

氏名	豊 増 考 乃
学位（専攻分野）	博士（理学）
学位記番号	総研大甲第33号
学位授与の日付	平成4年 9月28日
学位授与の要件	数物科学研究科 加速器科学専攻 学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Relativistic Effects of Intrabeam Scattering in Storage Rings
論文審査委員	主 査 教 授 木 村 嘉 孝 教 授 鈴 木 敏 郎 教 授 黒 川 真 一 助教授 横 谷 馨 助教授 佐 藤 康太郎 教 授 神 谷 幸 秀（東京大学） 教 授 春 日 俊 夫（広島大学）

論文内容の要旨

ビームを構成する粒子群は、その内部において、各粒子間の相対運動により、クーロン相互作用を通して多重に散乱し合っている。散乱過程は弾性的であるが、粒子間のエネルギーのやりとりが確率的であるため、全体としてエミッタンスの増大を引き起こす。この問題は、最初、A. Piwinskyによって理論的に研究され、その後今日迄多くの人々がさまざまな手法でこの効果の分析を行っている。実験的にもCERNやFermi研究所の加速器でこの効果が観測されており、それらは、これまでの理論的研究が与える結果とよく合っている。

しかし、従来のこの問題に対する取扱は、対象が陽子や低エネルギーの電子ビームであったため、ビーム粒子群の重心系におけるビーム内散乱過程は全て非相対論的であるとしている。そこで本論文では、近年高エネルギー化の傾向が強い放射光源用の電子貯蔵リングを念頭に、ビーム内粒子散乱の過程に相対論的効果がどのように影響するかを研究した。

Piwinskyの解析手法を基礎に、ビーム内粒子散乱過程のkinematicsを相対論的に記述し直した。また、電子-電子散乱の素過程についても、相対論的に正しいMøller散乱の式を導入した。次いで、以上の、粒子群の重心系で記述された諸量をローレンツ変換によって実験室系の関係にもどし、本効果によるビームエミッタンスの増大等の問題を、計算機による数値計算を使って調べた。

よく知られているように、電子貯蔵リングでは、ビームのエミッタンスなどその性質の大部分が、放射光の放出によって決まる。ビーム内の電子は曲線的な運動をする場合、その接線方向に放射光を放出する。この際リング一周にわたり放出されるエネルギー量は粒子エネルギーの4乗に比例し、このエネルギー損失は中心軌道方向への高周波加速によって補われる。これらの効果が相乗的に作用し合う結果、ビームのエミッタンスやエネルギーの拡りは、放射減衰時間と云われる時間で一定の平衡値に収束する。そこで上のビーム内粒子散乱の効果を実際のビームにあてはめるに際しては、上記理論をこの放射減衰の理論と融合させる必要があった。

得られた結果は、ビームのエネルギーと貯蔵リングの平均半径をパラメータに、相対論的ビーム内散乱によるビームエミッタンス増加率の評価という形でまとめられている。始めに、既に稼働中ならびに現在建設中のビームエネルギー1～10 GeVの放射光源リングについて、相対論的ビーム内散乱の効果を調べた結果、最も高エネルギーのトリスタンリングについても増加率は約4%以下と極めて小さいことが示された。そこでこの結果を、ビーム内粒子散乱効果と放射減衰効果に分けて計算したところ、前者はほぼ予想通りエネルギーの増加とともに顕著となるが、放射減衰もエネルギーとともに強くなるため全体としてはビーム内散乱効果が現われてこないことが示された。

最後に、相対論的ビーム内散乱効果によるエミッタンスの増大が問題となるような加速器の設計条件を調べた。それは、極めて小さなエミッタンスを実現するため、高エネルギーの、かつ平均半径を非常に大きくした装置であり、具体的には、例えば、平均半径約5kmのCERNの電子貯蔵リングLEPを10 GeV程度のエネルギーで極低エミッタンス運転する場合などであるという結論が得られている。

論文の審査結果の要旨

豊増考乃君の学位論文「Relativistic Effects of Intrabeam Scattering in Storage Rings」は、高エネルギーの電子貯蔵リングにおいて、ビームバンチ内の粒子が相対運動によって互いにおつかり合う現象を論じたものである。従来この問題については、A. Piwinsky等の研究があり、放射減衰効果の弱い比較的低いエネルギーでのビーム貯蔵において、ビーム性能の劣化を引起こすことが知られている。豊増君が今回着目したのは、これら従来の研究が、バンチ内の粒子の相対速度は小さいとし、粒子間の散乱過程を非相対論的に取扱っている点である。近年放射光源用の電子貯蔵リングは、そのエネルギーが次第に高くなる傾向にあり、そのような場合バンチ内の粒子間散乱を相対論的に扱う必要があるのではないかと考えた。そこで豊増君は、Piwinskyの解析手法をベースにビームバンチ内散乱過程の相対論的定式化を行った。それは、粒子の運動を相対論的に扱うとともに、散乱の素過程についても相対論的なMøller散乱の式を導入したものである。これをもとに、同君は、バンチ内散乱によるビームエミッタンスの増大が、相対論的效果によってどのように影響されるかを詳細に分析した。結果は、現存又は近い将来完成する数GeVクラスの放射光源用加速器では、相対論的效果は極めて小さいことが判明した。相対論的效果によるエミッタンス増大は、期待されるようにエネルギーの上昇とともに顕著となるが、同時に強くなる放射減衰効果によって相殺されるためである。逆に同君の分析は、この効果は、ビームエネルギー10～20 GeVの貯蔵リングで、特に現在の装置より大きな曲率半径のものがつくられる場合には非常に重要となることを示した。

以上のように、豊増君の論文は、電子貯蔵リングのビームバンチ内散乱について、従来無視されてきた相対論的效果の影響を理論的に定式化し、かつ分析したもので、この問題に関する世界でも初めての研究であり、数物科学研究科加速器科学専攻の博士論文として相応しい内容を有していると判断した。

また、同君に対する博士論文を中心とする関連専門分野ならびに基礎分野、外国語等に関する学識の評価を、論文の口述発表とParticle Accelerators誌への投稿論文によって行った。それらは加速器物理に関する専門的試問や、加速器の

ビームの運動を理解分析するために必要な力学や電磁気学についての基礎的知識を問うものであったが、同君はこれらに対し十分な学識を有することを示した。

豊増君の学位論文に対する審査委員会の最終審査は、平成4年8月31日に、同君の論文公開発表を受けて行われ、審査員全員一致で本論文を合格と判定した。