

APPLIED MAGNETISM

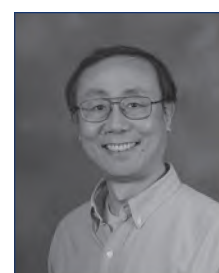
Albert Fert (Orsay) and Peter Grünberg (Jülich) were recognized in 2007 for the discovery of Giant Magnetoresistance (GMR) with the Nobel prize in physics, based on independent discoveries two decades earlier. Technology based on this fundamental effect involving spin-dependent electron scattering in thin ferromagnetic films has been used in the hard drive industry to enhance sensor sensitivity and helped to facilitate the drive towards increased storage capacity (http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2007/press.html). GMR is one of the better known examples in the growing field of spintronics, where the magnetism of a material is used as a means to manipulate the electronics of nanometer scale devices. This rapidly expanding field has invigorated research into magnetic sensors and memories, creating promising new avenues for energy harvesting, data storage, and communicating and processing information.

Spintronics is just one of the many avenues of research discussed in this issue, which explores a variety of topics in applied magnetism. They all involve two important factors: the fundamental characteristics of the magnetic materials used, and the shape and dimensions in which they are made. Discovery of new applications of magnetism in recent decades has been fueled by both the synthesis of new materials and the means by which to fabricate nanoscale particles, thin films and patterned devices. Photolithography, developed for the semiconductor industry, is now a key tool in the development and manufacture of magnetic devices. New techniques for the deposition of magnetic materials into thin films of a few monolayers has driven the discovery of new surface and interface phenomena associated with changes in atomic electron orbital geometry.

In recent decades, research into applications of the magnetic properties of materials has also expanded due to the enhanced understanding of the interactions between the magnetic and other microscopic and macroscopic properties of materials. An explosion of research activity has resulted from new materials synthesis and nanofabrication techniques which exploit coupling between spin and other degrees of freedom, such as the optical, electrical and mechanical.

This issue was inspired by work presented at a number of recent Magnetic North workshops (<http://www.magnetic-north.mun.ca/>) and contains a small sample describing eight selected experimental and theoretical research activities in applied magnetism, with a Canadian focus. It is not intended to be a comprehensive review (also see M.L. Plumer, J. van Ek, and W.C. Cain, *Physics in Canada* **67**, 25 (2011)). Due to journal space limitations, the majority of those working in this field have not been represented here. It is hoped that these will be included in future theme issues of *Physics in Canada*. The articles presented here also serve to complement the 2012 theme issue on *Frustrated Magnetism* (vol. 68, no. 2).

Beginning with an educational article, “Bob the Builder and his electron shovel: Planning and constructing nanomagnets for jobs from drug delivery to electric car motors,” **Johan van Lierop et al.** (Univ. of Manitoba) explain the strategies involved in designing nanoparticle systems for targeted drug delivery and other applications, thereby highlighting how magnetism is used to direct the “pushing” of atoms and their electrons to enable novel applications. This is followed by **Rogério de Sousa’s** (Univ. of Victoria) review, “The holy grail of multiferroic physics,” where he introduces an example of coupling between spin and ferroelectric properties with a focus on BiFeO₃. He describes the theory of how magnetism can be controlled by electric fields, and places BiFeO₃ close to the “holy grail” of multiferroic physics: the realization of a ferromagnet-ferroelectric at room temperature. An understanding of the magnetization dynamics is essential to applications for high-frequency switching devices. Two articles address the basic physics of magnetization dynamics. In “Instability Processes for Magnons in Ferromagnetic Nanostructures,” **Michael Cottam and Zahra Haghshenasfard** (Western Univ.) describe “spin waves” and a theory of nonlinear dynamic processes in ultrathin films and nanowires. **David Ménard and Christian Lacroix’s** (Polytechnique Montréal) article “Spin Wave Resonance of Ferromagnetic Nanowire Arrays” presents a brief introduction to the experimental investigation of spin wave resonances of ferromagnetic nanowire arrays. Both of these works emphasize their relevance to the emergent field of magnonics, which is dedicated to the control of wave propagation in artificially nanostructured magnetic materials. Magnetization dynamics is also central



Martin Plumer
<plumer@mun.ca>, Department of Physics and Physical Oceanography, Memorial University of Newfoundland, St. John's, NL A1B 3X7

and

Can-Ming Hu
<Can-Ming.Hu@umanitoba.ca>, Department of Physics and Astronomy, University of Manitoba, Winnipeg, MB R3T 2N2

The contents of this journal, including the views expressed above, do not necessarily represent the views or policies of the Canadian Association of Physicists.

Le contenu de cette revue, ainsi que les opinions exprimées ci-dessus, ne représentent pas nécessairement les opinions ou les politiques de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes.

to an exciting new frontier of condensed matter physics which takes the approach of building unconventional pathways that link magnetization dynamics with cavity mechanics and cavity quantum electrodynamics (QED). Three articles highlight the advancement in this frontier. In “Spin Mechanics,” **Joseph Losby and Mark Freeman** (Univ. of Alberta) present a brief history, the current state, and future directions of spin mechanics, where Canadian physicists are making remarkable progress by developing cavity opto-mechanics, which couples spin angular momentum with macroscopic mechanical motion. **Can-Ming Hu** (Univ. of Manitoba) reviews the “Dawn of Cavity Spintronics” by tracing it back to some of the most courageous, inspiring, and seminal works in the history of spintronics, cavity QED and polaritons. In “Electronic transport in magnetic tunnel junction: a discussion of the electron-magnon-photon coupling” **Yang Xiao** (Nanjing Univ. of Aeronautics and Astronautics) and **Hong Guo** (McGill Univ.) describe a Green’s function approach to tunneling magnetoresistance and the electron-magnon-photon interaction relevant for understanding magnon polaritons in the strong

coupling regime. Finally, this issue closes with a description of “STT-RAM memory devices” by **Monika Arora et al.** (Simon Fraser University) focusing on a new magnetic device based on spin-transfer torque random access memory where the interaction between the spin polarized current and the localized magnetic moment of a ferromagnet can induce magnetization reversal.

We thank Michael Steinitz for the suggestion of this theme issue and all of the contributing authors who made it successful.

Martin Plumer, Memorial University of Newfoundland
Can-Ming Hu, University of Manitoba
Guest Editors, *Physics in Canada*

Comments of readers on this Foreword are more than welcome.

LE MAGNÉTISME APPLIQUÉ

Albert Fert (Orsay) et Peter Grünberg (Jülich) ont été reconnus par le prix Nobel de physique 2007 pour la découverte de la magnétorésistance géante, fondée sur des découvertes indépendantes remontant à deux décennies plus tôt. Dans l’industrie des disques durs cet effet fondamental qui comporte la diffusion d’électrons dépendante du spin dans des films ferromagnétiques minces a permis le développement de capteurs avec une sensibilité accrue et a favorisé l’accroissement de la capacité de stockage (http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2007/press.html). La magnétorésistance géante est l’un des exemples les plus connus dans le domaine croissant de la spintronique, où le magnétisme d’un matériau sert à manier l’électronique des appareils à échelle nanométrique. Ce domaine en plein essor a revigoré la recherche sur les capteurs magnétiques et les mémoires, offrant des moyens prometteurs de production d’énergie, de stockage de données ainsi que de communication et de traitement de l’information.

La spintronique n’est qu’une des nombreuses voies de recherche examinées dans le présent numéro, qui traite de divers sujets en magnétisme appliqué. Toutes comportent deux facteurs importants : les caractères fondamentaux des matériaux magnétiques utilisés ainsi que la forme et les dimensions dans lesquelles ils sont fabriqués. La découverte de nouvelles applications du magnétisme dans les dernières décennies a été

stimulée à la fois par la synthèse de nouveaux matériaux et les moyens de fabriquer des nanoparticules, des films minces et des appareils orientés. La photolithographie mise au point pour les fabricants de semi-conducteurs est devenue un outil clé dans la conception et la fabrication d’appareils magnétiques. De nouvelles méthodes de dépôt de matériaux magnétiques en films minces, de quelques monocouches d’épaisseur, a amené la découverte de nouveaux phénomènes de surface et d’interface liés aux changements à la géométrie atomique d’une orbitale électronique.

Depuis quelques décennies, la recherche sur les applications des propriétés magnétiques des matériaux s’est aussi élargie grâce à une meilleure compréhension des interactions entre les propriétés magnétiques des matériaux et les autres, microscopiques et macroscopiques. Des méthodes de synthèse et de nanofabrication de nouveaux matériaux, exploitant la conjugaison du spin et d’autres degrés de liberté tels l’optique, l’électrique et le mécanique, ont fait exploser les activités de recherche.

Le présent numéro s’inspire des travaux présentés à divers ateliers récents sur le nord magnétique (<http://www.magnetic-north.mun.ca/>) et contient un petit échantillon décrivant huit activités choisies de recherche expérimentales et théoriques en magnétisme appliqué, surtout au Canada. Il ne se prétend pas une étude approfondie (voir aussi M.L. Plumer, J. van Ek, et

W.C. Cain, *La Physique au Canada* 67, 25 (2011)). L'espace de la revue étant limité, la majorité de ceux qui œuvrent dans ce domaine ne sont pas représentés ici. On espère qu'ils le seront dans de futurs numéros thématiques de *La Physique au Canada*. Les articles présentés servent aussi à compléter le numéro thématique de 2012 intitulé *Frustrated Magnetism* (magnétisme dit frustré) (vol. 68, n° 2).

Commençant par un article pédagogique (« Bob the Builder and his electron shovel: Planning and constructing nanomagnets for jobs from drug delivery to electric car motors »), **Johan van Lierop et autres** (Univ. du Manitoba) montrent comment le magnétisme sert à diriger la « libération » d'atomes et de leurs électrons et à permettre ainsi la conception de systèmes à nanoparticules comme la libération de médicaments à cible définie. Suit l'étude de **Rogério de Sousa** (Univ. de Victoria), intitulée « The holy grail of multiferroic physics » (le saint graal de la physique multiferroïque), où il donne un exemple de couplage du spin et des propriétés ferroélectriques, mettant l'accent sur le BiFeO_3 . Il décrit la théorie du mode de contrôle du magnétisme par champs électriques et place le BiFeO_3 près du « saint graal » de la physique multiferroïque : la réalisation d'un élément ferromagnétique-ferroélectrique à température ambiante. Il est essentiel de comprendre la dynamique de la magnétisation pour l'appliquer aux appareils de connexion haute fréquence. Deux articles traitent de la physique fondamentale de cette dynamique. Dans « Instability Processes for Magnons in Ferromagnetic Nanostructures » (processus d'instabilité pour les magnons dans les nanostructures ferromagnétiques), **Michael Cottam et Zahra Haghshenasfard** (Univ. Western) décrivent les « ondes de spin » et une théorie des processus dynamiques non linéaires dans les films ultra-minces et les nanofils. L'article de **David Ménard et Christian Lacroix** (Polytechnique, Montréal), « Spin Wave Resonance of Ferromagnetic Nanowire Arrays » (résonance d'ondes de spin en réseaux de nanofils ferromagnétiques), présente une brève introduction de l'étude expérimentale des résonances d'ondes de spin en réseaux de nanofils ferromagnétiques. Ces deux travaux soulignent leur pertinence au domaine croissant de la magnonique, qui vise à contrôler la propagation des ondes des matières magnétiques nanostructurées artificiellement. La dynamique de la magnétisation est aussi au centre d'un nouvel horizon passionnant pour la physique de la matière condensée, consacré à des champs non traditionnels reliant cette dynamique à la mécanique de

cavité et à l'électrodynamique quantique de cavité. Trois articles soulignent les progrès dans cet horizon. Dans « Spin Mechanics » (la mécanique de spin), **Joseph Losby et Mark Freeman** (Univ. de l'Alberta) présentent une histoire brève, l'état actuel et les orientations futures de la mécanique de spin, où les physiciens du Canada font des progrès remarquables en élaborant l'opticomécanique de cavité, qui allie le moment angulaire du spin au mouvement mécanique macroscopique. **Can-Ming Hu** (Univ. du Manitoba) étudie la « Dawn of Cavity Spintronics » (l'aube de la spintronique de cavité) en remontant jusqu'à certains travaux des plus courageux, inspirants et marquants dans l'histoire de la spintronique, l'électrodynamique quantique de cavité et les polaritons. Dans « Electronic transport in magnetic tunnel junction: a discussion of the electron-magnon-photon coupling » (transport électronique dans la jonction de tunnels magnétiques: étude du couplage électrons-magnons-photons, **Yang Xiao** (Univ. d'aéronautique et d'astronautique de Nanjing) et **Hong Guo** (Univ. McGill) décrivent une approche à la tunnellation de Green, et l'interaction électrons-magnons-photons pertinente à la compréhension des polaritons de magnon dans un régime de couplage fort. Enfin, le présent numéro se termine par une description du transfert en court-circuit contrôlé des dispositifs de mémoire vive (« STT-RAM memory devices ») par **Monika Arora et autres** (Université Simon Fraser), qui mettent l'accent sur un nouvel appareil magnétique fondé sur la mémoire vive à transfert de couple du spin, où l'interaction entre le courant à spin polarisé et le moment magnétique localisé d'un élément ferromagnétique peut induire l'inversion de la magnétisation.

Nous remercions Michael Steinitz, d'avoir suggéré ce numéro thématique, et les divers auteurs qui ont contribué à en faire un succès.

Martin Plumer, Université Memorial de Terre-Neuve
Can-Ming Hu, Université du Manitoba
Rédacteurs honoraires, *La Physique au Canada*

Les commentaires de nos lecteurs ou lectrices au sujet de cette préface sont bienvenus.

NOTE: Le genre masculin n'a été utilisé que pour alléger le texte.