



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea in Fisica

Tesi di Laurea

Studi di struttura nucleare con lo spettrometro GALILEO

Relatore

Prof. Silvia Monica Lenzi

Correlatore

Dr. Dmitry Testov

Laureanda

Matilde Avesani

Anno Accademico 2019/2020

Indice

1	Introduzione	1
2	Apparato sperimentale	3
2.1	Spettrometro per raggi γ GALILEO	4
2.2	EUCLIDES	5
2.3	Neutron Wall	6
3	Schema dei livelli del ^{30}P	7
4	Confronto con i calcoli del modello a shell	11
5	Conclusioni	15
	Bibliografia	16

Capitolo 1

Introduzione

Il nucleo di un atomo è costituito da due tipi di nucleoni: i neutroni, che non hanno carica, ed i protoni, che sono carichi positivamente. I nucleoni sono tenuti legati grazie alla forza nucleare a corto raggio, tuttavia i protoni tendono a respingersi a causa della forza elettromagnetica; l'equilibrio tra queste due forze è spiegata dall'energia di legame dei nuclei, funzione del numero di protoni e di neutroni. Nella parte bassa della carta dei nuclidi (fino a $N = Z = 20$) si può osservare che i nuclei maggiormente legati sono quelli che giacciono lungo la bisettrice, ovvero quei nuclei che hanno lo stesso numero di neutroni (N) e protoni (Z).

I nuclei con $N = Z$ sono interessanti da studiare perchè permettono di indagare l'interazione di pairing come funzione dello spin e del numero di massa. Nucleoni della stessa specie si accoppiano con $T = 1$, invece nucleoni differenti possono accoppiarsi con $T = 0$ oppure $T = 1$. In particolare, nei nuclei dispari-dispari gli stati con $T = 0$ e $T = 1$ si trovano ad energie di eccitazione simili [1, 2].

In questa tesi vengono presentati i risultati degli studi riguardanti il nucleo dispari-dispari, con $N = Z = 15$ ^{30}P , prodotto successivamente ad una reazione di fusione-evaporazione. In questo tipo di reazioni un fascio di nuclei pesanti viene accelerato per raggiungere un'energia superiore alla barriera coulombiana ed inviato contro un bersaglio; il nucleo prodotto, che si trova in uno stato di alta energia di eccitazione e alto momento angolare, emette particelle cariche leggere (protoni, deutoni e particelle α) e neutroni in un processo veloce ($\sim 10^{-19}\text{s}$). Successivamente il nucleo decade emettendo raggi γ e lo studio di questi ultimi permette di ricavare informazioni sulla struttura del nucleo tramite la misura dell'energia, dello spin, della parità e il tempo di vita degli stati eccitati dei nuclei finali. Uno schema della reazione è riportato in Figura 1.1.

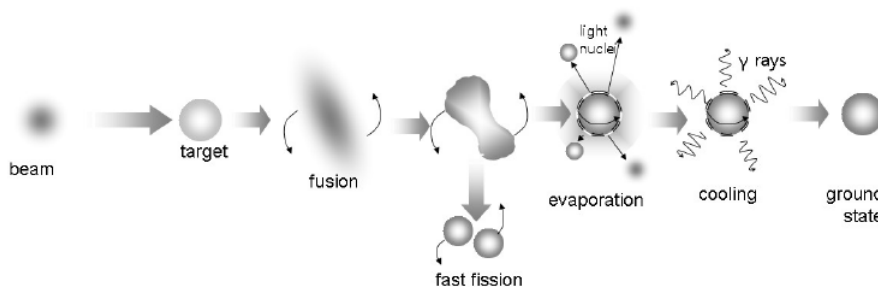


Figura 1.1: Schema della reazione di fusione-evaporazione.

La reazione di fusione-evaporazione considerata in questo studio è $^{12}\text{C}(45\text{ MeV})+^{24}\text{Mg}$. Tale reazione

popola diversi nuclei con differenti sezioni d'urto, i nuclei maggiormente popolati sono ^{31}P [$1\alpha 1p$], ^{33}S [$2p 1n$], ^{28}Si [2α], ^{27}Al [$2\alpha 1n$], ^{30}P [$1\alpha 1p 1n$], ^{34}Cl [$1p 1n$], ^{31}S [$1\alpha 1n$] e ^{34}S [$2p$].

Il ^{30}P è già stato studiato in esperimenti precedenti, tuttavia vi è un solo esperimento simile a quello riportato in questa tesi: quello nel quale la reazione di fusione-evaporazione utilizzata è $^{16}\text{O}(^{16}\text{O},pn)$, utilizzando l'Indian National Gamma (Clover) Array (INGA) [3]. Infatti, anche in questo esperimento vengono utilizzati ioni pesanti che vanno a popolare stati di momento angolare relativamente alto, mentre negli studi precedenti venivano popolati stati a basso momento angolare.

Nel Capitolo 2 è riportata la descrizione dell'apparato strumentale utilizzato per questo esperimento, ossia lo spettrometro a raggi γ GALILEO [4] affiancato dal rivelatore al silicio per particelle cariche EUCLIDES [5] e l'array di rivelatori per neutroni Neutron Wall [6].

Nel Capitolo 3 è riportata l'analisi dei dati sperimentali e lo schema dei livelli osservati del ^{30}P .

Nel Capitolo 4 vengono confrontati i livelli sperimentali del ^{30}P con quelli calcolati utilizzando il modello a shell ed inoltre vengono riportati i numeri di occupazione media dei protoni e neutroni degli stati con parità positiva e negativa.

Capitolo 2

Apparato sperimentale

L'apparato sperimentale utilizzato per lo studio della reazione di fusione-evaporazione considerata è lo spettrometro per raggi γ GALILEO in funzione nei Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN (LNL-INFN).

GALILEO è un array di rivelatori al germanio ad alta efficienza che può essere accoppiato con dispositivi complementari: in particolare nell'esperimento trattato lo spettrometro viene accoppiato alla Neutron Wall per la rivelazione dei neutroni, ed EUCLIDES per la rivelazione delle particelle cariche leggere. In Figura 2.1 è riportato lo schema dell'apparato.

La reazione di fusione-evaporazione utilizzata, $^{24}\text{Mg}(^{12}\text{C}, 1\alpha 1p1n)^{30}\text{P}$, è generata da un fascio incidente di ^{12}C di 45 MeV prodotto dall'acceleratore Tandem XTU; il nucleo d'interesse si forma dopo l'emissione di un particella α , un protone ed un neutrone da parte del nucleo composto ^{36}Ar .

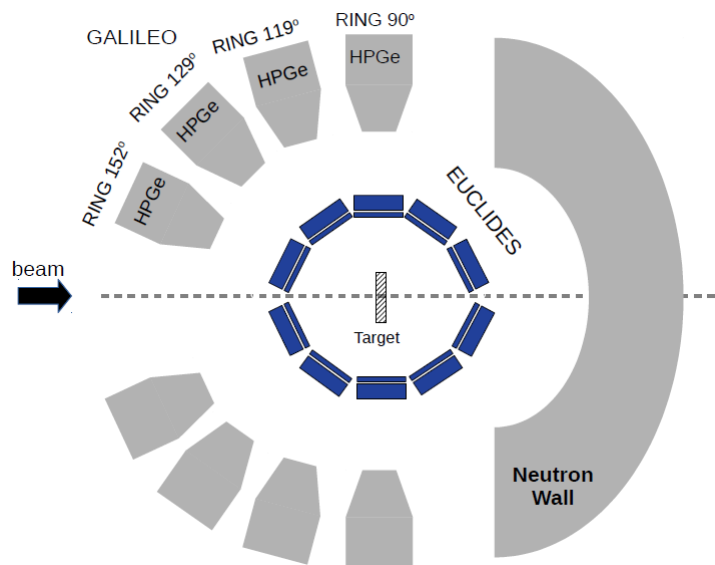


Figura 2.1: Schema dello spettrometro a raggi γ GALILEO accoppiato con EUCLIDES e la Neutron Wall.

2.1 Spettrometro per raggi γ GALILEO

GALILEO è costituito da rivelatori ad alta risoluzione al germanio (HPGe) ricoperti da cristalli di germanato di bismuro (BGO) che agiscono come schermi anti-Compton per ottenere un rapporto tra il numero di conteggi del fotopicco e il numero totale di conteggi (Peak to Total ratio) di $\sim 50\%$. L'efficienza assoluta misurata è del $\sim 2.3\%$ per raggi γ di 1.3 MeV e l'efficienza media è di circa 2.5.



Figura 2.2: Lo spettrometro GALILEO.

Lo spettrometro è stato progettato in modo tale che i rivelatori al germanio siano disposti in modo simmetrico attorno al fascio incidente. I rivelatori HPGe presenti nell'apparato sono 25 e sono organizzati in quattro anelli, tali da coprire un angolo solido di $\sim 2\pi$: 5 rivelatori a 152° , 5 a 129° , 5 a 119° e 10 a 90° . Ogni rivelatore al germanio è circondato da otto cristalli BGO, ovvero scintillatori a cristalli inorganici. Quando il materiale è colpito dalla radiazione gli elettroni vengono promossi dalla banda di valenza a quella di conduzione e la loro successiva diseccitazione comporta l'emissione di un fotone. Quest'ultimo viene convertito in un segnale elettrico da un fotomoltiplicatore accoppiato allo scintillatore BGO.

Quando un evento è rivelato in coincidenza da un BGO e dal relativo HPGe significa che il fotone non ha perso tutta la sua energia nel rivelatore al germanio ma è stato diffuso al di fuori del cristallo. Questo implica che l'evento osservato dal rivelatore HPGe non contiene un'informazione completa riguardante l'energia del fotone e quindi l'evento deve essere scartato.

I raggi γ , essendo emessi in volo, sono soggetti all'effetto Doppler e per tale ragione è necessario eseguire una correzione delle energie rivelate. Per questa correzione si suppone che il nucleo prodotto si muove lungo la stessa direzione del fascio incidente e ne conserva il momento. Il legame tra l'energia intrinseca del raggio γ e l'energia nel laboratorio è data dalla relazione seguente:

$$E_\gamma^0 = E_\gamma \frac{1 - \beta \cos \theta}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (2.1)$$

dove E_γ^0 è l'energia del raggio γ nel centro di massa, E_γ è l'energia del raggio γ nel sistema di riferimento del laboratorio. $\beta = \frac{v}{c}$, dove v è la velocità di rinculo del nucleo residuo e θ è l'angolo tra la direzione del vettore velocità e la direzione del raggio γ nel laboratorio. Supponendo che l'angolo tra la direzione del vettore velocità e la direzione del fascio incidente sia trascurabile, possiamo considerare θ come l'angolo del rivelatore al germanio rispetto alla direzione del fascio.

Un'ulteriore correzione dell'effetto Doppler può essere applicata valutando l'angolo di deflessione del nucleo residuo rispetto alla direzione del fascio incidente (dovuto al rinculo delle particelle emesse). Per tale correzione si utilizza il rivelatore secondario EUCLIDES accoppiato a GALILEO.

2.2 EUCLIDES

Nella reazione di fusione-evaporazione vengono prodotte diversi tipi di particelle e la rivelazione simultanea di particelle cariche leggere (α , protoni, deutoni, ecc.) e raggi γ è importante, in quanto permette di raggiungere la massima selettività. In vista di ciò è stato accoppiato a GALILEO un rivelatore al silicio di particelle cariche leggere, EUCLIDES.

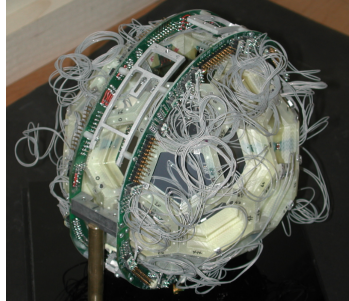


Figura 2.3: Foto di EUCLIDES.

EUCLIDES garantisce un'efficienza del 60% per la rivelazione di un singolo protone e del 35% per quella di singola particella α . Il rivelatore è una struttura sferica autoportante costituita da 40 telescopi ΔE -E [7] che ricoprono $\sim 80\%$ di un angolo solido di 4π ed ha un diametro di 13 cm. I rivelatori utilizzati hanno due possibili forme, esagonale e pentagonale, con una superficie di $\sim 10 \text{ cm}^2$. I telescopi ΔE e E al silicio distano tra loro $100 \mu\text{m}$ ed hanno uno spessore rispettivamente di ~ 130 e $\sim 1000 \mu\text{m}$.

La perdita di energia delle particelle cariche che attraversano un materiale è descritta dalla formula di Bethe-Bloch ed è su questo che si basa il funzionamento di EUCLIDES per la distinzione delle varie particelle leggere prodotte nel processo considerato:

$$\frac{dE}{dx} \propto \frac{mZ^2}{E} \quad (2.2)$$

dove $\frac{dE}{dx}$ è il rapporto tra il differenziale dell'energia persa e il differenziale della lunghezza del tragitto percorso dalla particella all'interno del materiale, m è la massa della particella incidente e Z il suo numero atomico. Nei telescopi ΔE -E per distinguere le particelle si combinano i dati relativi all'energia persa nello strato più sottile ΔE con quelli dell'energia residua rilasciata nello strato di materiale più spesso. Plottando poi l'energia persa in funzione dell'energia residua si possono notare diverse fasce, ognuna corrispondente ad un diverso valore mZ^2 e quindi a diversi tipi di particella.

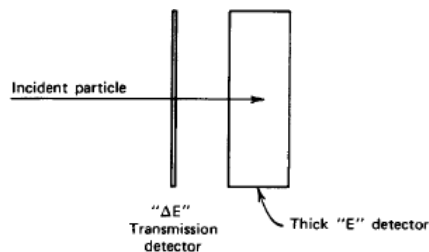


Figura 2.4: Schema dei telescopi ΔE -E.

EUCLIDES permette inoltre di eseguire un'ulteriore correzione dell'effetto Doppler attraverso una ricostruzione cinematica del nucleo che ha subito il rinculo. Per ricostruire la traiettoria di questi nuclei è necessario rivelare l'angolo θ , che nella Formula 2.1 era stato approssimato pari all'angolo al quale è disposto il rivelatore al germanio rispetto al fascio incidente, e l'energia E delle particelle leggere evaporate (protoni, neutroni e particelle α).

2.3 Neutron Wall

La Neutron Wall è un detector affiancato a GALILEO con lo scopo di rivelare i neutroni prodotti nelle reazioni di fusione-evaporazione. Essa ha un'efficienza intrinseca del $\sim 50\%$ per i neutroni con energie tipiche delle reazioni di fusione-evaporazione; se si considera un angolo di 1π l'efficienza della Neutron Wall è del $\sim 20 - 23\%$.

La Neutron Wall è posizionata frontalmente al fascio incidente ed è costituita da dei rivelatori a scintillazione organici accoppiati a fotomoltiplicatori (PMT). Quando la radiazione incontra il materiale del detector ne eccita gli elettroni, durante il processo di diseccitazione vengono emessi dei fotoni che vengono convertiti in segnale elettrico dai fotomoltiplicatori. Il problema dei detector a scintillazione è che rivelano sia i neutroni che i raggi γ , per distinguere i segnali vengono utilizzati due differenti metodi: l'analisi dei tempo di volo (TOF) e la Zero Cross Over (ZCO). La prima tecnica si basa sul fatto che i neutroni hanno una velocità diversa rispetto alla radiazione elettromagnetica perciò, essendo emessi simultaneamente nel processo di evaporazione, percorrono lo spazio tra il punto in cui avviene la reazione e la Neutron Wall in tempi differenti; invece la tecnica dello Zero Cross Over distingue i neutroni dai fotoni utilizzando i diversi tempi di decadimento dei segnali prodotti nei scintillatori. Vi è un altro modo per distinguere i neutroni ed i fotoni, la Pulse Shape Analysis (PSA), la quale sfrutta la proprietà dei neutroni di avere una maggiore perdita di energia nel momento della rivelazione rispetto ai fotoni.

Capitolo 3

Schema dei livelli del ^{30}P

In una reazione di fusione-evaporazione i nuclei residui sono popolati in stati ad alta energia di eccitazione e alto momento angolare e decadono verso lo stato fondamentale emettendo radiazione γ . L'energia dei raggi γ corrisponde alla differenza di energia tra gli stati eccitati.

Il nucleo di ^{30}P è stato popolato dopo che il nucleo composto di ^{36}Ar ha emesso una particella α , un protone ed un neutrone. Come prima cosa, quindi, sono stati selezionati i diversi canali di reazione attraverso la richiesta di coincidenza con le particelle evaporate.

Poichè nel processo di fusione-evaporazione vengono emesse delle particelle, il nucleo prodotto rincula e non viene emesso lungo la stessa direzione del fascio incidente. Per questo motivo viene fatta una correzione cinematica che consiste nel valutare l'angolo al quale sono emesse le particelle α ed i protoni e ricavare la direzione del nucleo che rincula dalla conservazione del momento angolare data da:

$$\bar{p}_{res} = \bar{p}_{composto} - \sum_{i=1}^N \bar{p}_i \quad (3.1)$$

dove \bar{p}_{res} è il momento del nucleo residuo, $\bar{p}_{composto}$ è il momento del nucleo composto e \bar{p}_i è il momento delle particelle evaporate (si considerano solo particelle α e protoni).

Lo schema dei livelli del ^{30}P è stato costruito applicando opportuni gate alle matrici di coincidenza $E_\gamma - E_\gamma$ sulle transizioni con maggiore intensità.

In particolare sono state utilizzate due tipi di matrici: la matrice in coincidenza con l'evaporazione di una particella α , un protone ed un neutrone (ad esempio il gate a 708 keV riportato in Figura 3.1) e la matrice in coincidenza con una particella α (per esempio i gate a 694 keV riportato in Figura 3.2).

Dall'analisi di tali spettri sono state confermate le transizioni osservate in studi precedenti. I livelli del ^{30}P riportati in letteratura sono stati osservati in reazioni indotte da ioni leggeri, pertanto risultano essere di spin basso. È stato realizzato un solo studio che utilizza reazioni tra ioni pesanti che favoriscono la popolazione di stati con più alto momento angolare, nello specifico la reazione di fusione-evaporazione analizzata è $^{16}\text{O}(^{16}\text{O},\text{pn})$, [3]. Rispetto a quest'ultimo studio sono state osservate delle transizioni nuove: dallo stato 0^+ a 678.4 keV allo stato fondamentale 1^+ , dallo stato 2^+ a 2939.7 keV allo stato 3^+ a 1975 keV e la transizione dallo stato 2^+ a 2939.7 keV allo stato 0^+ a 678.4 keV. Queste transizioni sono quelle che diseccitano gli stati con isospin $T = 1$.

In Tabella 3.1 sono riportate le energie dei raggi γ trovati, l'energia del livello iniziale e finale della transizione corrisponde ed i corrispettivi momenti angolari e parità.

$E_i(keV)$	J_i^π	$E_\gamma(keV)$	E_f	J_f^π
678.4	0^+	678.4 (6)	0	1^+
708.9	1^+	708.9 (6)	0	1^+
1455.9	2^+	746.8(6)	708.9	1^+
		1455.9 (7)	0	1^+
1975	3^+	519 (1)	1455.9	2^+
		1266.2 (8)	708.9	1^+
		1975 (1)	0	1^+
2538.1	(3^+)	2538.1 (11)	0	1^+
2841.8	(3^+)	1385.9 (5)	1455.9	2^+
		2131.8 (8)	708.9	1^+
2939.7	2^+	964.7 (8)	1975	3^+
		2261.1 (5)	678.4	0^+
4233.3	4^-	2258.3 (6)	1975	3^+
		1694.5 (6)	2538.1	3^+
4343.9	5^+	2368.9 (9)	1975	3^+
4928	(5^-)	694.7 (8)	4233.3	4^-
7203.8	(6^+)	2859.9 (9)	4343.9	5^+

Tabella 3.1: Tabella delle transizioni osservate, energia del livello iniziale e finale della transizione corrispondente ed i corrispettivi momenti angolari e parità.

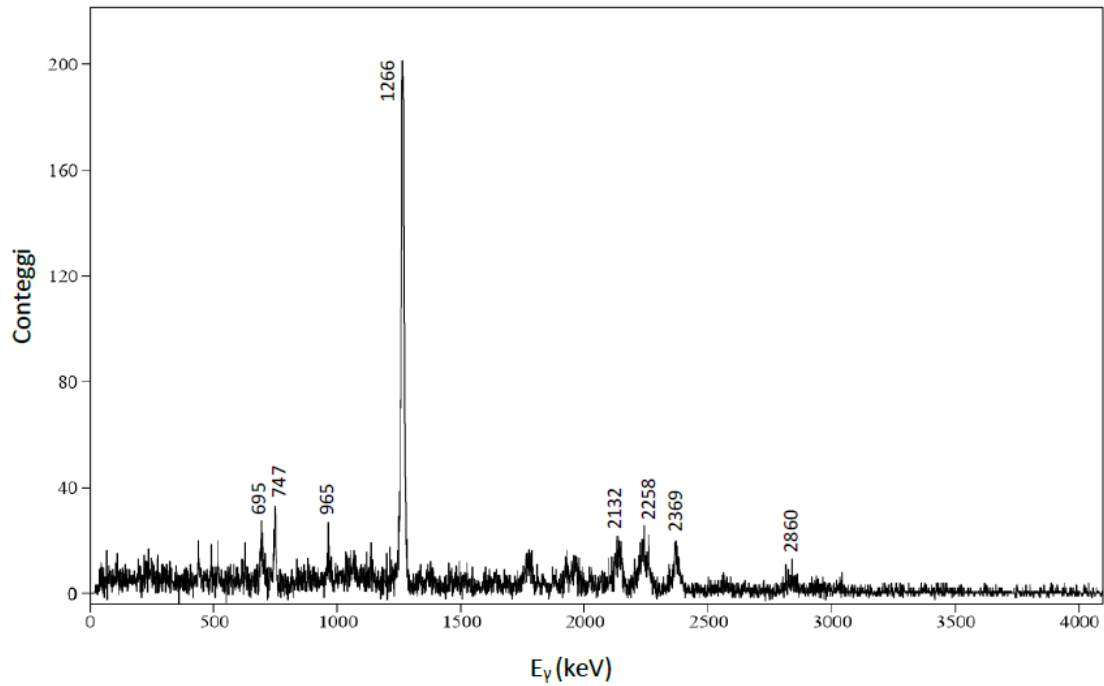


Figura 3.1: Spettro ottenuto dalla matrice $E_\gamma - E_\gamma$ applicando un gate nella transizione di 709 keV in coincidenza con una particella α , un protone ed un neutrone.

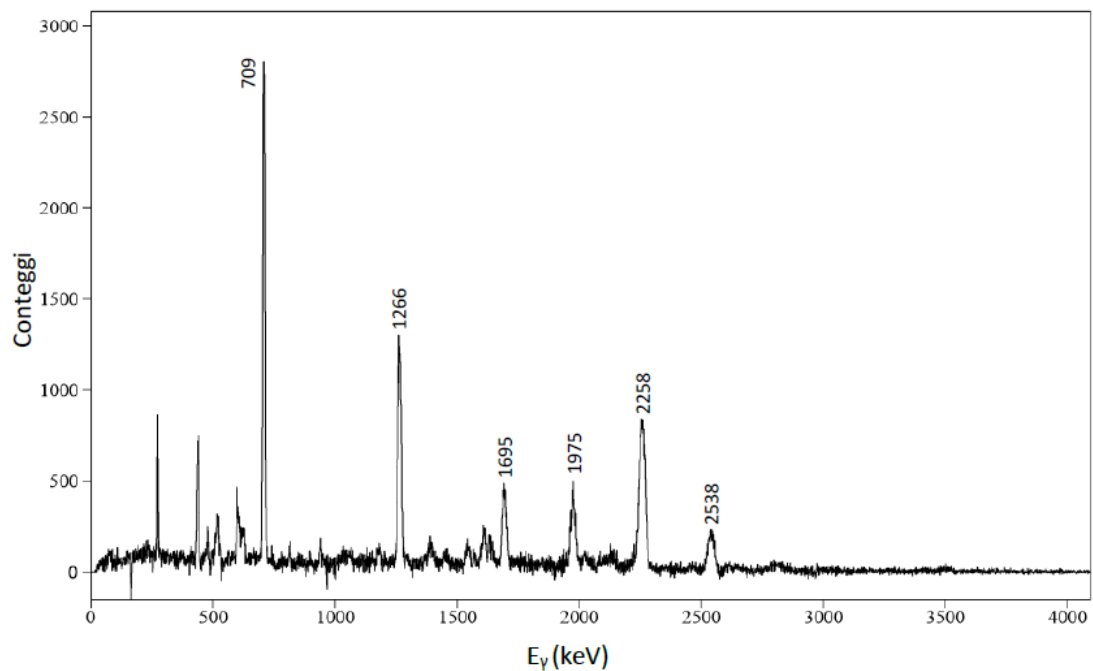


Figura 3.2: Spettro ottenuto dalla matrice $E_\gamma - E_\gamma$ applicando un gate nella transizione di 694 keV in coincidenza con una particella α .

Poichè l'efficienza di EUCLIDES è del 60% per la rivelazione di un singolo protone e del 35% per quella di singola particella α e quella della Neutron Wall è del $\sim 25\%$ per la rivelazione di un neutrone, vi sono dei picchi spuri che quindi non rappresentano transizioni del nucleo di interesse.

In Figura 3.3 è riportato lo schema dei livelli costruito a partire dalle transizioni osservate.

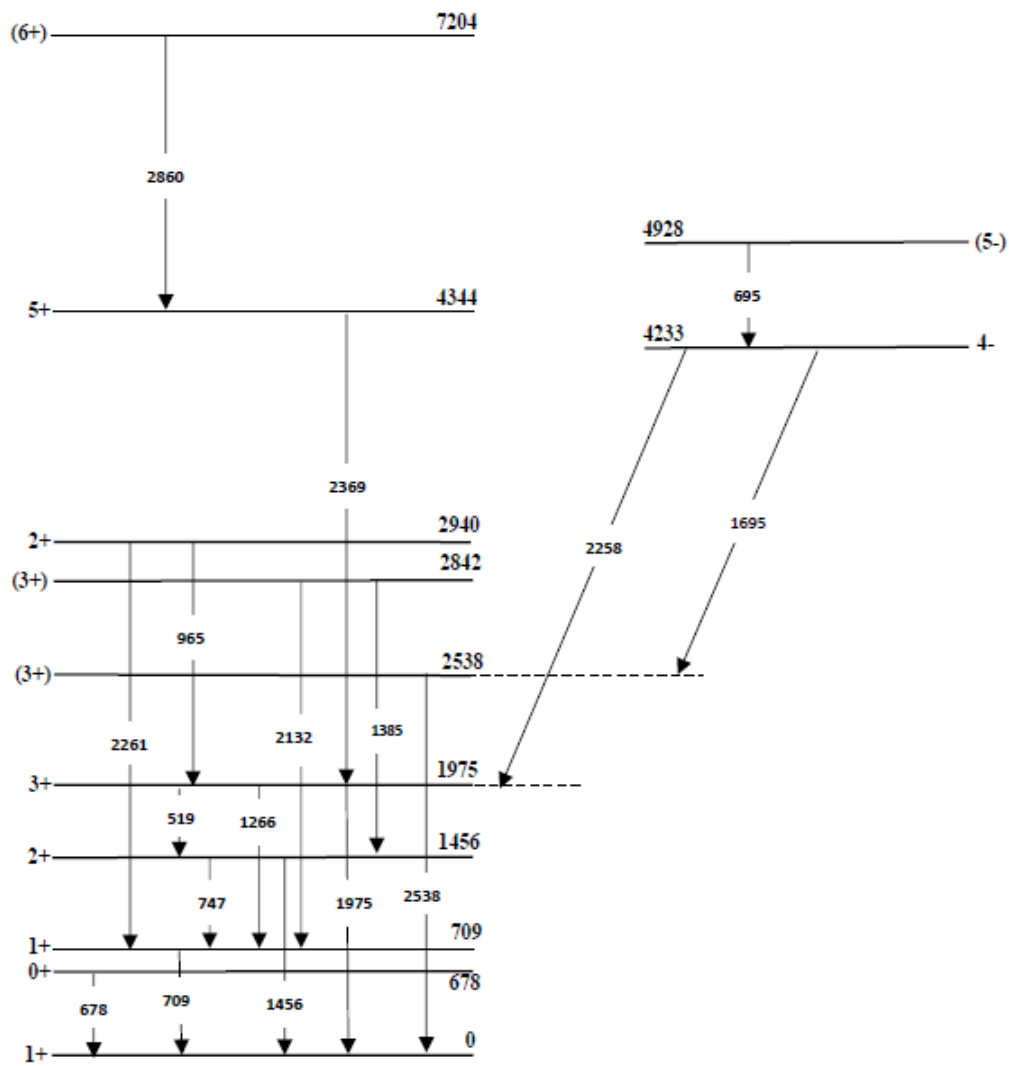


Figura 3.3: Schema dei livelli osservati del ^{30}P .

Capitolo 4

Confronto con i calcoli del modello a shell

Per interpretare le proprietà osservate del ^{30}P sono stati eseguiti calcoli di modello a shell utilizzando il codice ANTOINE [8].

Poichè sono stati osservati stati a parità sia positiva sia negativa, è stata utilizzata l'interazione PSDPF [9]. Nell'interazione PSDPF il core è rappresentato da ^4He e lo spazio di valenza è costituito dalle shell p , sd e pf .

Per gli stati a parità positiva i nucleoni sono liberi di muoversi tra i livelli della shell sd , mentre gli stati a parità negativa sono ottenuti promuovendo un nucleone dalla shell sd alla shell superiore pf oppure promuovendo un nucleone della shell inferiore p alla shell sd .

Per gli stati a parità positiva fino al livello (6^+) è stato trovato un buon accordo tra i valori sperimentali e quelli calcolati con il modello a shell. Inoltre l'ordine dei livelli ottenuto dai calcoli è simile a quello trovato sperimentalmente: le inversioni che si possono osservare nella Figura 4.1 sono trascurabili perchè la distanza in energia tra i livelli sperimentali ed i corrispondenti livelli calcolati con il modello a shell non è significativa.

Il livello più alto in energia osservato in questa analisi è stato suggerito nello studio con la reazione $^{16}\text{O}(^{16}\text{O},\text{pn})$ [3] come stato 6^+ oppure 7^+ , tuttavia dai calcoli con il modello a shell realizzati in questo studio, che riproducono bene il resto dei livelli, si ottiene che lo stato 6^+ ha energia 7142 keV mentre il 7^+ ha energia 8500 keV e per questo motivo si suggerisce l'assegnazione di $J^\pi = (6^+)$ allo stato all'energia 7203.8 keV.

Per quanto riguarda invece gli stati con parità negativa, è stato trovato un buon accordo tra valori sperimentali e teorici per entrambi i livelli osservati, il 4^- e il 5^- .

Il confronto tra i livelli sperimentali e quelli calcolati con il modello a shell è riportato in Figura 4.1. Quasi tutti gli stati osservati, che sono riportati nello schema seguente, hanno $T = 0$, gli unici stati ad avere $T = 1$ sono lo stato 0^+ e il secondo stato 2^+ . Questi stati sono analoghi agli stati isobari del ^{30}Si , ad esempio, nel quale lo stato fondamentale è uno 0^+ e il 2^+ si trova ad una energia di 2235 keV e la differenza di energia tra questi livelli è simile a quella tra gli stessi stati del ^{30}P .

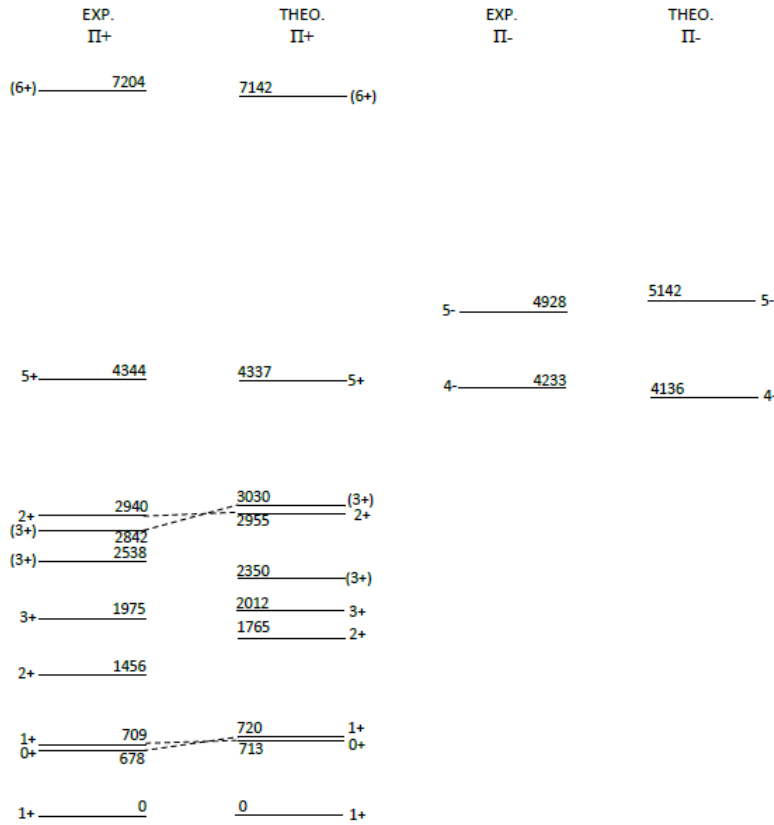


Figura 4.1: Confronto tra i livelli sperimentali e quelli calcolati con il modello a shell sia per stati a parità positiva sia negativa.

I calcoli di modello a shell restituiscono anche la composizione della funzione d'onda. Tutti gli stati calcolati presentano funzioni d'onda complesse, dove competono molte configurazioni diverse. Tuttavia, anche se non c'è una configurazione dominante, si può analizzare l'occupazione media dei singoli orbitali e il loro andamento con l'aumentare del momento angolare. Il calcolo è stato eseguito sia per gli stati a parità positiva sia negativa. I risultati sono riportati in Tabella 4.1 e Tabella 4.2; i valori riportati nelle tabelle sono gli stessi sia per i neutroni che per i protoni poichè nei calcoli eseguiti non viene tenuta in considerazione l'interazione coulombiana e quindi per l'interazione nucleare non si ha alcuna differenza tra i due tipi di nucleoni. È da notare, allora, che i valori riportati si riferiscono a un solo tipo di nucleone.

J	$d_{5/2}$	$s_{1/2}$	$d_{3/2}$
0	5.21	0.99	0.80
1	5.43	1.01	0.56
1	5.16	0.85	0.99
2	5.23	0.85	0.91
2	4.89	1.23	0.88
3	5.00	1.07	0.93
3	5.05	1.09	0.87
3	4.92	1.04	1.04
5	4.77	1.40	0.83
6	4.58	1.12	1.29

Tabella 4.1: Numero di occupazione media dei protoni o neutroni dei livelli a parità positiva.

Come si può notare dalla Tabella 4.1 il numero di occupazione media per stati a basso momento angolare è ~ 5 per l'orbitale $d_{5/2}$, ~ 1 per gli orbitali $s_{1/2}$ e $d_{3/2}$; fa eccezione il primo stato con $J = 1^+$ per il quale l'orbitale $d_{5/2}$ ha un numero di occupazione media di ~ 5.5 e l'orbitale $d_{3/2}$ di ~ 0.5 .

Si può inoltre osservare che con l'aumento del momento angolare si ha una lieve diminuzione del numero di occupazione media dell'orbitale $d_{5/2}$. In questo caso i valori scendono sotto a 5.0, mentre negli stati a basso momento angolare il valore è superiore a 5. A questa diminuzione corrisponde un aumento del numero di occupazione media dell'orbitale $d_{3/2}$, infatti vengono raggiunti valori poco superiori a 1; questo avviene perchè per raggiungere stati con più alto momento angolare, alcuni nucleoni dell'orbitale $d_{5/2}$ devono essere promossi all'orbitale $d_{3/2}$. Il numero di occupazione media dell'orbitale $s_{1/2}$ rimane invece costante a ~ 1 .

Si discostano da tale andamento gli stati con $J = 1^+$, citato in precedenza, e con $J = 5^+$. Quest'ultimo presenta un valore di occupazione media per l'orbitale $s_{1/2}$ di 1.4 e per l'orbitale $d_{3/2}$ inferiore ad 1.

J	$d_{5/2}$	$s_{1/2}$	$d_{3/2}$	$f_{7/2}$
8	4.63	0.97	0.91	0.45
10	4.40	1.02	1.10	0.46

Tabella 4.2: Numero di occupazione media dei protoni o neutroni dei livelli a parità negativa.

Dalla Tabella 4.2 si può notare che nei livelli a parità negativa osservati l'orbitale $d_{5/2}$ ha un numero di occupazione medio di ~ 4.5 e di ~ 1 per gli orbitali $s_{1/2}$ e $d_{3/2}$. Per l'orbitale $f_{7/2}$ si ha un numero di occupazione di ~ 0.45 , questo significa che un protone ed un neutrone hanno la stessa probabilità ($\sim 50\%$) di essere promossi alla shell pf , in accordo con il fatto che, essendo un nucleo con uguale numero di protoni e neutroni, la funzione d'onda deve essere simmetrica rispetto all'eccitazione dei protoni e neutroni. La restante frazione (~ 0.05) è distribuita tra gli altri orbitali della shell pf .

In precedenza è stato detto che i livelli a parità negativa si possono ottenere promuovendo un nucleone della shell p alla shell sd oppure promuovendolo dalla shell sd alla shell pf ; tuttavia la probabilità che un nucleone della shell p sia promosso alla shell sd è trascurabile (inferiore all'1%).

Capitolo 5

Conclusioni

In questa tesi è stato studiato il nucleo del ^{30}P .

Gli stati eccitati del ^{30}P sono stati popolati attraverso la reazione di fusione-evaporazione $^{24}\text{Mg}(^{12}\text{C}, 1\alpha 1\text{p}1\text{n})^{30}\text{P}$ nella quale un fascio di ^{12}C a 45 MeV viene inviato dall'acceleratore XTU-Tandem contro bersaglio di ^{24}Mg autoportante di $400 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. L'apparato di rivelazione utilizzato, in funzione nei Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN, è costituito dallo spettrometro per raggi γ GALILEO accoppiato all'array per la rivelazione di particelle cariche EUCLIDES e l'array di rivelatori di neutroni Neutron Wall.

Per ricostruire lo schema dei livelli del ^{30}P sono state analizzate due tipi di matrici: quella in coincidenza con una particella α , un protone ed un neutrone e la matrice di coincidenza $E_\gamma - E_\gamma$, ottenute richiedendo la coincidenza con una particella α . In queste matrici sono poi stati effettuati degli opportuni gate a determinate energie e sono stati cercati i raggi γ in coincidenza. Sono stati osservati gli stati a parità positiva fino al (6^+) e due stati a parità negativa, il 4^- e il 5^- . Lo schema dei livelli trovato e le transizioni osservate confermano ciò che era stato trovato in studi precedenti, sono state però osservate tre transizioni che non sono riportate nello studio del nucleo di ^{30}P realizzato con la reazione di fusione-evaporazione $^{16}\text{O}(^{16}\text{O},\text{pn})$ [3].

Con i calcoli di modello a shell sono state calcolate le energie dei livelli osservati e sono state confrontate con i valori sperimentali. È stato trovato un buon accordo tra i due valori per gli stati a parità sia positiva sia negativa.

Sono poi stati calcolati i numeri di occupazione media di protoni e neutroni per tutti gli stati osservati: l'orbitale con un numero di occupazione media più alto (~ 5) è l'orbitale $d_{5/2}$, gli orbitali $s_{1/2}$ e $d_{3/2}$ hanno invece un numero di occupazione media di ~ 1 . Nel caso di stati a parità negativa è stato riportato il numero di occupazione media anche per l'orbitale $f_{7/2}$ perchè è stato visto essere quello favorito per l'eccitazione dei nucleoni.

Per concludere lo studio del ^{30}P , i passi successivi consistono nel misurare le multipolarità delle transizioni osservate per confermare e/o assegnare gli spin e parità degli stati osservati, e i rapporti di diramazione che saranno confrontati con le predizioni teoriche.

Bibliografia

- [1] S.M. Lenzi *et al.* «Band termination in the N= Z odd-odd nucleus ^{46}V ». In: *Physical Review C* 60.2 (1999).
- [2] C.E Svensson *et al.* «High-spin states in the odd-odd N=Z nucleus ^{50}Mn ». In: *Physical Review C* 58.5 (1998).
- [3] I. Ray *et al.* «Indication of the onset of collectivity in ^{30}P ». In: *Physical Review C* 76.3 (2007).
- [4] D. Testov *et al.* «High resolution γ -ray spectroscopy using GALILEO array». In: *arXiv preprint: 1903.01296* (2019).
- [5] D. Testov *et al.* *Light charged particle detector EUCLIDES for the GALILEO campaign*. Rapp. tecn. Laboratori Nazionali di Legnaro, 2015.
- [6] A. Lonardi. «The neutron wall detector coupled to GALILEO γ -ray array for the study of proton-rich nuclei». Università degli studi di Padova, 2015.
- [7] Glenn F. Knoll. *Radiation detection and measurement*. John Wiley & Sons, 2010.
- [8] E. Caurier e F. Nowacki. «Present status of shell model techniques». In: *Acta Physica Polonica B* 30 (1999), p. 705.
- [9] M. Bouhelal *et al.* «A PSDPF interaction to describe the $\hbar\omega$ intruder states in sd shell nuclei». In: *Nuclear Physics A* 864.1 (2011), pp. 113–127.

