

## Übung Nr. 2

**Diskussionsthema:** Was nennt man „(relativistische) Kovarianz einer Theorie“ ?

### Aufgabe 5. Viererkraft

Laut dem Newton'schen Gesetz ist die Beschleunigung eines nicht-relativistischen Teilchens proportional zur Kraft  $\vec{F}$ , die auf das Teilchen wirkt. Wir möchten hier eine vierdimensionale Version dieser Beziehung finden, indem wir einen Vierervektor (die „Viererkraft“)  $f^\mu$  bestimmen, dessen Raumkomponenten sich im nicht-relativistischen Limes auf die Newton'sche Kraft reduzieren. Die verallgemeinerte Gleichung soll

$$m \frac{du^\mu}{d\tau} = f^\mu \quad (1)$$

lauten, mit  $u^\mu$  der Vierergeschwindigkeit und  $\tau$  der Eigenzeit des Teilchens.

Wie lautet der Raumteil der Viererkraft? Und deren Zeitkomponente  $f^0$ ? Was beschreibt die Zeitkomponente der Gleichung (1)?

*Hinweis:* Um  $f^0$  zu finden, kann man das Lorentz-Quadrat der Vierergeschwindigkeit benutzen.

### Aufgabe 6. Zerfall

**i. Zwei-Teilchen-Zerfall** Ein Teilchen der Masse  $M$  zerfalle in zwei andere Teilchen mit Massen  $m_1, m_2$  und Impulsen  $\vec{p}_1, \vec{p}_2$ . Geben Sie die Impulse der Zerfallsprodukte im Schwerpunktsystem an. Kann ein massives Teilchen ein Photon abstrahlen?

**ii. Drei-Teilchen-Zerfall** Wie sieht es beim Zerfall von einem Teilchen in drei Teilchen aus?

### Aufgabe 7. Fixed-target Experimente und Collider-Experimente

Sei der (inelastische) Prozess  $p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$ .

**i.** In einem sogenannten „fixed-target“ Experiment ist eines der ursprünglichen Protonen  $p$  in Ruhe im Laborsystem: es stellt also ein feststehendes Ziel dar, auf welches das andere Proton geschossen wird. Wieviel Energie muss das letztere haben, damit die oben abgegebene Reaktion kinematisch erlaubt ist?

**ii.** In einem „Collider“, wie z.B. im Large Hadron Collider (LHC), stoßen die zwei Protonen mit gleicher Geschwindigkeit (im Laborsystem) frontal zusammen. Was ist die Schwellenenergie in diesem Fall?

### Aufgabe 8. Wechselwirkungsbild

In der Vorlesung wurde der Zeitentwicklungsoperator  $\hat{U}_I(t, t_0)$  durch

$$i\hbar \frac{\partial \hat{U}_I(t, t_0)}{\partial t} = g \hat{V}_I(t) \hat{U}_I(t, t_0)$$

mit der Anfangsbedingung  $\hat{U}_I(t_0, t_0) = \hat{1}$  definiert.

**i.** Zeigen Sie, dass  $\hat{U}_I(t, t_0) = \hat{1} - \frac{ig}{\hbar} \int_{t_0}^t \hat{V}_I(t') \hat{U}_I(t', t_0) dt'$  ist.

**ii.** Schreiben Sie die iterative Lösung dieser Gleichung zur Ordnung  $g^2$  auf.

**iii.** Können Sie aus der sich ergebenden Struktur auf die exakte Lösung schließen?

*Hinweis:* Exponentialfunktion...