

氏名(本籍)	いとうとある 伊藤融(三重県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第3644号
学位授与年月日	平成17年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理解物科学研究所
学位論文題目	Study of neoclassical resonant transport in the GAMMA10 tandem mirror (タンデムミラー GAMMA10 における新古典共鳴拡散に関する研究)
主査	筑波大学教授 理学博士 長 照 二
副査	筑波大学教授 理学博士 森 岡 弓 男
副査	筑波大学教授 工学博士 今 井 剛
副査	筑波大学助教授 理学博士 片 沼 伊佐夫
副査	筑波大学助教授 理学博士 北 條 仁 士

論 文 の 内 容 の 要 旨

伊藤融氏はタンデムミラー型実験装置 GAMMA10 に置ける新古典共鳴拡散に起因するイオンの径方向輸送量を評価する目的で以下の研究を行った。

1. これまでの井戸型磁場配位に対して導出された新古典共鳴拡散の理論を任意の形状を持った磁場分布に対して適用できる新しい新古典共鳴拡散の理論を構築した。
2. この新古典共鳴拡散に関する新理論は井戸型磁場配位では従来の新古典共鳴拡散の理論に一致する。従って伊藤融氏の導出した新理論は、従来の理論を含んだより一般的な理論である。
3. この新古典共鳴拡散の新理論をタンデムミラー型実験装置 GAMMA10 の(井戸型磁場配位での近似が成り立たない)アンカー部および transition 部に適用して、その領域に存在するイオンの新古典拡散による径方向輸送量を初めて評価した。
4. その結果 GAMMA10 ではアンカー部および transition 部に存在するイオンの新古典拡散に起因する径方向輸送量は中央ミラー部に存在するイオンのそれに比べてイオン温度がある程度以上高い場合は、充分小さいことを初めて明らかにした。

以上の事が伊藤融氏の行った研究において、非常に新しくかつ重要な研究成果である。次にそれぞれの成果に関して詳細に述べる。まず新古典拡散理論を任意の形状を持つ磁場配位に適用できるように拡張するために、理論を構築する為の基礎となる座標系として共鳴粒子のドリフト軌道に座標軸の一つを置いた新しい座標系を採用した。この結果、従来の井戸型磁場配位の仮定下で用いられた写像の手法から粒子軌道平均の手法へと理論を拡張する事が可能になった。新古典拡散理論を構築する為の基礎となる方程式はドリフト運動論的方程式である。この方程式は磁場中の粒子の案内中心の運動に対する分布関数の時間発展を記述する方程式である。この方程式を解く為には複雑な磁場中の粒子の案内中心の運動の情報を取り入れる必要があるが、任意の磁場形状は座標軸の一つである粒子軌道に沿った平均操作を行う事で含まれている。この新しい新古典共鳴拡散理論を構築した事で GAMMA10 実験装置のアンカー部および transition 部の複雑な磁

場強度分布をしたミラー磁場においての新古典共鳴拡散によるイオンの径方向輸送量を理論的に計算する事が可能になった。この新理論は井戸型磁場配位では従来の理論に一致する。GAMMA10 実験装置は世界最大のタンデムミラー型核融合実験装置であり、この実験結果の物理的な理解は今後の核融合実験の進展に大きな貢献をする。前述したように新古典共鳴拡散は実験装置としてのイオンの径方向輸送に関する基本性能を決める重要な拡散であり、本研究によって初めて GAMMA10 実験装置全体のイオンの新古典共鳴拡散量を詳細に理論的に決定する事が出来た。具体的には新古典共鳴拡散の新理論の適用の為に必要な GAMMA10 の各ミラー磁場内での磁場の非軸対称性と粒子のバウンス運動との共鳴を通じてドリフト軌道が磁力管から径方向にドリフトして行く様なイオンのエネルギー、磁気モーメント、およびそのときの粒子軌道（つまり座標軸）を数値的に決定した。この座標系で（共鳴および非共鳴）イオンの一バウンス周期における径方向および方位角方向の変位量のエネルギー依存性を径方向電場の関数としてミラー磁場配位内で粒子の軌道に沿ったバウンス平均を数値的に実行する事で求めた。それらの数値情報を新古典共鳴拡散の新理論に代入する事で拡散係数が決定できた。この拡散係数には各ミラー磁場に捕捉されているイオンの全ての共鳴条件が入っている。この拡散係数を用いて各ミラー磁場に捕捉されたイオンの新古典共鳴による閉じ込め時間を数値的に決定した。その結果最も閉じ込め時間の短いイオンは GAMMA10 中央部を通過するイオンである事が初めて明らかになった。この物理的な理由はアンカー部や transition 部が軸方向の長さが短いのでそこに捕捉されているイオンが共鳴条件を満たすときの運動エネルギーが低いために径方向に逃げていく径方向ステップサイズが小さくなるためであることが明らかになった。以上の計算結果から GAMMA10 での新古典共鳴拡散によるイオンの径方向閉じ込め時間は中央ミラー部を通過するイオンの閉じ込め時間が最も短くて全体のイオンの新古典共鳴拡散による閉じ込め時間を決めていることが初めて明らかになった。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は任意の磁場配位に適用できる新古典共鳴拡散の新理論を構築した事が非常に重要な点である。この新古典共鳴拡散の新理論はタンデムミラー型核融合実験装置のプラズマ閉じ込めに関する基本性能を評価する上で欠かせない基本理論である。現実の多くのタンデムミラー型核融合実験装置はその磁場分布は井戸型モデルでは近似できない複雑な形状をしており、本研究の結果得られた新古典共鳴拡散理論によって初めて多くの現実のタンデムミラーでの新古典共鳴拡散に起因するプラズマの径方向の閉じ込め時間を評価することが可能になった。また実験装置間の性能の相互評価が可能になった。この新理論の構築によって現実に稼動している GAMMA10 実験装置に対して新古典共鳴拡散の評価が可能になった。その結果として本研究に置いて実際にこの新理論を GAMMA10 に適用して新古典共鳴拡散に起因するイオンの径方向の閉じ込め時間を理論的に明らかにした。以上の事は GAMMA10 の今後の実験の大きな貢献があるのみでなく、同種の磁場配位を持ったタンデムミラーにも適用可能な理論が得られた事になり、タンデムミラー型核融合研究の進展に大きな貢献をしたと評価される。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。