

**ÜBUNGEN**  
zur „Beschleunigerphysik Teil 2“  
TU Dortmund Sommersemester 2020

– **BLATT 10** –

Benedikt Büsing ( benedikt.buesing @ tu-dortmund.de )  
Stephan Robert Kötter ( stephan.koetter @ tu-dortmund.de )  
Daniel Krieg ( daniel.krieg @ tu-dortmund.de )  
Vorbesprechung am Mi, 17.06.2020  
Abgabe per Email bis Di, 23.06.2020

*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 10, Namen“*

**Aufgabe 1: Kurzfragen (2 Punkte)**

- a) Erklären Sie mit Ihren eigenen Worten qualitativ die wesentlichen Unterschiede zwischen dem *Low-Gain*- und dem *High-Gain-FEL*. Wie ist das jeweilige Verhalten der Trajektorien der Elektronen im Phasenraum ( $\Psi, \eta$ )? Was passiert mit dem elektrischen Feld der ausgesandten Strahlung in Abhängigkeit der longitudinalen Koordinate  $s$ ? Und kann man den *Low-Gain-FEL* als kollektives Phänomen beschreiben? Wie sieht das beim *High-Gain-FEL* aus?
- b) Könnte es für einen Freie-Elektronen-Laser vorteilhaft sein, wenn man entlang eines SASE-Undulators die resonante Wellenlänge variiert? Wenn ja, warum und wie würde man dies technisch realisieren?

**Aufgabe 2: Attosekunden-Pulse (4 Punkte)**

Lesen Sie den ersten drei Seiten von [1], recherchieren Sie ggf. Ihnen unbekannte Begriffe und beantworten Sie die folgenden Fragen (es kommt nicht darauf an, jedes Detail zu verstehen).

- a) Was schlagen die Autoren vor? Was ist das Ziel und mit welcher Methode soll es erreicht werden?
- b) Kam Gleichung (1) in der Vorlesung vor? Was kommt Ihnen bekannt vor, was ist Ihnen fremd? Können Sie sich die unbekannten Terme zumindest qualitativ erklären?
- c) Welche experimentellen Herausforderungen liegen in der Anwendung der Methode? Könnte man sie auch am Speicherring DELTA in Dortmund einsetzen, um Attosekunden-Pulse zu erzeugen?

[1] A.A. Zholents and G. Penn, Phys. Rev. ST – Accel. Beams 8, 050704 (2005).

Frei verfügbar unter: <https://journals.aps.org/prab/pdf/10.1103/PhysRevSTAB.8.050704>

(bitte wenden)

### Aufgabe 3: Strahlspektrum (5 Punkte)

Das Signal, das eine Antenne (*pick-up*) in einem Elektronenspeicherring empfängt, soll durch eine Zeitreihe  $t_i$  mit  $i = 1 \dots n_t$  simuliert werden. Wir beschränken uns hier auf ein einziges hochrelativistisches Teilchenpaket (*single-bunch*-Betrieb des Speicherrings), dessen Umlaufzeit  $T_0 = 384$  ns beträgt. Hier sei  $n_t = 384000$  mit 384 Signalwerten pro Umlauf, d.h. die gesamte Zeitreihe erstreckt sich also über 1000 Umläufe.

Das Signal sei um die Zeitpunkte  $t_j$  ( $j = 1 \dots 1000$ ), zu denen das Zentrum des Elektronenpakets eine punktförmige Antenne passiert, zeitlich normalverteilt mit einer Standardabweichung  $\tau$ , die z.B. durch die Auflösung der Elektronik gegeben ist.

- a) Wie groß sind Umfang und Umlauffrequenz  $f_0$  des Speicherrings? Um welche Maschine könnte es sich hierbei handeln?
- b) Zunächst sei der Strahl stabil, d.h. die Höhe aller Signale sei stets  $s_0 = 1$ . Das Strahlspektrum wird durch die Absolutwerte des Ergebnisses einer FFT (*Fast Fourier Transform*) dargestellt (Funktion `numpy.fft.fft(ts)` in Python). Wenn Sie alles richtig machen, entsteht ein Linienspektrum mit Harmonischen der Umlauffrequenz. Wie ändert sich das Strahlspektrum für Werte von  $\tau$  in einem Bereich von 0,5 ns bis 5 ns?

Hinweis: Die FFT liefert ein Spektrum mit  $n_t$  komplexen Zahlen. Für eine Zeitreihe mit reellen Werten ist das Spektrum bzgl.  $n_t / 2$  spiegelsymmetrisch. Das Frequenzintervall zwischen zwei benachbarten Werten des Spektrums ist der Kehrwert des höchsten Zeitwerts, in diesem Fall also  $\Delta f = (1000 \cdot T_0)^{-1} = f_0 / 1000$ .

- c) Nun soll eine transversale Schwingung simuliert werden, indem die Signalhöhe mit einer Amplitude von  $\Delta s_0 = 0,1$  sinusförmig mit der Betatronfrequenz moduliert wird. Der Arbeitspunkt sei 8,4. Berechnen Sie das Strahlspektrum mit  $\tau = 1$  ns. Variieren Sie die Modulationsamplitude sowie den Arbeitspunkt und interpretieren Sie Ihre Beobachtungen.

Teilen Sie den Übungsassistenten Ihre Beobachtungen sowie deren Interpretation mit und schicken Sie wie immer aussagefähige Bilder, die mit Ihrem Programm erzeugt wurden.