

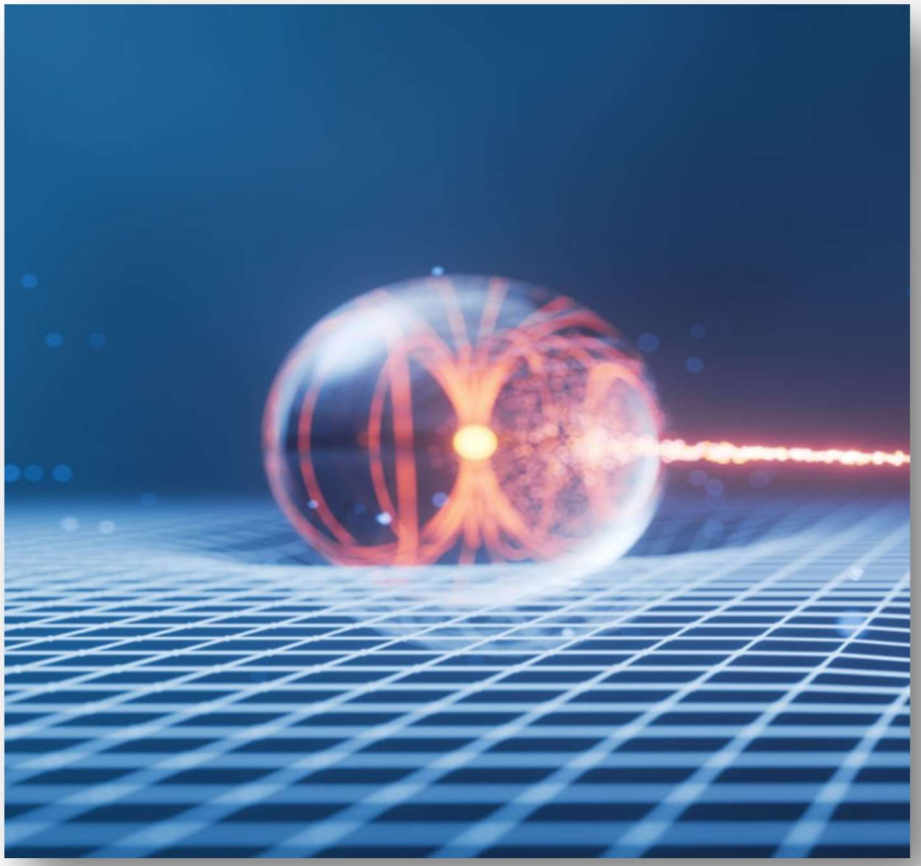
Alla scoperta della Fisica e dell'Universo

Corso di Fisica e Cosmologia

1. La stranezza della fisica quantistica

1° incontro - La stranezza della fisica quantistica

La rivoluzione quantistica ha ribaltato ogni certezza: ciò che credevamo solido, intuitivo, “reale” si è dissolto in comportamenti paradossali.
Ci metteremo nei panni di fotoni ed elettroni per capire perché il mondo microscopico è così diverso da ciò che appare, e perché la Meccanica Quantistica continua a stupire, confondere e affascinare.



Che cosa intendiamo per Fisica Quantistica?

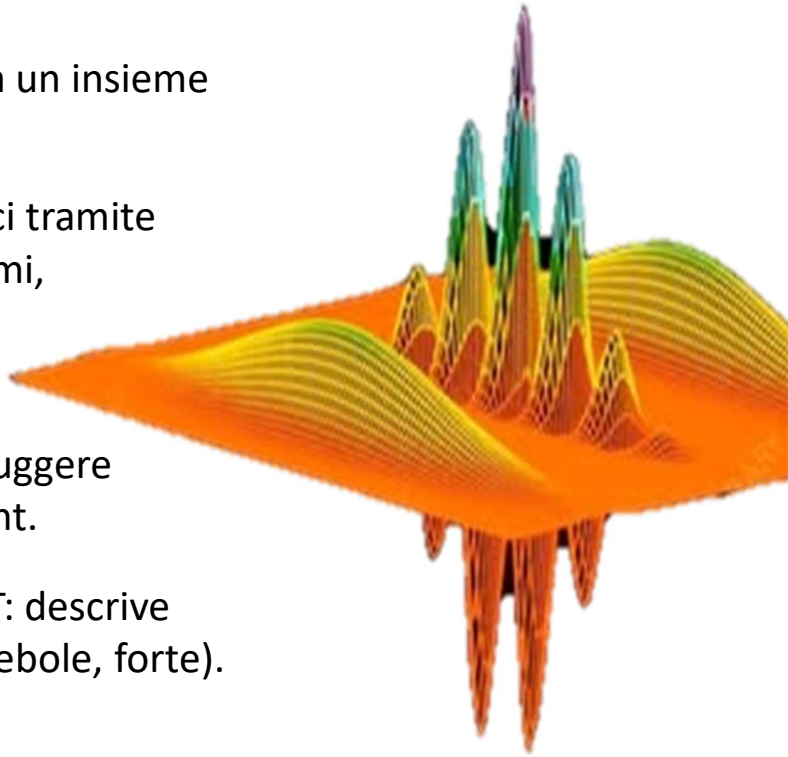
QM · QFT · Standard Model · Campi · Particelle

Quando parliamo di “fisica quantistica” non intendiamo una sola teoria, ma un insieme coerente di modelli che descrivono il mondo microscopico.

Meccanica Quantistica (QM) La teoria di base: descrive sistemi microscopici tramite funzioni d’onda, probabilità, stati quantici. È il livello fondamentale per atomi, elettroni, fotoni, molecole semplici.

Teoria Quantistica dei Campi (QFT) L’estensione moderna: non parla più di particelle come oggetti, ma di **campi quantistici** che possono creare e distruggere particelle. Qui nascono concetti come dualità, superposizione, entanglement.

Standard Model delle Particelle (SM) L’applicazione più completa della QFT: descrive tutte le particelle elementari note e le loro interazioni (elettromagnetica, debole, forte). È una delle teorie più precise mai costruite.



In sintesi:
Fisica quantistica = QM + QFT + Standard Model
Un quadro teorico estremamente solido, verificato sperimentalmente in ogni dettaglio. Non stiamo parlando di “quantistica pop”, né di interpretazioni filosofiche o narrazioni esoteriche.

Da dove viene la Fisica Quantistica?

Origini · Fenomeni · Campi di applicazione

Meccanica Quantistica (QM)

Nata tra il 1900 e il 1926 per spiegare fenomeni che la fisica classica non riusciva più a gestire: radiazione del corpo nero, effetto fotoelettrico, struttura degli atomi. Planck, Einstein, Bohr, Heisenberg, Schrödinger e Dirac costruiscono una nuova grammatica della natura: stati quantici, probabilità, funzioni d'onda. La QM diventa la teoria fondamentale per atomi, elettroni, fotoni e molecole semplici.



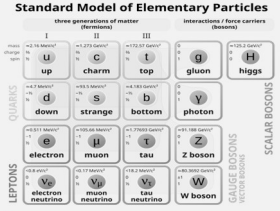
Teoria Quantistica dei Campi (QFT)

Tra anni '30 e '50 la QM incontra la relatività: non bastano più particelle "puntiformi", servono **campi** che permeano lo spazio. La QFT descrive particelle come eccitazioni dei campi quantistici, capaci di nascere e scomparire. È la struttura matematica che permette di trattare interazioni, antiparticelle, annichilazioni, scattering ad alta energia.



Standard Model (SM)

Tra anni '60 e '70 la QFT si consolida in un'unica architettura: elettromagnetismo, forza debole e forza forte diventano parti di un modello coerente. Nascono i bosoni W, Z, gluoni, quark, neutrini, e il meccanismo di Higgs. Il SM diventa la teoria più precisa mai costruita: ogni previsione è confermata da esperimenti, fino al bosone di Higgs nel 2012.



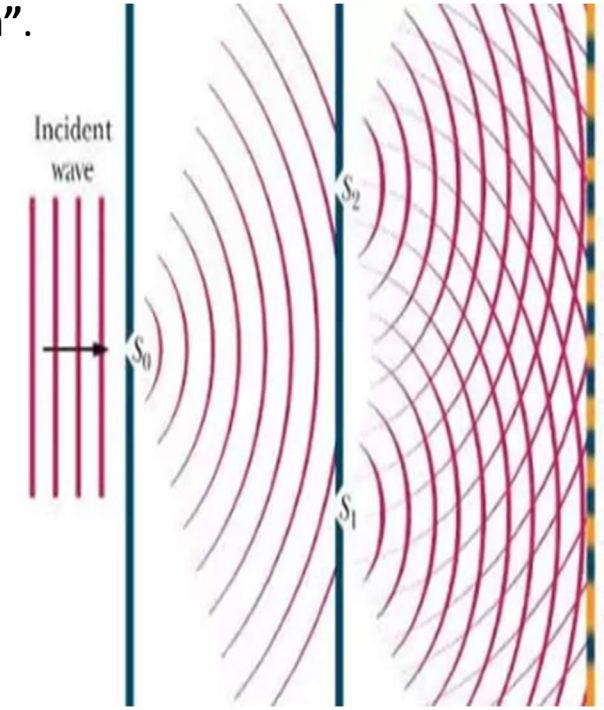
Le cose che sembrano strane nella Meccanica Quantistica

Dualità · Superposizione · Indeterminazione · Entanglement · Interferenza

La Meccanica Quantistica è spesso presentata come **misteriosa, paradossale, "magica"**.

Nell'immaginario comune, il mondo microscopico **sembra violare il buon senso**:

- **Dualità onda-particella** La luce e la materia che "sono" sia onde sia particelle.
- **Superposizione** Un sistema che sembra essere in più stati contemporaneamente.
- **Indeterminazione** L'impossibilità di conoscere tutto con precisione.
- **Entanglement** Due particelle che sembrano "comunicare" istantaneamente.
- **Interferenza** Un singolo fotone che interferisce con se stesso.



Questi fenomeni vengono spesso descritti come strani, misteriosi, incomprensibili.

Ma lo sono davvero?

Perché non sono strane (1): la dualità e la superposizione

Campi · Stati · Comportamenti naturali

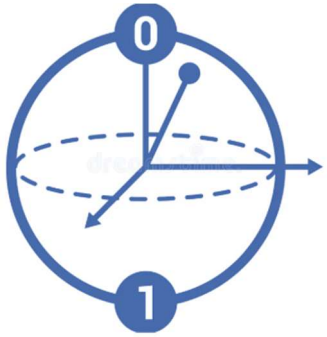
Dualità onda-particella

Non è un mistero: è semplicemente il modo in cui i campi quantistici si manifestano quando li osserviamo. A volte producono effetti tipici delle onde, altre volte effetti tipici delle particelle. Non è una contraddizione: è la natura stessa dei campi quantistici.



Superposizione degli stati

Non è un paradosso: è una proprietà matematica delle funzioni d'onda. Un sistema quantistico può trovarsi in una combinazione di stati possibili, proprio come un'onda può essere la somma di più onde. La superposizione non dice che "una particella è in due posti": dice che **non ha ancora un valore definito** finché non interagisce con qualcosa.



In sintesi

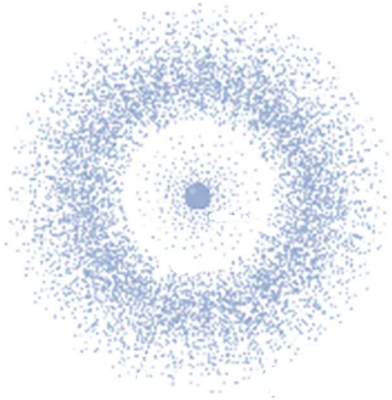
Dualità e superposizione sembrano strane solo perché le guardiamo con occhi classici. Nella fisica quantistica sono comportamenti normali, prevedibili, perfettamente descritti dalla teoria.

Perché non sono strane (2): indeterminazione ed entanglement

Operatori · Correlazioni · Struttura matematica

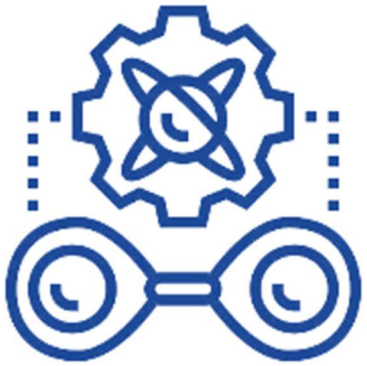
Indeterminazione

Non è un limite della conoscenza, né un mistero filosofico. È una conseguenza matematica del modo in cui le grandezze fisiche sono rappresentate nella teoria: alcuni operatori non possono avere valori definiti simultaneamente. Misurare una proprietà “nasconde” l’altra non perché la natura sia strana, ma perché **la struttura della teoria lo richiede**.



Entanglement

Non è “comunicazione istantanea”, né azione a distanza. È una correlazione statistica tra sistemi che hanno interagito in passato. Una volta separati, le loro proprietà non sono indipendenti: sono descritte da un unico stato congiunto. Niente magia: solo **coerenza matematica** di una teoria che tratta i sistemi come un tutto.



In sintesi

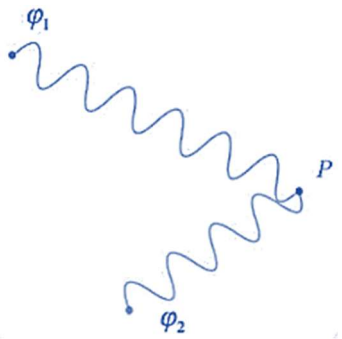
Indeterminazione ed entanglement sembrano strane solo se li guardiamo con occhi classici. Nella fisica quantistica sono comportamenti normali, prevedibili, perfettamente verificati sperimentalmente.

Perché non sono strane (3): interferenza e stati quantici

Funzioni d’onda · Coerenza · Comportamenti ondulatori

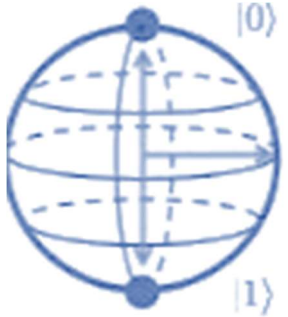
Interferenza

Non è un paradosso: è ciò che ci si aspetta da qualsiasi fenomeno ondulatorio. Un fotone, un elettrone, un atomo — se sono descritti da una funzione d’onda — possono interferire con se stessi esattamente come fa un’onda d’acqua o un’onda sonora. La “stranezza” nasce solo se li immaginiamo come palline classiche: ma la teoria non dice che sono palline.



Stati quantici

Non sono misteriosi: sono semplicemente rappresentazioni matematiche delle possibilità del sistema. Uno stato quantico non è un oggetto fisico nascosto, ma una descrizione coerente di ciò che il sistema può fare quando interagisce con qualcosa. La loro evoluzione è perfettamente deterministica e prevedibile.



Coerenza quantistica

Non è magia: è la capacità delle funzioni d’onda di combinarsi e sovrapporsi mantenendo le fasi relative. Quando la coerenza si perde (per interazione con l’ambiente), l’interferenza scompare — e tutto torna classico.



In sintesi

Interferenza e stati quantici sembrano strani solo se li guardiamo con categorie classiche. Nella fisica quantistica sono comportamenti normali, naturali, e perfettamente descritti dalla teoria.

L’unica vera stranezza: il problema della misura

Collasso · Possibilità · Risultati

La funzione d’onda evolve in modo deterministico

Secondo la teoria, un sistema quantistico segue regole precise, continue, perfettamente prevedibili. Prima della misura, descrive un ventaglio di possibilità.

La misura interrompe questa evoluzione

Quando osserviamo il sistema, accade qualcosa che la teoria non spiega del tutto: la funzione d’onda “collassa” e da molte possibilità emerge un solo risultato.

Non sappiamo cosa avviene nel mezzo

La MQ ci dice come calcolare le probabilità dei risultati, ma non che cosa fisicamente provoca il collasso.

Domande aperte

- Il collasso è reale o è solo un aggiornamento dell’informazione?
- E’ un processo fisico o epistemico?
- La funzione d’onda descrive la realtà o la nostra conoscenza?
- Serve una teoria più completa?

In sintesi

Dualità, superposizione, indeterminazione, entanglement, interferenza: non sono stranezze, sono comportamenti naturali della teoria. La vera stranezza è solo una: non sappiamo cosa succede quando osserviamo.

In conclusione

Semplicità · Chiarezza · Una sola vera stranezza

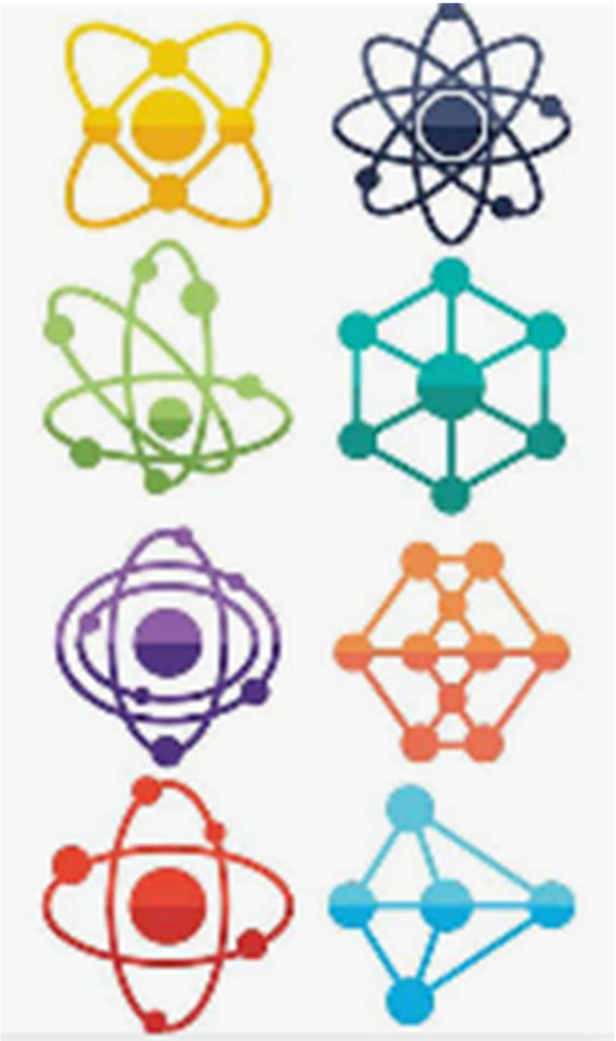
La fisica quantistica non è così strana come sembra. Molti fenomeni che appaiono misteriosi – dualità, superposizione, indeterminazione, entanglement, interferenza – sono semplicemente il comportamento naturale dei campi quantistici.

La teoria è solida, predittiva, verificata in ogni dettaglio.

C'è un solo punto davvero enigmatico:

il passaggio dalle possibilità ai risultati, il momento della misura, il collasso della funzione d'onda.

Finché non capiremo questo processo, non sapremo davvero come la realtà microscopica diventa realtà osservata.



evKnowledge

Alla scoperta della Fisica e dell'Universo

Corso di Fisica e Cosmologia

1. La stranezza della fisica quantistica

Presentazione realizzata da Paolo Scaranari

paolo@scaranari.net

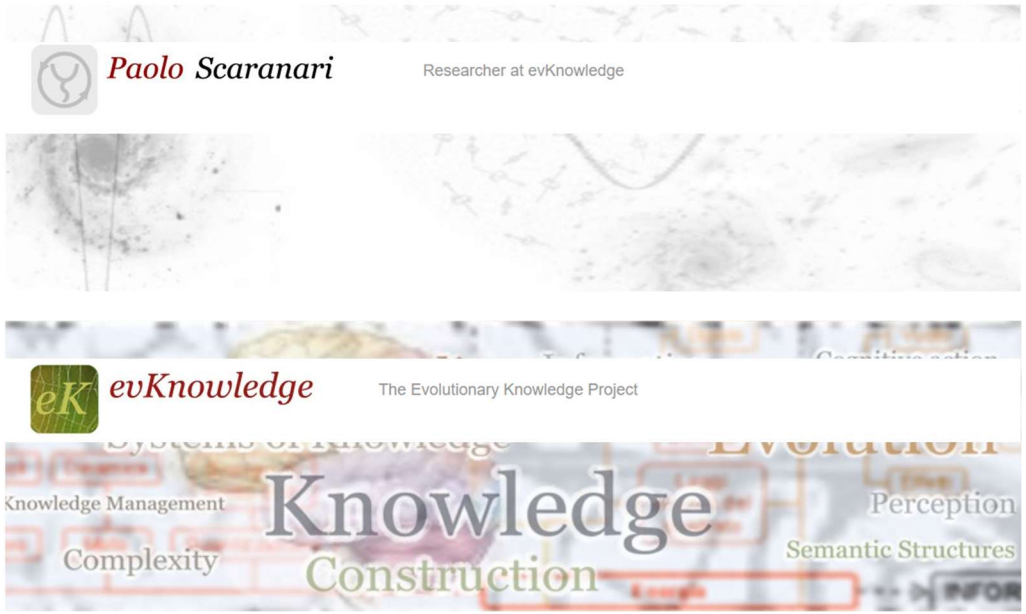
http://www.scaranari.net

Informazioni sul Progetto di Ricerca evKnowledge

https://www.evknowledge.org

Accesso a materiali didattici

https://www.evknowledge.org/ekn/index.php/evkademy-corsi-materiali/



CC BY NC SA