

# Einstein contro Bohr

## ... ovvero disquisizioni sul principio di indeterminazione

tratto da: *Trent'anni che sconvolsero la fisica*  
di G. Gamow, Ed. Zanichelli.

... Non possiamo terminare questo capitolo senza riferire una discussione appassionante tra Niels Bohr, che era il grande paladino delle relazioni di indeterminazione, e Albert Einstein, che restò fino alla morte un loro fiero avversario. L'incidente ebbe luogo a Bruxelles, durante il Sesto Congresso Solvay (a. 1930) dedicato ai problemi della Teoria dei Quanti, e coinvolse (come era prevedibile, data la presenza di Einstein!) la *relazione di indeterminazione* in quattro dimensioni. In questo libro abbiamo scritto finora la relazione

$$\Delta p \Delta r \approx h$$

nel caso unidimensionale di una coordinata e di una sola corrispondente quantità di moto. In un sistema di coordinate cartesiane a tre dimensioni, però, ci sono tre relazioni indipendenti:

$$\Delta p_x \Delta x \approx h$$

$$\Delta p_y \Delta y \approx h$$

$$\Delta p_z \Delta z \approx h$$

Poiché nella Teoria della Relatività il tempo (nella forma  $ct$ ) serve da quarta coordinata, e l'energia (nella forma  $E/c$ ) da quarta componente della quantità di moto, si poteva prevedere che esistesse una quarta relazione di indeterminazione

$$\Delta E \Delta t \approx h$$

e fu su questo che nacque l'incidente durante il Congresso.

---

Einstein si fece avanti per annunciare che poteva proporre un esperimento ideale per contraddire questa quarta relazione. Pensava, disse, a una scatola tappezzata di specchi e piena di una certa quantità di energia raggiante. In una parete c'era un tipo ideale di otturatore fotografico connesso con una sveglia ideale, regolabile in modo che l'otturatore funzionasse in un qualsiasi momento stabilito, dopo che la scatola era stata riempita di radiazione.

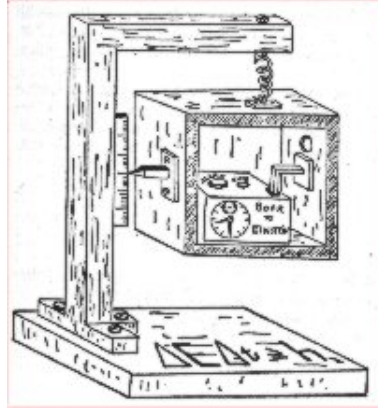


Figura 1: *Esperimento ideale con cui Bohr ha sconfitto Einstein usando la sua teoria della relatività generale.*

Dato che la sveglia si trovava dentro la scatola e l'otturatore era chiuso, l'interno della scatola era completamente isolato dal mondo esterno. Einstein proponeva di pesare la scatola prima che la sveglia suonasse; la pesata poteva essere eseguita con tutta la precisione desiderabile, bastava disporre di tempo sufficiente. L'otturatore si sarebbe aperto nel momento esatto su cui era stata regolata la sveglia, lasciando uscire una certa quantità di energia raggiante  $E$ .

Dopo aver chiuso l'otturatore si poteva pesare di nuovo la scatola con tutta la precisione desiderabile. Il cambiamento della massa della scatola ( $M_2 - M_1$ ) si poteva ricavare con precisione dalle due pesate e moltiplicato per  $c^2$  avrebbe dato la quantità esatta di energia emessa, così che  $\Delta E = 0$ .

D'altra parte la sveglia ideale avrebbe dovuto funzionare in modo perfetto, così che non ci sarebbe stata incertezza sul momento in cui l'energia veniva emessa, e quindi anche  $\Delta t = 0$ . Il fatto di avere  $\Delta E = 0$  e insieme  $\Delta t = 0$  distruggeva la quarta relazione di indeterminazione.

Gli argomenti sembravano molto persuasivi e Bohr non trovò niente da dire. Ma la mattina successiva, dopo una notte quasi insonne, Bohr, la faccia raggianti, si presentò nella sala del congresso con una spiegazione. Per pesare la scatola, fece notare, bisognava permetterle di muoversi in direzione: verticale, qualunque fosse il tipo di bilancia usato, a molla o a piatti. La sveglia, cambiando posizione nel campo gravitazionale della Terra, andava avanti o ritardava conformemente al principio di Einstein relativo all'influsso del potenziale di gravitazione sul ritmo dell'orologio. Si sarebbe introdotta un'indeterminazione  $\Delta t$

---

circa il momento in cui sarebbe scattato l'otturatore. D'altra parte l'ampiezza delle oscillazioni verticali della scatola, che determina  $\Delta t$ , è connessa attraverso la già vista relazione

$$\Delta p_z \Delta z \approx h$$

con il cambiamento di massa che fa oscillare la scatola quando viene persa energia. Destreggiandosi con le equazioni Bohr giunse facilmente a concludere che

$$\Delta E \Delta t \approx h$$

smantellando così gli argomenti di Einstein servendosi delle più importanti scoperte di Einstein stesso.