

MEASUREMENT OF EMITTANCE AND TWISS PARAMETERS USING A SCREEN MONITOR

M. Yukishima, B. Feng, A. Kurihara, T. Nakazato, M. Oyamada, Y. Shibasaki, S. Takahashi, S. Urasawa, K. Watanabe and T. Yamakawa

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University
Mikamine, Taihaku-Ku, Sendai, 982 Japan

Abstract

At Laboratory of Nuclear Science, the Stretcher Booster Ring (STB) is under construction. To design its beam transport, which connects the linac to STB, it is important to know the emittance and Twiss parameters at the entrance of the beam transport, or the exit of the linac. We measured these parameters at the point along the existing beam transport and worked out Twiss parameters at the entrance of a beam line. An experiment was done by measuring the beam size with changing the strength of a quadrupole magnet. Normalized emittance of $(4.77 \pm 0.07) \times 10^{-5}$ m·rad in x-direction and of $(4.39 \pm 0.09) \times 10^{-5}$ m·rad in y-direction are measured, respectively.

スクリーンモニターを用いたエミッタンス、ツイスパラメータの測定。

§ 1. はじめに

東北大学理学部原子核理学研究施設では平成7年度からストレッチャー・ブースタリング (STB) の建設が開始される。ライナックとSTBを結ぶビーム輸送系を設計する上で、入り口 (=ライナック出口) でのエミッタンス、ツイスパラメータの値は出口 (=STB入射点) での整合性を取る上で知っておかなくてはならない重要なパラメータである。ここでは1994年10月7日に行われたこれらのパラメータの測定結果を報告する。

§ 2. 実験

2.1 測定原理

四極電磁石の磁場を変えると、その下流でビームサイズ ($\sigma = \sqrt{\varepsilon \beta}$) は

$$\sigma^2 = A (K - B)^2 + C \quad (1)$$

のように変化する⁽¹⁾。ここで、Kは四極電磁石の磁場の強さを表すパラメータであり $K = B' l / B \rho$ で定義され B' は磁場勾配、 l は磁場の有効長、 $B \rho$ はビームと同じ運動量を持った電子が円運動をするときの磁場と曲率半径の積である。但し、上の式は四極電磁石を薄肉近似 (四極電磁石の厚さをゼロとする近似) で扱った時の式である。Kの値を変えてビームサイズを測定し(1)式でフィッティングすることによりA、B、Cの値を数値的に求め、それらより四極電磁石入り口でのエミッタンス、ツイスパラメータを求める。エミッタンス ε 、

ツイスパラメータ α 、 β 、 γ はA、B、Cを用いると次のように表せる。

$$\varepsilon = \frac{1}{L^2} \sqrt{AC}$$

$$\alpha = \frac{A}{C} \left(B + \frac{1}{L} \right)$$

$$\beta = \frac{A}{C}$$

$$\gamma = \frac{1}{AC} \left(AB^2 - 2 \frac{AB}{L} + \frac{A}{L^2} + C \right)$$

但し、Lは磁場を変える四極電磁石からビームサイズを測定する点までの距離である。この実験ではLの長さは7.32mであり磁場を変える四極電磁石は第1図のQ20である。

2.2 実験方法

ビームサイズの測定は第1図のように散乱槽内に蛍光スクリーンを置きビームが当たり発光したところをカメラでモニターしそれを画像処理することにより行う。画像処理系は第2図のようになっている。スクリーンは厚さ約130 μ mのデュマルケスト ($A l_3 O_3 +$ 酸化Ca) を使用しスクリーンホルダーには縦方向1mm、横方向 $\sqrt{2}$ mm間隔の目盛りがついており長さの換算を行う。又、目盛りを見やすくするためにスクリーンはビームラインに垂直な面に対して40度傾いて取り付けられている。カメラはCCDカメラ (プロテックジャパン)

NCVKB-251E) を使いライナックからのトリガー信号にディレイをかけたものをトリガー信号として入力した。実験では70-210mmのレンズで散乱槽から約1m離してモニターし、画面の1画素当り横方向(X)0.0468mm、縦方向(Y)0.0426mmの分解能が得られた。画像処理装置(株式会社ピアSLA-555)はモニターした画面の光の強度を画素毎に数値化し、縦方向にその数値を足し合わせ横方向のデータとし、横方向にその数値を足し合わせ縦方向のデータとして与える。画像処理は処理装置の性能上一度VTRに録画した物について行ったが録画による画像の乱れは無視できる。

実験は、ビームエネルギーは210.45MeV、繰り返しは60Hz、二次電子モニタ(SEM、効率13.8%)で測定した平均ビーム電流は81nA、第3図に示してあるスリットの幅は各々、SD-II 4.5mm、SD-II X6.0mm、SA-II 3.0mmである。但し、SD-II、SA-IIの表示値は3.0mmのオフセットがあった。SA-IIのエネルギー分解能($\Delta E/E$)は1mm当り0.05%であるのでこの実験でのエネルギー分解能は0.15%である。又、Q20の電流の値は10回変えて測定した。

§ 3. 結果

画像処理装置より得られるデータを基に横軸を座標、縦軸を光の強度としてグラフを描きガウス分布で χ^2 フィットをした一例が第4図である。ここではビームのでていないときのデータをバックグラウンドとして差し引いてある。又、ビームサイズはガウス分布の標準偏差 1σ とした。ビーム毎のばらつきを考慮に入れるため1つのKの値に対して10回測定し平均値、標準偏差を求め標準偏差をそのKの値に対する誤差とした。これよりKと σ^2 との関係を描いて(1)式で χ^2 フィットしたのが第5図である。

これよりエミッタンス、ツイスパラメータを求めたものを第1表に記す。その値を基にしてライナック出口(SD-II X)とスクリーンでのツイスパラメータの値を転送行列を用い求めた。転送行列は第3図のライナック出口からスクリーンまでのビーム輸送系を基に作った。

§ 4. 考察

得られたエミッタンスから規格化されたエミッタンス($\epsilon n = \beta \gamma \epsilon$)を求めると

$$\epsilon_{nx} = 4.77 \times 10^{-5} \pm 0.07 \times 10^{-5} \text{ mrad}$$

$$\epsilon_{ny} = 4.39 \times 10^{-5} \pm 0.09 \times 10^{-5} \text{ mrad}$$

と成る。これは以前早野らがワイヤースキャナとスクリーンモニターを使って測定した値⁽²⁾

$$\left. \begin{array}{l} \epsilon_{nx} = 7.3 \times 10^{-5} \text{ mrad} \\ \epsilon_{ny} = 5.5 \times 10^{-5} \text{ mrad} \end{array} \right\} \text{ワイヤースキャナー}$$

$$\left. \begin{array}{l} \epsilon_{nx} = 8.5 \times 10^{-5} \text{ mrad} \\ \epsilon_{ny} = 4.1 \times 10^{-5} \text{ mrad} \end{array} \right\} \text{スクリーンモニター}$$

と比較すると、Y方向は良く合っていると言えるがX方向はそうではない。スリット幅はX方向は頻りに動かしY方向は半固定であることを考えると、この実験結果と早野らの結果は矛盾しない。又、SD-II Xからスクリーンまでのベータ関数、イータ関数、ビームサイズをビーム軌道解析プログラムSAD⁽³⁾で求めた。それによると、エネルギー幅を決めるスリットSA-IIはQIIの下流0.77mの所にありそこでのビームサイズが1.5mmとなっており先にSA-IIの幅を3.0m(全幅)としたことと一致する。

§ 5. まとめ

スクリーン上でのビームサイズを測定することによってエミッタンス、ツイスパラメータを得、それより転送行列を使いライナック出口でのツイスパラメータを得た。

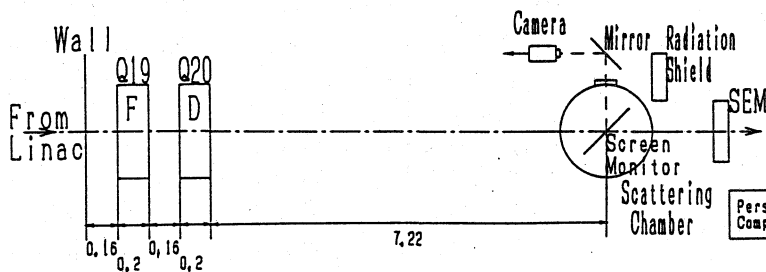
この実験で使用した画像処理装置はデータを取るのに1画面10分程度かかった。現在はその場でビームのプロファイルがわかる新機種がある。それを使用すればビームサイズがリアルタイムにわかりエミッタンス、ツイスパラメータを即座に求めることができる⁽⁴⁾。

謝辞

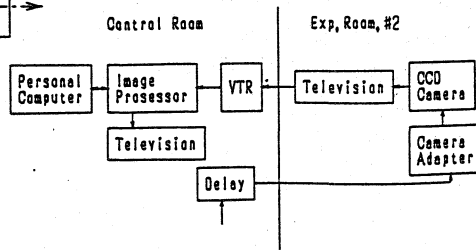
本実験で使用した画像処理装置等について多大な御協力並びに御指導をいただいた高エネルギー物理学研究所の内藤孝氏、及びビーム軌道解析プログラムSADを使用するに当たり御指導いただいた同研究所の生田勝宣氏に深く感謝いたします。

参考文献

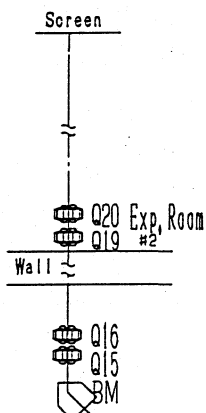
- 1) J. S. Sheppard, J. E. Clendenin, R. H. Helm, M. J. Lee and R. H. Miller: IEEE Trans. Nuc. Sci. NS30 (1983) 2161.
- 2) 早野仁司、浦川順治、吉岡正和、菊池光男、内藤孝、山川達也、小山田正幸、浦澤茂一、中里俊晴: 核理研研究報告 26 (1993) 340.
- 3) K. Hirata: CERN 88-04 (1988) 62
- 4) 内藤孝: 私信



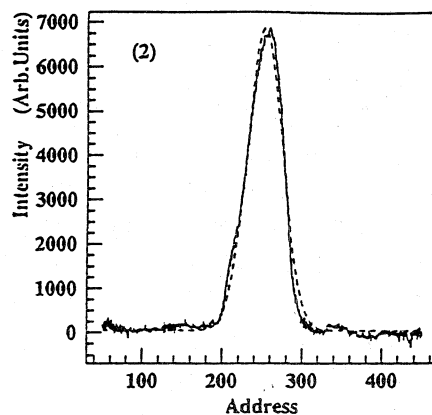
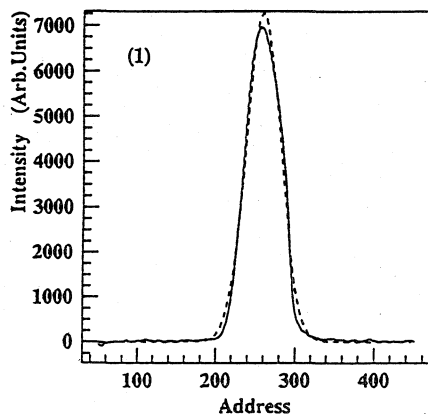
第1図 ビームサイズ測定の配置



第2図 画像処理系

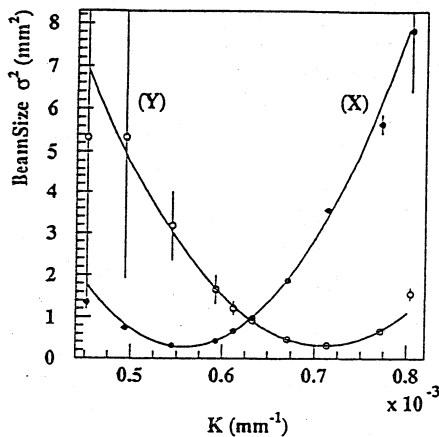
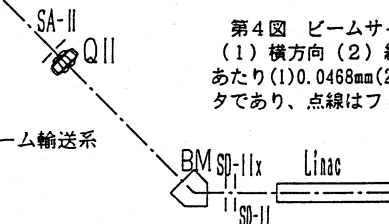


第3図 II系ビーム輸送系



第4図 ビームサイズ

(1) 横方向 (2) 縦方向を表す。横軸は画面上でのアドレス(画素の番号)で、1画素あたり(1)0.0468mm(2)0.0426mmである。縦軸は光の強さである。実線は測定されたデータであり、点線はフィッティングした関数である。



第5図 四極電磁石の磁場の強さ(K)とビームサイズの二乗(σ^2)の関係

黒丸が横方向(X)、白丸が縦方向(Y)をあらわす。フィッティングは、 $Y=A(K-B)^2+C$ という二次関数で行い、A、B、Cの値はそれぞれ
 横方向 $A=1.301 \times 10^8 \pm 2.407 \times 10^6$, $B=5.586 \times 10^{-4} \pm 8.157 \times 10^{-7}$, $C=2.820 \times 10^{-1} \pm 6.793 \times 10^{-3}$
 縦方向 $A=9.870 \times 10^7 \pm 3.684 \times 10^6$, $B=7.102 \times 10^{-4} \pm 1.072 \times 10^{-6}$, $C=3.151 \times 10^{-1} \pm 4.780 \times 10^{-3}$
 である。ただし単位はA[mm⁴], B[mm⁻¹], C[mm²]である。

	横方向(X)	縦方向(Y)
エミッタンス ($\times 10^{-7}$ mrad)	1.13 \pm 0.02	1.04 \pm 0.02
ツイスパラメータ (SD-II X)		
α	-2.19×10^{-1}	-4.44×10^{-1}
β (m)	23.2	15.5
γ (m ⁻¹)	4.51×10^{-2}	7.71×10^{-2}
(Q20)		
α	14.9	-10.2
β (m)	21.5	17.7
γ (m ⁻¹)	10.4	5.88
(スクリーン)		
α	-1.16	7.05×10^{-2}
β (m)	4.07	15.9
γ (m ⁻¹)	5.77×10^{-1}	6.32×10^{-1}

第1表 エミッタンス、ライナック出口、Q20、スクリーンでのツイスパラメータの値