

Übungen zu Moderne Experimentalphysik III (Teilchen und Hadronen) Sommersemester 2020

Übungsblatt Nr. 8

Bearbeitung bis 06.07.2020

Aufgabe 1: Top-Quark-Produktion an Hadron-Collidern

(2+2+2+4=10 Punkte)

Am Tevatron-Beschleuniger wurden Protonen und Antiprotonen bei einer Schwerpunktsenergie von bis zu $\sqrt{s} = 1.96$ TeV zur Kollision gebracht. Dort wurde 1995 das Top-Quark entdeckt, welches eine Masse von ca. $m_t = 172,5$ GeV besitzt. Nach der Stilllegung des Tevatrons ist der LHC derzeit der einzige Teilchenbeschleuniger, an dem Top-Quarks produziert werden können. Dort finden Proton-Proton-Kollisionen mit einer Schwerpunktsenergie von bis zu $\sqrt{s} = 13$ TeV statt.

- Top-Quarks werden an Hadron-Collidern hauptsächlich als Top-Quark-Antiquark-Paare ($t\bar{t}$ -Paare) durch die starke Wechselwirkung erzeugt. Zeichnen Sie die Feynman-Diagramme führender Ordnung für $t\bar{t}$ -Produktion.
- Die Schwerpunktsenergie des Parton-Parton-Systems hängt von der Bjorkenschen Skalenvariable der beiden Protonen x_p (LHC) oder von der Skalenvariablen von Proton x_p und Antiproton $x_{\bar{p}}$ (Tevatron) ab. Wie groß muss x mindestens sein, damit $t\bar{t}$ -Paare erzeugt werden können, wenn $x := x_p = x_{\bar{p}}$ ist? Berechnen Sie das minimale x sowohl für $t\bar{t}$ -Produktion am Tevatron ($\sqrt{s} = 1.96$ TeV) als auch für $t\bar{t}$ -Produktion am LHC (2018: $\sqrt{s} = 13$ TeV).
- Begründen Sie anhand von Abb. 1, welcher der in Aufgabenteil a) ermittelten $t\bar{t}$ -Produktionsprozesse am Tevatron und welcher am LHC der dominante sein sollte.
- Diskutieren Sie, wie man $t\bar{t}$ -Paare in einem Detektor nachweisen kann. Welche verschiedenen Signaturen (Zerfallskanäle) gibt es und welche Vor- bzw. Nachteile haben diese? Betrachten Sie darüber hinaus wie die einzelnen Signaturen

im CMS-Detektor am LHC nachgewiesen werden. Welche Unterkomponenten des Detektors sind für welche Signatur von besonderer Wichtigkeit?

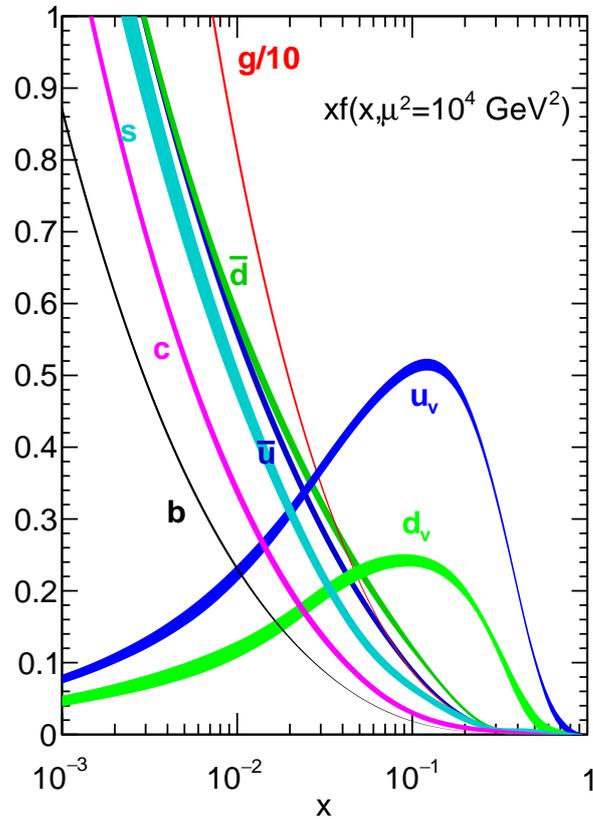


Abbildung 1: Partondichteverteilungen $xf(x, \mu^2)$ als Funktion der Bjorken-Skalenvariable x für verschiedene Quark- und Antiquark-Flavor, sowie für Gluonen im Proton [1].

Aufgabe 2: Neutrinooszillationen

(2+2+2+3+1+0=10 Punkte)

Im Jahr 2015 wurden Takaaki Kajita und Arthur B. McDonald mit dem Nobelpreis in Physik ausgezeichnet für ihre Schlüsselbeiträge zu dem Super-Kamiokande- bzw. SNO-Experiment, mit denen der Nachweis von Neutrinooszillationen gelang. Lesen Sie den von der Royal Swedish Academy of Science aus diesem Anlass herausgegebenen Artikel „Neutrino Oscillations“ [2] und beantworten Sie folgende Fragen, ggf. durch weitere Recherche:

- a) Fassen Sie kurz das Rätsel um die solaren und atmosphärischen Neutrinos zusammen, das vor den Resultaten der SNO- und Super-Kamiokande-Experimenten bestand. Welche Ursachen für die beobachteten Defizite im Neutrinofluss wurden diskutiert?
- b) Beschreiben Sie das Prinzip und das Ergebnis des SNO-Experiments. Welche Nachweisreaktionen wurden verwendet? Zeichnen Sie die relevanten Feynmandiagramme. Was unterschied das SNO-Experiment von vorherigen Experimenten zur Messung solarer Neutrinos, wodurch der Nachweis der Neutrinooszillationen möglich war?
- c) Beschreiben Sie das Prinzip und das Ergebnis des Super-Kamiokande-Experiments. Welche Nachweisreaktionen wurden verwendet? Zeichnen Sie die relevanten Feynmandiagramme.
- d) Was impliziert die Existenz von Neutrinooszillationen für die Massen von Neutrinos? Wovon hängen in einem vereinfachten Modell mit nur zwei Neutrino flavors die Amplitude und Phase der Oszillationen ab?
- e) Kann man durch Vermessung von Neutrinooszillationen die Massen der Neutrinos bestimmen? Begründen Sie Ihre Antwort.
- f) **Nur für aktiven Beitrag:** Präsentieren Sie die Ergebnisse der Aufgabe in einem kurzen Vortrag.

Aufgabe 3: Mu2e-Experiment

(0 Punkte)

Nur für aktiven Beitrag: Beim *muon-to-electron* (Mu2e)-Experiment, welches sich zur Zeit im Aufbau am Fermilab in den USA befindet, will man ab 2022 nach dem neutrinolosen Zerfall eines Myons in ein Elektron suchen. Solch ein Prozess ist im Standardmodell der Teilchenphysik verboten, wird jedoch von einigen Theorien für Physik jenseits des Standardmodells vorhergesagt. Lesen Sie den entsprechenden Fachartikel zum Mu2e-Experiment [3] und stellen Sie dessen Aufbau, Messprinzip und Ziele in einem kurzen Vortrag dar.

Literatur

- [1] NNPDF Collaboration, “Parton distributions from high-precision collider data”, *Eur. Phys. J. C* **77** (2017), no. 10, 663, arXiv:1706.00428. doi:10.1140/epjc/s10052-017-5199-5.
- [2] Nobelprize.org. Nobel Media AB, “The Nobel Prize in Physics 2015 - Advanced Information”. Web. 8 Jul 2016. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2015/advanced.html, 2014.
- [3] Mu2e Collaboration, “The Mu2e Experiment”, *Front. in Phys.* **7** (2019) 1, arXiv:1901.11099. doi:10.3389/fphy.2019.00001.