机器学习在原子核物理中的应用专题·编者按

近年来,随着世界各地多个原子核物理研究相关的大科学装置的建设和改造升级,原子核物理的理论和实验研究也迎来了新的机遇和挑战.在实验方面,测量精度更高、涵盖更广泛原子核种类的结构与反应数据以及与核天体物理密切相关的地面、空天数据大量涌现;在理论方面,更多基于第一性原理的理论方法、考虑复杂因素及关联的物理模型以及更高精度的计算需求等也发展十分迅速.随着研究的深入,也客观要求人们对待要处理的数据更加复杂化和精细化.如何从这些海量的数据中挖掘出关键的物理信息并能进一步探索新物理,从而有效推动原子核物理的深入发展,成为当前业内关注的重点问题之一.

得益于数学工具与计算机技术的飞速发展,人们收集、存储、分析数据的能力得到了极大的提高.在这样的大背景下,作为一种分析大数据和挖掘数据蕴含的关键信息的手段,机器学习(Machine Learning)技术也进入了新一轮的快速发展期.特别是,有更深结构的深度学习(Deep Learning)方法在各个领域、包括人们生活的各个方面都取得了巨大的成功,受到了广泛的关注.

在科学研究方面,得益于机器学习对大量的、复杂的、高维度的、深度关联的数据的处理和分析能力,机器学习的相关应用已在多个学科的研究中产生了许多有价值的研究成果.机器学习与各个学科之间的交叉融合也必将深刻影响科学研究的进程,并引入了新的科学研究范式.近些年来,在原子核物理领域国内外重要学术期刊上利用机器学习方法研究核物理问题的发表文章数量呈激增态势.十分可喜的是,中国科学家在这一领域表现积极并产出了许多高水平的成果.为了进一步推动、更系统展示和介绍这方面的研究进展和最新成果,特别是为了更多的年轻学者较全面了解机器学习技术并尽快使其助力各自核物理问题的研究,特组织了这期中文专题.

本专题共出版16篇文章,包括2篇综述、13篇研究论文和1篇研究进展.2篇综述主要介绍了机器学习在相对论重离子碰撞物理中应用时最常见的监督式学习方法以及非监督式方法,并综述了机器学习在相对论重离子碰撞物理研究中的应用.13篇研究论文则采用多种机器学习方法,如贝叶斯神经网络、单隐层神经网络、全连接前馈神经网络、深度卷积神经网络、径向基函数神经网络、LM神经网络、点云神经网络、贝叶斯统计方法、改进型贝叶斯分类器、K-means聚类算法、基于决策树的LightGBM算法等,对当前原子核物理研究中若干热点问题开展了研究,如原子核的质量、电荷半径、形变及中子皮分布、团簇结构、 α 和 β 衰变寿命、重离子碰撞中的事件鉴别、碰撞参数、散裂截面、裂变产额、介质中核子-核子散射截面以及基于中子星观测数据的核物质状态方程研究等.1篇研究进展则重点介绍了最近采用深度学习方法在研究喷注淬灭相关问题中的新发现与应用进展.在这些文章中,我们不仅能体会到机器学习方法在提高挖掘物理信息能力、推动核物理理论、模型及实验进展等方面的宝贵价值,反过来还能学习到如何利用核物理数据来理解并进一步发展机器学习算法的尝试,使我们有理由相信机器学习与核物理研究的交叉融合一定会促进这两个领域的共同进步.

总之,本专题不仅系统全面介绍了机器学习在原子核物理研究中的最新进展,还深入讨论了进一步推动机器学习与核物理研究相融合过程中面临的深层次问题(如物理驱动问题、映射有效性问题、可解释性问题、泛化能力问题等),需要学者集体攻关,共同推进.与此同时,也充分表明这个研究方向必将大有可为,希望更多学者投

引用格式: 李庆峰, 马余刚. 机器学习在原子核物理中的应用专题·编者按. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2022, 52: 252001

Li Q F, Ma Y G. Special topic: Applications of the machine learning in nuclear physics (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2022, 52: 252001, doi: 10.1360/SSPMA-2022-0067

身其中.

专题能够出版, 首先要感谢所有论文的作者, 也特别感谢《中国科学: 物理学 力学 天文学》编辑部郭媛媛编辑为专题出版给予的大力帮助, 希望本专题能成为国内核物理同行的有益参考.

此外, 在本专题组稿期间, 我们也欣喜地看到, 国内又有许多新的研究小组开始采用机器学习方法研究和处理核物理相关问题, 由于专题篇幅所限, 对未能参与到本专题的相关专家表示歉意和遗憾.

李庆峰¹, 马余刚²

1. 湖州师范学院理学院

2. 复旦大学核科学与技术系, 现代物理研究所