

Nierelatywistyczne rozszczepienie spinów jest charakterystycznym zjawiskiem zazwyczaj obserwowanym w układach z naruszoną symetrią odwrócenia czasu. Jest ono przede wszystkim determinowane przez efekt magnetycznych oddziaływań wymiany Jex między spinami, które powodują różnicę energii elektronów o spinie skierowanym w górę i w dół. Rozszczepienie spinów nie może być zaobserwowane w układzie, w którym symetria odwrócenia czasu (TRS) jest zachowana, ponieważ symetria ta prowadzi do degeneracji Kramersa. Rozszczepienie spinów zachodzi niezależnie od efektów sprzężenia spin-orbita (SOC), jednak obecność tego sprzężenia może generować ciekawe efekty wynikające z interakcji ze zjawiskiem rozszczepienia spinów. Te efekty są głównym tematem niniejszej rozprawy doktorskiej. Właściwość nierelatywistycznego rozszczepienia spinów okazała się istotna w spintronice i wywiera istotny wpływ na właściwości materiałów. Na przykład może prowadzić do powstawania spinowo spolaryzowanych prądów, a wraz z SOC – do spinowego efektu Halla (SHE) i anomального efektu Halla (AHE). Obecność lub brak symetrii stały się jednym z najważniejszych aspektów fizyki materii skondensowanej, ponieważ stan ten pozwala na opisanie trwałych zjawisk, szczególnie w układach magnetycznych i topologicznych. Na przykład, efekt złamania symetrii inwersji przestrzennej w układach o silnym SOC jest główną przyczyną obecności oddziaływania Dzyaloshinskii-Moriya (DMI), które prowadzi do powstania chiralnych struktur magnetycznych wynikających z dynamiki spinowej. Ponadto złamanie symetrii odwrócenia czasu jest niezbędne do powstania reakcji transportowych, takich jak AHE, które nie tylko zależą od SOC, ale także mogą być kontrolowane przez jego efekty. W układach o naruszonej symetrii inwersji przestrzennej w obecności SOC występują także inne istotne efekty, takie jak efekt Rashby i Dresselhouse'a. Co więcej, w materiałach topologicznych, złamanie symetrii odwrócenia czasu może prowadzić do powstawania topologicznych półmetali Weyla. Niniejsza praca obejmuje badania kilku układów, w których naruszona jest symetria odwrócenia czasu, co skutkuje nierelatywistycznym rozszczepieniem spinów widocznym w strukturze pasmowej, a poprzez oddziaływanie ze sprzężeniem spin-orbita może generować DMI i/lub AHE. Układy z naruszoną symetrią odwrócenia czasu można podzielić na dwie kategorie:

1. **Układy ferromagnetyczne:** Magnetyczne cienkie warstwy Re/Co/Pt zostały opisane w dwóch pierwszych artykułach. Układ ten generuje bardzo wysokie wartości DMI dzięki występowaniu kluczowych warunków. Symetria inwersji przestrzennej jest naruszona z powodu obecności interfejsów, a efekt SOC jest stosunkowo silny i głównie pochodzi od platyny. Artykuł przedstawiony w Rozdziale 3 jest czysto teoretyczny, oparty na obliczeniach z wykorzystaniem teorii funkcjonału gęstości (DFT), w których badany jest wpływ dostrajania grubości cienkich warstw Co i efektu wymieszania na interfejsie na ogólną dynamikę badanego układu warstwowego. Rozdział 4 zawiera opis zbiorczego badania eksperymentalnego i teoretycznego tego samego układu, które skupia się głównie na wpływie rodzaju i jakości interfejsu na wielkość DMI. Rozdział 5 omawia anomalny efekt Halla

w półmetal Weyla CeAlSi, konkretnie w jego ferromagnetycznej fazie, z wykorzystaniem metody Wannierizacji zastosowanej w naszych obliczeniach DFT. Punkty Weyla obecne w tym układzie wynikają z naruszenia symetrii inwersji oraz braku TRS. W obecności SOC monitorowano pozycje tych punktów Weyla, które powiązano ze zmianą znaku w wynikach AHE.

2. **Układy altermagnetyczne:** Niedawno badania wzbudziły zainteresowanie nowym rodzajem magnetyzmu, nazwanym „altermagnetyzmem,” który charakteryzuje się rozszczepieniem spinów w strukturze pasmowej, niezależnie od skompensowanego namagnesowania ograniczonego przez symetrię. Naruszenie symetrii odwrócenia czasu w altermagnetyzmie było ważnym czynnikiem w badaniu makroskopowych reakcji, które były wcześniej obserwowane w ferromagnetykach. W Rozdziale 6 opisano badania CrAs, jako kandydata na altermagnetyk. Efekt SOC działa selektywnie na przecinanie/nieprzecinanie pasm, prowadząc do anomalnego efektu Halla.

Rozdział 1 jest wprowadzeniem do magnetyzmu, sprzężenia spin-orbita i symetrii w fizyce materii skondensowanej. Rozdział 2 poświęcony jest zastosowanej metodologii obliczeniowej. Rozdziały 3 do 6 zawierają omówione publikacje, natomiast w Rozdziale 7 dyskutowane są perspektywy przyszłych badań.