



Doctoral Thesis

Nucleation, solitons and breathers in biaxial ferromagnets

Author(s):

Braun, Hans Benjamin

Publication Date:

1991

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000643435> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 9619

Nucleation, Solitons and Breathers in Biaxial Ferromagnets

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Zürich

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
HANS BENJAMIN BRAUN
Dipl. Phys., University of Basel
born May 16, 1962
citizen of Basel (BS)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. W. Baltensperger, examiner
Prof. Dr. W. Hunziker, co-examiner

1991

Abstract

This thesis deals with various aspects of domain wall structures in a ferromagnet. The ferromagnet is described within the framework of a classical continuum model. Its energy contains exchange terms, a uniaxial anisotropy and the coupling to the external magnetic field. The demagnetizing field is treated within the approximation of a hard axis anisotropy.

First we present a family of static planar structures in the presence of an external magnetic field. These structures fall into two classes: Spatially aperiodic solutions like a kink-kink or kink-antikink pair and spatially periodic solutions. Some of the latter can be interpreted as nonuniform static structures in a sample of finite length. The stability of a kink-kink pair and a kink-antikink pair is investigated. It is shown that the kink-antikink pair has exactly one unstable mode identifying it as a nucleation center of planar symmetry. The kink-kink pair also exhibits an instability for large external fields against out of easy plane distortions.

The dynamics of such pairs of domain walls in the absence of external fields is investigated analytically. Somewhat unexpected is the existence of a breather describing an oscillating bound pair of equally twisted domain walls. Its energy is higher than that of two freely moving domain walls. This situation has no known analogy in other nonlinear field theories. It corresponds to a bound state of two domain walls with equal sense of twist and an energy which is higher than that of two freely moving domain walls.

Finally transition rates of magnetization reversal are calculated. For an external magnetic field slightly less than the anisotropy field, thermal fluctuations lead to a decay of a state homogeneously magnetized antiparallel to the external field. Thereby the system has to surmount a saddle point of lowest energy. In case of a planar symmetry this saddle point is the kink-antikink pair. Magnetization reversal rates are calculated for large and moderate effective damping. The latter case involves the determination of the escape frequency of the dynamical unstable mode. Apart from numerical results a very accurate approximation for this escape frequency is given. In both cases the nucleation rates are evaluated analytically in the limit of small and large nucleation centers, for intermediate values of external fields numerical results are obtained.

Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation befasst sich mit verschiedenen Formen von Domänenwandstrukturen in Ferromagneten. Der Beschreibung des Ferromagneten liegt ein klassisches Kontinuummodell zugrunde: Die Energiedichte umfasst Austausch, uniaxiale Anisotropie und die Kopplung an das äussere Feld. Entmagnetisierungseffekte werden in Form einer Anisotropie mit einer harten Achse berücksichtigt.

Zunächst werden statische Strukturen in Anwesenheit eines äusseren Feldes diskutiert, die man in zwei Klassen unterteilen kann: Solitäre Lösungen, die einem Kink-Kink oder Kink-Antikink Paar entsprechen und räumlich periodische Lösungen, die teilweise als nichthomogene statische Strukturen in Proben endlicher Länge interpretiert werden können. Zudem wird die Stabilität von Kink-Kink und Kink-Antikink Paaren untersucht. Es zeigt sich, dass das Kink-Antikink Paar für alle Felder genau einen instabilen Modus besitzt. Das Kink-Kink Paar ist für grosse Felder ebenfalls instabil gegenüber Abweichungen von der zur harten Achse normalen Ebene.

Die Dynamik von solchen Domänenwandpaaren in Abwesenheit eines äusseren Feldes wird ebenfalls untersucht. Eine Überraschung bildet die analytische Lösung eines "breathers", der einem gebundenen Zustand von zwei Domänenwänden mit gleichem Drehsinn entspricht. Er besitzt eine Energie, die höher ist als diejenige von zwei sich frei bewegenden Domänenwänden.

Schliesslich werden Ummagnetisierungsraten berechnet. Falls das äussere Feld nur wenig kleiner als das Anisotropiefeld ist, ist der Zustand homogener Magnetisierung antiparallel zum äusseren Feld metastabil. Bei endlichen Temperaturen wird es nach einer gewissen Zeit in den stabilen Zustand parallel zum äusseren Feld übergehen. Dabei muss das System die Sattelpunktskonfiguration mit der kleinsten Energie überwinden. Im Falle planarer Symmetrie ist dies das Kink-Antikink Paar. Wir berechnen Ummagnetisierungsraten für grosse bis mässige Dämpfung. Der letztere Fall bedingt die Kenntnis der Fluchtfrequenz des instabilen dynamischen Modus. Dafür wird eine sehr gute Näherung angegeben. Für Felder nahe dem Anisotropiefeld und für kleine Felder werden analytische Ausdrücke für diese Nukleationsraten angegeben, der Fall beliebiger äusserer Felder wird numerisch behandelt.