

Una catastrofe evitata.

di Nadia Robotti

storica della fisica

a.
Il fisico tedesco Wilhelm Wien,
pioniere della teoria del corpo nero.



Il termine “catastrofe ultravioletta” fu introdotto dal fisico teorico austriaco Paul Ehrenfest nel 1911 per indicare il paradosso di “un’energia infinita” a cui portava la fisica classica nell’interpretare la legge di distribuzione dell’energia del cosiddetto “corpo nero”. Molto spesso si sostiene che all’idea dei quanti si sia giunti proprio partendo da questo “paradosso”, a cui avrebbe portato la legge classica di Rayleigh-Jeans. Ma è andata davvero così?

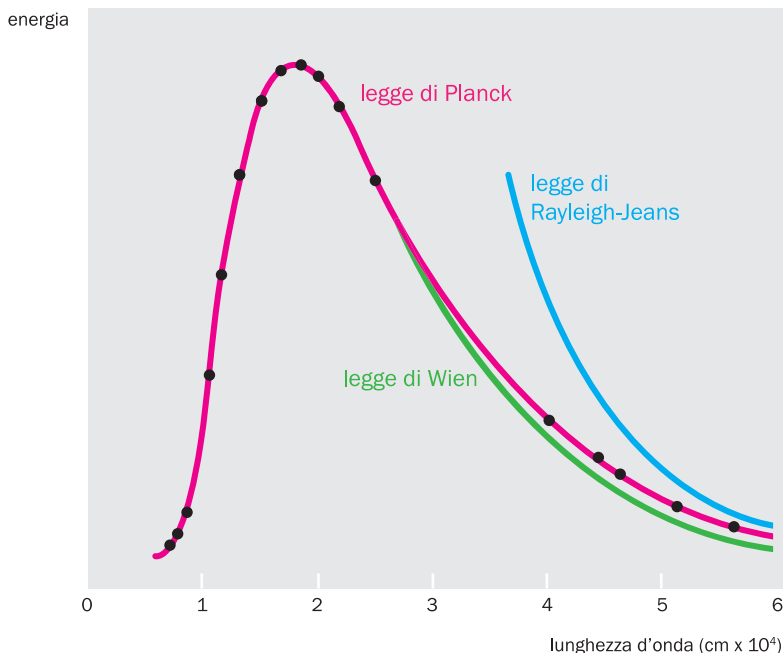
Tutta la storia inizia con alcuni risultati di Gustav Kirchhoff del 1859-60 sull’emissione e l’assorbimento di radiazioni da parte dei corpi, che mostravano che il rapporto tra il “potere emissivo” e il “potere assorbente” (rispettivamente, l’energia emessa e l’energia assorbita per unità di tempo a una data lunghezza d’onda λ e a una data temperatura T) è uguale per tutti i corpi scaldati alla stessa temperatura, indipendentemente dalla loro natura e dalla loro forma.

Questo rapporto rappresentava quindi una funzione universale. L’importanza di trovarne l’espressione fu immediatamente chiara. Per facilitare il problema, Kirchhoff introdusse il concetto di “corpo nero”, un corpo capace di assorbire tutte le radiazioni che riceve (quindi con potere assorbente pari a 1 per definizione). Di conseguenza, la funzione universale cercata, che indicheremo con $u(\lambda, T)$, coincideva proprio con il potere emissivo del corpo nero. Un contributo fondamentale alla determinazione di $u(\lambda, T)$ fu dato da Wilhelm Wien, il quale nel 1896 giunse per via termodinamica, sulla base di alcune ipotesi *ad hoc* sulla natura dei risonatori responsabili della radiazione, a una formula esplicita per la legge del corpo nero, che conteneva due costanti incognite. Questa legge rappresentava in quel momento la migliore approssimazione dei dati sperimentali disponibili.

Nel 1899 Max Planck si pose l’obiettivo di ottenerne una deduzione rigorosa. Il suo interesse derivava dal fatto che la legge del corpo nero rappresentava “qualcosa di assoluto” e per Planck “la ricerca dell’assoluto” era “la più alta delle attività scientifiche”. Planck partiva dal concetto di entropia, dandone una nuova definizione e applicandola al caso di un risonatore, e anche dall’idea che le due costanti presenti nella formula di Wien, “essendo la legge di distribuzione del corpo

nero, una funzione assoluta”, dovevano essere anch’esse “assolute” e dovevano essere contenute nell’espressione dell’entropia. Attraverso questa via Planck giungeva alla stessa legge di Wien, di cui però calcolava il valore delle due costanti: una di queste aveva proprio il valore di h , la futura costante di Planck, che faceva così il suo primo ingresso nella fisica. Pochi mesi dopo, Lummer e Pringsheim, e successivamente Rubens e Kurlbaum ottennero nuovi dati sperimentali, che mostravano una divergenza sistematica dalla legge di Wien per le lunghezze d’onda lunghe. Planck si rimise immediatamente al lavoro e, dopo “alcune settimane del più strenuo lavoro della (sua) vita” (siamo nel dicembre del 1900), giunse alla legge che porta ora il suo nome e in cui compaiono le due costanti assolute h e K (chiamata in seguito, su suggerimento di Planck, costante di Boltzmann). L’accordo con i dati sperimentali era perfetto. Alla base di questa derivazione, fondata sullo stesso procedimento della precedente, c’era l’ipotesi che l’energia di un risonatore di frequenza ν non variasse in modo continuo, ma in modo discreto, secondo multipli interi del “quanto di energia $h\nu$ ”. Il percorso di Planck, dunque, era completamente autonomo e libero da qualsiasi motivazione legata all’incapacità delle teorie classiche di trattare il problema del corpo nero. Sul problema dell’incompatibilità della legge di Wien con i dati sperimentali nella zona delle lunghezze d’onda lunghe, nel giugno del 1900, poco prima di questo intervento risolutivo di Planck, interveniva Lord Rayleigh, con un breve articolo, di cui Planck non era al corrente. Egli arrivava a un’espressione di

$u(\lambda, T)$ (chiamata poi legge di Rayleigh-Jeans), che era proporzionale a T e a λ^{-4} e che, fissata T , funzionava bene per le alte λ . Essa, tuttavia con il tendere di λ a zero, cresceva rapidamente all’infinito (vd. fig. b) e quindi implicava, contro l’evidenza sperimentale, che l’energia totale emessa dal corpo nero fosse infinita. Questa situazione è ciò che Ehrenfest nel 1911 chiamerà “catastrofe ultravioletta”. Rayleigh, tuttavia, non proponeva di estendere a piccole λ la legge di distribuzione in questa forma, ma introdusse un fattore di abbattimento della curva, uguale a quello introdotto da Wien con il risultato che la sua legge, per λ tendente a zero, non portava a nessuna “energia infinita”. Insomma, nel 1900 non c’era nessuna legge teorica a mostrare le difficoltà della fisica classica nel trattare il corpo nero e a spingere verso la ricerca di strade alternative. Sarà solo nel 1905 che Jeans pubblicizzerà la legge derivata da Rayleigh, correggendone un calcolo (da qui il nome di legge di Rayleigh-Jeans), ma rendendosi anche conto dei suoi limiti. Però siamo ormai nel 1905: la formula di Planck era ormai accettata e sull’ipotesi dei “quanti” i fisici, primo fra tutti Einstein, stavano cominciando a lavorare, discutendone i fondamenti e cercando di estenderla ad altri campi. In conclusione, se la catastrofe ultravioletta ha avuto un ruolo nella storia, ciò è avvenuto solo a posteriori, dopo l’introduzione dei quanti, nel senso che essa è servita e serve tuttora a giustificare l’abbandono della fisica classica, in favore di una nuova fisica vincente, quella che diventerà la nostra meccanica quantistica.



b.
La distribuzione di energia della radiazione di corpo nero in funzione della lunghezza d’onda, per una temperatura di 1600 K. Le curve rappresentano le leggi di Wien, Planck e Rayleigh-Jeans. Con i cerchietti sono indicati i dati sperimentali di Lummer e Pringsheim.