

DEEP NEURAL NETWORKS AND THE PHENOMENOLOGY OF SUPER-HEAVY NUCLEI

A. Bobyk, W. A. Kamiński

Maria Curie-Skłodowska University, Lublin, Poland

In recent years, several successful applications of the artificial neural networks (ANNs) have emerged in nuclear physics, high-energy physics, and other fields of science. These works have already shown that modeling of nuclear data with ANNs provides a valuable complementary approach to theory-driven models of the systematics of nuclear data. A significant effort to exploit these novel methodologies is motivated by aspirations toward experimental and theoretical exploration of nuclei far from stability.

In our work, we aimed at predicting the binding energies (B/A), as well as the two-proton and two-neutron separation energies (S_{2p} , S_{2n}) of heavy and super-heavy nuclides, specifying only their proton and neutron numbers (Z, N) together with their numerical parity. Given a body of training data, the iRPROP (improved resilient backpropagation) and Adam (adaptive moment estimation) learning algorithms have been used to adjust the parameters of the deep ANN, determining (without any further theoretical assumptions) the mapping from the proton and neutron numbers to the properties of the nuclear ground state.

The predictive power of the neural network emerging from simulations done within the Keras+TensorFlow framework is compared with that of traditional phenomenological models. The obtained results show not only excellent learning performance of our network (with the MSE deviation between the ANN output and 2498 experimentally known binding energies at the level of 70 eV), but are also very promising in predictions of various properties of both super-heavy nuclei and nuclei far from stability. It is found that the purely phenomenological models, based on deep ANNs, can match or even surpass the predictive performance of conventional models for nuclear systematics (without, however, grasping the existence of shell structure) and accordingly should provide a valuable additional tool for exploring the expanding nuclear landscape.

В последние годы было сделано несколько успешных попыток использования искусственных нейронных сетей (ИНС) в ядерной физике, физике высоких энергий и других областях науки. Эти результаты показали, что моделирование данных ядерной физики с помощью ИНС может быть ценным дополнением к исследованиям с помощью теоретических моделей. Наиболее интересным применением данного нового подхода может оказаться экспериментальное и теоретическое исследование ядер, находящихся далеко за пределами области стабильности.

Цель представленной работы — предсказать энергии связи (B/A) и энергии отделения двух протонов и двух нейтронов (S_{2p} , S_{2n}) тяжелых и сверхтяжелых нуклидов, задавая только их протонное и нейтронное числа (Z, N), а также

четность их числа. Имеющийся массив данных был использован для тренировки алгоритмов iRPROP (с улучшенным упругим обратным распространением) и Adam (оценка адаптивного момента), которые затем были использованы для настройки параметров глубокой ИНС, определяющей (без каких-либо дополнительных теоретических предположений) отображение чисел протонов и нейтронов на свойства основного состояния ядра.

Предсказательная сила нейронной сети, основанной на моделировании в рамках алгоритма Keras + TensorFlow, сравнивается с результатами традиционных феноменологических моделей. Полученные результаты показывают не только отличную способность к обучению предлагаемой авторами статьи сети (со среднеквадратичным отклонением между данными ИНС и 2498 экспериментально известными значениями энергий связи на уровне 70 эВ), но и многообещающие возможности предсказывать различные свойства как сверхтяжелых ядер, так и ядер, находящихся далеко за пределами острова стабильности. Показано, что чисто феноменологические модели, основанные на глубоких ИНС, могут совпадать по предсказательной способности с общепринятыми моделями описания свойств ядер (однако без объяснения структуры оболочек) и даже превосходить их, что является ценным дополнительным инструментом исследования расширяющегося ядерного ландшафта.

PACS: 07.05.Mh; 21.10.Dr; 21.10.Gv; 21.10.Hw