



High Energy ν Astronomy with IceCube

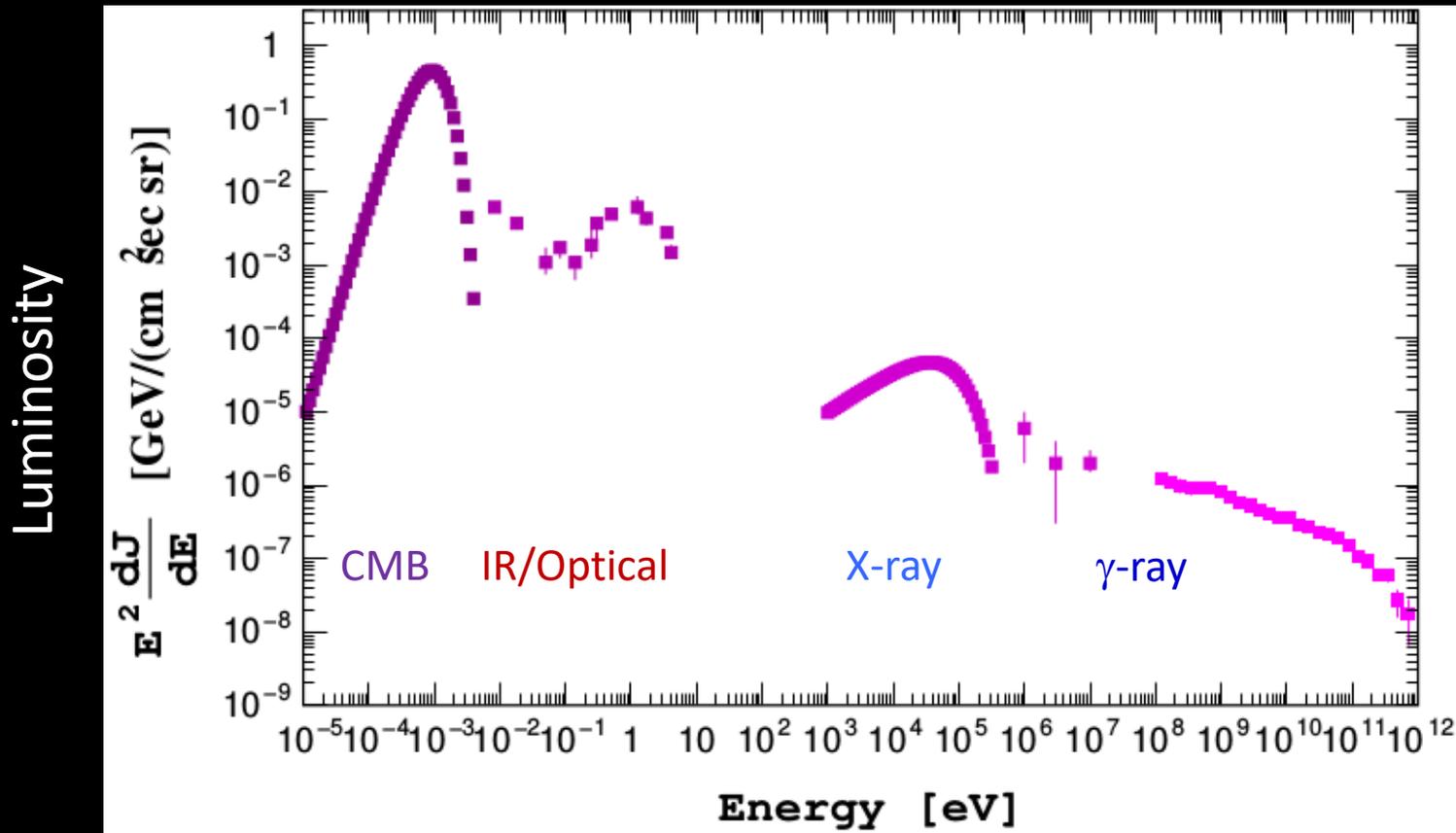
New knowledges and mysteries
on high energy ν Universe

付録：日本グループは国際プロジェクトで
いかに足場を築いたか

Shigeru Yoshida

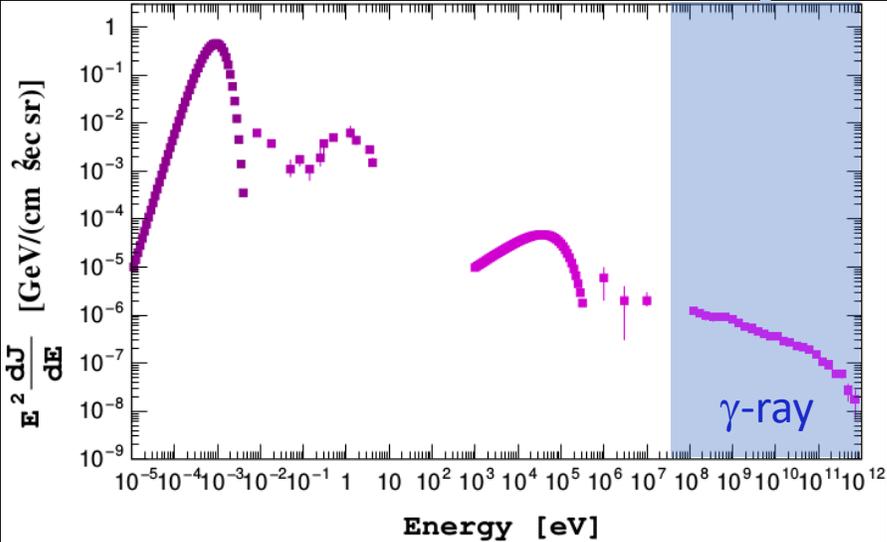
ICEHAP - Chiba university

Radiations from Universe

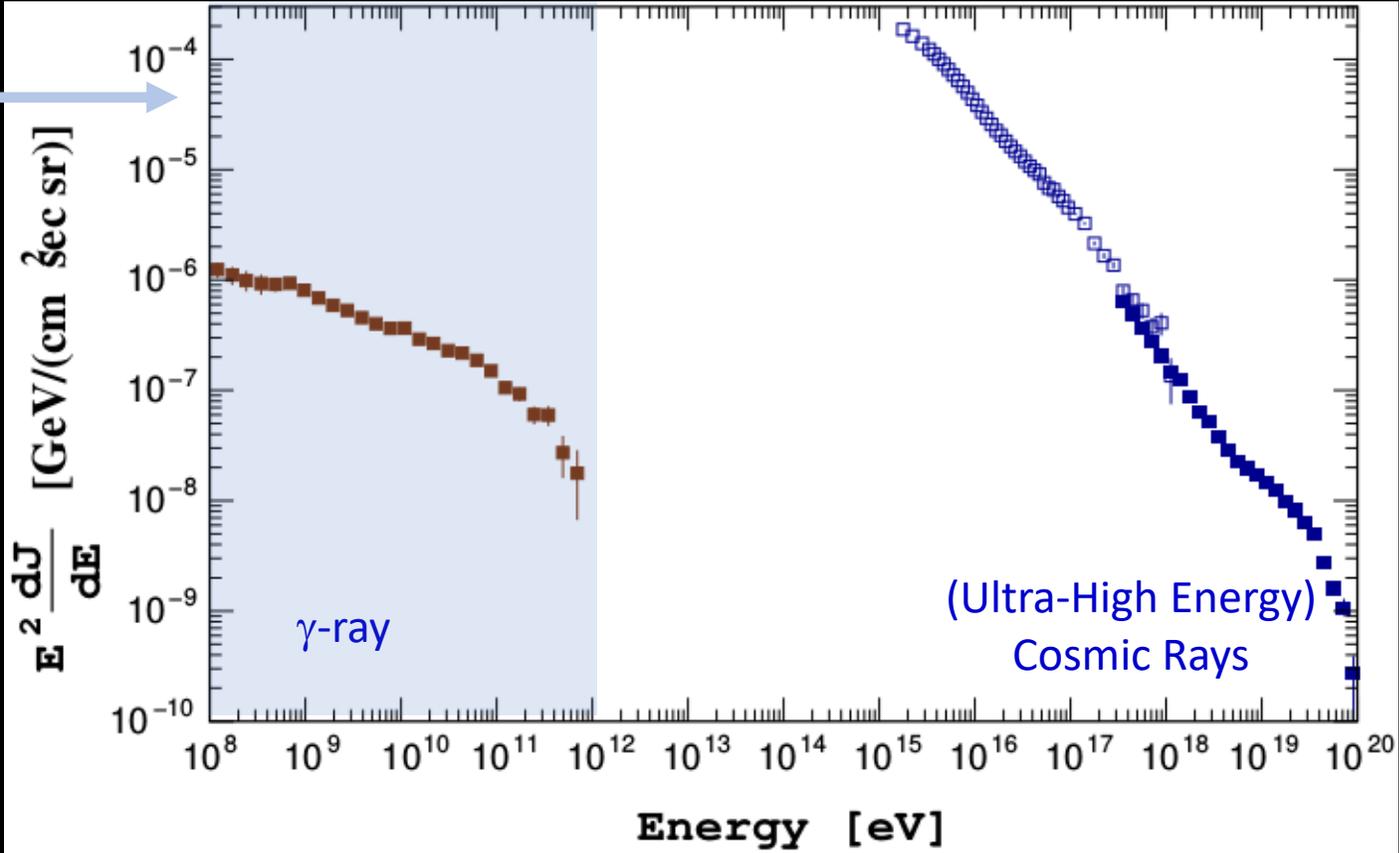




Radiations from Universe

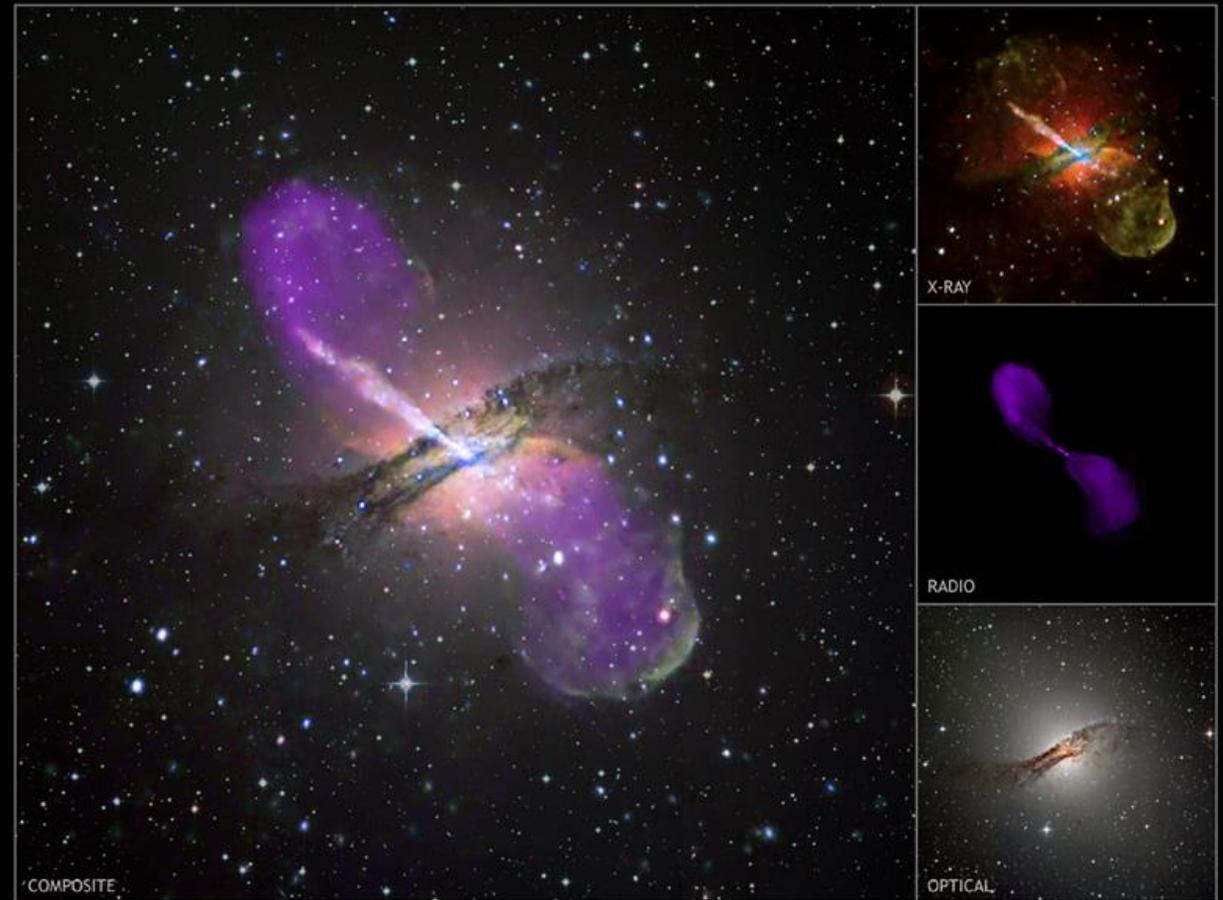
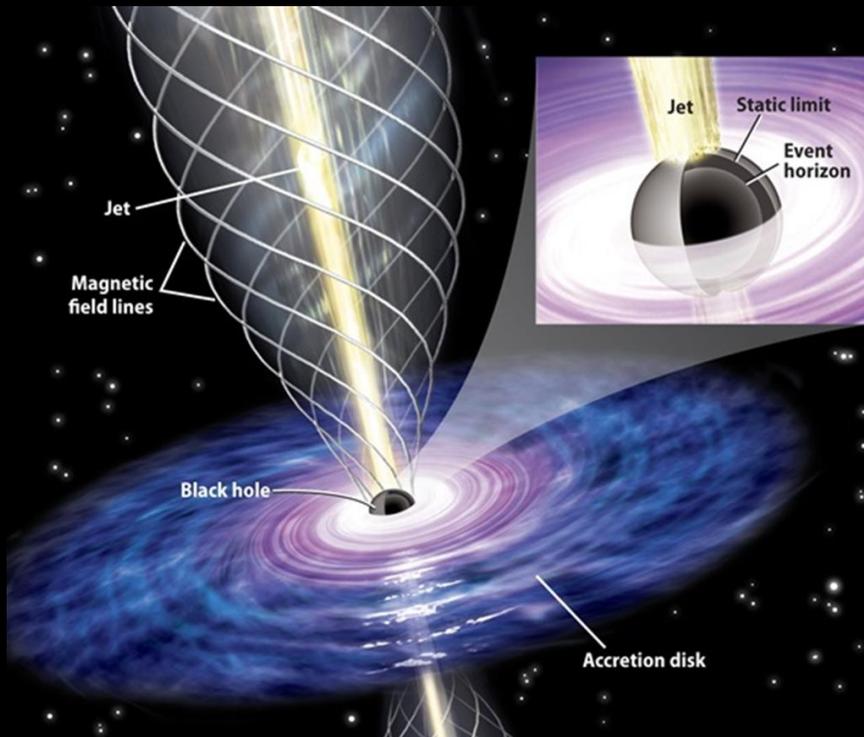


Luminosity



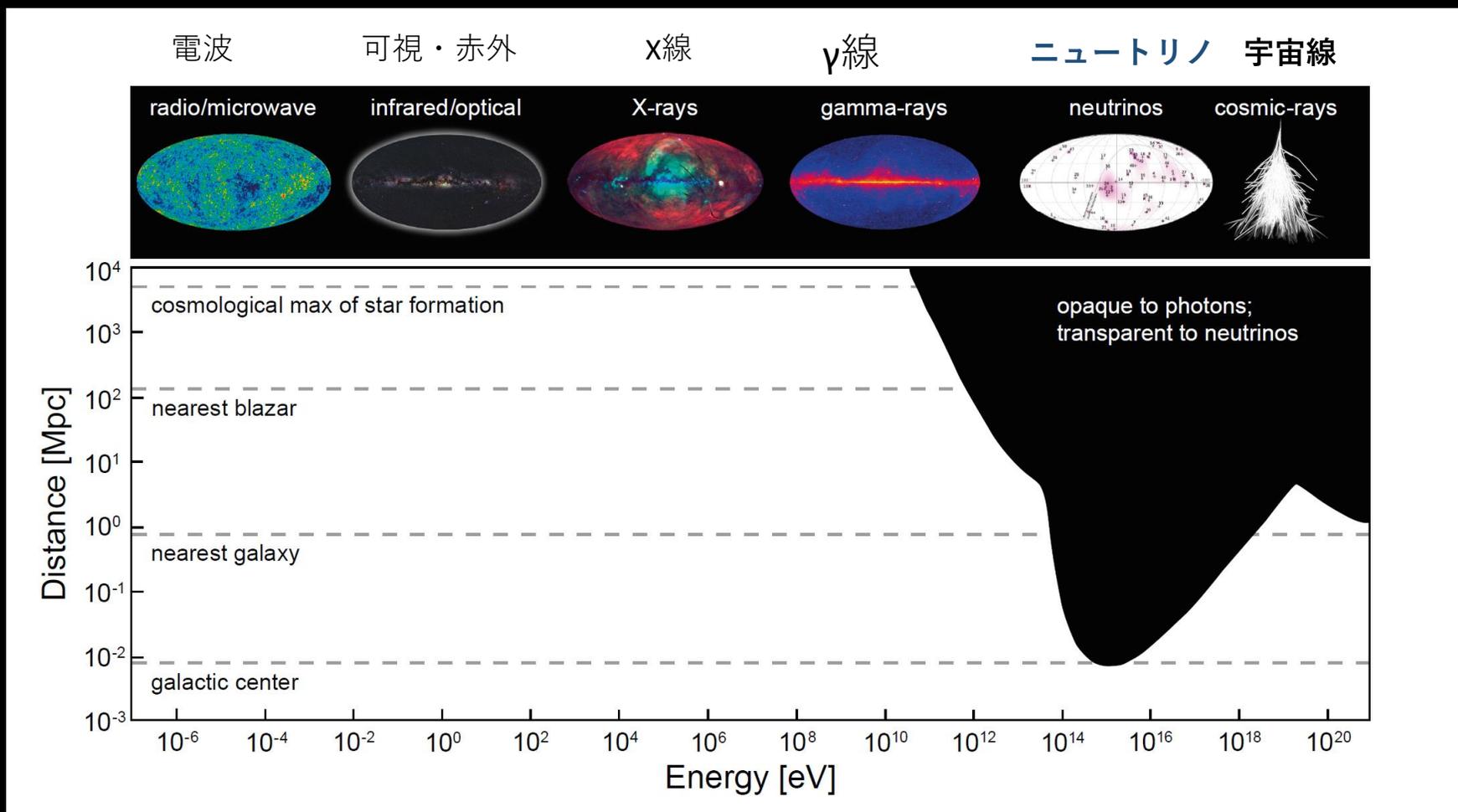
A (possible) cosmic accelerator AGN (radio galaxy)

Centaurus A (the closest radio galaxy)

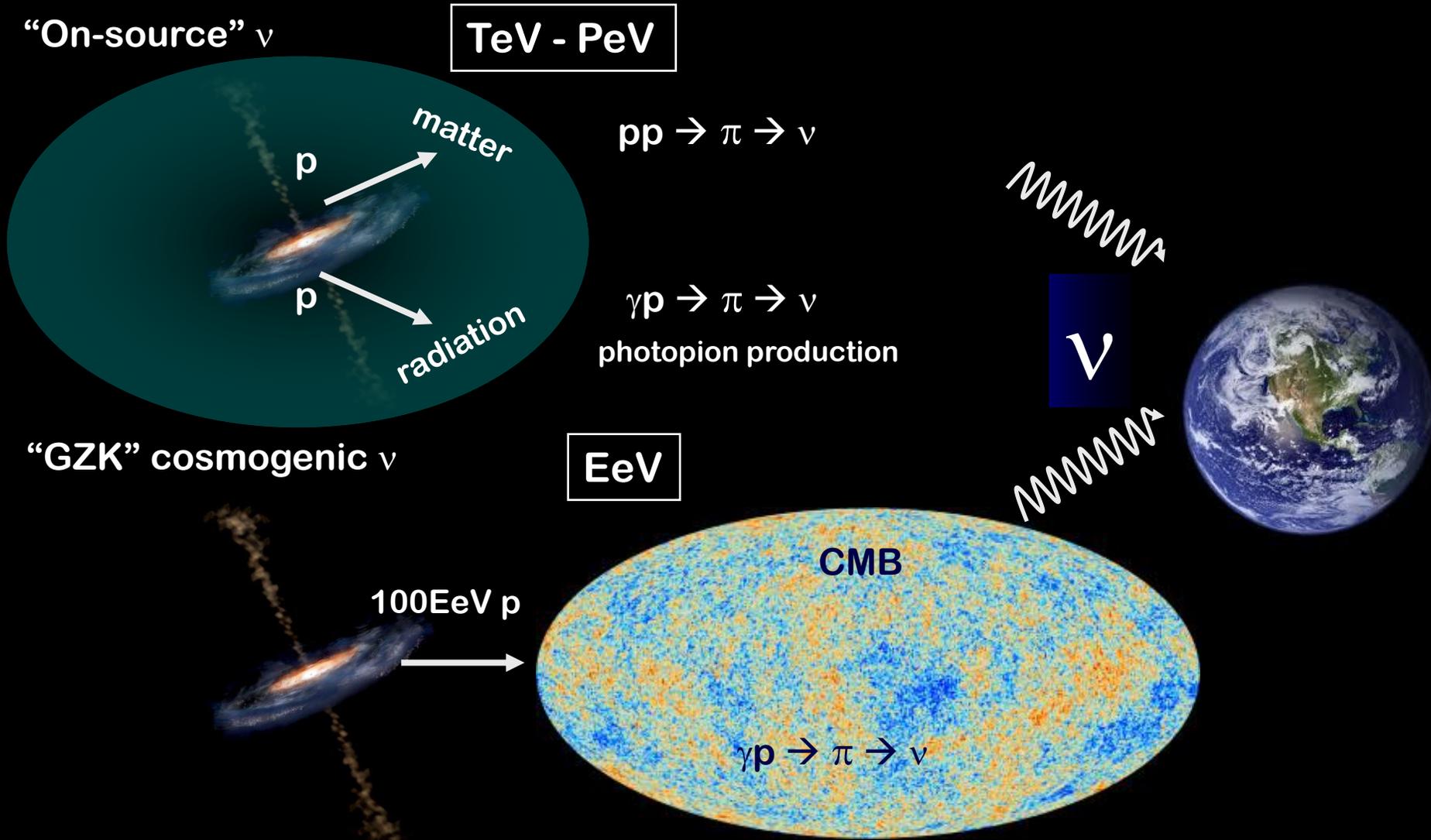


Why ν is so powerful to explore high energy universe?

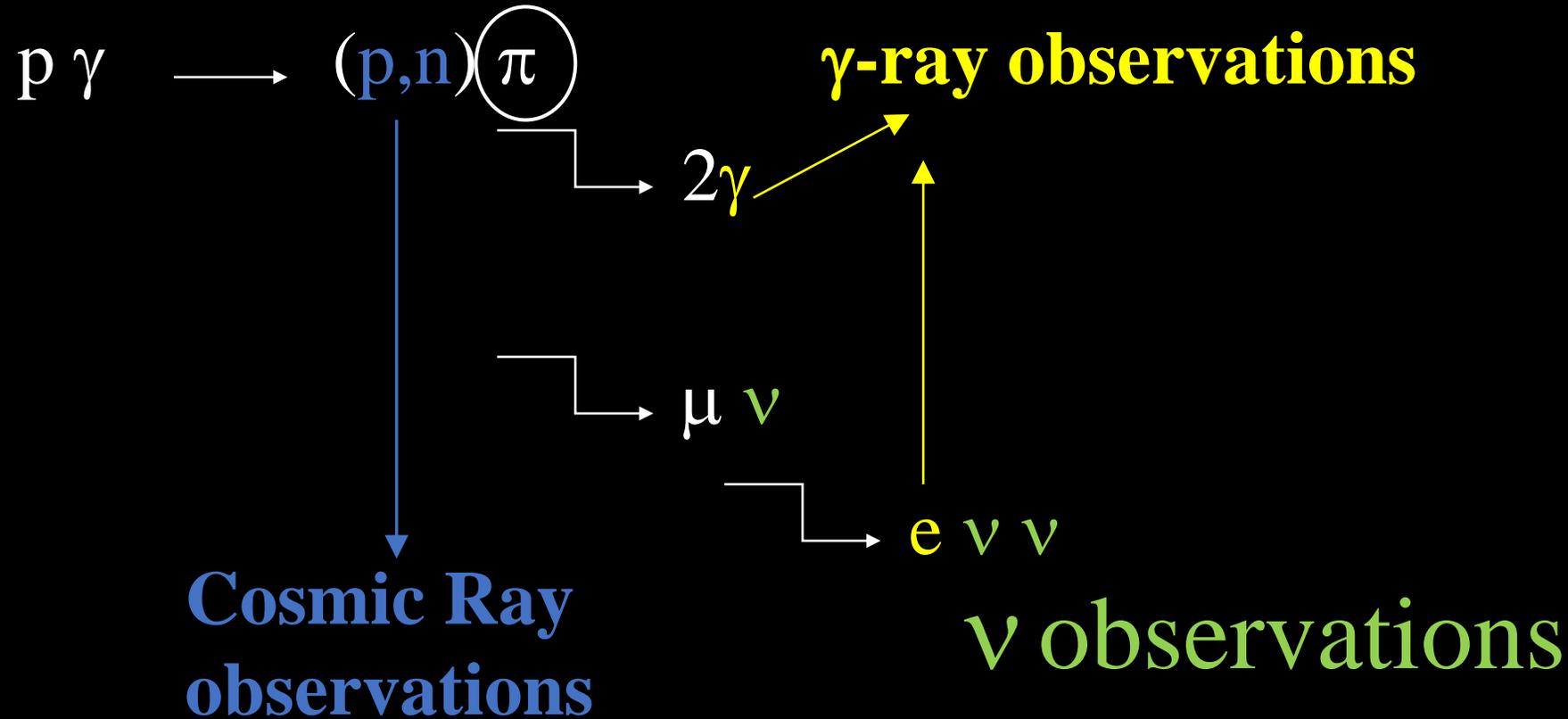
TeV (10^{12} 電子ボルト)以上のエネルギー帯域で宇宙全体を探索できる唯一のメッセンジャー
光子・宇宙線ハドロンは、CMB、EBL(宇宙背景光-- 可視・赤外)と衝突するため届かない



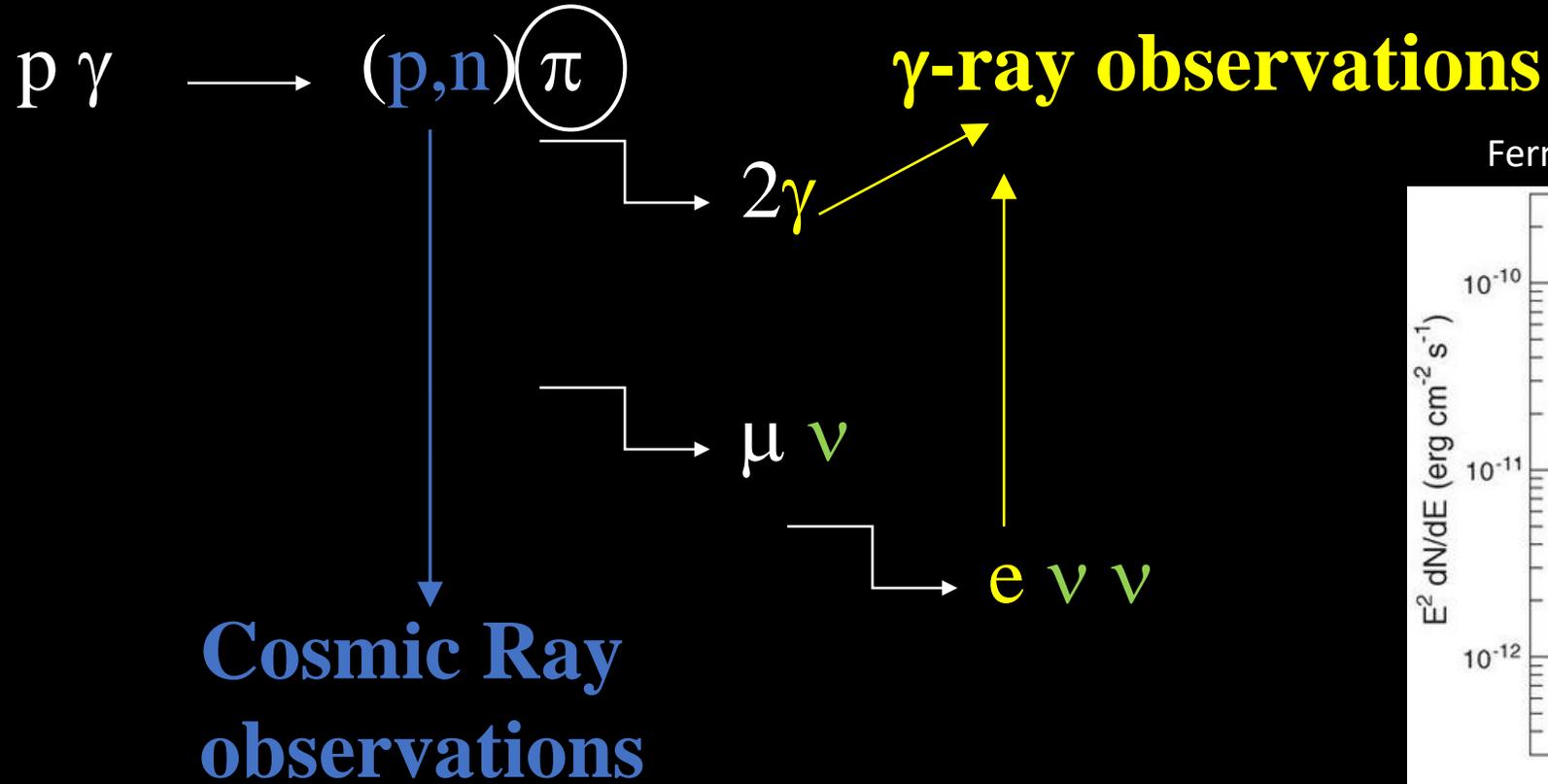
The Cosmic Neutrinos Production Mechanisms



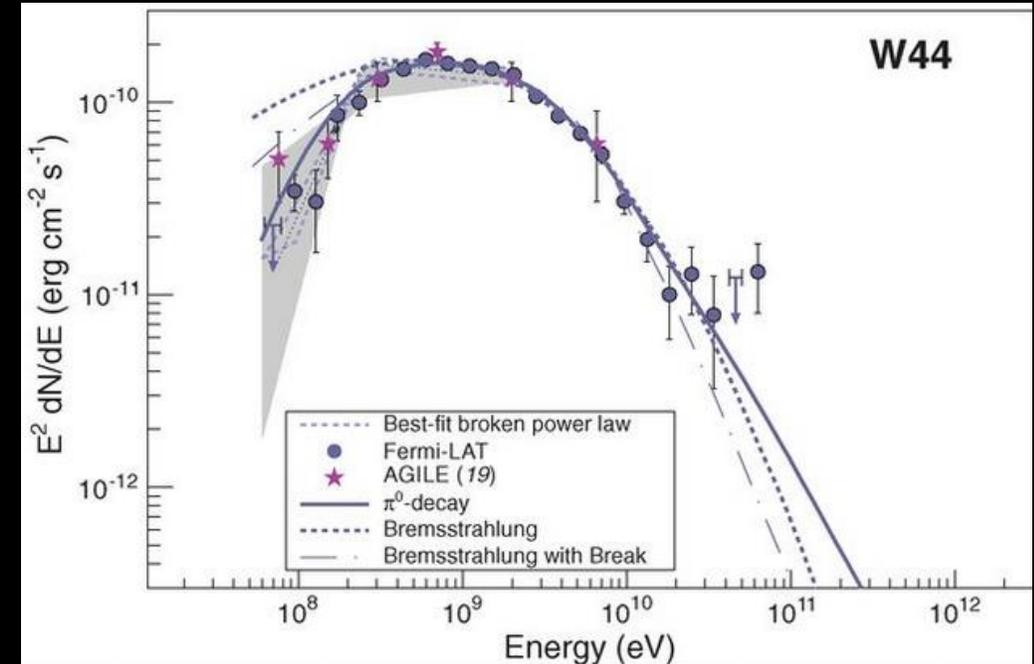
Multi-Messenger framework



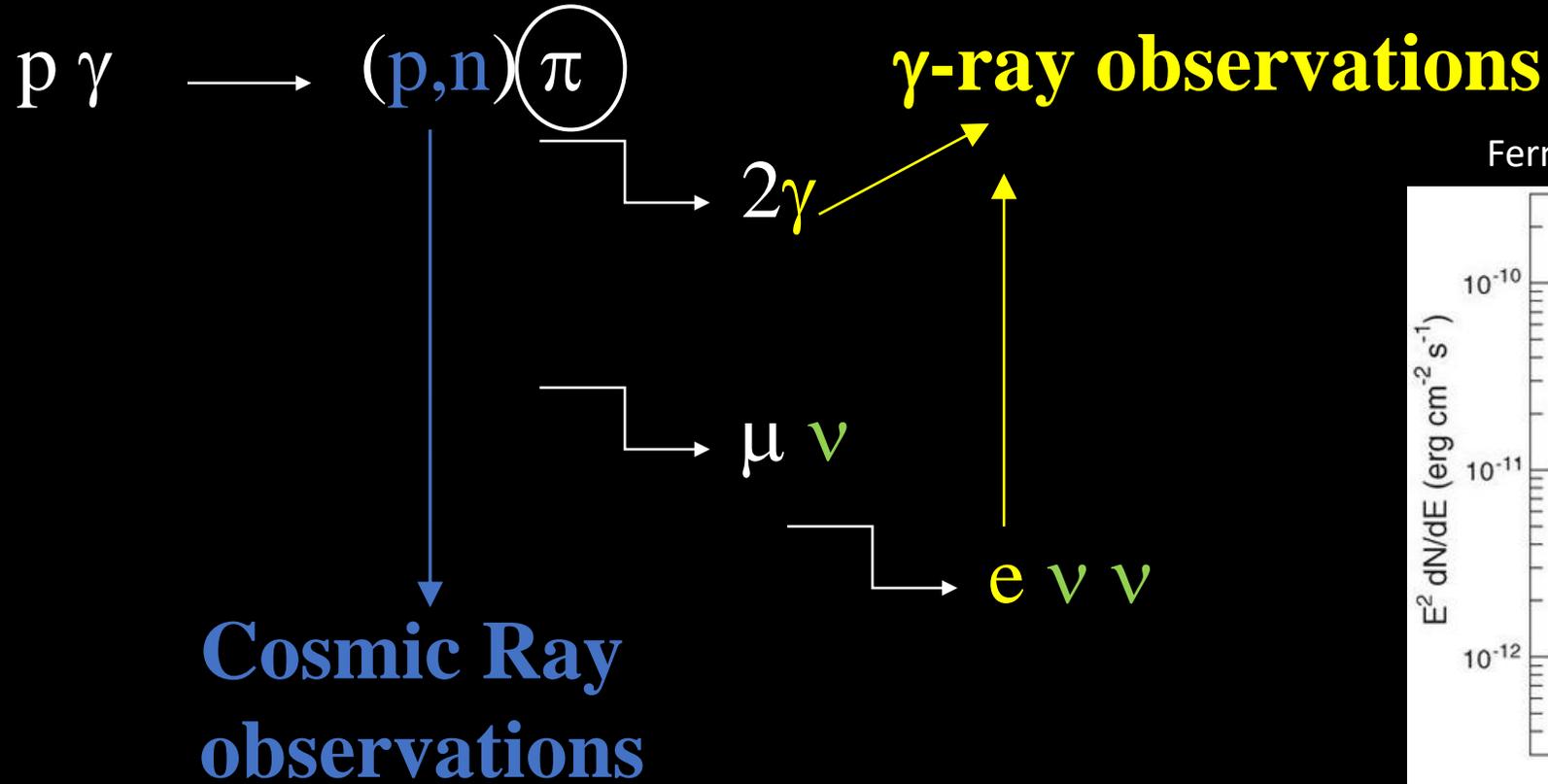
Multi-Messenger framework



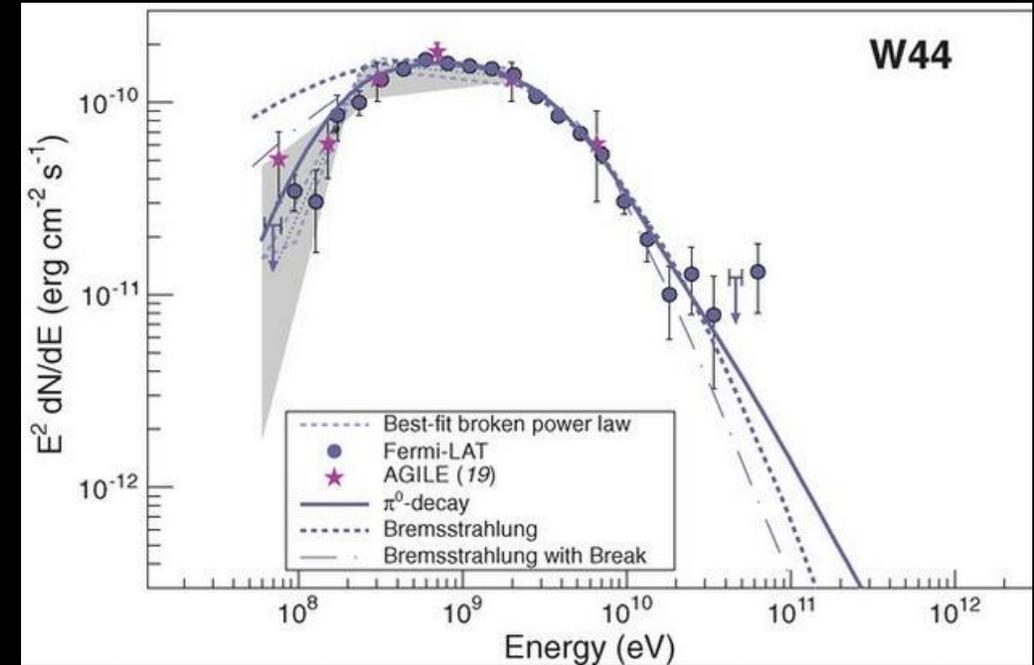
Fermi-LAT collaboration, Science **339**, 807 (2013)



Multi-Messenger framework

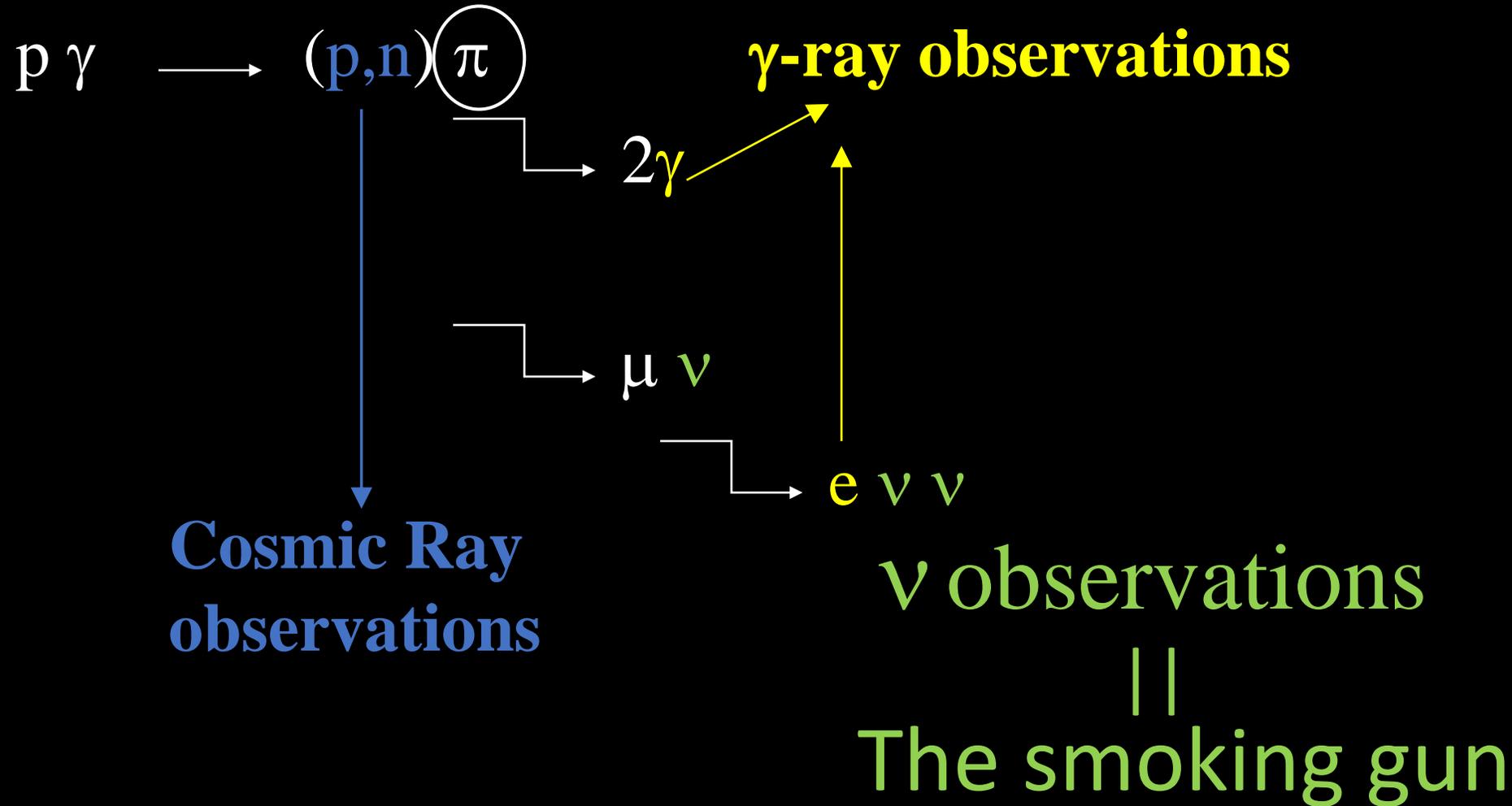


Fermi-LAT collaboration, Science **339**, 807 (2013)

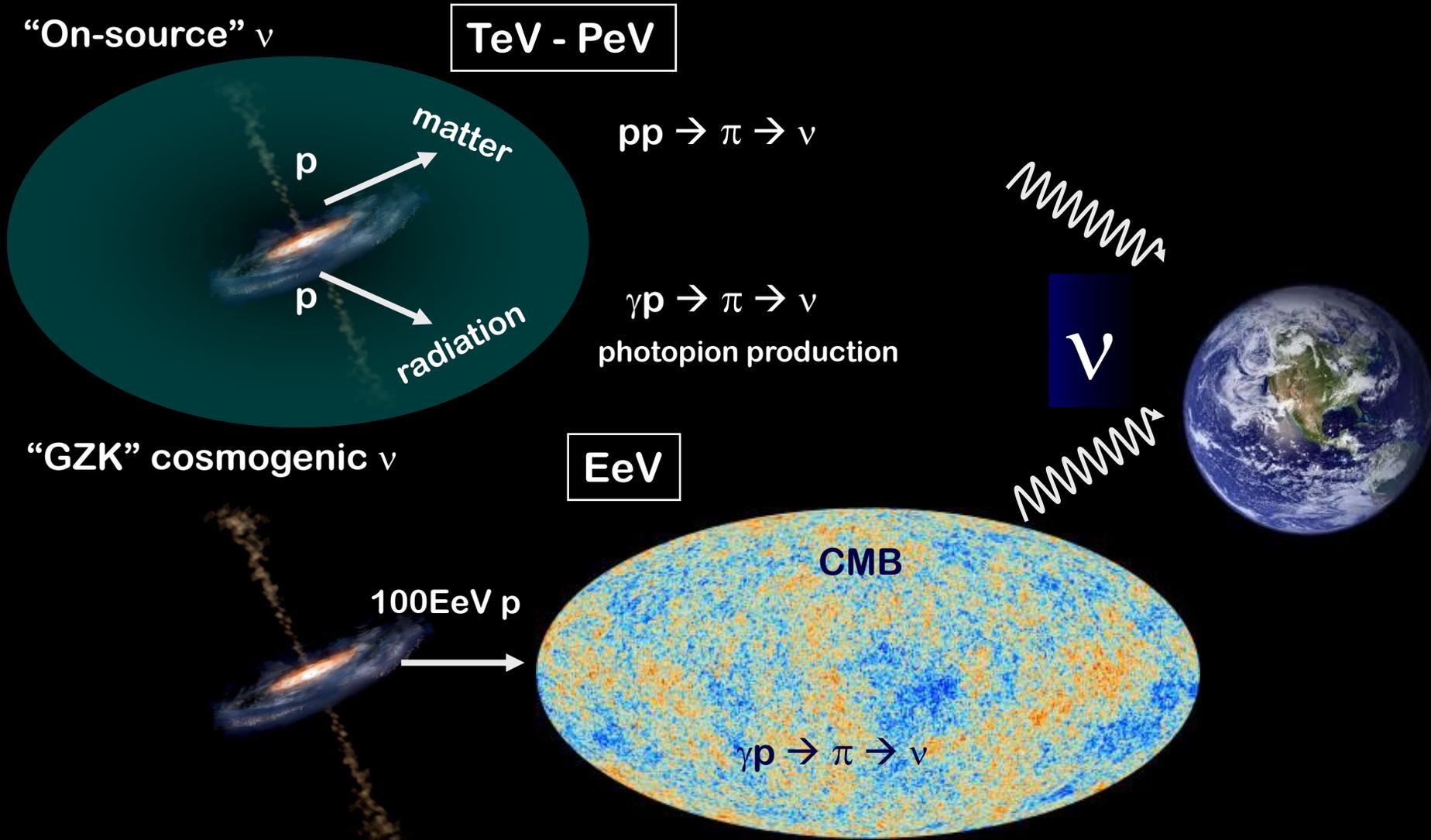


But $eZ \rightarrow e\gamma Z$ (Bremsstrahlung) could produce γ -ray
 $e\gamma \rightarrow e\gamma$ (inverse Compton)

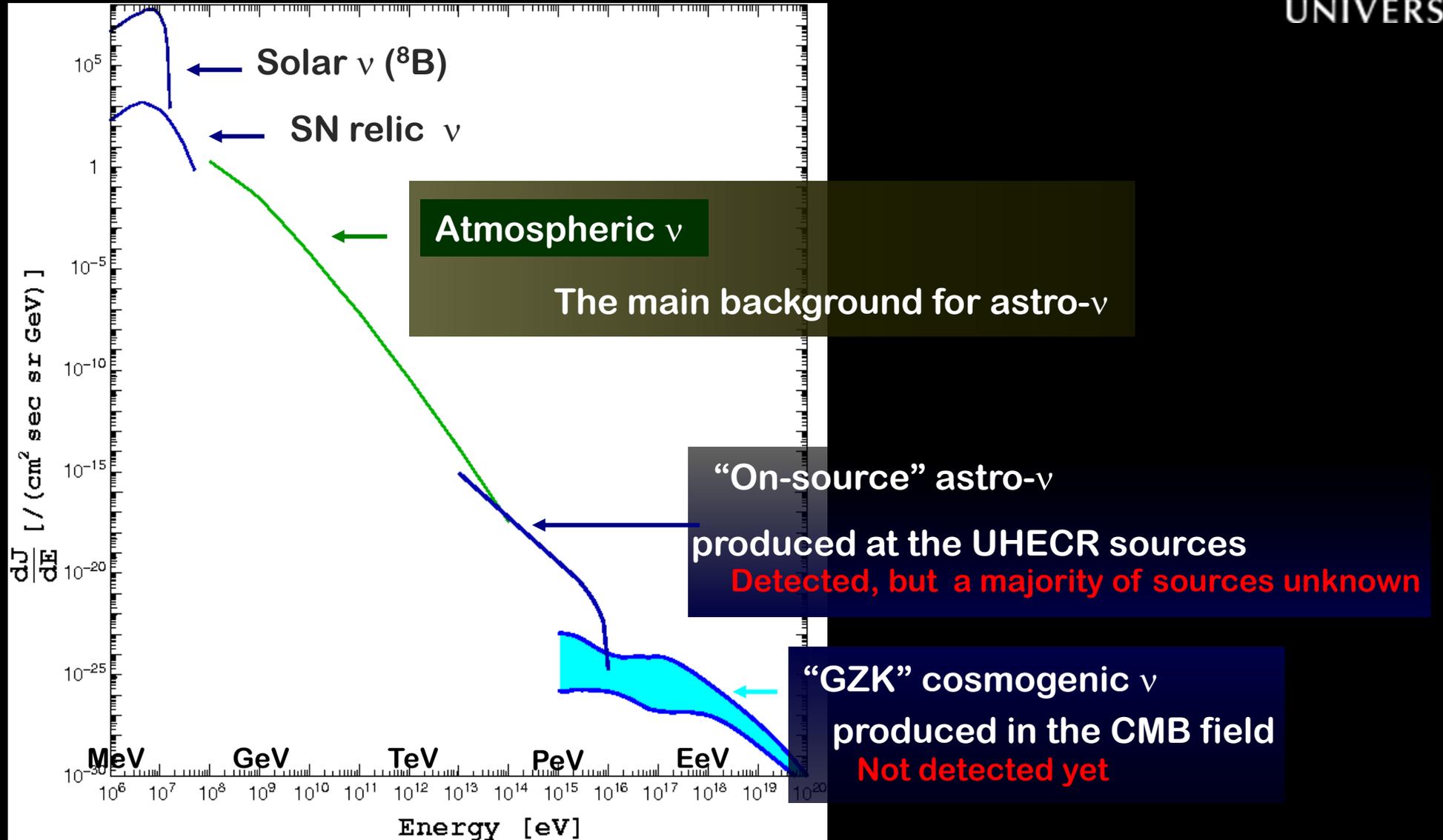
Multi-Messenger framework



The Cosmic Neutrinos Production Mechanisms

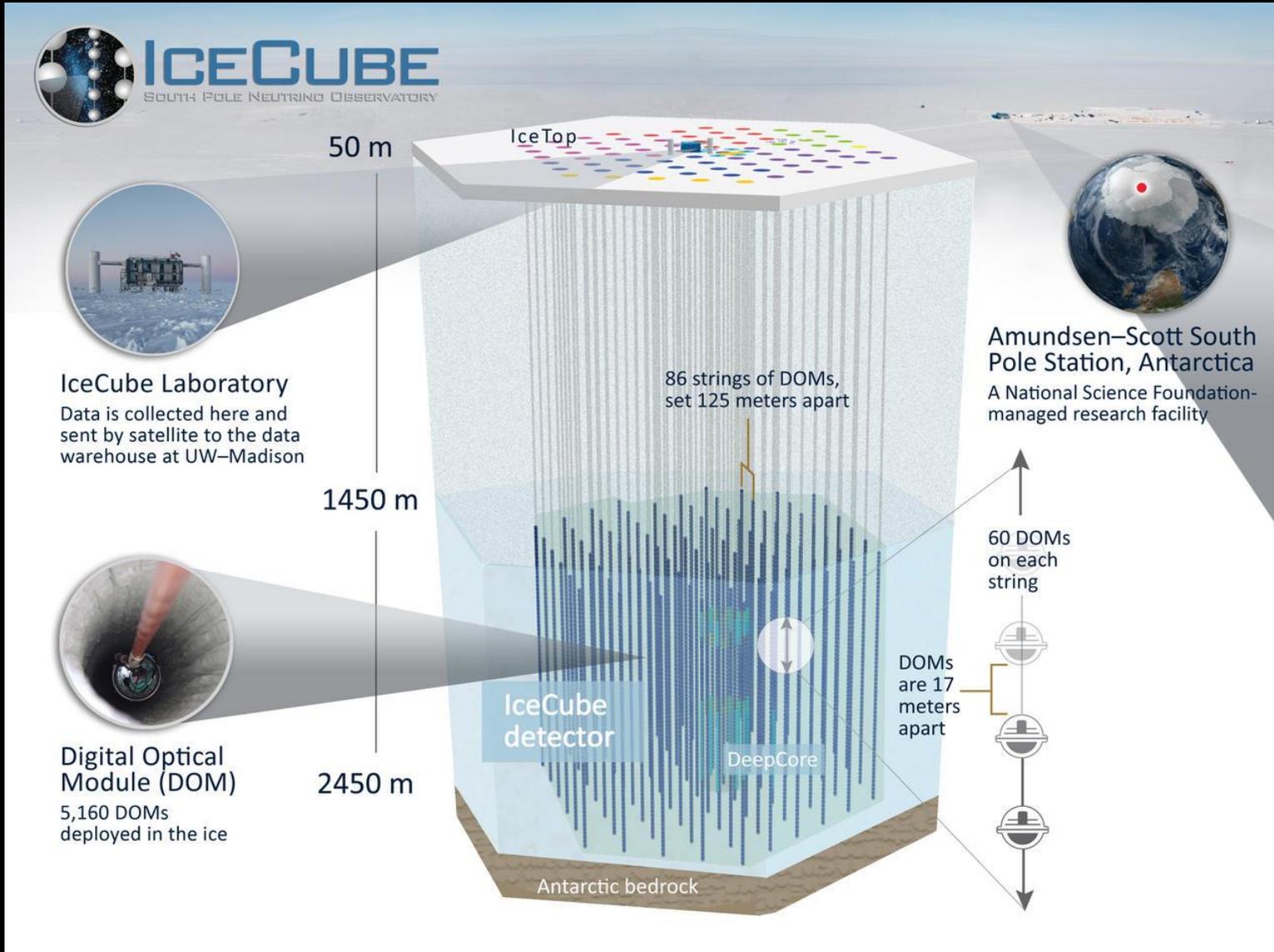


The Neutrino Flux: overview





IceCube Neutrino Observatory



 **AUSTRALIA**
University of Adelaide

 **BELGIUM**
Université libre de Bruxelles
Universiteit Gent
Vrije Universiteit Brussel

 **CANADA**
SNOLAB
University of Alberta–Edmonton

 **DENMARK**
University of Copenhagen

 **GERMANY**
Deutsches Elektronen-Synchrotron
ECAP, Universität Erlangen-Nürnberg
Humboldt-Universität zu Berlin
Ruhr-Universität Bochum
RWTH Aachen University
Technische Universität Dortmund
Technische Universität München
Universität Mainz
Universität Wuppertal
Westfälische Wilhelms-Universität
Münster

 **JAPAN**
Chiba University

 **NEW ZEALAND**
University of Canterbury

 **REPUBLIC OF KOREA**
Sungkyunkwan University

 **SWEDEN**
Stockholms Universitet
Uppsala Universitet

 **SWITZERLAND**
Université de Genève

 **UNITED KINGDOM**
University of Oxford

 **UNITED STATES**
Clark Atlanta University
Drexel University
Georgia Institute of Technology
Lawrence Berkeley National Lab
Marquette University
Massachusetts Institute of Technology
Michigan State University
Ohio State University
Pennsylvania State University
South Dakota School of Mines and
Technology

Southern University
and A&M College
Stony Brook University
University of Alabama
University of Alaska Anchorage
University of California, Berkeley
University of California, Irvine
University of Delaware
University of Kansas
University of Maryland
University of Rochester
University of Texas at Arlington

University of Wisconsin–Madison
University of Wisconsin–River Falls
Yale University

THE ICECUBE COLLABORATION

FUNDING AGENCIES

Fonds de la Recherche Scientifique (FRS-FNRS)
Fonds Wetenschappelijk Onderzoek-Vlaanderen
(FWO-Vlaanderen)

Federal Ministry of Education and Research (BMBF)
German Research Foundation (DFG)
Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)

Japan Society for the Promotion of Science (JSPS)
Knut and Alice Wallenberg Foundation
Swedish Polar Research Secretariat

The Swedish Research Council (VR)
University of Wisconsin Alumni Research Foundation (WARF)
US National Science Foundation (NSF)



icecube.wisc.edu



ICECUBE

Constructions2005-2011



CHIBA UNIVERSITY

Detectors shipped from Japan



Drill House



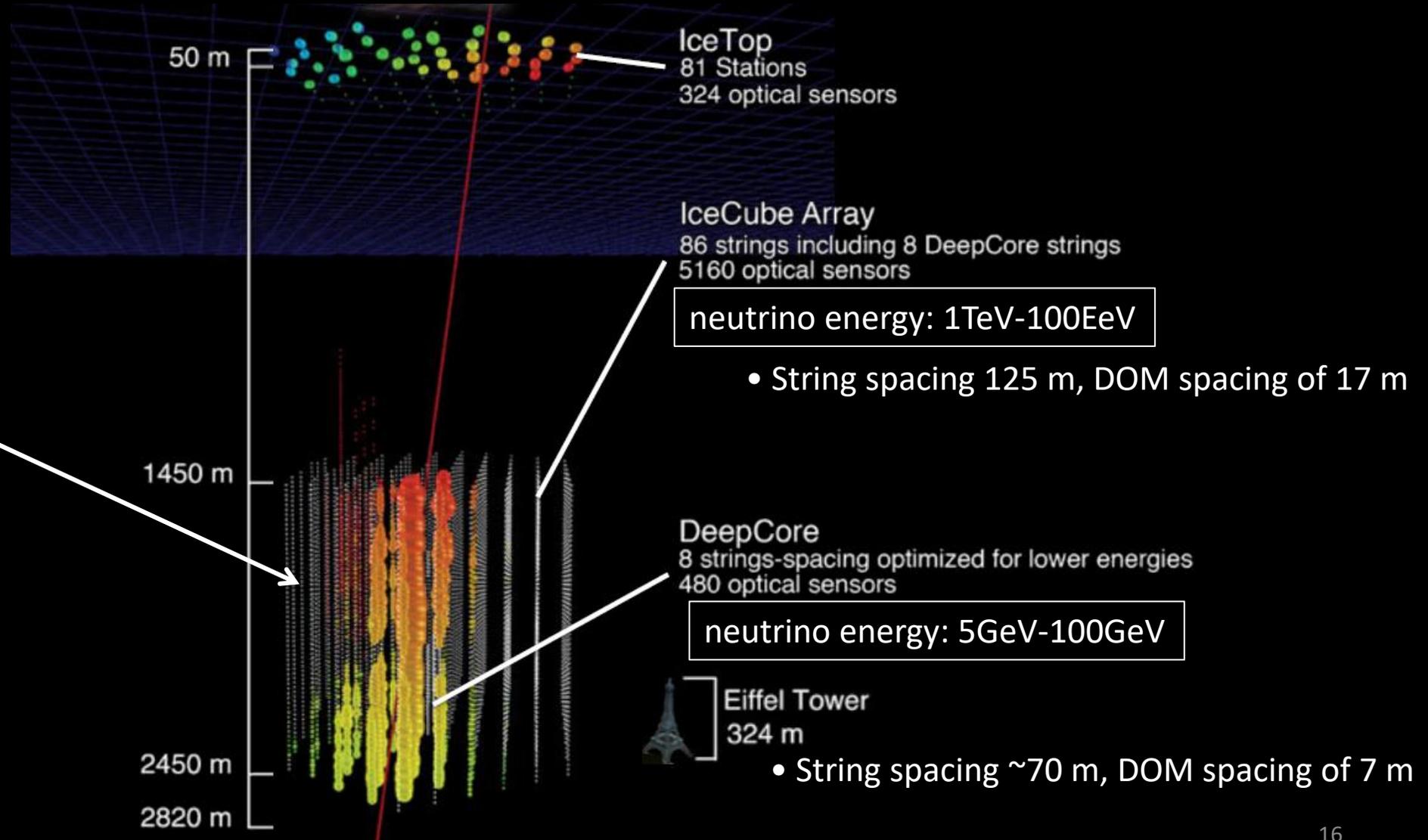
Researchers working on deployment



The IceCube Lab 「Beer Can」



The IceCube Detector

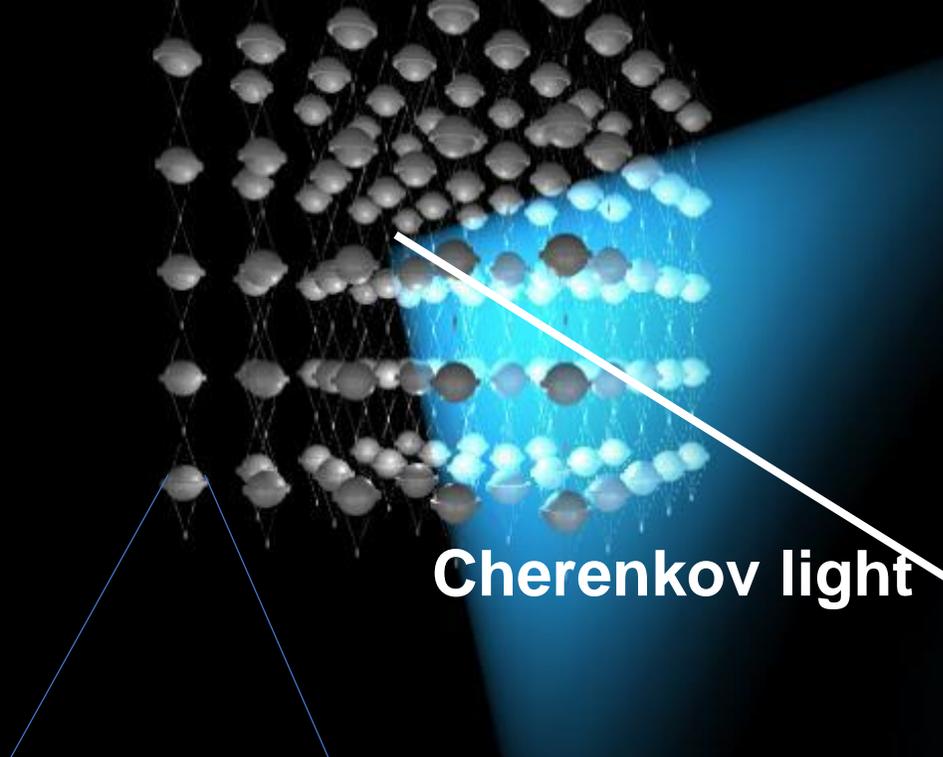
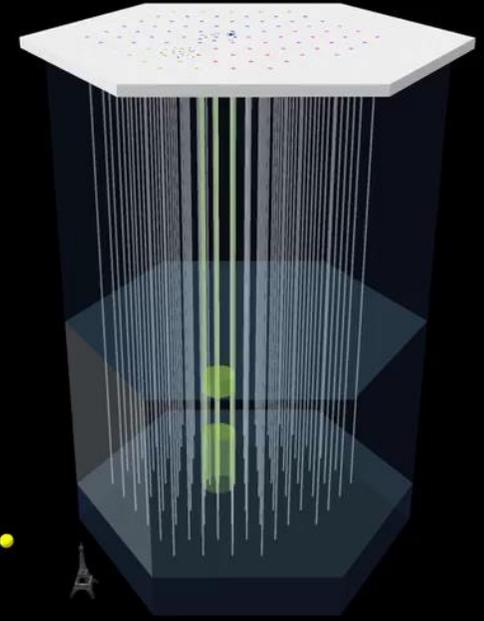




ICECUBE

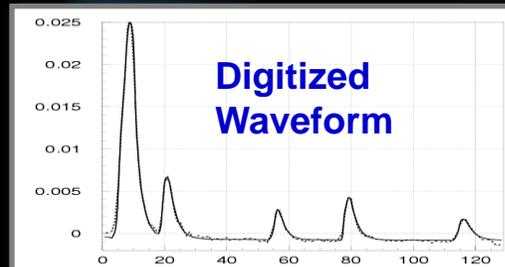
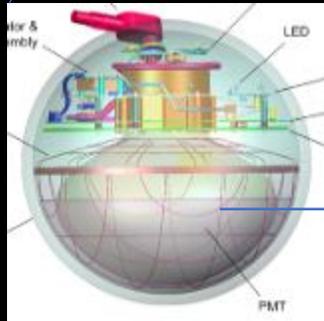
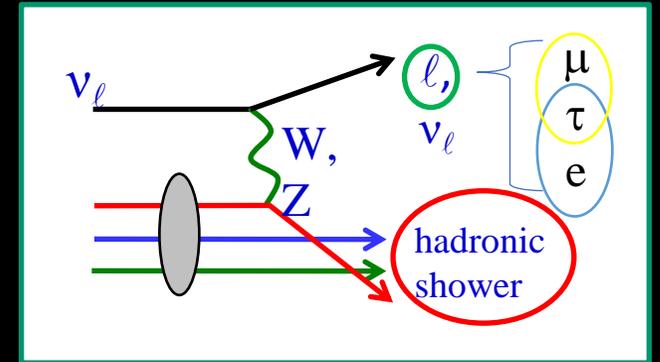
Detection Principle

An array of photomultiplier tubes + Dark and transparent material



Cherenkov light

Charged
Particles



ν

IceCube Event Topology

Track

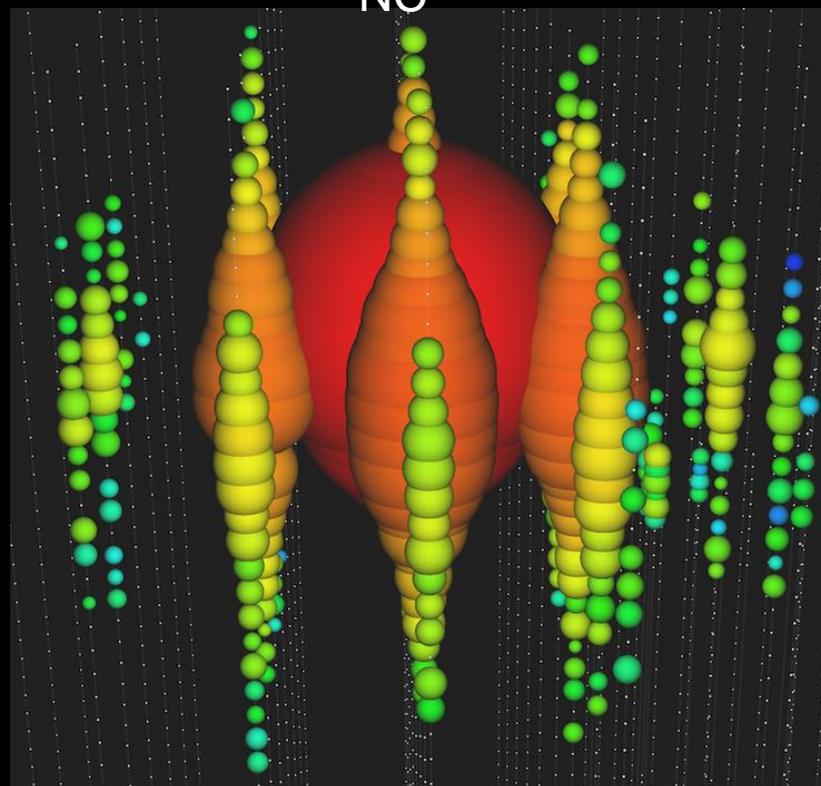
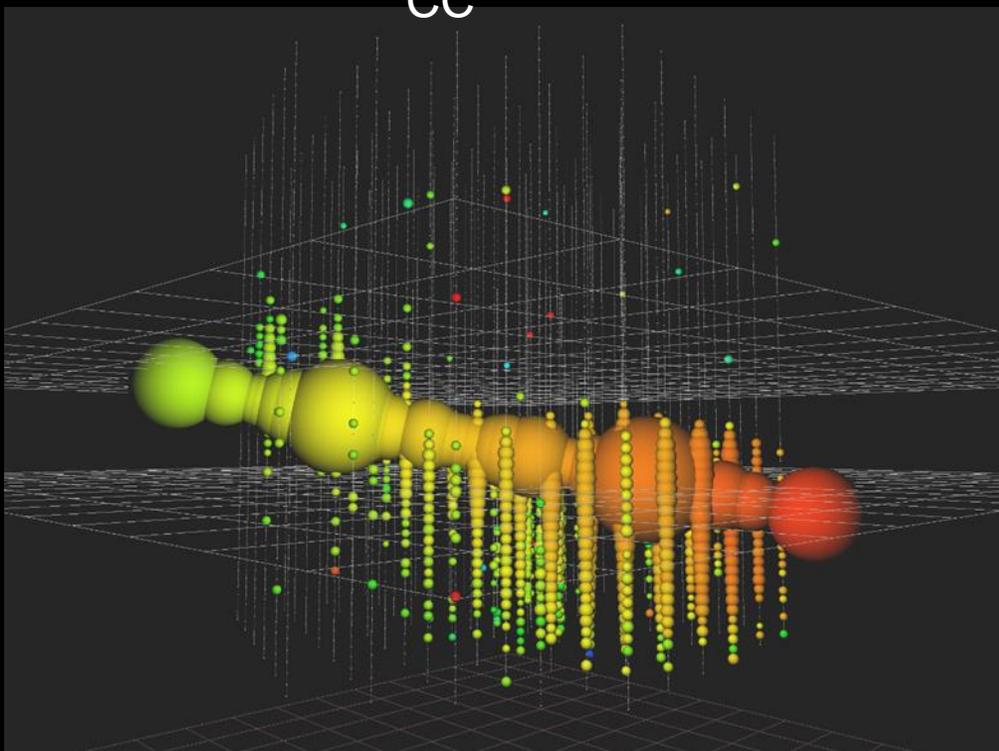
$$\nu_{\mu} \xrightarrow{CC} \mu$$

$$\nu_{\tau} \xrightarrow{CC} \tau \text{ (only at ultra-high energies)}$$

Cascade (shower)

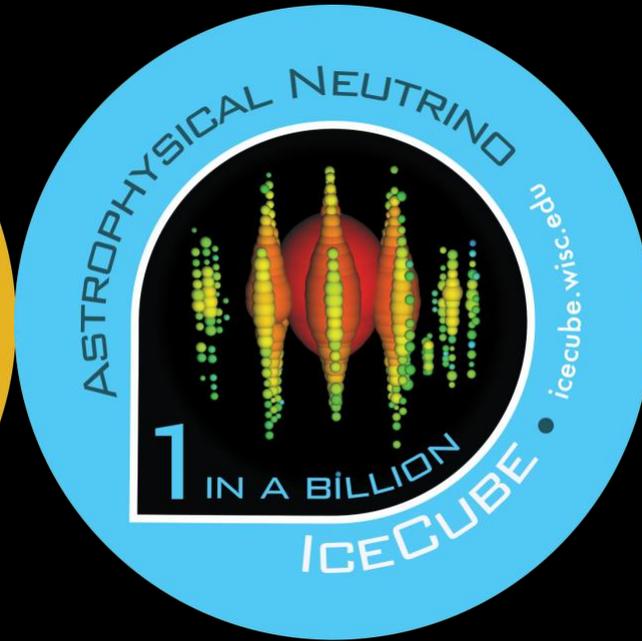
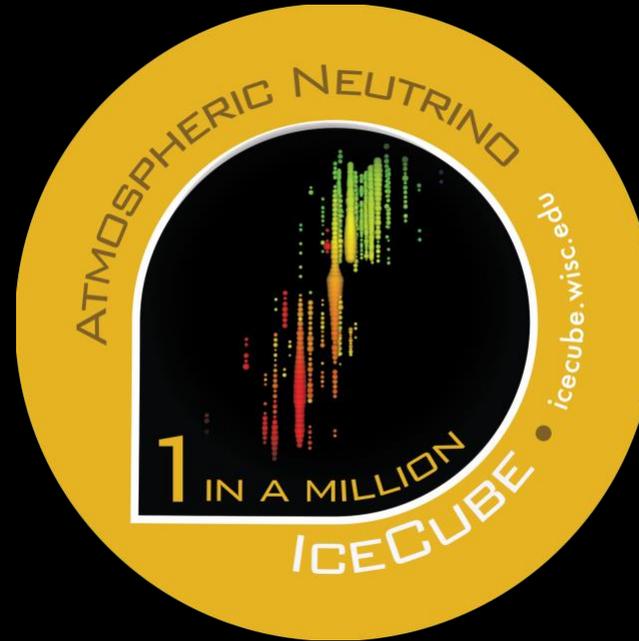
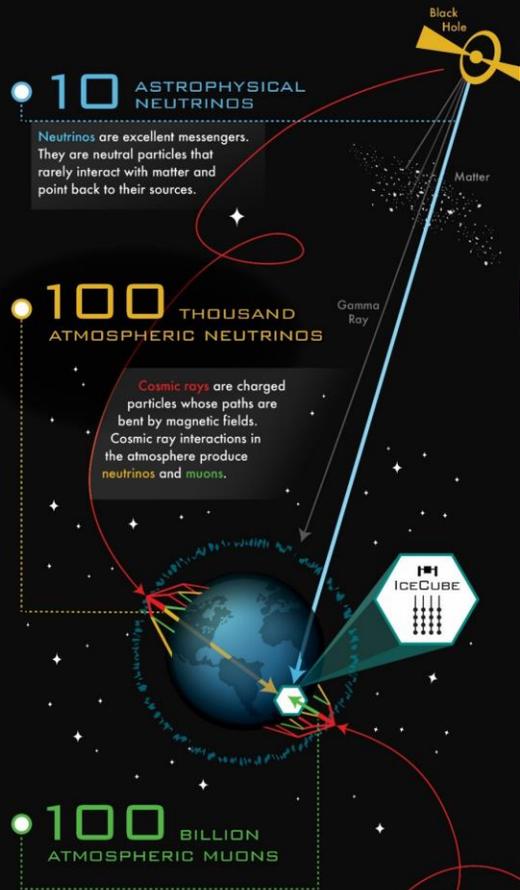
$$\nu_e \xrightarrow{CC} e + X$$

$$\nu_x \xrightarrow{NC} x + X \quad x=e, \mu, \tau$$



ν as cosmic messengers

EVERY YEAR,
ICECUBE
DETECTS ABOUT...



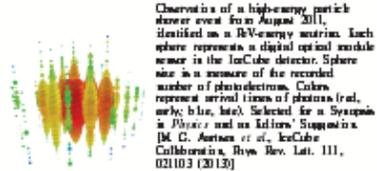
Bert & Ernie kicks off

the Discovery of Cosmic ν flux

Found by the IceCube UHE (GZK) ν searches



NEWSPAPER



Observation of a high-energy particle shower event from August 2011. Rendered as a 3D visualization. Each sphere represents a digital optical module sensor in the IceCube detector. Sphere size is a measure of the recorded number of photoelectrons. Colors represent arrival times of photons (red, orange, blue, etc.). Selected for a Synopsis in Physics and an Editors' Suggestion [M. C. Aarssen et al., IceCube Collaboration, Phys. Rev. Lett. 111, 021103 (2013)]

IceCube collaboration
Phys. Rev. Lett. 111, 081801
(2013)

PHYSICAL REVIEW LETTERS™

Contents

Articles published 6 July–12 July 2013

VOLUME 111, NUMBER 2

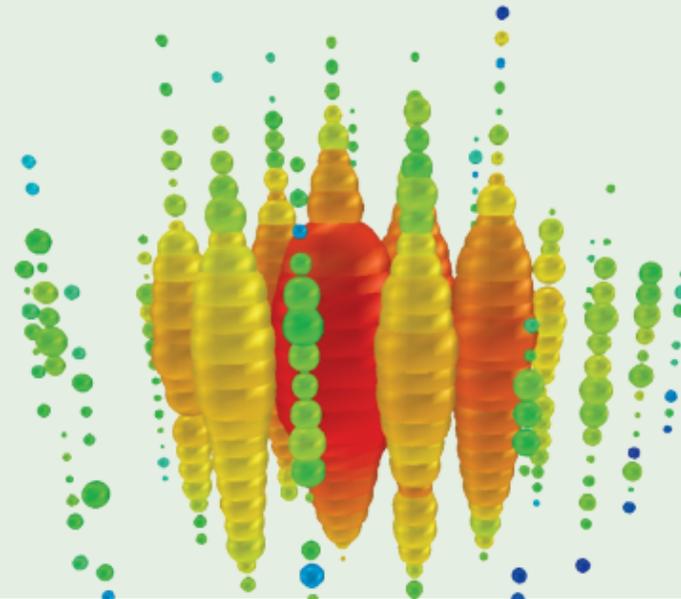
12 July 2013

General Physics: Statistical and Quantum Mechanics, Quantum Information, etc. Scalable Reconstruction of Density Matrices	020401
T. Baumgart, D. Gross, M. Cramer, and M.B. Plenio	
Particles, Holes, and Solitons: A Matrix Product State Approach	020402
Dominik Duerler, Jutho Haegeman, Tobias J. Osborne, Vid Stojovic, Ludvig Vanderstraeten, and Frank Verstraete	
Bounding Temporal Quantum Correlations	020403
Cristian Budroni, Tobias Monder, Matthias Kleinmann, and Otfried Gühne	
Quantum Teleportation of Dynamics and Effective Interactions between Remote Systems	020501
Christine A. Muschik, Klaus Hammer, Eugene S. Pokharel, and Isaac J. Cirac	
Secure Entanglement Distillation for Double-Server Blind Quantum Computation	020502
Tamotsuki Morimae and Kohei Fujii	
Faithful Solid State Optical Memory with Dynamically Decoupled Spin Wave Storage	020503
Markus Leubit, Dieter Suter, Alina Ferrer, and Philippe Goldner	
Quantum Framework for CPT Symmetry	020504
Michael Skotnikov, Boris Tokri, Ian T. Durham, and Barry C. Suter	
Nonadditivity in Quasiequilibrium States of Spin Systems with Lattice Disorder	020601
Takashi Mori	
Gravitation and Astrophysics	
Observables of a Test Mass along an Inclined Orbit in a Post-Newtonian-Approximated Kerr Spacetime Including the Linear and Quadratic Spin Terms	021101
Steffen Hergt, Abhay Shah, and Gerhard Schiffrer	
Three-Dimensional Model of Cosmic-Ray Lepton Propagation Reproduces Data from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station	021102
Daniela Gagliardi, Luca Maccione, Giuseppe Di Bernardo, Carmelo Evoli, and Dario Grassano	
First Observation of PeV-Energy Neutrinos with IceCube	021103
M.G. Aarssen et al. (IceCube Collaboration)	
Limits on Spin-Dependent WIMP-Nucleon Cross Sections from 225 Live Days of XENON100 Data	021301
E. Aprile et al. (XENON100 Collaboration)	
Effective Field Theory Approach to Gravitationally Induced Deceleration	021302
M.P. Bleasby	

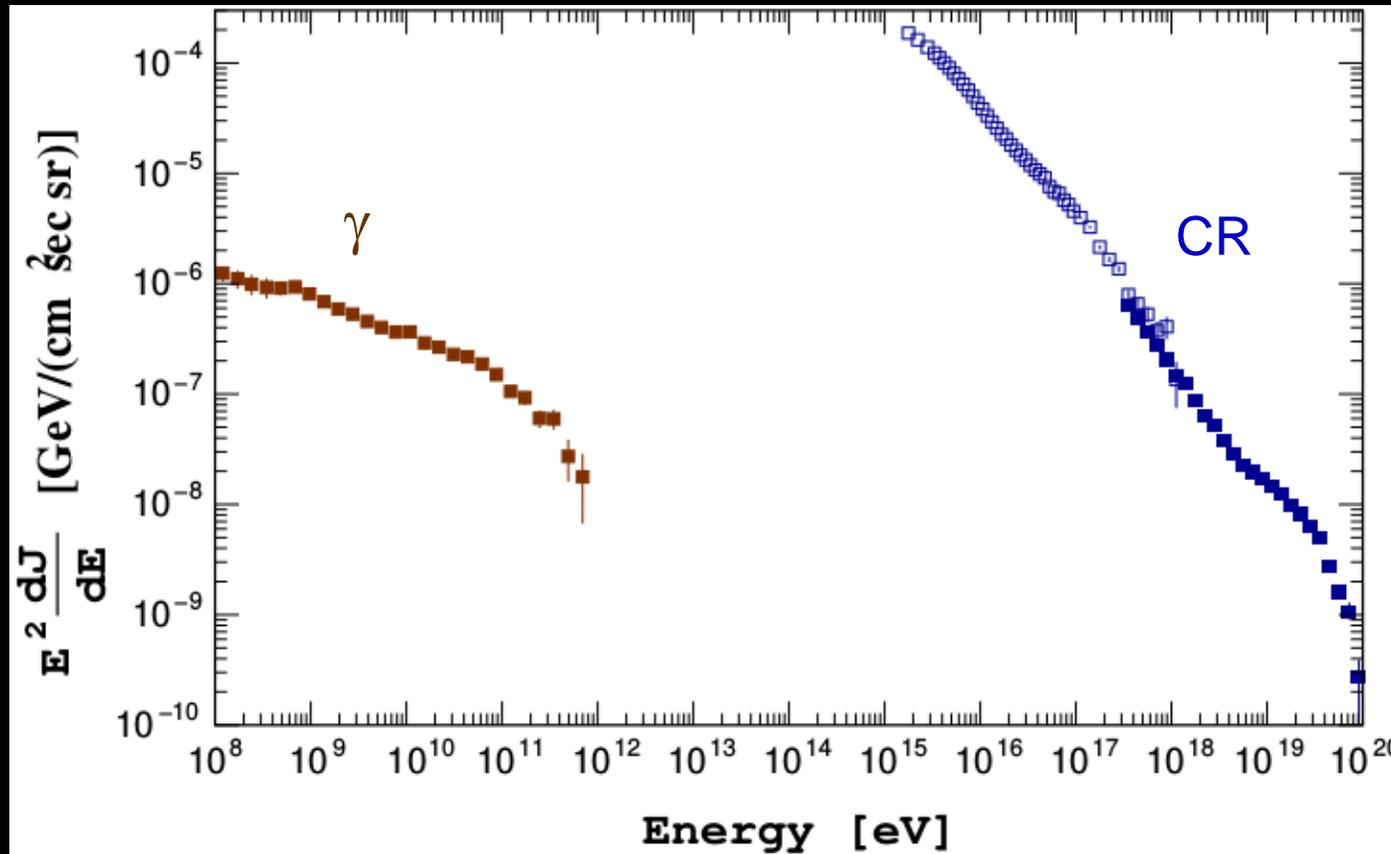
PHYSICAL
REVIEW
LETTERS™

Articles published week ending 12 JULY 2013

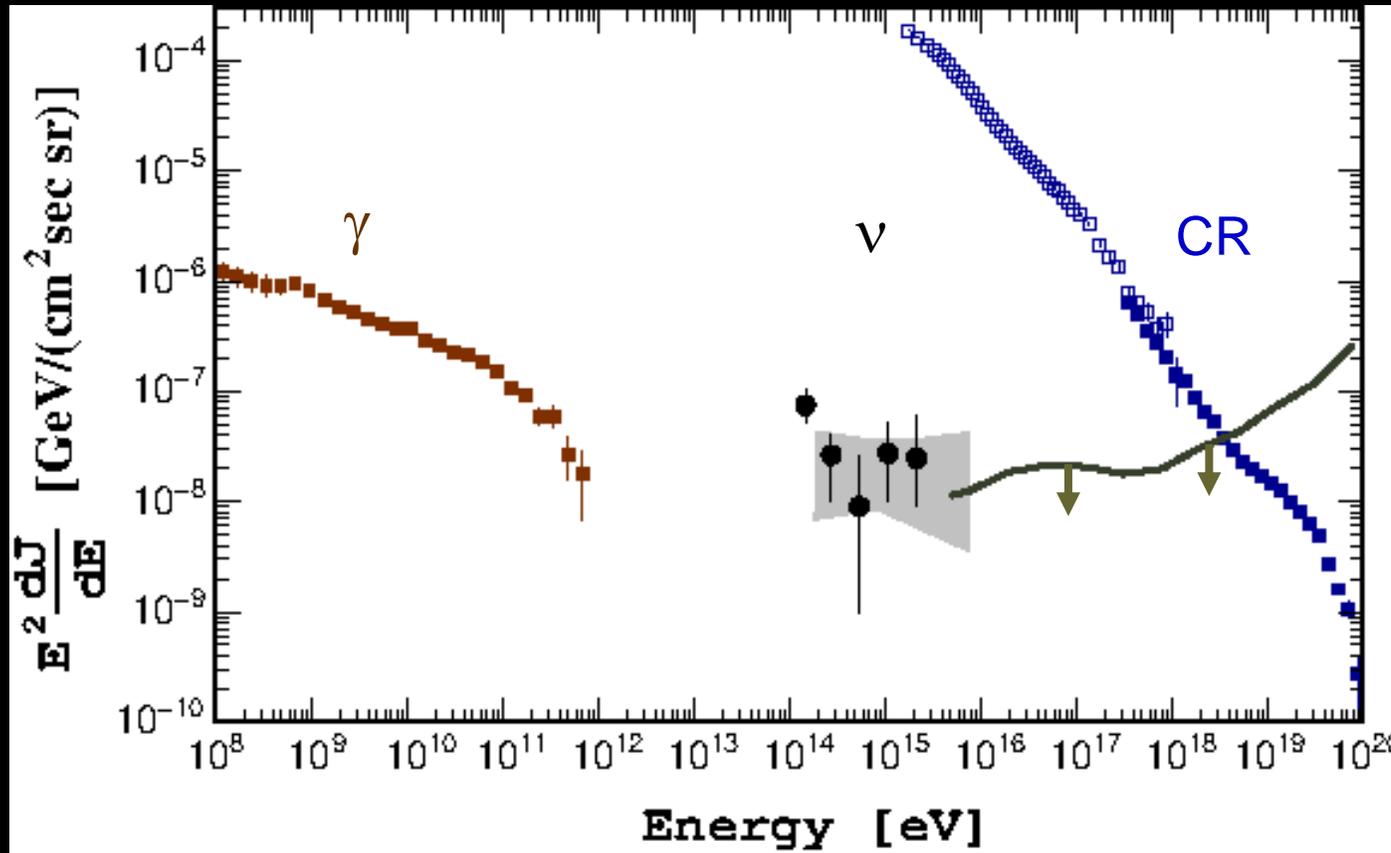
PRL 111 (2), 020401–020902, 12 July 2013 (416 total pages)



Our data today

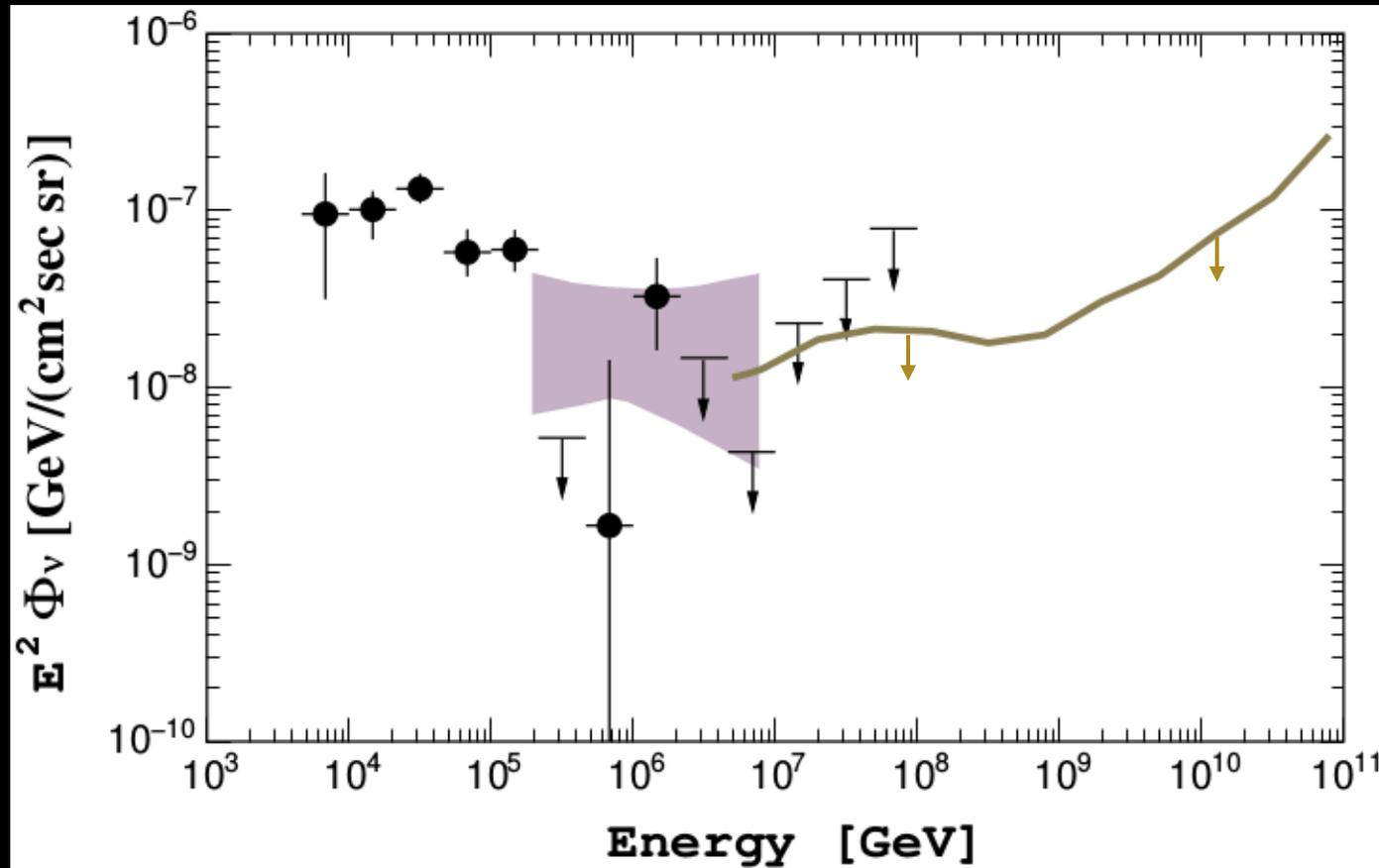


Our data today



Our data today

A closer look – TeV-EeV range





TeV PeV EeV



Our data today

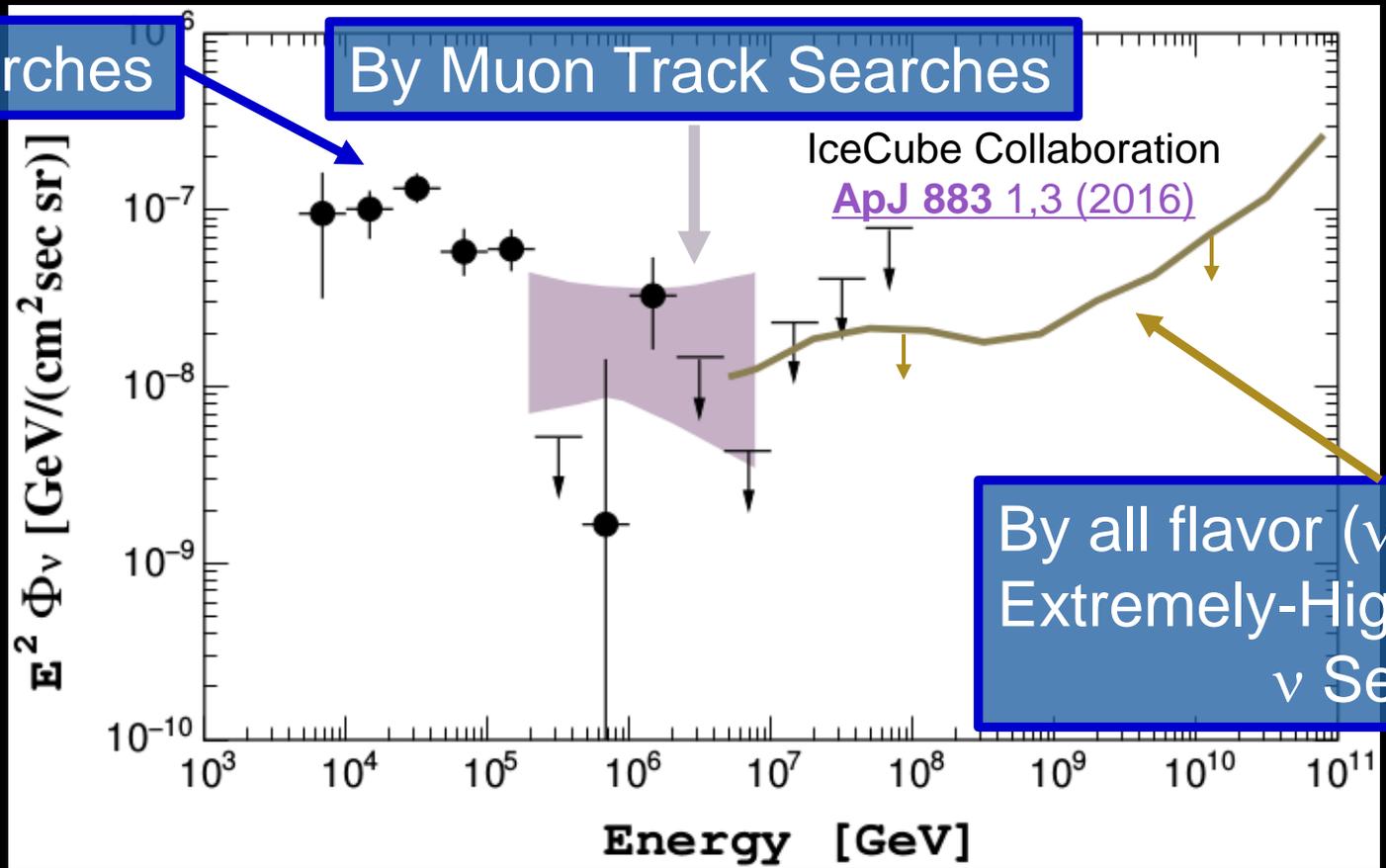
A closer look – TeV-EeV range

By Cascade Searches

IceCube Collaboration
[PRL 125 121104 \(2020\)](#)

By Muon Track Searches

IceCube Collaboration
[ApJ 883 1,3 \(2016\)](#)

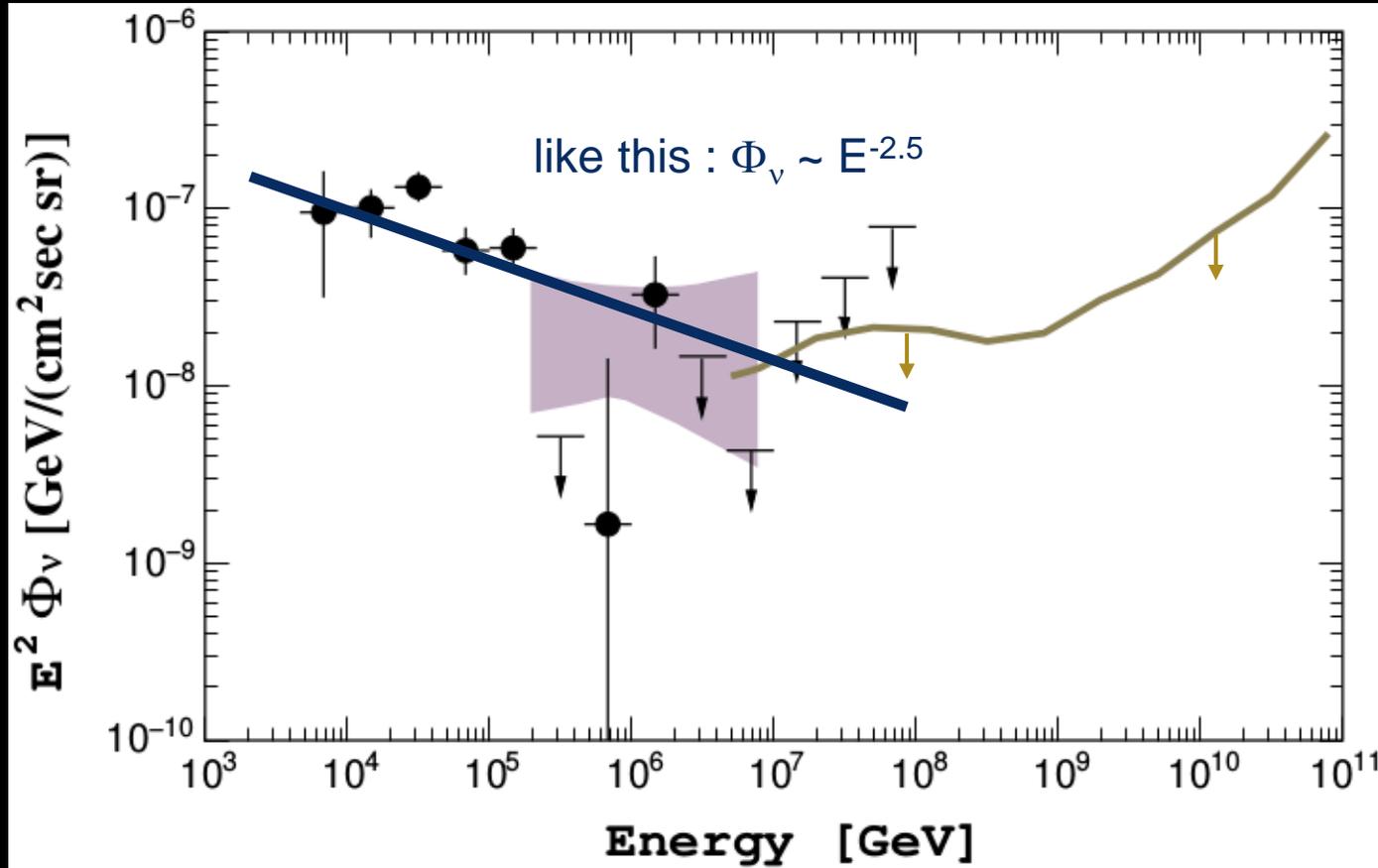


By all flavor (ν_e, ν_μ, ν_τ) sensitive
Extremely-High Energy (EHE)
 ν Searches

IceCube Collaboration
[PRL 117 241101 \(2016\)](#)
[PRD 98 062003 \(2018\)](#)

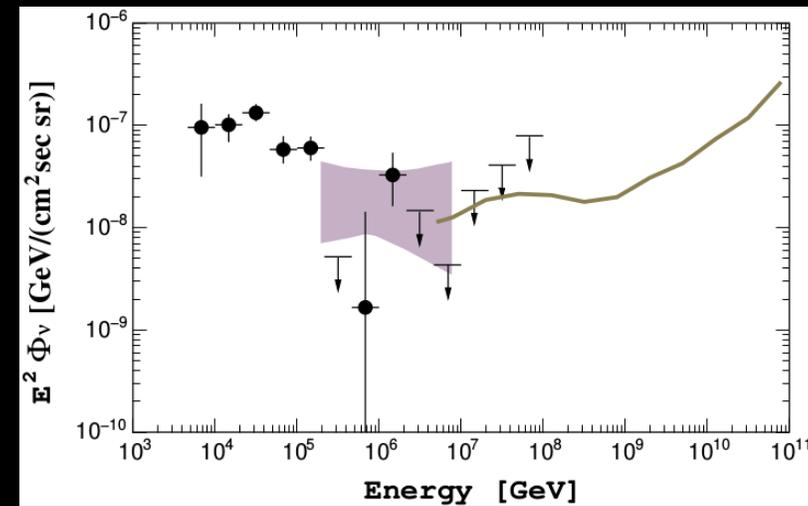
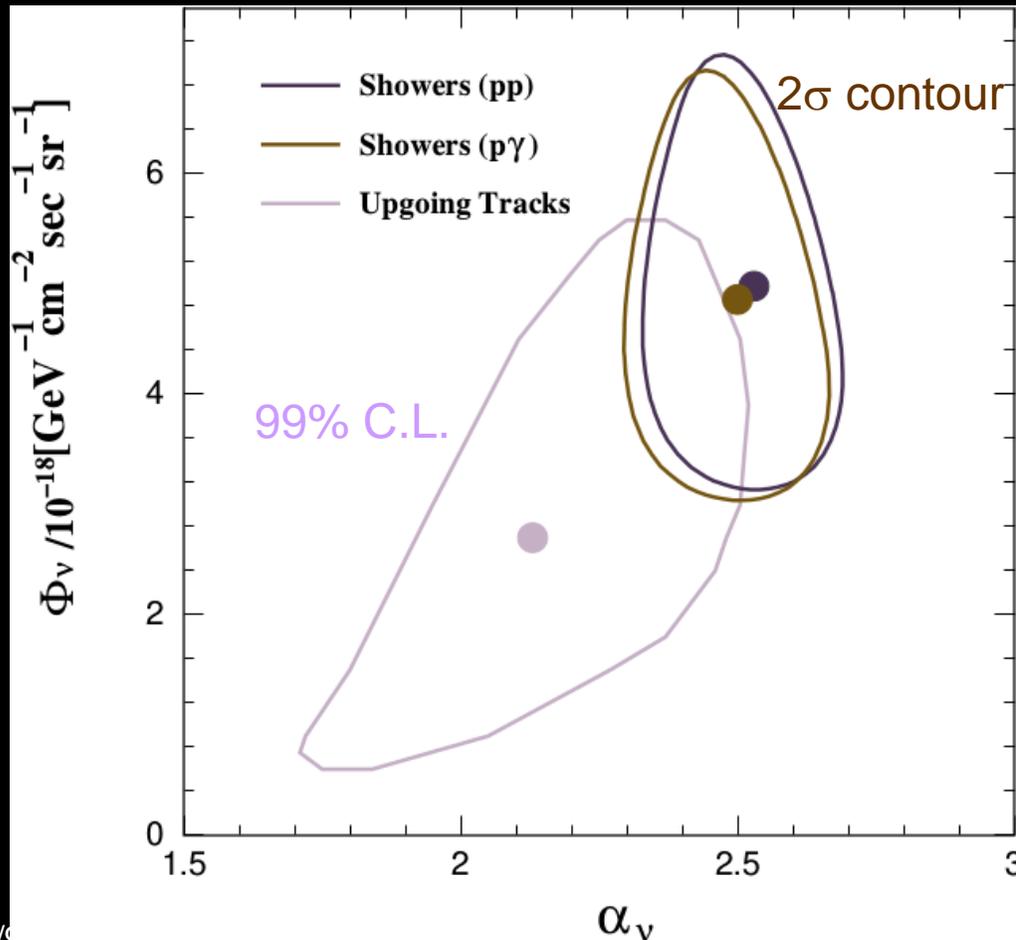
Our data today

This spectrum is consistent with a single component?

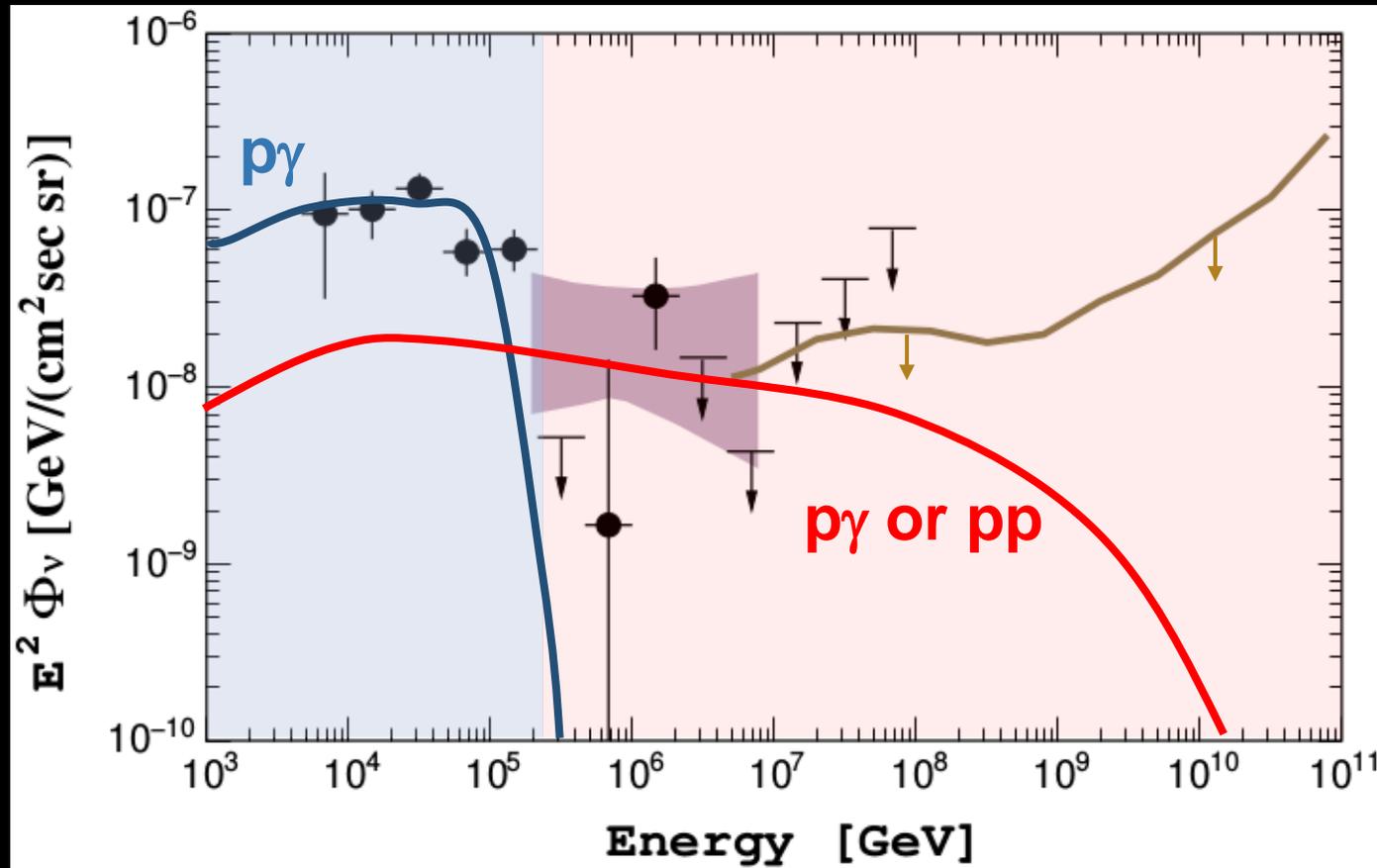


Spectral fit : a weak tension but inconclusive

$$\Phi_{\nu} \sim \left(\frac{E}{100 \text{ TeV}} \right)^{-\alpha_{\nu}}$$



Speculation : Two components?



Two component scenario : an example

Medium Energy (\sim TeV) $p\gamma$ in AGN disk-corona

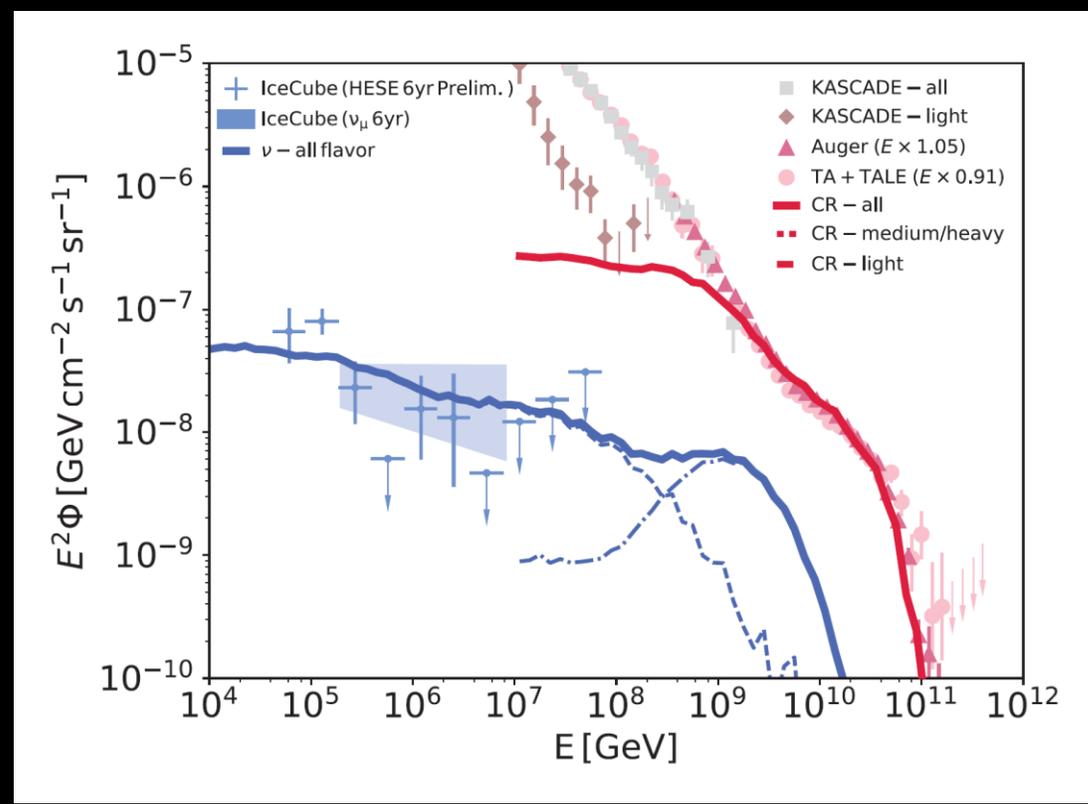
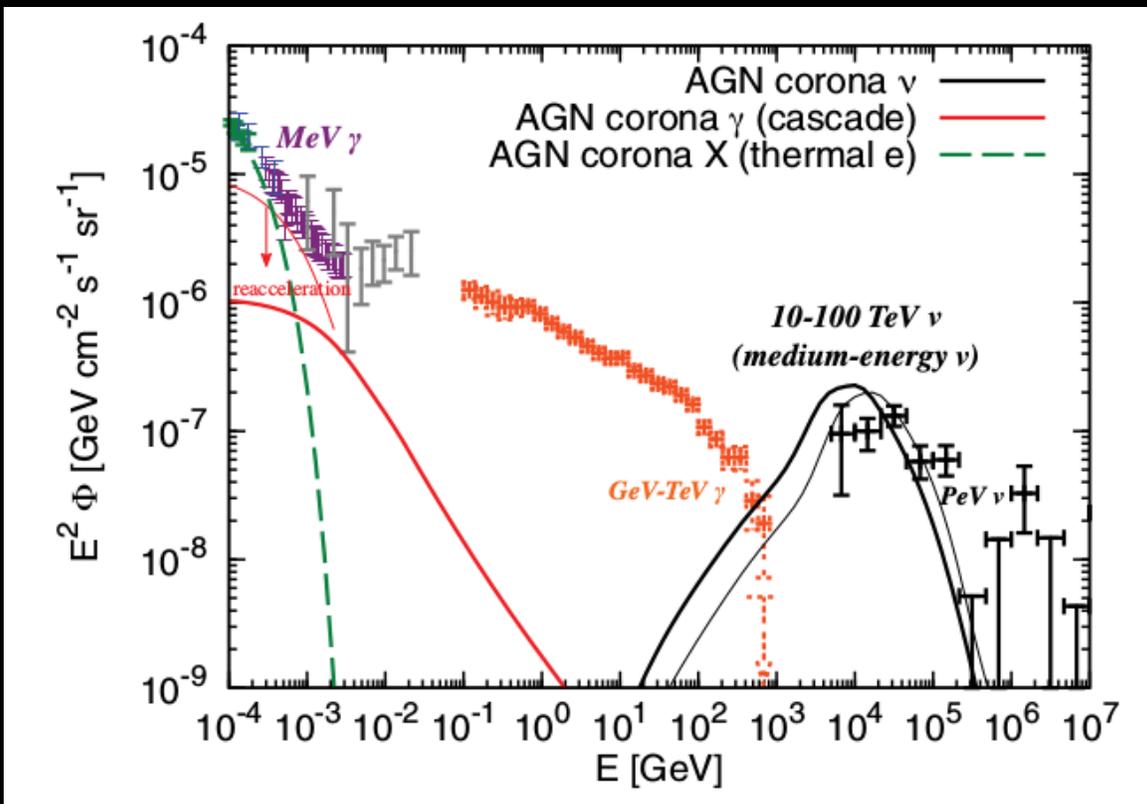
Murase, Kimura, & Meazaros

[PRL 125 01101 \(2020\)](#)

High Energy (10TeV-PeV) pp in clusters of galaxies

Fang & Murase

[Nature Physics 14 196-198 \(2018\)](#)

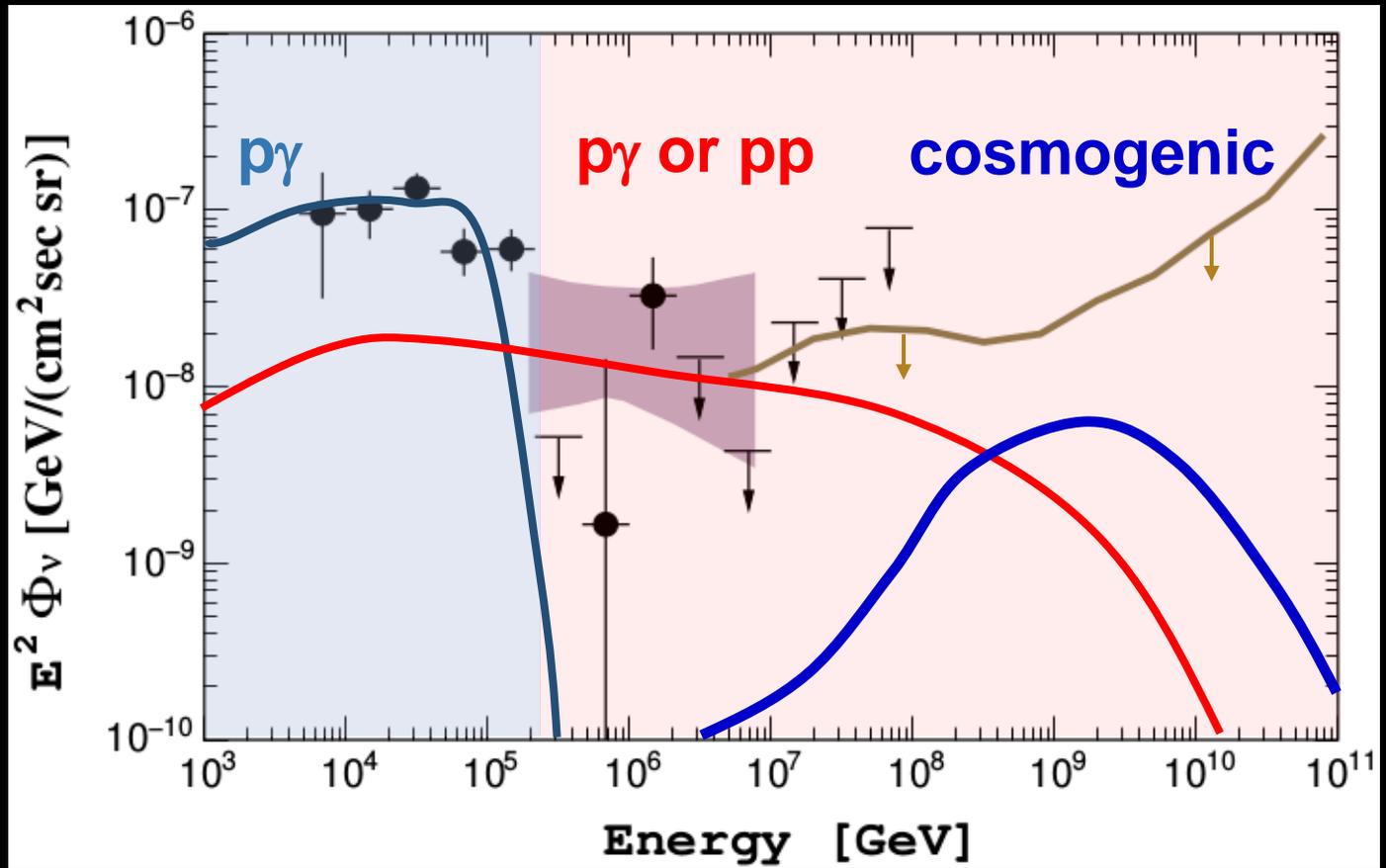




TeV PeV EeV



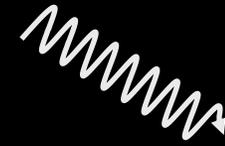
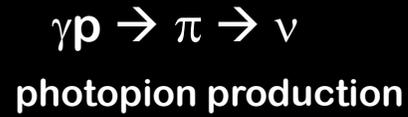
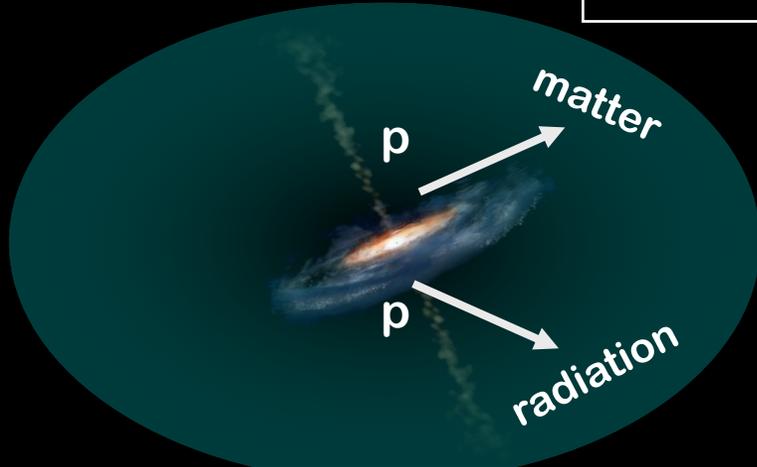
Speculation : ~~Two~~ components? Three



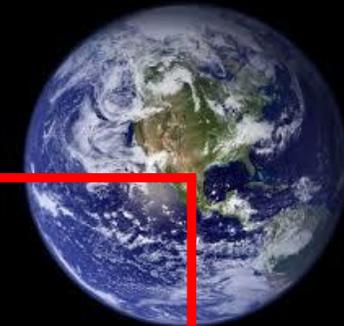
The Cosmic Neutrinos Production Mechanisms

“On-source” ν

TeV - PeV

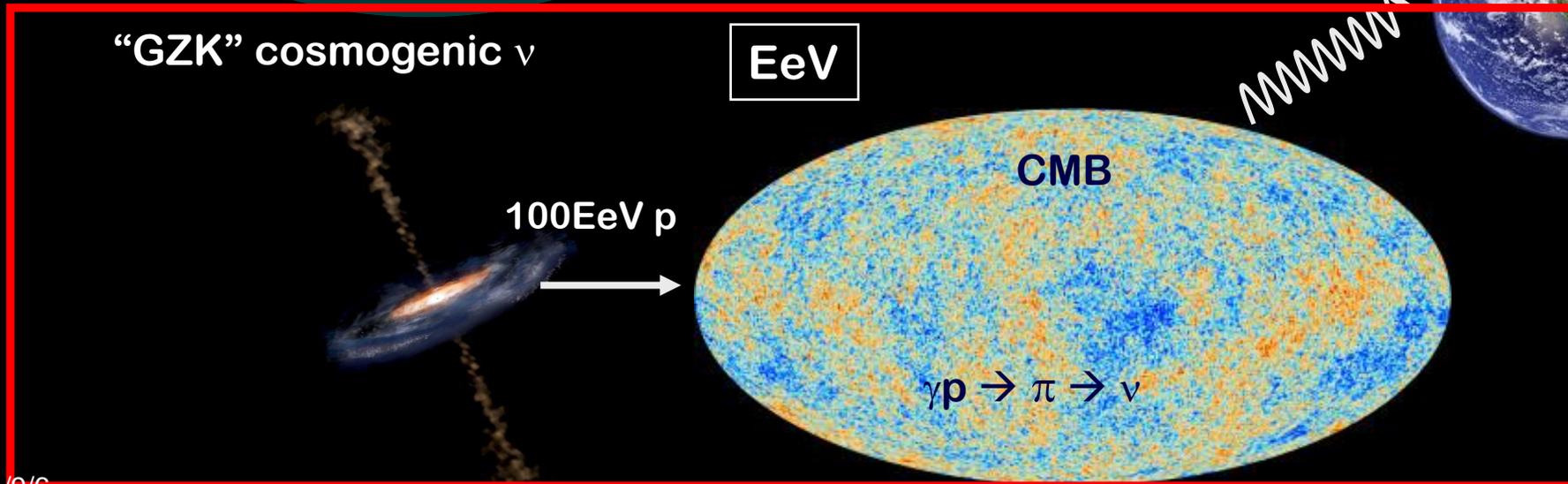


ν



“GZK” cosmogenic ν

EeV



TeV

PeV

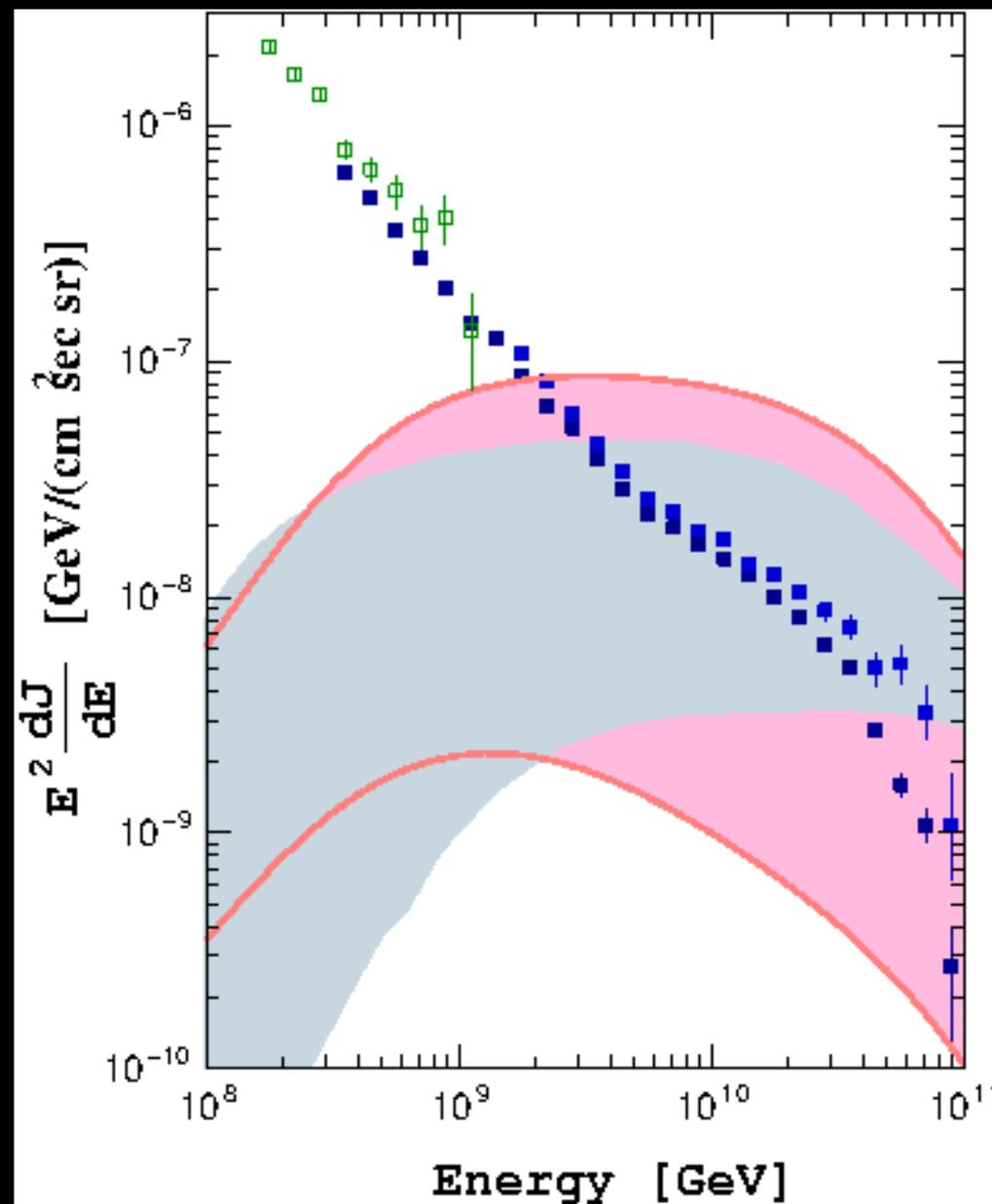
EeV

CHIBA
UNIVERSITY

Cosmogenic ν intensity range

Yoshida & Teshima [PTP 89 833 \(1993\)](#)

Ahlers et al [APP 36 106 \(2010\)](#)





TeV PeV EeV

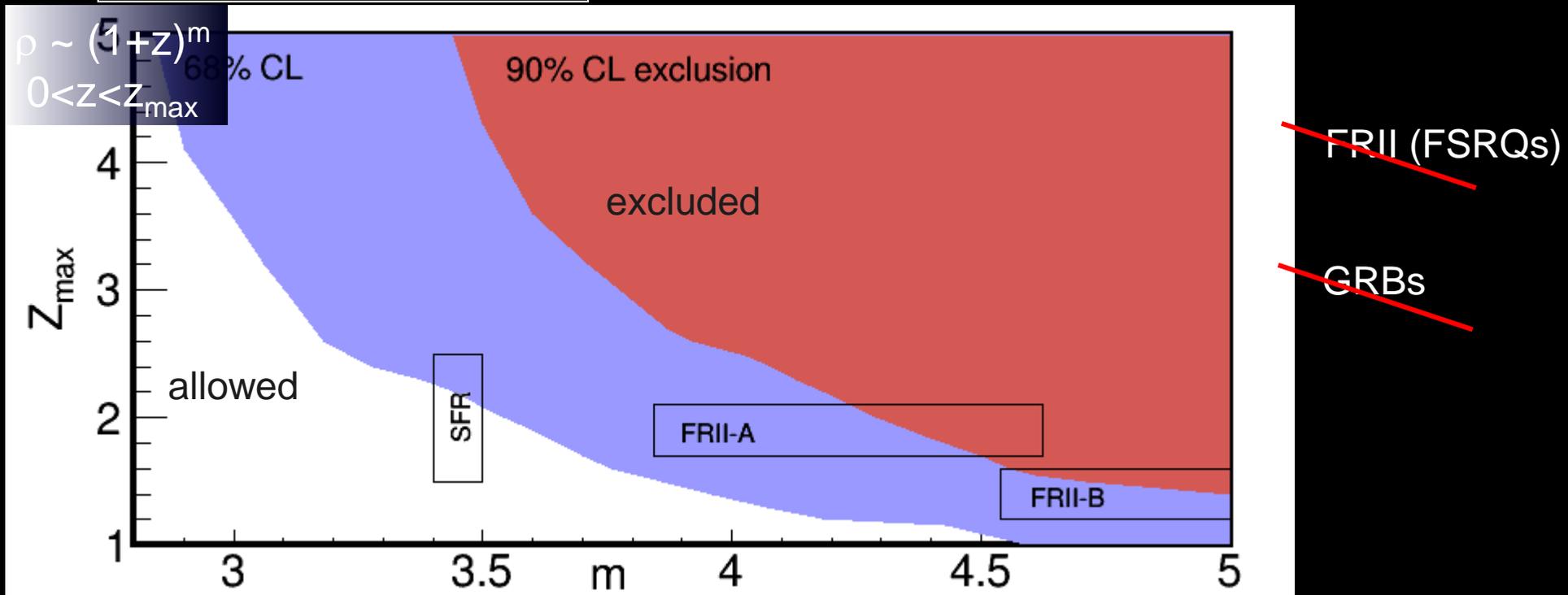


The Constraints on evolution (emission history) of UHE cosmic ray sources

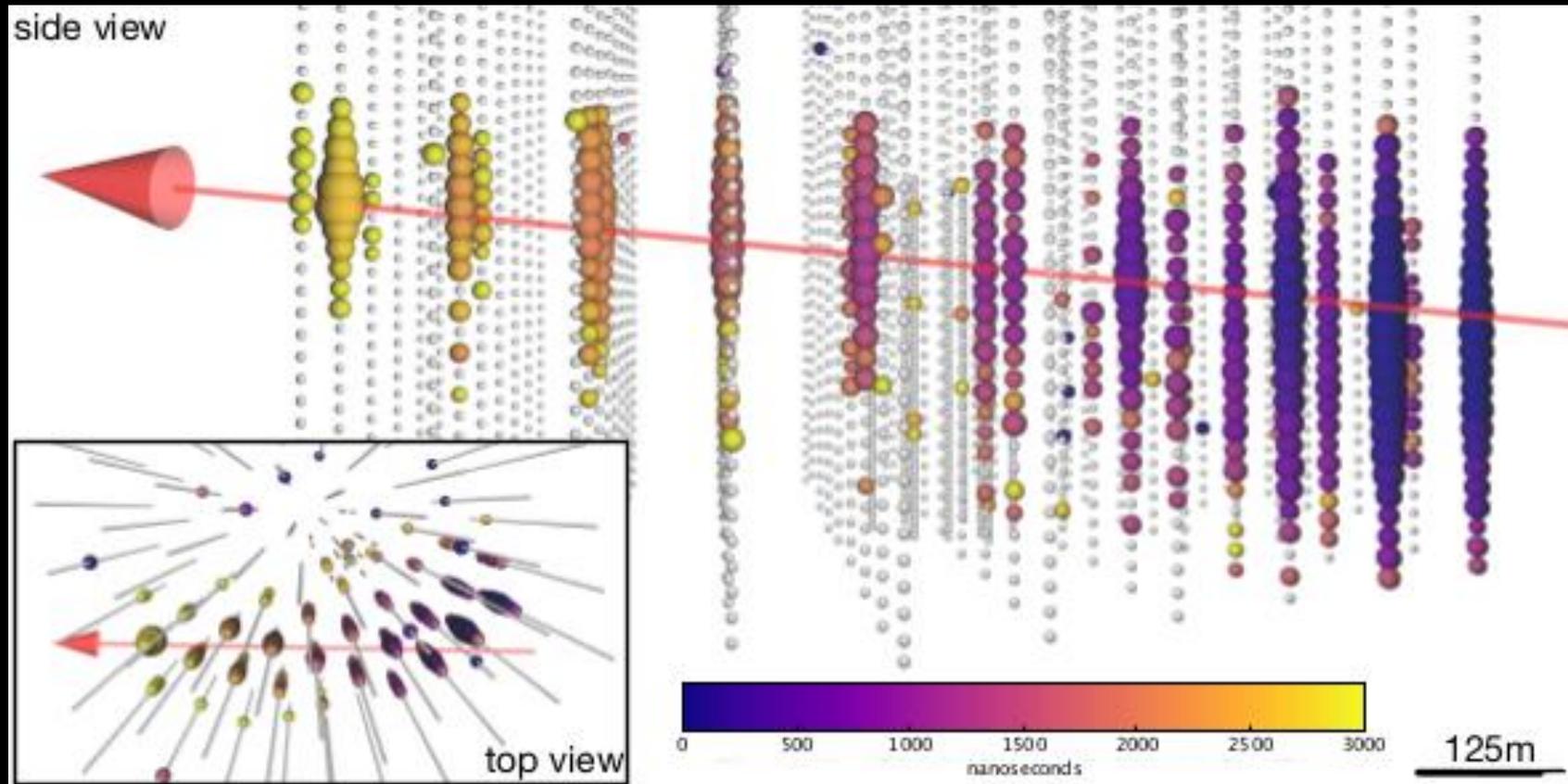
IceCube Collaboration
Phys.Rev.Lett.117 241101(2016) erratum 119 259902 (2017)

UHECR source is cosmologically **LESS evolved**

Any sources with evolution compatible or stronger than star formation rate are disfavored



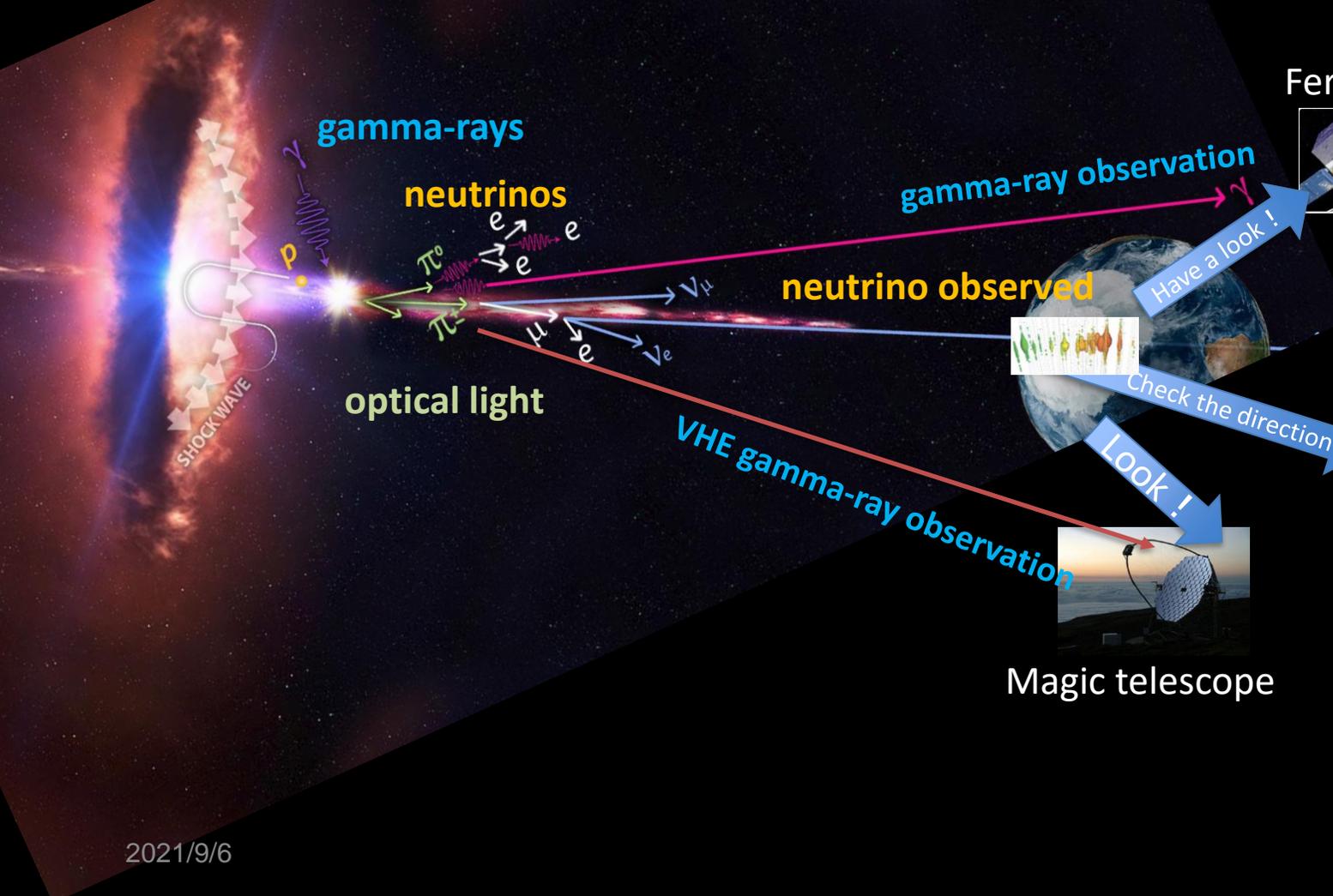
IceCube 170922A





IceCube-170922A event

- 2017/9/22 20:54:30.43 UTC
- 5th and the most cosmic neutrino signal like EHE alert
- automated alert was distributed to observers just 43 seconds later



Fermi Telescope



Optical telescopes



Kanata telescope

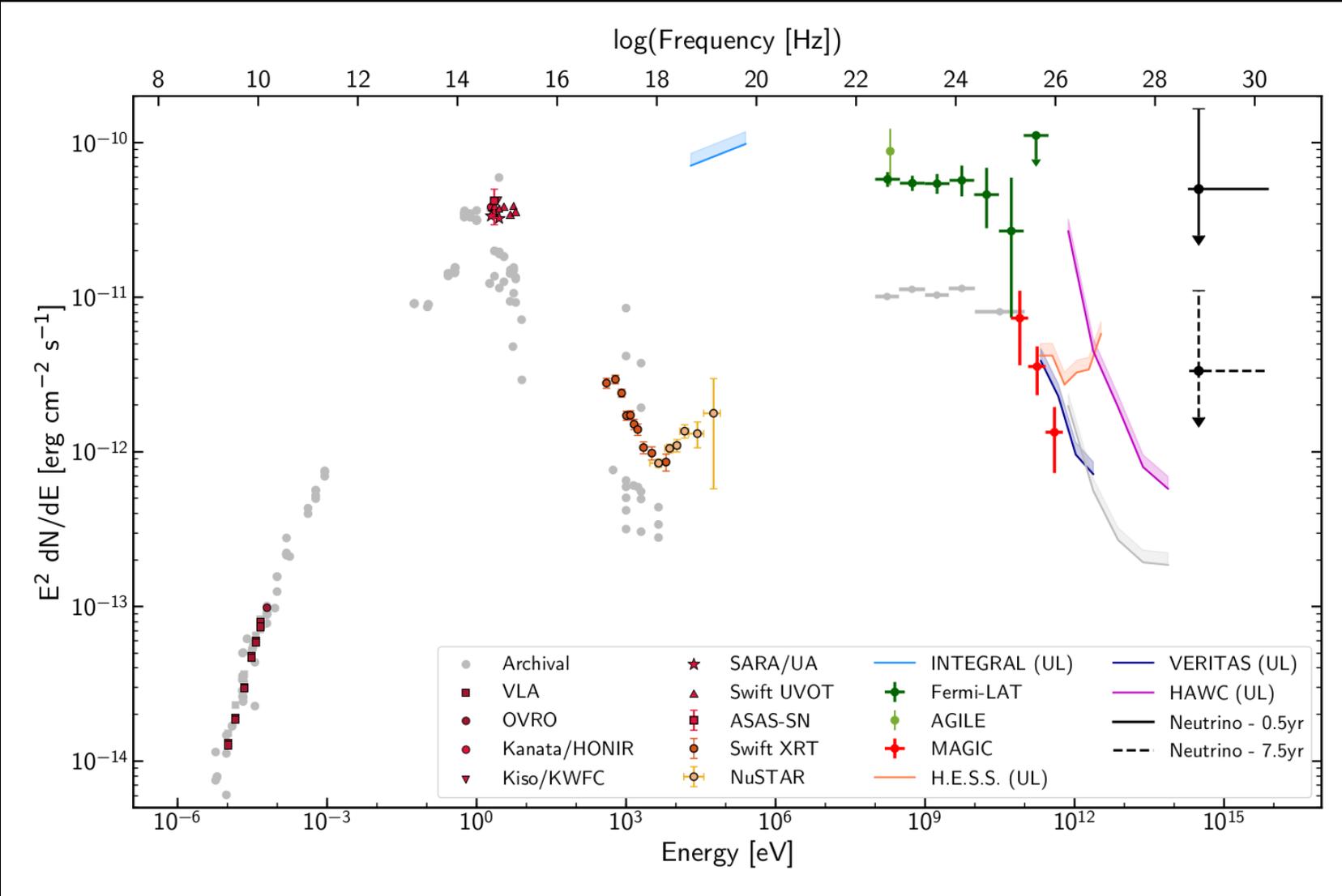
...and many more telescope





Spectral Energy Distribution

radio optical x-ray γ -ray ν



TeV

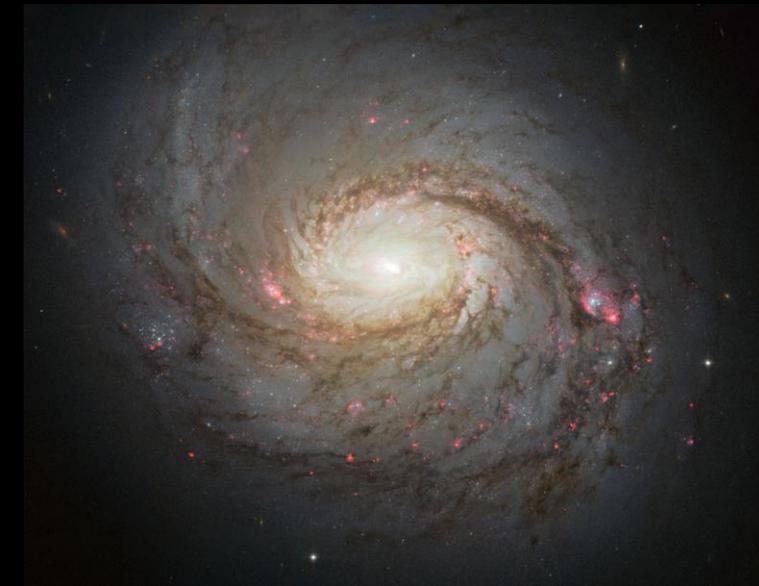
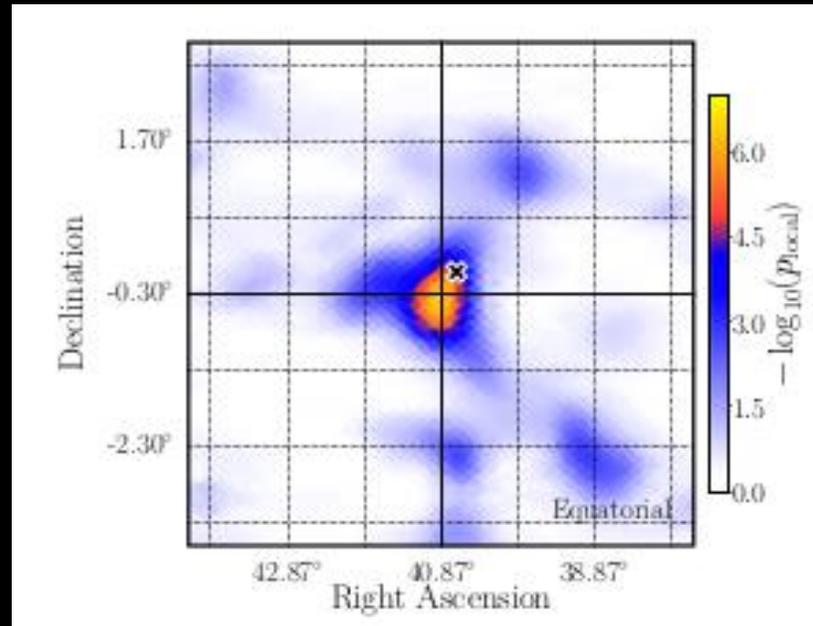
PeV

EeV

TeV ν sky

Yet another ν
source
candidate
Seyfert II
Galaxy
NGC 1068

3σ (post-trial) excess in TeV range with 10 years of data

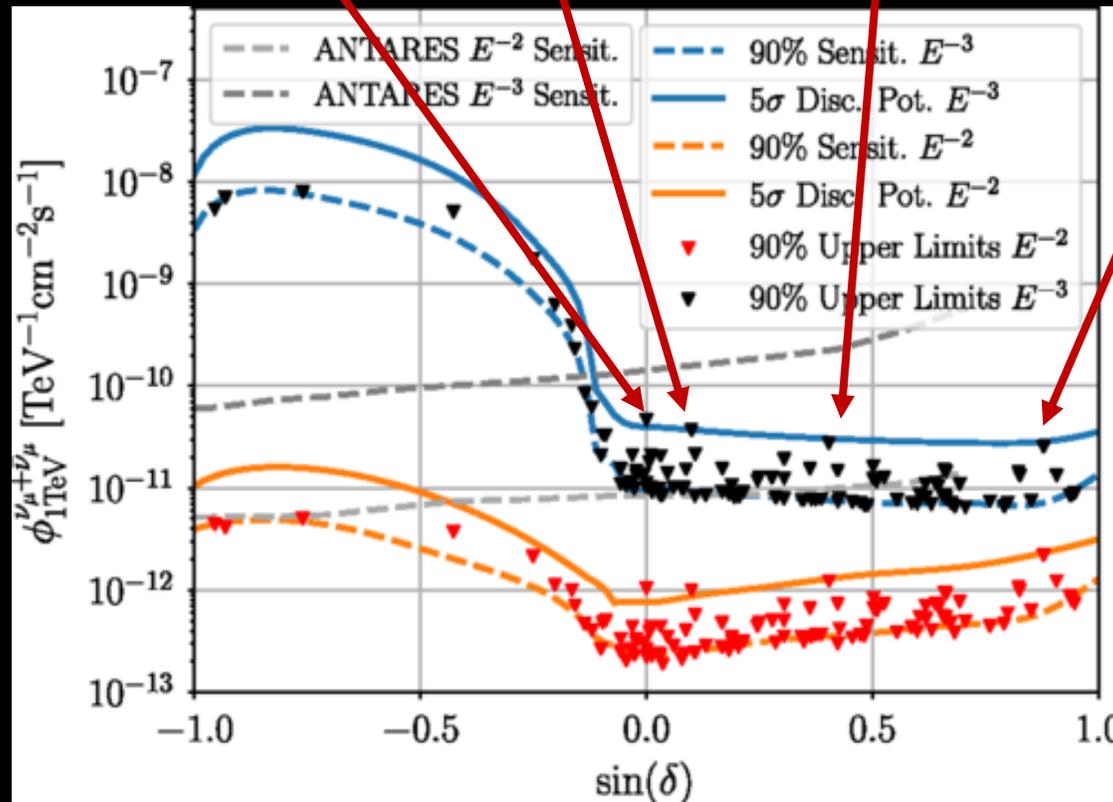


IceCube Collaboration
[PRL 124 051103 \(2020\)](#)

TeV ν sky

Started to see resolved sources in TeV ν sky

Star Burst AGN NGC 1068 Blazar AGN TXS 0506+056 BL Lac Blazar AGN PKS 1424+240 BL Lac Blazar AGN GB6 J1542+6129



3.3 σ combined

IceCube Collaboration
[PRL 124 051103 \(2020\)](#)

ニュートリノ・光近赤外連携 次の一手



IceCube から日本の光・赤外観測グループへ

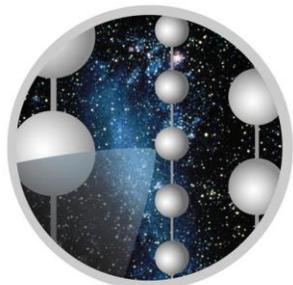
ニュートリノ天体をより同定しやすいアラート・追観測手法を策定中

Neutrino Doublet アラート

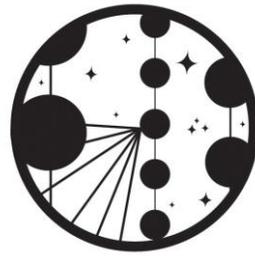
Engine-driven Supernova/Hypernova (such as type Ic)や LL-GRB など可視光帯で観測できる爆発天体を高エネルギー宇宙線起源として同定

形だけではない有機的な共同研究を行っている

ニュートリノ解析チャンネル開発段階から追観測パートナーと共同研究を行うことで、**コミュニティをさらに広げ、日本発の大きな発見につなげる**
追観測側の 이슈 (変動天体は視野内にたくさんあるなど)を初期段階から考慮して開発研究をする



ICECUBE



ICECUBE
GEN2



今年7月には、観測戦略策定ワークショップを開催

国内の光赤外・ γ 線の若手・中堅が参加 実地の議論を行った

このスタイルを γ -ray (= MAGIC, HESS, VERITAS, CTA) に拡張することも視野

次世代実験 IceCube-Gen2

究極の宇宙ニュートリノ観測施設



学術的意義

高エネルギーニュートリノ観測により
ニュートリノ天文学
宇宙線物理学
素粒子物理学
の**未開のフロンティア**を開拓

IceCube 実験に比して

ニュートリノ天体検出感度 **7倍**
バースト天体検出数 100TeVで **9倍**
1PeVで **13倍**
角度分解能 **4倍(0.8→0.2度)**

現在稼働中のIceCube (Gen1)

2023年建設予定のIceCubeアップグレード
(IceCube-Gen2 Phase 1)
検出器製作中

日本が開発した 新型検出器

D-Egg

主要検出器として現在製造中

300台が2023年に南極に埋設予定

現在運用中の第一世代検出器



深氷河埋設光検出器モジュール D-Egg



ICECUBE
GEN2



- 現在製作3年目
- 320台製作予定
- 205台製作済み
- 較正測定進行中



専用クリーンルームで組立 大型冷凍庫内氷点下40度で動しむ石原さん



大型冷凍庫内氷点下40度で試験中のD-Egg

現行IceCube検出器モジュールに比して

- 断面積 70%に**小型化**
- 光子検出面積 **3倍**
- 波長330nm以下での検出効率**4倍**

すでにIceCube-gen2 の仕様を満たしている
確実に動作する検出器

gen2検出器として

- Mustな改善
- ダイナミックレンジの改善
 - 製作費用の更なる低減

Preferableな改善

- 現行比で光子検出面積4倍の実現

12か国国際共同プロジェクトでの日本の寄与



ICECUBE
GEN2

IceCube実験での実績十分

IceCube-Gen2 では中心プレーヤーに

日本グループのマイルストーン

- 2005 IceCube の建設が始まり、1 月には検出器 DOM が 60 個埋設され IceCube の部分稼働が始まる。
日本はPMT と超高エネルギー解析(EHE 解析)で責任
- 2010 IceCube による超高エネルギー宇宙ニュートリノ観測結果を初めて論文として公表。
千葉大学チームによる科学成果の出発点。
- 2012 2012 年 5 月に史上初の宇宙ニュートリノ 2 事象「アニー」と「パート」の同定に千葉大学チームが成功。
翌月京都で開催された学会「ニュートリノ 2012」にてその成果を発表した。
- 2016 2016 年 4 月ニュートリノ事象候補を即時解析し世界の天文観測施設にアラートを送信する
システムの運用が開始。7 月 31 日に初の EHE イベントアラートが発信。
- 2018 IC170922A ニュートリノ事象により強い γ (ガンマ) 線とニュートリノを放射している
プレーヤー天体の同定に史上初めて成功。その成果をサイエンス誌にて 2 つ論文により発表。
- 2019 2019 年 6 月に IceCube アップグレード計画が発表され、千葉大学が開発した D-Egg 検出器が採用される。
日米欧3極の中で最初にNSFから正式承認された
- 2020 **6PeV**ニュートリノ信号がグラシヨウ共鳴由来であることを示す
6PeV 信号自体も日本グループの解析で2017年に同定

2021/9/6

関連する日本がleading した論文

PMT 技術論文 [NIM \(2010\)](#)

最初のEHE解析 [PRD \(2010\)](#)

IceCube EeV領域で
他実験を凌駕する上限値 [PRD \(2011\)](#)

PeVニュートリノ発見論文 [PRL \(2013\)](#)
詳細報告 [PRD \(2013\)](#)

ν アラート技術論文 [APP \(2016\)](#)

EeV ν 上限値更新
とUHECR 起源への示唆 [PRL \(2016\)](#)

IC170922Aによる
 ν 天体同定 [Science \(2018\)](#)

EHE ν 上限値
と6PeV ν 検出 [PRD \(2018\)](#)

グラシヨウ共鳴による
反電子ニュートリノ同定 [Nature \(2021\)](#)

日本の先導性

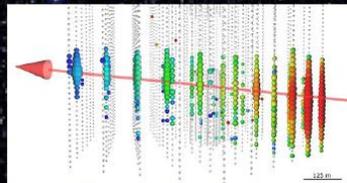
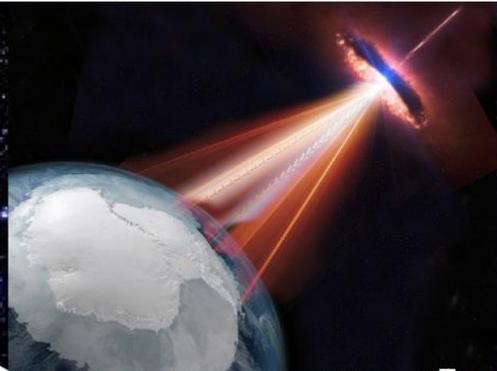
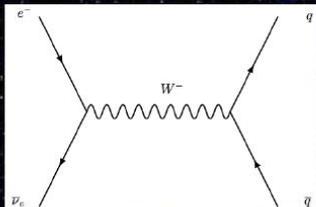
2023

千葉大学グループが開発・製造した新型光検出器D-Eggは2023に予定されているIceCubeアップグレード建設に採用され、300個が氷河に埋設される。

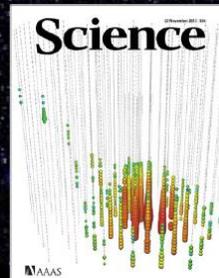


2021

検出した宇宙ニュートリノ「Hydrangea」により1960年に予測された素粒子の標準理論「Glashow共鳴」の実証に初めて成功した。

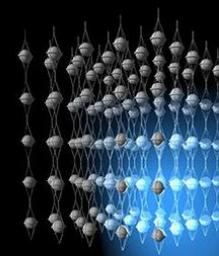
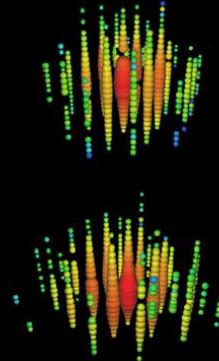


ニュートリノ放射源天体が、IceCubeが検出したニュートリノ事象IC170922Aの情報を元に初特定される。この成果はサイエンス誌の10大成果の1つに選ばれた。



2017

超高エネルギー宇宙ニュートリノ2事象の観測に史上初成功。



2013

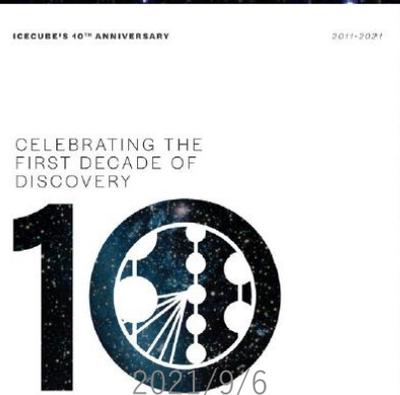
世界最大ニュートリノ観測施設IceCube完成。氷河に埋設された5160個の検出器による観測が開始される。



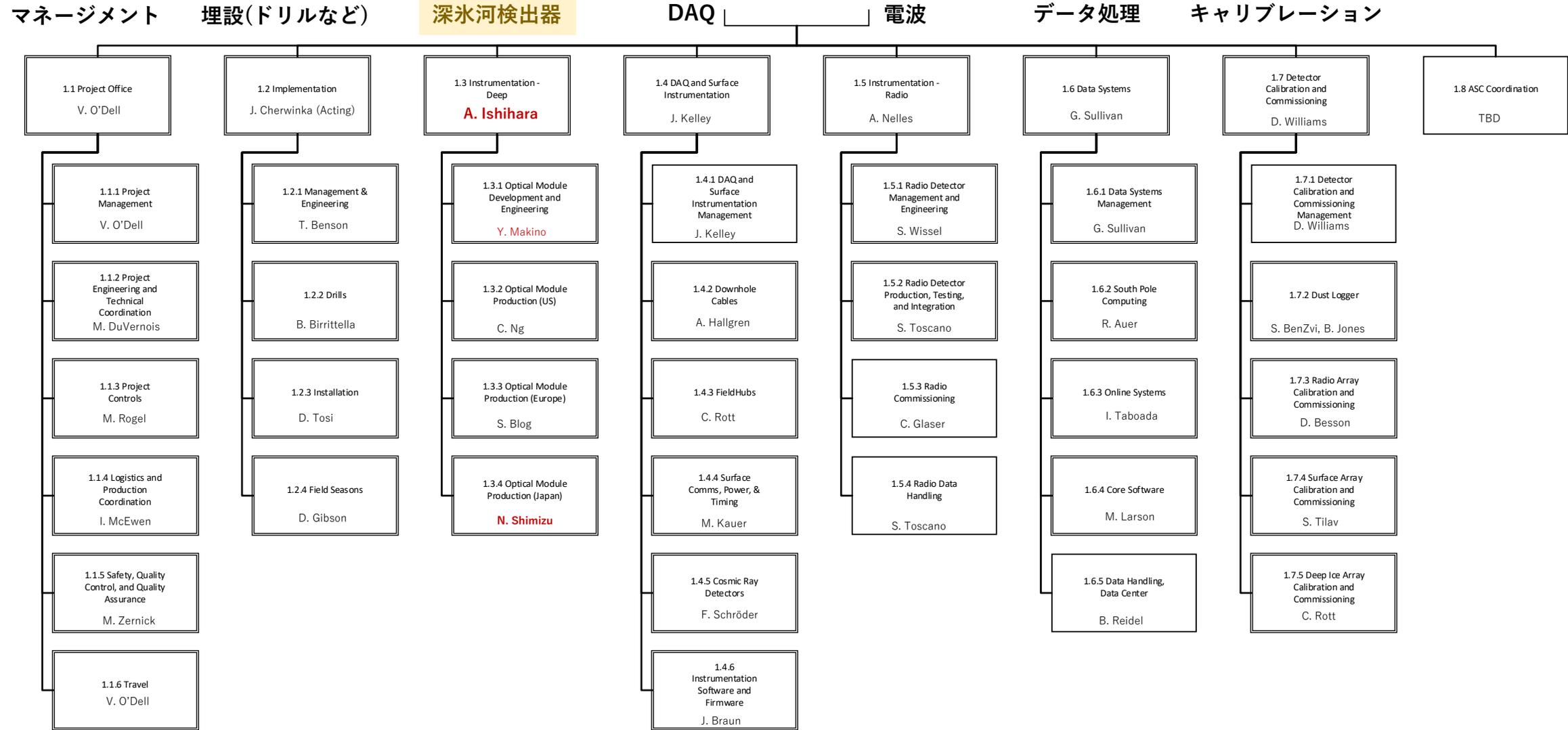
南極点にそびえたつIceCube観測施設ICL。氷河の下の検出器からデータを収集する。

2011

IceCube完成後10年の日本グループの歩み



WBS L2 以下の組織図



IceCube が走ったときはどうだったか?

2012-13年に一連の大きな成果が出るまで一苦しい10年間だった。

2001年 アメリカ IceCube 実験の本予算を承認。米アスペンでの国際会議で IceCube 実験PI Francis Halzen が吉田のプロジェクト加入を提案

2002年 吉田、千葉大学で研究グループを作り IceCubeに正式参加。日本を含む8カ国国際共同実験グループ発足



Halzen教授からの
Official invitation letter

26 September 2002
Dr. Kaichi Isono,
Chiba University
The Office of the President
1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi
Chiba, 263-8522
Japan
Dear Dr. Kaichi Isono:
With this letter I take the liberty of contacting you about a matter of great
myself and to the research project I represent. I am the principal investing
IceCube project. We have received our first funding to transform the tra
under the geographical South Pole into a neutrino detector that will open
astronomical window on the Universe. The research group led by Professor Shigeru
Yoshida from your university has recently assumed a leadership role in this project.
For many years Dr. Yoshida and his collaborators have done pioneering work in high-
energy astrophysics and established your university as one of the leaders in the field
worldwide. Dr. Yoshida has become the top expert for his generation in the area of
physics associated with the highest energy cosmic rays and other problems in extreme
astrophysics. Jim Conlin, Nobel Laureate from the University of Chicago first
introduced Dr. Yoshida to me, and shares this opinion. Japan has long been the
unchallenged leader in the field of neutrino physics. By joining the IceCube project your
country and university will further enhance their already dominant role in the field.
The Chiba group was admitted into the project with the enthusiastic support of all the
collaborating institutions, because Dr. Yoshida's previous work was well known to us and
we have religiously read his papers. Dr. Yoshida is an expert on cosmic ray physics and
astrophysics, and has mastered cosmology and particle physics as well. He is a superb
experimentalist and world-class phenomenologist and we expect his group to play a
major role in the data analysis. The most critical component of our experiment is
produced by Japanese industry. Therefore, the Chiba group is ideally positioned, by

最高エネルギー宇宙物理学の分野で
実績を有するグループの参加は
大変有益であり、検出器の心臓部を
生産する日本に研究グループが存在
ことは極めて重要である。

2003年 基幹検出器要素である光電子増倍管を日本が作ることが決定
千葉大学と浜松ホトニクスが共同で開発・試験・校正に当たる

2005-2006年 米ウイスコンシン大学と提携。日本学術振興会の日米二国間共同研究
採択。検出器建造・校正、極高エネルギーニュートリノ探索手法開発で共同研究

2006年 IceCube 検出器南極点における埋設開始。6年間にわたる建設は2011年4月に完了

2011年 全検出器による観測開始



2つのキーワード

1. 光検出器
2. 超高エネルギー帯における宇宙ニュートリノ探索

千葉大グループ主導の学術論文群 (2010年にこれらの論文が出された。これらが2012-13の飛躍につながった)



Calibration and characterization of the IceCube photomultiplier tube

R. Abbasi²⁸, Y. Abdou²², T. Abu-Zayyad³³, J. Adams¹⁰, J.A. Aguilar²⁸, M. Ahlers³², K. Andeen², J. Auffenberg³⁹,
O. Depaape²⁹, F. Desati²⁸, P. Desati²⁸, G. de Vries-Uiterweer²², T. DeYoung³⁶, J. C. Diaz-Vélez²⁸,
J. Dreyer³¹, J.P. Dumum³¹, M.R. Duvoort³⁸, R. Ehrlich¹⁷, J. Eiseh²⁸, R.W. Ellsworth¹⁷, O. Engedgård²¹,
S. Euler³¹, P.A. Evenson³⁴, O. Fadiran³¹, A.R. Fazely¹⁷, T. Feusels¹, K. Filimonov⁶, C. Finley³⁶,
M.M. Foerster³¹, B.D. Fox³⁶, A. Franchowiak¹, R. Franke³¹, M. Gaisser³¹, J. Gallagher³¹, R. Ganugapati²¹,
M. Geisler¹, L. Gerhardt³², L. Gladstone¹, A. Goldschmidt¹, J.A. Goodman¹⁷, D. Grant²¹, T. Griesel²⁹,
A. Groß³⁴, S. Grullon², R.M. Gunasingha¹, M. Gurtner³, C. Ha³¹, A. Hallgren³¹, F. Halzen³, K. Han³⁰,
K. Hanson¹, Y. Hasegawa³¹, J. Haugen³¹, K. Helbing³¹, P. Herquet³¹, S. Hickford³¹, G.C. Hill²⁸,
K.D. Hoffman¹⁷, A. Homeier²⁸, K. Hoshina¹⁴, D. Hubert¹⁴, W. Hulsnitz¹⁷, J.-P. Hülth³¹, P.O. Hulth³⁴, K. Hultqvist³⁴,
S. Hussain³¹, R.L. Inlay³¹, A. Ishihara^{15,31}, J. Jacobsen²⁹, G.S. Japaridze¹, H. Johansson³¹, J.M. Joseph⁸, K.-H. Kampert³⁹,
A. Kappes²⁸, T. Karg³⁰, A. Karle²⁸, J.L. Kelley²⁸, N. Kemming³¹, P. Kenny²⁹, J. Kiryluk³⁷, F. Kislat³⁰, S. R. Klein³⁷,
H. Kolonoski¹, L. Köpcke²⁹, H. Kolonoski¹, L. Köpcke²⁹, D.J. Koskinen³⁶, M. Kowalski¹¹, T. Kowarik²⁹,
G. Kroll²⁹, T. Kuwabara³¹, M. Labare¹⁴, S. Lafebre³⁶, K. Laihem³¹, H. Landsman²⁸,
R. Lauer³⁰, R. Lehmann³¹, D. Lennarz¹, J. Lünemann²⁹, J. Madsen³¹, P. Majumdar³⁰, R. Maruyama²⁸, K. Mase¹⁵,
H.S. Matis⁸, M. Matusik³⁹, K. Meagher¹⁷, M. Merck²⁹, P. Mészáros^{35,36}, T. Meures¹, E. Middell⁴⁰, N. Milke²⁰, J. Miller²⁹,
T. Montaruli^{28,8}, R. Morse²⁸, S.M. Movit³¹, R. Nahnhauser³¹, J. W. Nam³¹, U. Naumann²⁹, P. Nießen³¹, D.R. Nygren⁸,
S. Odrowski²³, A. Olivás¹⁷, M. Olivo³⁷, M. Ono¹⁵, S. Pankin¹¹, L. Paul¹, C. Pérez de los Heros³⁷, J. Petrovic¹³,
A. Piegsa²⁹, D. Pieloth²⁹, R. Porra³¹, J. Posselt³⁹, P.B. Price¹, M. Prikockis²⁹, G.T. Przybylski⁸, K. Rawlins¹, P. Redl¹⁷,
E. Resconi²³, W. Rhode²⁹, M. Ribordy²⁵, A. Rizzo¹⁷, J.P. Rodrigues²⁸, P. Roth¹⁷, F. Rothmaier²⁹, C. Rott¹⁸, C. Roucelle²³

PHYSICAL REVIEW D 82, 072003 (2010)
First search for extremely high energy cosmogenic neutrinos
with the IceCube Neutrino Observatory

R. Abbasi²⁸, Y. Abdou²², T. Abu-Zayyad³³, J. Adams¹⁰, J.A. Aguilar²⁸, M. Ahlers³², K. Andeen², J. Auffenberg³⁹,
X. Bai³¹, M. Baker²⁸, S.W. Barwick²⁴, R. Bay³⁷, J.L. Bazo Alba⁴⁰, K. Beattie⁶, J.J. Beatty^{18,19}, S. Bechet¹³, J.K. Becker¹⁰,
K.-H. Becker³⁹, M.L. Benabderrahmane³⁹, S. BenZvi²⁸, J. Berdermann⁴⁰, P. Berghaus²⁸, D. Berley¹⁷, E. Bernardini³⁹,
D. Z. Besson²⁸, M. Bissok¹, E. Blaufuss¹⁷, D.J. Boersma¹, C. Bohm³⁴, S. Böser¹¹, O. Botner¹⁷, L. Bradley³⁶, J. Braun²⁸,
S. Butinik⁸, M. Carson²², D. Chirkin²⁸, B. Christy¹⁷, J. Clem³¹, F. Clevermann²⁹, S. Cohen²⁵, C. Colnard²³,
D.F. Cowen^{36,35}, M.V. D'Agostino⁷, M. Danninger²⁴, J.C. Davis¹⁸, C. De Clercq¹⁴, L. Demirörs²⁵, O. Depaape¹⁴,
F. Descamps²², P. Desati²⁸, G. de Vries-Uiterweer²², T. DeYoung³⁶, J. C. Diaz-Vélez²⁸, J. Dreyer³¹, J.P. Dumum³¹,
M.R. Duvoort³⁸, R. Ehrlich¹⁷, J. Eiseh²⁸, R.W. Ellsworth¹⁷, O. Engedgård²¹, S. Euler³¹, P.A. Evenson³⁴, O. Fadiran³¹,
A.R. Fazely¹⁷, T. Feusels¹, K. Filimonov⁶, C. Finley³⁶, M.M. Foerster³¹, B.D. Fox³⁶, A. Franchowiak¹, R. Franke³¹,
T.K. Gaisser³¹, J. Gallagher³¹, R. Ganugapati²¹, M. Geisler¹, L. Gerhardt³², L. Gladstone¹, T. Glusenkamp¹,
A. Goldschmidt¹, J.A. Goodman¹⁷, D. Grant²¹, T. Griesel²⁹, A. Groß³⁴, S. Grullon², M. Gurtner³, C. Ha³¹,
A. Hallgren³¹, F. Halzen³, K. Han³⁰, K. Hanson¹, K. Helbing³¹, P. Herquet³¹, S. Hickford³¹, G.C. Hill²⁸,
K.D. Hoffman¹⁷, A. Homeier²⁸, K. Hoshina¹⁴, D. Hubert¹⁴, W. Hulsnitz¹⁷, J.-P. Hülth³¹, P.O. Hulth³⁴, K. Hultqvist³⁴,
S. Hussain³¹, R.L. Inlay³¹, A. Ishihara^{15,31}, J. Jacobsen²⁹, G.S. Japaridze¹, H. Johansson³¹, J.M. Joseph⁸, K.-H. Kampert³⁹,
A. Kappes²⁸, T. Karg³⁰, A. Karle²⁸, J.L. Kelley²⁸, N. Kemming³¹, P. Kenny²⁹, J. Kiryluk³⁷, F. Kislat³⁰, S. R. Klein³⁷,
H. Kolonoski¹, L. Köpcke²⁹, H. Kolonoski¹, L. Köpcke²⁹, D.J. Koskinen³⁶, M. Kowalski¹¹, T. Kowarik²⁹,
G. Kroll²⁹, T. Kuwabara³¹, M. Labare¹⁴, S. Lafebre³⁶, K. Laihem³¹, H. Landsman²⁸,
R. Lauer³⁰, R. Lehmann³¹, D. Lennarz¹, J. Lünemann²⁹, J. Madsen³¹, P. Majumdar³⁰, R. Maruyama²⁸, K. Mase¹⁵,
H.S. Matis⁸, M. Matusik³⁹, K. Meagher¹⁷, M. Merck²⁹, P. Mészáros^{35,36}, T. Meures¹, E. Middell⁴⁰, N. Milke²⁰, J. Miller²⁹,
T. Montaruli^{28,8}, R. Morse²⁸, S.M. Movit³¹, R. Nahnhauser³¹, J. W. Nam³¹, U. Naumann²⁹, P. Nießen³¹, D.R. Nygren⁸,
S. Odrowski²³, A. Olivás¹⁷, M. Olivo³⁷, M. Ono¹⁵, S. Pankin¹¹, L. Paul¹, C. Pérez de los Heros³⁷, J. Petrovic¹³,
A. Piegsa²⁹, D. Pieloth²⁹, R. Porra³¹, J. Posselt³⁹, P.B. Price¹, M. Prikockis²⁹, G.T. Przybylski⁸, K. Rawlins¹, P. Redl¹⁷,
E. Resconi²³, W. Rhode²⁹, M. Ribordy²⁵, A. Rizzo¹⁷, J.P. Rodrigues²⁸, P. Roth¹⁷, F. Rothmaier²⁹, C. Rott¹⁸, C. Roucelle²³

Constraints on the extremely-high energy cosmic neutrino flux with the IceCube 2008-2009 data

R. Abbasi²⁸, Y. Abdou²², T. Abu-Zayyad³³, J. Adams¹⁰, J.A. Aguilar²⁸, M. Ahlers³², K. Andeen², J. Auffenberg³⁹,
X. Bai³¹, M. Baker²⁸, S.W. Barwick²⁴, R. Bay³⁷, J.L. Bazo Alba⁴⁰, K. Beattie⁶, J.J. Beatty^{18,19}, S. Bechet¹³, J.K. Becker¹⁰,
K.-H. Becker³⁹, M.L. Benabderrahmane³⁹, S. BenZvi²⁸, J. Berdermann⁴⁰, P. Berghaus²⁸, D. Berley¹⁷, E. Bernardini³⁹,
D. Bertrand³⁹, D. Z. Besson²⁸, D. Bindig⁸, M. Bissok¹, E. Blaufuss¹⁷, J. Blumenthal¹, D.J. Boersma¹, C. Bohm³⁴,
D. Bose¹⁴, S. Böser¹¹, O. Botner¹⁷, J. Braun²⁸, A.M. Brown¹⁶, S. Butinik⁸, M. Carson²², D. Chirkin²⁸, B. Christy¹⁷,
J. Clem³¹, F. Clevermann²⁹, S. Cohen²⁵, C. Colnard²³, D.F. Cowen^{36,35}, M.V. D'Agostino⁷, M. Danninger²⁴,
J. Daughhitec², J.C. Davis¹⁸, C. De Clercq¹⁴, L. Demirörs²⁵, T. Denger³¹, O. Depaape¹⁴, F. Descamps²², P. Desati²⁸,
G. de Vries-Uiterweer²², T. DeYoung³⁶, J. C. Diaz-Vélez²⁸, M. Dierckxssens¹⁵, J. Dreyer³¹, J.P. Dumum³¹, R. Ehrlich¹⁷,
J. Eiseh²⁸, R.W. Ellsworth¹⁷, O. Engedgård²¹, S. Euler³¹, P.A. Evenson³⁴, O. Fadiran³¹, A.R. Fazely¹⁷, A. Fedynitch¹⁰,
T. Feusels¹, K. Filimonov⁶, C. Finley³⁶, T. Fischer-Wasels²⁸, M.M. Foerster³¹, B.D. Fox³⁶, A. Franchowiak¹,
R. Franke³¹, T.K. Gaisser³¹, J. Gallagher³¹, M. Geisler¹, L. Gerhardt³², L. Gladstone¹, T. Glusenkamp¹,
J.A. Goodman¹⁷, D. Gorn³⁰, D. Grant²¹, T. Griesel²⁹, A. Groß³⁴, S. Grullon², M. Gurtner³, C. Ha³¹, A. Hallgren³¹,
F. Halzen³, K. Han³⁰, K. Hanson¹, K. Helbing³¹, K. Heinen¹, K. Helbing³¹, P. Herquet³¹, S. Hickford³¹, G.C. Hill²⁸,
K.D. Hoffman¹⁷, A. Homeier²⁸, K. Hoshina¹⁴, D. Hubert¹⁴, W. Hulsnitz¹⁷, J.-P. Hülth³¹, P.O. Hulth³⁴, K. Hultqvist³⁴,
S. Hussain³¹, A. Ishihara^{15,31}, J. Jacobsen²⁹, G.S. Japaridze¹, H. Johansson³¹, J.M. Joseph⁸, K.-H. Kampert³⁹, A. Kappes²⁸,
T. Karg³⁰, A. Karle²⁸, J.L. Kelley²⁸, P. Kenny²⁹, J. Kiryluk³⁷, F. Kislat³⁰, S. R. Klein³⁷, J.-H. Köhne²⁰, G. Kolhne²⁰,
H. Kolonoski¹, L. Köpcke²⁹, S. Kopper³⁰, D.J. Koskinen³⁶, M. Kowalski¹¹, T. Kowarik²⁹, M. Krasberg²⁸, T. Krings¹,
G. Kroll²⁹, T. Kuwabara³¹, M. Labare¹⁴, S. Lafebre³⁶, K. Laihem³¹, H. Landsman²⁸, M.J. Larson³⁶, R. Lauer³⁰,
J. Lünemann²⁹, J. Madsen³¹, P. Majumdar³⁰, A. Marotta¹³, R. Maruyama²⁸, K. Mase¹⁵, H.S. Matis⁸, K. Meagher¹⁷,
M. Merck²⁹, P. Mészáros^{35,36}, T. Meures¹, E. Middell⁴⁰, N. Milke²⁰, J. Miller²⁹, T. Montaruli²⁸, R. Morse²⁸,
S.M. Movit³¹, R. Nahnhauser³¹, J.W. Nam³¹, U. Naumann²⁹, P. Nießen³¹, D.R. Nygren⁸, S. Odrowski²³, A. Olivás¹⁷,
M. Olivo³⁷, A. O'Murchadha³⁰, M. Ono¹⁵, S. Pankin¹¹, L. Paul¹, C. Pérez de los Heros³⁷, J. Petrovic¹³, A. Piegsa²⁹,
D. Pieloth²⁹, R. Porra³¹, J. Posselt³⁹, P.B. Price¹, M. Prikockis²⁹, G.T. Przybylski⁸, K. Rawlins¹, P. Redl¹⁷,
M. Ribordy²⁵, A. Rizzo¹⁷, J.P. Rodrigues²⁸, P. Roth¹⁷, F. Rothmaier²⁹, C. Rott¹⁸, T. Rube²⁰, D. Rutledge³⁶,
B. Ruzsibayev³¹, D. Ryckbosch²¹, H.-G. Sander²⁹, M. Santander²⁸, S. Sarkar³², K. Schato²⁹, T. Schmidt¹⁷,
A. Schönwald²⁹, A. Schukraft¹, A. Schultes²⁸, O. Schulz²³, M. Schunck¹, D. Seckel¹, B. Semburg³⁰, S.H. Seo³⁴

IceCube Institutional Memorandum Of Understanding (MOU)

Scope of Work

Chiba University
Shigeru Yoshida
Ph.D Scientists (Faculty Scientist/Post Doc Grads) : 3 (1 2 3)

Labor Cat.	Names	WBS L3	Tasks	WBS 2.1	WBS 2.2	WBS 2.3	WBS 2.4	WBS 2.5	Grand Total	
				Program Management	Detector Maintenance & Operations	Computing & Data Management	Triggering & Filtering	Data Quality, Reconstruction & Simulation Tools		
KE	YOSHIDA, SHIGERU	Physics Filters	EHE WG Lead				0.25		0.25	
	YOSHIDA, SHIGERU Total						0.25		0.25	
	CHIBA KE	Reconstruction/ Analysis tools	Maintain Romeo, EHE Simulations					0.20	0.20	
	CHIBA KE Total							0.20	0.20	
SC	CHIBA SC	Reconstruction/ Analysis tools	Maintain Romeo, EHE Simulations, Maintain reconstruction projects (Portia), MC/Data comparison for EHE-filtered and IceTop events, Standard Candle Analysis					0.20	0.20	
	CHIBA SC Total						0.20	0.20		
GR	ONO, MIO	Physics Filters	EHE Filters				0.15		0.15	
	ONO, MIO Total						0.15		0.15	
	CHIBA GR	Detector Monitoring	Detector Monitoring		0.03					0.03
		Reconstruction/ Analysis tools	Improve the Ice Model, Afterpulse Simulator, Standard Candle Analysis, Maintain reconstruction projects (Ophelia, ehe-star)						0.20	0.20
	CHIBA GR Total				0.03			0.20	0.23	
CHIBA Total				0.03			0.40	0.60	1.03	

IceCube Analysis Matrix v8.3 2010.0604.xls

Institution / Analysis Topics	Cosmic-ray	Point Source	Diffuse-Atmospheric	GRB	Exotic particles	Super-nova	WIMP	Muons	Cascades	Compos ite/Tau	EHE	Low-E	Current locations of leads (nominal 2-yr terms)
Chiba University													EHE co-lead
Clark Atlanta University													
DESY-Zeuthen													
EPFL - Lausanne													
Georgia Tech													GRB co-lead
Humboldt Universität Berlin													CR lead
LBL													co-lead Diffuse&Cascade
MPI Heidelberg													Analysis Coordinator
Ohio State University													
Oxford University													
Pennsylvania State University													Low-E co-lead, Tau lead
RWTH Aachen													Muon co-lead
Southern University													
Stockholm University													Point src lead. Low-E co-L
Universität Bochum													
Universität Bonn													Cascade co-lead
Universität Dortmund													
Universität Mainz													SN co-lead
Universität Wuppertal													
Universite de Mons-Hainaut													
Universite Libre de Bruxelles													
University of Alabama													
University of Alaska													
University of Alberta													
University of California, Berkeley													Diffuse co-lead
University of California, Irvine													
University of Canterbury													
University of Delaware													Muon co-lead
University of Gent													
University of Kansas													
University of Maryland													Co-L: GRB, EHE; Exotic L
University of the West Indies, Barbados													
University of Wisconsin, Madison													SN co-lead
University of Wisconsin, River Falls													
Uppsala University													WIMP lead



日本グループの戦略

- 重要な検出器要素一つとユニークな物理テーマ一つに資源を集中させた。

2002年当時 ニュートリノでは新参者。突破口となりうる部分に集中した。

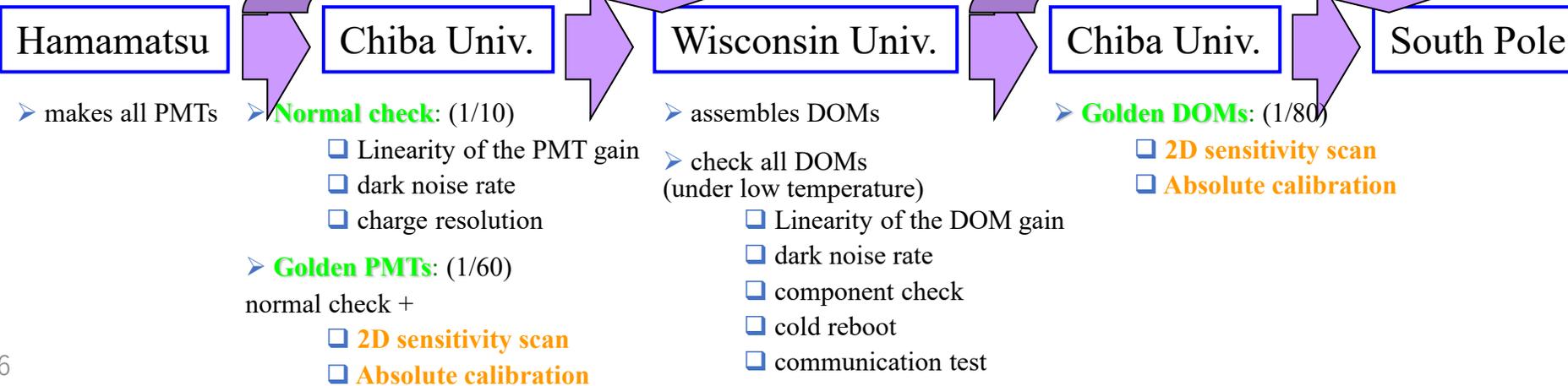
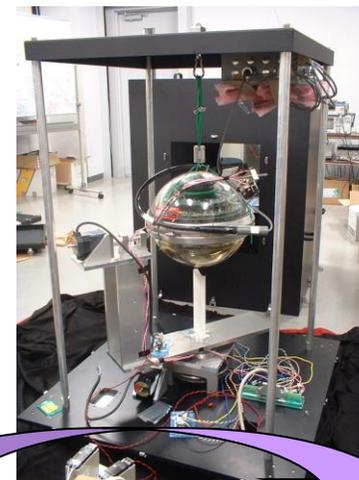
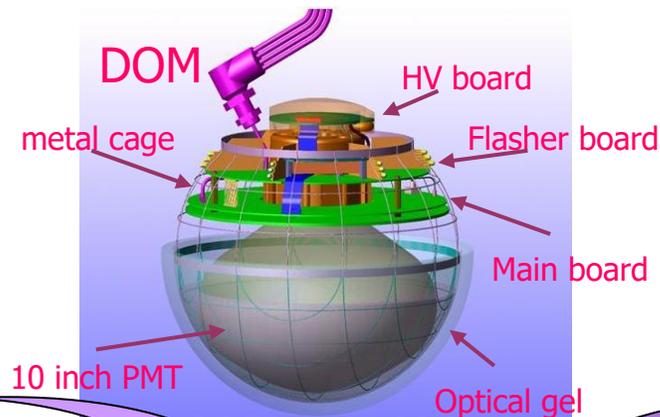
10インチPMT

浜松 Vs. EMI (photonics)

GZK (最高エネルギー帯)の物理

AMANDA では困難。特にシミュレーションはかなり整備が必要であった。

日本だけに閉じない！ 有力相手と組む事も必要 Golden DOM program



高エネルギー宇宙ニュートリノの発見

大きな発見だから、間違った結果は出せない。シビアなチェックと論争が国際グループ内で行われていた。

2012年5月10日 日米欧電話会議の議事録の一部

Last topic of the analysis call was the IC-79 and IC-86 EHE analysis. Thanks a lot to Keiichi, Aya and Shigeru who stayed up until 4am in the morning for this discussion. Patrick and Markus raised the concern that the simulated livetime might not be enough in the whole phase space of the signal region. While there are about a 1000 years of simulated livetime at $>10^{10}$ GeV CR shower energies this livetime drops quickly due to the simulated E^{-1} spectrum and is only a few days at 10^8 GeV primary energy and only a few hours at 10^7 GeV. Patrick showed an example where showers with primary energies of a few PeV produced several tens of thousands of NPE, which is close to the signal region ($\log(\text{NPE}) > 4.7$) for mis-reconstructed showers. In particular corner clippers with a large catastrophic energy loss in or close to the

日本語訳

(日本時間の)午前4時まで起きて議論に参加してありがとう。しかしパトリックとマーカスはこの結果に懸念を表明した。..... (以下問題点の記述)

人は石垣、人は城



良い戦略の成否も
最後は「人の力」が決める

- 常に新しい**アイデア**があり
- 継続する**根性**があり
- **英語**で徹底的に議論できる

人に恵まれたことは大きかった

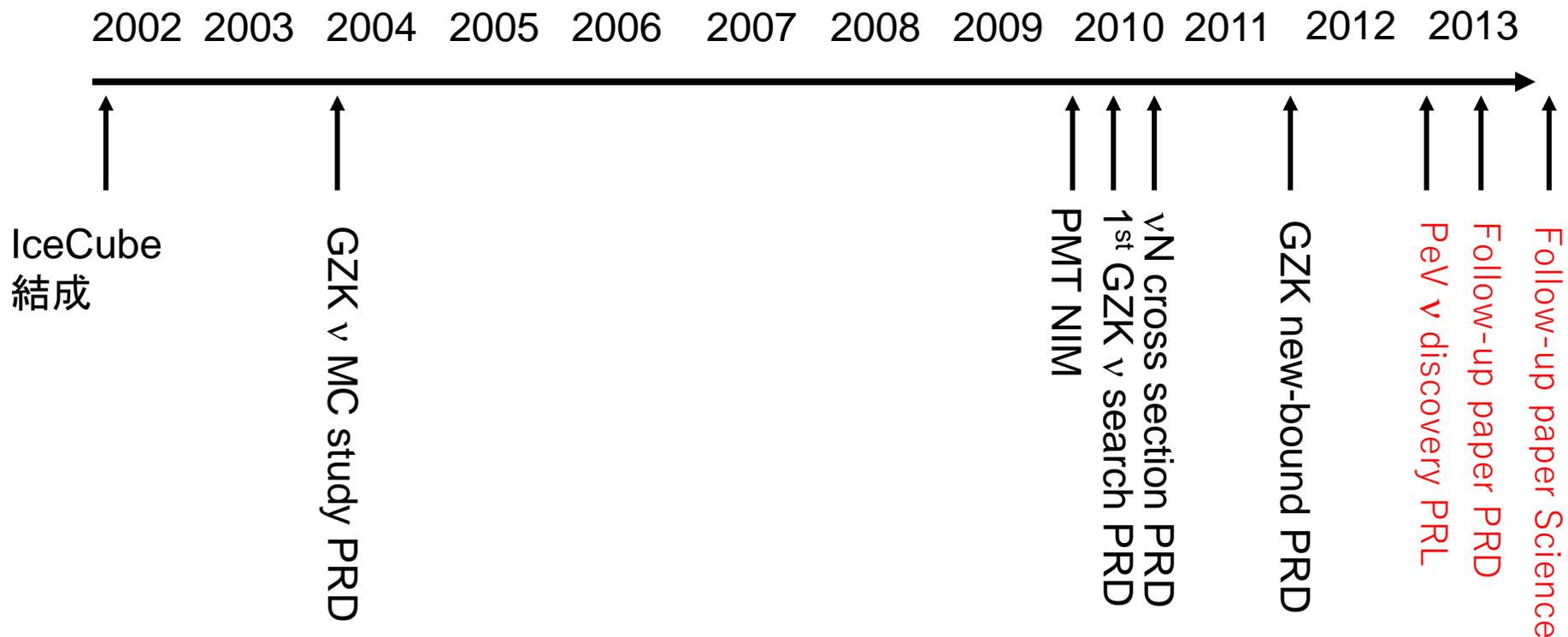
いい事ばかりはありやしない (by 忌野清志郎)

- 日本は、アメリカからもヨーロッパからも遠く地理的に孤立している。
IceCube の中心地はウイスコンシン。どうしても
「現場感覚」が疎くなってしまう。→大きな課題の一つ

殆どの電話会議は日本時間の夜中に開始。

いい事ばかりはありやしない (by 忌野清志郎)

- 論文がしばらく書けない暗黒時代



まとめ(ささやかなアドバイス)

- 大型国際プロジェクトで(比較的規模の小さいグループが)Visibility を上げるには手を広げずに人的資源を一つのハード、一つの物理に集中させる。既存projectが手薄なものが良い。
- 透明な組織作りが鍵。興味を持った外国人をどんどん引き入れる。

英語での豊富な documentation が必須。議事録もちろん英語。
- そうすれば in-kind contribution も認められる可能性が高まる。Common-fund 問題の解決。
- 最後の決め手は、人のクオリティー。
- 地理的孤立問題は1,2名の精鋭を project 中心地に張り付かせることで少しは解決可能。
- 論文暗黒時代が来ます。耐えてください。

少し宣伝

今日の内容+秘められたエピソード
+サイエンスの解説

評者：須藤靖／朝日新聞掲載：2020年06月27日



深宇宙ニュートリノの発見 宇宙の巨大なエンジンからの使者（光文社新書）

著者：吉田 滋
出版社：光文社
ジャンル：新書・選書・ブックレット

ISBN: 9784334044725
発売日：2020/04/15
サイズ：18 cm / 391 p

巨大なブラックホールをもつ、超高エネルギーのニュートリノを放出している銀河とは、いったいどんな天体なのか。素粒子観測施設で中心的役割を果たす著者が、宇宙研究の新たな地平を…

深宇宙ニュートリノの発見 宇宙の巨大なエンジンからの使者 [著] 吉田 滋

2002年の小柴昌俊氏、2015年の梶田隆章氏のノーベル物理学賞の対象となった素粒子「ニュートリノ」の研究で日本は世界のトップを走っている。

ニュートリノは他の物質との相互作用が極めて弱いため検出が難しい。しかしそれは逆に、邪魔されずに遠くまで伝搬できることを意味する。つまり、宇宙の果ての情報を我々に届けてくれる貴重な使者なのだ。

本書は宇宙ニュートリノ国際共同プロジェクト「アイスキューブ」を舞台とした科学者人生物語である。

アイスキューブとは、熱水ドリルで南極の氷に深さ2.5kmの穴を86本掘削し、それらに埋め込まれた計5千個の検出器で宇宙からのニュートリノを観測するという信じがたいスケール

最後に宣伝

2021年秋季物理学会 (神戸大)

シンポジウム

ニュートリノ・重力波時代の
マルチメッセンジャー天文学の展望

IceCube, LIGO-Virgo, KAGRA, NIR-Optical, CTA, Theories..