

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

– **BLATT 8** –

Arne Meyer a.d.H. (arne.meyeraufderheide @ tu-dortmund.de)
Benedikt Büsing (benedikt.buesing @ tu-dortmund.de)
Vorbesprechung am Do 28.11.2019
Abgabe per Email bis Di 03.12.2019

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 8, Namen“*

Aufgabe 1: Kurzfragen (2 Punkte)

- a) In der Skizze sehen Sie drei Dipolmagnete, die einen Teilchenstrahl um 20 Grad ablenken. Welche Bauform halten Sie für sinnvoll, welche für weniger sinnvoll? Begründung?



- b) Informieren Sie sich über die Matrizenmethode in der geometrischen Optik für Lichtstrahlen (Lehrbücher oder Internet). Die dort verwendeten 2x2-Matrizen heißen in der Literatur oft „ABCD“-Matrizen. Wie sieht die Matrix für die freie Strecke zwischen zwei Linsen aus? Wie sieht die Matrix für eine dünne Sammellinse mit Brennweite f aus?

Aufgabe 2: Dipol- und Quadrupolmagnet (2 Punkte)

- a) Die Dipolmagnete bei DELTA sind etwa 1,1 m lang, der Polabstand ist 50 mm, der Ablenkwinkel beträgt 20 Grad, die Strahlenergie ist 1,5 GeV. Schätzen Sie das Produkt aus Stromstärke und Windungszahl ab. Ist der obere Pol ein Nord- oder Südpol (die Elektronen bewegen sich von oben gesehen im Uhrzeigersinn)?
- b) Schätzen Sie das Produkt aus Stromstärke und Windungszahl für einen Quadrupolmagneten der Stärke $k = 1 \text{ m}^{-2}$ bei DELTA ab. Der Abstand eines Pols von der Strahlachse ist 37 mm. Wie sind die Pole für einen Quadrupolmagneten angeordnet, der Elektronen mit einer horizontalen Abweichung von der Strahlachse fokussiert? Was passiert in diesem Magneten mit vertikal abweichenden Elektronen?

(bitte wenden)

Aufgabe 3: Stromschalen (5 Punkte)

Konventionelle Magnete bestehen aus Kupferspulen, die um ein Eisenjoch gewickelt sind, was die Magnetfelder aufgrund der Sättigung des Eisens auf höchstens 2 Tesla begrenzt. Ohne Eisen gelangt man zu höheren Feldern, aber nur bei entsprechend hohen Strömen, wie sie in Supraleitern möglich sind. Beispiele hierfür sind die Dipolmagnete des HERA-Protonenrings bei DESY (5,3 T) oder beim LHC am CERN (8,5 T). Diese supraleitenden Magnete bestehen i.d.R. aus Niob-Titan-Filamenten, die mit flüssigem Helium auf ca. 2 K gekühlt werden und parallel zum Teilchenstrahl angeordnet sind. Dass diese Magnete teilweise auch ein Eisenjoch haben, wollen wir in dieser Aufgabe ignorieren und sie stattdessen als „Luftspulen“ behandeln.

Ganz allgemein erhält man das Magnetfeld bei gegebener Stromverteilung aus dem Biot-Savart'schen Gesetz. Bei Leitern, die parallel zum Strahl angeordnet sind und die wir bequemerweise als beliebig lang annehmen, geht es noch einfacher (Ampere'sches Gesetz, usw. ... erinnern Sie sich noch?). Schreiben Sie ein möglichst flexibles Programm, das die Verteilung des magnetischen Feldes für eine gegebene Anordnung von Drähten parallel zum Strahl berechnet.

In Beschleunigern soll das Feld eines Dipolmagneten nahe der Strahlachse möglichst homogen sein. Man bekommt ein perfektes Dipolfeld, wenn die Stromverteilung bei konstantem Abstand von der Strahlachse kosinusförmig mit dem azimuthalen Winkel variiert. Weil sich das technisch nicht gut realisieren lässt, nähert man die Kosinus-Form durch sogenannte „Stromschalen“ an, in denen die Stromdichte innerhalb gewisser Winkelbereiche konstant ist, nämlich von $\varphi = -\varphi_0$ bis $+\varphi_0$ für die Schale rechts vom Strahl und von $\pi - \varphi_0$ bis $\pi + \varphi_0$ für die Schale links vom Strahl ($\varphi = 0$ zeige in Strahlrichtung blickend horizontal nach rechts). Außerhalb dieser Bereiche ist der Strom null.

- a) Modellieren Sie die oben beschriebenen einlagigen Stromschalen, indem Sie die konstante Stromdichte durch eine halbwegs große Zahl von Drähten (z.B. 20 auf jeder Seite) in 40 mm Abstand von der Strahlachse nähern und variieren Sie den Winkel φ_0 , um eine möglichst homogene Verteilung des vertikalen Magnetfeldes in der horizontalen Mittelebene zu erhalten. Welche Stromdichte (Strom pro Winkel) benötigen Sie, um bei einem Protonenstrahl von 820 GeV auf einer Länge von 9 m einen Biegewinkel von 15 mrad zu erreichen? Wie groß sind die Kräfte, die zwischen den Stromschalen wirken? Sind sie anziehend oder abstoßend?
- b) Versuchen Sie mit Ihrem Programm auch, ein möglichst gutes Quadrupolfeld zu realisieren.