

ÜBUNGEN
zur „Beschleunigerphysik Teil 2“
TU Dortmund Sommersemester 2020

– **BLATT 3** –

Benedikt Büsing (benedikt.buesing @ tu-dortmund.de)
Stephan Kötter (stephan.koetter @ tu-dortmund.de)
Daniel Krieg (daniel.krieg @ tu-dortmund.de)
Vorbesprechung am Mi 29.04.2020
Abgabe per Email bis Di 05.05.2020 bis 12:00

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. mit LaTeX, Word, gescannt) per Email einsenden. Bitte alle Namen im Betreff der Email, in der PDF-Datei und dem Python-Skript aufführen. Betreff der Email: „[BP2020 Uebung] Abgabe Blatt 3, Namen“*

Aufgabe 1: Kurzfragen (2 Punkte)

- a) Wie ändert sich das Spektrum der Synchrotronstrahlung aus einem Dipolmagneten, wenn man (i) die Elektronenenergie verdoppelt, (ii) die Magnetfeldstärke verdoppelt oder (iii) die Elektronenzahl verdoppelt?
- b) Wie ändert sich das Spektrum der Synchrotronstrahlung aus einem Dipolmagneten durch die Tatsache, dass Elektronenpakete im Speicherring den Dipol nicht nur einmal, sondern mit konstanter Frequenz immer wieder durchlaufen? Beispiel: Bei DELTA beträgt die Umlauffrequenz eines einzelnen Pakets 2,6 MHz. Bei einer vollständigen Füllung des Speicherrings würden die Elektronenpakete sogar mit einer Frequenz von 500 MHz aufeinander folgen.

Aufgabe 2: Horizontale Emittanz (4 Punkte)

- a) Berechnen Sie die horizontale Emittanz eines Speicherrings mit achromatischer Magnetstruktur und gleichartigen Dipolmagneten (Biegeradius R , Länge L) in Abhängigkeit der optischen Funktionen $\beta(0)$, $\alpha(0)$ und $\chi(0)$ am Anfang eines Dipolmagneten, an dem die Dispersion $D(0)$ und ihre Ableitung null ist. Die horizontale Emittanz ist dann

$$\varepsilon_x = C_\gamma \cdot \gamma^2 \frac{1}{RL} \int_0^L H(s) ds \quad \text{mit} \quad H(s) = \gamma(s) D^2(s) + 2\alpha(s) D(s) D'(s) + \beta(s) D'^2(s).$$

Hier ist γ der Lorentz-Faktor und $C_\gamma = 3,83 \cdot 10^{-13}$ m. Nehmen Sie vereinfachend an, dass die Dispersion gemäß $D(s) \approx s^2 / (2R)$ und ihre Ableitung gemäß $D'(s) \approx s / R$ ansteigt und betrachten Sie für den Verlauf der optischen Funktionen den Dipol als Driftstrecke.

- b) Ermitteln Sie die Werte $\beta(0)$ und $\alpha(0)$, mit denen die Emittanz minimal wird. Welche horizontale Emittanz würde man dann für den Elektronenspeicherring DELTA erhalten, wenn dessen Magnetstruktur achromatisch wäre? Annahmen: Elektronenenergie 1,5 GeV, gleichartige 20°-Dipole mit $R = 3,33$ m.

(bitte wenden)

Aufgabe 3: Synchrotronstrahlung aus Dipolmagneten (4 Punkte)

Berechnen Sie das Spektrum (genauer: die spektrale Leistungsdichte) der Synchrotronstrahlung aus einem Dipolmagneten mit Biegeradius $R = 3,33$ m. Die Elektronenenergie sei $E = 1,5$ GeV, der Strahlstrom sei 100 mA, der Umfang des Speicherrings sei 115,2 m. Verwenden Sie die Formel für die Leistung

$$\frac{dP}{d\omega} = \frac{P_s}{\omega_c} \cdot S\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right),$$

wobei P_s die winkelintegrierte Gesamtleistung ist und $\omega_c = 3c\gamma^3/2R$ die kritische Kreisfrequenz (zur Erinnerung: die abgestrahlte Energie [keV] pro Umlauf ist $88.5 \cdot E$ [GeV]⁴ / R [m]). Die universelle Funktion S ist gegeben durch

$$S\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right) = \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} \cdot \frac{\omega}{\omega_c} \cdot \int_{\omega/\omega_c}^{\infty} K_{5/3}(x) \cdot dx.$$

Beachten Sie die Integrationsgrenzen ω/ω_c und ∞ für die Variable x . Die Funktion $K_{5/3}(x)$ ist eine sogenannte modifizierte Besselfunktion zweiter Art, die z.B. in `scipy` als Funktion `scipy.special.kv(v,x)` mit $v = 5/3$ zur Verfügung steht.

- Berechnen Sie zunächst das Spektrum in einem Bereich von $0.001 \omega_c$ bis $5 \omega_c$ und stellen Sie das Ergebnis linear und doppelt-logarithmisch dar.
- In einer früheren Aufgabe ging es um eine Fotodiode zur Messung der Intensität von Synchrotronstrahlung. Wie groß ist der Anteil an der Gesamtleistung, den die Fotodiode detektiert, wenn sie sich außerhalb des Vakuums befindet? Das Vakuumfenster und die Luft lässt Licht mit Wellenlängen über 200 nm passieren, die Diode sei nur für Wellenlängen unter 800 nm empfindlich.

Schicken Sie den Übungsassistenten wie immer aussagefähige Bilder, die mit Ihrem Programm erzeugt wurden.