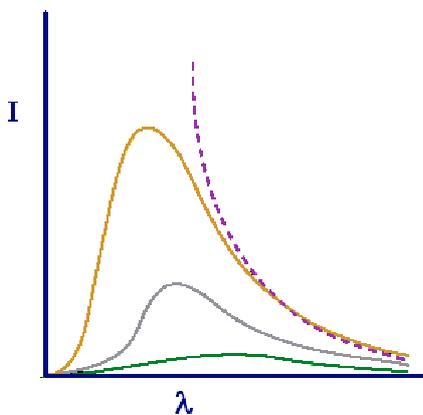
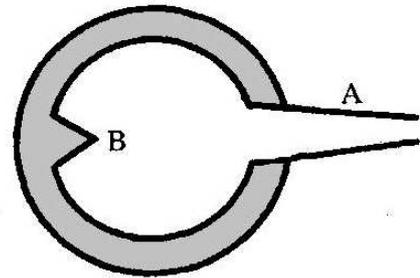


## Perché i quanti? (01/06/11)

Abbiamo detto, un paio di salotti fa, che le equazioni di Maxwell descrivono con assoluta precisione ogni fenomeno elettromagnetico conosciuto. Questo è vero, tranne per qualche dettaglio: il principale è la radiazione emessa da un “Corpo nero”.

Cos'è un Corpo nero? Secondo la definizione, si tratta di un oggetto che ha la caratteristica di assorbire qualsiasi onda elettromagnetica vi piova addosso. E, per una delle leggi di Maxwell, questo comportamento “*in assorbimento*” è reciproco a quello “*in emissione*”: un Corpo nero è pure in grado di emettere qualsiasi onda elettromagnetica.

Come pensiamo un Corpo nero? Ci viene in mente subito una sferetta verniciata di nerofumo. È una prima approssimazione, ma non basta: il nerofumo assorbe tutta la luce visibile ma, per esempio, non assorbe altrettanto bene l'infrarosso. Dunque, dobbiamo pensare a un oggetto di tipo diverso. I fisici hanno ideato delle “sorgenti di Corpo nero” praticamente perfette, sul tipo di quella riportata nella figura accanto. Si tratta di un guscio sferico (in grigio) con una piccola apertura (A, di solito quasi puntiforme) attraverso la quale entra luce di qualsiasi lunghezza d'onda. L'interno del guscio è perfettamente riflettente, ma ha un cono B in posizione esattamente opposta all'ingresso della luce. In questo modo, le onde vengono riflesse in ogni direzione finché non vengono assorbite, ed è praticamente impossibile che un'onda, una volta entrata, riesca a uscire. In pratica, questa sferetta cattura e assorbe ogni onda elettromagnetica entrante e dunque, per reciprocità, se ci poniamo di fronte ad A e scaldiamo la sferetta, ne dovrà uscire luce di ogni lunghezza d'onda. È proprio quello che accade.

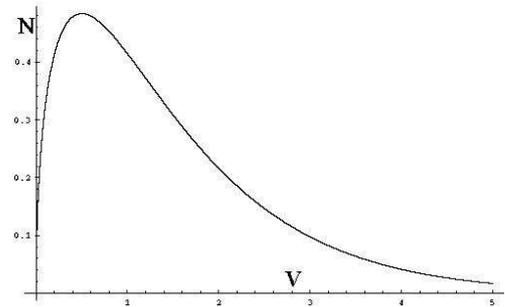


Analizzando lo spettro della luce in uscita da un Corpo nero, ci si accorse ben presto che le cose non andavano molto bene. A sinistra è disegnata la luce uscente dal Corpo nero a varie temperature, assieme alle previsioni teoriche così come si ricavano dalle equazioni di Maxwell. Sull'asse orizzontale c'è la lunghezza d'onda  $\lambda$ , su quello verticale l'intensità **I** della luce. Le linee a tratto pieno indicano lo spettro luminoso emesso per tre temperature di cui, ovviamente, la più elevata corrisponde anche alla maggiore emissione. Scusate se mi ripeto, ma è importante. Cos'è la linea tratteggiata? Si tratta della previsione teorica per l'emissione di Corpo nero alla più alta delle tre temperature. Le due curve concordano perfettamente per  $\lambda$  elevate (microonde, radio) ma, quando si va a  $\lambda$  più corte esse

cominciano a divergere. La curva sperimentale raggiunge un massimo a una certa  $\lambda$  e poi, andando verso l'ultravioletto, riprende a diminuire, per andare a zero quando anche  $\lambda$  è uguale a zero. La curva teorica, invece, continua a salire imperterrita fino all'infinito. A conti fatti, qualunque sia la temperatura del Corpo nero, la teoria prevede che l'emissione totale sia infinita (situazione descritta come “catastrofe ultravioletta”). Inutile dire che, in un mondo del genere, sarebbe un po' difficile vivere. Dunque, la nostra stessa esistenza può aver luogo solo grazie a un comportamento “anomalo” dell'emissione di Corpo nero.

Tale era la situazione della Fisica alla fine dell'800. E vale la pena di ricordare che questa incongruenza rappresentava una delle due “nuvolette all'orizzonte” citate da Lord Kelvin nella sua prolusione alla Fisica del '900, l'altra nuvoletta essendo l'apparente invarianza della velocità della luce evidenziata dall'esperimento di Michelson e Morley.

A Natale dell'anno 1900, un fisico tedesco non più giovanissimo, Max Planck, tenne un seminario in cui raccontava – senza crederci troppo neanche lui – i risultati di alcuni suoi giochini matematici sull'emissione di Corpo nero. Era partito dall'idea che le onde elettromagnetiche fossero emesse dalle accelerazioni che le cariche elettriche presenti negli atomi subivano negli urti tra gli atomi stessi. Aveva ragione, ma ovviamente non era il primo ad averci pensato. Ma lui si era posto il problema: «Se ci sono pochissimi atomi con velocità (e quindi energie) altissime, come potrebbe esserci emissione infinita ad alta energia?» Infatti, la distribuzione di velocità in funzione del numero di particelle che hanno quella velocità, era stata calcolata dallo stesso Maxwell, ed è nella figura qui accanto.  $N$  è la frazione di particelle, e  $V$  la loro velocità, per una data temperatura. Al crescere di  $V$  la frazione tende a zero. Non è possibile che queste particelle emettano energia infinita, ma come si fa a ottenere emissione finita con le equazioni di Maxwell? L'energia di un'onda elettromagnetica è proporzionale al quadrato dei campi elettrico e magnetico che la compongono, e se abbiamo radiazione  $X$  con campi piccoli, e radiazione infrarossa con campi elevati, la radiazione infrarossa può avere più energia di quella  $X$ . Planck, spinto dalla disperazione come raccontò lui stesso molti anni dopo, provò a ipotizzare che la luce, anziché avere energia qualsiasi, avesse un'energia proporzionale alla sua frequenza  $\nu$ . Precisamente,  $E = h \nu$ , dove  $h$  era una variabile di valore finito che serviva come fattore di ragguglio tra un'energia e una frequenza. In questo modo Planck riusciva a ottenere un'emissione di Corpo nero a “pacchetti di luce” o “*quanti*” che non andava più all'infinito per frequenze che vanno a zero. Il suo scopo era quello di diminuire sempre il valore di  $h$  fino a portarlo a zero e tornare quindi alla teoria classica, mantenendo però un'emissione finita. Purtroppo si accorse che solo se  $h$  aveva un certo valore ben preciso i suoi calcoli teorici riproducevano con precisione assoluta lo spettro osservato di Corpo nero, ma se faceva tendere  $h$  a zero l'emissione tornava a essere infinita. Perplesso, raccontò questo strano risultato ai colleghi, ma lui era il primo a non crederci troppo.



Nel 1905, un giovane fisico di nome Einstein pubblicò un articolo in cui si dimostrava che l'emissione della luce a *quanti* non era una stravaganza, ma descriveva esattamente il modo di comportarsi della Natura. Infatti, applicando quest'idea a un'altra stranezza sperimentale, l'Effetto fotoelettrico, si spiegava tutto. Infatti, se inviamo luce di una certa frequenza su un metallo, finché  $\nu$  non sale oltre un certo limite non succede nulla. Poi, all'improvviso, cominciano a uscirne elettroni. Aumentando ancora  $\nu$ , gli elettroni escono con più energia. Se poi mandiamo un fascio di luce più intenso, ma sempre della stessa  $\nu$ , non aumenta l'energia degli elettroni emessi come ci si aspetterebbe in base alle equazioni di Maxwell, ma aumenta il numero degli elettroni che vengono estratti dal metallo, e questi escono sempre con la stessa energia.

Vediamo invece cosa succederebbe se avesse ragione Planck: aumentando  $\nu$  si aumenterebbe l'energia di ogni *quanto*, e a un certo punto quest'energia diventerebbe sufficiente a tirar fuori elettroni dal metallo. Aumentando ancora  $\nu$ , i *quanti* sarebbero ancora più energetici, e l'energia in eccesso sarebbe trasferita agli elettroni. Ma aumentando l'intensità dell'illuminazione, non aumenterebbe l'energia di ogni *quanto*; semmai, aumenterebbe il numero dei *quanti* e, di conseguenza, il numero di elettroni colpiti e buttati fuori.

In pratica, nel 1905 Einstein fondò contemporaneamente la Relatività e la Meccanica quantistica. Ebbe il Nobel solo per la seconda.