

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

– **BLATT 4** –

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 31.10.2019  
Abgabe per Email bis Di 05.11.2019

*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 4, Namen“*

**Aufgabe 1: Beschleunigertypen (3 Punkte)**

- a) Rekapitulieren Sie die verschiedenen Beschleunigertypen, die Sie kennengelernt haben. Nennen Sie (kurz) ihre Vor- und Nachteile und für welche Art von Teilchen der jeweilige Beschleuniger geeignet ist.
- b) Am Elektronenspeicherring DELTA beträgt der Strahlstrom etwa 100 mA. Die Elektronenenergie ist 1,5 GeV. Welche Leistung müsste einem Linearbeschleuniger mindestens zugeführt werden, der einen Elektronenstrahl mit denselben Parametern erzeugt? Was schließen Sie aus dem Ergebnis?

**Aufgabe 2: Das Cosmotron (4 Punkte)**

Ein Synchrotron ist ein Hochfrequenz-Kreisbeschleuniger, bei dem (im Gegensatz zum Zyklotron) der Bahnradius stets konstant bleibt. Ein frühes Synchrotron für Protonen war das 1952 fertiggestellte "Cosmotron" am Brookhaven National Laboratory (Upton, NY, USA). Protonen wurden mit einer kinetischen Energie von 300 MeV eingeschossen. Beim Erreichen der kinetischen Endenergie von 3,0 GeV hatte das Magnetfeld eine Stärke von 1,4 T. Der Feldindex des radial abfallenden Magnetfelds betrug ungefähr 0,6. Die beschleunigende Hochfrequenz variierte mit der Umlauffrequenz der Protonen.

- a) Wie groß war der Radius der Protonenbahn?
- b) Welche Stärke hatte das Magnetfeld beim Einschuss der Protonen?
- c) Zwischen welchen Werten variierte die Umlauffrequenz und damit die Hochfrequenz?
- d) Zwischen welchen Werten variierte der horizontale Arbeitspunkt?

(bitte wenden)

### Aufgabe 3: Zyklotron (5 Punkte)

Ein Zyklotron zur Beschleunigung von Protonen (Ruheenergie  $m_0 c^2 = 938,27 \text{ MeV}$ ) habe ein konstantes Magnetfeld und eine HF-Spannung der Form  $U(t) = U_0 \cos(2\pi \cdot f_{\text{HF}} \cdot t)$  mit 50 kV Amplitude bei einer festen Frequenz von  $f_{\text{HF}} = 20,0 \text{ MHz}$ . Die Protonen werden zur Zeit  $t = 0$  mit einer kinetischen Energie von 50 keV eingeschossen und werden nach jedem Halbkreis im Magnetfeld durch die HF-Spannung beschleunigt.

- a) Ignorieren Sie zunächst relativistische Effekte. Wie muss das Magnetfeld gewählt werden, damit die Umlauffrequenz zur HF-Frequenz passt und die Protonen optimal beschleunigt werden? Simulieren Sie 200 Umläufe und tragen Sie die kinetische Energie, die Dauer eines halben Umlaufs und den aktuellen Bahnradius als Funktion der Zahl der Umläufe auf. Die Zeit für den Durchflug durch die HF-Strecke zwischen den „Dee’s“ sei vernachlässigbar.
- b) Berücksichtigen Sie nun die relativistische Massenzunahme mit demselben Magnetfeld wie in Aufgabe a). Tragen Sie wieder die kinetische Energie, die Dauer eines halben Umlaufs und den aktuellen Radius gegen die Zahl der Umläufe auf. Welche kinetische Energie wird maximal erreicht? Welcher Effekt verhindert, dass eine höhere Energie erreicht wird?
- c) Wie könnte man die erreichbare Energie maximieren, ohne die HF-Frequenz und Amplitude zu verändern? Rechnen Sie ein paar Beispiele durch.

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