



Politechnika Wrocławska

Instytut Fizyki Teoretycznej

Wrocław, 01.07.2024

Prof. dr hab. Piotr Surówka
Instytut Fizyki Teoretycznej
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże St. Wyspiańskiego 27,
50-370 Wrocław

Pan magister Pardeep Kumar Tanwar przedstawił rozprawę doktorską, pod tytułem, "Heat Transport by Topological Excitations", przygotowaną pod nadzorem dr. hab. Marcina Matusiaka. Rozprawa napisana jest w oparciu o dwa artykuły opublikowane w Physical Review B

- Tanwar, Pardeep Kumar, M. S. Alam, M. Ahmad, D. Kaczorowski, and M. Matusiak, "Severe violation of the Wiedemann-Franz law in quantum oscillations of NbP," *Physical Review B (letter)*, vol. 106, no. 4, p. L041106, 2022.
- Tanwar, Pardeep Kumar, M. Ahmad, M. S. Alam, X. Yao, F. Tafti, and M. Matusiak, "Gravitational anomaly in the ferrimagnetic topological Weyl semimetal NdAlSi," *Physical Review B (letter)*, vol. 108, no. 16, p. L161106, 2023,

których magister Pardeep Kumar Tanwar jest pierwszym autorem. Dodatkowo w trakcie doktoratu Pan magister Pardeep Kumar Tanwar był współautorem czterech innych artykułów. Praca jest wynikiem wspólnych badań prowadzonych w ramach Warszawskiej Szkoły Doktorskiej Nauk Przyrodniczych i Biomedycznych oraz Międzynarodowego Centrum MagTop Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk.

Cel i motywacja badawcza: Motywacją do przeprowadzenia tych badań była potrzeba zgłębienia dotychczas stosunkowo słabo zbadanych eksperymentalnie efektów kwantowych, związanych z transportem ciepła w półmetalach Weyla. Choć właściwości elektryczne półmetali były szeroko badane, ich charakterystyki transportu cieplnego pozostają mniej zrozumiane. Autor postawił sobie za cel wypełnienie tej luki poprzez dostarczenie eksperymentalnych danych dotyczących zjawiska transportu cieplnego i elektrycznego w dwóch materiałach należących do tej kategorii.

Część teoretyczna: Praca zaczyna się wprowadzeniem teoretycznym do fizyki półmetali Weyla i kwantowych anomalii. Niestety jest to najsłabsza część pracy doktorskiej. Autor tłumaczy anomalie kwantowe używając obrazków i niestety miejscami dochodzi do błędnych wniosków. Pokazuje to, że nie zrozumiał szczegółów tego zjawiska. Na przykład w sekcji 1.5.2 autor pisze "Like the chiral anomaly, the gravitational anomaly was also proposed in quantum field theory and more recently discovered in condensed matter physics [77, 88, 106]. At the heart of the phenomenon is the fact that the gravitational field and the temperature gradient



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Evaluated by
IEP INSTITUTIONAL
EVALUATION
PROGRAMME
www.iep-qaa.org

Politechnika Wrocławska

Wydział Podstawowych Problemów
Techniki

Instytut Fizyki Teoretycznej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79

wppt.ift@pwr.edu.pl
www.ift.pwr.edu.pl
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Politechnika Wrocławska

Instytut Fizyki Teoretycznej

are interrelated.” Stwierdzenie to zawiera w sobie szereg nieścisłości i błędów. Po pierwsze nie ma jednej anomalii grawitacyjnej. Anomalie grawitacyjne oznaczają między innymi

- Anomalia Lorentza jest równoważna istnieniu antysymetrycznej części tensora energii-pędu.
- Anomalia Einsteina wiąże się z niezachowaniem tensora energii-pędu.
- Anomalia Weyla wyraża nieznikający ślad tensora energii-pędu.
- Anomalia aksjalno-grawitacyjna, znana też jako anomalia mieszana cechowania-grawitacyjna.

Ta ostatnia anomalia jest istotą pracy doktorskiej. Jej znaczenie fizyczne jest analogiczne jak w przypadku anomalii cechowania, sygnalizuje złamanie zewnętrznej symetrii aksjalnej w obecności pól grawitacyjnych. Wszystkie powyższe anomalie mogą występować w zerowej temperaturze, a więc są niezależne od jakiegokolwiek relacji między polem grawitacyjnym a temperaturą. Niestety brak zrozumienia narzędzi kwantowej teorii pola został zastąpiony przez analogie, które tutaj prowadzą do błędnych wniosków. Relacja między temperaturą a polem grawitacyjnym jako istota anomalii jest często błędnie przywoływana przez fizyków materii skondensowanej. Jako kontrargument do tego heurystycznego obrazu możemy rozważyć fermiony w 2+1 wymiarach w polu grawitacyjnym i skończonej temperaturze. W tym przypadku anomalii nie ma pomimo, występowania analogii, między polem grawitacyjnym i temperaturą, przytoczonej przez autora doktoratu.

Poniżej w następnym paragrafie autor pisze “In Weyl semimetals, an imbalance of temperature (likewise imbalance in chemical potential) can take place between two Weyl points of opposite chirality when the thermal gradient and magnetic field are aligned parallel to each other [1, 77, 88, 106, 132]. This leads to a violation of the conservation law for the energy-momentum tensor [133], which measures the contribution of particle current and heat current to the total energy current. Weyl nodes of opposite chirality are characterized by the same energy-momentum tensors, and thus, they have the same temperature. Such a breakdown of conservation law for energy-momentum tensor is considered as the QFT realization of gravitational anomaly”.

Paragraf ten jest ponownie dość mylący. Jak rozumiem autor chce przekazać, że jednym z najbardziej interesujących aspektów anomalii jest to, że transport cieplny jest pośrednio wrażliwy na anomalię grawitacyjną. W tym przypadku jest to anomalia mieszana. Jest to nieoczekiwany rezultat, będący wynikiem wysiłków zrozumienia makroskopowych własności układów z anomaliami. Konsekwencją tego wyniku jest to, że autor może wykonywać pomiary anomalii grawitacyjnej w

Piotr Surówka



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Evaluated by
IEP INSTITUTIONAL
EVALUATION
PROGRAMME
www.iep-qaa.org

Politechnika Wrocławska

Wydział Podstawowych Problemów
Techniki

Instytut Fizyki Teoretycznej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79

wppt.ift@pwr.edu.pl
www.ift.pwr.edu.pl
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



płaskiej przestrzeni. Samo złamanie prawa zachowania nie oznacza jeszcze anomalii. Brak zachowania tensora energii-pędu występuje zawsze gdy mamy wewnętrzne źródła w układzie fizycznym. Anomalie mieszane występują, gdy dochodzi do naruszenia niezmienniczości względem dyfeomorfizmów dla bezmasowych fermionów. Konkretnie, mieszana anomalia obejmuje trójkątny diagram Feynmana z jednym wierzchołkiem związanym z prądem aksjalnym i dwoma wierzchołkami związanymi z tensorem energii-pędu. Ta anomalia wskazuje, że prąd ten nie jest zachowany w obecności tła grawitacyjnego.

Zależność transportu cieplnego w układzie od anomalii grawitacyjnej nie oznacza jeszcze, że ten efekt nie będzie znikać. Aby móc go zmierzyć, zakłada się, że fermiony w półmetalach Weyla są prawie swobodne i słabo oddziałujące, co umożliwia przypisanie różnych temperatur każdemu stożkowi Weyla. Czas relaksacji dla każdego stożka jest różny. Suma tensorów energii-pędu stożków jest zachowana, ale różnice podlegają relaksacji opisanej poprzez wybór fenomenologicznego parametru czasu relaksacji. Ta cecha umożliwia pomiar mieszanej anomalii grawitacyjnej, ponieważ różnice w temperaturach i dynamice relaksacji między stożkami zapewniają unikalną platformę do obserwacji efektów tej anomalii w transporcie cieplnym.

Anomalie grawitacyjne należą do najbardziej nieoczywistych wyników kwantowej teorii pola i zrozumiałym jest, że ich zgłębienie dla eksperymentatorów nie jest proste. Niemniej jednak, biorąc pod uwagę fakt, że magister Pardeep Kumar Tanwar poświęcił swój doktorat mierzeniu, między innymi, efektów związanych z anomaliami grawitacyjnymi, szerszy kontakt z ekspertami w tej dziedzinie pozwoliłby mu na lepsze zrozumienie tego zjawiska.

Część eksperymentalna: Badania obejmują hodowlę kryształów fosforku niobu NbP i glinokrzemku neodymu NdAlSi, dwóch półmetali Weyla, przy użyciu metod takich jak transport chemiczny oraz krystalizacja z topnika. Charakterystyka strukturalna jest przeprowadzona za pomocą różnych technik, a następnie są zastosowane, zaprojektowane przez autorów eksperymentów, układy kriogeniczne do pomiaru właściwości transportu cieplnego i elektrycznego.

Główne wyniki badań:

1. Chiralny dźwięk zerowy w fosforku niobu:

- Badania wykazują formowanie się neutralnego ładunkowo kolektywnego wzbudzenia topologicznego znanego jako chiralny dźwięk zerowy w NbP.
- Chiralny dźwięk zerowy przyczynia się do znacznych oscylacji kwantowych w przewodnictwie cieplnym, dla niskich temperatur, wskazując na dodatkowy kanał przepływu ciepła.



University Network for Innovation,
Technology and Engineering



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Evaluated by
IEP INSTITUTIONAL
EVALUATION
PROGRAMME
www.iep-qaa.org

Politechnika Wrocławska

Wydział Podstawowych Problemów
Techniki

Instytut Fizyki Teoretycznej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79

wppt.ift@pwr.edu.pl
www.ift.pwr.edu.pl
www.pwr.edu.pl

REGON: 00001614
NIP: 896-000-58-51

Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



- Efekt ten prowadzi do poważnego naruszenia prawa Wiedemanna-Franza, podkreślając unikalne mechanizmy transportu ciepła w półmetalach Weyla.
- 2. **Transport związany z anomaliami kwantowymi w glinokrzemku neodymu:**
 - Praca potwierdza eksperymentalne przewidywania dotyczące istnienia mieszanej anomalii grawitacyjnej w glinokrzemku neodymu, która była teoretycznie przewidywana, ale dotychczas obserwowana jedynie dla kilku półmetali.
 - Praca donosi o wzroście zarówno przewodnictwa magnetoelektrycznego, jak i magnetotermicznego w obszarze semiklasycznym magnetycznego półmetal NdAlSi. Wynik ten jest interpretowany jako potwierdzenie występowania anomalii w tym materiale. Dodatkowo praca pokazuje, że te dwa współczynniki transportu związane z tymi efektami spełniają prawo Wiedemanna-Franza.

Podsumowanie: Wyniki pracy mają istotne implikacje dla zrozumienia właściwości topologicznych i poszukiwania nowych rodzajów nietrywialnych wzbudzeń kolektywnych w półmetalach Weyla. Obserwowane zjawiska chiralnego dźwięku zerowego i mieszanej anomalii grawitacyjnej ugruntowują naszą wiedzę o chiralnym transporcie, związanym z anomaliami kwantowymi, w materiałach.

Pomimo pewnych braków w części teoretycznej rozprawy doktorskiej, praca mgr. Pardeepa Kumara Tanwara oferuje cenny wgląd w mechanizmy transportu ciepła w półmetalach topologicznych. W mojej opinii praca ta wnosi istotny wkład w dziedzinę fizyki materii skondensowanej. Spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim i dlatego wnoszę o dopuszczenie Pana magistra Pardeepa Kumara Tanwara do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wrocławska

Wydział Podstawowych Problemów Techniki

Instytut Fizyki Teoretycznej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79

wppt.ift@pwr.edu.pl
www.ift.pwr.edu.pl
www.pwr.edu.pl

REGON: 00001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434

Piotr Surówka

Piotr Surówka