



SISFA (Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia)

Pietro Cerreta^[*]

LA NASCITA DEI QUANTI: STORIOGRAFIE A CONFRONTO

1. Introduzione

Sono due i motivi dell'importanza del libro *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*^[275] (nel seguito BBT) di T.S Kuhn, pubblicato nel 1978. Il primo è storico, poiché la sua versione della nascita dei quanti contrasta con quella tradizionale^[276]. Infatti, mentre per quest'ultima i quanti erano nati nel momento stesso in cui Planck compiva la sua derivazione della legge di distribuzione del corpo nero, cioè nel dicembre del 1900, per Kuhn l'evento deve essere spostato di circa cinque anni in avanti, nel 1906, e il merito deve essere attribuito non a Planck, ma a Einstein.

Il secondo motivo è storiografico: in BBT Kuhn narra gli avvenimenti senza ricorrere ai concetti di paradigma e di rivoluzione, che lo avevano reso famoso con *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*^[277] (nel seguito SRS). Cioè Kuhn reinterpreta il caso della nascita dei quanti, così rilevante per la fisica, senza ricorrere allo schema concettuale che egli stesso, in SRS, aveva ritenuto indispensabile per comprendere la struttura delle rivoluzioni della scienza.

La pubblicazione di BBT ha naturalmente sollevato un dibattito tra gli studiosi, storici e storiografi, al quale ha partecipato anche Kuhn.

La corretta determinazione della nascita dei quanti secondo noi è importante perché, sapendo dove e quando essa avvenne, aiuta a comprendere quali furono i fattori cruciali che ebbero la forza di cambiare i fondamenti della fisica. Spinti da questo interesse, abbiamo esaminato il conflitto tra Kuhn e l'interpretazione <<standard>>^[278] dei fatti, cioè l'insieme degli articoli di Klein, di Kangro e di altri autori, usciti nel corso dei venti anni precedenti alla pubblicazione di BBT. Questo studio ci ha condotto ad elencare le date e gli argomenti dei principali capisaldi del dibattito storico. La reazione a BBT di Klein del 1979^[279] ci ha permesso, poi, di passare ad una ulteriore selezione degli elementi essenziali della controversia che presentiamo nei due quadri successivi.

2. Le due interpretazioni

Nella riga superiore del primo quadro sono elencati tre avvenimenti con le relative date o periodi temporali. L'intervallo di tempo, dal 1897 al 1900, riguarda la fase della "conversione" di Planck alla matematica di

Boltzmann, il secondo, tra il dicembre del 1900 e il gennaio del 1901, riguarda la fase "eccezionale" in cui Planck annunciò e presentò la sua derivazione della formula di distribuzione del corpo nero e il 1906 è il riferimento temporale della pubblicazione delle Lezioni sulla teoria della radiazione termica, in cui Planck riordina i suoi lavori sul corpo nero.

E passiamo al confronto tra le due interpretazioni storiche.

Kuhn e Klein concordano che Planck sia erede della statistica della Teoria dei Gas di Boltzmann. Questa concordanza è stata sinteticamente collocata nella prima colonna del quadro. Ma qui vogliamo sottolineare la differente accentuazione con cui questo fatto è stato presentato dai due storici. Kuhn lo enfatizza al punto da vederne la condizione sotto la quale si svolge lo sviluppo intellettuale dell'intera vicenda di Planck. Per Klein il fatto è semplicemente un aspetto, anche se molto importante, dell'itinerario scientifico di Planck. Vedremo in seguito come queste valutazioni incidano sulla divergenza delle conclusioni a cui giungono i due storici.

QUADRO N.1 ELEMENTO DI ENERGIA O QUANTO DI ENERGIA?

Autori	1897-1900 La matematica di Planck	1900-1 Planck dice che il <u>punto essenziale</u> della sua derivazione della legge del corpo nero è la considerazione di un numero intero di <u>elementi uguali</u> di energia	1906 Planck pubblica le "Lezioni sulla teoria della radiazione termica"
Kuhn 1978	ereditata dalla Statistica di Boltzmann	Planck non deve essere preso alla lettera, il suo è un artificio, retaggio di Boltzmann; chi lo prende alla lettera allora dovrebbe dire che la quantizzazione l'avrebbe fatta Boltzmann	idee parallele alle idee di Planck del 1900-1: $n h \nu$ [sterling] e [sterling] $(n+1) h \nu$ e non $e = n h \nu$; perciò si riferisce al continuo e non al discreto, la sua teoria è interamente classica
Klein 1979	ereditata dalla Statistica di Boltzmann	Un artificio sì, ma contenente h , una nuova costante naturale; perciò va considerato come atto fondamentale. La quantizzazione non può averla fatta Boltzmann perché questi (nel 1877) distingueva il suo "modello discreto", valido solo ai fini pedagogici e l'equazioni che di fatto applicava, in cui usava il limite per l'elemento di energia tendente a zero	Planck stava cercando di eludere il discreto a cui altri davano una considerazione maggiore di quella che egli ammetteva. In ogni caso, la teoria di Planck non può essere considerata interamente classica, perché contiene nella legge di distribuzione l'elemento di energia $h \nu$ che è una caratteristica <i>non classica</i> ineliminabile

L'avvenimento più importante che caratterizza il secondo periodo del nostro quadro è l'uso da parte di Planck di tecniche matematiche nelle quali egli considera l'energia come composta da un numero finito di parti uguali. L'interpretazione tradizionale ritiene che la prima introduzione dei quanti sia intimamente connessa a quest'uso. Kuhn non è d'accordo perché, secondo lui, Planck non fu consapevole della novità che gli si attribuisce. Il brano della famosa comunicazione di Planck alla Società di Fisica Tedesca [\[280\]](#) sulla quale la controversia tra Kuhn e Klein è più acuta è il seguente:

Adesso dobbiamo considerare la distribuzione dell'energia separatamente sui risonatori di ciascun gruppo, prima di tutto la distribuzione dell'energia E sugli N risonatori di frequenza n . Se si considera E come una quantità divisibile con continuità, tale distribuzione è possibile in infiniti modi. Noi, comunque, riteniamo - questo è il punto essenziale dell'intero calcolo - che E sia composto da un ben definito numero di parti uguali e usiamo inoltre la costante della natura $h = 6,55 \times 10^{-27}$ erg sec. Questa costante moltiplicata per la frequenza comune n dei risonatori ci dà l'elemento di energia e in erg, e dividendo E per e otteniamo il numero P degli elementi di energia che devono essere distribuiti su gli N risonatori.

Per Kuhn questo metodo di ripartizione dell'energia non è altro che un artificio matematico ereditato da Boltzmann e la parola "elemento di energia" non deve essere letta come "quanto di energia", perché Planck non intende limitare l'energia del risonatore ad un insieme distinto di valori[281]. Anzi Kuhn si spinge ad affermare che se <<quantizzazione significa suddivisione dell'energia totale in parti finite>> si dovrebbe poi dire che la quantizzazione l'ha fatta addirittura Boltzmann[282].

Klein concede a Kuhn che gli elementi di energia possano essere riguardati come un espediente matematico, ma purché si riconosca a Planck di essere stato consapevole della singolarità di quella tecnica artificiale, tecnica che Planck stesso definisce <<il punto essenziale>>[283] della sua derivazione. Di questa consapevolezza Kuhn, infatti, tende a sminuire la portata sottolineando che quel <<punto essenziale>>, pur costituendo un <<aspetto centrale>>[284] che differenziava Planck da Boltzmann, non era stato tale da produrre <<particolari commenti>> da parte dell'autore, e ciò fino al 1906[285]. Il suo pensiero si concentrava invece su h , la nuova costante naturale[286] da lui introdotta nella derivazione della formula di distribuzione. La tesi di Kuhn, insomma, è che Planck andava fiero della scoperta di h e non della quantizzazione. Questa attenzione principale ad h come nuova costante naturale, risponde Klein non è da usarsi contro Planck, come fa Kuhn, ma a suo favore. Secondo Klein, Planck si sforzava di comprendere bene cosa fosse la costante che aveva trovato, e di metterla in relazione con altre costanti naturali, con la carica dell'elettrone[287] da poco scoperto ad esempio, e questo lo tratteneva dal dare risalto al quanto, che da quella costante dipendeva. E, sempre per dimostrare la consapevolezza di Planck messa in dubbio dal suo antagonista, Klein esamina la frase di Kuhn secondo la quale la quantizzazione dovrebbe essere ricondotta nientemeno che a Boltzmann, se la si intende come semplice ripartizione del continuo. A tal riguardo Klein precisa che Boltzmann distingueva con cura il suo modello discreto, che aveva introdotto solo per fini pedagogici, dalle equazioni che egli intendeva applicare ai sistemi fisici; in queste equazioni - sottolinea Klein - Boltzmann usò sempre il passaggio al limite con l'elemento di energia tendente a zero[288]. Siamo invitati da Klein a concludere che Planck, se avesse seguito davvero l'identico percorso di Boltzmann, come dice Kuhn, avrebbe dovuto poi mandare a zero l'elemento di energia. E se Planck non l'ha fatto, vuol dire che era pienamente consapevole della necessità di una diversa utilizzazione, in quel caso, della tecnica matematica di Boltzmann.

Passiamo, infine, all'ultima colonna della tabella, cioè al 1906, anno della pubblicazione del libro di Planck "Lezioni sulla teoria della radiazione termica". In questo libro sono raccolti e sistemati gli scritti sul corpo nero prodotti da Planck dal 1894 in poi. Esso costituisce di per sé un documento storico di rilievo e come tale è stato preso in considerazione dagli storici che si sono occupati di Planck. Ma noi gli riserviamo un'attenzione particolare per l'uso storiografico che ne fa Kuhn. Nella Prefazione a BBT, infatti, egli lo presenta nei seguenti termini decisivi: <<solo dopo aver studiato la vasta trattazione della teoria di Planck nelle *Lezioni* del 1906 potei rendermi conto di essere ora in grado di leggere in modo corretto i suoi primi articoli sul quanto e che questi articoli non postulavano o implicavano la discontinuità del quanto>>[289].

Vedremo in seguito che la differenza cruciale tra la narrazione dei fatti proposta da Kuhn e quella tradizionale dipende dalla centralità storiografica attribuita al testo delle *Lezioni*.

Kuhn usa questo libro come strumento di controllo delle effettive convinzioni di Planck rileggendo in modo retrospettivo tutti gli articoli sul corpo nero. Questo confronto lo porta alla conclusione che << ancora nel 1906, quando Planck cioè pubblicò il primo rapporto completo e perfezionato sulla sua teoria della

radiazione termica, quella teoria includeva ancora tutti gli elementi principali già sviluppati nel programma di ricerca che egli aveva perseguito dal 1894 fino a tutto il 1901. Questi, inoltre, comparivano nel suo testo quasi nello stesso ordine ed in modo da servire proprio ai fini per i quali erano stati inizialmente sviluppati>> [290]. Insomma, dice Kuhn, Planck espone, nelle "Lezioni", la sua teoria in modo del tutto parallelo a quello delle sue versioni precedenti: ciò prova che Planck, nel frattempo, non era diventato più consapevole della dirimpante novità della quantizzazione [291]. Se invece lo fosse stato, dice Kuhn, la sola ipotesi dei quanti avrebbe dovuto ristrutturare la sua trattazione.

Ma l'argomento più forte della tesi di Kuhn sono alcune precisazioni che Planck aggiunge nelle *Lezioni* e che non erano presenti negli articoli del 1900-01. Solo l'omissione di analoghe precisazioni nei primi articoli, dice Kuhn, ha potuto rendere difficile la comprensione di cosa davvero Planck, in quell'epoca, avesse in mente [292]. Vediamo la principale di queste. Nel testo del 1906, parlando del <<numero di risonatori con energia di una data grandezza>>, Planck si affretta a spiegare <<(o meglio: che si trovano entro una determinata "regione" di energia)>> [293]. Per Kuhn, questa <<chiarificazione essenziale>> [294] rivela che, nel 1906, Planck pensava che fosse $nh\nu$ [sterling]e [sterling] $(n+1)h\nu$ e non $e=nh\nu$, come viene accreditato dalla interpretazione standard. E cioè che nel 1906 Planck era ancora ben lontano dal ritenere che la quantizzazione dell'energia dovesse essere un'ipotesi della sua teoria. E se ciò era vero nel 1906, per Kuhn non poteva essere altrimenti nel 1900-01. La deduzione di Planck della legge di distribuzione del corpo nero, quindi, era stata completamente "classica".

Che questa <<chiarificazione essenziale>>, fornita dalle Lezioni, sia davvero il punto di forza dell'argomentazione di Kuhn è costretto ad ammetterlo anche Klein [295]. Ma Klein ritiene che la coerenza intellettuale, dalla quale Kuhn fa discendere la sua deduzione, non possa essere considerata valida per il pensiero di Planck al quale, secondo lui, non era sempre chiaro cosa stesse facendo [296]. In realtà, spiega Klein, quella che Kuhn definisce <<chiarificazione essenziale>> è nient'altro che un tentativo di Planck <<di aggirare la discontinuità che altri stavano prendendo in considerazione più seriamente di quanto egli avesse voluto intendere>> [297].

Poi, aggiunge Klein, pur volendo accettare l'interpretazione alternativa di Kuhn, non si può concludere, come fa lui, che la teoria di Planck è, dal 1900 al 1906, ancora tutta "classica". Infatti, ci suggerisce Klein, come si fa a trascurare nella legge di distribuzione l'elemento di energia hn che la caratterizza in modo evidentemente non classico [298] ?

3. I lettori di Planck

E ora passiamo a un altro problema della controversia. I primi lettori degli articoli di Planck vi hanno scorto la quantizzazione o no? La risposta a questa domanda è rilevante perché è una sorta di testimonianza spontanea, potremmo dire oggettiva, resa dai contemporanei di Planck e non dipendente né dall'ipotesi della coerenza logica di Planck, che sta alla base dell'interpretazione di Kuhn, né dal dubbio su tale coerenza, suggerito da Klein.

Purtroppo, neppure questo dato mette d'accordo Kuhn e Klein. Infatti, Kuhn dice che i primi testimoni degli avvenimenti non hanno visto alcuna quantizzazione, il secondo sostiene il contrario. In realtà non è facile dire chi dei due abbia ragione perché la fase dello sviluppo dei concetti scientifici da loro presa in considerazione è eccezionalmente contraddittoria. Entriamo nei particolari di questo ulteriore punto del contrasto tra i due storici prendendo in esame il quadro successivo. In esso abbiamo tracciato una linea verticale che mette a sinistra Lorentz ed Ehrenfest, insieme, e a destra Einstein. Si tratta di una ripartizione che segue le ragioni della narrazione di Kuhn in BBT. Però essa è condivisa, almeno implicitamente, dallo stesso Klein, come si rileva dalla sua risposta [299]. Precisiamo inoltre che i tre "lettori" considerati nello schema che segue non sono stati gli unici ad aver esaminato gli articoli di Planck. Noi, qui, però prendiamo in considerazione solo Lorentz, Ehrenfest ed Einstein perché sono gli scienziati più importanti e perché le loro letture offrono argomenti critici al dibattito.

QUADRO N.2

I PRIMI LETTORI DI PLANCK

Autori	I primi lettori di Planck 1901-1906	Lorentz (1903) Ehrenfest (1905 e 1906)	Einstein 1) I quanti di luce (1905) 2) Reinterpretazione dei fondamenti teorici di Planck (1906)
Kuhn 1978	Provano sostanzialmente che la quantizzazione non c'è stata	Lorentz si lascia fuorviare da Planck Ehrenfest si lascia influenzare da Lorentz	Einstein annuncia (1906) la nascita dei quanti indipendentemente da Planck 1) L'entropia della radiazione di Planck si comporta non come quella delle onde ma come quella delle particelle. 2) necessità di multipli interi di $h\nu$
Klein 1979	Provano invece che la quantizzazione è stata capita	Lorentz scrive di "porzioni finite" di energia Ehrenfest riferisce dell'ipotesi di Planck di "particelle di energia" o "atomi di energia"	Einstein non può essere stato indipendente da Planck perché ne è stato il principale lettore. Non si spiega da parte di Kuhn perché i quanti debbano esser nati nel 1906 e non nel 1905.

Cominciamo dal valore testimoniale delle interpretazioni degli articoli di Planck da parte di Lorentz del 1903 e di Ehrenfest del 1905. Per Kuhn, si tratta di letture <<anomale >> [\[300\]](#) poiché riferivano di una quantizzazione già avvenuta, contrariamente a quanto veniva recepito, nel frattempo, dalle recensioni degli articoli di Planck pubblicate nelle riviste scientifiche inglesi e tedesche. In queste riviste, precisa Kuhn, i lavori di Planck venivano <<trattati semplicemente come se sviluppassero ulteriormente la linea di ricerca alla quale egli [Planck] si era riferito sin dal 1895>> [\[301\]](#).

Ma esaminiamo dalle osservazioni di Lorentz del 1903 che, secondo Kuhn, costituiscono l' <<anomalia>>: *Non discuterò qui il modo in cui la nozione di probabilità viene introdotta nella teoria di Planck: modo che non è inoltre l'unico che si possa scegliere. Sarà sufficiente citare una supposizione che vien fatta sulle quantità di energia che i risonatori possono assumere o perdere. Si suppone che queste quantità siano composte di un certo numero di parti finite, il cui numero viene fissato per ciascun risonatore; secondo Planck, l'energia che viene immagazzinata in un risonatore non può aumentare o diminuire per modificazioni graduali, ma soltanto per intere <<unità di energia>>, come possiamo definire le parti di cui abbiamo appena parlato>> [\[302\]](#)*

Si tratta, senza dubbio, di frasi sorprendenti per la loro chiarezza. Lo stesso possiamo dire per quel che Ehrenfest <<rilevava>> [\[303\]](#) di lì a poco, nel 1905, e cioè che per Planck <<l'energia radiante dei vari colori è composta di minuscole particelle di energia di grandezza $E_n = n \cdot 6.55 \times 10^{-27}$ erg sec, dove n è la frequenza del colore in questione>> [\[304\]](#).

In base a questi riscontri nessuno potrebbe negare che la quantizzazione sia stata realmente capita! Ma, per Kuhn, essi non sono sufficienti a provare la tesi opposta alla sua. Quelle parole di Lorentz, dice Kuhn, non esprimevano la sua convinzione definitiva. Infatti lo stesso Lorentz più tardi, in una lettera a Wien del 1908, si ricredeva affermando: << secondo la teoria di Planck i risonatori ricevono o cedono energia all'etere in un modo del tutto continuo (senza che vi sia alcun discorso su un quanto finito di energia)>> [\[305\]](#). E anche le parole di Ehrenfest, insiste Kuhn, non sono da considerarsi in assoluto. Esse, dice Kuhn,

ripetevano <<la parte più notevole>> dalla descrizione di Lorentz. Ma per comprendere questo aspetto delicato del ragionamento di Kuhn è preferibile riportare per intero il seguente brano sull'interdipendenza delle <<letture>> di Lorentz e di Ehrenfest:

Quasi certamente questi due non usuali modi di leggere i primi articoli di Planck sul quanto sono reciprocamente dipendenti, poiché Ehrenfest, l'articolo del quale si apre con un riferimento alle pubblicazioni di Lorentz sul corpo nero, era venuto per la prima volta a conoscenza del lavoro di Planck dalle lezioni di Lorentz a Leida nel 1903. Forse uno di essi o entrambi ammettevano che, qualsiasi cosa Planck potesse aver pensato, la sua teoria non avrebbe funzionato se l'energia fosse stata assorbita ed emessa con continuità. Ma, in tal caso, avrebbero probabilmente attribuito l'ipotesi dei quanti di energia non allo stesso Planck ma alle esigenze della sua teoria. Data la loro fraseologia e la generale difficoltà nel riconoscere in quale punto la derivazione di Planck fosse andata fuori strada, sembra molto più probabile che essi stessero semplicemente seguendo la fuorviante discussione di Planck a proposito del modo di occupare gli stati. [306]

In definitiva, dopo aver cercato di ricondurre la posizione di Lorentz [307] tra quelle "normali", Kuhn vuol convincere il lettore che stessa sorte tocchi, per via implicita, a quella di Ehrenfest, per il fatto che questi è stato suo discepolo. Ma, come abbiamo visto nel brano precedente, Kuhn non può far a meno di riconoscere che i due scienziati (o almeno uno solo di essi) avevano visto negli articoli di Planck la <<sostanza>>, per così dire, della quantizzazione.

Per Klein, ovviamente, né le parole di Lorentz né quelle di Ehrenfest sono anomale. Esse non sono altro che la testimonianza dell'avvenuto riconoscimento di ciò che Planck ha realmente fatto nel 1900-01. Sorprende, comunque, che Klein - il quale risponde sempre puntualmente a Kuhn - non dia spiegazioni del perché poi Lorentz, nel 1908, abbia cambiato parere rispetto al 1903.

Il ritratto di Ehrenfest fornito da Kuhn, cioè quello di un discepolo influenzato dal maestro per Klein, inoltre, è tutt'altro che attendibile. Anzi, per lui che ne è stato il biografo, Ehrenfest è <<il fisico più critico della sua generazione>> [308]. E' quindi la capacità di osservazione di Ehrenfest che, lascia intendere Klein, lo conduce in ben due occasioni, nel 1905 e nel 1906 [309], ad attribuire a Planck l'ipotesi di "particelle di energia" o di "atomi di energia" e a cogliere, nel testo di Planck, che questa ipotesi andava assunta "ovviamente solo in modo formale" [310].

E veniamo all'ultima colonna del quadro, nella quale abbiamo collocato Einstein e i suoi articoli sui quanti di luce del 1905 e sulla reinterpretazione dei fondamenti teorici di Planck del 1906.

E' Einstein, nel marzo del 1906, dice Kuhn, ad annunciare la nascita della teoria quantica [311]. E su questa sua convinzione egli costruisce la parte conclusiva della sua tesi. Ma, a questo proposito, seguiamo, ancora una volta, le sue stesse parole:

Benché le loro conclusioni in gran parte coincidessero, l'articolo di Einstein era sotto molti punti di vista del tutto diverso da quello che Ehrenfest doveva presentare alcuni mesi dopo. La sua argomentazione era, nello stesso tempo, più generale e più convincente. A differenza di Ehrenfest, inoltre, Einstein non supposeva di star semplicemente risonando la stessa premessa di Planck, e la struttura della sua argomentazione gettava luce sulle enormi difficoltà che si sarebbero incontrate nello sviluppare la proposta di attribuire una dimensione fissa h alle celle dello spazio delle fasi. Ancora più importante era il fatto che, mentre l'articolo di Ehrenfest era stato uno studio di Planck, quello di Einstein era in primo luogo uno studio della natura. Ciò che portò Einstein al problema del corpo nero nel 1904 e a Planck nel 1906 fu il coerente sviluppo di un programma di ricerca cominciato nel 1902, un programma così indipendente da Planck che esso avrebbe quasi certamente portato alla legge del corpo nero anche se Planck non fosse mai vissuto [312].

Di parere diverso è Klein. Egli innanzitutto sottolinea che Einstein è stato il più importante lettore di Planck e, per tale ragione, è difficile evidenziare in modo così netto, come fa Kuhn, l'indipendenza del suo programma di ricerca dai lavori di Planck. In altri termini, per Klein, è impossibile affermare che la necessità di quantizzare, di cui ha preso coscienza Einstein, non abbia le premesse negli stessi scritti di Planck. E poi, aggiunge polemicamente Klein, se si dovesse attribuire la quantizzazione ad Einstein sarebbe più corretto farlo

a proposito dei quanti di luce (<<una idea davvero rivoluzionaria>>[\[313\]](#)) da lui introdotti nel 1905, piuttosto che per merito dell'articolo dell'anno successivo! In definitiva, nell'articolo di Einstein in cui Kuhn vede la nascita della teoria dei quanti, Klein dice di doversi rilevare solo un'analisi dei fondamenti teorici della teoria della radiazione di Planck. Un'analisi - sottolinea Klein - che porta il suo autore ad una chiarificazione delle assunzioni implicite in tale teoria e non a una nuova teoria.

4. Conclusioni

Al termine di questo confronto tra le interpretazioni di Kuhn e quella di Klein sulla nascita dei quanti, è necessario completare il discorso presentando le posizioni assunte dai principali studiosi di questo periodo storico. A tal fine, riportiamo un ulteriore quadro sintetico, contenente le citazioni originali degli storici da noi presi in considerazione.

AUTORE	OPERA	NASCITA DEI QUANTI (CITAZIONI ORIGINALI)
KLEIN 1962	Max Planck and the Beginnings of the Quantum Theory	Il 14 dicembre 1900, Max Planck presentò la derivazione della sua legge di distribuzione del corpo nero e il concetto di quanto di energia fece il primo ingresso in fisica. [314]
KANGRO 1972	Planck's original Papers in Quantum Physics	Negli anni 1900 e 1901 Planck non aveva ancora alcuna concezione di una ipotesi essenzialmente nuova, quella che più tardi fu conosciuta come l'ipotesi dei quanti [315]
KUHN 1978	Black-body theory and the quantum discontinuity, 1894-1912	Il concetto di energia discreta del risonatore non giocò alcun ruolo nel pensiero di Planck fin dopo che egli ebbe scritto le Lezioni [1906]... I concetti di particella di luce e di risonatori limitati all'energia $nh\nu$ entrarono nella fisica con gli articoli di Einstein del 1905 e del 1906 [316]
KLEIN 1979	Paradigm lost?	Nei suoi articoli del 1900-01 Planck non ha mai enfatizzato i quanti, poiché aspettava che h fosse derivata in modo più fondamentale, molto probabilmente dalla teoria dell'elettrone. [317]
BERGIA 1981	Statistical Thermodynamics and the Thermal Equilibrium Law for Photons	Non ci si può schierare né con la tesi di Klein né con quella di Kuhn, cioè non si può dire se sia stato il quanto di energia o la costante h la reale novità secondo Planck. [318]
GALISON 1981	Kuhn and the Quantum Controversy	Klein e Kuhn concordano sul fatto che in un modo o nell'altro Planck non era consapevole di tutte le conseguenze derivanti dal lavoro di Boltzmann... Nel 1900-1, tra le preoccupazioni di Planck la questione del continuo e del discreto era solo marginale; ma non era così per Mach, ad esempio. [319]
		Nel 1900-1 Planck seguiva Boltzmann... Con la differenza che mentre per Boltzmann non era importante la precisa dimensione di e , per Planck e doveva essere proporzionale alla frequenza

KUHN 1984	Revisiting Planck	dell'oscillatore... Planck non notò che la sua derivazione valeva solo per $h\nu \ll kT$, ma il suo fu un errore standard per quell'epoca, neppure Boltzmann, infatti, si era reso conto di esso nella sua derivazione. [320]
TAGLIAFERRI 1985	Storia della Fisica Quantistica	La presentazione da parte di Planck, alla riunione del 14 dicembre 1900 della Società Tedesca di Fisica, della sua legge del corpo nero, appare oggi, e con buona ragione, aver rappresentato l'atto di nascita della fisica quantistica: ma l'evento non destò sensazione allora, e lo stesso Planck era lungi dal prevederle la portata. [321]

In esso, eccettuate le convinzioni di Klein e di Kuhn già esaminate, non troviamo schieramenti precisi, né pronunciamenti a favore dell'una o dell'altra[\[322\]](#). E' come se l'intervento di Kuhn, con BBT, abbia avuto il risultato di attenuare le certezze della interpretazione tradizionale, ma non abbia avuto la forza di convertire gli storici alla sua tesi. Significative a tal proposito sono le reazioni di Bergia e di Tagliaferri. Lo storico che, invece, tende a ridurre la portata della differenza tra l'interpretazione Klein e Kuhn è Galison. Egli lo fa dimostrando che, in ultima analisi, i punti di accordo tra loro sono maggiori di quanto non sembri, eccettuate ovviamente le date relative all'atto di nascita dei quanti. Infatti entrambi concordano che Planck certamente non era consapevole di tutte le conseguenze derivanti dal lavoro di Boltzmann. La proposta di Galison[\[323\]](#), quindi, è quella di interpolare i lavori di Klein e Kuhn, per lui entrambi validi, usando l'accortezza di eliminare il problema storiografico di definire l'ambito classico o non classico di ciò che faceva Planck. Secondo Galison, Planck non era tra quelli che - come Mach in quel periodo - si poneva criticamente la questione del continuo e del discreto. Non deve aver molto senso quindi, dice Galison, leggere la storia attraverso categorie che erano <<periferiche>> alle idee del suo interprete principale.

Questa soluzione conciliante contrasta con ciò che obiettivamente si è rivelato BBT sia sul piano storico, mettendo in discussione la data di nascita dei quanti che sembrava ovvia, sia sul piano storiografico, costringendo il suo autore a rinunciare alle sue categorie interpretative.

Una soluzione alla Galison, se mette d'accordo i due storici, elimina il vero centro della questione: la matematica che fornisce consistenza al passaggio storico della fisica classica a quella non più classica. In studi precedenti abbiamo dimostrato che è stato proprio il problema di dover spiegare in termini matematici cosa realmente è avvenuto nel pensiero di Planck che impedisce allo stesso Kuhn di usare il suo paradigma come concetto interpretativo generale dei fatti storici della scienza e lo priva dell'intero apparato esplicativo costruito in SRS[\[324\]](#). Eppure Kuhn, in BBT, non elude le questioni matematiche connesse ai concetti di Boltzmann usati da Planck, né trascura gli aspetti tecnici della matematica per rendere la narrazione più comprensibile al lettore non fisico. La vera difficoltà di Kuhn deriva dal suo impreciso concetto di paradigma[\[325\]](#). Se egli avesse avuto a disposizione un concetto capace di indicare le scelte fondamentali di matematica che ogni teoria scientifica è costretta a compiere nel momento in cui viene alla luce, il suo schema interpretativo paradigma-rivoluzione avrebbe potuto essere usato anche nel caso della nascita dei quanti. Invece è stato costretto a ridursi alla narrazione dei fatti, si badi, ad una narrazione resa intricata dalla mancata evidenziazione degli aspetti finitisti della matematica di Boltzmann il quale, se consideriamo la sua influenza su Planck, Ehrenfest ed Einstein, è poi il vero protagonista di tutto il racconto.

Ma la storia dei quanti avrebbe potuto insegnare anche qualcosa di nuovo a Kuhn. E cioè che per l'interpretazione dei fatti, venendo a mancare lo schema di SRS, strutturato sulla meccanica classica, avrebbe potuto usare un altro schema la cui struttura poteva essere mutuata da una teoria appartenente alla tradizione scientifica antagonista a quella della meccanica[\[326\]](#). In questo nuovo schema avrebbe potuto collocare quello che egli chiama il ruolo "implicito" assunto da Planck nell'intera vicenda, come quello della compresenza di fasi diverse nei processi termodinamici dei passaggi di stato[\[327\]](#). Ma in tal caso avrebbe dovuto proporre un nuovo modello storiografico e, conseguentemente, mettere in discussione il precedente.

In definitiva, Kuhn ha optato per una scelta apparentemente indolore, quella di arretrare in BBT alla sola narrazione degli avvenimenti, senza indicare come interpretarli, assumendo l'ambigua posizione di tradizionale storico della scienza allorché l'esserne stato anche un filosofo costituisce per tutti obiettivamente un problema.

[*] Gruppo di Storia della Fisica, Dip. Scienze Fisiche dell'Università di Napoli

[275] T.S. Kuhn, *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*, Oxford, Clarendon Press, New York, 1978 [tr. it. *Alle origini della fisica contemporanea, La teoria del corpo nero e la discontinuità quantica*, il Mulino, Bologna, 1981]

[276] Nei manuali universitari e nei libri di testo delle Scuole Medie questa tradizione è ben rappresentata. Si vedano, per esempio, E. Persico: *Ottica*, Zanichelli, Bologna, 1979 (ristampa anastatica del libro della Vallardi del 1932), p. 643 e D. Halliday, R. Resnick: *Fondamenti di Fisica*, vol 2, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1970, p. 405, P. Caldirola, G. Casati, F. Tealdi: *Fisica*, vol 2, Ghisetti e Corvi Editori, 1987, p. 352 e R. Ceriani, B. Sangiorgio: *Modelli e realtà, La fisica e l'arte di comprendere il mondo*, Marietti Scuola, 1991, p. 9Q.

[277] T.S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino, 1978

[278] P. Galison, *Kuhn and the Quantum Controversy*, British J. of Philos. of Science, 32 1981, p.71-84.

[279] M.J. Klein, A. Shimony, T.J. Pinch, *Paradigm Lost? A Review Symposium in ISIS 70* (1979) p.430-434

[280] M. Planck, "On The theory of the Energy Distribution Law of the Normal Spectrum" in H Kangro (ed): *Planck's original Papers in Quantum Mechanics*, Taylor Francis, 1972, p. 40

[281] T.S. Kuhn, *BBT*, p. 219-223

[282] *ibidem*, p.222

[283] M.J. Klein, A. Shimony, T.J. Pinch, *Paradigm Lost? A Review Symposium*, op. cit., p. 432

[284] T.S.Kuhn, *BBT*, p.226.

[285] *ibidem*

[286] Si sa che Planck era affascinato dall'assoluto, e una costante naturale lo è. Si veda a tal proposito M. Planck: *La conoscenza del mondo fisico*, Einaudi, Torino, 1942, p. 92 e M.J. Klein: *Max Planck and the Beninnings of the Quantum Theory*, AHES, I, p. 460

[287] M. Planck: "On The theory of the Energy Distribution Law of the Normal Spectrum" in H Kangro (ed): *Planck's original Papers in Quantum Mechanics*, op. cit., p. 45

[288] M.J. Klein, A. Shimony, T.J. Pinch: *Paradigm Lost? A Review Symposium*, op. cit., p. 432

[289] T.S. Kuhn, *BBT*, p.19

[290] T.S. Kuhn, *BBT*, p. 209

[291] *ibidem*, p. 224 : <<Questi ed altri richiami ai suoi articoli originali suggeriscono con forza che Planck non avesse nel frattempo modificato la propria opinione sugli elementi essenziali dell teoria>>

[292] *ibidem*, p. 224

[293] *ibidem*, p. 224-225

[294] *ibidem*

[295] M.J. Klein, A. Shimony, T.J. Pinch: *Paradigm Lost? A Review Symposium*, op. cit., p. 432: <<senza le aggiunte nel 1906, comunque, i risonatori di Planck sono chiaramente quantizzati>>

[296] *ibidem*

[297] *ibidem*

[298] *ibidem*

[299] *ibidem*, p.432-433

[300] T.S. Kuhn, *BBT*, p.236

[301] *ibidem*, p. 232

[302] *ibidem*, p.236; H.A. Lorentz, *On the Emission and Absorption by Metals of Rays of Heats of Great Wavelength*, in <<Proc. Amsterdam>>, 5 (1903), pp. 666-685; *Collected Papers*, vol 3, Den Haag, pp. 155-179; citazioni da pp. 668, 167

[303] *ibidem*, p.237, P. Ehrenfest, *Über die physikalischen Voraussetzung der Planck'schen Theorie der irreversiblen Strahlungsvorgange*, in <<Wiener Ber.>>, II, 114 (1905), pp. 1301-1314; *Collected Scientific Papers*, Amsterdam e New York, 1959, pp.88-91; citazione in penultima pagina.

[304] *ibidem*

[305] *ibidem*

[306] *ibidem*

[307] *ibidem*, p. 238:<<Per l'eliminazione del malinteso iniziale di Lorentz una probabile causa sono le *Lezioni* di Planck del 1906>>

[308] M.J. Klein, A. Shimony, T.J. Pinch: *Paradigm Lost? A Review Symposium*, op. cit., p. 432

[309] Ma per Kuhn ciò non basta : Ehrenfest nel 1906 <<stava ancora leggendo Planck attraverso le lenti fornite da Lorentz e, in ogni caso, non aveva avuto a disposizione il libro [le *Lezioni*] abbastanza a lungo da assimilare l'approccio sviluppato da Planck>> . Si veda T.S. Kuhn, *BBT*, op. cit., p. 281

[310] M.J. Klein, A. Shimony, T.J. Pinch, *Paradigm Lost? A Review Symposium*, op. cit., p. 432

[311] T.S.Kuhn, *BBT*, op.cit. p. 289:

<<A metà dell'articolo Einstein scriveva:

Dobbiamo, perciò, riconoscere la seguente posizione come fondamentale per la teoria della radiazione di Planck. L'energia di un risonatore elementare può soltanto assumere valori che sono multipli interi di $(R/N) h\nu$ [dove R è la costante dei gas, N il numero di Avogadro e h una costante]. Durante l'assorbimento e l'emissione l'energia di un risonatore varia in modo discontinuo per un multiplo intero di $(R/N) h\nu$.

Questo brano costituisce la prima affermazione pubblica del fatto che la derivazione di Planck impone una limitazione nel continuum classico degli stati del risonatore. In un certo senso, esso annuncia la nascita della teoria quantica>>.

[312] *ibidem*, p.289-290

[313] M.J. Klein, A. Shimony, T.J. Pinch: *Paradigm Lost? A Review Symposium*, op. cit., p. 433

[314] M.J. Klein, *Max Planck and the Beginnings of the Quantum Theory*, op. cit., citazione a p.459

[315] H.Kangro (ed), *Planck's original Papers in Quantum Mechanics*, Taylor Francis, 1972, pp. 33-60, citazione a p. 33

[316] T.S. Kuhn, *BBT*, citazioni a p. 220 e a p. 310

[317] M.J. Klein, A. Shimony, T.J. Pinch, *Paradigm Lost? A Review Symposium*, op. cit., citazione a p. 432

[318] S. Bergia, *Statistical thermodynamics and the thermal equilibrium law for photons (1894-1924)*, Note di un corso tenuto per la prima Scuola Estiva di Meccanica Statistica della Società Messicana di Fisica, Oaxtepec, 1981

[319] P. Galison, *Kuhn and the Quantum Controversy*, op. cit., citazioni a p. 82

[320] T.S. Kuhn, *Revisiting Planck*, HSPS, 14:2, 1984, citazioni a p. 232 e a p. 233

[321] G. Tagliaferri, *Storia della fisica quantistica.*, Franco Angeli, Milano, 1985, citazione a p.16

[322] Kangro qui sembra anticipare la discussione aperta da Kuhn con BBT

[323] P. Galison, *Kuhn and the Quantum Controversy*, op. cit., p. 82

[324] P. Cerreta, "Kuhn's interpretation of Boltzmann's statistical heredity in Planck" in C. Garola, A. Rossi (eds.) *The Foundations of Quantum Mechanics*, Kluwer Academic Publishers, 1995, p.139-146

[325] P. Cerreta, A. Drago, "Matematica e conoscenza storica. La interpretazione di Kuhn della storia della scienza", in L. Magnani (ed.), *Conoscenza e Matematica*, Marcos y Marcos, Milano, 1991, pp. 353-364

[326] T.S. Kuhn, "Tradizioni matematiche e tradizioni sperimentali nello sviluppo delle scienze fisiche" in *La tensione essenziale*, Einaudi, 1985, pp.37-74

[327] P. Cerreta, "Historiographical Paradigms: Koyré, Kuhn and beyond", in L. Kovacs (ed.), *History of science in teaching physics*, Studia Physica Savariensia, Szombathely, 1995

Istituto di Fisica Generale Applicata

Università degli Studi di Milano

via Brera 28 - 20121 Milano, tel. +39 02 50314680 fax +39 02 50314686