

# EINFÜHRUNG IN DIE QUANTENFELDTHEORIE

WiSE 2024-2025 – PROF. MARC WAGNER

MARC WINSTEL: [winstel@itp.uni-frankfurt.de](mailto:winstel@itp.uni-frankfurt.de)

## Aufgabenblatt 11

Zur Besprechung in den Tutorien am 28.01.24 und 30.01.25

### Aufgabe 1 [Störungstheorie für QFTs mit Fermionen]

Vorbemerkung: Das Ziel dieses Aufgabenblattes ist es, erste Erfahrungen im Umgang mit Fermionen im Rahmen der quantenfeldtheoretischen Störungstheorie zu sammeln. Fermionen können konzeptionell ähnlich zu Bosonen behandelt werden. Aufgrund ihrer Spin-Struktur sind die entsprechenden Gleichungen aber leicht verschieden und etwas komplexer. Eine Aufgabe im üblichen Stil, z.B. „Berechne den Wirkungsquerschnitt eines Streuprozesses zweier Fermionen...“, würde den zeitlichen Rahmen eines Aufgabenblatts übersteigen. Die dieswöchige Aufgabe besteht daher darin, eine Literaturrecherche durchzuführen (Kapitel 4.6 und 4.7 in M. Peskin, D. Schroeder, „An Introduction to Quantum Field Theory“) und wesentlich scheinende Gleichungen sorgfältig nachzurechnen oder zumindest nachzuvollziehen. Im entsprechenden Tutorium findet dann eine ausgiebige 90-minütige Diskussion dieser beiden Kapitel statt, bei der es sehr wünschenswert wäre, wenn Ihr Euch alle aktiv beteiligt.

Lies Kapitel 4.6 und 4.7 in M. Peskin, D. Schroeder. Lege dabei besonderes Augenmerk auf das Verständnis der Feynman-Regeln und des zugehörigen Formalismus zur Berechnung von S-Matrixelementen im Rahmen der Yukawa-Theorie (Fermionen die durch Austausch skalarer Bosonen wechselwirken).

Versuche dabei folgende Fragen zu klären bzw. Punkte abzuarbeiten:

- Welche physikalischen Prozesse beschreibt die Yukawa-Theorie? Nenne ein konkretes, physikalisches Beispiel, bei der die Yukawa-Theorie Anwendung finden kann.
- Fasse die Feynman-Regeln für die Yukawa-Theorie in eigenen Worten zusammen.
- Welche Diagramme treten in Ordnung  $e^2$  für Fermion-Fermion-Streuung bzw. für Fermion-Antifermion-Streuung auf?
- Gib Beispiele für Diagramme für die genannten Streuprozesse in Ordnung  $e^4$  und  $e^6$  an. Gibt es Diagramme der Ordnung  $e^3$  und  $e^5$ ?
- Arbeite Dich hinreichend tief in die Theorie ein, sodass Du in der Lage bist, mit den Feynman-Regeln jedes der von Dir gezeichneten Feynman-Diagramme in einen mathematischen Ausdruck zu übersetzen. Beachte dabei auch die Eigenschaften der ein- und auslaufenden Fermionen (d.h. mache Dir klar, wie Du Impuls und Spin dieser Teilchen vorgeben kannst).
- Verstehe Gleichung (4.119) (The full result, to lowest order, for the S-matrix element for this process ...) im Detail. (Wenn Du die obigen

Punkte bereits erfolgreich abgearbeitet hast, gibt es hier nichts mehr zu tun.)

- In der Vorlesung wurde die LSZ-Formel besprochen und wiederholt erwähnt. In den genannten Kapiteln und Unterpunkten tritt diese dagegen nicht in offensichtlicher Weise auf. Wird sie hier nicht benötigt? Oder ist sie irgendwo in versteckter Weise integriert?

Optional (d.h. wird voraussichtlich aus Zeitgründen nicht in den Tutorien besprochen):

Falls Du Zeit für zusätzliches Training findest oder Dir die S-Matrix zu abstrakt ist und Du die Verbindung von einer quantenfeldtheoretischen Rechnung zu einem experimentell messbaren Wirkungsquerschnitt herstellen möchtest, lies Kapitel 5 über Wirkungsquerschnitte und die S-Matrix. Berechne den Wirkungsquerschnitt des zu Gleichung (4.119) gehörigen Prozesses. Wenn in dieser Berechnung Probleme auftreten sollten bzw. weitere Hinweise benötigt werden, kontaktiere gerne die Übungsleitung (Marc Winstel).

*Das Buch von Peskin und Schroeder ist sowohl Online über das Portal der Unibibliothek als auch in physischer Form in der Bibliothek Naturwissenschaften verfügbar.*