

22a-9

負イオンビームの縦方向(longitudinal)エミッタンス測定の新方式

A New Scheme for Measuring the Longitudinal Emittance
of Negative Ion Beams神藤 勝啓、森 義治^{A)}
総研大、KEK^{A)}

Abstract

A new scheme for measuring the longitudinal emittance of high energy negative ion beams is proposed. The energy distribution of the stripped electron from the negative ions by photodetachment process, if the photon energy is almost equal to the electron binding energy of negative ion (= electron affinity of the atom), reflect that of the original negative ion. Therefore, by introducing the photon in a short width comparing with the bunch width of the negative ion beam, the longitudinal momentum distribution of the beam, that is the longitudinal emittance, can be measured.

Key words: negative ion beams, longitudinal emittance, electron affinity, photodetachment, stripped electron, energy distribution

1.はじめに

高エネルギー物理学研究所の陽子シンクロトロン(KEK-PS)では、荷電交換多重入射によるビーム強度の増大を行うために入射ビームとして負水素イオンを用いている。ビームを入射器からシンクロトロンへ入射する際、効率良くビームを入射および加速するためには、入射ビームのエミッタンスをシンクロトロンのアクセプタンスに十分にマッチングする必要がある。現在までに、transverseのマッチングについては十分に調査が行われてきた。一方、longitudinalのマッチングについてはビームのエネルギー中心値とその分布が目安として用いられている。KEK-PSのブースターのlongitudinalの入射は断熱的ビーム捕獲法で行われている。この方法では、100%のビームを捕獲することは原理的に不可能である。RFバケツの外側近くに入った粒子は、わずかの摂動によって安定軌道からはずれてロスになる。

従って、このようなロスを除くためにRF位相の最外側に予めビームを入れないビームチョッピングあるいはビームバンキングが必要とされている。これが可能ならば、断熱ビーム捕獲を行わずに予めRF電圧を高くしてビームを入射することも可能になる。ただしこの場合には、longitudinalのアクセプタンスとマッチングしたビームを入射することが重要となる。リニアックからのビームのエネルギー分布は分析電磁石により行わ

れており、測定されたエネルギー分布の時間的変動をモニターすることで最適化されている。

longitudinal のビーム光学マッチングを十分に行うためには、longitudinal のビームのエミッタンスを正確に測定できればよい。特に、ビームチョッピングを行ってRFバケツとのマッチングをとる場合には、入射ビームのlongitudinalのエミッタンスの情報は最重要であると考えられる。しかしながらビームのエミッタンスを直接測定できる実際的な方法は、我々の知りうる限りではこれまで存在しない。

現在、KEK-PSのリニアックからのビームについても分析電磁石を用いてエネルギー分布が測定されている。しかし、(1)測定システムの大型化、(2)ビーム輸送時の測定誤差増大の可能性、(3)ビーム位置(位相)に関する情報の欠如などの問題点がある。

入射ビームとして負イオンビームを用いているという特徴を利用すればビームのエネルギー分布を簡便にかつ比較的小型の装置で測定が可能と考えられる。その簡便方法を考案したのでこれについて報告する。¹⁾

2. 脱離電子を用いた負イオンビームのlongitudinalのエミッタンス測定法

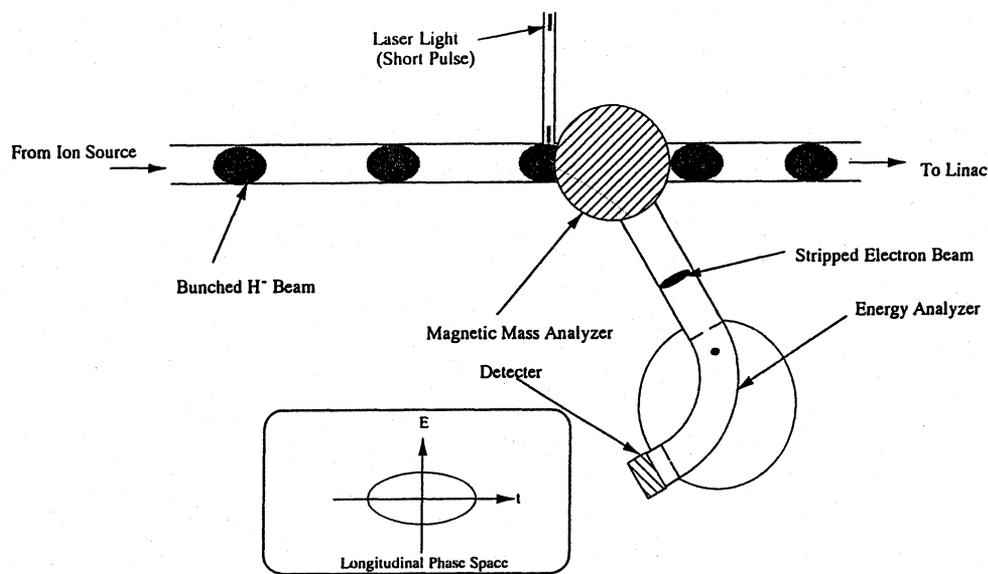
KEK-PSの入射ビームとして用いられている負水素イオンは、水素原子にさらに1個電子が結合したイオンである。そのときの結合エネルギーは電子親和力と定義されており、水素原子の場合 $E_e=0.754\text{eV}$ である。したがってこの電子親和力に相当するエネルギーを外部から加えると、負イオンの電子は容易に脱離する。例えば、光を外部から入射すると光脱離(photodetachment)という過程で負イオン中の電子が脱離する。

この脱離電子は、もともとの負イオンビームと同じ速度をもって運動する。したがって脱離の際に電子へのエネルギーの受け渡しが小さく無視できるような場合には、この電子の速度分布は元の負イオンビームの速度分布を反映していると考えられる。脱離電子の運動量は、負イオンのそれとの質量比($\frac{m_e}{m_H}=\frac{1}{1838}$)に等しい。したがってこの脱離電子の運動量分布を測定するために用いる測定器の大きさは、負水素イオンのそれに比べて質量比の分小さくすることが可能である。例えば、KEK-PSのリニアックで40MeVにまで負水素イオンビームが加速されるが、そのときの脱離電子のエネルギーは20keV程度でありこの電子の運動量分布を測定すればよい。

さらに、電子を脱離するための外部からの光子をパルスレーザーを用いてビームのパンチ長に対して短時間で導入することができると、longitudinalの各位置のビームの運動量分布を測定することが可能であり、これはlongitudinalのエミッタンスの測定を行うことを示す。

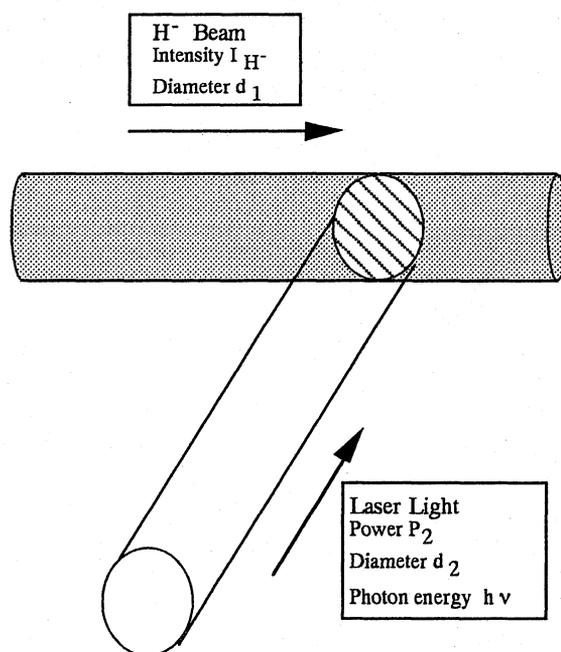
3. 負水素イオンから脱離した電子電流密度

第1図に脱離電子による負イオンビームのlongitudinalのエミッタンス測定のための実験(Stripped Electron Emittance Measurement for Negative Ion Beams 略してSEEM)の概略図を示す。加速管で加速された負水素イオンビームに水素原子の電子親和力程度の光子エ



第1図 SEEM 実験概念図

エネルギーのレーザー光を入射することによって、負水素イオンの電子は脱離する。光脱離するためのストリッピング領域の下流部には、脱離電子の運動量分布を測定するためにエネルギー分析器を設けている。このとき、負水素イオンビームにレーザー光を入射することにより脱離する電子の生成数について考える。電流強度 I_{H^-} 、ビーム径 d_1 の負イオンビームにレーザーパワー P_2 、光子エネルギー $h\nu$ 、ビーム径 d_2 のレーザー光を第2図のように垂直に入射したとき、生成される電子電流密度 j は、



第2図 レーザー光による負水素イオンの光脱離

$$j = en_H v \sigma n_{ph} d_2$$

$$= \frac{16 I_H \sigma P_2}{\pi^2 d_1^2 d_2 h \nu c}$$

で与えられる。ただし、 n_H^- は負イオン密度、 n_{ph} は光子の数密度である。また、 σ は光脱離の断面積である。例えばKEK-PSの負イオン源の場合、負イオンビーム強度10mA、ビーム径10mm、またレーザーパワー10W、光子エネルギー1eV、ビーム径2mmのレーザー光を用いたとする。断面積は、約 $5 \times 10^{-17} (\text{cm}^2)$ であるから、生成される電子電流密度 j は、約 $8.4 \times 10^{-9} (\text{A/cm}^2)$ となる。脱離電子ビームはあまり広がらずその径が負イオンビームの径とほぼ等しいとき単位時間に流れてくる電子数は、 6.7×10^{10} 個である。引き出された負イオンビームが約0.1%のDuty factorのパルスビームである時、脱離電子の単位時間当たりの数は 6.7×10^6 個となる。

4.今後の計画

現在、脱離電子のエネルギー分布の測定を行うために実験装置を設計、制作中である。装置が完成次第測定を行い、その後実際にパルスレーザーを用いて縦方向のエミッタンス測定を行う予定である。

参考文献

- 1) 森 義治、神藤 勝啓 : KEK-PS. Accelerator Study Note ASN. '94, to be submitted.