

### 6.1 Observable für den Test von Symmetrien

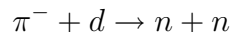
Vervollständigen Sie in der folgenden Tabelle, wie unterschiedliche Größen sich unter P (Raumspiegelung), C (Ladungskonjugation) und T (Zeitumkehr) verhalten.

Größe	P	C	T
Raumkoordinate $\vec{r}$	$-\vec{r}$	$\vec{r}$	$\vec{r}$
Impuls $\vec{p}$			
Drehimpuls, Spin $\vec{l}, \vec{s}$			
Helizität $h = \vec{l} \cdot \vec{p} / ( \vec{l}  \cdot  \vec{p} )$			
Elektrische Ladung $q$			
Leptonzahl $L_e, L_\mu, L_\tau$			
Baryonzahl $A$			
Isospin $I_3$			
Elektrisches Feldvektor $\vec{E}$			
Magnetisches Feldvektor $\vec{B}$			

Hinweis: Um das Verhalten des elektrischen und des magnetischen Feldes zu untersuchen können Sie sich vorstellen, wie sich ein System mit elektrischen Ladungen verhält, das dieses Feld produziert, z.B. ein elektrische Ladung in einem Draht.

### 6.2: Parität geladener Pionen

Betrachten Sie ein Deuterium-Atom in dem das Elektron durch ein  $\pi^-$  ersetzt wurde. Falls das Pion sich im S-Zustand (Bahndrehimpuls  $L = 0$ ) befindet kann folgende Reaktion stattfinden:



Im Endzustand ist der Gesamtdrehimpuls durch  $J = L + S$  gegeben, wobei L der Bahndrehimpuls und S der Spin ist. Leiten Sie, unter Verwendung der Tatsache, dass für das Deuteron  $J^P = 1^+$  und für das Pion  $S_\pi = 0$  gilt, die intrinsische Parität des Pions her.

- Nehmen Sie an, dass die Zwei-Neutron-Wellenfunktion wie folgt faktorisiert werden kann:  $\Phi = \phi(\text{Raum}) \cdot \alpha(S, S_z)$ . Wie verhalten sich  $\Phi$ ,  $\phi$  and  $\alpha$  unter Vertauschung der beiden Neutronen?
- Warum muss die Gesamtwellenfunktion  $\Phi$  unter Vertauschung der beiden Neutronen antisymmetrisch sein? Zeigen Sie, dass als Konsequenz L+S gerade sein muss.
- Warum muss für den Gesamtdrehimpuls im Endzustand  $J = 1$  gelten? Welche Werte ergeben sich daraus für den Bahndrehimpuls  $L$  der beiden Neutronen?

- d. Was ergibt sich für die Parität des Endzustands und damit für die intrinsische Parität des Pions?

### 6.3: Erhaltungssätze

Geben Sie für die folgenden Zerfälle bzw. Reaktionen an, ob sie verboten oder erlaubt sind. Geben Sie im letzteren Fall an, ob die Zerfälle durch starke, elektromagnetische bzw. schwache Zerfälle induziert werden. Begründen Sie Ihre Antwort.

- |  |   |
|--|---|
| a. $p \rightarrow e^+ \gamma$                              | f. $p \rightarrow n e^+ \nu_e$              |
| b. $e \rightarrow \nu_e \gamma$                            | g. $\Delta^0 \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$ |
| c. ${}^8_3\text{Li} \rightarrow {}^8_4\text{Be} e^+ \nu_e$ | h. $\Delta^0 \rightarrow n \pi^0$           |
| d. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \gamma$                        | i. $e^+ e^- \rightarrow p \bar{p}$          |
| e. $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu \gamma$      | j. $e^+ e^- \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e$  |

Geben Sie Feynmandiagramme für die erlaubten Prozesse an.

### 6.4: Kernspaltung und Massenformel

- a. Warum gibt es keine  ${}^{111}_{79}\text{Au}$  Kerne in der Natur?
- b. Man beobachtet, daß bei der Spaltung von schweren Kernen (Massenzahl  $A$ , Kernladung  $Z$ ) in zwei Bruchstücke meist ein leichtes ( $A_L, Z_L$ ) und ein schweres ( $A_S, Z_S$ ) Bruchstück entsteht. Im Mittel kann man

$$A_S : A_L \approx Z_S : Z_L \approx 3 : 2$$

annehmen. Weiter gilt  $A_S + A_L = A$  und  $Z_S + Z_L = Z$ . Stellen Sie mit Hilfe der semiempirischen Massenformel fest, welche Beiträge zur Energiegewinnung beitragen. Berechnen Sie ferner für die Spaltung von  ${}^{235}_{92}\text{U}$  die Energiebilanz (ebenfalls unter der Annahme, dass der Kern im Verhältnis 2:3 spaltet). Ignorieren Sie hier und in den folgenden Teilaufgaben die (nicht kontinuierlich von  $A$  und  $Z$  abhängige) Paarungsenergie. Wieviel Prozent der Masse wird in Energie umgewandelt?

- c. Bestimmen Sie den Verlauf des „Stabilitätstaes“ in der  $(A, Z)$ -Ebene, indem Sie die Werte für  $Z$  berechnen, für die die Bindungsenergie bei festem  $A$  maximal wird.
- d. Berechnen Sie mit Hilfe des in der vorherigen Teilaufgabe gewonnenen Ergebnisses den stabilsten Kern  $(A, Z)$ . Vergleichen Sie mit der Realität (Hinweis: Verwenden Sie Mathematica, um das Problem numerisch zu lösen!).
- e. [Für Interessierte] Welche (ungefähre) Massenzahl muß ein Kern haben, der nur aus Neutronen besteht, um stabil zu sein? Wie verhält sich diese Kernmasse zur Masse unserer Sonne. Vergleichen Sie das Ergebnis mit der typischen Masse eines Neutronensterns.