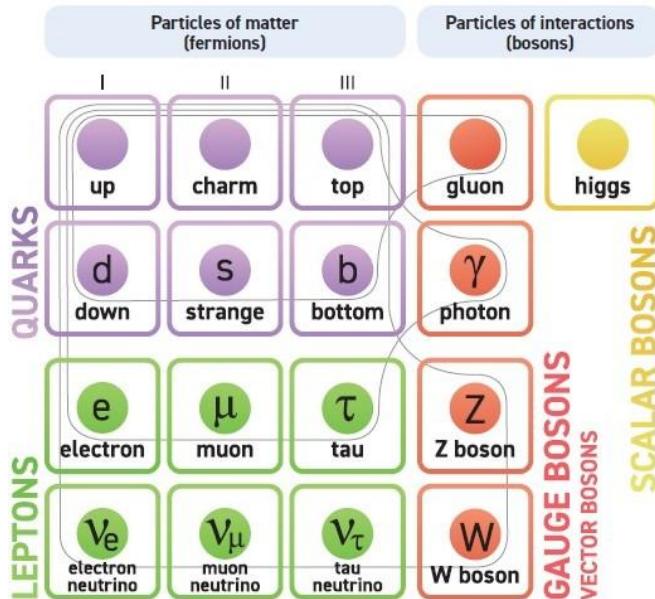


# La massa dei neutrini

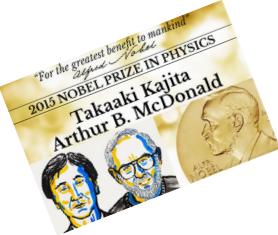
Andrea Nava - Presentazione tesi triennali, 8/01/2026

# Il modello standard e i neutrini



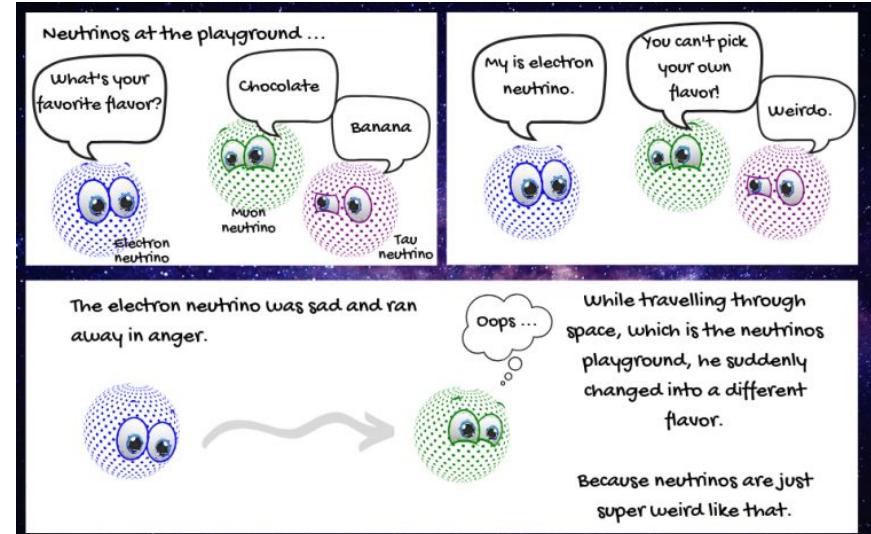
I neutrini sono descritti come leptoni:

- neutri
- poco interagenti (solo interazione debole)
- senza massa



# Le oscillazioni dei neutrini

- scoperte nel 1998
- implicano che per i neutrini:  
*base di massa  $\neq$  base di sapore*
- a sua volta implica che i neutrini hanno massa!
- nuovo “ramo” della fisica delle particelle che negli ultimi  $\sim$ 25 anni ha portato a misure di precisione nel settore dei neutrini



# (alcuni) Open points

## MASSA

quanto vale?  
perché così piccola?

## NATURA

$\nu \equiv \bar{\nu}$ ?  
→ asimmetria  
materia-antimateria

## TIPI

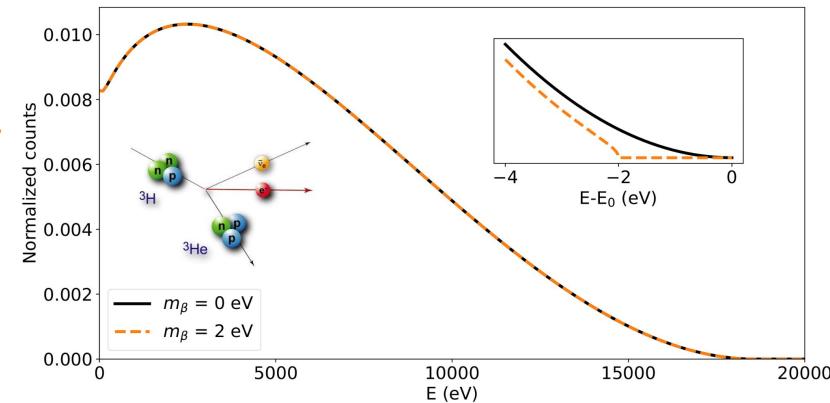
sono solo 3?

# Come misurare la massa del neutrino

Decadimento  $\beta$ :  $A \rightarrow A' + e^- + \bar{\nu}_e$



- Una misura precisa della parte finale di uno spettro  $\beta$  (o di cattura elettronica) permette di misurare la massa del neutrino



Serve:

- eccellente risoluzione energetica
- basso background
- sorgente molto attiva

# Come misurare la massa del neutrino

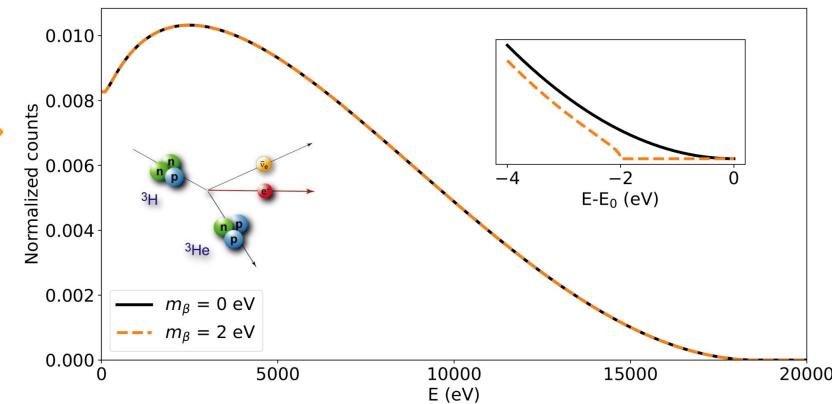
Decadimento  $\beta$ :  $A \rightarrow A' + e^- + \bar{\nu}_e$



- Una misura precisa della parte finale di uno spettro  $\beta$  (o di cattura elettronica) permette di misurare la massa del neutrino
- ci sono due approcci seguiti in Bicocca:



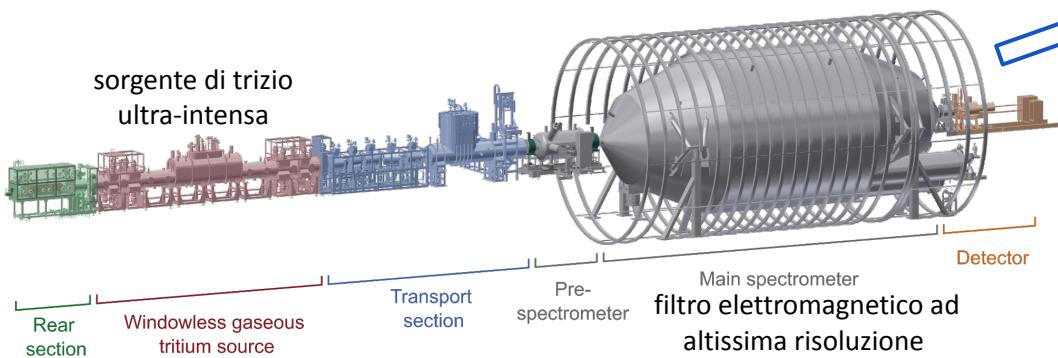
spettro  $\beta$  del  ${}^3H$  misurato con spettrometro elettromagnetico



spettro di cattura elettronica del  ${}^{163}Ho$  misurato con calorimetri criogenici



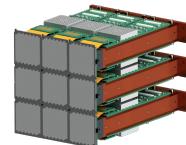
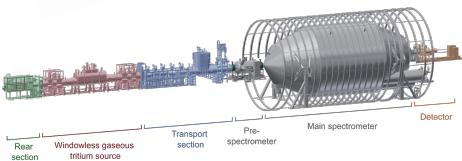
# KATRIN



## PROPOSTE DI TESI SOFTWARE

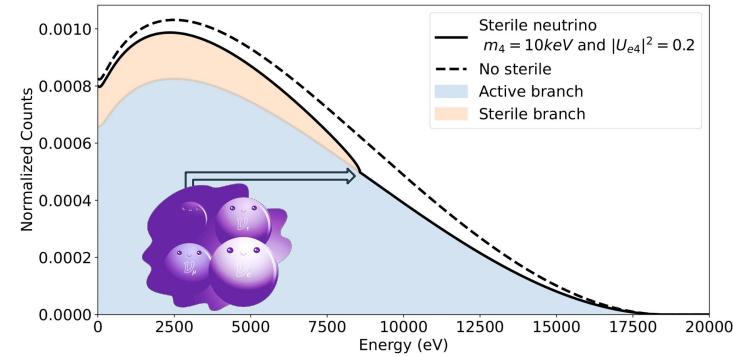
- caratterizzazione di nuovi effetti sperimentali non inclusi nell'attuale analisi mediante simulazioni Monte Carlo
- analisi di dati ottenuti da misure dedicate di calibrazione
- studi di sensibilità per disegnare l'upgrade dell'esperimento

*M. Biassoni, G. Gagliardi, A. Nava, I. Nutini,  
M. Pavan  
Info x tesi: [matteo.biassoni@mib.infn.it](mailto:matteo.biassoni@mib.infn.it),  
[andrea.nava@mib.infn.it](mailto:andrea.nava@mib.infn.it)*



Upgrade del detector: matrice di Silicon Drift Detectors (SDD)

Una misura precisa di tutto lo spettro  $\beta$  permette di cercare neutrini sterili (candidati per la Dark Matter)



### PROPOSTE DI TESI SOFTWARE

- analisi Bayesiana dei primi dati di calibrazione raccolti con il detector TRISTAN partendo da simulazioni Monte Carlo
- sviluppo di un modello analitico per la funzione di risposta di KATRIN utilizzando tecniche di Machine Learning

### PROPOSTE DI TESI HARDWARE

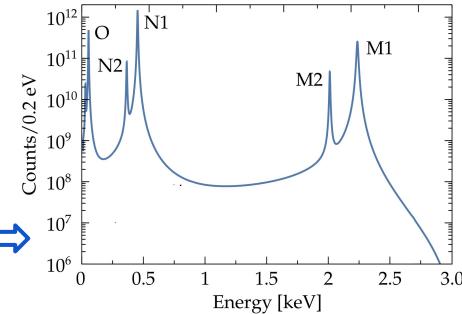
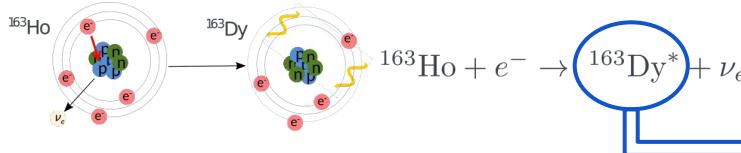
- misura della funzione di risposta degli SDD ad elettroni esterni utilizzando un electron gun
- misura di spettri  $\beta$  proibiti con SDD e ricostruzione dello spettro misurato mediante simulazioni Monte Carlo

M. Biassoni, G. Gagliardi, A. Nava, I. Nutini, M. Pavan

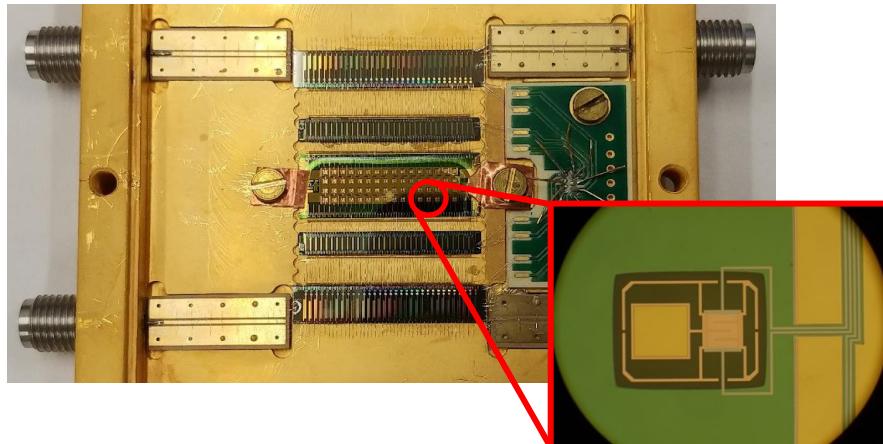
Info x tesi: [matteo.biassoni@mib.infn.it](mailto:matteo.biassoni@mib.infn.it), [andrea.nava@mib.infn.it](mailto:andrea.nava@mib.infn.it)



# HOLMES



Diseccitazioni a seguito della cattura elettronica: l'energia massima è sempre  $Q - m_{\nu}$



- Misura in corso a MiB
- microcalorimetri criogenici (<100mK) letti da sensori superconduttori

# HOLMES



## PROPOSTE DI TESI SOFTWARE

- sviluppo software per analisi e discriminazione di pile-up
- sviluppo di simulazioni di segnali da microcalorimetri letti con TES
- studi di sensibilità per disegnare la prossima fase dell'esperimento

## PROPOSTE DI TESI HARDWARE

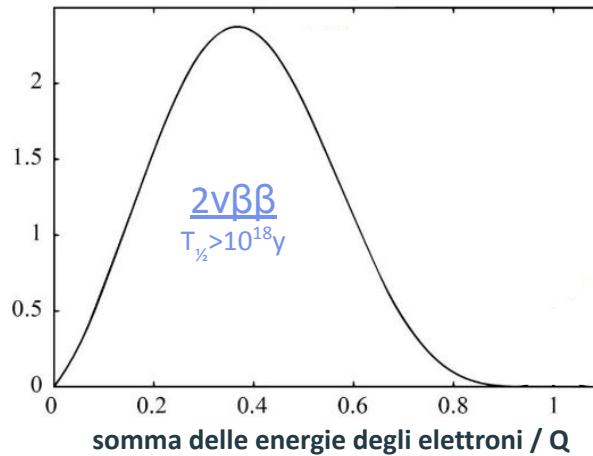
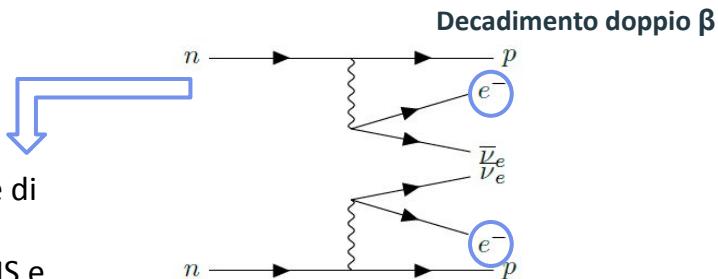
- sviluppo sorgente criogenica per calibrazione di rivelatori a bassa temperatura
- presa dati per misure di massa del neutrino

A. Nucciotti, M. Borghesi, M. Faverzani, E. Ferri, S. Gamba, A. Giachero, D. Labranca

**Info x tesi:** [angelo.nucciotti@mib.infn.it](mailto:angelo.nucciotti@mib.infn.it), [marco.faverzani@mib.infn.it](mailto:marco.faverzani@mib.infn.it)

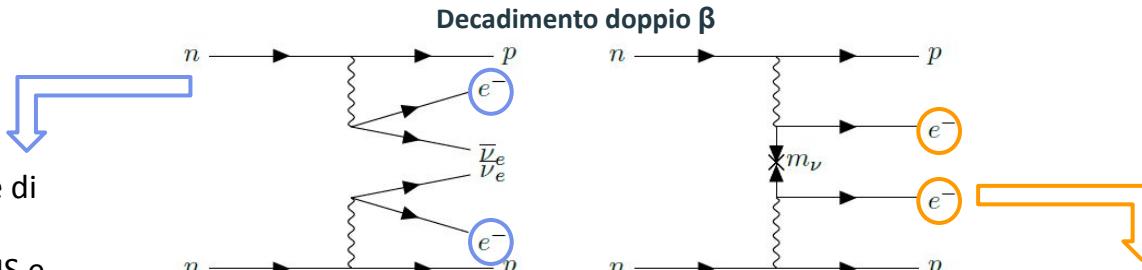
# Come determinare la natura dei neutrini

- con emissione di neutrini
- previsto dal MS e osservato per diversi isotopi
- uno dei processi più rari osservati in natura

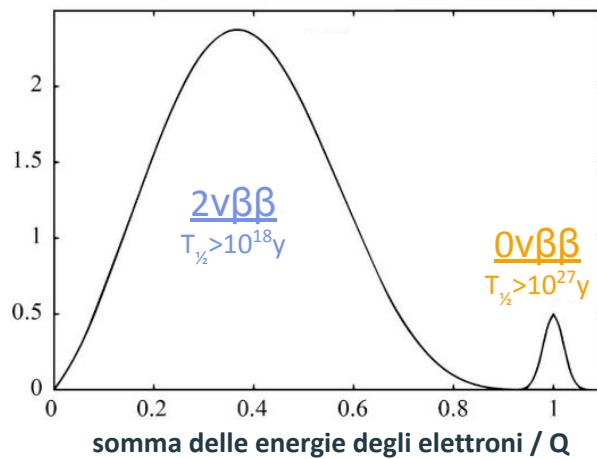


# Come determinare la natura dei neutrini

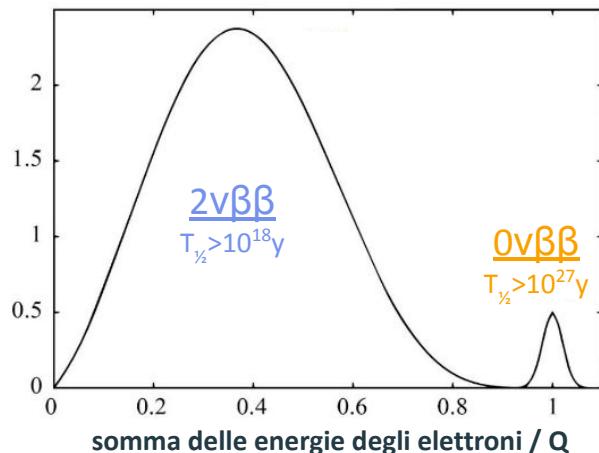
- con emissione di neutrini
- previsto dal MS e osservato per diversi isotopi
- uno dei processi più rari osservati in natura



- senza emissione di neutrini
- non previsto dal MS (violazione del numero leptonico)
- potrebbe spiegare l'asimmetria materia-antimateria
- possibile solo se il neutrino è massivo e coincide con l'antineutrino



# Come determinare la natura dei neutrini



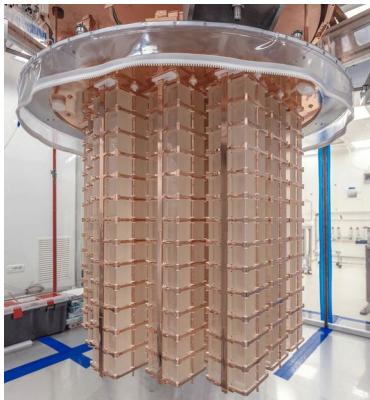
Ricerca di un picco al Q-valore

Serve:

- ottima risoluzione energetica
- bassissimo background → laboratori sotterranei
- tanti nuclei candidati → grande massa



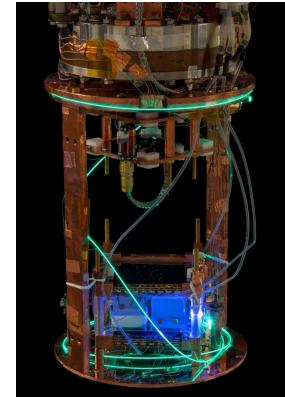
LEGEND



# CUORE & CUPID

**CUORE:** 988 rivelatori termici operati a 10mK a LNGS: misura ad alta risoluzione dell'energia dall'aumento di temperatura  
→ ricerca del  $0\nu\beta\beta$  del  $^{130}\text{Te}$

**CUPID:** upgrade del rivelatore con cristalli scintillanti  
→ ricerca del  $0\nu\beta\beta$  del  $^{100}\text{Mo}$



setup  
@MiB

- caratterizzazione della risposta dei rivelatori di CUPID
  - modello del background radioattivo di CUORE e previsione per CUPID
  - calibrazione dei detector di CUORE: analisi dati e simulazioni Monte Carlo
  - algoritmi di Machine Learning per studi di pile-up e noise
  - studio della regione a bassa energia dello spettro di CUORE per ricerca di Dark Matter
- 
- R&D su nuovi rivelatori criogenici
  - misura di contaminazioni radioattive di materiali
  - misure  $\gamma$  con HPGe e  $\alpha$  con rivelatori al Silicio

*M. Biassoni, M. Beretta,  
T. Bradanini, C. Brofferio,  
S. Capelli, D. Chiesa,  
O. Cremonesi, M. Girola,  
L. Gironi, L. Imbert,  
A. Nava, I. Nutini,  
M. Pavan, S. Pozzi,  
E. Previtali, M. Sisti,  
S. Schneidewind*

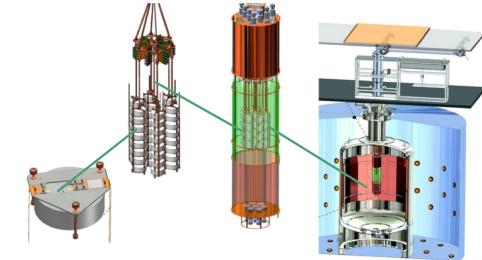
# LEGEND



# LEGEND

**LEGEND-200:** 200 kg di Germanio arricchito in presa dati ai LNGS  
→ ricerca del  $0\nu\beta\beta$  del  $^{76}\text{Ge}$

**LEGEND-1000:** upgrade del rivelatore finanziato ed in fase di progettazione e costruzione  
→ gruppo di Bicocca coinvolto nella realizzazione del vetro ai neutroni in argon liquido (LAr)



## PROPOSTE DI TESI SOFTWARE

- Presa dati e analisi dati per LEGEND-200
- Simulazioni delle mappe ottiche per l'unità di rivelazione ottica

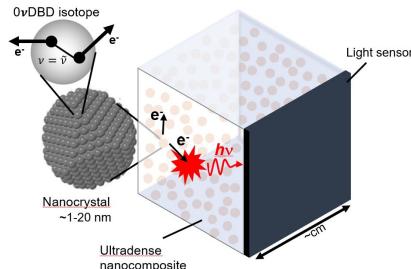
## PROPOSTE DI TESI HARDWARE

- Test dell'unità di rivelazione dei fotoni per il vetro ai neutroni
- Sviluppo di nuovi materiali per la conversione della luce VUV (in collaborazione con il Dipartimento di Scienza dei Materiali)
- SiPM: caratterizzazione e elettronica di lettura

*A. Benaglia, L. Canonica, C. Cattadori, S. Dell'Oro,  
A. Ghezzi, M. Malberti,  
S. Ragazzi, T. Tabarelli de Fatis*

**Info x tesi:** [lucia.canonica@unimib.it](mailto:lucia.canonica@unimib.it), [tommaso.tabarelli@unimib.it](mailto:tommaso.tabarelli@unimib.it)

# UNICORN



- sviluppo di simulazioni Monte Carlo in GEANT4 per ottimizzare il design del detector
- caratterizzazione di scintillatori con nanocristalli in un setup dedicato @MiB



L. Gironi, M. Mazzola. Info x tesi: [luca.gironi@mib.infn.it](mailto:luca.gironi@mib.infn.it)

In generale, forte collaborazione INFN sul fronte della ricerca del decadimento  $0\nu\beta\beta$ , con borse di studio che permettono periodi di ricerca presso laboratori nazionali, anche LNGS:

[https://jobs.dsi.infn.it/dettagli\\_job.php?id=4438](https://jobs.dsi.infn.it/dettagli_job.php?id=4438) → bando in scadenza domani!

# (alcuni) Open points

**MASSA**

quanto vale?  
perché così piccola?

**NATURA**

$\nu \equiv \bar{\nu}$ ?  
→ asimmetria  
materia-antimateria

**TIPI**

sono solo 3?

# In Bicocca tante attività per cercare di rispondere a queste domande



MASSA

quanto vale?  
perché così piccola?



NATURA

$\nu \equiv \bar{\nu}$ ?  
→ asimmetria  
materia-antimateria

