

A. Temat:

„Zjawiska synchronizacji w układach nanodrutów magnetycznych z wirującymi ścianami domenowymi”

B. Prowadzący:

dr Konrad Dziatkowski  
Zakład Fizyki Ciała Stałego – Wydział Fizyki UW  
ul. Hoża 69, p. 408  
tel.: 22 55 32 162  
email.: [konrad.dziatkowski@fuw.edu.pl](mailto:konrad.dziatkowski@fuw.edu.pl)

C. Opis zagadnienia:

Warsztaty będą dotyczyły modelowania mikromagnetycznego zjawisk synchronizacji pomiędzy podłużnie namagnesowanymi nanodrutami magnetycznymi, w których wyindukowano ściany domenowe [1-2]. Pod wpływem spolaryzowanego spinowo prądu [3] przepływającego przez każdy z drutów, ściany domenowe ulegają przesunięciu oraz wprawiane są w ruch wirowy, którego częstość – zwykle w zakresie mikrofalowym – zależy m.in. od natężenia prądu [4]. Zatem każdy z takich drutów może stanowić przykład nanooscylatora spinowego momentu siły (ang. spin torque nanooscillator, STNO), czyli źródła mikrofal o częstości stojonej stałym prądem elektrycznym [4-5]. Jednak moc mikrofal emitowana przez pojedynczy STNO jest bardzo mała z punktu widzenia ewentualnych zastosowań, dlatego istotne jest „sprzęgnięcie” wielu takich STNO w jedno źródło. Jeśli rozważy się układ wielu STNO, to w praktyce będą one charakteryzowały się różnymi częstościami ze względu na statystyczny rozrzut ich parametrów strukturalnych i magnetycznych. Niemniej można oczekiwać, że na skutek oddziaływania typu dipolowego pomiędzy ścianami domenowymi wirującymi w sąsiadujących ze sobą nanodrutach, taki układ wielu STNO będzie podlegał auto-synchronizacji [6-7]. Oznacza to, że w sprzyjających warunkach we wszystkich lub przynajmniej części STNO tworzących układ ściany domenowe mogą zacząć wirować z tą samą częstością. W toku warsztatów zostaną wykonane symulacje mikromagnetyczne [2,4] opisanego wyżej układu wielu STNO modelowanego z wykorzystaniem metody elementów skończonych, zaimplementowanej w pakiecie NMAG z University of Southampton [8].

D. Literatura:

- [1] A. H. Morrish, „The Physical Principles of Magnetism”.
- [2] A. Aharoni, „Introduction to the Theory of Ferromagnetism”.
- [3] Phys. Rev. B **54**, 9353 (1996); J. Magn. Magn. Mater. **159**, L1 (1996).
- [4] Phys. Rev. B **78**, 054447 (2008).
- [5] Phys. Rev. Lett. **92**, 027201 (2004); Nature Materials **6**, 399 (2007).

[6] Nature **437**, 389 (2005).

[7] Rev. Mod. Phys. **77**, 137 (2005).

[8] <http://nmag.soton.ac.uk/nmag/0.1/manual/html/manual.html>

E. Zadanie kwalifikacyjne:

- Oblicz grubość  $\delta$  ściany domenowej w jednowymiarowym łańcuchu spinów  $S$  skierowanych prostopadle do linii „łączącej” je w łańcuch. Układ charakteryzuje się ferromagnetycznym oddziaływaniem wymiennym typu Isinga o całce wymiany  $J$  oraz jednoosiową anizotropią magnetokrystaliczną o stałej  $K$ . Oś tej anizotropii jest skierowana równolegle do kierunku spinów w domenach otaczających ścianę. Spiny są rozłożone w łańcuchu ze stałym krokiem  $a$ . Oszacuj wartość  $\delta$  dla  $S = 1$ ,  $J = 0.28 \cdot 10^{-13}$  erg,  $K = 4.6 \cdot 10^5$  erg/cm<sup>3</sup>,  $a = 2.9 \cdot 10^{-8}$  cm. Czy wynik będzie odmienny dla ścian domenowych typu Blocha i typu Neéla? Jaki będzie wynik, gdy zarówno spiny w domenach otaczających ścianę jak i oś anizotropii jednoosiowej będą skierowane wzdłuż linii łańcucha? Uzasadnij swoje odpowiedzi.
- Wykonaj symulację NMAG przykład nr 2.21 ze strony [8], p.t. „Current-driven magnetisation precession in nanopillars”. Wyznacz zależność częstości precesji ściany domenowej od gęstości prądu płynącego przez nanodrut. Czy potrafisz tak zmodyfikować skrypt symulacji, aby w nanodrucie były dwie ściany domenowe: jedna typu *tail-to-tail* i jedna typu *head-to-head*?