

# Übungen Flavourphysics

## WS 23/24

Übungsblatt Nr. 2

Abgabe bis 20.11.2022, 10:00 Uhr

---

### **Aufgabe 1: Lebensdauer in der asymmetrischen B Fabrik** (4 Punkte)

Die japanische B-Fabrik KEKB soll aufgerüstet werden, um eine höhere Luminosität zu erreichen. Am Belle Experiment, das bis 2010 an diesem Beschleuniger in Betrieb war, wurde eine instantane Luminosität von  $2.11 \times 10^{34} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  erreicht, wobei ein Elektron- und ein Positronstrahl verwendet wurde. Nach der Aufrüstung des Beschleunigers soll bei Belle II eine 40-fach höhere Luminosität erreicht werden. Um das zu erreichen, muss die Asymmetrie des Beschleunigers verringert werden, und zwar von 8 GeV und 3.5 GeV Strahlen auf 4.0 und 7.0 GeV Strahlen. Es werden  $\Upsilon(4S)$  Mesonen ( $b\bar{b}$ ) erzeugt, die in zwei  $B$  Mesonen zerfallen. Der Wirkungsquerschnitt für die Erzeugung von  $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S)$  ist recht genau 1 nb.

Wie weit fliegen die  $B$  Mesonen im Mittel bei Belle und Belle II unter der Annahme, dass die  $B$  Mesonen im  $\Upsilon(4S)$  System in Ruhe sind. Wie groß ist der  $B$  Impuls tatsächlich im  $\Upsilon(4S)$  System?

Mit welcher Rate werden  $B$  Mesonen bei der Peak instantanen Luminosität bei Belle und Belle II erzeugt?

Nehmen Sie den Zerfall  $B^0 \rightarrow D^+D^-$  an. Wie weit fliegen im Mittel die  $D$  Mesonen im  $B^0$ -Ruhezustand?

Neben der  $\Upsilon(4S)$ -Resonanz, kann es auch zu einer Kontinuumsreaktion kommen, etwa  $e^+e^- \rightarrow c\bar{c}$ . Nehmen Sie an, dass die  $c$  Quarks direkt in  $D^0\bar{D}^0$  hadronisieren. Wie weit ist die mittlere Fluglänge in diesem Fall im *center of mass* System der  $e^+e^-$  Wechselwirkung?

### **Aufgabe 2: Okupanz in Pixel und Streifendetektoren** (3 Punkte)

Wir betrachten eine Fläche, durch die ein Teilchenstrom fließt. Um die Teilchen zu detektieren, kann entweder ein Pixeldetektor, oder ein doppellagiger Streifendetektor verwendet werden. Bei einem doppellagigen Streifendetektor werden meist die Streifen in der 2. Lage orthogonal zu den Streifen in der ersten Lage angebracht, so dass die erste Lage z.B. detaillierte x-Koordinaten liefert, während die zweite Lage y-Information liefert. Wie wollen annehmen, dass die Breite der Streifen gleich der Breite der quadratischen Pixel sei. Außerdem ist die Auslesegeschwindigkeit in den Streifendetektoren höher als im Pixel, schon allein weil die Zahl der Kanäle im

Pixeldetektor deutlich höher ist. Nehmen wir in unserem Fall einmal an, der Streifendetektor sei 100 mal schneller als der Pixeldetektor. Dafür ist im Streifendetektor unklar, welche x-Messung mit welcher y-Messung kombiniert werden muss.

Bei wie vielen Teilchen pro Ereignis im Siliziumdetektor ist die Zahl der effektiven Hits pro Auslesezeit (inkl. "ghost hits") mit  $x$  und  $y$  Information im Streifendetektor höher als im Pixeldetektor? Wie würden sie Pixeldetektoren und Streifendetektoren in einem Beschleunigerexperiment zueinander anordnen? Welche Abhängigkeit vom Radius erwarten sie grob für die Zahl der Spuren pro Detektorfläche? Welche Erkenntnis läßt sich daraus für das Auffinden (*tracking*) von Teilchenspuren ziehen?

Ionisation und Vielfachstreuung sind zwei Effekte, die einen starken Einfluss auf Teilchen haben, die sich durch Material bewegen. Die Vielfachstreuung hängt von der Strahlungslänge in einem Material ab. Was können Sie über die zugrunde liegenden physikalischen Prozesse lernen, wenn Sie sich die für verschiedene Materialien die jeweiligen Werte für Strahlungslänge und Ionisation ansehen?

<http://pdg.lbl.gov/2018/AtomicNuclearProperties/index.html>

### **Aufgabe 3: Particle ID**

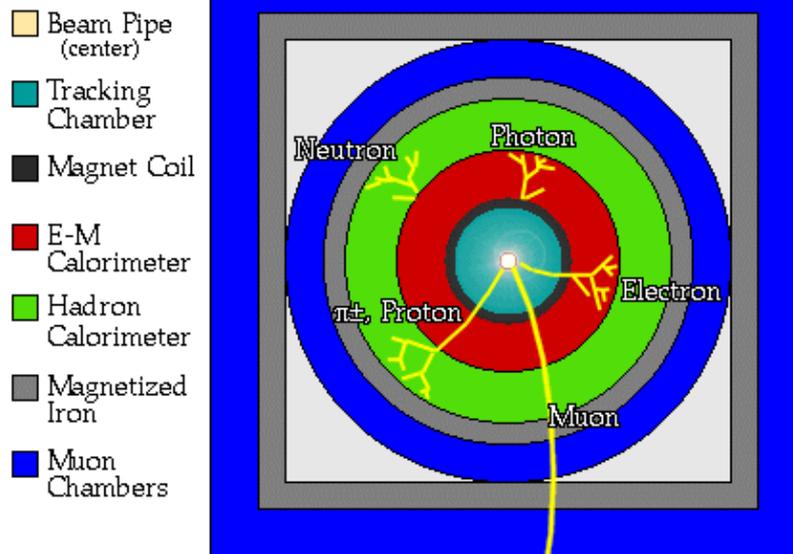
( 4 Punkte)

a) Ein RICH-Detektor hat einen 1 cm dicken Radiator, der mit flüssigem Freon (Brechungsindex  $n = 1.22$ ) gefüllt ist. Der Abstand  $L$  zwischen dem Radiator und dem Photondetektor ist 9.5 cm.

Wie groß sind die Schwellenimpulse, oberhalb derer Pionen bzw. Kaonen Čerenkovlicht erzeugen? Berechnen Sie die Größe der Radianringe im Photondetektor für Strahlung, die von Teilchen in der Mitte des Radiators ausgeht, als Funktion des Impulses und stellen Sie diese Funktion im Bereich vom Pion-Schwellenimpuls bis 2 GeV graphisch dar.

b) Wir betrachten nun Teilchen in einer Flavour-Fabrik, die am Wechselwirkungspunkt entstehen und von dort in einem Winkel von 90 Grad zur Strahlachse bis zu einem dedizierten Flugzeitdetektor fliegen. Dieser befindet sich am inneren Rand des Magneten in einem typischen Detektor:

### A detector cross-section, showing particle paths



Der Abstand vom Wechselwirkungspunkt zum Flugzeitdetektor betrage 1 m. Durch das homogene Magnetfeld entlang der Strahlachse fliegen die Teilchen auf einem Kreisabschnitt. Der Radius des Kreises auf dessen Abschnitt ein Teilchen mit 500 MeV Impuls fliegt, sei ebenfalls 1 m.

Berechnen Sie die notwendige Messgenauigkeit des Flugzeitdetektors in ps, damit Pionen und Kaonen bei Impulsen von 500 MeV, 1000 MeV und 1500 MeV voneinander getrennt werden können. Könnte an einer B-Fabrik, die Mesonen fast in Ruhe erzeugt, eine  $4\sigma$  Trennung für alle Pionen und Kaonen aus Zerfällen garantiert werden, wenn die Zeitauflösung 25 ps beträgt, und keine anderen Subdetektoren für zusätzliche Information bereit stünden?

Wie gross ist bei 500 MeV der Fehler, den man macht, wenn man für die Strecke die Krümmung der Bahn einfach vernachlässigt?