

論文審査の結果の要旨

氏名 相場政光

本論文は4章とアペンディックスからなる。第1章はイントロダクションであり、先ずFFAG（固定磁場強収束）加速器について概観した後、本研究の動機および目的について述べている。第2章では、強収束加速器中での共鳴横切りのビームダイナミクスについて一般的な議論を行っている。第3章では、PoP-FFAGおよびHIMACシンクロトロンに於いて行った共鳴横切りに関するビーム実験について詳述している。第4章では、ビーム実験で得られた結果について理論やシミュレーションと比較しながら考察を加え、最後に結論を述べている。アペンディックスでは、PoP-FFAGの後を受けて製作された150 MeV FFAGについてその概要を説明し、その他共鳴の逆方向横切りの場合のシミュレーションによる考察や3次元磁場中での計算機による粒子トラッキングの方法等について述べて、本編を補足している。

本研究は、エネルギー生産や医学利用さらにはミューオン加速器への応用等が期待されているFFAG加速器の開発を念頭において行われた、強収束加速器における共鳴横切りに関する研究である。FFAG加速器の場合のように磁場の非線形成分（基本的に八極成分）が支配的な場合、すなわちベータatronチューンの振幅依存性が強い場合に共鳴を横切ると、位相空間における中心以外の安定固定点（アイランド）によってビームの一部が捕獲されチューンが共鳴から離れるにつれて無限遠に持ち去られる、ということがこれまでにシミュレーションによって示されていた。さらに、粒子捕獲が起きる向きとは逆向きに共鳴を横切る場合には、ビームへの影響は粒子捕獲ではなくエミッタンスの増大となる、ということも定性的に言われていた。本論文提出者は、実際の加速器を用いて初めて実験的にこれらの現象の検証を行った。また、エミッタンスの増大を定量的に見積もることのできる評価式を導いた。

ビーム実験はPoP-FFAGおよびHIMACシンクロトロンを用いて行った。これらの加速器においてはそのままでは共鳴を横切らないので、PoP-FFAGでは電磁石のギャップを変えることによって、またHIMACシンクロトロンにおいては四重極電磁石の強さを時間的に変えることによって、恣意的に共鳴を横切るような状況を作

った。いずれの実験でも三次共鳴横切りにおけるアイランド捕獲をはっきりと観測している。PoP-FFAG における実験では、共鳴の強さおよび横切るスピードをパラメータとして、これらのパラメータへの捕獲効率の依存性を調べ、シミュレーションと実験結果が良く一致することを明らかにした。また、横切るスピードが十分に速いときは捕獲がみられなくなるが、どの程度スピードが速ければ十分かを定量的に見出した。一方、HIMAC シンクロトロンにおける実験では、粒子捕獲が起きる向きとは逆向きに共鳴を横切る場合には確かにエミッタンス増大が生じることを観測し、これが十分無視できるための条件式を作った。

以上の研究は、強収束加速器中での共鳴横切りに関する理解を深めただけではなく、問題なく共鳴を通過する条件を定量的に見出したという点で、FFAG 加速器の今後の設計に対して多大な貢献をしたと言える。

本論文は高エネルギー加速器研究機構の加速器研究施設のグループとの共同研究であるが、本研究の主眼であるビーム実験における実験計画の立案は論文提出者が行ったものであり、データ解析も彼自身が行ったものである。データ取得や解析結果の検討も、共同研究者の協力を得ながら論文提出者が主体的に行ったものである。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。