

Diss ETH 6103

ÜBER DEN EXKLUSIVEN RADIATIVEN MYONEINFANG AM KOHLENSTOFF
UND AM SAUERSTOFF

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Naturwissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
Alfred Wullschleger
Dipl. Phys. ETH
geboren am 13. Februar 1948
von Zofingen, Kanton Aargau
und Winterthur, Kt. Zürich

angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Ch. Schmid, Referent
Prof. Dr. F. Scheck, Korreferent

ABSTRACT

In this work we make an impulse approximation calculation of exclusive radiative muon captures on $^{12}\text{C}(\text{g.s.})$ proceeding to the ground state of ^{12}B and on $^{16}\text{O}(\text{g.s.})$ going to the $^{16}\text{N}(0^-, 120 \text{ keV-level})$. For ^{16}O we test the dependence of observables such as angular correlations, total polarizations etc. on the nuclear model used. Within reasonable limits, the dependence is negligible. We further show that the q^2 -dependence of the induced pseudoscalar formfactor g_p of the nucleon weak current influences the correlation observables significantly. For the form of the induced pseudoscalar form factor given by the Goldberger-Treiman relation we study the influence of possible second-class current contributions. It is shown that polarization and alignment of the ^{12}B final state are very sensitive to the magnitude of the induced pseudoscalar and the second-class contributions.

ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN, ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wird versucht, einen Überblick über die Möglichkeiten des exklusiven radiativen Myoneinfangs an Kernen zu gewinnen.

Um möglichst unabhängig vom Kernmodell zu bleiben, versuchen wir zunächst mit Hilfe der Elementarteilchenmethode Aussagen zu machen. Es zeigt sich jedoch, daß aufgrund der Kernstruktur starke q^2 -Variationen den effektiven Formfaktoren auftreten, die nicht auf einfache Weise durch Extrapolation experimentell bekannter Größen gewonnen werden können und daher praktisch nur durch eine Stoßnäherungsrechnung bestimmt werden können.

Die Elementarteilchenmethode führt also nicht zum Ziel, und es liegt nahe, direkt eine Stoßnäherungsrechnung für den exklusiven Myoneinfang durchzuführen. Dazu bestimmen wir mit Hilfe des Theorems von Low zunächst eine eichinvariante Amplitude für den elementaren Prozeß $p + \mu^- \rightarrow n + \nu + \gamma$. Die einzige schnelle q^2 -Variation dieser Amplitude stammt vom Beitrag des Pions im induzierten Pseudoskalar g_p . Ein Studium dieses Prozesses liefert also Information über den Aufbau des induzierten Pseudoskalars g_p . Gleichzeitig kann hier die (bisher umstrittene) Existenz eines Zweitklassbeitrages g_T (induzierter Tensor) im Axialstrommatrixelement zwischen Proton und Neutron untersucht werden.

Es stellt sich nun die Frage, ob diese Informationen bei einer Messung am Kern immer noch in einigermaßen reiner Form zur Verfügung stehen, oder ob die kernphysikalischen Unsicherheiten bei Durchführung der Stoßnäherung die elementaren Aussagen verdecken. Deshalb testen wir im Übergang $^{16}\text{O} + \mu^- \rightarrow ^{16}\text{N}(\text{O}^-) + \nu + \gamma$ die Abhängigkeit der Observablen vom verwendeten Kernmodell. Zur Beschreibung des $^{16}\text{N}(\text{O}^-)$ verwenden wir dabei eine Konfigurationsmischung aus zwei Teilchen-Loch-Zuständen zum Potential des harmonischen Oszillators. Die absolute radiative Rate ändert sich um einen

Faktor 2.5 bei einer Variation der Konfigurationsmischung um ± 10 %. Das Verzweigungsverhältnis des radiativen zum normalen Myoneinfang bleibt jedoch innerhalb 10 % konstant. Sowohl die Winkelverteilung der Photonen relativ zum Myonspin (w_γ), als auch die Kernrückstoßasymmetrie w_R sind innerhalb geringer Schwankungen stabil.

Am Beispiel des erlaubten Übergangs $^{12}\text{C} \rightarrow ^{12}\text{B}(\text{g.s.})$ zeigen wir sodann durch Vergleich mit ^{16}O die deutliche Abhängigkeit der Korrelationen w_γ , w_R , t (= totale Photonpolarisation) und v (= Polarisationsasymmetrie) von den Spins der beteiligten Kerne: das qualitative Verhalten von w_γ , w_R , t und v in Abhängigkeit von der Photonenergie ist völlig verschieden für 0^+ nach 1^+ und 0^+ nach 0^- - Übergänge.

Weiter stellt sich heraus, daß für erlaubte Übergänge die nullte Näherung der Entwicklung der elementaren Amplitude nach der Nukleongeschwindigkeit p/M ausreicht, während für einfach verbotene Übergänge (^{16}O) die linearen Terme in p/M bis zu 30 % zur Rate beitragen.

Sowohl im Beispiel des ^{16}O als auch des ^{12}C hängen die Observablen sehr deutlich von der Form des induzierten Pseudoskalars ab. Die Formfaktoren g_V , g_A , g_M und g_T können im interessierenden q^2 -Bereich als konstant angesehen werden.

Das Studium des induzierten Pseudoskalars an Kernen ist also gerechtfertigt.

Geht man von der durch die Goldberger-Treiman-Relation gegebenen Form von g_p aus, so lassen sich α_p und α_T aus Messungen von w_γ , t , v , w_R und (für ^{12}C) p und a innerhalb gewisser unvermeidbarer Zweideutigkeiten bestimmen.

p und a im Bor hängen sehr empfindlich von den Werten von α_p und α_T ab.

Da die Messung dieser Größen für unpolarisierte Myonen durchgeführt werden kann, ist der Übergang ^{12}C nach ^{12}B auch experimentell attraktiv, nicht zuletzt auch wegen der gegenüber dem radiativen Einfang am Proton ungefähr zehnmal höheren Einfangrate.

Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit können in verschiedenen Richtungen ausgedehnt werden:

- Für den erlaubten Übergang im ^{12}C können Mehrteilchen-Mehrloch-Konfigurationen für die Beschreibung der Kernzustände verwendet werden. (Es besteht allerdings Grund zur Annahme, daß diese komplizierteren Modelle keine wesentliche Änderung der Korrelationen bewirken.

Im normalen Myoneinfang am ^{12}C bringt z.B. die Verwendung des Cohen-Kurath-Modells eine gewaltige Reduktion der Einfangrate. Die Änderung der Polarisation des ^{12}B gegenüber dem einfachen Teilchen-Loch-Modell ist aber mit 0.05 ausgesprochen gering, wie auch Devanathan und Subramanian (Ref. 44) feststellen.)

- Eine ungeklärte grundsätzliche Frage der Stoßnäherung ist die korrekte Behandlung des Kernschwerpunktes für die linearen Terme in p/M im Rahmen von Einteilchenmatrixelementen.
- Es sollte versucht werden, eine physikalisch überzeugende Extrapolation der Amplitude des radiativen Pioneinfangs zu finden, um damit eine echte Elementarteilchenbeschreibung des radiativen Myoneinfangs an Kernen durchführen zu können.

Abschließend möchte ich allen danken, die mich während der Vorbereitung dieser Arbeit unterstützt haben.

An erster Stelle danke ich meinem lieben Lehrer Florian Scheck, der mich mit viel Toleranz durch die Alltagsmühen dieser Arbeit geleitet hat. Frau Edith Borie hat wesentlich zum guten Gelingen beigetragen, indem sie mich in die Geheimnisse des Algebraischen Programms SCHOONSHIP eingeweiht hat. Herrn N.C. Mukhopadhyay danke ich für viele Anregungen im Zusammenhang mit den Berechnungen am ^{12}C und ^{16}O .

Allen Mitgliedern der Theoriegruppe des SIN, insbesondere N. Straumann, F. Lenz, M.P. Locher, J. Martorell und J. Meyer-ter-Vehn danke ich für viele anregende Diskussionen über allgemeine Probleme im Zusammenhang mit meiner Arbeit.

An der Universität Mainz haben mir J. Missimer, R. Tegen, P. Kreiß und H. Axer manche wichtigen Hinweise gegeben.

Schließlich danke ich T. v. Ledebur und meinem Freund Peter Wolff für die Hilfe bei allen Problemen mit der Rechenmaschine in Zürich. J. Hueg und R. Petry haben in Mainz für den reibungslosen Ablauf meiner Computerarbeiten gesorgt.