

SULLA NATURA ELETTROMAGNETICA DEL CALORE RADIANTE UN ESPERIMENTO DEL 1922

1. Introduzione

Nel 1922 nel laboratorio della National Electric Light di Cleveland nello stato dell'Ohio[715], Ernest Fox Nichols direttore di ricerca del laboratorio e il suo assistente James de Graff Tear ottennero con un oscillatore elettrico speciale di dimensioni ridottissime delle brevissime onde hertziane di 220 u, più corte delle radiazioni emesse dall'incandescenza di una lampada a mercurio-quarzo e ottenute alcuni anni prima da Heinrich Rubens e Otto von Baeyer[716].

In letteratura scientifica l'esperimento del 1922 viene citato come la prova definitiva della natura elettromagnetica della radiazione infrarossa. Una tale affermazione può risultare ambigua se non viene specificato che l'esperimento, lungi da essere un esperimento isolato[717], si inserisce invece in una intensa attività di ricerca degli elettromagnetisti di fine Ottocento, i quali si proponevano non solo di controllare le conclusioni della teoria di Maxwell ma anche di verificare le modalità di propagazione delle onde elettromagnetiche a seconda delle varie bande di frequenze. La verifica della natura elettromagnetica del calore radiante non è che uno dei risultati di questa attività di ricerca, e non certamente l'unico e tantomeno il definitivo. L'esperimento del 1922 servì soprattutto a riempire la regione delle onde hertziane e delle onde infrarosse e ottenere finalmente un passaggio continuo dalla luce visibile alle onde elettromagnetiche.

2. Gli elettromagnetisti fra il 1890 e il 1920

Nel 1886 Heinrich Hertz era riuscito a ottenere onde elettromagnetiche servendosi della scarica oscillatoria prodotta da un rocchetto di Ruhmkorff e di rivelarle per mezzo di opportuni risuonatori. Le onde di Hertz non andavano al di sotto dei sessanta centimetri, ma nel giro di un decennio si era riuscito ad ottenere anche "onde elettriche" molto corte. I successori di Hertz lavorarono infatti in due differenti direzioni. Alcuni tentarono di sviluppare onde elettromagnetiche sempre più corte[718]. Altri imboccarono la strada opposta, cioè quella dello sviluppo di onde sempre più lunghe per la trasmissione di segnali a grande distanza[719]. Con queste onde si cercò di produrre la riflessione, la rifrazione, la interferenza la polarizzazione, cioè i principali fenomeni che presenta la luce e mostrare, tra l'altro, che le onde hertziane sono "il modello esteso delle onde luminose".

L'indagine invece nella regione dell'infrarosso era iniziata già nei primi decenni del secolo scorso; l'estensione delle conoscenze, tuttavia, in questa regione dello spettro, era stata abbastanza lenta. La difficoltà principale nello studio di questo tipo di radiazione consisteva nel trovare segnali di sufficiente intensità[720]; la risoluzione degli strumenti inoltre era tale che non si riusciva a discostarsi molto dal range del vicino infrarosso. Macedonio Melloni ad esempio un pioniere nello studio del calore radiante e la cui attività di ricerca in questo campo coprì gli anni 1830-1845 non superò mai lunghezze d'onda di 1u[721]. Hippolyte Louis Fizeau e Jean Leon Foucault, che nel 1847 riuscirono ad ottenere frange d'interferenza con radiazione infrarossa, non andarono al di là di 1.4 u[722]. Jean Louis Mouton nel 1879 rivelò radiazione fino a 2,14 u[723]. Paul Desain e Pierre Curie nel 1880 arrivarono fino a 7 u[724].

La situazione mutò notevolmente nell'ultima decade del secolo scorso e grazie soprattutto alla scoperta dei raggi residui. Questi sono ottenuti da un fascio di radiazione originariamente policromatica, che in conseguenze a successive riflessioni su determinate sostanze cristalline, risulta alla fine costituito da radiazioni infrarosse sensibilmente monocromatiche. Si tratta di un fenomeno di riflessione selettiva, dovuto all'elevato coefficiente di riflessione che talune sostanze cristalline

presentano nei confronti di radiazioni infrarosse di particolare frequenza. I raggi residui furono scoperti nel 1896 da Heinrich Rubens e Ernest Fox Nichols [725]. Essi si accorsero che alcune sostanze trasparenti per il visibile, come il quarzo, la silvina, il salgemma, potevano riflettere selettivamente con una grande intensità certe radiazioni.

Il metodo che utilizza i raggi residui permise di esplorare il dominio fino al lontano infrarosso risolvendo l'ostacolo principale che fino ad allora avevano incontrato i ricercatori :

The great difficulty which accompanies the study of infrared waves of great wave length is that these rays form only the minutest part of the total energy emitted by the flame or incandescent body used as a source. Consequently their properties are to be studied, these waves must be separated from others which completely overlap and conceal them. [726] .

E' con questa tecnica che furono verificate un numero importanti di conclusioni della teoria di Maxwell. Nel 1897 infatti si accertò che nel dominio dell'infrarosso vi sono fenomeni di risonanza analoghi a quelli ottenuti con le "onde elettriche" prodotte da un oscillatore hertziano[727]. Fenomeni di aberrazione cromatica furono scoperti nel 1899[728]. Nel 1904 invece si scoprì che per le radiazioni infrarosse il potere riflettore dei corpi conduttori si ricava dalla conducibilità dielettrica[729]. Infine nel 1911 Henri Du Bois e Rubens scoprirono che la polarizzazione della radiazione nel lontano infrarosso si accorda con la teoria di Maxwell[730].

La distribuzione dell'energia nello spettro infrarosso era stata analizzata con rivelatori termoelettrici che erano stati utilizzati fino agli anni sessanta del secolo scorso. Samuel Langley aveva poi introdotto, nel 1880, il bolometro. A questo strumento si affiancò il radiometro[731], che modificato negli anni da vari ricercatori[732] si rivelò molto utile non solo per le ricerche sul calore radiante ma anche per lo studio delle "onde elettriche"[733].

I metodi comuni di indagine nel dominio del lontano infrarosso e delle onde elettromagnetiche molto corte (le micro-onde) permettevano di avvicinare nonché di congiungere questi due spettri. Ma fino alla prima decade di questo secolo si era lontani dall'aver completato la conoscenza in questo intervallo di frequenze. Ad esempio Rubens e Otto von Bayer nel 1910 avevano ottenuto con un oscillatore elettrico onde di due millimetri, le più corte ottenute fino ad allora. Gli stessi l'anno successivo erano riusciti a rivelare radiazioni di 314 μ provenienti da una sorgente di luce come la lampada a mercurio-quarzo[734], e tuttavia ancora molto distanti da quelle ottenute con un oscillatore elettrico. La sovrapposizione infatti degli spettri si ebbe solo dieci anni dopo, nel 1922 e per merito di due fisici americani Ernest Fox Nichols e James de Graff Tear.

3. L'esperimento del 1922

Nichols si era occupato di "onde di calore" nel suo soggiorno di studi a Berlino dove era rimasto dal 1894 al 1896 collaborando sia con Ernest Pringsheim sia con Rubens. Durante il suo soggiorno berlinese provvide a migliorare il radiometro di Crookes[735]; il suo nome è soprattutto legato a questo strumento che grande parte ha avuto nella ricerca del lontano infrarosso.

Al suo ritorno in patria, dopo aver ricoperti vari incarichi, nel 1921 Nichols fu nominato direttore di ricerca del laboratorio del N.E.L.A di Cleveland. Durante il periodo in cui ricoprì questa carica riprese le sue ricerche iniziate a Berlino con Rubens e soprattutto affrontò il problema che teneva occupati molti elettromagnetisti dell'epoca, cioè riprodurre i fenomeni propri delle "onde di calore" utilizzando "onde elettriche".

Collaborò all'esperimento di Nichols il giovane suo assistente Tear. L'esperimento consisteva nell'utilizzare come generatore un oscillatore hertziano, costituito da due piccolissimi cilindri di tungsteno racchiusi in tubi di vetro. Fra questi cilindri di tungsteno si generava la scintilla.

Ovviamente la lunghezza delle onde che escono dall'oscillatore dipende sia dalla lunghezza sia dal diametro del cilindro di tungsteno.

Generalmente il ricevitore di onde hertziane era costituito da un risonatore e da un rivelatore. Nel radiometro modificato da Nichols questi due elementi erano racchiusi entrambi nel sistema di sospensione. Infatti su una delle palette di mica veniva deposto un sottile strato di argento o di platino, poi inciso secondo un quadrigliato, affinché le piccole aree metalliche contigue fungessero da risonatore. Le misure delle lunghezze d'onda erano effettuate con un interferometro tipo Boltzmann.

Con questo apparato strumentale Nichol e Tear ottennero onde elettromagnetiche di 220 u. Queste erano non solo le onde più corte ottenute fino ad allora con un oscillatore elettrico, ma anche più corte di quelle provenienti dall'incandescenza di una lampada a mercurio-quarzo[736].

I risultati dell'esperimento furono pubblicati nel 1923 sulla rivista *Physical Review*[737]; un estratto del lavoro apparve anche nell'annuale rapporto della Smithsonian Institution del 1923 [738].

Al congresso della National Academy of Science del 1924 Nichols intervenne per illustrare ai presenti come dal risultato dell'esperimento si ricavava che i due spettri si erano non solo congiunti ma anche parzialmente sovrapposti. [739]

Se si escludono alcuni interessanti lavori[740] non sono molti gli studiosi che si sono occupati dell'attività degli elettromagnetisti degli inizi di questo secolo. I pochi studiosi che citano l'esperimento di Nichols e Tear del 1922 lo fanno solo per fornire la prova definitiva della natura elettromagnetica della radiazione infrarossa. Una tale affermazione, come si è già detto sopra, può essere non corretta non solo perché va al di là delle intenzioni degli stessi autori: *There is doubtless little need of any further experimental proof of the essential identity between heat waves and electric waves*, [741] ma soprattutto perché avalla una tendenza nella storia della fisica, oramai per fortuna non più molto diffusa, della priorità della scoperta scientifica.

[715]La National Electric Light Association, da ora in poi citata come NELA, era un dipartimento della General Electric Company, uno dei maggiori centri di sviluppo elettrico americano e tuttora attivo.

[716]H. Rubens, O. von Baeyer, *On Extremely Long Waves, emitted by the Quartz Mercury Lamp*, *Phil. Mag.* **21** (1911), 689-695.

[717]Nel 1923 Alexandra Arkadjeva-Glagoleva ottenne con un oscillatore elettrico delle onde elettromagnetiche con una lunghezza d'onda di 82 u, più brevi di quelle ottenute l'anno prima da Nichols e Tear. Cfr. A. Arkadjeva-Glagoleva, *Eine neue Strahlungsquelle der kürzen elektromagnetischen wellen von ultrahertzscher frequenz*, *Zeitschrift für Physik*, **23** (1923), 153-165.

[718]Gli italiani Augusto Righi e Antonio Garbasso ottennero onde elettromagnetiche di pochi centimetri e alcuni anni dopo l'austriaco Anton Lampa riuscì a produrne di pochi millimetri. Cfr. G. Dragoni, Augusto Righi- L'indagine sperimentale del mondo fisico, in A. Guagnini, G. Pancalde (a cura di), *Cento anni di radio. Le radici dell'invenzione*. Edizioni Seat 1995.

[719]Guglielmo Marconi fu uno dei maggiori rappresentanti di questo filone di ricerca; cfr. M. G. Ianniello (a cura di), *Cento anni di radio da Marconi al futuro delle telecomunicazioni*. Marsilio Editori, Venezia 1995.

[720]Un corpo riscaldato è una sorgente ordinaria di radiazione infrarossa; per una temperatura poco elevata l'intensità della radiazione è piccola. All'aumentare della temperatura l'intensità dell'energia

irradiata cresce rapidamente ma il massimo della radiazione si sposta verso le onde più corte, in modo che l'energia irradiata nella regione delle onde lunghe cresce in modo insufficiente. Cfr. G.S. Lundsberg, *Ottica* vol. I p. 400.

[721]Cfr. E. Scott Barr, *The infrared Pioneers*, *Infrared Physics*, **3** (1963), p.195- 206.

[722]H. L. Fizeau, J. L. Foucault, *Recherches sur les interférences des rayons calorifiques*, *Comptes Rendus des Sciences de l'Académie des Sciences* **25** (1847) 447-450.

[723]J. L. Mouton, *Sur la détermination des longueurs d'onde calorifique*, *C. R.* **88** (1879), 1078-1082.

[724]P. Desain, P. Courie, *Recherches sur la détermination des longueurs d'onde des rayons calorifiques à basse température*, *C. R.* **80** (1880), 1506-1509..

[725]. H. Rubens, E.F. Nichols, *Über Warmestrahlen von grosser Wellenlänge in Naturwissenschaftliche Rundschau*, **11**(1896), 545-599.

[726]H. Rubens, E.F. Nichols, *Heat rays of great wave length*, *Phys. Rev.* **4** (1897), 314-323.

[727]H. Rubens, E.F. Nichols, *Certain properties of heat Waves of great wave-length*, *II Phys. Rev.* **4** (1897) 152-169.

[728]Aschkinass, H. Rubens, *Certain properties of heat Waves of Great wave- length* *Phys. Rev.* **4** (1897), 152-169

[729]E. Hagen, H. Rubens, *On same relations between the optical and the electrical qualities of metal*, *Phys. Rev.* **7** (1904), 157

[730]H. Du Bois, H. Rubens, *Polarisation long-wellinger Warmestahlung durch Hertzsche Drahtgithier*, *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, **13** (1911) 431-444.

[731]Il radiometro fu ideato da William Crookes nel 1873. E' costituito da un palloncino di vetro, contenente un gas a pressione molto bassa, e in cui è sospeso su un ago verticale un leggero mulinello formato da quattro palette di mica. Le palette sono annerite con nero fumo solo da una parte.

[732] Cfr. H. E. Webb, L. E. Woodman, *Electric wave receivers*, *Phys. Rev.* **30** (1910) 192-198.

[733]Soprattutto i perfezionamenti apportati da E. F. Nichols resero lo strumento il più adatto per lo studio del calore radiante. Pur utilizzando lo stesso principio del primo radiometro ideato da Crookes, alcuni accorgimenti ne avevano migliorato la sensibilità. Nichols aveva ridotto le palette a due e aveva sospeso il mulinello ad un sottilissimo filo di quarzo. Con questa disposizione il mulinello ruota finché la torsione del filo equilibria la forza che tende a farlo girare. La deviazione viene misurata, come nei galvanometri, col metodo di Poggendorff per mezzo di uno specchietto solidale col mulinello.

[734]H. Rubens, O. von Bayer , *On Extremely Long Waves emitted by the Quartz Mercury Lamp*, *Philosophical Magazine* **21** (1911) 689-695.

[735]E. F. Nichols, *Phys. Rev*, *A method for energy measurements in the infra-red spectrum and the properties of the ordinary ray in quartz for waves of great wave length*, *Phys. Rev.* **4** (1897), 297-313.

[736]H. Rubens, O. von Bayer, loc. cit.

[737]E. F. Nichols, J. D. Tear, *Short electric waves*, Phys. Rev. 21 (1923), 587-610.

[738]E. F. Nichols, J. D. Tear, *Joining the electric wave and heat wave spectra*, Annual Report of the board of regents of The Smithsonian Institution, 175-185. Washington Government printing office 1925.

[739]Malaguratamente nel corso della conferenza Nichols ebbe un malore e da lì a poco morì. Tear invece andò via dal NELA nel 1925; per un periodo continuò ad occuparsi di migliorare il radimetro e di aspetti teorici quali la pressione di radiazione, ma poi nel 1933 si trasferì alla Ford Instrument, occupandosi fra l'altro di controlli automatici di aerei.

[740]Cfr. H. Kangro, *Early history of Planck's radiation law*, Taylor & Francis 1976.

[741]E. F. Nichols, J. D. Tear, *Short electric waves*, Phys. Rev. 21 (1923), 587-610.