

Solitoni nella catena di spin di Heisenberg anisotropa

Solitons in the anisotropic Heisenberg spin chain

Candidato: Tommaso Fedi (tommaso.fedi@stud.unifi.it)

Relatore: Prof. Alessandro Cuccoli (cuccoli@fi.infn.it)

Negli ultimi anni è maturato nel mondo della ricerca un nuovo interesse verso i “solitoni”, onde solitarie a profilo permanente che si propagano a velocità costante. Dopo essere stati osservati per la prima volta negli anni trenta del XIX secolo come onde di superficie in acqua, i solitoni si sono rivelati importanti in vari ambiti della fisica. Degne di nota sono la loro elevata stabilità sotto perturbazioni esterne e la loro capacità di riemergere invariati dalle collisioni con altri solitoni a meno di una fase. Quanto detto li rende entità particolarmente adatte per scopi applicativi come la trasmissione di segnali. I solitoni sono attualmente oggetto d’interesse in attività di ricerca nelle quali si affrontano problemi connessi alla realizzazione di un calcolatore quantistico: sono stati recentemente proposti un metodo che impiega solitoni per la manipolazione dello stato del singolo qubit di un registro quantistico ed innovativi schemi di codifica di qubit solitonici (che permettono tra l’altro di produrre stati “entangled” di qubit separati spazialmente, un altro ingrediente essenziale per la computazione quantistica).

Lo studio dei solitoni nelle catene di spin interagenti ha avuto inizio negli anni settanta del XX secolo, quando sono stati realizzati i primi composti magnetici quasi-unidimensionali, cioè composti caratterizzati da una debole interazione tra spin disposti su catene adiacenti e forte interazione fra spin appartenenti alla stessa catena. Nel 1977 J. Tjon e J. Wright ricavarono la forma esplicita del solitone per la catena isotropa di spin classico su supporto continuo e due anni dopo K.A. Long e A.R. Bishop proposero una soluzione analitica per la dinamica della catena anisotropa. I risultati sperimentali che confermano la presenza dei solitoni nei materiali magnetici risalgono agli anni ottanta e novanta.

In questo lavoro di tesi ricaviamo l’Hamiltoniana e l’equazione del moto di una catena di Heisenberg classica su supporto continuo, in presenza d’anisotropia di tipo asse facile e di un campo magnetico esterno. Appuriamo che la soluzione analitica di tipo solitone indicata da Long e Bishop è effettivamente soluzione alla dinamica della catena, riesaminando criticamente il loro lavoro ed ultimandolo con la determinazione della variabile angolare¹ $\phi(x, t)$. Mostriamo che le equazioni a cui sottostanno i campi $\theta(x, t)$ e $\phi(x, t)$, ottenute imponendo la stazionarietà dell’Hamiltoniana ad impulso costante, discendono in modo del tutto naturale dalle equazioni del moto della catena. Passando al limite isotropo ricaviamo la forma del solitone di Tjon e Wright, constatando così che è possibile passare con continuità dall’espressione del solitone anisotropo a quella del solitone isotropo. Ottenuto il limite superiore per il modulo della velocità di propagazione del solitone, vediamo che, contrariamente al caso isotropo, la propagazione di un solitone nella catena con anisotropia di asse facile può avvenire anche in assenza di campo magnetico esterno. Sono quindi illustrati graficamente gli andamenti di $\cos \theta(x, t = 0)$ al variare di uno dei parametri che compaiono nella sua forma funzionale tenendo gli altri fissi. Mettiamo inoltre a confronto il solitone isotropo con quello anisotropo al variare del campo applicato \mathcal{B} e del parametro di anisotropia τ , tenendo fissa la velocità di propagazione, in modo da mettere in evidenza similitudini e differenze fra i solitoni che si propagano alla stessa velocità nelle due catene.

I risultati ottenuti, ed in particolare la stretta somiglianza fra i solitoni che si propagano sulla catena isotropa in presenza del necessario campo magnetico esterno e quelli che si osservano in presenza d’anisotropia di asse facile anche per campo magnetico nullo, aprono interessanti prospettive per l’utilizzazione della catena di spin per il trasporto d’informazione in situazioni nelle quali può essere preferibile non avere campi magnetici esterni che agiscono sul sistema.

¹La configurazione spaziale di un vettore di spin della catena è univocamente individuata dalle coordinate polari θ e ϕ .