

Ιστορική αναδρομή: Άτομα και ατομική θεωρία

Εισαγωγή

Η έννοια του ατόμου είναι θεμελιώδης για τη σύγχρονη επιστημονική θεώρηση του κόσμου. Ο διάσημος φυσικός Ρίτσαρντ Φέινμαν (Richard Feynman), στην εισαγωγή της πρώτης διάλεξής του στη φυσική είχε εκφράσει τη γνώμη ότι “εάν σε κάποιο κατακλυσμό καταστρεφόταν όλη η επιστημονική γνώση και μόνο μια πρόταση διασωθεί για τις επόμενες γενιές, ποια θα ήταν αυτή η πρόταση, που θα περιείχε τις περισσότερες πληροφορίες με τις λιγότερες δυνατές λέξεις; Πιστεύω ότι αυτή είναι η ατομική υπόθεση (ή ατομικό γεγονός ή όπως αλλιώς θέλετε να το πείτε), ότι δηλαδή όλα τα πράγματα είναι φτιαγμένα από άτομα – μικρά σωματίδια, τα οποία βρίσκονται σε διαρκή κίνηση και τα οποία αλληλοέκκονται όταν βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους και αλληλοαπωθούνται όταν πιέζονται το ένα πάνω στο άλλο.” (Feynman et al. 1963, 13). Η δήλωση αυτή είναι σχετική με το ιστορικό υπόβαθρο της ατομικής θεωρίας υπό την έννοια ότι καταδεικνύει πόσο σημαντική είναι η έννοια της ατομικής δομής για τη σύγχρονη επιστήμη. Έμμεσα θέτει ακόμα ένα ζήτημα το οποίο είναι συναφές σε κάθε ανάλυση, που αφορά τη γένεσή της. Μιλώντας για ‘την ατομική υπόθεση (ή ατομικό γεγονός ή όπως αλλιώς θέλετε να το πείτε), ο Φέινμαν ταυτόχρονα επισημαίνει και αγνοεί μια σημαντική λεπτομέρεια, που αφορά την υπόσταση του ατόμου: Το άτομο είναι υπόθεση ή γεγονός; Ο Φέινμαν αποφεύγει την απάντηση αφήνοντας την απόφαση για το πώς θα αποκληθεί στον αναγνώστη – προκρίνοντας μια μάλλον απλοϊκή σχετικιστική προσέγγιση, η οποία μπορεί ίσως να εξηγηθεί από το γεγονός ότι το κείμενο δημοσιεύτηκε τη δεκαετία του 60. Λαμβάνοντας υπόψη τη χρονική περίοδο, καθίσταται σαφές ότι δεν θα έπρεπε να αναμένει κανείς μια διαφορετική προσέγγιση είτε από την επιστημολογική ούτε από την οπτική γωνία της θεωρίας για τη φύση της επιστήμης. Ωστόσο μια τέτοια δήλωση φαίνεται ενοχλητική στις μέρες μας. Όμως δείχνει πόσο πολύ έχει εξελιχθεί η θεωρία και η γνώση γύρω από τη φύση της επιστήμης κατά τις τελευταίες δεκαετίες.

Για να μπορέσει κανείς να κατανοήσει (πολλώ μάλλον δε να διδάξει) την έννοια του ατόμου, πρέπει να λάβει υπόψη του ακόμη μία σημαντική πλευρά της ιστορικής της εξέλιξης και συγκεκριμένα ότι η χημική ανάπτυξη της έννοιας του χημικού στοιχείου αποτέλεσε προϋπόθεση για τη διαμόρφωση του ατομικού μοντέλου. Το γεγονός αυτό προκύπτει από την ανάλυση της έννοιας τόσο κατά την αρχαιότητα όσο και κατά τη σύγχρονη περίοδο. Επίσης καθίσταται εμφανές από τις σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις. Ωστόσο, καθώς η ανάλυση της ιστορικής εξέλιξης της έννοιας του χημικού στοιχείου εκφεύγει του πεδίου αυτής της ιστορικής αναδρομής, η έννοια αυτή καθώς και η συμβολή της στη διαμόρφωση της σύγχρονης ατομικής θεωρίας θα μας απασχολήσει μόνο έμμεσα σε αυτό το κείμενο.

Ο διάλογος στην αρχαιότητα γύρω από τη δομή της ύλης & η αναβίωση της ατομικής θεωρίας.

Το ερώτημα για τη δομή του υλικού κόσμου είχε ήδη απασχολήσει τους αρχαίους Έλληνες, η γνώση των οποίων μεταφέρθηκε αυτούσια και στην περίοδο της απαρχής της ευρωπαϊκής νεωτερικής εποχής¹. Κατ’ αυτόν τον τρόπο το ζήτημα του θεμελιώδους στοιχείου, το οποίο αποτελεί τη βάση από την οποία προέρχονται τα υπόλοιπα στοιχεία κατέστη και πάλι επίκαιρο. Ωστόσο η έννοια αυτή δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να ταυτισθεί με μια έστω απλοϊκή

εκδοχή της ατομικής θεωρίας, καθώς το θεμελιώδες στοιχείο (θεωρητικά) υπήρχε χωρίς να έχει υλική μορφή. Αυτή η αντίληψη ως γνωστόν εισήχθη από φιλοσόφους, όπως ο Θαλής ο Μιλήσιος, ο Αναξίμανης, ο Ηράκλειτος και σε πιο εξελιγμένη μορφή από τον Εμπεδοκλή. Γύρω στο 450 π.Χ δύο φιλόσοφοι αρχικά ο Λεύκιππος και στη συνέχεια ο Δημόκριτος εισήγαγαν κάποιες ιδέες, οι οποίες εισήγαγαν για πρώτη φορά την έννοια του ατόμου. Και οι δύο υποστήριζαν πως ο υλικός κόσμος συντίθεται από πολύ μικρά σωματίδια τα οποία δεν μπορούν να διαχωριστούν σε μικρότερα μέρη και τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το σχήμα και το μέγεθος. Σύμφωνα με το Δημόκριτο, τα άτομα κινούνται στο κενό και συγκρούονται μεταξύ τους, δημιουργώντας διάφορους συνδυασμούς από τους οποίους δημιουργούνται οι ουσίες. Αυτοί οι συνδυασμοί (πάντοτε σύμφωνα με το Δημόκριτο) δεν είναι μόνιμοι, καθώς τα άτομα μπορούν και πάλι να διαχωριστούν. Ωστόσο η θεωρία του Λεύκιππου και του Δημόκριτου παρά την

¹ Υπάρχουν ενδείξεις ότι μοντέλα για τη δομή του υλικού κόσμου διαμορφώθηκαν τόσο από τον ινδικό όσο και από το βαβυλωνιακό πολιτισμό. Ωστόσο τα κείμενα τα οποία διαθέτουμε σχετικά με αυτά είναι ελλιπή και επιπλέον δεν έχουν παίξει κάποιο στη διαμόρφωση της ατομικής θεωρίας όπως αυτή αναπτύχθηκε στην Ευρώπη. Γι’ αυτούς τους λόγους δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτήν την αναδρομή.

δημοφιλία της δεν έγινε καθολικά αποδεκτή στην αρχαιότητα, ενώ απορρίφθηκε πλήρως από το χριστιανισμό.

Πέραν τούτου υπήρχε και η αντίπαλη θεωρία των τεσσάρων στοιχείων, η οποία φαινομενικά τουλάχιστον εμφανιζόταν ως ανώτερη υπό την έννοια ότι ήταν σε θέση να εξηγήσει τη συμπεριφορά της ύλης, καθώς και των ιδιοτήτων της με βάση τα τέσσερα στοιχεία, δηλαδή τον αέρα, το νερό, τη γη και τη φωτιά.²

Μια κεντρική, εάν όχι η κεντρική φιγούρα, η οποία αντιτάχθηκε στην ατομική θεωρία ήταν ο Αριστοτέλης, ο οποίος υποστήριζε τη θεωρία των τεσσάρων στοιχείων, στην οποία μάλιστα πρόσθεσε και ένα πέμπτο τον αιθέρα, ο οποίος καταλάμβανε το χώρο ανάμεσα στα ουράνια σώματα. Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, η ύπαρξη του κενού ήταν αδύνατη. Πίστευε ότι τα πάντα στη φύση έχουν ένα σκοπό και ότι σε αυτή δεν υπάρχει τίποτα περιττό. Επιπλέον, πίστευε ότι κάθε αντικείμενο έχει μια φυσική θέση από την οποία ακόμη και εάν μετατοπισθεί έχει την τάση να γυρίσει πίσω σε αυτή. Με βάση τις αρχές αυτές ο Αριστοτέλης ήταν σε θέση να εξηγήσει τις αισθητές φυσικές διαδικασίες. Ήρθε σε αντιπαράθεση με τους ατομιστές, καθώς η ιδέα των αόρατων σωματιδίων, η ιδέα του κενού, καθώς και η ιδέα της αέναου κίνησης ήταν αντίθετες με τις βασικές του θέσεις. Παρόλα αυτά ο Αριστοτέλης παραμένει πολύ σημαντικός για την ατομική θεωρία, καθώς η κριτική που άσκησε στο Λεύκιππο και το Δημόκριτο είναι μια από τις βασικότερες, αν όχι η βασικότερη σωζόμενη πηγή για το έργο τους, μιας και τα πρωτότυπα έργα των τελευταίων δεν διασώθηκαν.

Τα έργα του Αριστοτέλη διατηρήθηκαν από τον ισλαμικό πολιτισμό, μέσω του οποίου επέστρεψαν στη χριστιανική πλέον Ευρώπη. Κατά την περίοδο του σχολαστικισμού, η τροποποιημένη από το χριστιανισμό αριστοτέλεια αντίληψη του κόσμου έγινε κυρίαρχη, καθώς θεωρούνταν ότι βρισκόταν σε αρμονία με τις διδαχές της Βίβλου. Σταδιακά όμως, κάποιοι αστρονόμοι και αργότερα κάποιοι φυσικοί φιλόσοφοι άρχισαν να αναπτύσσουν μια διαφορετική αντίληψη για τη φύση. Ως εκ τούτου η αυθεντία του Αριστοτέλη άρχισε να τίθεται σε αμφισβήτηση κατά το 17ο και το 18ο αιώνα. Στο τέλος αυτής της περιόδου κυριάρχησε πλέον το πρότυπο του ‘φωτισμένου’ φυσικού φιλοσόφου, ο

² Πρέπει να έχει κανείς υπόψη ότι αυτά τα στοιχεία, δεν εννοούνταν ως αυτά που εμείς σήμερα που ονομάζουμε γη, φωτιά, αέρα και νερό αλλά ως στοιχειώδεις αρχές (δες επίσης την ιστορική αναδρομή για την ανάπτυξη του περιοδικού πίνακα).

ο οποίος μέσω του πειραματισμού ήταν σε θέση να αποκαλύψει τους νόμους και τη δομή της φύσης. Τότε διεξήχθησαν κάποια πειράματα και αναπτύχθηκαν κάποιες θεωρίες, οι οποίες αναβίωσαν την αρχαία ατομική υπόθεση. Ιδιαίτερα σημαντική προς αυτή την κατεύθυνση υπήρξε η απόδειξη της ύπαρξης του κενού.³ Ένα άλλο σχετικό με την αναβίωση της ατομικής υπόθεσης επιχείρημα ήταν το παρακάτω επιχείρημα: Όταν καίγεται ένα έστω πολύ μικρό κομμάτι θυμιάματος, η μυρωδιά γεμίζει ένα ολόκληρο δωμάτιο. Καθώς το δωμάτιο είναι κατά πολύ μεγαλύτερο σε όγκο από το κομμάτι του θυμιάματος, το τελευταίο για να καταλάβει το δωμάτιο θα πρέπει να διαιρεθεί σε 750.000.000 σωματίδια. Αυτοί οι υπολογισμοί είχαν σκοπό να δείξουν το πόσο μικρά θα πρέπει να είναι τα σωματίδια του θυμιάματος (δες Beer & Pricha 1997). Αυτός ο διάλογος παρέμεινε στο επίπεδο των απλών υπολογισμών και επιδείξεων, καθώς δεν υπήρχε ακόμη το υπόβαθρο για να υποστηρίξει κανείς την ύπαρξη των ατόμων ή ακόμη περισσότερο να μιλήσει για τη φύση και τις ιδιότητές τους. Αυτό, μαζί με τη σύγχρονη ατομική θεωρία άρχισε να αναπτύσσεται στις αρχές του 19ου αιώνα.

Η δομή της ύλης: Ντάλτον

Σε ό,τι αφορά τη σύγχρονη επιστήμη αυτός που μάλλον πρέπει να θεωρηθεί ως ο θεμελιωτής μιας νέας αντίληψης γύρω από το άτομο είναι ο Τζον Ντάλτον, ένας χημικός, ο οποίος ακολούθησε τη νέα ποσοτική προσέγγιση του Λαβουαζιέ πάνω στη χημεία. Η χρήση της ζυγαριάς ως μέσου ανάλυσης των χημικών αντιδράσεων απετέλεσε ένα από τα μεγάλα επιτεύγματα του συστήματος το οποίο εισήγαγε ο Λαβουαζιέ (Lavoisier) καθώς βοήθησε τους επιστήμονες να δουν υπό άλλη προοπτική τις χημικές αντιδράσεις.

Ο ίδιος ο Λαβουαζιέ, εξήγησε περισσότερες από μία φορές τη διαφορά ανάμεσα στην ‘κλασική’ χημεία και στο δικό του σύστημα. Όπως για παράδειγμα αναφέρει ο Νιέ (Nye) “Ο Λαβουαζιέ έγραψε στα “Ησσονα φυσικά και χημικά έργα” (Opuscules physiques et chimiques) (1774) πως χρησιμοποίησε στη χημεία όχι μόνο τα όργανα και τις μεθόδους της πειραματικής φυσικής, αλλά εφάρμοσε και το πνεύμα της ακρίβειας και του υπολογισμού, που χαρακτηρίζουν την επιστήμη αυτή” (1993, 35). Ωστόσο, δεν ήταν μόνο το μεθοδολογικό βήμα προόδου ή οι εννοιολογικές τροποποιήσεις που

³ Για κάποιες από τις αντιπαραθέσεις σχετικά με την ύπαρξη του κενού και τις συναφείς φιλοσοφικές προεκτάσεις Shapin & Schaffer 1989.

διαχώρισαν το σύστημα του Λαβουαζιέ από την ισχύουσα μέχρι τότε αντίληψη περί χημείας. Τα δύο θεμελιώδη στοιχεία στην αντίληψή του περί χημείας ήταν αφενός η διαφορετική αντίληψη που είχε για τις χημικές αντιδράσεις, κάτι, που τον διευκόλυνε να χρησιμοποιήσει την ποσοτική περιγραφική μέθοδο και αφετέρου η αντίληψη ότι “οι απλές ουσίες” μπορούν να ερμηνευθούν ως στοιχεία τα οποία δεν μπορούν να αποσυντεθούν περαιτέρω. Ο Λαβουαζιέ έγραψε σχετικά:

Συνεπώς, το μόνο που θα προσθέσω σχετικά με το θέμα, είναι ότι εάν με τον όρο στοιχεία εννοούμε τα απλά και μη τεμαχίσιμα άτομα από τα οποία συντίθεται η ύλη, τότε θα πρέπει να πω, ότι είναι εξαιρετικά πιθανό πως δεν γνωρίζουμε τίποτε γι’ αυτά. Αν όμως χρησιμοποιήσουμε τον όρο στοιχεία ή αρχές των σωμάτων, για να εκφράσουμε την ιδέα ότι αυτό είναι το έσχατο σημείο στο οποίο μπορεί να φθάσει η ανάλυσή μας, θα πρέπει να θεωρήσουμε ως στοιχεία όλες τις ουσίες οι οποίες προκύπτουν όταν αποσυνθέτουμε υλικά (Lavoisier 1794, xxiii).

Είναι αξιοπρόσεκτο ότι ο Λαβουαζιέ χρησιμοποιούσε τον όρο “άτομο,” παρόλο που δεν ενστερνιζόταν την ατομική θεωρία. Όμως, η έννοια του στοιχείου έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της ατομικής θεωρίας.

Από τις ποσοτικές παρατηρήσεις του τέλους του 18ου αιώνα προέκυψε μια θεμελιώδης αντίληψη: κάθε χημική ένωση είναι το αποτέλεσμα της χημικής αντίδρασης συγκεκριμένων αναλογιών μάζας των στοιχείων, που τη σχηματίζουν. Αυτός ο κανόνας έγινε γνωστός ως ο κανόνας των σταθερών αναλογιών. Παρόλο που ο κανόνας αυτός ίσχυε φαινομενικά για την ποσοτική ανάλυση των χημικών αντιδράσεων, υπήρχαν κάποιες ανακολουθίες τις οποίες πρώτος παρατήρησε ο Ντάλτον. Ανακάλυψε ότι υπήρχαν κάποιες χημικές αντιδράσεις, κατά τις οποίες ο συνδυασμός των ίδιων στοιχείων έδινε ως αποτέλεσμα διαφορετικές ενώσεις (π.χ. από την αντίδραση μεταξύ του χαλκού και του οξυγόνου είναι δυνατόν να προκύψουν δύο διαφορετικές ενώσεις. Το ίδιο ισχύει και για τον άνθρακα και το οξυγόνο κ.τ.λ.). Η χημική ένωση, που προέκυπτε εξαρτούνταν από την ποσότητα των δύο αρχικών ουσιών της αντίδρασης. Ο Ντάλτον παρατήρησε και κάτι ακόμα: Κάθε φορά που μια ποσότητα μάζας του στοιχείου Α, αντιδρούσε με την ίδια μάζα του στοιχείου Β, ώστε να προκύψει ως αποτέλεσμα διαφορετική ένωση, εμφανιζόταν μια αναλογία, η οποία εκφραζόταν σε μικρούς ακέραιους αριθμούς. Με βάση αυτό το εύρημα ο Ντάλτον διατύπωσε ακόμη έναν νόμο: Το νόμο

των πολλαπλών αναλογιών. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, εάν δύο στοιχεία αντιδρούν και σχηματίζουν πάνω από μία χημική ένωση, τότε οι μάζες του ενός στοιχείου, που ενώνονται με την ίδια μάζα του άλλου στοιχείου, θα πρέπει να είναι ακέραια πολλαπλάσια. Αυτός ο νόμος, μαζί με το νόμο των σταθερών αναλογιών αποτέλεσε την απαρχή της στοιχειομετρικής προσέγγισης της χημείας.

Ωστόσο, ο νόμος των πολλαπλών αναλογιών, ο οποίος στηριζόταν σε εμπειρικά δεδομένα δεν ήταν το μόνο συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε ο Ντάλτον. Σε μια διάλεξη που έδωσε στο Βασιλικό Ινστιτούτο της Μεγάλης Βρετανίας⁴, διατύπωσε τις ακόλουθες θέσεις οι οποίες διαμόρφωσαν τη βάση της σύγχρονης ατομικής θεωρίας της ύλης.

- Η ύλη συντίθεται από άτομα
- Τα άτομα δεν δημιουργούνται ούτε καταστρέφονται
- Όλα τα άτομα του ίδιου στοιχείου είναι πανομοιότυπα
- Κάθε στοιχείο έχει το δικό του τύπο ατόμων.
- Αυτός ο τύπος είναι διαφορετικός για κάθε άτομο
- Οι χημικές ενώσεις προκύπτουν από την αναδιάταξη των ατόμων
- Οι χημικές ενώσεις διαμορφώνονται από τα άτομα των στοιχείων, που τις συνιστούν

Είναι προφανές ότι η χρήση του όρου άτομο ήταν διαφορετική για τον Ντάλτον απ’ ό,τι για τον Λαβουαζιέ. Για το Ντάλτον τα άτομα χαρακτηρίζονταν από τη μετρησιμότητα και το συγκεκριμένο βάρος τους. Για το Λαβουαζιέ αυτό που είχε σημασία ήταν οι χημικές τους ιδιότητες. Παραμένει δε αδιευκρίνιστο εάν θεωρούσε το άτομο ως σωματίδιο με υλική υπόσταση.

Αυτές οι βασικές αρχές επέτρεψαν στο Ντάλτον να εξηγήσει τους στοιχειομετρικούς νόμους, τους οποίους και ο ίδιος – μαζί με άλλους είχε συνδιατυπώσει. Σύμφωνα με αυτήν την αντίληψη ο κανόνας των σταθερών αναλογιών προκύπτει αφενός από το γεγονός ότι τα άτομα του ίδιου στοιχείου είναι πανομοιότυπα και αφετέρου από το ότι οι χημικές αντιδράσεις είναι αποτέλεσμα της αναδιάταξης των ατόμων. Ο νόμος των πολλαπλών αναλογιών συνεπώς ερμηνεύεται ως το αποτέλεσμα των διαφορετικών διατάξεων των ατόμων, οι οποίες

⁴ Σύμφωνα με τον Κλαρκ (Clarke 1803), η πρώτη παρουσίαση έγινε στη Φιλοσοφική Εταιρεία του Μάντσεστερ.

έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό των διαφορετικών χημικών ενώσεων. Σε αυτή την ερμηνεία, η γνώση της ποσοτικής χημικής ανάλυσης στηρίχτηκε στο πρώτο “παράδειγμα” (σύμφωνα με την έννοια που αποδίδει ο Κουν στον όρο), μετατρέποντας αυτό το επίτευγμα της στοιχειομετρικής χημείας σε επιστήμη. Ωστόσο, η αποδοχή δεν ήταν άμεση. Αν και πολλοί επιστήμονες υιοθέτησαν τη θεωρία του Ντάλτον, πολλοί άλλοι την απέρριψαν. Ένα βασικό πρόβλημα ήταν η θέση ότι κάθε στοιχείο αποτελείται και από διαφορετικό άτομο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, στις αρχές του 19ου αιώνα να έχουν ταυτοποιηθεί τριάντα περίπου διαφορετικά άτομα, με τον αριθμό διαρκώς ν’ αυξάνει. Έτσι αντί να απλοποιεί τη δομή της ύλης, η θεωρία του Ντάλτον έκανε τη φύση να φαίνεται ακόμη πιο περίπλοκη. Όμως, παρά την κριτική, οι χημικοί άρχισαν να χρησιμοποιούν τους νόμους της στοιχειομετρίας. Κάποιοι μάλιστα άρχισαν να χρησιμοποιούν κοινά κλάσματα, υπαινισσόμενοι κατ’ αυτόν τον τρόπο ότι δεν υπήρχε αόρατο σωματίδιο. Η κατάσταση αυτή δεν είχε να κάνει με το φυσιολογικό δισταγμό που υπάρχει απέναντι σε κάθε καινούργια θεωρία, καθώς επιφυλάξεις διατυπώνονταν ακόμα και εξήντα χρόνια αργότερα. Το 1869, ο πρόεδρος της Εταιρείας Χημείας Αλεξάντερ Γουίλιαμ Γουίλιαμσον (Alexander William Williamson) είπε σε μια ομιλία του “...ότι αν και όλοι οι χημικοί χρησιμοποιούν την ατομική θεωρία, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός που την αντιμετωπίζει με δυσπιστία, κάποιοι δε και με εμφανή αντιπάθεια” (παρατίθεται στο Tilden & Glasstone 1926, 227). Κάποιοι καταξιωμένοι φυσικοί και χημικοί απέρριπταν την ατομική θεωρία ακόμη και στις αρχές του 20ου αιώνα. Ειδικά για τους χημικούς το άτομο ήταν μια (μάλλον υποθετική) οντότητα, την οποία χρησιμοποιούσαν στις αναλύσεις των χημικών αντιδράσεων, χωρίς ωστόσο να το θεωρούν υπαρκτό (είτε με τη θετική έννοια της ύπαρξης είτε με την έννοια μιας εφαρμοσμένης περιγραφικής έννοιας), αλλά αντίθετα ένα εύρημα, ένα εργαλείο, που βοηθούσε στην περιγραφή των αντιδράσεων, το οποίο όμως σε τίποτε δε συνέβαλε στην ουσιαστική κατανόηση της ύλης (Gfrs 1999).

Η αποδοχή της έννοιας του ατόμου

Ενώ κάποιοι χημικοί αποδέχονταν το άτομο σαν μια χρήσιμη υπόθεση, κάποιοι φυσικοί άρχισαν να το χρησιμοποιούν σαν μια πραγματική οντότητα, η χρήση της οποίας τους παρείχε τεράστιες εξηγηματικές δυνατότητες. Ειδικότερα, ήταν ο τότε αναπτυσσόμενος κλάδος της θερμοδυναμικής που συνέβαλε καθοριστικά στην αποδοχή του ατόμου, καθώς η έννοια αυτή

ήταν απαραίτητη για την ανάπτυξη της θεωρίας της κίνησης, καθώς –για τη θεωρία αυτή τα άτομα σε κίνηση αντιπροσωπεύουν τη θερμότητα. Ωστόσο η ερμηνεία που υποστήριζε την ύπαρξη του ατόμου δέχτηκε δριμεία κριτική, ειδικά από τη γερμανόφωνη επιστημονική κοινότητα και μάλιστα από επιφανείς επιστήμονες όπως ο Ερνστ Μαχ (Ernst Mach), ο Βίλχελμ Όστβαλντ (Wilhelm Ostwald) και ο Γκεόργκ Χελμ (Georg Helm)⁵. Η αντιπαράθεση μεταξύ αυτών των επιφανών ερευνητών (ειδικότερα ο Όστβαλντ –βραβείο Νόμπελ 1909 και ο Μαχ είχαν ιδιαίτερο ειδικό βάρος) και των υποστηρικτών της στατιστικής ερμηνείας, επιφανέστερος των οποίων ήταν ο Μπόλτzman (Boltzmann), δεν περιοριζόταν μόνο στη φυσική, αλλά αφορούσε και βαθύτερα, φιλοσοφικά ζητήματα. Τα βασικά ερωτήματα ήταν εάν τα άτομα ήταν ορατά και εάν θα μπορούσε να αποδειχθεί η ύπαρξη έστω και ενός εξ αυτών.

Στις αρχές του 19ου αιώνα, φαινόταν ότι η ατομική θεωρία ανατρεπόταν, με την άποψη του Μπόλτzman να θεωρείται ως κατάλοιπο των θεωριών του 19ου αιώνα.

Η κατάσταση αυτή άλλαξε δραματικά όταν εισήχθη η θεωρία του Μαξ Πλανκ (Max Planck) περί ακτινοβολίας και όταν ο Αϊνστάιν (Einstein) και ο Σμολουκόφσκι (Smoluchowski) δημοσίευσαν την ερμηνεία τους για την “κίνηση Μπράουν”. Το φαινόμενο αυτό είχε εξηγηθεί από αρκετούς παρατηρητές ήδη από το 18ο αιώνα, αλλά η πατρότητα αποδόθηκε στο βιολόγο Ρόμπερτ Μπράουν (Robert Brown), ο οποίος στις αρχές του 19ου αιώνα παρατήρησε μικρά σωματίδια γύρης και σκόνης να επιπλέουν και να κινούνται ταχύτατα και ακανόνιστα στο νερό. Το αξιοπρόσεκτο στην κίνηση αυτών των άψυχων κατά τα άλλα σωματιδίων ήταν ότι αυτή φαινομενικά δε σταματούσε ποτέ. Για περίπου μισό αιώνα, η ερμηνεία της κίνησης αυτής παρέμενε ανοικτό ζήτημα. Αν και κάποιοι ερευνητές προς τα τέλη του 19ου αιώνα πρότειναν απαντήσεις που προσεγγίζουν τη σύγχρονη ερμηνεία του φαινομένου, ήταν οι μαθηματικά προσανατολισμένες δημοσιεύσεις του Άλμπερτ Αϊνστάιν και του Μάριαν Σμολουκόφσκι (ανεξάρτητες η μία από την άλλη) το 1905 1906, οι οποίες έριξαν φως στο φαινόμενο. Μάλιστα το άρθρο του Αϊνστάιν ήταν ένα από τα τρία διάσημα

⁵ Και ο Μαξ Πλανκ, για άλλους λόγους άσκησε κριτική στην ατομική θεωρία, όπως την αντιλαμβανόταν μέσω της στατιστικής ερμηνείας του Μπόλτzman (δες Müller 2008). Αυτός ο διάλογος δεν περιοριζόταν στη γερμανόφωνη επιστημονική κοινότητα. Για παράδειγμα στους αντιπάλους της ατομικής θεωρίας συγκαταλεγόταν και ο Πουανκαρέ (Poincare).

άρθρα που δημοσιεύτηκαν κατά το annus irabilis του (τα άλλα δύο αφορούσαν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και την ειδική θεωρία της σχετικότητας). Και οι δύο ερευνητές υποστήριξαν ότι η κίνηση Μπράουν προκαλούνταν από την κινητική ενέργεια των σωματιδίων του νερού. Η εξήγηση αυτή καθιστούσε απαραίτητη τη χρήση της υπόθεσης των σωματιδίων και κατ' αυτό τον τρόπο προσκόμιζε εμπειρικά δεδομένα για την εγκυρότητα της κινητικής θεωρίας και κατά συνέπεια για την εγκυρότητα και της ατομικής θεωρίας. Λέγεται ότι ο Όστβαλντ πείστηκε για την εγκυρότητα της ατομικής θεωρίας, όταν συνειδητοποίησε τη συμφωνία μεταξύ των βασικών της αρχών και των εμπειρικών δεδομένων που αυτή παρήγαγε. Την ίδια περίπου περίοδο διεξήχθη ακόμα ένα πείραμα, το οποίο παρήγαγε εμπειρικά δεδομένα τα οποία απέδειξαν την εγκυρότητα της ατομικής θεωρίας και που όπως λέγεται έπεισε και τον ίδιο το Μαχ: Όταν ραδιενεργά σωματίδια τοποθετούνται δίπλα σε μια φωτεινή οθόνη παρατηρούνται απειροελάχιστες λάμπες φωτός, οι οποίες είναι δυνατόν να ερμηνευθούν ως το αποτέλεσμα της παρουσίας ασωματιδίων. Χάρης σε αυτές τις εξελίξεις η ατομική θεωρία η οποία είχε σχεδόν καθολικά απορριφθεί έγινε σχεδόν καθολικά αποδεκτή. Ωστόσο ο Μπόλτςμαν, ο μεγάλος υποστηρικτής της, δεν πρόλαβε να απολαύσει την εμπειρία της γενικής αποδοχής της θεωρίας για την οποία τόσο είχε πολεμήσει, καθώς είχε αυτοκτονήσει το Σεπτέμβριο του 1906.

Το άτομο αποκτά υποδομή

Κάποιοι ερευνητές είχαν ήδη παραγάγει πειραματικά δεδομένα τα οποία θα μπορούσαν υπό το νέο ερμηνευτικό πρίσμα να καταρρίψουν την αρχική θεώρηση του ατόμου ως αόρατου, πολύ πριν χαρις το έργο του Αϊνστάιν και του Σμολουκόβσκι γίνει κοινά αποδεκτή η ατομική θεωρία. Για παράδειγμα, η εργασία του Φάραντεϊ (Faraday) πάνω στην ηλεκτρόλυση κατά τη δεκαετία του 1830 θα μπορούσε να είχε θέσει ερωτήματα σχετικά με το θεμελιώδη ρόλο και την αδιάσπαστη φύση του ατόμου –όπως αυτά είχαν διατυπωθεί από τον Ντάλτον. Σύμφωνα με τις έρευνες του Φάραντεϊ, κατά τη διάρκεια της ηλεκτρόλυσης, μια συγκεκριμένη ποσότητα ηλεκτρισμού προκαλούσε την απελευθέρωση μιας συγκεκριμένης ποσότητας ενός στοιχείου. Ωστόσο αυτό το εμπειρικό αποτέλεσμα δεν προκάλεσε ερωτήματα σχετικά με την ατομική δομή της ύλης. Αντιθέτως παρέμεινε ασαφές μέχρι και τον εικοστό αιώνα (και μάλιστα για μεγάλο μέρος του) κατά πόσο ο ηλεκτρισμός είχε

ατομική δομή ή εάν η αναλογία μεταξύ του ηλεκτρικού φορτίου και της απελευθερούμενης ύλης ήταν το μέσο πολλαπλών αντιδράσεων οι οποίες προέκυπταν ταυτόχρονα. Μόνο αότου η μέτρηση του στοιχειώδους φορτίου από τον Μίλικαν (Millikan) έγινε κοινά αποδεκτή (κυρίως λόγω της απονομής σ' αυτόν του βραβείου Νόμπελ το 1920) θεωρήθηκε το ζήτημα λυμένο, τουλάχιστον για τη συντριπτική πλειονότητα του επιστημονικού κόσμου (δες Holton 1978).

Προς το τέλος του 19ου αιώνα παρήχθησαν και άλλα πειραματικά δεδομένα τα οποία έθεσαν εν αμφιβόλω την αδιάσπαστη φύση του ατόμου. Στην πραγματικότητα τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών θα μπορούσαν αναδρομικά να θεωρηθούν ότι επιβεβαιώνουν την εγκυρότητα της ατομικής θεωρίας, παρόλο που στην εποχή τους ερμηνεύτηκαν υπό το ακριβώς αντίθετο πρίσμα. Τη δεκαετία του 1860 ο χημικός Μπούνσεν (Bunsen) και ο φυσικός Κίρκχοφ (Kirchhoff) έδειξαν ότι το φως το οποίο εκλύεται από οποιαδήποτε πηγή εξαρτάται από το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένη η πηγή και ότι μόνο ειδικές συχνότητες (ή γραμμές, αν αναλυόταν το φάσμα) εκλύονται ή απορροφούνται. Αυτά τα δεδομένα υπέδειξαν και μια νέα μέθοδο αναγνώρισης και ταυτοποίησης νέων στοιχείων. Ως αποτέλεσμα, ο αριθμός των στοιχείων αυξήθηκε σημαντικά τα επόμενα χρόνια. Η φασματική ανάλυση έθεσε τεράστια ερωτήματα τα οποία εξελίχθηκαν στην ανάλυση των καθοδικών ακτίνων και της διάδρασης τους με αέρια τα οποία βρίσκονται μέσα σε σωλήνες. Οι πειραματιστές ήλπιζαν να ότι με αυτή τη μέθοδο θα μπορούσαν να προχωρήσουν ακόμη περισσότερο στην κατανόηση της δομής της ύλης (Móller 2004). Η ανάλυση των καθοδικών ακτίνων φαινόταν ιδιαίτερα ελπιδοφόρα για το σκοπό αυτό. Ένας από του επιστήμονες που εργάστηκαν σε αυτόν τον τομέα ήταν ο Τζ. Τζ. Τόμσον (J. J. Thomson). Ο Τόμσον ανέλυσε τις καθοδικές ακτίνες και απέδειξε ότι αποτελούνταν από σωματίδια⁶ των οποίων η μάζα ήταν περίπου το 1/1000 της μάζας του ατόμου του υδρογόνου. Μπόρεσε επίσης να προσδιορίσει την αναλογία της μάζας προς το ηλεκτρικό φορτίο εκτρέποντας τα σωματίδια σ' ένα μαγνητικό πεδίο. Ο Τόμσον έδειξε ότι όλα τα σωματίδια είχαν λίγο πολύ τις ίδιες ιδιότητες,

⁶ Είναι αξιοσημείωτο ότι ο γιος του, ο Τζωρτζ Πάτζετ Τόμσον επίσης έλαβε το βραβείο Νόμπελ φυσικής για το έργο του πάνω στην περίθλαση των ηλεκτρονίων. Υπό μία έννοια θα μπορούσε να ειπωθεί (έστω και υπεραπλουστευμένα) ότι ενώ ο Τζ. Τζ. Τόμσον έλαβε το βραβείο Νόμπελ επειδή έδειξε ότι τα ηλεκτρόνια είναι σωματίδια, ο γιος του το έλαβε επειδή έδειξε ότι δεν είναι σωματίδια αλλά έχουν τη μορφή κύματος.



ανεξαρτήτως του υλικού που χρησιμοποιούνταν στην κάθοδο. Αυτό αποτελούσε ένδειξη ότι τα σωματίδια αυτά (corpuscles, όπως τα αποκαλούσε) αποτελούσαν θεμελιώδες συστατικό της ύλης. Ήταν ωστόσο προβληματικό να φανταστεί κανείς ένα σταθερό άτομο το οποίο να περιέχει αυτά τα ελαφρά ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια. Ο Τόμσον τελικά κατέληξε σε μια λύση. “Υποθέτουμε ότι το άτομο αποτελείται από έναν αριθμό σωματιδίων που κινούνται σε μια σφαίρα με ομοιόμορφο θετικό ηλεκτρισμό...” (Thomson 1904, 255)⁷. Η υπόθεση αυτή είχε ως λογική συνέπεια ότι το άτομο δεν θα έπρεπε να θεωρείται πλέον ως αδιαίρετο και ότι το ως τότε ισχύον μοντέλο του θα έπρεπε να τροποποιηθεί.

Η ανάπτυξη του τομέα της ραδιενέργειας στις αρχές του 20ου αιώνα κατέστησε αναγκαία ακόμα μία τροποποίηση στο ως τότε ισχύον ατομικό μοντέλο.

Ένας από τους ερευνητές που στήριξε την επιστημονική του καριέρα πάνω στην ανάλυση της ραδιενέργειας ήταν ο τιμημένος με βραβείο Νόμπελ φυσικός, Έρνεστ Ράδερφορντ (Ernest Rutherford). Ο Ράδερφορντ γεννήθηκε και μεγάλωσε στη Νέα Ζηλανδία και δούλεψε ως ερευνητής αρχικά στον Καναδά και στη συνέχεια στην Αγγλία. Στο εργαστήριο Κάβεντις, δύο βοηθοί του ο Γκάιγκερ (Geiger) και ο Μάρσντεν (Marsden) διεξήγαγαν ένα πείραμα κατά το οποίο διέσπειραν σωματίδια από μεταλλικό έλασμα (Geiger & Marsden 1909).

Ο Ράδερφορντ ήδη είχε υποψιαστεί ότι η σκέδαση ήταν δυνατή, όταν παρατήρησε το πέρασμα σωματιδίων – α μέσα από φύλλα μαρμαρυγία. Αυτό το πείραμα επαναλήφθηκε και το αποτέλεσμα ήταν ανησυχητικό αν και όχι αναπάντεχο. Κατά την πειραματική διαδικασία ο Γκάιγκερ και ο Μάρσντεν χρησιμοποίησαν ένα πολύ λεπτό έλασμα χρυσού. Παρατήρησαν ότι αν και η συντριπτική πλειονότητα των σωματιδίων α διαπερνούσαν το μεταλλικό έλασμα και κάποια εξ αυτών πάθαιναν σκέδαση, κάποια άλλα (αν και λίγα) ανακλούνταν. Ο Χέιλμπρον (Heilbron) παρατηρεί ότι: κρίνοντας εκ των υστέρων η ανακάλυψη του Μάρσντεν ήταν το πιο απίστευτο συμβάν που του συνέβη ποτέ [Rutherford, PH], τόσο απίστευτο όσο εάν ένα βλήμα δεκαπέντε ιντσών αφού χτυπούσε ένα λεπτό φύλλο χαρτί, εξοστρακίζόταν και χτυπούσε τον πυροβολητή. Από μια διάλεξη που έδωσε ο Ράδερφορντ, έξι μήνες μετά την ανακάλυψη της διάχυτης ανάκλασης γίνεται εμφανές ότι η στρατιωτικού

τύπου μεταφορά και η αρχική δυσπιστία είναι μεταγενέστερες κατασκευές (1981, 264f.).

Το αποτέλεσμα του πειράματος ήταν σίγουρα απροσδόκητο για την επιστημονική κοινότητα. Ο Ράδερφορντ διατύπωσε μια εξήγηση η οποία ήταν εξίσου απροσδόκητη: Συμπεράνε βάση της συμπεριφοράς των σωματιδίων – α ότι το άτομο είχε ένα μικρό, φορτισμένο με θετικό ηλεκτρικό φορτίο πυρήνα, ο οποίος περιείχε σχεδόν όλη τη μάζα του, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του ήταν άδειο εκτός από τα ηλεκτρόνια τα οποία κινούνταν σε τροχιά κάπου σε αυτό τον άδειο χώρο.

Τα άτομα είναι δυνατόν ν' αλλάζουν

Αν και ο Ράδερφορντ ήταν ο πρώτος που έγινε διάσημος για την έρευνά του πάνω στη ραδιενέργεια, ο πρώτος επιστήμονας που παρατήρησε το φαινόμενο ήταν ο Γάλλος φυσικός Ενρί Μπεκερέλ (Henri Becquerel). Θα μπορούσε κανείς να χρησιμοποιήσει τον όρο “ανακάλυψη” για να χαρακτηρίσει την αρχική του παρατήρηση καθώς αυτή ήταν εντελώς απροσδόκητη, αν και υπήρχε επίγνωση των αποτελεσμάτων της ακτινοβολίας λόγω της ανακάλυψης των ακτίνων – Χ από το Ράιντγκεν (Röntgen). Αυτή η ανακάλυψη διάνοιξε ένα νέο επιστημονικό πεδίο, το οποίο όμως δεν διερεύνησαν αμέσως ούτε ο ίδιος ούτε άλλοι επιστήμονες καθώς οι ακτίνες που εκπέμπονταν από τα άλατα του ουρανίου θεωρούνταν απλά ένα αξιοπερίεργο φαινόμενο, το οποίο δεν έχρηζε περαιτέρω επιστημονικής διερεύνησης. Αυτοί που έφεραν αυτό το επιστημονικό πεδίο στο προσκήνιο, ήταν η νεαρή Πολωνή χημικός Μαρία Σκλοντόφσκα (Maria Skłodowska) σε συνεργασία με το Γάλλο φυσικό Πιέρ Κιουρί (Pierre Curie). Η Μαρία και ο Πιέρ Κιουρί υποστήριζαν ότι, εάν ανέλυε κανείς ένα ικανό αριθμό ραδιενεργών δειγμάτων, θα έβρισκε και άλλα στοιχεία εκτός από ουράνιο καθώς η ακτινοβολία ήταν ισχυρότερη στα δείγματα που δεν περιείχαν καθαρό ουράνιο. Μετά από μια μακρά και επίπονη ανάλυση κατάφεραν τελικά να παρασκευάσουν δείγματα των στοιχείων πολώνιο και ράδιο, τα οποία ταυτοποιήθηκαν μέσω φασματικής ανάλυσης. Το ράδιο ειδικότερα έπαιξε κεντρικό ρόλο στις έρευνες σε αυτό το νέο τομέα, καθώς ήταν ιδιαίτερα ενεργό, ενώ οι ακτίνες που παρήγαγε ήταν διαφορετικές από αυτές του ουρανίου. Κατέστη εμφανές ότι και άλλα στοιχεία είχαν την ιδιότητα να εκπέμπουν αυτού του είδους την ακτινοβολία. Υπήρξαν και άλλα συγκλονιστικά ευρήματα, ανάμεσα σε αυτά η μεταστοιχείωση ενός στοιχείου σε ένα άλλο μέσω μιας διαδικασίας αποσύνθεσης, όπως

⁷ Στην πραγματικότητα ο Ιάπωνας φυσικός Ναγκαόκα είχε καταλήξει σε μια παρόμοια λύση ένα χρόνο νωρίτερα.

παρατίθεται και στην εξιστόρηση του παρακάτω περιστατικού:

Ο Ράδερφορντ και ο Σόντυ (Soddy) ανακάλυψαν, ότι το ραδιενεργό θόριο, άτομο προς άτομο, σταδιακά μετατρέπεται σε ράδιο. Τη στιγμή που το συνειδητοποίησε αυτό, ο Σόντυ είπε φώναξε ‘Ράδερφορντ, αυτό είναι μεταστοιχείωση!’ “Για όνομα του Θεού Σόντυ μην το αποκαλείς μεταστοιχείωση γιατί θα μας θεωρήσουν αλχημιστές και θα μας πάρουν το κεφάλι” (Weart 1988, 5f.).

Ήδη το έργο των Κιουρί είχε θεμελιώσει μια βασική αρχή: Η ακτινοβολία κάθε υλικού σχετίζεται με κάποιες ιδιότητές του. Το ουράνιο εξέπεμπε διαφορετικό είδος ακτινοβολίας απ’ ότι το πολώνιο και το ράδιο και ούτω καθεξής... Επιπλέον έγινε αντιληπτό πειραματικά ότι η δραστηριότητα των δειγμάτων εξασθενίζει με την πάροδο του χρόνου, κάτι που γινόταν φανερό, όταν παρακολουθούσε κανείς τη διαδικασία μεταστοιχείωσης σε άλλα στοιχεία. Ένα πρόβλημα το οποίο προέκυψε από αυτή την εξασθενούσα δραστηριότητα ήταν ότι η έννοια του χρόνου υποδιπλασιασμού δεν είχε εφαρμογή σε μεμονωμένα άτομα. Ο νόμος της ραδιενεργούς εξασθένησης ίσχυε μόνο για στατιστικά δείγματα, χωρίς να μπορεί να προβλέψει τη συμπεριφορά μεμονωμένων ατόμων. Αρχικά η αδυναμία αυτή θεωρήθηκε ότι θα ήταν δυνατόν να ξεπεραστεί μέσω της περαιτέρω ανάπτυξης της ατομικής φυσικής. Ωστόσο έγινε τελικά σαφές ότι η πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός μεμονωμένου ατόμου απλά δεν είναι δυνατή και ότι η εξασθένηση μπορεί να περιγραφεί μόνο με μαθηματικούς όρους και συγκεκριμένα μέσω της στατιστικής ανάλυσης του συνόλου όπου ανήκει το άτομο.

Κατά την ανάλυση της ακτινοβολίας, τακτοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι. Προς γενική έκπληξη οι ακτίνες –α αποδείχθηκαν ότι ήταν πυρήνες ήλιου, ενός στοιχείου που μέχρι τότε είχε ανιχνευθεί με φασματοσκοπικές μεθόδους στον ήλιο και το οποίο θεωρούνταν ότι δεν υπήρχε στη Γη. Το γεγονός ότι οι ακτίνες – α ήταν θετικά φορτισμένα σωματίδια, ενώ οι ακτίνες –β αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια σήμαινε ότι τόσο η αρνητικά, αλλά και μέρος της θετικά φορτισμένης ουσίας εκπέμπονταν από το άτομο.

Το άτομο στη φυσική και το άτομο στη χημεία.

Ένα από τα πρώτα έργα τα οποία ανέλαβαν οι πειραματιστές μόλις έγινε φανερό ότι η ραδιενέργεια θα εξελισσόταν σε σημαντικό

ερευνητικό πεδίο, ήταν ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων των διαφορετικών ειδών ακτίνων. Μεταξύ άλλων προσδιορίστηκαν η μάζα και το φορτίο τους. Αυτό γινόταν μέσω της εφαρμογής ενός μαγνητικού πεδίου το οποίο ήταν κάθετο προς την κατεύθυνση των ακτίνων. Η αναλογία του φορτίου προς τη μάζα προσδιορίζεται από τη γωνία εκτροπής. Μία παρεμφερής διάταξη χρησιμοποιήθηκε για να αναλυθούν τα άτομα. Η διάταξη αυτή έδωσε νέα γνώση για τη δομή των ατόμων και βοήθησε να λυθεί ένα από τα εναπομείναντα προβλήματα. Ειδικότερα, μέσω της δουλειάς του Φράνσις Άστον (Francis Aston), ο οποίος εξέλιξε τη διάταξη η οποία υπολόγιζε την αναλογία φορτίου – μάζας, στο φασματογράφο μάζας, έγινε αντιληπτό ότι αν και από την άποψη της χημείας τα άτομα ενός στοιχείου ήταν πανομοιότυπα, δεν ίσχυε το ίδιο και από την άποψη της φυσικής. Ο Άστον έδειξε ότι αρκετά στοιχεία είχαν διαφορετικά μεταξύ τους άτομα τα οποία μπορούσε κανείς να ξεχωρίσει μόνο μέσω της μάζας τους. Αυτό βοήθησε να εξηγηθεί γιατί κάποια στοιχεία είχαν ατομικό βάρος το οποίο δεν ήταν ακέραιο πολλαπλάσιο της μάζας του ατόμου του υδρογόνου. Από τα δεδομένα του Άστον έγινε εμφανές ότι το ατομικό βάρος κάθε ισότοπου ήταν, με σχετική ακρίβεια, ακέραιο πολλαπλάσιο του ατόμου του υδρογόνου.

Τα άτομα μπορούν να αλλαχθούν

Αν και τα περισσότερα πειράματα με ραδιενεργές ουσίες είχαν στόχο την ανάλυση της ακτινοβολίας, κάποιοι ερευνητές προσπάθησαν να τροποποιήσουν τα άτομα (διαδικασία η οποία ονομάζεται τεχνητή μεταστοιχείωση). Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σωματίδια –α με τα οποία “βομαρδίστηκε” η ύλη. Παρατηρήθηκε ότι κάποια άτομα ενσωμάτωναν το σωματίδιο –α στον πυρήνα τους διαμορφώνοντας με αυτόν τον τρόπο ένα νέο στοιχείο. Ο πρώτος που θεμελίωσε την εγκυρότητα του πειράματος ήταν και πάλι ο Ράδερφορντ, ο οποίος έδειξε ότι τα σωματίδια –α όταν βομβάρδιζαν το άτομο του αζώτου, του υδρογόνου και του οξυγόνου γίνονταν ανιχνεύσιμα. Η ερμηνεία του Ράδερφορντ ήταν ότι ο πυρήνας του αζώτου απορροφούσε το σωματίδιο – α και ο νεοδιαμορφωμένος πυρήνας εξέπεμπε ένα πυρήνα υδρογόνου. Αυτή η προσπάθεια – η πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια τροποποίησης ενός στοιχείου και δημιουργίας ενός νέου – ακολουθήθηκε από άλλα πειράματα στην ίδια κατεύθυνση. Πρέπει ωστόσο να τονισθεί ότι τα πειράματα αυτά δεν έχουν σχέση με την

πυρηνική σύντηξη – κάτι που ακόμη και στις μέρες μας θεωρείται ανέφικτο.

Ο Ράδερφορντ έδωσε την ονομασία “πρωτόνιο” στον πυρήνα του υδρογόνου τον οποίο θεώρησε ως στοιχειώδες συστατικό όλων των πυρήνων. Ωστόσο, το πρόβλημα ήταν ότι οι μάζες των πυρήνων των στοιχείων δεν ήταν ακέραια πολλαπλάσια του πρωτονίου. Συνεπώς δύο ερωτήματα τα οποία παρέμεναν αναπάντητα ήταν α) γιατί τα θετικά πρωτόνια σχημάτιζαν τον πυρήνα και β) πώς μπορούσε να εξηγηθεί η εξασθένηση – β (β decay). Ο Ράδερφορντ διατύπωσε την υπόθεση ότι τα ηλεκτρόνια επίσης υπήρχαν στον πυρήνα και σχημάτιζαν ζεύγη με τα πρωτόνια και ότι αυτά τα ζεύγη συγκρατούσαν ενωμένα τα στοιχειώδη σωματίδια του πυρήνα.

Ανάμεσα στους ερευνητές που προσπάθησαν να ερευνήσουν τον πυρήνα και το άτομο μέσω της αλληλεπίδρασης των σωματίων – α ήταν η Ιρέν Ζολιό Κιουρί (Irène Joliot-Curie) (κόρη της Μαρίας Κιουρί) και ο σύζυγός της, Φρεντερίκ (Frédéric). Επανέλαβαν κάποια πειράματα τα οποία είχαν διεξαχθεί στο Βερολίνο. Βομβαρδίζοντας βερύλλιο με σωματία – α παρατήρησαν την έκλυση σημαντικής ποσότητας ακτινοβολίας, η οποία σύμφωνα με την αρχική τους υπόθεση αποτελούνταν από ακτίνες – γ. Τα σωματίδια αυτής της ακτινοβολίας δεν είχαν ηλεκτρικό φορτίο ενώ φαινόταν ότι έφεραν εξαιρετικά μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Ενώ το ζεύγος των Ζολιό Κιουρί υποστήριζε ότι το φαινόμενο ερμηνευόταν μέσω των ακτίνων – γ ο Τζέιμς Τσάντγουικ (James Chadwick), ο οποίος δούλευε με το Ράδερφορντ προτίμησε μια άλλη ερμηνεία. Σύμφωνα με αυτόν, η ακτινοβολία αυτή μπορούσε να εξηγηθεί με την ύπαρξη ενός νέου σωματιδίου, το οποίο ονόμασε νετρόνιο. Το νετρόνιο είχε ως αποτέλεσμα ένα εντελώς νέο τύπο ακτινοβολίας. Περαιτέρω πειράματα, έδειξαν ότι τα σωματίδια αυτά είχαν ένα έλλειμμα μάζας παρόμοιο με αυτό του πρωτονίου και ότι θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι το είδος του σωματιδίου αυτού αντικαθιστούσε το ζεύγος πρωτονίου – ηλεκτρονίου, με βάση το οποίο ο Ράδερφορντ είχε προσπαθήσει να εξηγήσει τη σταθερότητα του πυρήνα.

Το νετρόνιο επέτρεψε περαιτέρω πειραματισμούς πάνω στη μεταστοιχείωση, καθώς η απουσία κάποιας ηλεκτροστατικής δύναμης εξάλειψε το πρόβλημα της προσπάθειας να εισαχθεί ένα σωματίο – α μέσα στον πυρήνα και επέτρεπε τη δημιουργία νέων ραδιενεργών ισοτόπων καθώς και νέων προϊόντων εξασθένησης. Μεταξύ των επιφανών ερευνητών σε αυτό το πεδίο ήταν το ζεύγος Ζολιό Κιουρί

στο Παρίσι, ο Φέρμι (Fermi) στην Ιταλία και οι Χαν (Hahn) και Στράσμαν (Strassmann) στο Βερολίνο. Όλοι είχαν ως στόχο να εισαγάγουν ένα νετρόνιο στον πυρήνα του ουρανίου, το οποίο την εποχή εκείνη ήταν το βαρύτερο γνωστό στοιχείο. Ο στόχος ήταν να παράξουν τα λεγόμενα Υ υπεροθράνια στοιχεία, τα οποία θα είχαν μεγαλύτερο ατομικό βάρος από το ουράνιο. Αυτή η μέθοδος θεωρούνταν ως η μοναδική μέθοδος παραγωγής νέων στοιχείων, καθώς ο περιοδικός πίνακας θεωρούνταν οριστικά συμπληρωμένος και ολοκληρωμένος.

Απ’ όλους τους ερευνητές ο Χαν, ο οποίος ήταν χημικός, ήταν ο πλέον δυσαρεστημένος από τ’ αποτελέσματα: Στα πειράματά του το ουράνιο είχε μεταστοιχειωθεί σε βάριο, το οποίο όμως έχει σημαντικά μικρότερο ατομικό βάρος από το ουράνιο. Ο Χαν αναφέρθηκε σε αυτό το πρόβλημά του σε ένα γράμμα του προς την πρόωγη και επί χρόνια συνάδελφό του, φυσικό Λίζε Μείτνερ (Lise Meitner), η οποία είχε καταφύγει στη Σουηδία, για να ξεφύγει από την απειλή της ναζιστικής Γερμανίας, μετά από την προσάρτηση της πατρίδας της Αυστρίας μέσω του περιφημου Άνσλους (Anschluss). Η Μείτνερ αρχικά απάντησε ότι εκ πρώτης όψεως ένα τέτοιο αποτέλεσμα δε φαινόταν να είναι έγκυρο⁸ αλλά, όπως παρατήρησε στο ίδιο γράμμα, είχαν υπάρξει τόσες εκπλήξεις και ανατροπές στην ιστορία της έρευνας της ραδιενέργειας ώστε κανείς δεν θα μπορούσε να πει για κάτι ότι είναι αδύνατο. Ο Χαν επέμεινε ότι είχε επαληθεύσει το αποτέλεσμα ως βάριο και η Μείτνερ επισήμανε σχολιάζοντας τα λεγόμενα του Χαν σε ένα νέο γράμμα της το οποίο γράφηκε δύο μέρες αργότερα, ότι τουλάχιστον στο πεδίο της ενέργειας, μπορεί να είχε προκύψει η σχάση. Σε μια συζήτησή της με τον ανηψιό της Όττο Φρις (Otto Frisch), η Μείτνερ διατύπωσε την ιδέα ότι το μοντέλο (η δομή) του ατόμου πιθανόν να έπρεπε να ειδικωθεί σε μια σταγόνα: Εάν ένα αντικείμενο με αρκετή ενέργεια χτυπούσε τη σταγόνα η σύγκρουση θα την “έσπαγε” σε μικρότερες σταγόνες.

Ο Χαν, σε συνεργασία με τον Στράσμαν, δημοσίευσε τα ευρήματά του και τόνισε ότι αυτός ως χημικός, έπρεπε να δηλώσει ότι τα ισότοπα συμπεριφέρονταν όπως το βάριο. Ωστόσο παραδέχτηκε ότι κρίνοντας το πείραμα υπό την οπτική γωνία της φυσικής δεν μπορούσε να πεισθεί ότι το αποτέλεσμα αυτό ήταν δυνατόν να

⁸ Πριν ακόμη διεξαχθούν αυτά τα πειράματα, η έννοια της πυρηνικής σχάσης είχε ήδη διατυπωθεί από το 1934 από την Ίντα Νόντακ (Ida Noddack) κατά την κριτική που άσκησε στο Φέρμι για τη θέση του τελευταίου πάνω στα υπεροθράνια στοιχεία.

προκύψει από αυτό το πείραμα. Οι απόψεις πάνω στο ζήτημα άλλαξαν πολύ γρήγορα και κάποιοι επιστήμονες παρατήρησαν ότι σε μια τέτοια αντίδραση θα απελευθερωνόταν όχι μόνο μια τεράστια ποσότητα ενέργειας, αλλά και άλλα νετρόνια, καθιστώντας έτσι πιθανή τη δυνατότητα μιας αλυσιδωτής αντίδρασης.

Κείμενο: Peter Heering

Μετάφραση στα ελληνικά: Σπύρος Κόκκοτας

Σημείωμα του συγγραφέα: Ευχαριστώ τον Don Metz (Πανεπιστήμιο της Winnipeg) για την προσεκτική εξέταση του περιεχομένου καθώς και για τα σχόλια που έκανε στην προηγούμενη εκδοχή αυτής της αναδρομής καθώς επίσης και την Cathrine Froese Klassen και τον Stephen Klassen για την προσεκτική επιμέλεια που έκαναν σε αυτό το κείμενο.

Βιβλιογραφία⁹

- Berg, F., & Pricha, W. (1997). *Atommodelle* (3. Auflage). München: Deutsches Museum.
- Blackmore, J. (1995). *Ludwig Boltzmann: His Later Life and Philosophy, 1900-1906. The Philosopher*. Dordrecht: Kluwer.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. L. (1963). *The Feynman lectures on physics*. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Company.
- Geiger, H., & Marsden, E. (1909). On a Diffuse Reflection of the α -Particles. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 82(557), 495–500.
- Görs, B. (1999). *Chemischer Atomismus: Anwendung, Veränderung, Alternativen im deutschsprachigen Raum in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts*. Berlin: ERS.
- Heidelberger, M. (1993). *Die innere Seite der Natur : Gustav Theodor Fechners wissenschaftlich-philosophische Weltauffassung*. Frankfurt am Main: Klostermann.
- Heilbron, J. L. (1981). *Historical studies in the theory of atomic structure*. New York: Arno Press.
- Holton, G. J. (1978). *The scientific imagination: case studies*. Cambridge [Eng.]; New York: Cambridge University Press.
- Lavoisier, A. L. (1794). *Elements of Chemistry*. Transl. by Kerr, 4th ed., Edinburgh: William Creech.
- Losee, J. (2001). *A historical introduction to the philosophy of science*. Oxford [Engl.]; New York: Oxford University Press.
- Morgenweck-Lambrinos, V., & Trömel, M. (2001). Wissenschaft und Legende: eine Nachbetrachtung zu Lise Meitner, Otto Hahn und die Kernspaltung: eine Legende aus unseren Tagen. *NTM*, 9, 29–40.
- Möller, F. (2004). *Gasentladungsforschung im 19. Jahrhundert*. Berlin: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik.

- Möller, I. (2008). Ein Leben für die Thermodynamik. Vom Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik zum Planckschen Wirkungsquantum. In: *Physik Journal* 7/3, 39–45.
- Nye, M. J. (1993). *From chemical philosophy to theoretical chemistry: dynamics of matter and dynamics of disciplines, 1800-1950*. Berkeley: Univ. of California Press.
- Rife, P. (1992). *Lise Meitner: Ein Leben für die Wissenschaft*. Hildesheim: Claasen.
- Shapin, S., & Schaffer, S. (1989). *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life* (1st Paperback Edition). Princeton: University Press.
- Sichau, C. (2005). *Atomphysik : historische und fachliche Materialien zur Unterrichtsvorbereitung*. Oldenburg: Didakt. Zentrum (diz).
- Simonyi, K. (1995). *Kulturgeschichte der Physik: von den Anfängen bis 1990* (2. Aufl.). Thun, Frankfurt/Main: Deutsch.
- Thomson, J. J. (1904). "On the structure of the atom: an investigation of the stability ...". In: *Philosophical Magazine* 6, 7(39), 237–265.
- Tilden, W. A., & Glasstone, S. (1926). *Chemical discovery and invention in the twentieth century*. London: Routledge.
- Wear, S. R. (1988). *Nuclear fear: a history of images*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Η Ιστορική Αναδρομή: Άτομα και ατομική θεωρία

γράφει από τον Peter Heering με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (έργο: 518094-LLP-1-2011-1-GR-COMENIUS-CMP) και του Πανεπιστημίου του Φλένσμπουργκ. Η δημοσίευση αυτή αντανάκλα τις απόψεις του συγγραφέα και μόνον και η Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που αυτή περιέχει.

⁹ Κάποια αρχεία audio όπου ακούγονται επιστήμονες όπως ο Τόμσον, ο Ράδερφορντ, ο Χαν κ.ά. να μιλούν για τη δουλειά τους βρίσκονται στη διεύθυνση <http://www.aip.org/history/mod/fission/fission1/01.html>