

Experiments on femtomagnetism

Doctoral Thesis**Author(s):**

Salvatella Orgillés, Gerard

Publication date:

2016

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010811282>

Rights / license:

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

DISS. ETH NO. 24025

Experiments on femtomagnetism

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH Zurich

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

GERARD SALVATELLA

Màster en fotònica, Universitat Politècnica de Catalunya

born on 20.08.1986

citizen of Catalunya, Spain

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. A. Vaterlaus, examiner

Dr. Y. Acremann, co-examiner

Prof. Dr. D. Pescia, co-examiner

Prof. Dr. G. Schönhense, co-examiner

2016

Abstract

When a ferromagnet is exposed to a femtosecond laser pulse, its magnetization is reduced within less than a picosecond. This surprising effect has challenged the established theory on magnetization dynamics and, at the same time, has fostered femtomagnetism as a new area of research. While substantial progress has been made in the past two decades, the underlying mechanisms governing this phenomenon are not yet fully understood.

In this work, two different sets of investigations have been performed to add further evidence on this topic. First, a spin- and time-resolved photoemission experiment has been carried out using a free electron laser source to access the magnetization dynamics of electrons below the Fermi surface. It has been found that the demagnetization behavior of these electrons is in line with studies by more indirect methods, confirming the reliability of magneto-optical Kerr experiments. Also limitations on the magnetization detection due to space charge effects have been modeled to provide insight in future experimental designs at 4th generation light source facilities.

Second, table-top experiments based on the magneto-optical Kerr effect have been undertaken in different setup schemes. The effect of the pump pulse length has been determined. It has been found that the magnetization dynamics in the picosecond timescale can be fully described by those in the femtosecond timescale, indicating that they follow the same underlying mechanism. The influence of pre-heating the sample with an extra pump pulse has been also examined. In this case nonlinearities in the system for short pump-pump delays have been detected. A comparison with a spin-flip model by Koopmans *et. al.* [149] has been performed. Finally, the role of hot electron diffusion in an indirect demagnetization process has been studied. The competition between light-induced and hot-electron-driven demagnetization for different sample thicknesses has been observed. It has been concluded that a diffusion mechanism is sufficient to explain the measurements.

Zusammenfassung

Wenn ein Ferromagnet einem Femtosekunden-Laserpuls ausgesetzt wird, wird seine Magnetisierung in weniger als einer Pikosekunde verringert. Diese überraschende Wirkung hat die etablierte Theorie der Magnetisierungsdynamik in Frage gestellt und gleichzeitig den Femtomagnetismus als neues Forschungsgebiet gefördert. Obwohl in den letzten zwei Jahrzehnten beträchtliche Fortschritte erzielt wurden, sind die zugrunde liegenden Mechanismen für dieses Phänomen noch nicht vollständig verstanden.

In dieser Arbeit wurden zwei verschiedene Arten von Untersuchungen durchgeführt, um weitere Einsichten in diesem Feld zu gewinnen. Zuerst wurde ein spin- und zeitaufgelöstes Photoemissionsexperiment mit einer freien Elektronenlaserquelle durchgeführt, um die Magnetisierungsdynamik von Elektronen unterhalb der Fermi-Oberfläche zu untersuchen. Es wurde herausgefunden, dass das Entmagnetisierungsverhalten dieser Elektronen mit Experimenten basierend auf indirekten Verfahren übereinstimmt, was die Zuverlässigkeit magneto-optischer Kerr-Experimente bestätigt. Ferner wurden Begrenzungen in der Detektion der Magnetisierung aufgrund von Raumladungseffekten modelliert, um Hinweise für zukünftige experimentelle Designs bei Synchrotron und Freie-Elektron-Laser zu liefern.

Zweitens wurden Tischversuche auf der Basis des magneto-optischen Kerr-Effekts in unterschiedlichen Aufbauplänen durchgeführt. Die Wirkung der Pumpimpulslänge wurde ermittelt. Es wurde herausgefunden, dass die Magnetisierungsdynamik im Pikosekunden-Zeitmaßstab vollständig durch jene in der Femtosekunden-Zeitskala beschrieben werden kann, was anzeigt, dass sie demselben zu Grunde liegenden Mechanismus folgen. Der Einfluss der vorgängig Erwärmung der Probe mit einem zusätzlichen Pumpimpuls wurde ebenfalls untersucht. In diesem Fall wurden Nichtlinearitäten im System für kurze Pumpenverzögerungen erkannt. Ein Vergleich mit einem Spin-Flip-Modell von Koopmans *et. al.* [149] wurde durchgeführt. Schließlich wurde die Rolle der Heisselektronendiffusion in einem indirekten Entmagnetisierungsprozess untersucht. Der Wettbewerb zwischen lichtinduzierter und heisselektronengetriebener Entmagnetisierung für unterschiedliche Probenstärken wurde beobachtet. Es wurde schlussgefolgert, dass ein Diffusionsmechanismus ausreicht, um die Messungen zu erklären.