

Premi Nobel per la Fisica 2012

Serge Haroche, David J. Wineland

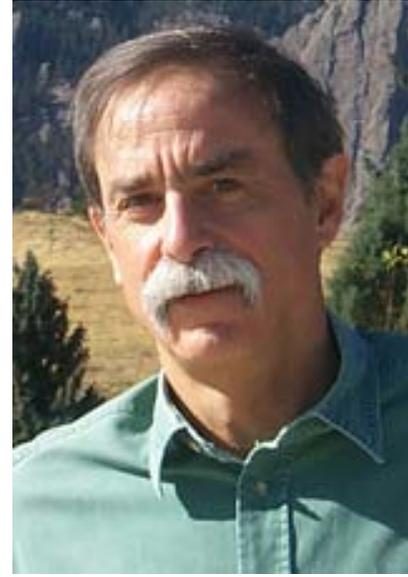
**Accademia delle Scienze di Torino
10 dicembre 2012**

**Presentazione di
Alessandro Bottino**



Serge Haroche

Collège de France, and École
Normale Supérieure, Paris,
France



David J. Wineland

National Institute of Standards
and Technology, and University of
Colorado, Boulder, Colorado, USA

**Motivazione: metodi sperimentali innovativi che hanno
reso possibili la misurazione e la manipolazione di
sistemi quantistici individuali**

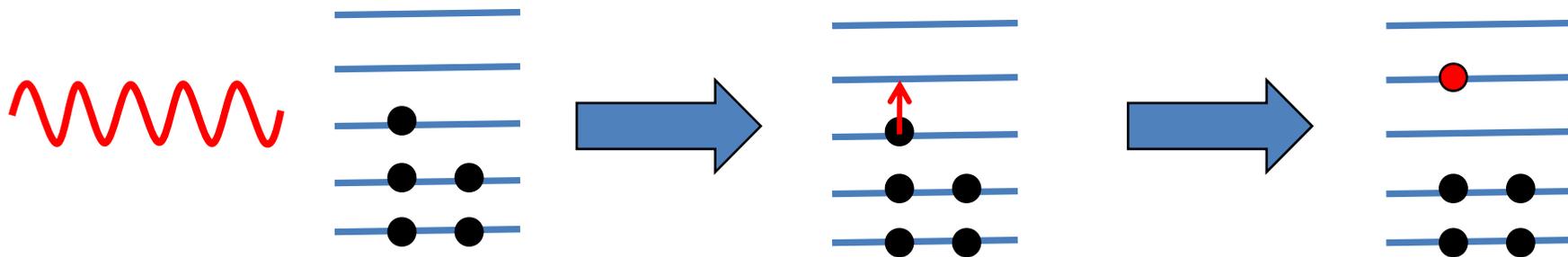
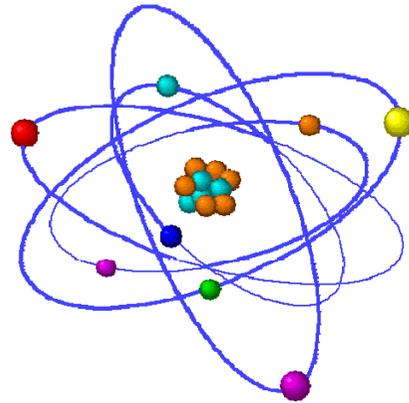
Le ricerche di Haroche e Wineland si collocano nel campo dell'**ottica quantistica**, branca della fisica che tratta l'**interazione materia - radiazione elettromagnetica in termini di Meccanica Quantistica**.

Temi di maggiore rilevanza:

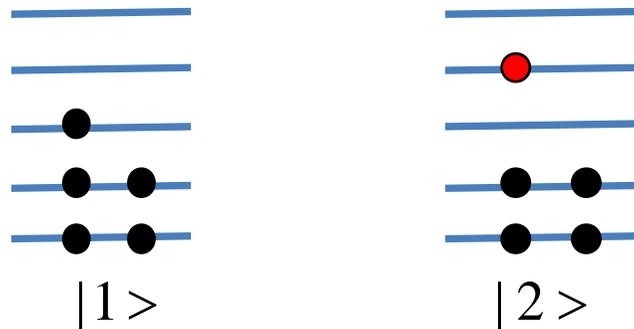
- ★ elementi concettuali di **interpretazione di Meccanica Quantistica**
- ★ applicazioni tecnologiche riguardanti
 - **misure di tempi** con altissima precisione
 - possibili sviluppi di **computer quantici**

La Meccanica Quantistica descrive i sistemi microscopici (atomi, particelle) tramite proprietà peculiari non condivise dai sistemi macroscopici.

In un atomo gli elettroni si muovono su orbite quantizzate: gli elettroni saltano da un'orbita all'altra a seguito di assorbimento o di emissione di radiazione elettromagnetica (fotoni).



Secondo la Meccanica Quantistica **un sistema fisico microscopico puo' esistere simultaneamente in piu' stati**. Se in gioco vi sono solo 2 stati, per esempio, gli stati



un generico stato microscopico e' descritto dalla **funzione (d'onda)**

$$\psi = a_1 |1\rangle + a_2 |2\rangle$$

Le probabilita' che il sistema sia nello stato $|1\rangle$ oppure nello stato $|2\rangle$ sono date rispettivamente da

$$P_1 = |a_1|^2, \quad P_2 = |a_2|^2$$

Per esempio: $\psi = \frac{1}{\sqrt{2}} (|1\rangle \pm |2\rangle)$

Questa situazione **non si verifica per corpi macroscopici**.
Come si conciliano queste diverse proprieta'?

Gatto di Schrödinger: esperimento "pensato" proposto come paradosso da Erwin Schrödinger (1935), uno dei padri della Meccanica Quantistica



Un gatto e un atomo radioattivo sono racchiusi in una scatola con un dispositivo che induce la morte del gatto in concomitanza con il decadimento dell'atomo.

Il sistema quantistico (atomo radioattivo) e' correlato con il sistema macroscopico (gatto).

Lo stato quantistico è in una sovrapposizione dei 2 stati: "atomo non-decaduto", "atomo decaduto".

Quindi anche lo stato macroscopico è anch'esso in una sovrapposizione di stati: "gatto vivo", "gatto morto"!?!?

No, un sistema macroscopico non si comporta mai come sovrapposizione di 2 stati. Eseguendo un'osservazione sullo stato del gatto si osservano 2 possibili stati: "gatto vivo" **oppure** "gatto morto".

Come si realizza la **transizione tra descrizione microscopica e quella macroscopica ?**

Ricetta per studiare la transizione MQ \longrightarrow MC in modo graduale:

- a) realizzare osservazioni dirette di sistemi quantistici **individuali**
- b) preparare **sistemi "mesoscopici"** (intermedi tra sistemi microscopici e sistemi macroscopici) nei quali la decoerenza avvenga in modo lento e quindi osservabili.

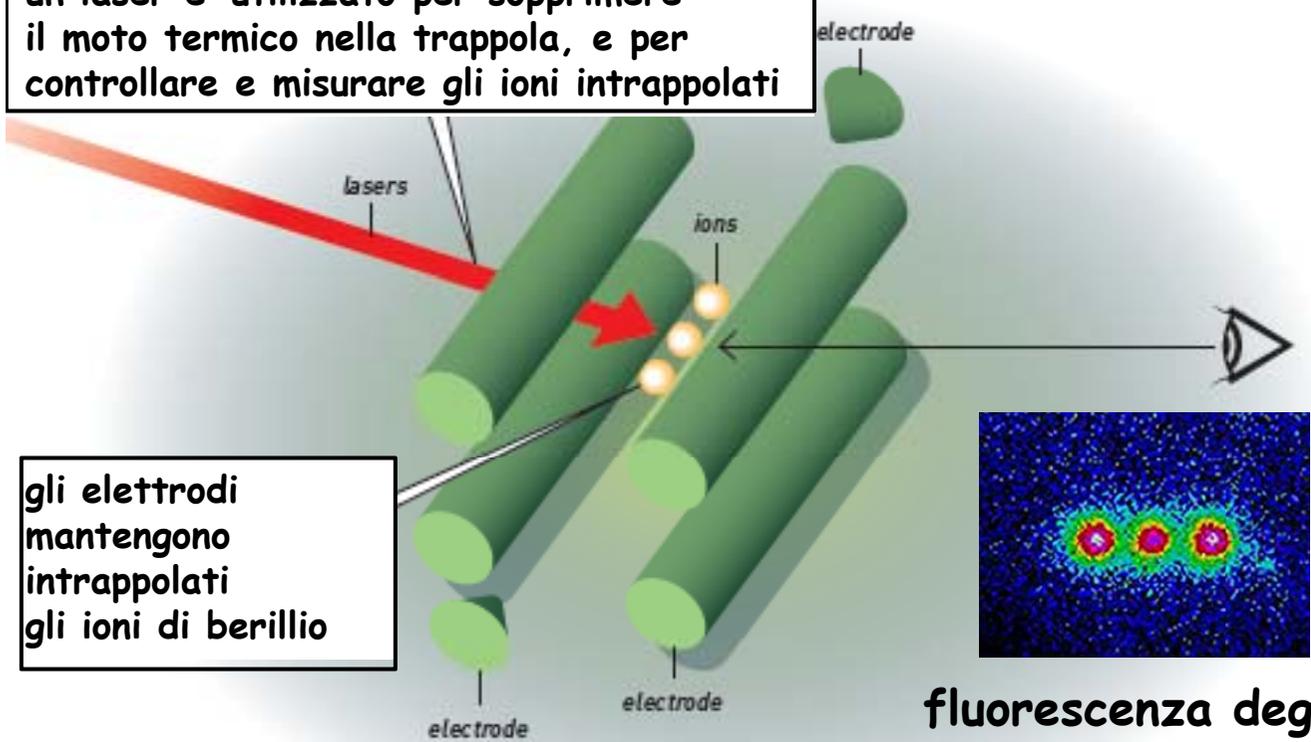
Due modalita' di realizzazione:

- 1) **intrappolamento di ioni** (atomi con carica elettrica) e loro controllo e misura mediante fotoni (**David Wineland**)
- 2) **intrappolamento di fotoni** e loro controllo e misura mediante atomi (**Serge Haroche**)

Trappola di ioni (Wineland)

un laser e' utilizzato per sopprimere il moto termico nella trappola, e per controllare e misurare gli ioni intrappolati

gli elettrodi mantengono intrappolati gli ioni di berillio



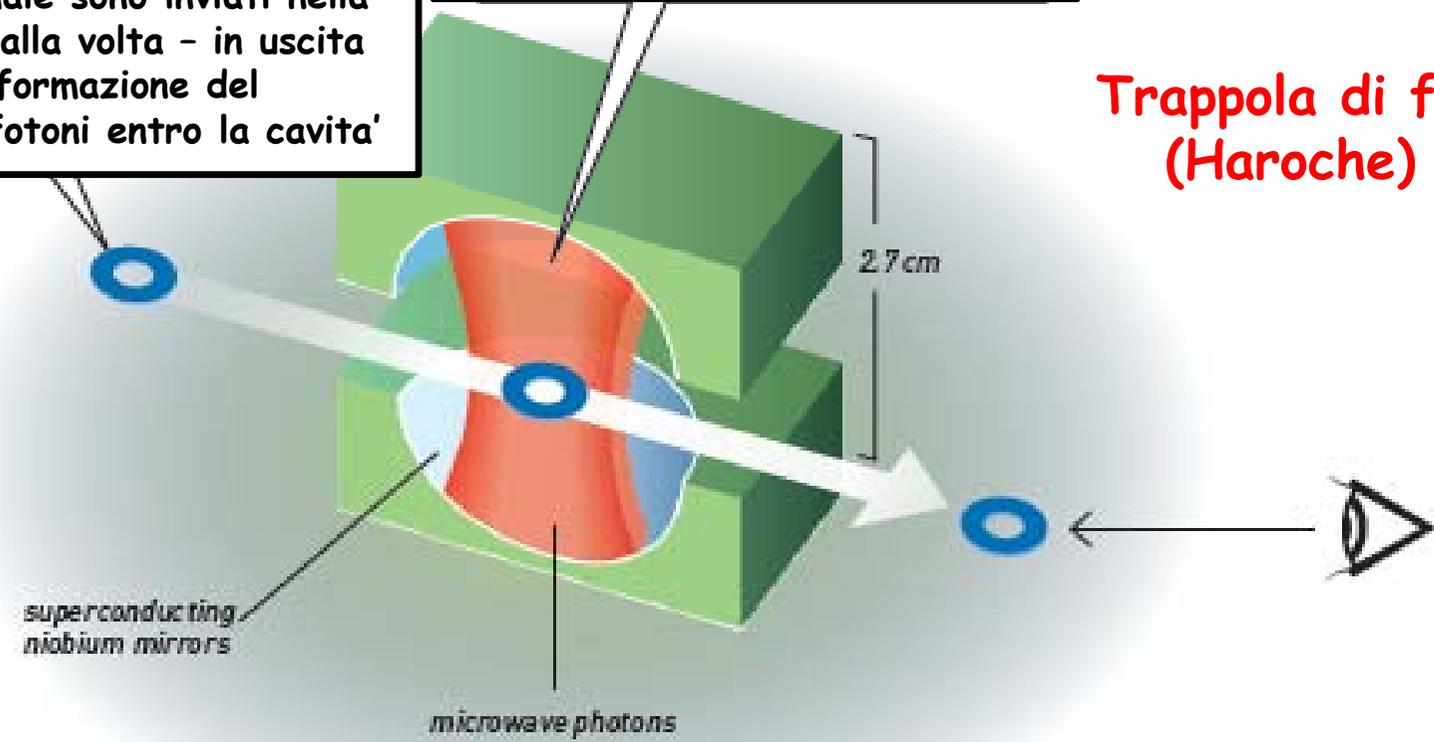
fluorescenza degli ioni di berillio



atomi (di Rydberg) con raggio di circa 1000 volte quello di un atomo normale sono inviati nella cavita' uno alla volta - in uscita portano l'informazione del numero di fotoni entro la cavita'

i fotoni rimbalzano piu' volte tra 2 specchi entro un piccola cavita' per circa un decimo di secondo

Trappola di fotoni (Haroche)



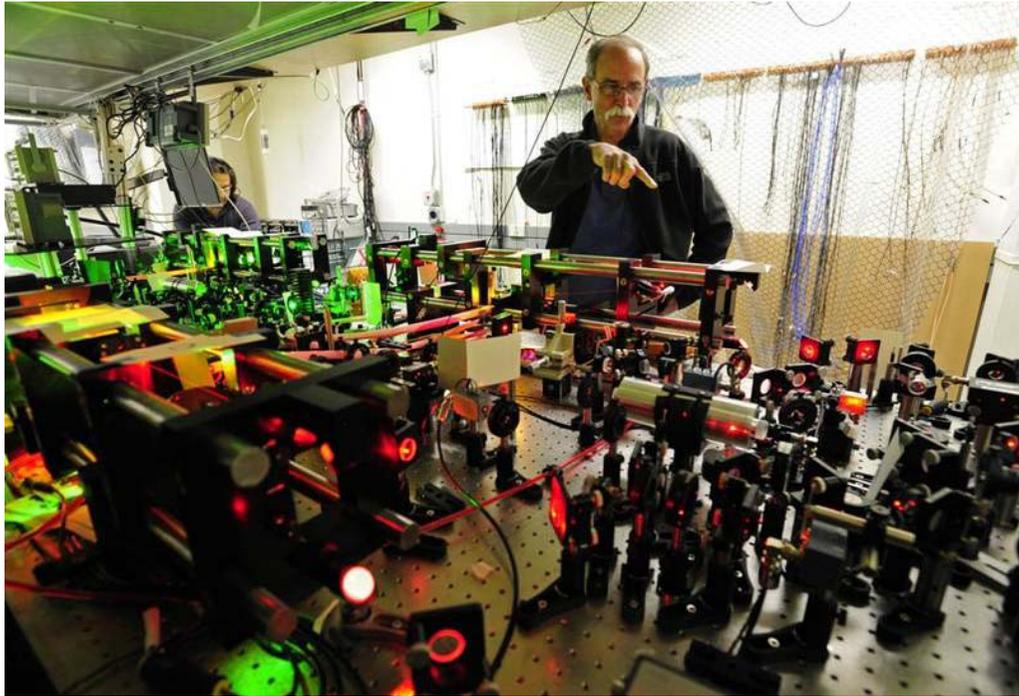
$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle + |1\rangle)$$

nessun fotone

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle + |1\rangle)$$

1 fotone

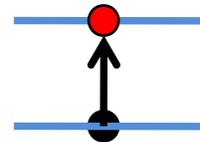
$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle - |1\rangle)$$



Orologi atomici nell'ottico

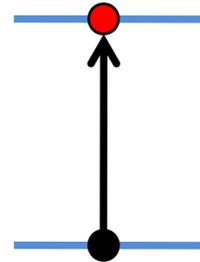
In un orologio atomico per la misura dei tempi si utilizza la frequenza caratteristica relativa alla transizione di un elettrone da una orbita ad un'altra in un atomo (la misura dei tempi è tanto più precisa, quanto maggiore è la frequenza della transizione)

orologio con
atomi di cesio



frequenza nelle
microonde

orologio con ioni
in una trappola
à la Wineland



frequenza nel visibile

L'orologio a ioni permette di realizzare una precisione di una parte su 10^{17} ossia una precisione 100 volte maggiore di quella degli orologi al cesio.

Se avessimo cominciato a misurare il tempo con questo orologio all'inizio del nostro Universo (ossia circa 14 miliardi di anni fa), oggi il nostro orologia potrebbe avere un errore di 5 secondi.

Computer quantistico

Nei computer classici: unita' minima di informazione è il bit che puo' prendere il valore 0 oppure il valore 1

In un computer quantistico: unita' minima di informazione è il bit quantistico, "qubit", che puo' prendere il valore 0 e il valore 1 nello stesso istante.

Compressione di due qubit in uno:

a partire dallo stato $\psi = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0,0\rangle + |1,1\rangle)$

ed agendo sul qubit in seconda posizione si possono generare 4 possibili stati mutuamente esclusivi

$$\psi_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0,0\rangle + |1,1\rangle) \quad \psi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0,1\rangle + |1,0\rangle)$$

$$\psi_3 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0,0\rangle - |1,1\rangle) \quad \psi_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0,1\rangle - |1,0\rangle)$$

che consentono di trasmettere 4 messaggi distinti

Si lavora sui 3 requisiti necessari per realizzare un computer quantistico:

1) **memoria affidabile** (ioni contenuti in trappole elettromagnetiche sono buoni registratori di memoria a qubit)

2) **capacita' di manipolazione** di un singolo qubit

3) realizzazione di **porta logica condizionale** mediante accoppiamento tra due qubit

Primi studi elementari in atto; **sara' necessario sviluppare un enorme lavoro prima di arrivare alla realizzazione di un effettivo computer quantico.**

I principi alla base dei computer quantici vennero anticipati nel 1981 da **Richard Feynman** (Nobel per la Fisica, 1965, per lavori fondamentali su elettrodinamica quantistica)

