

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

– **BLATT 10** –

Daniel Krieg ( daniel.krieg @ tu-dortmund.de )  
Carsten Mai ( carsten.mai @ tu-dortmund.de )  
Vorbesprechung am Mi 19.06.2019, Abgabe per Email bis Mo 24.06.2019.

*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 Matlab-Skript aufführen. Betreff der Email: „,[Instrumente19 Übung] Abgabe Blatt 10, <Namen>“*

**Aufgabe 1: Konventionelle und neue 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) Ein 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. Können Sie sich Randbedingungen vorstellen, unter denen eine solche Beschleunigung möglich ist?

**Aufgabe 2: DELTA (3 Punkte)**

- a) Wie viele Elektronen befinden sich bei einem Strahlstrom von 130 mA im Speicherring DELTA? Der Umfang des Rings beträgt 115,2 m. Wie lange dauert es, den Speicherring zu füllen, wenn das Synchrotron BoDo (**B**ooster in **D**ortmund, Umfang 50,4 m) bei einem Strom von 1 mA für jeden Zyklus 6,5 s benötigt?
- b) Bei DELTA wird ein sogenannter DORIS-Resonator verwendet, dessen sinusförmige Beschleunigungsspannung eine Amplitude von ca. 500 kV besitzt. Bei welcher Phase des Spannungsverlaufs müssen die Elektronen den Resonator durchlaufen, damit die Verluste durch Synchrotronstrahlung (150 keV pro Umlauf) ausgeglichen werden?

(bitte wenden)

### Aufgabe 3: Zyklotron (5 Punkte)

Ein Zyklotron zur Beschleunigung von Protonen (Ruheenergie  $m_0c^2 = 938,27 \text{ MeV}$ ) habe ein konstantes Magnetfeld und eine cosinusförmige HF-Spannung  $U(t) = U_0 \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$  mit 50 kV Amplitude und einer festen Frequenz von 20,0 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.

- 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.
- 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?
- Wie könnte man die erreichbare Energie maximieren, ohne die im ersten Abschnitt gegebenen Parameter zu verändern? Rechnen Sie ein paar Beispiele durch.

