

CURVATURE-INDUCED EFFECTS IN MAGNETIC NANOSTRUCTURES

curvilinear magnetism, nanomagnetism, curvature effects in condensed matter

Materials with chiral interactions possessing chiral magnetic textures are at the forefront of current condensed matter research. Curvature effects in geometrically curved magnetic thin films emerged as a viable alternative to conventional approaches towards the realization of chiral magnetic textures, which are based on tuning of intrinsic properties of materials. Although there are numerous appealing theoretical predictions of curvature-induced effects in 3D shells, the novel physics of exchange- and magnetostatic-driven phenomena in nanomagnetism are not yet explored experimentally. This is mainly due to the lack of characterization tools and fabrication methods which can provide access to complex geometries at the low micrometer and sub- μm scale, e.g. tori, Möbius strips, spherical shells.

In this project we address these fundamentally relevant aspects. The main objective of this project is to join efforts of three experimental groups and one theory group to develop and exploit novel routes in fabrication of 3D curved magnetic shells at the low micrometer and sub- μm scale. In addition, we will fully characterize them and study their complex magnetic states and their dynamics both, experimentally and theoretically. In the focus will be mainly objects which were not realized before, including but not limited to torus, Möbius strip, and spherical shell. These new magnetic architectures will be characterized using a broad range of experimental techniques with respect to their static and dynamic properties. For the latter, new methods will be established and applied to study magnetization dynamics, e.g. in fundamentally appealing radially magnetized Swiss rolls. To understand complex magnetic structures in these architectures, advanced micromagnetic simulations will be carried out using finite element based micromagnetic solvers which are accelerated by the high parallel computing power of graphics cards.

This project will not only deepen our understanding on curvature-induced effects in condensed matter but also will put novel theoretical concepts and proposals to the test by experiment. This will provide deepened insight into how curvature effects can be used for future realization of novel 3D devices.

KRÜMMUNGSINDUZIERTE EFFEKTE IN MAGNETISCHEN NANOSTRUKTUREN

Kurvilinearer Magnetismus, Nanomagnetismus, Krümmungseffekte in kondensierter Materie

Materialien mit chiralen Wechselwirkungen, die chirale magnetische Texturen besitzen, stehen im Vordergrund aktueller Forschung zu kondensierter Materie. Krümmungseffekte in geometrisch gekrümmten magnetischen dünnen Schichten erwiesen sich als eine praktikable Alternative zu den herkömmlichen Ansätzen zur Realisierung chiraler magnetischer Texturen, die auf der Abstimmung intrinsischer Materialeigenschaften basieren. Obwohl es zahlreiche ansprechende theoretische Vorhersagen für krümmungsinduzierte Effekte in 3D-Schalen gibt, ist die neuartige Physik von durch Wechselwirkung und Magnetostatik getriebenen Phänomenen im Nanomagnetismus noch nicht experimentell untersucht. Dies ist hauptsächlich auf das Fehlen geeigneter Charakterisierungswerkzeuge und Herstellungsverfahren zurückzuführen, die Zugang bieten zu komplexen Geometrien im unteren Mikrometer- und Sub- μm -Bereich, bspw. Tori, Möbius-Streifen und Kugelschalen.

In diesem Projekt werden wir auf diese grundlegend relevanten Aspekte eingehen. Das Hauptziel dieses Projekts besteht darin, drei experimentelle Gruppen und eine theoretische Gruppe zusammenzubringen, um neue Wege bei der Herstellung dreidimensionaler gekrümmter magnetischer Schalen im unteren Mikrometer- und Sub- μm -Bereich auf Basis von Dünnschicht- und Direktschreib-Methoden weiterzuentwickeln und einzusetzen. Weiterhin werden wir die komplexen magnetischen Zustände charakterisieren und ihre Dynamik untersuchen, sowohl experimentell als auch theoretisch. Im Fokus stehen vor allem Objekte, die zuvor nicht realisiert wurden, darunter der Torus, das Möbius-Band und die Kugelschale. Diese neuen Architekturen werden anhand einer Vielzahl experimenteller Techniken hinsichtlich ihrer statischen und dynamischen Eigenschaften charakterisiert. Für letztere werden neue Methoden etabliert und angewendet, um die Magnetisierungsdynamik bspw. in besonders interessanten magnetischen biskuitrollen-artigen Strukturen zu untersuchen. Um die komplexen magnetischen Strukturen in diesen Architekturen zu verstehen, werden fortschrittliche mikromagnetische Simulationen mit mikromagnetischen Berechnungen auf Finite-Elemente-Basis durchgeführt, die durch die hohe parallele Rechenleistung von Grafikkarten beschleunigt werden.

Dieses Projekt wird nicht nur unser Verständnis krümmungsinduzierter Effekte in kondensierter Materie vertiefen, sondern auch dazu beitragen, die entwickelten neuartigen theoretischen Konzepte und Vorschläge experimentell zu überprüfen. Auf diese Weise werden wir Einsicht erhalten, wie derartige Krümmungseffekte für die zukünftige Realisierung neuer magnetischer 3D-Bauelemente genutzt werden können.