

氏名	佐伯 宏
学位（専攻分野）	博士（学術）
学位記番号	総研大甲第30号
学位授与の日付	平成4年 3月31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	電子貯蔵リングにおけるマイクロパーティクルのトラ ッピング現象の観測と解析
論文審査委員	主査 教授 小早川 久 教授 近藤 健次郎 教授 渡辺 昇 教授 高田 耕治 教授 石丸 肇 教授 小林 正典 (高エネルギー物理学研究所) 教授 大見 忠弘(東北大学) 助教授 吉岡 正和

論文内容の要旨

本論文は、電子貯蔵リングにおいて、ビームダクト内のマイクロパーティクルが電子ビームへ吸引され、ビーム寿命を急激に短縮させる現象について述べたものである。

高エネルギー物理学研究所のトリスタン電子・陽電子衝突リングの入射蓄積リングARでは、電子貯蔵運転中にビーム寿命が突然短縮し、そのまま復帰しない現象ならびに短時間のビーム寿命の短縮がしばしば観測され、ビームダクト内に残留するマイクロパーティクルのトラップによると思われるビーム電流値の微小現象がしばしば観測されている。こうした現象は、精密化した物理実験やシンクロトロン放射光利用実験にとって大きな障害となり、世界各地の電子貯蔵リングで大変な問題となっている。しかしながら、マイクロパーティクルのトラッピング現象の本格的な観測や実験、その理論的考察などについてはほとんど行われていなかった。そこで、ビーム寿命が短縮する現象は、トラップされたマイクロパーティクルがビーム軌道周辺で運動するためと推測し、ARにおいてその機構解明を試みた。

ビームダクト内に残留するマイクロパーティクルは、光子の散乱照射による光電子放出で正電荷を与えられ、電子ビームがつくる電場の吸引力によりトラップされると考えられる。また、トラップされたマイクロパーティクルと電子ビームとの衝突では、残留ガスによる制動放射に比べてはるかに多量の制動放射（ガンマー線）が観測できると期待される。さらに、数秒間程度の時間範囲での制動放射を観測することで、ビーム軌道周辺でのマイクロパーティクルの運動が推測できると考え、鉛ガラスカウンターを使用した制動放射の観測を行った。その結果、観測例は2例であるが、ビーム寿命が短縮し持続した状態で、電子ビームのバンチ信号に対応した高エネルギーの制動放射の信号、マイクロパーティクルがビームを上下に通過したと考えられる時間幅0.1 - 0.2 msの信号と特徴的な2連の1 - 2秒の周期性のある信号を観測した。また、観測された信号の電圧は6.5 GeV（ビームエネルギー）のガンマー線のそれよりはるかに高いものであった。さらに、観測結果からマイクロパーティクルが0.05 - 0.2 m/sの速度で電子ビームの進行方向に移動していることが

観測された。

一方、ARにおけるマイクロパーティクルのトラップする条件、トラップされうる大きさとそのビーム軌道周辺での運動の解析をMarinの式を用いて行った。ビーム直下にマイクロパーティクルが存在し垂直上方に電氣的に吸引されると仮定して解析した。それらの電荷を Q (Coulomb)、質量を m (kg)、電子ビームによりつくりだされるビームダクト底面における電場を E (V/m)とした場合、ARにおけるマイクロパーティクルのトラップする条件として得られた QE/m の値は 1.85×10^5 (Newton/kg)となった。パーティクルの表面に現れる電荷は光子のエネルギーに依存する。ビームダクト内で採取されたマイクロパーティクルの多くはアルミニウム系とチタン系で、吸引されうるパーティクルの大きさを試算した。それらの形を球形とした時の計算では、材質がアルミニウムの場合、最大粒径は約100ミクロンで、チタンの場合は約70ミクロンであった。マイクロパーティクルのビーム軌道周辺での運動を単純な垂直振動とした計算で、その運動周期は約0.7秒となり、2例の観測結果とほぼ一致した。

ARにおいて、実際のビームダクトとイオンポンプ内で採取したサンプルのマイクロパーティクル(サイズ50-100ミクロン)を挿入してのトラッピング実験を行った。9回の実験で4回、サンプルのいくつかが電子ビームにトラップされたと考えられる短時間のビーム寿命の短縮とビームのバンチ信号に対応した高エネルギーの制動放射の信号、マイクロパーティクルがビームを通過したと考えられる信号を観測した。ビーム寿命の短時間の短縮は、トラップされたマイクロパーティクルが、ビーム損失による発熱で破壊されるためと推測する。また、ARにおいてビーム寿命が回復しない場合は、マイクロパーティクルが発熱により破壊されずビーム軌道周辺を運動し続けるためと考えられる。

ARにおいてビーム寿命が短縮した場合、2連の周期1-2秒の高エネルギーの制動放射を観測した。マイクロパーティクルのビーム軌道周辺での運動周期は観測値とほぼ一致した。また、トラップを考慮してビーム寿命を計算したところ観測値とほぼ一致した。従って、ARで発生するビーム寿命が短縮し持続する現象はマイクロパーティクルに起因していると結論できる。

論文の審査結果の要旨

高エネルギー物理学実験およびシンクロトン放射利用実験に使われる電子貯蔵リングにおいて、電子ビームを貯蔵運転中に突然ビーム寿命が短縮するという現象がしばしば生じる。このことは精密化した物理実験や放射光利用実験にとって重大な障害となり、世界各地の電子貯蔵リングで大きな問題となっている。この原因についてはこれまでに数多くの推察がなされている。そのうち真空ビームダクト内に残留する微粒子（マイクロパーティクル）が帯電し、クーロン力により電子ビームに引き込まれ（トラップ）、その影響でビーム寿命が短縮するという考えが有力である。しかしながらこれを証明するに足る実験データ、理論的考察もなく推測の域を出ていない。

今回佐伯宏君が博士論文として行った研究は、高エネルギー物理学研究所のトリスタン用入射蓄積リング（AR）において、電子ビームを貯蔵した際生じるビーム寿命短縮について実験・理論両面から詳細に検討を行い、マイクロパーティクルのトラップ現象を確実に裏付けたものである。

佐伯君は、ビーム寿命短縮に伴って生じる制動放射ガンマ線を鉛ガラスカウンター（ガンマ線の全エネルギーを電気信号に換え測定するカロリメータ）を用いて観測した。その信号はビームダクト内の残留ガスによるものより電圧は非常に高く、かつ周期性をもつという際だった特徴を示すものであった。

佐伯君は、この制動放射信号の周期性がトラップされたマイクロパーティクルの運動によることを計算により明らかにした。また寿命の短縮、マイクロパーティクルの発熱と破壊、制動放射信号の電圧の高さ等についても考察することで、トラップ現象を裏付けた。またビームダクト底部に予め微粒子を置き、上記の現象が実際に起きることも確認した。

以上のように佐伯宏君の論文は、ビーム寿命短縮に伴う制動放射を観測するとともに、そのデータを基に理論的原因を究明したものである。とくに制動放射信号の周期性については初めての観測例であり、これによりマイクロパーティクルの運動を解明することができたものである。以上の研究は数物科学研究科加速器科学専攻の博士学位論文として相応しい内容を有していると判断した。