



Rossella  
Panarese

# dedicato alla memoria di un amica

Rossella Panarese, giornalista, fondatrice di Radio 3 Scienza ed animatrice di innumerevoli iniziative di cultura scientifica nel nostro paese.

# on the edge of existence and yet so lively: neutrinos

Francesco VISSANI

INFN Laboratorio del Gran Sasso & Gran Sasso Science Institute

- novel expectations on Majorana neutrino mass
- shedding light and neutrino on the solar engine / helping Borexino
- how many supernovae do we expect a century in the Milky Way?
- what do we really know on IceCube neutrinos?
- FSRQ as sources of high energy neutrinos

outreach & credits

# TWENTY YEARS AGO

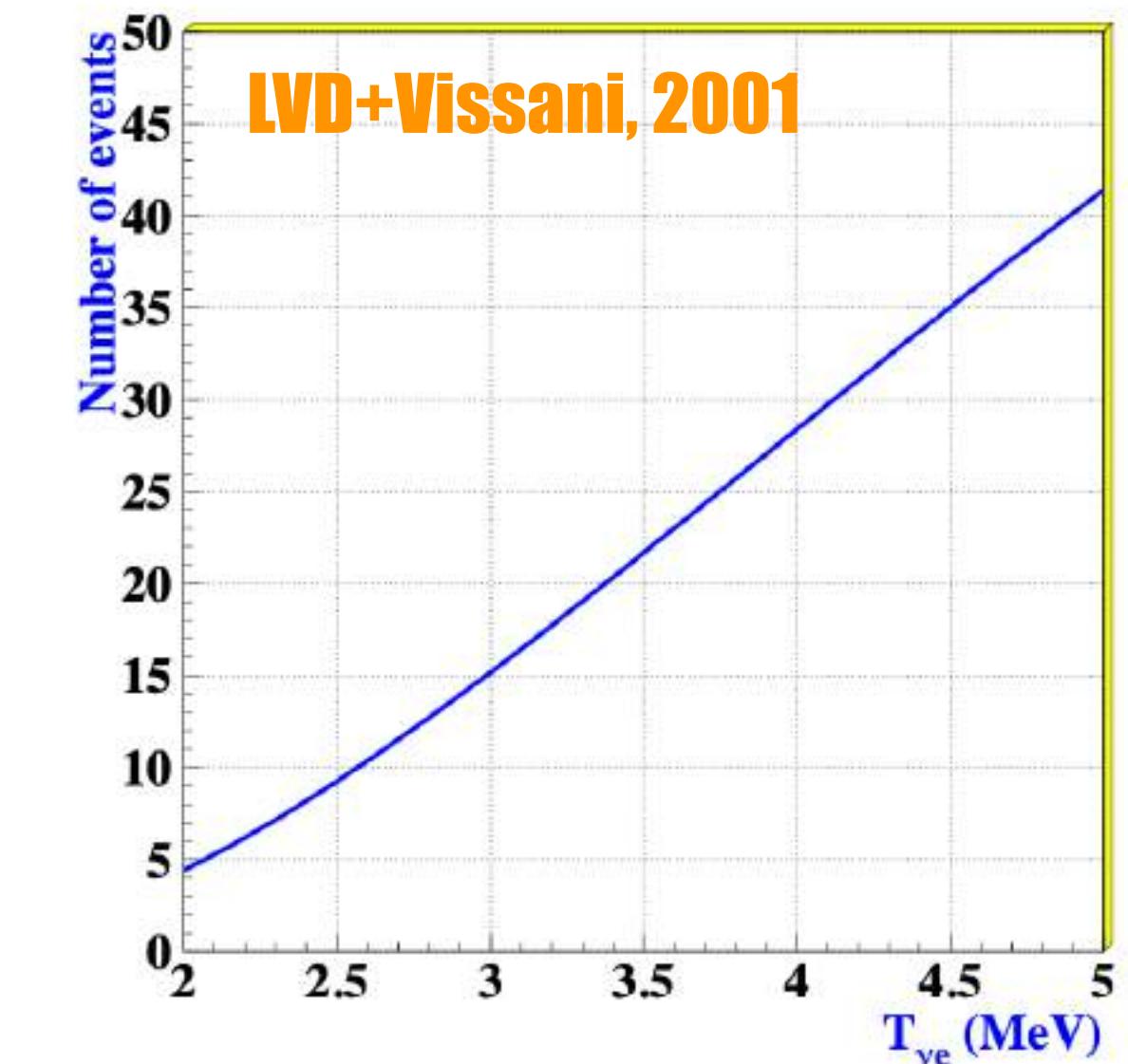
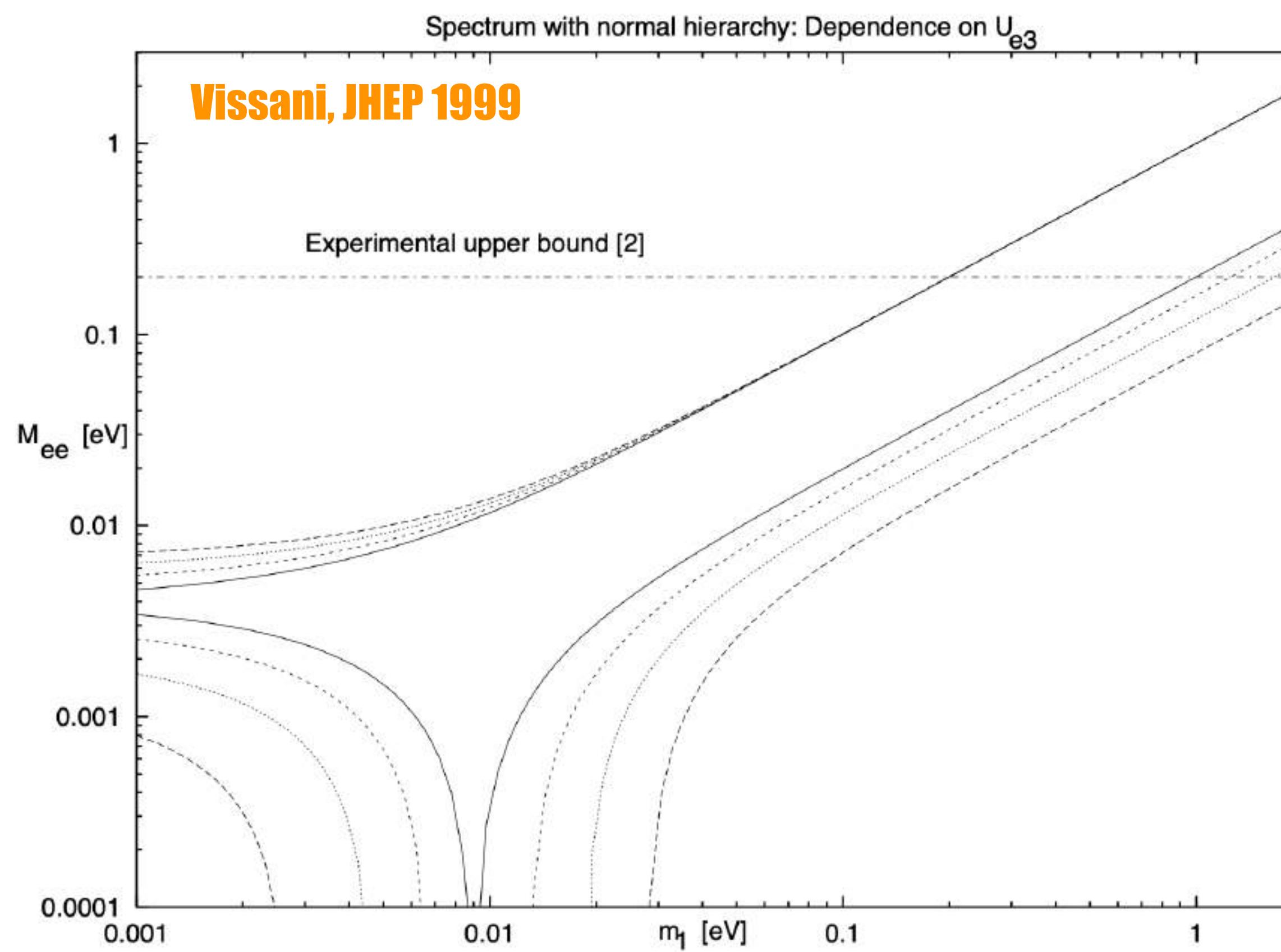


Figure 3. Number of events expected in LVD, in n.c. interactions with  $^{12}\text{C}$  as a function of  $T_{\nu_e}$ .

Which solar neutrino experiment after KamLAND and Borexino?

Alessandro Strumia (CERN), Francesco Vissani (Gran Sasso) (Sep 20, 2001)  
Published in: *JHEP* 11 (2001) 048 • e-Print: [hep-ph/0109172](#) [hep-ph]

[pdf](#) [links](#) [DOI](#) [cite](#) [45 citations](#)

Solar neutrinos: Where are the oscillations? Proceedings, 5th International Topical Workshop, Gran Sasso, Italy, March 12-14, 2001. (Transparencies only)

V. Berezinsky(ed.), F. Vissani(ed.) (2001)  
Published in: Gran Sasso, Italy: INFN (2001) 498 p • Contribution to: *5th Topical Workshop at the Gran Sasso Laboratory: Solar Neutrinos: Where are the Oscillations?*

[cite](#) [0 citations](#)

# on the edge of existence and yet so lively: neutrinos

Francesco VISSANI

INFN Laboratorio del Gran Sasso & Gran Sasso Science Institute



## novel expectations on Majorana neutrino mass

- shedding light and neutrino on the solar engine / helping Borexino
- how many supernovae do we expect a century in the Milky Way?
- what do we really know on IceCube neutrinos?
- FSRQ as sources of high energy neutrinos

credits & outreach activities

## Discovery probabilities of Majorana neutrinos based on cosmological data

M. Agostini<sup>1,2,\*</sup>, G. Benato<sup>3,†</sup>, S. Dell’Oro<sup>4,5,‡</sup>, S. Pirro<sup>6,§</sup> and F. Vissani<sup>6,7,||</sup>

<sup>1</sup>*Department of Physics and Astronomy, University College London,  
Gower Street, London WC1E 6BT, United Kingdom*

<sup>2</sup>*Physik-Department, Technische Universität München, 85748 Garching, Germany*

<sup>3</sup>*INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 67100 Assergi, L’Aquila, Italy*

<sup>4</sup>*INFN Sezione di Milano–Bicocca, 20126 Milano, Italy*

<sup>5</sup>*University of Milano–Bicocca, 20126 Milano, Italy*

<sup>6</sup>*INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 67100 Assergi, L’Aquila, Italy*

<sup>7</sup>*Gran Sasso Science Institute, 67100 L’Aquila, Italy*



(Received 5 January 2021; accepted 5 February 2021; published 26 February 2021)

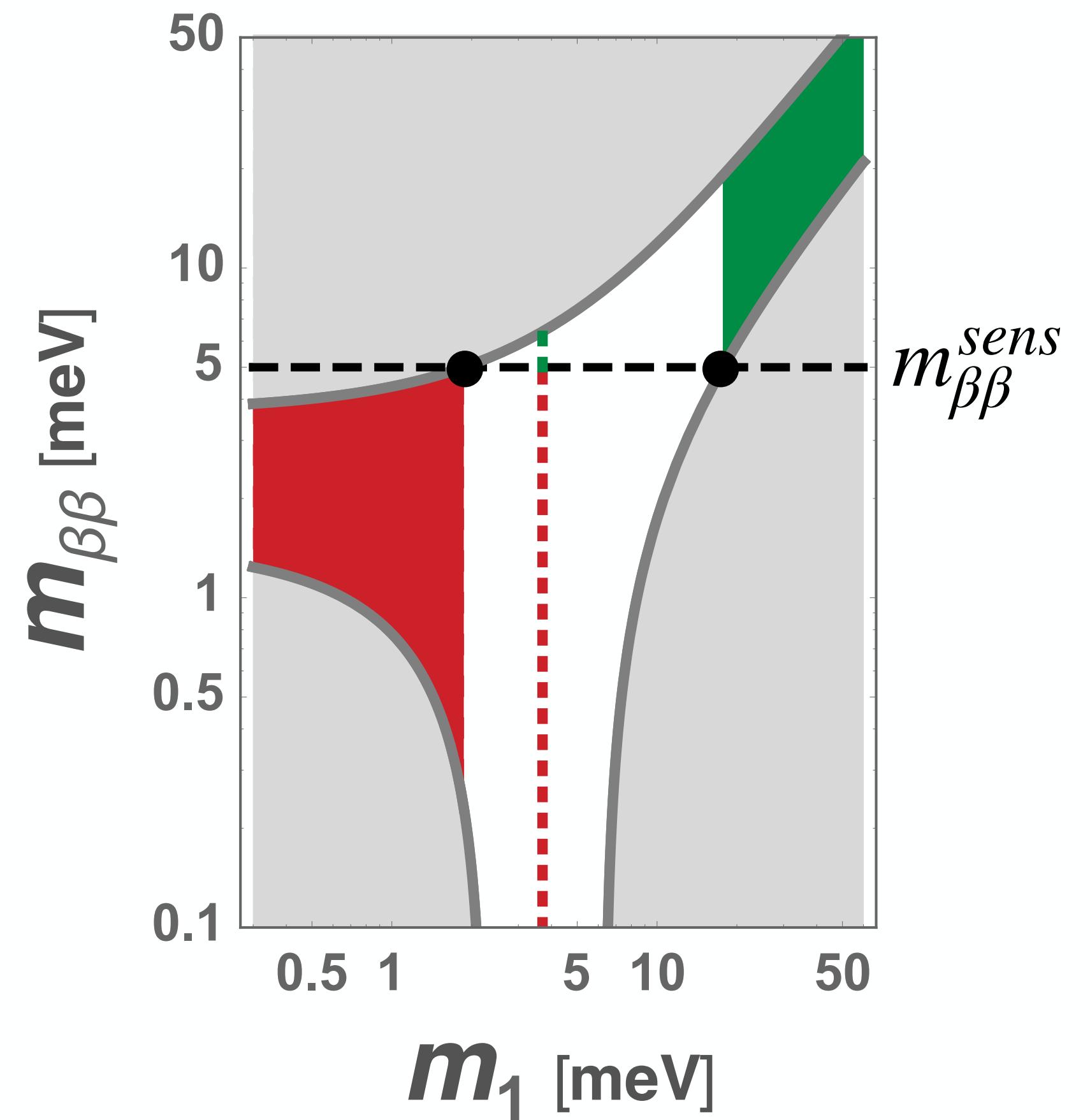
We discuss the impact of the cosmological measurements on the predictions of the Majorana mass of the neutrinos, the parameter probed by neutrinoless double-beta decay experiments. Using a minimal set of assumptions, we quantify the probabilities of discovering neutrinoless double-beta decay and introduce a new graphical representation that could be of interest for the community

DOI: [10.1103/PhysRevD.103.033008](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.103.033008)

# Majorana neutrino masses

Given a sensitivity  $m_{\beta\beta}^{sens}$  (horizontal line) the possible true values of  $m_1$  fall in 3 subsets:

1. the true value  $m_{\beta\beta}(m_1) < m_{\beta\beta}^{sens}$  (**red**)
2. it is more,  $m_{\beta\beta}(m_1) > m_{\beta\beta}^{sens}$  (**green**),
3. it depends upon Majorana phases (**white**)

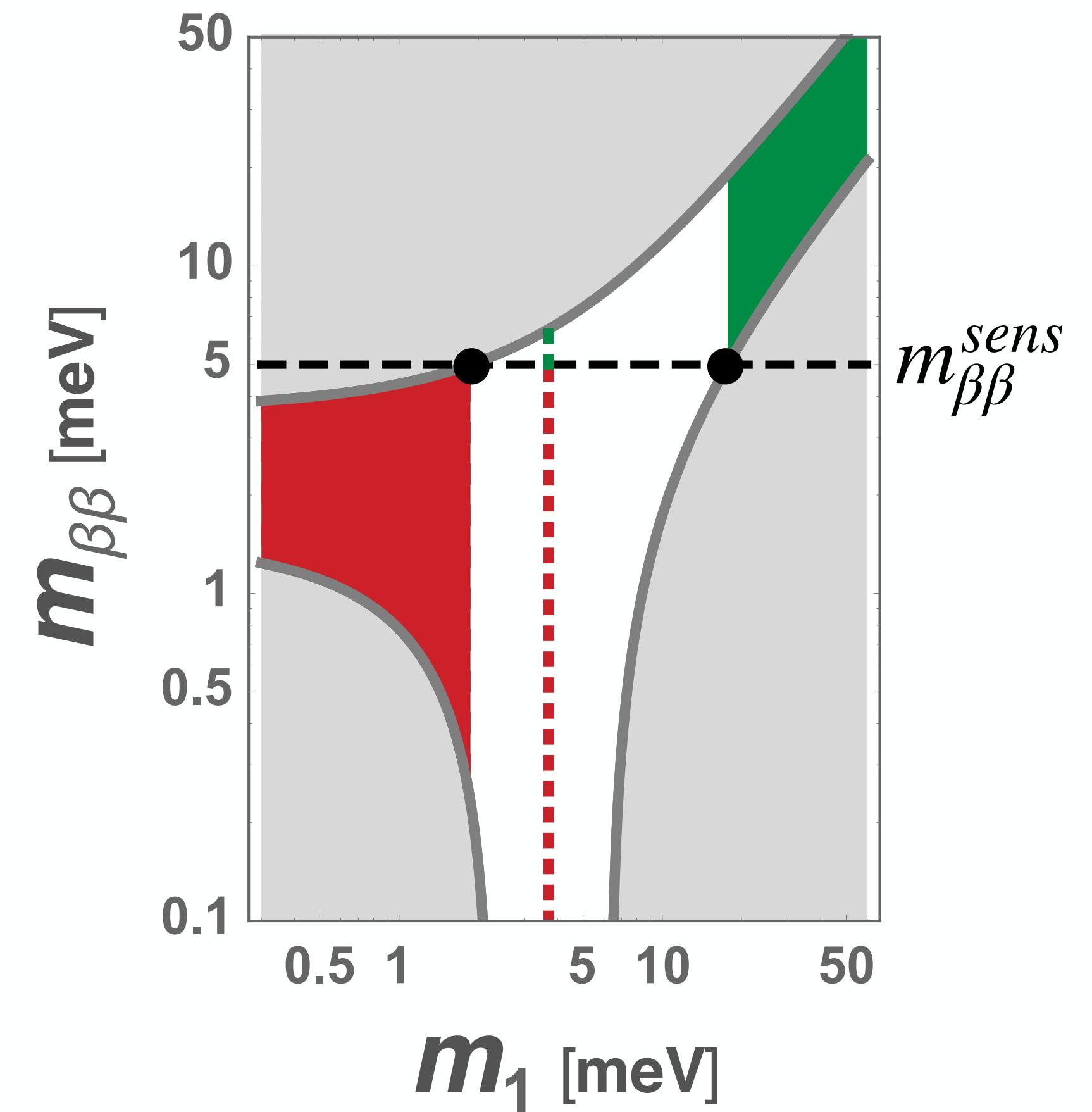


# Majorana neutrino masses

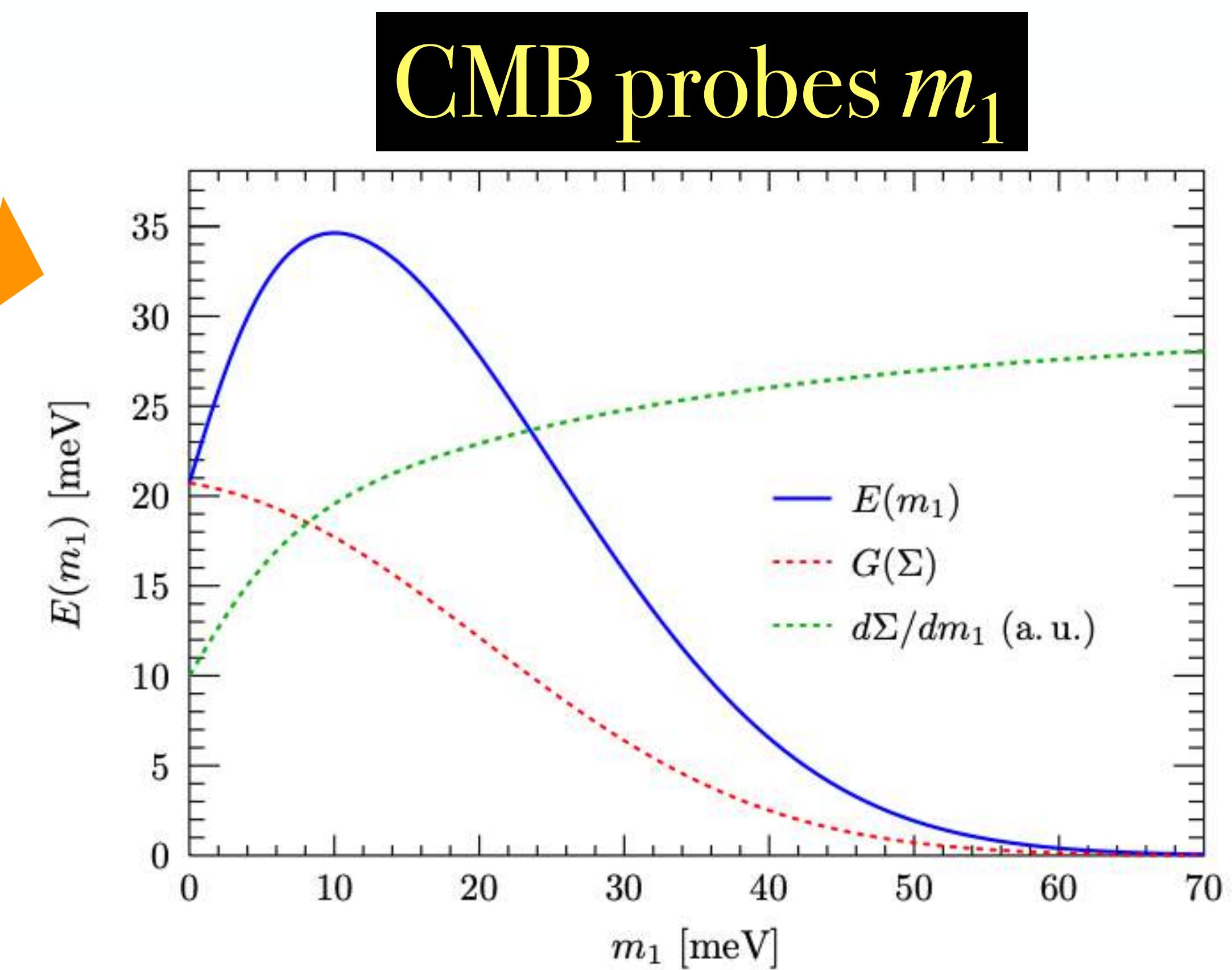
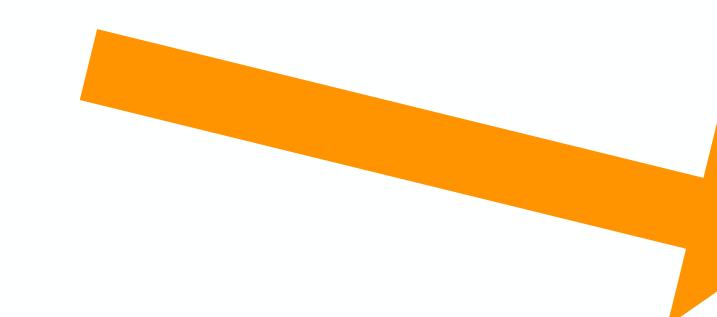
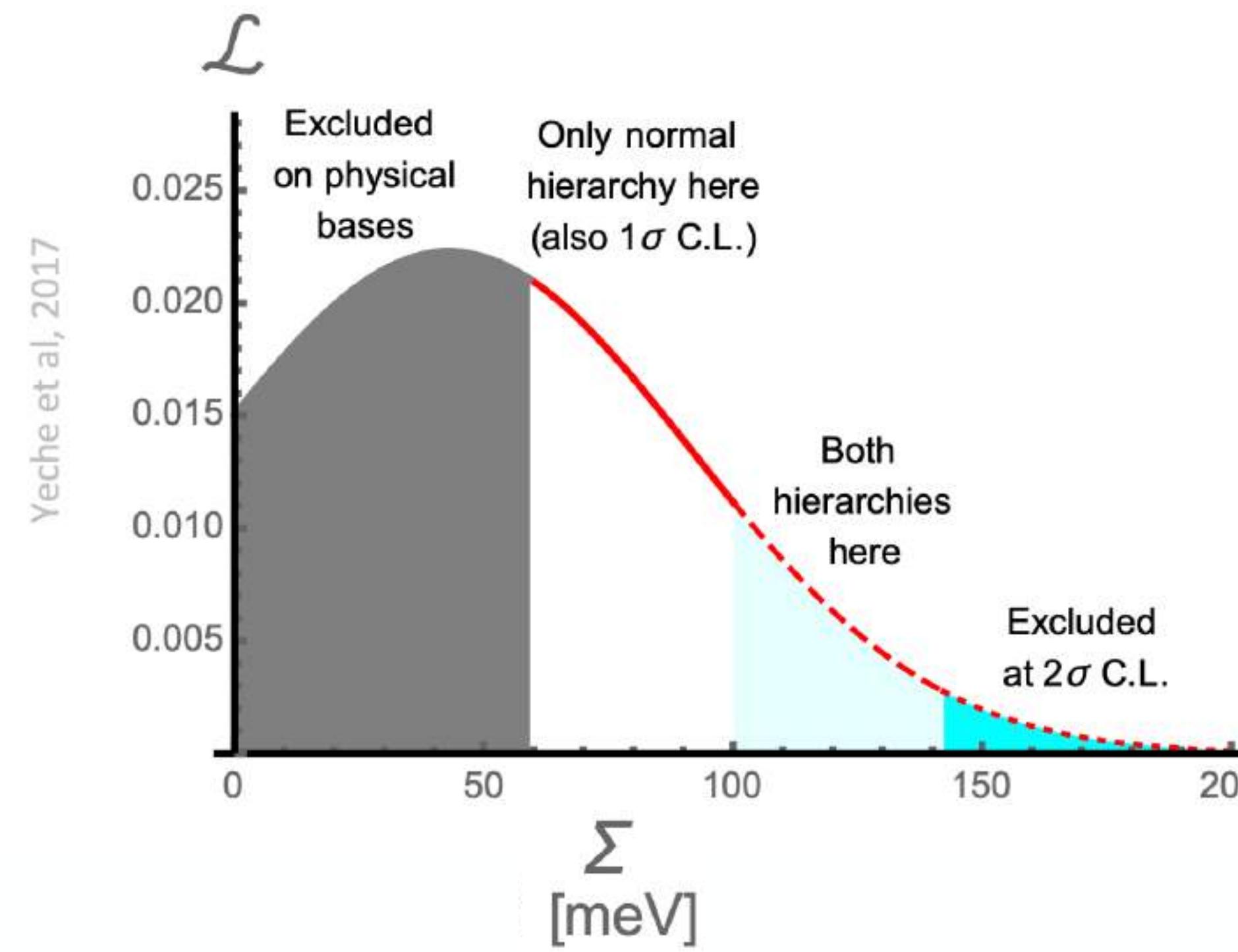
Given a sensitivity  $m_{\beta\beta}^{sens}$  (horizontal line) the possible true values of  $m_1$  fall in 3 subsets:

1. the true value  $m_{\beta\beta}(m_1) < m_{\beta\beta}^{sens}$  (**red**)
2. it is more,  $m_{\beta\beta}(m_1) > m_{\beta\beta}^{sens}$  (**green**),
3. it depends upon Majorana phases (**white**)

By measuring  $m_1$  the probabilities of the 3 subsets can be quantified



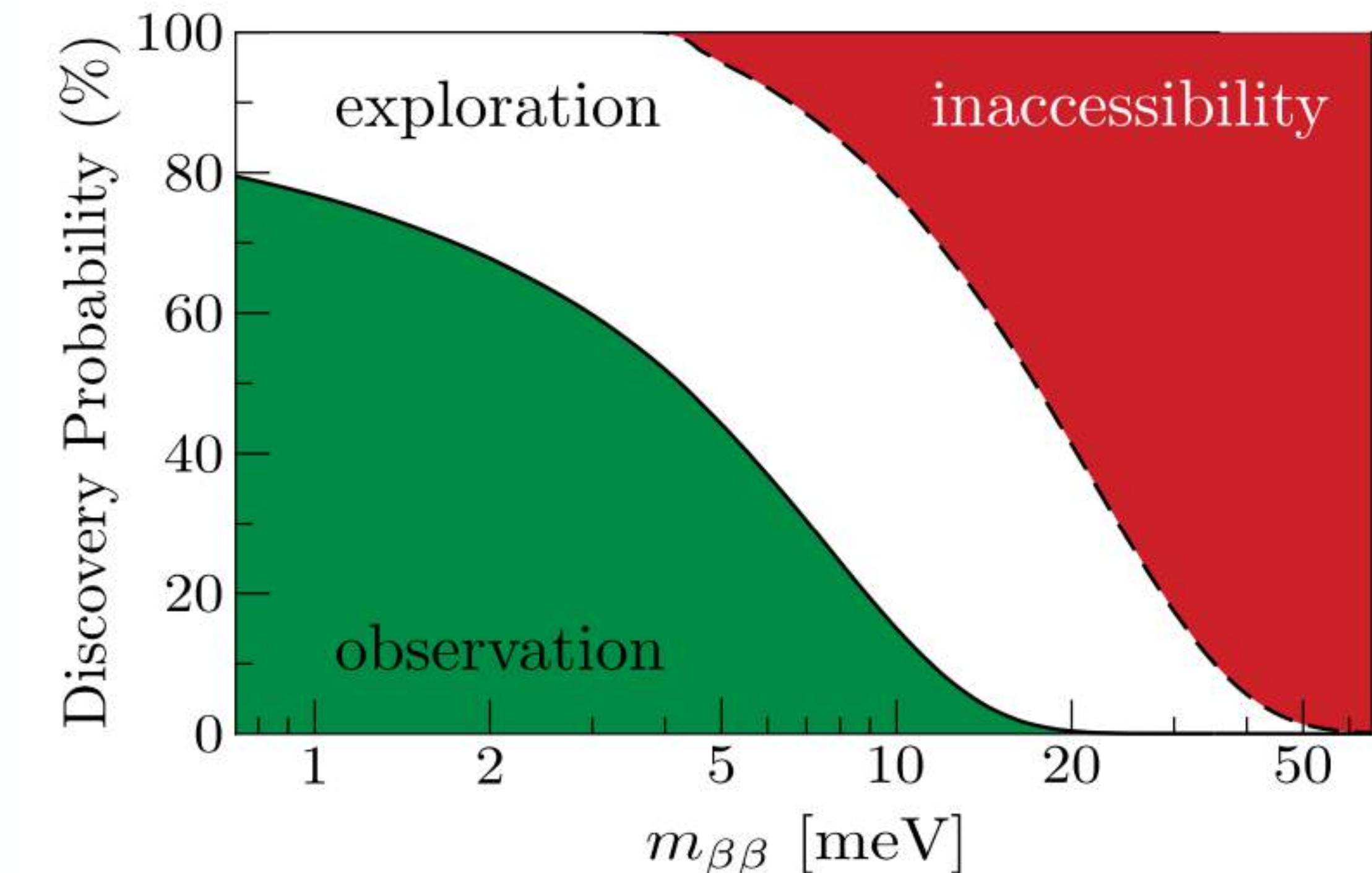
# CMB probes $\Sigma = m_1 + m_2 + m_3$



# the three probabilities & “flag viewgraph”

TABLE II. Probability (expressed in percent) of the possible outcomes of a search for  $0\nu\beta\beta$  given as a function of the experimental sensitivity  $m_{\beta\beta}^*$ .

$m_{\beta\beta}^*$ [meV]	Inaccess.	Exploration	Observation
50	98.7%	1.3%	0.0%
20	58.6%	41.1%	0.3%
15	41.9%	55.1%	3.0%
10	23.1%	62.0%	14.9%
5	4.4%	51.4%	44.2%
2	0.0%	32.3%	67.7%
0	0.0%	12.4%	87.6%



# on the edge of existence and yet so lively: neutrinos

Francesco VISSANI

INFN Laboratorio del Gran Sasso & Gran Sasso Science Institute

- novel expectations on Majorana neutrino mass
- shedding light and neutrino on the solar engine / helping Borexino
- how many supernovae do we expect a century in the Milky Way?
- what do we really know on IceCube neutrinos?
- FSRQ as sources of high energy neutrinos

credits & outreach activities

# Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics

PAPER

## The luminosity constraint in the era of precision solar physics

Diego Vescovi<sup>6,1,2,3</sup> , Carlo Maccaretti<sup>5,1</sup>, Francesco Vissani<sup>1,4</sup> , Luciano Piersanti<sup>2,3</sup> and Oscar Straniero<sup>3,4</sup>

Published 17 November 2020 • © 2020 IOP Publishing Ltd

[Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics](#), [Volume 48, Number 1](#)

Citation Diego Vescovi *et al* 2021 *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **48** 015201

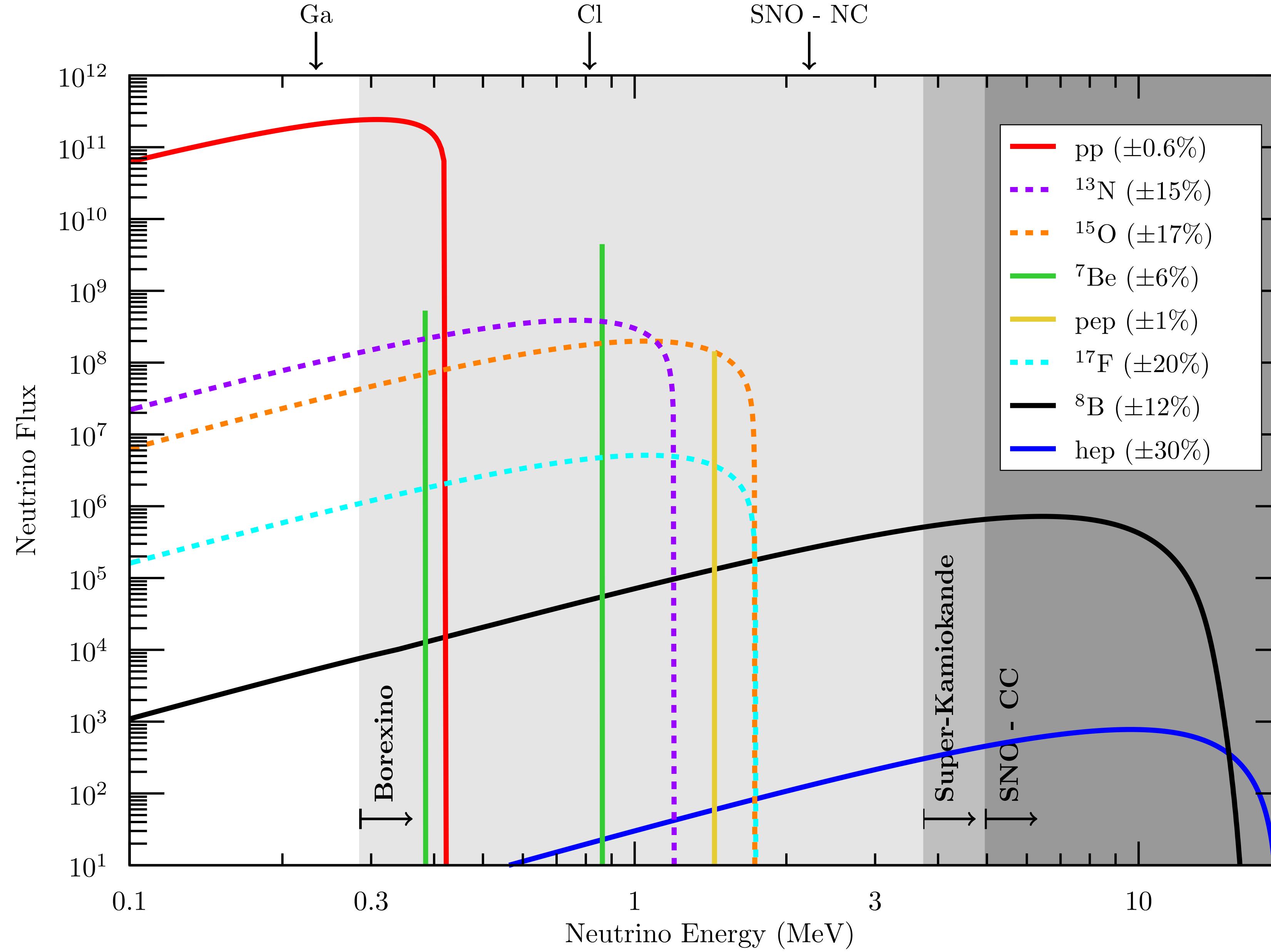
---

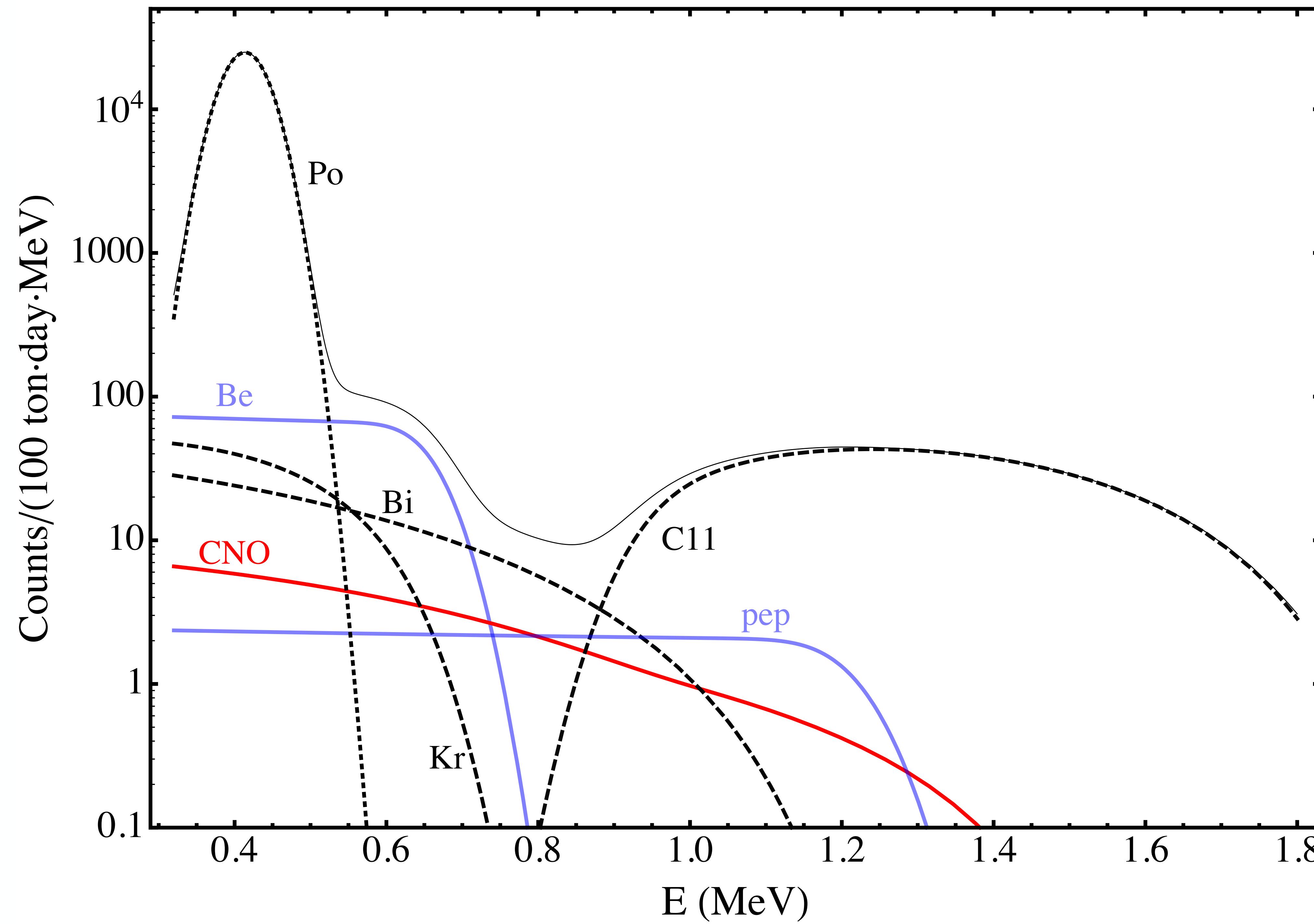
### Article information

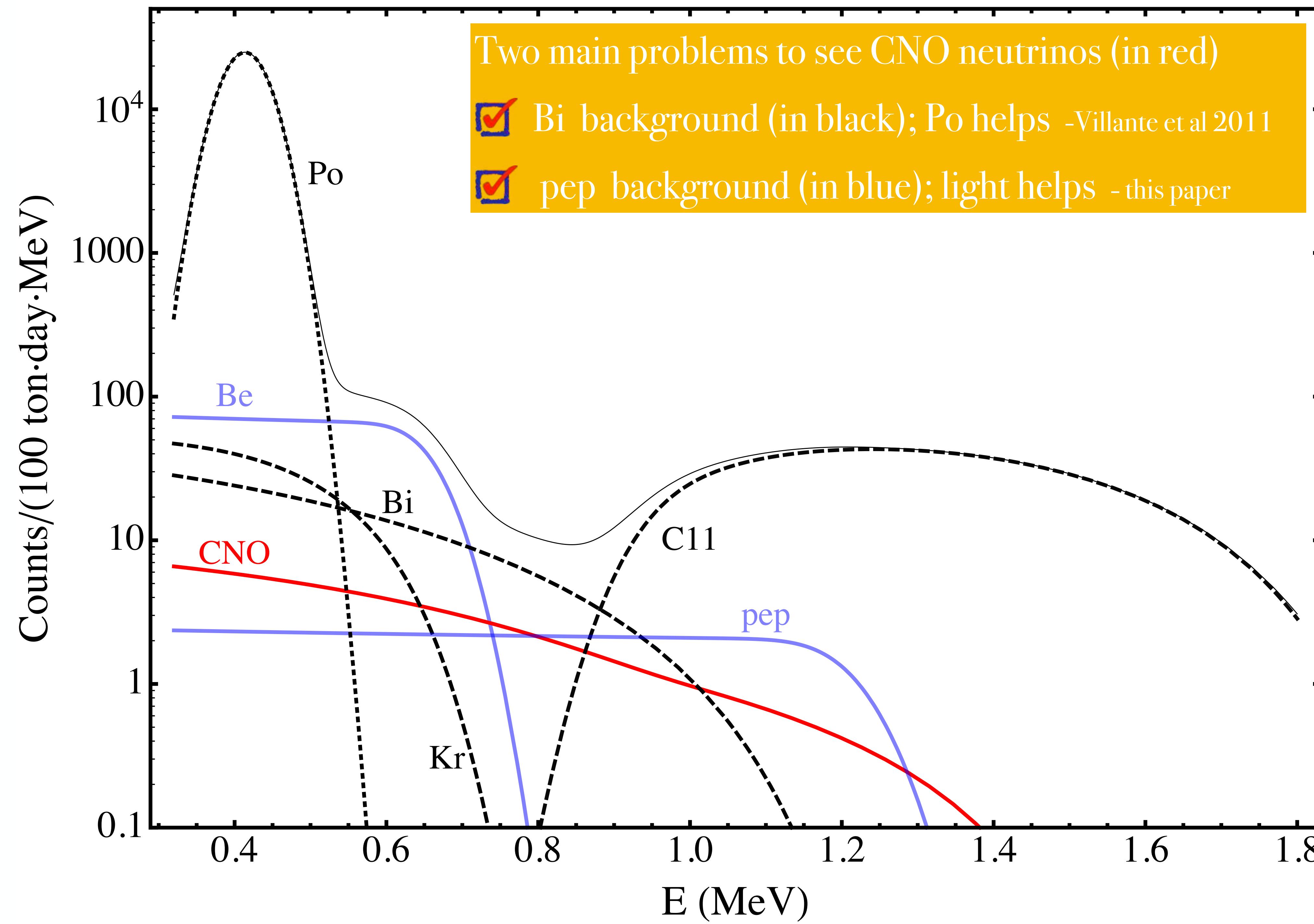
## Abstract

The *luminosity constraint* is a very precise relationship linking the power released by the Sun as photons and the solar neutrino fluxes. Such a relation, which is a direct consequence of the physical processes controlling the production and the transport of energy in the solar interior, is of great importance for the studies of solar neutrinos and has a special role for the search of neutrinos from the CNO cycle, whose first detection with a  $5\sigma$  significance has been recently announced by the Borexino collaboration. Here we revise the luminosity constraint, discussing and validating its underlying hypotheses, in the light of latest solar neutrino and luminosity

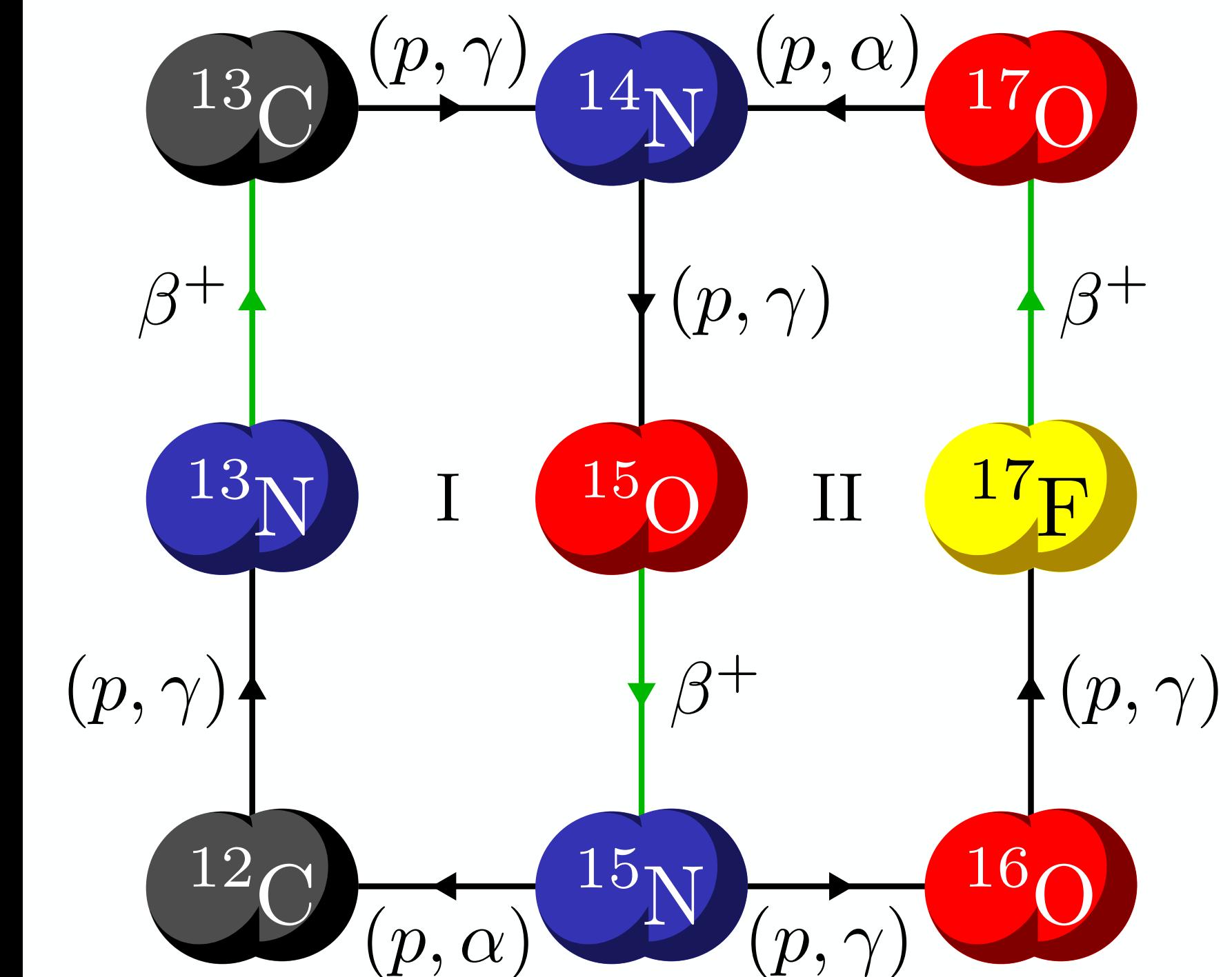
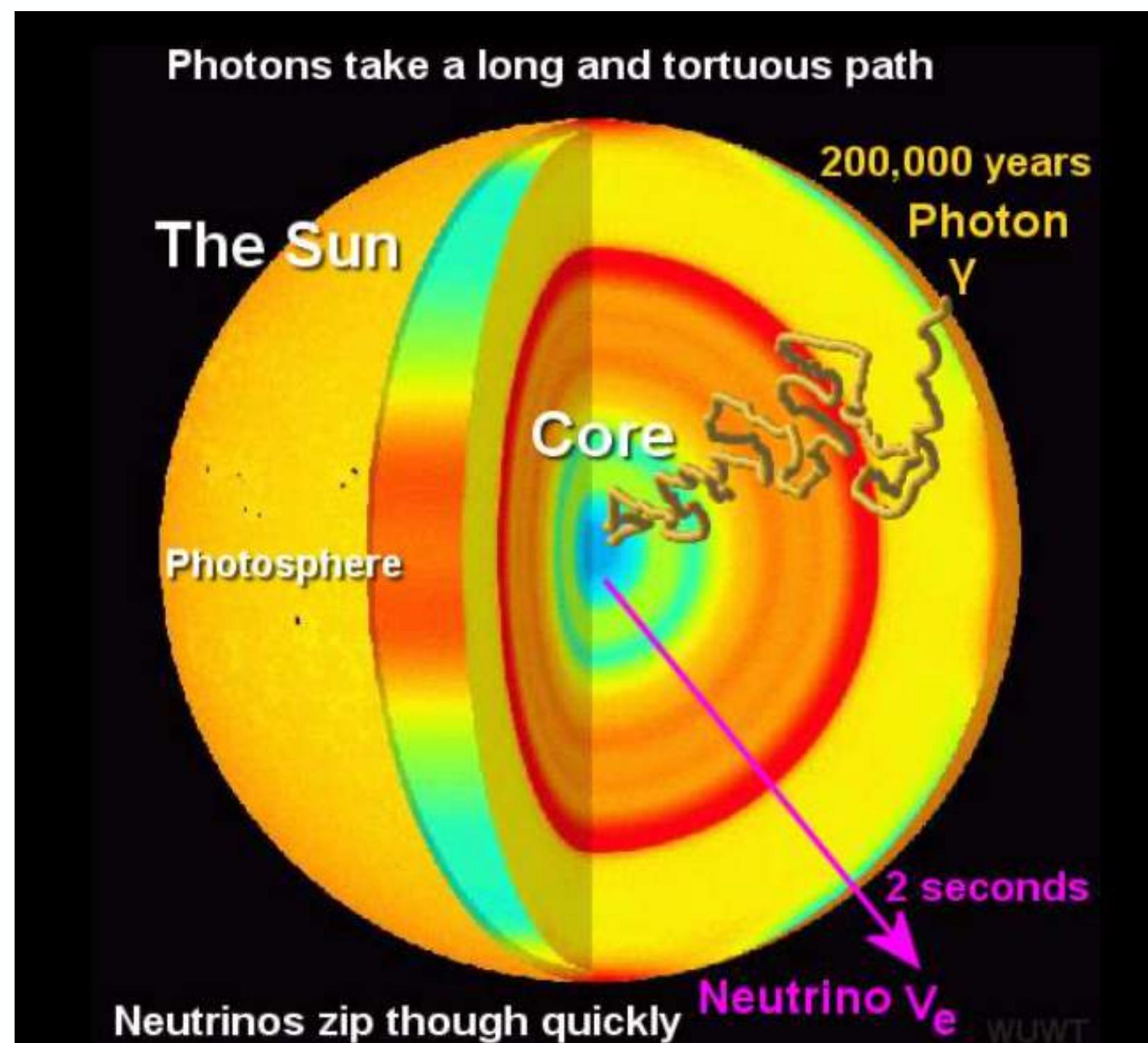
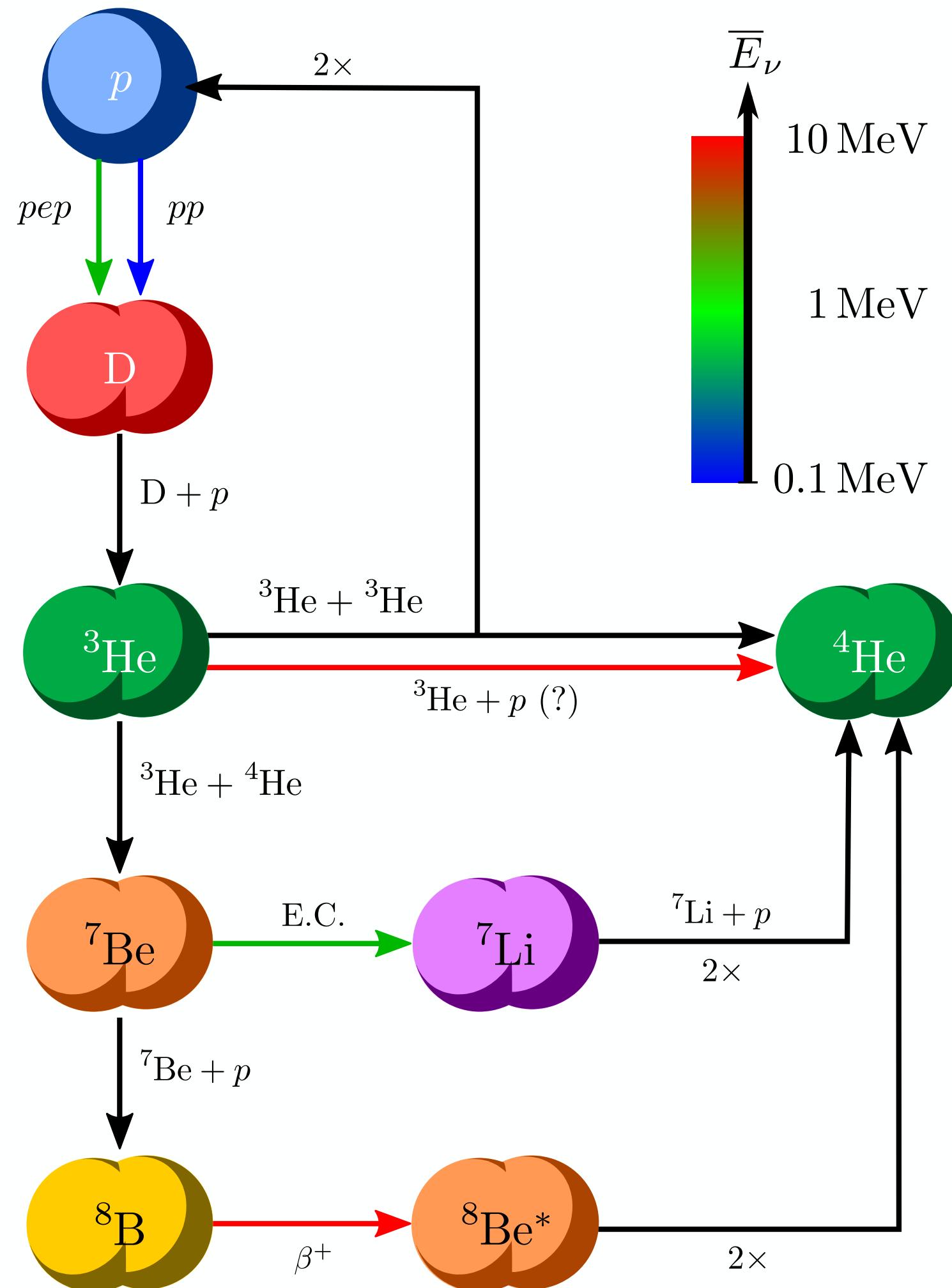
Borexino can probe the two mechanisms and can (has seen) see all relevant reactions







# light is measured very precisely and is closely related to neutrinos

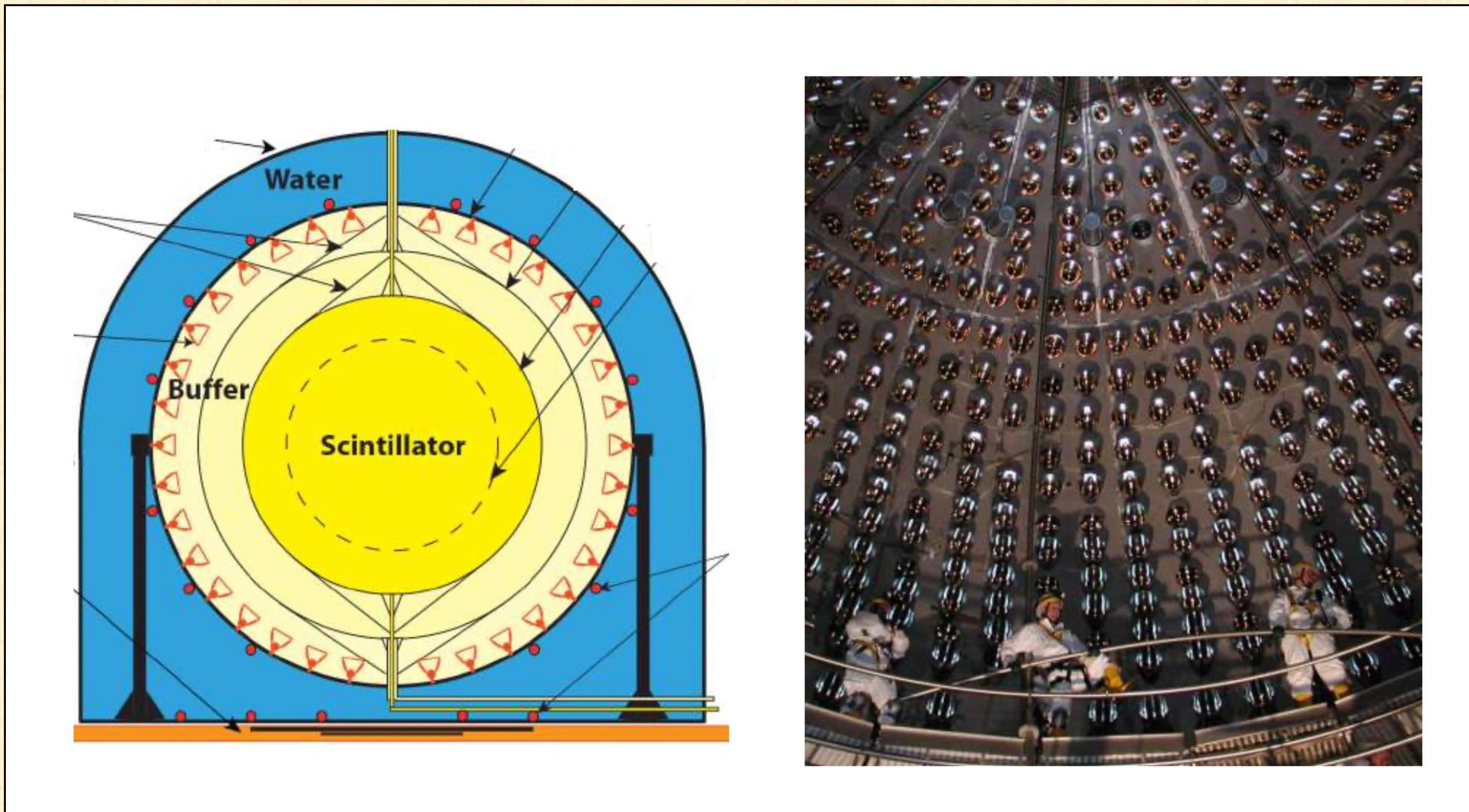


**Table 6.** The central value, in units of  $10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , of the constraint (with 0.2% precision) as described in Eq. (34), including the various refinements of Section 4.

corrective terms	GS98	PLJ14	average
none	5.9937	5.9937	5.9937
$L_{^3\text{He}}$	5.9995	5.9997	5.9996
$L_{^3\text{He}} + L_{^{14}\text{N}}$	6.0004	6.0006	6.0006
$L_{^3\text{He}} + L_{^{14}\text{N}} + L_g$	6.0031	6.0032	6.0031

$$\Phi_{\text{pp}} + 0.946 \Phi_{\text{CNO}} = 6.003 (1 \pm 0.2\%) \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} .$$

# Borexino at the Gran Sasso labs



# on the edge of existence and yet so lively: neutrinos

Francesco VVISSANI

INFN Laboratorio del Gran Sasso & Gran Sasso Science Institute

- novel expectations on Majorana neutrino mass
- shedding light and neutrino on the solar engine / helping Borexino
- how many supernovae do we expect a century in the Milky Way?
- what do we really know on IceCube neutrinos?
- FSRQ as sources of high energy neutrinos

credits & outreach activities



# On the rate of core collapse supernovae in the milky way

Karolina Rozwadowska <sup>a, b</sup>, Francesco Vissani <sup>a, b</sup>, Enrico Cappellaro <sup>c</sup>

Show more ▾

+ Add to Mendeley   Share   Cite

<https://doi.org/10.1016/j.newast.2020.101498>

[Get rights and content](#)

## Highlights

- For neutrino astronomy, the knowledge of the rate of core collapse supernovae is of essential importance.
- We use the best available information to update its study and to obtain the state-of-the-art value:  $R = 1.63 \pm 0.46/\text{century}$ .
- We discuss the consistency of the results and point out the critical aspects in this inference.

$R = 1.63 \pm 0.46$  CCSN per century,

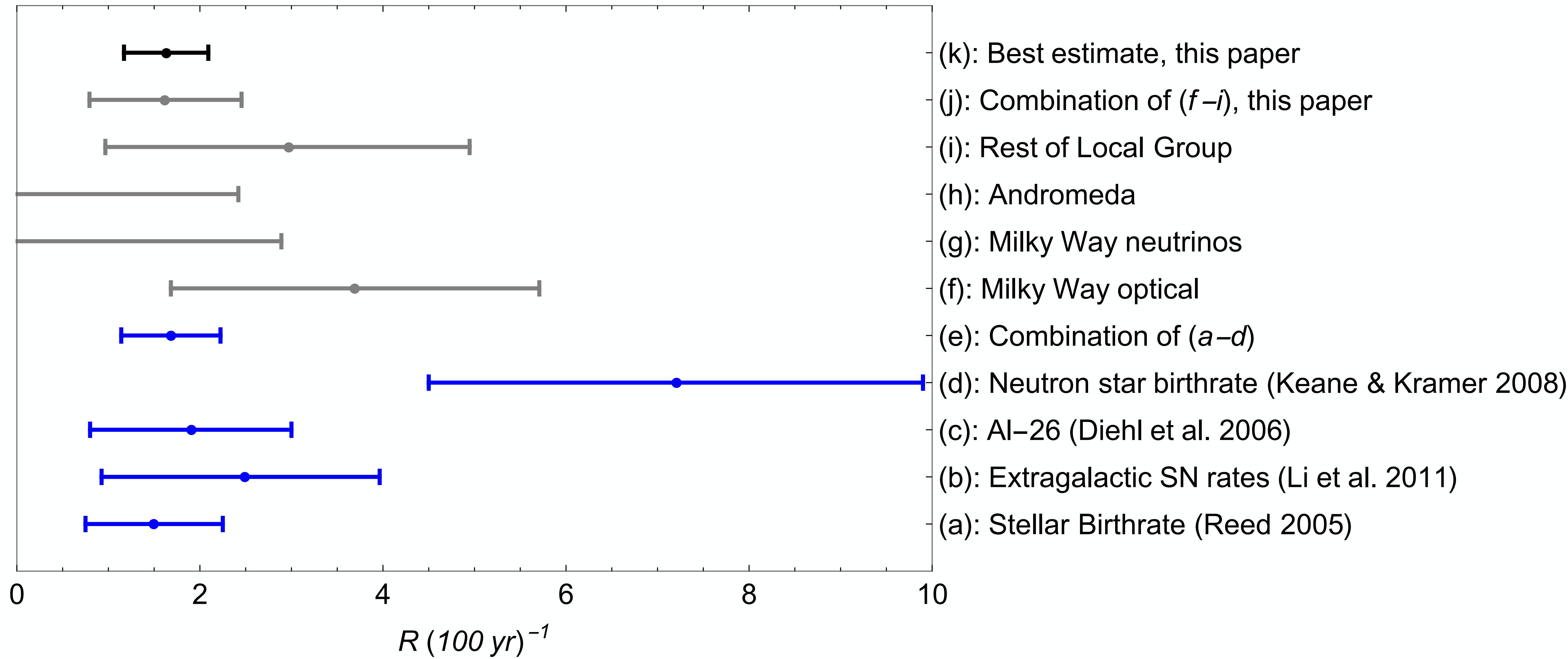
$$\Rightarrow T = 61^{+24}_{-14} \text{ yr}$$

the chances of seeing at least one event are

$$P(> 0) = 7.9\%, 15.0\%, 27.4\% \text{ and } 53.7\%$$

when the time of observation is

$$t = 5, 10, 20 \text{ and } 50 \text{ yr}$$



# on the edge of existence and yet so lively: neutrinos

Francesco VISSANI

INFN Laboratorio del Gran Sasso & Gran Sasso Science Institute

- ➊ novel expectations on Majorana neutrino mass
- ➋ shedding light on neutrino on the solar engine / helping Borexino
- ➌ how many supernovae do we expect a century in the Milky Way?
- ➍ **what do we really know on IceCube neutrinos?**
- ➎ FSRQ as sources of high energy neutrinos

credits & outreach activities

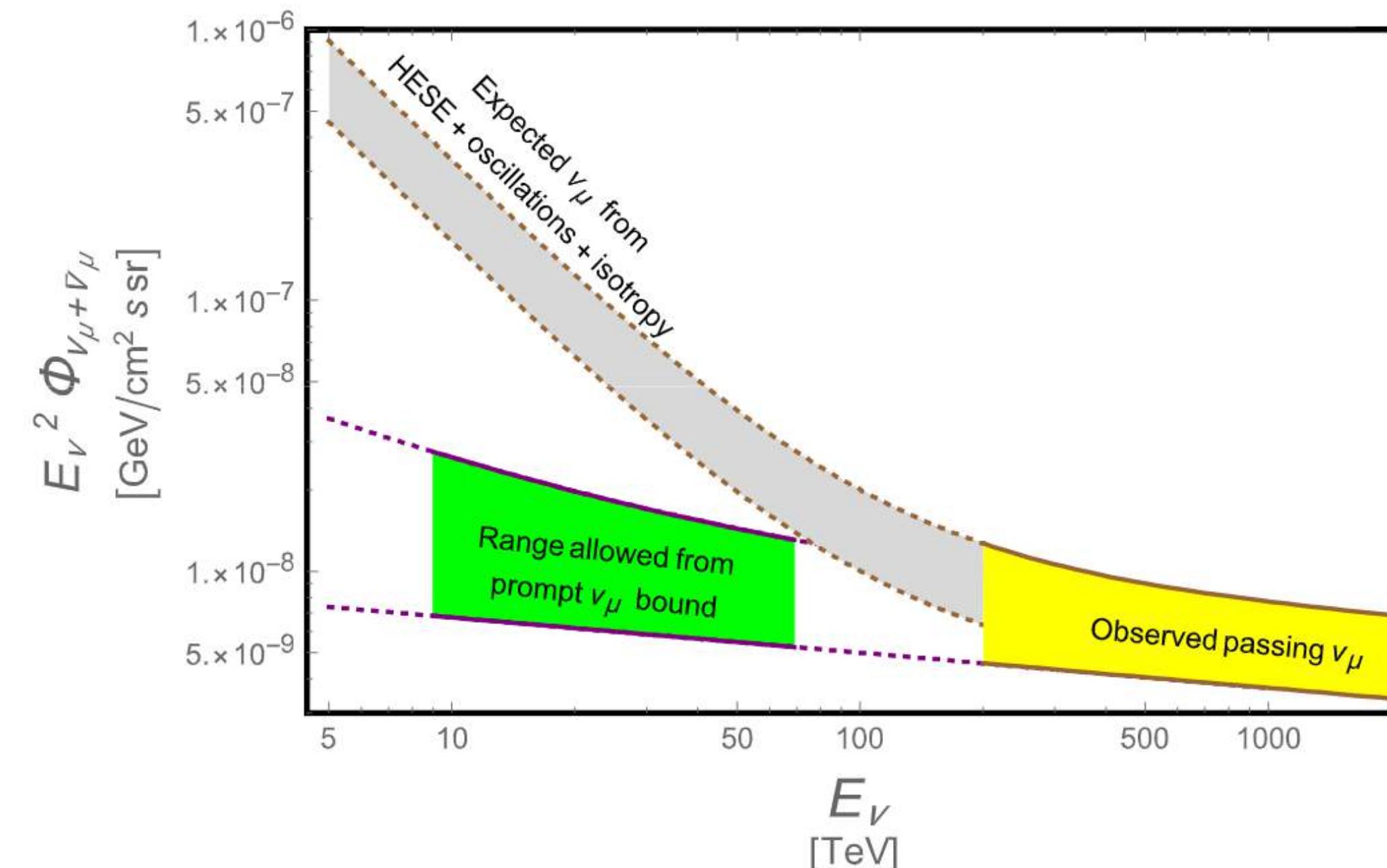
# TESTING HESE WITH MUONS BELOW 0.2 PEV

If the HESE flux is isotropic it should be also in the Northern sky

If neutrino oscillate on cosmic scales, electron tau and muon neutrinos are almost the same

Expectation: there are muon neutrinos from Northern sky also below 0.2 PeV

Remark: IceCube searched in this dataset for atmospheric prompt neutrinos, w/o success



Palladino et al 2017

# On the energy of the protons producing the very high-energy astrophysical neutrinos

Esteban Roulet, Francesco Vissani

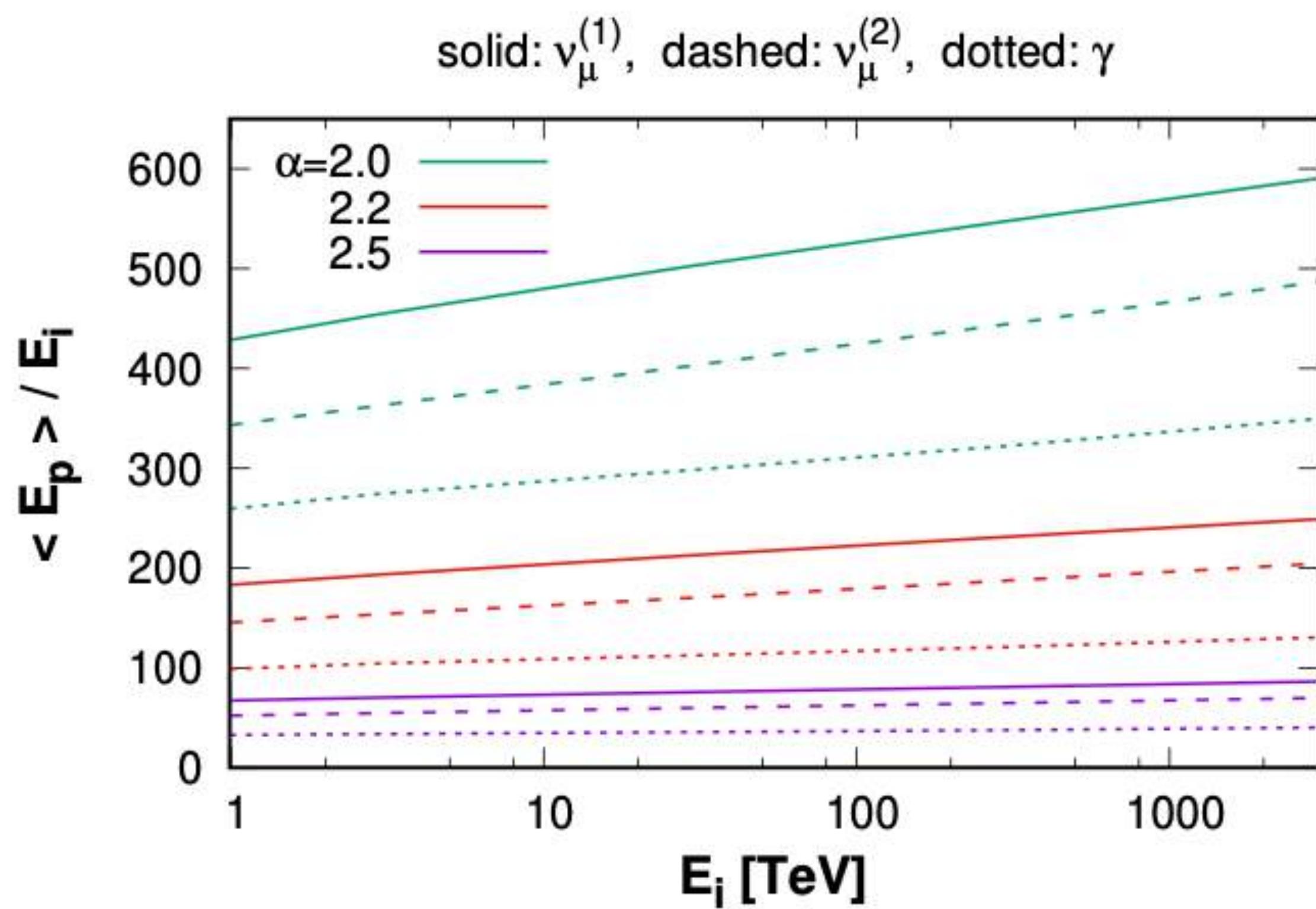
We study the distribution of the energy of the protons that can produce an astrophysical neutrino with a given observed energy, in the TeV–PeV range, both through  $pp$  or  $p\gamma$  interactions. Due to the increasing multiplicity of the pion production at high center of mass energies, the resulting average proton energies can be much larger than the often used approximate value  $E_p \simeq 20E_\nu$ . Also the threshold of the  $p\gamma$  process can lead to a pronounced increase in the values of  $\langle E_p \rangle/E_\nu$  for decreasing neutrino energies. The results depend sensitively on the assumed proton spectrum, since steeper spectra give less weight to the lower energy neutrino tail resulting from the decays of the abundant low-energy pions. In the  $p\gamma$  scenarios they also depend sensitively on the spectrum of the target photons. The results are in particular relevant to relate possible characteristics of the neutrino spectrum to those of the corresponding cosmic rays that generated them. We also discuss the associated production of gamma rays at the sources.

Subjects: **High Energy Astrophysical Phenomena (astro-ph.HE); High Energy Physics – Phenomenology (hep-ph)**

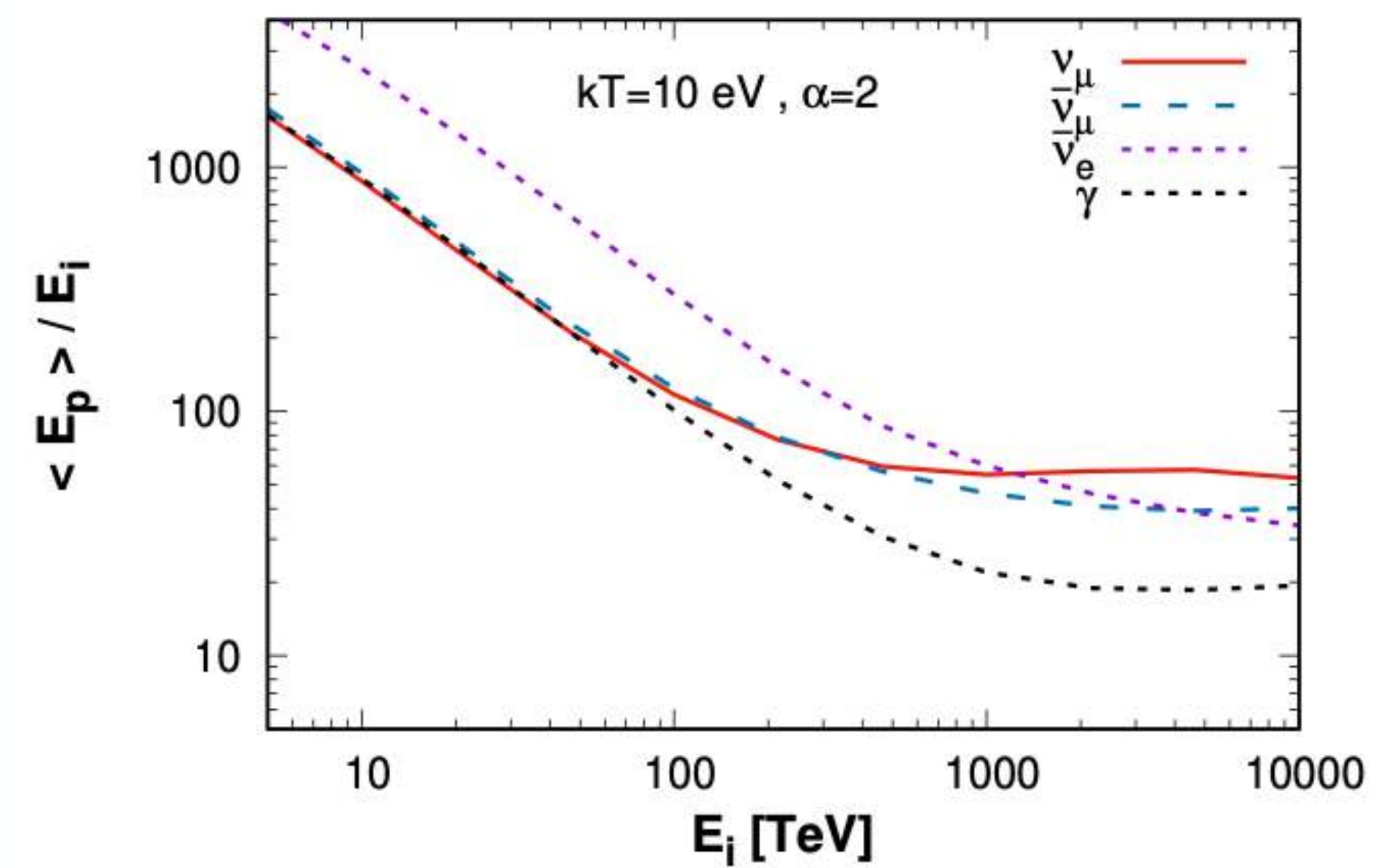
Cite as: [arXiv:2011.12769 \[astro-ph.HE\]](#)

(or [arXiv:2011.12769v1 \[astro-ph.HE\]](#) for this version)

# neutrinos from $p - p$ collisions



# neutrinos from $p - \gamma$ collisions



# on the edge of existence and yet so lively: neutrinos

Francesco VISSANI

INFN Laboratorio del Gran Sasso & Gran Sasso Science Institute

- ➊ novel expectations on Majorana neutrino mass
- ➋ shedding light on neutrino and the solar engine / helping Borexino
- ➌ how many supernovae do we expect a century in the Milky Way?
- ➍ what do we really know on IceCube neutrinos?
- ➎ FSRQ as sources of high energy neutrinos

credits & outreach activities



[Home](#) ▶ [All issues](#) ▶ [Volume 642 \(October 2020\)](#) ▶ [A&A, 642 \(2020\) A92](#) ▶ [Abstract](#)

Issue	A&A Volume 642, October 2020
Article Number	A92
Number of page(s)	8
Section	Extragalactic astronomy
DOI	<a href="https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038301">https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038301</a>
Published online	09 October 2020

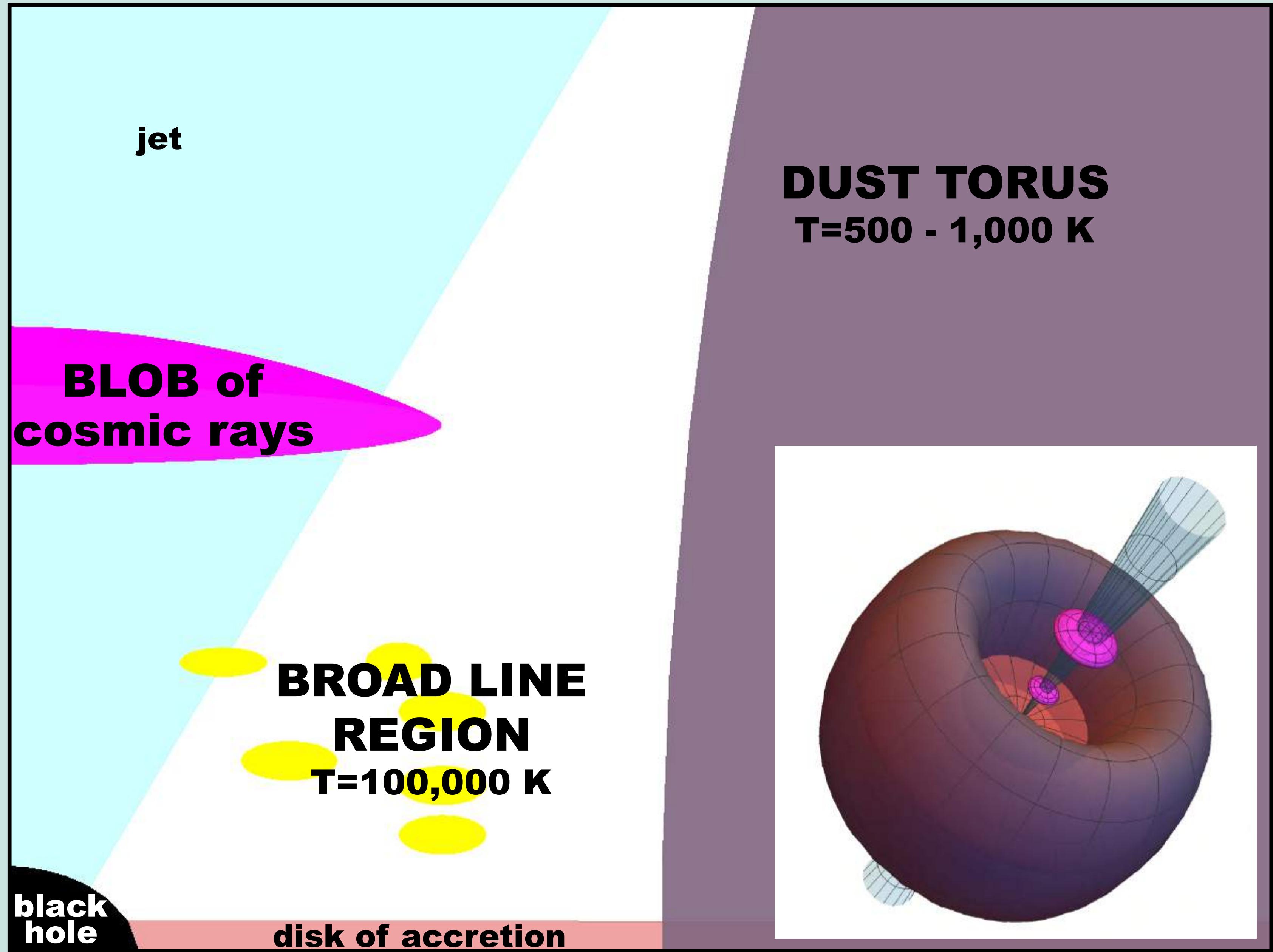
A&A 642, A92 (2020)

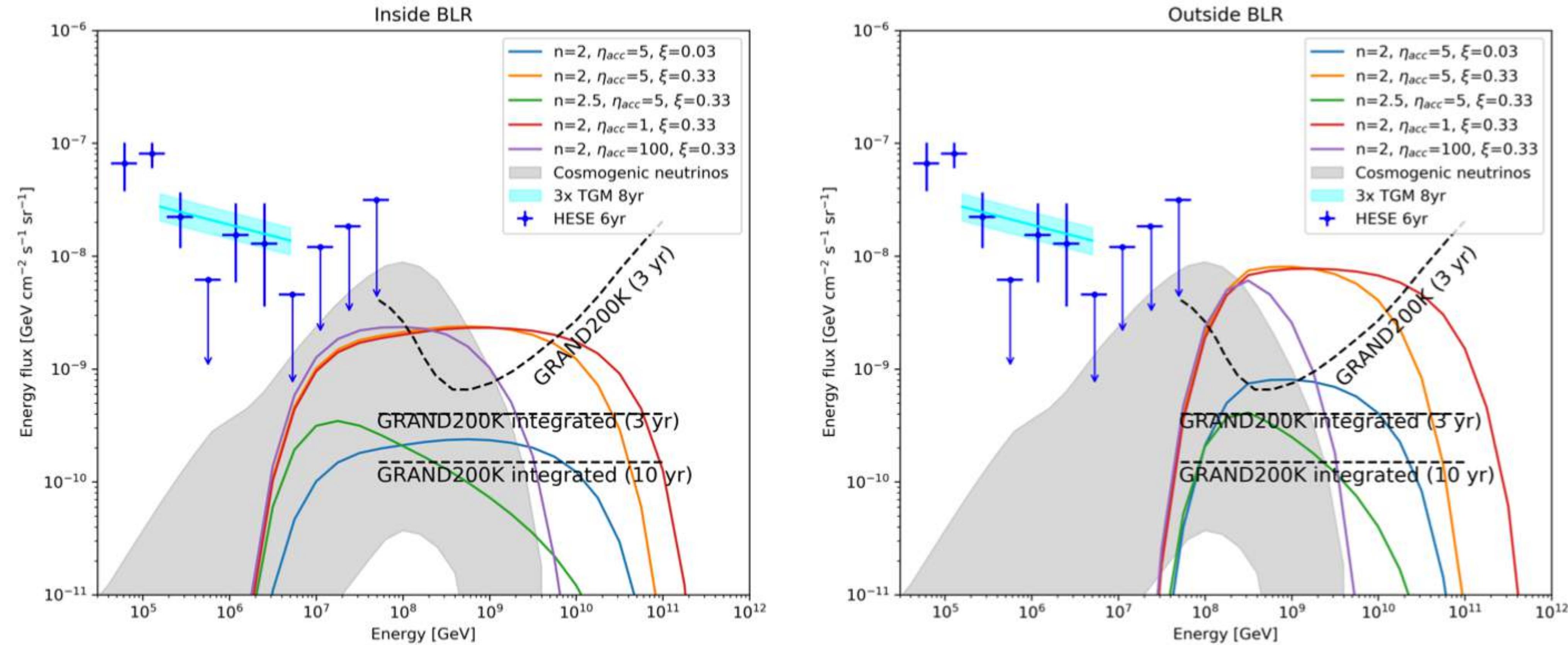
## EeV astrophysical neutrinos from flat spectrum radio quasars

 C. Righi<sup>1</sup>, A. Palladino<sup>2</sup>, F. Tavecchio<sup>1</sup> and F. Vissani<sup>3,4</sup>

+

Received: 30 April 2020 | Accepted: 14 June 2020





**Figure 6.** Diffuse neutrino case in the luminosity dependent case, assuming  $\eta_{acc} = 5$  in the left panel and  $\eta_{acc} = 50$  in the right panel. The results are compared with the IceCube data (HESE as blue points, throughgoing muons as light blue band) plus the sensitivity of the future experiment named GRAND.

# on the edge of existence and yet so lively: neutrinos

Francesco VISSANI

INFN Laboratorio del Gran Sasso & Gran Sasso Science Institute

- ➊ novel expectations on Majorana neutrino mass
- ➋ shedding light on neutrino and the solar engine / helping Borexino
- ➌ how many supernovae do we expect a century in the Milky Way?
- ➍ what do we really know on IceCube neutrinos?
- ➎ FSRQ as sources of high energy neutrinos

outreach & credits

PREMIO ASIMOV

SESTA EDIZIONE

2021

PER L'EDITORIA SCIENTIFICA

EDIZIONE 2021

COS'È ▾

ALBO DEI VINCITORI ▾

BIBLIOTECA

DICONO DI NOI

NEWS

48

GIORNI

13

ORE

31

MINUTI

IL PREMIO ASIMOV 2021 E' IN  
CORSO!  
**SESTA EDIZIONE**



**I WANT YOU  
TO RATE FIFTY  
BOOK REVIEWS!**

<https://asimov.ca.infn.it/asimov/>

# nuovi amici dall'altra parte del mondo



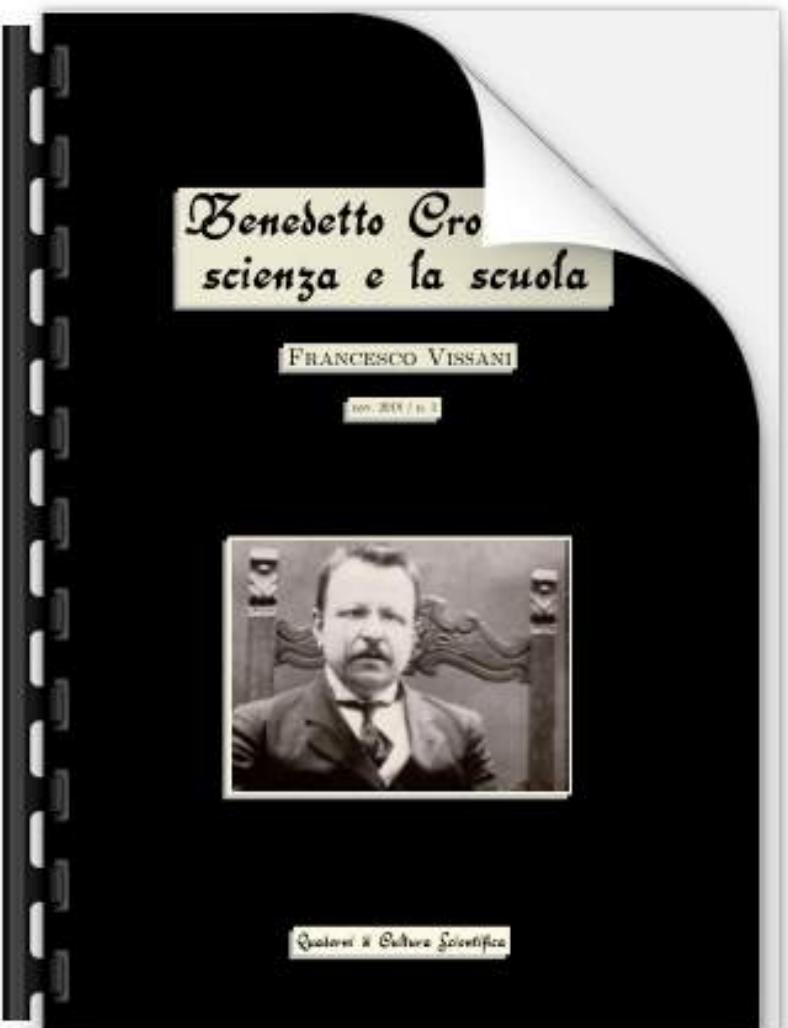
# Quaderni di cultura scientifica

Vol.1, NOV.2019: *Benedetto Croce, la scienza e la scuola*

Vol.2, DIC.2019: *La parola ai premi Nobel: Einstein, Feynman, Gamow*

Vol.3, GEN.2020: *Buon compleanno, Isaac Asimov!*

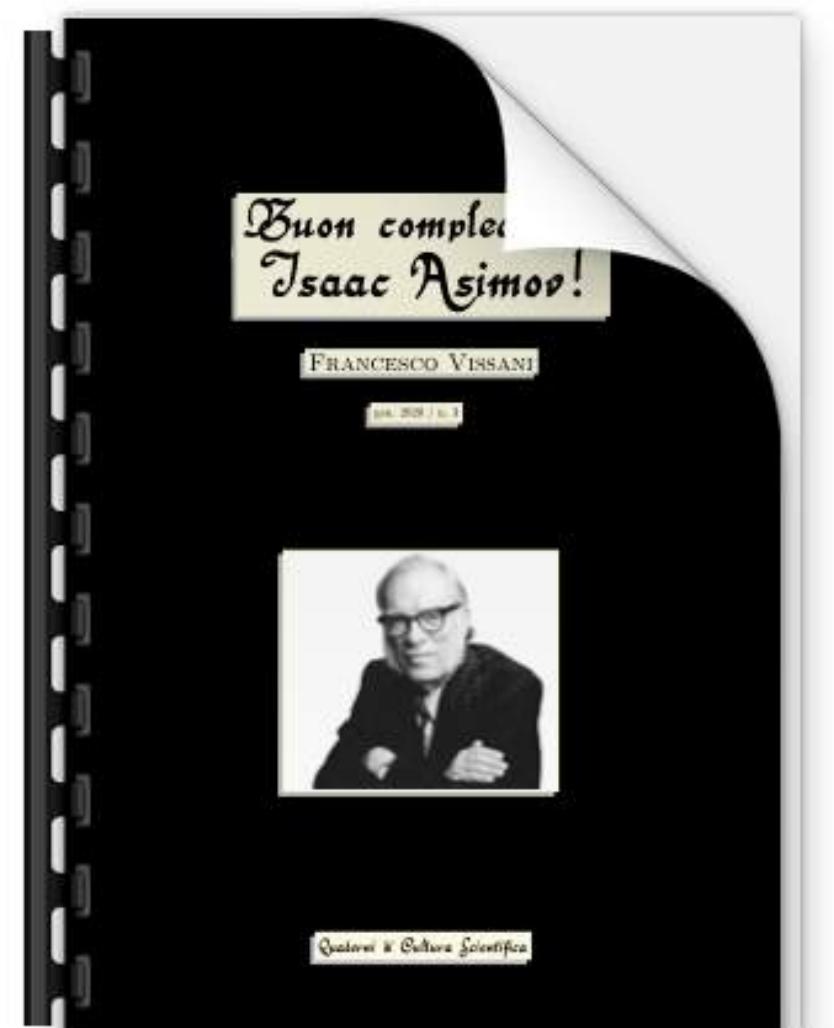
Vol.4, APR.2020: *La formula più bella (e cosa c'è dietro)*



qdcs-vol1.pdf



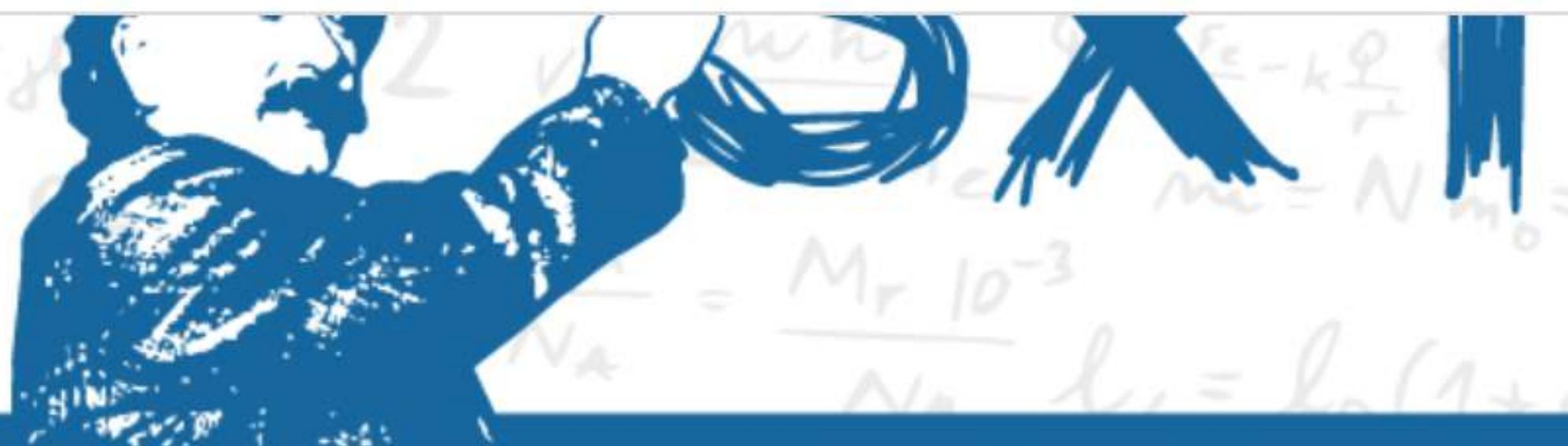
qdcs-vol2.pdf



qdcs-vol3.pdf



qdcs-vol4.pdf



## >> Alle radici dell'idea moderna di atomo

### 2. La natura elettrica della materia

percorso di *Francesco Vissani*

Per concludere questa introduzione, ci servirà un breve sommario delle acquisizioni scientifiche precedenti agli anni di interesse. Inizierei ricordando che quelle curiose manifestazioni che si notano quando si strofina un pezzo di ambra - *elektron*, in greco - tipo il fatto che vengono attirati oggetti leggeri. Esse erano note già ai tempi di **Talete**, nato il 640 a.C. e generalmente considerato l'iniziatore della filosofia e della matematica greca.



Otto von Guericke



Benjamin Franklin



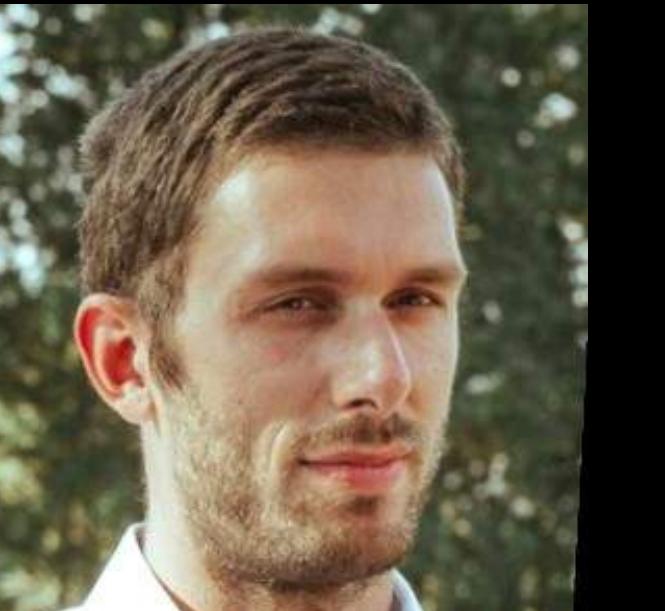
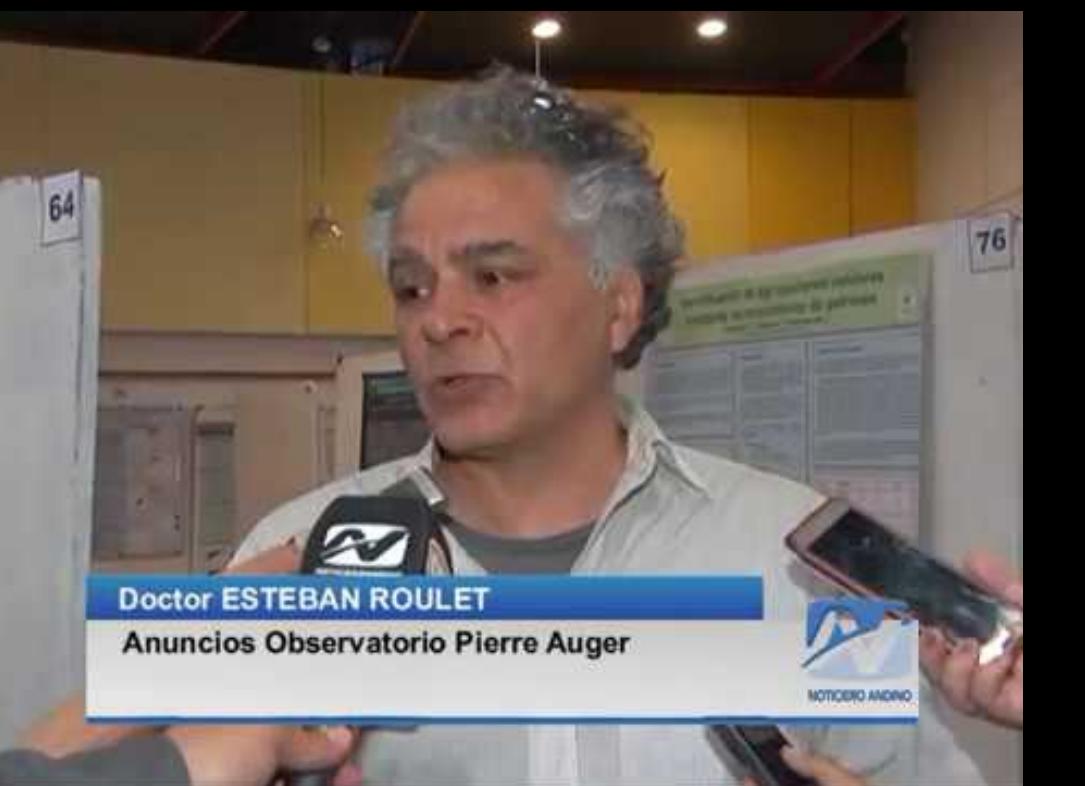
Alessandro Volta



Luigi Galvani

### ALLE RADICI DELL'IDEA MODERNA DI ATOMO

- 1. L'idea di atomo tra scienza e conoscenza popolare
- 2. La natura elettrica della materia
- 3. L'evoluzione dei modelli dell'atomo
- 4. L'atomo di Joseph John Thomson
- 5. L'atomo di Ernest Rutherford
- 6. L'atomo di Hantaro Nagaoka e Jean Baptiste Perrin
- 7. L'atomo di Niels Bohr
- 8. Conclusione





## MENTORI

di Enzo Argante\*

### Una storia di scienza italiana

Un po' ci si emoziona e tanto ci si inorgoglisce quando si parla di laboratorio nazionale del Gran Sasso. Da sempre nel bene (tantissimo) e nel male (poco e in genere per fattori esterni) protagonista sul palcoscenico mondiale della scienza italiana. Le parole di Francesco Vissani colpiscono per la straordinaria semplice complessità: quella che solo la ricerca pura può ispirare.

Come fisico teorico e con altri colleghi dell'università de L'Aquila, tra cui Francesco Villante, ha collaborato con Borexino per capire come aggirare gli ostacoli alle osservazioni. Dieci anni fa sono riusciti a sciogliere i nodi teorici e a elaborare un metodo che ha poi funzionato davvero. Hanno poi lavorato per chiarire le tramutazioni spontanee cui i neutrini sono soggetti.

“La prova di quelle tramutazioni spontanee – ipotizzate dal nostro Bruno Pontecorvo – l'ha poi ottenuta l'esperimento chiamato Opera, noto al grande pubblico per lo studio della velocità dei neutrini. Doveva essere solo un controllo, ma sappiamo tutti com'è andata a finire, non è stato di certo un bel capitolo di scienza. Per me però quella triste vicenda del 2011 è stata importante, non solo perché ho dovuto platealmente evidenziare che i neutrini più veloci della luce non erano proprio credibili, ma perché è stato proprio in quel momento che ho deciso di espormi in pri-



FRANCESCO VISSANI  
INFN

Francesco Vissani, dirigente di ricerca dell'Infn presso i laboratori nazionali del Gran Sasso e professore straordinario presso il Gran Sasso science institute de L'Aquila. Esperto di fisica dei neutrini, è stato insignito per questi studi della medaglia Occhialini nel 2008, rilasciata congiuntamente dalla Società italiana di Fisica e dall'Institute of Physics. Si interessa di aspetti di fisica delle particelle, come ad esempio la verifica delle teorie di

oooooooooooooo

ma persona in pubblico. Certo, ognuno di noi deve fare la sua parte: noi teorici dobbiamo fare conti e produrre teorie se ne siamo capaci, ma credo che dobbiamo anche essere coscienti del mondo in cui viviamo e viverlo in prima persona”.

Idee che Francesco attua nella pratica mettendo in piedi un dottorato in Fisica in quel Gran Sasso science institute (2013) voluto dal suo rettore Eugenio Coccia.

“È stata una esperienza incredibile: ho visto crescere cinque-sei generazioni di studenti, molti dei quali sono andati oltre ogni nostra aspettativa. Il mio contributo, a ben pensare, si è limitato a pretendere che vigessero due principi, che ti enuncio: prima gli studenti; prima la scienza (e non sapendo quale applicare per primo, parti dall'uno poi passi all'altro).

Anzi questa storia mi dà la scusa per tornare al punto del racconto, Borexino e la comprensione del Sole. Il successo di quell'esperimento è dovuto alla capacità e alla perseveranza di tanti colleghi e al coraggio della sua guida, il professor Giampaolo Bellini di Milano. Ma lo strappo finale che ha portato al recente risultato è merito anche (e soprattutto a mio avviso) di un manipolo di quattro giovani studenti, pieni di energia e di idee, giunti a L'Aquila grazie al Gran Sasso science institute: per primi Simone Marcocci, savonese, e Ilia Drachnev, russo, che a partire dal 2013 hanno

“Sono al lab del Gran Sasso da vent'anni e non ho dubbi su quale sia stato il risultato più bello: la prima osservazione completa del centro del Sole, grazie ai neutrini, che abbiamo sfruttato un po' come si usano i raggi X per vedere l'interno del nostro corpo”

prodotto due modelli del rivelatore accuratissimi e indipendenti, che sono stati verificati uno contro l'altro. Il modello finale è stato portato a compimento da Daniele Guffanti, comasco, e da XueFeng Ding, cinese, che si sono uniti al gruppo di lavoro nel 2015. Ogni tanto penso a loro come ai tre moschettieri al servizio di Borexino. L'ultimo, XueFeng, ha un merito tutto particolare. Si è reso conto che se non si fosse abbassato molto il tempo di calcolo, non si sarebbe potuta portare a compimento l'analisi. Quindi ha argutamente chiesto di acquistare una Gpu (costo 500 euro) e l'ha programmata, aumentando la velocità del programma di più di mille volte permettendo così di effettuare tutti i calcoli necessari”.

Oggi i quattro sono dottori di ricerca e stanno facendo delle bellissime carriere in giro per il mondo tranne Simone, il primo e forse il più bravo, il D'Artagnan di questo gruppo di tre moschettieri, che ci ha lasciati troppo presto, e al quale è stata dedicata un'aula del Gran Sasso science institute e del cui lavoro stiamo vedendo oggi i frutti. “Ho terminato il mio compito di coordinatore del dottorato tre anni fa e sono tornato a tempo pieno a fare il ricercatore e l'insegnante. E anche altre cose, per esempio l'editore della rivista *European journal of physics*, per la quale ho avuto il piacere di curare la pubblicazione di uno di questi importantis-



Ettore Majorana, e anche di astrofisica (fisica del Sole, delle supernove, dei raggi cosmici, eccetera). Insegna nelle università di Milano, L'Aquila e Campinas – Brasile – ha seguito una ventina di studenti di laurea e di dottorato ed è autore di 170 articoli scientifici e di diversi volumi. È molto impegnato nell'insegnamento e nella divulgazione scientifica ed è il fondatore del premio Asimov per la divulgazione scientifica. Ha preparato varie presentazioni per il grande pubblico sui recenti risultati di Borexino, inclusa quella sul sito “scienzaper tutti” dell'Infn.

oooooooooooooo

simi risultati di Borexino. Ma, come sai, ho un talento speciale per impelagarmi in nuove pazzie, riuscendo spesso a tirarmi la zappa sui piedi. Forse anche per questo ho creato e seguo il premio Asimov per la divulgazione scientifica che quest'anno conterà su una giuria di diecimila studenti di scuola superiore. Ma questa è un'altra storia, Enzo, della quale ti ho già raccontato.

Perché abbiamo raccontato questa storia?

Perché (ancora una volta) dimostra che ce la possiamo fare, in tutto e su tutti.

Perché abbiamo a casa nostra tanti giovani ambiziosi e dotati, che aspettano solo l'occasione di essere messi alla prova e di poter realizzare il loro potenziale scientifico, e tanti scienziati più maturi ma ancora capaci di guardare al futuro e di divertirsi a fare il loro lavoro, come Francesco.