

Luigi Cerruti¹

PHYSICS, A DANCE OF MOLECULES
TEOLOGIA DELLA NATURA E GERARCHIE DISCIPLINARI NELLA
FISICA MOLECOLARE DI MAXWELL

I shall only make one more remark on the relation between Mathematics and Physics. In themselves, one is an operation of the mind, the other is a dance of molecules.

J. Clerk Maxwell, 1870

0. Introduzione

Diversi motivi rendono affascinante la ricerca storica sugli argomenti di confine fra discipline scientifiche. Già la formazione, il consolidamento istituzionale, e la permanente mobilità dei limiti disciplinari sono temi significativi, ma ciò che più mi ha interessato di questo tipo di indagine è la possibilità di mettere a confronto diverse epistemologie (modi di produrre scienza). Quando, tempo fa, iniziai a lavorare sul confine fra fisica e chimica² mi pareva che gli esiti fossero semplicemente da porre in contrasto con le filosofie della scienza normative (allora praticamente tutte, eccetto quella di Feyerabend), ora mi sembra che scrivere di storia della scienza sia diventato più impegnativo. Il dominio del 'pensiero unico' (del 'libero mercato') tende ad essere totale, con una penetrazione favorita dalla presunta 'caduta delle ideologie', e quindi dalla messa al bando del pensiero critico. Gli scienziati, per vocazione opportunistica, hanno quasi sempre presentato la scienza in panni neutrali, rimanendo riservati rispetto alle motivazioni profonde delle proprie scelte. Questa neutralità (inesistente) è ora fortemente sanzionata dalla stessa ideologia che legittima il libero mercato (altrettanto inesistente), così che il destino sociale della conoscenza prodotta si conferma come irrilevante, in quanto un mano invisibile porterà a buon fine l'impresa. Il contributo che una ricerca storiografica periferica può dare per allentare la presa del pensiero unico è marginale; tuttavia, la questione del pluralismo epistemologico mi sembra d'attualità, e il riduzionismo filosofico e ontologico diventa un tema da prendere sul serio. La presente comunicazione vuole contribuire a mettere in luce alcuni limiti dell'orizzonte conoscitivo di un grande scienziato del passato, James Clerk Maxwell (1831-1879), limiti in gran parte dovuti a rigidità epistemologiche.

¹ Dipartimento di Chimica Generale ed Organica Applicata
Università Di Torino, C. M.D'azeglio 48, 10125 Torino
Fax: 011 9656178, E-Mail: Lcerruti@Silver.Ch.Unito.It

² (a) L.Cerruti, "Ricognizione sui confini: chimica e fisica nel *Sunto* di Cannizzaro", *Atti del III Congresso Nazionale di Storia della Fisica*, Palermo, 1982, pp. 109-116; (b) Id., "La ricezione della teoria atomico-molecolare di Cannizzaro negli anni 1860", *Atti del IV Congresso Nazionale di Storia della Fisica*, Milano: CLUED, 1984, pp. 107-112; (c) Id., "La determinazione dei pesi atomici. Voci di un inventario epistemologico", in: CIDI, (a cura di), *Storia e attualità della cultura scientifica e insegnamento delle scienze*, Firenze: Marietti-Manzuoli, 1986, pp. 160-183; (d) Id., "Il sistema e i modelli: l'atomo fra chimica e fisica (1871-1916)", in: G.Michelon (a cura di), *La formazione scientifica nella scuola media superiore*, Venezia: Facoltà di chimica industriale, 1988, pp. 110-156; (e) Id., "Il luogo del *Sunto*", in: S.Cannizzaro, *Sunto di un corso di filosofia chimica*, ed. a cura di L.Cerruti, Palermo: Sellerio, 1991, pp. 73-282; (f) Id., "Procedure conoscitive e culture disciplinari. Un'analisi storiografica", in: G.Battimelli, E. Gagliasso (a cura di), *Le comunità scientifiche fra storia e sociologia della scienza*, Quaderni della Rivista di Storia della Scienza, n. 2, 1992, pp. 83-122; (g) Id., "Mondi corpuscolari e non. Fisica e chimica a confronto", *Quaderni Pristem*, n. 5, pp. 1-41 (1994); (h) Id., "The Mole, Amedeo Avogadro and Others", *Metrologia*, **31**, 159-166 (1994); (i) Id., "Atomi, elementi chimici, etere ponderabile. Modelli ed esperimenti di fine Ottocento", in: P.Tucci (a cura di), *Atti del XVI Congresso di Storia della Fisica e dell'Astronomia*, Como: Celebrazioni Voltiane, 1997, pp. 267-297.

Nel corso della ricerca prenderò in considerazione i lavori di Maxwell nel campo della fisica molecolare. Nella prima sezione indagherò sui motivi della curiosa, insistita attribuzione a Gay-Lussac della legge di Avogadro; nella seconda metterò in evidenza quanto fosse lontana da Maxwell la comprensione dell'epistemologia chimica e come le conoscenze della chimica fossero per lui opache e inutilizzabili; successivamente dimostrerò come la *liberal education* orientasse in modo decisivo le scelte epistemologiche del grande fisico teorico, e come quella *cultura di classe* imponesse precise gerarchie disciplinari fra la fisica e le altre scienze (chimica e biologia), e all'interno della stessa fisica; infine porterò la nostra attenzione su una componente essenziale della visione del mondo Maxwelliana: la teologia della natura. Seguiranno delle conclusioni brevissime (almeno quelle!).

La mia argomentazione abonderà di citazioni testuali; esse saranno mantenute nella lingua originale per permettere la percezione di ogni sfumatura semantica del linguaggio di Maxwell.

1. Avogadro travestito. (Una scelta epistemologica)

Nell'agosto del 1857 ad Aberdeen si tenne un'assemblea cittadina che decise di invitare la British Association for the Advancement of Science (B.A.) a tenere l'incontro del 1859 nella cittadina. Aberdeen era sede di una delle quattro Università scozzesi, ma non aveva una sala adatta per le affollate riunioni della B.A., così fu avviata una pubblica sottoscrizione che permise, nel volgere di due anni, la costruzione di una *hall* nuova di zecca.³ In questo scenario di entusiastica e popolare accettazione della scienza e dei suoi valori, Maxwell fece da padrone di casa in qualità di professore di Filosofia naturale nella locale Università, e il 21 settembre 1859, entrando autorevolmente in un campo per lui inedito, esordì nella teoria cinetica dei gas. I risultati proposti in quella occasione furono portati a conoscenza del pubblico scientifico internazionale qualche mese dopo, con i fascicoli di gennaio e luglio 1860 del *Philosophical Magazine*.

Maxwell era stato attratto nel nuovo campo di ricerca dall'articolo di Rudolf Clausius (1822-1888) sul libero cammino medio, pubblicato su quello stesso giornale nel febbraio del 1859; in una lettera a George Stokes (1819-1903) spedita il 30 maggio 1859 egli aveva scritto: "as I found myself able and willing to deduce the laws of systems of particles acting on each other only by impact, I have done so as an exercise in mechanics".⁴ Lo stile dell'*understatement*, così consono al fisico scozzese, si proiettava anche sul titolo,⁵ e sulla forma della nota che introduceva nella teoria cinetica dei gas la distribuzione delle velocità molecolari, "according to the same law as the errors are distributed among the observations in the theory of the 'method of least squares'".⁶ In effetti la memoria era suddivisa in 24 proposizioni, ossia problemi la cui soluzione era sviluppata da Maxwell come fossero semplici esercizi di fisica matematica; anche l'*incipit* dell'articolo esprimeva lo stesso stile: "So many properties of matter, especially when in the gaseous form, can be deduced from the hypothesis that their minute parts are in rapid motion, [...] that the precise nature of this motion becomes a subject of rational curiosity"⁷. Fra i molti risultati della *rational curiosity* di Maxwell quello che qui ci interessa è collocato al termine della parte dedicata alla proposizione XII ("To find the pressure on unit of area of the side of the vessel due to the impact of the particles upon it"), e viene espresso in questi termini: "N, the number of particles in unit of volume, is the same for all gases at the same pressure and temperature. This result agrees with the chemical law, that equal volumes of gases are chemically equivalent".⁸

³ M. Goldman, *The demon in the aether. The life of James Clerk Maxwell*, Edinburgh: Harris, 1983, p. 85.

⁴ R. Olson, *Scottish Philosophy and British Physics, 1750-1880*, Princeton: Princeton UP, 1975, p. 311.

⁵ J. Clerk Maxwell, "Illustrations of the Dynamical Theory of Gases", *Phil. Mag.* 19, 19-32; 20, 21-37 (1860). Citato da: W.D. Niven (a cura di), *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, Cambridge: Cambridge UP, 1890, vol. I, pp. 377-409; i due volumi di questa edizione saranno indicati con le sigle *SPI*, *SPII*.

⁶ *SPI*, p. 382, proposizione IV.

⁷ *SPI*, p. 377.

⁸ *SPI*, p. 390.

Se per noi è evidente che non esiste (né esisteva anche allora) nessuna 'legge chimica' per cui volumi eguali di gas sono chimicamente equivalenti, occorre ricordare che quando Maxwell si esprimeva con una frase così infelice la situazione conoscitiva dei chimici inglesi era piuttosto ambigua, proprio sulla questione della legge di Avogadro. William Odling (1829-1921) era uno dei chimici più interessati alle questioni teoriche, e fu uno dei lettori del *Sunto* di Cannizzaro, ancor prima dell'incontro di Karlsruhe (settembre 1860). Pur con uno sguardo attento a questi problemi fu a lungo incapace di districarsi nel controverso problema del rapporto fra densità dei gas e peso molecolare, e nel 1861, in un paragrafo intitolato "Combination by volume" del suo manuale di chimica scriveva: "in general, the specific gravities, or comparative weights of equal volumes, of the elementary gases and vapours, coincide with their atomic weights, so that the symbols H, N, O, Cl, Br, &c, represent equal volumes of the respective elements". E aggiungeva: "Hence the formula HCl, chlorhydric acid, implies a combination of one volume of hydrogen with one of chlorine; H₂O, or water, implies a combination of two volumes of hydrogen with one of oxygen; H₃N, or ammonia, implies a combination of three volumes of hydrogen with one of nitrogen". Odling era ancora lontano da un'applicazione corretta della legge di Avogadro, e tuttavia, come chimico, non può affermare che un volume di idrogeno è *chimicamente* equivalente ad un volume di qualsiasi altro elemento come scriveva Maxwell.⁹

Il rilievo che Maxwell diede alla sua deduzione della legge di Avogadro può essere valutato se ci collochiamo dal punto di vista retorico. Oltre alla formulazione corredata dall'infelice 'parallelo chimico', già riportata, il fisico scozzese riprende il suo risultato nelle conclusioni riassuntive dell'articolo, e qui enfatizza questo specifica conseguenza della legge di equipartizione usando il corsivo, caso unico nell'intero articolo: "at equal temperature and pressure, *the number of particles in unit of volume is the same*".¹⁰ Maxwell era quindi perfettamente consapevole del valore conoscitivo della deduzione di questa legge che - per quanto mi consta - mai attribuirà ad Avogadro; al contrario egli amerà riferirsi, in forma imprecisa e confusa, al chimico francese J.-L. Gay-Lussac (1778-1850).

Nel 1866 Maxwell presentò alla Royal Society il suo secondo grande contributo alla teoria cinetica. Ora il titolo non è più riduttivo¹¹, così come non lo sono più né la retorica né la semantica. A proposito di quest'ultima si può notare che mentre la parola *theory* compare una sola volta nelle quaranta righe di introduzione del lavoro del 1859, qui nelle prime quaranta righe le parole chiave *theory* e *theories* sono ripetute 17 volte. Esattamente al termine di queste quaranta righe di introduzione Maxwell enuncia le sue intenzioni e i risultati attesi:

I propose in this paper to apply this theory to the explanation of various properties of gases, and to shew that, besides accounting for the relations of pressure, density, and temperature in a single gas, *it affords a mechanical explanation of the known chemical relation between the density of gas and its equivalent weight, commonly called Law of Equivalent Volumes*. It also explains the diffusion of one gas through another, the internal friction of a gas, and the conduction of heat through gases.¹²

Ho messo in corsivo la parte che riguarda - obliquamente - la legge di Avogadro sia per sottolineare il suo carattere centrale nell'argomentazione Maxwelliana, sia per enfatizzare il duplice aspetto indicato dall'Autore, di *mechanical explanation* e di *chemical relation*. Mentre su cosa Maxwell

⁹ W.Odling, *A Course of Practical Chemistry*, London: Longmans, 1861, p. 5. Maxwell aveva seguito un corso di chimica mentre era studente ad Edimburgo (v. rif. 3, p. 287). Insegnante di Maxwell fu W.Gregory (1803-1858), allievo e traduttore di Liebig; l'enorme quantità di lavoro sperimentale compiuto può avergli lasciato poco spazio per le riflessioni teoriche; cfr.: J.R.Partington, *A History of Chemistry*, London: Macmillan, 1964, p. 320.

¹⁰ *SPI*, p. 409.

¹¹ J.Clerk Maxwell, "On the Dynamical Theory of Gases", *Phil. Trans.*, 157, 49 (1867); *SPII*, pp. 26-78.

¹² *SPII*, p. 27.

intendesse per 'spiegazione meccanica' tornerò più oltre, mi sembra opportuno ricordare che la legge di Gay-Lussac, a cui il nostro fisico costantemente si richiama, aveva sì svolto un ruolo importantissimo nelle teorie atomico-molecolari, ma che senza ulteriori congetture sulla costituzione delle molecole non era affatto deducibile dalla legge di Avogadro (quella effettivamente dimostrata da Maxwell). Per di più l'aspetto 'chimico' della relazione era dato solo fatto che la legge si applicava a processi chimici, le reazioni in fase gassosa, e non certo alle procedure sperimentali per la sua verifica che, in linea di principio, consistevano esclusivamente nella misura di temperature, pressioni e volumi.

Nel corso dell'articolo Maxwell enuncia la legge di Avogadro ("equal volumes of different gases at equal pressures and temperatures contain equal numbers of molecules") con l'ormai consueto richiamo, ancora implicito, a Gay-Lussac ("This result of the dynamical theory affords the explanation of the 'law of equivalent volumes' in gases"). Ma qui Maxwell si 'lascia andare' a una congettura, già avanzata da Avogadro nella sua memoria del 1811, e che era costata al fisico torinese lunghi anni di infruttuose ricerche.¹³ La congettura 'estende' agli stati liquido e solido la conclusione raggiunta per lo stato gassoso: "We shall see that this result is true in the case of molecules acting as centres of forces. A law of the same general character is probably to be found connecting the temperatures of liquid and solid bodies with the energy possessed by their molecules, although our ignorance of the nature of the connexions between the molecules renders difficult to enunciate the precise form of the law".¹⁴ Maxwell non va oltre, e rimaniamo anche noi nell'ignoranza di quali 'connessioni fra le molecole' il nostro Autore intraveda nel (suo?) futuro fisico-matematico; in ogni caso una conseguenza importante della legge di Avogadro è esplicitata verso la fine del lungo saggio, quando il fisico scozzese afferma:

Hence if the pressures as well as the temperatures be the same in two gases,
 $M_1/v_1 = M_2/v_2$

or the masses of the individual molecules are proportional to the density of the gas.

This result, by which the relative masses of the molecules can be deduced from the relative densities of the gases, was first arrived at by Gay-Lussac from chemical considerations. It is here shewn to be a necessary result of the Dynamical Theory of Gases; and it is so, whatever theory we adopt as to the nature of the action between the individual molecules ...¹⁵

È evidente come nei sette anni trascorsi fra i due lavori sull'orizzonte teorico di Maxwell la teoria cinetica dei gas e la legge di Avogadro abbiano assunto un diverso e maggiore rilievo. Nel testo del 1859 la teoria veniva definita in modo 'fattuale': "the mathematical theory of the collisions of hard elastic particles",¹⁶ ora, nel 1866, la denominazione più ambita della teoria (l'essere 'dinamica') viene gratificata delle iniziali maiuscole e contrapposta con tutta la sua matematica necessità alle (presunte) considerazioni chimiche di Gay-Lussac. Questa valorizzazione epistemologica della legge di Avogadro trova la sua sanzione definitiva nel 1873, nella conferenza che Maxwell tenne davanti alla B.A. riunita a Bradford. Il testo della conferenza venne pubblicato su *Nature*,¹⁷ e di qui ripreso e tradotto per la *Gazzetta Chimica Italiana*.¹⁸ Di fronte al più vasto e qualificato pubblico scientifico britannico Maxwell afferma:

"The dynamical theory also tells us [...] that, on an average, every molecule, great or small, will have the same energy of motion.

The proof of this dynamical theorem, in which I claim the priority, has recently been greatly developed and improved by Dr Ludwig Boltzmann. The most important consequence which flows from it is that a cubic centimetre of

¹³ L.Cerruti, "Amedeo Avogadro", in: *Tra Società e Scienza. 200 anni di storia dell'Accademia delle scienze di Torino*, Torino: Allemandi, 1988, pp. 132-137.

¹⁴ *SPII*, p. 33.

¹⁵ *SPII*, p. 64.

¹⁶ *SPI*, p. 409.

¹⁷ J. Clerk Maxwell, "Molecules", *Nature*, **8**, pp. 437-441 (1873); *SPII*, pp. 361-378.

¹⁸ Clerck Maxwel [sic], "Sulle molecole", *Gazz. Chim. It.*, **4**, pp. 68-79 (1874).

every gas at standard temperature and pressure contains the same number of molecules. This is the dynamical explanation of Gay Lussac's law of the equivalent volumes of gases."¹⁹

Nel testo il nostro interesse va oltre l'affermazione, per altro abbastanza sorprendente, che *the most important consequence* del teorema di equipartizione dell'energia è la legge di Avogadro (sia pure mascherata da legge di Gay-Lussac). In questa conferenza Maxwell si sbilancia in considerazioni sulle molecole che vanno ben oltre i confini della fisica, per ora però ci limiteremo ad una lettura dei passi che riguardano i confini fra chimica e fisica, così come lo stesso Autore li fissa. La 'pietra di confine', che appartiene ai due campi di ricerca, è appunto la molecola. "Molecule is a modern word. [...] The ideas it embodies are those belonging to modern chemistry". Ma ciò che Maxwell non vuole accettare - siamo nel 1873 - è la distinzione fra atomo e molecola, ormai acquisita dalla maggior parte dei chimici: "According to the received doctrine, in each molecule of water there are two molecules of hydrogen and one of oxygen. Whether these are or are not ultimate atoms I shall not attempt to decide". Stanislaw Cannizzaro (1826-1910) aveva tenuto la Faraday Lecture a Londra nel 1872, in cui aveva ribadito l'assoluta necessità epistemologica della distinzione fra atomo e molecola; è evidente che di fronte a simili affermazioni non si può trattenere dal commentare: "In tutto questo discorso si osservò che il Maxwell non si fece un'idea chiara e distinta dell'atomo dei chimici".²⁰ L'osservazione di Cannizzaro precede immediatamente il tentativo di Maxwell di spiegare "what a molecule is, as distinguished from an atom". Il passo va ripreso integralmente:

Every substance, simple or compound, has his own molecule. If this molecule be divided, its parts are molecules of a different substance or substances from that of which the whole is a molecule. An atom, *if there is such a thing*, must be a molecule of an elementary substance. Since, therefore, every molecule is not an atom, but every atom is a molecule, I shall use the word molecule as the more general term.²¹

Il discorso Maxwelliano è qui veramente confuso, e l'unica vera evidenza è il dubbio ontologico che ho sottolineato con il corsivo: se gli atomi esistono veramente. Val la pena di confrontare il linguaggio del fisico scozzese con quello di Cannizzaro, grammaticalmente non finissimo, che ritroviamo in una nota 'attaccata' al passo appena citato:

L'atomo per i chimici è quella porzione di un elemento che entra sempre intera nelle molecole sì dell'elemento stesso che dei suoi composti qualche volta è uguale alla molecola dell'elemento libero, il più delle volte no. Credo non convenga abbandonare questa distinzione di nomi e di cose. Stando alla nomenclatura adottata da Maxwell, noi saremmo costretti a dire *la molecola dell'idrogeno libero è fatta di due molecole d'idrogeno*: il che credo genererà confusione.²²

L'appello di Cannizzaro alla *distinzione di nomi e di cose* è un chiaro impegno ontologico, speculare al disimpegno di Maxwell. Ma l'atteggiamento del fisico scozzese non è senza conseguenze rispetto alla sua comprensione del mondo molecolare; infatti in appendice al testo della conferenza viene riportata una *Table of Molecular Data*, in cui si pone la massa della molecola di idrogeno eguale ad 1, e ne derivano le masse relative 16 per la molecola di ossigeno, 14 per quella dell'ossido di carbonio e 22 per quella dell'acido carbonico. Sono valori che in nessun modo possono giustificare le formule presentate poco dopo in una *Table of Diffusion*: H, O, CO, CO₂.²³ Dovrebbe essere evidente che una molecola di massa 14 e formula CO non può avere una massa maggiore di una sua parte, ossia della molecola di ossigeno, massa 16 e formula O. Tuttavia Maxwell apprezzava particolarmente questi 'dati molecolari', in quanto li aveva già presentati in

¹⁹ *SPII*, pp. 365-366.

²⁰ Rif. 17, nota 1 a p. 69. Lo stile delle due note che corredano la traduzione della conferenza di Maxwell è indubbiamente quello di Cannizzaro.

²¹ *SPII*, p. 363.

²² Rif. 17, nota 2 a p. 69; corsivo di Cannizzaro.

²³ *SPII*, p. 378.

questa forma in una nota apparsa su *Nature*.²⁴ Quando riprenderà i dati sulla diffusione, nella voce *Diffusion* scritta per l'*Encyclopaedia Britannica*, sarà più prudente e si atterrà ai semplici nomi delle sostanze, astenendosi da formule (forse troppo vicine alle 'cose' che designavano)²⁵. Vedremo nella prossima sezione che lo sguardo di Maxwell non riusciva a penetrare in questi recessi ontologici del mondo particellare per una scelta epistemologica deliberata, di separatezza fra fisica e chimica. Qui vorrei cercare di rendere più comprensibile il costante riferimento di Maxwell alla legge di Gay-Lussac, sia nei momenti scientificamente critici dei grandi saggi sulla teoria dinamica dei gas, sia nei momenti più 'rilassati' delle conferenze davanti al pubblico in gran parte amatoriale della B.A.

La fisica matematica britannica del secolo scorso ha attirato spesso l'attenzione degli storici, in quanto forte di personalità eccezionali o di primo piano come il nostro Maxwell, il già ricordato George Stokes, William Thomson (1824-1907), e George Airy (1801-1892). Analizzando molti contributi su questo argomento, M. Norton Wise ha avanzato diverse ipotesi interpretative, alcune delle quali mi paiono pertinenti al nostro tema. In particolare Norton Wise discute la distinzione fatta da Stokes, e condivisa da Airy e da Thomson, fra teoria dinamica e teoria meccanica. Nella prima versione le teorie fisico-matematiche definivano a livello macroscopico gli elementi dell'analisi, moti e forze in particolare. Questi moti e forze erano poi riferiti ad elementi infinitesimi, che trattati con i metodi della dinamica portavano ad equazioni alle derivate parziali in grado di rappresentare i moti macroscopici di fluidi e solidi elastici. Così per Stokes la dinamica studiava "the relations between the changes of motion which take place in the system and the forces producing such changes", ed una *dynamical theory* non richiedeva ad un fisico "to speculate to the cause of this tangential force, nor to assume either that the ether does, or that it does not, consist of distinct particles". Quando queste speculazioni entravano in gioco si aveva a che fare con la seconda versione delle teorie fisico-matematiche, e cioè con una *mechanical theory*. Altre osservazioni di Norton Wise ci possono essere utili. Nei lavori di Maxwell dedicati alla fisica molecolare 'macroscopico' e 'microscopico' non solo sottintendono, rispettivamente, 'osservabile' e 'non osservabile', ma 'macroscopico' implica anche 'senza riferimento alla struttura sottostante'; inoltre le stesse entità 'microscopiche' per eccellenza, le molecole, sono trattate come 'piccole parti di un corpo', alle cui proprietà si giunge attraverso una regressione dalle proprietà osservabili della materia in movimento.²⁶

Certamente Maxwell era imbarazzato di fronte all'evidente fruttuosità del 'fare ipotesi' sul mondo corpuscolare e non tralascia nessuna occasione per sottolineare il grado di generalità della sua trattazione. Nel 1866, concludendo l'articolo sulla *Dynamical Theory of Gases* scriveva: "The result that the viscosity is independent of the density, follows from the Dynamical Theory of Gases, whatever be the law of force between the molecules".²⁷ Nel 1875, davanti al pubblico della Chemical Society, in una conferenza intitolata *On the Dynamical Evidence of the Molecular Constitution of Bodies*, affermava: "If we are careful to remember that the word particle means a small part of a body, and that it does not involve any hypothesis as to the ultimate divisibility of matter, we may consider a body as made up of particles".²⁸ Su questo sfondo, per ora meramente scientifico, diventa più comprensibile il costante travestimento della legge di Avogadro con i panni di una legge di Gay-Lussac riformulata e deformata *ad hoc*.

²⁴ J. Clerk Maxwell, "On Loschmidt's Experiments on Diffusion in relation to the Kinetic Theory of Gases", *Nature*, 8, 298 (1873); *SPII*, pp. 342-350.

²⁵ *SPII*, p. 632.

²⁶ Le citazioni di Stokes e l'argomentazione sulle teorie fisico-matematiche sono riprese da: M. Norton Wise, "The Maxwell literature and British dynamical theory", *Hist. Studies Phys. Sci.*, 13, I parte, pp. 175-201 (1982), particolarmente alle pp. 186-189; per quanto riguarda le 'piccole parti di un corpo', si cfr. nella prossima sezione l'analisi del termine *lump*, usato da Maxwell per una definizione 'puramente dinamica' di molecola.

²⁷ *SPII*, p. 71; si veda anche la citazione corrispondente alla nota 14.

²⁸ J. Clerk Maxwell, "On the Dynamical Evidence of the Molecular Constitution of Bodies", *SPII*, pp. 418-438, cit. alla p. 420; v. anche oltre, alla nota 32.

La legge di Avogadro, più volte correttamente enunciata, viene subito messa da Maxwell nello stampo della legge di Gay-Lussac per almeno tre motivi: essa aveva un'amplissima base sperimentale (totalmente assente nel caso della legge di Avogadro); malgrado la fenomenologia chimica le misurazioni coinvolte erano fra le più usuali in fisica; infine, quando era espressa a livello fenomenologico essa non implicava nemmeno una concezione atomica della materia (come aveva effettivamente sottolineato lo stesso Gay-Lussac al momento della scoperta). In un brevissimo testo del 1876, che noi diremmo di filosofia della scienza, Maxwell dettava questo aforisma: "The true method of physical reasoning is to begin with the phenomena and to deduce the forces from them by a direct application of the equation of motion".²⁹ Egli quindi non esitava un istante a scegliere tra un conteggio impraticabile di particelle invisibili, secondo Avogadro, e misure di volumi in recipienti da laboratorio, secondo Gay-Lussac. La situazione conoscitiva di Maxwell era comunque ben complessa, più di quanto si potesse articolare su dicotomie quali dinamico/ meccanico, macroscopico/microscopico, osservabile/non osservabile. Cercherò ora di entrare maggiormente nel merito dell'orizzonte epistemologico del grande fisico scozzese.

2. Separatezza e opacità

Intendo individuare alcuni aspetti dell'epistemologia pratica di Maxwell, ossia quella messa in atto dal nostro scienziato nella ricerca e nelle scelte conoscitive, non quella assunta nelle frequenti argomentazioni epistemologiche. Una delle affermazioni più pertinenti alla nostra ricerca, ed anche una delle più rilevanti e rilevatrici, si trova nel corpo del lungo testo *On Faraday's Lines of Force*:

it is a good thing to have two ways of looking at a subject, and to admit that there are *two* ways of looking at it.

La sottolineatura è di Maxwell. Egli si sta confrontando con la teoria elettromagnetica di un altro grande fisico, W. Weber, e da quanto emergerà in questa e nelle successive sezioni, risulterà evidente che i *due modi di vedere* sono per Maxwell sempre e comunque i *modi della fisica matematica*. L'affermata tolleranza nei confronti di teorie alternative si dissolve in una totale separatezza, rigorosamente mantenuta, fra le procedure conoscitive della fisica e della chimica, e nell'opacità che gli esiti della ricerca chimica serbavano nei confronti della fisica molecolare, malgrado gli imponenti risultati conseguiti dai chimici nei decenni 1860 e 1870.³⁰

In questa nostra indagine possiamo iniziare proprio dal passo così seccamente commentato da Cannizzaro, o meglio da quello successivo all'affermazione che l'Autore - il nostro grande fisico - userà la parola 'molecola' come il termine più generale. Prudentemente Maxwell esclude le teorie chimiche dagli interessi del pubblico che lo ascolta a Bradford, e subito dopo si lancia in un giro retorico che va letto integralmente:

I have no intention of taking up your time by expounding the doctrines of modern chemistry with respect to the molecules of different substances. It is not the special but the universal interest of molecular science which encourages me to address you. It is not because we happen to be chemists or physicists or specialist of any kind that we are attracted towards this centre of all material existence, but because we all belong to a race endowed with faculties which urge us on to search deep and ever deeper into the nature of things.³¹

²⁹ J. Clerk Maxwell, "On the Proof of the Equations of Motion of a Connected System", *SPII*, p. 309.

³⁰ La cit. di Maxwell è in *SPI*, p. 208. La *toleration* epistemologica del nostro fisico è esaltata da Olson, rif. 3. p. 298. Per i risultati *fondanti* dei chimici ricordo solo la riforma Cannizzariana dei pesi atomici (basata sull'uso rigido della legge di Avogadro), il sistema periodico degli elementi, la teoria strutturale della chimica organica, la teoria della valenza, la soluzione del problema dell'attività ottica delle molecole. Su alcuni di questi punti si possono vedere i rif. 1(b) e 1(g).

³¹ *SPII*, p. 363.

Quindi la scienza molecolare, in quanto riguarda il centro di tutta l'esistenza materiale, è di interesse universale, al di là dell'essere fisici o chimici. Peccato (per certi ascoltatori) che dopo questo esordio universalistico il resto della conferenza sia dedicato alle ricerche fisiche, le uniche che fuori di retorica rientrano nel programma effettivo della serata: "Our business this evening is to describe some researches in molecular science, and in particular to place before you any definite information which has been obtained respecting the molecules themselves".³² Con l'eccezione dei 'fatti' più rudimentali, quasi primitivi, della composizione delle sostanze, Maxwell attua sempre un'esclusione programmatica dei risultati della chimica dalla conoscenza delle molecole. E questo anche di fronte ai soci della Chemical Society, quando iniziando la già citata conferenza del 18 febbraio 1875,³³ afferma: "The phenomena studied by chemists are, for the most part, such as have not received a complete dynamical explanation", "Many diagrams and models of compound molecules have been constructed. [...] No chemist, however, professes to see in these diagrams anything more than symbolic representations of the various degrees of closeness with which the different components of the molecule are bound together".³⁴ Qui il grande fisico non avverte la sua grave sottovalutazione di quanto egli stesso va affermando, non tanto rispetto alla mirabile efficacia che quelle *symbolic representations* avevano nel campo della sintesi di importanti molecole organiche,³⁵ quanto piuttosto nei confronti del fatto che i chimici avevano già realizzato una parte del programma che egli stava tracciando per la fisica molecolare:

In attempting the extension of dynamical methods to the explanation of chemical phenomena, we have to form an idea of the configuration and motion of a number of material systems, each of which is so small that it cannot be directly observed. We have, in fact, to determine, from the observed external actions of an unseen piece of machinery, its internal construction.³⁶

I chimici organici, fra cui molti dei suoi ascoltatori, avevano esattamente dedotto dai fenomeni di reattività (e dall'intero apparato conoscitivo della chimica) la 'costruzione interna' di molte molecole, ottenendo la 'configurazione' di sistemi materiali microscopici senza nulla conoscere del loro moto. Tutta questa 'conoscenza' era al limite dello scandalo dal punto di vista dell'epistemologia della fisica matematica, e Maxwell, semplicemente, la ignora - anche per motivi extra-scientifici. Comunque sia il nostro Autore si sta ormai muovendo sul terreno familiare della teoria dinamica dei gas, e dopo aver illustrato il senso fisico del teorema dell'equipartizione dell'energia, introduce un'argomentazione notevole: "Here we have perhaps the most important application which has yet been made of dynamical methods to chemical science".³⁷ L'*application* non è altro che la legge di Avogadro: "if the pressure as

³² *SPII*, p. 364.

³³ Il testo della conferenza fu pubblicato su *Nature*, sul *Journal of the Chemical Society*, e, tradotto in italiano, sulla *Gazzetta*: Clerk Maxwell, "Dimostrazione dinamica della costituzione molecolare dei corpi", *Gazz. Chim. It.*, 5, 190-208 (1875).

³⁴ *SPII*, pp. 418-419.

³⁵ Per un'analisi dettagliata dello sviluppo delle conoscenze strutturali dei chimici nel periodo dell'attività di Maxwell nel campo della fisica molecolare rinvio ad un mio lavoro: L.Cerruti, "Chimica e cultura chimica ai tempi di A.Sobrero. Un caso esemplare: sintesi e struttura dell'indaco", in: *Atti Conv. A.Sobrero. Acc. Sci. Torino*, 1989, pp. 39-71. Nella fig. 1, p. 68, ho raccolto nove 'rappresentazioni simboliche' di molecole eterocicliche pubblicate fra il 1866 e il 1870. Già in questa data Adolf Bayer (1835-1917) assegnava la formula strutturale corretta alla molecola dell'indolo (C₈H₇N, 16 atomi disposti su due anelli coniugati); nella fig. 2, p. 69 sono riprese le formule di struttura dell'indossile e dell'indaco (C₁₆H₁₀N₂O₂, 30 atomi, su quattro anelli, etc.). Queste formule fornirono la 'topografia molecolare' indispensabile per progettare prima sulla carta, e realizzare poi in laboratorio la sintesi dell'indaco, un importante colorante vegetale di grande interesse economico. La prima sintesi dell'indaco fu brevettata e pubblicata da Bayer nel 1880, un anno dopo la morte di Maxwell.

³⁶ *SPII*, p. 419.

³⁷ *SPII*, p. 429.

well as the temperature be the same in the two gases, [t]here must, therefore, be the same number of molecules in unit of volume in the two gases".³⁸ A questo punto segue la consueta attribuzione della legge a Gay-Lussac, ma data la premessa piuttosto enfatica (*the most important application to chemical science*), e parlando davanti ad un pubblico chimico Maxwell approfondisce il tema. Ancora una volta il passo richiede un'analisi attenta:

This result coincides with the law of equivalent volumes established by Gay Lussac. This law, however, has hitherto rested on *purely chemical evidence*, the relative masses of the molecules of different substances having been deduced from the proportions in which the substances enter into chemical combination. It is now demonstrated on dynamical principles. The molecule is defined as that small portion of the substance which moves as one lump during the motion of agitation. This is a *purely dynamical definition*, independent of any experiment on combination.³⁹

Il primo tratto che colpisce è la contrapposizione semantica ed epistemologica fra due diverse 'purezze', quella dell'evidenza chimica della legge di Avogadro (*alias* Gay-lussac) e quella della definizione dinamica di molecola. Su questa definizione 'dinamica' già Cannizzaro aveva basato la parte fondamentale del suo *Sunto* del 1858, avendo *assunto* la legge di Avogadro in modo rigido, cioè come legge senza eccezioni. Ora (ovvero dal 1859) lo *status* epistemologico della legge era cambiato in modo radicale, ma non nel modo indicato da Maxwell. Infatti mai vi era stata, nè avrebbe potuto esserci, un'evidenza chimica della legge di Avogadro basata sull'analisi della composizione delle sostanze. In un certo senso proprio questo aveva cercato di fare J.-B. Dumas (1800-1884) nel famoso saggio del 1826, in cui aveva proposto un metodo sperimentale (tuttora usato) per la determinazione delle densità di vapore. Dalle misurazioni eseguite su sostanze elementari e composte egli aveva 'dedotto' un certo numero di pesi atomici, in buona parte errati.⁴⁰ Invero era stata una deduzione *sui generis*, perchè Dumas non aveva fatto altro che 'svuotare' la legge di Avogadro, attribuendo a sostanze diverse volumi di riferimento diversi, preferendo piegare la legge fisica alla *sua* interpretazione delle conoscenze chimiche, e giungendo così a conclusioni del tutto inconsistenti.⁴¹ Per opera (formidabile) di Maxwell la posizione epistemologica della legge di Avogadro era mutata: da assunzione teorica sulla natura dei gas, quale era per Clausius e per Cannizzaro, fortemente esplicativa e ricca di conseguenze coerenti, si era trasformata in una deduzione della teoria dinamica dei gas, valida fin quando si ritenesse valido il teorema dell'equipartizione dell'energia.

Ma incastonato nella *purely dynamical definition* di molecola si evidenzia un secondo tratto, il termine *lump*, il cui contenuto semantico ci rinvia con una spontaneità trasandata, quasi sciatta, alla visione del mondo corpuscolare propria di Maxwell. Nel campo semantico italiano costruito sulla base dei significati inglesi di *lump* troviamo termini come 'massa informe', 'cumulo', 'grumo', 'grosso' (corrispondente all'uso inglese *a lump in the throat*). Nello stesso campo semantico vi sono anche termini come 'protuberanza', 'gonfiore', 'bernoccolo'; oppure 'massello', 'persona goffa e volgare', etc; queste zone non ci interessano direttamente, in funzione del referente ontologico della *dynamical definition* di Maxwell, ma vanno comunque tenute presenti in quanto arricchiscono la connotazione di *lump*. Se poi ci riferiamo direttamente al lessico inglese troviamo tra le altre queste definizioni: "hard or compact mass, usually without a regular shape" (*a lump of clay*), "a compact shapeless or unshapely mass", e, come termine di *slang*, "a quantity or heap".⁴² È evidente che 'la piccola

³⁸ *SPII*, p. 430.

³⁹ Loc. cit.; sottolineature mie.

⁴⁰ J.-B. Dumas, "Sur quelques points de la théorie atomistique", *Ann. Chim.*, (2) 33, pp. 337-391 (1826).

⁴¹ L'andamento dell'argomentazione di Dumas, e la pochezza degli esiti teorici del saggio del 1826 sono ripresi in rif. 1 (e), alle pp. 134-137.

⁴² A.S.Hornby, *Oxford Advanced Learner's Dictionary*, London: Oxford UP, 1974, s.v.; *The Oxford Encyclopedic English Dictionary*, Oxford: Clarendon, 1991, s.v. Nella stessa voce di questo secondo dizionario troviamo: "a tumor, swelling, or bruise", "a heavy, dull or ungainly person". Le connotazioni negative si

porzione di sostanza' rappresentata in questo informe *lump* non poteva avere nulla a che fare con le mappe molecolari che, ormai da una decina d'anni, i chimici organici inserivano nei loro articoli professionali.

D'altra parte l'incongruenza referenziale di *lump* non è casuale. Nella stessa pagina che stiamo analizzando Maxwell 'dispone' degli atomi e della struttura interna delle molecole con un ragionamento fisico-matematico che cancella letteralmente gli atomi dall'ambito della ricerca, e riduce la struttura molecolare ad un'espressione algebrica. La strategia 'persuasiva' del nostro Oratore ricorda quella inesorabile di un giocatore di scacchi: *scacco matto in tre mosse!* Prima mossa, in corso di partita: "... the internal motions of the constituents of a molecule. I must now say something about these internal motions, because the greatest difficulty which the kinetic theory of gases has yet encountered belongs to this part of the subject". È il riferimento alla *vexata quaestio* del calcolo dei calori specifici dei gas. Maxwell ora prende in considerazione il moto dei costituenti della molecola relativamente al baricentro, seconda mossa: "If we suppose that the constituents of a molecule are atoms, and that each atom is what is called a material point, then each atom may move in three different and independent ways, corresponding to the three dimensions of space". Gli atomi entrano in gioco per un istante, per essere ridotti, anche ontologicamente, a semplici punti materiali. Che la riduzione sia anche ontologica lo si vede poi nella terza e ultima mossa dello scacco: "It is not essential, however, to the mathematical investigation to assume that the molecule is made up of atoms. All that is assumed is that the position and configuration of the molecule can be completely expressed by a certain number of variables". Gli atomi sono ormai fuori vista, sacrificati al gioco matematico, che inizia immediatamente dopo con le parole sacrali: "Let us call this number *n*".⁴³

L'inconsistenza referenziale degli atomi si presenta in Maxwell sotto varie forme. Una delle più estreme si ritrova nella voce *Atom*, pubblicata sulla *Encyclopaedia Britannica* nel 1875, una voce che costituisce uno dei punti critici del rapporto fra scienza e fede in Maxwell (vedi oltre), ma che qui ci interessa anche nostro attuale punto di vista. Nell'introduzione al lungo saggio Maxwell presenta il modello atomico di Boscovich, criticandone l'assunto della forza repulsiva che tende all'infinito quando la distanza fra due atomi tende a zero. La scelta di Boscovich viene definita "an unwarrantable concession to the vulgar opinion that two bodies cannot co-exist in the same place", e l'Autore aggiunge: "we have no experimental evidence that two atoms may not sometime coincide. For instance, if oxygen and hydrogen combine to form water, we have no experimental evidence that the molecule of oxygen is not in the very same place with with the two molecules of hydrogen".⁴⁴ Con simili dubbi un qualsiasi impegno ontologico nei confronti degli atomi sembra proprio essere *vulgar opinion*, tuttavia Maxwell lancia una sfida che può vincere solo a costo di negare - ancora una volta - validità conoscitiva ad un intero campo di ricerca chimico-fisica. In questo caso si tratta della ricerca sperimentale sui volumi atomici e molecolari, una ricerca che Maxwell non solo conosceva, ma di cui citerà alcuni risultati più oltre, nello stesso testo che stiamo discutendo. In particolare Maxwell utilizzerà alcuni dati elaborati da Josef Loschmidt (1821-1895), e per l'importanza dell'argomentazione (contro Darwin) del fisico scozzese ne parlerò più oltre anch'io. Ma qui, proprio rispetto alla mancanza di *experimental evidence* per quanto riguarda i 'luoghi' occupati dai tre atomi che costituiscono la molecola d'acqua, dobbiamo ricordare che nell'articolo letto e citato da Maxwell, Loschmidt assegna all'ossigeno un volume atomico $\Theta = 11$, e all'idrogeno un volume $H = 3,5$; in appendice alla nota il fisico austriaco pubblica una lunga tabella con più di un centinaio di volumi atomici e molecolari sperimentali, il primo dei quali è quello dell'acqua $H_2\Theta = 18$, con un'additività che è (quasi) perfetta anche in quei

infittiscono nell'uso del lemma come verbo: "mass together or group indiscriminately", "carry or throw carelessly", "proceed heavily or awkwardly", etc.

⁴³ *SPII*, pp. 430-431.

⁴⁴ J.Clerk Maxwell, "Atom", *SPII*, pp. 445-484; cit. alla p. 448. Notiamo - di passaggio - che Maxwell con grande disinvoltura cambia 'cavallo semantico' in corsa, dalla scrittura di un periodo (*two atoms*) alla scrittura del successivo (*two molecules*).

moltissimi altri 'casi' molecolari che non erano serviti per la scelta dei parametri atomici.⁴⁵

Lo stesso Maxwell si rendeva conto che privare gli atomi della "so-called property of Impenetrability" costituiva "one extreme of the various opinions about the constitution of bodies",⁴⁶ ma non meno estrema era stata la sua scelta come autore: nella voce *Atom* il lettore della *Encyclopaedia Britannica* non avrebbe trovato *nulla* a proposito di molte conoscenze del suo tempo sugli atomi (pesi atomici; proprietà additive delle diffrazioni atomiche e dei calori atomici; valenze). L'Autore quindi esercitava d'autorità una vera e propria censura conoscitiva, confermata sia dal costante uso generalizzato e promiscuo di *molecole* (anche quando soltanto *atom* sarebbe stato il termine corretto), sia dal titolo (effettivo) della voce che Maxwell inserisce al termine dell'introduzione allo scritto: "Outline of Modern Molecular Science, and in particular of the Molecular Theory of Gases".⁴⁷ Proseguendo nella lettura giungiamo ad un paio di pagine in cui ritroviamo il consueto 'ritornello' sulle conseguenze 'chimiche' del teorema dell'equipartizione dell'energia: enunciato della legge di Avogadro, attribuzione a Gay-Lussac, corroborazione 'chimica' della legge. Val la pena di soffermarci una volta di più proprio per il contesto in cui queste affermazioni si collocano - la voce *atom*. Maxwell parla solo di *chemical equivalents*, e non di pesi atomici, e sostiene che per la loro determinazione da parte dei chimici "[t]he only evidence made use of is that furnished by chemical combination". "This kind of reasoning", aggiunge l'Autore, "has a high degree of cogency. **But** it is purely chemical reasoning; it is not dynamical reasoning. It is founded on chemical experience, not the laws of motion. Our definition of a molecule is purely dynamical". Quel *but* è così fortemente avversativo da stabilire una rigida gerarchia disciplinare, anche se è attenuata a livello retorico dall'apprezzamento della *consistency* delle informazioni dedotte dalla teoria cinetica con le deduzioni dei chimici.⁴⁸

Vedremo tra poco che le gerarchie disciplinari di Maxwell non si limitavano ad imporre alla sola chimica una subordinazione del modo di conoscere, oltre che del contenuto della conoscenza. Per diversi motivi, anche di carattere economico, la fisica matematica doveva 'fare i conti' pure con la fisica sperimentale, in una situazione intricata, dominata dall'ideologia della *liberal education* al livello più profondo della coscienza di classe (sociale). Questo nuovo tema ci tragherà verso il rapporto della fisica molecolare Maxwelliana con la teologia naturale.

3. Il 'fardello' della *liberal education*, e altri impacci Vittoriani

L'eredità culturale di Maxwell era già impregnata di scienza, in particolare per gli interessi geologici e tecnologici del padre, prima ancora di cominciare, a sedici anni, gli studi universitari a Edimburgo. Il soggiorno triennale nell'Università scozzese terminò senza il conseguimento di un diploma. Esso fornì comunque al giovane Maxwell un duplice patrimonio conoscitivo: il primo fu di origine istituzionale, e consistette nel meglio della filosofia scozzese, data l'obbligatorietà per tutti gli studenti di un corso biennale di filosofia; il secondo ebbe uno sviluppo privato, e fu il risultato della lettura selvaggia di una moltitudine di testi di matematica, fisica e fisica matematica, dal *Calcul différentiel* di Cauchy all'*Optics* di Newton, alla *Theorie de la chaleur* di Fourier.⁴⁹ Così quando nel 1850 Maxwell si trasferisce a Cambridge ha già una

⁴⁵ J.Loschmidt, "Zur Grösse der Luftmolecüle", *Wiener Ber.*, 52, pp. 395-413 (1865); rif. alle pp. 401 e 408; la memoria di Loschmidt fu uno dei primi segnali dell'interesse della comunità dei fisici nei confronti di quella che ora chiamiamo costante di Avogadro. Con una discreta approssimazione potremmo dire che i fisici incominciarono a 'fare i conti' con la costante di Avogadro quando i chimici avevano già risolto i loro problemi con la legge di Avogadro; cfr. rif. 1(h).

⁴⁶ *SPII*, p. 449.

⁴⁷ *SPII*, p. 451.

⁴⁸ *SPII*, p. 456; non ho resistito dall'imporre un grassetto a *but*, per evidenziare la sfacciataggine epistemologica del grande fisico-matematico; sui complessi apparati conoscitivi utilizzati dai chimici nella determinazione dei pesi atomici si vedano i rif. 1(c) e 1(d). Olson rileva più volte il valore epistemologico che questo tipo di *consistency* aveva per Maxwell; l'apprezzamento del fisico scozzese non lo aiuta a superare il pre-giudizio nei confronti della chimica.

⁴⁹ Rif. 2, p. 51. Maxwell definì l'opera di Fourier a *great mathematical poem*.

cultura fisico-matematica superba, e dopo un breve periodo al St. John's College - troppo affollato di matematici - trasloca al Trinity College, dove le prospettive di una *fellowship* sono migliori. Nel 1854 al termine degli studi risulta *second wrangler*, dopo E.J.Routh, al Tripos di matematica, e primo a pari merito (sempre con Routh) nel Smith's Prize. Nell'ottobre 1855, al secondo tentativo, diventa *fellow* del Trinity College, ma nel novembre 1856 ottiene la cattedra di Filosofia naturale (ossia di fisica) all'Università di Aberdeen, tornando così in Scozia.

I quattro anni trascorsi a Cambridge meritano ovviamente più di un commento, in parte per approfondire qualche aspetto della formazione di Maxwell, ma principalmente per cercare di capire quale era l'ambiente sociale e culturale in cui il giovane scienziato crebbe e in cui si immerse con ben altre funzioni nel 1871, quando gli fu affidata la prima cattedra di fisica sperimentale. Di per sé i cenni che ho riportato a proposito del Tripos di matematica e del premio Smith hanno il gusto scipito delle notizie biografiche, acquistano però tutt'altro sapore se ci riferiamo alla 'cultura' (in senso antropologico) che legittimava il valore assoluto degli esami e dei concorsi a cui Maxwell partecipò.

Nel lungo periodo fra il 1850 e il 1930 si realizzò in Inghilterra un mutamento profondo nell'istruzione superiore. Al tempo degli studi di Maxwell le Università, e in primo luogo il 'sistema' *Oxbridge*, costituivano un'istituzione marginale, funzionale ai ritocchi finali nell'educazione di un giovane *gentleman* o di un futuro ambizioso *clergyman*. Negli anni 1930 esse erano diventate il potente motore di una moderna società industriale, ma negli anni 1850 la loro stessa scomparsa non avrebbe alterato in modo sensibile le strutture professionali del paese: l'accesso alle professioni nella Chiesa costituita, come anche in tribunali, ospedali, amministrazione pubblica e insegnamento, non richiedeva nessun titolo universitario. E tuttavia era in queste professioni che si indirizzavano i *graduates* di Cambridge: fra il 1800 e il 1849 il 38% fu ordinato sacerdote, il 21% confluì nelle professioni.⁵⁰ L'origine sociale dei circa 850 studenti di *Oxbridge* sanciva semplicemente la continuità di un sistema di potere. Mentre a Glasgow nel 1830 un terzo degli studenti proveniva dalla classe operaia, a Oxford nel 1860 non c'era nessun studente 'plebeo' (*plebeian*), un termine che indicava chiunque si collocasse socialmente al di sotto del clero e dei *gentlemen*, ed è difficile pensare che vi fosse un maggior numero di studenti poveri a Cambridge.⁵¹ Nella prima metà dell'800 il 63% degli studenti di Cambridge provenne da famiglie di proprietari terrieri e del clero, il 21% da famiglie di professionisti, e un magro 6% nasceva da uomini d'affari e banchieri.

In questo contesto sociale il giovane Maxwell non sfigurava affatto. James doveva il suo doppio cognome agli avi abili commercianti (i Clerk) e al loro insediarsi su una terra il cui possesso legale implicava l'acquisizione del nome del clan (i Maxwell) che l'aveva dominata per secoli. Al momento della nascita di James la storia sanguinosa dei Maxwell era entrata nella leggenda delle ballate scozzesi, mentre la proprietà di 1500 acri di Glenair era rifiorita sotto l'abile guida del padre, John Clerk Maxwell, e dava una solida base al benessere familiare.⁵² Al quadro di cultura di classe che emerge da queste annotazioni si deve aggiungere che ancora al momento dell'immatricolazione di Maxwell la discriminazione attuata a Cambridge non era soltanto di stampo economico, ma erano rimaste tracce di discriminazione di natura religiosa, per cui i dissenzienti dalla Chiesa costituita, i cattolici e gli ebrei non potevano conseguire alcun titolo. Anche da questo punto di vista Maxwell non ebbe problemi, in quanto fin da ragazzino era stato un cristiano eclettico, presbiteriano al mattino con il padre,

⁵⁰ La sorte della percentuale che manca al 100% non era sgradevole. Scrivendo nel 1841 dall'osservatorio di una delle grandi *public school* il Rettore di Ely divideva gli studenti di Cambridge in due categorie: i molto ricchi, che non intendevano esercitare nessuna professione, e gli altri che sarebbero diventati avvocati, medici o preti; cit. in: D.S.L.Cardwell, *The Organisation of Science in England*, London: Heinemann, 1972, p. 54.

⁵¹ H.Perkin, "The Pattern of Social Transformation in England", in: K.H.Jaraus (a cura di), *The Transformation of Higher Learning, 1860-1930*, Chicago: Chicago UP, 1983, pp. 207-218; rif. alle pp. 207-208.

⁵² Rif. 2, pp. 20 e 23-26. Che nella tradizione storiografica a James sia rimasto solo il cognome dei Maxwell sembra essere un oscuro segno della loro (passata) potenza.

episcopale al pomeriggio con la zia, per cui non esitò a giurare sui 39 Articoli della fede anglicana.⁵³

Un discorso un po' più articolato è necessario per comprendere il ruolo che l'educazione matematica aveva nel contesto di Cambridge. Certamente il prestigio della matematica come fondamento culturale risaliva al medioevo, ed era stato rilanciato alle stelle dalla grande figura di Newton, ma era stato per così dire organizzato e disciplinato attraverso il sistema del Tripos, l'esame necessario per il conseguimento del *degree*. La prova, scritta, si affrontava nell'inverno del quarto anno di frequenza, e si svolgeva in sette giorni per un totale di duecento domande. I problemi posti nei primi tre giorni erano basati sui testi standard, principalmente l'Euclide e i *Principia*. Il superamento di questa fase era sufficiente per conseguire il diploma, ma chi voleva ottenere un *honour degree* (anche nei classici) doveva affrontare la parte più severa dell'ordalia: quattro giorni di problemi più duri. Infine, per i pochi che volevano coltivare il loro culto matematico a livello professionale vi era l'esame supremo, lo Smith's Prize. I primi classificati nel Tripos erano definiti *Wranglers* (etim.: lottatori, ma scritto con la maiuscola), e il primo in assoluto *Senior Wrangler*. Qualunque fossero i fondamenti pedagogici e psicologici di una simile pratica, competitiva fino alla follia, l'esito sociale era che i *Wranglers* erano avvantaggiati qualunque fosse la carriera intrapresa: gli storici riportano spesso che nella prima metà dell'800 non meno di 43 *Wranglers* erano diventati vescovi della Chiesa costituita d'Inghilterra.⁵⁴ Va da sé che l'addestramento ad un simile esame non poteva che essere 'meccanico', affidato a tutori, meglio definiti *crammers* nel gergo scolastico inglese,⁵⁵ e tuttavia fra il 1830 e il 1870 furono *Wranglers* matematici, astronomi e fisico-matematici del calibro di George Green (1837), G.G.Stokes (1841), Arthur Cayley (1842), J.C.Adams (1843), William Thomson (1845), J. Clerk Maxwell e E.J.Routh (1854), R.B.Clifton (1859), Lord Rayleigh (1865).⁵⁶

Uno dei massimi sostenitori del valore assoluto dell'educazione matematica, ed autorevole teorico della *liberal education* era stato William Whewell (1794-1866), sacerdote anglicano, uomo di grande ed esibita cultura, nonché Master del Trinity College durante il primo soggiorno a Cambridge di Maxwell. Nel 1845, con particolare riferimento agli insegnamenti da tenere a Cambridge, aveva pubblicato un vero e proprio manifesto in favore della *liberal education*. Con un cipiglio tanto severo quanto gratuito aveva stabilito fin dalla prima pagina del suo saggio come poteva essere sistemata l'educazione nazionale:

The education of the upper classes is termed *Liberal Education*, and the *Higher Education*: the education of the middle classes will commonly be, in its highest parts, an imitation of the Higher Education, more or less incomplete; and the education of the people, when they are educated, must generally be an Elementary Education; including little more than the first elements of the Higher Education.⁵⁷

⁵³ Ib., pp. 65 e 87.

⁵⁴ Ib. p. 56; rif. 49, p. 54.

⁵⁵ Nella seconda metà dell'800 il sistema di esami si estese in Inghilterra al di là di ogni immaginazione. Nel 1892 si presentarono agli esami del Science and Art Department 214.000 candidati. Sul questi aspetti del sistema scolastico inglese, sull'educazione tecnica del tempo, sull'influenza (nefasta) della *liberal education*, e sulle connotazioni di classe di quest'ultima - nella teoria e nella pratica educativa - si veda: L.Cerruti, "Payments by Results: l'insegnamento della chimica nell' Inghilterra vittoriana e la figura di W.A.Tilden", in: F.Abbri (a cura di), *Atti III Conv. Naz. Storia Fondamenti Chim.*, Cosenza: Università della Calabria, 1991, pp. 181-194.

⁵⁶ Rif. 48, p. 98.

⁵⁷ W.Whewell, *Of a Liberal Education in General and with Particular Reference to the Leading Studies of the University of Cambridge*, London: Parker, 1845, pp. 1-2. Whewell era figlio di un carpentiere del Lancashire, e aveva dovuto lottare per conseguire l'istruzione sufficiente per accedere con una borsa di studio a Cambridge. *Wrangel* di alto livello era diventato professore di Mineralogia, e successivamente - sempre a Cambridge - di Filosofia morale. Una seconda edizione del saggio qui citato fu pubblicata in tre volumi nel 1850-52.

Questa rigida gerarchia sociale si rifletteva in una corrispondente gerarchia fra le diverse discipline scientifiche, per cui gli studi venivano distinti in 'permanent' e 'progressivi'; ai primi appartenevano lo studio della lingua inglese, delle letterature latina e greca, della filologia, degli Autori Matematici (*Mathematical Authors*), della logica; ai secondi lo studio delle scienze progressive (chimica, anatomia, botanica, geologia, mineralogia ...).⁵⁸ Sulle diverse branche della fisica il giudizio di Whewell è diviso: astronomia, meccanica e ottica sono ammesse nella *liberal education*,⁵⁹ mentre acustica e termologia erano guardate con un sospetto che si acuire nel caso delle scienze dell'elettricità e del magnetismo. Queste ultime discipline apparivano al dotto Rettore troppo contaminate di nozioni 'chimiche', quali l'attrazione e la repulsione, ed erano quindi definite *mechano-chemical*.⁶⁰ Sulla chimica infatti il giudizio di Whewell era netto:

the chemical sciences (Chemistry, Mineralogy, Electro-chemistry) are not, at the present time, in a condition which makes them important general elements of a Liberal Education.⁶¹

Ma tutte queste cautele dovettero sembrare eccessive quando la potenza tedesca si fece sentire con le cannonate della guerra franco-prussiana, e con la proclamazione del Reich. Nel 1872 la Commissione Devonshire scoprì che a Oxford le *felloships* in Natural science erano 9 su un totale di 165, e a Cambridge 3 su 105; inoltre la delusa chimica britannica era anche deludente, con una produzione scientifica che era un sesto di quella tedesca.⁶² Deciso fin dal 1869, l'avvio dei lavori di costruzione del Devonshire (Cavendish) Laboratory nel 1872 segnò una svolta nella vita accademica di Cambridge perché, per la prima volta, la pratica sperimentale, così pericolosamente vicina al lavoro manuale, stava per essere proposta ai futuri membri del gruppo di comando del Paese. Dopo il rifiuto di William Thomson, ben annidato a Glasgow, la nuova cattedra di Fisica Sperimentale fu offerta a Maxwell, che accettò con la condizione di potersi ritirare entro il primo anno dall'elezione.

Nell'ottobre 1872, non avendo ancora una collocazione propria per il corso di Fisica Sperimentale, Maxwell tenne la lezione inaugurale - con una certa ironia - nell'aula di chimica. Per un disguido, le *bigwigs* dell'Università non furono avvisate dell'evento, e apparvero solo alla prima lezione effettiva del corso, quando il fisico scozzese parlò davanti a Cayley, Stokes, J.C.Adams, etc., della differenza fra la scala centigrada delle temperature e quella Fahrenheit.⁶³ In ogni modo la *lecture* fu debitamente stampata, e ad essa - finalmente - possiamo volgere la nostra attenzione.

La *Introductory Lecture on Experimental Physics* ci fa cogliere Maxwell in un momento delicatissimo della sua carriera scientifica, mentre sta avviando un progetto di laboratorio fisico che si dimostri in grado di competere con i grandi centri di ricerca continentali, in primo luogo quelli tedeschi. Il progetto presenta difficoltà di strategia scientifica e tecnologica, rispetto ai settori in cui incardinare la ricerca, ma ancor più, per realizzarsi al di là delle strutture materiali, deve articolare una politica culturale in grado di introdurre in grande stile la ricerca sperimentale e - contemporaneamente - di salvaguardare l'*ethos* della *liberal education*. Vedremo come questa contraddizione coinvolgesse anche delicate gerarchie interne alla fisica.

Un punto focale su cui convergono diversi interessi, a partire da quelli tecnologici, è l'esecuzione di misurazioni di grande precisione, in particolare in riferimento a quelle che noi ora chiamiamo costanti universali. Maxwell associa strettamente la ricerca sperimentale con le tecniche di misurazione: "in experimental researches, strictly so called, the ultimate object is to measure

⁵⁸ *Ib.*, p. 6.

⁵⁹ *Ib.*, p.36.

⁶⁰ La definizione si trova in uno dei più importanti scritti di Whewell, la *History of Inductive Sciences*, 1847; v. S.Marcucci, *L' 'idealismo' scientifico di William Whewell*, Firenze: Istituto di Filosofia, 1963, p. 63.

⁶¹ *Rif.* 56, p. 20.

⁶² *Rif.* 2, p. 179.

⁶³ *Ib.*, p. 181. Corse voce che Maxwell non fosse del tutto innocente rispetto al 'disguido'.

something [...] to obtain a numerical estimate of some magnitude”⁶⁴ La rilevanza di queste pratiche è tale che si è formata l’opinione (specie *abroad*) che nel giro di pochi anni tutte le grandi costanti fisiche saranno misurate, e che “the only occupation which will then be left to men of science will be to carry on these measurement to another place of decimals”. Se questo fosse il destino del Laboratorio esso però sarebbe fuori posto nell’Università, e sarebbe meglio classificarlo fra gli altri grandi *workshops* del Paese. Tuttavia un simile atteggiamento è un modo troppo riduttivo di pensare il nesso inscindibile fra fisica sperimentale e misurazioni: “we have no right to think thus of the unsearchable riches of creation, or of the untried fertility of those fresh minds into which these riches will continue to be poured”. In ogni tappa, anche metrologica, della storia della scienza “she is preparing the materials for the subjugation of new regions”.⁶⁵

Maxwell ora sviluppa un’argomentazione che collega in un unico ragionamento la grande scienza tedesca, le misurazioni di precisione, i loro risultati scientifici e le applicazioni pratiche. I nomi degli scienziati messi in gioco sono di enorme prestigio: Alexander von Humboldt (*that celebrated traveller*), Carl F. Gauss (*the great mathematician*) e Wilhelm E. Weber (*the founder of the science of electro-magnetic measurement*), e il tema trattato è quello delle misurazioni del magnetismo terrestre. Qui il nostro neo-professore di Fisica sperimentale sottolinea anche, e con grande vigore, il carattere collettivo, internazionale della ricerca, o meglio degli *Experiments in concert*. L’avventura delle misurazioni magnetiche sfociò nelle ricerche di Weber, con un esito notevole:

The new methods of measuring forces were successfully applied by Weber to the numerical determination of all the phenomena of electricity, and very soon afterwards the electric telegraph, by conferring a commercial value on exact numerical measurements, contributed largely to the advancement, as well as to the diffusion of scientific knowledge.⁶⁶

Come è noto Maxwell fu spesso critico verso Weber, sia per questioni teoriche sulla concezione stessa dell’elettromagnetismo, sia sul piano strettamente sperimentale,⁶⁷ il suo apprezzamento diventa quindi particolarmente indicativo di una stringente necessità retorica: il collegare la matematica al più alto livello di Gauss con la sperimentazione più raffinata di Weber:

Such, then, were some of the scientific results which followed in this case from bringing together mathematical power, experimental sagacity, and manipulative skill, to direct and assist the labours of a body of zealous observers.⁶⁸

In ogni modo, nell’intero svolgimento della *lecture*, il nostro fisico-matematico manterrà salda una precisa gerarchia fra i diversi modi di ‘fare fisica’, gli ‘sforzi sperimentali’ hanno uno scopo fondamentale, scientifico e pedagogico: “the exercise of [the scientific] faculty in detecting scientific principles in nature, and in *directing practice by theory*”.⁶⁹

Dopo questa lunga introduzione Maxwell deve affrontare il problema più immediato posto dal nuovo Laboratorio di fisica. Con una certa approssimazione brutale si potrebbe dire che si trattava di far accettare a giovani *gentlemen* il valore scientifico di una inopinata *manipulative skill*. In modo più morbido ci si potrebbe riferire alla struttura culturale perturbata dalla pratica sperimentale, e cioè alla *liberal education*. In effetti entrambi gli aspetti erano presenti, e Maxwell si inoltra nel territorio più avverso usando come scudo retorico una

⁶⁴ J.Clerk Maxwell, “Introductory Lecture on Experimental Physics”, *SPII*, pp. 241-255; cit. alla p. 243.

⁶⁵ *Ib.*, p. 244.

⁶⁶ *Ib.*, p. 246.

⁶⁷ Per giudizi interessanti, pubblici e privati, di Maxwell su Weber si veda in rif. 2, pp. 138 e 158-159. Sulla contrapposizione fra la trattazione dell’elettromagnetismo in Weber e in Maxwell si potrebbe consultare anche il mio saggio del rif. 1 (g) alle pp. 14-19.

⁶⁸ *SPII*, p. 246.

⁶⁹ *Ib.*, p. 248; enfasi mia.

metafora: una visione stereoscopica si ha solo con due occhi, così “the combined use of mathematical analysis and experimental research” ci darà una conoscenza migliore della fisica. Ed ecco l’interrogativo cruciale:

But what will be the effect on the University, if men pursuing that course of reading which has produced so many distinguished Wranglers, turn aside to work experiments?⁷⁰

Maxwell cerca realmente di rassicurare i suoi ascoltatori: in nessun modo saranno appesantiti nella corsa verso il Tripos di matematica, ma non può fare a meno di dare una piega ironica alla lunga tiritera:

As soon as we can read scales, observe times, focus telescopes, and so on, this kind of work ceases to require any great mental effort. We may perhaps tire our eyes and weary our backs, but we do not greatly fatigue our minds.⁷¹

Lo studio della matematica per utilizzarla nella pratica sperimentale distrarrà meno la mente che se il solo scopo dello studio fosse di aguzzare la mente “for the successful practice of the Law, or to obtain a high place in the Mathematical Tripos”. La perorazione si conclude con ritorno, quasi ilare, alla metafora della vista:

If our experimental course should help any of you to see the good of mathematics, it will relieve us of much anxiety, for it will not only ensure the success of your future studies, but it will make it less likely that they will prove injurious to your health.⁷²

Ma ogni *humor* scompare quando Maxwell affronta il problema più generale e complesso, quello dell’inserimento del lavoro sperimentale nel contesto di una Università che per struttura sociale, vocazione culturale e tradizione storica è imperniata sulla *liberal education*. La posizione di Maxwell è integralmente contraria ad una professionalizzazione degli studi, e, per converso, è di totale sostegno all’integrazione della fisica - opportunamente intesa - nella *liberal education*:

But admitting that a practical acquaintance with the methods of Physical science is an essential part of a mathematical and scientific education, we may be asked whether we are not attributing too much importance to science altogether as part of a liberal education.

Fortunately, there is no question here whether the University should continue to be a place of liberal education, or should devote itself to preparing young men for particular professions. [...] it must be one of our most constant aims to maintain a living connexion between our work and the other liberal studies of Cambridge, whether literary, philological, historical or philosophical.⁷³

Il tema è sentito come vitale da Maxwell, e se una certa ironia era spesa per giustificare la fatica del ‘lavoro’ sperimentale, ora, di fronte al senso profondo dell’impresa scientifica, l’Autore assume un atteggiamento esplicitamente aristocratico, e, per certi aspetti psicologici, grave, solenne, ieratico. Dal punto di vista della disposizione retorica degli argomenti generali toccati nella *lecture* si deve giungere proprio alle conclusioni per trovare il tema dell’eccellenza individuale degli scienziati, e del loro rifiuto dello studio stesso di certi *violently emotional states* della mente umana. Ovviamente la posizione come *end focus* intende accentuare l’impatto persuasivo delle tesi Maxwelliane.

Il grande fisico teorico - che ora veste i panni accademici del fisico sperimentale - parte da una constatazione: una volta geometri e uomini di

⁷⁰ *Ib.*, p. 247. Questo *but* messo all’inizio di un capoverso non è un caso isolato. Sui 68 paragrafi della *lecture* ben 10 cominciano con questa congiunzione avversativa, così che la lezione inaugurale ha in gran parte l’andamento di una confutazione.

⁷¹ *Loc. cit.*

⁷² *SPII*, p. 249.

⁷³ *Ib.*, p. 250.

scienza erano considerati dei misantropi, che avevano abbandonato ogni interesse umano. Al contrario “in the present day, men of science [...] are supposed to be in league with the material spirit of the age, and to form a kind of advanced Radical party among men of learning”. L'accusa è seria, perché ai tempi della *lecture* il termine *Radical* in politica implicava connotazioni socialiste, anticlericali e pacifiste, ma Maxwell, senza rispondere direttamente in difesa dei *men of science* ritorce la responsabilità di questa opinione (evidentemente falsa) su altri *men of learning*, ossia sugli storici. Essi hanno studiato, o tentato di studiare “the working of those blind forces which, we are told, are operating on crowds of obscure people, shaking principalities and powers”. Nulla di tutto questo è presente nella storia della scienza:

The men whose names are found in the history of science are not mere hypothetical constituents of a crowd, to be reasoned upon only in masses. We recognise them as *men like ourselves*, and their actions and thoughts, being more free from the influence of passion, and recorded more accurately than those of other men, are all the better materials for the study of the calmer parts of human nature.⁷⁴

Qualunque possano essere le ragioni del comportamento delle masse gli uomini di scienza si sottraggono alle leggi della folla, così come, pur potendo talvolta commettere errori nella ricerca della ‘chiave della conoscenza’, essi forniscono con il loro comportamento un ideale supremo: “we gladly return to the company of those illustrious men who [...] have risen above the region of storm into a clearer atmosphere, where is no misrepresentation of opinion, nor ambiguity of expression, but where one mind comes into closest contact with another at the point where both approach the truth”.⁷⁵ *Truth* è l'ultima parola della parte generale della *lecture*,⁷⁶ l'ultimo baluardo che Maxwell pone per proteggere i suoi allievi non da generici ‘radical-socialisti’ ma da determinate incursioni nella storia (naturale) delle idee. “The history of the development, whether normal or abnormal, of ideas is of all subjects that in which we, as *thinking men*, take the deepest interest”,⁷⁷ tuttavia vi sono dei limiti:

But when the action of mind passes out of the intellectual stage, in which truth and error are the alternatives, into the more violently emotional states of anger and passion, malice and envy, fury and madness; the student of science, though he is obliged to recognise the powerful influence which these wild forces have exercised on mankind, is perhaps in some misura disqualified from pursuing the study of this part of human nature.⁷⁸

È palese l'orrore, tutto vittoriano, di Maxwell di fronte al terribile elenco di *violently emotional states*, però non si tratta solo di disgusto per l'oggetto di ricerca, infatti c'è il terribile pericolo di rimanerne contaminati:

But then how few of us are capable of deriving profit from such studies. We cannot enter into full sympathy with these lower phases of our nature without losing some of that antipathy to them which is our surest safeguard against a reversion to a meaner type, and we gladly return to the company of those illustrious men ...⁷⁹

⁷⁴ *Ib.*, p. 251; ho sottolineato l'auto-identificazione di Maxwell.

⁷⁵ *Ib.*, p. 252.

⁷⁶ Nella *lecture* seguono tre pagine con la descrizione del contenuto didattico del primo *term*, dedicato a considerazioni teoriche sul calore, in quanto mancano ancora le strutture per la pratica sperimentale.

⁷⁷ *SPII*, p. 251; ancora una volta ho enfatizzato un'auto-identificazione. Il mio eventuale lettore deve sapere che siamo tornati indietro di un paragrafo nella lettura del testo, là dove Maxwell (*thinking man*) si costringe ad affrontare il tema ripugnante delle nostre emozioni inferiori, e gli ancor più ripugnanti pericoli che il loro stesso studio comporta .

⁷⁸ *Ib.*, pp. 251-252.

⁷⁹ *Loc. cit.*; ovviamente questa citazione va ‘saldata’ con quella che si riferisce alla nota 74.

Ci si deve chiedere perché di fronte a giovani *gentlemen* che intendono seguire il suo corso, e nell'occasione unica della lezione inaugurale, il Professore ritiene di *concludere* l'apologia della fisica sperimentale con un simile grave 'avviso di pericolo'. Con il materiale a disposizione l'analisi storiografica può solo fare congetture, e vorrei proporre qui quella che mi sembra più fondata.

Nel febbraio del 1871 Charles Darwin (1809-1882) pubblicò *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, un libro che argomentava per due terzi della sua ampiezza la teoria della selezione sessuale, una teoria che più di ogni altra gli attirò una tempesta di critiche. Nell'autunno del 1872, sempre presso l'editore Murray di Londra, uscì una nuova scandalosa opera del grande naturalista inglese, *The Expression of the Emotions in Man and Animals*.⁸⁰ I tempi possono essere stati troppo stretti affinché Maxwell 'apprezzasse' la stretta corrispondenza fra il comportamento dell'uomo e quello degli animali sostenuta da Darwin in *The Expression of the Emotions*, ad esempio in relazione al valore adattivo dell'irrigidimento e del ringhio a denti serrati di un cane arrabbiato.⁸¹ Ma *The Descent of Man* aveva già acceso lo sdegnato stupore delle *upper classes* britanniche, che, al di là dei contenuti - ripugnanti - vi 'fiutavano' il sentore sgradevole dell'utilitarismo, della psicologia associazionista, della frenologia, del socialismo alla Owen, del positivismo, della critica scientifica alla Bibbia, etc.⁸²

Per quanto riguarda la frenologia proprio Edimburgo, dove Maxwell era nato e vissuto fino alla partenza per Cambridge, era stata a lungo il campo di battaglia fra i più aggressivi frenologi e l'*establishment* universitario. Il successo popolare della frenologia era stato immenso, in particolare dell'opera più conosciuta e diffusa, dovuta allo scozzese George Combe (1788-1858). La prima edizione di *The Constitution of Man Considered in Relation to External Objects* era uscita nel 1828; la nona edizione era stata stampata dopo la morte dell'Autore (Edimburgo, 1866) e nell'introduzione si annunciava trionfalmente che fino al 1865 ne erano state vendute complessivamente più di 100.000 copie. L'opera di Combe era imputata di ateismo e di denigrazione della dignità dell'uomo, e tuttavia si giunse a dire che le famiglie che possedevano solo due libri, la Bibbia e il *Pilgrim's progress*, avevano aggiunto la *Constitution of Man* come terzo libro. Più concretamente, i lavori frenologici si trovavano nelle biblioteche di ogni Mechanics' Institute,⁸³ e Maxwell fu lungo a contatto con gli aspetti (moderati) della cultura popolare in quanto durante il soggiorno londinese come professore al King's College dedicò una sera alla settimana a classi dei Working's Men Colleges.⁸⁴ Dal punto di vista che qui ci interessa il movimento frenologico aveva fortemente contribuito a vedere l'uomo in termini biologici, in intima connessione adattiva con il suo ambiente.

Se la frenologia era saldamente mantenuta ai margini della scienza, *The Descent of Man*, al di là di ogni invettiva, apparteneva al *main stream* ed era stata prontamente recensita sulle principali riviste culturali britanniche, la *Edinburgh Review* e la *Quarterly Review*.⁸⁵ Non so se Maxwell conoscesse l'opera di Darwin direttamente o tramite le recensioni, ma nell'anatema contro gli studi sulle 'fasi inferiori' della natura umana troviamo due parole chiave dell'argomentazione del grande naturalista: *reversion* e *sympathy*.

Riferendosi al livello embrionale e costituzionale dell'uomo Darwin parla di "rudimenti che l'uomo conserva" e delle "anormali reversioni a cui è occasionalmente soggetto". Quando giunge a fornire al lettore il ritratto del lontano progenitore dell'umanità considera "la struttura embriologica dell'uomo,

⁸⁰ C.Darwin, *Autobiografia*, Milano: Cooperativa Libro Popolare, 1950, pp. 72-73.

⁸¹ A.La Vergata, "Charles Darwin", in: P.Rossi (a cura di), *Storia della scienza moderna e contemporanea*, vol. II, t. II, Torino: Utet, 1988, pp. 597- 644, rif. alle pp. 626-627.

⁸² R.M.Young, "The Role of Psychology in the Nineteenth-century Evolutionary Debate", in: C.Chant, J.Fauvel, *Darwin to Einstein. Historical Studies on Science and Belief*, Harlow: Longman, 1980, pp. 155-178. L'analisi di Young è complessa e interessante.

⁸³ *Ib.*, pp. 161 e 174.

⁸⁴ Rif. 2, pp. 64-65; in questa attività Maxwell era stato coinvolto da Frederick Denison, suo vecchio compagno di studi a Cambridge.

⁸⁵ Rif. 80, p. 174.

le analogie con gli animali inferiori, i rudimenti che conserva, e la reversione cui è soggetto”; sottolinea “l’intima rassomiglianza dell’embrione umano con quello, ad esempio, di un cane”, e conclude: “l’uomo è disceso da un quadrupede peloso, provvisto di coda, probabilmente con la abitudine di vivere sugli alberi e che abitava il vecchio continente”.⁸⁶ Altro che gli *illustrious men* evocati da Maxwell! La situazione peggiora ancora, e drammaticamente, quando Darwin passa dall’origine della struttura fisica a quella delle “facoltà intellettuali e morali”. Qui giuoca un ruolo essenziale la ‘simpatia’. “La prima base od origine del senso morale sta negli istinti sociali, compresa la simpatia, e questi istinti senza dubbio furono originariamente acquistati, come nel caso degli animali inferiori, per selezione naturale”, e ancora: “La natura morale dell’uomo ha raggiunto il livello attuale [...] specialmente perché le sue simpatie son divenute più sensibili e più diffuse per effetto dell’abitudine, dell’esempio, dell’istruzione e della riflessione”.⁸⁷ Tutti gli innumerevoli argomenti di Darwin sono basati sulla tesi della continuità evolutiva fra ciò che avviene in modo rudimentale negli stadi inferiori e ciò che si sviluppa in quelli superiori. Nel terzo capitolo del *Descent of Man* i rudimenti dei sentimenti religiosi sono ritrovati dal fondatore dell’evoluzionismo nel profondo amore, e nella completa sottomissione, del cane nei confronti del padrone. Talvolta proprio la violenza dei sentimenti così riprovati da Maxwell induce lo stesso naturalista a preferire le bestie all’uomo. È così per “un gruppo di indigeni della Terra del Fuoco”, incontrato durante il viaggio con la *Beagle*, che Darwin descrive in questo modo: “Quegli uomini erano nudi, imbrattati di pitture; i loro lunghi capelli erano arruffati, avevano la bava alla bocca per l’eccitamento e la loro espressione era selvaggia, spaventata e diffidente”.⁸⁸ Da ultimo va ricordato che nel *Descent of Man* l’incomodo naturalista fa addirittura un’autocritica rispetto alle sue precedenti opinioni teleologiche, riconoscendo che non è affatto detto che un nuovo fattore debba essere di valore positivo affinché possa permanere.⁸⁹

Nella *lecture* Darwin rimane ancora (per noi) un bersaglio nascosto, ma Maxwell attaccò esplicitamente il grande naturalista in pubblico e in privato. Nella prossima e ultima sezione collocherò questi attacchi nel contesto della teologia naturale propugnata da Maxwell; nel medesimo contesto emergeranno alcuni motivi della (voluta) ciecità del fisico scozzere nei confronti della chimica.

4. Maxwell, la teologia della natura e l’oscuramento della chimica

Qualsiasi lettore colto del 1872 avrebbe immediatamente identificato quale fosse l’interlocutore di Maxwell nella parte conclusiva della lezione inaugurale. Fin dall’inizio dell’800 il dibattito politico e culturale della società britannica era stato alimentato da una stampa periodica che non aveva rivali al mondo, per numero di testate (centinaia) e cifre di diffusione (decine e centinaia di migliaia). Il gusto dei lettori era tale che né i periodici, né i loro regolari collaboratori facevano distinzioni significative fra scienza, letteratura, filosofia, teologia, economia politica.⁹⁰ I confini dei ‘generi’ non avevano ancora i picchetti di segnalazione linguistica e culturale a cui siamo abituati, e questo spiega l’apparente ‘divagare’ di tutte le conferenze e lezioni inaugurali, e di molte memorie scientifiche di allora. Ma nei decenni 1870 e 1880 si consolidarono processi che riflettevano sia mutamenti nel modo stesso di produrre cultura, sia l’ascesa sulla scena sociale di nuovi strati di popolazione, dai piccoli imprenditori alle *élites* operaie. Da una parte crebbero la specializzazione disciplinare, il prestigio, l’impatto e la laicità della scienza, dall’altra la nuova domanda di cultura di massa non poteva essere esaudita al livello dei detentori della *liberal*

⁸⁶ C. Darwin, *L’origine dell’uomo*, Roma: Editori Riuniti, 1966; estratti letti in: B. Fantini (a cura di), *L’evoluzionismo*, Roma: Editori Riuniti, 1976, pp. 115-116.

⁸⁷ *Ib.*, pp. 118-119.

⁸⁸ *Ib.*, p. 121.

⁸⁹ M. Mandelbaum, “Philosophic Movements in the Nineteenth Century”, in: C. Chant, J. Fauvel, *Darwin to Einstein. Historical Studies on Science and Belief*, Harlow: Longman, 1980, pp. 2-44, rif. alla p. 41.

⁹⁰ R. M. Young, “Natural Theology, Victorian Periodicals and the Fragmentation of a Common Context”, in: C. Chant, J. Fauvel, *Darwin to Einstein. Historical Studies on Science and Belief*, Harlow: Longman, 1980, pp. 69-107; rif. alle pp. 91 e 75.

education. Ne derivò una frantumazione del contesto intellettuale in cui era vissuto il 'popolo' dei lettori britannici.

Mentre aumentava grandemente il numero delle copie di periodici in circolazione, a metà del secolo erano in declino le grandi riviste che nei primi decenni avevano espresso al meglio la cultura della classe dirigente. La *Edinburgh Review* diminuì la sua circolazione dalle 13.500 copie degli anni 1820 alle circa 7.000 degli anni 1860; nello stesso periodo la *Quarterly Review* passò dalle 14.000 alle 8.000, mentre, per converso, la maggiore rivista radicale, la *Fortnightly Review* vendeva già 2.500 copie nel 1873.⁹¹ Il primo direttore della *Fortnightly Review* aveva scritto nel 1866 che la scienza offriva "a cure for souls. [...] Formerly the best indication of a nation's progress was in its religious conceptions. Now the surest indication is in its scientific conceptions".⁹² A questa inedita 'cura' partecipò a partire dal 1869 *Nature*, un settimanale specializzato di contenuto scientifico, a cui collaborò più volte Maxwell, e che presto fu in grado di sottrarre alle riviste 'generali' il meglio dell'esposizione delle idee scientifiche, nuove o consolidate che fossero. Per altro non ci può essere dubbio che la 'cura delle anime' più tradizionale fosse stata ben alimentata nei decenni precedenti. Qualcosa come 45.000 libri erano stati pubblicati in Inghilterra fra il 1816 e il 1851, di questi circa 10.000 erano di carattere religioso, cifra ben maggiore di quelle spuntate dalle altre categorie importanti: 4.500 libri di storia e geografia, 3.500 di *fiction*.⁹³

La presenza negli scritti di Maxwell di pagine che noi potremmo schedare sotto la voce 'teologia della natura' va valutata sullo sfondo mobile della cultura Vittoriana in piena trasformazione, ed un lavoro storiografico a maglie più fitte potrebbe riportare il singolo passo testuale in un contesto molto dettagliato, in quanto il nostro fisico apparteneva a, e scriveva per, uno strato sociale in cui tutti si conoscevano, e 'si leggevano'. Così, ad esempio, il riferimento al Dr. Chalmers in un contesto di negazione della stessa possibilità di una storia evolutiva della materia, significava richiamare alla mente del lettore Vittoriano un'opera notissima di Thomas Chalmers, in cui tutte le manifestazioni psichiche dell'uomo erano viste in senso anti-naturalistico, ed erano assorbite totalmente nell'ambito della teologia della natura.⁹⁴ Ma per gli scopi della presente ricerca può essere sufficiente una interpretazione più modesta. Per certi aspetti infatti basterebbe sottolineare la connessione di questi testi con l'interesse verso la teologia naturale delle persone della sua classe sociale e della sua educazione, e per altri si potrebbe richiamare il senso di minaccia all'ordine costituito che ogni tanto il nostro Autore lascia trasparire, ad esempio quando intravede dalle finestre della sua aula *crowds of obscure people, shaking principalities and powers*.⁹⁵ Tuttavia anche il senso di queste motivazioni, in sé abbastanza ovvie, diventa storiograficamente più pertinente se viene alla luce la connessione fra la fede religiosa e la scelta d'ordine scientifico.

Per quanto riguarda la questione dell' 'azione a distanza', e della scelta dell'etere come mezzo per la propagazione della luce, mi limito ad una semplice citazione, che per il suo andamento solenne e quieto ricorda quello di certi Salmi. Una volta accettata la presenza di questo *medium* l'universo intero sarà ricolmo della Creazione:

The vast interplanetary and interstellar regions will no longer be regarded as waste places in the universe, which the Creator has not seen fit to fill with the symbols of the manifold order of His kingdom. We shall find them to be already full of this wonderful medium; so full, that no human power can remove it

⁹¹ Loc. cit.

⁹² G.H.Lewes, cit. dal rif. 87, p. 77.

⁹³ *Ib.*, p. 76.

⁹⁴ *SPII*, p. 483; il riferimento nel testo Maxwelliano è sottolineato da un (raro) corsivo. L'opera di Chalmers era un *Bridgwater Treatise*; pubblicata per la prima volta nel 1833, in due volumi, portava un titolo programmatico: *On the Power, Wisdom and Goodness of God as Manifested in the Adaptation of External Nature to the Moral and Intellectual Constitution of Man*.

⁹⁵ Questa frase fu scritta da Maxwell nell'ottobre 1872. *La Commune* di Parigi era finita in un bagno di sangue nel maggio 1871.

from the smallest portion of space, or produce the slightest flaw in its infinite continuity.⁹⁶

Qui, come in altri passi, Maxwell associa la presenza di un intervento divino con l'impotenza dell'uomo. Per l'etere e, come vedremo, per le molecole si tratterebbe di un'impotenza pratica, per così dire sperimentale, di un non poter fare. Altrove si tratta di un non comprendere:

The process by which the molecules become distributed into distinct species is not one of which we know any instances going on at present, or of which we have as yet been able to form any mental representation.⁹⁷

E talvolta, decisamente, Maxwell denuncia una totale impotenza conoscitiva:

Science is incompetent to reason upon the creation of matter itself out of nothing. We have reached the utmost limit of our thinking faculties when we have admitted that because matter cannot be eternal and self-existent it must have been created.⁹⁸

Anche la riflessione sulla termodinamica dei processi irreversibili giungeva ad un limite di comprensibilità. La teoria di Thomson della dissipazione irreversibile dell'energia, la crescita di Entropia descritta da Clausius, la stessa conduzione del calore calcolata da Fourier, portano ad una conclusione comune quando risaliamo *the stream of time*:

We thus arrive at the conception of a state of things which cannot be conceived as the physical result of a previous state of things, and we find that this critical condition actually existed at an epoch not in the utmost depth of a past eternity, but separated from the present time by a finite interval.

This idea of a beginning is one which the physical researches of recent times have brought home to us, more than any observer of the course of scientific thought in former times would have reason to expect.⁹⁹

Questa *idea of a beginning* torna spesso in Maxwell, con connotazioni a volta a volta diverse, ma sempre in consonanza con la posizione evocata spesso da William Whewell, l'antesignano (contro Lyell, in particolare) della lotta ad oltranza contro l'evoluzionismo, inteso come forma di pensiero negatrice della Creazione. Possiamo fare un piccolo intreccio di citazioni, e poi avviarci alle conclusioni. Charles Lyell (1797-1875) fu uno dei grandi ispiratori di Darwin, e a sua volta, dopo una prima opposizione, aderì completamente alla teoria Darwiniana dell'evoluzione. Nel 1831 Lyell pubblicò il primo volume dei *Principles of Geology*, il cui contenuto scientifico aveva colpito meno dell'assunto programmatico della continuità dell'azione nel mondo di cause naturali conoscibili, dai tempi più lontani a quelli presenti e osservabili.¹⁰⁰ Nello stesso anno 1831, nella recensione del libro di Lyell, Whewell chiedeva retoricamente all'Autore "some explanation by which we pass by a world filled by one group of species to one which contained different species", e, in assenza di una risposta, il teologo concludeva : " [it is] undeniable that we see in the transition from an earth peopled by one set of animals, to the same earth swarming with entirely new forms of organic life, a distinct manifestation of creative power, transcending

⁹⁶ J. Clerk Maxwell, "Action at a distance", *SPII*, pp. 311-323, cit. alla p. 322. Si tratta di una conferenza tenuta alla Royal Institution.

⁹⁷ "Atom", 1875, *SPII*, p. 480.

⁹⁸ "Molecules", 1873, *SPII*, p. 376.

⁹⁹ J. Clerk Maxwell, "Address to the Mathematical and Physical Sections of the British Association", *SPII*, pp. 215-229, cit. alla p. 226; *Entropy* è con la maiuscola nel testo. La conferenza fu tenuta a Liverpool, il 15 settembre 1870; si tratta di uno scritto fondamentale per comprendere come Maxwell intendeva il rapporto fra matematica e fisica. Il titolo e l'epigrafe di questo mio articolo sono tratti dalla p. 228.

¹⁰⁰ Il sottotitolo dei *Principles of Geology* era: *Being an inquiry how far the former changes in the Earth's surface are referable to causes now in operation.*

the operation of known laws of nature".¹⁰¹ L'*origine* trascendente di eventi cruciali nella storia del mondo era un fatto innegabile sia per il teologo, sia per il nostro fisico. Whewell scriveva nel 1840: "We are necessarily driven to assume, as the beginning of the present cycle of organic nature, an event not included in the course of nature".¹⁰² L'amore a prima vista di Thomson e Maxwell per gli 'anelli vorticosi' di Helmholtz ha sicuramente a che fare con questo atteggiamento teologico. A proposito del suo modello preferito di 'molecola' Maxwell ha scritto nel 1870:

The generation of a ring-vortex is of course equally beyond the power of natural causes, but once generated, it has the properties of individuality, permanence in quantity, and indestructibility", "such a whirling ring [...] could never be cut in two by any natural cause."¹⁰³

L'inafferrabilità concettuale dell'*inizio* (o di quello presunto tale) divenne per Whewell, e rimase per Maxwell, un baluardo incrollabile della fede nella presenza divina nel mondo. Nel 1844 fu pubblicato anonimo un volume dal titolo *The Vestiges of the Natural History of Creation*, in cui si sosteneva che tutto ciò che era sotto gli occhi degli uomini, compresi loro stessi e il loro comportamento morale. Dal punto di vista strettamente scientifico il libro era pieno di sciocchezze, e quindi facilmente attaccabile, ma per molti lettori l'idea generale che tutto - mondo, uomo e società - rientrasse nello stesso ordine di leggi naturali doveva apparire ben fondata. Così questa volta Whewell attaccò con due successive edizioni di un suo ennesimo libro, le *Indications of the Creator*. Nella seconda edizione, del 1846, scriveva:

The Origin of Man is the Origin of Language, of Law, of Social Relations, of Intellectual and Social and Moral Progress; and though in all these characteristics of humanity we can trace a constant series of changes and movements, we can discern in them no evidence of a beginning homogeneous with the present order of changes.¹⁰⁴

Era quindi proprio il *beginning* ciò che rimaneva inhomogeneo al presente, un residuo irriducibile all'azione delle forze conosciute dalla scienza: "the chain of existing causes does not, in any case, conduct us to its origin; - not in the history of the mass of the earth, nor of its strata, nor of animal life, nor of man".¹⁰⁵ Infine, nel 1863, ben dopo le prime ondate anti-Darwiniane, Whewell scendeva un'ultima volta in campo, ripetendo un po' stancamente le stesse argomentazioni delle *Indications*: "The absence of any conceivable natural beginning leaves room for, and requires, a supernatural origin. Nor do Mr Darwin's speculations alter this result. For when he has accumulated a vast array of hypotheses, still there is an inexplicable gap at the beginning of his series".¹⁰⁶ Darwin era sicuramente d'accordo sull'ultima frase di Whewell, ma in nessun modo avrebbe accettato di fondare su questa ignoranza la certezza di una *supernatural origin*. Maxwell, al contrario, riprendeva l'argomento di Whewell, sostenendolo all'interno del suo campo specifico di ricerca:

In tracing back the history of matter Science is arrested when she assures herself, on the one hand that the molecule has been made, and on the other, that it has not been made by any of the processes we call natural.¹⁰⁷

Come ho già accennato, Maxwell contribuì direttamente al tentativo di una parte cospicua dell'*establishment* britannico di accerchiare Darwin, limitando con una muraglia di obiezioni la portata eversiva delle sue tesi sull'evoluzione e

¹⁰¹ Cit. dal rif. 88, p. 78.

¹⁰² La citazione originale è nella massima opera di Whewell, *The Philosophy of the Inductive Sciences*. Io l'ho tratta dal rif. 88, p. 79.

¹⁰³ "Address", *SPII*, p. 223.

¹⁰⁴ Cit. dal rif. 88, p. 82.

¹⁰⁵ *Ib.*, p. 83.

¹⁰⁶ *Loc. cit.*

¹⁰⁷ "Molecules", 1873, *SPII*, p. 376. Il capoverso successivo a questa affermazione si può leggere nella citazione corrispondente alla nota 97.

sull'origine dell'uomo. Il nostro fisico si arruolò pubblicamente in questa operazione 'lavorando' sui margini dell'impresa Darwiniana, e precisamente sulla teoria alquanto debole della pangenesi. Questa congettura era stata avanzata nella forma riduttiva di "ipotesi provvisoria" nel 1868, in un libro dedicato allo studio empirico della variazione, un punto cruciale della teoria dell'evoluzione. La pangenesi era una teoria particellare, secondo cui il supporto materiale dell'eredità circolava in ogni organismo sotto forma di "gemme" specifiche per quell'organismo. Nel secondo volume dell'opera Darwin, basandosi sul modello della teoria cellulare, affermava: "Bisogna considerare ogni nuova creatura vivente come un microcosmo, un piccolo universo composto da un gran numero di organismi capaci essi stessi di ripetersi, più piccoli di quanto non si possa immaginare e numerosi quanto le stelle in firmamento".¹⁰⁸ Fu esattamente questo il punto d'attacco di Maxwell.

Nella voce *Atom* della *Encyclopaedia Britannica* Maxwell riprese un calcolo, e un ragionamento, che Loschmidt aveva fatto nel famoso articolo in cui aveva stimato per la prima volta grandezze di livello molecolare. Il calcolo partiva dalla dimensione lineare del *minimum visibile* al microscopio ($2,5 \cdot 10^{-5}$ cm); introduceva le dimensioni calcolate per gli atomi (10^{-7} cm), una valutazione del numero medio di atomi in una molecola organica (50), e la presenza di un 50% d'acqua; infine deduceva che nel cubetto di materia vivente corrispondente a quelle dimensioni minime non vi poteva essere più di un milione di molecole organiche: troppo poche per immaginare una complessa struttura in grado di vivere e di riprodursi.¹⁰⁹ Con queste cifre Maxwell andava con mano pesante contro le teorie dei biologi:

Thus molecular science sets face to face with physiological theories. It forbids the physiologist from imagining that structural details of infinitely small dimensions can furnish an explanation of the infinite variety which exists in the properties and functions of the most minute organisms.

[...] Do all the differences, infinite in number, which distinguish the one animal from the other, arise each from some difference in the structure of the respective germs?¹¹⁰

A questo punto Maxwell ironizzava sulle ulteriori meraviglie che ci si poteva aspettare dagli *advocates of Pangenesis*, ma lasciava senza risposta - anche congetturale - l'interrogativo da lui stesso posto. Forse a lui, e ai suoi lettori Vittoriani, bastava l'energica attività dell'aristotelica entelechia prima. Ciò che invece è per certi aspetti singolare è il fatto che Maxwell rivolgesse la sua proibizione solo ai fisiologi, perché proprio un fisico, e non certo marginale, *gli* aveva già risposto *verbatim*. Josef Loschmidt, nelle conclusioni dell'articolo utilizzato dal fisico inglese, e dopo aver proposto la stima ripresa poi da Maxwell, aveva convenuto che il numero calcolato per le molecole organiche present in un *Wurfel* era troppo basso. Aveva allora preso in considerazione l'intento di una possibile complessità degli atomi costituenti le molecole organiche, ma aveva optato per un'altra congettura: l'attrazione di involucri di etere da parte degli atomi poteva servire "al chiarimento dei processi vitali nelle ultime ramificazioni del substrato materiale". Il fisico austriaco ricordava che il ruolo giocato dall'etere nelle teorie della luce e dell'elettricità era tale che non si poteva escludere che "esso giocasse un ruolo significativo anche negli elementi ultimi della materia organizzata". E così terminava il suo ragionamento:

"Unter diesem Gesichtspunkte würde das organische Molecül selbst als der eigentliche Elementar-Organismus erscheinen, von welchem die tastbare Materie nur das Gerüste ausmache, während die dasselbe durchziehenden Ätherhüllen, von unendlich feinerer Materie, raum für eine unerschöpfliche Mannigfaltigkeit des elementaren Lebens gewährten."¹¹¹

¹⁰⁸ Cit. da: A. La Vergata, "Charles Darwin", rif. 80, alle pp. 616-617.

¹⁰⁹ Calcoli attuali ci dicono che nel più piccolo dei procarioti il numero di atomi presenti è di quattro ordini di grandezza maggiore di quello valutato da Loschmidt per il suo *Wurfel* di materia vivente

¹¹⁰ "Atom", 1875, *SPII*, p. 461.

¹¹¹ "Da questo punto di vista la stessa molecola organica apparirebbe come l'effettivo organismo elementare, del quale la materia sensibile costituirebbe solo

Maxwell deve aver considerato del tutto irrilevante il modello di Loschmidt, tuttavia il rapporto del fisico scozzese con la teologia della natura era molto più profondo di quanto si potrebbe supporre basandosi solo sulla linea difensiva dell'ignoranza delle cause prime, o sull'attacco alla pangenesi. Talvolta vi è in Maxwell un atteggiamento francamente contemplativo, come quando al termine della conferenza sulle *Molecules* afferma che dallo studio delle loro proprietà, e quindi dalla fisica molecolare:

we may learn that those aspirations after accuracy in measurement, truth in statement, and justice in action, which we reckon among our noblest attributes as men, are ours because they are essential constituents of the image of Him who in the beginning created, not only the heaven and the earth, but the materials of which heaven and earth consist.¹¹²

Questo è il migliore stile teologico di Maxwell, indistinguibile da quello classico della teologia della natura inglese immortalato nell'opera di William Paley dal titolo emblematico: *Natural Theology: or, Evidence of the Existence and Attributes of the Deity collected from the appearances of Nature*. Pubblicata per la prima volta nel 1802, l'opera di Paley era diventata presto una lettura obbligatoria per gli studenti di Cambridge; qui ci interessa in modo particolare perché è tutta impostata sulla retorica dell' *Argument by Design*, il cui esempio più famoso si basa sulle diverse reazioni di un uomo rispetto all'inciampare in un sasso e al trovare un orologio. Il sasso può essere stato nella brughiera da sempre, ma *the watch must have had a maker*; per Paley solo gli atei non vedono che:

“every indication of contrivance, every manifestation of design, which existed in the watch, exists in the works of nature; with the difference, on the side of nature, of being greater or more, and that in a degree which exceeds all computation.”¹¹³

Nelle sue ricerche di fisica molecolare Maxwell si era convinto che gli oggetti invisibili che stava studiando erano i testimoni universali di un Dio creatore. I passi in cui il nostro fisico tratta questo argomento sono numerosi, ma possiamo ricondurli tutti alle proprietà attribuite alle molecole. Dall'identità degli spettri (atomici...) Maxwell ricavava questa conclusione:

“Each molecule, therefore, throughout the universe, bears impressed on it the stamp of a metric system as distinctly as does the metre of the Archives at Paris [...]. No theory of evolution can be formed to account for the similarity of

l'impalcatura, mentre le spoglie di etere, di materia infinitamente più sottile, che l'inviluppano, garantirebbero la possibilità di un'inesauribile molteplicità della vita elementare”. J.Loschmidt, “Zur Grösse der Luftmolecüle”, rif. 44, p. 406-407; il calcolo delle dimensioni della molecola d'aria è a p. 404. Le *organischen Molecüle* del fisico austriaco ricordano irresistibilmente le *molécules organiques* di Buffon, animate e indistruttibili (sotto questo aspetto più simili alle molecole Maxwelliane). Tuttavia non è necessario retrocedere nel tempo. Una generazione dopo Loschmidt, il fisiologo cellulare tedesco Max Verworn deduceva dagli studi sulla psicologia dei batteri che la psiche poteva essere assunta come una proprietà delle stesse molecole; si veda: rif. 1 (f), pp. 108-111. A proposito ricerche teoriche e sperimentali sulle atmosfere di etere intorno agli atomi si veda il rif. 1 (i), e la letteratura secondaria ivi cit.

¹¹² “Molecules”, 1873, *SPII*, p. 377; si noti l'ordine degli attributi elencati nella citazione: *accuracy, truth, justice*. Va da sé che l'atteggiamento contemplativo, che personalmente condivido e pratico, non implica affatto il rispecchiarsi nell'immagine descritta da Maxwell, anzi in un'immagine qualunque. D'altra parte, quando Maxwell celebra l'opera degli uomini di scienza *in the great work of subduing the earth to our use* (*SPII*, p. 324) si coglie una differenza radicale fra la tradizione ebraico-cristiana e quella (ad esempio) zen.

¹¹³ Alcuni passi molto significativi di Paley, e un'attenta confutazione dell' *Argument by Design* applicato al mondo biologico sono in: R.Dawkins, *The Blind Watchmaker*, London: Penguin, 1988; cit. alla p. 5.

molecules [...]. the exact equality of each molecule to all others of the same kind gives it [...] the essential character of a manufactured article, and precludes the idea of its being eternal and self-existent.”¹¹⁴

Gli attributi ricorrenti riferiti alle molecole sono: “one and indivisible, unalterable by any power in nature”¹¹⁵, “imperishable and unalterable and perfectly similar [...] of exactly the same mass [...] vibrating in exactly the same time”¹¹⁶, “absolutely unalterable [...] absolutely identical”,¹¹⁷ “indestructible”¹¹⁸. Nel testo più rilevante per la teologia naturale di Maxwell, la voce *Atom*, troviamo due frasi la cui precisione semantica è dubbia, ma non la connotazione epistemologica:

“the individual molecules neither are born nor die, they have neither parents nor offspring [...]. If we suppose that the molecules known to us are built up each of some moderate number of atoms, these atoms being all of them exactly alike, then we may attribute the limited number of molecular species to the limited number of ways in which the primitive atoms may be combined so as to form a permanent system”.¹¹⁹

Anche se in questo contesto, come in molti altri, i referenti di *molecules* and *atoms* rimangono opachi le conseguenze epistemologiche delle affermazioni di Maxwell sono chiare, specie se considerate alla luce di quanto abbiamo visto finora. Le molecole hanno le caratteristiche dei ‘manufatti’, ma sono il risultato di eventi soprannaturali, di qui la conseguente impossibilità di modificarle, e tanto meno di costruirle. All’inizio di *Atom* Maxwell discute la costituzione della molecola d’acqua, ¹²⁰ ed anzi della sua *sintesi*; tutti i richiami alla legge di Gay-Lussac implicano la trasformazione di molecole; nel portare l’attacco a Darwin traduce Loschmidt e scrive: “the molecules of organised substances contain an average about 50 of the more elementary atoms”.¹²¹ Qui non mi pare più sufficiente la *distinzione di nomi e di cose* invocata da Cannizzaro. Ricordiamoci che stiamo leggendo testi di un grande scienziato, colto, interessato profondamente agli aspetti filosofici e psicologici della scienza. In un passo famoso egli discute la *Scientific Metaphor* come *figure of speech or of thought*, ¹²² in un altro invita a vigilare sul processo di formazione di *ideas and words*, per evitare *inconsistency*.¹²³ Non credo quindi che, nel caso che più ci interessa, si tratti di trascuratezza semantica, per cui la parola chiave della fisica molecolare Maxwelliana, la parola *molecule*, saltella da una campo semantico all’altro per una svista dell’Autore. L’oscurità che avvolge la molecola chimica, la molecola che si modifica e si costruisce in laboratorio, è un’oscurità teologica, che Maxwell non vuole o non può dissipare.

5. Conclusioni

Nel corso dell’analisi degli scritti di Maxwell abbiamo riscontrato motivazioni diverse che convergono piuttosto rigidamente verso una separazione fra fisica e chimica. Innanzi tutto opera in Maxwell una gerarchia disciplinare fortissima, che rende la *mechanical explanation* del fisico matematico incommensurabile con la *chemical relation* indagata dal chimico al bancone di laboratorio. Il nostro Autore giunge così ad escludere dal suo orizzonte conoscitivo le *symbolic representations* che i chimici organici utilizzano con crescente successo nell’elaborazione delle strategie di sintesi. In effetti l’uso del termine *lump* per definire la molecola - come oggetto microscopico - dovette sembrare uno scherzo ai chimici a cui Maxwell si rivolgeva. Ma l’opacità della chimica non era un problema serio per un intellettuale vittoriano cresciuto nel contesto della *liberal*

¹¹⁴ “Molecules”, 1873, *SPII*, p. 376.

¹¹⁵ “Address”, 1870, *SPII*, p. 222.

¹¹⁶ *Ib.*, p. 225.

¹¹⁷ “Molecules”, *SPII*, p. 374.

¹¹⁸ *Ib.*, p. 375.

¹¹⁹ “Atom”, 1875, *SPII*, p. 480.

¹²⁰ Si ritorni al testo corrispondente alla nota 42.

¹²¹ “Atom”, *SPII*, p. 460.

¹²² *SPII*, p. 226.

¹²³ *A Treatise on Electricity and Magnetism*, cit. dal rif. 3, p.315.

education: la chimica era una scienza progressiva, e come tale priva di autorità rispetto al proprio statuto epistemologico e al proprio impegno ontologico nei confronti del mondo corpuscolare. Infine il rifiuto della 'costruibilità' delle molecole assume un tono dogmatico sotto la pressione della teologia naturale, una pressione tanto più impellente quanto più i chimici sembravano vicini a sciogliere il nodo del 'mistero della vita'.

Gli anni che abbiamo considerato in questa ricerca furono punteggiati da clamorose polemiche sulla generazione spontanea, quali quella celeberrima fra il chimico Pasteur e il biologo Pouchet, e quella suscitata in Inghilterra dalla pubblicazione nel 1872 di *The Beginnings of Life*, un testo del naturalista H. Charlton Bastian. In questo clima acceso il cauto Darwin sognava ad occhi aperti, e nel 1871 si chiedeva: "Se [si potesse] concepire che in qualche piccola pozza calda, ricca di ogni sorta di sali d'ammonio, luce, calore elettricità, si fosse formato chimicamente un composto proteico pronto a sottostare a variazioni più complesse".¹²⁴ Un aspetto molto rilevante di tutte queste controversie è che l'assenza della generazione spontanea è estremamente difficile da dimostrare in molte situazioni sperimentali, anche ben controllate. Contro Bastian si batté in particolare il fisico John Tyndall (1820-1893), che solo nel 1876 riuscì a dimostrare la presenza ubiqua di endospore batteriche resistenti al calore. Tyndall era uno dei pochissimi scienziati Vittoriani dichiaratamente agnostici e materialisti, e al suo sguardo la chimica non era così oscura come si presentava agli occhi di Maxwell. Nel suo *Presidential Address* alla B.A. del 1874 Tyndall affermava che le 'prove' della generazione spontanea erano inconclusive, ma riferendosi agli assertori dell'origine abiologica della vita difendeva la legittimità scientifica del loro punto di vista:

"They know full well that the chemist now prepares from inorganic matter a vast array of substances which were some time ago regarded as the sole products of vitality. They are intimately acquainted with the structural power of matter as evidenced in the phenomena of crystallization. They can justify scientifically their belief in its potency, under proper conditions, to produce organisms".¹²⁵

L'assedio ai fondamenti ideologici della teologia della natura era condotto da scienziati di primo piano, e il rifiuto di Maxwell degli esiti della ricerca chimica era alimentato dalla resistenza a questo assedio. L'orgoglio disciplinare e l'identificazione con la cultura della propria classe sociale legittimavano ulteriormente l'atteggiamento del grande fisico.

Rimarrebbe da discutere quanto tutto ciò abbia inciso sulla ricerca Maxwelliana di fisica molecolare. Thomas Kuhn ha argomentato con qualche dettaglio che gli allievi di Maxwell e lo stesso Boltzmann ebbero difficoltà (postume) a muoversi nelle ambiguità del linguaggio 'molecolare' del nostro Autore. Altrove ho già raccolto questo suggerimento,¹²⁶ e qui ho portato alla luce altro materiale, non solo di natura linguistica. Il mio attuale convincimento è che gerarchie disciplinari e sociali, e barriere teologiche, costituirono seri impacci per la ricerca di Maxwell; forse varrà la pena di approfondire la questione.

¹²⁴ B.Fantini, "La microbiologia", in: P.Rossi (a cura di), *Storia della scienza moderna e contemporanea*, vol. II, t. II, Torino: Utet, 1988, pp. 931-951, cit. alle pp. 943-944.

¹²⁵¹²⁵ J.Tyndall, "Presidential Address to the British Association for the Advancement of Science", in: N.G.Coley, Vance M.D.Hall (a cura di), *Darwin to Einstein. Primary Sources on Science and Belief*, Harlow: Longman, 1980, pp. 35-42, cit. alla p. 37.

¹²⁶ Per l'ipotesi di Kuhn si veda: T.Kuhn, *Alle origini della fisica contemporanea. La teoria del corpo nero e la discontinuità quantica*, Bologna: Mulino, 1981, p. 81. Per il mio contributo si veda rif. 1 (g), pp. 9-14.