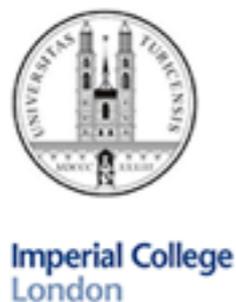


SHIP e i suoi tre obiettivi di Fisica



Walter M. Bonivento
CERN/INFN Cagliari



CERN, Universität Zürich, EPFL Lausanne, INFN Cagliari,
Università Federico II and INFN Napoli, Imperial College London

(in forte crescita)

LTS1 Elba 22/05/2014

Cosa e' SHIP

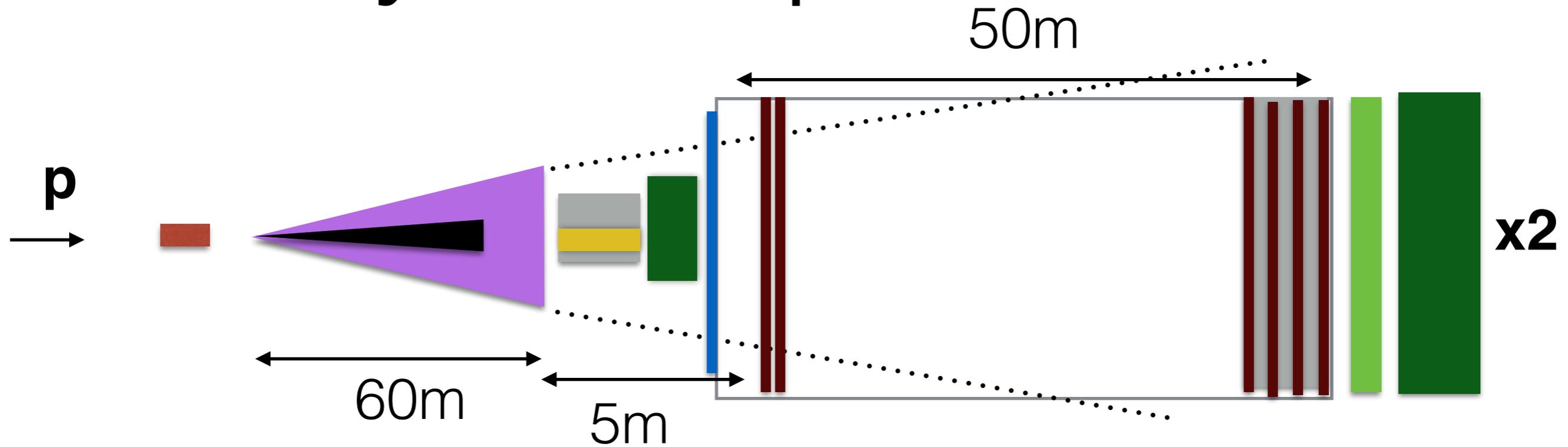
SHIP e' una proposta di esperimento di beam dump al SPS (400GeV p) del CERN

Obiettivi (per ora...):

A. rivelazione particelle a lunga vita media debolmente interagenti o sterili: sensibilità' statistica rispetto a esperimenti precedenti dello stesso tipo x10000

B. rivelazione ν_τ con sensibilità' statistica rispetto a esperimenti precedenti x200

Layout esperimento



lead/iron

tungsten

magnet

tracking

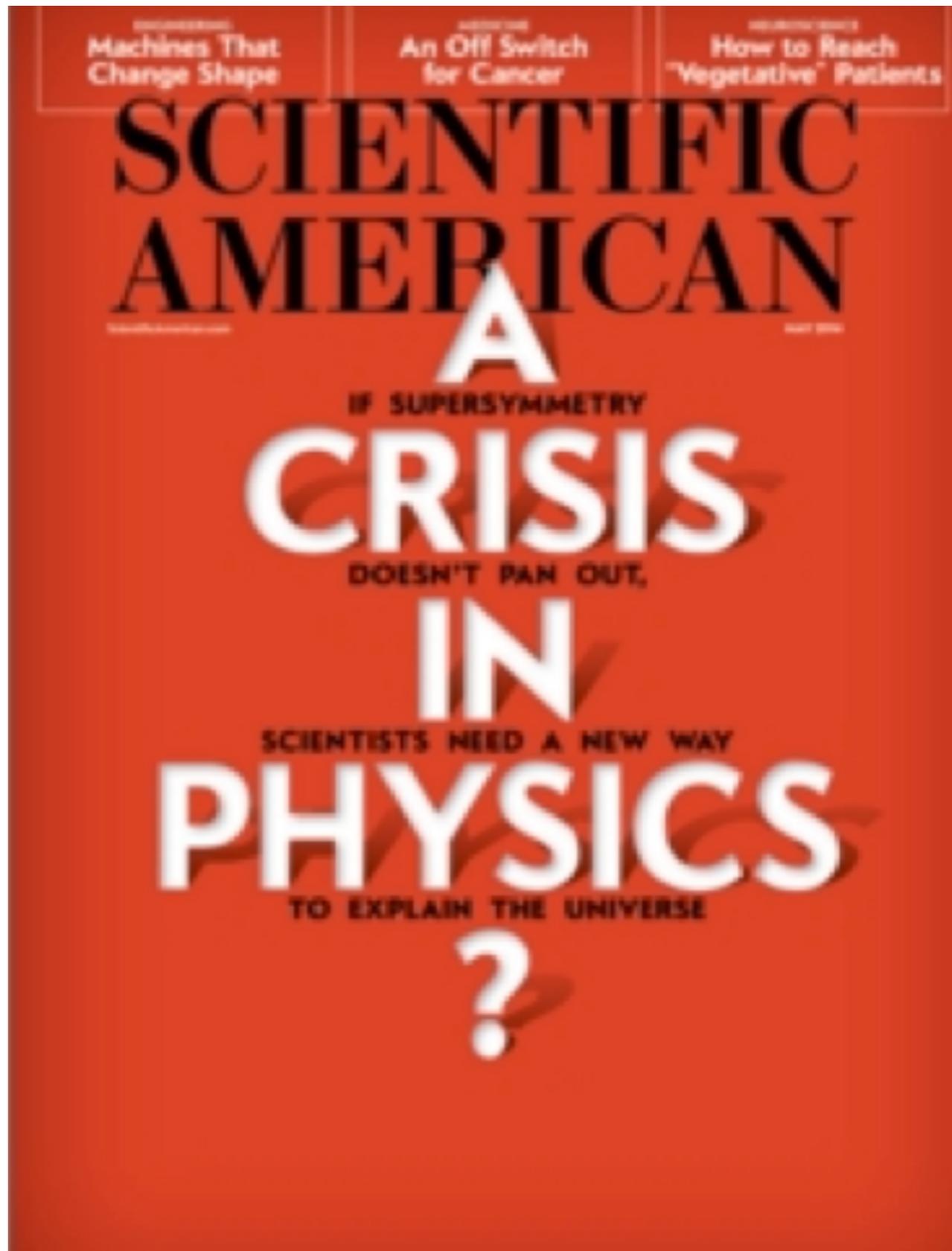
ECAL

UT+VETO

muon

rivelatore v_τ

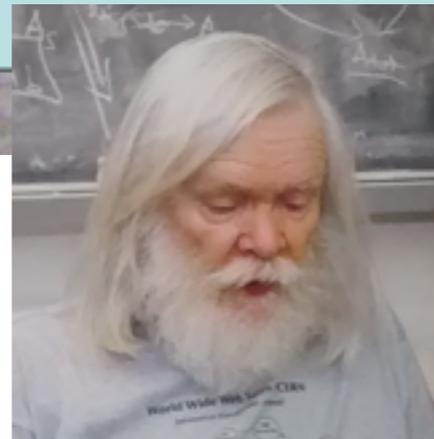
Perche' e' importante
il fattore 10000?



A.Masiero, 22/5/2014

Theoretical Confusion

- High mortality rate among theories
- (M_H, M_t) close to stability bound
- Split SUSY? High-scale SUSY?
- Modify/abandon naturalness? Does Nature care?
- String landscape?
- SUSY anywhere better than nowhere
- SUSY could not explain the hierarchy
- **New ideas needed!**



John Ellis, QFPP, CERN, 6/5/2014

Una nuova idea: il ν MSM!

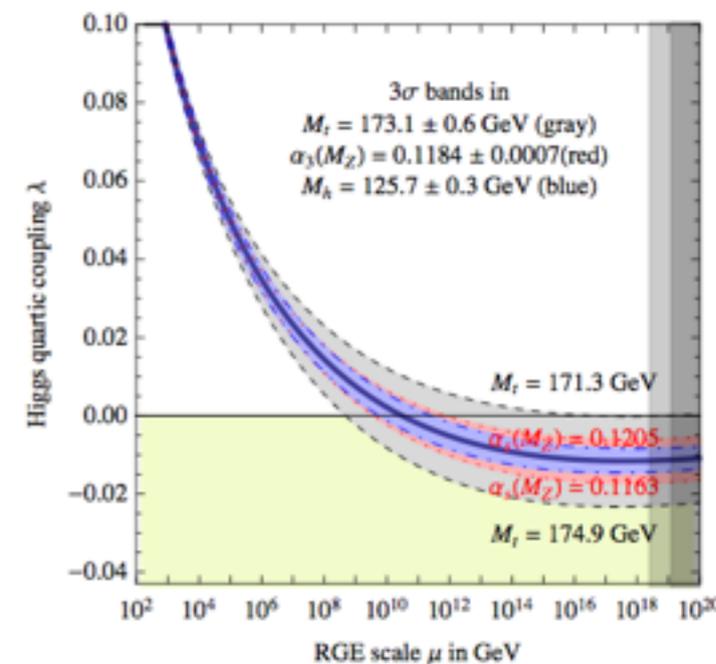
Premessa: Massa del Higgs misurata a ≈ 125 GeV \rightarrow SM teoria di campo effettiva, auto-consistente, debolmente accoppiata fino a grandi scale (almeno fino a 10^{10} GeV, vedi Strumia, Giudice, Isidori ecc.)

Oggetto: ν MSM e' un modello che estende lo SM, in modo **minimale**, cioe' senza introdurre nuovi principi fisici (SUSY or ED) o nuove scale di energia (GU)

Modo: 3 partner di Majorana (HNL), singoletti destrorsi e sterili dei neutrini ordinari con $M_N < M_W$

Soluzione: In un particolare spazio dei parametri (N2 e N3 quasi degeneri e con $m=O(\text{GeV})$ e N1 disaccoppiato con $m=O(\text{keV})$) il ν MSM risolve i tre problemi osservativi del MS: massa dei neutrini (see-saw), bariogenesi (via lepto-genesi) e materia oscura (N1)!

\rightarrow this pattern could be the consequence of a lepton number symmetry $U(1)_L$ broken at $O(10^{-4})$ level

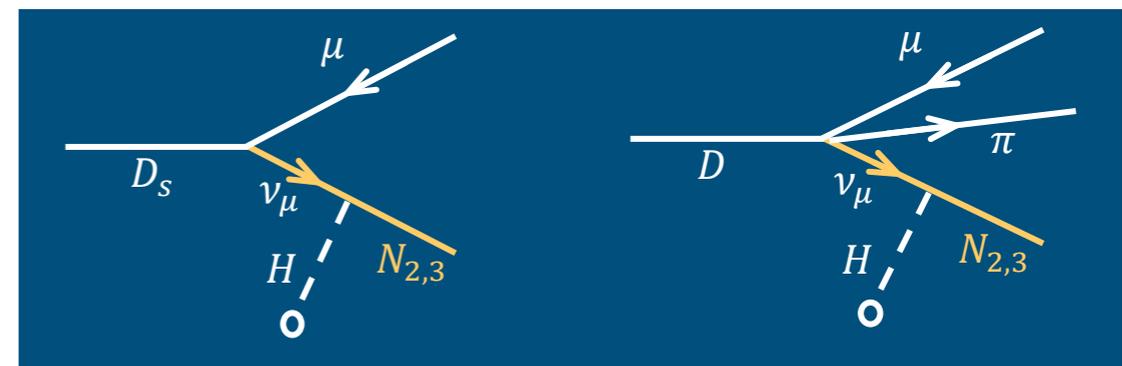
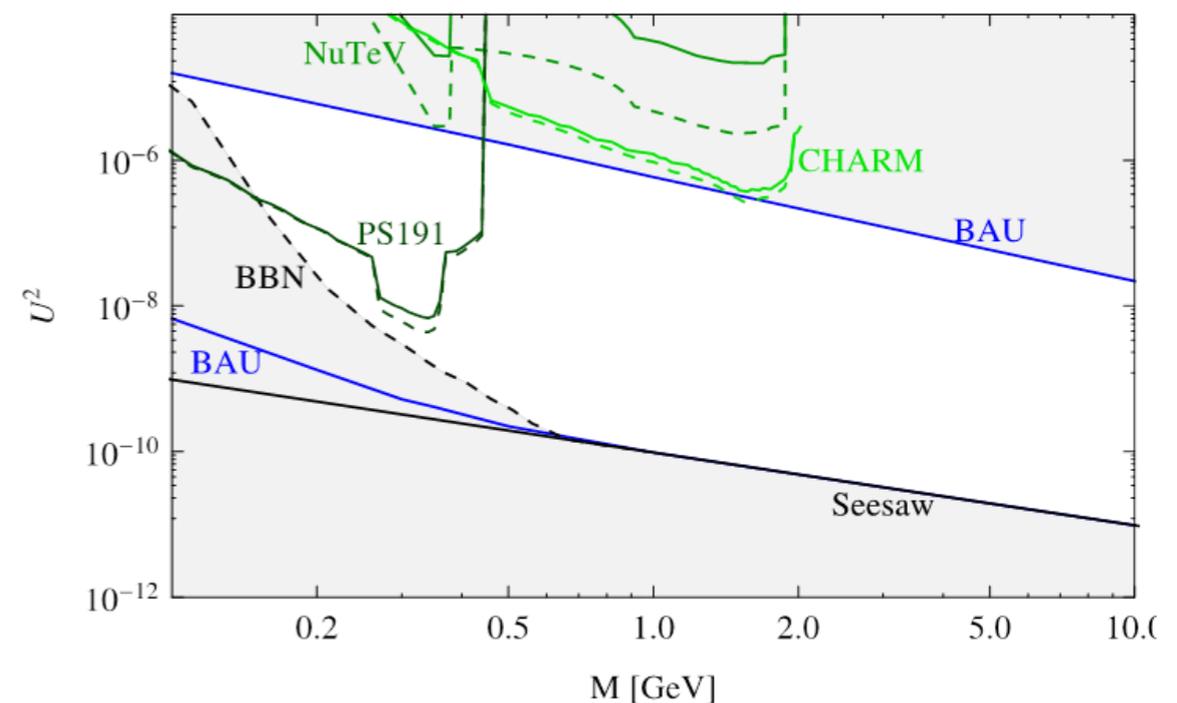


Three Generations of Matter (Fermions) spin 1/2					
	I	II	III		
mass	2.4 MeV	1.27 GeV	173.2 GeV	0	0
charge	2/3	2/3	2/3	0	0
name	u up	c charm	t top	g	gluon
Quarks	Left: d Right: u	Left: s Right: c	Left: b Right: t	0	0
	charge: -1/3	charge: -1/3	charge: -1/3	0	0
	0	0	0	91.2 GeV	0
	ν_e N1 electron neutrino	ν_μ N2 muon neutrino	ν_τ N3 tau neutrino	0	0
Leptons	Left: e Right: ν_e	Left: μ Right: ν_μ	Left: τ Right: ν_τ	Z	weak force
	charge: -1	charge: -1	charge: -1	91.2 GeV	0
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV	± 1
	e	μ	τ	W	weak force
	spin 0			126 GeV	0
				H	Higgs boson
					spin 0

Produzione di $N_{2,3}$

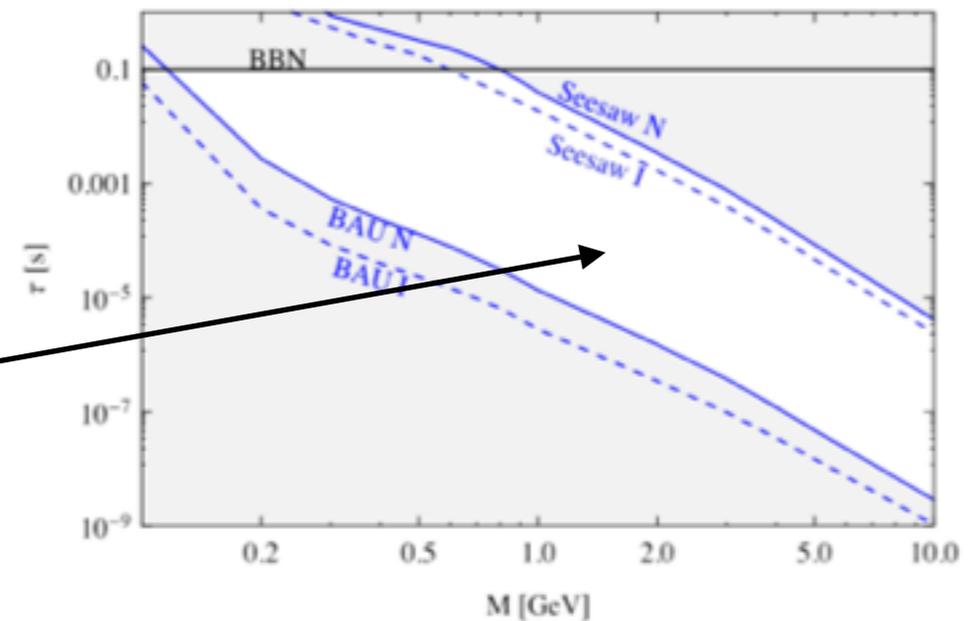
- N mixano con neutrini attivi con accoppiamento U^2 : nel vMSM forti limitazioni nello spazio dei parametri (U^2, m)
- molte ricerche di HNL in passato ma, per $m > m_K$, con **sensibilità non di interesse cosmologico** (es LHCb in decadimenti del B raggiunge $U^2 \approx 10^{-4}$, arXiv:1401.5361)
- **questa proposta: ricerca in decadimenti dei mesoni D (prodotti ad alta statistica nella collisione di p di 400 GeV su bersaglio fisso)**
- **Considerati i fasci esistenti e possibili in un futuro non troppo remoto, questo e' il migliore esperimento che possa sondare la regione di interesse cosmologico**

gerarchia inversa di massa dei neutrini

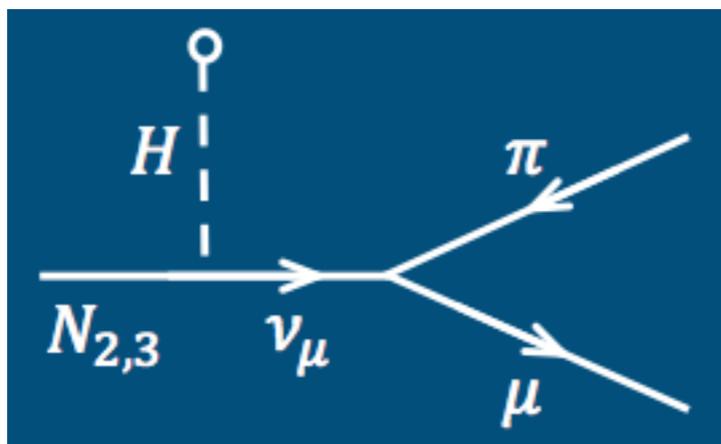


Decadimenti del $N_{2,3}$

- Accoppiamento HNL- ν attivo molto debole
 $\rightarrow N_{2,3}$ hanno vita media molto lunga
 - distanze di decadimento O(km)!: per $U_{\mu}^2 = 10^{-7}$, $\tau_N = 1.8 \times 10^{-5}$ s
- Vari modi di decadimento : i BR's dipendono dal mescolamento tra sapori
- Probabilità' che $N_{2,3}$ decada nel volume fiduciale dell'esperimento $\propto U_{\mu}^2$
 \rightarrow numero di eventi $\propto U_{\mu}^4$



Decay mode	Branching ratio
$N_{2,3} \rightarrow \mu/e + \pi$	0.1 - 50 %
$N_{2,3} \rightarrow \mu^-/e^- + \rho^+$	0.5 - 20 %
$N_{2,3} \rightarrow \nu + \mu + e$	1 - 10 %

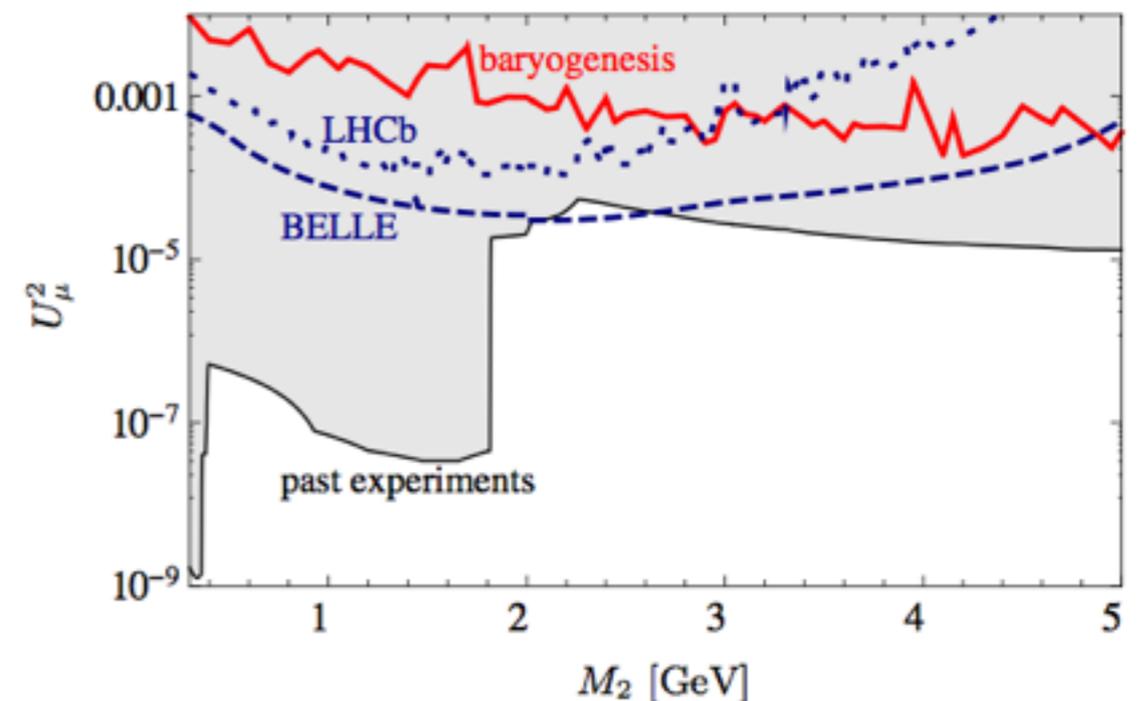


\rightarrow aumento di sensibilità $\times 10000$ permette di accedere alla regione di interesse cosmologico!

Modello meno “tuned”

- se si rinuncia a spiegare la Dark Matter \rightarrow tutti e tre i N possono partecipare al see-saw; modello molto meno vincolato, spazio dei parametri di interesse cosmologico più esteso, HNL non degeneri
- e.g. Canetti et al. \rightarrow il limite della BAU si alza di molto

arXiv:1404:4114



Altri intervalli di massa

In questi mesi, proprio per la “delusione” dei risultati di LHC, c’è una resurrezione di un notevole interesse teorico e sperimentale per questi neutrini di Majorana in ambito see-saw a varie masse.

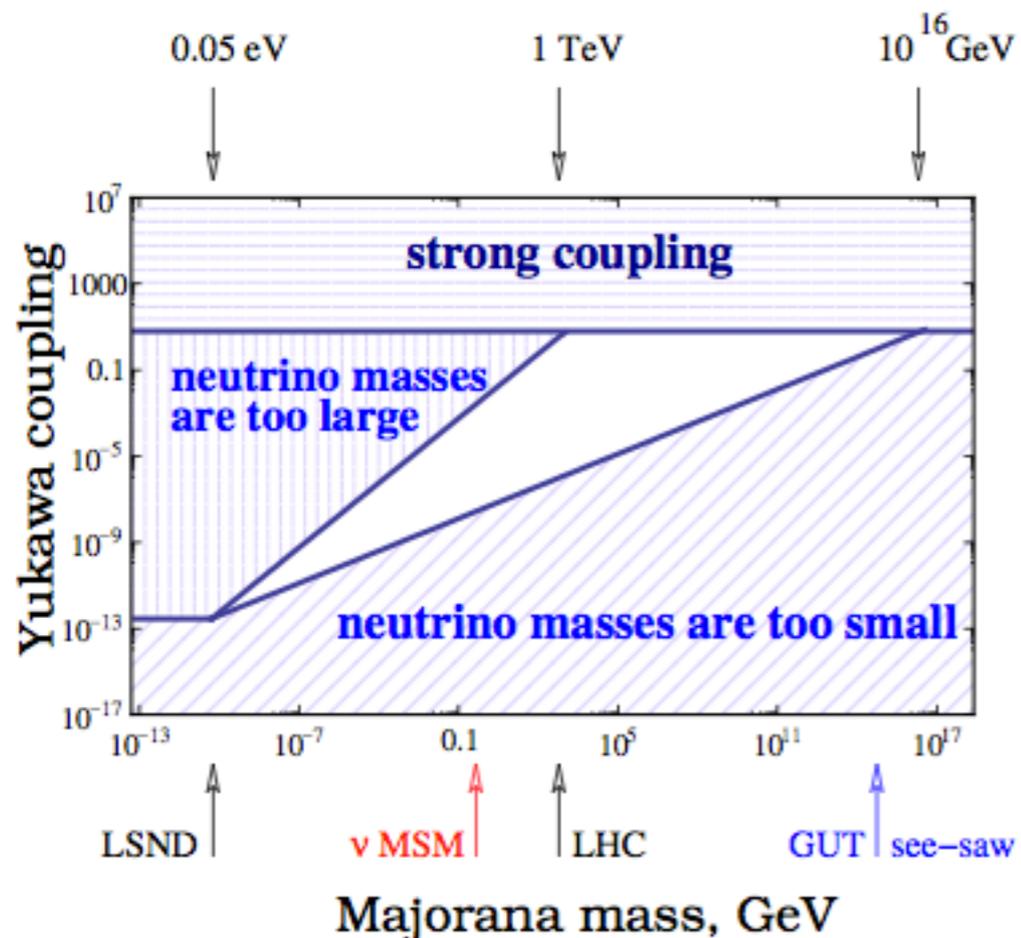
Recente indicazione dai dati di BICEP2 combinati con tutto il progresso di misure cosmologiche, dell’esistenza di un neutrino a massa $\sim 0.5\text{eV}$ (arXiv: 1403.7028, arXiv:1403.4852, arXiv:1403.8049). Non è chiaro quanto questo sia compatibile con le anomalie da misure di oscillazioni. Se fosse confermato in realtà questo non pone in crisi il νMSM , in quanto non c’è un limite al numero di neutrini di Majorana che si possono avere; renderebbe la teoria meno “elegante”, però

Neutrini di massa $\sim \text{TeV}$ possono contribuire a migliorare la compatibilità di fit elettro-debole ed alcune a ridurre alcune anomalie nei dati (massa W , larghezza invisibile Z ...) \rightarrow possibilità di misura a LHC (arXiv:1302.1872)

Neutrini alla scala di GUT in modello $\text{SO}(10)$ (Altarelli et al, arXiv: 1305.1001) con Leptogenesi nel decadimento, con $M < 10^{14} \text{ GeV}$

Masse e Yukawas

- Nel modello di Shaposhnikov il see-saw e' ottenuto con HNL di massa relativamente piccola (e quindi con Yukawa piccoli). In realta' il range di masse e accoppiamenti permessi e' dato da:



	N mass	ν masses	eV ν anomalies	BAU	DM	M_H stability	direct search	experiment
GUT see-saw	10^{-16} 10 GeV	YES	NO	YES	NO	NO	NO	-
EWSB	$2-3$ 10 GeV	YES	NO	YES	NO	YES	YES	LHC
ν MSM	keV - GeV	YES	NO	YES	YES	YES	YES	a'la CHARM
ν scale	eV	YES	YES	NO	NO	YES	YES	a'la LSND

arXiv:1204.5379

Inflazione ecc.

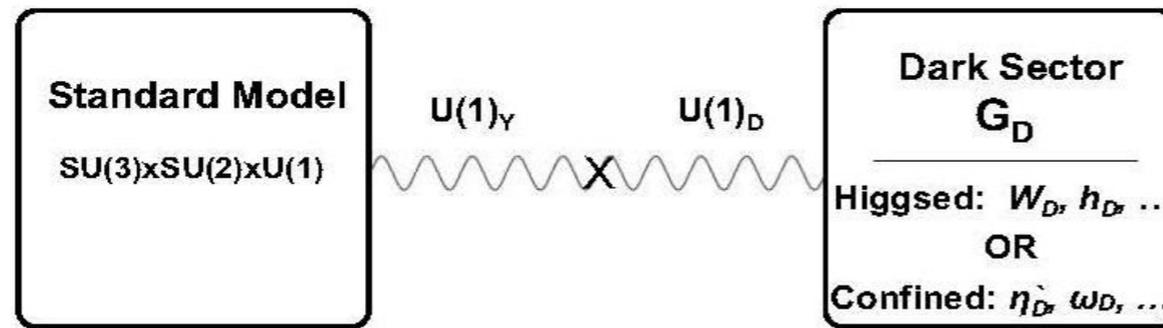
Il Modello di Shaposhnikov e' minimale perche' non introduce alcuna altra particella fino alla scala di Planck

L'inflazione e' fornita dal Higgs, che si comporta come un inflatone (Berzukov, Shaposhnikov)

I risultati di BICEP2 (rivelazione del modo B di polarizzazione del CMB con $r=0.20+0.07-0.05$), sono consistenti con il modello dell'inflazione con Higgs (arXiv:1403.5043, arXiv:1403.6078) tuttavia ora si comincia a dubitare di BICEP2...

E' stato anche costruito un modello (Bezrukov, Gorbunov, arxiv: 1403.4638) consistente con tutte le osservazioni sperimentali in cui l'inflatone non e' l'Higgs ma e' una particella leggera ($<1\text{ GeV}$) che decade negli HNL

Portali verso Hidden sectors



$$\mathcal{L}_{\text{mediation}} = \sum_{k,l,n} \frac{\mathcal{O}_{\text{NP}}^{(k)} \mathcal{O}_{\text{SM}}^{(l)}}{\Lambda^n}, \quad k+l=n+4$$

Le particelle dello SM non sono sensibili direttamente all'interazione di gauge GD ma attraverso un mediatore: gli operatori SM di dimensione piu' piccola sono detti "portali"

recentemente si e' rivitalizzata l'attenzione verso questo tipo di interazioni per spiegare alcune anomalie astrofisiche (e.g. aumento e+/e- con energia , concentrazione di linea a 511keV dal centro galattico), interpretate nel contesto di dark matter; il range di masse suggerito, da qualche MeV a qualche GeV, con $\tau < 1\text{sec}$ e $\tau > 100\text{ns}$ e' peculiare per esperimenti fixed-target (PhysRevD.80.095024)

In questo esperimento simile metodologia di esperimenti già effettuati come CHARM ma con molta maggiore statistica e/o con maggiore energia del fascio (es. rispetto a U70) —>stiamo studiando le sensibilita' in SHIP

Portali et al.

Higgs portal → mediatore inflatone (scalare); produzione diretta o da decadimento mesone; decadimenti e^+e^- , $\mu^+\mu^-$; accoppiamenti rinormalizzabili $(\mu\chi + \lambda\chi^2)H^+H$

Neutrino portal → mediatore HNL, di cui sopra

Vector portal → mediatore para-fotone; produzione in mixing con fotoni; decadimenti e^+e^- , $\mu^+\mu^-$; accoppiamenti rinormalizzabili $\epsilon F^{\mu\nu} F'_{\mu\nu}$

axion portal → mediatore PNCB o axion-like particles (in questo caso non sono Dark Matter particles); produzione diretta mixing con π ; decadimenti e^+e^- , $\mu^+\mu^-$

Anche sotto studio low-energy SUSY:

- ▶ light sgoldstinos (superpartners of goldstino in SUSY models)
e.g., D.S. Gorbunov (2001) e.g. $D \rightarrow \pi X$, then $X \rightarrow l^+ l^-$
- ▶ R-parity violating neutralinos in SUSY models
e.g., A. Dedes, H.K. Dreiner, P. Richardson (2001) e.g. $D \rightarrow l \tilde{\chi}$, then $\tilde{\chi} \rightarrow l^+ l^- \nu$

Soppressione fondi

Interazioni di neutrini muonici e di muoni non soppressi dal filtro

1. nel tunnel di decadimento—>vuoto

2. nell'ultima lunghezza di interazione del dump ->produzione di $K_L^0 \rightarrow \mu \pi \nu$ ($e \pi \nu$)

—>rigettate da tagli cinematica sul parametro di impatto e p +muon ID e electron ID per canali Hidden sector

inoltre un altro fattore 10-40 si puo' ottenere equipaggiando l'ultima parte del dump con un rivelatore attivo per "taggare" le interazioni di neutrino

in ogni caso e' importante sopprimere il K_L^0 anche sopra 500MeV perche' non sappiamo ancora come e se riusciremo a tenere sotto controllo le code non gaussiane della risoluzione in impulso

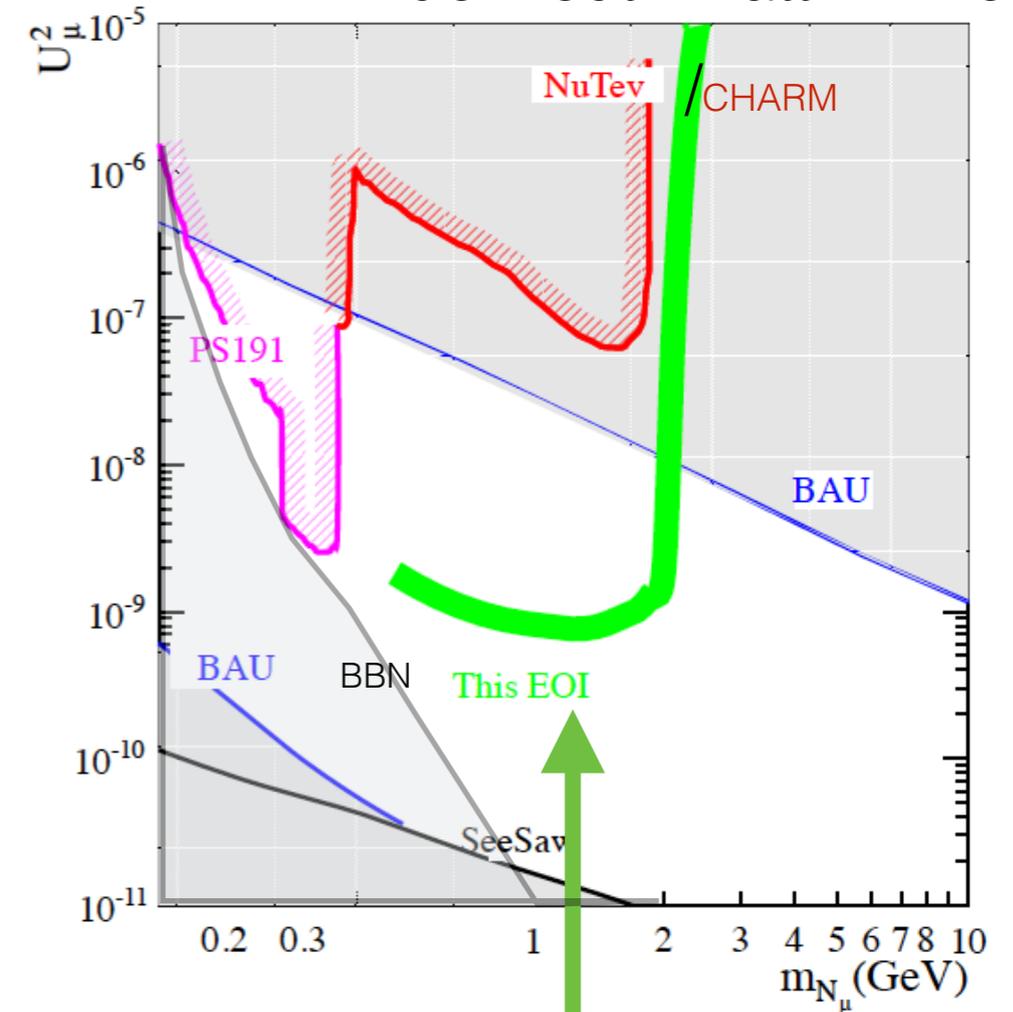
Combinazioni casuali di due muoni dal PV —> risoluzione temporale spinta di almeno un rivelatore e alta efficienza del VETO cruciali (sotto studio)

Sensibilita' per HNL

(gerarchia di massa dei neutrini attivi inversa)

Assumendo 0 fondo (che pare ben giustificato dai nostri studi, ma sara' comunque l'oggetto di simulazioni molto dettagliate) e 2×10^{20} p.o.t.

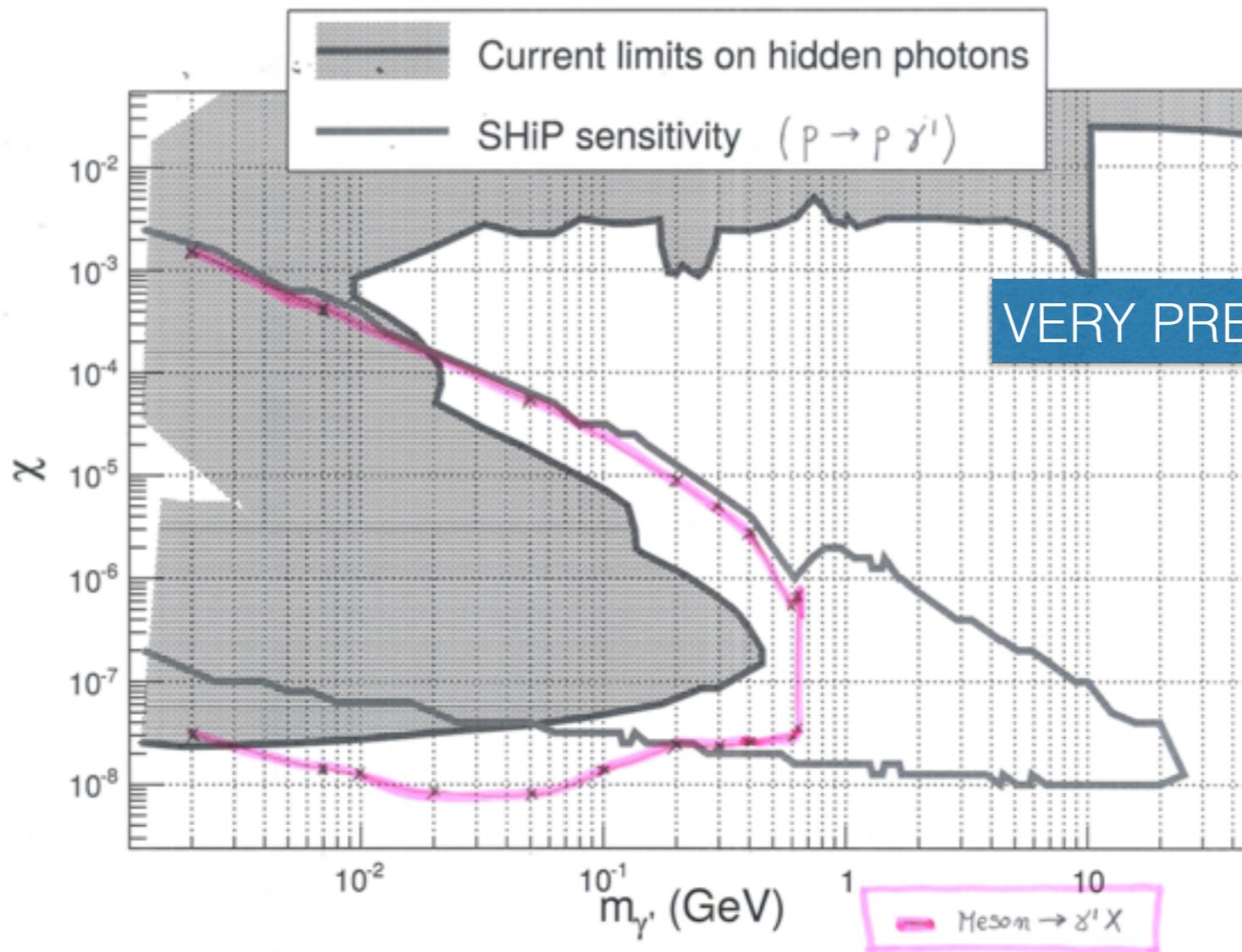
—> finestra di opportunita' per questo esperimento di sondare la zona di interesse cosmologico



solo con $N \rightarrow \mu \pi$

(in uno scenario in cui l'accoppiamento al sapore muonico e' dominante)

Sensibilita' per Hidden Photon



con canali e^+e^- $e \mu^+\mu^-$

Fisica dei neutrini attivi: ν_τ e ν_μ

Approfittando del beam dump, con un rivelatore dedicato che prende dati simultaneamente a quello per HNL, e' possibile lo studio di interazioni del neutrino τ con statistica $>200x$ attuale:

- l'esperimento DONUT ha osservato 9 eventi (da charm) con 1.5 stimato di fondo
- l'esperimento OPERA ha osservato 4 eventi (da oscillazione)

In generale la terza generazione di leptoni puo' essere piu' sensibile a NF per la sua maggiore massa

Inoltre la NF nel settore del τ e' sperimentalmente limitata con minore precisione rispetto alle altre due famiglie.

In particolare due "anomalie" sperimentali (su 3) nella fisica del charged flavor coinvolgono il τ :

A. $R(D), R(D^*)$ dalle B factories $\rightarrow 3.4\sigma$ dal MS

B. $A(\text{CP}) (\tau \rightarrow \pi K_S^0 \nu_\tau) \rightarrow 2.8\sigma$ dal MS

Fisica dei neutrini attivi: ν_τ e ν_μ

—> **Misure di sezioni d'urto e distribuzioni angolari nelle interazioni CC: stiamo studiando con i teorici (Datta, U.Massachussets) la sensibilita' a Higgs carico, W' e Leptoquarks**

Altre misure importanti:

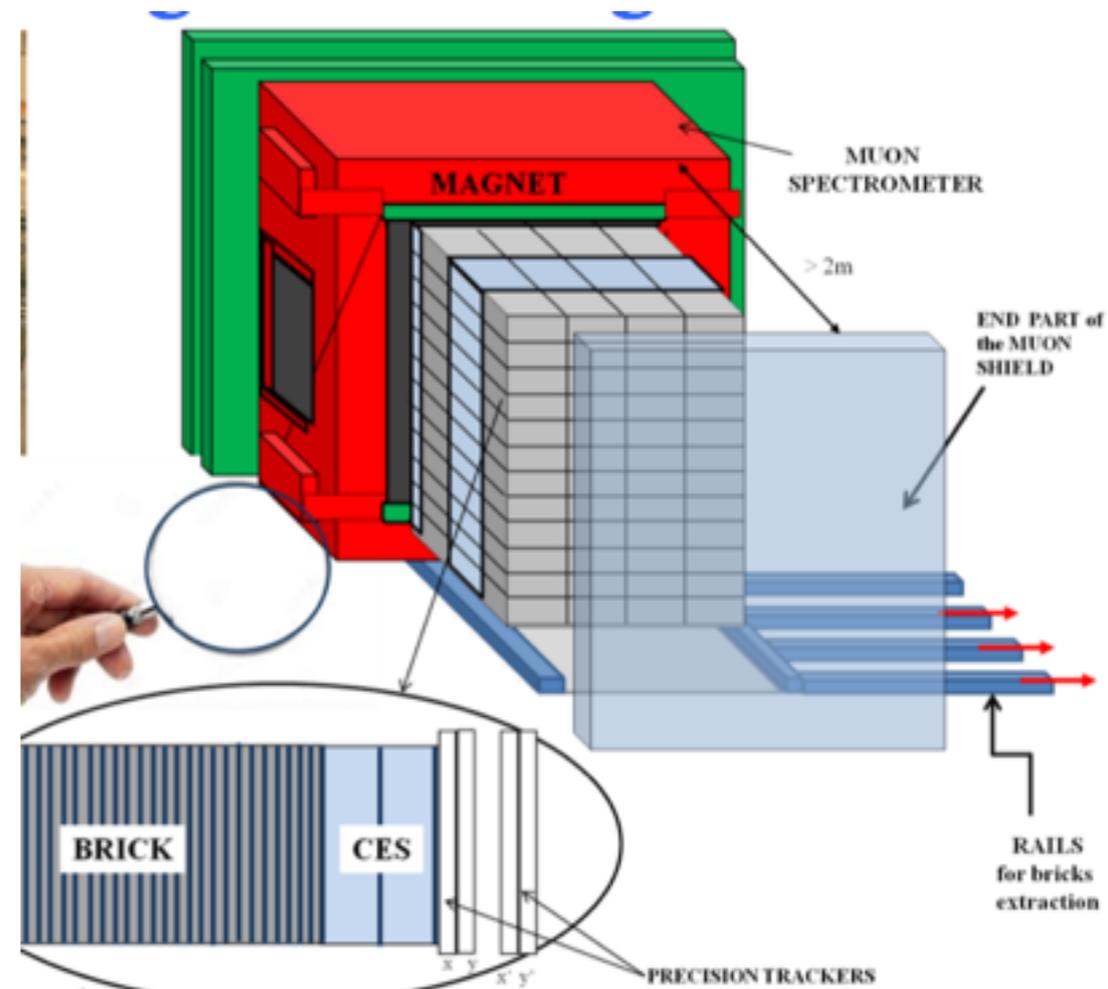
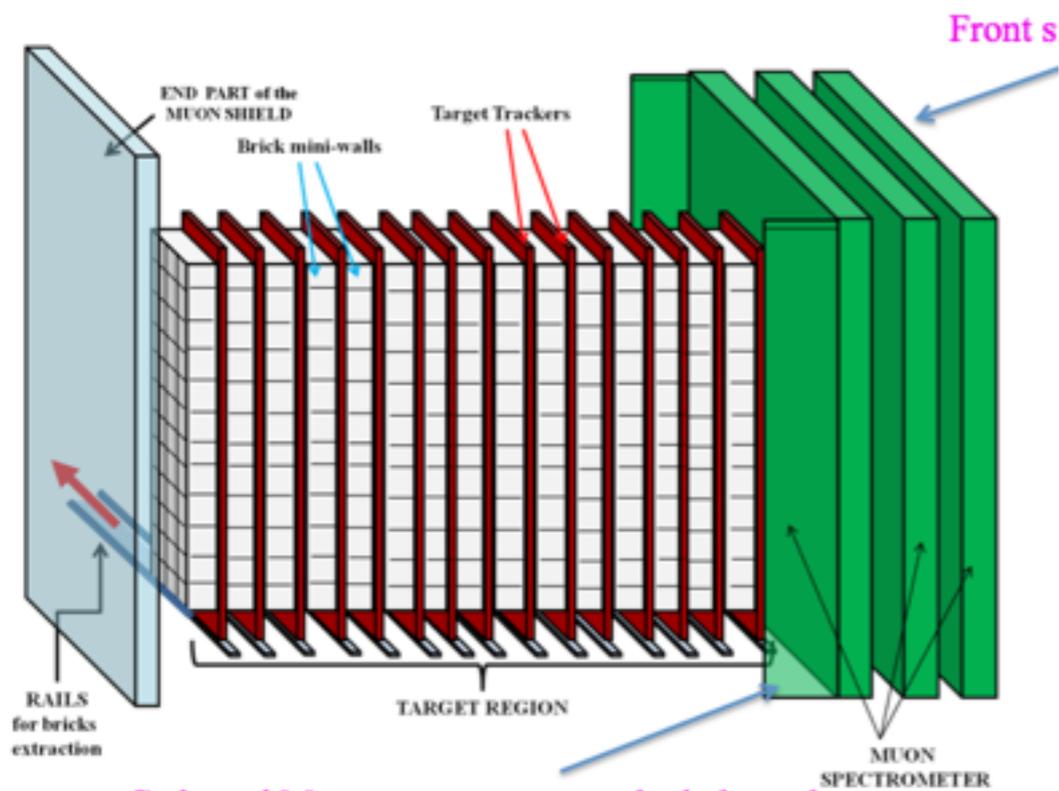
- A. osservazione di anti- ν_τ (unica particella del MS non ancora osservata)**
- B. produzione di charm in interazioni di ν_μ (grande aumento di statistica, >100x, rispetto a CHORUS in particolare per anti- ν_μ , : infatti in beam dump anti- ν_μ/ν_μ 60%)**

Rivelatore per ν

Rivelatore a emulsioni con la tecnologia di OPERA ma con massa molto minore (750 mattoni) molto compatto (2m) posto davanti al tunnel di decadimento per il HNL — >immerso in campo B e seguito da un rivelatore di muoni (per sopprimere il fondo di charm)

Si₂ stima di dovere cambiare il rivelatore circa 10 volte nel corso del run —>totale di 5400 m di plates di emulsioni —> 5% di OPERA

Due opzioni allo studio:



N1

DETECTION OF AN UNIDENTIFIED EMISSION LINE IN THE STACKED X-RAY SPECTRUM OF GALAXY CLUSTERS

ESRA BULBUL^{1,2}, MAXIM MARKEVITCH², ADAM FOSTER¹, RANDALL K. SMITH¹ MICHAEL LOEWENSTEIN², AND SCOTT W. RANDALL¹

¹ Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden Street, Cambridge, MA 02138.

² NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA.

Submitted to *ApJ*, 2014 February 10

arXiv:1402.2301v1 [astro-ph.CO] 10 Feb 2014

there should be no atomic transitions in thermal plasma at this energy. An intriguing possibility is the decay of sterile neutrino, a long-sought dark matter particle candidate. Assuming that all dark matter is in sterile neutrinos with $m_s = 2E = 7.1$ keV, our detection in the full sample corresponds to a neutrino decay mixing angle $\sin^2(2\theta) \approx 7 \times 10^{-11}$, below the previous upper limits. However, based on the cluster masses and distances, the line in Perseus is much brighter than expected in this model

- idea: mettere insieme 73 osservazioni di cluster di galassie per aumentare la statistica: analizzate le osservazioni di XMM-Newton e Chandra. Correzioni per il red-shift (0.01-0.35)

Un altra breaking news!

An unidentified line in X-ray spectra of the Andromeda galaxy and Perseus galaxy cluster

A. Boyarsky¹, O. Ruchayskiy², D. Iakubovskiy^{3,4} and J. Franse^{1,5}

¹Instituut-Lorentz for Theoretical Physics, Universiteit Leiden, Niels Bohrweg 2, Leiden, The Netherlands

²Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, FSB/ITP/LPPC, BSP, CH-1015, Lausanne, Switzerland

³Bogolyubov Institute of Theoretical Physics, Metrologichna Str. 14-b, 03680, Kyiv, Ukraine

⁴National University “Kyiv-Mohyla Academy”, Skovorody Str. 2, 04070, Kyiv, Ukraine

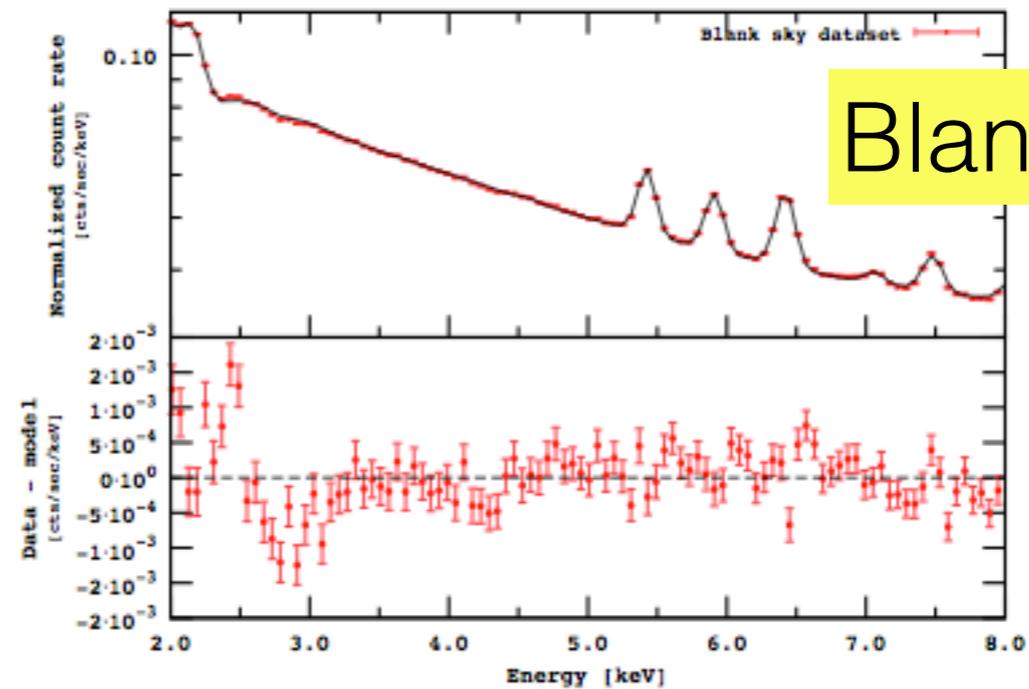
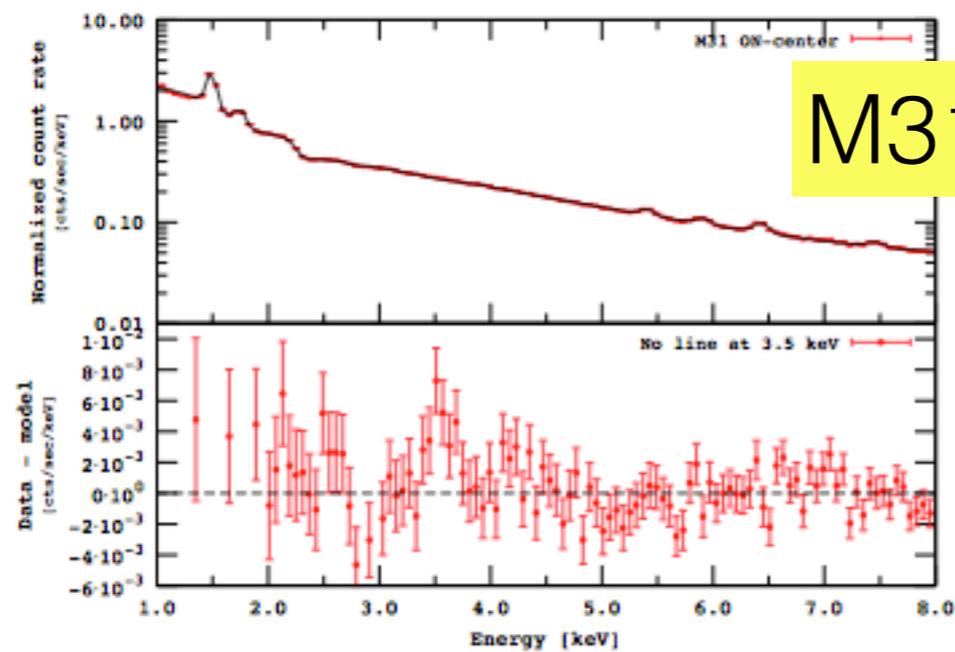
⁵Leiden Observatory, Leiden University, Niels Bohrweg 2, Leiden, The Netherlands

We identify a weak line at $E \sim 3.5$ keV in X-ray spectra of the Andromeda galaxy and the Perseus galaxy cluster – two dark matter-dominated objects, for which there exist deep exposures with the XMM-Newton X-ray observatory. Such a line was not previously known to be present in the spectra of galaxies or galaxy clusters. Although the line is weak, it has a clear tendency to become stronger towards the centers of the objects; it is stronger for the Perseus cluster than for the Andromeda galaxy and is absent in the spectrum of a very deep “blank sky” dataset. Although for individual objects it is hard to exclude the possibility that the feature is due to an instrumental effect or an atomic line of anomalous brightness, it is consistent with the behavior of a line originating from the decay of dark matter particles. Future detections or non-detections of this line in multiple astrophysical targets may help to reveal its nature.

arXiv:1402.4119v1 [astro-ph.CO] 17 Feb 2014

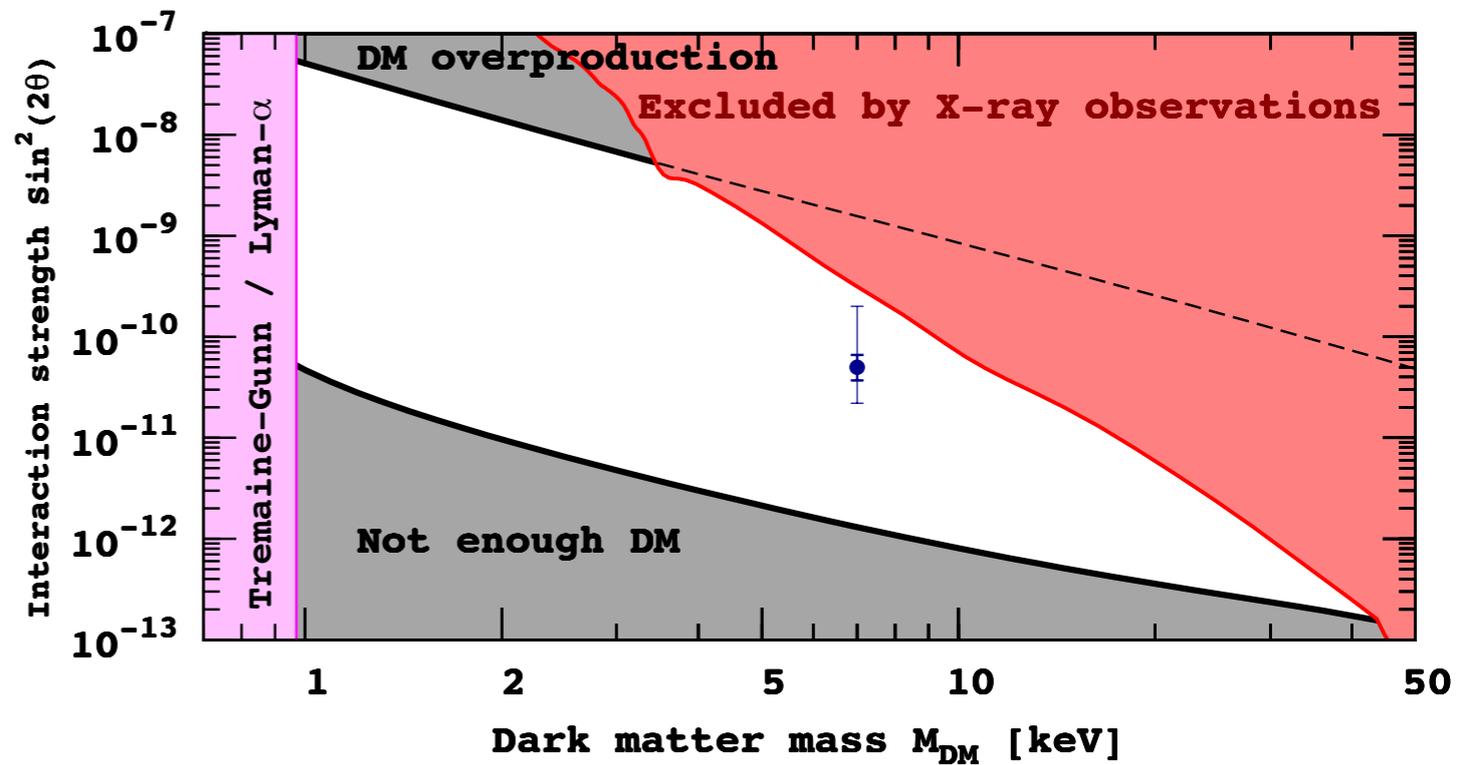
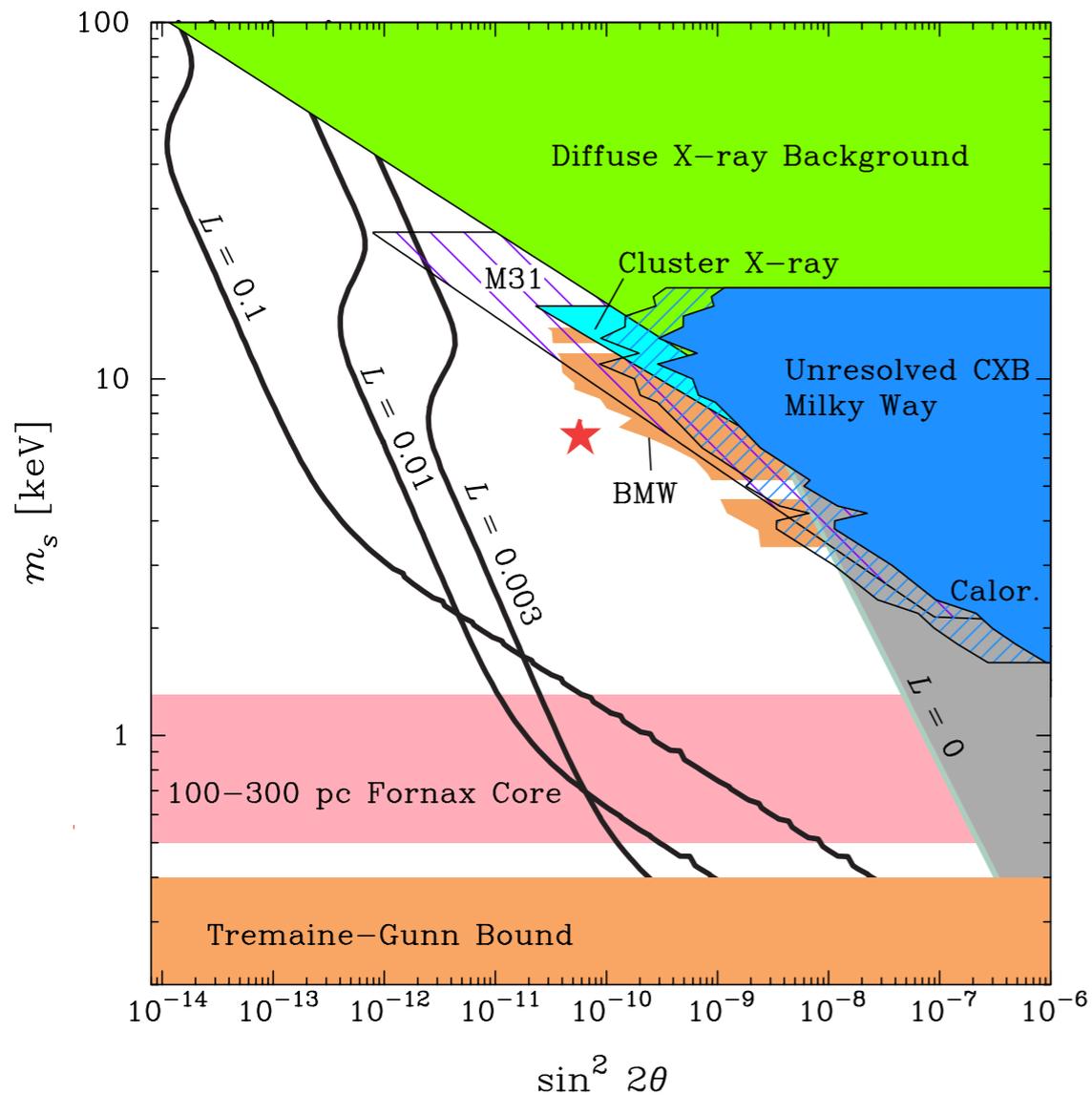
- **Osservazione consistente di una linea at 3.5KeV with 3-4 σ significance**
- **Analisi diversa dalla precedente e su dati diversi, con controlli anche sulla dipendenza radiale e sul contenuto relativo di DM**
- **Molte analisi in corso che potranno chiarire la situazione**
- **Missione Astro-H sara' lanciata nel 2015 e aiuterà a chiarire la situazione**

Un esempio di plot



- incompatibile, dicono gli autori, con linee atomiche note e con possibili effetti strumentali (non sono un esperto per giudicare se hanno ragione)
- la significanza dichiarata e' $3-4\sigma$ in vari sub-campioni —> pertanto e' il caso di aspettare ed essere cauti.

For fun: nel grafico bi-dimensionale



Boyarski et al.

Harvard, NASA ecc.

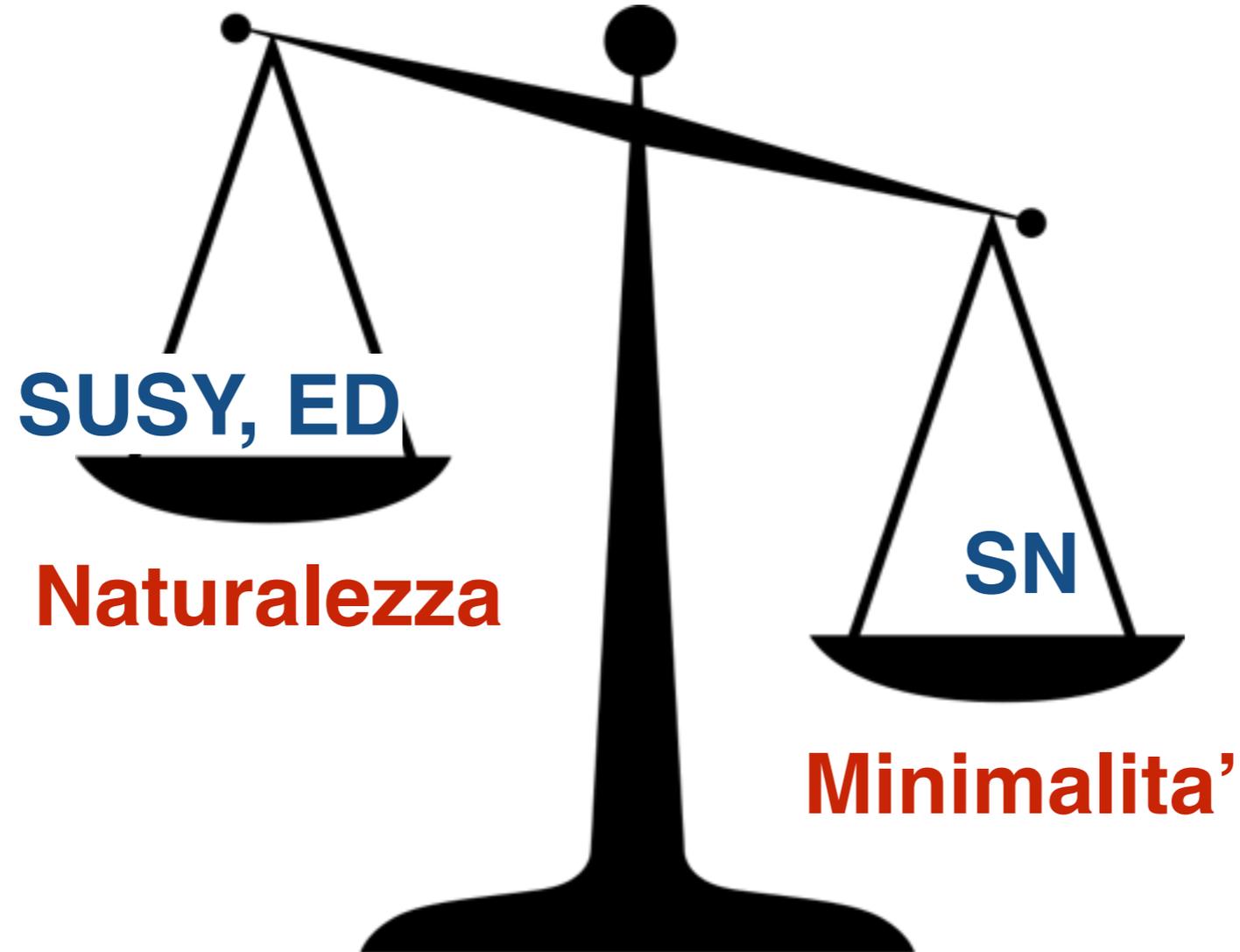
N.B.

Anche altri modelli di NP prevedono l'esistenza di un neutrino sterile a queste masse

Conclusioni

- **Test di una spiegazione alternativa rispetto ai soliti modelli (SUSY, ED) di importanti fenomeni osservati non compatibili con il Modello Standard**
- **L'osservazione di decadimenti nell'esperimento e' manifestazione diretta di Nuova Fisica**
- **Tecniche complementari rispetto a esperimenti esistenti —>lunghe vite medie, alta intensità'**
- **Anche fisica dei neutrini attivi, per gli appassionati**

Cosa ci riserverà il futuro?



Dobbiamo tornare
al rasoio di Occam?