D e u t s c h e s E l e k t r o n e n - S y n c h r o t r o n (DESY)
Hamburg - Gr.Flottbek 1, Flottbeker Drift 56

DESY A 2.32

Hamburg, den 16.9.1958
Dr.Vo/Schw.

Debuncher

(nach einem Vorschlag von Herrn Steffen)

Es wird eine Debunchermagnetanordnung mit der Gesamtablenkung 0 vorgeschlagen, bei der die Strahloptik möglichst wenig verändert werden soll, Strahlen verschiedener Energie jedoch Laufzeitunterschiede erfahren.

(s. beiliegende Skizze).

Die Transformationsmatrix für einen Sektor lautet:

$$\vec{y}_{n+1} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & R\sin\alpha \\ -\frac{1}{R}\sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix} \vec{y}_n \pm \begin{pmatrix} R(1-\cos\alpha) \\ \sin\alpha \end{pmatrix} \frac{\Delta p}{p}$$

Die Transformationsmatrix für ein gerades Stück lautet:

$$\vec{y}_{n+1} = \begin{pmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \vec{y}_n$$

Die Transformation von y_1 nach y_6 lautet:

$$\vec{y}_6 = \begin{pmatrix} \cos 4\alpha - \frac{L}{R}\sin 4\alpha + \frac{L^2}{R^2}\sin\alpha\cos\alpha\sin 2\alpha & R\sin 4\alpha + 2L\cos\alpha\cos 3\alpha - \frac{L^2}{R}\cos^2\alpha\sin 2\alpha \\ -\frac{\sin 4\alpha}{R} + \frac{2L}{R^2}\sin\alpha\sin 3\alpha - \frac{L^2}{R^3}\sin^2\alpha\sin 2\alpha & \cos 4\alpha - \frac{L}{R}\sin 4\alpha + \frac{L^2}{R^2}\sin\alpha\cos\alpha\sin 2\alpha \end{pmatrix} \vec{y}_1$$

$$+ 2(1-\cos\alpha) \begin{pmatrix} R(\cos 3\alpha - \cos\alpha) - 2L\sin\alpha\cos\alpha(1+2\cos\alpha) - \frac{L^2}{R}\cos^2\alpha(1+\cos\alpha) \\ -(\sin 3\alpha - \sin\alpha) - \frac{L}{R}(\cos 3\alpha + \cos 2\alpha) + \frac{L^2}{R^2}\sin\alpha\cos\alpha(1+\cos\alpha) \end{pmatrix} \frac{\Delta p}{p}$$

Für ein Verhältnis L/R von 0,1 ergibt sich mit einem Ablenkwinkel von $\alpha = 0{,}760409$ ($= 43^\circ\ 34'\ 5{,}5''$) die Gesamttransformation von (1) nach (12) zu:

$$\vec{y}_{12} = \begin{pmatrix} +1 & 0 \\ 0 & +1 \end{pmatrix} \vec{y}_1 + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{\Delta p}{p_0}$$

An der Stelle f liegt die Fokussierungsebene für Parallelstrahlbündel. Die Transformation von y_1 nach y_f lautet:

$$\vec{y}_f = \begin{pmatrix} \cos 2\alpha - \frac{L}{2R}\sin 2\alpha & R\left(\sin 2\alpha + \frac{L}{R}\cos^2\alpha\right) \\ \frac{1}{R}\left(\frac{L}{R}\sin^2\alpha - \sin 2\alpha\right) & \cos 2\alpha - \frac{L}{2R}\sin 2\alpha \end{pmatrix} \vec{y}_1 + \begin{pmatrix} 2R\cos\alpha(1-\cos\alpha) + \frac{L}{2}\sin 2\alpha \\ \sin 2\alpha - \sin\alpha\left(2 + \frac{L}{R}\sin\alpha\right) \end{pmatrix} \frac{\Delta p}{p_0}$$

und numerisch

$$\vec{y}_f = \begin{pmatrix} 0 & R\,1{,}05025 \\ -\frac{1}{R}\,0{,}95025 & 0 \end{pmatrix} \vec{y}_1 + \begin{pmatrix} R\,0{,}44904 \\ -\,0{,}428186 \end{pmatrix} \frac{\Delta p}{p_0}$$

Eine anfängliche Strahldivergenz von $\pm\ 10^{-3}$ ruft in der Fokussierungsebene eine Unschärfe von 0,736 mm hervor. Diese entspricht einer Energieunschärfe von $\pm$ 0,223 %.

Der Umwegfaktor, d.h. die relative Wegverlängerung bei einer Impulsabweichung:

$$A = \frac{\Delta L}{R\,\frac{\Delta p}{p_0}} \qquad \text{ist}$$

$$A = 8\alpha - 4\sin\alpha\Big\{2 + 2(1-\cos\alpha)\Big[\cos\alpha - \cos 3\alpha + \frac{2L}{R}\sin\alpha\cos\alpha\,(1 + 2\cos\alpha) + \\ + \frac{L_2}{R^2}\cos^2\alpha\,(1 + \cos\alpha)\Big\}$$

$$A = -1{,}906578$$

Soll durch eine totale Impulsabweichung von 5 % ein Gangunterschied von 0,33 Wellenlängen (= 3,5 cm) hervorgerufen werden, ergibt sich damit ein R von 36,8 cm. Die Gesamtlänge der Anordnung beträgt somit 2,177 m, die Bahnlänge des Sollstrahls 2,387 m.

Fehler der Anordnung

1. Linsenwirkung in der senkrechten Richtung durch das Streufeld für Strahlen mit Impulsabweichungen.
2. Öffnungsfehler und chromatische Fehler.
3. Fehler, die durch die Toleranzen beim Bau entstehen.

Zu 1.

In der Anordnung werden 8 Feldgrenzen von Strahlen abweichender Energie schräg durchsetzt. Die durch das Streufeld in den gaps verursachten Linsen in der senkrechten Richtung haben allgemein die Brennweite $f = R/\varepsilon_i$, wobei ε der Winkel zwischen Strahl und Normale auf der Feldbegrenzung ist. Da der Abstand in den gaps klein ist gegen die Brennweite dieser Linsen, können immer jeweils zwei Linsen zu einer mit der halben Brennweite zusammengefaßt werden. Es entsteht so ein Linsensystem von 4 Sammel- oder Zerstreuungslinsen (je nachdem $\Delta p/p$ positiv oder negativ ist), zwischen denen die jeweils konstante Länge B liegt. Die beiden äußeren Linsen haben die Brennweite f_1, die beiden inneren die Brennweite f_2. Dabei ist

$$f_1 = R \cdot (2 \sin\alpha \, \Delta p/p)^{-1} = \underline{26{,}7 \text{ cm} \cdot (\Delta p/p)^{-1}}$$

bei einer maximalen Impulsabweichung von 2,5 % ergibt sich damit eine kürzeste Brennweite von $f_{1min} = 10{,}68$ m.

$$f_2 = R\Big(2\sin\alpha \, \Delta p/p \,\big\{1 - 2(1-\cos\alpha)\big[(\cos 3\alpha - \cos\alpha) - 2L/R \sin\alpha\cos\alpha(1+2\cos\alpha) - L^2/R^2 \cos^2\alpha(1+\cos\alpha)\big]\big\}\Big)$$

$$f_2 = 14{,}4 \text{ cm}(\Delta p/p)^{-1}$$

$$B = 2 \cdot \alpha R + L = 59{,}68 \text{ cm}$$

Bei einer maximalen Impulsabweichung von 2,5 % wird damit die minimale Brennweite von f_2

$$f_2 = 5{,}76 \text{ m}.$$

Die Transformation über das ganze Linsensystem lautet:

$$\vec{y}_e = \frac{-1}{f_1^2 f_2^2}\begin{pmatrix} f_1^2 f_2^2 + 3Bf_1^2 f_2 + 3Bf_1 f_2^2 + 4B^2 f_1 f_2 + B^3 f_1 + B^2 f_1^2 & 3Bf_1^2 f_2^2 + 4B^2 f_1^2 f_2 + B^3 f_1^2 \\ 2f_1 f_2^2 + 6Bf_1 f_2 + 2f_1^2 f_2 + Bf_1^2 + 4B^2 f_2 + 3Bf_2^2 + B^3 + 2f_1 B^2; & 3Bf_1 f_2^2 + 4B^2 f_1 f_2 + 3Bf_1^2 f_2 + B^3 f_1 + B^2 f_1^2 + f_1^2 f_2^2 \end{pmatrix} \vec{y}_A$$

(y_A und y_e rechnen vom 1. zum letzten gap!)

Unter Vernachlässigung von höheren Potenzen von B erhält man:
(d_i sind die reziproken Brennweiten)

$$\vec{y}_e \begin{pmatrix} 1 + 3B(d_1 + d_2) & 3B \\ 2d_1 + 2d_2 + B(d_2^2 + 6d_1 d_2 + 3d_1^2) & 1 + 3B(d_1 + d_2) \end{pmatrix} \vec{y}_A$$

Für die maximalen Energieabweichungen von $\pm$ 2,5 % ergeben sich damit folgende Übertragungsmatrizen:
Für das System mit Zerstreuungslinsen (positive Impulsabweichung):

$$\vec{y}_e = \begin{pmatrix} 1{,}478 & 179{,}04\ \mathrm{cm} \\ 0{,}00626\ \mathrm{cm}^{-1} & 1{,}478 \end{pmatrix} \vec{y}_A$$

Für das System mit Sammellinsen (negative Impulsabweichung):

$$y_e = \begin{pmatrix} 0{,}522 & 179{,}04\ \mathrm{cm} \\ -0{,}004428\ \mathrm{cm}^{-1} & 0{,}522 \end{pmatrix} y_A$$

Für die Randstrahlen mit der maximalen positiven Impulsabweichung entsteht somit eine Winkeldivergenz von ca. $3{,}1 \cdot 10^{-3}$; ist gleichzeitig eine anfängliche Divergenz von $1 \cdot 10^{-3}$ vorhanden, erhöht sich dieser Wert auf ca. $4{,}6 \cdot 10^{-3}$ rad. Gleichzeitig erfahren die Randstrahlen eine Abstandvergrößerung von 0,5 cm auf 0,74 cm, mit ursprünglicher Winkeldivergenz von $1 \cdot 10^{-3}$ auf 0,76 cm. Eine Korrektur dieses chromatischen Fehlers in der z-Richtung erscheint sehr schwierig.

Zu 2.

Die Fehler höherer Potenz wurden mittels eines graphischen Verfahrens abgeschätzt.
Öffnungsfehler: Ist von 3. Ordnung. Bei einer Öffnung $\Delta R/R$ von maximal 1,25 % ist mit Sicherheit sowohl die Strahlverbreiterung als auch die durch den Öffnungsfehler bedingte Strahldivergenz

völlig vernachlässigbar (d.h. klein gegenüber den durch die Linacspezifikationen festgelegten Werten).

<u>Chromatischer Fehler:</u> Ist von 2. Ordnung. Bei einer maximalen Impulsabweichung von 2,5 % ist die durch den chromatischen Fehler bedingte Strahldivergenz von der Größenordnung $1 \cdot 10^{-3}$ ($\pm$ 100 %). Die Strahlverbreiterung bleibt vernachlässigbar.

<u>Zu 3.</u>

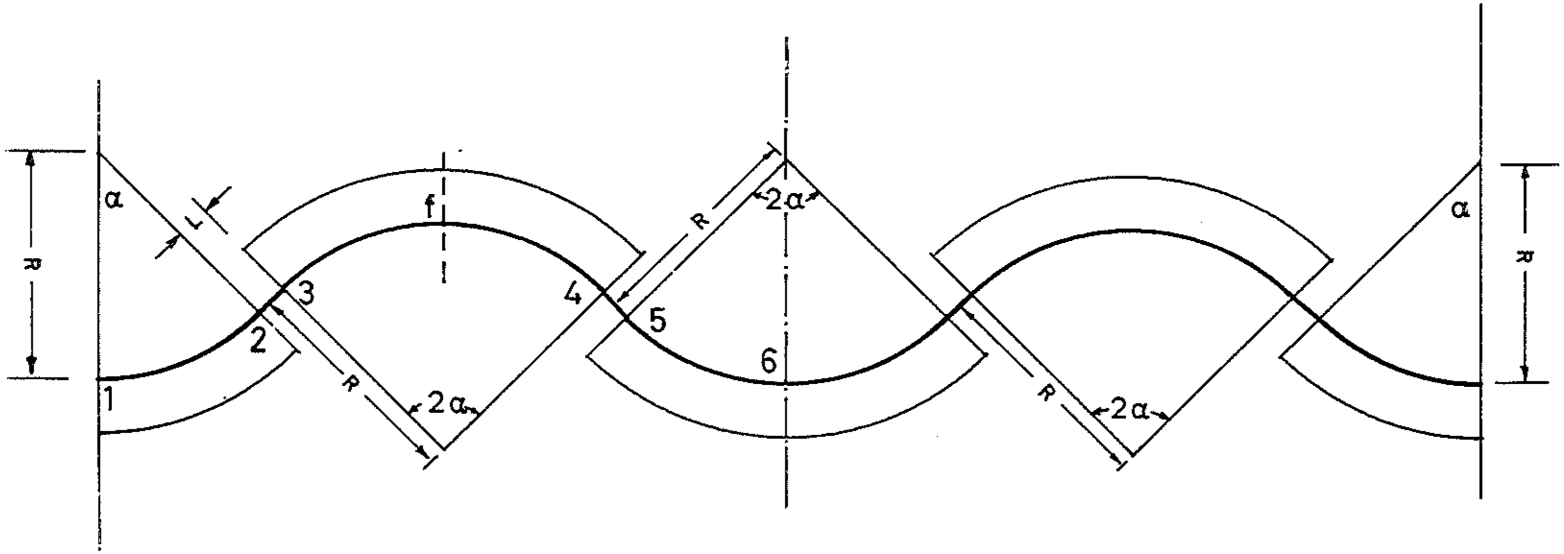
Bei den Magnetfeldern können die effektiven Längen und die brechenden Winkel falsch sein. Abgesehen davon, daß ein Fehler in der effektiven Länge leicht durch Verschiebung korrigiert werden kann, geht er auch nicht so stark ein wie ein Winkelfehler. (Bei der Veränderung der Gaplänge L von 0 auf 0,1 R ändert sich der brechende Winkel nur um ca. $1{,}5^{\circ}$). Aus diesem Grund ist es auch schwer, einen falschen Winkel durch Veränderung des Gapabstandes zu korrigieren. Es soll die Gesamttransformation angegeben werden, wenn statt des brechenden Winkels von $43^{\circ}\ 34'\ 5{,}5''$ ein solcher von 45° vorliegt (mit L/R = 0,1)

$$\vec{y}_e = \begin{pmatrix} 0{,}98 & 0{,}209\,R \\ -0{,}189/R & 0{,}98 \end{pmatrix} \vec{y}_A + \begin{pmatrix} -0{,}00975 \\ -0{,}0924 \end{pmatrix} \Delta p/p$$

Während die Vergrößerung des Strahldurchmessers in jedem Falle vernachlässigbar bleibt, entsteht durch einen falschen Brechwinkel für die Randstrahlen eine Strahlkonvergenz von $2{,}6 \cdot 10^{-3}$ rad. Bei einer Impulsabweichung von 2,5 % tritt zusätzlich noch ein Winkelfehler von $2{,}3 \cdot 10^{-3}$ rad auf. Da aufgrund der Linacspezifikationen die Strahldivergenz kleiner als 10^{-3} rad sein soll, muß also der brechende effektive magnetische Winkel auf $0{,}5^{\circ}$ genau sein.

Ferner sollte das Magnetfeld quer zur Strahlrichtung mindestens eine Konstanz von 10^{-3} haben.

Dr. G.A. Voss



Magnetanordnung
für
Debuncher

40/11.4 DESY 16.9.58 (zu A 2.32) kn