

# Large scale computing at INFN STRENGTH project

Nunzio Itaco

Università della Campania “Luigi Vanvitelli”  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Napoli

13 febbraio 2017



## Structure and REactions of Nuclei: towards a Global Theory



- Catania
- LNS Catania
- Milano
- Napoli
- Padova
- Pisa

- correlazioni a molti corpi  $\Rightarrow$  proprietà spettroscopiche dei nuclei
- dinamica delle eccitazioni nucleari & meccanismi di reazione

# Il doppio decadimento beta senza neutrini

Il doppio decadimento beta senza neutrini ( $0\nu\beta\beta$ ) costituisce uno dei più importanti argomenti attuali di indagine della fisica potendo fornire informazioni cruciali sulle proprietà dei neutrini.

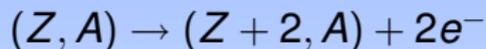


- violazione del numero leptonic
- neutrino di Majorana
- possibilità di determinare la massa efficace del neutrino  $m_{\beta\beta}$  (p.e. “see-saw” mechanism)



# Il doppio decadimento beta senza neutrini

Il doppio decadimento beta senza neutrini ( $0\nu\beta\beta$ ) costituisce uno dei più importanti argomenti attuali di indagine della fisica potendo fornire informazioni cruciali sulle proprietà dei neutrini.

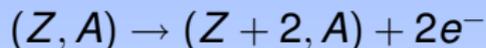


- violazione del numero leptonic
- neutrino di Majorana
- possibilità di determinare la massa efficace del neutrino  $m_{\beta\beta}$  (p.e. “see-saw” mechanism)



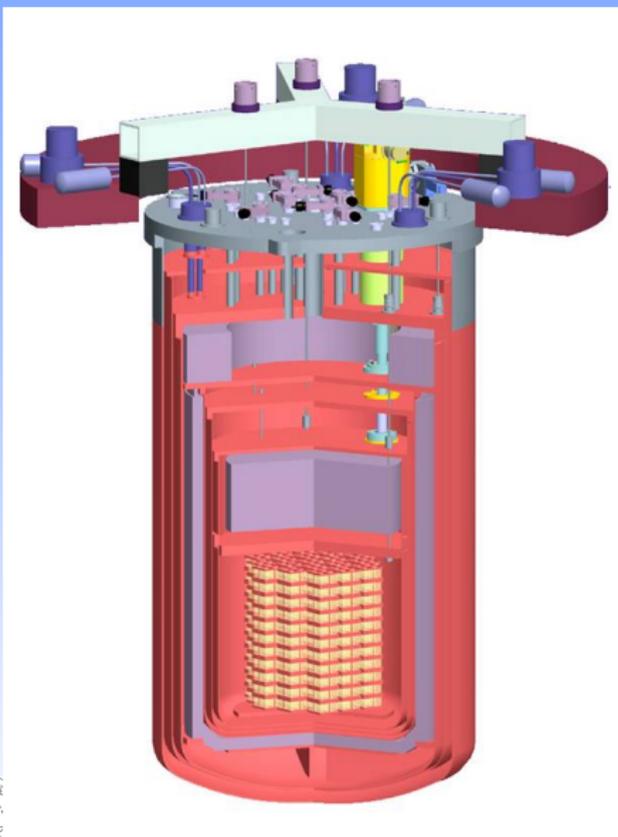
# Il doppio decadimento beta senza neutrini

Il doppio decadimento beta senza neutrini ( $0\nu\beta\beta$ ) costituisce uno dei più importanti argomenti attuali di indagine della fisica potendo fornire informazioni cruciali sulle proprietà dei neutrini.



- violazione del numero leptonico
- neutrino di Majorana
- possibilità di determinare la massa efficace del neutrino  $m_{\beta\beta}$  (p.e. “see-saw” mechanism)





- TeO<sub>2</sub> crystals used as low heat capacity bolometers, arranged into towers and cooled in a large cryostat to approximately 10 m°K with a dilution refrigerator.
- The detectors are isolated from backgrounds by ultrapure low-radioactivity shielding.
- Temperature spikes from electrons emitted in Te  $0\beta\beta$  are collected for spectrum analysis.

# Il doppio decadimento beta senza neutrini

Differenti meccanismi sono stati proposti per descrivere il processo  $0\nu\beta\beta$ .

## Light neutrino exchange

$$\left(T_{1/2}^{0\nu}\right)^{-1} = G_1^{0\nu} |M^{0\nu}|^2 \left(\frac{\langle m_{\beta\beta} \rangle}{m_e}\right)^2,$$

- $G_1^{0\nu} \Rightarrow$  integrale dello spazio delle fasi (dipende da  $Q_{\beta\beta}$  e  $R$ ).
- $\langle m_{\beta\beta} \rangle = |\sum_k m_k U_{ek}^2| \Rightarrow$  massa efficace del neutrino di Majorana  
 $U_{ek} \Rightarrow$  matrice di mescolamento leptonic
- $M^{0\nu}$  elemento di matrice nucleare NME

$$M^{0\nu} = M_{GT}^{0\nu} - \left(\frac{g_V}{g_A}\right)^2 M_F^{0\nu} - M_T^{0\nu},$$

# Il doppio decadimento beta senza neutrini

Differenti meccanismi sono stati proposti per descrivere il processo  $0\nu\beta\beta$ .

## Light neutrino exchange

$$\left(T_{1/2}^{0\nu}\right)^{-1} = G_1^{0\nu} |M^{0\nu}|^2 \left(\frac{\langle m_{\beta\beta} \rangle}{m_e}\right)^2,$$

- $G_1^{0\nu} \Rightarrow$  integrale dello spazio delle fasi (dipende da  $Q_{\beta\beta}$  e  $R$ ).
- $\langle m_{\beta\beta} \rangle = \left| \sum_k m_k U_{ek}^2 \right| \Rightarrow$  massa efficace del neutrino di Majorana  
 $U_{ek} \Rightarrow$  matrice di mescolamento leptonic
- $M^{0\nu}$  elemento di matrice nucleare NME

$$M^{0\nu} = M_{GT}^{0\nu} - \left(\frac{g_V}{g_A}\right)^2 M_F^{0\nu} - M_T^{0\nu},$$

# Il doppio decadimento beta senza neutrini

$$M^{0\nu} = M_{GT}^{0\nu} - \left(\frac{g_V}{g_A}\right)^2 M_F^{0\nu} - M_T^{0\nu},$$

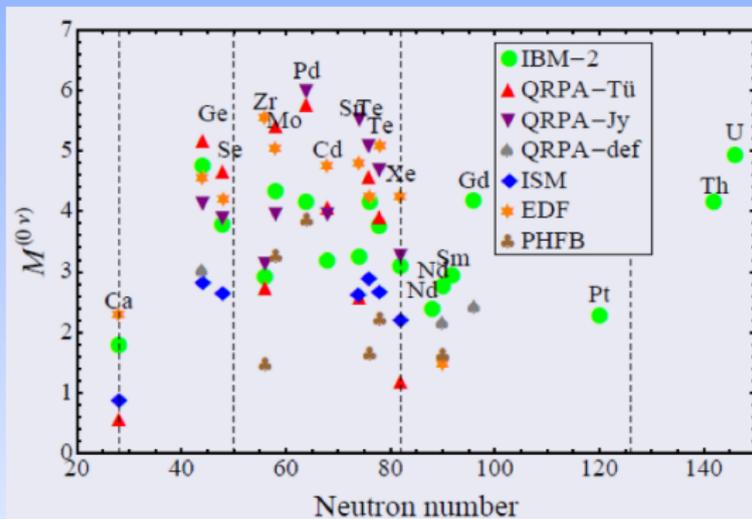
dove

$$M_{GT}^{0\nu} = \langle 0_f^+ | \sum_{m,n} \tau_m^- \tau_n^- H_{GT}(r_{mn}) \vec{\sigma}_m \cdot \vec{\sigma}_n | 0_i^+ \rangle$$

$$M_F^{0\nu} = \langle 0_f^+ | \sum_{m,n} \tau_m^- \tau_n^- H_F(r_{mn}) | 0_i^+ \rangle$$

$$M_T^{0\nu} = \langle 0_f^+ | \sum_{m,n} \tau_m^- \tau_n^- H_T(r_{mn}) [3(\vec{\sigma}_m \cdot \hat{r}_{mn})(\vec{\sigma}_n \cdot \hat{r}_{mn}) - \vec{\sigma}_m \cdot \vec{\sigma}_n] | 0_i^+ \rangle$$

# Calcolo dell'elemento di matrice nucleare



# Approccio microscopico al modello a shell

Scegli un potenziale  $NN$  realistico ( $NNN$ )



Determina lo spazio modello più adatto per studiare il sistema in esame



Deriva l'hamiltoniana efficace (e gli operatori efficaci) di modello a shell utilizzando una teoria a molti corpi



Calcola gli osservabili fisici (energie, probabilità di transizione e.m., ...)

# Approccio microscopico al modello a shell

Scegli un potenziale  $NN$  realistico ( $NNN$ )



Determina lo spazio modello più adatto per studiare il sistema in esame



Deriva l'hamiltoniana efficace (e gli operatori efficaci) di modello a shell utilizzando una teoria a molti corpi



Calcola gli osservabili fisici (energie, probabilità di transizione e.m., ...)

# Approccio microscopico al modello a shell

Scegli un potenziale  $NN$  realistico ( $NNN$ )



Determina lo spazio modello più adatto per studiare il sistema in esame



Deriva l'hamiltoniana efficace (e gli operatori efficaci) di modello a shell utilizzando una teoria a molti corpi



Calcola gli osservabili fisici (energie, probabilità di transizione e.m., ...)

# Approccio microscopico al modello a shell

Scegli un potenziale  $NN$  realistico ( $NNN$ )



Determina lo spazio modello più adatto per studiare il sistema in esame



Deriva l'hamiltoniana efficace (e gli operatori efficaci) di modello a shell utilizzando una teoria a molti corpi



Calcola gli osservabili fisici (energie, probabilità di transizione e.m., ...)

## dimensioni dello spazio modello

major shell 50-82  $\Rightarrow 10^9$  stati di base

major shell 50-82 +  $g_{9/2}, h_{11/2} \Rightarrow 10^{25}$  stati di base !!

## inclusione della forza a 3 corpi $V_{NNN}$

- $\chi^{\text{PT}} \Rightarrow V_{NN} + V_{NNN}$
- diagonalizzazione  $\Rightarrow$  # stati di base uguale, ma  $H_{\text{eff}}$  meno “sparsa”

## dimensioni dello spazio modello

major shell 50-82  $\Rightarrow 10^9$  stati di base

major shell 50-82 +  $g_{9/2}, h_{11/2} \Rightarrow 10^{25}$  stati di base !!

## inclusione della forza a 3 corpi $V_{NNN}$

- $\chi^{\text{PT}} \Rightarrow V_{NN} + V_{NNN}$
- diagonalizzazione  $\Rightarrow$  # stati di base uguale, ma  $H_{\text{eff}}$  meno “sparsa”

# Sfide computazionali

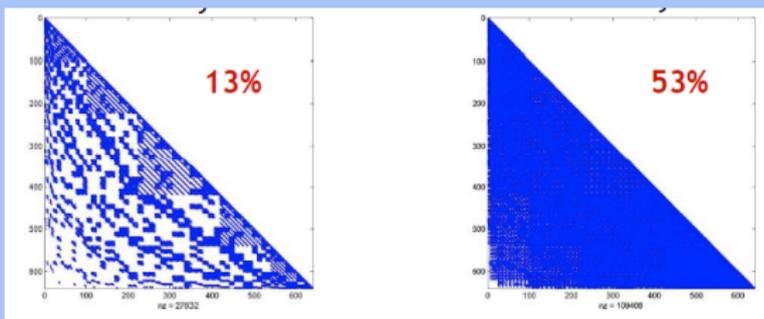
## dimensioni dello spazio modello

major shell 50-82  $\Rightarrow 10^9$  stati di base

major shell 50-82 +  $g_{9/2}, h_{11/2} \Rightarrow 10^{25}$  stati di base !!

## inclusione della forza a 3 corpi $V_{NNN}$

- $\chi^{\text{PT}} \Rightarrow V_{NN} + V_{NNN}$
- diagonalizzazione  $\Rightarrow$  # stati di base uguale, ma  $H_{\text{eff}}$  meno “sparsa”



$^{20}\text{Ne}$   
sd-shell  
640 stati di  
base

## Codice di modello a shell KSHELL

- codice ibrido OpenMP-MPI
- schema M & metodo Lanczos Thick-Restart
- ottima scalabilità sino a 8192 cores  $\Rightarrow$  FX10 supercomputer (University of Tokyo)

Assegno di ricerca biennale cofinanziato sui fondi CIPE e dal Dipartimento di Matematica e Fisica dell'Università della Campania "Luigi Vanvitelli" (inizio settembre 2017)

## Assegnazione risorse HPC 2017 (kcorehours)

GALILEO  
150

MARCONI A1  
100

MARCONI A2  
150

