ÜBUNGEN
zur Vorlesung „Instrumente der modernen Physik“
TU Dortmund Sommersemester 2019

– BLATT 11 –

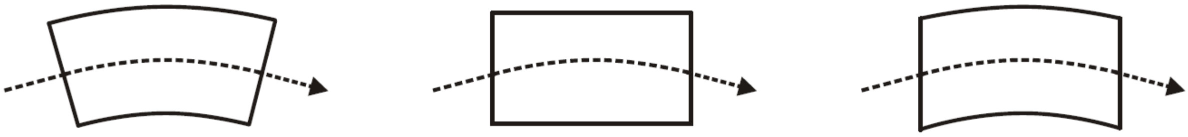
Daniel Krieg (daniel.krieg @ tu-dortmund.de)
Carsten Mai (carsten.mai @ tu-dortmund.de)

Vorbesprechung am Mi 26.06.2019, Abgabe am Mo 01.07.2019.

Maximal drei Teilnehmer/innen können eine gemeinsame Lösung einsenden. Die Lösungen zu Programmieraufgaben bitte als kommentiertes Python-Skript (.py), zu Verständnis- und Rechenaufgaben als PDF-Dokument (z.B. LaTeX, Word, gescannt) per Email an die zwei Übungsleiter einsenden. Bitte alle Namen im Betreff der Email, dem PDF und dem Python-Skript aufführen. Betreff der Email: „[Instrumente19 Übung] Abgabe Blatt 11, <Namen>“*

Aufgabe 1: Kurzfragen (3 Punkte)

a) In der Skizze sehen Sie drei Dipolmagnete, die einen Teilchenstrahl um den gleichen Winkel ablenken. Welche Bauform halten Sie für sinnvoll, welche für weniger sinnvoll? Begründung?



b) Schätzen Sie ab, in welcher Größenordnung Biegeradien R und Quadrupolstärken k liegen. (typisches Magnetfeld 1 T, typische Strahlenergie 1 GeV). Ist die „schwache“ Fokussierung wirklich schwächer als die Fokussierung mit Quadrupolmagneten, und wenn ja, um wieviel? Typischer Faktor 10, 100 oder sogar 1000?

Aufgabe 2: Dipolmagnet (3 Punkte)

a) Berechnen Sie die gesamte horizontale Transfermatrix eines Rechteckdipols, also eines Dipols, dessen Kantenwinkel ψ und Biegewinkel 2ψ ist. Die einzelnen Matrizen finden Sie im Skript.

b) Wie interpretieren Sie das Ergebnis bzgl. der Fokussierung von Teilchen durch einen solchen Magneten?

(bitte wenden)

Aufgabe 3: Resonanzen (5 Punkte)

Die Transfermatrix für einen Umlauf in einem Speicherring kann folgendermaßen geschrieben werden:

$\begin{pmatrix} \cos 2\pi Q + \alpha \cdot \sin 2\pi Q & \beta \cdot \sin 2\pi Q \\ -\gamma \cdot \sin 2\pi Q & \cos 2\pi Q - \alpha \cdot \sin 2\pi Q \end{pmatrix}$ mit der Betafuntion β, den optischen Parametern $\alpha = -\frac{\beta'}{2} = 0$ und $\gamma = \frac{1+\alpha^2}{\beta}$ sowie dem „Arbeitspunkt“ Q, d.h. der Zahl der transversalen Schwingungen pro Umlauf.

Die Gleichung der Phasenraumellipse ist $\varepsilon = \gamma \cdot x^2 + 2\alpha \cdot x \cdot x' + \beta \cdot x'^2$. Untersuchen Sie die Stabilität von Teilchenbahnen, indem Sie den Positionsvektor (x, x') eines Teilchens sowie den Wert von ε für 1000 Umläufe berechnen. Die Startwerte seien $x = 1\,\mathrm{mm}$ und $x' = 0\,\mathrm{mrad}$. Variieren Sie Q zwischen zwei ganzen Zahlen, z.B. zwischen 5 und 6 in Schritten von 0,01.

a) Stellen Sie für verschiedene Werte der Parameter β (z.B. 1 m und 2 m), α (z.B. 0 und ±1) und Q (z.B. 5,01 und 5,10) die Teilchenposition Umlauf für Umlauf in einem Phasenraumdiagramm dar (Abszisse x, Ordinate x') und vergleichen Sie die Ergebnisse.

b) Simulieren Sie für beliebige Werte von β und α den Fehler eines Dipolmagneten, indem Sie dem Teilchen nach jedem Umlauf einen konstanten „Kick“ von $\Delta x' = 0{,}01\,\mathrm{mrad}$ geben und tragen Sie den Endwert von ε gegen Q auf.

c) Simulieren Sie für beliebige Werte von β und α den Fehler eines Quadrupolmagneten, indem Sie dem Teilchen nach jedem Umlauf einen positionsabhängigen Kick $\Delta x' = x \cdot 0{,}1\,\mathrm{rad/m}$ geben und tragen Sie wieder den Endwert von ε gegen Q auf.

Welche Beobachtungen machen Sie?