

Prof. dr hab. Marek Kisielewski
Wydział Fizyki
Uniwersytet w Białymstoku

Ocena osiągnięcia naukowego dr Bivasa Rany zatytułowanego:
**„Urządzenia magnoniczne działające w oparciu o anizotropię
magnetyczną sterowaną napięciem”**

przygotowana w ramach postępowania
w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauki ścisłe, w dyscyplinie nauki fizyczne.

Niniejszą recenzję przygotowałem w oparciu o następujące dokumenty (w formie elektronicznej):

- 1) Wniosek (w wersji PL i EN) dra Bivasa Rany z dnia 22-06-2022 wraz z załącznikami (2. Dane wnioskodawcy (w wersji PL i EN); 3. Autoreferat (w wersji PL i EN); 4. Wykaz osiągnięć naukowych (w wersji PL i EN); 5. Certyfikat nostryfikacji; 5. Kopie oświadczeń współautorów)
- 2) Kopie publikacji

oraz w oparciu o obowiązującą aktualnie **USTAWĘ** z dnia 20 lipca 2018 *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, Dz.U. 2018 poz. 1668 (Opracowano na podstawie: t.j. Dz. U. z 2022 r. poz. 574, 583, 655, 682, 807, 1010, 1079, 1117, 1459.) – zwanej dalej **USTAWĄ** (wybrane fragmenty **USTAWY** zacytowałem na końcu niniejszej recenzji).

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe ma formę zbioru siedmiu następujących publikacji, oznaczonych przez dr Bivasa Ranę w Autoreferacie numerami od **[H1]** do **[H7]**:

[H1] B. Rana, Y. Fukuma, K. Miura, H. Takahashi, and Y. Otani, “Effect of excitation power on voltage induced local magnetization dynamics in an ultrathin CoFeB film”, *Sci. Rep.* 7, 2318 (2017).

[H2] B. Rana, Y. Fukuma, K. Miura, H. Takahashi, and Y. Otani, “Excitation of coherent propagating spin waves in ultrathin CoFeB film by voltage-controlled magnetic anisotropy”, *Appl. Phys. Lett.* 111, 052404 (2017).

[H3] B. Rana and Y. Otani, “Voltage-controlled reconfigurable spin wave nanochannels and logic devices”, *Phys. Rev. Applied* 9, 014033 (2018).

[H4] S. Choudhury, A. K. Chaurasiya, A. K. Mondal, B. Rana, K. Miura, H. Takahashi, Y. Otani and A. Barman, “Voltage controlled on demand magnonic nanochannels”, *Sci. Adv.* 6, eaba5457 (2020).

[H5] B. Rana, S. Choudhury, K. Miura, H. Takahashi, A. Barman and Y. Otani, "Electric field control of spin waves in ultrathin CoFeB films", Phys. Rev. B 100, 224412 (2019).

[H6] B. Rana, C. A. Akosa, K. Miura, H. Takahashi, G. Tatara and Y. Otani, "Nonlinear control of damping constant by electric field in ultrathin ferromagnetic films", Phys. Rev. Applied 14, 014037 (2020).

[H7] B. Rana, K. Miura, H. Takahashi and Y. Otani, "Underlayer material dependent symmetric and asymmetric behavior of voltage-controlled magnetic anisotropy in CoFeB films", J. Phys. Condens. Matter 32, 414002 (2020).

Jak w wyniku z powyższego zestawienia, wszystkie prace wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego zostały opublikowane w latach od 2017 do 2020, w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR). Wszystkie publikacje są wieloautorskie, przy czym jak łatwo jest zauważyć, nazwisko Habilitanta otwiera listę autorów w sześciu z nich, natomiast w pracy [H4] pojawia się na czwartym miejscu.

Zawartość merytoryczna poszczególnych prac, wchodzących w skład ocenianego osiągnięcia naukowego przedstawia się następująco:

W pracy [H1] zaprezentowano wyniki badań rezonansu ferromagnetycznego wywołanego przez sterowaną napięciem anizotropię magnetyczną. Materiałem badanym były ultracienkie podwójne warstwy $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ rozdzielone przekładką z MgO (o grubości 2nm) i uformowane w magnetyczne złącze tunelowe za pomocą wieloetapowego procesu preparacyjnego, wykorzystującego rozpylanie jonowe, bezmaskową litografię UV, trawienie jonowe i naparowanie wiązką elektronową. Dolna warstwa CoFeB o grubości 1.4 nm i rozmiarach planarnych $50 \times 100 \mu\text{m}^2$, posiadała magnetyczną anizotropię prostopadłą do powierzchni warstwy i stanowiła w złączu tunelowym warstwę swobodną. Natomiast górna warstwa CoFeB, o grubości 3 nm i rozmiarach w płaszczyźnie $2 \times 4 \mu\text{m}^2$, ulokowana nad środkiem warstwy swobodnej, miała anizotropię magnetyczną skierowaną równolegle do płaszczyzny warstwy i pełniła rolę warstwy referencyjnej. Przyłożenie napięcia pomiędzy tymi dwiema warstwami powodowało pojawienie się pola elektrycznego w międzywarstwie pomiędzy warstwami CoFeB i to pole – poprzez modyfikację gęstość spinów na orbitalach 3d jonów Fe – zmieniało magnetyczną anizotropię prostopadłą. Zmiana pola anizotropii wyznaczona z pomiarów tunelowego magnetooporu, wykonanych przy różnych wartościach napięcia stałego, osiągała wartość 45 mT/V. Ponieważ ta zmiana anizotropii jest równoważna pewnemu dodatkowemu polu magnetycznemu skierowanemu prostopadle do powierzchni próbki, to przyłożenie zmiennego napięcia o odpowiedniej częstotliwości (z zakresu od 2 do 9 GHz) jest równoważne – poprzez zmienną anizotropię – zmiennemu polu magnetycznemu i jest w stanie pobudzić magnetyzację do drgań rezonansowych. W pracy [H1] badano związek pomiędzy mocą wzbudzenia a lokalną dynamiką magnetyzacji indukowaną napięciem. Badania eksperymentalne zostały uzupełnione symulacjami mikromagnetycznymi (z wykorzystaniem oprogramowania OOMMF). Stwierdzono, że w miarę zwiększania mocy wzbudzenia następuje – powyżej pewnej progowej wartości mocy – zmiana charakteru dynamiki magnetyzacji z liniowego (gdzie częstotliwość rezonansowa nie zmienia się wraz ze zmianą mocy

wzbudzenia) na nieliniowy (gdzie częstotliwość rezonansowa maleje a szerokość linii rezonansowej wzrasta wraz ze wzrostem mocy wzbudzenia). Wykazano, że w zakresie nieliniowym następuje przepływ energii z modu jednorodnego do modu zdegenerowanych fal spinowych, które propagują się poza obszarem wzbudzania.

W pracy **[H2]** pokazano możliwość wzbudzania i propagacji koherentnych fal spinowych poprzez sterowaną napięciem anizotropię magnetyczną w falowodzie wykonanym z $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ o grubości 2 nm i rozmiarach planarnych $10 \times 100 \mu\text{m}^2$, odizolowanym od górnej elektrody (o rozmiarach $2 \times 10 \mu\text{m}^2$ i wykonanej ze złota) warstwą MgO o grubości 2 nm oraz warstwą Al_2O_3 o grubości 10 nm. Do preparacji próbki zastosowano takie same techniki, jak w pracy **[H1]**. Grubość warstwy CoFeB została tak dobrana, aby próbka miała niewielką efektywną anizotropię magnetyczną skierowaną równoległe do powierzchni próbki. Dzięki temu możliwe było wzbudzanie fal spinowych w liniowym zakresie dynamiki magnetyzacji, a także wykorzystanie podłużnego magnetoptycznego efektu Kerra do detekcji sygnału (w mikroskopie o rozdzielczości przestrzennej równej 600 nm, pracującego w trybie stroboskopowym z piko-sekundową rozdzielczością czasową). Stwierdzono, że amplituda fal spinowych wzrasta liniowo wraz ze wzrostem przykładanego napięcia zmiennego i że fale spinowe są w stanie propagować się na odległości do kilku mikrometrów. Porównano też wzbudzanie fal spinowych na dwa sposoby: raz poprzez zmienne napięcie indukujące zmienną anizotropię, a za drugim razem poprzez prąd zmienny płynący przez antenę paskową, generujący pole magnetyczne. Okazało się, że w przypadku wzbudzania napięciowego, obszar wzbudzenia odpowiada rozmiarom górnej elektrody i może być łatwo zmniejszony do kilkudziesięciu nanometrów poprzez zmniejszenie rozmiaru tej elektrody. Jest to bardzo interesująca właściwość z punktu widzenia rozwoju konstrukcji układów spintronicznych sterowanych wyłącznie napięciowo o dużej gęstości upakowania elementów funkcjonalnych. W przypadku wzbudzenia prądowego efektywny obszar wzbudzenia jest większy niż szerokość anteny i ewentualna miniaturyzacja byłaby tu o wiele trudniejsza.

W pracy **[H3]** zademonstrowano wyniki symulacji mikromagnetycznych ukazujące sposób budowy rekonfiguralnych nano-kanalów fal spinowych oraz magnonicznych bramek logicznych. Zasada działania tych urządzeń polega na wygenerowaniu lokalnych zmian anizotropii magnetycznej falowodu wykonanego z materiału magnetycznego typu warstwa $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ o grubości 1.3 nm (a więc posiadającego silną anizotropię prostopadłą do powierzchni próbki) i rozmiarach planarnych np. $2 \times 0.8 \mu\text{m}^2$, poprzez napięcie przyłożone do elektrody (o szerokości np. 100 nm) umieszczonej nad tym falowodem i biegnącej wzdłuż falowodu, i dostrojenie obszaru pod elektrodą – nano-kanalu – do wybranej częstotliwości fal spinowych. Dzięki temu objętościowe fale spinowe mogą propagować się tylko w obszarze pod elektrodą, a nie mogą się propagować w pozostałych obszarach falowodu, pomimo tego, że są pobudzane w całej szerokości falowodu. Górna elektroda może mieć różne szerokości i różny kształt, może się rozgałęziać, można też zaprojektować większą liczbę elektrod nad jednym falowodem. Rekonfiguracyjność nano-kanalu związanego z daną elektrodą polega na możliwości sterowania właściwościami propagacyjnymi tego kanału poprzez dobór napięcia przyłożonego do danej elektrody, od którego to napięcia zależy częstotliwość i wektor falowy fal propagujących się w nano-kanale. Na bazie takich nano-kanalów sterowanych napięciem zaproponowano konstrukcję

i zasymulowano działanie bramek logicznych XNOR i NAND, oraz przełącznika fal spinowych. Wykazano też, że nano-kanaly i urządzenia z nich zbudowane mogą poprawnie działać nawet bez zewnętrznego pola magnetycznego, co pozwoliłoby ewentualnie zaoszczędzić energię potrzebną na utrzymanie tego pola.

W pracy [H4] zaprezentowano eksperymentalną możliwość sterowania częstotliwością fal spinowych propagujących się w nano-kanalach za pomocą napięcia elektrycznego. Badania przeprowadzono na warstwie $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ o grubości 1.6 nm (posiadającej słabą anizotropię równoległą do powierzchni próbki) i rozmiarach planarnych $70 \times 70 \mu\text{m}^2$, na którą naniesiono izolującą warstwę MgO o grubości 2 nm, następnie warstwę Al_2O_3 o grubości 10 nm i na koniec górne elektrody z tlenku indowo-cynowego o grubości 120 nm w formie równoległych do siebie pasków o szerokości 220 nm i odstępach pomiędzy paskami równymi również 220 nm. Tym sposobem uzyskano materiał magnoniczny o parametrach magnetycznych zmieniających się w zależności od napięcia przyłożonego do górnych elektrod, powodującego zmianę anizotropii magnetycznej obszarów pod elektrodami. Zależności dyspersyjne fal spinowych badano z wykorzystaniem spektroskopii rozpraszania światła Brillouina, sondującej magnony termiczne. Stwierdzono, że po przyłożeniu napięcia do górnych elektrod, pojawiają się dwa mody fal spinowych, rozdzielone przerwą pasmową, i że kształt zależności dyspersyjnych tych modów zależy od znaku napięcia przyłożonego do elektrod. Po wyłączeniu napięcia przerwa pasmowa znika i zależności dyspersyjne wracają do pierwotnego jednomodowego stanu, charakterystycznego dla próbki niestrukturyzowanej.

W pracy [H5] pokazano eksperymentalną możliwość sterowania częstotliwością fal spinowych z wykorzystaniem efektu anizotropii magnetycznej kontrolowanej napięciem. Badanym obiektem były warstwy $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ o trzech różnych grubościach: 1.6 nm, 1.8 nm oraz 2 nm (posiadających anizotropię równoległą do powierzchni próbki), i o rozmiarach planarnych $10 \times 100 \mu\text{m}^2$, na które naniesiono izolującą warstwę MgO o grubości 2 nm oraz warstwę Al_2O_3 o grubości 10 nm. Następnie wykonano elektrodę górną złożoną z warstwy tytanu o grubości 5 nm i warstwy złota o grubości 100 nm. Tak przygotowane struktury CoFeB w kolejnych etapach preparacji przystosowano albo do badania fal spinowych, albo do badania jednorodnego rezonansu ferromagnetycznego. W pierwszym przypadku naniesiono na elektrodę górną warstwę Al_2O_3 o grubości 200 nm i na wierzchu osadzono antenę mikrofalową do wzbudzania fal spinowych złożoną z warstwy tytanu o grubości 5 nm i warstwy złota o grubości 120 nm. Antenę tworzyły dwa równoległe paski o szerokości 200 nm i wzajemnej odległości równej 200 nm, połączone na jednym końcu. W drugim przypadku struktury CoFeB otoczono anteną koplanarną o odpowiednio większych rozmiarach. W obu przypadkach, w celu wzbudzenia w warstwie CoFeB albo fal spinowych albo spinowych drgań jednorodnych, przez odpowiednią antenę przepuszczano prąd zmienny, a odpowiedź układu badano za pomocą pompowania spinowego i techniki odwrotnego spinowego efektu Halla. Stwierdzono, że częstotliwość fal spinowych silnie zależy od napięcia przyłożonego do górnej elektrody. Przykładowo: w przypadku warstwy CoFeB o grubości 1.6 nm, częstotliwość ta wynosiła 2.280 GHz przy napięciu -3V, 2.520 GHz przy napięciu 0V i 2.705 GHz przy napięciu +3V.

W pracy [H6] zademonstrowano możliwość nieliniowego sterowania stałą tłumienia za pomocą pola elektrycznego. Próbki przygotowano w sposób podobny jak w pracy [H5] w wersji do badań FMR, ale tym razem rozszerzono zakres grubości standardowych warstw $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ (1.6 nm, 1.8 nm, 2.0 nm i 2.2 nm) osadzonych na warstwy tantalowej, wybrano inne rozmiary planarne ($12 \times 200 \mu\text{m}^2$), spreparowano również próbki referencyjne (o grubości CoFeB równej 1.6 nm) osadzone na podłożu miedzianym, a także jeszcze inne próbki referencyjne przykryte tylko warstwą Al_2O_3 , bez standardowo stosowanej warstwy MgO. W efekcie badano następujące trzy struktury: Ta/CoFeB(t)/MgO, **Cu**/CoFeB(t)/MgO i Ta/CoFeB(t)/**Al₂O₃**. Rezonans ferromagnetyczny badano analogicznie jak w pracy [H5] za pomocą pompowania spinowego i odwrotnego spinowego efektu Halla. Zaobserwowano, że o ile anizotropia dla wszystkich grubości CoFeB zmienia się liniowo wraz ze zmianą napięcia przykładanego do górnej elektrody, to o tyle zależność współczynnika tłumienia od tegoż napięcia, ma charakter liniowy dla większych grubości CoFeB (2.2 nm oraz 2.0 nm) i staje się coraz bardziej nieliniowa w miarę jak grubość warstwy CoFeB maleje (1.8 nm oraz 1.6 nm). W oparciu o badania przeprowadzone na próbkach referencyjnych wykazano, że nieliniowe zmiany współczynnika tłumienia w funkcji napięcia przyłożonego do górnej elektrody związane są z relaksacją prądu spinowego na międzywarstwie CoFeB/MgO i z modyfikacją – przez pole elektryczne – oddziaływania spinowo orbitalnego typu Rashba, występującego w tej międzywarstwie.

W pracy [H7] pokazano możliwość zmiany charakteru anizotropii magnetycznej sterowanej napięciem z symetrycznego na asymetryczny w zależności od materiału na którym osadzono warstwę magnetyczną. Próbki przygotowano w sposób podobny jak w pracy [H5] w wersji do badań FMR, ale tym razem jeszcze bardziej rozszerzono zakres grubości standardowych warstw $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ (1.6 nm, 1.8 nm, 2.0 nm, 2.2 nm i 5.0 nm) osadzonych na tantalum i wybrano inne rozmiary planarne ($12 \times 150 \mu\text{m}^2$). Przygotowano również warstwy CoFeB (o grubościach 1.4 nm, 1.5 nm, 1.7 nm i 2.0 nm) osadzone na platynie, oraz warstwy referencyjne CoFeB (o grubości 1.6 nm) osadzone na miedzi, a także warstwy referencyjne CoFeB (o grubości 1.6 nm) osadzone na tantalum, ale przykryte tylko warstwą Al_2O_3 . Ostatecznie więc badano następujące cztery struktury: Ta/CoFeB(t)/MgO, **Pt**/CoFeB(t)/MgO, **Cu**/CoFeB(t)/MgO i Ta/CoFeB(t)/**Al₂O₃**. Poszukiwane parametry uzyskiwano z badań rezonansu ferromagnetycznego przeprowadzonych analogicznie jak w pracy [H5], czyli za pomocą pompowania spinowego i odwrotnego spinowego efektu Halla. Stwierdzono, że w przypadku próbek standardowych Ta/CoFeB(t)/MgO zmiana pola anizotropii indukowanej napięciem w funkcji napięcia przyłożonego do górnej elektrody miała charakter symetryczny, to znaczy pole anizotropii zależało liniowo od napięcia górnej elektrody dla obu polaryzacji tego napięcia, przy czym nachylenie tej liniowej zależności było różne dla różnych grubości warstwy CoFeB. W przypadku próbki Pt/CoFeB(t)/MgO charakter symetryczny zaobserwowano tylko dla największej grubości (2.0 nm), natomiast dla pozostałych grubości (1.7 nm, 1.5 nm i 1.4 nm) charakter był asymetryczny, to znaczy nachylenie liniowej zależności pola anizotropii było różne dla różnych polaryzacji napięcia górnej elektrody, przy czym dla dodatnich napięć było tym mniejsze im mniejsza była grubość i w skrajnym przypadku (dla 1.4 nm) to nachylenie było zerowe. Z uwagi na to, że próbki referencyjne

wykazywały charakter symetryczny, wstępnie wyjaśniono asymetryczny charakter próbek osadzonych na platynie gorszą jakością bufora platynowego – jego większą szorstkością, licznymi defektami i naprężeniami (widocznymi w znacznym poszerzeniu linii FMR), prowadzącymi do powstania skomplikowanej struktury pasmowej. W tym miejscu mam uwagę krytyczną. Otóż zależności współczynnika anizotropii indukowanej napięciem od grubości próbki oraz szerokości połówkowej linii rezonansowej od grubości próbki, zmierzone dla podłoża platynowego i wykreślone na rysunkach odpowiednio 3a i 3d, odznaczają się wyraźnie gorszą jakością niż wszystkie pozostałe wyniki prezentowane w całej serii prac [H1-7]. Chodzi tu – po pierwsze – o drastyczne, bo prawie 10-krotne, zwiększenie szerokości połówkowej linii rezonansowej dla grubości 1.7 nm i 1.4 nm w stosunku do wszystkich pozostałych punktów na rysunku 3d, oraz – po drugie – o wyłamanie się punktów dla dokładnie tych samych grubości z oczekiwanej tendencji zmian dla ujemnego napięcia górnej elektrody na rysunku 3a. Słabą jakość tych wyników przyznali zresztą sami Autorzy, tłumacząc ją złą optymalizacją procesu osadzania akurat tych warstw, prowadzącą w efekcie do uzyskania próbek o niezadowalającej jakości. Moim zdaniem praca [H7] zyskałaby bardzo wiele, gdyby Autorzy zaprezentowali bardziej spójne rezultaty, powtórzone na próbkach o dobrej jakości.

Podsumowując przegląd zawartości merytorycznej poszczególnych publikacji, składających się na oceniane osiągnięcie naukowe, pragnę zwrócić uwagę na trzy sprawy:

1. Elementem wspólnym łączącym wszystkie publikacje jest zjawisko magnetycznej anizotropii kontrolowanej napięciem, które zostało wykorzystane jako podstawa działania różnych urządzeń magnonicznych sterowanych wyłącznie sygnałami napięciowymi. We wszystkich publikacjach badano ten sam materiał – heterostrukturę Ta/CoFeB/MgO, uzasadniając to licznymi jego zaletami, w tym m.in. niską stałą tłumienia drgań spinowych, dużym współczynnikiem magnetycznej anizotropii sterowanej napięciem oraz dużym tunelowym magnetooporem. We wszystkich pracach, za wyjątkiem pracy [H3] (prezentującej tylko wyniki symulacji), wbudowywano ten materiał w złożone nano-skalowe próbki/urządzenia, stosując te same wieloetapowe procesy preparacyjne, wykorzystujące nowoczesne i wyrafinowane technologie, takie jak rozpylanie jonowe, bezmaskowa litografia UV, trawienie jonowe czy naparowanie wiązką elektronów. Tematyka wszystkich prac tworzy logiczny ciąg tematyczny, z wyraźnie widocznym stopniowym poszerzaniem wiedzy w kolejnych pracach. O ile w pracy [H1] zademonstrowano możliwość wzbudzenia rezonansu magnetycznego za pomocą zmiennego napięcia, to o tyle w publikacji [H2] wykonano kolejny krok do przodu i pokazano możliwość generacji tym samym sposobem biegnących fal spinowych. O ile w pracy [H3] przebadano za pomocą symulacji mikromagnetycznych projekt rekonfiguralnych nano-kanalów sterowanych napięciem, w których mogą propagować się fale spinowe (oraz projekt sterowanych napięciem magnonicznych bramek logicznych bazujących na takich nano-kanalach), to o tyle w pracy [H4] udowodniono eksperymentalnie możliwość zmiany za pomocą napięcia zależności dyspersyjnych fal spinowych biegnących właśnie w takich równoległych nano-kanalach, czyli uzyskano sterowany napięciem materiał magnoniczny. W kolejnych dwóch pracach zademonstrowano możliwość napięciowego

sterowania częstotliwością biegnących fal spinowych [H5] oraz stałą tłumienia drgań spinowych [H6]. W ostatniej pracy [H7] przedstawiono sposób na zmianę charakteru zjawiska magnetycznej anizotropii kontrolowanej napięciem w zależności od znaku napięcia sterującego, polegający na odpowiednim doborze warstwy buforowej. Wszystkie prace tworzą więc spójną całość ukazującą wybrane aspekty wykorzystania zjawiska anizotropii magnetycznej kontrolowanej napięciem do sterowania falami spinowymi. Chcę jeszcze w związku z tym dodać, że tytuł osiągnięcia naukowego: „*Urządzenia magnoniczne działające w oparciu o anizotropię magnetyczną sterowaną napięciem*” został – według mnie – dobrany bardzo trafnie i w pełni odpowiada treściom zawartym w osiągnięciu.

W oparciu o powyższe uwagi, mogę – bez cienia wątpliwości – zaklasyfikować oceniane osiągnięcie naukowe jako „*cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych*”. Oznacza to spełnienie warunku określonego w Art. 219, ust.1, p.2b USTAWY.

2. Oceniane osiągnięcie naukowe spełnia także – moim zdaniem – wymóg dotyczący prac wieloautorских zapisany w Art. 219, ust.2 USTAWY, bowiem stanowi „*część pracy zbiorowej*”, w której „*opracowanie wydzielonego zagadnienia jest indywidualnym wkładem osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego*”. Jak bowiem wynika z „*Autoreferatu*” i z „*Oświadczeń współautorów*”, dr Bivas Rana odegrał dominującą rolę w przygotowaniu tych prac, w których jego nazwisko znajduje się na pierwszym miejscu na liście autorów [H1-3, H5-7], gdzie był odpowiedzialny za: 1) zaplanowanie badań, 2) preparatykę próbek, 3) wykonanie pomiarów, 4) analizę danych pomiarowych, 5) symulacje mikromagnetyczne, 6) przygotowanie rękopisu. W większości tych prac zajmował się także komunikacją z redakcją wydawnictwa jako autor korespondencyjny. W publikacji [H4], w której został umieszczony na czwartym miejscu na liście autorów, odegrał również znaczącą rolę, gdyż zaplanował i nadzorował badania, dokonał optymalizacji warunków wytwarzania próbek i współuczestniczył w ich wytwarzaniu. W świetle powyższego, moja ocena indywidualnego wkładu dr Bivasa Rany w przygotowanie ocenianego osiągnięcia naukowego jest jednoznacznie pozytywna.

3. Wszystkie wyniki przedstawione w pracach są – w mojej opinii – bardzo ciekawe, mają dużą wartość naukową i posiadają ogromny potencjał aplikacyjny. Dotyczą one jednego z najbardziej „gorących” zagadnień współczesnej fizyki magnetyzmu, jakim jest opracowanie metod wykorzystania fal spinowych do przesyłania i przetwarzania informacji, a także nieodłącznie z tym związanego problemu znalezienia energooszczędnych sposobów sterowania tymi procesami. Wykorzystanie do realizacji tego celu zjawiska magnetycznej anizotropii kontrolowanej napięciem i wykazanie przez dr Bivasa Ranę możliwości skutecznego sterowania przy pomocy samego tylko napięcia istotnymi z punktu widzenia propagacji fal spinowych parametrami materiałowymi, stwarza solidne podstawy do budowy różnych urządzeń spintronicznych, charakteryzujących się znikomym poborem mocy. Te pionierskie wyniki zostały uzyskane w trakcie badań specjalnie w tym celu spreparowanych skomplikowanych nanostruktur, zaprojektowanych z ogromną pomysłowością i wytworzonych z ogromną finezją za pomocą nowoczesnych technologii. Pomiar przeprowadzono z wykorzystaniem wielu zaawansowanych technik eksperymentalnych, takich jak homodynowa detekcja sygnału tunelowego magnetooporu, czasowo-rozdzielcza magnetoptyczna mikroskopia kerrowska, spektroskopia rozpraszania światła Brillouina, techniki pompowania spinowego i odwrotnego spinowego efektu Halla. Rezultaty zostały opracowane

rzetelnie i zaprezentowane w publikacjach w sposób jasny i zrozumiały, a poszczególnych tezy zostały należycie udokumentowane. Nie pozostaje mi w tej sytuacji nic innego jak tylko wyrazić podziw dla umiejętności Habilitanta i pogratulować mu biegłości w posługiwaniu się tak wieloma technikami preparacyjnymi i badawczymi, oraz konsekwencji w dążeniu do wyznaczonego celu. Gratulacje należą się mu także za doskonale opanowanie sztuki modelowania numerycznego i osiągnięcia na tej drodze bardzo cennych wyników związanych z testowaniem działania nanokanałów i bramek logicznych. Ujmując rzecz krótko: Habilitantowi udało się opublikować – w moim odczuciu – imponującą serię prac, dotyczącą bardzo ważnej tematyki i mającej ogromne znaczenie zarówno w sferze zastosowań praktycznych jak też i w wytyczaniu kierunków dalszych badań naukowych.

Jak już wspomniałem na początku niniejszej recenzji, wszystkie prace wchodzące w skład ocenianego osiągnięcia naukowego zostały opublikowanych w czasopismach znajdujących się w bazie JCR. Warto więc w tym miejscu jeszcze dorzucić informację, że ich sumaryczny Impact Factor jest bardzo wysoki i wynosi prawie 40, natomiast całkowita liczba punktów ministerialnych też jest duża i osiąga wartość prawie jednego tysiąca.

W związku z powyższymi uwagami pragnę wyrazić głębokie przekonanie, że oceniane osiągnięcie naukowe stanowi „*znaczny wkład*” dr Bivasa Rany w rozwój nauki w dziedzinie nauki ścisłe w dyscyplinie nauki fizyczne, a tym samym spełnia kluczowy merytoryczny warunek określony w Art. 219, ust.1, p.2 *USTAWY*, konieczny do dopuszczenia Habilitanta do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Sformułowanie powyższej ostatecznej konkluzji oznacza, że wypełniłem obowiązek nałożony na mnie – jako na recenzenta – przez Artykuł 221, ust. 8 *USTAWY*. Jednakże zgodnie z zaleceniem Rady Doskonałości Naukowej zawartym w dokumencie zatytułowanym „Postępowania dotyczące nadawania stopnia doktora habilitowanego” na stronie 32, chciałbym jeszcze ocenić całościową aktywność naukową Habilitanta. Otóż dr Bivas Rana:

- uzyskał stopień doktora w 2014 na Uniwersytecie w Kalkucie (Indie); stopień ten został uznany za równoważny z polskim stopniem doktora nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne przez Radę Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu w Białymstoku w 2021 roku; oznacza to, że dr Bivas Rana spełnia warunek określony w Art.219, ust.1 p.1 *USTAWY*;
- od lutego 2021 do chwili obecnej jest zatrudniony na Wydziale Fizyki, Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu; wcześniej, w latach 2014 do 2021, był zatrudniony w Instytucie Badań Fizycznych i Chemicznych RIKEN (Japonia) w grupie Prof. YoshiChika Otani;
- opublikował 1 rozdział w monografii naukowej w roku 2011;
- przed uzyskaniem stopnia doktora, w latach od 2010 do 2014, opublikował 17 prac;
- po uzyskaniu stopnia doktora opublikował 23 prace (w tym 7 prac wchodzących w skład ocenianego osiągnięcia naukowego) w latach od 2015 do 2022;
- legitymuje się sumarycznym współczynnikiem Impact Factor równym ponad 220;
- legitymuje się sumaryczną liczbą punktów MNiE równą ponad 4500;

- posiada – wg. Bazy danych Scopus – indeks Hirscha równy 18;
- wygłosił 5 konferencyjnych wykładów zaproszonych w latach od 2020 do 2022;
- dokonał 9 prezentacji ustnych na konferencjach w latach od 2013 do 2021;
- zaprezentował 19 plakatów na konferencjach w latach od 2010 do 2020;
- uczestniczył w przygotowaniu 41 innych prezentacji konferencyjnych w latach od 2010 do 2020;
- w chwili obecnej koordynuje dwa projekty badawcze, a w latach 2014 do 2021 był koordynatorem dwóch innych projektów badawczych;
- przebywał na 45-dniowych stażach naukowych na Uniwersytecie w Exeter (UK) oraz na Uniwersytecie w Tokio (Japonia);
- był recenzentem w 22 czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym;
- sprawował opiekę nad 3 magistrantami w Indiach i 4 doktorantami w Japonii; obecnie sprawuje opiekę nad jednym doktorantem w Poznaniu;

Wszystkie przytoczone powyżej liczby dotyczące osiągnięć naukowych dr Bivasa Rany, a zwłaszcza wysokie wartości parametrów bibliometrycznych, w tym imponujący wręcz indeks Hirscha równy 18, liczne publikacje w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym oraz liczne wystąpienia konferencyjne, świadczą – według mnie – w sposób niezbity o tym, że Habilitant przez cały czas *„wykazuje się istotną aktywnością naukową ... realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej ... , w szczególności zagranicznej”*, co oznacza spełnienie kolejnego kluczowego merytorycznego warunku określonego w Art. 219, ust.1 p.3 USTAWY, niezbędnego do dopuszczenia dr Bivasa Rany do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Podsumowując całość niniejszej recenzji stwierdzam, że – mojej opinii – dr Bivas Rana spełnia wszystkie wymagania stawiane osobom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, określone w Art. 219, ust.1, p.1-3 USTAWY.

Dlatego wnioskuję o dopuszczenie dr Bivasa Rany do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauki ścisłej, w dyscyplinie nauki fizyczne.

Marek Kisielewski

Artykuł 219 USTAWY (określa wymagania stawiane osobom ubiegającym się o stopień doktora habilitowanego – cytuję tylko ustępy 1 i 2):

„Ust.1. Stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która:

- 1) posiada stopień doktora;*
- 2) posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej:*
 - a) 1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a, lub*
 - b) 1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, lub*
 - c) 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;*
- 3) wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.*

Ust 2. Osiągnięcie, o którym mowa w ust. 1 pkt 2, może stanowić część pracy zbiorowej, jeżeli opracowanie wydzielonego zagadnienia jest indywidualnym wkładem osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego..”

Artykuł 221, ust. 8 USTAWY (określa rolę recenzentów w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego):

„8. Recenzenci, w terminie 8 tygodni od dnia doręczenia im wniosku, oceniają, czy osiągnięcia naukowe osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego odpowiadają wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2, i przygotowują recenzje.”
