητικὲς ἐνέργειες, καὶ κατευθύνονται σὲ εἰδικούς θαλάμους ὅπου συγκρούονται μὲ τὰ μόρια κάτω ἀπὸ συνθήκες πολὺ χαμηλῆς πίεσης ὥστε οἱ ἀντιδράσεις τους νὰ εἶναι μεμονωμένες. Τέτοιες συνθήκες πειραματισμοῦ ὅπου ἓνα ἠλεκτρόνιο ἔχει πιθανότητα σύγκρουσης μόνο μὲ ἓνα μόριο, εἶναι ἀναγκαῖες γιὰ τὴν ἐπαγωγικὴ μέθοδο τῆς ἐπιστήμης ποὺ στηρίζεται στὸ πειραματικὸ δεδομένο κάτω ἀπὸ τὶς πιὸ ἀπλὲς συνθήκες.

Ἀποτέλεσμα τῆς σύγκρουσης τοῦ ἠλεκτρονίου μὲ τὸ μόριο εἶναι ἡ σκέδαση τοῦ ἠλεκτρονίου μὲ ταυτόχρονη μεταφορὰ μέρους τῆς ἐνέργειάς του (ΔE) στὸ μόριο (M). Ἡ σκέδαση καὶ ἡ μεταφορὰ ἐνέργειας ἐξαρτῶνται ἀπὸ τὴν κινητικὴ ἐνέργεια τοῦ ἠλεκτρονίου καὶ ἀπὸ τὴν πυρηνικὴ καὶ τὴν ἠλεκτρονικὴ δομὴ τοῦ μορίου. Μία τέτοια σύγκρουση δυνατὸν νὰ προκαλέσει στὸ μόριο διέγερση τῶν ταλαντώσεων τῶν πυρηνῶν του, διέγερση τῶν ἠλεκτρονίων του, τὸν ἰονισμό του, ἀπομακρύνοντας ἓνα ἢ περισσότερα ἀπὸ τὰ ἠλεκτρόνια του ἢ τὴ διάσπασή του. Μὲ τὶς πειραματικὲς μελέτες αὐτῶν τῶν ἀντιδράσεων μαθαίνουμε ἐπομένως τοὺς βασικοὺς μηχανισμοὺς μὲ τοὺς ὁποίους τὰ ἠλεκτρόνια —καὶ κατ' ἐπέκταση κάθε ἄλλου εἶδους σωματίδια— ἐναποθέτουν τὴν ἐνέργειά τους στὴν ὕλη καὶ ἐπιδρῶν πάνω στὴν ὕλη. Ταυτόχρονα, ἐμπλουτίζουμε τὴ γνώση μας γιὰ τὴν ἀτομικὴ καὶ τὴ μοριακὴ δομὴ τῆς ὕλης, τοὺς τρόπους διέγερσης, ἰονισμοῦ καὶ διάσπασης τῶν μορίων, καθὼς καὶ τοὺς μηχανισμοὺς δημιουργίας νέων σωματιδίων (φωτονίων, ἠλεκτρονίων, θετικῶν καὶ ἀρνητικῶν ἰόντων καὶ οὐδέτερων μοριακῶν θραυσμάτων).

Τὶς πιθανότητες αὐτῶν τῶν ἀντιδράσεων προσδιορίζουμε ποσοτικὰ μετρώντας

τις αντίστοιχες ενεργές διατομές (cross sections) σε συνάρτηση με την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου. Σαν παράδειγμα, η εικόνα 3 δείχνει τις ενεργές διατομές για τη σκέδαση του ηλεκτρονίου από το μόριο του τετραφθοριούχου άνθρακα (CF_4), ο οποίος χρησιμοποιείται σήμερα στην τεχνολογία πλάσματος, με την ταυτόχρονη διέγερση πυρηνικών ταλαντώσεων ή ιονισμού ή διάσπασης του μορίου, κ.ο.κ. Είναι φανερόν πώς 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 ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι ή συνέπεια αυτών των αντιδράσεων μέσω των οποίων ενέργεια από το ηλεκτρόνιο διοχετεύεται στο μόριο και στα νέα σωματίδια που δημιουργούνται. Η λεπτομερής πειραματική μελέτη αυτών των αντιδράσεων είναι αναγκαία τόσο για την κατανόηση της αλληλεπίδρασης ύλης και ακτινοβολίας όσο και για τη σύγχρονη τεχνολογία. Στη βάση των πιο προχωρημένων τεχνολογικών κατευθύνσεων ("bio", "nano" και "info" τεχνολογίες όπως συχνά αποκαλούνται) βρίσκεται το ηλεκτρόνιο και οι αλληλεπιδράσεις του με τα μόρια.

Όταν η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι μεγαλύτερη των 100 eV περίπου, η διάρκεια της σύγκρουσής του με το μόριο είναι πολύ μικρή (της τάξης των 10^{-16} s), το ηλεκτρόνιο σκεδιάζεται μακριά από το μόριο όπως δείχνει σχηματικά η εικόνα 4, και η αλληλεπίδραση χαρακτηρίζεται ως άμεση (direct).

Όταν όμως η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι μικρότερη από τα 20 eV περίπου, η διάρκεια της σύγκρουσής του με το μόριο είναι σχετικά μεγάλη – ανάλογη με το χρόνο περιστροφής των ηλεκτρονίων στις μοριακές τροχιές – και το ελεύθερο ηλεκτρόνιο έχει τότε χρόνο να εισέλθει στις μη κατειλημμένες (κενές) ηλεκτρονικές τροχιές του μορίου και να συνδεθεί προσωρινά στο μόριο δημιουργώντας έτσι ένα σύνθετο μετασταθές (metastable) αρνητικόν ιόν, όπως δείχνει σχηματικά η εικόνα 5. Η ξμμεση αυτή κρούση που οδηγεί στην προσωρινή σύλληψη του ηλεκτρονίου, γίνεται σε περιορισμένες τιμές της κινητικής ενέργειας του ηλεκτρονίου (ενέργειες συντονισμού) και διαρκεί από 10^{-15} s μέχρι 10^{-2} s.

Οι φυσικοί μηχανισμοί που διέπουν τη δημιουργία των μετασταθών αρνητικών ιόντων είναι γενικής φύσης και χαρακτηρίζουν τις συγκρούσεις των ηλεκτρονίων χαμηλών κινητικών ενεργειών με κάθε μόριο και με κάθε άτομο σε όλες τις μορφές της ύλης, συμπεριλαμβανομένου και του βιολογικού περιβάλλοντος. Οι μηχανισμοί αυτοί συνιστούν βασικούς τρόπους μέσω των οποίων χαμηλής κινητικής ενέργειας ηλεκτρόνια (και γενικότερα σωματίδια κάθε είδους ακτινοβολίας μέσω των ηλεκτρονίων) μεταφέρουν την ενέργειά τους στα μόρια και μάλιστα στις πυρηνικές τους ταλαντώσεις.

Ένα κλασικό παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα 6 και αναφέρεται στο αρνητικό ιόν του μορίου του άζωτου που βρίσκεται στη χαμηλότερη ενεργειακή του

στάθμη. Όταν η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι ίση με την ενέργεια του μετασταθούς ιόντος του αζώτου στη στάθμη αυτή (2,3 eV), το ηλεκτρόνιο συλλαμβάνεται από το μόριο του αζώτου δημιουργώντας το μετασταθές αρνητικόν ιόν του μορίου του αζώτου. Το σύνθετον αυτό αρνητικό σωματίδιο αυτοκαταστρέφεται εντός μερικῶν femtoseconds (5×10^{-15} s, 5 χιλιοστά του τρισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου) απελευθερώνοντας το ηλεκτρόνιο και διεγείροντας ταυτοχρόνως και με μεγάλη πιθανότητα το μόριο του αζώτου σε πυρηνικές στάθμες ταλάντωσης. Το κάτω μέρος τῆς εικόνας 6 παρουσιάζει τὴν ἐνεργὸ διατομή, $\sigma_{v(0,1)}$, γιὰ τὴν διεγερση τοῦ μορίου τοῦ αζώτου στὴν πρώτη ($v=1$) στάθμη ταλάντωσης. Τὰ πειραματικὰ αὐτὰ δεδομένα δείχνουν πόσο ἀποτελεσματικὴ εἶναι ὄντως ἡ μεταφορὰ ἐνέργειας ἀπὸ τὰ σωματίδια τῆς ὕλης στὶς πυρηνικὲς ταλαντώσεις τῶν μορίων μέσω τῶν ἔμμεσων συγκρούσεων τῶν ηλεκτρονίων μετὰ τὰ μόρια.

Ἡ ἔμμεση σύγκρουση τοῦ ηλεκτρονίου μετὰ τὸ μόριο δυνατόν ἀκόμα νὰ ὀδηγήσει στὴν ὀριστικὴ ἐξάφaniση τοῦ ηλεκτρονίου σὰν ἐλεύθερου σωματιδίου καὶ στὴ δημιουργία σταθερῶν αρνητικῶν ιόντων ὅπως παριστάνει συμβολικὰ ἡ εἰκόνα 7. Ἡ πιθανότητα δημιουργίας σταθερῶν αρνητικῶν ιόντων μετὰ τὸν τρόπο αὐτὸ εἶναι συνήθως πολὺ μεγάλη ὅταν ἡ κινητικὴ ἐνέργεια τοῦ ηλεκτρονίου εἶναι πολὺ μικρὴ. Τὰ πειραματικὰ δεδομένα τῆς εἰκόνας 8 δείχνουν πὼς ἡ πιθανότητα δημιουργίας σταθερῶν αρνητικῶν ιόντων μετὰ τὸ μηχανισμό αὐτὸ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὶς στάθμες ἐνέργειας τῶν μετασταθῶν αρνητικῶν ιόντων (ἐνέργειες συντονισμοῦ, resonance energies). Ὄταν μάλιστα ἡ ἐνέργεια συντονισμοῦ, καὶ ἐπομένως ἡ κινητικὴ ἐνέργεια τοῦ ηλεκτρονίου, πλησιάζει τὶς θερμικὲς τιμές, τὸ ηλεκτρόνιο συλλαμβάνεται ἀπὸ τὸ μόριο μετὰ πιθανότητα 100%. Πολλὰ ἀπὸ τὰ μόρια ποὺ παρουσιάζουν αὐτοῦ τοῦ εἴδους ἀντιδράσεις εἶναι πολυατομικὰ καὶ διασπῶνται ποικιλοτρόπως παράγοντας ἀρνητικὰ ἰόντα θραυσμάτων καὶ οὐδέτερα σωματίδια (ἄτομα ἢ ρίζες). Αὐτὸ δείχνει ἀφ' ἐνὸς μὲν τὴν ἐξαιρετικὴν ἱκανότητα τῶν μορίων νὰ ἀπομακρύνουν ἀπὸ τὰ ὑλικά ἐλεύθερα ηλεκτρόνια καὶ ἀφ' ἑτέρου τὴν ἐξαιρετικὴν ἱκανότητα τῶν ηλεκτρονίων μετὰ πολὺ χαμηλὲς ἐνέργειες (μέχρι καὶ τὶς θερμικὲς) νὰ διασποῦν τὰ πολυατομικὰ μόρια, συμπεριλαμβανομένων τῶν μορίων τεχνολογικοῦ, περιβαλλοντικοῦ καὶ βιολογικοῦ ἐνδιαφέροντος.

Ἡ καμπύλη $\pi(\lambda)^2$ στὴν εἰκόνα 8 δείχνει τὴν μέγιστη δυνατὴ τιμὴ τῆς ἐνεργοῦ διατομῆς συναρτήσῃ τῆς κινητικῆς ἐνέργειας τοῦ ηλεκτρονίου καὶ ἔχει ὑπολογισθεῖ ἀπὸ τὶς ἀντίστοιχες τιμές τοῦ κύματος de Broglie τοῦ ηλεκτρονίου. Εἶναι φανερὸ ὅτι στὶς θερμικὲς ἐνέργειες οἱ πειραματικὲς καὶ οἱ θεωρητικὲς τιμές τῶν ἐνεργῶν διατομῶν συμπίπτουν, ἀποδεικνύοντας ἔτσι τὸν κυματικὸν χαρακτήρα τοῦ ηλεκτρονίου. Ἄλλες μετρήσεις σὲ πολὺ πιὸ χαμηλὲς κινητικὲς ἐνέργειες (μέχρι 10^{-5} eV), ἐπιβεβαιώνουν τὰ συμπεράσματα αὐτὰ καὶ τοὺς φυσικοὺς νόμους ποὺ διέπουν τὴ σύλληψη ηλεκτρονίων μετὰ αὐτὲς τὶς ἐξαιρετικὰ χαμηλὲς ἐνέργειες.

Οι βασικές αντιδράσεις που πολύ περιληπτικά περιέγραψα, βρίσκουν άμεση εφαρμογή σε πολλούς τομείς της σύγχρονης τεχνολογίας και ιδιαίτερα σε εκείνους τους τομείς της τεχνολογίας που χρησιμοποιούν πηγές ψυχρού, χαμηλής πυκνότητας πλάσματος (cold, low density plasmas), όπως η τεχνολογία των μικροηλεκτρονικών. Η βασική γνώση πάνω στις αντιδράσεις των ελεύθερων ηλεκτρονίων με τα μόρια στο πλάσμα επιτρέπει τον προσδιορισμό των πιο κατάλληλων συνθηκών για την παραγωγή των κρίσιμων για τη συγκεκριμένη εφαρμογή σωματιδίων (ατόμων, ιόντων, ριζών) στο πλάσμα. Στην ίδια γνώση βασίζεται και η τεχνολογία υλικών (αερίων στην προκειμένη περίπτωση) για χρήση στους ανιχνευτές και στους επιταχυντές σωματιδίων, στα λέιζερ τα οποία στηρίζονται σε ηλεκτρικές εκκινήσεις, στα αέρια διηλεκτρικά που χρησιμοποιούνται στη μεταφορά και στην κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, κ.ο.κ. Το πιο ουσιαστικό 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.

Επιτρέψατέ μου να αναφέρω δύο συγκεκριμένα παραδείγματα.

Σαν πρώτο παράδειγμα αναφέρω τα λέιζερ και, ειδικότερα, το λέιζερ του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που είναι λέιζερ υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όπως δείχνει η εικόνα 9, το μόριο του διοξειδίου του άνθρακα διεγείρεται πρώτα στη στάθμη ταλάντωσης 001 από την αποδιέγερση της οποίας προέρχονται οι δύο υπέρυθρες ακτινοβολίες του λέιζερ του διοξειδίου του άνθρακα. Από την αποδιέγερση της στάθμης 001 που καταλήγει στη στάθμη 100 εκπέμπεται η ακτινοβολία 10,4 μ. και από την αντίστοιχη που καταλήγει στη στάθμη 020 εκπέμπεται η ακτινοβολία 9,4 μ. Η απόδοση του λέιζερ εξαρτάται αποφασιστικά από τη διεγερση του μορίου στη στάθμη 001, που επιτυγχάνεται μέσω των συγκρούσεων των ηλεκτρονίων με τα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα. Η γνώση των ενεργών διατομών για κείνες τις αντιδράσεις των ελεύθερων ηλεκτρονίων που διεγείρουν το μόριο του διοξειδίου του άνθρακα στη στάθμη που εκπέμπει την ακτινοβολία του λέιζερ, αποτελεί τη βάση για την αποδοτικότερη λειτουργία του λέιζερ.

Όταν πρωτοανακαλύφθηκε το λέιζερ του διοξειδίου του άνθρακα, η ισχύς του ήταν πολύ χαμηλή. Έπρεπε επομένως να βρεθεί τρόπος αποτελεσματικότερης διεγερσης της στάθμης που εκπέμπει την ακτινοβολία του λέιζερ. Ένας αποτελεσματικός τρόπος υποδεικνύεται στο σχήμα δεξιά της εικόνας 9. Η ενέργεια της στάθμης 001 του μορίου του διοξειδίου του άνθρακα είναι σχεδόν ίση με την ενέργεια ταλάντωσης του μορίου του αζώτου στην πρώτη στάθμη διεγερσης. Λόγω της ενεργειακής αυτής σύμπτωσης, τα διεγερμένα μόρια του αζώτου σε αυτήν τη στάθμη ταλάντωσης συγκρούμενα με τα αδιεγέρτα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα μετα-

φέρουν τήν ενέργειά τους στα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα και τα διεγείρουν στη στάθμη που εκπέμπει την ακτινοβολία του λέιζερ.

Επομένως, θά μπορούσε να επιτευχθεί ένα λέιζερ διοξειδίου του άνθρακα με μεγάλη απόδοση αν χρησιμοποιείτο αντί καθαρό διοξείδιο του άνθρακα, μείγμα διοξειδίου του άνθρακα και άζωτου και αν υπήρχε κατάλληλος τρόπος να παραχθούν στο άεριο αυτό μείγμα διεγερμένα μόρια του άζωτου στην πρώτη στάθμη ταλάντωσης, N_2^* ($v=1$).

Οι αντιδράσεις στην επόμενη εικόνα (εικόνα 10) υποδεικνύουν την πρακτική εφαρμογή της βασικής γνώσης σε αυτή την τεχνολογία: Στην ηλεκτρική εκκένωση που γίνεται στο άεριο μείγμα $CO_2 + N_2$ ρυθμίζονται το ηλεκτρικό πεδίο και η πυκνότητα του αερίου μείγματος έτσι ώστε τα περισσότερα ηλεκτρόνια που παράγονται να έχουν τις κατάλληλες κινητικές ενέργειες να δημιουργούν μετασταθή αρνητικά ιόντα N_2^{*-} ($^2\Pi_g$), τα όποια, όταν αποδιεγερθούν, παράγουν μόρια του άζωτου διεγερμένα στην πρώτη στάθμη ταλάντωσης, $v=1$. Τα διεγερμένα αυτά μόρια του άζωτου συγκρουόμενα άκολούθως με τα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα μεταφέρουν την ενέργειά τους σε αυτά διεγείροντάς τα στη στάθμη, $CO_2^* 001$, που εκπέμπει την υπέρυθη ακτινοβολία του λέιζερ – όπως δείχνει η δεύτερη αντίδραση της εικόνας.

Αυτή η εξαιρετικά αποδοτική μεταφορά ενέργειας από την ηλεκτρική εκκένωση, μέσω των ελεύθερων ηλεκτρονίων και του μετασταθούς ιόντος του άζωτου, στη στάθμη του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπει την ακτινοβολία του λέιζερ, είναι η βάση της λειτουργίας του περίφημου λέιζερ του CO_2 , που βρίσκει τόσες εφαρμογές στην έρευνα και στην ιατρική. Το λέιζερ αυτό λέγεται λέιζερ του CO_2 , αλλά ουσιαστικά είναι λέιζερ του μείγματος $CO_2 + N_2$.

Σάν δεύτερο παράδειγμα αναφέρω την εφαρμογή βασικής γνώσης πάνω στις αντιδράσεις ελεύθερων ηλεκτρονίων με μόρια που οδήγησε σε μία 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 11. Ο άγωγος υψηλής τάσης βρίσκεται εντός του γειωμένου σωλήνα και η μεταξύ τους μόνωση επιτυγχάνεται με διηλεκτρικό άεριο σε πίεση γύρω στις 4 ατμόσφαιρες. Τέτοιου είδους γραμμές μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια σε πολύ υψηλές τάσεις και λιγότευουν έτσι σημαντικά τις θερμικές απώλειες. Η χρήση τους γίνεται σήμερα σ' όλο τον κόσμο και προβλέπεται να αυξηθεί σημαντικά κυρίως για τη μεταφορά ηλεκτρισμού στις μεγαλουπόλεις και για περιβαλλοντικούς λόγους.

Η νέα αυτή τεχνολογία μεταφοράς ηλεκτρισμού έγινε δυνατή διότι ο πειραματικός φυσικός ανακάλυψε και μελέτησε τις βασικές αντιδράσεις ελεύθερων ηλεκτρονίων με μόρια, μέτρησε ποσοτικά και λεπτομερώς τις αντίστοιχες ενεργές διατομές για τις αντιδράσεις ηλεκτρονίων με μόρια και με υπόβαθρο τη βασική αυτή γνώση προσδιόρισε τις ιδιότητες των αερίων που τα κάνουν κατάλληλα σαν μονωτικά υλικά

ύψηλης τάσης. Έτσι ο επιστήμονας μπόρεσε να κάνει τη μετάβαση από τη βασική έρευνα στην εφαρμογή της.

Η εικόνα 12 συνοψίζει τη βασική θεμελίωση της νέας τεχνολογίας. Οι μονωτικές ιδιότητες των αερίων εξαρτώνται από τη συμπεριφορά των ελεύθερων ηλεκτρονίων που πάντοτε βρίσκονται σ' αυτά και που προέρχονται από διάφορες πηγές, κυρίως από τη φυσική ραδιενέργεια. Όταν στον άγωγο της εικόνας 12, ή ηλεκτρική τάση, και επομένως το ηλεκτρικό πεδίο αυξάνει, αυξάνεται και η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων στο αέριο του σωλήνα που περιέχει τον άγωγο. Σε μία όρισμένη τιμή της ηλεκτρικής τάσης, ένα μικρό ποσοστό των ελεύθερων ηλεκτρονίων στο αέριο αποκτά κινητικές ενέργειες ικανές να ιονίσουν τα μόρια του αερίου όποτε ο αριθμός των ηλεκτρονίων πολλαπλασιάζεται γρήγορα, έτσι που το αέριο μετατρέπεται από μονωτικό σ' αγωγίμο προκαλώντας βραχυκύκλωμα. Το πιο κατάλληλο μονωτικό αέριο είναι εκείνο στο οποίο η μετατροπή αυτή στις ηλεκτρικές του ιδιότητες (από μονωτικό σε αγωγίμο) γίνεται σε όσο το δυνατό υψηλότερη τάση.

Τέτοια μονωτικά αέρια, μās λέει η πειραματική φυσική, πρέπει να έχουν μικρή ενεργό διατομή για ιονισμό ώστε να παράγονται λιγότερα νέα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Επίσης η πειραματική φυσική μās λέει πώς τα μονωτικά αέρια πρέπει να έχουν μεγάλη ενεργό διατομή για σύλληψη των ελεύθερων ηλεκτρονίων ώστε αυτά να απομακρύνονται από το αέριο. Έπειδή δέ γνωρίζουμε, πάλι από την πειραματική φυσική, πώς 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 είναι ικανό να σκεδάζει τα ηλεκτρόνια από ύψηλές σε χαμηλές κινητικές ενέργειες. Τα παραπάνω φαίνονται στην εικόνα 12. Όσο οι κινητικές ενέργειες των ελεύθερων ηλεκτρονίων στο αέριο είναι χαμηλές (όπως δείχνει η καμπύλη -- στην εικόνα), ή σύλληψή τους από τα μόρια του αερίου είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή 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 το μείγμα εξαφθοριούχου θείου και άζωτου, SF_6/N_2 , όπου το ένα αέριο (N_2) σκεδάζει τα ηλεκτρόνια στις θερμικές ενέργειες και το άλλο (SF_6) τα συλλαμβάνει με μεγάλη ικανότητα. Η τεχνολογία αυτή προβλέπεται να αναπτυχθεί σημαντικά. Προβλέπεται επίσης η χρήση μονωτικών αερίων σε γραμμές μεταφοράς ύψηλης τάσης μέχρι 1,5 MV.

Άλληλεπιδράσεις ελεύθερων ηλεκτρονίων με διεγερμένα άτομα και μόρια

Άς επανέλθουμε όμως στη βασική έρευνα γιατί επιθυμώ να τονίσω δύο νέες κατευθύνσεις σχετικά με τις βασικές άλλολεπιδράσεις ελεύθερων ηλεκτρονίων και

μορίων. Συγκεκριμένα, θα ήθελα να τονίσω την εξάρτηση των αλληλεπιδράσεων όχι μόνο από την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου, αλλά και από την εσωτερική ενέργεια του μορίου και από το περιβάλλον εντός του οποίου οι αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα. Αυτές οι μελέτες συνιστούν δύο νέες κατευθύνσεις της φυσικής, οι οποίες είναι βασικές για την περαιτέρω κατανόηση της αλληλεπίδρασης ύλης και ακτινοβολίας, για την προχωρημένη τεχνολογία, και για τη ρεαλιστική επέκταση της φυσικής στα βασικά θέματα της βιολογίας και της βιοϊατρικής.

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 μόρια με πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα συγκρινόμενη 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 πολλές φορές τις ενεργές διατομές που αντιστοιχούν στη θεμελιώδη κατάσταση κατά παράγοντες μεγαλύτερους από το ένα εκατομμύριο ($\geq 10^6$). Η εικόνα 13 δείχνει τα πρώτα πειραματικά δεδομένα πάνω στις ενεργές διατομές που αντιστοιχούν σε διεγερμένα και αδιέγερτα μόρια. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, μόρια διεγερμένα με λέιζερ στην πρώτη ηλεκτρονική στάθμη συλλαμβάνουν ηλεκτρόνια με ενεργές διατομές 100.000 φορές μεγαλύτερες από τα αντίστοιχα μόρια στη θεμελιώδη κατάσταση, όπως δείχνει η σύγκριση της καμπύλης 1 και 2 στη διαφάνεια.

Η πιθανότητα σκέδασης ηλεκτρονίων από διεγερμένα άτομα και μόρια καθώς και η πιθανότητα ιονισμού διεγερμένων ατόμων και μορίων από ηλεκτρόνια είναι επίσης μεγαλύτερη από εκείνη για μη διεγερμένα άτομα και μόρια. Αυτό φαίνεται από τα πειραματικά δεδομένα της εικόνας 14 όπου συγκρίνονται οι ενεργές διατομές σκέδασης του ηλεκτρονίου από τη θεμελιώδη $[\text{Ar}(3^1\text{S}_0)]$ και από την πρώτη διεγερμένη στάθμη $\text{Ar}^* (4^3\text{P}_2)$ του ατόμου του αργού. Η πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα αντίδρασης του ηλεκτρονίου με το διεγερμένο άτομο οφείλεται κυρίως στη μεγαλύτερη ικανότητα πόλωσης των διεγερμένων ατομικών τροχιών του.

Η λεπτομερής μελέτη των αντιδράσεων χαμηλής ενέργειας ηλεκτρονίων με διεγερμένα άτομα και μόρια αποκαλύπτει νέα χαρακτηριστικά της ηλεκτρονικής δομής του ατόμου και του μορίου, όπως την ισχύ των κβαντικών κανόνων επίλογής. Η μελέτη αυτή δείχνει επίσης ότι οπτικά μέσα (παλμικοί λέιζερ) 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 αγωγίμα σε μονωτικά και από μονωτικά σε αγωγίμα μέσα σε χρονικά διαστήματα της τάξης του ενός δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου, 10^{-9} s).

Φυσική τῆς Ἐνδιάμεσης Κατάστασης τῆς Ὑλης

Οἱ μελέτες πού πολὺ περιληπτικά περιέγραψα ὡς τώρα ἐκτελοῦνται συνήθως κάτω ἀπὸ συνθῆκες ὑψηλοῦ κενοῦ, δηλαδή οἱ ἀντιδράσεις εἶναι μεμονωμένες ὥστε ἓνα ἠλεκτρόνιο ἀντιδρᾷ μὲ ἓνα μόνο μόριο. Τίθεται λοιπὸν ὀξὺ τὸ ἐρώτημα: Πῶς ἡ γνώση πού ἀποκτᾷ ὁ φυσικὸς πάνω στὶς στοιχειώδεις ἀλληλεπιδράσεις ὕλης καὶ ἀκτινοβολίας κάτω ἀπὸ μεμονωμένες συνθῆκες συνδέεται μὲ τὴ γνώση πάνω στὴ συμπεριφορὰ τῶν ἀντιδράσεων αὐτῶν μέσα στὴν πυκνὴ ὕλη; Στὴν ἀναζήτηση ἀπάντησης, ἡ σύγχρονη ἐπιστήμη χάραξε ἓνα νέο πεδίο πού ἀποβλέπει στὴν ἐνοποίηση τῆς γνώσης μας στὶς διάφορες καταστάσεις τῆς ὕλης (ἀέριας, ὑγρᾶς, στερεᾶς καὶ πλάσματος). Τὸ νέο πεδίο, πού ὀνομάσαμε Φυσική τῆς Ἐνδιάμεσης Κατάστασης τῆς Ὑλης (Interphase Physics), ἀκολουθεῖ δύο γενικὲς κατευθύνσεις: (1) τὴ μελέτη ἀλλαγῆς τῶν ἀτομικῶν καὶ τῶν μοριακῶν ιδιοτήτων καὶ τῶν ἀντιδράσεων μὲ τὴν αὔξηση τοῦ ἀριθμοῦ τῶν ἀτόμων ἢ τῶν μορίων σὲ συμπλέγματα (clusters), καὶ (2) τὴ μελέτη τῶν φυσικῶν ιδιοτήτων καὶ τῶν ἀντιδράσεων—σὰν τὶς ἀντιδράσεις τῶν ἠλεκτρονίων μὲ ἄτομα καὶ μόρια πού ἀνάφερα—ὑπὸ συνθῆκες κενοῦ, μέσα σὲ ἀέρια χαμηλῶν, ὑψηλῶν, καὶ πολὺ ὑψηλῶν πιέσεων, καὶ μέσα στὴν ὑγρὰ καὶ στὴ στερεὰ ὕλη. Στὴν πρώτη κατεύθυνση, ἡ ἐνδιάμεση περιοχὴ τῆς ὕλης καλύπτεται μὲ τὴ συστηματικὴ αὔξηση τοῦ μεγέθους τῶν συμπλεγμάτων (τῶν clusters). Στὴ δεύτερη κατεύθυνση, οἱ βασικὲς ἀντιδράσεις καὶ ιδιότητες μελετῶνται μεμονωμένα καὶ ἀκολουθῶς σὲ περιβάλλοντα μὲ πικνότητες πού καλύπτουν ὀλόκληρη τὴν περιοχὴ ἀπὸ τὸ κενὸ ὡς τὴν ὑγρὰ καὶ τὴ στερεὰ κατάσταση. Ἡ εἰκόνα 15 δείχνει τὴν ἀρχὴ τῶν νέων αὐτῶν ἐρευνῶν πού ἔχουν σκοπὸ τὴν ἐνοποίηση τῆς γνώσης μας στὶς διάφορες καταστάσεις τῆς ὕλης.

Ἡ ἔρευνα στοὺς τομεῖς αὐτοὺς ἀποκαλύπτει τοὺς χαρακτηριστικοὺς τρόπους μὲ τοὺς ὁποίους τὸ εἶδος, ἡ πικνότητα καὶ ἡ κατάσταση τῆς ὕλης ἐπηρεάζουν τοὺς βασικοὺς μηχανισμοὺς ἀλληλεπίδρασης ὕλης καὶ ἀκτινοβολίας. Ἄς δώσουμε ἓνα ἀπὸ τὰ πιὸ ἀπλά παραδείγματα: τὴν ἐλαστικὴ σκέδαση τοῦ ἠλεκτρονίου ἀπὸ τὸ ἄτομο τοῦ ξένου (Xe) ὅταν τὸ ἠλεκτρόνιο καὶ τὸ ἄτομο τοῦ ξένου συγκρούονται μεμονωμένα καὶ ὅταν ἡ σύγκρουσή τους λαμβάνει χώρα στὴ συμπεκνωμένη ὕλη (σὲ ὑγρὸ ξένο). Ἡ ἀντίδραση παρουσιάζει τεράστιες διαφορὲς ὅπως δείχνουν οἱ ἐνεργὲς διατομὲς στὴν εἰκόνα 16. Ἡ ἐνεργὸς διατομὴ πού στὴν ἀέρια κατάσταση χαρακτηρίζεται ἀπὸ τὴν καμπύλη $\sigma_{m,G}$, στὴ συμπεκνωμένη (ὑγρὰ καὶ ἀνάλογα ἐπίσης στὴ στερεὰ κατάσταση) συμπεριφέρεται ὅπως δείχνει ἡ καμπύλη $\sigma_{m,L}$. Οἱ διαφορὲς αὐτὲς εἶναι ἐν μέρει κατανοητὲς καὶ προκαλοῦν οὐσιώδεις μεταβολὲς στὶς ἠλεκτρικὲς ιδιότητες τῶν ὕλικῶν (στὴν προκειμένη περίπτωσι στὶς ἠλεκτρικὲς ιδιότητες τοῦ ἀερίου καὶ τοῦ ὑγροῦ ξένου). Γιὰ παράδειγμα, λόγῳ τῶν διαφορῶν αὐτῶν βλέπουμε (εἰκόνα 16) πῶς οἱ ταχύτητες κίνησης (drift velocities) τῶν ἐλεύθερων ἠλεκτρονίων στὸ

ύγρὸ ξένο εἶναι πολὺ μεγαλύτερες ἀπὸ ὅ,τι στὸ ἀέριο. Τὸ ἐκ πρώτης ὄψεως παράδοξο αὐτὸ ἀποτελέσμα, δὲν εἶναι παρὰ ἓνα ἀπὸ τὰ πολλὰ παραδείγματα τῶν μεγάλων ἀλλαγῶν ποὺ ἐπιφέρει τὸ εἶδος, ἡ πυκνότητά καὶ ἡ μορφή τῆς ὕλης στὶς ἀλληλεπιδράσεις ἠλεκτρονίων καὶ ἀτόμων ἢ μορίων, ἀλλαγές ποὺ σὲ ἄλλου εἶδους ὕλικά εἶναι ἀκριβῶς οἱ ἀντίθετες.

Φυσικὸ ὑπόβαθρο γιὰ τὴ Βιολογία καὶ τὴ Βιοϊατρικὴ

Ἡ γνώση ποὺ παρέχει ἡ συστηματικὴ ἔρευνα πάνω στὶς ἀλλαγές ποὺ ὑφίστανται οἱ ἀλληλεπιδράσεις τῶν ἠλεκτρονίων καὶ τῶν βασικῶν συστατικῶν—ἀτόμων καὶ μορίων—τῆς μακροσκοπικῆς ὕλης, εἶναι ἀναγκαῖο ὑπόβαθρο στὶς προσπάθειές μας νὰ φέρουμε τὴ φυσικὴ πιὸ κοντὰ στὰ σύγχρονα προβλήματα τῆς βιολογίας καὶ τῆς βιοϊατρικῆς.

Στὴν κατεύθυνση αὐτὴ ἔχει ἐπιτευχθεῖ σημαντικὴ πρόοδος. Οἱ ἔμμεσες συγκρούσεις τῶν ἠλεκτρονίων μὲ τὰ μόρια καὶ ἡ σύλληψή τους ἀπὸ τὰ μόρια—ὅπως περιληπτικὰ περιέγραψα—συμβαίνουν καὶ στὰ βιολογικὰ μοριακὰ συστήματα. Ἄν καὶ ἀσφαλῶς οἱ μηχανισμοὶ ἐπηρεάζονται ἀπὸ τὸ βιολογικὸ περιβάλλον, ἐν τούτοις οἱ ἔμμεσες συγκρούσεις τῶν ἠλεκτρονίων μὲ τὰ βιολογικὰ μόρια συνιστοῦν βασικοὺς τρόπους μέσω τῶν ὁποίων ἐνέργεια ἀπὸ τὶς διάφορες ἀκτινοβολίες διοχετεύεται στὴ βιολογικὴ ὕλη. Οἱ ἔμμεσες συγκρούσεις ἀποτελοῦν ἐπίσης τοὺς διαύλους διὰ τῶν ὁποίων ἐλεύθερα ἢ ἡμιελεύθερα ἠλεκτρόνια συλλαμβάνονται ἀπὸ τὰ μακρομόρια. Τέτοιες συλλήψεις ἠλεκτρονίων ἀπὸ τὰ μακρομόρια ὀδηγοῦν μὲ μεγάλη πιθανότητα σὲ θραύση τῶν μοριακῶν δεσμῶν τῶν μακρομορίων καὶ σὲ ἐπακόλουθη βιολογικὴ βλάβη. Στὴν εἰκόνα 17 ἀπεικονίζεται ἓνας τέτοιος μηχανισμὸς, ὁ ὁποῖος ὑποστηρίζεται ἀπὸ σύγχρονα πειραματικὰ δεδομένα. Τὰ χαμηλῆς κινητικῆς ἐνέργειας ἠλεκτρόνια εἰσέρχονται στὴ δομὴ τοῦ DNA μέσω τῶν ἀρνητικῶν ἰόντων τῶν μοριακῶν του μονάδων (the molecular units of DNA), ἡ ἐνέργειά τους ἐναποτίθεται στὶς μοριακὲς αὐτὲς μονάδες καὶ προκαλεῖ τὴ διάσπασή τους καὶ τὴν ἐπακόλουθη ἀπλή ἢ διπλή θραύση τῆς ἔλικας τοῦ DNA, μὲ τελικὸ ἀποτέλεσμα τὴ βιολογικὴ βλάβη.

Ἔχουν περάσει τρεῖς δεκαετίες ἀπὸ τότε ποὺ διαπιστώσαμε καὶ ὑποδείξαμε τὴ σημασία αὐτῶν τῶν ἀντιδράσεων σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τοὺς μηχανισμοὺς μὲ τοὺς ὁποίους ἰονίζουσες ἀκτινοβολίες προκαλοῦν βιολογικὴ βλάβη. Ἐκτοτε, τὰ ποσοτικὰ ἀποτελέσματα πάνω στὶς ἀντιδράσεις χαμηλῆς ἐνέργειας ἠλεκτρονίων μὲ μόρια ἀποτελέσαν τὴ βάση θεωριῶν σχετικὰ μὲ τὴ βλάβη ποὺ προκαλοῦν οἱ ἰονίζουσες ἀκτινοβολίες (radiation damage). Τὰ ποσοτικὰ ἀποτελέσματα πάνω στὴ σύλληψη ἠλεκτρονίων ἀπὸ μόρια βρῆκαν ἐφαρμογὲς στὴν ἀκτινοθεραπεία μὲ τὴ χρῆση ἀκτινοευαίσθητοποιητῶν (radiosensitizing agents) καὶ στὴ φυσικὴ θεμελίωση καὶ ποσοτικὸ

υπολογισμό τῆς τοξικότητας τῶν μορίων με βάση τις ἐνεργές διατομές σύλληψης ἠλεκτρονίων ἀπὸ μόρια.

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, ἐπιτρέψατέ μου νὰ καταλήξω σὲ δύο συμπεράσματα: 1. Ὅτι ἡ μελέτη τῆς ἀλληλεπίδρασης τῶν ἐλεύθερων ἠλεκτρονίων με ἀδιέγερτα καὶ διεγερμένα ἄτομα καὶ κυρίως με ἀδιέγερτα καὶ διεγερμένα μόρια εἶναι κατάμεστη ἀπὸ νέα βασικὴ γνώση καὶ δυνατότητες γιὰ ἐφαρμογές. 2. Ὅτι ἡ σύγχρονη προσπάθεια γιὰ ἐνοποίηση τῆς γνώσης μας στὸν τομέα αὐτὸ σὲ ὅλες τις καταστάσεις τῆς ὕλης ὑπόσχεται τὴ διεΐσδυση τῆς φυσικῆς στὸ δύσκολο, ἀλλὰ οὐσιώδη τομέα τῆς βιολογίας καὶ τῆς βιοϊατρικῆς.

Ἡ ἐπιστήμη, ἡ ἐπιστημονικὴ τεχνολογία καὶ ὁ ἄνθρωπος

Κυρίες καὶ κύριοι συναδέλφοι Ἀκαδημαϊκοί, κυρίες καὶ κύριοι,

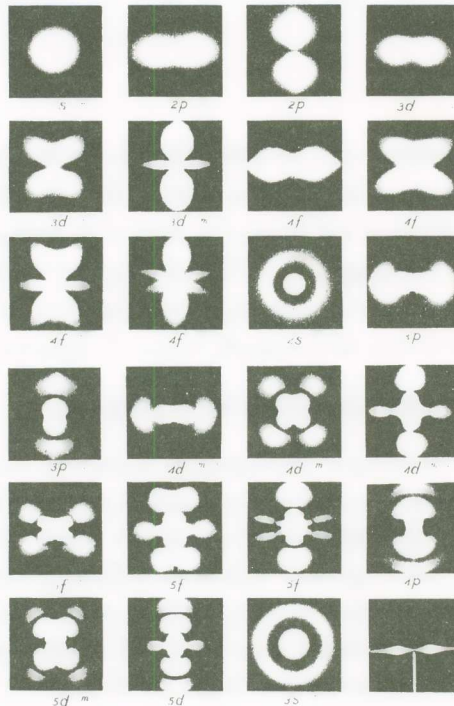
Κλείνοντας τὴν ὁμιλία μου νομίζω πὼς ἐκφράζω τὴν κοινὴ ἐλπίδα ὅλων μας, καὶ κυρίως ἐκείνων ἀπὸ μᾶς ποὺ παράγουν τὴ γνώση ποὺ ὀδηγεῖ σὲ νέες τεχνολογίες, ὅτι με τὴν ἐπιστήμη καὶ τὴν ἐπιστημονικὴ τεχνολογία κτίζεται ἡ γέφυρα γιὰ ἓνα καλύτερο μέλλον, ὅπου ὁ ἄνθρωπος, ὁ κάθε ἄνθρωπος, θὰ ζήσει πιά με λιγότερο φυσικὸ πόνο καὶ ἀνέχεια, καὶ ὅπου ἡ γῆ θὰ καταστεῖ ἓνας τόπος πῶς δίκαιος ἀπὸ ὅ,τι στὸ παρελθόν. Πιστεύω πὼς προϋπόθεση γιὰ μιὰ τέτοια ἐλπίδα δὲν εἶναι μόνο ἡ γνώση ποὺ προσφέρει ἡ ἐπιστήμη στὸν ἄνθρωπο, ἀλλὰ καὶ τὸ φῶς κάτω ἀπὸ τὸ ὁποῖο ὁ ἄνθρωπος θὰ τὴ χρησιμοποιοῦσε. Πιστεύω ἀκόμα ὅτι ὁ βαθμὸς στὸν ὁποῖο ἡ ἐπιστήμη καὶ ἡ ἐπιστημονικὴ τεχνολογία θὰ βοηθήσουν τὸν ἄνθρωπο, θὰ ἐξαρτηθεῖ περισσότερο ἀπὸ τις ἀνθρώπινες ἀξίες μᾶλλον παρὰ ἀπὸ τὴ γνώση τῆς ἐπιστήμης καὶ τὰ μηχανήματα τῆς τεχνολογίας.

Ἡ πειραματικὴ ἐπιστήμη, ἰδιαίτερα ἡ φυσικὴ καὶ στίς μέρες μας ἐπίσης καὶ ἡ βιολογία, ἔσπρωξαν τὸν ἄνθρωπο πέρα ἀπὸ τις συνηθισμένες παραδόσεις καὶ πέρα ἀπὸ τὰ καθιερωμένα συστήματα ἠθικῆς. Ἐσπρωξαν ἐπίσης τὸν ἐπιστήμονα πέρα ἀπὸ τοὺς παραδοσιακοὺς κανόνες ἐπιστημονικῆς συμπεριφορᾶς ὥστε νὰ δυσκολεύεται πιά ὁ ἐπιστήμονας νὰ διεκδικεῖ ὅτι ἡ γνώση ποὺ παράγει εἶναι ἐξ ὀρισμοῦ ὠφέλιμη ἢ ἠθικὰ οὐδέτερη. Πολλὰ ἀπὸ τὰ ἰδιαίτερος δύσκολα ἐπιστημονικοτεχνολογικὰ προβλήματα ποὺ ἀντιμετωπίζουμε σήμερα, ἰδιαίτερα αὐτὰ ποὺ ἀναφέρονται στὰ πυρηνικὰ ὄπλα καὶ στὴ γενετικὴ μηχανικὴ, ξεπερνοῦν τὰ ὅρια τόσο τῆς ἐπιστήμης ὅσο καὶ τῶν κοινωνικῶν, ἠθικῶν, καὶ θρησκευτικῶν ἀρχῶν καὶ παραδόσεων τοῦ ἀνθρώπου.

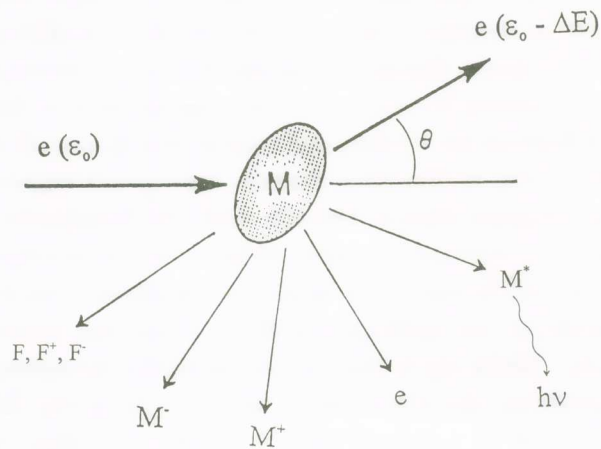
Στὴν ἀντιμετώπιση τῶν προβλημάτων αὐτῶν ἡ ἐπιστήμη συναντᾷ τὴ συνειδηση καὶ τὴν ἱστορία. Ἄθελά της ἡ ἐπιστήμη ἀντιμετωπίζει διστακτικὰ τὴν ἠθικὴ.

Στὴν ἀντιμετώπιση τῶν προβλημάτων αὐτῶν, ὁ σύγχρονος ἄνθρωπος διαπιστώνει πὼς δὲν ἔχει πιά ἄλλη ἐπιλογὴ παρὰ νὰ ἀναλάβει τις εὐθύνες του ὡς ἐπιστήμονας καὶ ὡς πολίτης γιὰ μιὰ ἀνθρώπινη γῆ.

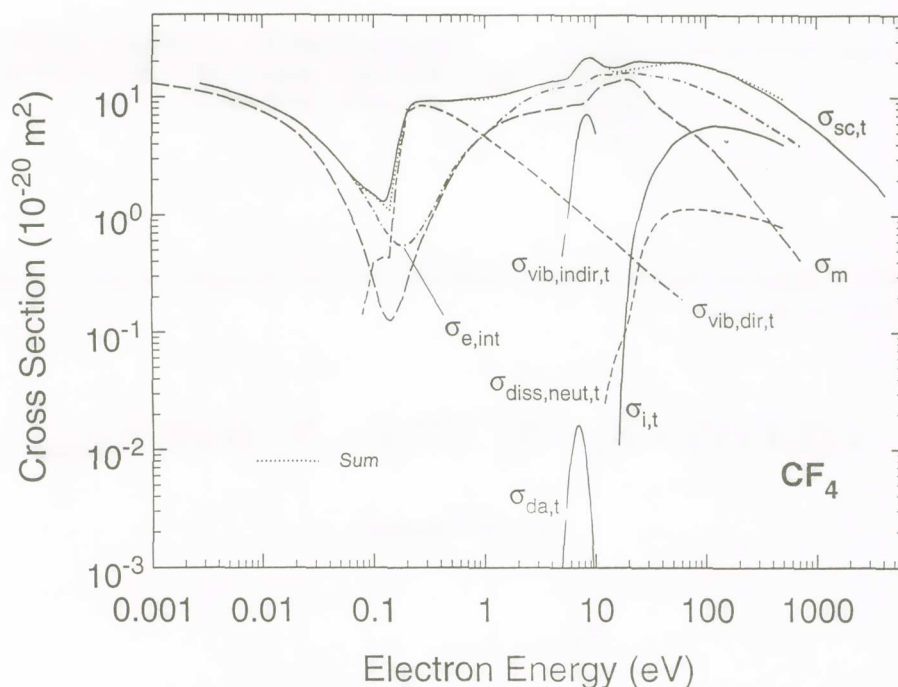
Σᾶς εὐχαριστῶ.



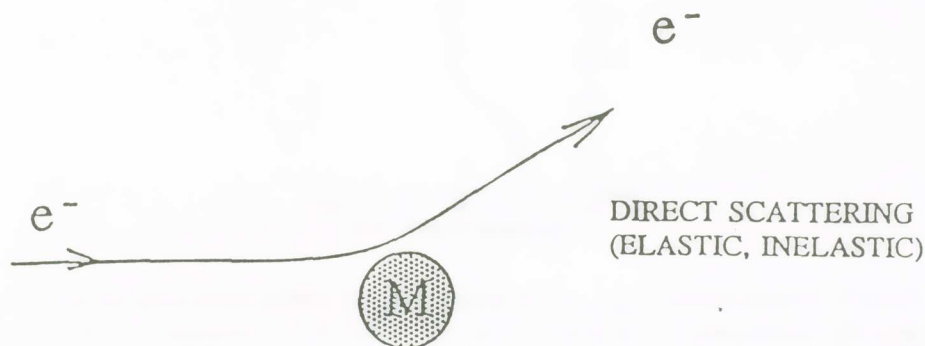
Εικόνα 1: Χαρακτηριστικά ("αρχέγονα") σχήματα ηλεκτρονικών κυματικών συναρτήσεων για τις χαμηλότερες ενεργειακές στάθμες του ατόμου του υδρογόνου [H.E. White, Phys. Rev. **37**, 1416 (1931)].



Εικόνα 2: Σχηματική παράσταση μίας ομάδας πειραμάτων αλληλεπίδρασης ελεύθερων ηλεκτρονίων με μόρια.



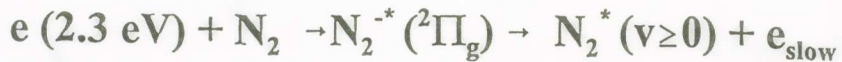
Εικόνα 3: Ένεργες διατομές για τον σκεδασμό του ηλεκτρονίου από το μόριο του τετραφθοριούχου άνθρακα (CF_4) με ταυτόχρονη διέγερση πυρηνικών ταλαντώσεων του μορίου, ή ιονισμό του μορίου, ή διάσπαση του μορίου, ή σύλληψη του ηλεκτρονίου από το μόριο, ή ελαστική σκέδαση του ηλεκτρονίου [L.G. Christophorou, J.K. Olthoff, and M.V.V.S. Rao, J. Phys. Chem. Ref.Data **25**, 1341 (1996); L.G. Christophorou and J.K. Olthoff, J. Phys. Chem. Ref. Data **28**, 967 (1999)].



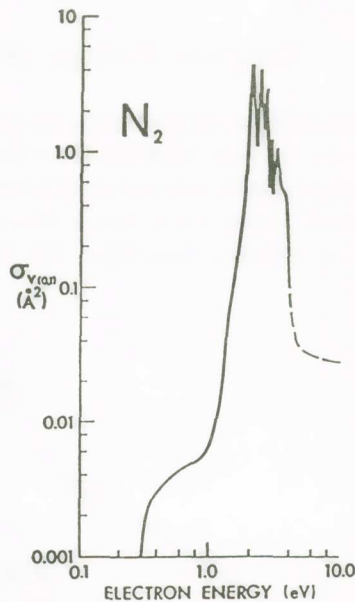
Εικόνα 4: Σχηματική παράσταση άμεσης (direct) σύγκρουσης ηλεκτρονίου με μόριο – άμεση σκέδαση του ηλεκτρονίου.



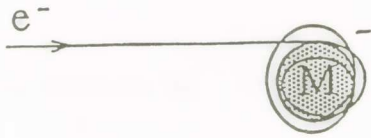
Εικόνα 5: Σχηματική παράσταση έμμεσης (indirect) σύγκρουσης ηλεκτρονίου με μόριο – έμμεση σκέδαση του ηλεκτρονίου.



(5×10^{-15} seconds)



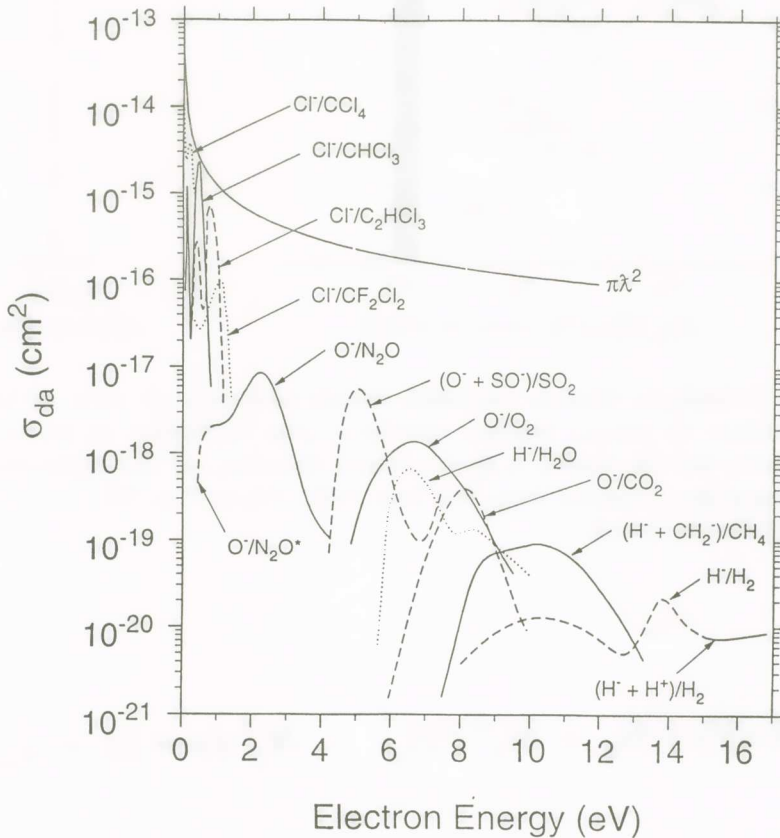
Εικόνα 6: Ένεργος διατομή, $\sigma_{v(0,1)}$, για τη διέγερση στη $v=1$ στάθμη ταλάντωσης του μορίου N_2 μέσω της αποδιέγερσης του άρνητικού ιόντος $N_2^{-*} (^2\Pi_g)$ [L.G. Christophorou, *Atomic and Molecular Radiation Physics*, Wiley-Interscience, New York, 1971, p. 350; R.W. Crompton, *XVI International Conference on Phenomena in Ionized Gases, Invited Lectures*, W. Bötticher, H. Wenk, and E. Schulz-Gulde (Eds.), Düsseldorf, 1983, p. 69].



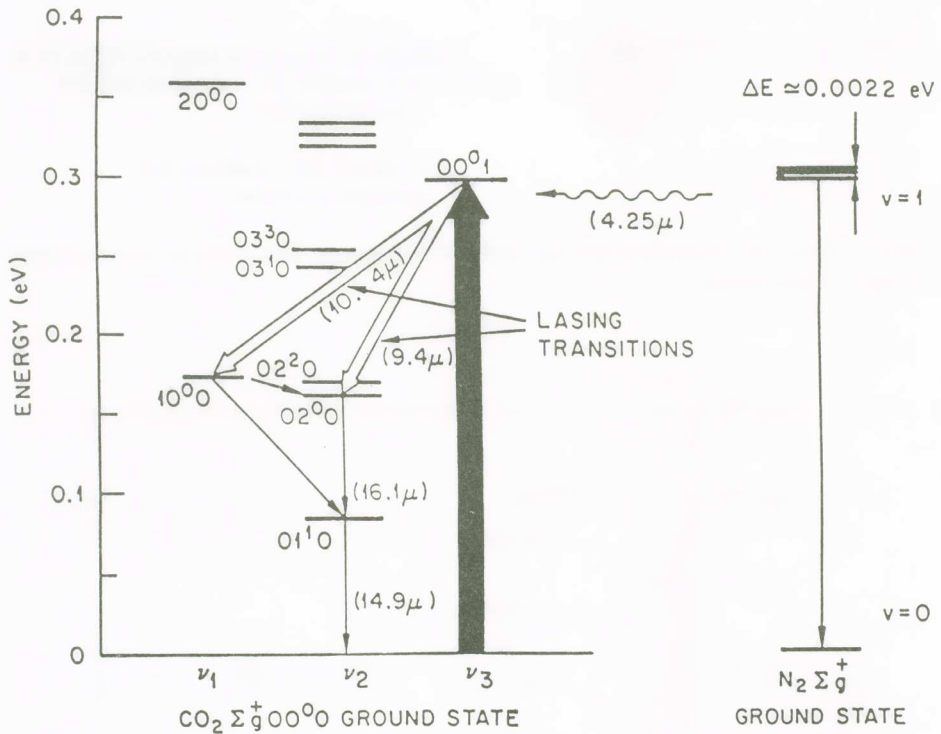
DESTRUCTION BY ANION FORMATION
 $[M^*]^-$: - FRAGMENT ($X^- + R$) ANIONS BY DISSOCIATION

- PARENT (M^*) ANIONS BY STABILIZATION

Εικόνα 7: Σχηματική παράσταση έμμεσης (indirect) σύγκρουσης ηλεκτρονίου με μόριο - μοριακή σύλληψη του ηλεκτρονίου.



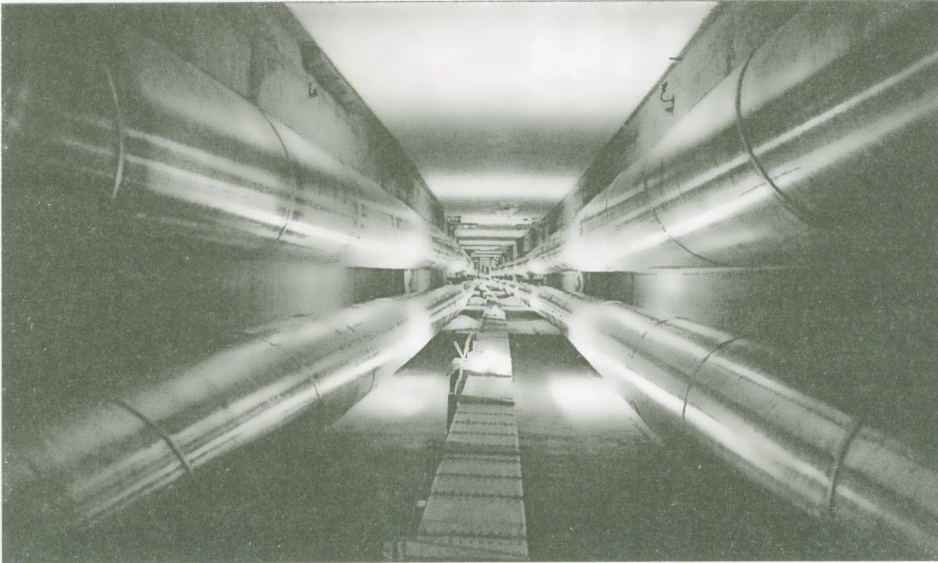
Εικόνα 8: Ένεργες διατομές (πιθανότητες) διασπαστικής σύλληψης ηλεκτρονίων από μόρια. Όσο μικρότερη είναι η ενέργεια συντονισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα σύλληψης του ηλεκτρονίου από το μόριο [L.G. Christophorou, A.A. Christodoulides, and D.L. McCorkle, in *Electron-Molecule Interactions and Their Applications*, L.G. Christophorou (Ed.), Academic Press, New York, 1984, Volume 1, p. 559].



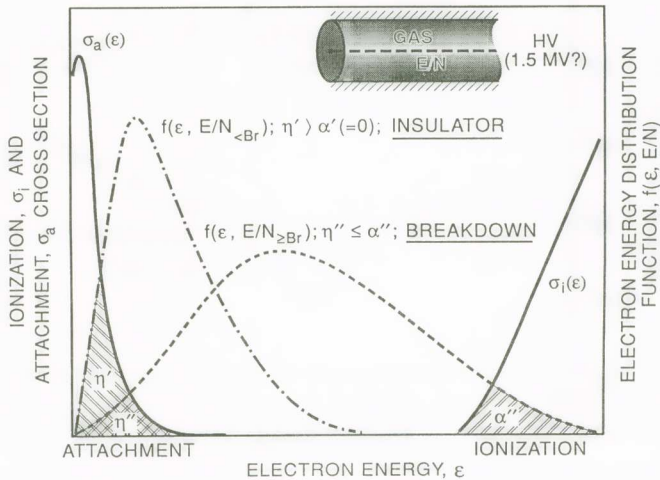
Εικόνα 9: Απλοποιημένο διάγραμμα ενεργειακών σταθμών ταλάντωσης των μορίων του CO_2 και N_2 , που επεξηγεί την έκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας λέιζερ του διοξειδίου του άνθρακα [L.G. Christophorou and S.R. Hunter, in *Electron-Molecule Interactions and Their Applications*, L.G. Christophorou (Ed.), Academic Press, New York, 1984, Volume 2, p. 325; A.J. De Maria, Proc. IEEE **61**, 731 (1973)].



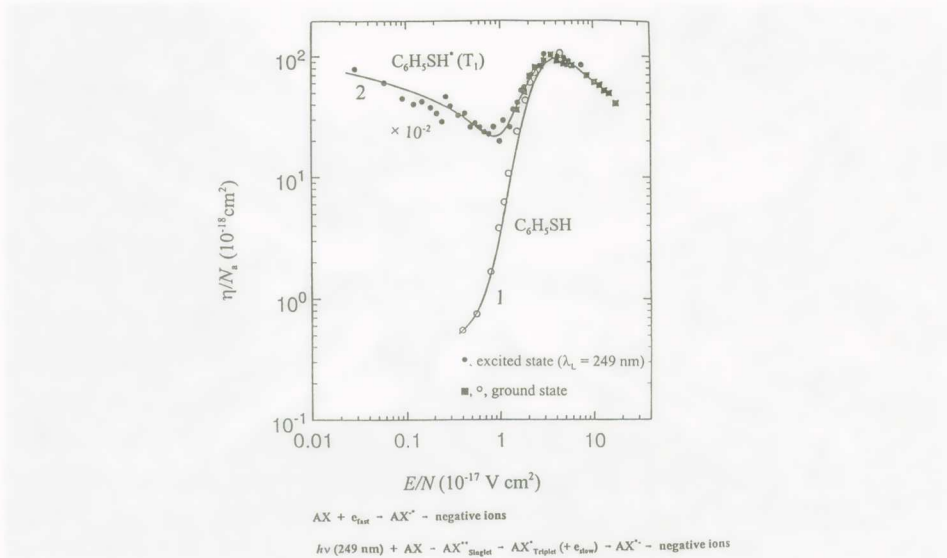
Εικόνα 10: Παραγωγή $\text{CO}_2^*(00^0 1)$ μέσω του μεταστατούς αρνητικού ιόντος του μορίου του άζωτου, $\text{N}_2^*(^2\Pi_g)$, κατά την ηλεκτρική εκκένωση στο αέριο μείγμα $\text{CO}_2 + \text{N}_2$.



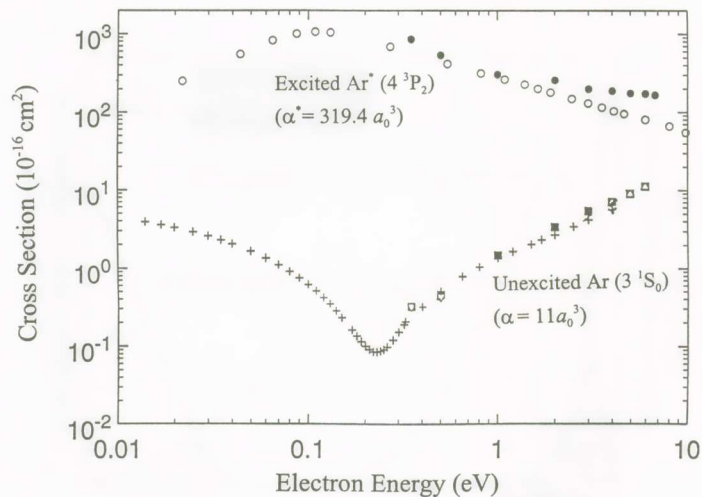
Εικόνα 11: 300-kV γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας τοποθετημένες σε σήραγγα και μονωμένες με το διηλεκτρικό αέριο μείγμα 80% N_2 +20% SF_6 (Transmission and Distribution World, January 2001, p. 30), όπως ακριβώς υπέδειξε η πειραματική φυσική πάνω στις αντιδράσεις ηλεκτρονίων με μόρια (L.G. Christophorou, J.K. Olthoff, and D.S. Green, *Gases for Electrical and Arc Interruption: Possible Present and Future Alternatives to Pure SF_6* , National Institute of Standards and Technology Technical Note 1425, 1997).



Εικόνα 12: Η φυσική βάση μονωτικών αερίων (διηλεκτρικών αερίων) [L.G. Christophorou, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*268, 424 (1988)].



Εικόνα 13: Πρώτα πειραματικά δεδομένα πάνω στη σύλληψη ηλεκτρονίων από διεγερμένα μόρια [L.G. Christophorou, S.R. Hunter, L.A. Pinnaduwege, J.G. Carter, A.A. Christodoulides, and S.M. Spyrou, *Phys. Rev. Lett.* **58**, 1316 (1987); L.A. Pinnaduwege, L.G. Christophorou, and S.R. Hunter, *J. Chem. Phys.* **90**, 6275 (1989)].

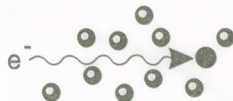


Εικόνα 14: Ένεργες διατομές σκέδασης ηλεκτρονίου από διεγερμένο και αδιεγερτο άτομο άργου (Ar) [L.G. Christophorou and J.K. Olthoff, *Advances in Atomic, Molecular, and Optical Physics* **44**, 2000, p. 170].

Low-pressure gases



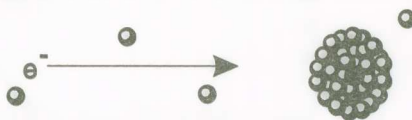
High-pressure gases



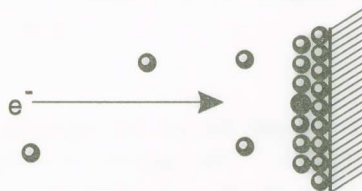
Very-high-pressure gases



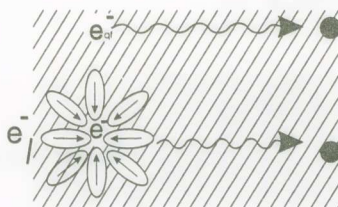
Clusters



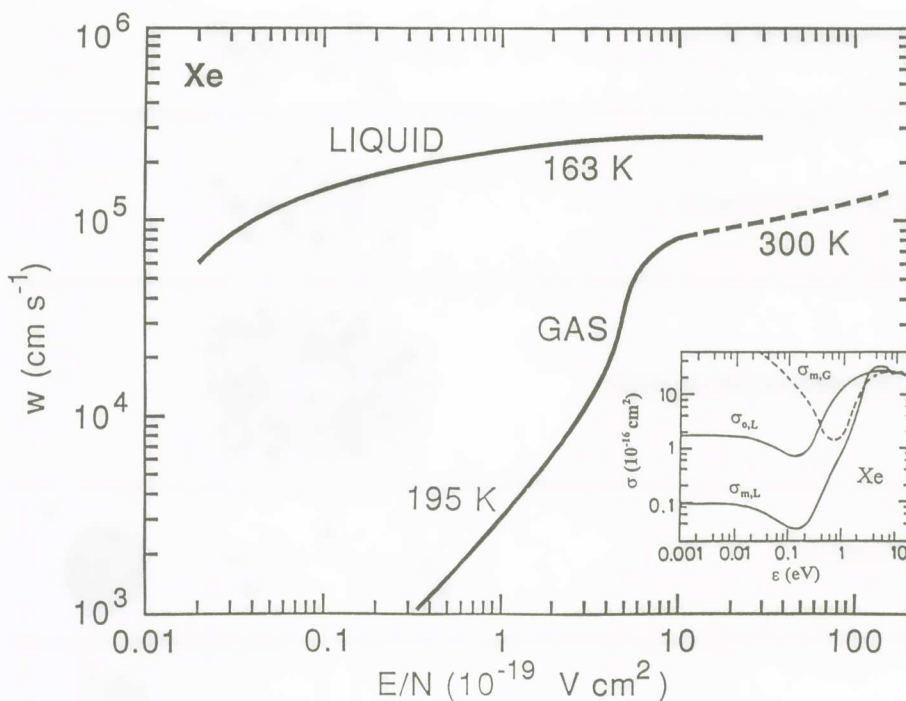
Films and surfaces



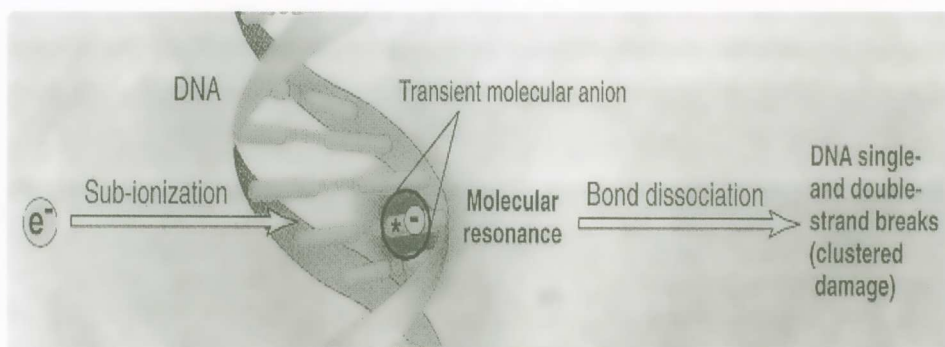
Condensed matter



Εικόνα 15: Σχηματική παράσταση αλληλεπίδρασης ηλεκτρονίων με άτομα και μόρια σε διάφορες καταστάσεις της ύλης.



Εικόνα 16: Ένεργες διατομές και ταχύτητες κίνησης (drift velocities) ηλεκτρονίων σε αέριο και υγρό ξένο (Xe) [L.G. Christophorou, in *Linking the Gaseous and the Condensed Phases of Matter: The Behavior of Slow Electrons*, L.G. Christophorou, E. Illenberger, and W.F. Schmidt (Eds.), Plenum Press, New York, 1994, p. 10].



Εικόνα 17: Σχηματική παράσταση μηχανισμού βιολογικής βλάβης που προκαλείται από ηλεκτρόνια χαμηλής κινητικής ενέργειας [B. Boudaiffa, P. Cloutier, D. Hunting, M.A. Huels, and L. Sanche, *Science*, **287** (3 March 2000), 1658 (2000)].