

## Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Μολονότι στη φυσιολογική τους επίδραση οι ιονίζουσες ακτινοβολίες δεν θεωρούνται σαν απαραίτητες για την εν γένει διατήρηση της ζωής, όπως αυτό συμβαίνει για τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες (Φωτοσύνθεση, Φωτοπεριοδικότητα, Φωτοτακτισμός, Βιοφωτισμός κ.ά.), αν και σίγουρα έχουν επηρεάσει (θετικά;) την εξέλιξη της ζωής, εν τούτοις έχουν τύχει ιδιαίτερης προσοχής και μελέτης για τους εξής λόγους:

α) η ανακάλυψη της πρώτης ιονίζουσας ακτινοβολίας από τον Roentgen και στη συνέχεια από τον Becquerel και το ζεύγος Curie, άνοιξε νέους ορίζοντες στις θετικές επιστήμες.

β) αμέσως μετά την ανακάλυψή τους έγιναν φανερές οι βλαβερές επιπτώσεις αλλά και οι χρήσιμες εφαρμογές τους.

γ) η χρήση της Πυρηνικής ενέργειας σε πολεμικές επιχειρήσεις (βόμβες Hiroshima και Nagasaki) αλλά και σε ειρηνικές εφαρμογές (π.χ. πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) όπου έχουν συμβεί ατυχήματα επηρεάζουν μακροπρόθεσμα τη ζωή στον πλανήτη μας.

δ) τόσο η κοσμική ακτινοβολία όσο και η Φυσική ακτινοβόληση των κατοίκων της Γης από ραδιενεργά ορυκτά φτάνουν αρκετές φορές σε υψηλά επίπεδα.

ε) η χρησιμοποίηση των ιονίζουσών ακτινοβολιών σαν μέσα διάγνωσης αλλά και θεραπείας προποθέτει γνώση της επίδρασής τους στα κύτταρα.

στ) η επίδραση τυχούσας ιονίζουσας ακτινοβολίας πάνω σ' ένα Βιολογικό σύστημα επιφέρει ανιχνεύσιμες αλλοιώσεις η διερεύνηση των οποίων μας δίνει έμμεσα πληροφορίες της λειτουργίας κυτταρικών συστατικών.

Η μόνη ένδειξη περί συμμετοχής ιονίζουσας ακτινοβολίας στη διατήρηση της ζωής, αναφέρεται στην πιθανότητα εμπλοκής της κοσμικής ακτινοβολίας πάνω στο μηχανισμό Βιολογικού ωρολογίου των οργανισμών. Τούτο όμως αποτελεί ακόμη μιά απλή ένδειξη.

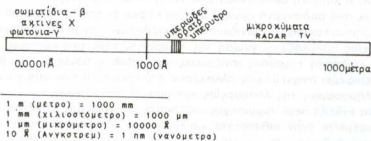
Η ύπαρξη ακτινοβολιών είναι τόσο παλαιά όσο και το ίδιο το Σύμπαν, αφού δεν είναι δυνατόν να φανταστεί κανείς αλληλομετατροπές ενέργειας (κινητική, θερμική πυρηνική, κ.ά.) χωρίς την ταυτόχρονη ελευθέρωση κάποιας ακτινοβολίας του όλου ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που πάντα υπήρχε. Έτσι δεν είναι τυ-

χαίο το γεγονός ότι οι οργανισμοί «δημιουργήθηκαν» και αναπτύχθηκαν μέσα σε καταγίγισμό ακτινοβολιών όπως περιγράφουν και οι αντίστοιχες θεωρίες για την προέλευση της ζωής. Ο πρώτος άνθρωπος δεν γνώριζε παρά μόνο την ακτινοβολία που μπορούσε να δει με τα μάτια του, η οποία και αποτελεί ένα ελάχιστο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που προερχόταν από την ίδια τη Γη, αλλά και από το διάστημα. Χρειάστηκε να περάσουν αρκετές δεκάδες χιλιάδες χρόνια για να γίνει αντιληπτό, μέσα από τη συνεχή προσπάθεια για μάθηση, του πρωτόγονου ανθρώπου, πως υπάρχουν και «αόρατες δυνάμεις» που επηρεάζουν τη ζωή στον πλανήτη μας.

Η ανάλυση του λευκού φωτός που προέρχεται από τον Ήλιο πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Newton (1666 μ.Χ.), ο οποίος αφού τοποθέτησε ένα πρίσμα στο δρόμο του λευκού φωτός παρατήρησε την ανάλυσή του σε ένα φάσμα που αρχίζει από το ερυθρό και τελειώνει στο ιώδες χρώμα. Αρκετά χρόνια αργότερα (1.800 μ.Χ.) ανακαλύφθηκε ότι και από τις δύο πλευρές της ορατής περιοχής του ηλιακού φάσματος υπάρχουν αόρατες ακτινοβολίες που γίνονται αντιληπτές έμμεσα: Η μεν υπέρυθρος ακτινοβολία με αύξηση της θερμοκρασίας ενός θερμομέτρου, η δε υπεριώδης, με επίδραση πάνω σε φωτογραφικές πλάκες.

Η ανακάλυψη βέβαια αυτής της ίδιας της ηλεκτομαγνητικής ακτινοβολίας και η δυνατότητα παραγωγής επιθυμητών ακτινοβολιών δεν είναι παρά επίτευγμα των τελευταίων 90 χρόνων που αποτελεί απειροελάχιστο κλάσμα της ιστορίας του ανθρώπου. Οι λόγοι της «καθυστέρησης» αυτής είναι πολλοί και διάφοροι αλλά ο κυριώτερος είναι πως η ανίχνευση αόρατων καταστάσεων απαιτεί πάντα ωριμότητα τεχνολογικής εξέλιξης και επιστημονικής σκέψης. Κατά συνέπεια όταν καλύφθηκε το «πλήρωμα του χρόνου» έφθασε η ιστορική αναγκασία στιγμή που με τη μορφή αξίων εκπροσώπων του ανθρώπινου είδους θεμελίωσε σταδιακά τις γνώσεις μας για τις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες.

Σήμερα είναι γνωστό ότι «κυκλοφορούν» γύρω μας άπειρες τέτοιες ακτινοβολίες (βλ. εικ. 1, Πίν. Ι) που έχουν φυσική ή τεχνητή προέλευση. Πολλές από



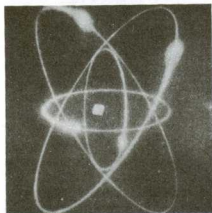
Εικ. 1: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα των φυσικών και τεχνητών ακτινοβολιών περιλαμβάνει την περιοχή του ορατού φωτός (4.000-7.000 Å) και χωρίζεται στις ακτινοβολίες που προκαλούν ιονισμό ατόμων (με μήκος κύματος μικρότερο από 1.000 Å) και στις ακτινοβολίες που προκαλούν μόνο διεγέρσεις, ταλαντώσεις και περιστροφές μορίων ή ατόμων (με μήκος κύματος μεγαλύτερο από 1.000 Å). Ο διαχωρισμός αυτός έχει δημιουργήσει δύο περιοχές Βιολογικής έρευνας, τη «Ραδιοβιολογία» και τη «Φωτοβιολογία» αντίστοιχα.

αυτές είναι αναγκαίες, ενώ άλλες δεν είναι αναγκαίες για τη διατήρηση της ζωής και όμως υπάρχουν χωρίς να μπορούμε να τις εξουδετερώσουμε. Όμως και στις δύο κατηγορίες ακτινοβολιών άλλες είναι ωφέλιμες και άλλες βλαβερές.

Πίνακας 1: Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Συχνότητα (Hz)	Μήκος κύματος λ	Όνομασία
$0-5,5 \times 10^5$	-550 m	Ακουστική συχνότητα, Υπέρηχοι
$0,65-1,6 \times 10^6$	200-550m	Μακρά κύματα Ραδιοφωνίας
$0,15-1,5 \times 10^7$	20-200 m	Μεσαία κύματα Ραδιοφωνίας
$0,15-6 \times 10^8$	0,5-20 m	Βραχεία κύματα Ραδιοφωνίας
$0,06-30 \times 10^{10}$	0,001-0,5 m	TV, VHF, UHF (Τηλεόραση, Υπερβραχεία κ.λπ.)
$0,15-26 \times 10^{11}$	0,1-20 mm	Μικροκύματα, Radar
$0,25-40 \times 10^{13}$	0,75-120 μm	Θερμική ακτινοβολία
$4-8 \times 10^{14}$	3,500-7,500 Å	IR εγγύς (υπέρυθρο)
$0,08-30 \times 10^{16}$	1-3.500 Å	<b>Ορατό φως</b>
$0,3-30 \times 10^{18}$	0,1-100Å	Υπεριώδες φως
$0,3-30 \times 10^{20}$	0,0001-0,1 Å	Ακτίνες-X (1-100 Kev)
$0,08-1 \times 10^{22}$	0,0003-1Å	Ακτίνες-γ (0,1-10 Mev)
		Ηλεκτρόνια ( $50-3 \times 10^6$ ev)
		(Πρωτόνια, νετρόνια, σωματίδια -α, κ.λπ.)

Για να πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή θα πρέπει να πούμε πως όλες οι ακτινοβολίες αποτελούν εκδήλωση κάποιων φαινομένων σε μόρια, σε άτομα (εικ. 2) ή σε υποατομικά συστατικά.



Εικ. 2: Σχηματική απεικόνιση ατόμου Βηρυλλίου με 4 πρωτόνια και 2 νετρόνια στον πυρήνα, ενώ γύρω περιστρέφονται σε καθορισμένες τροχιές τέσσερα ηλεκτρόνια. Αν οι αναλογίες ήταν σωστές τότε ο πυρήνας στο κέντρο δεν θα φαινόταν με γυμνό μάτι.



Εικ. 3: Δημόκριτος ο Αβδηρίτης. Έλληνας φιλόσοφος του 4ου αιώνα π.Χ. Πρώτος συνέλαβε την ιδέα της ύπαρξης των **ατόμων** από τα οποία αποτελούνται όλα τα σώματα.

Η έννοια της ύπαρξης στοιχειωδών σωματιδίων – **ατόμων** – από τα οποία αποτελείται κάθε αντικείμενο, καλλιεργήθηκε πρώτα φιλοσοφικά (Βλ. Δημόκριτος-Έλληνας φιλόσοφος του 5ου αιώνα π.Χ. (εικ. 3)) και πολύ αργότερα πειραματικά από τον John Dalton (1.766-1.844).



Joseph-John Thomson

Η ανακάλυψη μιας αόρατης ακτινοβολίας έγινε από τον Γουλιέλμο Ραϊντγκεν (Wilhelm Roentgen (εικ. 4) στα 1895, όταν πειραματιζόμενος με λυχνία κενού Crookes και φθορίζουσα οθόνη παρατήρησε έκπληκτος τη «σκιά» του χεριού του να διαγράφεται στην οθόνη καθώς από μέσα του περνούσαν οι αόρατες ακτίνες που πήραν το όνομά του αλλά που από τον ίδιο μετριοφρόνα αλλά μεγάλο ερευνητή, ονομάστηκαν «ακτίνες X» Ένα χρόνο αργότερα, στα 1896, ανακαλύφθηκε το ηλεκτρόνιο από τον Ιωσήφ-Ιωάννη Τόμσον (Joseph-John Thomson) στην Αγγλία. Όπως σήμερα ξέρουμε, οι ακτίνες X δημιουργούνται όταν ηλεκτρόνια «προσκρούσουν» σε μέταλλο. Έτσι δεν είναι καθόλου τυχαίο που οι δύο αυτές ανακαλύψεις έγιναν σχεδόν ταυτόχρονα και άνοιξαν νέους ορίζοντες στη Φυσική, που αργότερα έδωσε τους κλάδους της **Κβαντομηχανικής**, της **Πυρηνικής Φυσικής**, της **Ηλεκτρονικής Οπτικής** και αρκετούς άλλους.

Η χρήσιμη αλλά παράλληλα και η βλαβερή δράση των ακτίνων Roentgen έγιναν αμέσως φανερές, πρώτα με τη δυνατότητα της διάγνωσης (ακτινογραφίες) που άρχισε αμέσως και έπειτα με την πρόκληση καρκίνων στους απλούς ανθρώ-



Εικ. 4. Ο Γερμανός Φυσικός Γουλιέλμος Ραϊντγκεν που ανακάλυψε τον τρόπο παραγωγής ακτίνων-X στα 1895.



Εικ. 5. Φωτογραφία της Μαρίας Κιουρί και της κόρης της Ειρήνης Κιουρί στο εργαστήριό τους όπου έγινε η ανακάλυψη και μελέτη των φαινομένων της ραδιενέργειας.

πους που κατασκεύαζαν και δοκίμαζαν τις λυχνίες ακτίνων Roentgen, αλλά και στους ερευνητές με πρώτο το Roentgen. Είναι λοιπόν κανόνας πως κάθε μεγάλη ανακάλυψη συνοδεύεται και από κινδύνους που παρανοούνται; Ίσως ναι.

Εκτός όμως από τις αόρατες αυτές ακτίνες που παράγονται τεχνητά ανακαλύφθηκαν λίγο αργότερα (1896) από τον Ερρίκο Μπεκερέλ (Henry Becquerel) και τη Μαρία Σκλοντόφσκα-Κιουρί (Marie Sklodowska-Curie) στη Γαλλία (εικ. 5) πως πετρώματα του ορυκτού ουρανίου έχουν και αυτά αόρατες ακτίνες πίο ισχυρές από τις ακτίνες Roentgen.

Έτσι ανακαλύφθηκαν τα στοιχεία ράδιο, θόριο, και πολώνιο.

Το τμήμα των ανακαλύψεων αυτών το πλήρωσε η Μαρία Κιουρί με τη ζωή της, αφού στο απόγειο της παγκόσμιας δόξας της αρρώστησε σοβαρά από καρκίνο (λευχαιμία)-τραγικό επακόλουθο εκδίκησης (!) από τις ακτίνες που η ίδια έφερε στο φως της Επιστήμης, εργαζόμενη σκληρά σε άθλιες συνθήκες μαζί με τον άντρα της Πέτρο Κιουρί (Pierre Curie) που χάθηκε πρόωρα από τροχαίο(!) ατύχημα στην καρδιά του Παρισιού. Όμως η Επιστήμη με τη μορφή πολλών αξίων ερευνητών πήρε τη σκυτάλη για να δώσει στις ακτίνες αυτές (ακτίνες γ, σωματίδια β, σωματίδια α) πρακτικές εφαρμογές που σήμερα είναι πολύ διαδεδομένες στη θεραπεία καρκίνων. Είναι γεγονός λοιπόν πως οι ακτίνες αυτές που σκοτώνουν μπορούν όταν ελέγχονται κατάλληλα να αποτελέσουν μέσο θεραπείας (ιδιαίτερα μετά την ανακάλυψη από τον Fermi στα 1934 του τρόπου παραγωγής ραδιοϊσοτόπων). Η χρησιμοποίηση όμως (εκμετάλλευση θα μπορούσαμε να πούμε) των μεγάλων ανακαλύψεων για πολεμικούς σκοπούς δεν μπορούσε παρά να γίνει και στην περίπτωση αυτή: έτσι είχαμε την τραγική ανάπτυξη των ατομικών βομβών και των άλλων πυρηνικών όπλων που απειλούν τη ζωή πάνω στον πλανήτη Γή. Παράλληλα, η ενέργεια των ακτίνων αυτών έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές χώρες, αφού σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 370 μεγάλα πυρηνικά εργοστάσια σ' όλο τον κόσμο. Η εξέλιξη αυτή βέβαια δεν θα ήταν καθόλου κατακριτέα (αφού τα εργοστάσια αυτά δίνουν φθηνότερα και καθαρότερα ηλεκτρική ενέργεια) αν οι κίνδυνοι που συνεπάγονται τη λειτουργία τους δεν είναι πράγματι ολέθριοι σε περιπτώσεις ατυχημάτων. Τα λίγα (ευτυχώς) ατυχήματα που έχουν συμβεί, με πρόσφατο εκείνο του Τσερνόμπιλ, έχουν αποδείξει ότι η τεχνολογία ίσως δεν είναι έτοιμη ακόμη να αξιοποιήσει ακίνδυνα την ενέργεια των ακτίνων αυτών για την παραγωγή άλλης μορφής ενέργειας, όπως είναι η ηλεκτρική.

Οι ιονίζουσες αυτές ακτινοβολίες (Roentgen, γ,β,α) έχουν όπως αναφέραμε βλαβερές επιδράσεις σε ανθρώπους και γενικά στη ζωντανή ύλη εξ' αιτίας της μεγάλης ενέργειας που έχουν, η οποία προκαλεί ιονισμούς και διασπάσεις των μορίων που συμμετέχουν στην εκδήλωση των φαινομένων της ζωής (αύξηση, ερεθιστικότητα, αναπαραγωγή). Έτσι από πολύ νωρίς, σχεδόν αμέσως μετά την ανακάλυψη των ακτίνων αυτών δημιουργήθηκαν οι επιστημονικοί κλάδοι της Ακτινοφυσικής (Radiation Physics) που αναφέρεται στις φυσικές ιδιότητες των ιονίζουσών ακτινοβολιών και της Ραδιοβιολογίας ή Ακτινοβιολογίας (Radiobiology ή Radiation Biology) που αναζητά τις σχέσεις ανάμεσα στις ιδιότητες των ιονίζουσών ακτινοβολιών και στις επιδράσεις τους στη ζωντανή ύλη, και που αποτε-



Ερρίκος Μπεκερέλ

λεί το κύριο αντικείμενο των «Σημειώσεων» αυτών. Πρόκειται πράγματι για σημειώσεις, αφού ένα τόσο τεράστιο θέμα δεν μπορεί ούτε καν περιληπτικά να αποδοθεί στις λίγες σελίδες που ακολουθούν, και που περιλαμβάνουν τις φυσικές ιδιότητες των ακτινοβολιών (δόσεις, όργανα μέτρησης, κ.λπ.), τα όρια δόσεων ασφαλείας για τον άνθρωπο, τις επιπτώσεις σε μόρια-κύτταρα-οργανισμούς, τους κινδύνους από πυρηνικά ατυχήματα και τέλος τη χρήση των ακτίνων αυτών στη διαγνωστική και στη θεραπεία διαφόρων ασθενειών.

Η ιστορική πορεία της ραγδαίας, μέσα σε 40-50 χρόνια ανακάλυψης της δομής του ατόμου, έχει ως εξής:

- 1895: «Παρατήρηση» των αόρατων από το ανθρώπινο μάτι *ακτίνων Χ* με πειράματα σε λυχνία Crookes, του Roentgen.
- 1896: Ανακάλυψη διεισδυτικών ακτινοβολιών που εκπέμπονται από ορυκτά ουρανίου, Becquerel και Curie.
- 1897: Ανακάλυψη των *ηλεκτρονίων* από τον Τόμσον, με πειράματα σε καθοδική λυχνία Crookes όπου η επιτάχυνση (προς το θετικό πόλο) αόρατων σωματιδίων δημιουργούσε φθορισμό.
- 1900: Πρώτες βιολογικές εφαρμογές ακτίνων Χ με πρόκληση μεταλλαγών από τον Muller.
- 1900-1905: Διατύπωση θεωρίας περί *φωτονίων* – στοιχειωδών ποσών ενέργειας κατά την εκπομπή ακτινοβολίας. Planck και Einstein.
- 1905: Διατύπωση της εξίσωσης  $E = M \cdot c^2$  από τον Einstein που επιβεβαιώθηκε πειραματικά αργότερα, αφού όταν γίνεται εκπομπή π.χ. σωματιδίων  $-β$  από ένα άτομο τότε η απώλεια μάζας ηρεμίας του ηλεκτρονίου και το ισοδύναμο μάζας της ενέργειας του κινούμενου ηλεκτρονίου είναι ίσα με την αρχική μάζα του ατόμου.
- 1911: Ανακάλυψη των *πρωτονίων* στον πυρήνα του ατόμου που περιέχουν θετικό φορτίο: πειράματα Rutherford με σκέδαση *σωματιδίων -α* σε λεπτό φύλλο χρυσού.
- 1919: Παραγωγή πρωτονίων με βομβαρδισμό ατόμων με σωματίδια  $-α$  από τον Rutherford.
- 1923: Μέτρηση του φορτίου και της μάζας του ηλεκτρονίου από τον Robert Millikan.
- 1932: Ανακάλυψη του *νετρονίου* από τον Chadwick, μετά από βομβαρδισμό ατόμων βηρυλίου με σωματίδια- $α$ .
- 1939: Σχάση (διάσπαση) ατόμου ουρανίου και ελευθέρωση ενέργειας.
- 1942: Κατασκευή πυρηνικού αντιδραστήρα (Η.Π.Α.)

## 1.2. Το άτομο και τα συστατικά του

Πρωτοπόρος στην κατανόηση της δομής των ατόμων αρκετούς αιώνες μετά τη σύλληψη της ιδέας περί Ατόμου από τον Δημόκριτο υπήρξε ο Νεοζηλανδός Ερνέστος Ράδερφορντ που εργαζόμενος στην Αγγλία παρατήρησε πως οι αόρα-



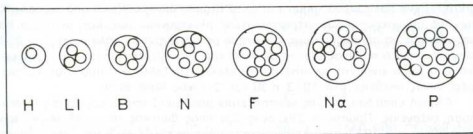
ΑΛΒΕΡΤΟΣ ΑΙΝΣΤΑΙΝ

τες ακτίνες απο ορυκτό ουράνιο (πισουρανίτη) έχουν διάφορες ιδιότητες και ονόμασε «άλφα» ( $\alpha$ ) αυτές που αποκλίνουν στον αρνητικό πόλο ηλεκτρικού πεδίου και «βήτα» ( $\beta$ ) αυτές που αποκλίνουν προς τον θετικό πόλο (αργότερα βρέθηκε ότι ταυτίζονται με τα ηλεκτρόνια). Υπάρχει όμως και μια τρίτη κατηγορία ακτίνων που δεν επηρεάζεται από ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο: οι ακτίνες αυτές ονομάστηκαν «γάμμα» ( $\gamma$ ) από τον Paul Villard που τις ανακάλυψε.

Στα 1907 ο Ράδερφορντ άρχισε να συνεργάζεται με τον Hans Geiger (Γερμανό Φυσικό) σε θέματα ανίχνευσης της ακτινοβολίας: κατασκεύασαν τον πρώτο «μετρητή ραδιενέργειας με σπινθηρισμό», όπου μια επίστρωση θείουχου ψευδαργύρου εξέπεμπε φως (σπινθηρισμό) όταν προσβαλόταν από σωματίδια  $\alpha$ .

Ο Ράδερφορντ επίσης στα 1918 με μια σειρά ευφυών πειραμάτων έδειξε ότι ο πυρήνας του ατόμου αποτελείται από *πρωτόνια* που έχουν θετικό φορτίο που εξουδετερώνεται από ισάριθμα ηλεκτρόνια περιστρεφόμενα γύρω από τον πυρήνα.

Σήμερα είναι γνωστό ότι εκτός από τα πρωτόνια (που καθορίζουν και τη χημική συμπεριφορά κάθε ατόμου), ο πυρήνας περιέχει νετρόνια που απλώς «βαρύνουν» χωρίς να έχουν φορτίο. Τα διάφορα στοιχεία διαφέρουν μεταξύ τους τουλάχιστον ως προς τον αριθμό πρωτονίων (εικ. 6).



Εικ. 6: Άτομα που δείχνουν τις διαφορές τους στον αριθμό πρωτονίων του πυρήνα. (Κάθε πρωτόνιο αποτελείται από 3 «κουάρκς».)

Συμπληρωματικά πειράματα των ίδιων ερευνητών εδραίωσαν την αντίληψή τους για τη δομή του ατόμου που συμπληρώθηκαν από πρωτοποριακές έρευνες του Δανού Niels Bohr και του Αυστριακού Wolfgang Pauli. Δεν άργησε όμως να αποκαλυφθεί από τον Albert Einstein και άλλους ερευνητές πως στον Ατομικό και υπο-Ατομικό κόσμο η έννοια της *ύλης* είναι συνδεδεμένη με την έννοιά της *ενέργειας* ( $E=M \cdot c^2$ ), η οποία και μεταδίδεται σε στοιχειώδη ποσά, τα *quanta* (φωτόνια). Έτσι, ένα ατομικό σωματίδιο μπορεί να μετατραπεί σε φωτόνιο και αντίστροφα. Οι κυματικές ιδιότητες των στοιχειωδών σωματιδίων (ηλεκτρονίου, πρωτονίου, νετρονίου) έγιναν φανερές, ιδιαίτερα μετά τις θεωρητικές προσεγγίσεις του Γάλλου Louis De Broglie, του Αυστριακού Erwin Schrodinger (ιδρυτού της Κυματομηχανικής) και του Γερμανού Werner Heisenberg (ιδρυτού της Κβαν-



Ερνέστος Ράδερφορντ.



Νίλς Μπορ

τομηχανικής). Απεδείχθη ότι κάθε κινούμενο σωματίδιο ισοδυναμεί με «υλικό κύμα» μήκους κύματος  $\lambda = h/m \cdot v$  αφού π.χ. τα ηλεκτρόνια δημιουργούν φαινόμενα περίθλασης όπως τα φωτόνια-Χ.

Στο άτομο του υδρογόνου (διαμέτρου  $\sim 1 \text{ \AA}$ ) με ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο, εάν μεγενθύνουμε τον πυρήνα (με το πρωτόνιο) στις διαστάσεις μιας μπάλας του τένις, τότε το ηλεκτρόνιο με μέγεθος κεφαλής καρφίτσας κάνει περί τις εκατό χιλιάδες δισεκατομμύρια περιστροφές στο δευτερόλεπτο (!) με ακτίνα ενός χιλιομέτρου (!).

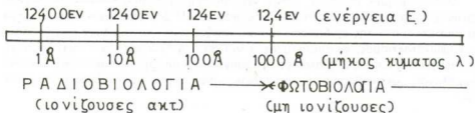
Είναι ενδιαφέρων στο σημείο αυτό ο υπολογισμός της διαμέτρου της Γης όπως θα γινόταν αν παρέμενε μόνο η μάζα των πυρήνων των ατόμων:  $640 \text{ m}$  (!) (με στοιχεία: διάμετρος πυρήνα ατόμων =  $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$ , διάμετρος ατόμων =  $3,5 \text{ \AA}$  και διάμετρος Γης  $12.740.000 \text{ m}$ ). Είναι βέβαια δύσκολο να φανταστούμε την εκδήλωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών φαινομένων σε μια τέτοια περίπτωση, αφού η μεγάλη πυκνότητα της ύλης ( $200$  εκατομμύρια τόνοι/ $\text{cm}^3$ ) δεν θα μπορούσε να ευνοήσει καμία φυσική, χημική ή βιολογική διαδικασία.

Μετά τα κλασσικά πειράματα του Rutherford και των μαθητών του, Geiger και Marsden στις αρχές του αιώνα (απόκλιση σωματιδίων  $\alpha$  από λεπτό φύλλο μετάλλου) η αντίληψη για τη δομή του ατόμου άλλαξε ριζικά: αποδείχθηκε ότι ο πυρήνας με τα πρωτόνια και τα νετρόνια, συγκεντρωμένος περίπου στο κέντρο αποτελεί ένα πολύ μικρό τμήμα του όλου ατόμου όπως ορίζεται από τις τροχιές των πύο απομακρυσμένων (περιφερειακών) ηλεκτρονίων του. Κατ' αναλογία θα μπορούσαμε να παρομοιάσουμε ένα άτομο με μια γιγάντια μπάλα διαμέτρου  $200$  μέτρων, όπου ο πυρήνας έχει το μέγεθος καρδιού (!) στο κέντρο της. Στον ενδιάμεσο χώρο κινούνται με «άνεση» τα ηλεκτρόνια (αλλά σε καθορισμένες τροχιές), όπως απέδειξε στα  $1913$  ο Δανός Φυσικός Niels Bohr.

Αλλαγή επιπέδου τροχιάς «επιτρέπεται» μόνο μετά από απορρόφηση ή απόδοση ενέργειας. Πρώτος ο  $26$ χρονος Βρετανός Φυσικός Henry Moseley (που σκοτώθηκε στα  $1913$  στον  $1ο$  παγκόσμιο πόλεμο) έδειξε ότι ο ατομικός αριθμός κάθε στοιχείου (όπως προσδιορίζεται στον Πίνακα του Mendeleev) είναι ταυτόσημος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων του. Δώδεκα χρόνια αργότερα ο Αυστριακός Wolfgang Pauli διατύπωσε τη γνωστή θεωρία του πως ο αριθμός των ηλεκτρονίων σε κάθε στιβάδα είναι καθορισμένος.

Καταλήγοντας, στη σύντομη αυτή Εισαγωγή θα πρέπει να σταθούμε στο σημαντικότερο ίσως σημείο της μελέτης των ακτινοβολιών που είναι ο διαχωρισμός τους σε *ιονίζουσες* και σε *μη ιονίζουσες* (Εικ. 7) ανάλογα με την ενέργεια που μεταφέρουν. Βλέπουμε συνεπώς πως προϊόντα των ατόμων επηρεάζουν αυτά τα ίδια τα άτομα. Δεν θα ήταν ίσως υπερβολή να πούμε πως το άτομο είναι η αρχή της εκδήλωσης όλων των φαινομένων που συμβαίνουν στο Σύμπαν, τόσο του υλικού κόσμου, όσο και του *Βιολογικού*. Όπως δεν μπορεί να υπάρξει κοινωνία με τις διάφορες εκδηλώσεις της (πολιτιστικές, πολιτικές, κ.λπ.) χωρίς την ύπαρξη του ατόμου-ανθρώπου, έτσι δεν μπορούν να υπάρξουν τα φαινόμενα του υλικού κόσμου (σχηματισμός πετρωμάτων, δημιουργία σεισμών), και εκείνα του Βιολογικού κόσμου (αύξηση, πολλαπλασιασμός και εξέλιξη των οργανισμών) χωρίς την ύπαρξη των ατόμων.





Εικ. 7: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα των ιονιζουσών ακτινοβολιών και μερικές ενδεικτικές τιμές ενέργειας φωτονίων (σε ηλεκτρονιοβόλτ- ev).

Μια άλλη άποψη είναι πως οι εκδηλώσεις τελικά του βιολογικού και του υλικού κόσμου είναι αποτελέσματα κάποιων ιδιοτήτων των ατόμων που τα αποτελούν.

Ο άνθρωπος βέβαια σαν κυρίαρχο ον πάνω στη Γη μπορεί και παρεμβαίνει, μέχρι ένα βαθμό, στις παραπάνω υλικές και βιολογικές διαδικασίες με σκοπό τη βελτίωση (δυστυχώς όχι πάντα) της ποιότητας ζωής του.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τους φορείς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ονομάζουμε φωτόνια δηλαδή κβάντα φωτός (το κβάντον κατά Planck αποτελεί το στοιχειώδες ποσόν οποιασδήποτε μορφής ενέργειας, δυναμικής, κινητικής, κ.λπ.) Κάθε φωτόνιο περιέχει ενέργεια  $E = h \cdot \nu$  ή κατόπιν της αντικατάστασης των σταθερών:

$$E = \frac{12.400}{\lambda} \text{ ev } (\lambda \text{ σε } \text{Å}).$$

Από την εξίσωση αυτή παρατηρούμε ότι χαρακτηριστικό κάθε ακτινοβολίας, μήκους κύματος  $\lambda$  αποτελεί η ενέργεια  $E$  κάθε φωτονίου. Οι διαφορετικές ιδιότητες κάθε ακτινοβολίας οφείλονται ακριβώς σ' αυτή τη διαφορά ενέργειας των φωτονίων.

Με βάση την επίδραση των ακτινοβολιών στην ύλη διαχωρίζουμε το όλο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα σε δύο τμήματα (εικ. 7).

Σαν σημείο διαχωρισμού επιλέχθηκε το μήκος κύματος των 1.000 Å γιατί αυτό εμφανίζει ενέργεια φωτονίων

$$E = \frac{12.400}{1.000} = 12,4 \text{ ev}$$

Η ενέργεια αυτή θεωρείται ικανή να προκαλέσει ιονισμό ενός ατόμου. Φωτόνια με ενέργεια μικρότερη της τιμής αυτής δεν είναι δυνατόν να ιονίσουν ένα άτομο αλλά μόνο να το διεγείρουν. Αντίθετα φωτόνια με ενέργεια μεγαλύτερη των 12,4 ev είναι δυνατόν να διώξουν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια από ένα άτομο δηλαδή να προκαλέσουν ιονισμό.

Ο διαχωρισμός αυτός εξ' άλλου έχει δημιουργήσει δύο κλάδους Βιολογικής έρευνας: τη *Φωτοβιολογία* και τη *Ραδιοβιολογία*. Η Φωτοβιολογία ασχολείται με τα αποτελέσματα της επίδρασης των μη ιονιζουσών ακτινοβολιών στη ζωντανή ύλη (φωτοτακτισμός, φωτοσύνθεση, κ.λπ.), ενώ η Ραδιοβιολογία ασχολείται με τις επιπτώσεις και τις βιο-ιατρικές εφαρμογές των ιονιζουσών ακτινοβολιών (Ραδιομόλυνση, ακτινοθεραπεία, ακτινοδιάγνωση, ιχνηθέτηση-ραδιοϊσότοπα, ΡΙΑ, κ.ά.).

#### Παραδείγματα:

##### 1) Υπολογισμός ακτίνας ατόμου:

Τα διάφορα άτομα έχουν ακτίνα που κυμαίνεται από 1 μέχρι 5.5 Å και που υπολογίζεται από τη σχέση

$$r_A = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{m_A}{\rho}} \quad (\text{σε cm}),$$

όπου  $\rho$  η *πυκνότητα* του υλικού και  $m_A$  η *απόλυτη μάζα* των ατόμων. Αυτή ισούται με το πηλίκο της σχετικής ατομικής μάζας  $A_r$  δια του αριθμού Αβογαδρό  $NA$  ( $= 6.023 \cdot 10^{23}$  άτομα/γραμμάτομο).

Έτσι, π.χ. για τον χαλκό με  $A_r = 63.54$  gr και  $\rho = 8.9$  gr/cm<sup>3</sup>, έχουμε:

$$m_A = \frac{63.54 \text{ gr}}{6.023 \cdot 10^{23}} = 10.55 \cdot 10^{-23} \text{ gr και κατά}$$

συνέπεια η ακτίνα ατόμου θα είναι:

$$r_A = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{10.55 \cdot 10^{-23} \text{ gr}}{8.9 \text{ gr/cm}^3}} = 1.14 \cdot 10^{-8} \text{ cm} = 1.14 \text{ \AA}$$

##### 2) Ισοδυναμία μάζας και ενέργειας.

Η ενέργεια που μπορεί να εκλυθεί από τη μετατροπή 10 gr μάζας ουρανίου αντιστοιχεί με καύση 24.000 τόννων πετρελαίου (από την εξίσωση  $E = m \cdot c^2$ ).

##### 3) Υπολογισμός αριθμού μορίων

Πόσος χρόνος θα χρειαζόταν για να μετρηθούν τα άτομα ενός γραμμαρίου νερού αν μετρούσαμε 1.000.000 το δευτερόλεπτο (!):

Ο αριθμός μορίων σε 1 γραμμάριο είναι  $6.023 \cdot 10^{23}$  μόρια, σε 1 γραμμάριο θα είναι 1/18 δηλ.

$$\frac{6.023 \cdot 10^{23}}{18} = 33.5 \cdot 10^{21} \text{ μόρια}$$

Για να μετρηθούν με ρυθμό  $10^6/\text{sec}$ .

Χρειάζονται  $33.5 \cdot 10^{21} \cdot 10^6 = 33.5 \cdot 10^{15} \text{ sec δηλ. } 1.000.000.000 \text{ χρόνια (!!!)}$