SALVO D'AGOSTINO (*)

J.J. Thomson al tempo della scoperta dell'elettrone. Il metodo di Thomson spiegato in una lettera inedita di Thomson a Righi (**)

Abstract — This paper illustrates two main aspects of the institutional and scientific background of J.J. Thomson's discovery, *i.e.*, the institutional situation and the researches at the Cavendish Lab of Cambridge University which followed Maxwell's death and Rayleigh's presidency. The author argues that Thomson's discovery is to be inserted in the contest of Thomson's main field of interest, i.e., gaseous ionization.

The relationship between the German scientists' work — mainly, their researches on gaseous discharge and x rays — and Thomson's discovery of the «particle» in cathode rays is also briefly examined.

In the final chapter, a bird's eye view on the Italian physics at the time of Thomson's discovery introduces to the analysis of a letter from J.J. Thomson to Augusto Righi, deposited at the Historical Archives of the Accademia dei Quaranta.

1. *La fisica a Cambridge dopo Maxwell*

Per avere un'idea dei mutamenti nella scienza e nella fisica a Cambridge negli anni intorno al 1895, al tempo della scoperta dell'elettrone, può essere utile ricordare che, nel 1849, i reggenti della stessa università avevano escluso dagli esami finali del dottorato (i celebri Tripos) le teorie matematiche dell'elettricità, del magnetismo e del calore e questi studi erano stati reintrodotti solo nel 1870, anche per merito di Kelvin e Maxwell. A Cambridge sino all'ultimo quarto di secolo la cultura matematica regnava sovrana e in essa rientrava la teoria della

(*) Storico della fisica. Via A. Pignatelli 27, 00152 Roma. E-mail: s.dagostino@iol.it

(**) Relazione presentata al Convegno su «J.J. Thomson e la scoperta dell'elettrone», C.N.R. «Sala Marconi», Roma, 4 dicembre 1997.

meccanica. Era quindi comprensibile che si dimostrasse una certa avversione agli esperimenti (Schuster [1911] 25).

È di interesse storiografico ed epistemologico che proprio in questo clima culturale sia avvenuta una delle più importanti scoperte della fisica ottocentesca. Tanto più che neanche la scienza maxwelliana e postmaxwelliana ne favoriva la scoperta (Hunt [1991] 47). È noto infatti che la teoria elettromagnetica di Maxwell era ostica alle concezioni particellari e, in particolare, a una teoria convettiva della corrente di conduzione (Buchwald [1985]). La stessa concatenazione logica della teoria nell'opera *A Treatise on Electricity and Magnetism* (Maxwell [1981]) non tollerava l'immisione di leggi riguardanti particelle (Hunt [1991] 209-210). Per spiegare quegli aspetti dei fenomeni elettrici che additavano elementi di quantità finite, come le leggi dell'elettrolisi, e l'esistenza di righe spettrali, Maxwell aveva alla fine accettato un ricorso alla teoria dei vortici in un etere liquido-perfetto.[1] La meccanica dei vortici era un argomento alla moda nell'ultimo quarto di secolo nella fisica matematica britannica e specialmente a Cambridge. Negli anni 80, i lavori dello stesso J.J. Thomson e di W.M. Hicks avevano mostrato che non era possibile identificare gli atomi con semplici anelli di vortice, ma lo studio decennale degli anelli aveva suggerito una teoria di compromesso in cui l'etere era rappresentato come un'enorme spugna formata da filamenti di vortice in mezzo ai quali la materia era rappresentata da anelli di vortice (Hunt [1991] 215-216). Idee che erano confacenti al radicalismo meccanicistico, molto forte nella cultura vittoriana, a cui Maxwell stesso non si era sottratto con la sua concezione quasi-meccanica (la Dynamical Philosophy) della natura come movimento della materia (Buchwald [1985]). Per scienziati come Kelvin, Lodge e Fitzgerald, l'esigenza rappresentativa legata alla meccanica era ineludibile ed essi sostenevano che sotto le leggi dei fenomeni bisognasse ricercare un livello più fondamentale e che nessuna teoria poteva considerarsi completa che non avesse riportato le leggi a puri movimenti meccanici dell'etere (Hunt [1991] 98). È interessante notare come questa esigenza rappresentativa meccanicistica fosse in Maxwell attenuata dalla sua idea di legge analogica e di rappresentazione modellistica dei fenomeni (D'Agostino [1993]).

La posizione di J.J. Thomson (in seguito: JJ, come era familiarmente chiamato) nella scienza di Cambridge presenta elementi che sono utili a chiarire storiograficamente quegli elementi di singolarità che caratterizzano il contesto in cui avvenne la scoperta dell'elettrone. Per quanto JJ avesse doverosamente curato nel 1892, in qualità di Cavendish professor e successore di Maxwell, la terza edizione del *Treatise*, in effetti risulta da recenti studi come egli fosse alquanto «inceppato da questo suo legame maxwelliano», come ebbe a dire Heaviside

[1] Una teoria dei vortici e delle leggi di conservazione della vorticità era stata sviluppata da Helmholtz e da Hertz.

(Hunt [1991] 202). In effetti fece molto poco per ammodernare la teoria di Maxwell, secondo le linee indicate da Heaviside, Fitzgerald ed Hertz. Ad es., continuò sempre ad usare maxwellianamente il potenziale vettore al posto delle due equazioni simmetriche come avevano già fatto Hertz ed Heaviside (Hunt [1991] 202). Sotto questo aspetto JJ si comportò come molti matematici cambridgiani che avevano avuto una formazione approfondita sulle equazioni di Lagrange e sul formalismo del potenziale e intendevano perfezionare questi metodi, resistendo ai metodi tipo Heaviside, fondati sulla teoria dei flussi di energia e sulle forze del campo, tanto più che queste teorie provenivano da studiosi così estranei a Cambridge come era Heaviside.

Le pubblicazioni iniziali di JJ offrono un esempio degli inconvenienti attribuibili a questa sua inizialmente quasi pedissequa adesione alle idee del fondatore delle teorie di campo. Ad es., il suo saggio del 1881 concludeva, derivandolo da Maxwell, che il trascinamento parziale del dielettrico si ottiene aggiungendo I/2 v alla velocita v del dielettrico, risultato dimostrato falso nel 1891 da Fitzgerald e Lodge (Hunt [1991] 205). Nel 1889, uno dei sostenitori ad ogni costo della teoria di Maxwell fu Oliver Lodge con il suo *Modern Views of Electricity*. In effetti, i maggiori successi della teoria di Maxwell si ebbero nella revisione dei «maxwelliani» Fitzgerald e Heaviside, negli anni 1888-94, dopo di che la scoperta dell'elettrone e «il torrente» delle nuove scoperte sperimentali e teoriche di fine secolo mostrarono la sua incompletezza dal punto di vista particellare (Hunt [1901] 208).

Heaviside aveva detto ad Hertz nel 1889 che la teoria di Maxwell era «a sort of skeleton-framework», una struttura schematica che sarebbe rimasta incompleta sino a che non fosse stata fatta «anche una teoria molecolare» (Hunt [1991] 210). Si noti che «molecolare» per i maxwelliani non implicava le particelle perché la teoria dei vortici poteva soddisfarne l'esigenza. Infatti, sebbene tutti i maxwelliani si fossero sforzati di trovare una base «molecolare» per l'elettromagnetismo, fu una nuova recluta del loro gruppo, Joseph Larmor che, nell'autunno del 1893, cominciò ad elaborare una nuova e ambiziosa teoria dell'etere e della materia in cui tutti i vecchi problemi del legame fra campo e materia potevano essere risolti postulando l'esistenza di elettroni, ma concepiti come singolarità mobili nell'etere elettromagnetico. Fitzgerald e Lodge la seguirono con interesse. Lorentz in Olanda aveva cominciato a lavorare lungo queste linee, ma le sue particelle erano corpi ben diversi dai vortici (Hunt afferma che nel 1895 le due teorie si avvicinarono reciprocamente).

Per quanto la teoria dei vortici di Larmor avesse trovato una fondamentale difficoltà nel cosidetto paradosso di Kelvin (Hunt [1991] 215; Buchwald 1985), cioè nella dimostrazione che due vortici cospiranti (modelli di cariche elettriche omologhe nel modello) si attraggono, invece di respingersi come cariche omologhe appunto, la teoria di Larmor, specie con il sostegno di Fitzgerald, fu capace di produrre qualche frutto almeno sino al 1894, quando JJ come suo referee

della Royal Society, avanzò qualche dubbio, ma la ritenne ugualmente degna di pubblicazione (Hunt [1991] 215-216).

Il cambiamento prodotto dalla scoperta dell'elettrone nelle idee dei post-maxwelliani può essere esemplificato dal commento di Lodge nel suo libro del 1906, *Electrons*: «la corrente elettrica è un'entità più materiale, o ha un aspetto quasi più materiale, di quanto si pensasse poco tempo fa». Egli così rinnegava le idee pubblicate in *Modern Views*, dove aveva negato, in piena ortodossia maxwelliana, che qualcosa scorresse realmente in una corrente elettrica.

L'avvento dell'elettrone aveva radicalmente cambiato il modo di concepire la carica elettrica e la corrente, ma i post-maxwelliani avevano sempre attribuito poca importanza a questi aspetti, mentre restavano fermi nella loro teoria, rimasta intatta secondo Lodge, per quanto riguardava la propagazione di onde e di energia nel campo. Lo stesso si poteva dire in generale della reazione dei post-maxwelliani alla scoperta dell'elettrone: le loro idee dovettero in un certo modo piegarsi ai nuovi esperimenti e alle teoria (in ispecie la teoria di Lorentz) che venivano dal continente, ma il nocciolo della teoria delle onde elettromagnetiche restava per loro intatto (Hunt [1991] 239).

Passando dall'Inghilterra alla Germania, si può affermare che la situazione della fisica sperimentale tedesca sulla fine dell'ottocento si dimostrava ricca di iniziative, con seri programmi di ricerca, caratterizzati, oltre che da uno spirito esplorativo dei cosidetti «effetti», anche dalla ricerca di precisione nelle misure. La fisica tedesca era anche l'erede di una grande tradizione nella ricerca teorica a cui avevano dato il loro contributo fisici come von Neumann, Kirchhoff, Helmholtz ed Hertz. Vien fatto di chiederci come mai i fisici tedeschi si lasciarono sfuggire la scoperta dell'elettrone?

Pur limitandosi a qualche breve accenno, le possibili risposte si possono rivolgere sia al piano delle idee sia a quello degli assetti istituzionali. Si può notare che le tendenze alla interpretazione fenomenologica delle leggi fisiche, evidente in Kirchhoff e in Helmholtz, sviava da una ricerca intesa ad evidenziare piccoli corpi come substrato dei fenomeni. Per contro, come abbiamo notato, le idee che si muovevano nell'ambito della maggior parte dei maxwelliani portavano a una ricerca di aspetti particellari del campo elettromagnetico da individuarsi nelle propietà conservative della vorticosità, a cui lo stesso Helmholtz aveva data per ultimo fondamentali contributi.

2. *La direzione di JJ Thomson al Cavendish dal 1884 al 1895*

Joseph John Thomson (1856-1940) nacque a Cheetham Hill, un sobborgo di Manchester, figlio di un libraio ed editore. Si era formato a Cambridge e vi aveva conseguito il dottorato come matematico. A venti anni pubblicò il primo lavoro sperimentale sulla elettricità di contatto negli isolanti nei *Proceedings* della

Royal Society. Nel 1880 passò i famosi esami del Tripos, una formidabile prova di competenze matematiche, classificandosi come secondo *Wrangler*, (il nome attribuito ai vincitori) dopo Larmor, che risultò *Senior Wrangler*. Dopo gli esami si dedicò alla fisica, inscrivendosi al laboratorio *Cavendish*, che era stato presieduto da Maxwell sin dalla sua fondazione nel 1874. JJ vi preparò una tesi per il Fellowship al Trinity College. Nel 1882 quando era un University Lecturer vinse il celebre premio Adams (fondato per celebrare la scoperta di Nettuno) con un saggio dal titolo: «*A general Investigation of the Actions upon each other of two closed Vortices in a perfectly incompressible Fluid*» (Price [1956]), chiaramente inserito nella tradizione postmaxwelliana della teoria dei vortici.

Dopo la morte di Maxwell nel 1879 il laboratorio Cavendish era stato diretto da John William Strutt, Lord Rayleigh, che aveva posto come ineludibile condizione alla sua accettazione della nomina il decadimento dalla carica dopo cinque anni, anche perché più interessato al suo ricco laboratorio privato (Price [1956]). A questa provvidenziale situazione e ad una scelta inconsueta nel 1884 da parte dei dirigenti dell'università di Cambridge di eleggere, dopo Rayleigh, un giovane seppure brillante Fellow, si deve la posizione assunta da JJ e, forse, le condizioni stesse della sua scoperta. Fu eletto all'età di 28 anni alla cattedra di fisica sperimentale del Cavendish (*Cavendish professorship of experimental physics*), che comportava anche la direzione del laboratorio. Era poco esperto e poco abile nel maneggio degli strumenti, eppure si dimostrò dopo pochi anni un efficiente direttore di ricerca.

Il laboratorio non aveva goduto negli anni precedenti di grande prestigio, anche a motivo della sua incerta collocazione fra un centro di ricerche avanzate per la formazione di ricercatori, com'era nei programmi iniziali, e un centro di preparazione di ricercatori (a spese dell'università) da inserire nel progetto di un futuro *National Physical Laboratory* (come era nelle intenzioni, almeno, di Rayleigh (Price [1956]). Né la nomina del giovane direttore contribuì a risollevarne il prestigio. JJ stesso ebbe a dichiarare più tardi in un momento di sincerità (che oramai poteva concedersi) come la nomina non aspettata non fu vista di buon occhio dai senior professors dell'università e, quanto a lui, lo colse di sorpresa e gli procurò una certa agitazione, come a un pescatore che si trova alla lenza un pesce di sproporzionate dimensioni (Price [1956] 14).

È vero che JJ aveva lavorato per quattro anni nello stesso laboratorio sotto Rayleigh, ma si era trattato di ricerche sulla misura del rapporto elettromagnetico, che, sin dal tempo di Maxwell, si portavano avanti per aggiungere una cifra decimale al rapporto e alla velocità della luce a cui la teoria di Maxwell lo uguagliava (D'Agostino [1996]). JJ era allora principalmente un esperto in matematica, come tutti i giovani graduati di Cambridge e tale si considerava (Price [1956]). Neppure nei dieci anni che seguirono la sua nomina, le attività del laboratorio eccelsero per originalità e importanza, non lasciando certamente prevedere che si sarebbe sviluppato il grande evento.

Nel 1890 JJ prese moglie e insieme diedero inizio ad attività sociali nel gruppo ristretto e limitato dei giovani studiosi dell'università. Nel 1893 si fondò a Cambridge la *Cavendish Physical Society* e si può arguire che ambedue gli eventi ebbero la loro parte nel rendere più affiatato il gruppo dei cavendisciani. Nello stesso periodo JJ si dedicò allo studio della scarica elettrica nei gas e scrisse un libro: *Recent Researches in Electricity and Magnetism*, a cui accennerò fra poco.

Era importante che vi fosse ora al Cavendish un campo di studi specialistici e che JJ vi si dedicasse aiutato da giovani collaboratori. In questa atmosfera si stabilì una collaborazione fra il direttore e i giovani studiosi che risultava molto soddisfacente per JJ, anche perché così egli riusciva brillantemente a comunicare idee e specialmente progetti, lasciando ai collabratori l'uso di strumenti che avrebbe avuto difficoltà a maneggiare da solo (Price [1956]). Divenne proverbiale la facilità con cui rovinava le apparecchiature. Inoltre, vi era ora un settore particolare di ricerca a cui queste giovani intelligenze si dedicavano, cosa che rendeva particolarmente felice il loro direttore. Il Cavendish era diventato un centro avanzato di ricerca ed insegnamento e, inaspettatamente si direbbe, queste ricerche erano nella direzione giusta per la grande scoperta che doveva arrivare. La posizione privilegiata di JJ Thomson derivava dal suo essere un maxwelliano d'ufficio in quanto successore di Maxwell nella grande carica di direttore del Cavendish, ma libero, per altro, anche *in quanto matematico*, da una supina acquiescenza alla fenomenologia di Maxwell e alla vorticosità dei maxwelliani doc.

3. *JJ e il contesto della scoperta*

Come indicato nello stesso titolo, il libro di JJ Thomson, *Recent Researches in Electricity and Magnetism. Intended as a Sequel to Prof. Clerk-Maxwell's Treatise on Electricity and Magnetism*, (Thomson [1893]), doveva intendersi come il seguito del *Treatise* di Maxwell, specie per l'interesse che Maxwell aveva portato allo studio della scarica elettrica nei gas, come essenziale per gli ulteriori progressi nella conoscenza della vera natura dell'elettricità. JJ vi trattava il campo elettromagnetico mediante l'idea faradiana dei tubi di forza (Cap. I) e nel secondo Capitolo studiava «the passage of electricity through gases», inserendovi fra l'altro il problema della ionizzazione («Can the molecule of a gas be electrified?»); soltanto nel Cap. V vi si affrontava il che dell'elettromagnetismo maxwelliano, le «electric waves». Ma nessun accenno vi si trova al riguardo dei Raggi Catodici.[2]

Alcuni esperimenti sulla natura Raggi Catodici (nel seguito: CR) erano stati effettuati in Ighilterra in quegli anni da Schuster (Schuster [1911]). Egli fà notare che era persuaso della giustezza e naturalezza della teoria elettrolitica per la quale le cariche hanno una quantità definita e si staccano dall'atomo solo alla

[2] Nell'index del libro vengono riportati fa gli altri i nomi di Boltzmann, Helmholtz, Hertz, Larmor e Lodge, ma non sono citati Gauss, Lorentz e Weber, i particellaristi antichi e recenti.

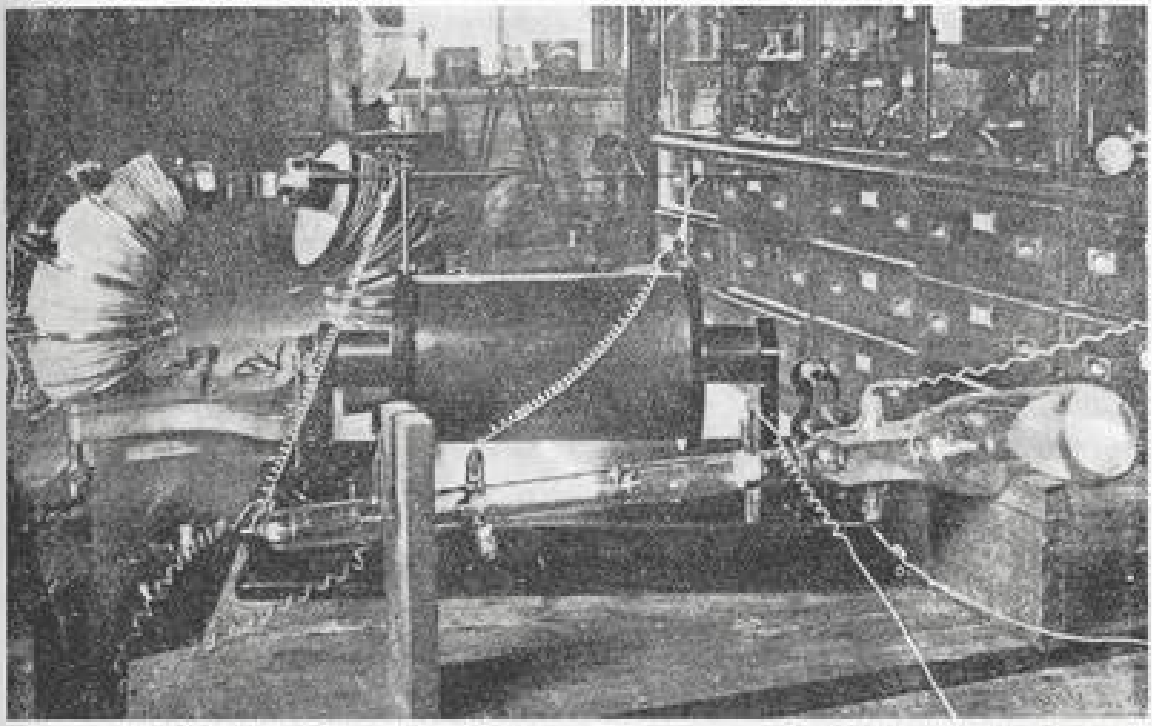

Fig. 1. Il tubo di Brown usato per la misura di e/m negli anni successivi alla scoperta del 1896.

superficie degli elettrodi. Ma non gli passò mai per la mente di sostenere l'esistenza indipendente di un atomo di elettricità e, anche se avesse pensato ed esposto una tale eterodossia, difficilmente sarebbe stato considerato un fisico serio. Perché, egli afferma, «i limiti sino a cui si può accettare una eterodossia in fisica sono presto raggiunti» (Schuster [1911] 59). Evidentemente l'esistenza di particelle elettriche era fuori quadro rispetto alle teorie dei post-maxwelliani.

Schuster afferma anche che, intorno al 1890, gli riuscì di misurare e/m, il rapporto fra la carica e la massa delle presunte particelle catodiche mediante deflessione magnetica dei CR, ricavando[3] la velocità v del fascio dal potenziale acceleratore V (Schuster [1911] 65). Ma era convinto che la decomposizione della molecola del gas catodico residuo avvenisse nelle vicinanze del catodo. Nello stesso periodo, notava che il valore e/m nell'elettrolisi era di circa 2.10^3, mentre egli aveva misurato per i raggi catodici e/m = $3{,}5.10^6$, cioè circa mille volte maggiore.[4] Affermava che, in un primo esperimento, persino JJ era incorso nell'errore di trovare per i raggi catodici lo stesso valore dell'elettrolisi.

[3] Si leggano le obiezioni di JJ a questo metodo nella lettera riportata in appendice.

[4] È ben noto che nell'elettrolisi le cariche elettroniche sono legate alle masse molecolari: gli elettroni non sono liberi nell'elettrolita.

Nel 1896, quando i primi lavori di Röngten cominciarono a circolare fra i fisici inglesi, JJ era occupato a studiare i processi di conducibilità elettrica dei gas. Il quadro concettuale dell'elettrolisi interferiva indebitamente nella spiegazione dei nuovi fenomeni nei gas, mentre, come si capì dopo, la ionizzazione del gas residuo era un fenomeno del tutto diverso dall'elettrolisi ed era proprio dovuta ad essa la presenza di effetti rilevanti in alcuni fenomeni di scarica nei gas rarefatti.

La teoria della ionizzazione dei gas era stata proposta da Giese (Wied. Ann. XVII, 1882), ma era sfuggita all'attenzione di molti. La teoria ionica della scarica nei gas che aveva fatto buoni progressi altrove, con Arrhenius, Elster e Geitel, era ignorata in Inghilterra. JJ la terrà presente quando ionizzerà il gas dell'ampolla con i raggi X (Hunt [1991]).

Negli esperimenti che JJ conduceva al Cavendish nei primi mesi del 1896, la situazione divenne critica con la scoperta dei raggi X. Subito dopo Natale cominciarono ad arrivare a Cambridge estratti di articoli di Röngten, inviati dallo stesso autore e la rivista Nature ne pubblicò un commento abbastanza prudente il 16 Gennaio. L'eccitazione prodotta dalle proprietà dei nuovi raggi nel rendere possibile fotografie dell'interno del corpo umano fu enorme, ma JJ, pur riproducendo esperimenti sulla radiografia X, non si fece sviare dalle sue ricerche sulla ionizzazione gassosa. L'arrivo della nuova radiazione con il suo potere ionizzante sui gas era il «deus ex machina» che egli seppe cogliere come la chiave di volta delle ricerche che gli permisero di superare i precedenti fallimenti nella rilevazione della deflessione ellettrica dei CR. Egli si servì dei raggi X per ottenere una ionizzazione dei gas residui nei tubi a vuoto in condizioni di maggiore stabilità rispetto a quelle rese possibili dalle stesse scariche nei tubi di Geissler. Potè così confrontare la ionizzazione prodotta dai raggi X con quella prodotta dai CR. Collegò la conducibilità dei gas alla formazione di particelle elettriche negative distaccate dalle molecole del gas. Attribuì alla formazione di cariche positive un effetto di schermatura nei riguardi dei campi elettrici che erano stati adoperati per deflettere il fascio spiegando così i precedenti risultati negativi. Si trattava quindi di ridurre l'effetto di schermatura riducendo la quantità di gas residuo nel tubo. Cosa che egli ottenne facendo funzionare in continuità la pompa a vuoto mentre si effettuavano gli esperimenti. Per la conferma eseguì misure che provavano come la conducibilità diminuiva rapidamente con l'aumento della rarefazione del gas residuo (Price [1956]).

A questo punto potè ripetere con successo l'esperimento di deflessione elettrica del fascio. Hertz aveva invano cercato di ottenerla nel 1887, considerando il risultato negativo come una conferma della natura eterea dei CR. Era ora possibile per JJ misurare il rapporto fra la carica e la massa dei presunti portatori dei RC mediante una combinazione della deflessione elettrica con la magnetica.

Riassumendo, le varie tappe degli esperimenti di JJ sono le seguenti (Schuster [1911]):

1897) Dopo che Perrin aveva mostrato che i CR posseggono una carica negativa, JJ misura $r = e/m$, rapporto fra la carica e la massa della «particella»,

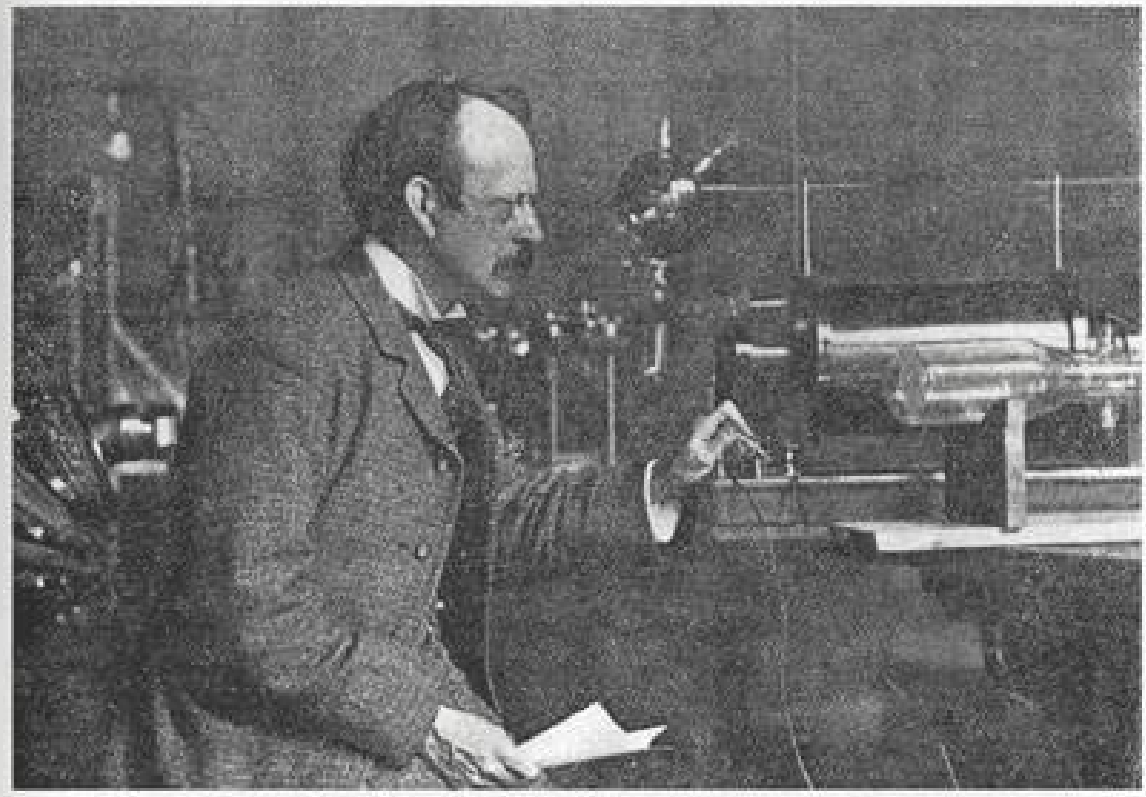

Fig. 2. J.J. Thomson al tavolo degli esperimenti sulla misura di e/m intorno al 1902.

combinando la deflessione magnetica con una misura di energia; r risulta compreso fra $3 \cdot 10^7$ e 10^7. Ritrova finalmente lo stesso valore con la deflessione elettrica, nella quale molti erano falliti, pompando in continuazione l'aria dal tubo (Price [1956]).

1898) Misura direttamente la carica servendosi della ionizzaione con raggi X, ricavandola dalla misura della corrente di ionizzazione e dalla conoscenza del numero di ioni nel gas della camera di Wilson.

1899) (Dover meeting) Mentre sino ad ora la carica era stata misurata in esperimenti di ionizzazione gassosa con raggi X mentre r veniva misurato nei CR, ora JJ misura la carica per lo stesso «corpuscolo» dei CR provocandone l'emissione dalla superficie metallica irraggiata con raggi X.

Schuster afferma che soltanto nel 1899 nella riunione della British Association a Dover, frequentata anche da fisici francesi, la comunità dei fisici si rese conto che i concetti fondamentali della fisica erano stati rivoluzionati e che era cominciata una nuova epoca scientifica: si era scoperto che esisteva una materia elettrica e si era scoperto che essa consisteva di particelle subatomiche!

La prudenza, forse eccessiva, di JJ nel prendere atto della nuova realtà subatomica si può significativamente dedurre dal suo ripensamento nel cambiare il titolo originale della sua relazione a Dover: il titolo originale era «On the existence of masses smaller than the atom», ma JJ lo cambiò nell'altro: «On the masses of ions in gases at low pressure» (Thomson [1899] 565).

Nel 1903, JJ pubblicò l'opera *Conduction of Electricity through Gases* (Thomson [1903]). Non vi figura riportato il termine «Electron», mentre vengono spesso citati i nomi « ion» e «ions». Ai CR sono dedicati circa 30 pagine sul totale di 554 pagine dell'opera.

Si tratta di piccole anomalie rispetto a una presunta linearità della scoperta, evidenti conferme della tesi che il contesto principale di ricerca in cui si muoveva JJ — il suo *Problemstellung* — era quello della ionizzazione gassosa: l'elettrone era visto come effetto e agente di ionizzazione. Solo *lateralmente*, per così dire, JJ si era imbattuto nella *prima particella elementare* della storia della fisica. Il nome che adoperava per indicare la particella: «corpuscolo», indica chiaramente che era ormai fuori da ogni concezione vorticistica delle particelle elettriche. Ma solo più tardi, dopo misure più precise della carica, identificò il corpuscolo con la carica elettrica unitaria che Stoney cercava[5] nel 1874 e che più tardi chiamerà «electron».

Visti retrospettivamente, i risultati delle ricerche di JJ non solo svelarono la natura della scarica catodica ma rivelarono l'esistenza di portatori subatomici della carica (per ora negativa) aprendo un grande spiraglio sulla natura dell'elettrità, la cui conoscenza era stata un'aspirazione dei creatori delle grandi teorie matematiche dell'elettromagnetismo.

4. *Una lettera di JJ Thomson ad Augusto Righi nell'archivio dell'Accademia dei Quaranta*

Mi occuperò ora di tracciare un quadro sintetico di raffronto fra le ricerche sull'elettromagnetismo e sulla scarica nei gas, condotte dai fisici italiani del tempo e le ricerche nelle nazioni europee sopra delineate, che mi servirà di sfondo interpretativo della lettera di JJ qui sotto riportata, depositata negli archivi dell'Accademia delle Scienze detta dei Quaranta (non mi risulta sia stata rinvenuta o pubblicata la lettera di Righi a JJ che innescò la detta risposta). Una lettura appropriata dell'interessante lettera, che fa parte di un gruppo di circa sei lettere rivolte dall'illustre collega inglese al nostro Righi, bene si inserisce su una panoramica della fisica italiana al tempo della scoperta, panorama che è stato oggetto di interessanti studi in questi ultimi anni (Giuliani [1996]).

Notiamo, per cominciare, che intorno al 900, il rapporto fra il numero medio dei fisici in ciascuno dei principali paesi europei (e in USA) e quelli ita-

[5] Nel 1874 Stoney cercava una carica elettrica unitaria che fosse alla base delle combinazioni chimiche degli atomi ed aveva stimato che il suo valore fosse $1{,}03 \times 10^{-21}$ emu.

liani oscillava fra 2 e 1,5 (v. tabella in fig. 4 in: Giuliani [1996] 25). Sebbene questi paesi avessero un numero maggiore di addetti alla ricerca fisica, non si può parlare di una rilevante sproporzione rispetto all'Italia, quale sarebbe stata ad es. quella di un ordine di grandezza. Si troverebbe forse una sproporzione maggiore se si confrontassero le spese destinate alla ricerca in questi paesi e in Italia. La frazione del reddito nazionale spesa per le università italiane raddoppia passando dal 1872 al 1915, pur rimanendo bassa in assoluto (0,06% e 0,12% rispettivamente). A titolo orientativo, nel 1930 le dotazioni annuali di alcuni istituti di fisica variavano fra 11.000 e 30.000 lire[6] (Giuliani [1996] 9-10). Il patrimonio tecnico dell'industria italiana era arretrato rispetto a quello dei paesi maggiormente sviluppati e le richieste STET alla ricerca fisica quasi nulle.

La fondazione della Società Italiana di Fisica ad opera dei maggiori fisici del tempo avvenne nell'anno 1897, l'anno della scoperta dell'elettrone. Com'è affermato nella frase introduttiva dell'appello dei 38 docenti universitari fondatori, la società si proponeva di collegare le ricerche dei fisici italiani, spesso isolati nelle sparse università del paese:

> «I sottoscritti, animati dal desiderio di stringere meglio i legami che uniscono i cultori delle scienze fisiche in Italia, si fanno promotori di una Società Italiana di Fisica» (Giuliani [1996] 25).

Nel mese di Febbraio la redazione del Nuovo Cimento pubblicava l'elenco di 214 soci, di cui ben 110 (oltre il 51%) docenti di scuola secondaria.[7]

La istituzione della società rispondeva a quell'esigenza di associazionismo fra gli scienziati che era propria dell'epoca e che si era manifestata in Inghilterra e in Germania con la formazione di varie istituzioni di ricerca e di associazioni professionali. L'esigenza di associazionismo si era affermata in Italia anche nel campo di altre categorie professionali come gli elettrotecnici. Infatti fu di quegli anni la fondazione dell'Associazione Elettrotecnica Italiana, per opera di Galileo Ferraris.[8]

[6] Fra 6 e 15 milioni di oggi in una mia stima.

[7] Nel bando di fondazione si dichiarava anche che la pubblicazione sul Nuovo Cimento, il giornale della società, di traduzione di articoli dei principali giornali esteri di fisica doveva riuscire «sommamente utile ai Professori di Scuola Secondaria e in generale ad ogni cultore delle scienze esatte». L'interesse dichiarato per i docenti della scuola secondaria rappresentava, nel mio giudizio, una consapevolezza dei maggiori fisici italiani fondatori della società che il problema dello sviluppo della fisica in Italia si poneva anche come problema culturale del paese, cioè anche come problema di uno sviluppo di una cultura scientifica di base. Questo, che ha sempre rappresentato il tallone di Achille dei programmi di sviluppo della scienza in Italia, veniva allora riconosciuto come un problema importante, anche se sui mezzi per affrontarlo i consensi dovevano cozzare con la particolare struttura piramidale delle varie università. In ogni caso, la diffusione fra i soci del Nuovo Cimento ebbe un benefico influsso sulla ricerca italiana.

[8] È significatico che sia JJ che il Ferraris furono ambedue eletti soci dell'Accademia dei Quaranta.

È rilevante notare che fra i maggiori esponenti della società Italiana di Fisica figuravano, assieme a Righi, Blaserna ed altri fisici sperimentali, anche fisici-matematici come Beltrami e più tardi Volterra (che ne divenne direttore nel 1906). La società rappresentava quindi il luogo adatto per quella maggiore collaborazione e interazione fra la cosidetta scienza pura e gli sperimentali che si era realizzata in Germania con Helmholtz ed Hertz, e, in Inghilterra con i post maxwelliani e, in un certo senso, con il lavoro di JJ al Cavendish.

Si deve però osservare che in Italia una efficace integrazione fra quella che si potrebbe chiamare una cultura teorica e una pratica sperimentale non si realizzò. È ovvio che la situazione socio-economica italiana contribuì a deprimere la ricerca in fisica sia sotto l'aspetto sperimentale che teorico. Ma a questo riguardo occorre introdurre ulteriori precisazioni. Si deve prendere atto che in quegli stessi anni si realizzava in Italia una feconda integrazione fra fisica-matematica ed elettrotecnica, che fu alla base della configurazione della figura professionale dell'ingegnere elettrotecnico. A partire dal pionerismo di un Galileo Ferraris, il modello dell'ingegnere elettrotecnico esperto di fisica-matematica ebbe un lungo seguito nell'ingegneria elettrica italiana: uni dei suoi maggiori esponenti fu, più tardi, Giovanni Giorgi.

Questo fatto richiede un approfondimento nella storiografia di quel periodo. Si tratta del ruolo della fisica-matematica che in quegli stessi anni si trovava in piena fioritura in diverse università italiane. Come mai non si realizzò nel nostro paese quella fecondazione fra questi due componenti della ricerca fisica che era stata alla base fra l'altro della grande scienza teorica di Cambridge?

Un giudizio di prima approssimazione porterebbe ad affermare:

a) che la diversità fra la fioritura della fisica-matematica e il languore della fisica sperimentale era da attribuire al minore o addirittura nullo fabbisogno di strumentazione e di locali, in generale di fondi di ricerca, che caratterizzava le ricerche teoriche, mentre le ricerche sperimentali soffrivano di carenze di fondi e di altre opportunità;

b) non vi fu da parte dei fisici-matematici italiani un'apertura e un'esigenza di confrontare le loro teorie con i risultati sperimentali e in particolare con le attività che si svolgevano nei pochi laboratori di fisica italiani.

Mentre non si può negare la fondatezza del precedente giudizio, si deve anche osservare:

ad a) Alcune università e istituzioni italiane, come l'università di Pavia, la specola dell'osservatorio del Collegio Romano a Roma, l'istituto tecnico di Firenze, avevano dei laboratori forniti di apparecchiature tradizionali (Giuliani [1996] 115) in alcuni casi ancora validi per una ricerca avanzata in fisica.

a b) Se è pure vero che esisteva in quel periodo una certa separatezza culturale e istituzionale fra i fisici-matematici che operavano nelle facoltà di matematica e i fisici sperimentali che operavano nelle diverse università del paese,

sarebbe errato attribuire questa separatezza a una caratteristica della fisica-matematica, come a una sua costituzionale incapacità di confrontarsi ed incontrarsi con la sperimentazione. Questo giudizio di incapacità viene infatti smentito dalla stessa realtà storica italiana, perché nello stesso arco di anni si realizzava, come ho accennato, un incontro fra fisica matematica e sperimentazione elettrotecnica (Morando [1997]).[9]

Queste considerazioni portano a modificare alcune tesi recentemente espresse che attribuiscono alla mancanza di una fisica-teorica in Italia e per contro al fiorire di una fisica-matematica una delle ragioni della fiacchezza della fisica italiana di fine ottocento e a cavallo del secolo.

Occorre invece individuare nella situazione italiana e nelle caratteristiche delle due fisiche le ragioni del loro mancato incontro. In effetti mancò fra i fisici italiani un contesto concettuale in cui la fisica matematica e la fisica sperimentale potessero incontrasi. Questa situazione differenzia la ricerca fisica italiana da quella dei paesi avanzati europei dove si svolgevano ricerche teoriche che richiamavano con grande forza le attività di laboratorio. Se ne è avuto conferma anche nel caso di JJ Thomson e della scoperta dell'elettrone: la genialità mostrata da JJ, nell'impostare e condurre gli esperimenti che portarono all'elettrone, è da attribuirsi alla sua formazione di matematico e fisico-matematico, che gli consentirono di scavalcare il paradigma dei maxwelliani di Cambridge.[10]

Ciò, premesso mi sembra di poter affermare che mancò nella FM italiana un tipo di ricerca teorica che si ponesse come necessariamente complementare all'attività di laboratorio e/o a una attività di laboratorio di tipo esplorativo, come quella condotta da Helmholtz a Berlino e al Cavendish nel periodo della scoperta di JJ e, reciprocamente, mancò nei fisici sperimentali italiani una slan-

[9] Proprio in quegli anni l'opera teorica di G. Ferraris nella stessa Italia e quella di Steinmetz negli Stati Uniti provavano la fecondità di un approccio di fisica matematica ai problemi dell'elettrotecnica. Steinmetz era un fisico-matematico che si riciclò ingegnere elettrotecnico e la stessa cosa avvenne con i loro successori nei paesi occidentali e in Italia (Manciraso e Morando, *La nascita dell'Ingegneria Elettrica, Tecniche Nuove*, Milano 1997). Si possono inoltre citare i casi di fisici-matematici come Kirchhoff che avevano un diverso atteggiamento verso l'attività di laboratorio.

[10] I legami fra la fisica-matematica e quella che doveva diventare la fisica-teorica vanno esaminati nella loro evoluzione storica, nei diversi paesi europei e non creando categorie astratte dentro cui la realtà storica sta stretta come nel letto di procuste. Sfatata la tesi di un difetto costituzionale della fisica matematica (FM), per se, a sposarsi con l'esperimentazione, occorre tener presente che la FM ha una dimensione storica differenziata, per cui la FM di Green in Inghilterra non è quella di Cauchy e Poisson in Francia, e tanto meno quella dei fisici post-maxwelliani in Inghilterra. Se si accetta la FM come categoria unica si fa fatica poi a collocarvi l'opera di Boltzmann ad es. o quella di Heaviside o dello stesso JJ Thomson, che pure era matematico di formazione e scrisse lavori teorici di elettromagnetismo mentre era al Cavendish. Ne essi si possono immergere tout-court nella categoria dei fisici teorici, anche ante-literam. È più storicamente corretto parlare di una flussione storica della FM (dei fisici più propriamente detti FM) verso un atteggiamento metodologico che sfociò in una categoria detta fisica teorica (TP).

cio concettuale verso le ricerche dei fisici-matematici, come più tardi verso i fisici teorici (emblematico il rifiuto o il tiepido accoglimento da parte degli stessi della Relatività einsteiniana).

Illustrerò questa tesi con una breve analisi del tipo di ricerca sperimentale che si svolgeva in Italia negli anni cruciali per la nuova fisica, quelli appunto della scoperta dell'elettrone. Se si guarda all'attività pubblicistica dei fisici sperimentali italiani nel quinquennio 1895-1899, gli anni cruciali della scoperta dell'elettrone, si rileva una crescita rilevante: 80 pubbicazioni scientifiche per anno rispetto ai 60 per anno nel quinquennio precedente (tabella in: Giuliani [1996] 112). Questa crescita si spiega[11] come un effetto dell'arrivo il 5 gennaio 1896 della notizia della scoperta dei raggi X, annunciata sulla Wiener Press, e subito appresa da Garbasso e Battelli. La notizia fece sì che i fisici italiani pur «non essendosi mai prima interessati dei raggi catodici, togliessero i loro tubi di Crooks dagli armadi e si mettessero numerosissimi a studiare i raggi X, fornendo anche contributi significativi». Nel 1896 comparvero infatti sul Nuovo Cimento 41 articoli sulla scoperta dei raggi X mentre meno di 5 erano dedicati ai raggi catodici (Giuliani [1996] 115).

La situazione della fisica italiana al tempo dell'elettrone era quindi caratterizzata da un prevalente interesse per gli aspetti applicativi, mentre poco interesse veniva destato da ricerche di fisica fondamentale (teoreticamente conformati) come quelle che riguardavano la natura dei CR e la scoperta dell'atomo di elettricità.[12]

La ragione di questo disinteresse alla ricerca che oggi chiameremmo fondamentale non è stata considerata soltanto una conseguenza di una prevalenza di fatto dell'attività sperimentale rispetto alla teorica, ma piuttosto «una carenza culturale complessiva, non solo strettamente disciplinare» (Giuliani [1996] 122), a cui solo eminenti figure della fisica italiana, come Righi, riuscirono, anche se solo in parte, a sottrarsi.

È su questo sfondo che va collocata la lettera di J.J. Thomson a Righi che riporto in appendice. Ad una prima lettura possono risultare interessanti le seguenti osservazioni. A cinque anni di distanza dalla prima interpretazione di JJ della composizione elettronica della radiazione catodica, Righi è uno dei pochi fisici italiani interessati alla scoperta tanto da scrivere allo stesso Thomson, con cui era

[11] Giuliani, *op. cit.*, p. 112 e seg. «... in periodi di forte innovazione concettuale e di rifondazione di immagini del mondo consolidate, anche il fisico sperimentale deve, se vuole mantenersi sulle frontiere della conoscenza porsi in discussione non tanto per quanto concerne le tecniche impiegate, quanto per la modalità di scelta degli argomenti di ricerca e per lo sforzo di rinnovamento culturale che esse richiedono» (*Ibid.*, p. 122).

[12] Negli scritti a carattere generale metodologico ad es. di Garbasso traspare inoltre una sfiducia per la matematizzazione spinta delle teorie, proprio in controfase con gli sviluppi della fisica teorica del tempo.

stato in corrispondenza già in altre occasioni, per chiedergli la ragione della notevole differenza fra il valori di e/m misurati dallo stesso J.J. e da Kauffmann.

Ci possiamo chiedere se la domanda di Righi rispondesse semplicemente a una giustificabile esigenza del fisico sperimentale di ridurre l'errore di misura del rapporto e/m, o se la discrepanza nelle misure rappresentasse per lui una ragione per dubitare ancora, in solidarietà con i fisici tedeschi, della giustezza della concezione particellare dei CR e della scoperta della particella elementare di elettricità. È una domanda che trasferisco agli studiosi dell'opera del grande fisico italiano e che, a quanto mi risulta sino ad oggi, non è stata approfondita.

Un'altra osservazione riguarda la risposta di Thomson che sottolinea la specificità del suo approccio al problema di un'affidabile misura del rapporto, misura che agli occhi dei moderni può presentarsi come semplice (e tale è divenuta infatti con il progresso delle tecnologie del vuoto e dell'analisi microscopica dei fenomeni elettromagnetici, come l'uso della camera di Wilson, i Geiger, i fotomoltiplicatori, etc.) ma che tale non era al tempo della scoperta. Prova ne siano i ragionevoli dubbi espressi nella lettera da J.J. sulla difficile valutabilità dell'effettivo potenziale acceleratore del fascio, e la maggiore affidabilità della strada da lui inizialmente percorsa, quella di riuscire ad applicare una deflessione elettrica superando le limitazioni delle pompe a vuoto del suo tempo (v. prima). Da notare inoltre la propensione di JJ a non fidarsi di un singolo procedimento di misura ma di affidarsi, come ho accennato, a un pluralità di metodi, considerando la convergenza dei risultati come il criterio preferibile nella difficile strada per l'esclusione dell'errore. Un evidente concessione alla indefettibile fede, tutta anglosassone, nell'empirismo sperimentale.

APPENDICE

Lettera di J.J. Thomson ad Augusto Righi del 6 Gennaio 1901.
Archivio Storico (Carteggio Righi) dell'Accademia delle Scienze detta dei Quaranta, Roma.*

Cavendish Laboratory, Cambridge
Jan. 6. 1901

Dear Professor Righi

I must apologise for the long delay in answering Your letter which has been quite unintentional. The difference between the value of e/m given in my lecture and those given by Kaufmann seem to arise from the difference of methods by which they are determined. Both methods use the magnetic deflection of the rays this gives m/e. v: the difference comes [?] in the next step I get v by balancing the electric and magnetic deflections, while Kauffmann gets V from the equation

$$1/2 \ m/e \ v^2 = V \qquad (1)$$

when V is the difference of potential between the electrodes of the tube. I do not regard this method as satisfactory as we have no proof that the cathode rays have experienced this difference of potential — suppose for example there was a sudden change in the potential close to the cathode and that the cathode [rays] came not from the cathode itself but from the gas gush outside the cathode, then the fall of potential for the cathode bar[?] would be less than the potential difference between the electrods. Thus the use of equation (1) might give too large a value of v whence too small a value of e/m.

Believe me
Yours very truly

J.J. Thomson

* Nella trascrizione è stata rispettata la punteggiatura del manoscritto originale. La parentesi [ ] sono aggiunte e qualche difficoltà di lettura è stata indicata con [?].

Cavendish Laboratory,
Cambridge,

Jan. 6. 1901.

Dear Professor Righi,

I must apologize for the long delay in answering your letter it has been quite unintentional. The difference between the values of e/m given in my lecture & those given by Kaufmann seem to arise from the difference of method by which they are determin

both methods use the magnetic deflection of the rays thus gives $\frac{m}{e} \cdot v$. The difference comes in in the next step. I get v by balancing the electric & magnetic deflection, which Kaufman gets v from the equation

$$\frac{1}{2} \frac{m}{e} v^2 = V \qquad (1)$$

where V is the difference of potential between the electrodes of the tube. I do not regard the method as satisfactory as we have

no proof that the cathode rays have experienced this difference of potential – suppose for example there was a sudden change in the potential close to the cathode & that the cathode came not from the cathode itself but from the gas just outside the cathode, then the fall of potential for the cathode bundle would be less than the potential difference between the electrodes. Then the use of equation (1) might give too large a value of v & hence too small a value of m/e.

Believe me
Yours very truly
J. J. Thomson

BIBLIOGRAFIA

BUCHWALD JED. Z. (1985), *From Maxwell to Microphysics, Aspects of the Electromagnetic Theory in the Last Quarter of the Nineteenth Century*, The University of Chicago Press.

— (1994), *The Creation of Scientific Effects. Heinrich Hertz and Electric Waves*, The University of Chicago Press.

D'AGOSTINO S. (1993), «Maxwell: la teoria del campo elettromagnetico e la nuova fisica», in: *Culture e Scuola*, n. 126, Aprile-Giugno, pp. 193-209.

— (1996), «Absolute Systems of Unites and Dimensions of Physical Quantities: a link between Weber's Electrodynamics and Maxwell's Electromagnetic Theory of Light», *Physis*, Vol. XXXIII (1996), Nuova Serie, Fasc. 1-3, 5-51.

GIULIANI GIUSEPPE (1996), *Il Nuovo Cimento, Novant'anni di Fisica in Italia 1855-1994*, La goliardica Pavese.

HUNT BRUCE J. (1991), *The Maxwellians*, Cornell University Press.

LORENTZ H.A. (1952), *The Theory of Electrons and its Applications to the Phenomena of Light and radiant Heat*, Leyden 1909; Dover repr., 1952.

MAXWELL J.C. (1965), «On the Dynamical Evidence of the molecular Constitution of Bodies», in Maxwell, *Scientific Papers*, 2 Vols., Dover Repr. New York 1965, Vol. 2, pp. 418-438.

— (1981), *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Third Edition 1891, Dover Reprint 1950.

MANIGRASSO R., MORANDO A. (1997), *La nascita dell'Ingegneria elettrica*, Techniche Nuove, Milano.

PEICE D.J. (1956), «Sir J.J. Thomson, OMFRS», *Nuovo Cimento* (supplemento) 4, 1609-1629.

ROBOTTI NADIA (1994), «J.J. Thomson at the Cavendish Laboratory: the History of an Electric Charge Measurement», *Annals of Science*, 51 (1994), pp. 53-72.

— (1997), «The Discovery of the Electron: I», *Eur. Journ. of Physics*, 17, 133-138.

RÖNGTEN V.C. (1895), *Sitzungberichte der Physicalische-medizinischen Gesellescbaft zu Vürzburg*. (Comunicazione iniziale della scoperta dei raggi x).

SCHUSTER ARTHUR (1911), *The Progress of Physics durin 33 Years (1875-1908)*, Cambridge Univ. Press.

SMITH CROSBIE, WISE NORTHON (1989), *Energy and Empire, A biographical study of Lord Kelvin*, Cambridge University Press.

THOMSON J.J. (1983), *Recent Researches in Electricity and Magnetism. Intended as a Sequel to Prof. Clerk-Maxwell's Treatise on Electricity and Magnetism*, Oxford at the Clarendon Press.

THOMSON J.J. (1896), «Cathode Rays», *Phil. Mag.*, 44, 293-316.

— (1899), «On the Existence of Masses smaller than the Atoms», *Report of the British Ass. for the Advancement of Science, Phil. Mag.*, 48, 547-567.

— (1899), «On the masses of ions in gases at low pressure», *Phil. Mag.*, XLVIII (1899) 565.

— (1903), *Conduction of Electricity through Gases*, Cambridge at the University Press.

WHITTAKER E. (1951), *History of the theories of Aether and Electricity*, Nelson, 2 vols.