

**ORIGINE TOPOLOGICA DEL
FATTORE GIROMAGNETICO,
DELLA PERIODICITÀ SPINORIALE E
DELLA PRECESSIONE MAGNETICA**

-

**NUOVA INTERPRETAZIONE
MECCANICA DEL FENOMENO**

ABSTRACT (English)

In standard quantum mechanics, spin is introduced as an intrinsic and fundamentally abstract property of elementary particles. Although the formalism reproduces experimental observations with extraordinary precision, quantities such as spin $1/2$, the gyromagnetic factor g , spinorial 4π periodicity, and Larmor precession emerge from mathematical structures without a direct mechanical interpretation.

In the present work, a new interpretation is proposed within the framework of the superfluid space model. Space is treated as a real physical medium endowed with density, elasticity, conductivity, polarizability, and vortex dynamics. Electromagnetic phenomena are interpreted as dynamical configurations of this superfluid medium.

The electron is modeled as a corpuscular stable configuration immersed in a Hopf-type topological vortical structure of the superfluid. Within this framework:

- *spin emerges as the coherent topological vorticity of the configuration;*
- *the magnetic moment originates from the internal topological circulation associated with the charge structure;*
- *the gyromagnetic factor $g = 2$ emerges naturally from the difference between the global geometric periodicity of the structure and the topological periodicity of the charge circulation;*
- *the 4π spinorial periodicity arises as a direct consequence of the concatenated Hopf topology;*
- *Larmor precession becomes the real dynamical evolution of the vortical structure under the action of an external magnetic field.*

A central result of the model is that spin, gyromagnetic factor, spinorial periodicity, magnetic precession, and Zeeman splitting are no longer treated as independent abstract quantum properties, but emerge as different manifestations of the same underlying topological geometry of the electron embedded in the superfluid medium.

The work suggests the possibility that several quantum phenomena traditionally described through abstract operator formalisms may admit a unified geometric and mechanical interpretation based on the topological dynamics of a real physical space.

ABSTRACT (Italiano)

Nel formalismo standard della meccanica quantistica, lo spin viene introdotto come proprietà intrinseca delle particelle elementari, priva di una rappresentazione meccanica diretta. Sebbene tale formalismo riproduca con straordinaria precisione i risultati sperimentali, grandezze fondamentali quali:

- *lo spin $1/2$,*
- *il fattore giromagnetico $g = 2$,*
- *la periodicità spinoriale 4π ,*
- *la precessione di Larmor,*

emergono principalmente come conseguenze matematiche della teoria degli spinori e dell'equazione di Dirac, senza una corrispondente interpretazione fisica unificata.

Nel presente lavoro viene proposta una nuova interpretazione nell'ambito del modello dello spazio superfluido. Lo spazio è trattato come un mezzo fisico reale dotato di densità energetica, elasticità, polarizzabilità elettromagnetica, conducibilità estremamente bassa e capacità di sostenere strutture vorticoshe coerenti.

L'elettrone viene interpretato come una configurazione corpuscolare stabile del superfluido dotata di una struttura vorticoso topologica interna di tipo Hopfion. In tale quadro:

- *lo spin emerge come vorticità reale della struttura;*
- *il momento magnetico emerge dalla circuitazione topologica della carica;*
- *il fattore $g=2$ deriva naturalmente da una doppia circuitazione efficace;*
- *la periodicità 4π emerge dalla topologia concatenata della configurazione;*
- *la precessione di Larmor diventa la dinamica reale della struttura vorticoso in presenza di un campo magnetico esterno.*

Il modello fornisce quindi una possibile interpretazione geometrico - meccanica unificata di numerosi fenomeni quantistici tradizionalmente descritti tramite formalismi astratti..

1	INTRODUZIONE	5
2	SPAZIO SUPERFLUIDO E PRINCIPIO B	7
3	LIMITI DELL'INTERPRETAZIONE STANDARD DELLO SPIN	9
3.1	ORIGINE STORICA DEL PROBLEMA	9
3.2	CRISI DEL MODELLO CLASSICO SFERICO.....	10
3.3	IL PROBLEMA DEL FATTORE GIROMAGNETICO.....	10
3.4	IL PROBLEMA DELLA PERIODICITÀ 4π	10
3.5	NECESSITÀ DI UNA REINTERPRETAZIONE GEOMETRICA.....	11
4	L'ELETTRONE COME CONFIGURAZIONE HOPFIONICA DEL SUPERFLUIDO	11
4.1	STRUTTURE VORTICOSE E TOPOLOGIA	11
4.2	HOPFION E LINEE CONCATENATE.....	12
4.3	CARICA ELETTRICA E STRUTTURA VORTICOSA	12
4.4	PERCHÉ L'HOPFION È PIÙ ADATTO DELLA SFERA.....	12
5	LO SPIN COME VORTICITÀ REALE DELLA STRUTTURA HOPFIONICA	13
5.1	IL PROBLEMA STORICO DELLO SPIN	14
5.3	INTRODUZIONE DELLA STRUTTURA HOPFIONICA.....	15
5.4	SPIN COME VORTICITÀ TOPOLOGICA DELLA CONFIGURAZIONE	15
5.5	ORIGINE TOPOLOGICA DELLA PERIODICITÀ 4π	16
5.6	ORIGINE GEOMETRICA DEL FATTORE $G = 2$	17
5.7	UNIFICAZIONE GEOMETRICA DI SPIN, PERIODICITÀ SPINORIALE E FATTORE g	17
8	PRECESSIONE DI LARMOR COME DINAMICA REALE DELLA STRUTTURA VORTICOSA	19
8.1	DIFFERENZA TRA ROTAZIONE E PRECESSIONE	19
8.2	INTERAZIONE TRA CAMPO MAGNETICO E STRUTTURA VORTICOSA	19
8.3	ORIGINE DELLA FREQUENZA DI LARMOR	20
9	CONCLUSIONI	21

1 INTRODUZIONE

La fisica quantistica rappresenta uno dei più grandi successi teorici della scienza moderna.

Le sue equazioni descrivono con precisione:

- la struttura atomica;
- i livelli energetici;
- il magnetismo;
- la propagazione della radiazione;
- la struttura della materia.

Tuttavia, accanto a questa enorme efficacia matematica, permane una difficoltà concettuale profonda: molte delle grandezze fondamentali della teoria non possiedono una interpretazione fisica meccanica chiara.

Tra i problemi più importanti vi sono:

- la natura reale dello spin;
- l'origine fisica del momento magnetico elettronico;
- il significato della periodicità spinoriale 4π ;
- il motivo fisico per cui il fattore giromagnetico dell'elettrone valga circa 2.

Storicamente il problema dello spin nasce negli anni Venti del XX secolo a seguito degli esperimenti di Stern e Gerlach. In tali esperimenti, un fascio atomico sottoposto a un campo magnetico non uniforme si separa in componenti discrete, suggerendo l'esistenza di un momento magnetico intrinseco associato agli elettroni.

Per spiegare tali risultati, Uhlenbeck e Goudsmit introdussero l'idea di spin elettronico come rotazione intrinseca della particella.

Tuttavia, il modello classico della sfera rotante presentava immediatamente enormi difficoltà:

- la velocità superficiale necessaria a riprodurre il momento angolare osservato risultava superiore alla velocità della luce;
- il fattore giromagnetico classico produceva: $g = 1$
- mentre sperimentalmente si osservava: $g \approx 2$

Di fronte a tali problemi, la fisica moderna abbandonò progressivamente ogni interpretazione meccanica diretta dello spin. Nel formalismo quantistico standard:

- lo spin non rappresenta una rotazione reale;
- l'elettrone viene trattato come puntiforme;
- il momento magnetico è una proprietà intrinseca;
- il fattore $g = 2$ emerge dall'equazione di Dirac;
- la periodicità 4π emerge dalla teoria degli spinori $SU(2)$.

Dal punto di vista matematico, il formalismo funziona in modo straordinario. Tuttavia, dal punto di vista fisico, rimangono aperte numerose domande. In particolare:

- come può una particella puntiforme possedere momento angolare?
- quale struttura fisica genera il momento magnetico?
- perché il rapporto giromagnetico è doppio rispetto al valore classico?
- quale struttura reale può produrre periodicità 4π ?

Il presente lavoro nasce dal tentativo di affrontare tali problemi attraverso una reinterpretazione topologico - meccanica dello spin. L'idea centrale sviluppata nel presente articolo è che il problema non risieda necessariamente nell'esistenza di una struttura fisica reale dell'elettrone, bensì nella geometria utilizzata per rappresentarla.

La sfera classica non è la geometria corretta. Nel modello qui proposto, l'elettrone non viene interpretato:

- né come una sfera rigida;
- né come un punto matematico;
- né come una pura funzione d'onda astratta;
- ma come una configurazione corpuscolare stabile del superfluido dotata di una struttura vorticoso topologica interna.

In particolare, la struttura interna dell'elettrone viene assimilata a una configurazione di tipo Hopf (hopfion), caratterizzata da:

- linee vorticoso concatenate;
- doppia circuitazione;
- torsione topologica;
- periodicità spinoriale naturale.

Nel corso del presente lavoro verrà mostrato che tale struttura permette di reinterpretare in modo unificato:

- lo spin;
- il momento magnetico;
- il fattore $g = 2$;
- la periodicità 4π ;
- la precessione di Larmor;
- l'effetto Zeeman.

L'obiettivo del lavoro non è negare l'efficacia matematica della teoria quantistica standard, ma tentare di fornire una possibile interpretazione fisica e geometrica sottostante a fenomeni che nel formalismo moderno vengono trattati principalmente in termini astratti. Nel quadro della fisica classica l'interazione elettrica tra cariche viene descritta attraverso il concetto di campo elettrico. A partire dai lavori di Coulomb e successivamente di Maxwell, il campo elettrico è stato formalizzato come una grandezza vettoriale definita in ogni punto dello spazio e del tempo.

2 SPAZIO SUPERFLUIDO E PRINCIPIO B

Il presente lavoro si inserisce nel quadro teorico dello spazio superfluido sviluppato nei lavori precedenti dell'autore ing. Massimo Belbusti e pubblicati su Zenodo.

Nel modello proposto lo spazio non è vuoto geometrico ma un mezzo fisico reale, continuo ,dinamicamente attivo e dotato di proprietà fisiche misurabili.

Il mezzo possiede:

- densità energetica;
- elasticità;
- polarizzabilità elettromagnetica;
- permeabilità magnetica;
- conducibilità elettrica estremamente piccola;
- capacità di sostenere onde e strutture vorticosi.

In tale quadro:

- i campi elettrici sono deformazioni orientate del mezzo;
- i campi magnetici sono strutture vorticosi del superfluido;
- le onde elettromagnetiche sono onde solitoniche quantizzate del mezzo;
- le particelle sono configurazioni corpuscolari stabili immerse nel superfluido.

Il mezzo superfluido rappresenta quindi il substrato fisico fondamentale da cui emergono:

- propagazione ondosa;
- fenomeni elettromagnetici;
- inerzia;
- interazioni;
- quantizzazione.

Una delle ipotesi fondamentali del modello è che il vuoto fisico non sia passivo, ma possieda una struttura dinamica reale. Le particelle interagiscono continuamente con il mezzo circostante generando:

- deformazioni;
- onde;
- vortici;
- perturbazioni coerenti del superfluido.

Il comportamento globale del mezzo è governato dal Principio B, o principio di minima concentrazione spaziale dell'energia, introdotto nei lavori precedenti. (si veda articolo sul nuovo principio della termodinamica).

Tale principio afferma che: ***in un sistema fisico isolato, l'evoluzione spontanea avviene sempre nel verso che riduce la concentrazione spaziale dell'energia.***

Questo principio non sostituisce la conservazione dell'energia, ma ne specifica il modo di redistribuzione nello spazio. L'energia totale resta costante, ma la sua distribuzione spaziale evolve verso configurazioni sempre meno concentrate.

Questo principio generalizza fisicamente:

- la diffusione;
- l'evoluzione entropica;
- la tendenza alla stabilizzazione delle configurazioni coerenti.

Quando una configurazione del mezzo:

- concentra eccessivamente energia;
- oppure non soddisfa condizioni di coerenza dinamica;
- essa tende a decadere.

Sopravvivono invece soltanto configurazioni:

- coerenti;
- risonanti;
- energeticamente stabili;
- topologicamente persistenti.

In questo quadro teorico la quantizzazione non viene postulata ma emerge dalla stabilità del mezzo. (si veda articolo sulla quantizzazione della radiazione)

Nei lavori precedenti del modello, tale approccio ha già permesso di derivare: $E = h \nu$ come conseguenza della dinamica del superfluido e non come postulato fondamentale.

In particolare:

- la densità energetica dell'onda cresce con il quadrato dell'ampiezza;
- mentre il volume efficace della configurazione diminuisce con l'aumentare della frequenza;

portando naturalmente alla proporzionalità:

La costante di Planck emerge quindi come parametro fisico del mezzo e non come quantità introdotta arbitrariamente. Il presente lavoro estende tale approccio:

- allo spin;
- al magnetismo;
- alla periodicità spinoriale;
- e al fattore giromagnetico.

L'ipotesi centrale sarà che:

- lo spin rappresenti una forma reale di vorticità topologica;
- la carica sia associata alla circuitazione interna del vortice;
- il momento magnetico emerga dalla dinamica del superfluido;
- e il fattore $g = 2$ sia una conseguenza geometrica della struttura hopfionica dell'elettrone.

3 LIMITI DELL'INTERPRETAZIONE STANDARD DELLO SPIN

Lo spin rappresenta una delle grandezze più enigmatiche dell'intera fisica moderna. Dal punto di vista matematico, il formalismo quantistico ne descrive il comportamento con precisione straordinaria. Tuttavia, dal punto di vista fisico e geometrico, la sua natura rimane ancora oggi profondamente controversa. Nel formalismo standard, lo spin viene introdotto come:

- momento angolare intrinseco;
- proprietà fondamentale della particella;
- grandezza non derivabile da una rotazione classica reale.

Per l'elettrone si assume: $S = \frac{\hbar}{2}$

mentre il momento magnetico associato vale: $\mu = g \frac{q}{2m} S$

con: $g \approx 2$

Tali relazioni riproducono correttamente gli esperimenti. Tuttavia esse non spiegano quale struttura fisica reale produca:

- il momento angolare;
- il momento magnetico;
- la periodicità spinoriale;
- il fattore giromagnetico.

La teoria descrive quindi il comportamento dello spin, ma non ne chiarisce la natura fisica profonda.

3.1 ORIGINE STORICA DEL PROBLEMA

Il problema dello spin emerge storicamente dagli esperimenti di Stern e Gerlach del 1922. In tali esperimenti, un fascio atomico attraversa un campo magnetico non uniforme. In assenza di quantizzazione del momento magnetico, il fascio avrebbe dovuto distribuirsi continuamente. Tuttavia, sperimentalmente, il fascio si separa in componenti discrete.

Questo risultato suggeriva che gli elettroni possedessero un momento magnetico intrinseco, orientabile soltanto secondo valori discreti.

Per spiegare il fenomeno, Uhlenbeck e Goudsmit introdussero l'idea che l'elettrone possedesse una sorta di rotazione interna.

L'interpretazione appariva inizialmente naturale; infatti una carica elettrica in rotazione genera un campo magnetico; dunque il momento magnetico elettronico poteva essere associato a una rotazione della particella.

Tuttavia, il modello classico della sfera rotante mostrò immediatamente gravi problemi.

3.2 CRISI DEL MODELLO CLASSICO SFERICO

Supponendo che l'elettrone fosse una piccola sfera carica, rotante attorno a un asse, si poteva tentare di associare il momento angolare osservato al moto rotazionale della sfera.

Tuttavia, imponendo il valore sperimentale dello spin: $S = \frac{\hbar}{2} = \frac{h}{4\pi}$

la velocità periferica della superficie risultava superiore alla velocità della luce.

Questo risultato venne interpretato come prova del fatto che lo spin non potesse essere una rotazione reale e che l'elettrone non potesse possedere una struttura geometrica classica.

La fisica moderna abbandonò quindi progressivamente ogni interpretazione meccanica diretta dello spin. Tuttavia, questo passaggio storico lascia aperta una questione fondamentale.

Il problema potrebbe non essere l'idea stessa di una struttura fisica reale dell'elettrone, ma il tipo di geometria utilizzata per rappresentarla.

Infatti il modello classico assume implicitamente:

- una geometria sferica semplice;
- una distribuzione uniforme;
- una singola rotazione ordinaria.

Ma nulla garantisce che la struttura reale dell'elettrone debba possedere tale geometria.

3.3 IL PROBLEMA DEL FATTORE GIROMAGNETICO

Un secondo problema cruciale riguarda il fattore giromagnetico g . Per una distribuzione classica di massa e carica che ruotano insieme, e che hanno la stessa distribuzione il momento magnetico vale: $\mu = g \frac{q}{2m} L$ con $g = 1$

Tuttavia, sperimentalmente, l'elettrone possiede: $g \approx 2$.

Questa discrepanza rappresentò uno dei principali problemi della fisica atomica degli anni Venti.

L'equazione di Dirac riuscì successivamente a riprodurre formalmente il valore: $g = 2$ come conseguenza relativistica della teoria spinoriale.

Tuttavia, anche in questo caso, il formalismo matematico non chiarisce quale struttura fisica reale produca tale fattore.

Rimane quindi aperta una domanda fondamentale: Nel presente lavoro verrà proposta una possibile interpretazione geometrica di questo risultato: PERCHÉ IL MOMENTO MAGNETICO ELETTRONICO È DOPPIO RISPETTO A VALORE CLASSICO?

3.4 IL PROBLEMA DELLA PERIODICITÀ 4π

Uno degli aspetti più sorprendenti dello spin riguarda la periodicità spinoriale.

Negli esperimenti interferometrici con neutroni ed elettroni si osserva infatti che una rotazione di: 2π non riporta il sistema nello stato iniziale; mentre una rotazione di: 4π riporta la configurazione completa alla condizione originaria.

Nel formalismo standard questo comportamento emerge dalla teoria degli spinori e dalla struttura del gruppo $SU(2)$. Tuttavia, dal punto di vista geometrico e fisico, il fenomeno rimane difficile da visualizzare. Perché una particella dovrebbe richiedere una doppia rotazione completa per ritornare identica? Anche in questo caso, il formalismo matematico descrive correttamente il fenomeno ma non ne chiarisce il meccanismo fisico reale.

3.5 NECESSITÀ DI UNA REINTERPRETAZIONE GEOMETRICA

I problemi discussi suggeriscono che il modello della particella puntiforme e il modello della sfera classica, potrebbero essere entrambi insufficienti. Nel presente lavoro si esplora quindi una ipotesi differente: l'elettrone possiede una struttura topologica interna non banale e tale struttura genera naturalmente:

- spin;
- momento magnetico;
- periodicità 4π ;
- fattore $g = 2$.

L'idea centrale sarà che il magnetismo elettronico e la spinorialità siano proprietà emergenti della topologia vorticoso della struttura interna della particella.

4 L'ELETTRONE COME CONFIGURAZIONE HOPFIONICA DEL SUPERFLUIDO

Nel quadro teorico qui proposto, l'elettrone non viene interpretato né come punto matematico, né come semplice sfera rotante, né come pura funzione d'onda astratta.

L'elettrone viene invece interpretato come una configurazione corpuscolare stabile del superfluido dotata di una struttura vorticoso topologica interna.

La geometria proposta per descrivere tale struttura è quella di tipo Hopf.

4.1 STRUTTURE VORTICOSE E TOPOLOGIA

Nei sistemi fluidi reali, le strutture vorticoso rappresentano configurazioni particolarmente stabili e persistenti. In presenza di: rotazione, circolazione, concatenazione delle linee di flusso, il fluido può sviluppare configurazioni topologiche robuste. In particolare, alcune configurazioni possiedono:

- linee chiuse concatenate;
- torsione interna;
- stabilità topologica.

Queste proprietà risultano estremamente interessanti nel tentativo di descrivere:

- spin;
- magnetismo;
- periodicità spinoriale.

Nel modello proposto, il superfluido che costituisce lo spazio può sostenere strutture vorticoshe stabili di questo tipo.

4.2 HOPFION E LINEE CONCATENATE

Una configurazione di tipo Hopf (hopfion) è caratterizzata da:

- linee di flusso chiuse;
- concatenate tra loro;
- topologicamente intrecciate.

A differenza di un vortice ordinario l'hopfion non possiede una semplice rotazione circolare ma una struttura tridimensionale concatenata. Questa caratteristica è fondamentale.

Una normale rotazione sferica produce una sola circuitazione con periodicità ordinaria 2π .

Una struttura hopfionica invece può produrre:

- doppia circuitazione efficace;
- torsione interna;
- periodicità topologiche differenti dalla semplice rotazione geometrica.

Tali proprietà rendono l'hopfion un candidato naturale per descrivere il comportamento spinoriale.

4.3 CARICA ELETTRICA E STRUTTURA VORTICOSA

Nel modello qui proposto, la carica elettrica non viene interpretata come entità astratta puntiforme.

Essa viene invece associata:

- alla orientazione della struttura vorticoso;
- alla chiralità della configurazione;
- alla circuitazione interna del superfluido.

In questo quadro:

- cariche positive e negative corrispondono a orientazioni opposte della struttura vorticoso;
- il campo magnetico emerge dalla circuitazione del mezzo;
- la struttura della carica diventa inseparabile dalla topologia del vortice.

Questa interpretazione permette di collegare lo spin, il magnetismo, la carica, la periodicità spinoriale all'interno della stessa struttura geometrica.

4.4 PERCHÉ L'HOPFION È PIÙ ADATTO DELLA SFERA

La sfera classica rappresenta una geometria troppo semplice. Essa non possiede:

- concatenazione topologica;
- torsione interna;

- doppia circuitazione;
- periodicità non banali.

Per questo motivo produce naturalmente: $g = 1$ e periodicità ordinaria: 2π .

Una struttura hopfionica invece possiede naturalmente:

- doppia circuitazione;
- torsione geometrica;
- topologia concatenata.

Queste proprietà permettono di comprendere come il momento magnetico possa risultare doppio rispetto al valore classico, la periodicità possa diventare 4π e la precessione magnetica emerga dalla dinamica reale della struttura vorticoso.

Nel seguito del lavoro verrà mostrato come tali proprietà conducano naturalmente:

- al fattore $g = 2$;
- alla periodicità spinoriale;
- e alla frequenza di Larmor.

5 LO SPIN COME VORTICITÀ REALE DELLA STRUTTURA HOPFIONICA

Uno dei principali problemi concettuali della fisica moderna riguarda la reale natura dello spin elettronico. Nel formalismo standard della meccanica quantistica:

- lo spin viene introdotto come momento angolare intrinseco;
- il fattore giromagnetico emerge dal formalismo relativistico di Dirac;
- la periodicità 4π emerge dalla teoria degli spinori.

Tuttavia, tali proprietà vengono descritte matematicamente ma non ricevono una interpretazione geometrica e meccanica unificata. Nel presente lavoro si propone invece che:

- spin;
- fattore $g=2$;
- periodicità spinoriale 4π ;

siano manifestazioni differenti della stessa struttura topologica fondamentale dell'elettrone.

L'idea centrale è che l'elettrone possieda una struttura corpuscolare stabile, immersa nello spazio superfluido e dotata di una configurazione vorticoso interna di tipo Hopf.

In tale quadro:

- lo spin emerge dalla vorticità topologica della struttura;
- il momento magnetico emerge dalla circuitazione interna della carica;
- la periodicità 4π emerge dalla topologia concatenata dell'hopfion.

5.1 IL PROBLEMA STORICO DELLO SPIN

Come già visto al capitolo 3, storicamente il problema dello spin nasce dagli esperimenti di Stern e Gerlach. In tali esperimenti un fascio atomico immerso in un campo magnetico non uniforme; si separa in stati discreti. Il risultato suggeriva immediatamente che gli elettroni possedessero un momento magnetico intrinseco, orientabile soltanto secondo valori quantizzati.

Per spiegare il fenomeno, venne introdotto il concetto di spin elettronico. L'interpretazione iniziale fu naturalmente quella di una rotazione reale della particella; infatti una carica che ruota genera un campo magnetico; quindi il momento magnetico poteva essere interpretato come effetto della rotazione dell'elettrone. Tuttavia, come già visto al capitolo 3, il modello classico della sfera rotante mostrò immediatamente profonde difficoltà.

5.2 LIMITI DELLA GEOMETRIA SFERICA CLASSICA

Il modello della sfera rotante possiede una struttura geometrica estremamente semplice:

- una singola rotazione;
- una singola circuitazione;
- periodicità geometrica ordinaria;
- assenza di torsione topologica.

Una struttura di questo tipo può produrre una sola circuitazione magnetica efficace ed una periodicità naturale: 2π .

Per tale motivo il modello classico produce: $g = 1$

La sfera non possiede infatti:

- linee concatenate;
- torsioni tridimensionali;
- doppie circuitazioni;
- strutture topologicamente intrecciate.

Questo punto è cruciale; il problema potrebbe non essere l'idea stessa di una struttura fisica reale dell'elettrone, ma il tipo di geometria utilizzata per rappresentarla.

Se la struttura interna dell'elettrone fosse topologicamente più complessa di una semplice sfera, allora:

- periodicità non banali;
- momenti magnetici anomali;
- e proprietà spinoriali
- potrebbero emergere naturalmente.

5.3 INTRODUZIONE DELLA STRUTTURA HOPFIONICA

Nel presente modello si ipotizza che l'elettrone non possieda una geometria sferica semplice, ma una struttura interna topologicamente più complessa.

L'idea centrale è che la configurazione elettronica sia immersa nello spazio superfluido e presenti una struttura vorticoso interna di tipo Hopf.

Una configurazione hopfionica è caratterizzata da:

- linee di flusso chiuse;
- circuitazioni concatenate;
- torsione tridimensionale;
- struttura topologicamente stabile.

A differenza di una semplice rotazione circolare, un hopfion **non può** essere descritto mediante una sola orientazione geometrica globale.

Questo punto è fondamentale.

In una sfera classica la struttura geometrica la rotazione e la circuitazione della carica coincidono sostanzialmente nella stessa dinamica.

In una struttura hopfionica, invece, la configurazione globale dell'oggetto e la struttura topologica interna delle linee vorticoso non coincidono necessariamente.

L'hopfion possiede quindi due livelli distinti di descrizione:

- una geometria globale della configurazione;
- una topologia interna delle circuitazioni del superfluido.

Questa distinzione è precisamente ciò che rende possibile:

- la periodicità spinoriale;
- la doppia circuitazione efficace della carica;
- e l'origine geometrica del fattore $g = 2$.

Nel modello proposto la carica elettrica è associata alla circuitazione topologica interna della struttura vorticoso mentre lo spin è associato alla dinamica vorticoso coerente dell'intera configurazione.

L'elettrone non viene quindi interpretato né come particella puntiforme né come semplice sfera rotante ma come una configurazione corpuscolare stabile immersa in una struttura vorticoso topologica del superfluido.

5.4 SPIN COME VORTICITÀ TOPOLOGICA DELLA CONFIGURAZIONE

Nel formalismo standard lo spin viene trattato come:

- operatore quantistico;
- momento angolare intrinseco (quantità intrinseca);
- proprietà spinoriale.

Tuttavia il formalismo standard evita di attribuire allo spin una vera interpretazione meccanica diretta.

Nel presente modello viene proposta una interpretazione differente.

Lo spin rappresenta la vorticità coerente della struttura hopfionica immersa nel superfluido.

In tale quadro:

- lo spin non corrisponde alla semplice rotazione rigida di una sfera;
- ma alla dinamica topologica globale della configurazione vorticoso.

Questo permette di superare il limite del modello classico sferico.

Infatti il problema storico della velocità superficiale superluminale nasceva implicitamente dall'assunzione che l'elettrone fosse interpretato come una sfera ordinaria dotata di una sola rotazione geometrica semplice, sia per massa m che per carica q .

Nel modello hopfionico la struttura interna è tridimensionalmente intrecciata; la dinamica topologica non coincide con una semplice rotazione meccanica ordinaria e la vorticità è distribuita nella struttura del superfluido.

Lo spin assume quindi il significato di:

- orientazione topologica della configurazione;
- stato vorticoso coerente del mezzo;
- dinamica globale della struttura hopfionica.

Il valore sperimentale: $S = \frac{\hbar}{2} = \frac{h}{4\pi}$ diventa allora particolarmente significativo.

La presenza del termine 4π suggerisce naturalmente una struttura topologica che richiede una doppia rotazione completa per ritornare integralmente identica.

5.5 ORIGINE TOPOLOGICA DELLA PERIODICITÀ 4π

Uno dei fenomeni più sorprendenti delle particelle di spin: $\frac{1}{2}$ è la periodicità spinoriale.

Gli esperimenti interferometrici mostrano infatti che una rotazione di 2π non riporta il sistema completamente nello stato iniziale, mentre una rotazione di 4π ricostituisce completamente la configurazione originaria.

Nel formalismo standard questo comportamento emerge matematicamente dalla teoria degli spinori $SU(2)$.

Mentre nel presente modello esso viene reinterpretato come conseguenza diretta della topologia hopfionica

La chiave del problema è distinguere la geometria globale della struttura dalla topologia interna della circuitazione.

Nel modello hopfionico la configurazione geometrica esterna può richiudersi dopo 2π mentre la struttura topologica completa delle linee concatenate richiede una rotazione di 4π per ritornare identica.

Questo significa che la semplice orientazione geometrica e la configurazione topologica della struttura non coincidono.

La periodicità spinoriale emerge quindi non come proprietà astratta, ma come conseguenza fisica della struttura vorticoso concatenata del superfluido.

5.6 ORIGINE GEOMETRICA DEL FATTORE $g = 2$

La stessa struttura topologica che produce la periodicità 4π permette anche di comprendere l'origine del fattore giromagnetico elettronico.

Nel modello classico della sfera rotante:

- massa e carica condividono la stessa rotazione geometrica;
- esiste una sola circuitazione efficace;
- il sistema possiede una sola periodicità fondamentale.

per questo motivo: $\mu = \frac{q}{2m} L$ e quindi $g = 1$

Nel modello hopfionico la situazione cambia profondamente.

La struttura globale della configurazione può richiudersi geometricamente dopo una rotazione di 2π mentre la circuitazione topologica della carica richiede una periodicità di 4π .

La carica possiede quindi una doppia periodicità topologica rispetto alla semplice geometria globale della struttura.

Definiamo:

- N_m : periodicità geometrica globale della configurazione;;
- N_q : periodicità topologica efficace della circuitazione della carica.

Nel caso classico: $N_m = N_q$ da cui $g = \frac{N_q}{N_m} = 1$

Nel modello hopfionico invece: $N_q = 2 N_m$

- la struttura globale mantiene una singola dinamica coerente;
- mentre la carica realizza due circuitazioni efficaci.

Ne segue: $g = \frac{N_q}{N_m} = 2$

Nel presente modello il fattore giromagnetico non viene postulato, né corretto artificialmente, ma emerge direttamente dalla topologia della struttura elettronica.

Il fattore giromagnetico emerge quindi direttamente dalla differenza tra periodicità geometrica della struttura globale e periodicità topologica della circuitazione della carica.

5.7 UNIFICAZIONE GEOMETRICA DI SPIN, PERIODICITÀ SPINORIALE E FATTORE g

Nel modello sviluppato nel presente capitolo:

- spin;
- periodicità spinoriale;
- momento magnetico;
- fattore giromagnetico;
- non rappresentano più proprietà indipendenti introdotte separatamente.

Essi emergono tutti dalla stessa struttura topologica fondamentale dell'elettrone.

In particolare la topologia concatenata dell'hopfion, la distinzione tra geometria globale e circuitazione interna e la doppia periodicità della struttura della carica producono simultaneamente:

- periodicità 4π ;
- doppia circuitazione efficace;
- fattore $g = 2$;
- comportamento spinoriale.

Nel quadro proposto:

- lo spin non è una proprietà puramente astratta;
- il momento magnetico non è una quantità introdotta artificialmente;
- la periodicità spinoriale non è soltanto una proprietà matematica degli spinori.

Tutti questi fenomeni diventano manifestazioni differenti della stessa geometria vorticoso del superfluido. Nel presente lavoro si ipotizza che l'elettrone possieda una struttura vorticoso interna di tipo Hopf.

8 PRECESSIONE DI LARMOR COME DINAMICA REALE DELLA STRUTTURA VORTICOSA

Quando una particella dotata di momento magnetico viene immersa in un campo magnetico esterno, si osserva sperimentalmente un fenomeno di precessione.

Nel formalismo standard tale fenomeno viene descritto mediante la precessione di Larmor.

La coppia τ agente sul momento magnetico μ vale: $\tau = \mu \times B$

induce una rotazione progressiva dell'asse dello spin attorno alla direzione del campo magnetico detta precessione di Larmor.

La frequenza della precessione di Larmor osservata sperimentalmente risulta: $\omega_L = g \frac{qB}{2m}$

Per l'elettrone, utilizzando: $g = 2$ si ottiene: $\omega_L = \frac{qB}{m}$

Nel formalismo standard tale risultato emerge matematicamente dalle equazioni quantistiche, ma la natura fisica reale della precessione rimane poco intuitiva.

Nel presente modello viene proposta una interpretazione meccanica e topologica del fenomeno.

8.1 DIFFERENZA TRA ROTAZIONE E PRECESSIONE

Una rotazione ordinaria implica:

- un asse fisso;
- una velocità angolare diretta;
- una semplice variazione dell'orientazione.

Nel caso della precessione, invece, l'asse stesso della rotazione varia nel tempo e la struttura ruota attorno alla direzione imposta dal campo esterno.

Un esempio classico è quello della trottola dove la gravità non blocca la rotazione ma induce una precessione dell'asse.

Nel modello hopfionico il campo magnetico esterno non agisce su una particella puntiforme ma sulla struttura vorticoso del superfluido associata all'elettrone.

La precessione diventa quindi la dinamica reale della struttura topologica Hopfionica sotto l'azione del campo magnetico esterno.

8.2 INTERAZIONE TRA CAMPO MAGNETICO E STRUTTURA VORTICOSA

Nel modello proposto il campo magnetico non è un'entità astratta ma una struttura vorticoso del superfluido. Quando l'elettrone entra in un campo magnetico esterno la sua struttura vorticoso interna interagisce con la vorticità del mezzo circostante, causata dal campo magnetico; pertanto si genera una coppia dinamica, che tende a riallineare la configurazione.

La precessione osservata rappresenta quindi l'evoluzione reale della configurazione vorticoso elettronica nel superfluido.

8.3 ORIGINE DELLA FREQUENZA DI LARMOR

Nel modello sviluppato nei capitoli precedenti il fattore $g = 2$ emerge naturalmente dalla doppia circuitazione efficace della struttura hopfionica.

Una volta ottenuto tale risultato, la frequenza di Larmor discende automaticamente.

Infatti la coppia magnetica $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$ ha un modulo $|\tau| = \mu B \sin \theta = g \frac{qS}{2m} B \sin \theta$

La coppia magnetica non modifica il modulo dello spin \mathbf{S} , ma ne cambia solo la direzione $\boldsymbol{\tau} = \frac{d\mathbf{S}}{dt}$

Per una precessione uniforme $\left| \frac{d\mathbf{S}}{dt} \right| = \omega_L S \sin \theta$ con ω_L è la frequenza di Larmor

Eguagliano le due espressioni della coppia:

$$\omega_L S \sin \theta = g \frac{q}{2m} S B \sin \theta$$

Discende che: $\omega_L = g \frac{qB}{2m}$

Per l'elettrone, utilizzando: $g = 2$ si ottiene: $\omega_L = \frac{qB}{m}$

Nel modello proposto la frequenza di Larmor ω_L emerge quindi direttamente:

- dalla struttura topologica dell'elettrone
- dalla doppia periodicità della circuitazione e la carica

Quindi nel modello proposto la frequenza di Larmor, il fattore g e la periodicità 4π emergono tutti dalla stessa struttura topologica fondamentale;

9 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stata proposta una reinterpretazione topologico e meccanica dello spin quantistico nell'ambito del modello dello spazio superfluido.

L'obiettivo principale dello studio non è stato quello di sostituire il formalismo matematico della meccanica quantistica standard, ma tentare di individuare una possibile struttura fisica reale sottostante a fenomeni che il formalismo moderno descrive con grande precisione, ma interpreta prevalentemente in termini astratti.

Nel modello proposto:

- lo spazio viene trattato come un mezzo fisico reale;
- i campi elettromagnetici emergono come deformazioni e strutture vorticoshe del superfluido;
- le onde elettromagnetiche vengono interpretate come onde solitoniche quantizzate del mezzo;
- l'elettrone viene descritto come una configurazione corpuscolare stabile dotata di una struttura vorticoso topologica interna di tipo Hopf.

Questa impostazione permette di reinterpretare in modo meccanico e unificato:

- lo spin;
- il momento magnetico;
- il fattore giromagnetico;
- la periodicità spinoriale;
- la precessione magnetica;
- l'effetto Zeeman (si veda articolo dedicato nel libro Lo spazio Superfludo)

Uno dei risultati centrali del lavoro riguarda il fattore giromagnetico elettronico.

Nel modello classico della sfera rotante si ottiene naturalmente: $g = 1$ poiché massa e carica condividono la stessa rotazione efficace.

Nel modello hopfionico proposto, invece: la struttura della carica realizza una doppia circuitazione topologica efficace mentre la struttura globale mantiene una singola dinamica rotazionale coerente.

Definendo:

N_m : numero di rotazioni efficaci associate alla struttura globale;

N_q : numero di circuitazioni magneticamente efficaci associate alla carica,

si ottiene: $g = N_m/N_q$

Nel caso elettronico: $N_m = 1$ e $N_q = 2$

da cui segue naturalmente: $g = 2$

Nel presente modello:

il fattore $g = 2$ non viene quindi postulato, né introdotto tramite correzioni artificiali, ma emerge direttamente dalla topologia della struttura elettronica.

Un secondo risultato importante riguarda la periodicità spinoriale. Nel formalismo standard:

una particella di spin $\frac{1}{2}$ richiede una rotazione di 4π per ritornare nello stato iniziale.

Nel modello hopfionico tale comportamento emerge naturalmente dalla topologia concatenata della struttura.

La configurazione geometrica globale può richiudersi dopo: 2π mentre la struttura topologica completa richiede 4π per ritornare identica.

Periodicità spinoriale e fattore giromagnetico risultano quindi manifestazioni differenti della stessa geometria fondamentale.

Anche la precessione di Larmor assume una nuova interpretazione fisica.

Nel modello proposto:

- il campo magnetico è una struttura vorticoso del superfluido;
- l'elettrone possiede una struttura vorticoso interna;
- la precessione emerge dall'interazione reale tra tali configurazioni dinamiche.

Una volta ottenuto: $g = 2$

la frequenza di Larmor discende automaticamente: $\omega_L = \frac{qB}{m}$

Il modello suggerisce quindi che:

periodicità 4π ;

fattore g ;

precessione di Larmor;

momento magnetico;

non rappresentino fenomeni indipendenti, ma manifestazioni differenti della stessa struttura topologica sottostante.

Il lavoro presentato costituisce quindi un tentativo di costruire una interpretazione geometrico - meccanica più unificata di diversi fenomeni quantistici fondamentali. il quadro teorico sviluppato suggerisce che lo spin, il magnetismo, la periodicità spinoriale e la struttura della carica possano forse essere reinterpretati come proprietà emergenti della dinamica topologica di uno spazio fisico reale.

In tale prospettiva la meccanica quantistica non verrebbe negata ma reinterpretata geometricamente come teoria efficace emergente della dinamica del superfluido fondamentale.