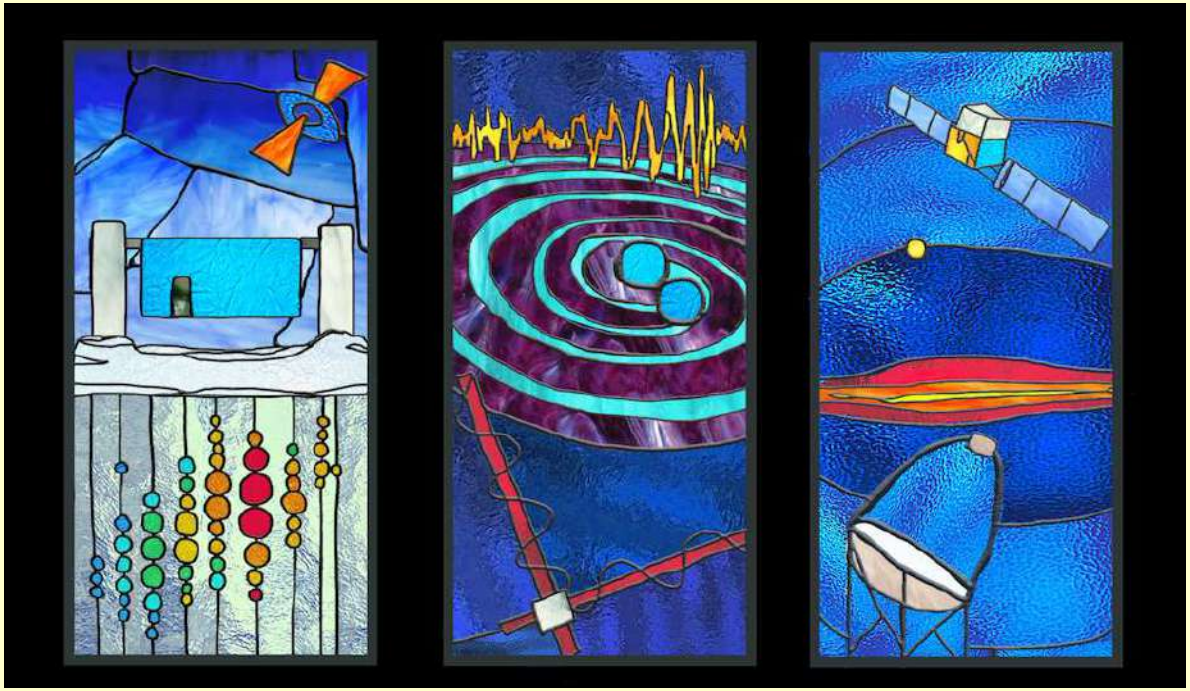
# NEUTRINO PHYSICS

**V. A. Naumov**
(JINR, BLTP)

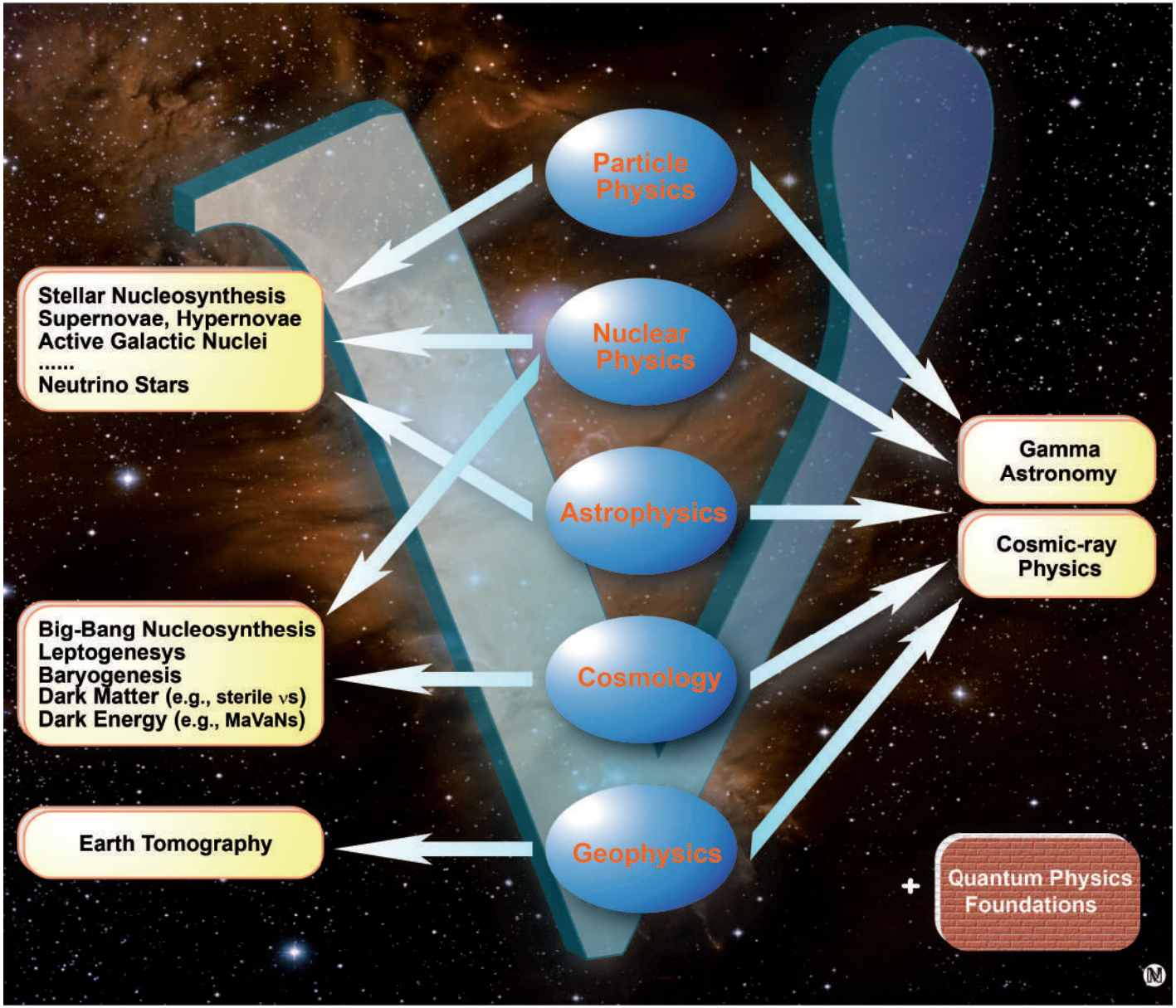
Moscow
International School
of Physics 2022

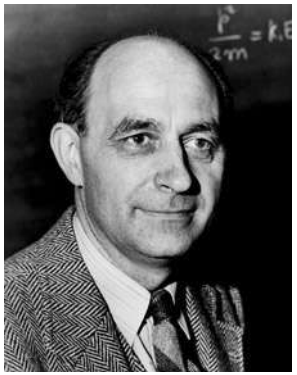
Dubna, July 24 – 2 August 2, 2022

# Preface



# Particle linking physics, astrophysics, and more...



# A piece of history: from V. Pauli (1930) to F. Reines & C. Covan (1956).

Original - Photocopie of PLC 0393

Abschrift/15.12.56 PM

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

Abschrift

Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930
Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst anzuhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren, welche den Spin 1/2 haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen müsste von derselben Grossenordnung wie die Elektronenmasse sein und jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse.- Das kontinuierliche beta- Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron konstant ist.

Nun handelt es sich weiter darum, welche Kräfte auf die Neutronen wirken. Das wahrscheinlichste Modell für das Neutron scheint mir aus wellenmechanischen Gründen (näheres weiss der Ueberbringer dieser Zeilen) dieses zu sein, dass das ruhende Neutron ein magnetischer Dipol von einem gewissen Moment $\mu$ ist. Die Experimente verlangen wohl, dass die ionisierende Wirkung eines solchen Neutrons nicht grösser sein kann, als die eines gamma-Strahls und darf dann $\mu$ wohl nicht grösser sein als $e \cdot (10^{-13}$ cm).

Ich traue mich vorläufig aber nicht, etwas über diese Idee zu publizieren und wende mich erst vertrauensvoll an Euch, liebe Radioaktive, mit der Frage, wie es um den experimentellen Nachweis eines solchen Neutrons stände, wenn dieses ein ebensolches oder etwa 10mal grösseres Durchdringungsvermögen besitzen würde, wie ein gamma-Strahl.

Ich gebe zu, dass mein Ausweg vielleicht von vornherein wenig wahrscheinlich erscheinen wird, weil man die Neutronen, wenn sie existieren, wohl schon längst gesehen hätte. Aber nur wer wagt, gewinnt und der Ernst der Situation beim kontinuierliche beta-Spektrum wird durch einen Ausspruch meines verehrten Vorgängers im Amte, Herrn Debye, beleuchtet, der mir kürzlich in Brüssel gesagt hat: "O, daran soll man am besten gar nicht denken, sowie an die neuen Steuern." Darum soll man jeden Weg zur Rettung ernstlich diskutieren.- Also, liebe Radioaktive, prüfet, und richtet.- Leider kann ich nicht persönlich in Tübingen erscheinen, da ich infolge eines in der Nacht vom 6. zum 7 Dez. in Zürich stattfindenden Balles hier unabkömmlich bin.- Mit vielen Grüssen an Euch, sowie an Herrn Back, Euer untertänigster Diener

gez. W. Pauli

RADIO-SCHWEIZ AG. **RADIOGRAMM-RADIOGRAMME** RADIO-SUISSE S.A.

SBZ1311 ZHW UW1844 FM BZJ116 WH CHICAGOILL 56 14 1310

PLC 00253

Erhalten - Reçu „VIA RADIOSUISSE" Befördert - Transmis

von - de NEWYORK

Stunde - Heure | NAME - NOM

nach - à Briefteleg ramm

Stunde - Heure | NAME - NOM

74 15 VI 56 --1 10

LT
PROFESSOR W PAULI
ZURICH UNIVERSITY ZURICH

Per Post

NACHLASS
PROF. W. PAULI

NACHLASS
PROF. W. PAULI

WE ARE HAPPY TO INFORM YOU THAT WE HAVE DEFINITELY DETECTED NEUTRINOS FROM FISSION FRAGMENTS BY OBSERVING INVERSE BETA DECAY OF PROTONS OBSERVED CROSS SECTION AGREES WELL WITH EXPECTED SIX TIMES TEN TO MINUS FORTY FOUR SQUARE CENTIMETERS

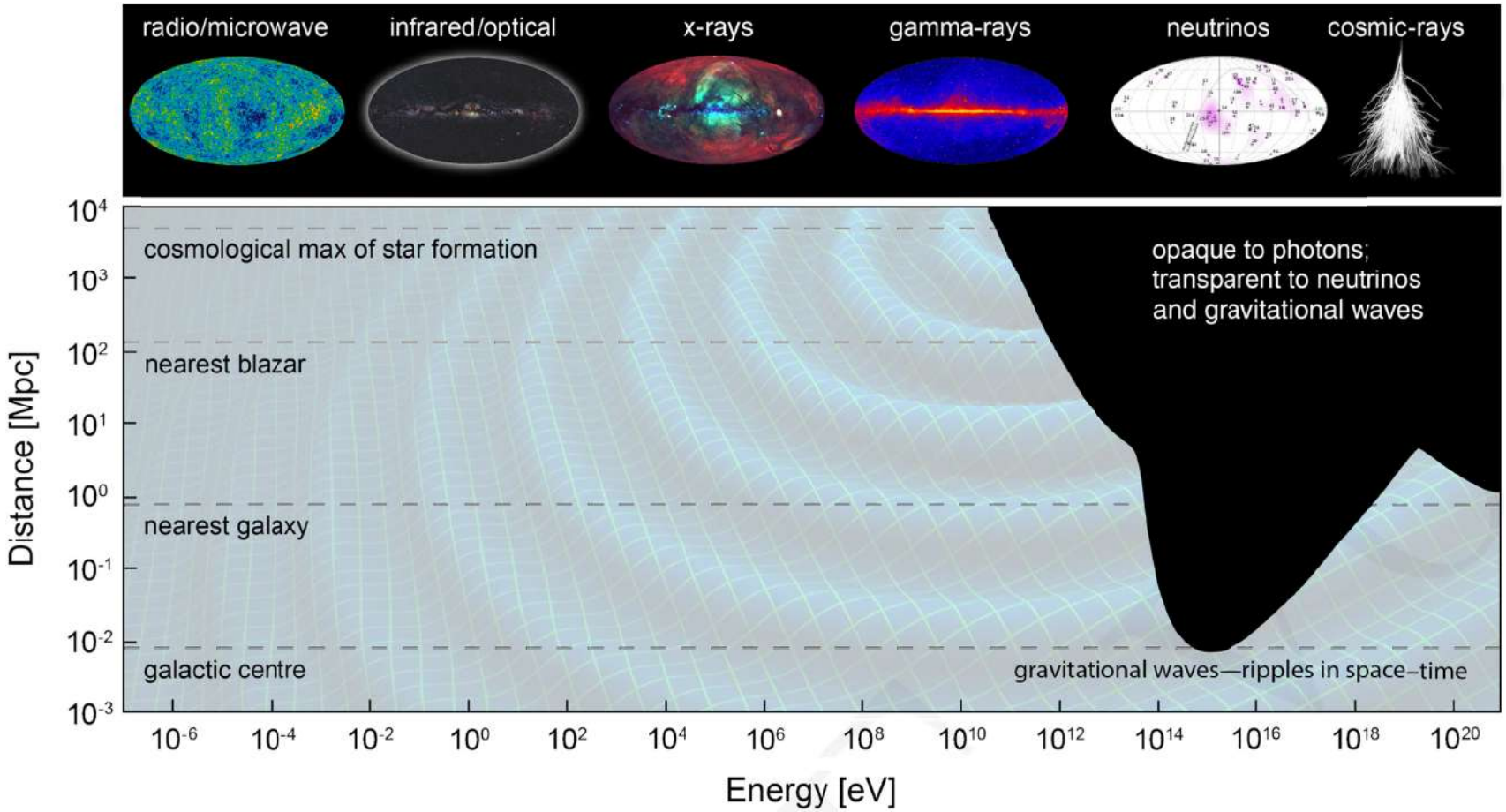
FREDERICK REINES AND CLYDE COWN
BOX 1663 LOS ALAMOS NEW MEXICO

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

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

Pauli

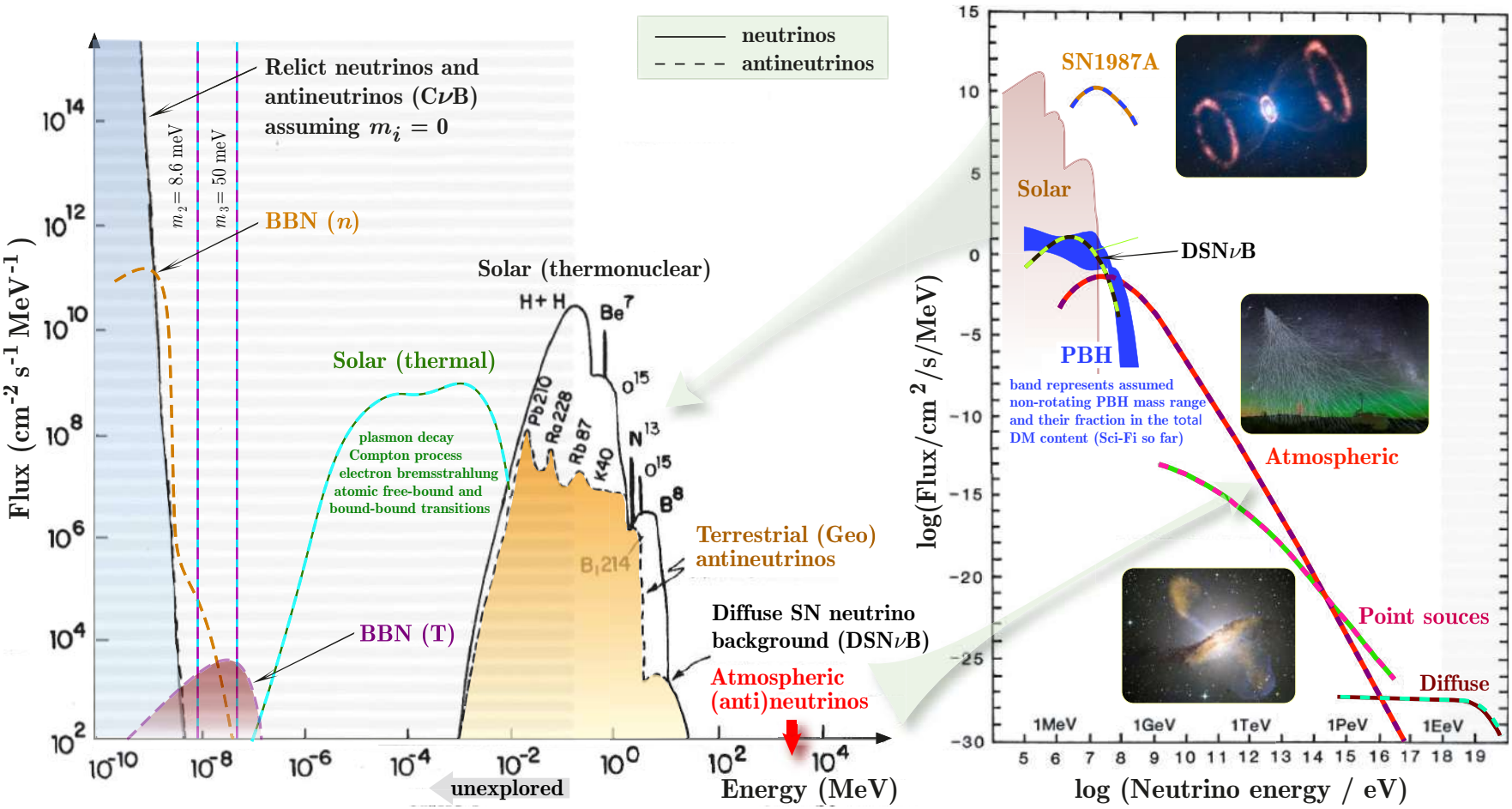
# Horizons of multi-messenger high-energy astronomy & astrophysics




△ Figure shows the distances at which the Universe becomes opaque to electromagnetic radiation. While lower-energy photons can travel to us from the farthest corners of the Universe, the highest energy photons and cosmic rays are attenuated after short distances, obscuring our view of the most energetic cosmic events. In contrast, the Universe is transparent to gravitational waves and neutrinos, making them suitable probes of the high-energy sky.

[From I. Bartos & M. Kowalski, "Multimessenger Astronomy" (Physics World Discovery, IoP Publishing, Bristol, 2017).]

# Preview of local $\nu/\overline{\nu}$ flows in crude curves




[Constructed from the data of L. M. Krauss *et al.*, "Antineutrino astronomy and geophysics", Nature **310** (1984) 191–198 and E. Vitagliano *et al.*, "Grand unified neutrino spectrum at Earth: Sources and spectral components," Rev. Mod. Phys. **92** (2020) 45006, arXiv:1910.11878 [astro-ph.HE] (*left panel*) and A. M. Bakich, "Aspects of neutrino astronomy", Space Sci. Rev. **49** (1989) 259–310 and R. Calabrese *et al.*, "Primordial black hole dark matter evaporating on the neutrino floor," Phys. Lett. B **829** (2022) 137050, arXiv:2106.02492 [hep-ph] (*right panel*).]