The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Chiral anomaly-induced magnetotransport in Dirac and Weyl semimetals
Author(s)	鍵村, 亜矢
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69326
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　鍵村亜矢　）	
論文題名	Chiral anomaly-induced magnetotransport in Dirac and Weyl semimetals (Dirac又はWeyl半金属中のカイラル量子異常に起因する磁気輸送現象)

論文内容の要旨

1983年にNielsenと二宮が物性系でカイラル量子異常と同じ機構から来る効果があることを指摘した[1]。逆のカイラリティを持つ２つのWeyl点があるバンド構造で左手型のフェルミオンと右手型のフェルミオンのFermiエネルギーに差がある時に外磁場をかけることでカイラル量子異常に比例した電流が流れることを予言した。この現象は今日ではカイラル磁気効果と呼ばれ、物性系だけではなくクォーク・グルーオンプラズマや初期宇宙といったカイラルフェルミオンがある様々な系に現れ注目を集めている。物性系でのカイラル磁気効果の実験は2013年から始まるDiracまたはWeyl半金属の発見によって可能になった。DiracまたはWeyl半金属は固体中の低エネルギー励起として質量０のDiracまたはWeylフェルミオンを持つ。そのような相対論的なフェルミオン系では、Nielsenと二宮が指摘したように外磁場下での輸送はカイラル量子異常に起因する奇妙な振る舞いを見せる。カイラル磁気効果による電気伝導度を見積もるには磁場中の緩和時間を計算するが必要がある。1950年代に行われたArgyresとAdamsによる緩和時間の計算[2]は非相対論的なフェルミオンで強磁場極限でのみ行われており、相対論的なフェルミオン系に現れるカイラル磁気効果を見積もるには不十分である。またWeyl半金属ではコーン間の散乱しかカイラリティの緩和に寄与しないため実際のWeyl半金属の複雑なバンド構造に依る計算が必要になる。近年になってWeyl半金属の模型を用いて磁場中の散乱に対する緩和時間が計算されてきた。

本研究では、Dirac半金属でのカイラル量子異常に起因した外磁場に沿った電荷の輸送現象を調べた[3]。ArgyresとAdamsの仕事を拡張して相対論的なフェルミオンの低エネルギー有効理論を用いて、強磁場極限ではないところでの緩和時間の模型に依らない計算を行った。強磁場中で厳密に質量０の極限では、ヘリシティ保存によりコーン内の遷移は起こらない。その場合、輸送現象は格子構造に強く依存したコーン間の遷移に強く影響される。そこで模型に依らない計算の為に少し歪ませたDirac半金属で実現される小さい質量を持ったフェルミオンのCoulomb不純物がある中での輸送を調べた。半古典的なBoltzmann方程式を用いて、２種類のコーン内遷移過程に対する緩和時間を求めた。一つは質量の効果によるもので、もう一つは強磁場極限より弱い磁場下でのLandau準位の励起状態によるものである。コーン内の遷移に対する解析的な式を求めることでコーン内の遷移において小さい質量がヘリシティ反転を起こすことが分かった。また強磁場極限より弱い磁場下でLandau準位の励起状態を通したコーン内の遷移がヘリシティ反転の機構として働き、これは質量0の極限でも成り立つことが分かった。そして電場と磁場が平行にある中での縦方向の磁気電導度の質量依存性と磁場依存性を求めた。

[1] H. B. Nielsen and M. Ninomiya, Phys. Lett. B130 (1983) 389.
[2] P. N. Argyres and E. N. Adams, Phys. Rev. 104 (Nov, 1956) 900–908.
[3] A. Kagimura and T. Onogi, Journal of High Energy Physics 2017 (Dec, 2017) 115.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　健村　亜矢　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	兼村 晋哉
	副 査	教授	大野木 哲也
	副 査	教授	橋本 幸士
	副 査	教授	越野 幹人
	副 査	准教授	山口　哲
	副 査	助教	深谷　英則

論文審査の結果の要旨

博士論文「Chiral anomaly-induced magnetotransport in Dirac and Weyl semimetals
(Dirac又はWeyl半金属中のカイラル量子異常に起因する磁気輸送現象)」
の論文審査の結果の要旨は、下記の通りである。

ニールセンと二宮は、物性系で逆のカイラリティを持つ２つのワイル点のあるバンド構造で左手型と右手型のフェルミオンのフェルミエネルギーに差がある時に外磁場をかけることによりカイラル量子異常に比例した電流が流れることを予言した（1983年）。これはカイラル磁気効果と呼ばれ、物性系のみならずクォーク・グルーオンプラズマや初期宇宙等、カイラルフェルミオンのある様々な系に現れる。最近のディラック半金属やワイル半金属の発見により、物性系におけるカイラル磁気効果の実験が可能になった。カイラル磁気効果による電気伝導度を評価するために磁場中の緩和時間を計算する必要があるが、1950年代のアルギリスとアダムスによる緩和時間の計算は非相対論的かつ強磁場極限で行われており、相対論的なフェルミオン系に現れるカイラル磁気効果の計算には不十分であった。近年はワイル半金属の模型を用いた磁場中の散乱に対する緩和時間が計算されてきた。

本博士論文ではディラック半金属でのカイラル量子異常に起因した外磁場に沿った電荷の輸送現象を調べている。相対論的なフェルミオンの低エネルギー有効理論を用いて、強磁場極限より弱い磁場中での緩和時間のモデルに依らない計算を行っている。強磁場中で質量０の極限では、ヘリシティの保存によりコーン内の遷移は起こらないので、本博士論文では少し歪ませたディラック半金属で実現される小さい質量を持ったフェルミオンのクーロン不純物による散乱を調べている。半古典ボルツマン方程式を用いて、質量の効果によるコーン内の遷移過程と強磁場極限より弱い磁場の下でのランダウ準位の励起状態を通じたコーン内遷移過程に対する緩和時間を計算した。

本博士論文の研究により、コーン内の遷移において小さい質量がヘリシティ反転を起こすことが分かった。また強磁場極限より弱い磁場下でランダウ準位の励起状態を通したコーン内の遷移がヘリシティ反転の機構として働くこと、これは質量０の極限でも生じることが分かった。さらに電場と磁場が平行にある中での縦方向の磁気電導度の質量依存性と磁場依存性も調べられた。

本博士論文は、以上のような興味深く新しい研究成果を含んでおり、博士（理学）の学位論文として十分に価値のあるものと認める。