

# Einstein e la fisica quantistica

“Su un punto di vista euristico relativo alla produzione e trasformazione della luce” (1905)

Produzione – o emissione – della luce da parte dei corpi solidi: una piastra di ghisa posta sul fornello, il metallo fuso in un altoforno ...

Emettono radiazioni elettromagnetiche: visibili se sono abbastanza caldi, altrimenti nell'infrarosso. L'energia emessa per unità di tempo da una superficie data aumenta (come?) con la temperatura. A ogni data temperatura corrispondono colorazioni caratteristiche della radiazione emessa. Come è distribuita l'energia emessa in funzione della frequenza?

Spettroscopisti come Otto Lummer, Ernst Pringsheim, Heinrich Rubens e Ferdinand Kurlbaum determinarono gli “spettri di emissione” di un emettitore campione, un “radiatore a cavità”, che risultano indipendenti dal materiale emittente.



Max Planck trovò la formula che interpretava tutti i dati, sulla base dell'ipotesi che gli oscillatori elementari responsabili dell'emissione di radiazione di frequenza  $\nu$  non potessero avere qualunque energia ma solo un'energia multipla di  $h\nu$ .

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Einstein è a conoscenza della teoria e della formula di Planck,

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

ma sottolinea che secondo la meccanica statistica, a quegli oscillatori spetterebbe un'energia media  $kT$ , e che, come conseguenza, la formula valida dovrebbe essere la:

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^2} kT$$

Questa formula è nota come la formula di Rayleigh-Jeans, dai nomi di due autori inglesi, William Strutt - Lord Rayleigh - e James Jeans, che se ne occuparono. Rayleigh ci si era imbattuto nel 1900, ma, trovandola improponibile, ne aveva proposto una modifica più o meno ad hoc.

Fa parte della leggenda su queste vicende che Planck sia stato mosso a compiere i suoi studi personali sull'argomento dal fallimento incontrato dalla fisica classica, incorporata, per così dire, in questa formula, nel dare atto delle proprietà della radiazione termica .

Difficile che potesse farlo, visto che la pubblicazione della formula di Rayleigh-Jeans nella forma appena scritta apparve per la prima volta in stampa dopo la pubblicazione dei suoi lavori fondamentali del 1900, nei quali si derivava la “sua” formula, quella che abbiamo visto.

Einstein è il primo a dire con chiarezza nel suo articolo che “la formula di Rayleigh-Jeans” è una conseguenza necessaria di quella che chiamiamo ora la fisica classica.

Ed è il primo a dire con chiarezza che non solo “non corrisponde affatto all’esperienza”, ma è palesemente assurda, in quanto ne discenderebbe che l’energia totale emessa da un corpo a qualsiasi temperatura dovrebbe essere infinita (essa implica infatti che l’energia emessa in un dato intervallo di frequenze cresca indefinitamente all’aumentare della frequenza stessa).

Dato che, all’aumentare della frequenza, si passa dallo spettro visibile all’ultravioletto, Paul Ehrenfest avrebbe in seguito chiamato pittorescamente questa conseguenza della formula la “catastrofe ultravioletta.”

Ed Einstein è il primo ad affermare, dunque, che la fisica classica fallisce completamente nel tentativo di interpretare i fenomeni relativi alla radiazione termica per lo meno alle alte frequenze.

Se Planck ha effettuato la rivoluzione quantistica, è Einstein colui che per primo ha preso atto del fatto che una tale rivoluzione è di fatto avvenuta.

Poiché, secondo questa conclusione, non esiste una teoria capace di rendere conto del comportamento della radiazione termica alle alte frequenze, c'è un lavoro da pionieri da svolgere nel tentativo di arrivare ad essa in un futuro non si sa quanto prossimo.

Da dove partire?

C'è una formula che descrive molto bene il comportamento della radiazione termica alle alte frequenze. È la formula introdotta da Wilhelm Wien nel 1896, la

$$\rho_T(\nu) = \alpha \nu^3 e^{-\beta \frac{\nu}{T}}$$

Einstein la considera come un risultato sperimentale, nel senso che, a prescindere dal significato che le attribuiva l'autore, descriveva bene i dati alle alte frequenze. E la usa in un modo strano: e cioè per rispondere alla domanda: che cosa - cioè che tipo di oggetti – descrive una radiazione descritta da questa legge?



E, con uno studio raffinato, arriva a questa conclusione:

**essa descrive un insieme di punti materiali di energia  $h\nu$ .**

Sono quelli che Einstein battezza **quanti di luce**, una denominazione alla quale si atterrà per lunghi anni;

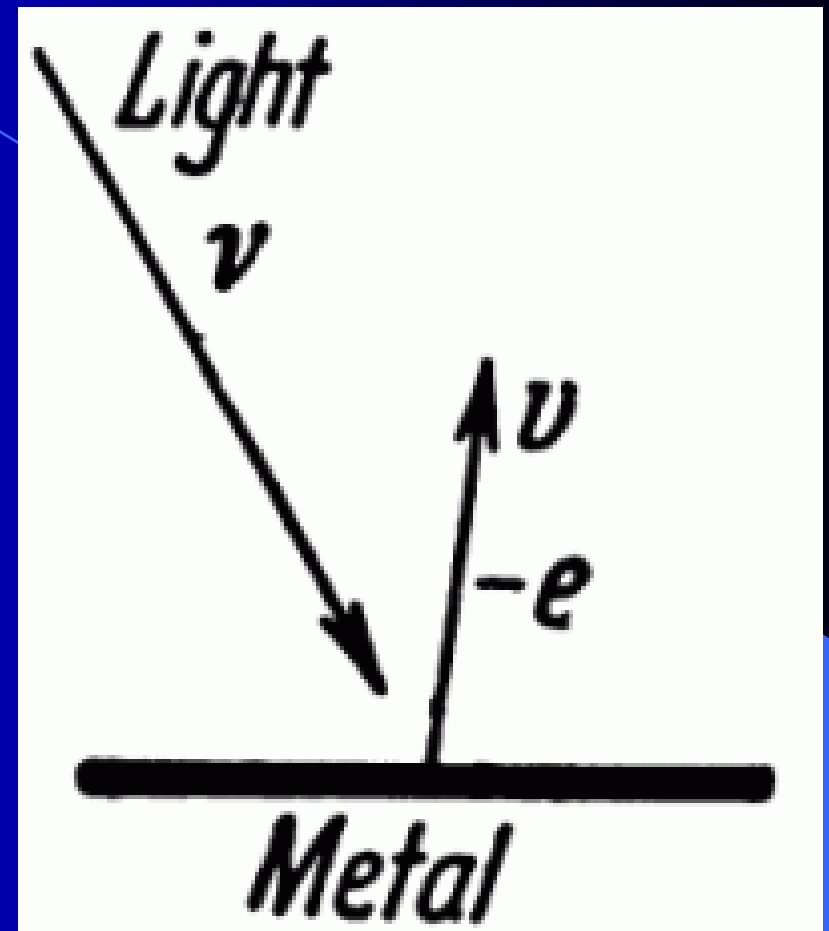
quelli che, molti anni dopo, nel 1926, saranno chiamati **fotoni**.

Una volta stabilito questo teorema, Einstein esamina quello che chiama, nel titolo dell'articolo, "un punto di vista euristico" circa "l'emissione e la trasformazione della luce": l'ipotesi che la luce possa trasportare energia localizzata in quanti.

È a questo punto, e soltanto a questo punto, che, fra i fenomeni per i quali l'ipotesi dei quanti di luce potrebbe rivelarsi adeguata, egli considera, assieme ad altri, anche l'effetto fotoelettrico.

Heinrich Hertz aveva scoperto nel 1887 che la luminosità della scintilla dei suoi risonatori era affetta da radiazione ultravioletta. Fu il nostro Augusto Righi, l'anno dopo, a scoprire che una lastra conduttrice investita da un fascio di luce ultravioletta, si carica positivamente, e a coniare la denominazione. Nel 1902, Philipp Lenard scoprì che le energie dei fotoelettroni erano indipendenti dall'intensità della radiazione incidente.

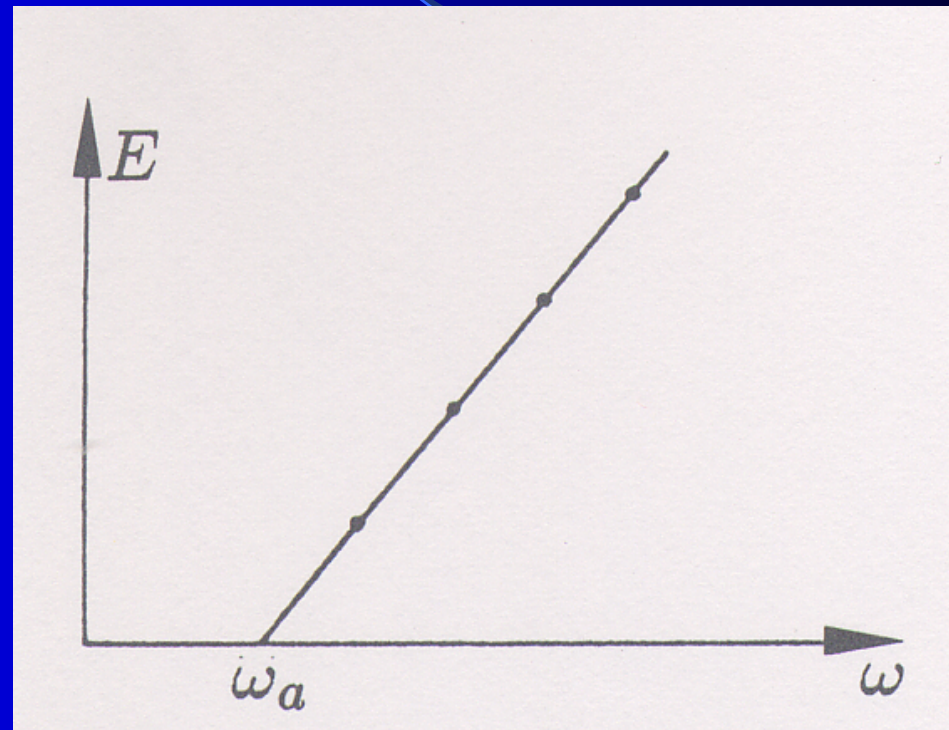
Einstein ipotizzò, per il processo, il meccanismo elementare illustrato a lato. Un quanto di luce penetra nel metallo e trasmette tutta la sua energia ad un unico elettrone. L'elettrone perderà una parte della sua energia cinetica per raggiungere la superficie. In ogni caso, nell'abbandonare il metallo deve effettuare un lavoro  $P$  (che è caratteristico del corpo considerato). Ad uscire dal corpo con la massima energia cinetica saranno gli elettroni eccitati che si trovano direttamente alla sua superficie e che acquistano una velocità normale ad essa



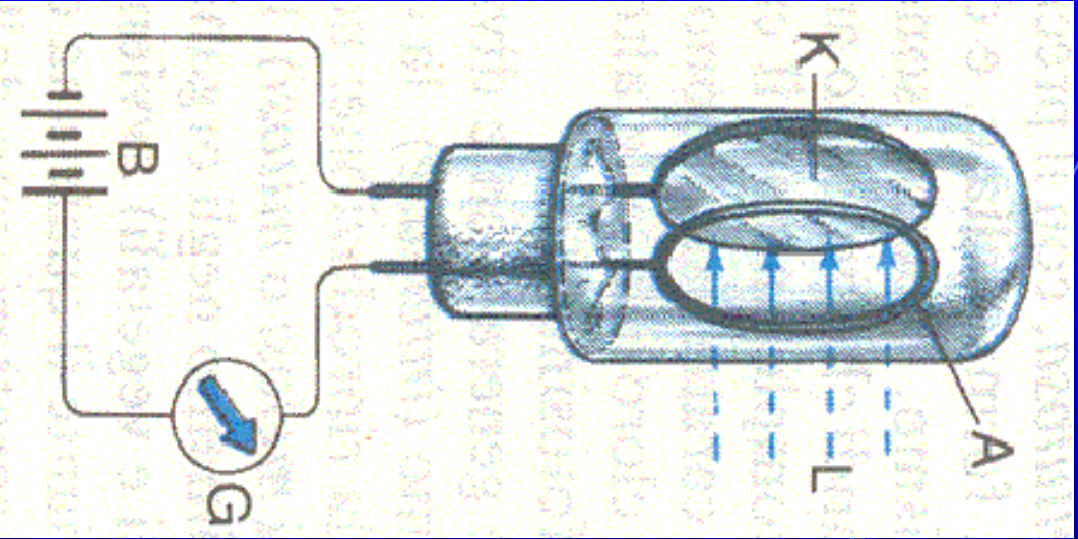
Legge di Einstein per  
l'effetto fotoelettrico:

$$E_{\max} = h\nu - P$$

Fu verificata  
Sperimentalmente  
da R. Millikan  
nel 1916:

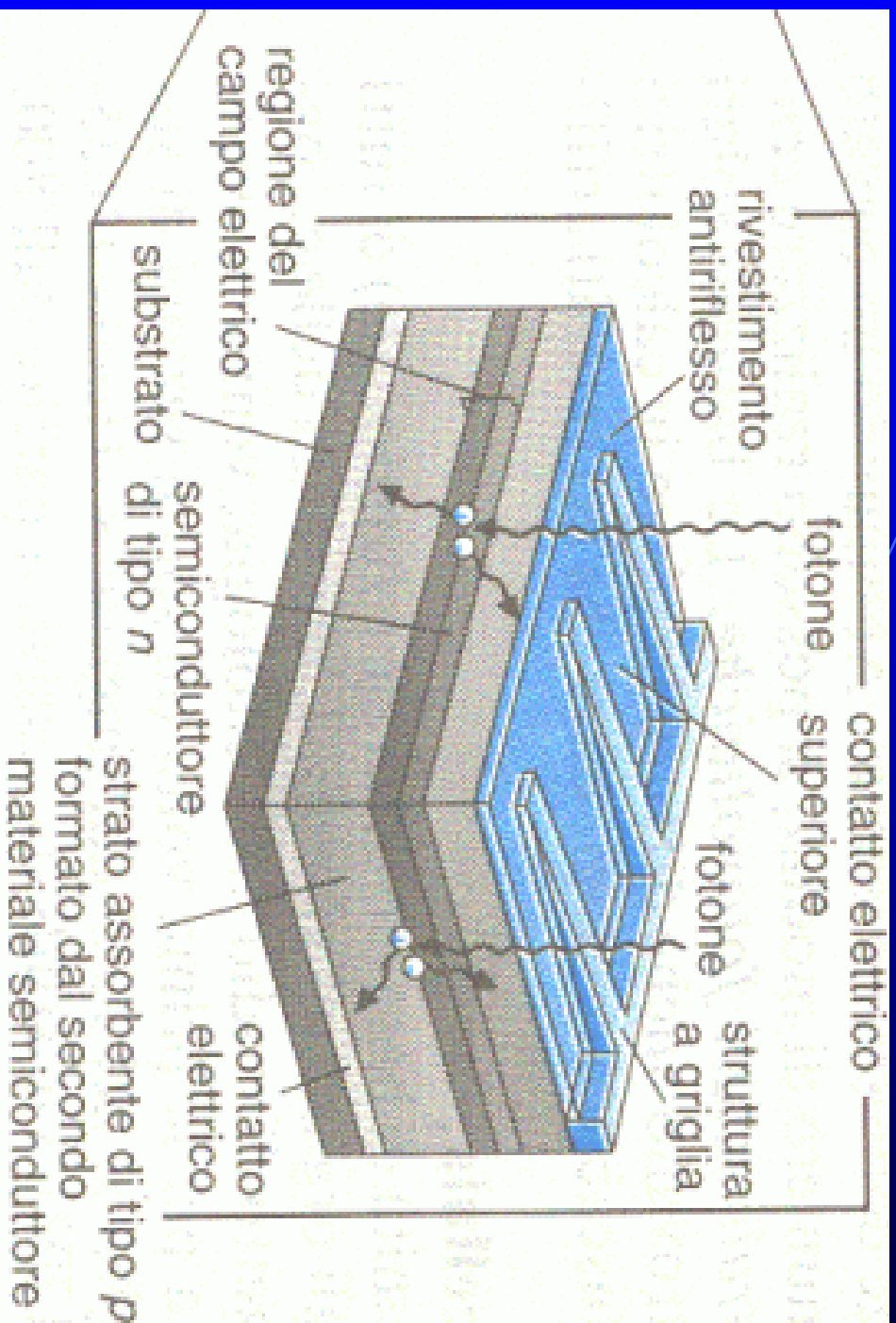


È con riferimento particolare a questa legge che Einstein ebbe,  
nel 1921, il Premio Nobel per la Fisica.



## Funzionamento

È un dispositivo elettronico, detto anche **fotocellula**, basato sull'effetto fotoelettrico per la rilevazione della luce e della sua intensità. Quando il catodo K, carico negativamente, viene illuminato dalla radiazione luminosa L, emette elettroni, che sono attratti dall'anodo A, carico positivamente. In questo modo si crea all'interno del circuito, in cui è inserita la cellula fotoelettrica, una corrente elettrica, la cui intensità è proporzionale all'intensità dell'illuminazione. Se qualcosa (un oggetto, una persona) si interpone tra la sorgente luminosa e il catodo, quest'ultimo non emette più elettroni e la corrente si interrompe. La prima cellula fotoelettrica fu costruita da Elster e Geitel nel 1910.



strato assorbitore di tipo  $p$   
 formato dal secondo  
 materiale semiconduttore

## Funzionamento

Dispositivo, detto anche **fotopila** o **batteria solare**, in grado di trasformare per effetto fotoelettrico direttamente l'energia delle radiazioni luminose in energia elettrica. Nella zona di contatto (giunzione) tra i due semiconduttori esiste un campo elettrico, dovuto alla diversa natura dei due materiali: quando la zona di contatto è colpita da luce solare, cioè da fotoni, vengono emessi elettroni (quelli più esterni degli atomi di silicio) che il campo elettrico spinge nello strato n; per ogni elettrone che si libera, si forma contemporaneamente una carica positiva che, sempre a causa del campo elettrico, viene sospinta nello strato p.