

ÜBUNGEN
zur „Beschleunigerphysik Teil 1“
TU Dortmund Wintersemester 2019/20

– **BLATT 5** –

Arne Meyer a.d.H. (arne.meyeraufderheide @ tu-dortmund.de)
Benedikt Büsing (benedikt.buesing @ tu-dortmund.de)
Shaukat Khan (carsten.mai @ tu-dortmund.de)
Vorbesprechung am Do 07.11.2019
Abgabe per Email bis Di 12.11.2019

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. 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: „[BP2019 Uebung] Abgabe Blatt 5, Namen“*

Aufgabe 1: Alternative Beschleuniger (3 Punkte)

- a) Überlegen Sie: Auf welche Probleme stößt man, wenn man versucht, Teilchenbeschleuniger kompakter zu bauen? Könnte man z.B. eine 1000-mal kleinere Hochfrequenzstruktur bauen, die mit einer Welle im Terahertz- statt Gigahertz-Bereich betrieben wird? Könnte man einen Speicherring wesentlich miniaturisieren?
- b) Das sogenannte Lawson-Woodward-Theorem besagt, dass ein geladenes Teilchen im elektrischen Feld eines Laserpulses im freien Raum insgesamt keine Beschleunigung erfährt, wenn man über die Zeit integriert. Nennen Sie Argumente dafür. Welche Randbedingungen können Sie sich vorstellen, unter denen eine solche Beschleunigung dennoch möglich ist?

Aufgabe 2: DORIS-Resonator (3 Punkte)

Ein DORIS-Hohlraumresonator ist ein Zylinder der Länge $L = 276$ mm mit einem Durchmesser von $D = 462$ mm (jeweils Innenmaß). Angenommen, ein zu beschleunigendes Teilchen der Ladung e (Elementarladung) sei zum Zeitpunkt $t = 0$, an dem die elektrische Feldstärke auf der Strahlachse den Maximalwert 2 MV/m erreicht, genau in der Mitte des Resonators.

- a) Wie groß ist die Frequenz der beschleunigenden TM_{010} -Mode?
- b) Wie viel Energie würde ein unendlich schnelles Teilchen bei einem Durchgang durch den Resonator gewinnen?
- c) Wie viel Energie gewinnt ein Teilchen der Geschwindigkeit $v \approx c$ bei einem Durchgang?

(bitte wenden)

Aufgabe 3: Linearbeschleuniger für Elektronen/Positronen (6 Punkte)

In einem Zeitschritt Δt bewegt sich ein Positron in einem Linearbeschleuniger um die Strecke $\Delta s = v \cdot \Delta t$ vorwärts, wobei v die momentane Geschwindigkeit ist, während die Phase der beschleunigenden Hochfrequenzwelle mit der Phasengeschwindigkeit $v_{\text{ph}} \approx c$ um $\Delta s_{\text{ph}} = c \cdot \Delta t$ propagiert. Die Änderung der Phasenlage und der kinetischen Energie des Positrons pro Schritt Δs ist demnach näherungsweise durch die Differenzgleichungen

$$\Delta\varphi = k \cdot (v - c) \frac{\Delta s}{v} \quad \text{und} \quad \Delta E_{\text{kin}} = e \cdot \hat{E} \cdot \cos \varphi \cdot \Delta s$$

gegeben. Hier ist $k = 2\pi f_{\text{Hf}} / c$ die Wellenzahl der Hochfrequenzwelle, f_{Hf} ist ihre Frequenz und \hat{E} ist das maximale elektrische Feld in longitudinaler Richtung.

Die Parameter des SLAC-Linearbeschleunigers sind $f_{\text{Hf}} = 2856 \text{ MHz}$ und $\hat{E} = 12 \text{ MV/m}$. Berechnen Sie die kinetische Energie und Phasenlage von Positronen nach dem Durchlauf durch ein 3,05 m (10 Fuß) langes SLAC-Beschleunigermodul, indem Sie für jeden Schritt Δs die Energieänderung bestimmen, anschließend aus der momentanen kinetischen Energie die Geschwindigkeit (relativistisch) und schließlich die Phasenänderung berechnen. Führen Sie diese Rechnung für verschiedene Startwerte aus: Anfangsphase von $-\pi$ bis π , kinetische Anfangsenergie vom 0,1- bis 15-fachen der Ruheenergie von 511 keV. Stellen Sie die Ergebnisse als Funktionen der beiden Startparameter, z.B. mit contour oder einer anderen 3d-Grafikfunktion, dar. Berücksichtigen Sie bitte auch, dass es Teilchen geben kann, die das Ende des Beschleunigermoduls nie erreichen.

Bei welchen Startwerten findet überhaupt Beschleunigung statt? Wie sollte man die Startwerte wählen, damit die Energiebreite des Strahls möglichst klein wird?

Senden Sie Ihren Übungsassistenten neben Ihrem Python-Code auch Ergebnisse in Form aussagefähiger Bilder in einem gängigen Format (png, jpg oder pdf).