

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

– **BLATT 2** –

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 17.10.2019  
Abgabe per Email bis Di 22.10.2019

*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 2, Namen“*

**Aufgabe 1: Beschleunigung durch elektrostatische Felder und Induktion (2 Punkte)**

- a) In einem Tandem-Van-de-Graaf-Beschleuniger wird am sog. "Terminal" (das ist der zentrale Bereich, an dem eine Spannung von vielen MV anliegt) elektrischer Strom benötigt, um z.B. Messgeräte und Vakuumpumpen zu betreiben. Natürlich kann man den Strom nicht einfach mit einem Kabel zuführen. Welche technische Lösung schlagen Sie vor?
- b) Ein elektrisches Feld wird durch ein zeitlich veränderliches Magnetfeld erzeugt (Induktionsgesetz) und ein geladenes Teilchen kann entlang einer geschlossenen Bahn, die das Magnetfeld umschließt, Energie gewinnen. Stimmt diese Aussage auch, wenn sich das Teilchen außerhalb des Magnetfelds befindet, z.B. auf einer hinreichend großen Kreisbahn?
- c) Wenn ein geladenes Teilchen, wie in b) behauptet, nach einem vollständigen Umlauf am selben Ort eine höhere Energie besitzt als vorher, wird dadurch der Energiesatz verletzt? Wie muss man sich das elektrische Potenzial vorstellen?

**Aufgabe 2: Relativistische Beziehungen (3 Punkte)**

- a) Leiten Sie folgende Beziehung zwischen der relativen Änderung von Energie  $E$  und Impuls  $p$  her:  $\frac{dE}{E} = \beta^2 \frac{dp}{p}$ , wobei  $\beta = \frac{v}{c}$  die Geschwindigkeit relativ zur Lichtgeschwindigkeit ist.
- b) Zeigen Sie, dass folgende Ausdrücke für die kinetische Energie  $T$  eines Teilchens (Ruhemasse  $m_0$ , Impuls  $p$ , Lorentzfaktor  $\gamma$ ) äquivalent sind:  $T = m_0 c^2 \cdot (\gamma - 1)$   $T = \frac{p^2}{(\gamma + 1) \cdot m_0}$

(bitte wenden)

### Aufgabe 3: Invariante Masse, Darstellung von Daten mit Python (4 Punkte)

- a) Berechnen Sie die invariante Masse für die Kollision zweier Elektronen. Variieren Sie die Energie jedes Elektrons von der Ruheenergie bis zu einem Maximalwert von 6 GeV in geeigneten Schritten und erstellen Sie ein Datenfeld mit den Werten der invarianten Masse, gemessen in  $\text{GeV}/c^2$ .
- b) Stellen Sie mit der Funktion *plot* aus dem Paket *matplotlib.pyplot* die invariante Masse als Funktion der Energie eines Elektrons unter der Bedingung dar, dass das andere Elektron vor der Kollision ruht.
- c) Stellen Sie mit einer 3D-Funktion wie *plot\_surface* die invariante Masse als Funktion beider Elektronenenergien dar. Probieren Sie verschiedene grafische Darstellungsmöglichkeiten aus (Symbole, Linienarten, Farben, Blickwinkel der 3D-Darstellung usw.). Achten Sie auch auf eine korrekte Beschriftung der Koordinatenachsen.

Bei 3D-Plots gibt es bei *matplotlib* ein paar Dinge zu beachten. Am besten geht man nach dem Beispiel der Dokumentation vor:

[https://matplotlib.org/gallery/pyplots/whats\\_new\\_99\\_mplot3d.html#sphx-glr-gallery-pyplots-whats-new-99-mplot3d-py](https://matplotlib.org/gallery/pyplots/whats_new_99_mplot3d.html#sphx-glr-gallery-pyplots-whats-new-99-mplot3d-py)