

# LO SPETTROBOLOMETRO DI LANGLEY VERSO LA CURVA DI CORPO NERO

ANNA MARIA LOMBARDI  
CIRSFIS, Università degli Studi di Padova

## 1. Introduzione

Il 25 ottobre 1900, Rubens e Karlbaum confrontarono i risultati dei loro esperimenti sullo spettro di corpo nero con le teorie e le formule proposte da Planck, Wien, Rayleigh, Thiesen e Lummer & Jahnke. Come è noto, la loro conclusione, che la formula proposta da Planck fosse la più corretta, aprì le porte ad una nuova era per la fisica, che porterà alla nascita della meccanica quantistica.

In queste pagine vogliamo ricostruire le modalità con cui la comunità scientifica arrivò ad accumulare i dati sperimentali relativi alla radiazione di corpo nero, soffermandoci sulle diverse possibilità, risalenti all'ultimo ventennio del XIX secolo, di organizzare e rappresentare le informazioni raccolte dagli strumenti. Ci faranno da filo conduttore le ricerche realizzate da S. P. Langley nel campo della misura della intensità della radiazione.

Il ruolo dello scienziato americano nell'ambito delle ricerche sul corpo nero è già stato riconosciuto per esempio da T. Kuhn, il quale scrisse: "Published barely eight years before Planck took up the black-body problem, Langley's experiments are the mere beginning of the work on which the development and evaluation of quantitative black-body laws would depend"<sup>1</sup>.

Siamo qui interessati a mettere in luce lo stretto legame tra le caratteristiche dello strumento costruito dallo scienziato, il bolometro, e i progressi che questo consentì di compiere. Sullo sfondo potremo seguire l'evoluzione delle motivazioni che spinsero Langley nelle sue ricerche, e cogliere così alcune connessioni tra settori di ricerca che in seguito appaiono nettamente scollegati (in particolare tra l'astronomia e la fisica della radiazione). Il nostro interesse primario resta comunque concentrato sul modo in cui cambiò l'immagine dello spettro di intensità della radiazione nel corso degli ultimi due decenni del 1800, e come a questo cambiamento contribuì l'attività di Langley.

---

<sup>1</sup> Kuhn, T. S. *Black-body theory and the quantum discontinuity 1894-1912*, New York, Oxford University Press, 1978: 8.

Negli anni 1879-1880 Samuel Pierpont Langley, allora direttore dell'osservatorio di Allegheny, nei pressi di Pittsburgh, decise di intensificare gli sforzi attorno ad un tema di ricerca che sopra ogni altro sembrava catturare il suo interesse: il valore della costante solare<sup>2</sup>. Si trattava allora di un argomento di punta, sul quale non era ancora stato raggiunto un accordo, e lo scienziato americano riteneva in generale sottostimati i differenti valori forniti dai suoi colleghi; egli era convinto che, per ottenere una migliore approssimazione, fosse necessario studiare approfonditamente il fenomeno dell'assorbimento selettivo, per il quale differenti lunghezze d'onda vengono assorbite in percentuali diverse dalla atmosfera terrestre. È per questo motivo che iniziò a perfezionare quello strumento, che brevettò nel 1881 con il nome di bolometro - dal greco βολη (raggio) e μέτρον (misura) -, con cui era possibile misurare l'intensità della radiazione incidente ad una data lunghezza d'onda, e che, sempre nello stesso anno, organizzò una importante spedizione scientifica sulla più alta cima della Sierra Nevada, in California. Proprio nel corso di questa avventurosa missione, Langley raccolse un risultato inatteso, permesso dall'estrema sensibilità dell'apparato bolometrico: nella regione del lontano infrarosso, fuori dal range dove si riteneva esclusivamente concentrata la radiazione proveniente dal Sole, osservò la riga in seguito battezzata Ω, corrispondente ad una lunghezza d'onda di circa 2 μ; questa scoperta apriva l'esplorazione di un territorio del tutto vergine. Di ritorno all'Allegheny, avendo compreso le potenzialità del nuovo strumento, Langley si dedicò al perfezionamento dell'apparato sperimentale e all'ideazione di nuove disposizioni dello stesso, che consentissero diversi tipi di misure.

I dettagli del bolometro di Langley, come pure l'evoluzione nel corso dell'ultimo ventennio del XIX secolo delle caratteristiche dell'apparato stesso e del tipo di misure effettuate, sono già stati descritti in un precedente lavoro<sup>3</sup>; nelle pagine seguenti, pur fornendo una sintetica presentazione dello

---

<sup>2</sup> Un collaboratore di Langley all'osservatorio di Allegheny, nonché suo amico per oltre trent'anni, J. A. Brasher, ricorda: "In his studies in the domain of solar physics, Professor Langley was early impressed with the idea that much of the radiant energy from the Sun was not recognized by the instruments then in use and after a long series of experiments, discovered and developed that marvelously delicate instrument, the bolometer." Brashear, J. A. *Miscellaneous Scientific Papers of the Allegheny Observatory*, new series, n. 19, reprinted from *Popular Astronomy*, XIV, 1906.

<sup>3</sup> Lombardi, A. M. *The Bolometer and the Spectro-Bolometer, as Steps towards the Black Body Spectrum*, "Nuncius", II fasc., 2003, in corso di pubblicazione.

strumento, procederemo piuttosto ad occuparci di un aspetto specifico, legato alla rappresentazione grafica dei dati raccolti.

Difatti, le nuove possibilità sperimentali garantite dallo strumento, come pure alcune sue caratteristiche intrinseche, contribuirono a modificare la forma in cui venivano raccolti e presentati i dati relativi alla radiazione emessa dal Sole e dalle sorgenti di laboratorio; e le stesse riflessioni pubblicate da Langley sulle modalità in cui sarebbe stato possibile presentare i dati raccolti testimoniano il fatto che la cosiddetta curva di corpo nero, di cui riconosciamo la rilevanza per la nascita della meccanica quantistica, sia il frutto di scelte che si sono succedute nella seconda metà dell'Ottocento, e non l'unico modo possibile di presentare i risultati degli esperimenti.

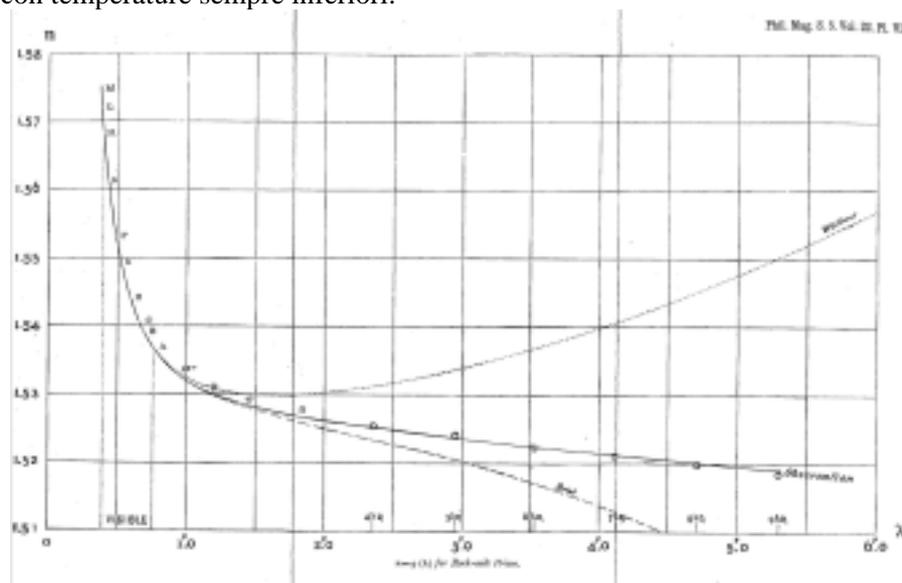
Il bolometro in questo cammino ebbe un ruolo da protagonista: innanzitutto la sua estrema sensibilità permise la realizzazione di spettri normali anche nell'infrarosso; la sua versatilità nel rilevare l'intensità della radiazione in un vasto range di lunghezze d'onda, dal lontano infrarosso all'ultravioletto, rese possibile confrontare intervalli che precedentemente erano studiati separatamente; inoltre, la caratteristica intrinseca di registrare i dati come grafici dell'intensità di energia in funzione della lunghezza d'onda, con procedimenti via via automatizzati, rappresentò una risorsa importante ed unica, a cui si rivolsero nell'ultimo decennio del secolo i teorici della radiazione.

## **2. Lo spettrobolometro, cos'era e cosa misurava.**

Come abbiamo detto, una analisi approfondita che risponde a queste domande è stata realizzata in un recente lavoro. In sintesi, il bolometro è una evoluzione del termometro differenziale, simile al termometro a resistenza di Adolph F. Svanberg; si tratta in pratica di un ponte di Wheastone in cui a far variare la resistenza in uno dei due bracci non è che la variazione di temperatura dovuta all'intensità dell'energia incidente su tale braccio. L'ago del galvanometro annesso ruota allora di un angolo, che è direttamente proporzionale alla variazione di resistenza, e che è possibile leggere misurando la deviazione di un raggio luminoso incidente su uno specchio fissato al galvanometro.

Il bolometro, accoppiato ad uno strumento analizzatore che separa le diverse lunghezze d'onda, è quindi in grado di misurare la differenza nell'intensità di energia incidente per ciascuna  $\lambda$ , o analogamente di misurare la differenza nell'intensità incidente per una stessa  $\lambda$  a due altitudini differenti, dimostrandosi così utile allo studio dell'indice di assorbimento atmosferico della radiazione solare per quella data lunghezza d'onda. Per

questo motivo il bolometro diviene lo strumento centrale della spedizione organizzata da Langley sul monte Whitney, durante la quale, oltre ai risultati sull'assorbimento selettivo, lo scienziato americano scopre l'esistenza di una nuova regione dello spettro solare nel lontano infrarosso, oltre quello che all'epoca è considerato come un limite per la rilevazione della radiazione solare<sup>4</sup>. Ritornato al laboratorio dell'Allegheny, Langley decide di intensificare le ricerche in questa regione dello spettro, dapprima utilizzando come sorgente il Sole, in seguito sfruttando anche sorgenti di laboratorio, con temperature sempre inferiori.



**Fig. 1** – Nel diagramma Langley mostra alcune delle formule proposte per l'andamento dell'indice di rifrazione in funzione della lunghezza d'onda; appare evidente come esse coincidano nel range del visibile, mentre divergono (anche dai dati sperimentali!) nella regione dell'infrarosso.

Egli intende arricchire la conoscenza delle regioni inesplorate dell'infrarosso, e contemporaneamente stabilire se esista realmente un limite teorico per la lunghezza d'onda della radiazione emessa da una certa sorgente, limite che all'epoca veniva estrapolato con l'ausilio di formule per

<sup>4</sup> Per esempio Draper riteneva che lo spettro solare fosse limitato a lunghezze d'onda superiori al limite di 1  $\mu\text{m}$ ; cfr. Draper, A. *On the Phosphorograph of a Solar Spectrum, and on the lines in the Infra-red region*, "Proceedings of the American Academy", XVI, 1880: 233.

l'indice di rifrazione, quali quelle di Briot, di Cauchy, di Redtenbacher, di Hartmann (formule che coincidevano nel visibile, ma divergevano nell'infrarosso, dove non erano confortate o smentite da dati sperimentali). Con piccole variazioni dell'insieme dell'apparato sperimentale, Langley può inoltre utilizzare lo spettroscopio per l'indagine della curva di rifrazione nell'infrarosso, permettendo così di scartare le formule proposte in precedenza [vedi fig. 1].

### **3. Verso uno spettro "normale"**

Gli anni Sessanta del 1800 sono caratterizzati dalla ricerca di uno spettro che costituisca uno standard, un riferimento per tutti i ricercatori impegnati nei diversi laboratori; è in questo ambito che assume particolare rilevanza il concetto di 'normalità dello spettro'. Se da un lato viene detto 'normale', e contrapposto a quello prismatico, quello spettro ove la spaziatura delle righe spettrali è linearmente proporzionale alle lunghezze d'onda corrispondenti, dall'altro l'attributo 'normale' viene riservato a quello spettro ideale, ancora da individuare, che corrisponde al modo più naturale e/o efficace di organizzare e rappresentare le informazioni rese disponibili dall'analisi spettrale.

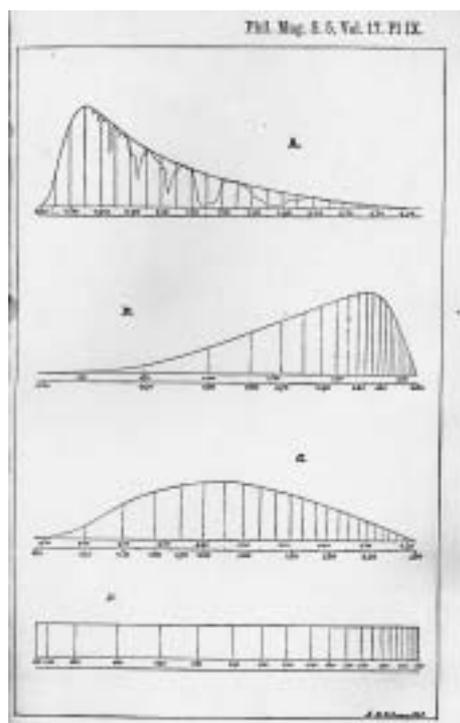
Nel 1861 G. R. Kirchhoff prepara una tavola con una mappa dettagliata dello spettro solare, sulla quale le linee principali vengono riferite direttamente alle letture eseguite su quel particolare apparato sperimentale. La tavola rimane per molti anni uno standard internazionale, ma presto risulta evidente un suo grave difetto: si tratta di uno spettro prismatico, che risente perciò delle particolari proprietà ottiche dell'apparato utilizzato dallo scienziato tedesco; ogni laboratorio ottiene spettri molto simili, ma non immediatamente sovrapponibili a quello. Senz'altro utile per verificare la presenza di gruppi di righe, o per rintracciare un elemento riconoscendo la posizione di una riga rispetto ad altre di cui si conosceva l'origine, lo spettro di Kirchhoff resta tuttavia una scala arbitraria.

Per questo motivo è salutato con entusiasmo lo spettro solare normale ottenuto nel 1868 da J. Ångström; esso è ottenuto utilizzando un reticolo al posto di un insieme di prismi. Non risente quindi del particolare apparato utilizzato, ma consegna una rappresentazione dei risultati ove le lunghezze d'onda si succedono con una spaziatura in scala lineare. Ogni ricercatore è perciò in grado di sovrapporre il proprio spettro normale a quello scelto come standard, ovvero, essendo in possesso di uno spettro prismatico, "trasporlo" in uno normale con l'ausilio delle formule di rifrazione che nel visibile, come abbiamo visto, forniscono valori sostanzialmente simili. La

tavola di Ångström resterà lo standard più diffuso fino al 1887, data in cui inizierà la pubblicazione delle tavole di H. A. Rowland, rese nettamente più precise dall'utilizzo di migliori reticoli e di più moderne tecniche fotografiche, nonché dall'applicazione del reticolo concavo, inventato dallo stesso Rowland.

Lo spettro di Ångström copre però un range limitato dello spettro elettromagnetico, non molto più esteso del visibile. L'estensione dello spettro risulta difficoltosa soprattutto nella direzione dell'infrarosso: il problema consiste nel fatto che in quelle regioni uno spettro normale non è concretamente realizzabile a causa dell'esigua intensità delle energie incidenti. Se è possibile rilevarle con la tecnica prismatica, in quanto il prisma tende a concentrare le lunghezze d'onda più lunghe in intervalli sempre più ristretti, l'operazione è resa improponibile se effettuata per mezzo di un reticolo che, oltre ad assorbire una buona frazione dell'energia incidente, dilata la zona dell'infrarosso in maniera lineare rispetto alla lunghezza d'onda. E questo non è l'unico difetto del reticolo di diffrazione: esso produce contemporaneamente diversi ordini di spettri, che spesso si sovrappongono, rendendo così arduo distinguere le intensità delle singole componenti.

Il bolometro permette di superare entrambi gli scogli, da un lato grazie alla sua sensibilità, che permette di misurare già nel 1886 intensità dell'ordine dei  $10^{-5}$  °C con l'errore dell'1% dopo un'esposizione di 1 secondo, dall'altro per l'efficace accoppiamento di un prisma al reticolo di diffrazione, avente il compito di isolare un singolo ordine spettrale.



**Fig. 2** – “*The conventional character of the methods of showing energy distribution*”: Langley raccoglie esempi di rappresentazioni dei dati spettroscopici, proposti da suoi contemporanei. Nello schema: A, uno spettro normale con ascissa  $x = \lambda$ ; B, lo spettro utilizzato da Stoney, con  $x = 1/\lambda$ ; C, uno spettro proposto da Rayleigh, con  $x = \log \lambda$ ; D, il particolare spettro proposto da Langley, in cui resta costante l’ordinata ma varia la spaziatura tra le lunghezze d’onda in ascissa.

Langley sottolinea in più lavori l’importanza di poter ottenere uno spettro normale in regioni dell’infrarosso dove le formule per la rifrazione, che permettevano di standardizzare i dati prismatici, si erano dimostrate non valide. Propone inoltre una riflessione più profonda sul significato di ‘normalità’ di uno spettro:

“Did the word ‘normal’, then, signify ‘absolute’, there would be no spectrum, exclusively entitled to such a name; but, in this connection, the word is always to be understood in its radical meaning of an accepted rule or type of construction. Such a type exists in the wave-length spectrum; and it has obtained general acceptance, not

only on account of its simplicity and convenience, but also of its, at present, unique claim to be a 'natural' one. It is properly distinguished as the 'natural' scale from its not merely representing a mental picture of the distribution of the energy, under a very simple law, but of actually being that which do produce by our most efficient optical apparatus, and make visible and measurable at will.

While we remain at liberty, then, to represent the energy spectrum in terms of wave-frequency, or the reciprocal of the square of the wave-length, or of any other function of it, and while we may often find occasion to use these scales for some special purposes, we are (and all the more especially that we habitually speak in terms of wave-length) led by considerations of a practical kind to take as our normal or standard scale that of the wave-length itself.”<sup>5</sup>

Langley è convinto che rappresentazioni diverse permettano di cogliere aspetti diversi del fenomeno in oggetto. E, dopo aver ricordato le scelte operate da alcuni suoi contemporanei [vedi FIG. 2], espone la propria ricetta di spettro 'normale': uno spettro in cui l'ordinata è costante, mentre la spaziatura tra le lunghezze d'onda in ascissa è tale per cui l'area compresa in un intervallo  $\Delta\lambda$  è proporzionale all'intensità di energia misurata in tutto l'intervallo.

#### 4. Verso uno spettro “unico”.

Attorno agli anni 1840, la radiazione emessa da una sorgente luminosa è descritta, per esempio da J. Herschel e J. W. Draper, come una miscela di raggi di diverso tipo, classificati come visibili, attinici e calorifici. Essi corrispondono ai diversi spettri che si osservano con tecniche sperimentali differenti; oltre allo spettro visibile, ottenuto semplicemente osservando o fotografando la luce proiettata su uno schermo dopo aver attraversato uno strumento analizzatore (a prismi o reticolo), vi è difatti uno spettro chimico, o attinico, che ha il suo massimo nell'ultravioletto e che si ottiene sfruttando le proprietà chimiche di alcuni sali d'argento; vi è infine lo spettro termico, con massimo al di sotto della riga A di Fraunhofer, che viene prodotto con procedimenti termometrici, termografici o termoelettrici. È possibile tentare di ricavare come prodotto finale un'unica curva, ma la maniera in cui comparare dati relativi ad effetti diversi resta arbitrari, e scelte diverse portano a risultati molto differenti tra loro<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> Lord Rayleigh, *Experimental Determination of Wave lengths in the Invisible Prismatic Spectrum*, "Philosophical Magazine", 1884, 5° s., **17**: 195-6.

<sup>6</sup> In realtà a questi tre tipi principali di spettri si affiancavano anche gli spettri fosforogenici (vedi ad es. i lavori di Stokes e Becquerel).

L'idea che la radiazione non sia composta da una miscela di raggi, ma da un unico tipo di energia che reagisce in maniera diversa a seconda dello procedimento sperimentale con cui la indago era già stata avanzata da Biot, fin dal 1813. Ma aveva trovato subito molti oppositori, tra cui D. Brewster; negli anni '30 M. Melloni aveva dedicato molti anni della sua attività alla realizzazione di esperimenti che mettesse in luce le differenze tra raggi calorifici e raggi luminosi. E, se alla fine degli anni '70 la sostanziale identità tra le radiazioni luminose, chimiche e calorifiche è ormai una tesi diffusa, l'idea fa ancora fatica a radicarsi all'interno della comunità scientifica. Per esempio, ancora nel 1882 Young decide di aggiungere al proprio libro *The sun* un'appendice di 11 pagine, scritta da Langley ed interamente dedicata ai progressi resi possibili dal bolometro.

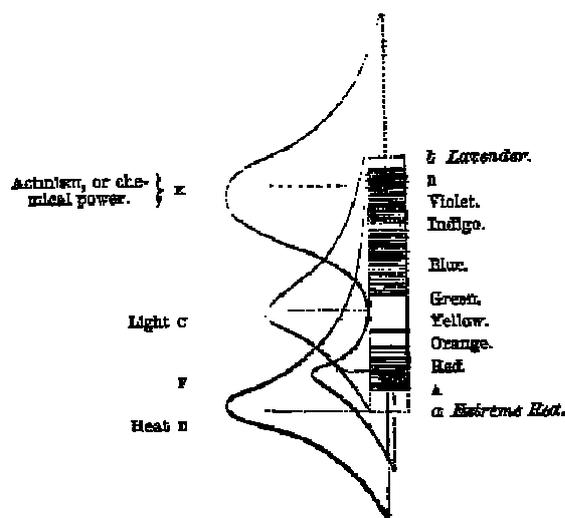
Qui leggiamo:

“Although it is well understood that the expressions “thermal”, “luminous” and “chemical” rays are misleading, and that we are, in the solar spectrum, concerned only with one and the same energy, which is interpreted to us in terms of heat, light, and chemical action, according to the medium by which it is perceived, an experimental proof of this can hardly be without interest”, e “we are still in danger of using the diagrams of the text-books, where three curves are given for ‘heat’, ‘light’, and ‘actinism’ ...”<sup>7</sup>.

Il pericolo di continuare a considerare la luce come composta da una miscela di radiazione viene così scongiurato utilizzando lo strumento proposto da Langley. Difatti il bolometro è in grado di misurare l'intensità della radiazione dall'ultravioletto al lontano infrarosso, e permette di tracciare una unica curva, in cui risulta ben evidente la posizione dell'unico massimo di intensità.

---

<sup>7</sup> Langley, in: Young, C. A., *The sun*, London, Kegan Paul, Trench & Co., 1882:



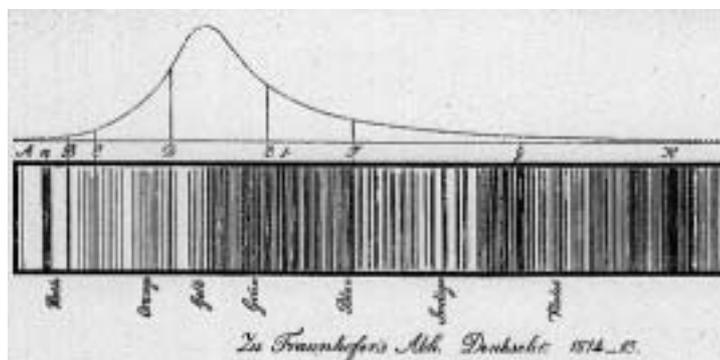
Tuttavia, ancora nel 1889 Langley terrà nelle università americane conferenze dal titolo “Storia di una dottrina”, nel tentativo di convincere i colleghi del fatto che la radiazione, che ci appare in maniera differente perché osservata con tecniche diverse, non ha che una unica natura.

## 5. Dalla curva di intensità allo spettro a righe

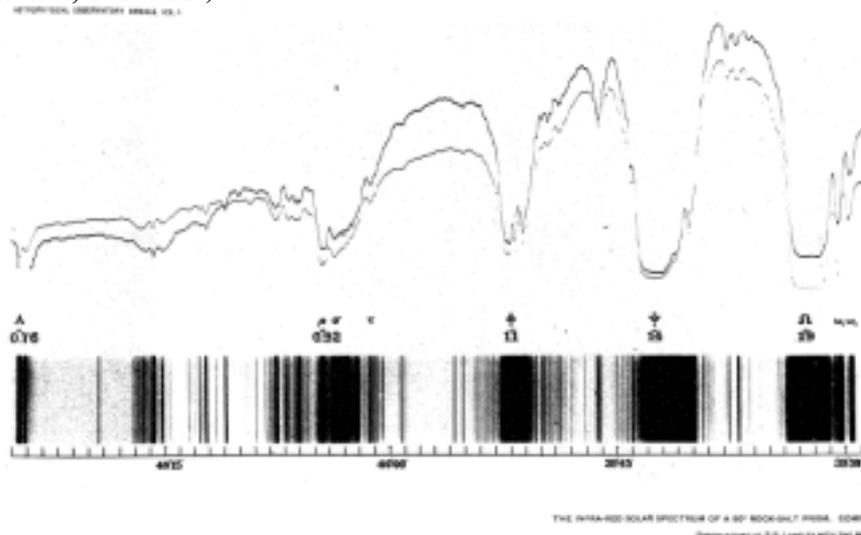
Le figure 4 e 5 raccontano una strana storia: nella prima immagine Fraunhofer riporta, nella parte inferiore, lo spettro a righe che egli osserva direttamente; nella parte superiore disegna invece lo spettro delle intensità di energia dedotto a vista da quello a righe. Nella immagine successiva, Langley riporta nella parte superiore il bolografo, uno spettro delle intensità di energia registrato meccanicamente dal suo bolometro; nella parte inferiore riporta uno spettro a righe dedotto a vista dal bolografo. La preoccupazione di Langley non è quella di Fraunhofer, che cercava di fornire più informazioni di quelle riportate da uno spettro a righe; piuttosto, egli cerca di trasformare il proprio risultato, che è più ricco di informazioni, in uno strumento che sia accettato come “scientifico” dai colleghi.

Innanzitutto, ciò che anche ai suoi occhi rendeva più valido uno spettro a righe era il fatto che, grazie all’introduzione delle tecniche fotografiche, il processo di registrazione dei dati escludeva la forzata componente soggettiva introdotta dall’osservatore, possibile fonte di errore. Per questo motivo, tra il 1890 e il 1894 Langley cerca di semplificare il processo di misura,

introducendo una lastra fotografica e un meccanismo di movimento automatico, sincronizzato con lo spostamento del bolometro.



**Fig. 4 – Lo spettro solare disegnato da Fraunhofer nel 1815 (e pubblicato nel 1817: “Bestimmung des Brechung ...”, *Denkschriften der K. Acad. der Wiss. zu München*, 5: 193-226).**



**Fig.5 – Un bolografo registrato da Langley nel 1900 e, nella parte inferiore, lo spettro a righe ricavato da quello.**

Un raggio di luce incide su uno specchietto fissato all'ago del galvanometro; la luce riflessa incide direttamente sulla lastra fotografica, che si sposta appunto contemporaneamente al bolometro, così da registrare

direttamente una curva dove appaiono in ordinata le intensità di energia e in ascissa le lunghezze d'onda. La curva ottenuta con tale sistema è detta bolografo, e permette di osservare spettri di estrema precisione ed alta risoluzione, in cui appaiono evidenti i multipletti. Ma Langley non è ancora soddisfatto, anche perché la comunità a cui intende offrire i propri risultati è oramai abituata a leggere a vista l'andamento delle intensità di energia direttamente dagli spettri a righe, che con Rowland hanno raggiunto una precisione riconosciuta da tutti.

“The writer has desired, however, to present in addition, for the convenience of the reader, linear spectra, especially if these could be obtained from the curves by some purely automatic process<sup>8</sup>.”

Ecco perché notevoli sforzi vengono affrontati da Langley nell'ultimo decennio del XIX secolo, nel tentativo di rendere automatica la trasformazione dei bolografi in spettri a righe attraverso un laborioso processo basato su lenti cilindriche ed apparati fotografici<sup>9</sup>. Purtroppo i suoi sforzi non saranno premiati: la sensibilità raggiunta è talmente alta che alle curve registrate dai galvanometri vanno sistematicamente tolti contributi dovuti al rumore; se il compito veniva svolto efficacemente dai tecnici, che acquisivano con l'esperienza una sempre maggior capacità di distinguere le fluttuazioni dalla curva fondamentale, esso risultava invece impossibile per un apparato meccanico.

## **6. Riconoscimento dell'importanza dei bolografi**

Anche se Langley si premura di trovare un metodo il più possibile oggettivo di trasformare i suoi dati in spettri a righe, in molti attendono con ansia la pubblicazione dei suoi risultati. Difatti, se fino agli anni 1890 non viene compresa la particolare forza delle rappresentazioni offerte dal bolometro, proporzionali alle intensità dell'energia raccolta per ciascuna lunghezza d'onda, già nel decennio precedente sono in molti ad attribuire alla raccolta

---

<sup>8</sup> Langley, S.P. *Annals of the Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institution*, 1900, Washington, **1**: 73.

<sup>9</sup> Si veda una dettagliata descrizione di tale procedimento in: Lottgers, A. “Representation and transformation of Langley's map of the infrared solar spectrum”, sta in *The role of visual representations in astronomy: history and research practice*, a cura di K. Hentschel, A. Wittman, ed. Harry Deutsch, Thun und Frankfurt am Main, 2000.

di dati di Langley una precisione decisamente superiore a quelli fino ad allora a disposizione.

Come abbiamo visto, i dati spettrobolometrici avevano costituito un banco di prova per valutare le formule per l'indice di rifrazione o per testare differenti teorie su eventuali limiti dello spettro solare. L'alta sensibilità dello strumento che li produceva, tale da mettere in evidenza la struttura fine dei multipletti, li aveva resi preziosi per chi tentava di ricavare le prime formule di serie spettrali. Lo stesso Langley, osservando i propri bolografi, aveva osservato nuove, importanti proprietà della radiazione emessa da una sorgente: per esempio, lo spostamento del massimo spettrale al variare della temperatura (osservazione che porterà alla legge dello spostamento di Wien), l'asimmetria delle curva stesse rispetto al loro massimo, o il fatto che al crescere della temperatura l'intensità di energia relativa alle lunghezze d'onda inferiori cresca più rapidamente<sup>10</sup>. I risultati di Langley diventano protagonisti in particolare degli studi sulla costituzione della radiazione, e lo stesso scienziato ne è consapevole:

“we are led to take this labour... with the object of providing a way which will hereafter enable any observer to determine the visible or invisible wave-lengths of any heat, whether from a celestial or terrestrial source, observed in any prism; and thus to gain that knowledge of the intimate constitution of radiant bodies which an acquaintance with the vibratory period of their molecules can usually alone afford us.”<sup>11</sup>

Il ruolo dei risultati di Langley negli studi sulla struttura della radiazione appare evidente dalle pagine delle riviste scientifiche di quegli anni; in una nota apparsa sul vol.33 di *Nature* il 3 dicembre del 1885 si legge che: “[The volume on Mount Whitney expedition]... is a monument of industry and skill and undaunted perseverance of which prof. Langley may well be proud.”; tra gli altri riportiamo tre testimonianze illustri, quelle di Lord Rayleigh, W. Michelson ed E. Carvallo:

“But we do not know enough of the mechanism of radiation to draw any confident conclusion. What we most require at present is more complete data from experiment, such as have been promised by Prof. Langley.”<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup> Kangro, H. *Early History of Plank's radiation law*, Taylor & Francis, 1976.

<sup>11</sup> Langley

<sup>12</sup> Lord Rayleigh, *Complete Radiation at a given Temperature*, “Philosophical Magazine”, 1889, 5° s., 27: 468.

“Les dernières publications remarquables de M. Langley sur les spectres invisibles et surtout la promesse d'un Mémoire spécial sur les radiations des solides à différentes températures m'engagent à publier, dès à présent, du moins en abrégé, quelques considérations théoriques sur ce sujet.<sup>13</sup>”

“J'ai soumis l'idée de la vibration amortie au contrôle des expériences de Mouton et de M. Langley sur la distribution de l'intensité dans le spectre.”<sup>14</sup>

Ed un ulteriore esempio viene dall'Italia: in un articolo pubblicato sul *Nuovo Cimento* da Antonio ed Alberto Garbasso ed intitolato “Su la forma della perturbazione in un raggio di luce solare”, i bolognari divengono ‘la’ controprova sperimentale a cui fare riferimento.

In questa serie di lavori, dedicati appunto alla struttura della radiazione, gli scienziati immaginavano una forma analitica da assegnare all'elemento fondamentale di cui fosse composta la radiazione. Deducevano poi matematicamente la forma che avrebbe dovuto avere una curva delle intensità di energia in funzione della lunghezza d'onda, curva che alcuni, come Rayleigh, iniziano a chiamare curva di corpo nero. A questo punto la confrontavano con l'unica curva sperimentale di quel tipo allora a disposizione (con l'eccezione delle curve di Crova e Mouton).

In questi lavori, il bolognaro non è più soltanto una traccia da trasformare in uno spettro a righe, ma assume una rilevanza proprio perché è in grado di informazioni differenti. Esaminando la letteratura scientifica, si osserva come a partire dal 1893 vi sia come una esplosione di articoli che considerano insostituibili le curve bolometriche. Sulle pagine degli *Annalen der Physik*, dei *Comptes Rendus*, di *Nature*, i nomi di Paschen, Rubens, Lummer, Kurlbaum, Wien, si avvicendano nel proporre l'utilizzo dei bolognari per verificare le proprietà dei corpi neri. A partire dal 1893 Paschen sulle pagine degli *Annalen* dichiara di voler proseguire il lavoro di Langley e propone proprie tavole, in cui fa variare di volta in volta i parametri che appaiono in ascissa e in ordinata. In Germania, Siemens costruisce un proprio bolometro, che viene utilizzato da Helmholtz a partire dal 1888. Nel 1900 è lo stesso Langley a scrivere:

---

<sup>13</sup> Michelson, W.A., *Essai théorique sur la distribution de l'énergie dans le spectres des solides*, “Journal de Physique”, 1887, 2° s., **6** : 467

<sup>14</sup> Carvallo, E. *Sur la nature de la lumière blanche*, “Comptes Rendus”, 1900, **130** : 79-82. Vedi anche Carvallo, E. *Sur la nature de la lumière blanche*, “Journal de Physique”, 1900, 3° s., **9**: 138-143; Corbino, o. M. *Sulla costituzione della luce bianca*, “Il Nuovo Cimento”, 1901, 5° s., **2**: 161-172.

“The curves obtained by the bolometer are in one important respect superior to ordinary spectra, since they show not only the position of light and dark lines, but also the amount of absorption which produces them, and especially the relative intensity of heat energy at successive parts of the spectrum”.

## 7. Conclusioni

Nell'ultimo ventennio del XIX secolo Langley dedica gran parte delle proprie energie a sviluppare il bolometro, strumento in grado di registrare le intensità di energia prodotte da una sorgente in funzione della lunghezza d'onda; le misure prese con questo strumento costituiscono per noi un filo conduttore che ci traghetta dalle ricerche sulla costante solare allo studio dell'assorbimento selettivo dell'atmosfera, dall'esplorazione sempre più spinta dell'infrarosso allo studio della struttura della radiazione (elettromagnetica) prodotta da una sorgente.

In particolare, seguendo gli articoli pubblicati da Langley siamo in grado di cogliere alcuni aspetti della costruzione di quella curva di corpo nero che aprirà le porte alla fisica quantistica. Scrive ancora il Kuhn che: “the first experiments which began to supply the sort of information needed to fix  $K_\lambda$  - the distribution function - were those reported in 1886 by the American astronomer S.P. Langley.”<sup>15</sup> Ma in queste pagine abbiamo tentato di mettere in evidenza come Langley non fornisca semplicemente una insostituibile raccolta di dati sperimentali, ma anche un insieme di riflessioni che accompagnano la comunità nella scelta del modo più efficiente di rappresentare quei dati, affinché risultino utili alla comunità dei teorici.

I bolografì risultano vincenti per la loro capacità di rappresentare anche visivamente in un primo tempo l'unicità della radiazione, in seguito l'asimmetria dello spettro e la legge dello spostamento. Ma essi diventano strumenti preziosi anche perché prosegue costantemente, da parte di Langley, una ricerca volta a rendere sempre meno soggette ad errore (sperimentale ed umano) le proprie misure; egli stesso scrive: “we have continued to devote great pains to extend our original conception, so as to make the galvanometer, as well as the bolometer, not merely an indicator of heat, but a real ‘meter’ which shall distinctly answer the question ‘how much?’ as to almost infinitely amounts of energy.”<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> Kuhn, T. S. *Black-body theory...*, cit.: 7.

<sup>16</sup> Langley, S.P. *On hitherto unrecognized Wave-lengths*, “Philosophical Magazine”, 1886, 5° s., 22: 156.

Le riflessioni di Langley si estendono, come abbiamo visto, fino a chiedersi quali parametri risultino davvero importanti, e come essi vadano organizzati per ottimizzare la rappresentazione grafica dei dati sperimentali. Esse costituiscono una importante testimonianza di come la comunità scientifica sia arrivata, negli ultimi anni del XIX secolo, ad accumulare quei dati sperimentali sulla curva di corpo nero che le permetteranno, con i fondamentali contributi dei fisici teorici, di compiere il salto verso la teoria quantistica.