

**Aufgabe 2: Protonium und Positronium****(20 Punkte)**

Beispiele für kurzlebige gebundene Paare aus einem Teilchen und einem Antiteilchen sind das Protonium, das sich aus einem Proton  $p$  und einem Antiproton  $\bar{p}$  zusammensetzt, und das Positronium, das aus einem Elektron  $e^-$  und einem Positron  $e^+$  besteht.

- a) Betrachten Sie die Bindungen von Teilchen und Antiteilchen analog zum Bohrschen Wasserstoffmodell. Berücksichtigen Sie dabei, dass sich die beiden Bindungspartner um ihren gemeinsamen Schwerpunkt bewegen. Bestimmen Sie sowohl für das Protonium als auch für das Positronium im ersten angeregten Zustand die Bindungsenergie in eV und den Radius. (4P)
- b) Geben Sie für beide Systeme an, ob zusätzlich zur Coulombwechselwirkung weitere Wechselwirkungsarten prinzipiell zur Bindung beitragen können. Benennen Sie diese gegebenenfalls sowie auch die zugehörigen Austauschteilchen, und begründen Sie die Dominanz der Coulombwechselwirkung. (3P)
- c) Betrachten Sie nun den strahlenden Zerfall eines ruhenden Positroniums. Geben Sie mit Begründung an, wie viele Photonen hierbei mindestens entstehen und geben Sie deren relative Propagationsrichtungen an. (2P)
- d) Das Positronium hat den Gesamtspin  $S = 1$  (Orthopositronium) oder  $S = 0$  (Parapositronium). Für das Verhältnis der Lebensdauern  $\tau$  dieser beiden Konfigurationen gilt  $\tau_{Ortho}/\tau_{Para} \gg 1$ . Begründen Sie diesen Sachverhalt qualitativ mithilfe der Impuls- und Drehimpulserhaltung beim Zerfall des Positroniums.  
Hinweis: Berücksichtigen Sie für beide Fälle die jeweilige minimal erforderliche Photonenzahl. (4P)
- e) Der strahlende Zerfall eines  $(e^+, e^-)$ -Paares bildet die Basis für die Positron-Emissionstomographie (PET) als bildgebendes diagnostisches Verfahren in der Nuklearmedizin. Erläutern Sie mithilfe einer Zeichnung und einer Texterklärung, wie man hierbei die Orte erhöhter Strahlungsaktivität bestimmen kann. (3P)
- f) Als Detektoren für Gamma-Strahlung können Photomultiplier mit vorgeschalteten Szintillatorkristallen eingesetzt werden. Beschreiben Sie die Funktionsweise dieser Detektoren und stellen Sie sie in einer schematischen Zeichnung dar. (4P)

- 6 -