

Dzisiejsza technologia układów elektronicznych ciągle ewoluuje, pojemność, szybkość zapisu i odczytu pamięci masowych nieustannie wzrasta, a najnowsze procesory biją rekordy mocy obliczeniowych. Rozwój technologii niesie za sobą jednak pewne zagrożenie, jakim jest globalny wzrost zużycia energii elektrycznej. Elektronika jaką dziś znamy, zbliża się do fizycznych granic dalszej miniaturyzacji, zwiększania prędkości i gęstości danych. Obecnym wyzwaniem dla świata nauki i technologii jest pokonanie tych ograniczeń i zaproponowanie technologii przetwarzania i przechowywania danych nowej generacji pozwalających znacząco przesunąć te granice.

Spintronika jest uznana jako jedna z alternatyw dla konwencjonalnej technologii wytwarzania układów scalonych CMOS, w głównej mierze dzięki możliwości znaczącego zmniejszenia zużycia energii. Aby umożliwić energooszczędne funkcjonowanie, powinniśmy umożliwić przetwarzania informacji przy wykorzystaniu momentów spinowych elektronów, unikając ruchu ładunków elektrycznych¹. W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie badaniem wykorzystania **fal spinowych** (FS), czyli dynamicznych zaburzeń namagnesowania w ferromagnetykach, są one przedmiotem badań nowej dziedziny fizyki – magnoniki.

Głównym celem projektu **SpinSky** jest zgromadzenie wiedzy niezbędnej do zrozumienia fizyki dwóch nurtujących zagadnień związanych z współczesnym magnetyzmem: a) wydajne generowanie propagujących fal spinowych o krótkiej długości fali oraz b) badanie sprzężenia drgań namagnesowania w nanokropkach. Jedną z zalet technologii bazującej na FS jest niskie zużycie energii przy przesyłaniu informacji na stosunkowo długich dystansach w skali nano i na częstotliwościach mikrofalowych. W ten sposób projekt SpinSky rozwija obszary magnoniki i spintroniki otwierając drogę do zastosowań nano-oscylatorów spinowych (STNO) i magnonicznych układów logicznych. Ponadto, projekt pozwoli uzyskać głęboki wgląd w topologiczne właściwości fal w strukturach periodycznych i ocenić możliwość praktycznego wykorzystania.

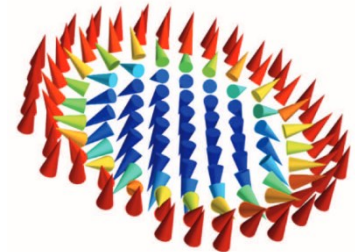
Aby osiągnąć te ambitne cele, wykorzystamy nowatorskie podejście poprzez zastosowanie nie-kolinearnych, topologicznie chronionych i stabilnych stanów magnetycznych w nanokropkach – skyrmionów, sprzężonych z warstwą ferromagnetyka, w której bliskość skyrmionu w specyficzny sposób będzie nadrukowywać teksturę magnetyczną. Obiektem naszych badań będą struktury zbudowane z szeregu skyrmionów magnetycznych (takich jak pokazany na Rys. 1) rozmieszczonych w bliskiej odległości od warstwy magnetycznej, tworząc sztuczne kryształy skyrmionowe.

Magnetyczne skyrmiony to małe, wirujące topologiczne defekty w teksturze namagnesowania. Ich właściwości statyczne i dynamiczne w dużym stopniu zależą od ich właściwości topologicznych. W większości przypadków są indukowane przez chiralne oddziaływania między spinami atomowymi w niecentrosymetrycznych związkach magnetycznych lub w bardzo cienkich warstwach ferromagnetycznych ze złamaną symetrią inwersji².

Zakładamy, że topologiczne właściwości FS w kryształach skyrmionowych będą wspierać synchronizację drgań magnetyzacji pomiędzy skyrmionami, a także będą generować FS o krótkiej długości fali. Ta hipoteza zostanie przetestowana poprzez intensywne symulacje numeryczne i opracowane modele teoretyczne. Aby zrealizować te cele, podzieliliśmy realizację projektu na cztery główne zadania: A) Badanie warunków stabilności skyrmionów w nanokropce w kontakcie z warstwą ferromagnetyczną; B) Optymalizacja dynamicznego sprzężenia pomiędzy dynamiką magnetyzacji w nanokropce i falami spinowymi w warstwie; C) Badanie statyki i dynamiki fal spinowych w sieci skyrmionów rozmieszczonych nad warstwą ferromagnetyczną; D) Wykorzystanie sprzężenia dynamiki skyrmionów i fal spinowych w heterostrukturze do zastosowań w przetwarzaniu informacji: wykorzystanie topologicznych właściwości sztucznych kryształów skyrmionowych.

Powyższe zadania będą realizowane poprzez wykorzystanie i opracowanie szeregu metod numerycznych lub analitycznych. Łącząc wiedzę ekspercką strony chińskiej o symulacjach mikromagnetycznych i strony polskiej na o strukturze pasmowej kryształów magnonicznych, będziemy badać efekty topologiczne i nieliniowe w strukturach zawierających skyrmiony magnetyczne, w ferromagnetykach i sztucznych antyferromagnetykach, a nawet w układach sfrustrowanych magnetycznie. Mamy nadzieję, że dzięki zdobytej wiedzy będziemy mogli zaprojektować spintroniczno/magnoniczne urządzenia logiczne wykorzystujące propagację FS w kryształach skyrmionowych, a w szczególności wykorzystujące topologiczne właściwości FS do manipulowania stanem skyrmionów i ich wzajemnego sprzężenia.

1. Ciubotaru, F. *et al.* Spin waves for interconnect applications. *2017 IEEE Int. Interconnect Technol. Conf.* **1**, 1–4 (2017).
2. Fert, A., Reyren, N. & Cros, V. Magnetic skyrmions: Advances in physics and potential applications. *Nat. Rev. Mater.* **2**, 17031 (2017).



Rys 1. 3D wizualizacja skyrmionu typu Néel'a.