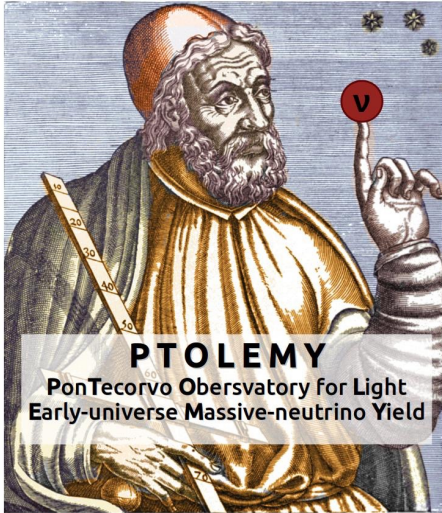


# The PTOLEMY detector development at LNGS



**GSSI Science Fair**

**Marcello Messina on behalf of the PTOLEMY collaboration**

Laboratori Nazionali del Gran Sasso

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)

e-mail: [marcello.messina@lngs.infn.it](mailto:marcello.messina@lngs.infn.it)





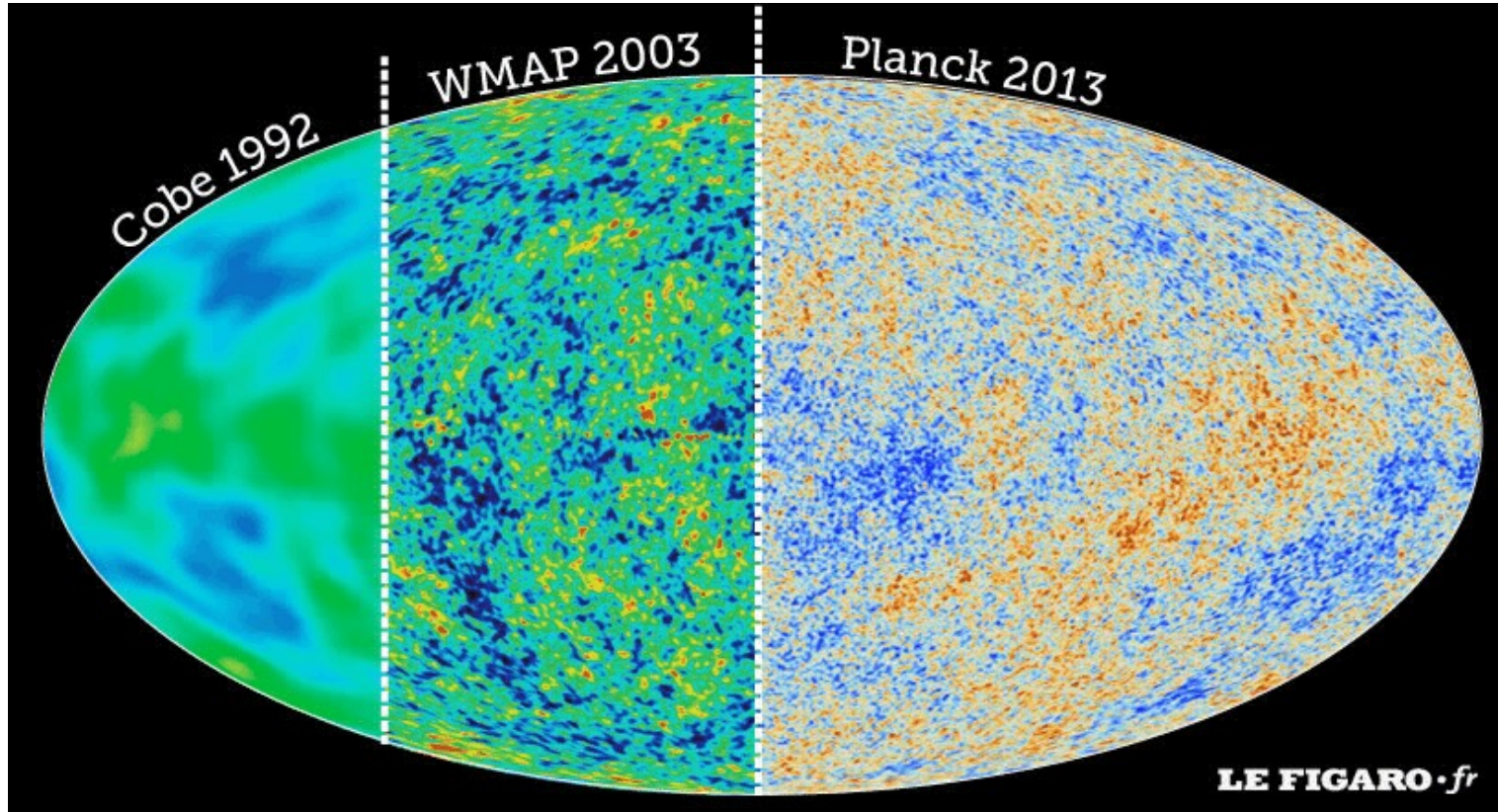
# Main evidences in favor

- Universe is **expanding**: Hubble's law:  $v = H_0 D$  ( $\sim 70$  km/s/Mpc), 1919.
- **Cosmic microwave background**, Penzias & Wilson, 1964
- Abundance of **primordial elements**:  $^4\text{He}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^7\text{Li}$  (?)
- **Galaxies morphology** and stars populations in time
- **Primordial gas cloud** (without heavy elements), 2011

# But... important issues

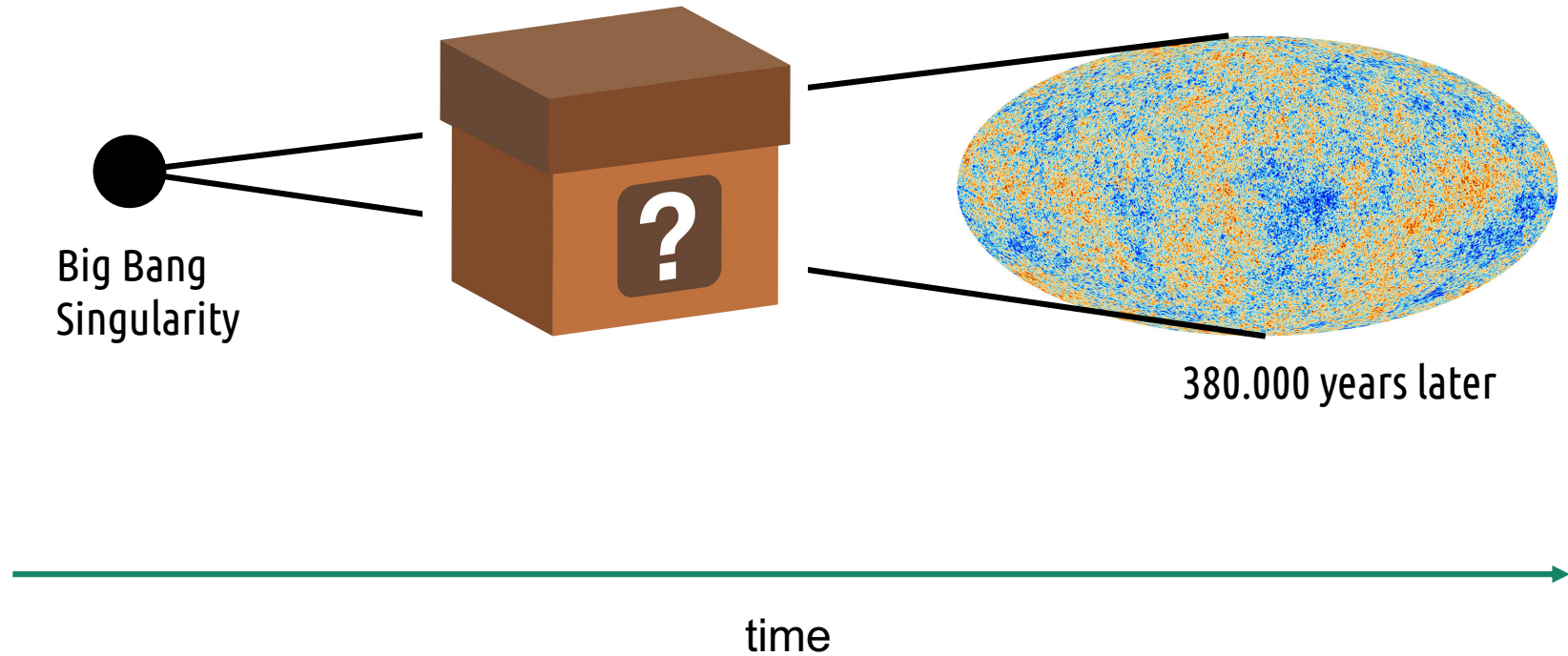
- **Baryon asymmetry,  $\eta = 10^{-10}$**
- **Dark energy (~70%) and dark matter (~25%) still unknown**
- **Horizons and flatness problem: cosmological constant and inflation**

# The gold mine of cosmologists



**CMB: The oldest electromagnetic radiation in the universe**

# Is there anything older than CMB?



# A more precious mine: at the very early universe



**Cosmic Neutrino Background, only 1s after the beginning**

# The oldest particle of the universe

*Original: Neutronen of Pauli 1930*  
Abschrift/15.12.95 PM

Herrn Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der  
Gouvernements-Tagung zu Nürnberg.

Abschrift  
Physikalisches Institut  
der Eidg. Technischen Hochschule  
Zürich

Zürich, 14. Dez. 1930  
Gleriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

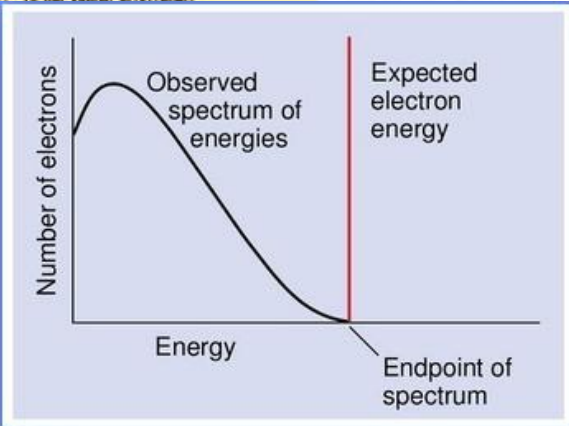
Wie der Überbringer dieser Zeilen, den ich hiulovollst  
anzubitten bitte, Ihnen das obigen zusammengefasst wird, bin ich  
angelegentlich der "falschen" Statistik der  $\beta$ - und  $\alpha$ -Kurven, sowie  
des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verwerflichen Ausweg  
verfallen um den "Wochenblatt" (1) der Statistik und den Energiezustand  
zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale  
Teilchen, die ich Neutronen nennen will, welche den Spdn  $1/2$  haben und das Atom  
nicht von Lichtgeschwindigkeit ausserdem noch  
mit Lichtgeschwindigkeit laufen  
sinnlos von derselben Grössenordnung  
jedenfalls nicht grösser als 0,01. Das  
beta-Spektrum wäre dem veränderten  
beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils  
nicht, damit, dass die Summe der Energien  
konstant ist.

Was handelt es sich weiter der  
Neutronen wirken. Das wahrscheinlich  
sind aus wellenmechanischen Gründen (in  
dieser Zeilen) dieses zu sein, dass die  
zusätzliche Dipol von einem gewissen  
Verhalten weh, dass die Ionisierungsenergie  
nicht grösser sein kann, als die eines  
At nicht grösser sein als  $e$ .

Ich trenne sich verläufig aber  
zu publizieren und werde mich erst von  
Radioaktive, mit der Frage, wie es  
eines solchen Neutronen stünde, wenn die  
höchst grössere Durchdringungswärme  
genau Strahl.

Ich gebe zu, dass mein Ausweg  
wenig wahrscheinlich erscheinen wird,  
als unklar, wohl schon längst ge  
glaubt und der Irrtum der Situation  
wird durch einen Ausspruch meines  
Herrn Debye, beabsichtigt, der mir  
"0, daraus soll man besten gar nicht denken, sowie an die neuen  
Stoßern." Daraus soll man jeden Weg zur Rettung ernstlich diskutieren.  
Also, liebe Radioaktive, prüfe, und richte. Leider kann ich nicht  
persönlich in Nürnberg erscheinen, da ich infolge eines in der Nacht  
vom 6. zum 7. Dez. in Zürich stattfindenden Ballas hier unheimlich  
bin. Mit vielen Grüßen an Sie, sowie an Herrn Neak, hier  
unterzeichnetster Herr

gen. W. Pauli



Frederick REINES and Clyde COWAN  
Box 1663, LOS ALAMOS, New Mexico

Thanks for message. Everything comes to  
him who knows how to wait.

Pauli

-RADIOGRAMME- RADIO-SWISS S.A.  
116 rue CHICAGOILL 56 14 13111  
P.C.C. 00153

BRITISCHES  
74 15.11.58 -1 10

LT  
PROFESSOR W. PAULI  
ZÜRICH UNIVERSITY ZÜRICH ①

Per Post  
NACHLASS  
PROF. W. PAULI

WE ARE HAPPY  
NEUTRINOS FROM FISSION FRAGMENT  
OF PROTONS OBSERVED CROSS SECTION  
TIMES TEN TO NINETY FORTY FOUR SQUARE CENTIMETERS  
FREDERICK REINES AND CLYDE COWAN  
BOX 1663 LOS ALAMOS NEW MEXICO

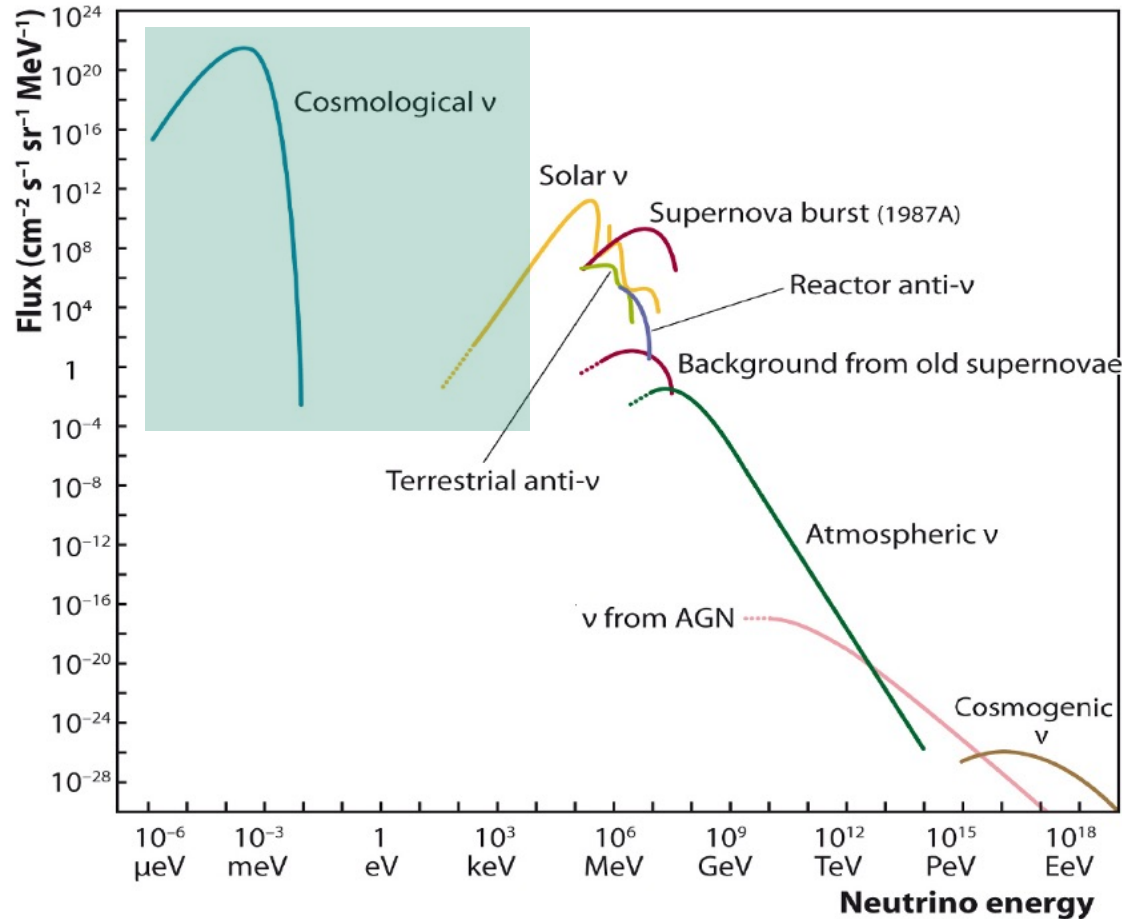


Wolfgang Pauli, 1930

# Neutrinos



# Neutrino Sources



Cosmic neutrinos represent the **largest source** of available neutrinos

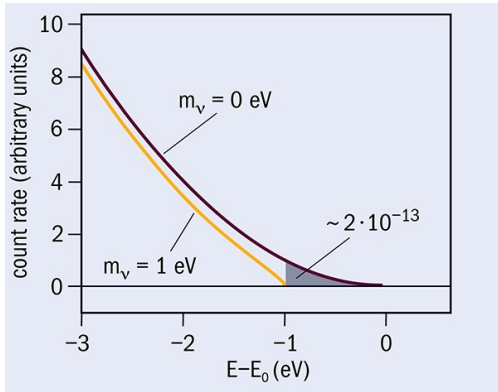
The only source **not yet detected**  
Since 1956 (Reines & Cowan)

# Neutrino mass

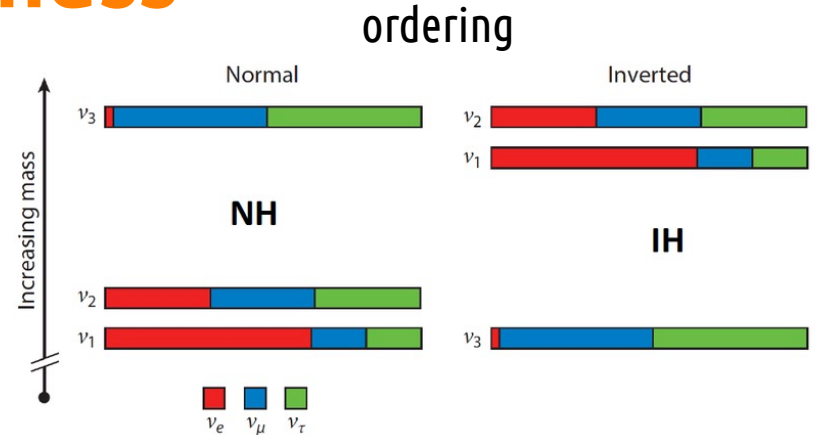
## 1. KATRIN experiment

From beta decay

$m_{\nu_e} < 1.1 \text{ eV}$  (95% CL)  
 [M. Aker et al., 2019]



Tritium beta decay



## 2. Cosmology

$$S = \sum m_i < 0.54 \text{ eV}$$



## 3. Oscillation

$$m_{\nu} > 50 \text{ meV}$$

# CNB or CvB or Relic Neutrinos

- From  $\sim 1$  s old universe

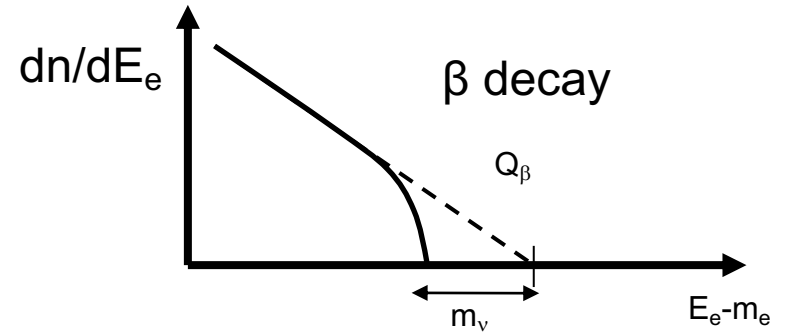
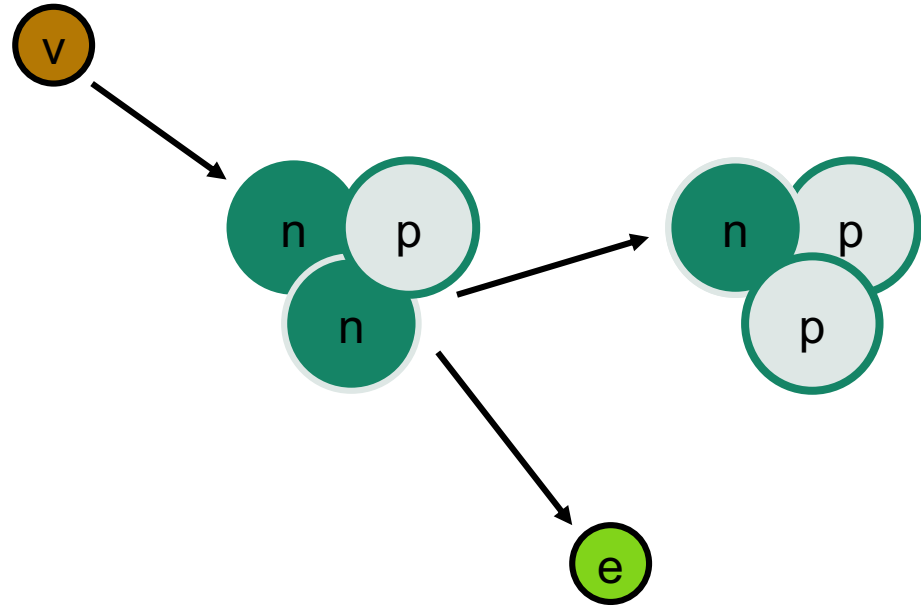
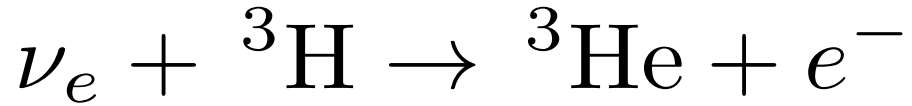
- $T = 1.95$  K

- $E \sim 10^{-6} \div 10^{-4}$  eV

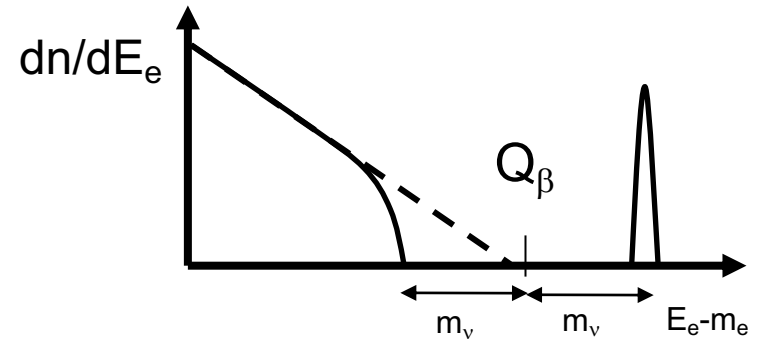
$$\frac{T_\nu}{T_\gamma} = \left( \frac{4}{11} \right)^{\frac{1}{3}}$$

- **Strong indirect evidence from Cosmology:**  
BBN (D,  $^4\text{He}$ ), CMB  $\rightarrow 3\nu$  and  $T_\nu, \dots$
- **But... no direct evidence yet**

# Detection Principle – CNB on ${}^3\text{H}$



Neutrino Capture on a Beta Decaying Nucleus (NCB)



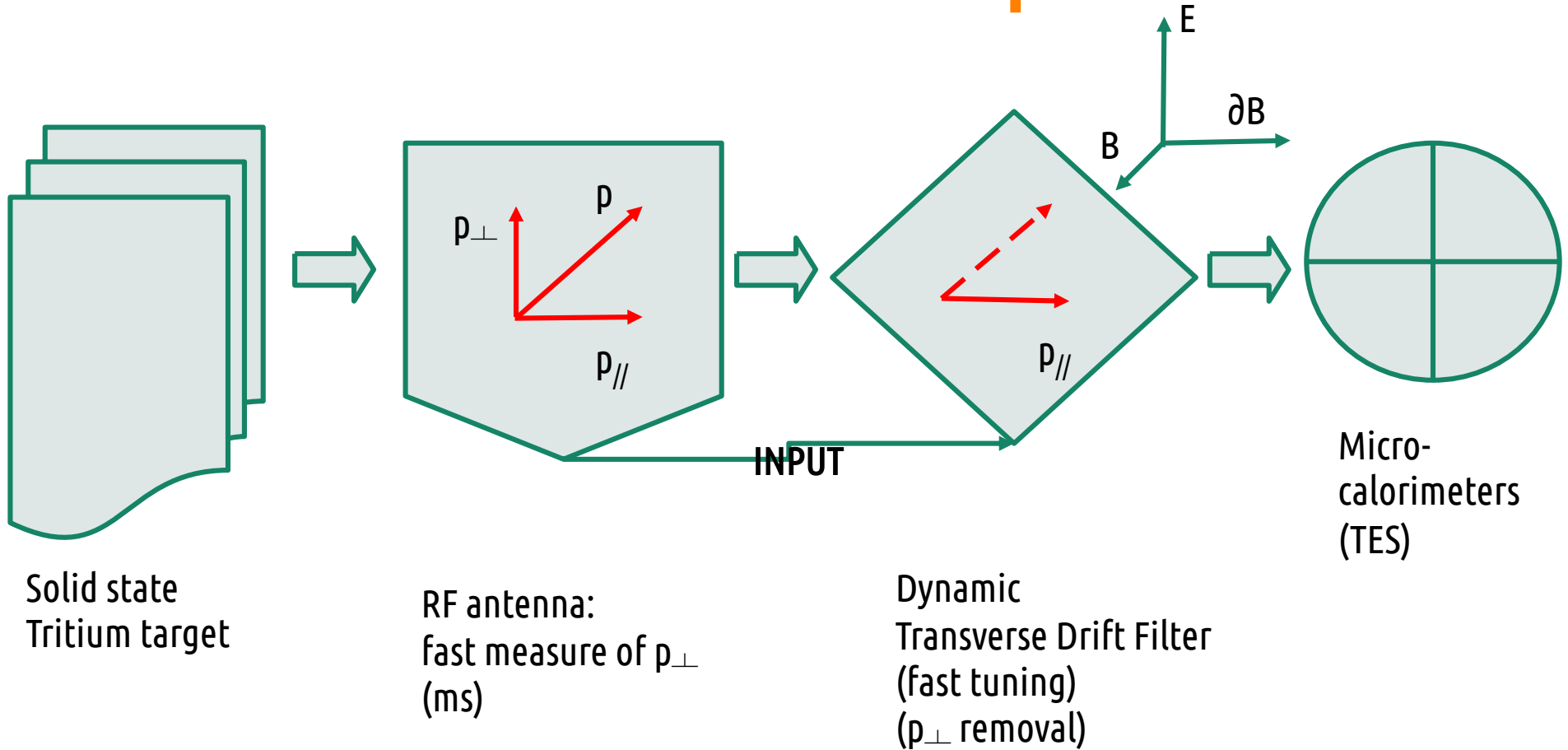
# Tritium: the best candidate

- **Low Q = 18.57 keV**
- **Reasonable halflife  $T_{1/2}=12.32$  y (high rate but not that fast)**
- **Simple nuclear structure, no nuclear structure corrections**
- **Relatively high cross section (constant)**
- **$\sigma \sim 10^{-44} \text{ cm}^2$**

# Requirements for CNB detection

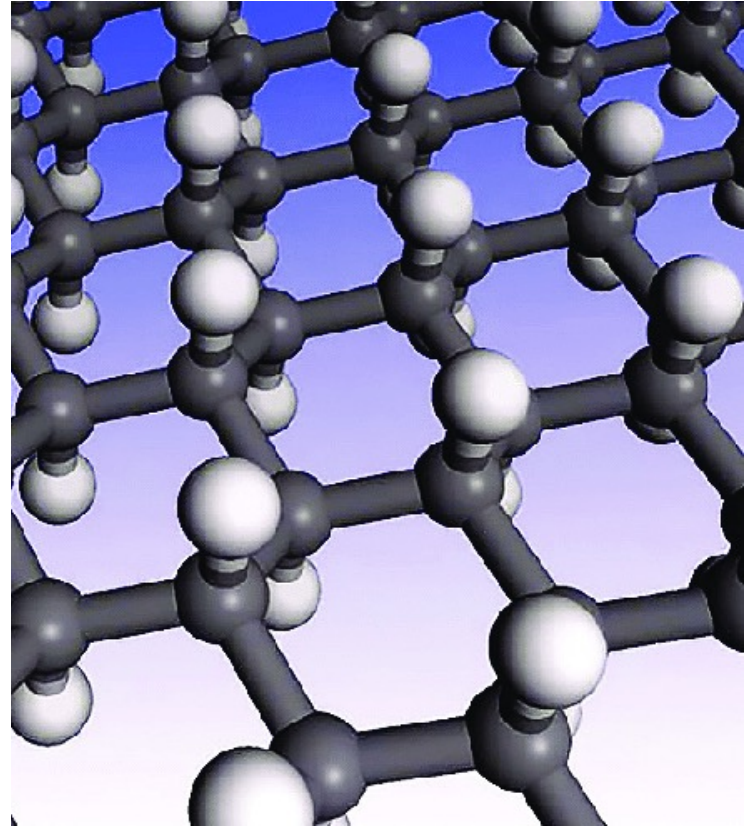
- Large target mass (10 events/year with 100 g of T)
- Very low target induced smearing
- High rate ( $\sim 10^{14}$  Bq) handling
- Filter compression ( $\sim 1$  m size)
- High resolution electron detection (0.05 eV)

# Detector Concept



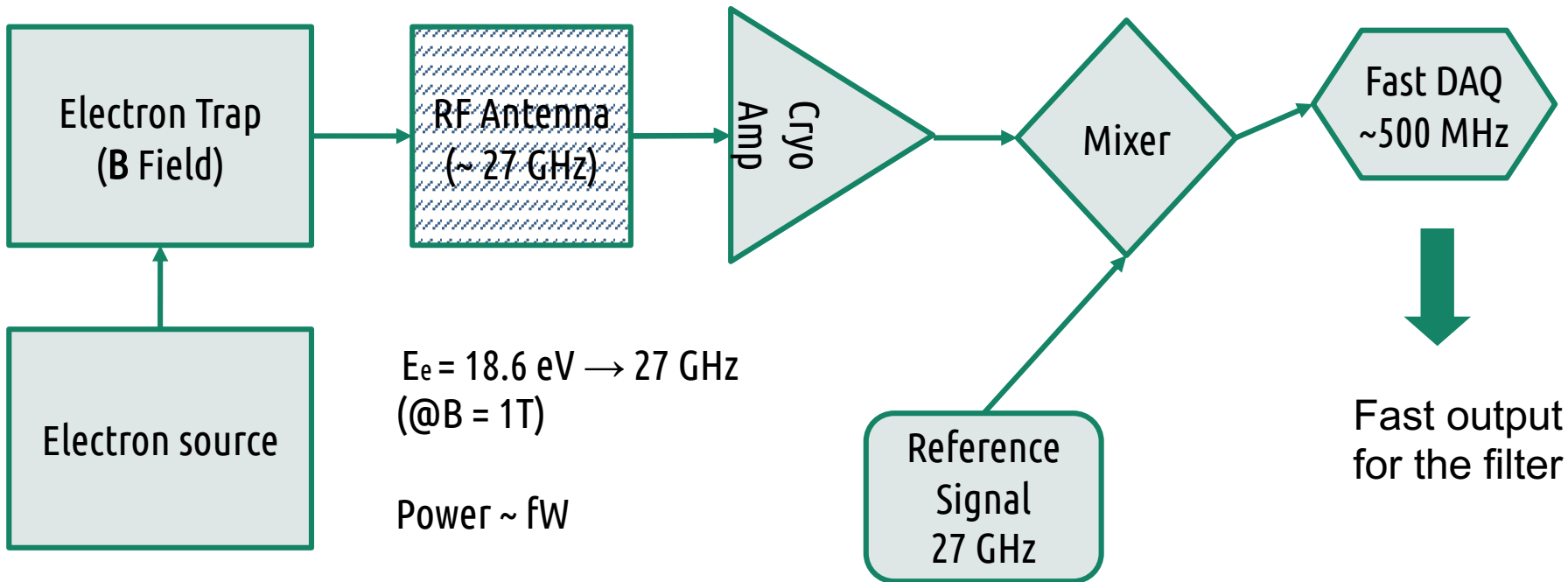
# Target: tritiated graphene

- Single atomic layer 2D ( $sp^3$ ), single sided
- Binding energy ( $<3$  eV), measurable
- $0,2 \text{ mg/m}^2$  (  $1 \text{ KATRIN/m}^2$  !!! )  
(  $2 \text{ Ci/m}^2$  )





# RF Antenna R&D



# RF R&D at LNGS



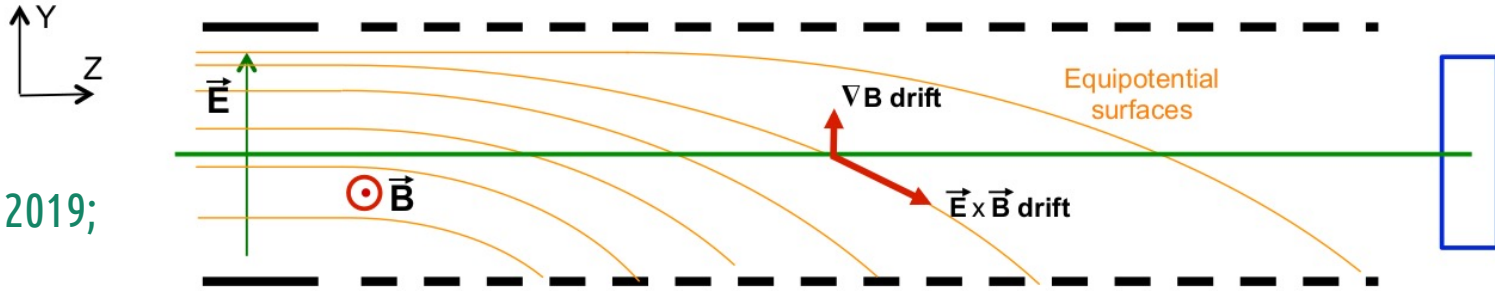
Electron Gun

RF cryogenic system

# Transverse Drift Filter

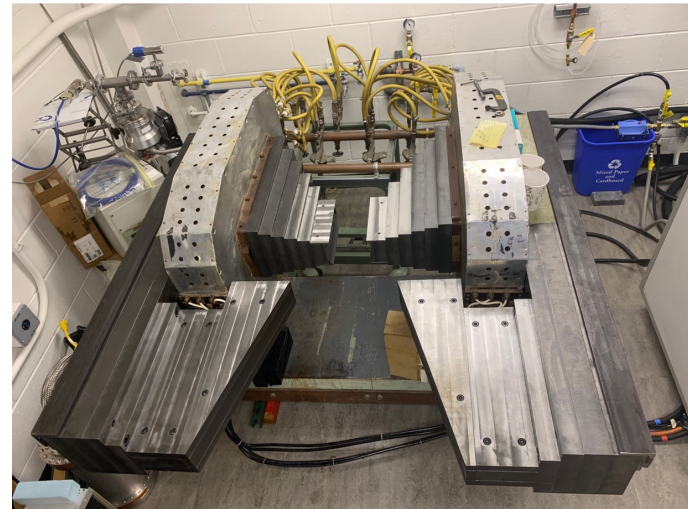
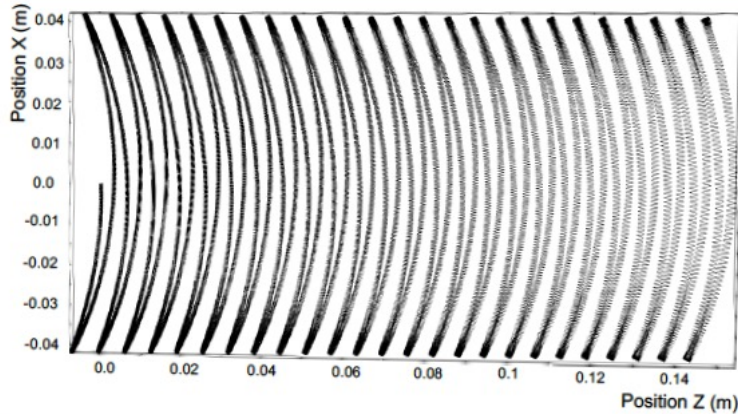
by the summer a demonstrator will be at LNGS

[M.G. Betti et al, 2019;  
A. Apponi, 2021]



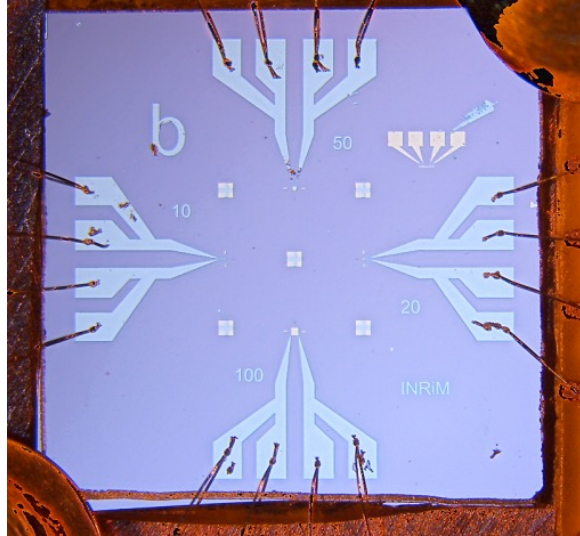
Top view

negative potential walls



# Electron detectors

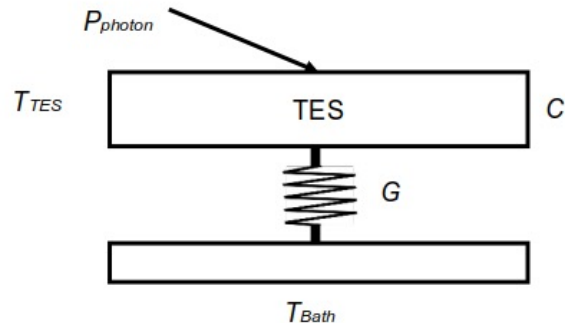
TES developed by INRiM Torino



Criogenic Transition Edge Sensors (TES)

TiAu TES (under test)

- Cold bath at 50 mK
- large area ( $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ ) (pixel)
- fall time  $47 \mu\text{s}$
- very small thickness for 100 eV electrons
- resolution better than  $\Delta E = 0.05$  at  $E = 100$  eV



$\Delta E = 0.16$  eV already achieved for 1540nm IR

# LNGS Facilities



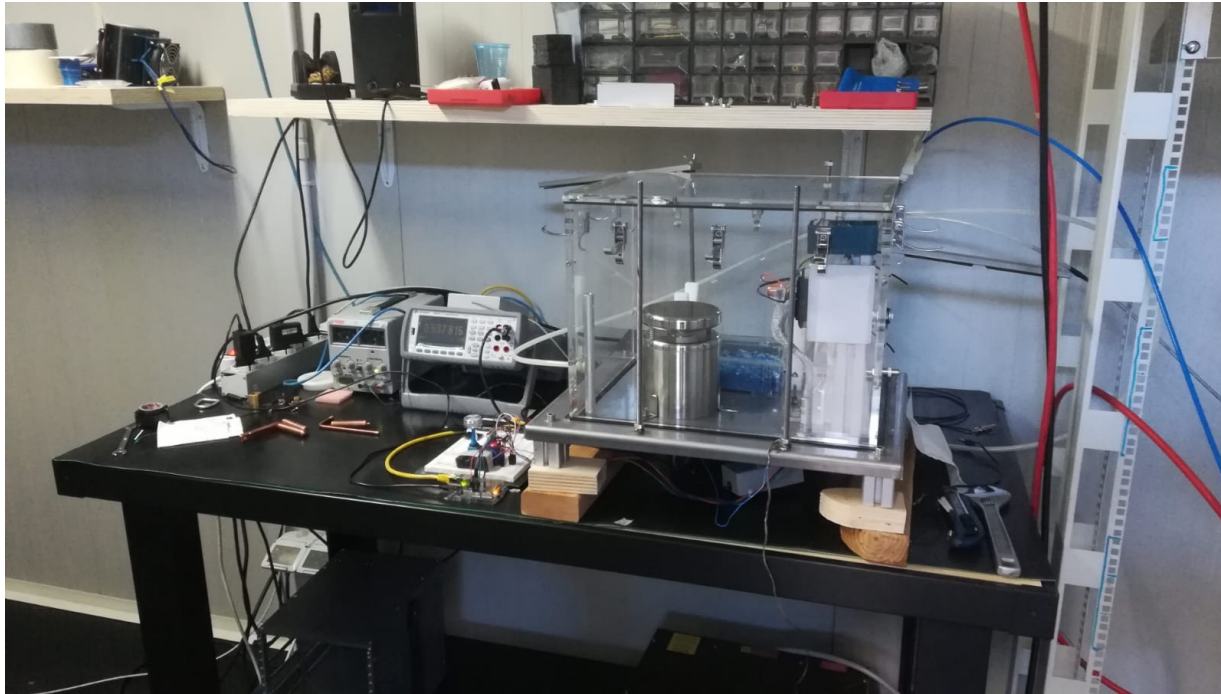
Large vacuum chamber for prototype



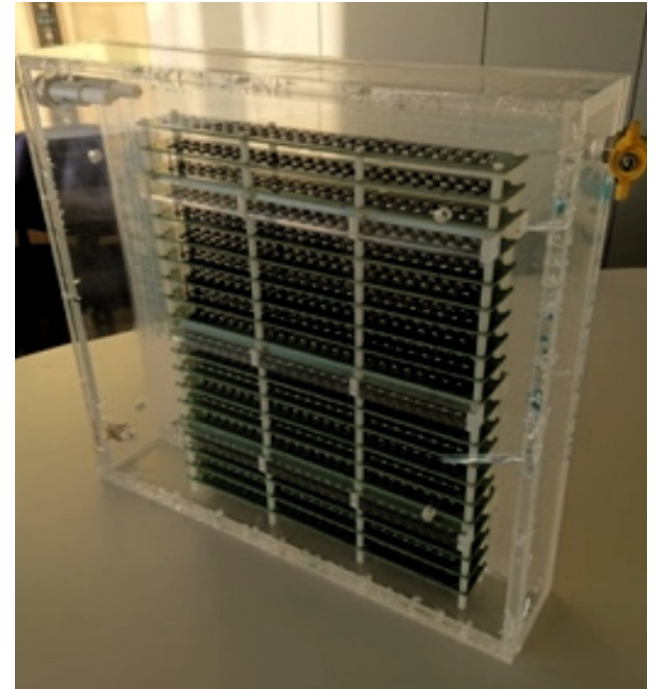
Cryo system

# High precision HV R&D

for absolute energy scale definition



Field mill HV measure



Diodes' stabilizer

# Possible sites (shallow depth)



**Mt. Soratte Bunker**  
North Rome

Overburden ~300-400 m

[A. Candela et al., 2022, accepted on NIM]



**Predappio Bunker**  
Emilia Romagna

Overburden ~50-70 m

# Ptolemy schedule

- **Conceptual design report, 2023**
- **PTOLEMY Demonstrator, 0.1 mg source (Neutrino mass), 2025**
- **Full scale experiment (> 2030)**
  - Graphene packaging
  - Modular detector





Thanks for  
listening!