

ÜBUNGEN

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

– BLATT 8 –

Daniel Krieg (daniel.krieg @ tu-dortmund.de)
Carsten Mai (carsten.mai @ tu-dortmund.de)
Vorbesprechung am Mi 05.06.2019, Abgabe am Mo 10.06.2019.

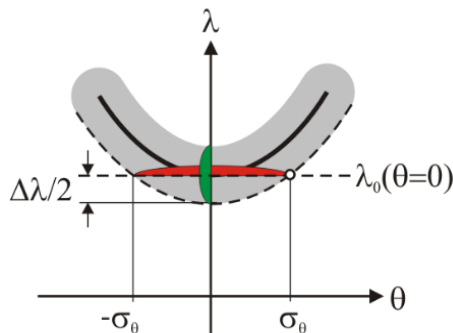
Maximal drei Teilnehmer/innen können eine gemeinsame Lösung einsenden. Die Lösungen zu Programmieraufgaben bitte als kommentiertes Python-Skript (.py), zu Verständnis- und Rechenaufgaben als PDF-Dokument (z.B. LaTeX, Word, gescannt) per Email an die zwei Übungsleiter einsenden. Bitte alle Namen im Betreff der Email, dem PDF und dem Python-Skript aufführen. Betreff der Email: „[Instrumente19 Übung] Abgabe Blatt 8, <Namen>“*

Aufgabe 1: Kurzfragen (2 Punkte)

- a) Statt den Strahlstrom in einer Synchrotronstrahlungsquelle im Laufe mehrerer Stunden auf ca. die Hälfte absinken zu lassen, wird bei der „top-up“-Injektion in kurzen Zeitintervallen jeweils eine kleine Elektronenzahl in den Speicherring injiziert, so dass der Strahlstrom nahezu konstant bleibt. Schätzen Sie ab, wie groß der Gewinn an integrierter Strahlungsintensität ist.
- b) Welche weiteren Vorteile könnte „top-up“-Injektion bieten? Was sind potenzielle Nachteile?

Aufgabe 2: Winkelverteilung von Undulatorstrahlung (4 Punkte)

Die Wellenlänge $\lambda_0(\theta)$ der fundamentalen Undulatorlinie ist unter einem Beobachtungswinkel θ relativ zur Achse rotverschoben (s. Skizze). Die Standardabweichung der Winkelverteilung wird üblicherweise als $\sigma_\theta \approx \frac{1}{\gamma} \sqrt{\frac{1+K^2/2}{2N}}$ angegeben, d.h. sie wird mit zunehmender Zahl N der Undulatorperioden kleiner (γ ist der Lorentzfaktor, K der Undulator-Parameter). Zeigen Sie mit Hilfe der Formel für die Undulatorwellenlänge, dass sich diese Breite der Winkelverteilung aus der spektralen Halbwertsbreite $\Delta\lambda/\lambda \approx 1/N$ herleiten lässt, wenn man bedenkt, dass die Angabe von σ_θ nur für die Wellenlänge $\lambda_0(\theta=0)$ gilt (sie bedeutet nicht, dass außerhalb dieses Winkelbereichs keine rotverschobene Strahlung emittiert wird).



(bitte wenden)

Aufgabe 3: Undulatorstrahlung (5 Punkte)

Ein Undulator mit N Perioden bewirkt ein elektrisches Feld an einem Beobachtungsort auf der Strahlachse, das mit

$$E(t) = E_0 \sin(\omega t) \quad \text{für} \quad 0 \leq t \leq N \cdot \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{und} \quad E(t) = 0 \quad \text{sonst}$$

beschrieben werden kann. Zur Vereinfachung sei $\omega = 2\pi$ angenommen.

a) Stellen Sie $E(t)$ mit $E_0 = 1$ und $N = 50$ in Zeitschritten von $\Delta t = 0,01$ in einem Zeitintervall $[-10,60]$ grafisch dar. Berechnen Sie mit der Funktion `numpy.fft` die Fourier-Transformierte $\tilde{E}(f)$ der Funktion $E(t)$ und stellen Sie das Undulatorspektrum, d.h. das Quadrat des Betrags der komplexen Funktion $\tilde{E}(f)$, als Funktion der Frequenz f grafisch dar. Anmerkung: Der Abstand der Punkte entlang der Frequenzskala ist durch $\Delta f = 1/T$ gegeben, wobei T die Gesamtbreite des Zeitintervalls ist.

b) Wiederholen Sie Aufgabe a) mit $N = 20$. Was ändert sich?

c) Wiederholen Sie a) für ein viermal so großes Zeitintervall $[-10,270]$. Was ändert sich?

d) Wiederholen Sie a) mit $E_0(t) = \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(\theta(t) - \theta_0)^2}{\sigma_\theta^2}\right)$, wobei zunächst $\theta_0 = 0$ sei. Hier ist

$\sigma_\theta = \sqrt{2}/\gamma$ die Standardabweichung der Winkelverteilung des elektrischen Felds in Bogenmaß, wobei γ der Lorentz-Faktor ist. Nehmen Sie eine Elektronenenergie von 1,5 GeV an. Der zeitabhängige Amplitudenfaktor $E_0(t)$ simuliert einen endlich ausgedehnten Strahlungskegel, der den Beobachtungsort aufgrund der sinusförmigen Elektronenbahn periodisch überstreicht. Die Mitte des Strahlungskegels folgt dem Winkel der Elektronenbahn

$\theta(t) = \frac{K}{\gamma} \cos(\omega t)$, wobei K der Undulator-Parameter ist, der mit dem Magnetfeld des

Undulators skaliert. Führen Sie die Rechnung für zwei Werte von K aus: 0,3 und 3. Was beobachtet man?

e) Wiederholen Sie d) mit $\theta_0 = 4 \cdot 10^{-4}$. Damit wird ein Beobachtungswinkel von 0,4 mrad relativ zur Strahlachse angenommen. Was ändert sich?