

ΣΚΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΟΓΡΑΦΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΕΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟΥ

του ΘΟΔΩΡΟΥ ΑΡΑΜΠΑΤΖΗ*

1. Εισαγωγή

Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι να εξετάσει κριτικά διάφορους τρόπους προσέγγισης της ανακάλυψης μη παρατηρήσιμων οντοτήτων, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα της ανακάλυψης του ηλεκτρονίου. Αρχικά παρατίθενται κάποιες σκέψεις για την επιστημονική ανακάλυψη ως ιστοριογραφική και φιλοσοφική κατηγορία. Στη συνέχεια ταξινομούνται και υποβάλλονται σε κριτική διάφοροι τρόποι προσέγγισης της ανακάλυψης μη παρατηρήσιμων οντοτήτων. Η πρόσεγγιση που επιλέγεται έχει δύο βασικές συνιστώσες: τον «ιστορικισμό» και τον αγνωστικισμό. Είναι «ιστορικιστική» στο βαθμό που υιοθετεί την οπτική γωνία της εκάστοτε επιστημονικής κοινότητας και έχει ένα στοιχείο αγνωστικισμού στο βαθμό που δεν προϋποθέτει την απάντηση περίπλοκων φιλοσοφικών ερωτημάτων γύρω από την ύπαρξη της οντότητας που ανακαλύφθηκε. Τρίτον, αναφέρονται, σχετικά με την ιστοριογραφία του ηλεκτρονίου, συγκεκριμένα παραδείγματα ιστορικών που υιοθετούν, συνειδητά ή μη, τις παραπάνω προσεγγίσεις. Στο τελευταίο τμήμα της εργασίας σκιαγραφείται η διαδικασία που ονομάστηκε εκ των υστέρων ανακάλυψη του ηλεκτρονίου. Η σύντομη ιστορική ανάλυση που παραθέτω επιχειρεί μια επανεξέταση αυτής της ανακάλυψης, με στόχο την αποτίμηση της σχετικής

* Ο Θ. ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ είναι Δρ. Ιστορίας της Επιστήμης του Πανεπιστημίου Πρίνστον. 'Ενα μεγάλο μέρος του παρόντος κειμένου είναι ελεύθερη απόδοση στα ελληνικά κάποιων τμημάτων' της εργασίας μου «Rethinking the "Discovery" of the Electron», *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* (υπό έκδοση). Ευχαριστώ θερμά τους K. Γαβρόγλου, N. Nersessian, B.C. van Fraassen και M.N. Wise για τα σχόλιά τους στο αγγλικό κείμενο και τους A. Μπαλτά και Γ. Χριστιανίδη για τις υποδείξεις τους στο ελληνικό κείμενο.

συμβολής διαφόρων φυσικών (J. Larmor, H.A. Lorentz, P. Zeeman, J.J. Thomson) στη διαδικασία που οδήγησε στην αποδοχή του ηλεκτρονίου ως βασικού στοιχείου της οντολογίας της φυσικής.

2. Τι είναι επιστημονική ανακάλυψη;

Πριν από την ιστορικιστική στροφή στη φιλοσοφία της επιστήμης ήταν γενικά αποδεκτό ότι η επιστημονική δραστηριότητα λαμβάνει χώρα σε δύο διακριτά πλαίσια, το πλαίσιο της ανακάλυψης και το πλαίσιο της δικαιολόγησης. Το πρώτο συνίσταται στις διαδικασίες δημιουργίας επιστημονικών υποθέσεων και θεωριών, το δεύτερο στον έλεγχο και την επικύρωσή τους. Σύμφωνα με τον Reichenbach, ο οποίος κωδικοποίησε αυτή τη διάκριση, το πλαίσιο της ανακάλυψης είναι αντικείμενο της ιστορίας, ψυχολογίας και κοινωνιολογίας της επιστήμης και δεν επιδέχεται λογική ανάλυση. Αντίθετα, το πλαίσιο δικαιολόγησης μπορεί να γίνει αντικείμενο ορθολογικής ανασυγκρότησης και, επομένως, ανήκει στη σφαίρα της λογικής και της φιλοσοφίας¹.

Οι ιστορικές καταβολές αυτής της διάκρισης είναι ποικίλες. Πρώτον, βασίζεται στην πεποίθηση ότι η φιλοσοφία της επιστήμης είναι μια κανονιστική (normative) δραστηριότητα με στόχο τη διατύπωση των κανόνων που δέπουν κάθε μορφή γνώσης που αξίζει να αποκαλείται επιστήμη. Δεύτερον, στηρίζεται στην ταύτιση των επιστημονικών ανακαλύψεων με τη γέννηση νέων ιδεών. Έτσι, η μελέτη των ανακαλύψεων συγχέεται με την ανάλυση της επιστημονικής δημιουργικότητας. Τρίτον, προϋποθέτει την ευρέως διαδεδομένη άποψη ότι η δημιουργικότητα δεν υπόκειται σε κανόνες. Οι δύο τελευταίες παραδόξες αποκλείουν τη δυνατότητα μιας κανονιστικής θεωρίας της ανακάλυψης και, σε συνδυασμό με την πρώτη, καθιστούν αδύνατη τη φιλοσοφική διερεύνηση των ανακαλύψεων. Τέλος, η διάκριση ανάμεσα στα δύο πλαίσια προϋποθέτει ότι η δικαιολόγηση είναι μια διαδικασία που διέπεται από κανόνες και, συνεπώς, μπορεί να μελετηθεί από κανονιστική σκοπιά.

Όλες αυτές οι παραδοχές έχουν γίνει, εδώ και αρκετό καιρό, αντικείμενο κριτικής με αποτέλεσμα την υπονόμευση της εν λόγω διάκρισης. Κατ' αρχήν, έχει υπάρξει μια σταδιακή μετατόπιση προς μια πιο «αντικανονιστική» αντίληψη περί φιλοσοφίας της επιστήμης, δηλαδή μια αντίληψη που τονίζει τις περιγραφικές και ερμηνευτικές πλευρές της

¹ H. REICHENBACH, *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley/Los Angeles, University of California Press, 1951, σ. 231.

φιλοσοφικής μελέτης της επιστήμης, αντί για τις κανονιστικές². Επιπλέον, η ταύτιση της ανακάλυψης με τη γέννηση νέων ιδεών δεν ευσταθεί. Το θέμα αυτό είναι καθοριστικής σημασίας και θα συζητηθεί εκτενώς αργότερα. Τρίτον, δεν είναι πλέον δεκτό ότι η δημιουργικότητα είναι ένα μυστήριο φαινόμενο που δεν μπορεί να αναλυθεί λογικά. Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η δημιουργία νέων υποθέσεων και η συγκρότηση νέων θεωριών είναι έλλογες διαδικασίες που μπορούν (και πρέπει) να μελετηθούν από τους φιλοσόφους της επιστήμης³. Έχει επίσης υποστηριχθεί ότι είναι δυνατό να επινοθεί μια κανονιστική θεωρία της επιστημονικής ανακάλυψης, η οποία θα προσδιορίζει ευρειάς διαδικασίες που θα βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της επιστημονικής έρευνας και, συνεπώς, θα διευκολύνουν τη διαδικασία της ανακάλυψης⁴. Τέλος, η εδοχή της δικαιολόγησης ως διαδικασίας που καθορίζεται πλήρως από κανόνες έχει αμφισβητηθεί. Η δικαιολόγηση εμπειριέχει στοιχεία ανακάλυψης: για παράδειγμα, η επικύρωση μιας υπόθεσης απαιτεί την «ανακάλυψη» μιας κατάλληλης διαδικασίας ελέγχου⁵.

Η διάκριση ανάμεσα στα δύο πλαίσια έχει επίσης αμφισβητηθεί από ιστορική σκοπιά. Ο Thomas Kuhn, για παράδειγμα, έχει υποστηρίξει ότι:

Παραγόντες σχετικοί με το πλαίσιο ανακάλυψης είναι... επίσης σχετικοί με τη δικαιολόγηση⁶ επιστήμονες που συμμερίζονται τα ενδιαφέροντα και τις ευαισθησίες του απόμου που ανακαλύπτει μια νέα θεωρία είναι ipso facto πιθανό να εμφανίζονται δυσανάλογα συχνά μεταξύ των πρώτων υποστηρικτών της θεωρίας⁶.

Το απόσπασμα αυτό είναι ενδεικτικό μιας αντίληψης περί επιστημονικής ανακάλυψης, που είναι αποδεκτή τόσο από τους υποστηρικτές όσο και από πολλούς από τους κριτικούς της διάκρισης ανάμεσα στα δύο

² B.L. P. KITCHER, «The Naturalists Return», *The Philosophical Review*, 101, 1992, No. 1, 53-114.

³ Βλ. για παράδειγμα, N.J. NERSESSIAN, «How Do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science», στο R.N. GIREE (ed.), *Cognitive Models of Science*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science 15, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1992, σσ. 3-4⁷ και T. NICKLES, «Can Scientific Constraints Be Violated.Rationally?», στο T. NICKLES (ed.), *Scientific Discovery, Logic, and Rationality*, Boston Studies in the Philosophy of Science 56, Dordrecht, Reidel, 1980, σσ. 285-315.

⁴ Βλ. για παράδειγμα, P. Langley, H.A. Simon, G.L. Bradshaw, J.M. Zytkow, *Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Process*, Cambridge/Massachusetts, MIT Press, 1987.

⁵ Βλ. T. NICKLES, «Beyond Divorce: Current Status of the Discovery Debate», *Philosophy of Science*, 52, 1985, 177-206, στη σελ. 193.

⁶ T.S. KUHN, *The Essential Tension*, Chicago, The University of Chicago Press, 1977, σ. 328.

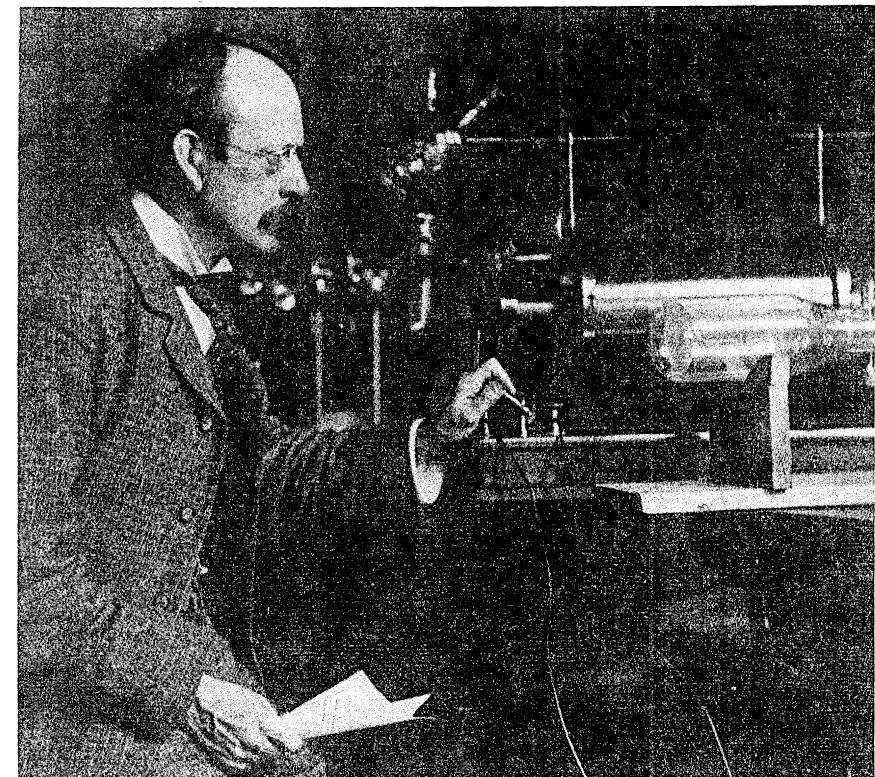
πλαίσια. Το πλαίσιο της ανακάλυψης, σύμφωνα μ' αυτήν την άποψη, αποτελείται από τις διαδικασίες που οδηγούν στη διατύπωση νέων υποθέσεων και θεωριών. Μ' άλλα λόγια, και οι δυο πλευρές ταυτίζουν την επιστημονική ανακάλυψη είτε με την επινόηση υποθέσεων είτε με τη συγχρότηση θεωριών. Με κάποιες εξαιρέσεις, η δικαιολόγηση δεν θεωρείται μέρος της διαδικασίας ανακάλυψης⁷.

Αυτή η άποψη περί επιστημονικής ανακάλυψης είναι ιδιαίτερα παραπλανητική και χωρίς αυτήν η διαμάχη για την εγκυρότητα της διάκρισης ανάμεσα στα δυο πλαίσια θα ήταν αδιανόητη. Ο όρος «ανακάλυψη» καλύπτει πολλές διαφορετικές διαδικασίες: την ανακάλυψη φαινομένων μέσω του πειράματος (π.χ. την ανακάλυψη του φαινομένου Zeeman)⁸; την ανακάλυψη οντοτήτων που είναι προσιτές στην άμεση παρατήρηση (π.χ. την ανακάλυψη ενός νέου είδους)⁹; την ανακάλυψη αντικειμένων που δεν είναι προσιτά στην παρατήρηση χωρίς ειδικά όργανα (π.χ. την ανακάλυψη του πλανήτη Ποσειδώνα)¹⁰; την ανακάλυψη μη παρατηρήσιμων οντοτήτων (π.χ. του ηλεκτρονίου)¹¹; την ανακάλυψη νέων αρχών (π.χ. της αρχής της διατήρησης της ενέργειας)¹², και την ανακάλυψη νέων θεωριών (π.χ. της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας).

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις τα δυο πλαίσια είναι αδύνατο να διαχωριστούν. Ας δούμε, για παράδειγμα, την ανακάλυψη μη παρατηρήσιμων οντοτήτων. Ένας επιστήμονας ή μια ομάδα επιστημόνων θεωρείται ότι ανακάλυψε μια δεδομένη οντότητα μόνο αφού έχει πείσει τα υπόλοιπα μέλη της επιστημονικής κοινότητας για την ύπαρξη αυτής της οντότητας. Η διατύπωση και μόνο της υπόθεσης ότι η εν λόγω οντότητα υπάρχει δεν ισοδυναμεί με την ανακάλυψη της. Η δικαιολόγηση αυτής της υπόθεσης είναι συστατικό χαρακτηριστικό της ανακάλυψης της οντότητας. Το πλαίσιο της ανακάλυψης είναι φορτισμένο (laden) με το πλαίσιο της δικαιολόγησης διότι ο όρος «ανακάλυψη» εμπειρίζει την έννοια του επιτεύγματος: εάν κανείς καταφέρει να ανακαλύψει κάτι τότε, χωρίς αμφιβολία, αυτό το κάτι υπάρχει¹³. Αυτό είναι εμφανές στην ιστορική βιβλιογραφία, όπου το ιστοριογραφικό θέμα της επιστημονικής ανακάλυψης έχει συζητηθεί μόνο αναφορικά με οντότητες που παραμένουν μέρος της αποδεκτής επιστημονικής οντολογίας (π.χ. οξυγόνο). Κανείς δεν έχει

⁷ Οι εξαιρέσεις είναι σημαντικές. Βλ. για παράδειγμα, G. GUTTING, «Science as Discovery», *Revue Internationale de Philosophie*, 131-132, 1980, 26-48; N. KOERTGE, «Explaining Scientific Discovery», στο P.D. ASQUITH/T. NICKLES (eds.), *PSA 1982: Proceedings of the 1982 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 2 τόμοι, East Lansing, Michigan, 1983, τόμος 1, σ. 14-28; C.R. KORDIG, «Discovery and Justification», *Philosophy of Science*, 45, 1978, 110-117.

⁸ Πρβλ., G. RYLE, *The Concept of Mind*, Chicago, The University of Chicago Press, 1949, σσ. 303-304.



Ο J.J. Thomson (1856-1940) μελετά έναν σωλήνα καθοδικών ακτίνων. Η φωτογραφία κρέμεται στην αίθουσα διαλέξεων του Εργαστηρίου Cavendish του Πανεπιστημίου του Cambridge. (Από το βιβλίο του Emilio Segrè, *From X-rays to Quarks. Modern Physicists and Their Discoveries*, Νέα Υόρκη, W.H. Freeman and Company, 1980.)

χρησιμοποιήσει τον όρο «ανακάλυψη» για να περιγράψει την επινόηση και αποδοχή μιας οντότητας (π.χ. φλογιστό) που έχει εγκαταλειφθεί. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει μια αναδρομική διάσταση στον όρο «ανακάλυψη». Μόνο πεποιθήσεις που δεν έχουν αναθεωρηθεί μπορούν να χαρακτηρίσθούν ως ανακαλύψεις.

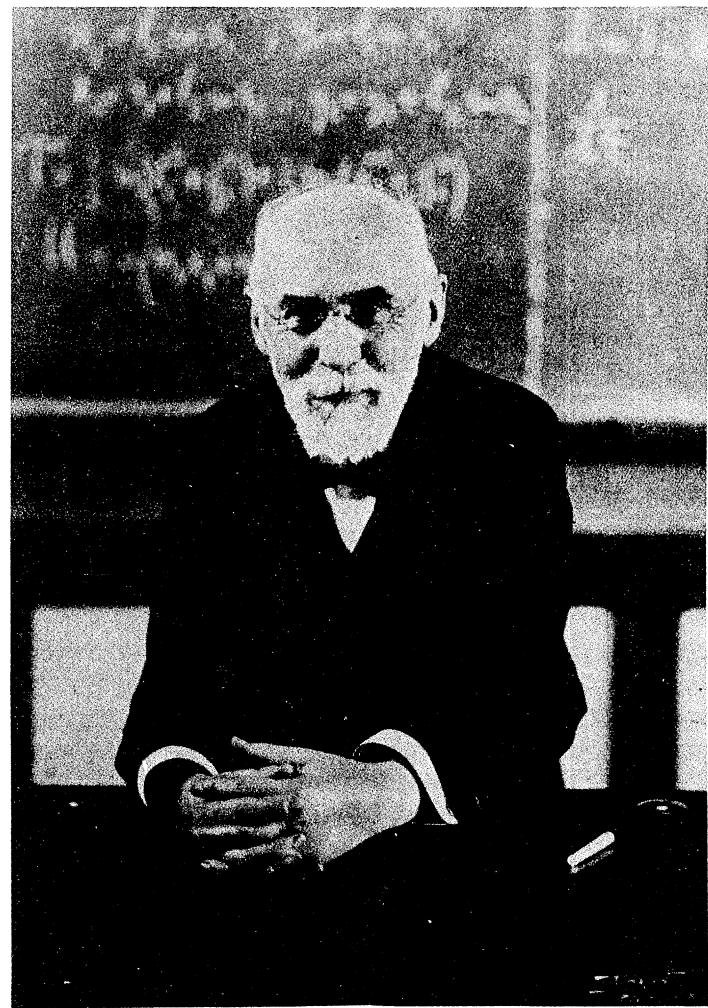
Στη συνέχεια θα αναφερθώ εκτενώς στην ανακάλυψη μη παρατηρήσιμων οντοτήτων και στα ιστοριογραφικά και φιλοσοφικά προβλήματα που τίθενται από ανακαλύψεις τέτοιου είδους.

είναι ότι επιτρέπει την ανασυγκρότηση επιστημονικών ανακαλύψεων χωρίς να είναι απαραίτητη η επίλυση πιεστικών φιλοσοφικών προβλημάτων. Από ιστοριογραφική σκοπιά, δεν είναι υποχρεωμένος κανείς να αποφασίσει εάν η επιμηγορία της επιστημονικής κοινότητας μπορεί να δικαιολογηθεί με φιλοσοφικά επιχειρήματα/επιστημολογικούς όρους. Επιπλέον, δεν είναι απαραίτητο να απαντηθεί το ερώτημα εάν ταυτίζεται η οντότητα που ανακαλύφθηκε (με την παραπάνω έννοια) με την αντίστοιχη σύγχρονη οντότητα. Στη συνέχεια θα δώσω συγκεκριμένα παραδείγματα των ιστοριογραφικών προσεγγίσεων που ανέφερα και θα σκιαγραφήσω την ανακάλυψη του ηλεκτρονίου υπό το πρίσμα της μεθοδολογίας που πρότεινα.

4. Πώς δεν ανακαλύφθηκε το ηλεκτρόνιο

Στην ιστορική και φιλοσοφική βιβλιογραφία διαβάζει κανείς κατ' επανάληψη ότι το ηλεκτρόνιο ανακαλύφθηκε από τον J.J. Thomson το 1897 κατά τη διάρκεια των πειραμάτων του με καθοδικές ακτίνες¹². Παρ' όλα αυτά, οι ιστορικές πληροφορίες που περιέχονται σ' αυτήν τη βιβλιογραφία δείχνουν ότι η εκτεταμένη διαδικασία που οδήγησε στην αποδοχή της υπόθεσης του ηλεκτρονίου δεν ήταν ούτε αποκλειστικά συνδεδεμένη με

¹² Βλ. για παράδειγμα, R. ACHINSTEIN, *Particles and Waves*, New York, Oxford University Press, 1991, σσ. 286-287· M. CHAYUT, «J.J. Thomson: The Discovery of the Electron and the Chemists», *Annals of Science*, 48, 1991, 527-544, στη σελ. 531· P. GALISON, *How Experiments End*, Chicago, University of Chicago Press, 1987, σ. 22· R. HARRÉ, *Great Scientific Experiments*, New York, Oxford University Press, 1983, σσ. 157-165· J. HEILBRON, *Historical Studies in the Theory of Atomic Structure*, New York, Arno Press, 1981, σσ. 1, 14· E.N. HIEBERT, «The State of Physics at the Turn of the Century», στο M. BUNGE/W. R. SHEA (eds.), *Rutherford and Physics at the Turn of the Century*, New York, Dawson and Science History Publications, 1979, σσ. 3-22, στη σελ. 7· M. JAMMER, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, New York, McGraw-Hill, 1966, σ. 121· H. KRAGH, «Concept and Controversy: Jean Becquerel and the Positive Electron», *Centaurus*, 32, 1989, 203-240, στη σελ. 205· W. MCGUCKEN, *Nineteenth-Century Spectroscopy: Development of the Understanding of Spectra 1802-1897*, Baltimore, The Johns Hopkins Press, 1969, σσ. xi, 209; A.I. MILLER, «Have incommensurability and causal theory of reference anything to do with actual science?-incommensurability, no? causal theory, yes», *International Studies in the Philosophy of Science*, 5:2, 1991, 97-108, σ. 102· A. PAIS, *Niels Bohr's Times, In Physics, Philosophy, and Polity*, New York, Oxford University Press, 1991, σσ. 105-106· M. PATY, «The Scientific Reception of Relativity in France», στο T.F. GLICK (ed.), *The Comparative Reception of Relativity*, Boston Studies in the Philosophy of Science 103, Dordrecht, Reidel, 1987, 113-167, σ. 125· L. PYENSON, «The Relativity Revolution in Germany», στο T.F. GLICK, ίδια, 59-111, σ. 71· A.N. STRANGES, *Electrons and Valence: Development of the Theory, 1900-1925*, Texas A&M University Press, 1982, σσ. xi, 32.



Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928). (Από το βιβλίο της Nancy J. Nersessian, *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories*, Dordrecht/Boston/Lancaster, Martinus Nijhoff Publishers, 1984.)

θα μπορούσε να δώσει μια ακόμη πιο ουδέτερη θεωρητικά περιγραφή, αποφεύγοντας τον όρο «καθοδικές ακτίνες» και χρησιμοποιώντας τη φαινομενολογική φράση «κηλίδα πάνω σε μια φωσφορίζουσα οθόνη». Το μόνο πράγμα που ξέρουμε με βεβαιότητα, θα υποστήριξε ο αντιρεαλιστής, είναι ότι ο Thomson ήταν σε θέση, ενεργοποιώντας έναν ηλεκτρομαγνήτη, να κινεί ένα σημείο (κηλίδα) σε μια φωσφορίζουσα οθόνη. Αφού η πράξη του χειρισμού μπορεί να περιγραφεί χωρίς να αναφερθεί κανένας στη μη παρατηρήσιμη οντότητα η οποία είναι το υποτιθέμενο αντικείμενο χειρισμού, η εν λόγω πράξη δεν συνεπάγεται από μόνη της την ύπαρξη της συγκεκριμένης οντότητας. Έτσι, με δεδομένο ότι τα πειράματα μπορούν να (επανα-)περιγραφούν με φαινομενολογικούς όρους, η δυνατότητα χειρισμού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ως επιχείρημα που θα ικανοποιούσε έναν αντι-ρεαλιστή, για τη συναγωγή υπαρξιακών συμπερασμάτων. Ενώ για τον Hacking η δυνατότητα χειρισμού αποδεικνύει την ύπαρξη της αντίστοιχης οντότητας, για τον αντιρεαλιστή ισχύει ακριβώς το αντίθετο. Η πεποίθηση στην ύπαρξη ηλεκτρονίων, π.χ., πριν από την πράξη του χειρισμού, είναι αυτή που μας επιτρέπει να ερμηνεύσουμε αυτή την πράξη ως χειρισμό ηλεκτρονίων (αντί για κάτι άλλο)¹⁸.

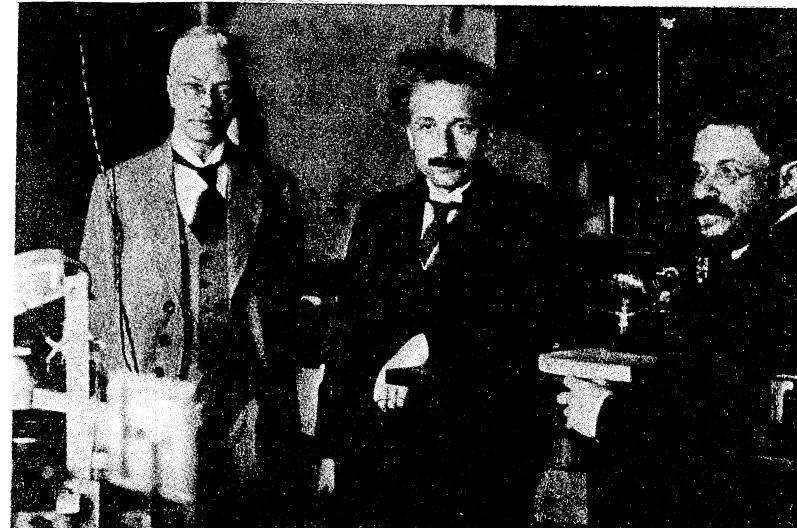
Αφού το κριτήριο του Hacking δεν παρέχει επαρκείς λόγους για μια ρεαλιστική ερμηνεία των μη παρατηρήσιμων οντοτήτων, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ιστοριογραφικό κριτήριο ανακάλυψης. Επομένως, ο ισχυρισμός της Falconer ότι η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου ήταν αποκλειστικά πειραματικό επίτευγμα του Thomson έχει υποστεί ένα σοβαρό πλήγμα. Από άλλες απόψεις, όμως, το άρθρο της είναι μια εξαιρετική ανασυγχρότηση της θεωρητικής και πειραματικής συνεισφοράς του Thomson στη διαδικασία που κατέληξε στην εδραίωση της πεποίθησης ότι τα ηλεκτρόνια είναι πραγματικές οντότητες.

Ο φυσικός Abraham Pais, ο οποίος έχει κάνει και σημαντική ιστορική δουλειά, έχει επίσης υποστηρίξει ότι «ο Thomson πρέπει να θεωρείται ο μόνος που ανακάλυψε το πρώτο σωματίδιο [το ηλεκτρόνιο]»¹⁹. Η άποψή του είναι παράδειγμα της προσέγγισης των επιστημόνων στο ζήτημα της επιστημονικής ανακάλυψης. Η εξέταση του ισχυρισμού του, τον οποίο υποστηρίζει με ένα σημαντικό όγκο ιστορικών στοιχείων, θα δείξει με σαφή τρόπο τα μειονεκτήματα αυτής της προσέγγισης.

Αν και αποδίδει την ανακάλυψη του ηλεκτρονίου στον Thomson, ο Pais αμφισβητεί την παραδοσιακή άποψη ότι αυτή η ανακάλυψη συνέβη το 1897:

¹⁸ Αυτή είναι μια από τις προβληματικές πλευρές του οντολογικού ρεαλισμού του Hacking. Για περαιτέρω κριτική της άποψής του βλ. T. ARABATZIS, *The Electron: A Biographical Sketch of a Theoretical Entity*, Princeton University, Ph.D. thesis, 1995.

¹⁹ A. PAIS, *Inward Bound*, New York, Oxford University Press, 1988, σ. 8.



Pieter Zeeman (1865-1943) αριστερά, μαζί με τους Albert Einstein (1879-1955) και Paul Ehrenfest (1880-1933) στο εργαστήριο του πρώτου στο Άμστερνταμ γύρω στα 1920. (Από το βιβλίο του Emilio Segrè, *From X-rays to Quarks. Modern Physicists and Their Discoveries*, Νέα Υόρκη, W.H. Freeman and Company, 1980.)

Είναι αλήθεια ότι εκείνο το χρόνο έκανε έναν καλό υπολογισμό του e/m [φορτίο/μάζα] για τις καθοδικές ακτίνες, ένα απαραίτητο βήμα προς την αναγνώριση του ηλεκτρονίου, αλλά δεν ήταν ο μόνος που το έκανε. Ταυτόχρονα ο Walter Kaufmann είχε βρει το ίδιο αποτέλεσμα. Είναι επίσης αλήθεια ότι το 1897 ο Thomson, λιγότερο εγκρατής από τους Zeeman, Lorentz, και (όπως θα δούμε) Kaufmann είκασε σωστά ότι η μεγάλη τιμή του e/m που είχε μετρήσει ήταν ένδειξη της ύπαρξης ενός νέου σωματιδίου με πολύ μικρή μάζα σε ατομική κλίμακα. Όμως, δεν ήταν ο πρώτος που έκανε αυτή την ευκασία. Νωρίτερα εκείνη τη χρονιά, ο Emil Wiechert είχε κάνει το ίδιο, σε στέρεη πειραματική βάση, πριν ακόμη οι Thomson και Kaufmann αναφέρουν τα δικά τους αποτελέσματα. Παρ' όλα αυτά, είναι αλήθεια ότι ο Thomson πρέπει να θεωρείται ο μοναδικός που ανακάλυψε το πρώτο σωματίδιο, διότι ήταν ο πρώτος που μέτρησε όχι μόνο το e/m αλλά επίσης... και την τιμή του e , εξαλείφοντας κατ' αυτόν τον τρόπο όλα τα υποθετικά στοιχεία — αλλά αυτό συνέβη το 1899²⁰.

²⁰ Ο.π.. Κάποιοι ιστορικοί έχουν επίσης υποστηρίξει μια παρόμοια άποψη. Η Barbara Turpin, για παράδειγμα, έχει προτείνει ότι «θα ήταν πιο σωστό να θέσουμε το 1899 ως την ημερομηνία της ανακάλυψης του ηλεκτρονίου παρά το 1897, την ημερομηνία που έχουν υιοθετήσει οι περισσότεροι ιστορικοί». (B. M. TURPIN, *The Discovery of the Electron: The Evolution of a Scientific Concept, 1800-1899*, Univ. of Notre Dame, Ph.D. thesis, 1980, σ. 202.).

ηλεκτρισμού²⁵. Στη συνάντηση της Βρετανικής Εταιρείας για την Πρωγή της Επιστήμης το 1874, ο Stoney είχε ήδη προτείνει ότι «η Φύση μας παρουσιάζει στο φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης, μια μοναδική καθορισμένη ποσότητα ηλεκτρισμού η οποία είναι ανεξάρτητη από τα συγκεκριμένα σώματα που ηλεκτρολύνονται»²⁶. Το 1891 πρότεινε ότι «θα είναι βολικό να αποκαλούμε [αυτά τα στοιχειώδη φορτία] ηλεκτρόνια»²⁷. Τα ηλεκτρόνια του Stoney ήταν διαρκώς προσκολλημένα στα άτομα και το καθένα «συνδέοταν στο χημικό άτομο με κάθε δεσμό». Επιπλέον, οι ταλαντώσεις τους μέσα στα άτομα δημιουργούσαν «ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές στον περιβάλλοντα αιθέρα»²⁸.

Η ιδέα του Stoney έπαιξε σημαντικό ρόλο σε ένα διαφορετικό πλαίσιο, το πλαίσιο της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Το 1894 ο Βρετανός φυσικός Joseph Larmor ίδιοποιήθηκε το ηλεκτρόνιο του Stoney για να επιλύσει μια σειρά προβλημάτων που είχαν δημιουργηθεί στα πλαίσια της Μαξουελιανής ερευνητικής παράδοσης. Η υιοθέτηση του ηλεκτρονίου από τον Larmor αντιπροσώπευε την κορύφωση (και ίσως το τέλος) αυτής της παράδοσης. Ένα κεντρικό χαρακτηριστικό του ερευνητικού προγράμματος που ξεκίνησε ο Maxwell ήταν ότι απέφευγε τελείως μικροσκοπικές παραδοχές και χρησιμοποιούσε αποκλειστικά μακροσκοπικές μεταβλητές (π.χ. την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου). Αυτή η μακροσκοπική προσέγγιση οδήγησε και σε εννοιολογικά και σε εμπειρικά προβλήματα. Το κύριο εννοιολογικό της μειονέκτημα ήταν ότι δεν ήταν σε θέση να περιγράψει υιανοποιητικά την αγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα εμπειρικά της ελαττώματα ήταν επίσης πολυάριθμα. Για παράδειγμα, δεν μπορούσε να εξηγήσει το φαινόμενο του διασκεδασμού (dispersion) όπως και μια σειρά από μαγνητο-οπτικά φαινόμενα²⁹. Υπό την πίεση αυτών των προβλημάτων ο Larmor άρχισε να δημιουργεί μια θεωρία που είχε σαν στόχο να εξηγήσει την αλληλεπίδραση ανάμεσα στον αιθέρα και στην σαν στόχο να εξηγήσει την αλληλεπίδραση ανάμεσα στον αιθέρα και στην περίπλοκη. Η σταδιακή συγκρότηση αυτής της θεωρίας είναι ιδιαίτερα περίπλοκη και δεν είναι δυνατόν να ανασυγκροτηθεί εδώ³⁰. Αξίζει πάντως να

²⁵ Bλ. G. J. STONEY, «On the Cause of Double Lines and of Equidistant Satellites in the Spectra of Gases», *The Scientific Transactions of the Royal Dublin Society*, 2nd series, 4, 1888-1892, 563-608, στη σελ. 583.

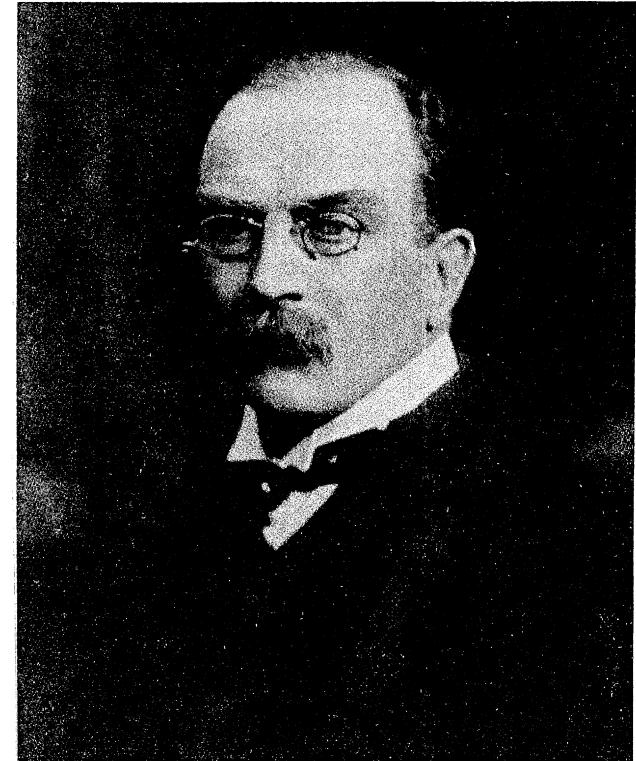
²⁶ Η εργασία του Stoney πρωτοδημοσιεύθηκε το 1881. Bλ. G.J. STONEY, «On the Physical Units of Nature», *The Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society*, new series, 3, 1881-1893, 51-60, στη σελ. 54.

²⁷ G.J. STONEY, «On the Cause of Double Lines», σ. 583.

²⁸ Ο.π.

²⁹ Bλ. B.J. HUNT, *The Maxwellians*, Ithaca, Cornell University Press, 1991, σ. 210.

³⁰ Παραπέμπω τον ενδιαφέρομενο αναγνώστη στη διεξοδική μελέτη του Jed Buchwald, *From Maxwell to Microphysics: Aspects of Electromagnetic Theory in the Last Quarter of the Nineteenth Century*, Chicago, Chicago University Press, 1985.



Sir Joseph Larmor
(1857-1942). Η φωτογραφία δημοσιεύθηκε στο περιοδικό *Mathematical Gazette* το 1912. (Από το βιβλίο του Bruce J. Hunt, *The Maxwellians*, Ithaca and London, Cornell University Press, 1991.)

σημειώθει ότι η κεντρική διαφορά των θεωριών του Maxwell και του Larmor αφορά στην έννοια του φορτίου. Στη θεωρία του Maxwell το φορτίο είναι παράγωγη έννοια — το ηλεκτρικό φορτίο είναι ένα επιφαινόμενο του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Αντίθετα στη θεωρία του Larmor το φορτίο είναι οντολογικά ανεξάρτητο από το πεδίο, του οποίου αποτελεί την πηγή. Εξαιτίας της θεωρίας του Larmor και της εμπειρικής της επιβεβαίωσης από τα πειράματα του Zeeman και του Thomson, το ηλεκτρόνιο έγινε ένα ουσιώδες συστατικό της επιστημονικής πρακτικής στην περιοχή του ηλεκτρομαγνητισμού, στη Μεγάλη Βρετανία. Αυτό ίσχυε ήδη στην ηπειρωτική Ευρώπη, όπως δείχνει το παράδειγμα του Lorentz.

Το 1878 ο Lorentz είχε ήδη προτείνει ότι το φαινόμενο του διασκεδασμού (dispersion) μπορούσε να εξηγηθεί υποθέτοντας ότι τα μόρια αποτελούνται από φορτισμένα σωματίδια που εκτελούν αρμονικές ταλαντώσεις³¹. Το 1892 κατόρθωσε να ενοποιήσει την Ηπειρωτική και τη

³¹ Bλ. N.J. NERSESSIAN, *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories*, Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1984, σ. 100.

Βρετανική προσέγγιση στην ηλεκτροδυναμική, χρησιμοποιώντας αυτήν έννοια (των φορτισμένων σωματιδίων). Από τη Βρετανική προσέγγιση δανείστηκε την ιδέα ότι οι ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός. Δηλαδή, η θεωρία του ήταν μια πεδιακή θεωρία. Από την Ηπειρωτική προσέγγιση δανείστηκε την ιδέα ότι τα ηλεκτρικά φορτία είναι οντολογικά ανεξάρτητα από το πεδίο.

Ο στόχος αυτής της ενοποίησης ήταν να αναλύσει τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα σε κινούμενα σώματα. Μια τέτοια ανάλυση απαιτούσε ένα μοντέλο της αλληλεπίδρασης ύλης και αιθέρα. Η έννοια των «φορτισμένων σωματιδίων» του έδωσε τη δυνατότητα να χειριστεί αυτό το πρόβλημα. Η εν λόγω αλληλεπίδραση μπορούσε να κατανοηθεί εάν κανείς ανήγαγε όλα «τα ηλεκτρικά φαινόμενα... [στη] μετατόπιση αυτών των σωματιδίων»³². Η κίνηση ενός φορτισμένου σωματιδίου μετέβαλλε την κατάσταση του αιθέρα, ο οποίος, με τη σειρά του, επηρέαζε την κίνηση όλων σωματιδίων. Επιπλέον, τα φορτισμένα σωμάτια μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση όλων μικροσκοπικών μεγεθών. Τα μακροσκοπικά φορτία αποτελούνται «από ένα πλεόνασμα σωματιδίων των οποίων τα φορτία έχουν ένα καθορισμένο πρόσθιμο [και] ένα ηλεκτρικό ρεύμα είναι μια αληθινή ροή αυτών των σωματιδίων»³³.

Το 1895 ο Lorentz συνέδεσε ρητά αυτά τα σωματίδια με τα ιόντα της ηλεκτρόλυσης. Ο μετασχηματισμός των «ιόντων» σε «ηλεκτρόνια» ήταν αποτέλεσμα μιας πειραματικής ανακάλυψης από τον Pieter Zeeman. Ο Zeeman παρατήρησε ότι ένα μαγνητικό πεδίο μεταβάλλει το φάσμα εκπομπής και απορρόφησης μιας ουσίας. Κάτω από την επίδραση ενός ηλεκτρομαγνήτη οι φασματικές γραμμές διευρύνονται. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων του Zeeman χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό κάποιων παραμέτρων της θεωρίας του Lorentz που δεν είχαν έως τότε ρητά καθορισθεί. 'Οπως ανέφερα προηγουμένως, η εκπομπή του φωτός, σύμφωνα με τον Lorentz, ήταν αποτέλεσμα των δονήσεων κάποιων ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων. Η ύπαρξη ενός μαγνητικού πεδίου θα επηρέαζε τις δονήσεις αυτών των σωματιδίων με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Από την παρατηρούμενη διεύρυνση των φασματικών γραμμών ο Zeeman υπολόγισε το λόγο φορτίου/μάζας των «ιόντων», με αποτέλεσμα αντίθετο με τις προσδοκίες του Lorentz και του Larmor. Ο υπολογισμός έδειξε ότι τα «ιόντα» ήταν τρεις τάξεις μεγέθους (χίλιες φορές) μικρότερα απ' ότι είχε υποθέσει ο Lorentz.

³² H.A. LORENTZ, (1892), *La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants*, στο P. ZEEMAN/A.D. FOKKER (eds), *H.A. Lorentz, Collected Papers*, 9 τόμοι, The Hague, Martinus Nijhoff, 1935-1939, τόμος 2, σσ. 164-343, στη σελ. 228. Ο.π., σσ. 228-229.

Πρέπει να τονίσω ότι αυτός ήταν ο πρώτος υπολογισμός τέτοιου είδους³⁴.

Η σημαντική συνεισφορά των Lorentz και Zeeman στην αποδοχή του ηλεκτρονίου ως υποατομικού συστατικού της ύλης θα μπορούσε να μας οδηγήσει στην παραπλανητική άποψη ότι αυτός ανακάλυψαν το ηλεκτρόνιο. Πράγματι, κάποιοι έχουν υιοθετήσει ωτή την άποψη. Σύμφωνα «με τη γνώμη των φυσικών του Leiden, όπως μου τη μεταβίβασε ο H.B.G. Casimir,... ο Lorentz ήταν αυτός που «ανακάλυψε» το ηλεκτρόνιο»³⁵. Αυτή η άποψη, προφανώς, παρουσιάζει όλα τα ιστοριογραφικά και φιλοσοφικά προβλήματα που ανέφερα προηγουμένως σχετικά με την απόδοση της ανακάλυψης του ηλεκτρονίου στον Thomson, του οποίου το επίτευγμα θα εξετάσω συνοπτικά στη συνέχεια.

Η συνεισφορά του Thomson στην αποδοχή της υπόθεσης του ηλεκτρονίου ήταν στενά συνδεδεμένη με την πειραματική και θεωρητική διερεύνηση των καθοδικών ακτινών. Οι ακτίνες αυτές είχαν παρατηρηθεί στην εκφόρτιση του ηλεκτρισμού διά μέσου αερίων σε πολύ χαμηλή πίεση. Η κύρια παρατηρήσιμη ιδιότητά τους ήταν ότι η πρόσκρουσή τους σε ορισμένες ουσίες δημιουργούσε μια φθορίζουσα κηλίδα. Υπήρχαν δύο αντιμαχόμενες ερμηνείες γύρω από τη φύση των καθοδικών ακτινών. Σύμφωνα με την πρώτη άποψη, την οποία υποστήριζαν κυρίως Βρετανοί φυσικοί, αποτελούνταν από φορτισμένα σωμάτια. Η εναλλακτική άποψη, την οποία συμμερίζονταν Γερμανοί φυσικοί, ήταν ότι οι καθοδικές ακτίνες ήταν ένα είδος κυμάτων στον αιθέρα. Τα κύρια επιχειρήματα υπέρ της πρώτης άποψης ήταν ότι η τροχιά τους καμπυλωνόταν υπό την επήρεια ενός μαγνητικού πεδίου και ότι ήταν φορείς ηλεκτρισμού. Η δεύτερη άποψη βασιζόταν στο ότι δεν ήταν δυνατό να εκτραπούν από την πορεία τους με τη δράση ενός ηλεκτρικού πεδίου καθώς και στο ότι περνούσαν μέσα από μέταλλα στα οποία δεν ήταν δυνατό να διεισδύσουν σωμάτια της ατομικής κλίμακας³⁶.

Αυτή ηταν η κατάσταση όταν ο Thomson διατύπωσε την υπόθεση του σωματιδίου (corpuscle) σε μια διάλεξη στο Βασιλικό 'Ιδρυμα, στις 30 Απριλίου 1897³⁷. Σύμφωνα μ' αυτήν την υπόθεση οι καθοδικές ακτίνες

³⁴ Για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. T. ARABATZIS, «The Discovery of the Zeeman Effect».

³⁵ Bl. N.J. NERSESSIAN, «Why wasn't Lorentz Einstein?» An Examination of the Scientific Method of H.A. Lorentz, *Centaurus*, 29, 1986, 205-242, στη σελ. 209.

³⁶ Bl. D.L. ANDERSON, *The Discovery of the Electron: The Development of the Atomic Concept of Electricity*, Ανατύπωση New York, Arno Press, 1981, σσ. 27-30. I. FALCONER, «Corpuscles, Electrons, and Cathode Rays», σ. 244.

³⁷ Bl. J.J. THOMSON, «Cathode Rays», *Proceedings of the Royal Institution*, 15, 1897, 419-432.

αποτελούνταν από εξαιρετικά μικρά, υπο-ατομικά σωματίδια. Συμπέρανε το μικρό τους μέγεθος από την ικανότητά τους να περνούν μέσα από λεπτές μεταλλικές επιφάνειες. Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγούσε και η απροσδόκητα μικρή τιμή του λόγου μάζας/φορτίου. Μέχρι τότε δεν είχε ακόμη κατορθώσει να διακρίνει την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου στην τροχιά των καθοδικών ακτινών. 'Ομως, εξήγησε την απουσία παρόμοιας επίδρασης υποθέτοντας ότι οι καθοδικές ακτίνες προκαλούσαν ιονισμό του αερίου στον καθοδικό σωλήνα και εξουδετέρωναν έτσι το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο.

Τον Οκτώβριο του 1897 ο Thomson δημοσίευσε μια λεπτομερέστερη αναφορά των πειραμάτων του με καθοδικές ακτίνες και των συμπερασμάτων που συνήγαγε από αυτά. Στο μεταξύ είχε καταφέρει να εκτρέψει τις ακτίνες από την πορεία τους χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρικό πεδίο, αλλά άμφοτε όταν το κενό ήταν ικανοποιητικό³⁸. Επίσης, εκτρέποντας τις ακτίνες με ένα μαγνητικό πεδίο παρατήρησε ότι «η τροχιά των ακτινών είναι ανεξάρτητη από τη φύση του αερίου»³⁹. Ο συνδυασμός αυτών των δεδομένων έδειχνε, σύμφωνα με τον Thomson, ότι οι καθοδικές ακτίνες ήταν φορτισμένα σωματίδια ύλης.

Ο Thomson διατύπωσε επίσης την εικασία ότι το σωματίδιο ήταν ένα καθολικό συστατικό της ύλης. Τα κυριότερα επιχειρήματά του ήταν τα ακόλουθα: Πρώτον, ο λόγος μάζας/φορτίου των καθοδικών ακτινών ήταν ανεξάρτητος και από τη χημική σύσταση του αερίου στον καθοδικό σωλήνα και από το υλικό των ηλεκτροδίων του σωλήνα. Δεύτερον, μέσω αυτής της εικασίας μπορούσε να εξηγηθεί γιατί κάποια ατομικά βάρη δεν ήταν ακέραια πολλαπλάσια του ατομικού βάρους του υδρογόνου⁴⁰.

Η αποδοχή της πρότασης του Thomson ήταν σταδιακή. Ενώ η επιχείριση του να εκτρέψει τις καθοδικές ακτίνες μέσω ενός ηλεκτρικού πεδίου εδραιώσε την πεποίθηση στη σωματιδιακή τους φύση, η εικασία του ότι τα σωματίδια ήταν καθολικά, υπο-ατομικά συστατικά της ύλης δεν έγινε αποδεκτή, τουλάχιστον έως το 1899. Το 1897 δεν είχε ακόμη δείξει ότι αυτές οι οντότητες παρουσιάζονταν και σε άλλα φαινόμενα, εκτός από την εκφρούση ηλεκτρισμού διά μέσου αερίων. Επίσης, δεν είχε μετρήσει ξεχωριστά το φορτίο και τη μάζα του σωματιδίου και, έτσι, η μικρή τιμή του *m* δεν είχε εδραιωθεί επαρκώς. Τα επόμενα δύο χρόνια ο Thomson κατάφερε να λύσει αυτά τα πειραματικά προβλήματα και να διευκολύνει,

³⁸ J.J. THOMSON, «Cathode Rays», *Philosophical Magazine*, 5th series, 44, 1897, 293-316, στη σελ. 297.

³⁹ 'O.p.', σελ. 301.

⁴⁰ Πρβλ. J.L. HEILBRON, *A History of the Problem of Atomic Structure from the Discovery of the Electron to the Beginning of Quantum Mechanics*, University of California, Ph.D. thesis, 1964, σσ. 82-83.

έτσι, την υποδοχή των ιδεών του, για την οποία οι θεωρητικές και πειραματικές εργασίες των Lorentz, Larmor και Zeeman είχαν ήδη δημιουργήσει πρόσφορο έδαφος.

Στα τέλη του 19ου αιώνα τα συστατικά των καθοδικών ακτινών είχαν ταυτισθεί με τα ιόντα του Lorentz καθώς επίσης και με τα ηλεκτρόνια του Larmor. Αυτή η ταύτιση ισχυροποίησε την πεποίθηση στην ύπαρξη των ηλεκτρονίων, διότι ενοποίησε τα θεωρητικά και πειραματικά δεδομένα πάνω στα οποία βασιζόταν ο ισχυρισμός ότι υπάρχουν ηλεκτρόνια. Εάν κανείς επιμένει να χρησιμοποιεί τη φράση «η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου», πρέπει να εννοεί την περίπλοκη διαδικασία που οδήγησε στην εδραιώση της πεποίθησης ότι το ηλεκτρόνιο υπάρχει. Μ' αυτή την έννοια, το ηλεκτρόνιο δεν ανακαλύφθηκε από κανέναν.

