



Title	不均一電場がもたらすE×Bドリフトに対する量子論的效果 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	小坂, 亘
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第13648号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/74152">http://hdl.handle.net/2115/74152</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/</a>
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Wataru_Kosaka_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 小坂 亘

審査担当者 主査 准教授 及川 俊一  
副査 教授 富岡 智  
副査 教授 佐々木 浩一  
副査 特任教授 越崎 直人

### 学位論文題名

不均一電場がもたらす  $E \times B$  ドリフトに対する量子論的効果  
(Quantum Mechanical Effects of  $E \times B$  Drift Caused by Inhomogeneous Electric Fields)

本論文では、これまで主として古典物理学の範疇で扱われていた弱い不均一性を持つ電場および一様磁場中の荷電粒子の量子力学的ドリフト運動並びに位置と運動量の分散を扱っている。

弱い非一様性を持つ電磁場中で荷電粒子が磁力線を横切る方向に運動する現象はドリフト運動と呼ばれ、磁場閉じ込め核融合プラズマの分野では閉じ込め性能を大きく左右する現象であるため古くから研究されてきた。低温物理分野では、超流動現象などを理解するための量子流体力学があるが、希薄で高温なプラズマでは、粒子が高速で運動しているためドブロイ波長が粒子間距離に比べると非常に短いため、これまでのプラズマ物理では、ごく稀にしか起こらない正面衝突に近いクーロン二体相互作用の場合を除き、量子力学的考察は殆どされてこなかった。

通常ドブロイ波長は波束(あるいは大雑把に粒子)の大きさ程度である。ところが磁場中では、磁場に直交した面内の荷電粒子の波束の広がりや運動状態にかかわらず電荷と磁束密度で決まることがランダウによって示されている。この特性長は磁気長と呼ばれるが、典型的な磁場閉じ込め核融合プラズマでは電子や陽子の磁気長は平均粒子間距離の1割程度と、ドブロイ波長に比べ極端に長い。自由粒子のように、一般に粒子が束縛状態にない場合、その波束は時間とともに広がってゆくことが知られている。プラズマ中の個々の荷電粒子の波束の大きさが粒子間距離程度に達すると波動関数同志の干渉が始まるが、この現象の量子力学的特性時間が、磁場核融合プラズマの古典的な衝突時間や閉じ込め時間よりも短ければ、プラズマは量子力学に支配されることになる。

本論文では、いくつかの弱い非一様性を持った電場と一様磁場のもと、非相対論的でスピンのない荷電粒子に対する非定常 Schrödinger 方程式を解き量子効果を含むドリフト運動と位置と運動量の分散の時間発展を求め、対応する理論解析として Heisenberg の運動方程式を近似的に解き、ドリフト速度演算子の定常解を求めた。得られたドリフト速度演算子の期待値の表式は、これまで古典的に知られていた表式に量子効果による減衰因子をかけて表され、これは非定常 Schrödinger 方程式の数値解析によって検証した。さらに、数値解析では位置と運動量の分散の時間変化率(本論文では膨張率と呼んでいる)を求めた。これらの分散の時間発展も、ドリフト速度に対する量子力学的減衰因子と同じ因子を持つことを明らかにした。

これを要するに、著者は、弱い不均一性を持つ電磁場中での荷電粒子のドリフト運動を量子力学的に扱い、古典力学で知られていたドリフト運動に量子力学的減衰因子が存在すること、および位置・運動量の分散の膨張率の数値実験式を求め、理論解析によりこれを確かめた。このことは、プラズマ物理学にたいして貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める