

# La Misura nel mondo Classico e nel mondo Quantistico

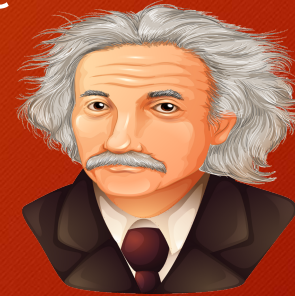
- Mondo Classico

La grandezza di un oggetto e la sua misura coincidono.



- Mondo Quantistico

La grandezza di un oggetto e la sua misura sono cose diverse, ma coincidono statisticamente



# La Misura nel mondo Classico



Oggetto

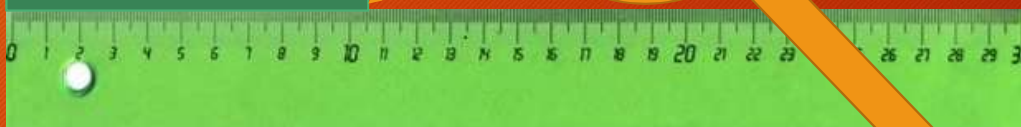
Unità di misura



Lunghezza  
= 10,5 cm

10,5 cm

La grandezza di un oggetto e la sua misura coincidono.



# La Misura nel mondo Classico



$l = 10,5$   
cm

Quadrato

Perimetro

$$\text{Perimetro} = 4 \times 10,5 \text{ cm} = 42 \text{ cm}$$

La grandezza di un oggetto e la sua misura calcolata con l'operatore  $4 \times$ , applicato al lato, coincidono.

# Mondo Classico e Esperienza



La nostra ESPERIENZA ha sempre confermato che:

Grandezza dell'oggetto

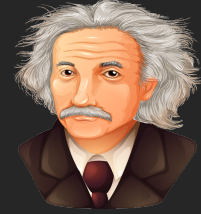
=

Misura

=

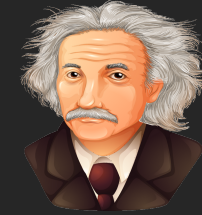
Misura ottenuta con Operatore

# Mondo Quantistico e Esperienza



Nel Mondo quantistico l'esperienza non funziona!

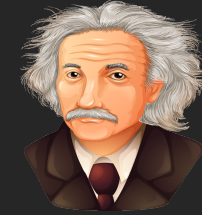
# Mondo Quantistico e Esperienza



Perché?

Perché la misura eseguita non corrisponde alla grandezza dell'oggetto da misurare!

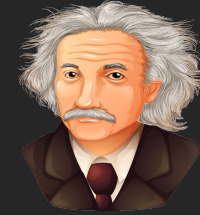
# Mondo Quantistico e Esperienza



Perché?

Perché la misura dell'oggetto misurato non ha la grandezza dell'oggetto da misurare!

# Mondo Quantistico e Esperienza

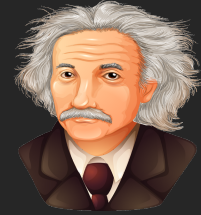


Il prima non è uguale al dopo!  
sembra di ricordare Eraclito: TUTTO SCORRE



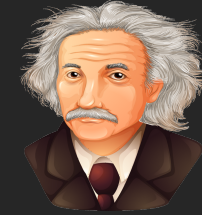


## Mondo Quantistico e Esperienza



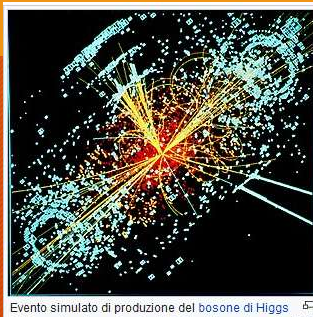
Ma allora perché si sostiene che la fisica vera, quella che dà tutte le risposte e in modo più preciso è la fisica Quantistica e non la Fisica Classica?

# Mondo Quantistico e Esperienza

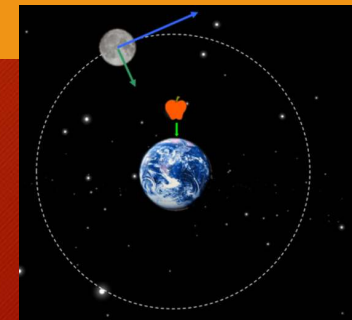


E' la fisica Classica che corrisponde all'esperienza e quindi è Reale.

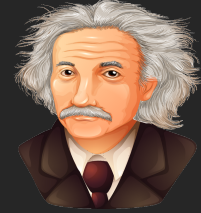
Come può essere che la fisica Classica è un caso particolare della Fisica quantistica?



Evento simulato di produzione del bosone di Higgs



# Mondo Quantistico e Esperienza



C'è qualcosa che non va.

Se è chiara la questione allora procediamo.

## Lo stato in fisica



Prima di addentrarci più a fondo è necessario capire cosa si misura nella fisica Quantistica e come.

## Lo stato in fisica

Nella fisica quantistica si misurano gli Stati in cui si può trovare un oggetto.

# Lo stato in fisica



Supponiamo di avere come oggetto  
una moneta.  
Gli Stati sono due, un bit logico:

Testa  
o  
Croce



# Lo stato in fisica



Se la faccia che osserviamo è **Testa**  
non può essere contemporaneamente Croce



Se la faccia che osserviamo è **Croce**  
non può essere contemporaneamente Testa



# Lo stato in fisica



Quindi i due stati sono mutuamente esclusivi.

Così come un bit logico a due stati: +1 o -1

Quando due stati sono tra loro esclusivi,  
o l'uno o l'altro,

sono stati tra loro **ORTOGONALI**  
e

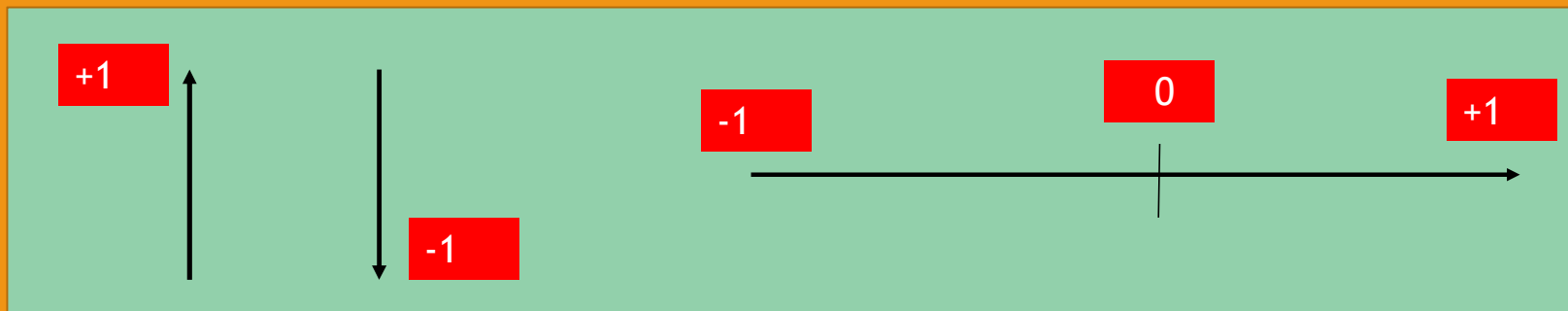
anche che il loro **PRODOTTO** è **ZERO**



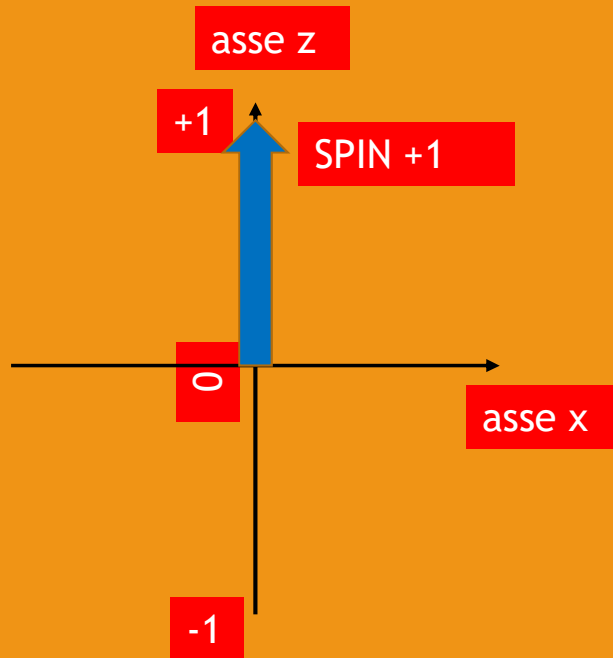
# Lo stato in fisica



In fisica quantistica i due stati Ortogonali  
 $+1$  e  $-1$   
sono così rappresentati da una freccia;  
e sono descritti logicamente dai  
QUBIT



# Lo stato in fisica



La freccia indica lo stato dello Spin, con valori +1 o -1

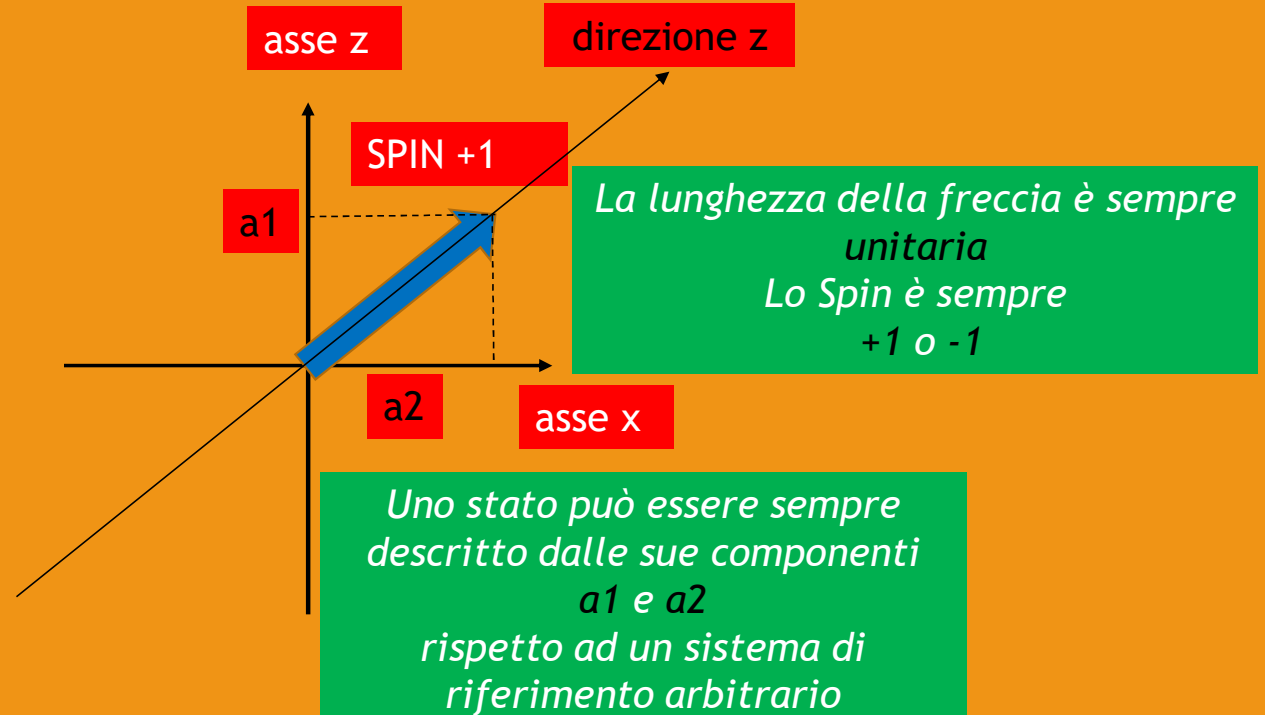
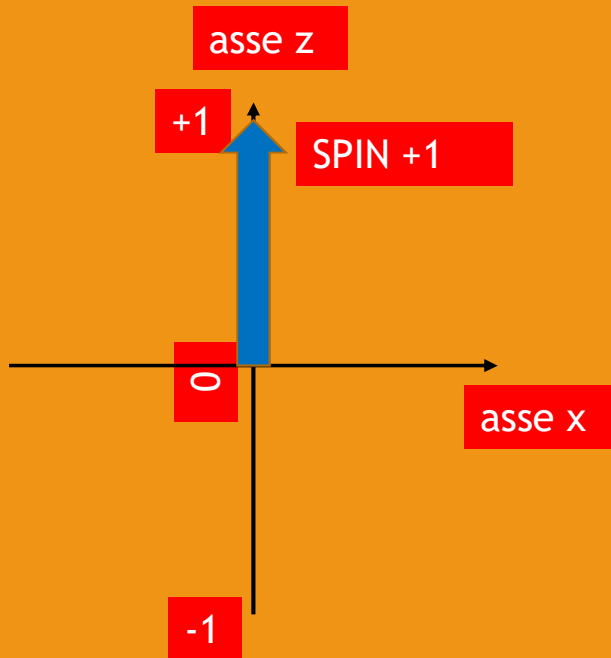
*Lo stato è tutto ciò che si può conoscere in fisica quantistica*

*Lo stato può essere descritto completamente dalle sue componenti*

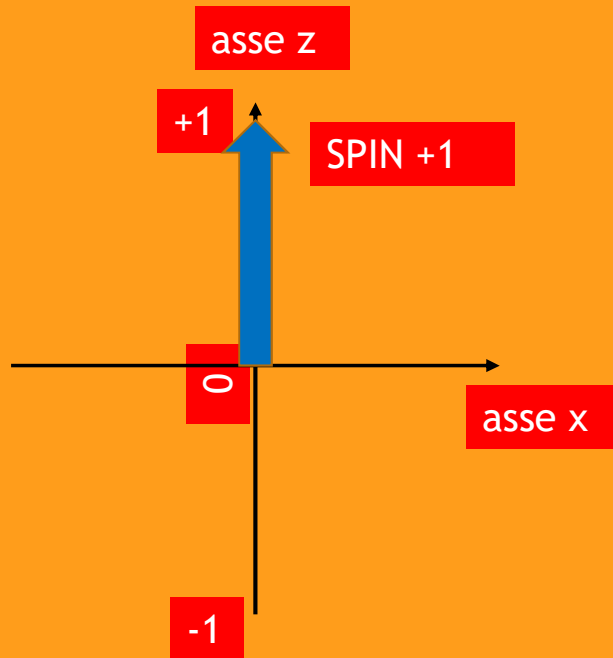
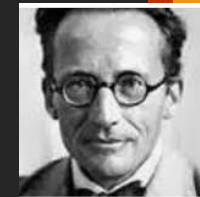
*Per conoscere lo stato è necessario usare sempre un apparato di misura*

*L'apparato di misura influisce sempre sulla misura stessa*

# Lo stato in fisica



# Lo stato in fisica e l'apparato di misura



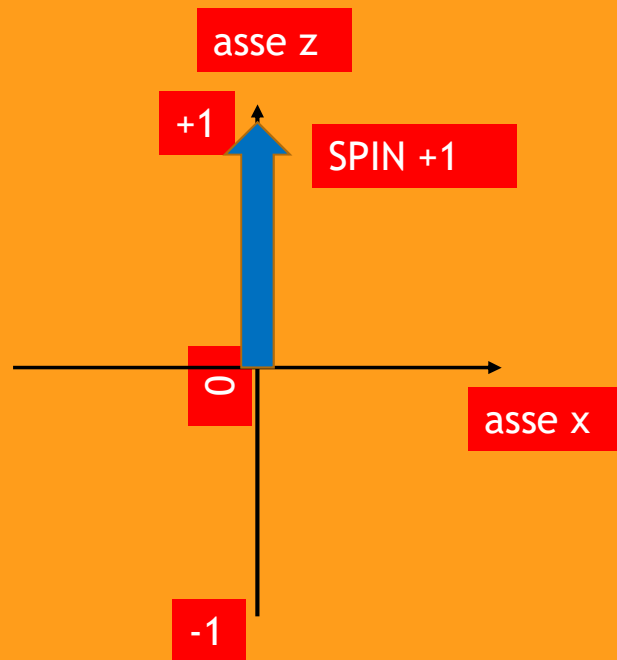
Lo stato fisico è tutto ciò che possiamo conoscere in fisica quantistica.

Lo stato fisico è tutta l'informazione completa. Non abbiamo bisogno di sapere altro

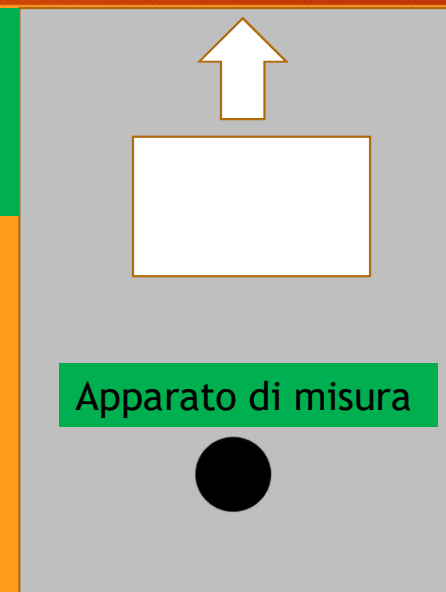
L'apparato di misura ci consente di misurare lo stato fisico

Lo stato fisico da misurare e l'apparato di misura interagiscono sempre tra loro. E' impossibile evitare questa interazione

# Lo stato in fisica e l'apparato di misura



La freccia indica l'orientamento dell'apparato



La finestrella riporta la misura

Bottone per misurare

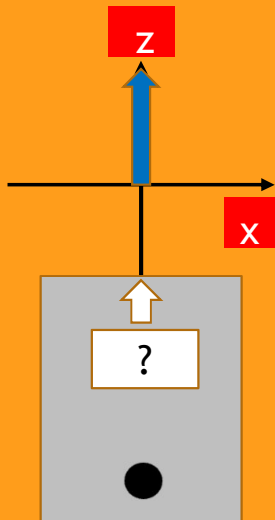
La misura è eseguita solo nell'istante in cui si preme il bottone

# Misura quantistica dello Spin



## Misura dello Spin

Prima della misura

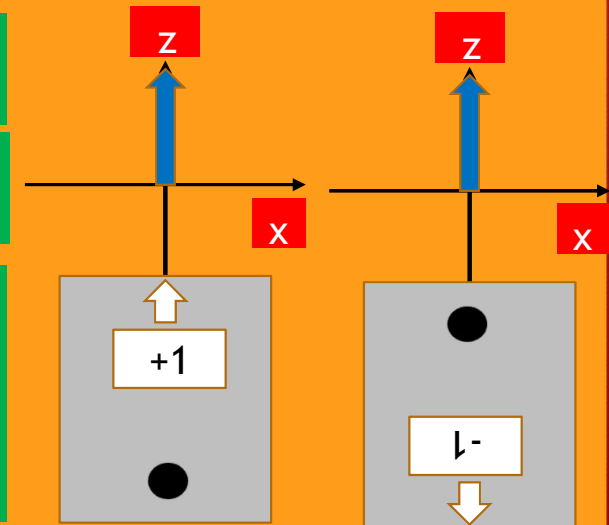


Prima della misura nella finestrella c'è ?

Dopo la misura nella finestrella c'è sempre +1 o -1

Se l'apparato di misura è orientato nella stessa direzione dello Spin lo stato dello Spin non cambia!  
La misura è sempre +1 o -1

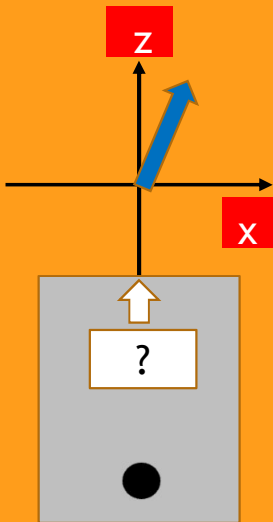
Dopo la misura



Bottone premuto

# Misura quantistica dello Spin

Prima della  
misura

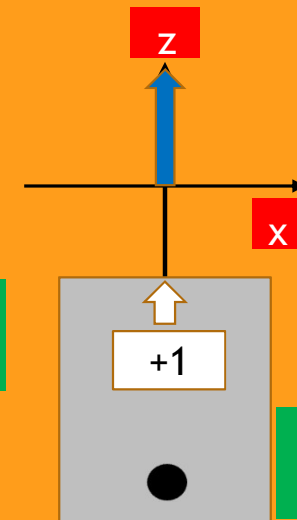


## Misura dello Spin

Se l'apparato di misura è orientato in una direzione diversa dello Spin da misurare lo stato dello Spin Cambia!  
La misura è sempre  
 $+1$  o  $-1$

Dopo la misura lo Spin è orientato nella direzione dell'apparato di misura!

Dopo la  
misura

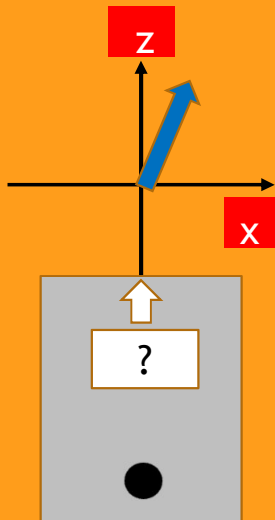


Bottone  
premutato

# Misura quantistica dello Spin



Prima della  
misura



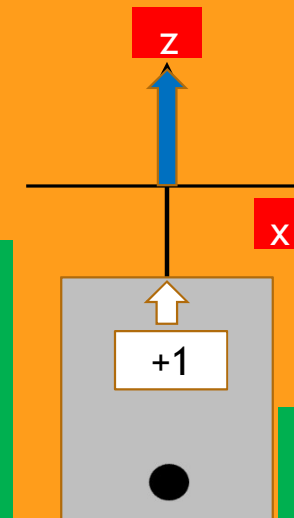
## Misura dello Spin

Quindi l'apparato di misura cambia lo stato  
dello spin

Non è possibile sapere quale fosse lo stato  
dello Spin prima della misura

L'oggetto misurato  
non è lo stesso  
dell'oggetto da misurare

Dopo la  
misura



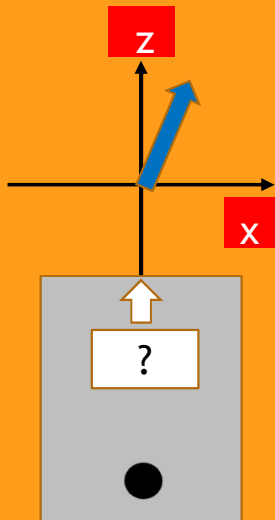
Bottone  
premuta



# Riassumendo



Prima della  
misura



L'apparato di misura dà sempre come risultato  $+1$   $0$   $-1$

Se l'apparato di misura è orientato  
nella stessa direzione dello spin la misura è  
 $+1$   
nel verso opposto la misura è  
 $-1$

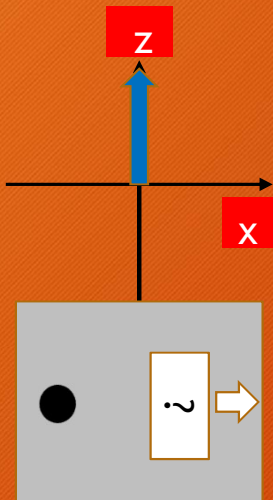
Ripetendo la stessa misura il risultato  
**NON CAMBIA MAI**

Se l'apparato di misura è orientato in modo diverso dallo Spin  
la misura non determina lo stato dello Spin,  
la misura cambia sempre lo stato  
e  
l'orienta nella direzione dell'apparato di misura

# Misura delle componenti dello Spin



Prima della  
misura



Supponiamo che lo stato dello spin sia stato preparato in direzione dell'asse z con valore +1

Quale valore misurerò ponendo l'apparato di misura nella direzione dell'asse x?

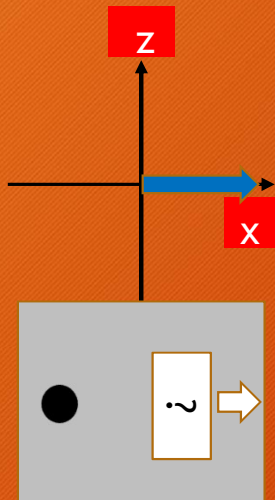
Risposta

+1  
oppure  
-1

# Misura delle componenti dello Spin



Dopo la misura



NON E' POSSIBILE, diremo!

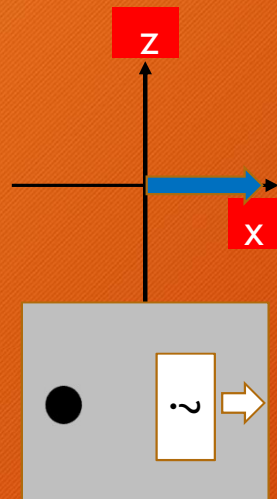
Il valore della componente dello Spin, prima della misura, era certamente  
Zero

Ripetiamo la misura e registriamo i risultati

# Misura delle componenti dello Spin



Dopo la misura



Prepariamo 100 Spin indipendenti nello stato z UP (UP = +1)

Stato z\_UP  
prima della  
misura

+1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 ... +1 +1

Misura

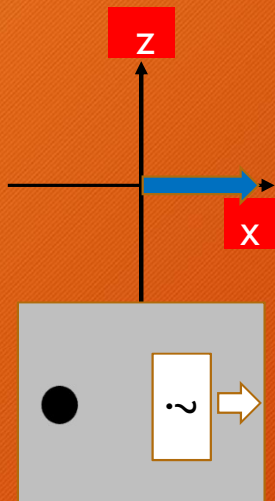
+1 -1 -1 +1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1 -1 ... +1 -1

I risultati delle misure ottenuti sono una sequenza  
casuale di  
+ 1 e -1

# Misura delle componenti dello Spin



Dopo la misura



Calcoliamo il valore medio delle 100 misure

Valore  
medio delle  
misure

$$\frac{+1-1-1+1-1+1-1+1+1+1-1-1-1+\dots+1-1}{100}$$

Risultato

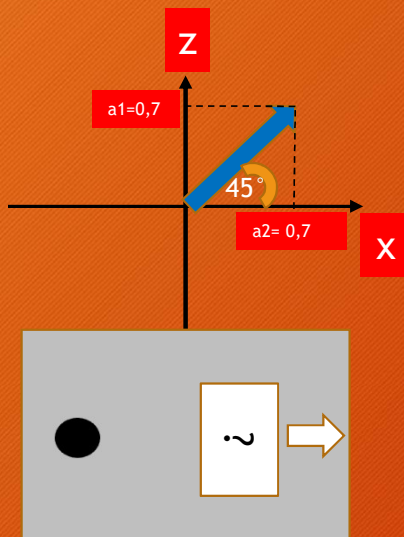
zero  
0  
molto vicino a zero

Scopro che il valore atteso Zero lo ottengo con una media delle misure eseguite!

# Misura delle componenti dello Spin



Dopo la misura



## Conclusione

Il valore della misura è sempre il valore medio delle misure eseguite

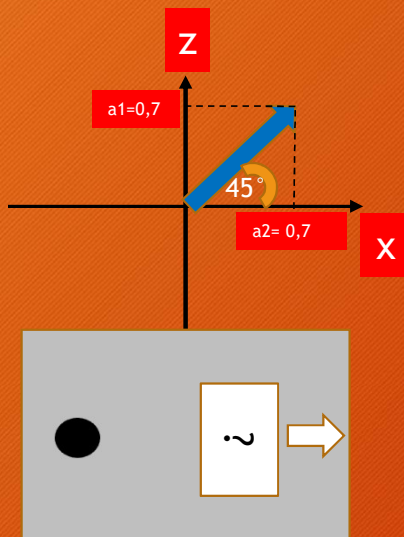
Il valore della misura è sempre un valore statistico, la singola misura non corrisponde al valore che vogliamo misurare, escludendo il caso in cui l'apparato di misura era orientato come lo Spin.

Convinti di questo risultato cosa dovremmo ottenere se misuriamo la componente z di uno Spin orientato a  $+45^\circ$  nel piano zx (vedi figura?).

# Misura delle componenti dello Spin



Dopo la misura



Esempio

Il valore da misurare è la componente dello Spin sull'asse z.

Il valore della componente, sull'asse, z è  $a_1 = 0,7$  u.  
Potremmo misurarlo con un righello, avendo assunto lo Spin uguale a 1 u.

Come possiamo ottenere un valore decimale se l'apparato di misura riporta sempre  
+1 0 -1?

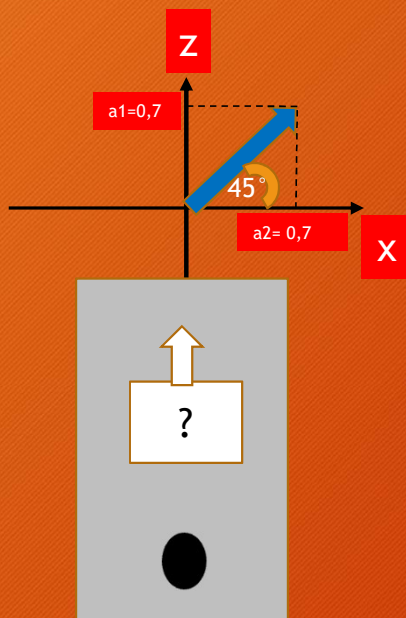
Soluzione

L'apparato di misura dà  
17 volte il valore +1  
e  
3 volte il valore -1,  
in 20 misure

# Misura delle componenti dello Spin



Dopo la misura



Esempio di misura quantistica

Calcoliamo il valore medio delle misure

Valore medio =  $(+17 - 3):20 = 14:20 = 0,7$

Ho ottenuto il valore atteso!

Nelle misure quantistiche funziona proprio così.  
Il valore medio calcolato con un numero sufficiente di misure corrisponde alla misura reale

La misura Quantistica dà sempre misure corrette.  
La misura Classica può essere vista come caso particolare della misura Quantistica



# La Sovrapposizione degli stati



Non abbiamo ancora terminato, ma siamo molto vicini.

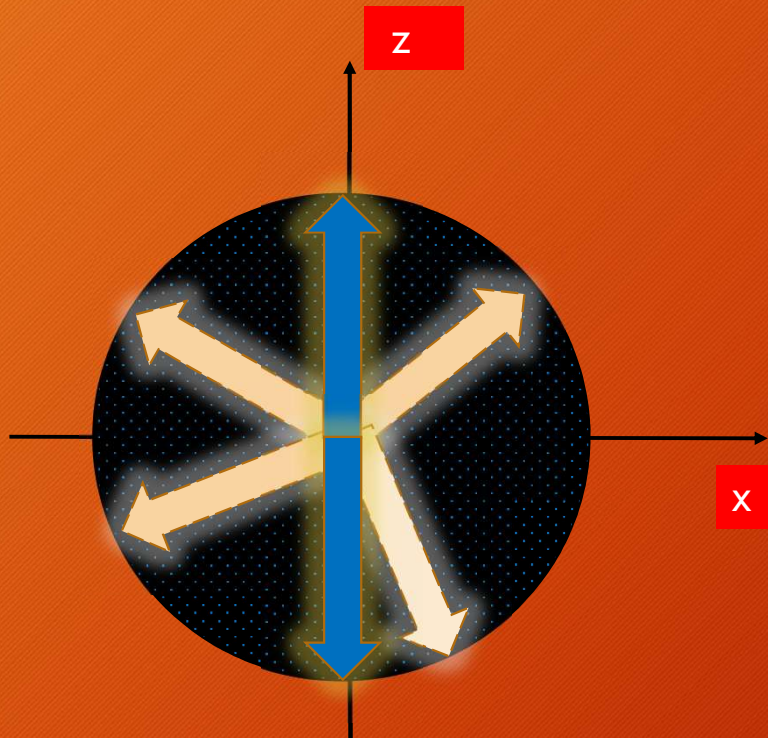
Come è possibile che l'apparato misuri sempre solo due valori +1 e -1?

Risposta

Perché l'unica misura quantistica è lo stato, e lo stato è sempre intero. I valori dell'apparato di misura sono solo due perché dipendono dall'orientamento dell'apparato di misura rispetto alla Spin.

Abbiamo detto che la misura logica quantistica è il QUBIT. Il QUBIT è un valore statistico che è determinato da una sovrapposizione di tutti gli stati possibili che può assumere l'oggetto statistico. Nel caso dello Spin gli stati sono solo due e hanno valore +1 o -1

# La Sovrapposizione degli stati



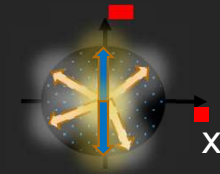
Lo Spin quantistico è la continua sovrapposizione dei due stati possibili, +1 e -1.

la sua direzione nello spazio dipende dalla statistica di questi due stati.

Se lo stato è costante in una direzione vuol dire il suo stato ortogonale non è mai misurato.

Le componenti di uno stato quantistico sono misurate dalla frequenza con cui i due stati ortogonali sono registrati dall'apparato di misura

# Conseguenze dello stato di sovrapposizione



La logica quantistica non ha solo due valori ed è misurata dal QUBIT

Il QUBIT misura la frequenza di sovrapposizione degli stati possibili, due nel caso dello spin.

La misura dello stato quantistico è un calcolo statistico.

Ogni misura è diversa dalla misura dello Spin che si trova in uno stato di sovrapposizione.

L'apparato di misura modifica sempre lo stato, mentre la stima calcolata dello stato quantistico e delle sue componenti, non produce variazioni

## Il Collasso quantistico

L'apparato di misura determina il valore della sovrapposizione statistica in un istante, quello in cui effettua la misura.

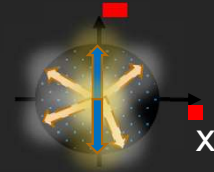
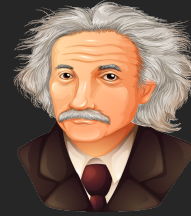
Si dice che lo stato Collassa in quello determinato dalla misura

La misura determina lo stato, ma non altera la natura quantistica perché non modifica la sovrapposizione.

Il valore della misura può essere trasferito, comunicato, mentre non è possibile trasferire lo stato quantistico che lo ha determinato.

Lo stato quantistico non è trasferibile è proprietario

# Paradosso Quantistico



E' possibile conoscere lo stato quantistico, cioè saper tutto quanto è possibile, senza sapere nulla delle parti, dei componenti che lo determinano

E' famosa l'obiezione di Einstein rivolta a Bohr su questo punto  
I fisici quantistici non gli hanno dato mai grande valore, non dando alcuna spiegazione.

Il Paradosso potrebbe essere tradotto così, riportandoci nella fisica Classica.

## PARADOSSO

So tutto della tua automobile, ma sfortunatamente non posso dirti nulla sulle sue parti (ad esempio delle condizioni delle ruote, del motore, del sistema di trasmissione, delle sue viti etc, etc.) .

Fine della I lezione

GRAZIE!