

70 YEARS OF NEUTRON SCATTERING IN CANADA

Canada has been a leader in neutron scattering for 70 years, starting with work at the National Research Experimental (NRX) reactor completed by the National Research Council in 1947, at what was then known as the Chalk River Project. Nobel laureate (physics, 1994) Bertram Brockhouse began his pioneering contributions to the development of neutron scattering at NRX and then continued them at the 10-times more powerful National Research Universal (NRU) reactor, completed in 1957 by Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL). In addition to neutron scattering, the NRU reactor was the primary test-bed for developing Canada's fleet of nuclear power stations, which greatly reduces greenhouse gas emissions. The NRU reactor also produced nuclear isotopes for use in medicine, such as molybdenum-99, which have been used to diagnose an estimated 500 million patients around the world over its lifetime.

The neutron scattering user program at the NRU reactor has operated recently as "the Canadian Neutron Beam Centre" (CNBC). Over the last five years, the CNBC has supported about 800 research participants from Canada and around the world, including students and researchers from universities, government labs, and industry. There is an approximately equal 'trade balance' of Canadian researchers who use foreign facilities and foreign researchers who access the CNBC. As a research tool that can solve a diverse array of scientific questions, neutron scattering brings together scientists and engineers from physics, chemistry, life sciences, and materials science in an interdisciplinary fashion. At the CNBC and other neutron facilities, local instrument scientists collaborate with the external user, who is often not an expert in the technique, but brings expertise in the science of the material in question. Reflecting this dynamic in the neutron scattering community, some articles in this issue are written by experts from the facilities, while others are written by users based at universities.

This issue opens with a series of three articles to celebrate key developments in 70 years of neutron scattering: Tom Holden reviews the early development of neutron scattering at Chalk River, including Brockhouse's seminal work. Mechthild Enderle and colleagues summarize the experimental confirmation of the "Haldane gap" in the 1980s,

which confirmed the existence of topological phases of matter, and eventually led to Duncan Haldane's 2016 Nobel Prize in physics. Third, John Root provides a programmatic history covering the development of the CNBC and efforts to replace the NRU reactor with a new, modern facility, from 1985 to present.

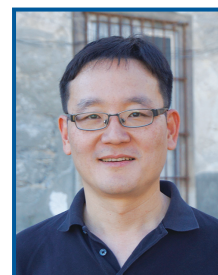
The NRU reactor is planned to close permanently in March 2018 — probably before you will read this issue. The challenge faced by the neutron scattering community will be exacerbated by the 2018 expiry of Canada's only agreement with a foreign neutron source, under which Canadians get some preferred access to beamlines at the Spallation Neutron Source at Oak Ridge National Laboratory (USA). Thus, Thad Harroun, President of the Canadian Institute for Neutron Scattering, discusses the present crisis and future prospects for the Canadian neutron scattering community via the Canadian Neutron Initiative, which seeks to establish a new framework for neutron scattering for the next decade so that Canada will continue to have a complete 21st century physics toolkit for the study of materials.

The issue then turns to reviews and examples of modern research in the five scientific subject areas that have been enabled by neutron scattering: (1) quantum materials, (2) soft materials and biophysics, (3) materials science and engineering, (4) thin films, and (5) crystallography.

For quantum materials, Zahra Yamani reviews several research highlights arising from the work at the CNBC in superconductivity, and magnetism using triple-axis spectrometers, while Jonathan Gaudet and Bruce Gaulin review highlights from the Canadian participation in the Spallation Neutron Source in investigating geometrically frustrated magnets and superconductors.

For soft materials and biophysics, Maikel Rheinstädter explains why neutron scattering is an indispensable tool for the life sciences, and how it is used in the study of membranes in particular.

For materials science and engineering, Joshua Stroh and Dimitry Sediako demonstrate the power of *in-situ* neutron diffraction in engineering applications, with a study of an



Daniel Banks
<Daniel.Banks@
cnl.ca>.

Canadian Neutron
Beam Centre,
Canadian Nuclear
Laboratories, Chalk
River, ON K0J 1J0

Young-June Kim
<yjkim@physics.
utoronto.ca>.

Department of
Physics, University
of Toronto, Toronto,
ON M5S 1A7

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.

aluminum alloy to inform the development of light-weight alloys for the automotive industry.

For thin films, Kunal Karan and colleagues explore a specific application of neutron reflectometry in polymer-electrolyte-based energy conversion and storage devices, such as fuel cells, while Jamie Noël provides an overview of neutron reflectometry in Canada, illustrated with key examples in electrochemistry and corrosion.

Finally, for crystallography, John Greedan, Chris Wiebe, and Dominic Ryan collaborated to provide an extensive

review of powder neutron diffraction for materials chemistry and physics in Canada, from the early days until today, with an emphasis on the past 20 years, including research conducted at Chalk River and Canadian research using foreign sources.

Daniel Banks, Canadian Nuclear Laboratories, and Young-June Kim, University of Toronto
Guest Editors, *Physics in Canada*

Comments of readers on this Editorial are more than welcome.

70 ANNÉES DE DIFFUSION NEUTRONIQUE AU CANADA

Le Canada a été un chef de file en diffusion de neutrons depuis 70 ans, en commençant par la recherche au réacteur national de recherche expérimental (NRX) réalisé par le Conseil national de recherches en 1947, dans le cadre de ce qu'on appelait alors le projet Chalk River. Le lauréat du prix Nobel (physique, 1994) Bertram Brockhouse a amorcé au NRX son apport novateur au développement de la diffusion neutronique, le poursuivant au réacteur national de recherche universel (NRU) dix fois plus puissant, mis au point en 1957 par l'Énergie atomique du Canada limitée (EACL). Outre la diffusion de neutrons, le réacteur NRU a été le premier outil d'étalonnage du groupe de centrales nucléaires du Canada, qui réduit énormément les émissions de gaz à effet de serre en Ontario. Le réacteur NRU a aussi produit des isotopes nucléaires pour la médecine tels le molybdène 99, qui a servi à diagnostiquer quelque 500 millions de patients dans le monde entier pendant sa durée de vie utile.

Le programme d'utilisation de la diffusion neutronique au réacteur NRU fonctionnait récemment sous le nom de « Centre canadien de faisceaux de neutrons (CCFN) ». Au fil des cinq dernières années, le CCFN a soutenu quelque 800 participants à la recherche du Canada et du monde entier, dont des étudiants et des chercheurs d'universités, de laboratoires gouvernementaux et de l'industrie. Le nombre de chercheurs canadiens qui utilisent des installations étrangères est à peu près égal à celui des chercheurs étrangers qui recourent au CCFN. À titre d'outil de recherche capable de résoudre diverses questions scientifiques, la diffusion neutronique rassemble des scientifiques et des ingénieurs en physique, chimie, sciences de la vie et science des matériaux en une équipe interdisciplinaire. Au CCFN et dans les autres centres de neutrons, des scientifiques locaux collaborent avec des utilisateurs de l'extérieur qui, souvent, ne sont pas experts dans une technique mais fournissent leur expertise à la science du matériau en question. Certains articles du présent numéro, reflétant cette dynamique dans la collectivité de la diffusion de

neutrons, sont signés par des experts des centres de neutrons et d'autres, par des utilisateurs universitaires.

Le présent numéro s'ouvre sur trois articles qui célèbrent les faits marquants de 70 années de diffusion de neutrons : Tom Holden examine la mise au point hâtive de cette diffusion à Chalk River, dont les travaux précurseurs de Brockhouse. Les collègues de Mechthild Enderleand résumant la confirmation expérimentale du « gap de Haldane » qui, dans les années 80, a confirmé l'existence de phases topologiques de la matière et a finalement valu à Duncan Haldane le prix Nobel 2016 de physique. Troisièmement, John Root fait un récit pratique du développement du CCFN et des efforts pour remplacer le réacteur NRU par une nouvelle installation moderne de 1985 à nos jours.

Le réacteur NRU est censé fermer en permanence en mars 2018 – probablement avant que vous lisiez le présent numéro. Le défi que devra relever la collectivité de la diffusion de neutrons sera d'autant plus grand que la seule entente du Canada avec une source étrangère de neutrons expirera en 2018, elle qui donne aux Canadiens un accès privilégié aux faisceaux de la source de neutrons Spallation du Oak Ridge National Laboratory (É.-U.). Alors, Thad Harroun, président de l'Institut canadien de la diffusion des neutrons, examine la crise actuelle et les perspectives futures pour la collectivité canadienne de cette diffusion sous l'angle du programme canadien de neutrons qui vise à établir un nouveau cadre de diffusion neutronique pour la prochaine décennie de sorte que le Canada continue d'avoir une boîte à outils complète pour l'étude des matériaux en physique au 21^e siècle.

Le présent numéro présente ensuite des revues et des exemples de recherches modernes dans les cinq disciplines scientifiques facilitées par la diffusion neutronique : (1) matériaux quantiques, (2) matériaux mous et biophysique, (3) science des matériaux et ingénierie, (4) couches minces, et (5) cristallographie.

Pour les matériaux quantiques, Zahra Yamani examine plusieurs points marquants de la recherche au CCFN en supraconductivité et magnétisme à l'aide de spectromètres à trois axes, alors que Jonathan Gaudet et Bruce Gaulin dépeignent les grands axes de la participation canadienne à la source de neutrons Spallation par un inventaire géométrique d'aimants frustrés et de supraconducteurs.

Au sujet des matériaux mous et de la biophysique, Maikel Rheinstädter explique pourquoi la diffusion des neutrons est un outil indispensable pour les sciences de la vie et comment on s'en sert pour étudier des membranes en particulier.

Pour la science des matériaux et l'ingénierie, Joshua Stroh et Dmitry Sediako montrent la puissance de la diffraction de neutrons *in-situ* dans des applications d'ingénierie par l'étude d'un alliage d'aluminium pour guider la mise au point d'alliages légers dans le secteur automobile.

Pour les couches minces, Kunal Karan et ses collègues explorent une application particulière de réflectométrie de neutrons dans des dispositifs de conversion et de stockage d'énergie à base

d'électrolytes polymériques tels les piles à combustible, alors que Jamie Noël fait un tour d'horizon de la réflectométrie neutronique au Canada, avec des exemples clés en électrochimie et corrosion.

Enfin, en cristallographie, John Greedan, Chris Wiebe et Dominic Ryan ont collaboré pour nous fournir une étude approfondie de la diffraction de neutrons pour la chimie et la physique des matériaux au Canada, de ses débuts jusqu'à aujourd'hui, en mettant l'accent sur les 20 dernières années, incluant les recherches menées à Chalk River et à des installations étrangères par des Canadiens.

Daniel Banks, Canadian Nuclear Laboratories, et Young-June Kim, Université de Toronto
Rédacteurs honoraires, *La Physique au Canada*

Les commentaires des lecteurs sur cet éditorial sont toujours les bienvenus.

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

Editorial note:

It is with great sadness that we witnessed the permanent closure of NRU on March 31st, 2018 with no concrete plan to continue with what Canada has built on the legacy of our great Canadian Nobel Prize Laureate, Bert Brockhouse. Being “old and costly to operate”, though highly productive, seems to have formed Canada's choice to terminate one of its most successful scientific ventures without a path forward.

Note de la rédaction :

C'est avec une grande tristesse que nous avons été témoin le 31 mars 2018 de la fermeture permanente du réacteur national de recherche universel (NRU) sans plans concrets pour continuer ce que le Canada a accompli sur la base des travaux de notre grand lauréat du Prix Nobel Bert Brockhouse. L'« âge » du réacteur et son coût élevé d'opération, malgré sa grande productivité, semblent avoir été à la base de la décision du Canada de terminer une de ses meilleures entreprises scientifiques sans plan d'avenir.