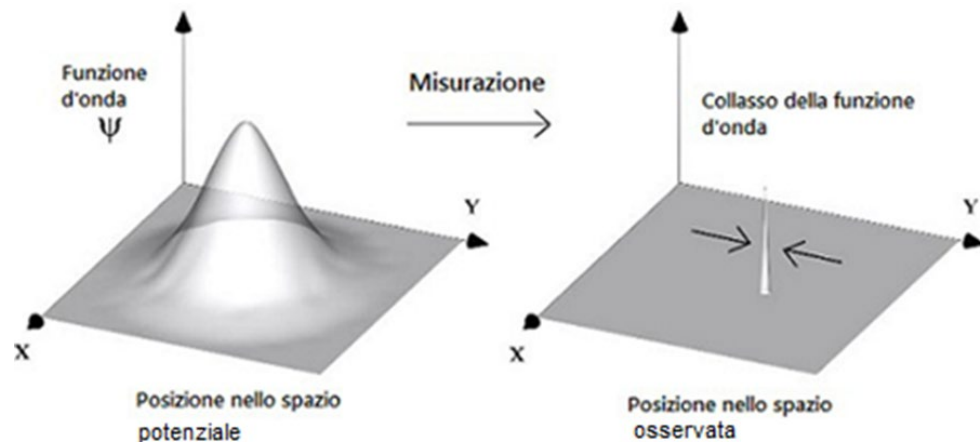


Proprieta' della "realta' quantistica"

La fisica quantistica ci obbliga a rivedere alcune nozioni sulla "realta' fisica" che la nostra esperienza, formalizzata dalla fisica classica, ci aveva abituato a pensare come "naturali".
Le nuove proprieta':

Indeterminismo Una conoscenza massimale del sistema ad un istante è data da un'onda di probabilità e non ci consente la previsione certa dei risultati di misure: la "realta' quantistica" in ambito predittivo e' intrinsecamente indeterministica ! In MQ (interpretazione ortodossa) la struttura probabilistica è non epistemica! La natura ondulatoria genera l'effetto tunnel



HEISENBERG
DEPT. OF PHYSICS

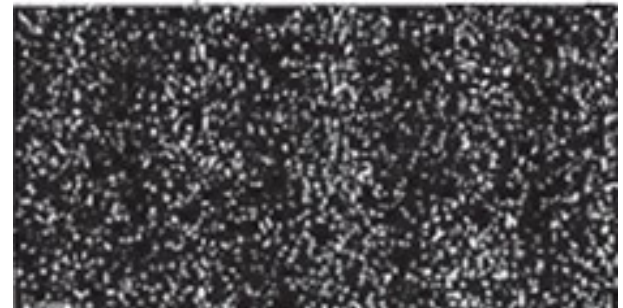
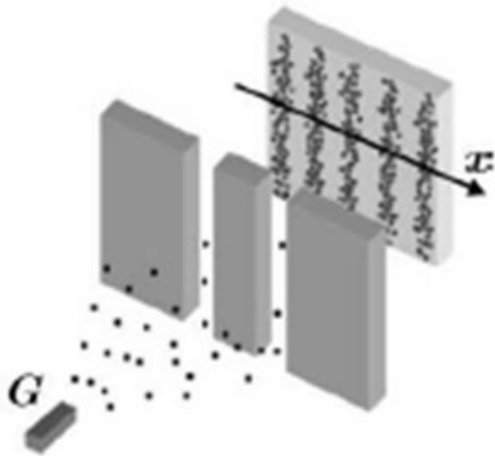


chase

Formalismo matematico : lo **stato** del sistema che caratterizza la massima informazione (stato puro) è descritto da un raggio vettore di uno spazio di Hilbert complesso separabile o equivalentemente da un proiettore in un suo sottospazio unidimensionale.

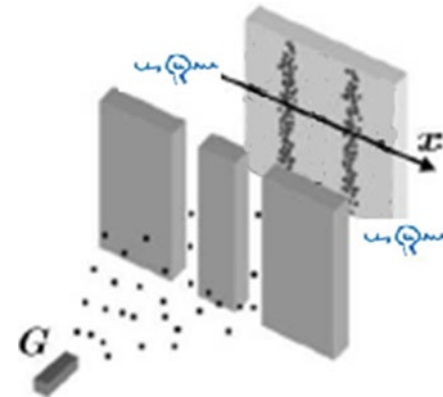
- Le quantità misurabili, le **osservabili**, sono descritte da operatori autoaggiunti nello spazio di Hilbert degli stati.
- I possibili risultati delle misure (**spettro**) sono descritti dagli autovalori, anche generalizzati di tali operatori.
- Due osservabili possono essere misurate simultaneamente senza disturbo reciproco se e solo se commutano (**osservabili compatibili**).
- Un insieme completo (massimale) di osservabili compatibili (**ICOC**) definisce una **rappresentazione**, cioè un modo possibile di rappresentare lo stato tramite una funzione d'onda funzione degli autovalori dell'ICOC.

Interferenza delle probabilità La probabilità di ottenere un risultato in una misura di un'osservabile è determinata dal modulo quadro della funzione d'onda del sistema (in una rappresentazione associata a un ICOC compatibile con tale osservabile). In caso di alternative non osservate, mutuamente esclusive se fossero osservate, (come le due fenditure) presenta il fenomeno di interferenza delle probabilità incomprensibile anche con la probabilità classica (epistemica)!



Formalismo matematico: La probabilità misurando una osservabile A in uno stato puro Ψ di ottenere un risultato in un insieme reale Δ è data dal valor medio in Ψ del proiettore in Δ della famiglia spettrale di A : $(\Psi, P^A(\Delta) \Psi)$ o per più osservabili compatibili A_i il valor medio del prodotto di $P^{A_i}(\Delta_i)$

Osservazione=disturbo Lo stato di un sistema non osservato evolve deterministicamente secondo l'equazione di Schroedinger. Il sistema osservato si comporta in modo diverso da come si comporta se non e' osservato : l'interferenza delle probabilità scompare , la probabilità diventa epistemica, cioè l'informazione non è più massimale ovvero il sistema dal punto di vista probabilistico dei risultati è descritto da uno stato misto.



Formalismo matematico: L'evoluzione deterministica dello stato Ψ non osservato è descritta applicando a Ψ la famiglia a un parametro di operatori unitari $U(t) = \exp(-i H t/\hbar)$

-Uno stato misto quantistico può essere visto come una distribuzione di probabilità su un insieme numerabile di stati puri ovvero una somma di tali stati puri rappresentati come proiettori unidimensionali pesati con le relative probabilità e più in generale è descritto da una matrice densità ρ che è un operatore autoaggiunto positivo di traccia 1.

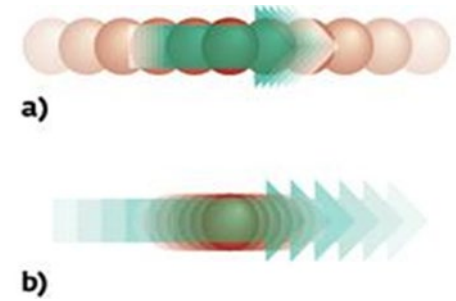
-Dopo una misura ideale di un'osservabile A in uno stato puro Ψ che ha dato un risultato in un insieme reale Δ lo stato è descritto da $P^A(\Delta) \Psi$ (proiezione di von Neumann)

-Se il risultato della misura non è conosciuto, l'informazione sul sistema è descritta da uno stato misto ottenuto pesando con le relative probabilità gli stati puri corrispondenti ai possibili risultati.

Indeterminazione Non posso conoscere simultaneamente con precisione arbitraria tutte le grandezze fisiche; in particolare posizione e momento delle particelle: principio di indeterminazione di Heisenberg:

$$(\Delta X)_\psi (\Delta P)_\psi \geq \hbar/2.$$

Non ci sono traiettorie!



UNCERTAINTY - BY NANSCLARK



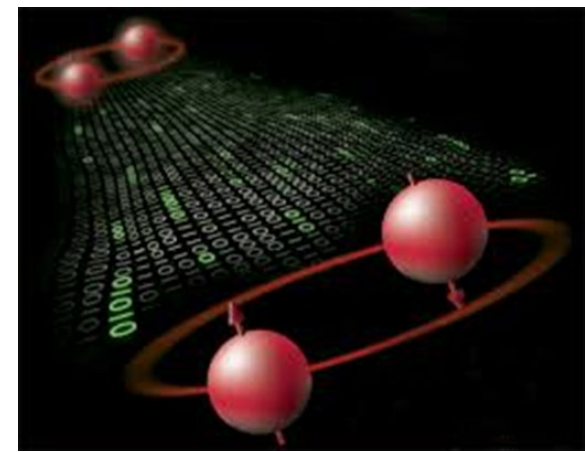
Formalismo matematico: Se due operatori autoaggiunti A e B che descrivono osservabili non commutano, allora il prodotto delle fluttuazioni delle due osservabili in uno stato (eventualmente in un opportuno dominio) sono maggiori o uguali al modulo del valor medio di $[A, B] / 2$ nello stato.

-Poiché i commutatori non nulli di un insieme irriducibile di osservabili, come posizione, momento e spin per una particella elementare, sono proporzionali a \hbar , la natura indeterministica della fisica quantistica dipende da \hbar .

-La presenza di commutatori non nulli comporta l'esistenza di spettri discreti proporzionali ad \hbar , ad esempio per il momento angolare e per l'energia degli stati legati, il che assicura la stabilità della materia, derivabile anche dalla natura di onde stazionarie degli autostati dell'energia.

- La natura di raggi vettori degli stati puri consente via teoremi di Wigner e Bargmann, l'esistenza di spin seminteri.

Entanglement Esistono stati di sistemi composti in cui le proprietà dei sottosistemi non hanno realtà indipendenti. Applicazioni: teletrasporto, crittografia e computer quantistici, la probabile tecnologia del futuro



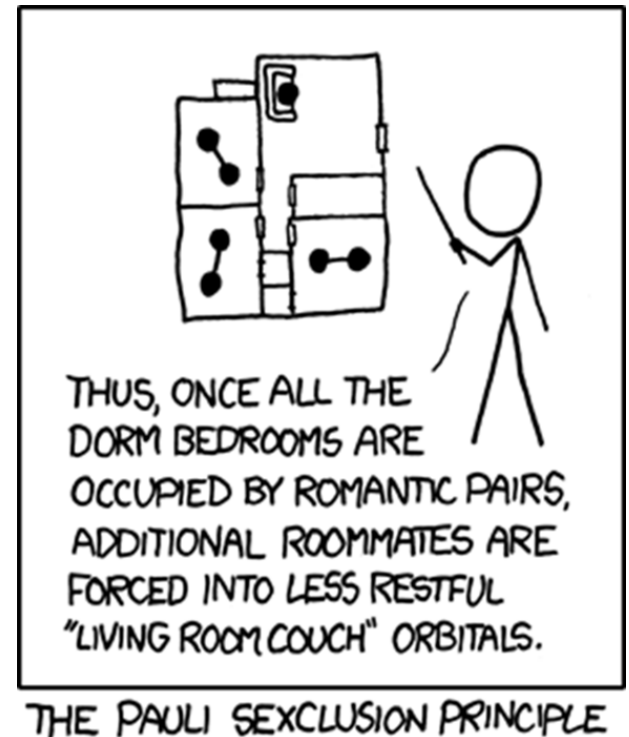
Formalismo matematico: Lo spazio di Hilbert di un sistema composto di sottosistemi non identici è il prodotto tensore degli spazi di Hilbert dei sottosistemi. Le funzioni d'onda del sistema composto possono essere rappresentate come funzioni degli autovalori di ICOC dei sottosistemi. Poichè lo spazio di Hilbert totale è uno spazio vettoriale esistono degli stati in esso che non possono essere scritti come prodotto di stati dei sottosistemi, questi sono gli stati entangled.

EPR+Bell: Non è possibile avere sia la proprietà di controfattualità che di località (cioè realismo locale per gli stati)

Perdita dell'individualità per particelle identiche

La sparizione delle traiettorie comporta che l'identità delle particelle porta alla loro indistinguibilità. La natura di raggi vettori degli stati puri consente poi l'esistenza di statistiche fermioniche che caratterizzano le particelle della materia. Una conseguenza di tale statistica è che esse non possono avere neppure potenzialmente la stessa posizione e verso dello spin ! (principio di esclusione di Pauli)

Implicazioni: incompenetrabilità dei corpi, chimica, proprietà dei solidi



Ci lasciamo con l'unico incubo di un fisico quantistico...



IL GATTO DI SCHROEDINGER
è vivo e medita vendetta

...finalmente il corso è finito!