

FISICAST

per  
**SxT**

# Il gatto di Schrödinger

di

Catalina Oana Curceanu



## **Il gatto di Schroedinger**

**Catalina Oana Curceanu**

### **Abstract:**

**Il famosissimo gatto di Schroedinger e' un gatto mezzo morto e mezzo vivo, in una sovrapposizione di stati. Partendo da questo paradosso della meccanica quantistica Catalina Curceanu ci parlera' dei qubit e della sinfonia quantistica nei computer di domani.**

### **INIZIO**

**In questa puntata parleremo della meccanica quantistica con Catalina Oana Curceanu, ricercatrice dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Frascati. Catalina ci introdurrà ai "misteri" della meccanica quantistica, spiegandoci che cos'è il gatto di Schroedinger e come, usando le proprietà quantistiche, si studiano nuove tecnologie, fra le quali in particolare il computer quantistico.**

**Q: Buongiorno Catalina, non vedo l'ora di conoscere il gatto di Schrschr.... vabbè, il gatto di quale parli, si tratta di un gatto al quale hai insegnato di lavorare al computer, vero? Sto scherzando! Ma... di cosa ci parlerai in questa puntata?**

A: Il gatto di Schroedinger è un gatto immaginario, un povero gatto mezzo morto e mezzo vivo, l'emblema di uno dei problemi più affascinanti della meccanica quantistica, il cosiddetto "problema della misura". Ma, oltre ad essere un problema per i fisici quantistici, la "sovrapposizione di stati" è anche un'enorme opportunità per future tecnologie, quali appunto i computer quantistici.

**Q: Aiuto! Sovrapposizione di stati, problema della misura? Ma di che si tratta?**

A: Hai ragione Chiara. Partiamo dall'inizio... sai, ogni volta che parlo di questi argomenti mi entusiasmo al punto che vado anche io in una sovrapposizione di ... idee, ahahah!

**Q: Dai Catalina, non scherzare! Ma, innanzitutto, che cos'è la meccanica quantistica?**

A: La meccanica quantistica è una teoria che descrive il mondo microscopico, quello delle particelle elementari per intenderci, scoperta circa 100 anni fa: è uno dei pilastri della fisica moderna insieme alla teoria della relatività. Sai, all'inizio del 1900, quando si è capito che l'atomo è composto da un nucleo centrale, piccolo e molto denso, circondato da elettroni, tutto questo non quadrava con le leggi della meccanica di allora. L'atomo era un mistero, non poteva esistere!

**Q: Ma come? Gli atomi esistono! Lo sanno tutti che siamo composti di molecole, a loro volta fatte di atomi. Il nostro DNA, nonché l'aria che respiriamo sono fatte di atomi!**

A: Già! Ma, per quello che si sapeva agli inizi del '900 gli elettroni, che hanno carica elettrica e che ruotano vorticosamente intorno al nucleo centrale degli atomi, dovevano comportarsi come quelli che scorrono in un filo elettrico: dovevano cioè emettere onde elettromagnetiche, ma facendolo, avrebbero ceduto parte della loro energia. Così prima o poi avrebbero finito per perderla tutta e sarebbero caduti nel nucleo. E tutto questo sarebbe accaduto, secondo i calcoli, in tempi estremamente brevi! Ecco dunque che la stabilità degli atomi era un grande mistero. Mistero risolto da Niels Bohr che, partendo proprio da queste considerazioni, elaborò le basi della meccanica quantistica, teoria che ci dice che gli elettroni all'interno di un atomo si trovano in orbitali stabili, dove non emettono energia, diversamente dagli elettroni in un filo conduttore. Assieme alla spiegazione di altri fenomeni, quali l'effetto fotoelettrico da parte di Einstein e la radiazione del corpo nero da parte di Planck, questa teoria di Bohr fu l'avvio della meccanica quantistica, una teoria che tutt'oggi, genera dibattiti e discussioni.

**Q: Dibattiti e discussioni? Vuol dire che non si sa se sia corretta?**

A: No, non volevo dire questo. La meccanica quantistica è certamente una teoria che riesce a prevedere gli esiti dei nostri esperimenti con una precisione incredibile. Non solo: la meccanica quantistica la utilizziamo tutti i giorni, e tutti noi verifichiamo che è giusta!

**Q: Anche io?**

A: Sì, anche tu e chi mi sta ascoltando, se non altro perché i transistori, che sono alla base dell'elettronica moderna, per esempio dentro ai circuiti del tuo cellulare, si possono costruire grazie all'applicazione dei principi della meccanica quantistica. Per far sì che i transistor funzionino la teoria quantistica è fondamentale, come abbiamo già spiegato nelle puntate: Il Transistor, L'effetto fotoelettrico, La meccanica quantistica nel mio cellulare, Le particelle elementari.

**Q: E allora, cos'è che non va bene? Oh, voi, i fisici, sempre impossibile da accontentarvi!**

R. Aspetta, non sbrigarti ad arrivare a conclusioni così drammatiche! In questo caso vedrai che anche tu dirai "ma com'è possibile?" appena ti avrò spiegato la storia del povero gatto di Schroedinger.

**Q: Già, mi ero quasi dimenticata! Dovevamo parlare di gatti.**

A: Sì, ritorniamo al famoso gatto di Schroedinger, che, come ti dicevo, è un gatto immaginario, usato da Schroedinger per spiegare ai suoi colleghi, nel lontano 1935, che forse nella brillante nuova teoria, c'è qualcosa che non quadra.

**Q: Ma chi è Schroedinger?**

A: Erwin Schroedinger era un fisico di origine austriaca, diventato molto famoso negli anni 20' del secolo scorso in quanto ha messo a punto un'equazione che porta il suo nome, scoperta per la quale ha ricevuto il premio Nobel per la fisica nel 1933. Quest'equazione è l'equazione fondamentale della meccanica quantistica e descrive i comportamenti quantistici dei sistemi microscopici attraverso la cosiddetta "funzione d'onda". Risolvendo l'equazione di Schroedinger, cosa non sempre facile, si possono prevedere i comportamenti dei sistemi quantistici, attraverso il calcolo della probabilità dei vari possibili esiti.

**Q: Funzione d'onda, probabilità. Sembrano molto complicati! Cosa sono?**

A: Tecnicamente la funzione d'onda è una "funzione complessa delle coordinate spazio-temporali che rappresenta lo stato di un sistema fisico". In parole più semplici possiamo dire che è la grandezza matematica con la quale, usando l'equazione di Schroedinger, si calcola il comportamento del sistema fisico, delle particelle, per intenderci. Per tanti fisici la funzione d'onda è solo un espediente che non ha una realtà fisica, ma soltanto matematica. Bohr la pensava così! Per altri fisici invece la funzione d'onda è una realtà fisica. È un argomento molto affascinante!

**Q: E le probabilità?**

A: Ecco, l'equazione di Schroedinger non ci permette di sapere con precisione quale sarà l'esito di un esperimento. Nella meccanica classica, conoscendo lo stato iniziale, puoi prevedere con certezza cosa accadrà e l'esito è unico (se lasci andare un sasso quello non potrà che cadere in verticale). Nella meccanica quantistica invece, a partire dallo stesso stato iniziale puoi avere diversi esiti. Tramite la funzione d'onda possiamo soltanto calcolare le probabilità di questi vari esiti e non c'è modo, nessuna speranza, di sapere con precisione quale esito verrà attuato!

**Q: Puoi farmi un esempio? Sai, è un po' difficile da capire!**

A: Sì, ti credo! La meccanica quantistica è così diversa dalla vita di tutti i giorni, dove abbiamo a che fare con oggetti macroscopici e non con atomi e particelle! Vediamo un po'. Allora, hai mai sentito parlare dei decadimenti nucleari? Cioè della radioattività.

**Q: Sì, ne ho sentito parlare proprio nella puntata "Radioattività: tra pregiudizi e realtà"**

A: Sì, proprio quella! La meccanica quantistica ci permette di dire che in un certo periodo di tempo ci sarà una certa probabilità di decadimento della sorgente radioattiva, ma non c'è modo di avere la certezza che un certo nucleo decadrà oppure no. Se ci limitiamo ad un nucleo soltanto, possiamo per esempio dire che in un periodo di tempo definito ci sarà il 50% di probabilità che decada e il 50% che rimanga integro. Certi nuclei possono decadere subito e altri dopo periodi lunghissimi. È un processo intrinsecamente casuale, poiché non c'è nessun motivo, nessuna causa fisica, per cui un nucleo decada in un certo momento o in un altro. Gli esempi possono continuare, vedi il caso...

**Q: No, no, ho capito! Ma... il gatto? Non vedo l'ora di capire cos'è questo gatto e che c'entra Schroedinger?**

A: Allora, una delle conseguenze della meccanica quantistica è che per un sistema microscopico la funzione d'onda totale è una sovrapposizione. Se vuoi, una somma di tutte le funzioni d'onda possibili, cioè di tutte quelle funzioni d'onda che descrivono i possibili comportamenti del sistema studiato. Per esempio, il nostro atomo radioattivo è rappresentato dalla somma della funzione d'onda che lo descrive già decaduto più la funzione d'onda che lo descrive non decaduto. Ma, quando faccio la misura di un sistema quantistico, mica vedo tanti comportamenti sovrapposti! Vedo un solo comportamento, uno di quelli che vengono descritti dall'equazione di Schroedinger. Cioè nel nostro esempio, se misuro lo stato dell'atomo, lo vedo o decaduto o non decaduto, visto che uno stato esclude l'altro. Perciò dopo la mia osservazione la funzione d'onda dell'atomo sarà cambiata, visto che non sarà più la somma di due funzioni d'onda diverse, ma soltanto una delle due. Questa è l'essenza del "problema della misura": sembra cioè che il fatto stesso di osservare l'atomo ne cambi la funzione d'onda. La meccanica quantistica risolve questa situazione attraverso un postulato: il cosiddetto postulato del "collasso della funzione d'onda" che indica appunto il fatto che la funzione d'onda nell'istante della misurazione "cade immediatamente" in uno solo degli stati possibili.

**Q: Vabbè, però in fondo mi pare solo un modo complicato di dire che finché non guardi l'atomo non puoi sapere se è decaduto o no, mentre quando lo guardi sai in che stato è. Beh, che c'è di strano? Anche se metto un dado in una scatola e la scuoto non posso sapere che numero è finito sulla faccia superiore, ma quando apro la scatola lo so, no?**

A: Sì, ma c'è una differenza fondamentale: il dado nella scatola è in una posizione definita anche mentre tu non lo vedi, per esempio con la faccia del 5 in alto, perché è un oggetto macroscopico. Un atomo invece, come ci dicono gli esperimenti, non ha uno stato definito mentre non lo osservi, ma solamente dopo che l'hai guardato! L'atomo del nostro esempio perciò si trova in una "sovrapposizione" dei due stadi, decaduto e non decaduto, finché non lo osservi! Diciamo che, se l'atomo fosse un dado, sarebbe in una sovrapposizione di tutte le sei posizioni possibili, finché non apri la scatola per guardarlo.

**Q: E come mai, per quale ragione la funzione d'onda collassa?**

A: Il collasso della funzione d'onda in seguito alla misura ha generato una serie infinita di discussioni e dibattiti, talvolta anche molto accesi! Schroedinger e anche Einstein furono coinvolti, essendo su posizioni molto diverse da quella di Bohr, che vedeva la meccanica quantistica soltanto come uno strumento matematico per calcolare vari processi, ma Einstein e Schroedinger volevano qualcosa di più: una teoria che preveda con certezza cosa accadrà, una teoria deterministica e non probabilistica. Ed è proprio qui che entra in gioco il famoso gatto.

**Q: E come, cosa fa il gatto?**

A: Per far vedere ai suoi colleghi quanto è strana la meccanica quantistica, nel 1935 Schroedinger immaginò un esperimento che vedeva un gatto racchiuso in una scatola nella quale c'è anche una sorgente radioattiva, nonché una fiala con veleno. La sorgente radioattiva aveva il 50% di probabilità, come abbiamo spiegato prima, entro i 10 minuti.

Se fosse decaduta la radiazione emessa avrebbe agito su un martello che avrebbe rotto la fiala, liberando il veleno che avrebbe ucciso il gatto.

**Q: Ma siete pazzi? Uccidete il gatto?**

A: No, aspetta, era proprio questo il punto dell'esempio di ShroedingeA: passati 10 minuti, cara Chiara, il gatto era morto o era vivo?

**Q: Fammi pensare un po'... hmmm.... era vivo! no, forse morto... sai che non lo so? Era il 50% la probabilità che la sorgente fosse decaduta... cioè il 50% che il gatto fosse morto ma, nello stesso tempo, il 50% che il gatto fosse vivo, in una sovrapposizione di stati. Un gatto mezzo morto e mezzo vivo! Ma com'è possibile?**

A: Era proprio quello che diceva SchroedingeA: chi mai ha visto un gatto mezzo vivo e mezzo morto? Eppure la meccanica quantistica ci dice proprio questo: passati 10 minuti il gatto è mezzo vivo e mezzo morto! Uno zombie!

**Q: Ma non si fa prima a scuotere la scatola e vedere se il gatto miagola?**

A: Guarda che i teorici spesso fanno astrazione di cose come "scuotere le scatole". Scherzo! Comunque, un modo c'è: aprire la scatola e verificare come sta il gatto! Semplice, no? Ma allora, diceva Schroedinger, quello che accade è il collasso della funzione d'onda: da una sovrapposizione di stati (gatto morto e gatto vivo) quando si fa la misura (cioè si apre la scatola) la funzione d'onda collassa e vediamo il gatto in uno e soltanto uno dei due stati.

**Q: Si vabbè, ma un gatto non è mica un atomo! Scusa, ma sono convinta che se facessi davvero questo terribile esperimento il gatto sarebbe certamente o vivo o morto anche prima che aprissi la scatola! Del resto hai detto tu stessa che la sovrapposizione di stati vale solo per oggetti microscopici, tanto è vero che per un dado non vale, no?**

A: Infatti, a tutt'oggi stiamo discutendo sul problema del gatto di Schroedinger e sulla validità della meccanica quantistica anche per un sistema macroscopico, come certamente il gatto. Ci sono varie proposte, interpretazioni o teorie alternative, inclusa quella dei multi-mondi (un tipo di universi paralleli), almeno per quelli che non la pensano come Bohr... ma forse ne parleremo un'altra volta delle possibili soluzioni al paradosso del gatto di Schroedinger e anche degli esperimenti fra i quali anche uno mio ai laboratori nazionali del Gran Sasso, che stanno cercando di trovare conferme sperimentali a teorie "oltre l'attuale meccanica quantistica".

**Q: Sì, certamente! Ne vorrei sapere di più e sono convinta che anche i nostri ascoltatori sarebbero interessati.**

A: Ma tutti questi argomenti, gatto di Schroedinger, sovrapposizione di stati e altri ancora, oltre ad essere così affascinanti per i fisici, sono anche alla base di nuove tecnologie quantistiche! E potrebbero un domani farci avere un nuovo computeA: il computer quantistico!

#### **D. Cioè un computer che forse funziona ma forse no? Ahahah!**

A: Ridi, ridi! Anche se, con quello che hai appena detto, mi hai dimostrato di aver ben capito la situazione drammatica del gatto di Schroedinger! Comunque, tornando ai computer quantistici, questi sarebbero molto più veloci di quelli attuali, in quanto sostituirebbero il bit con il cosiddetto "qubit", sfruttando la sovrapposizione di stati! I computer attuali funzionano attraverso circuiti nei quali la corrente elettrica passa (e allora abbiamo uno stato che possiamo chiamare 1) oppure non passa (stato 0). Questa minima informazione di "sì o no" si chiama "bit"! Il computer quantistico mantiene invece una sovrapposizione di stati e, come nel caso del gatto di Schroedinger, è possibile avere 0 e 1 contemporaneamente, come se avessimo corrente che passa e non passa simultaneamente ed effettuare, così, più conti in parallelo! In questo caso si tratta del cosiddetto "qubit".

#### **D. Meraviglioso! Un computer dunque molto più veloce! Ma, se lo sapete fare, dov'è il computer quantistico? Perché non lo posso acquistare? Sai che meraviglia. Immagina che videogiochi e poi la realtà virtuale... e poi....**

A: Aspetta Chiara! C'è un "piccolo" problema...

#### **Q: Già, immaginavo! Che problema?**

A: Per far funzionare i computer quantistici dobbiamo mantenere la sovrapposizione di stati inalterata. Se il sistema quantistico interagisce con un altro sistema... puf! La funzione d'onda collassa e addio qubit! Interviene la cosiddetta "decoerenza" e il nostro computer quantistico impazzisce... cioè non funziona più!

#### **Q: Ed è difficile mantenere il sistema quantistico isolato?**

A: Sì, molto difficile! Per esempio anche l'interazione con una molecola d'aria potrebbe danneggiare il comportamento quantistico. Ma non per questo ci scoraggiamo! Anzi, vari gruppi stanno provando tecnologie diverse, come per esempio sistemi superconduttori oppure fotonici. Stiamo lavorando per suonare una sinfonia quantistica nei computer di domani.

#### **Q: Come sei romantica Catalina...**

A: Ma è proprio così! Una vera sinfonia! Ti spiego: sai suonare il pianoforte? (risposta) Immagina qualcuno che suoni con una mano alla volta, mettiamo la destra, una nota dopo l'altra (PER L'EDITING: inserire esempio di pianoforte con una nota dopo l'altra mai 2 note insieme – si potrebbe davvero sentire una melodia così.). Questo è il bit! Immagina adesso una vera sinfonia suonata con 2 mani senza limitazioni di note, suonate insieme (PER L'EDITING: inserire esempio di pianoforte per questo si potrebbe sentire). Il qubit! Questo per dare l'idea della potenza dei computer quantistici!

#### **Q: Allora è soltanto una questione di tempo, vero?**

A: Sì e no! Nel senso che, se per sistemi microscopici siamo sicuri che la sovrapposizione di stati funziona, non è certo che la sovrapposizione si mantiene per stati macroscopici. Ci sono alcuni scienziati che dicono che la meccanica quantistica attuale, per quanto

funzioni bene nei sistemi microscopici, potrebbe essere soltanto un limite di una teoria ancora da scoprire! Se così fosse, dobbiamo stare attenti a costruire i computer quantistici con sistemi per i quali la sovrapposizione è valida e rimane così a lungo....

**Q: Ma prima o poi qualcuno costruirà un computer quantistico e allora si vedrà!**

A: È stato già costruito, si chiama D-wave, anche se per ora non è più potente dei computer classici, ma siamo soltanto all'inizio! Il qubit deve ancora far sentire la sua voce!

**Q: Ma tu, Catalina, cosa faresti con un computer quantistico?**

A: Ottima domanda! Forse... lo userei per studiare proprio la meccanica quantistica... oppure il cervello... chi sa? Tu Chiara, cosa faresti?

**Q: A me piacerebbe realizzare una realtà virtuale...**

A: Che ne dici Chiara di chiudere con un brano di Rossini nel quale cantano due gatti?  
(PER L'EDITING: inserire questo pezzo di musica.... Vedere i links indicati qui sotto)

**Q: Ottima proposta, ma promettimi che ne riparlamo presto del meraviglioso mondo della meccanica quantistica!**

A: Con moltissimo piacere! Vi saluto con un Miao!

<https://www.youtube.com/watch?v=0KTqeGg4UNg>

[https://www.youtube.com/watch?v=qvBZ\\_nPNOQI](https://www.youtube.com/watch?v=qvBZ_nPNOQI) (che sono quelle che mi piacciono di più)

**oppure**

<https://www.youtube.com/watch?v=l7boSJxKAKg>

**oppure**

<https://www.youtube.com/watch?v=IW2m41N7TC0>

**FINE**