



Neutrini: perfetti sconosciuti

Fabio Bellini

Sapienza Università di Roma & INFN Roma

*Particelle Elementari ed Interazioni Fondamentali:
la ricerca di frontiera*

Scoperti 60 anni fa!

Scoperti 60 anni fa!

ν_e

ν_μ

ν_τ

spin $s=1/2$

carica $q=0$

Scoperti 60 anni fa!

ν_e

ν_μ

ν_τ

spin $s=1/2$

carica $q=0$



Interazione debole

Serve in media un blocco di Pb di \sim anno luce per fermarlo

Scoperti 60 anni fa!



spin $s=1/2$

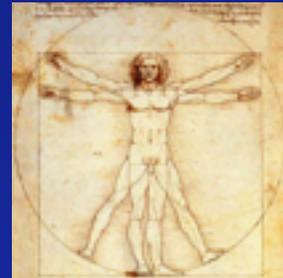
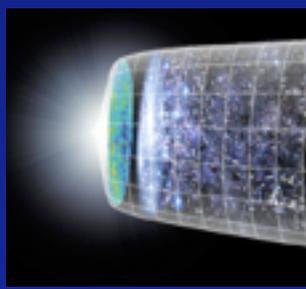
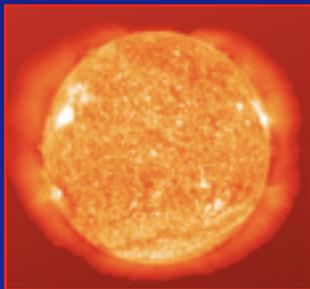
carica $q=0$



Interazione debole

Serve in media un blocco di Pb di \sim anno luce per fermarlo

Creati ovunque



Scoperti 60 anni fa!



spin $s=1/2$

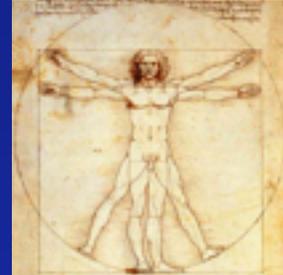
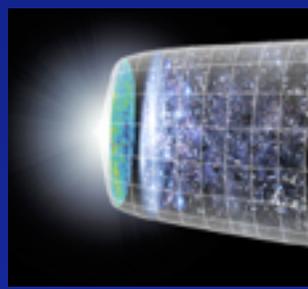
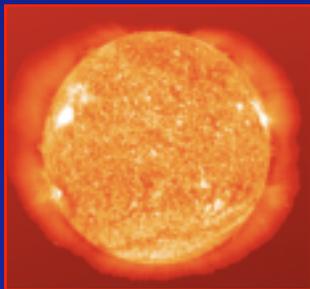
carica $q=0$



Interazione debole

Serve in media un blocco di Pb di \sim anno luce per fermarlo

Creati ovunque



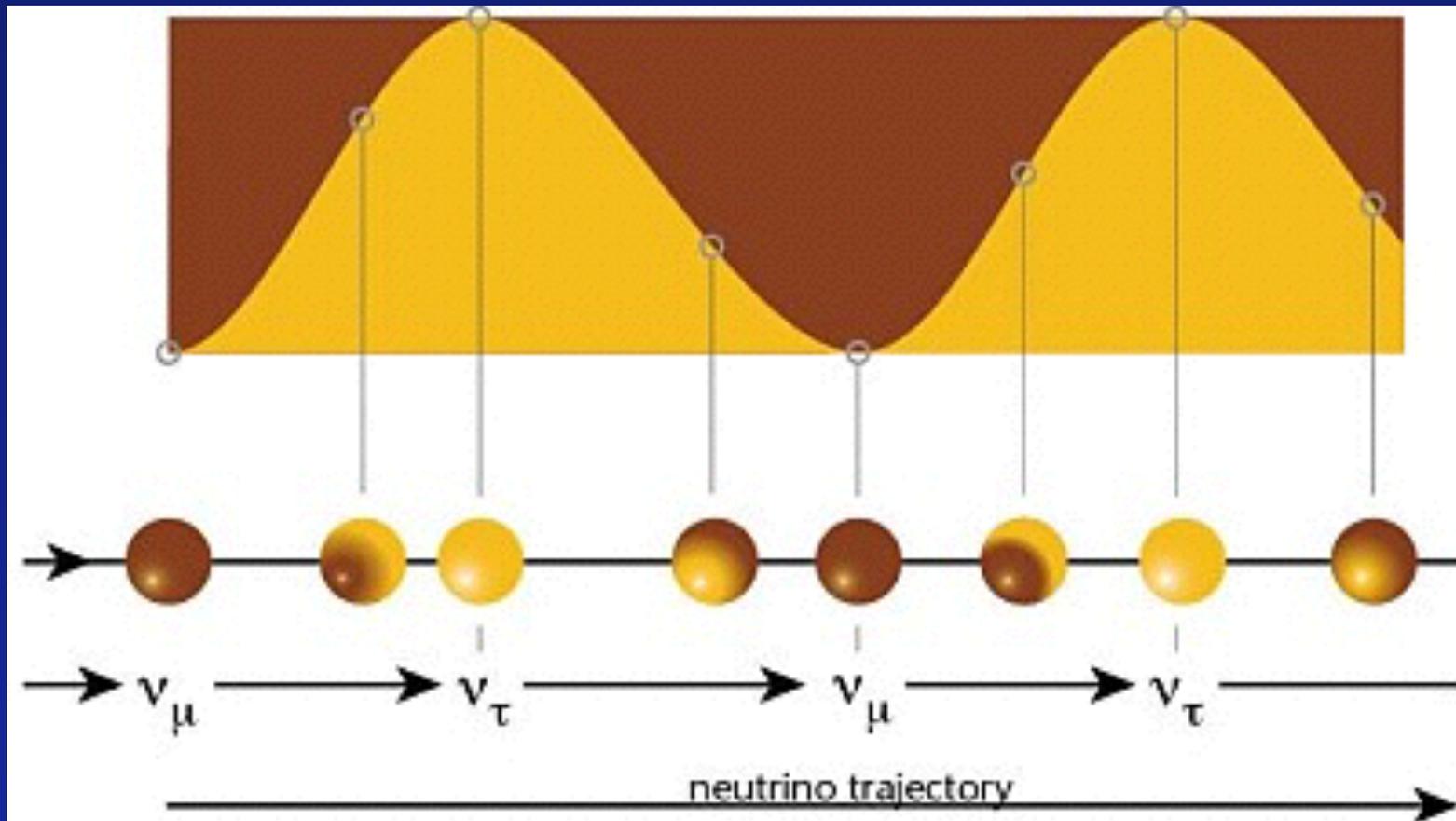
Perché studiare ancora i neutrini ?

massa $m = ?$

massa $m \neq 0$

massa $m \neq 0$

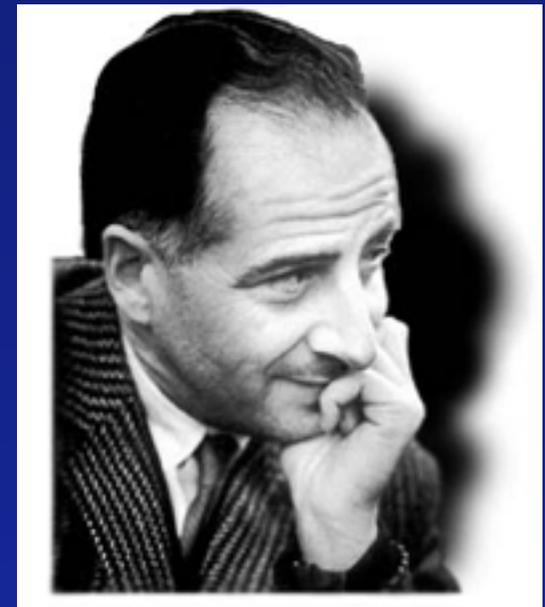
I tre tipi di neutrini mentre viaggiano si trasformano l'uno nell'altro



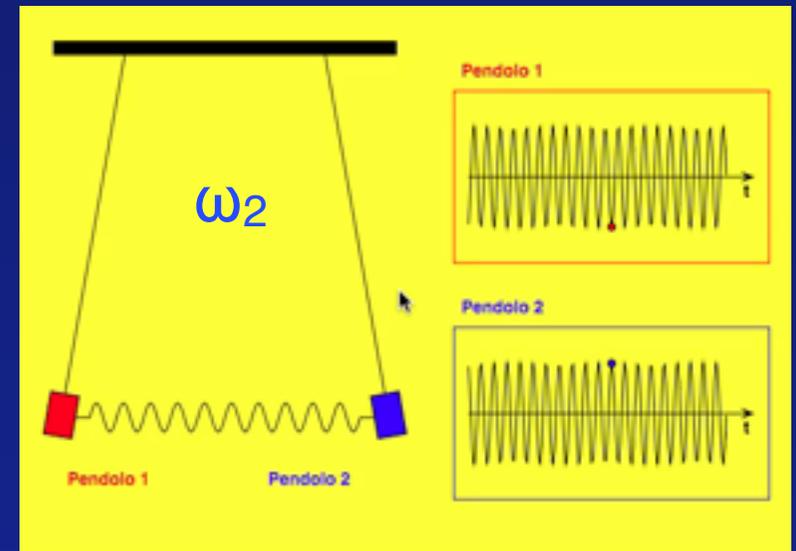
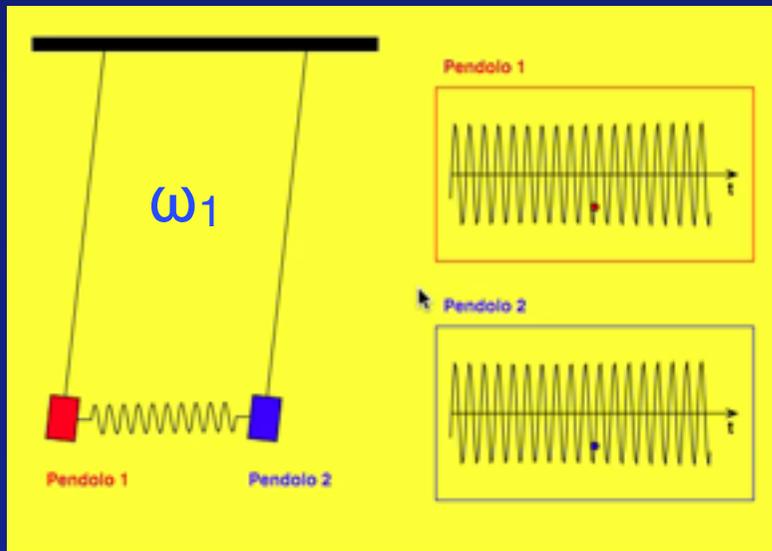
massa $m \neq 0$

I tre tipi di neutrini mentre viaggiano si trasformano
l'uno nell'altro

Fenomeno predetto nel 67
da Bruno Pontecorvo!

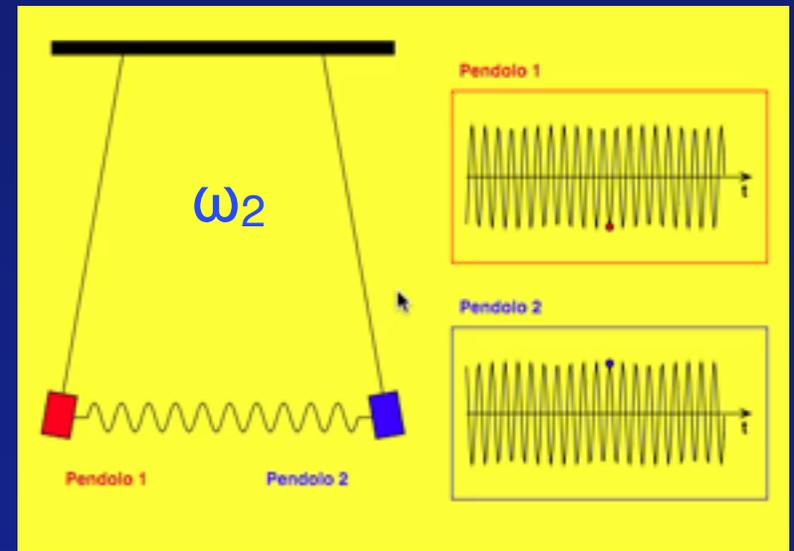
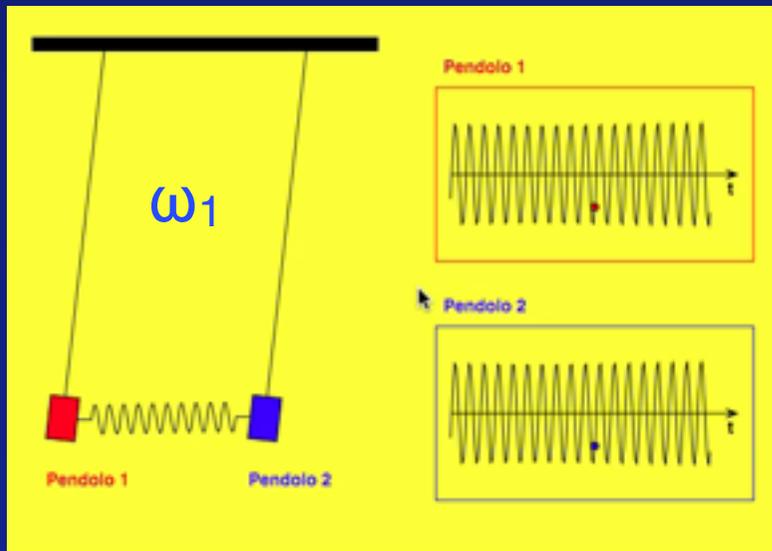


Oscillatori accoppiati



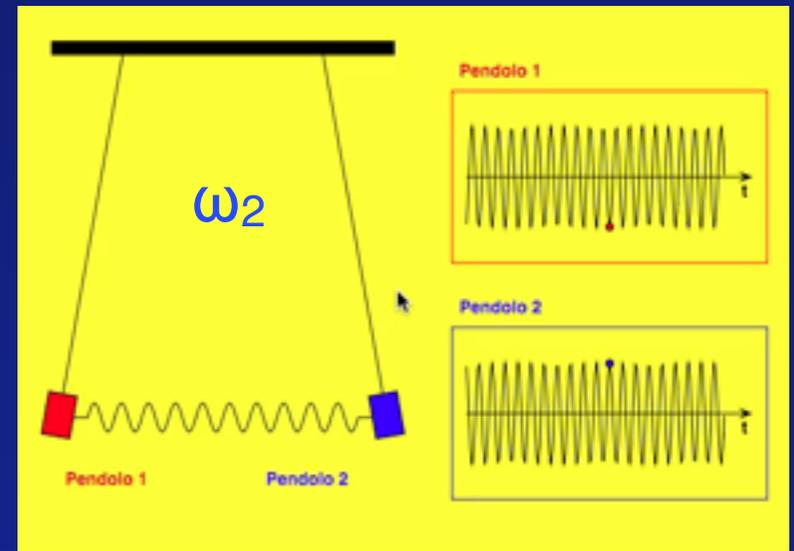
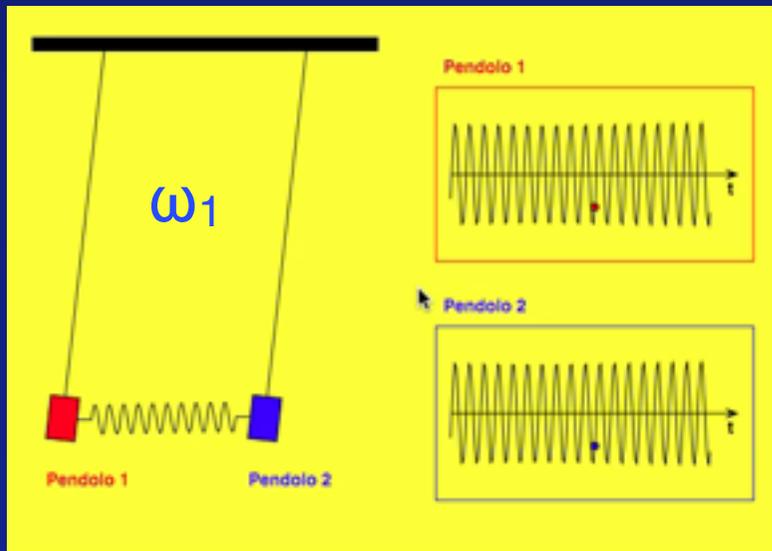
modi propri
massima ampiezza delle
oscillazioni non varia nel tempo

Oscillatori accoppiati



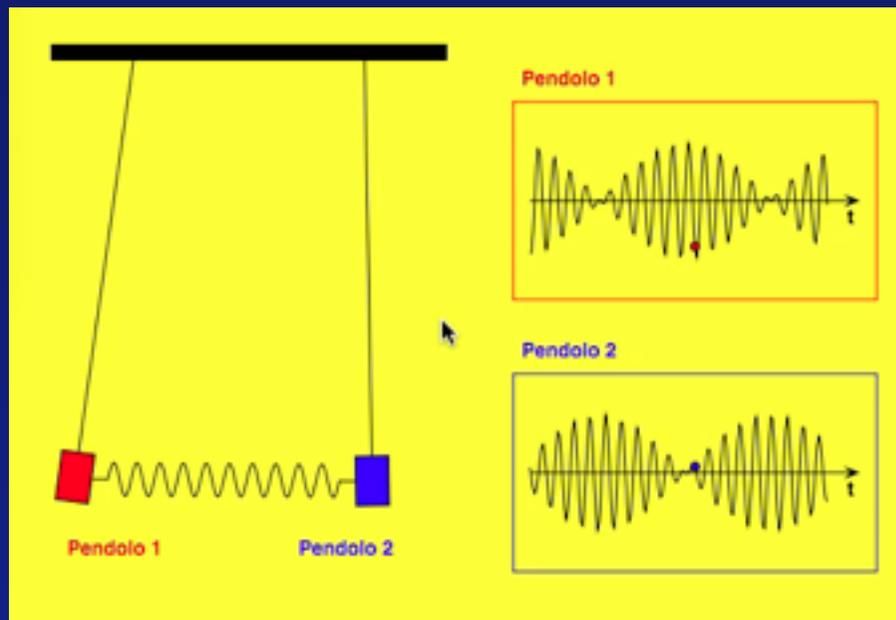
modi propri
massima ampiezza delle
oscillazioni non varia nel tempo

Oscillatori accoppiati



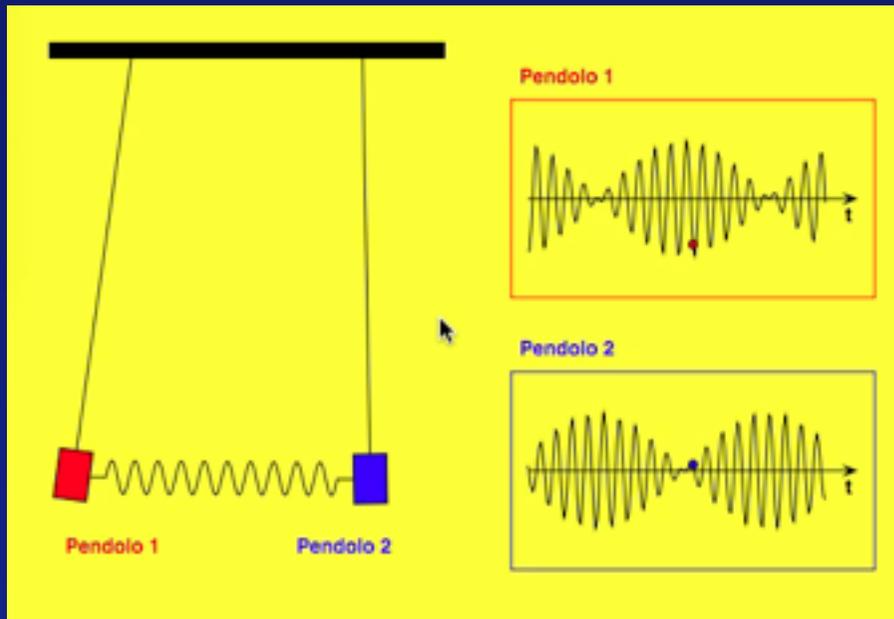
modi propri
massima ampiezza delle
oscillazioni non varia nel tempo

Oscillatori accoppiati e neutrini



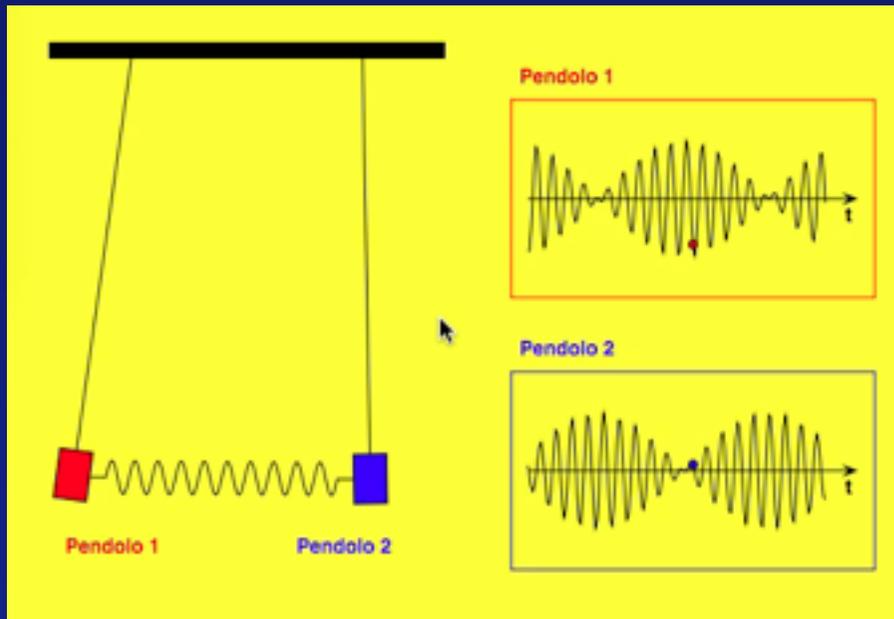
modo qualsiasi
massima ampiezza delle
oscillazioni varia nel tempo come
 $A_1 = A \sin(0.5(\omega_1 - \omega_2)t)$

Oscillatori accoppiati e neutrini



modo qualsiasi
massima ampiezza delle
oscillazioni varia nel tempo come
 $A_1 = A \sin(0.5(\omega_1 - \omega_2)t)$

Oscillatori accoppiati e neutrini



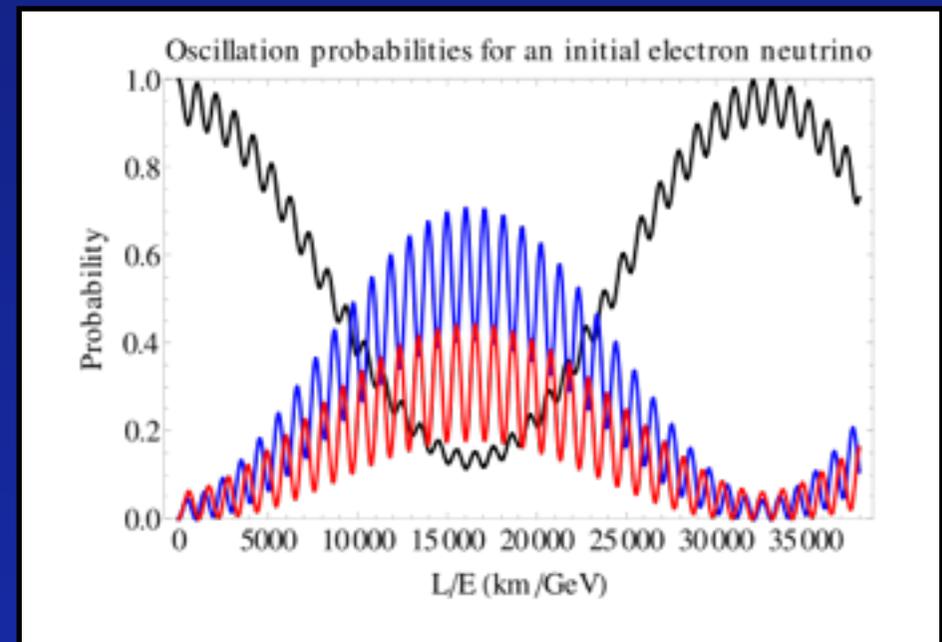
modo qualsiasi
massima ampiezza delle
oscillazioni varia nel tempo come
 $A_1 = A \sin(0.5(\omega_1 - \omega_2)t)$

i tre neutrini non sono i modi propri

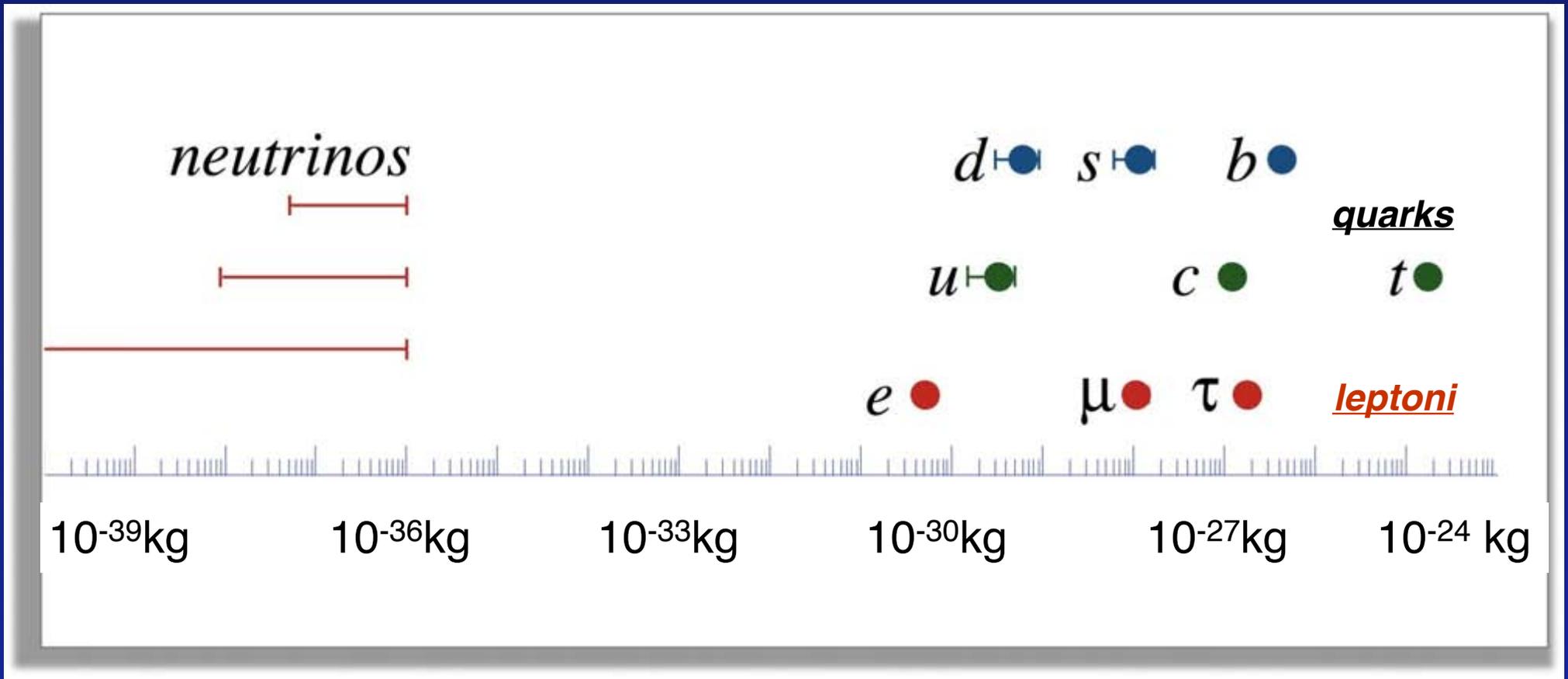
$$E \propto \omega, t \propto l/c$$

$$A_1 = A \sin((m_1^2 - m_2^2)l/E)$$

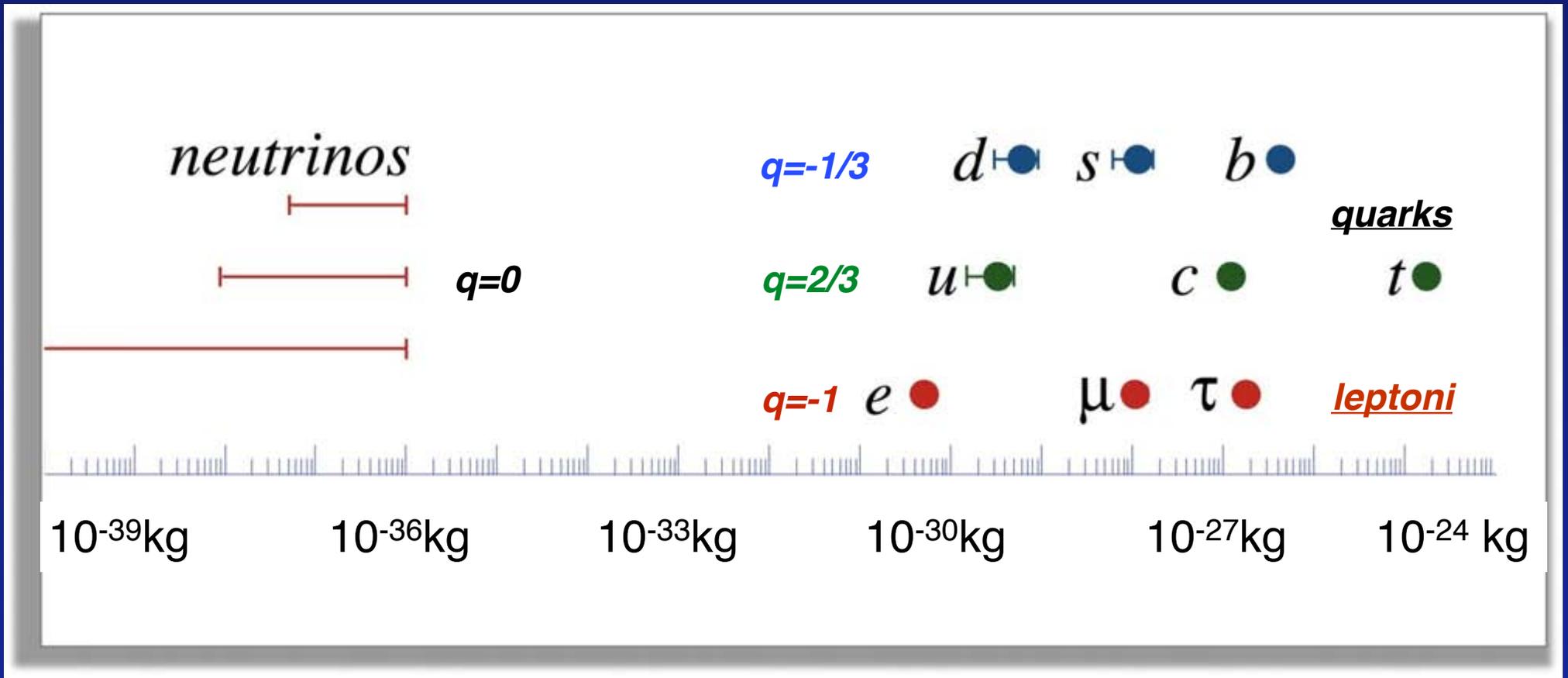
$$\underline{A_1 \neq 0 \text{ se } (m_1^2 - m_2^2) \neq 0}$$



Cosa ha di diverso?

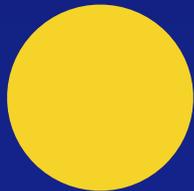


Cosa ha di diverso?



materia

e^-



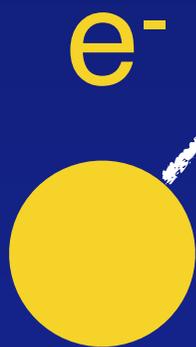
$q=-1$

$s=1/2$

$m=10^{-30}\text{kg}$

materia

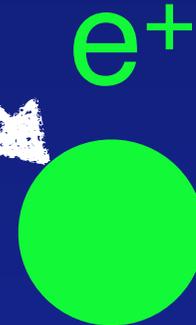
anti-materia



$q=-1$

$s=1/2$

$m=10^{-30}\text{kg}$



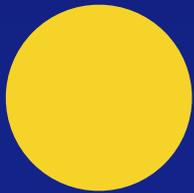
$q=+1$

$s=1/2$

$m=10^{-30}\text{kg}$

materia

v



$q=0$

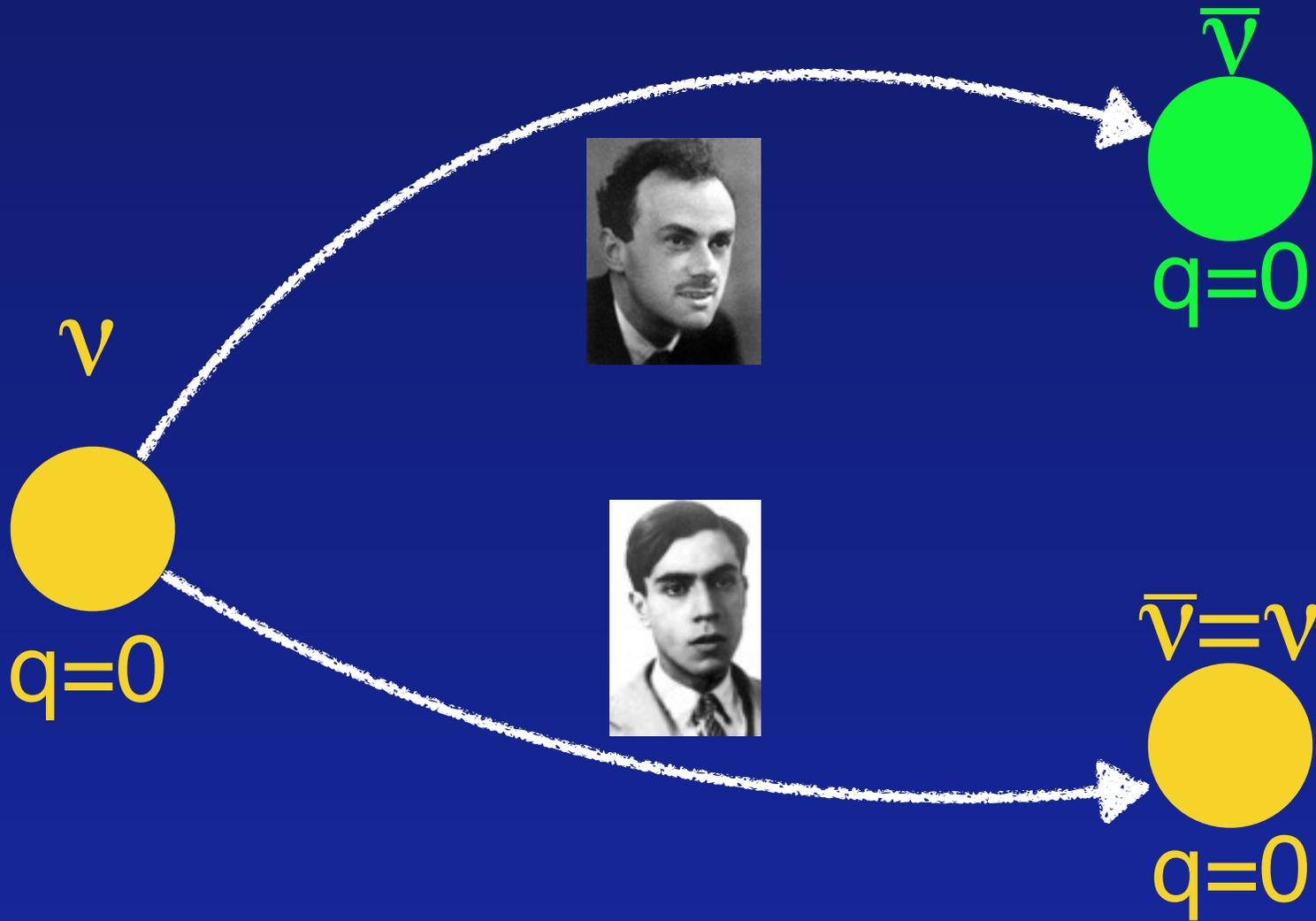
materia

anti-materia



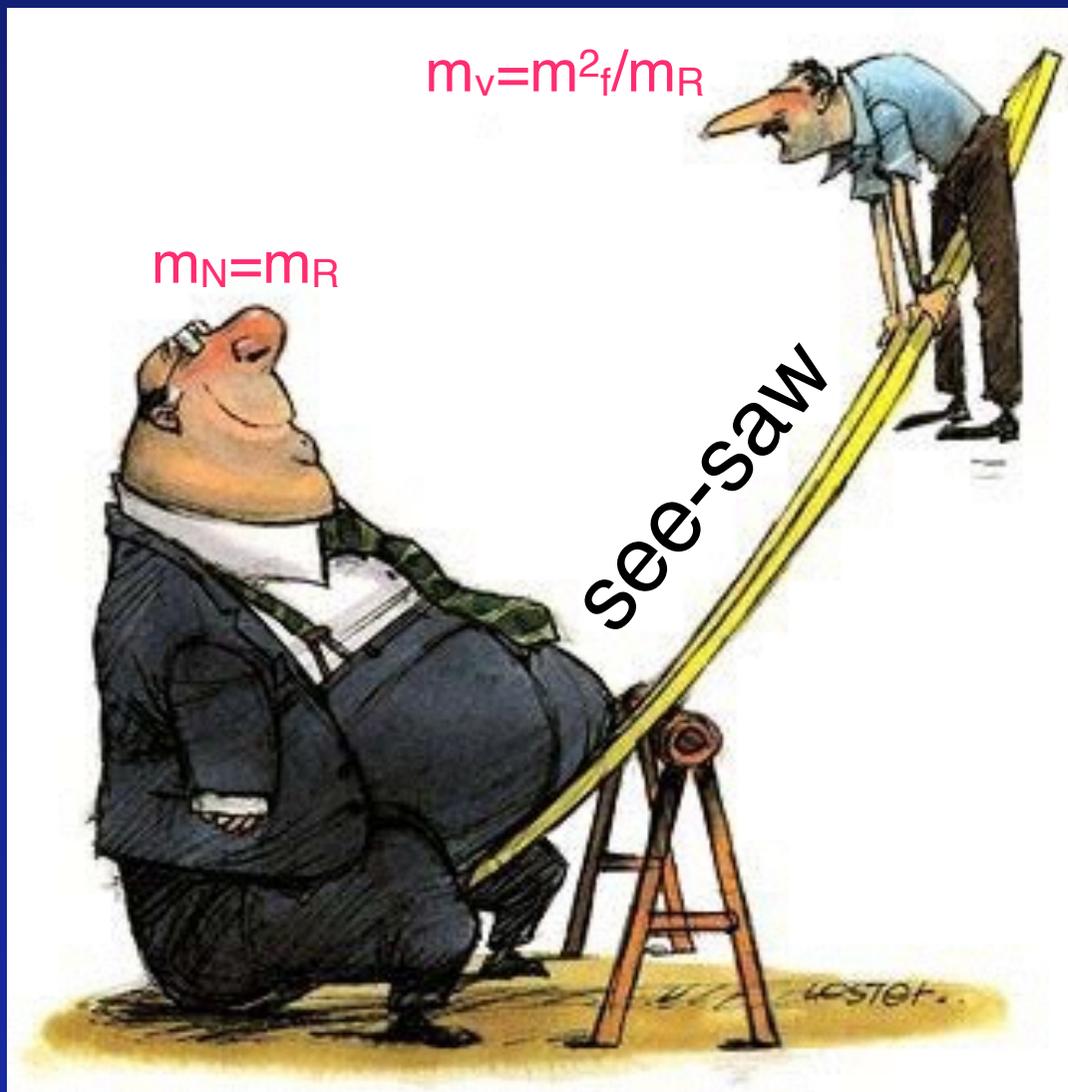
materia

anti-materia



Se il neutrino è di Majorana allora ne deve esistere un altro.

Se il neutrino è di Majorana allora ne deve esistere un altro.



Tanto più uno è pesante
tanto più l'altro è leggero

$m_R \sim$ scala di unificazione

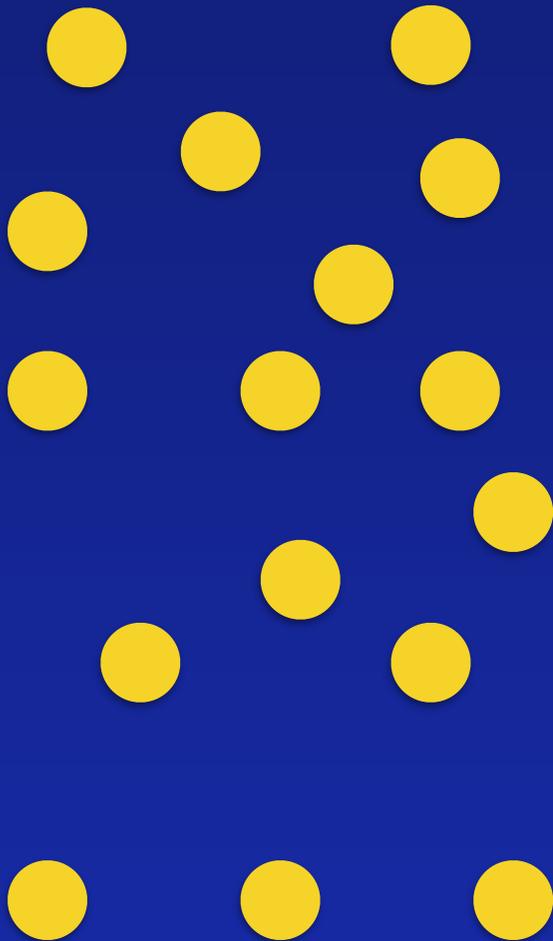
$m_f \sim$ scala elettrodebole

Perché siamo fatti di materia

Perché siamo fatti di materia

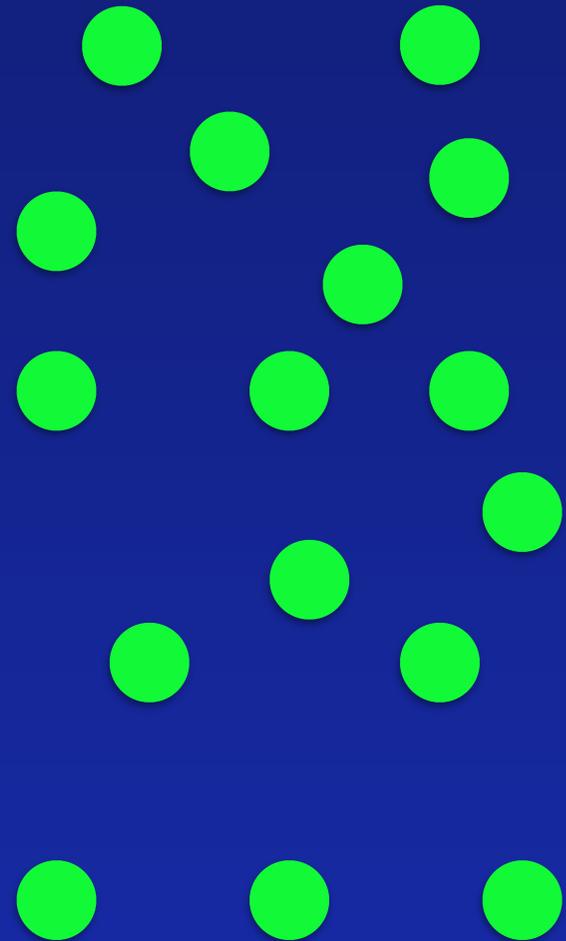
materia

1.000.000.001



anti-materia

1.000.000.001

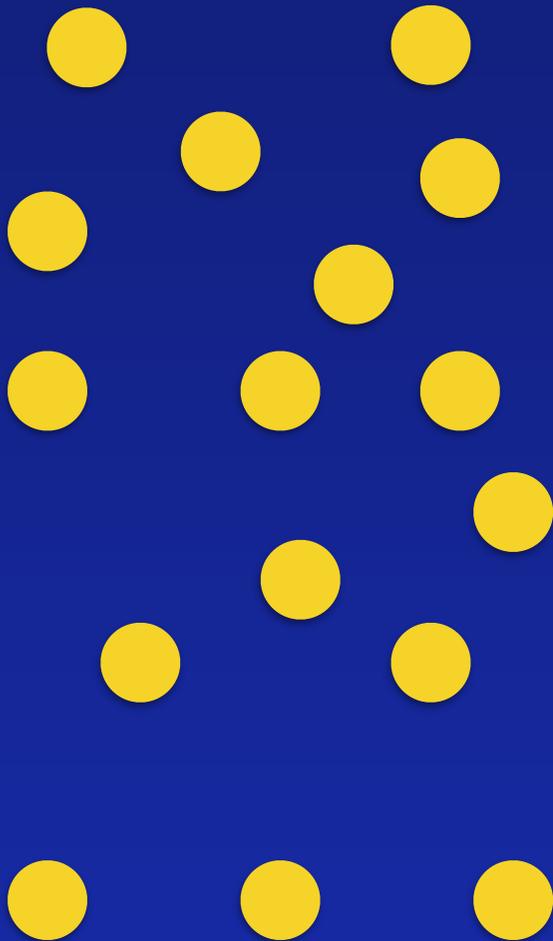


t=0

Perché siamo fatti di materia

materia

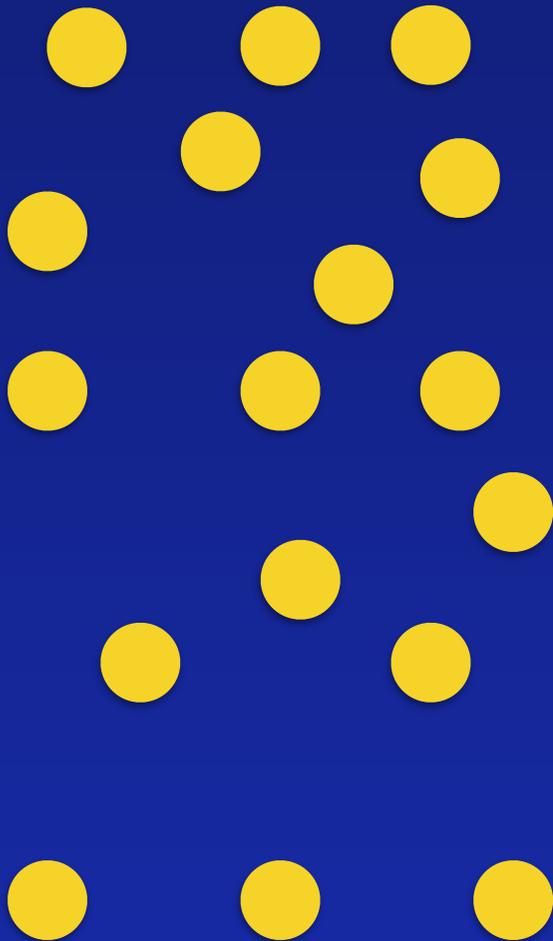
1.000.000.001



Perché siamo fatti di materia

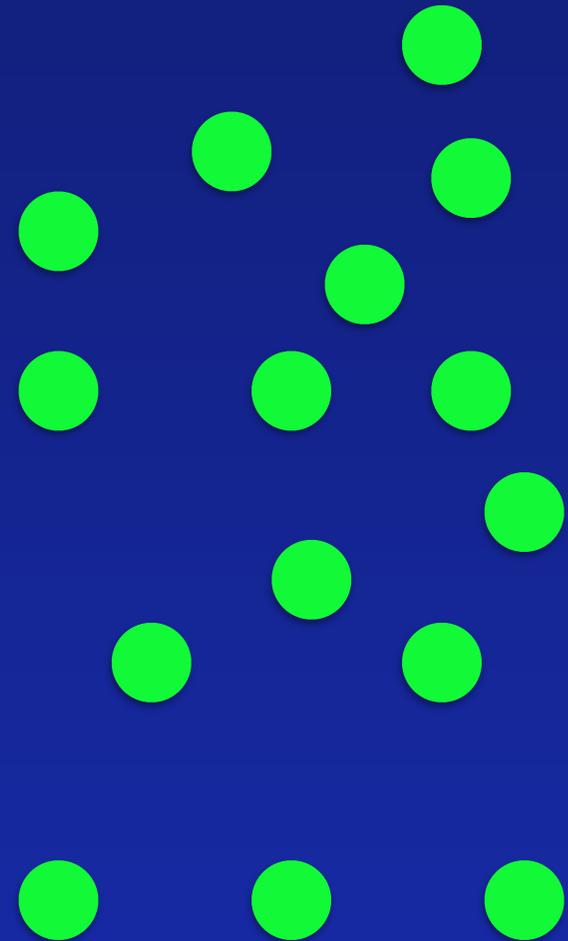
materia

1.000.000.002



anti-materia

1.000.000.000



poco dopo

Perché siamo fatti di materia

materia



oggi

Perché siamo fatti di materia

materia



oggi

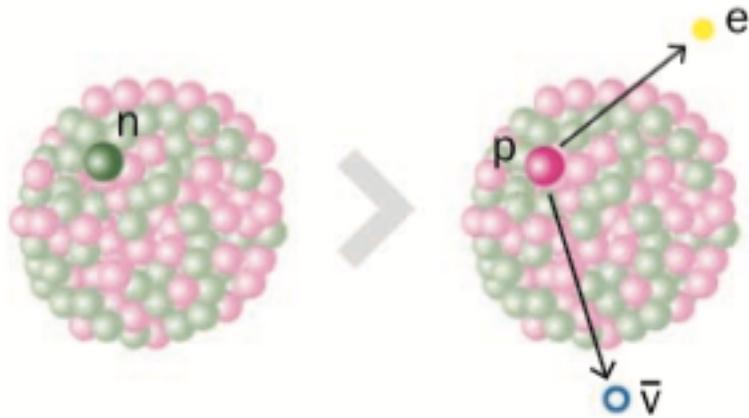
La violazione di CP nota, spiega $\sim 10^{-3}$ dell'asimmetria osservata nell'universo

I due neutrini di Majorana fornirebbero una teoria per spiegarla

dalla teoria alla pratica

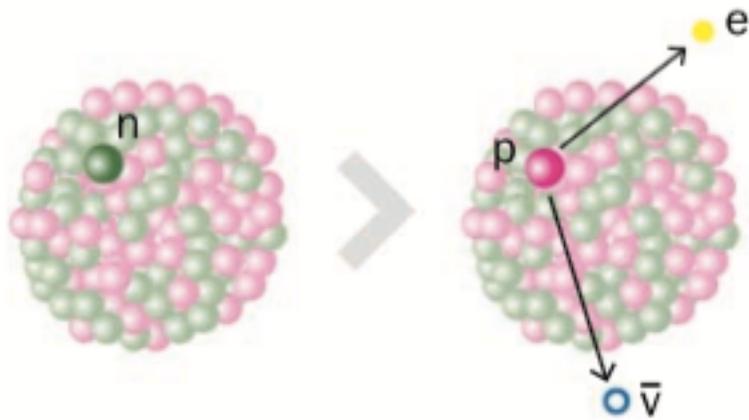
dalla teoria alla pratica

decadimento beta semplice

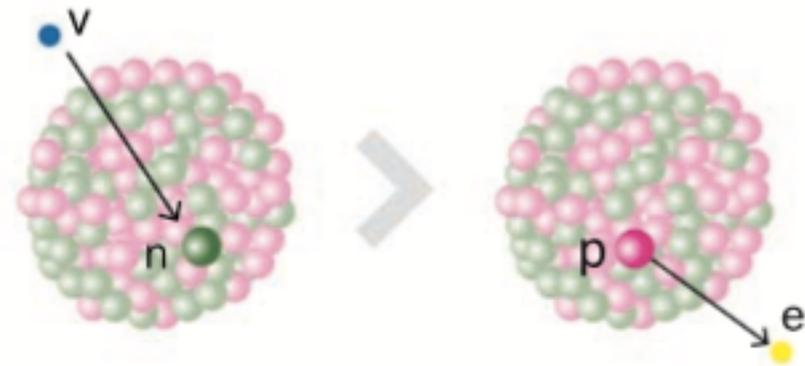


dalla teoria alla pratica

decadimento beta semplice

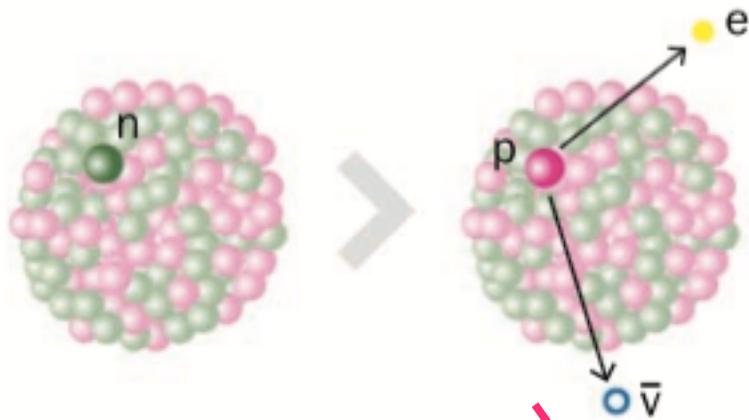


decadimento beta inverso

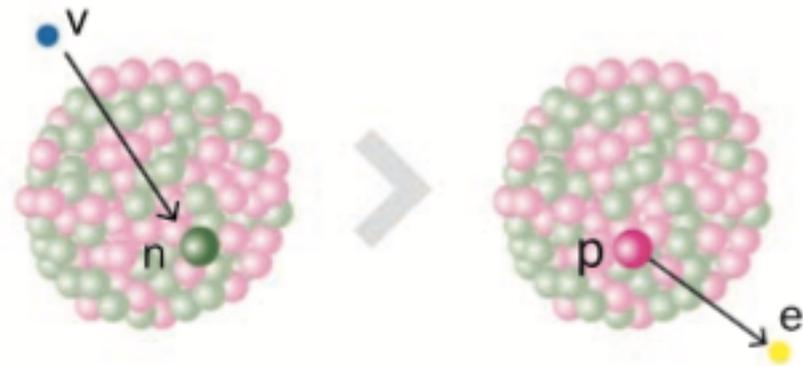


dalla teoria alla pratica

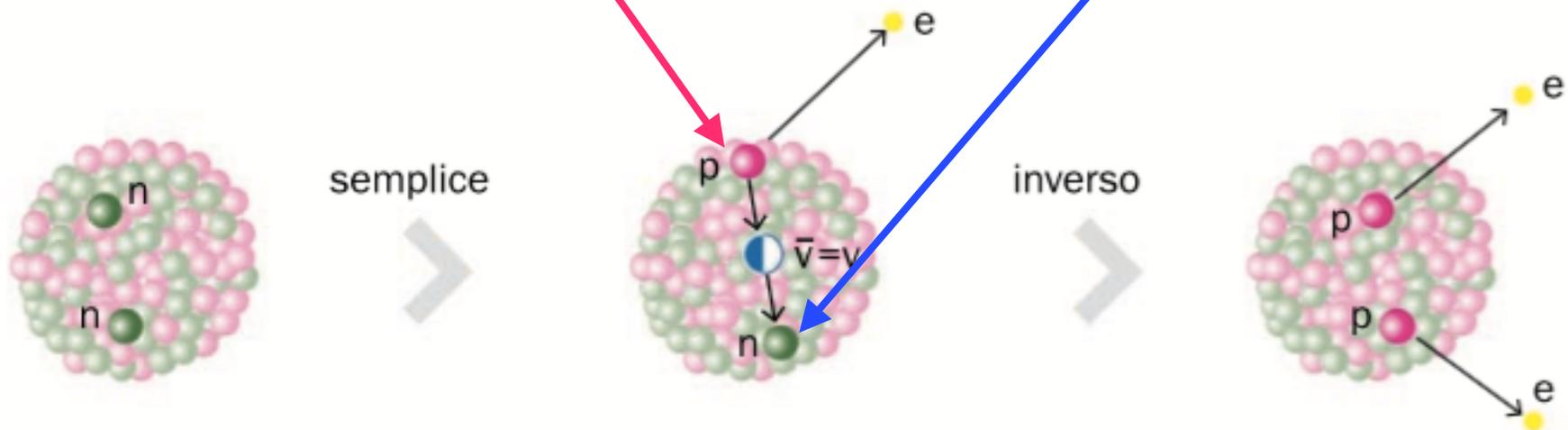
decadimento beta semplice



decadimento beta inverso



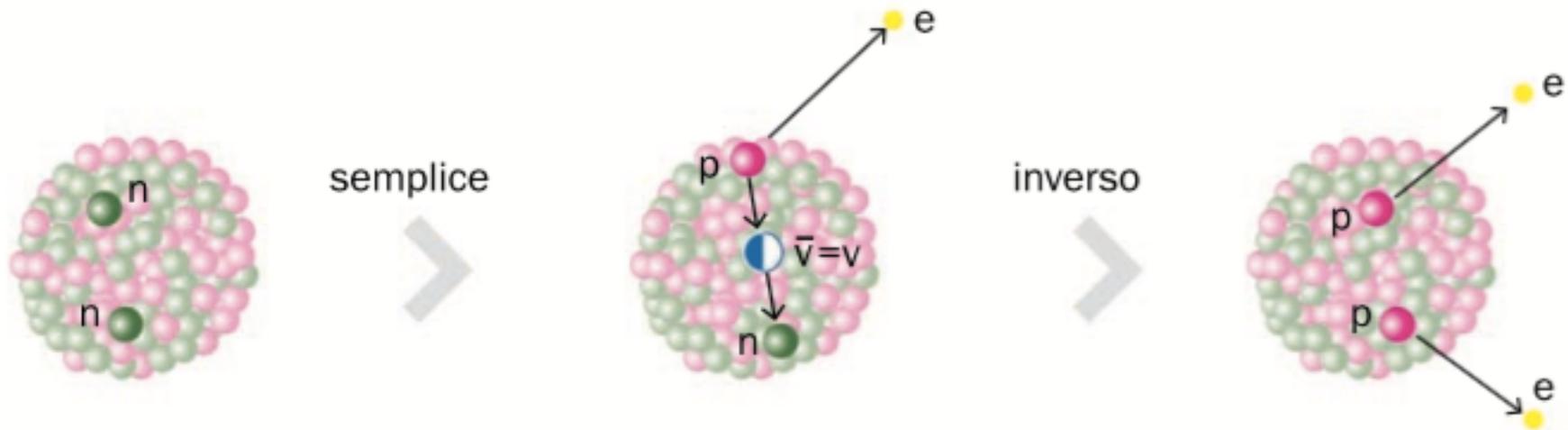
decadimento doppio beta senza neutrini



dalla teoria alla pratica

rarissimo: per ogni nucleo è previsto accadere *in media*
ogni 10^{26} anni

decadimento doppio beta senza neutrini

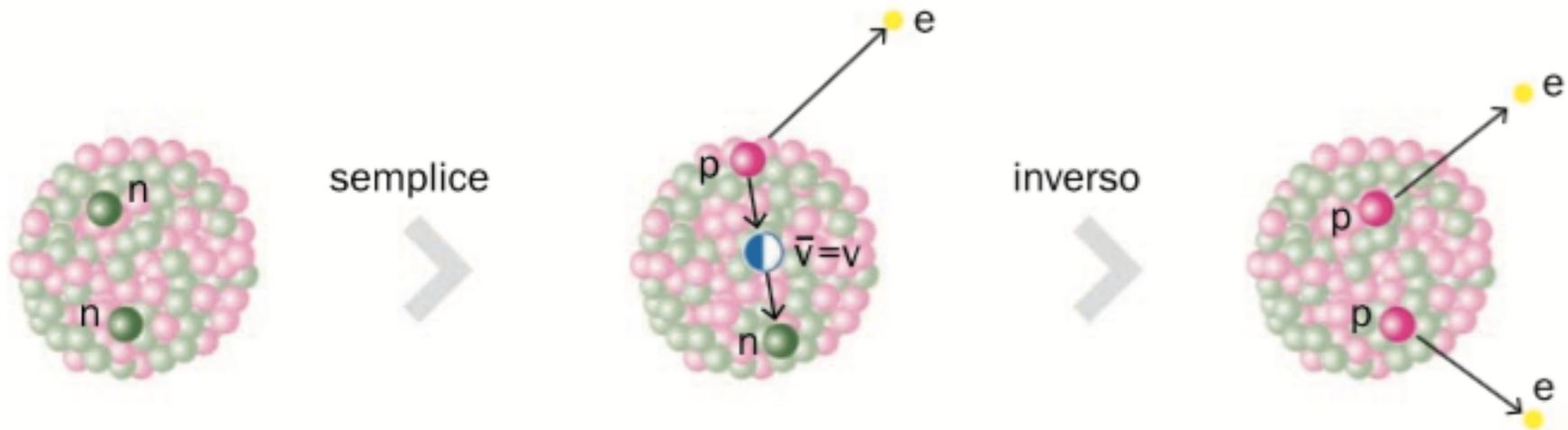


dalla teoria alla pratica

rarissimo: per ogni nucleo è previsto accadere *in media*
ogni 10^{26} anni

età Universo: $13.8 \cdot 10^9$ anni

decadimento doppio beta senza neutrini



dalla teoria alla pratica

rarissimo: per ogni nucleo è previsto accadere *in media*
ogni 10^{26} anni

età Universo: $13.8 \cdot 10^9$ anni

Mettere insieme una tonnellata di nuclei

ed

eliminare tutto ciò che può mimare il decadimento

Laboratori Nazionali del Gran Sasso



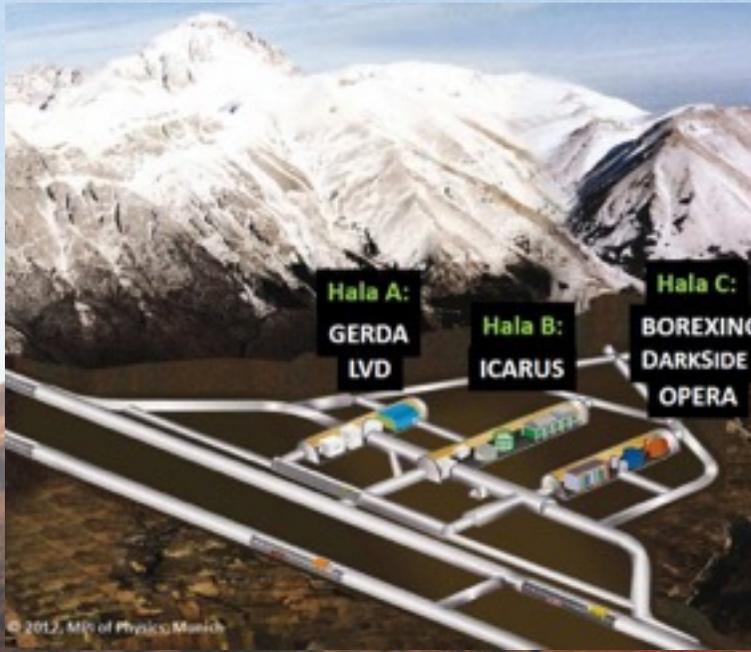
Laboratori Nazionali del Gran Sasso

uno schermo di roccia da
1400 m contro i raggi
cosmici

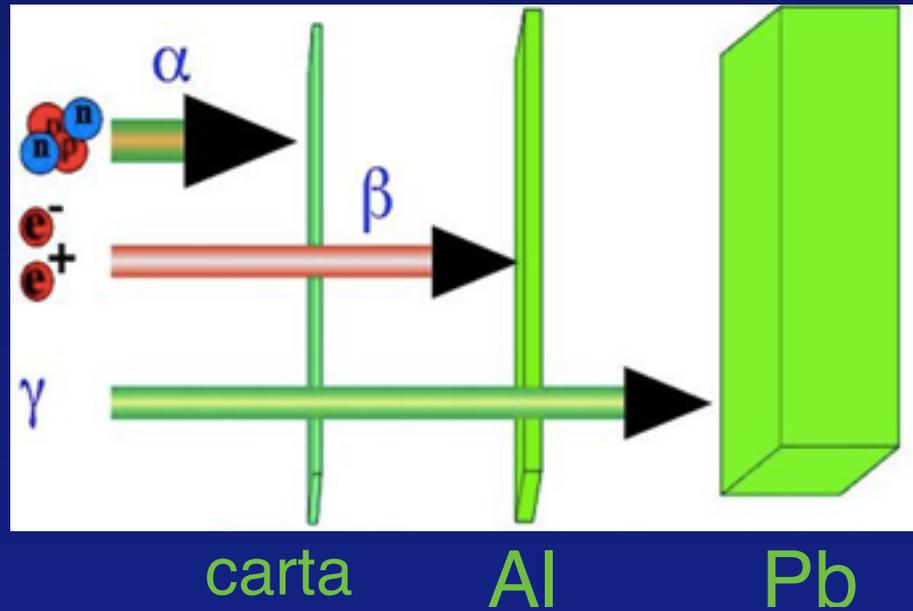


Laboratori Nazionali del Gran Sasso

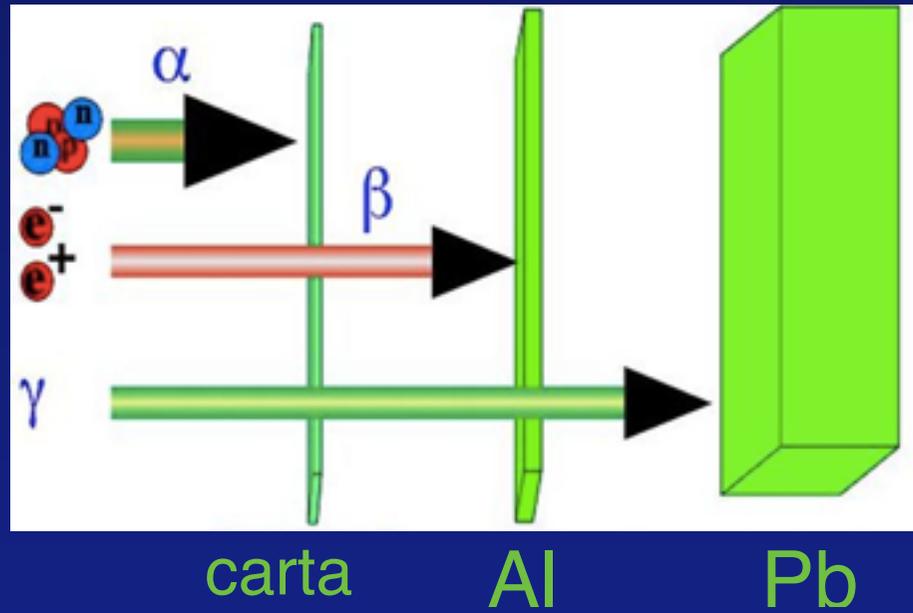
uno schermo di roccia da
1400 m contro i raggi
cosmici



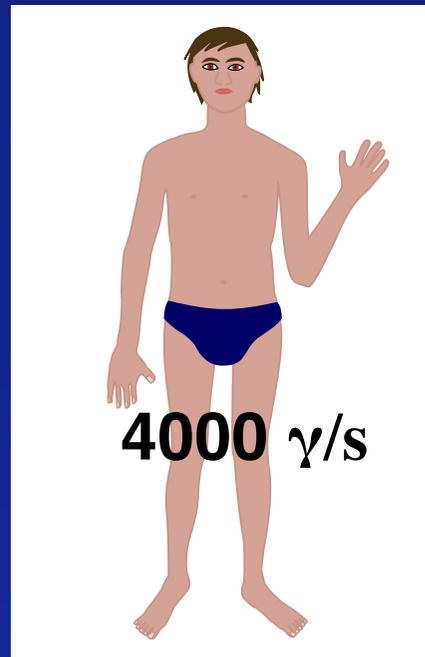
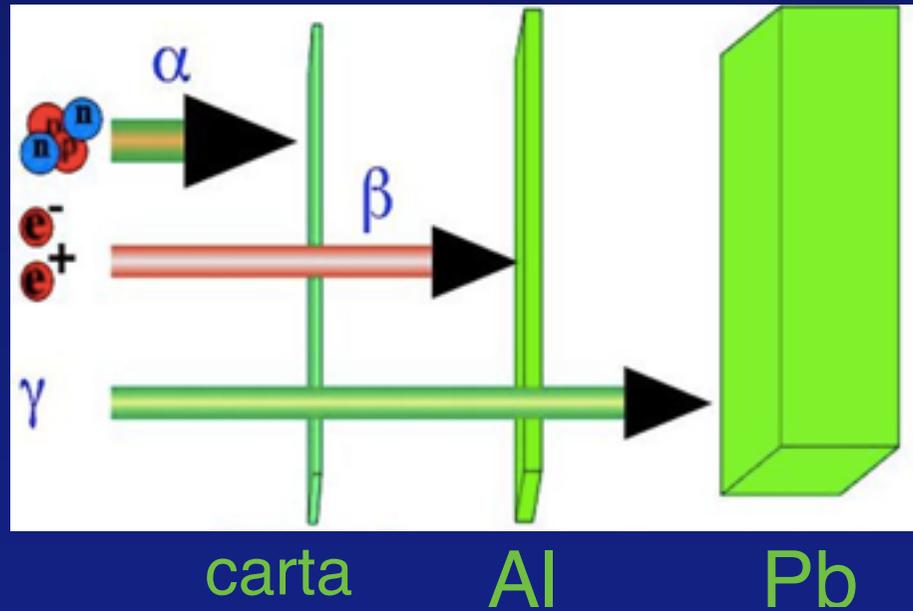
controllare la radioattività



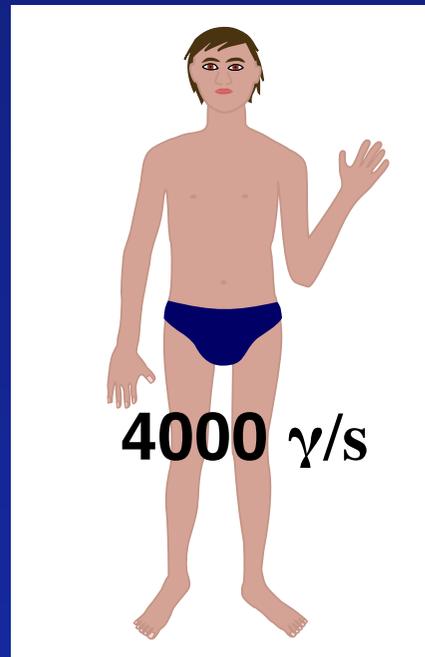
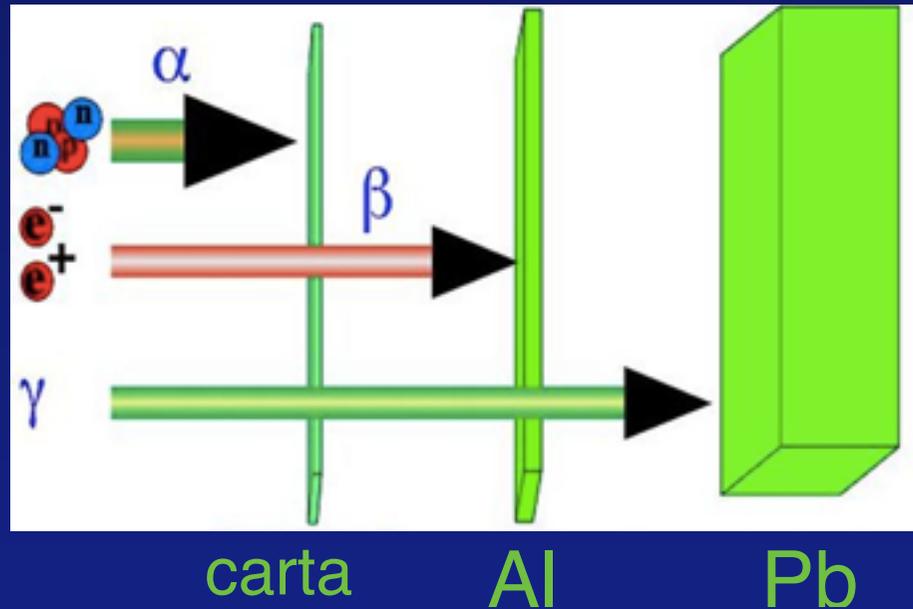
controllare la radioattività



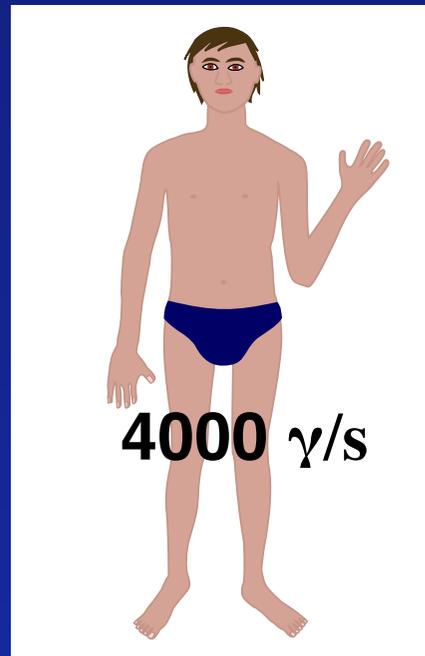
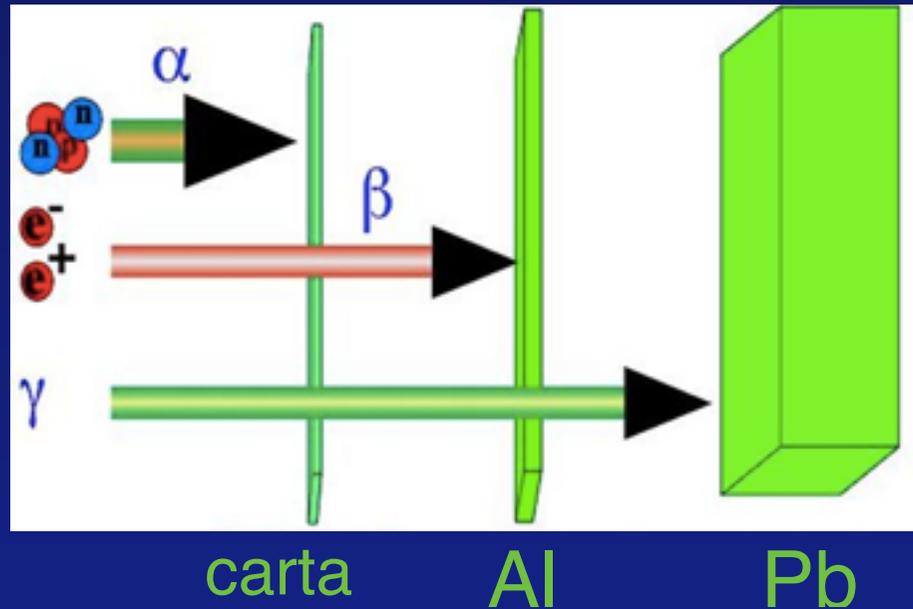
controllare la radioattività



controllare la radioattività

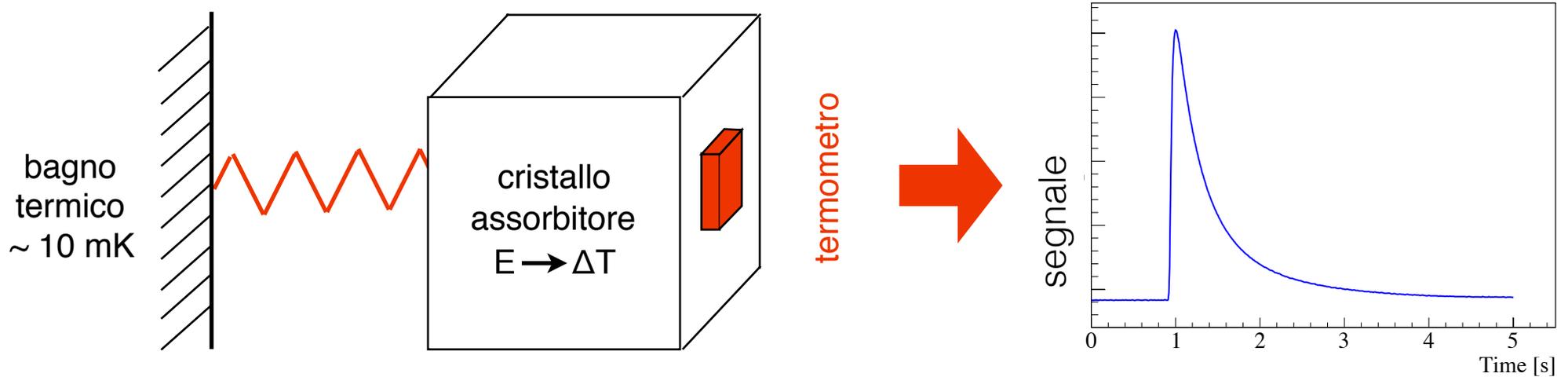


controllare la radioattività



Bisogna lavorare con materiali radio-puri in ambienti protetti

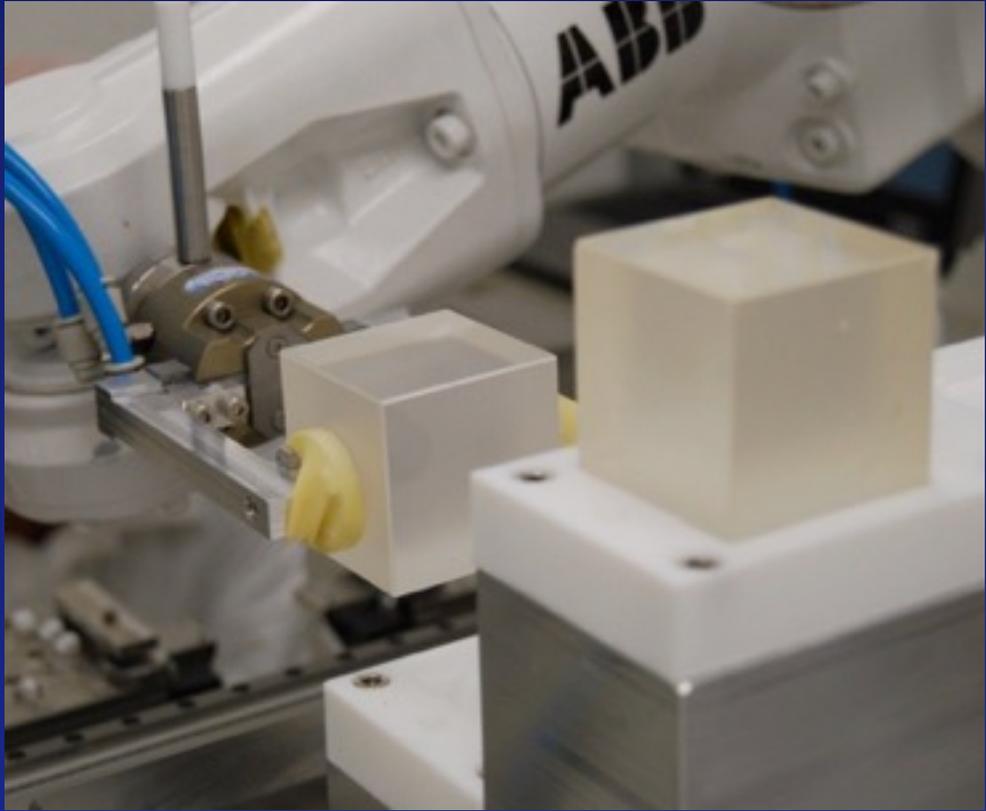
Il rivelatore

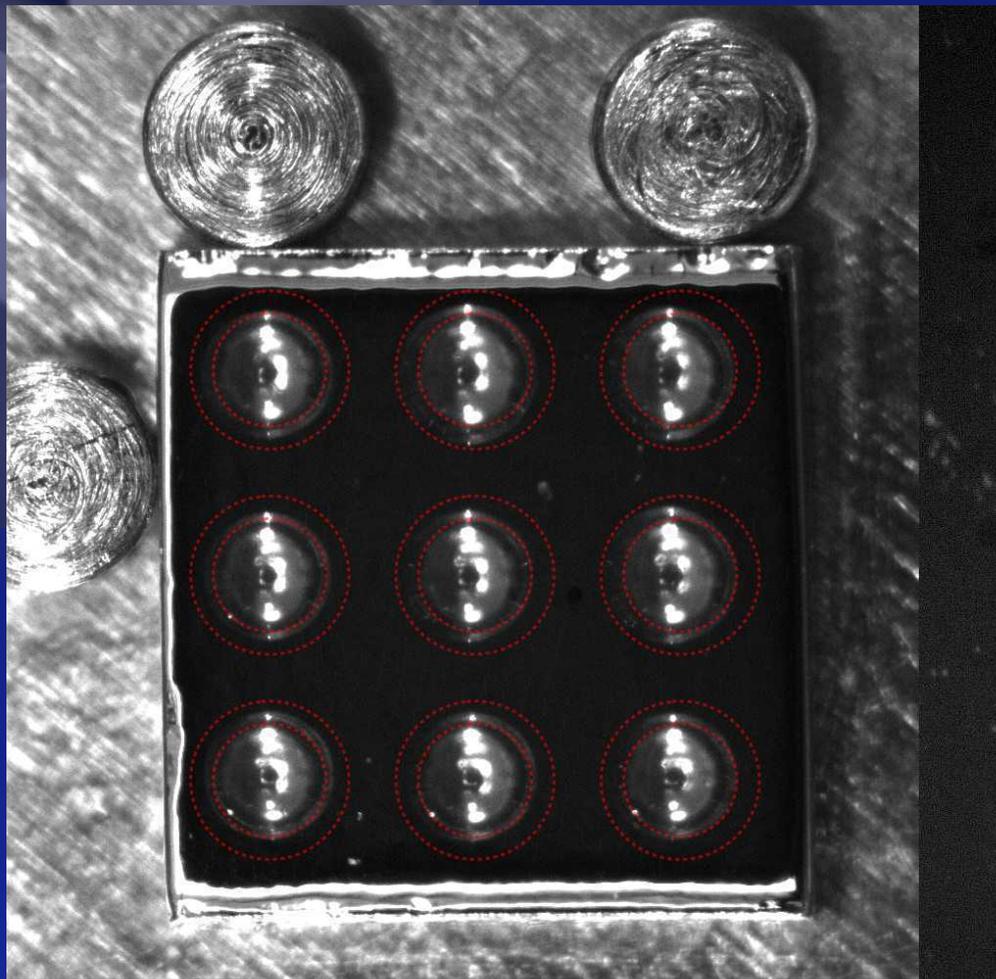
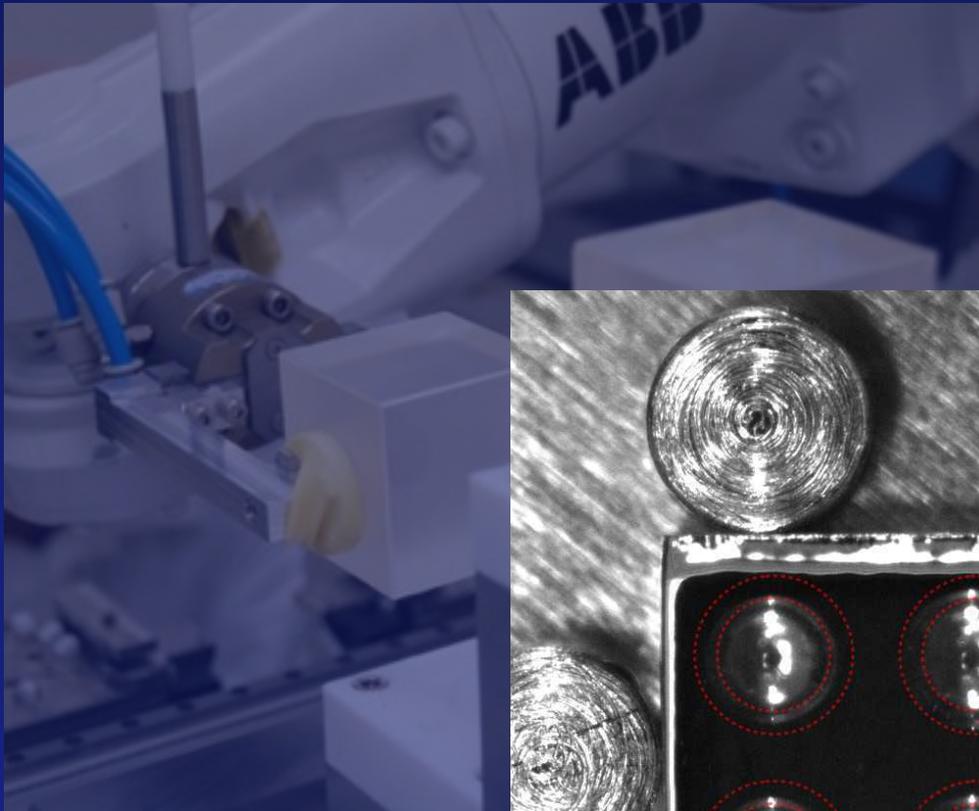


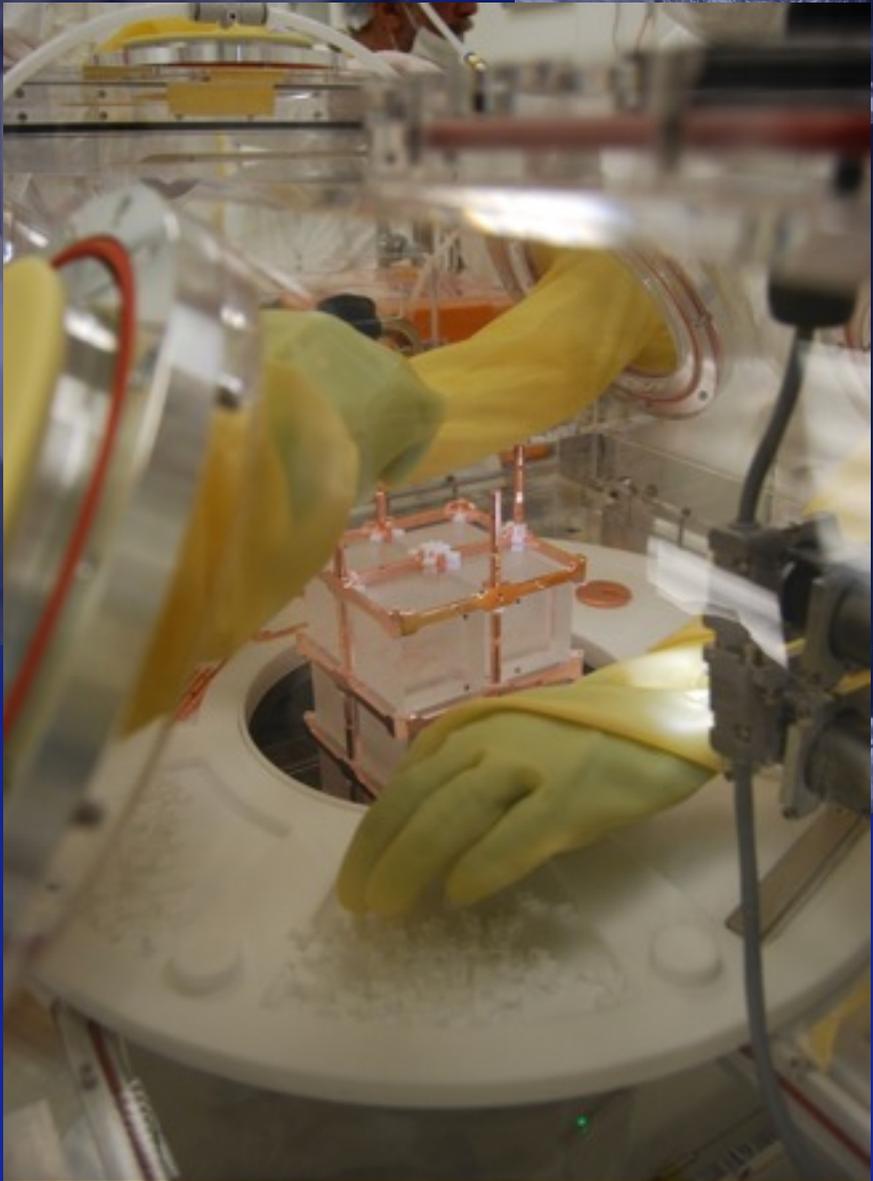
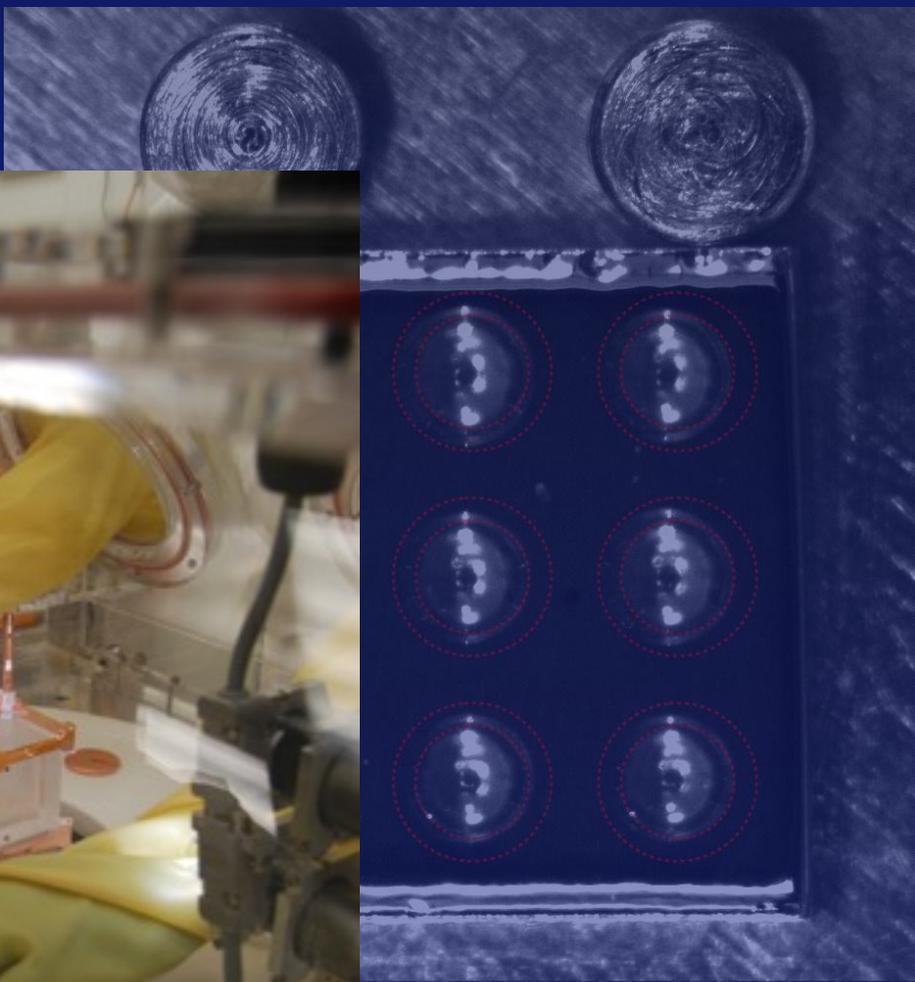
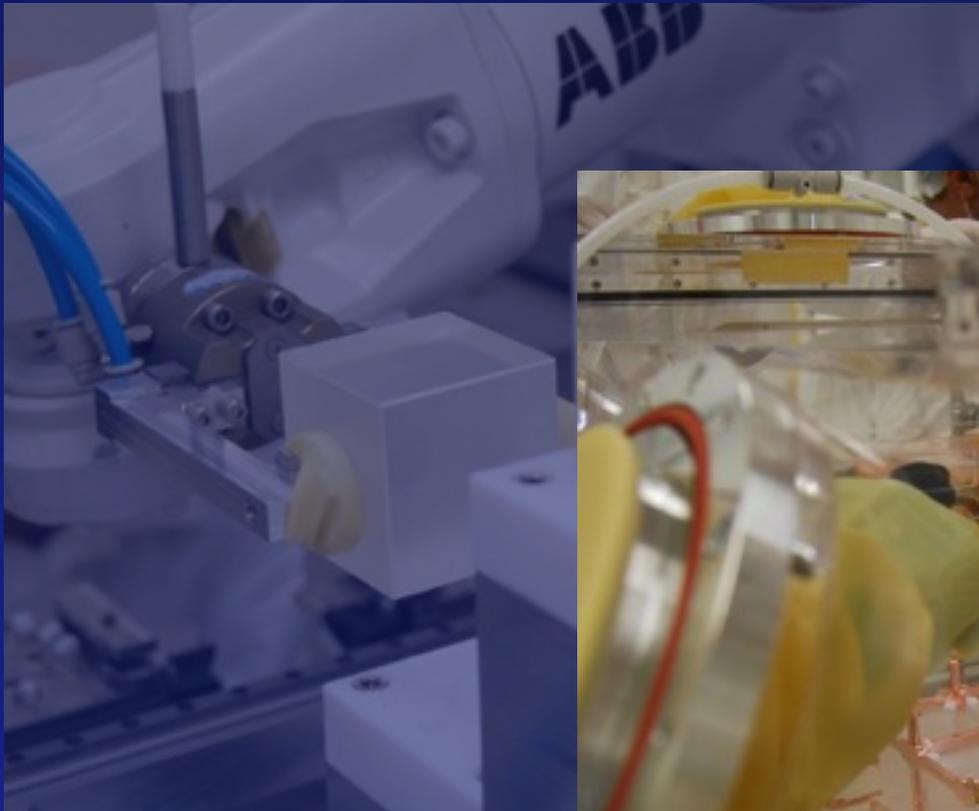
L'elettrone trasferisce energia al cristallo che si scalda: $\Delta T = \Delta E / C$

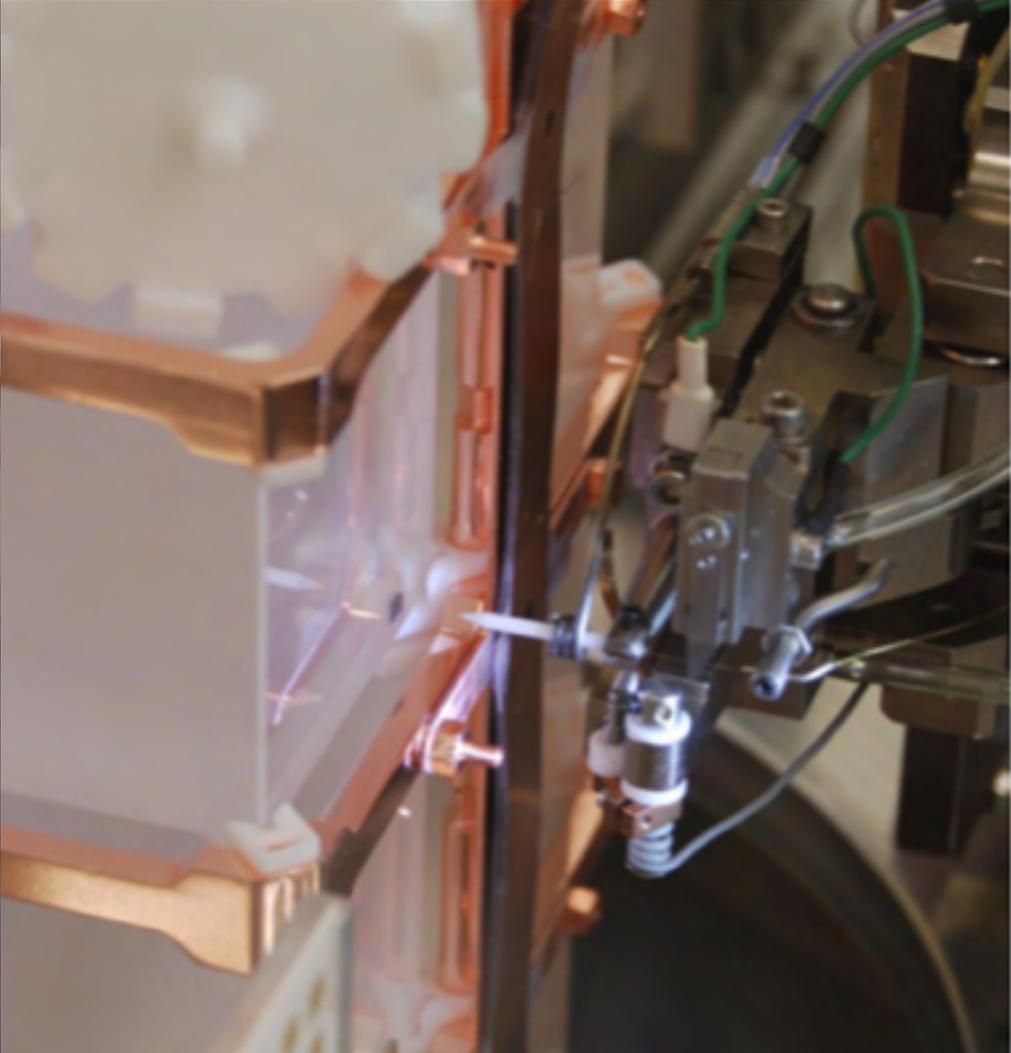
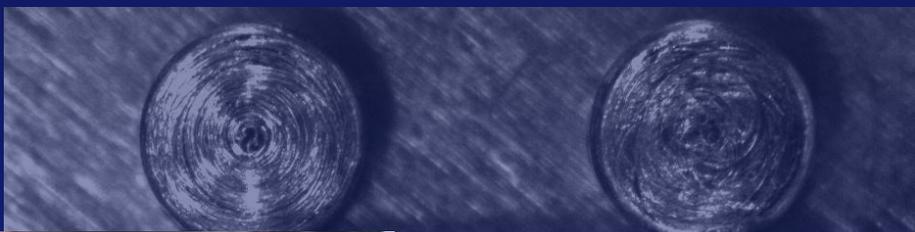
La capacità termica C deve essere piccola: raffreddiamo i cristalli a **10 millesimi di grado sopra la temperatura dello zero assoluto**

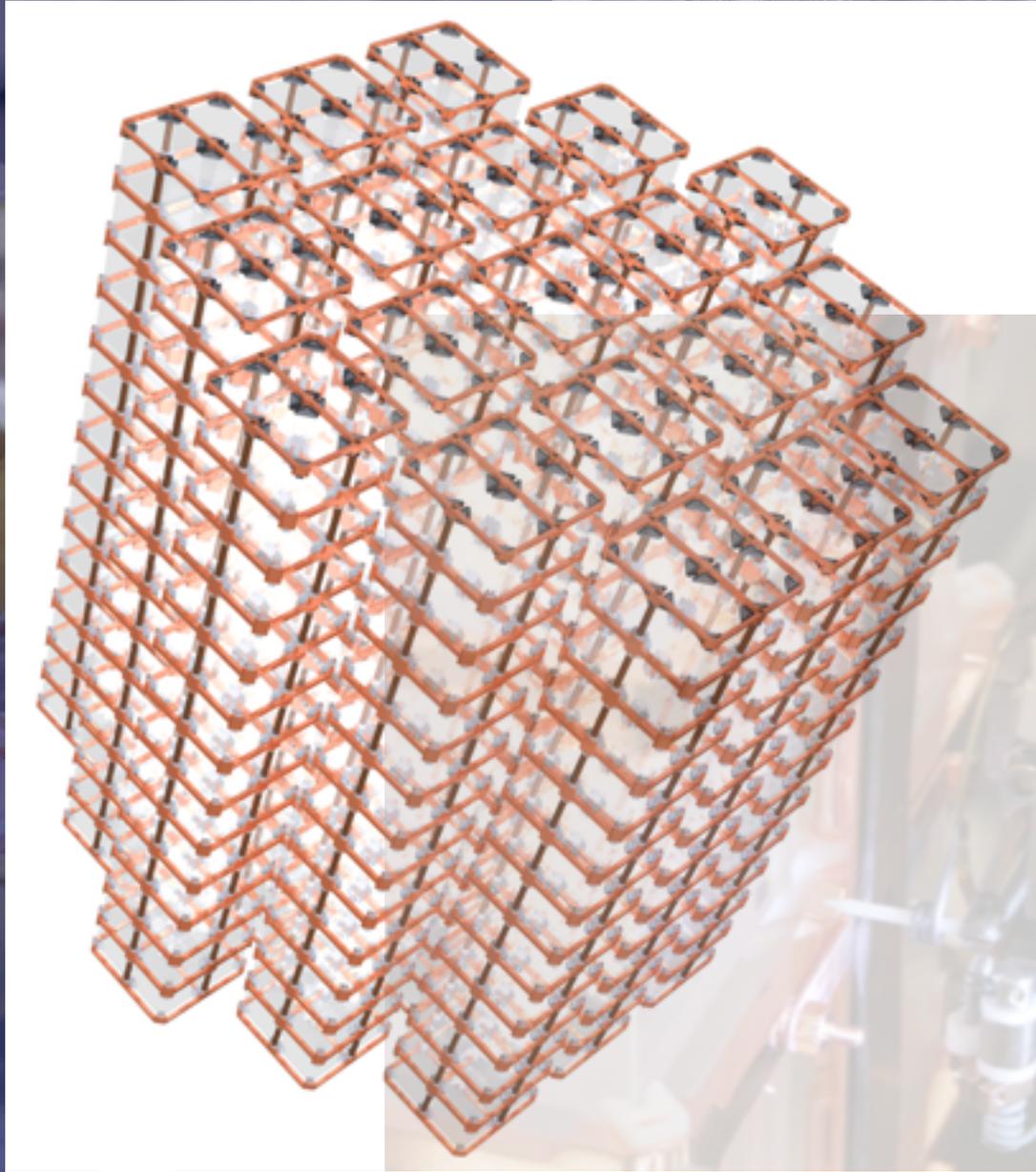
Misuriamo variazioni fino al **milionesimo di grado!**





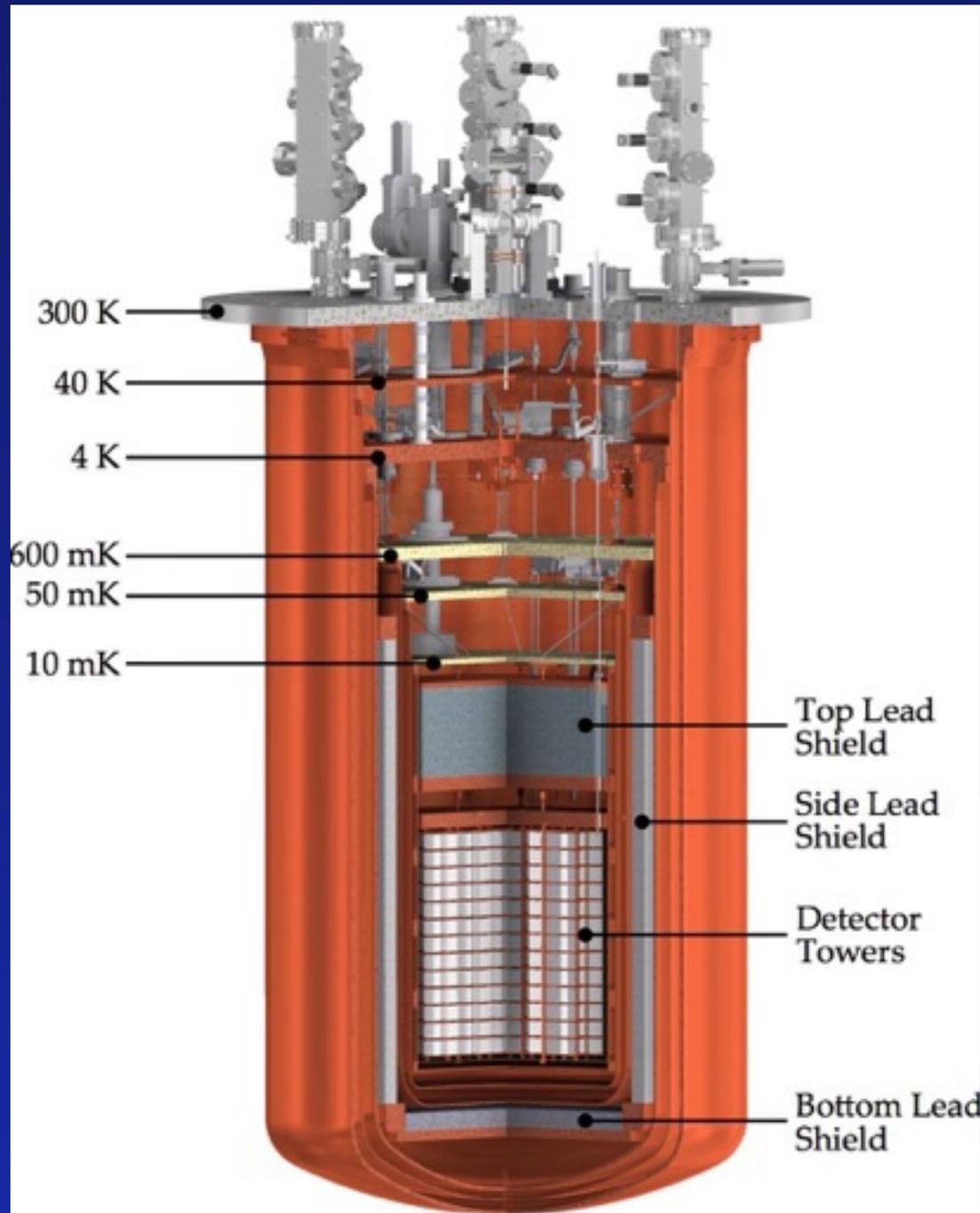






metro cubo più freddo dell'universo

metro cubo più freddo dell'universo



metro cubo più freddo dell'universo



Installazione dei rivelatori questa estate

Presente e futuro

Nei prossimi anni speriamo di scoprire il neutrino di Majorana

Presente e futuro

Nei prossimi anni speriamo di scoprire il neutrino di Majorana

Ma già pensiamo a come aumentare la sensibilità:
nuove tecnologie di riduzione del fondo

Presente e futuro

Nei prossimi anni speriamo di scoprire il neutrino di Majorana

Ma già pensiamo a come aumentare la sensibilità:
nuove tecnologie di riduzione del fondo

Sviluppo di rivelatori di luce che sfruttano la rottura di coppie di Cooper in materiali superconduttori

