

NANOPHYSICAL APPROACHES TO BIOLOGICAL SYSTEMS

In perusing this special issue of *Physics in Canada*, you may wonder “*what is biology doing in a physics journal?*” To answer this question, one must realize that the field of biology is undergoing a revolution in which emergent collective behaviours of *molecules* take center stage. A major thrust of twenty-first century physics is to achieve a deep understanding of the form and function of these molecular collectives and to address fundamental questions such as “*what is life?*”. These challenges run as deep as those about the origin of the universe, and are as fundamental as those about the indistinguishable nature of quantum particles.

While biological and biochemical assays have traditionally been used to identify biomolecules and binding between biomolecules, theoretical and experimental tools from the domain of *nanoscale physics* can provide new insights into our understanding of the structure, dynamics and self-assembly of biological molecules and systems. In the wet, squishy, and highly fluctuating interior of the living cell, entropic confinement plays a key role in determining molecular motions and shapes. The precise and robust nature of cell division can be understood using the languages of out-of-equilibrium statistical mechanics and phase-transition theory. The stochastic playgrounds of biological molecules are qualitatively estranged from the land of Newton’s cannonballs and inclined planes and Carnot’s heat engines, and are typically missing from introductory physics curricula.

We hope that this issue reveals how the field of biological physics is rich with new paths in statistical mechanics, polymer physics, and soft matter. Pioneering work in these areas of physics depends on multiple perspectives offered by physical, biological and health scientists. These multidisciplinary collaborations integrate directly with the diagnostics, biotechnology and pharmaceutical industries.

This issue features articles from just a small subset of the excellent Canadian researchers applying nanoscale physics to biological systems. Some of the articles address questions of understanding this nanoscale world in terms of thermodynamic concepts: the importance of entropy and confinement (Sabrina Leslie and colleagues); mapping free energy surfaces of unfolding proteins and nucleic acids (Michael Woodside); and developing theoretical tools and experimental approaches to understanding the

operation of nanoscale machines (Aidan Brown and David Sivak, and Chapin Korosec and Nancy Forde, respectively). Others demonstrate how new imaging technologies are pushing our understanding of molecular dynamics and organization within cells (Joshua Milstein and colleagues) and are providing insight into nanoscale mechanics of assembled protein materials (Laurent Kreplak and colleagues). Finally, three articles explore the transition of nanoscale biophysics from the research laboratory to “real-world” applications: the use of solid-state nanopores for sequencing nucleotides (Vincent Tabbard-Cossa and colleagues); the discovery, development and commercialization of a unique plant-based biomolecule for personal care and biomedical applications (John Dutcher and colleagues); and advice on commercializing research technology in Canada (Andre Marziali).

The message of this issue, especially to the youngest and most curious physicists into whose hands this issue has fallen, is that there is *plenty of work to be done by physicists – theoretical, experimental and technological – to get to the bottom of life’s mysteries*. There is an abundance of fascinating physical principles and tools to explore, develop, and use in the context of open biological questions and open biotechnology challenges. Squeezing, pulling and probing single molecules can create paradigm shifts of understanding, which can open up new directions in biotechnology, a thrust which is supported by the growing Canadian entrepreneurial scene. To educators, we hope that the research and education articles in this issue will lead to more focus in our classrooms and laboratories on these exciting new areas of physics research.

We invite you to read the articles in this issue written by Canadian leaders in different areas of biological physics. We hope that they will inspire and inform the next generation of scientists and technologists, and help you to see how nanoscale physics can be used to advance our understanding of the richness and complexities of life.

Sincerely,

John Dutcher, Nancy Forde, Sabrina Leslie
Guest Editors

Comments from readers on this Foreword are more than welcome.



John Dutcher
<dutcher@uoguelph.ca>, University of Guelph,

Nancy Forde
<nforde@sfu.ca>, Simon Fraser University

and

Sabrina Leslie
<sabrina.leslie@mcgill.ca>, McGill University

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.

SYSTÈMES BIOLOGIQUES : APPROCHES NANOPHYSIQUES

La lecture de ce numéro spécial de *La Physique au Canada* vous amènera à vous demander : *pourquoi parler de biologie dans une revue de physique?* Pour répondre à cette question, il faut se rendre compte que le domaine de la biologie subit une révolution qui donne un rôle central aux nouveaux comportements collectifs des molécules. Un axe majeur de la biologie du 21^e siècle est de faire bien comprendre la forme et la fonction de ces comportements collectifs et de répondre à des questions fondamentales telles « *qu'est-ce que la vie?* ». Ces enjeux sont aussi cruciaux que ceux entourant l'origine de l'Univers et aussi fondamentaux que ceux touchant la nature indiscernable des particules quantiques.

Les essais biologiques et biochimiques servent depuis toujours à identifier les biomolécules et la liaison entre elles, mais les outils théoriques et expérimentaux du domaine de la *physique à l'échelle nanométrique* peuvent permettre de mieux comprendre la structure, la dynamique et l'autoassemblage des molécules et systèmes biologiques. Dans l'intérieur humide, souple et très changeant de la cellule vivante, le confinement entropique joue un rôle clé pour ce qui est de déterminer les mouvements et formes moléculaires. La nature précise et robuste de la division cellulaire peut être comprise grâce aux langages de la mécanique statistique à l'équilibre rompu et de la théorie de la transition de phase. Les aires stochastiques des molécules biologiques sont séparées qualitativement de celle des boulets de canon et plans inclinés de Newton, et des moteurs thermiques de Carnot, et sont généralement absentes des programmes d'introduction à la physique.

Nous espérons que ce numéro révèle à quel point la physique biologique ouvre de nouveaux domaines en mécanique statistique, en physique des polymères et en matière molle. Les travaux novateurs dans ces domaines de la physique dépendent des perspectives multiples offertes par les spécialistes en physique, biologie et santé. Ces collaborations multidisciplinaires intègrent directement les industries diagnostique, biotechnologique et pharmaceutique.

Ce numéro présente des articles de seulement un petit sous-ensemble d'excellents chercheurs canadiens qui appliquent la physique nanométrique aux systèmes biologiques. Certains articles traitent de questions de compréhension de ce monde nanométrique sur le plan des concepts thermodynamiques : l'importance de l'entropie et du confinement (Sabrina Leslie et collègues); le mappage des surfaces d'énergie libre des protéines et acides nucléiques qui se déploient (Michael Woodside); et la conception des outils théoriques et des approches expérimentales à la compréhension du fonctionnement des machines nanométriques (Aidan Brown et David Sivak, et

Chapin Korosec et Nancy Forde, respectivement). D'autres démontrent comment de nouvelles technologies d'imagerie améliorent notre compréhension de la dynamique et de l'organisation des molécules au sein des cellules (Joshua Milstein et collègues) et permettent de mieux comprendre les mécanismes nanométriques des matériaux protéiques assemblés (Laurent Kreplak et collègues). Enfin, trois articles explorent la transition de la biophysique nanométrique du laboratoire de recherche vers des applications « réelles » : l'utilisation de nanopores à l'état solide pour le séquençage de nucléotides (Vincent Tabbard-Cossa et collègues); la découverte, l'élaboration et la commercialisation d'une biomolécule unique à base de plantes pour les soins personnels et des applications biomédicales (John Dutcher et collègues); et un avis sur la commercialisation de la technologie de la recherche au Canada (Andre Marziali).

Le message de ce numéro, notamment pour les physiciens les plus jeunes et les plus curieux qui en ont pris connaissance, est que pour *les physiciens – théoriques, expérimentaux et technologiques – il y a bien du travail à faire pour percer les mystères de la vie*. Il y a de très nombreux et fascinants principes et outils à explorer, élaborer et utiliser en physique dans le contexte des questions biologiques et enjeux biotechnologiques non résolus. Comprimer, tirer et sonder de simples molécules peut entraîner des changements de paradigme qui, dans la compréhension, peuvent susciter de nouvelles orientations en biotechnologie, axe qui est appuyé par la scène entrepreneuriale canadienne en pleine croissance. Pour les enseignants, nous espérons que les articles de ce numéro sur la recherche et l'éducation contribueront à mieux orienter les classes et laboratoires vers ces nouveaux domaines passionnants de la recherche en physique.

Nous vous invitons à lire les articles de ce numéro, signés par des chefs de file canadiens dans divers domaines de la physique biologique. Nous espérons qu'ils sauront inspirer et informer la prochaine génération de scientifiques et de technologues et vous aideront à discerner comment la physique nanométrique peut faire avancer notre compréhension de la richesse et des complexités de la vie.

Cordiales salutations.

John Dutcher, Nancy Forde, Sabrina Leslie
Rédacteurs honoraires

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

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