

The background image is a composite of two astronomical phenomena. The upper portion shows a massive, billowing cloud of gas and dust, likely the debris from a star being disrupted by a black hole, set against a dark, star-filled sky. The lower portion shows a bright, glowing ring of light, possibly a relativistic jet or a tidal ring, with a bright horizontal line of light passing through its center. The overall color palette is dominated by oranges, yellows, and blues.

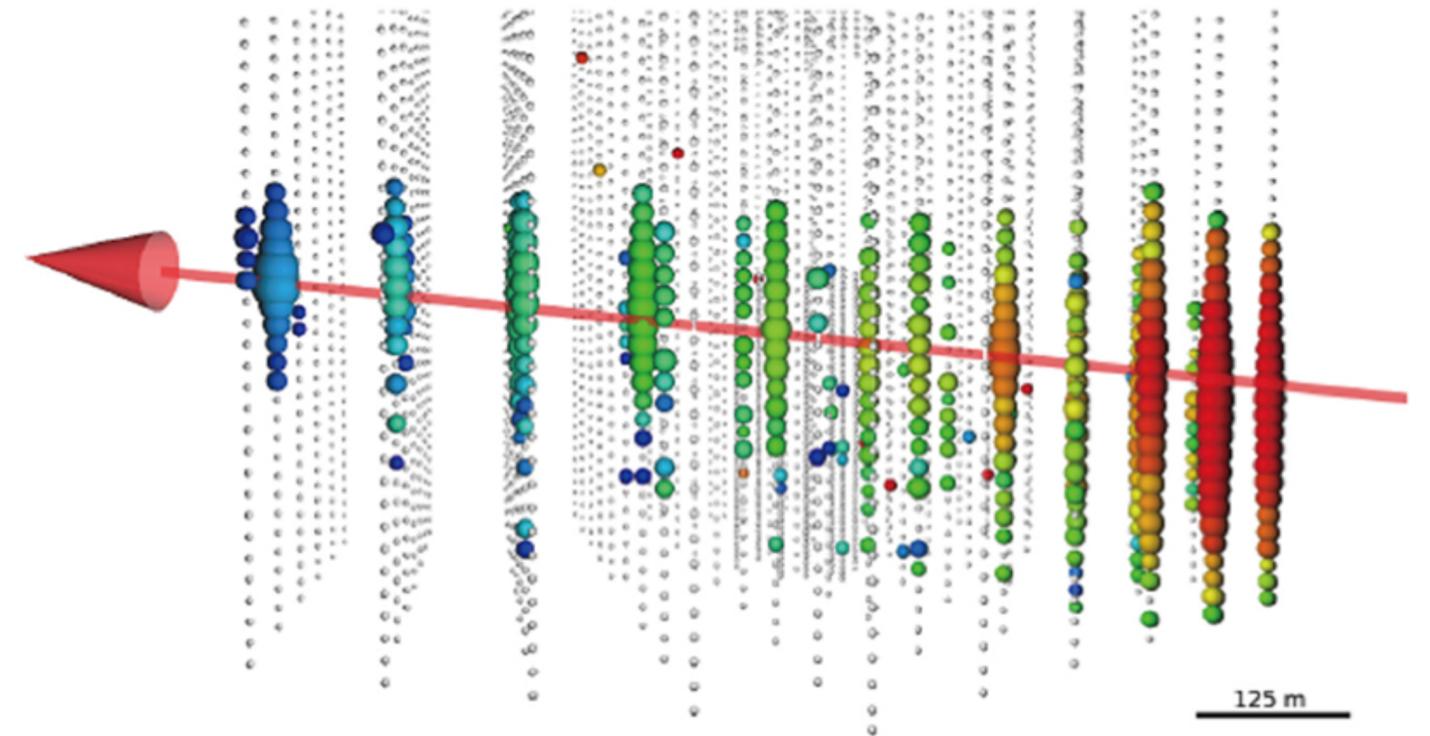
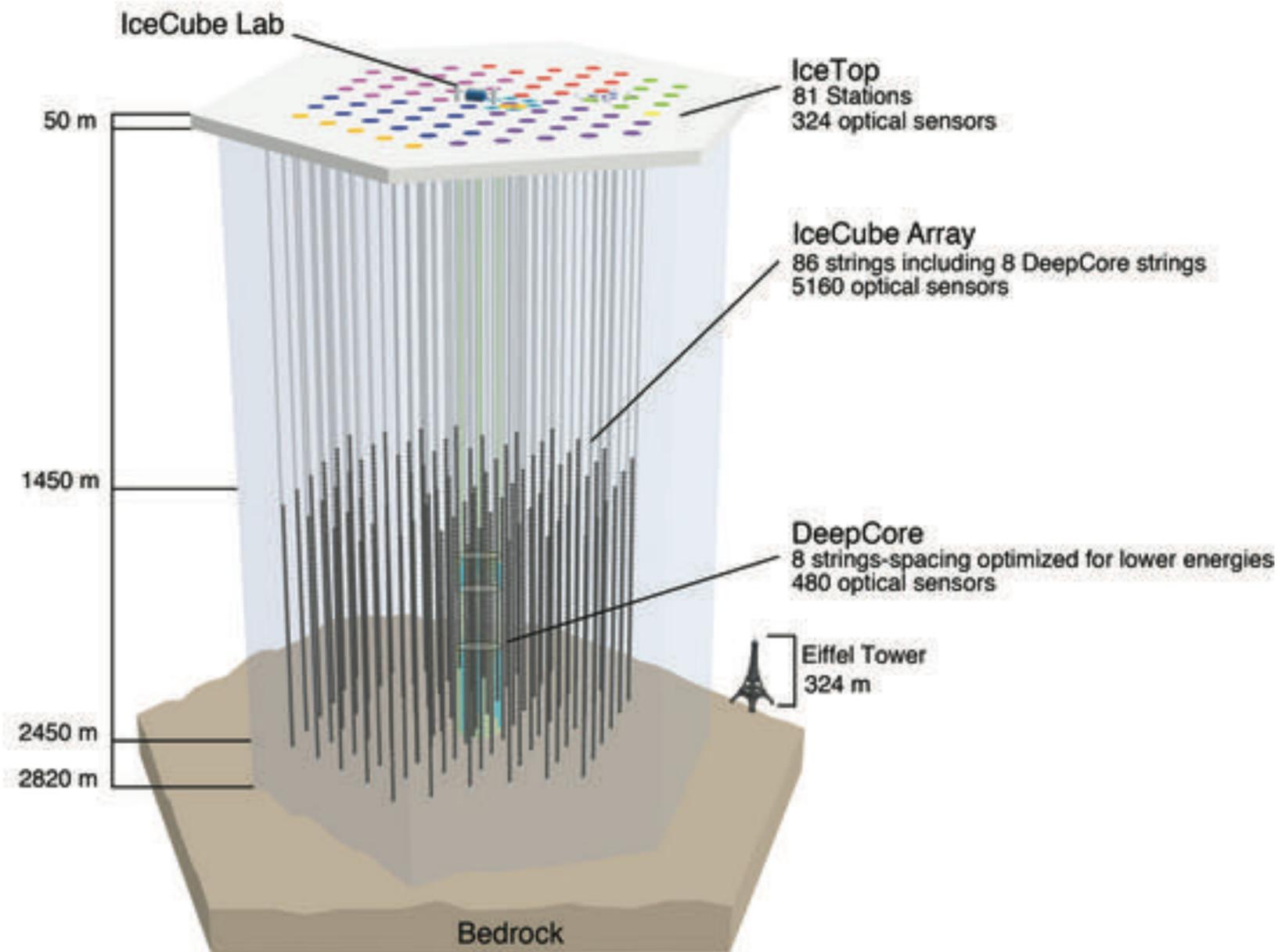
**A high-
energy
neutrino**

**coincident with a
tidal disruption
event**

Sjoert van Velzen (Leiden Observatory)

**25th Symposium on Astroparticle
Physics in the Netherlands
March 26 2021**

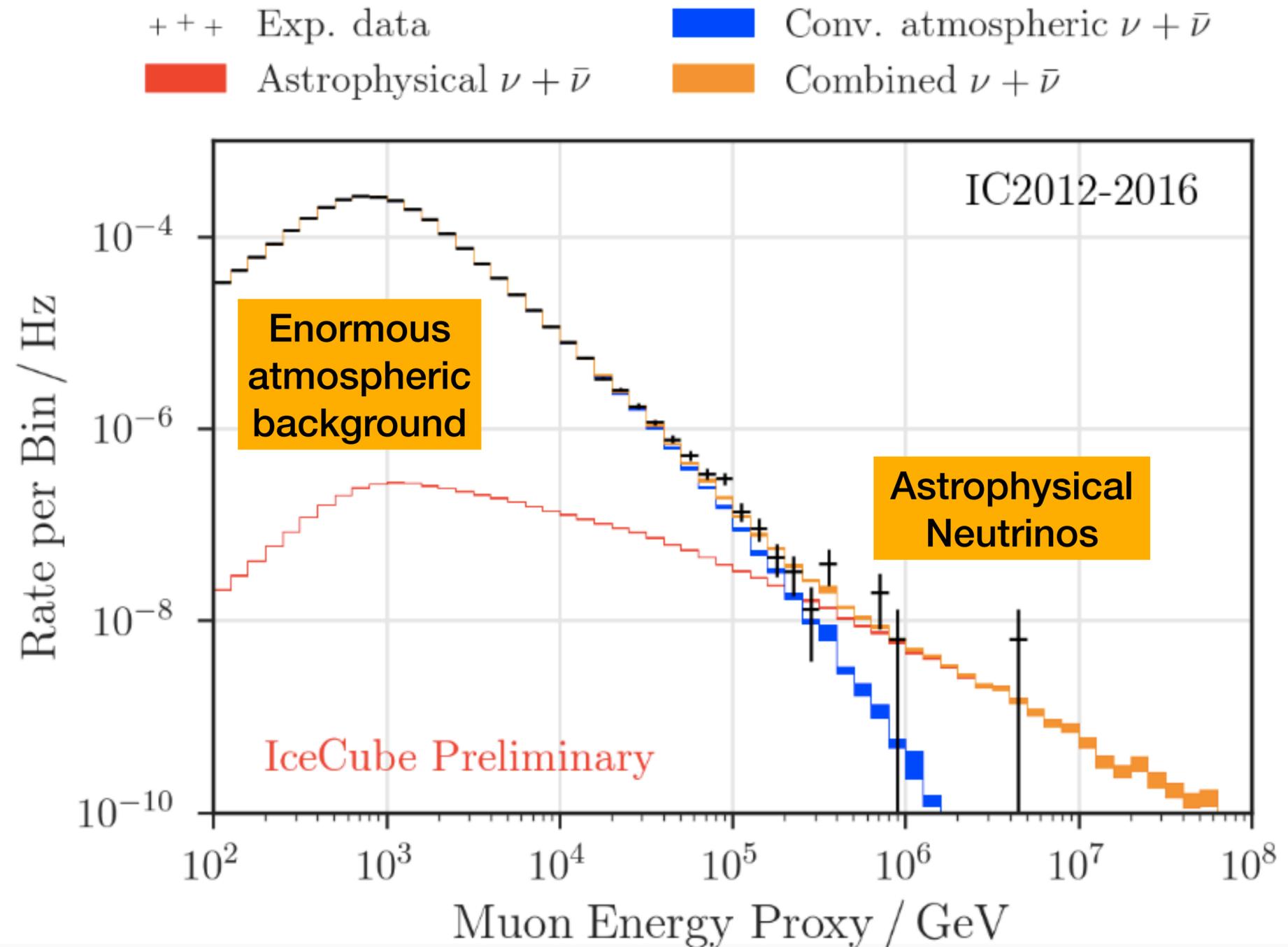
Detecting neutrinos is not easy



Event view of IceCube-170922

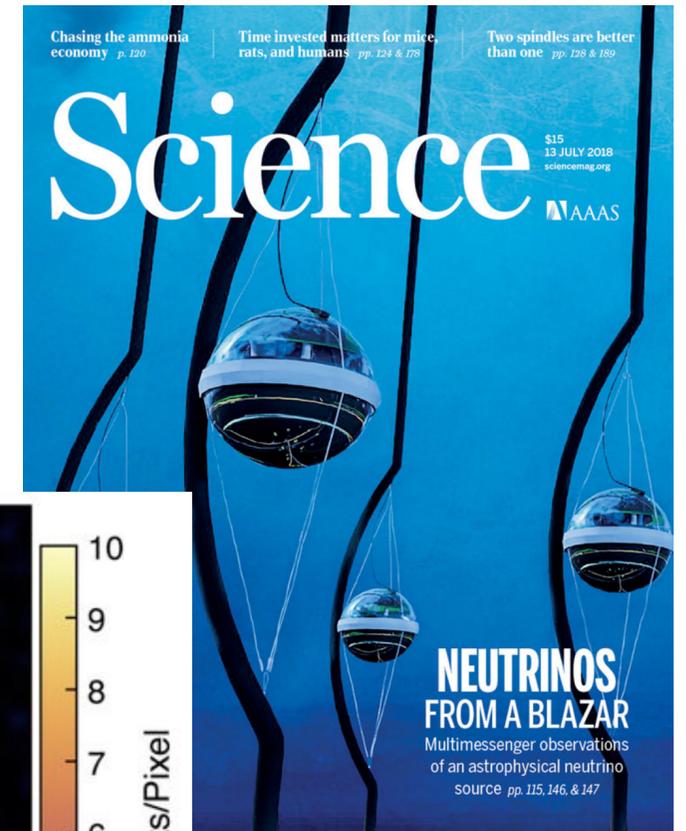
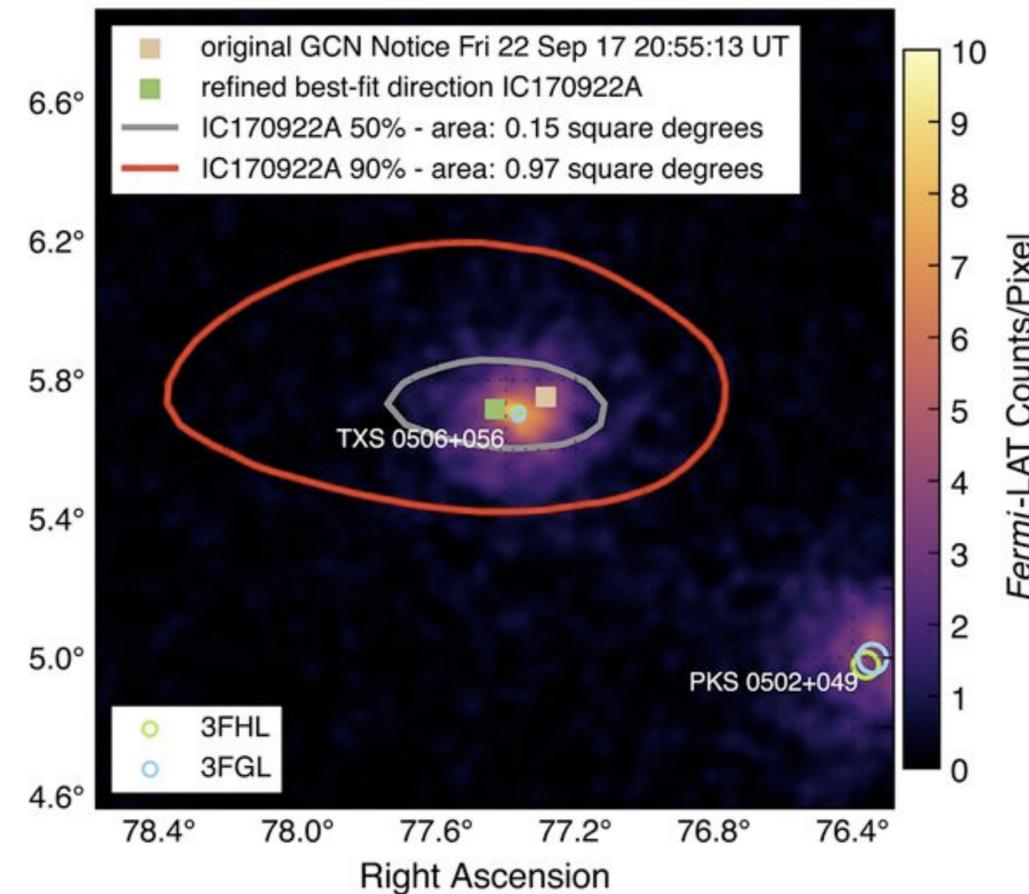
Neutrino astronomy

- Astrophysical signal detected: announced by IceCube in 2013
- Event rate: ~ 10 per year
- Many possible origins: Blazars, SNe, Pulsars, GC, Fermi Bubbles, GRBs, FRBs, ...
- But **no cross-correlation** detected with known sources (see talk later today by Shin'ichiro Ando)
- Origin remains largely unknown

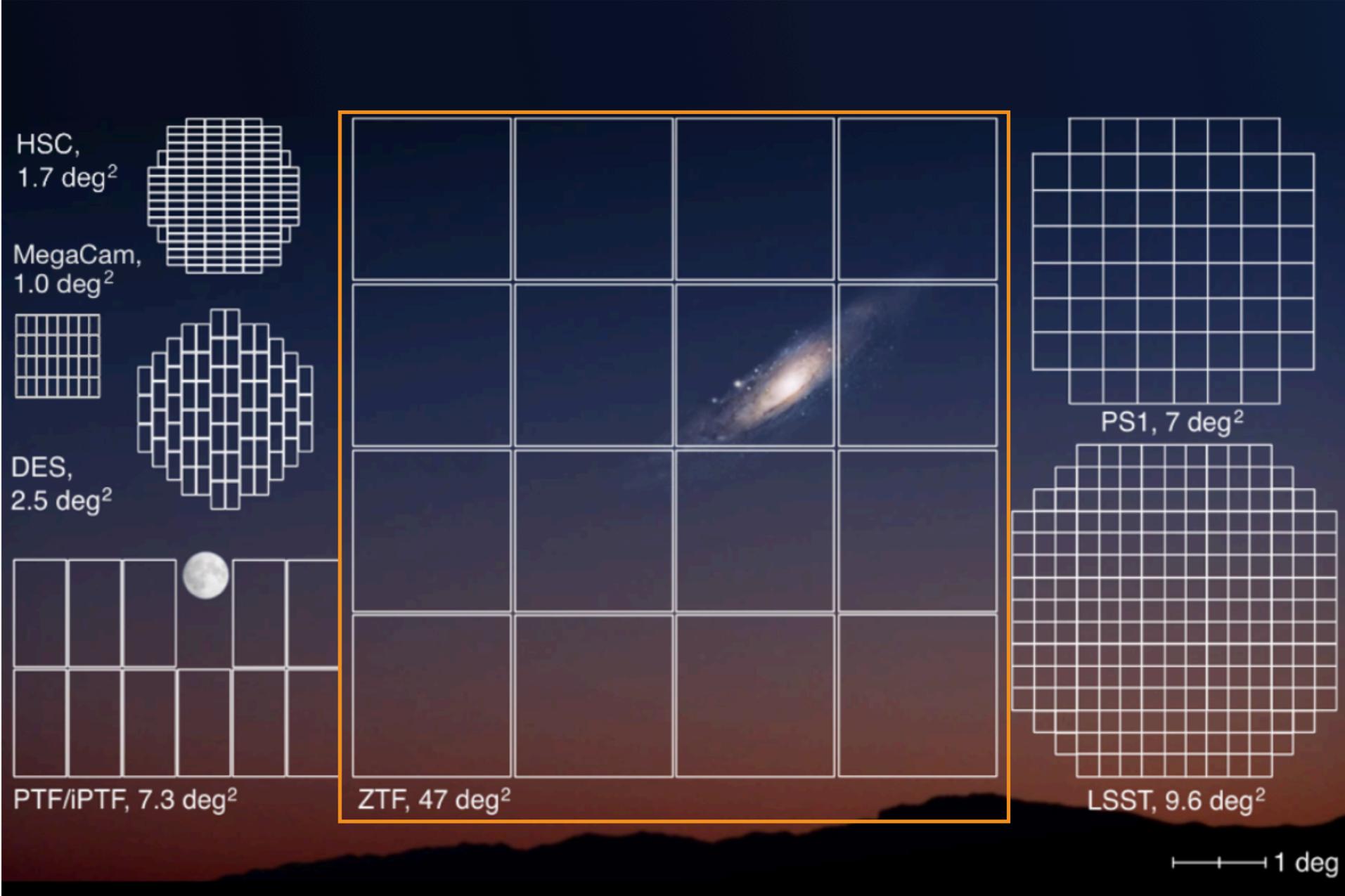


Solution: real time follow-up

- Since 2016, IceCube releases neutrino “alerts” (~50% signal probability)
- Localized to 1-10 deg²
- Chance coincidence with a Fermi-detected blazar is high
- The temporal coincidence with a gamma ray flare from a blazar leads to association at the 3 sigma level (Science 2018)



Follow-up of neutrino alerts with the Zwicky Transient Facility (ZTF)



ZTF and Tidal Disruption Events

- Tidal Disruption Events (TDEs) are rare: only 30 found in the last decade (for a review see van Velzen et al. 2020)
- With ZTF, we tripled the number good TDEs (van Velzen et al. 2019; 2021)
- Radio-emitting TDEs are even more rare (Alexander, van Velzen, et al. 2020)
- In October 2019, we found a HE neutrino spatially coincident with a radio-emitting TDE (Stein et al. ATel #13160)



One of the 16 ZTF CDDs (3 deg²)

On the day of IC191001A

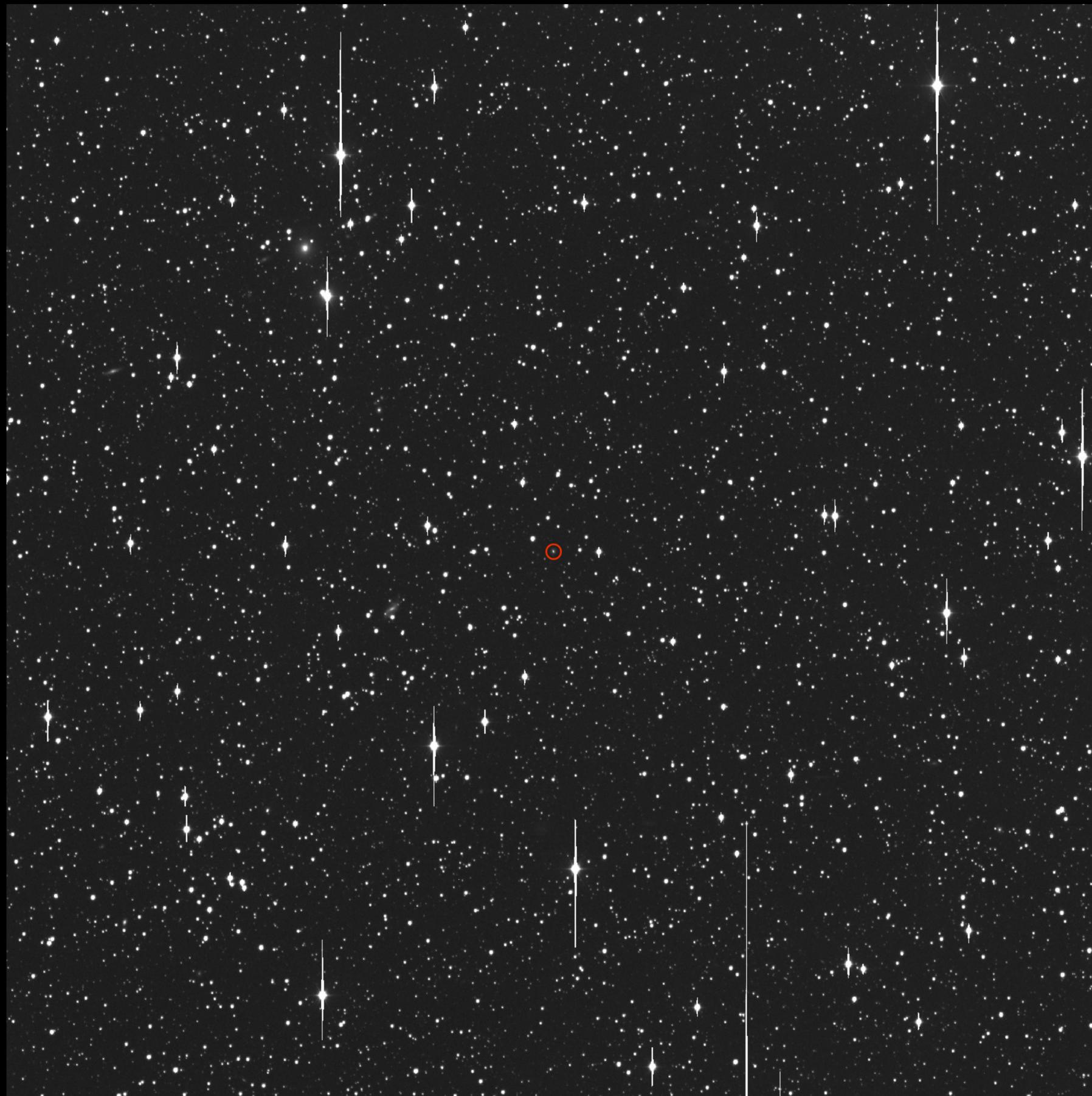


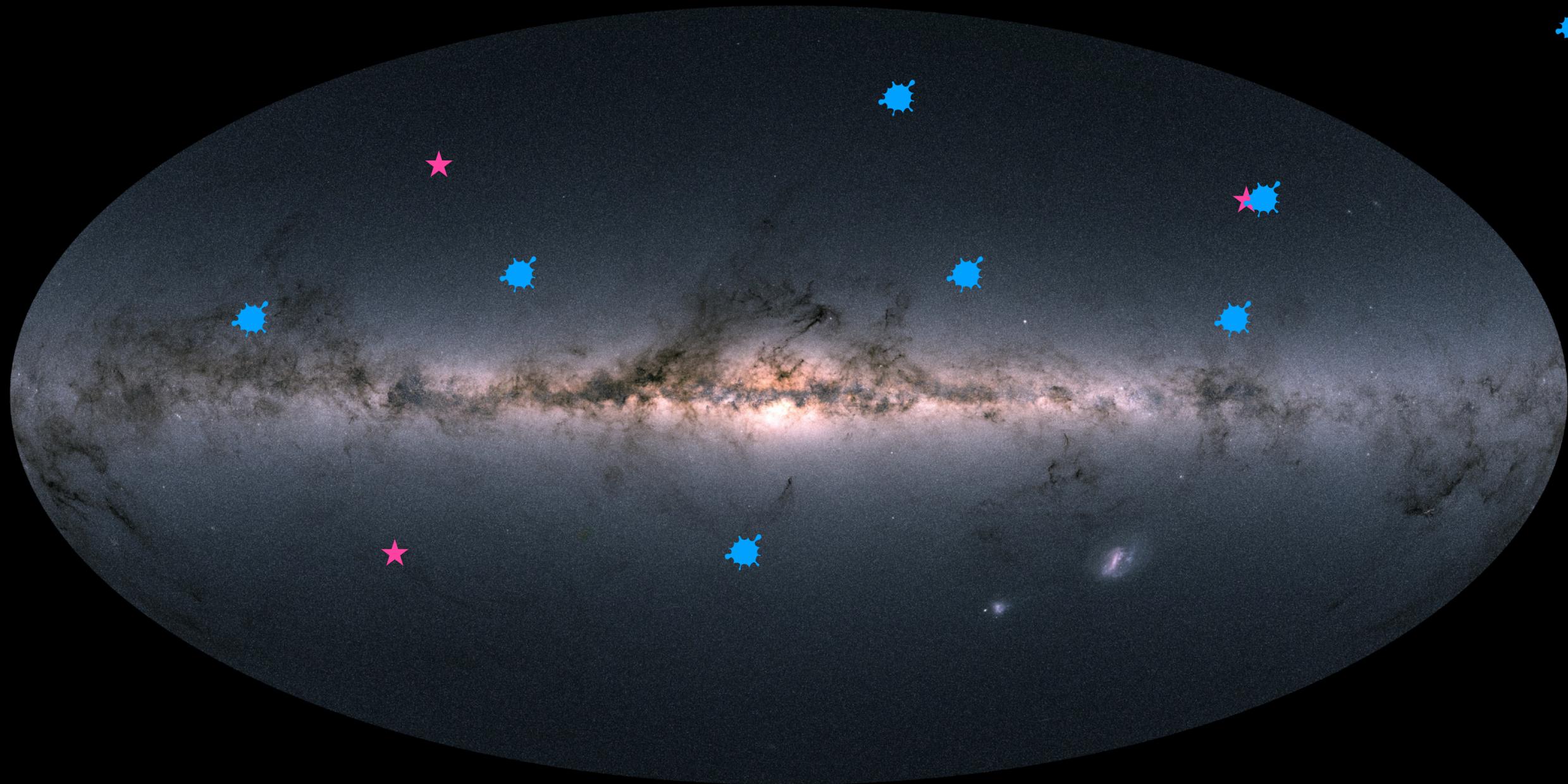
Image: Robert Stein

A neutrino coincident with a tidal disruption event

Paintball-based significance ($p=0.005$)

★ Radio TDE

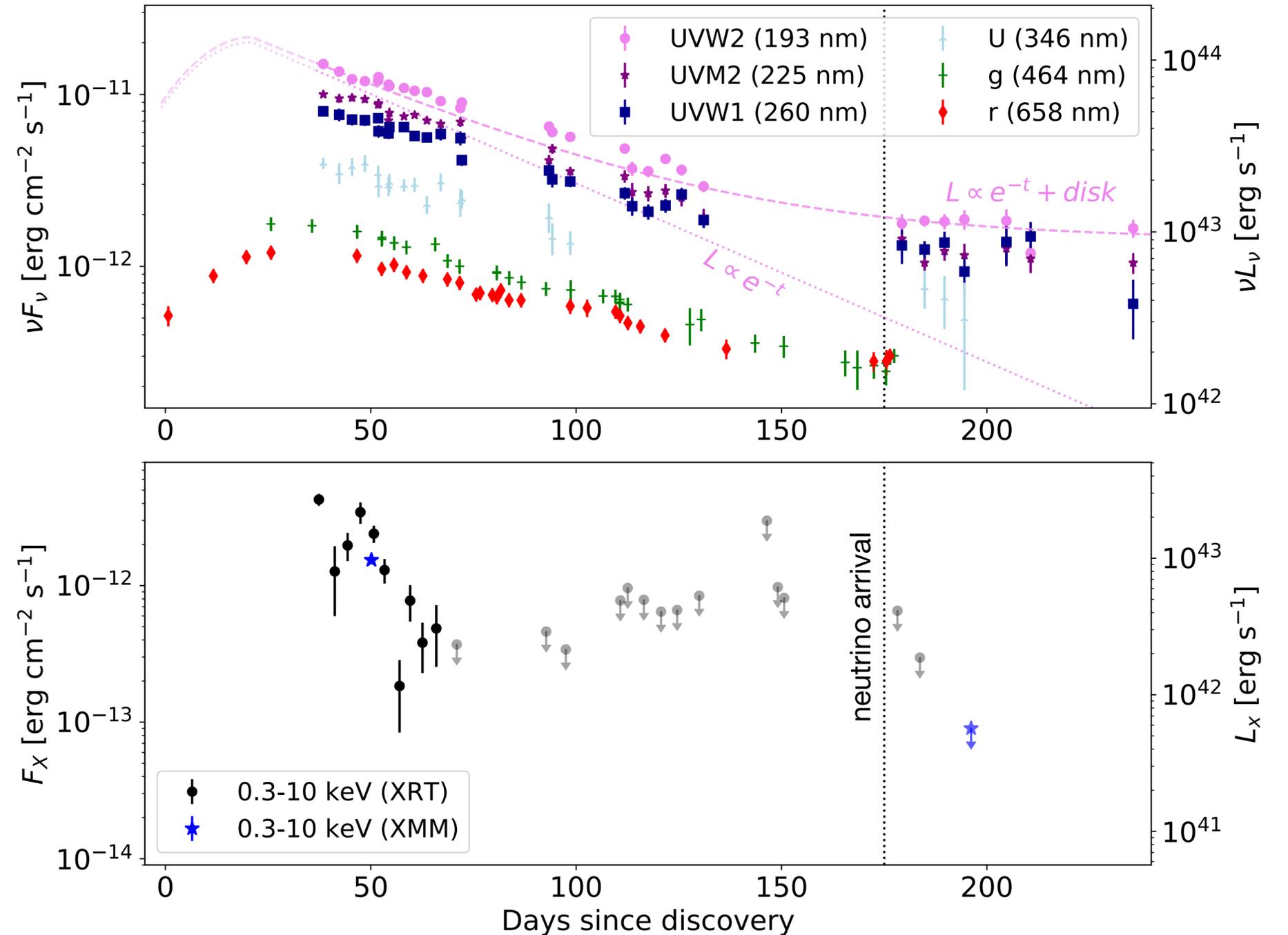
☼ Neutrino



The multi-wavelength picture

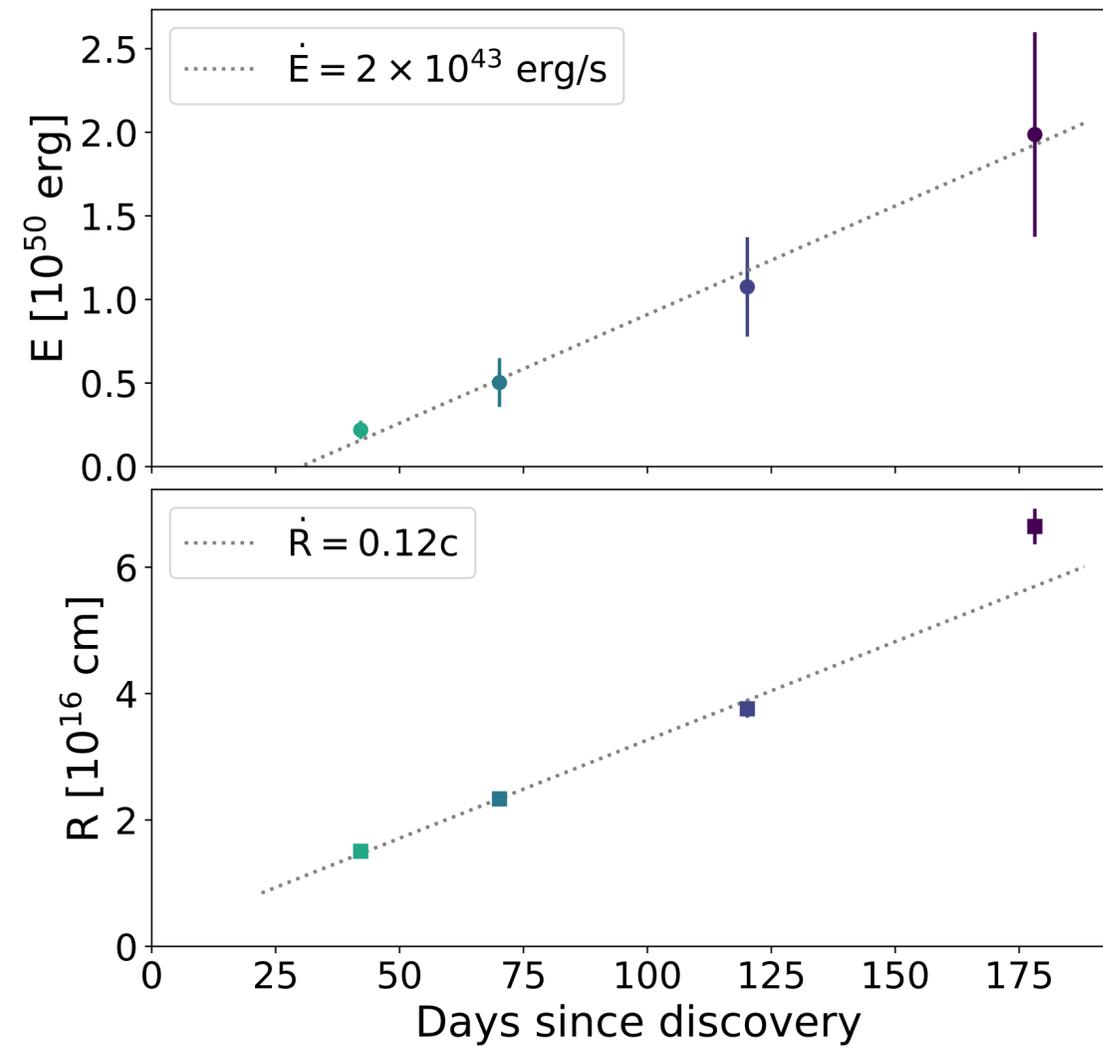
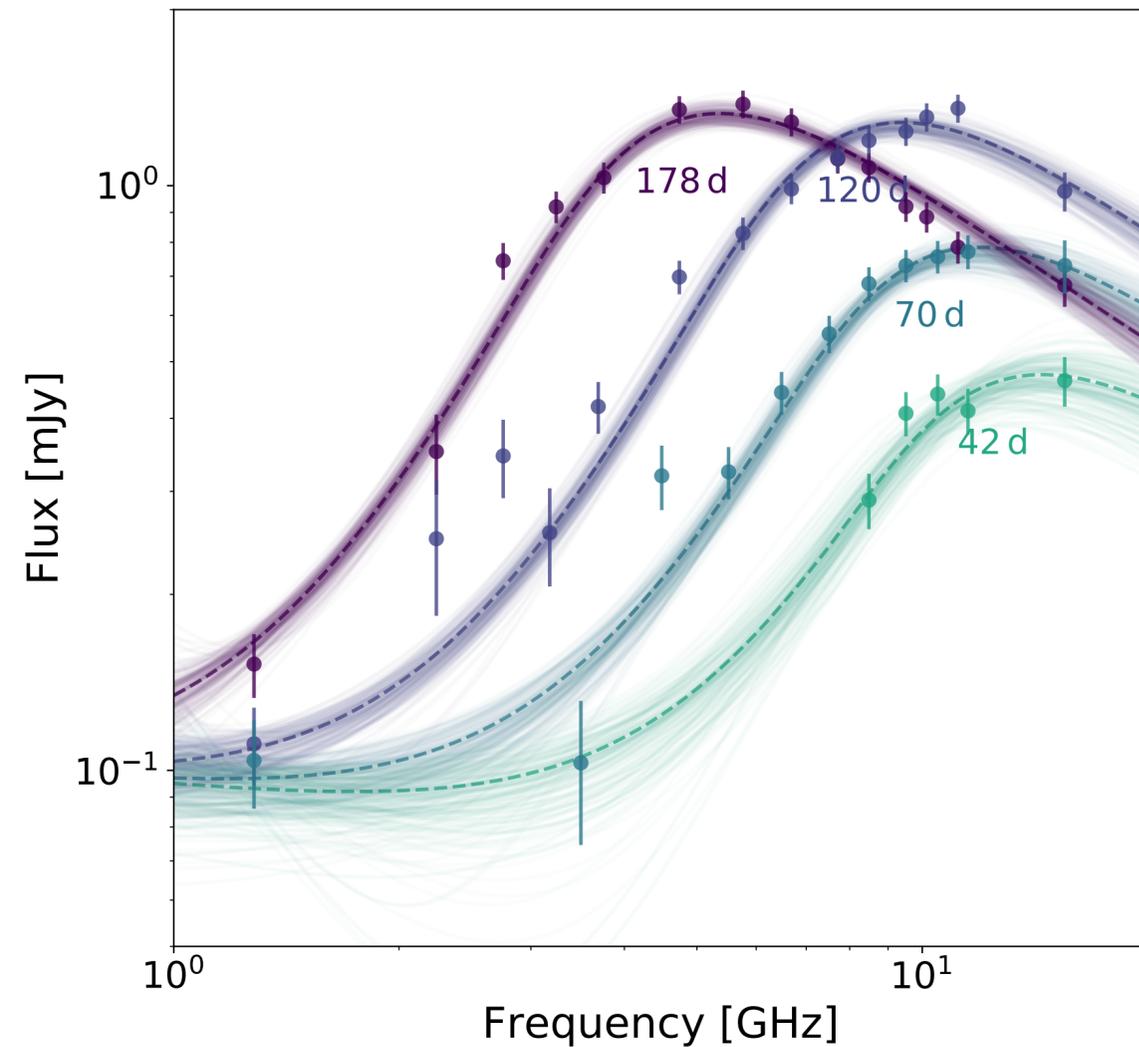
A record-breaking TDE

- Very high UV luminosity (2nd highest flux on Earth)
- X-rays from accretion disk
- Very bright IR emission due to “dust echo”
- Neutrino arrived late, about 6 months post peak



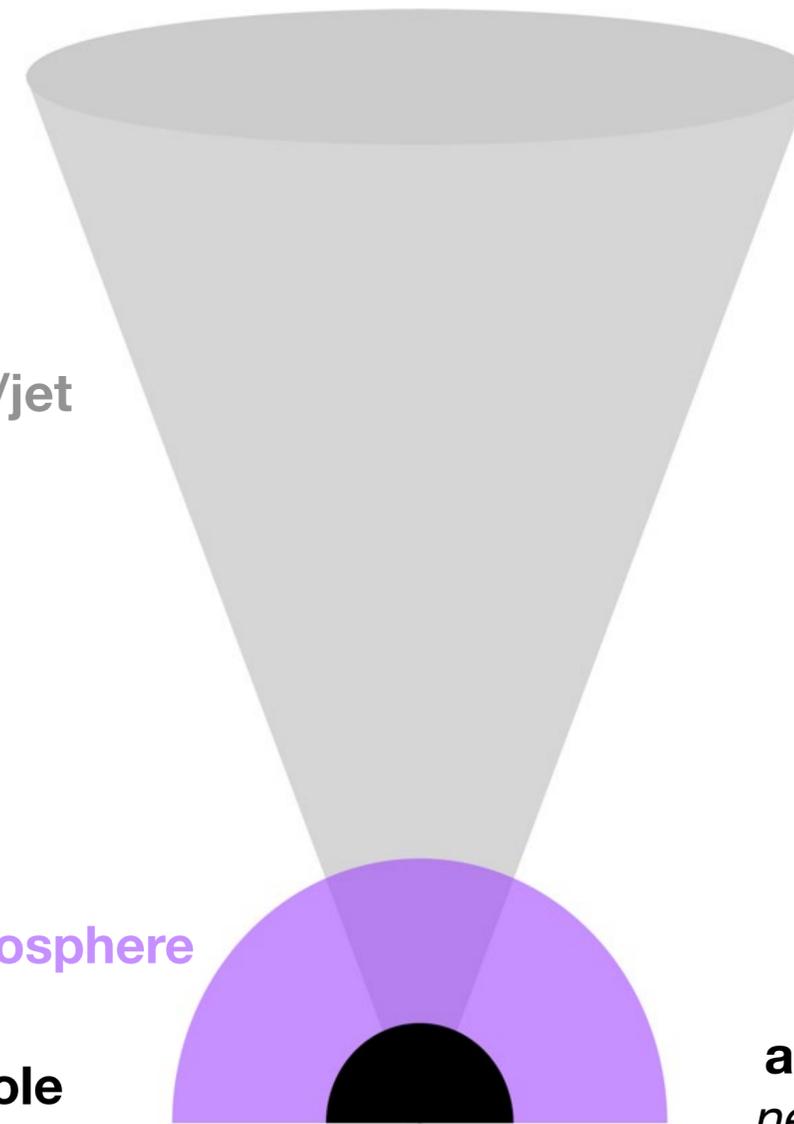
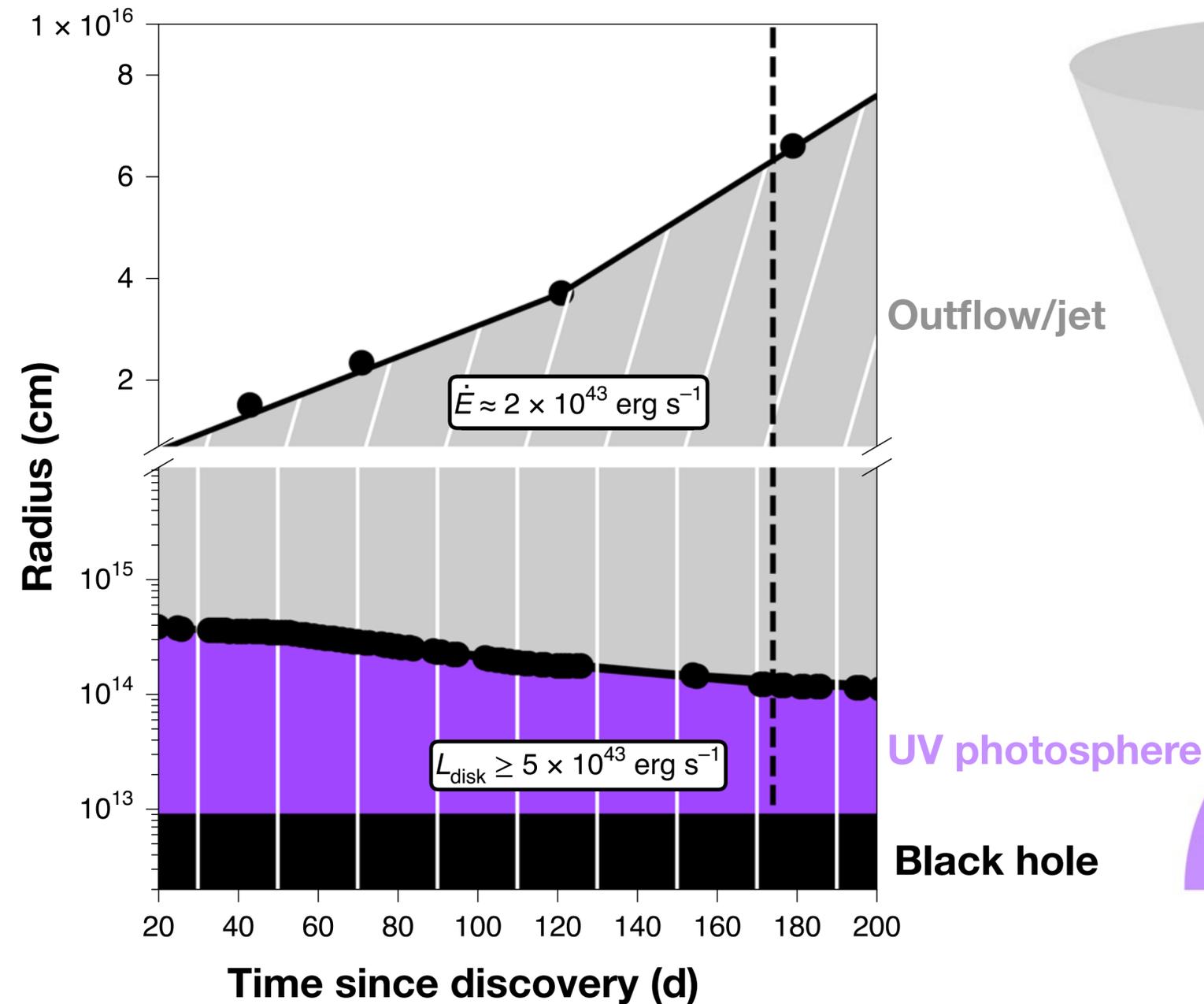
Radio monitoring with the VLA

Constant energy injection by central engine



Stein, van Velzen et al. (2021, Nature Astronomy)

Multiple zones of emission

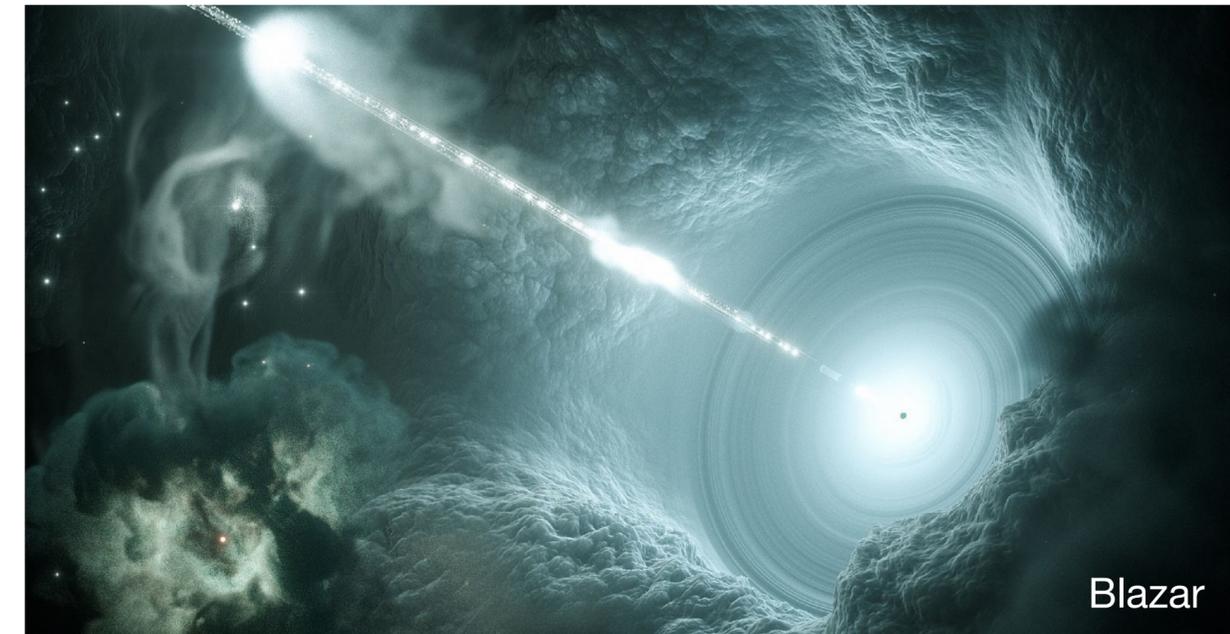


Proton acceleration in jet/outflow shock?
unlikely because density is too low for neutrino production

Proton acceleration at/near the accretion disk?
neutrino production thanks to high UV photon density

Conclusions

- Tidal disruption events: second possible source for cosmic neutrinos
- Radio observations imply a central engine with constant power over ~ 1 yr
- From the neutrino detection we infer this engine can accelerate protons to at least ~ 1 PeV
- A few acceleration mechanisms possible (Winter & Lunardini 2021; Murase+20; Liu+20)
- I prefer the accretion disk: high UV photon density leads to PeV scale neutrino production (via Δ resonance; equivalent to GZK limit)



What is next?

- We already found another ZTF neutrino association! (unpublished)
- More TDEs from ZTF and BlackGEM (NOVA-funded), with machine learning applications
- More radio follow-up with VLA Large program (300 hours!) and MeerKAT
- IR observations of TDE dust echoes (James Webb Space Telescope preparation)
- Population analysis to infer black hole spin (axions!)
- Contact me for student projects or to collaborate



Media



Kosmisch 'spookdeeltje' betrapt in het Zuidpool-ijs

George van Hal
Amsterdam

Ongeremd vliegt het door sterren en planeten, maar nu - na een kosmische reis van 700 miljoen jaar - is het diep in het Zuidpool-ijs tóch betrapt: een 'spookdeeltje', een kosmische neutrino. Pas voor de tweede keer in de menselijke geschiedenis is zo'n deeltje herleid tot zijn bron, een superzwaar zwart gat dat een ster aan stukken scheurde.

Ze vliegen overal dwars doorheen. Vluchtig, ongrijpbaar. Het maakt van zogeheten neutrino's, deeltjes die zich vrijwel niets aantrekken van andere materie, misschien wel de meest mysterieuze bouwstenen van de wereld om

ons heen. Toch: héél af en toe vangen we er eentje, in monsterlijke meetapparaten op exotische locaties, zoals de IceCube-detector op Antarctica, die met sensoren diep onder het ijs de spookdeeltjes betrapt.

Onlangs zag dat apparaat een wel héél bijzonder exemplaar, schrijven astronomen maandag in het vakblad *Nature Astronomy*. Een deeltje die met een fikse bonk energie op de sensoren klapte: grofweg dertigmaal meer dan de krachtigste botsingen die fysici in deeltjesversnellers als de Large Hadron Collider van Cern kunnen maken. Zulke hoge energieën vergaren deeltjes meestal slechts als ze diep in de kosmos een flinke zwiep hebben gekregen.

Normaliter is het verhaal daarmee af. Controleren of een neutrino daadwerkelijk uit het heelal komt, is namelijk buitengewoon lastig, vertelt astronoom Sjoert van Velzen (Universiteit Leiden), co-auteur van het nieuwe artikel. Maar ditmaal hadden ze geluk: het neutrino bleek afkomstig uit een gebied aan de hemel waar hij en zijn collega's met radiotelescopen ook een superzwaar zwart gat een ster aan stukken hadden zien trekken. Uit een statistische analyse bleek dat er een kans van één op vijfhonderd bestond dat dat toeval was. Het neutrino is dus vermoedelijk afkomstig van die kosmische catastrofe, zo luidt hun conclusie.

Hoe precies is nog een raadsel. Zeker is dat het enorme geweld waarmee het zwarte gat de ster verzwoeg de energie leverde om het deeltje te maken. 'We hebben een aantal scenario's opgesteld, maar kunnen niet met zekerheid zeggen welke daarvan klopt', zegt Van Velzen.

Fysicus Dorothea Samtleben van deeltjesinstituut Nikhef is enthousiast en noemt de vondst spannend. 'Dit is wat iedereen heel graag wil: de bron van dit soort hoogenergetische kosmische straling vinden.' Mede daarom is ze echter ook terughoudend. 'Omdat iedereen zo graag een bron wil vinden, moet je extra sceptisch zijn. Het gaat hier maar om één deeltje. Dat is statistisch nog niet zo stevig. Ik kom zelf uit de deeltjesfysica, waar we pas spreken van een vondst bij een kans op toeval van 1 op de 3,5 miljoen', zegt ze. 'Daar zit dit nog mijlener vanaf.'

Pas één keer eerder lukte het om het pad van een hoogenergetische kosmische neutrino terug te leiden naar de bron - destijds overigens op basis van ruim tien gemeten neutrino's. Drie jaar terug zagen astronomen die deeltjes vertrekken uit een sterrenstelsel met de naam 'Texas', een object die dat jaar prominente lijstjes van wetenschappelijke haalde.



16 Wetenschap

nrc
DONDERDAG 25 FEBRUARI 2021



Impressie van het uiteenrijten van een ster door een superzwaar zwart gat, op 690 miljoen lichtjaar afstand. ILLUSTRATE DES/SCIENCE COMMUNICATION LAB

ONDERZOEK

De reis door het heelal van bijna 700 miljoen jaar botste een neutrino op het ijs van Antarctica.

erker

Een energierijk, de dat eind 2019 gen het ijs van Antarctica van een ster die 700 miljoen jaar afstand door zwart gat aan stukurd. Het is pas de de bron van zo'n f energie is herleid, men in een artikel cheen in *Nature Astronomy*.

aan te trekken. De neutrino die eind 2019 gespot werd, is bijna 700 miljoen jaar ongehinderd onderweg geweest totdat het op een watermolecuul in het zuidpoolijs knalde. Het

deeltje had veel energie, meer dan 100 tera-elektronvolt. Dat is ruim tien keer meer dan de meest krachtige botsingen die fysici kunnen realiseren in de deeltjesversneller LHC van CERN op de grens van Zwitserland en Frankrijk.

De botsing werd gezien door de neutrino-detector IceCube. IceCube-onderzoekers lichten astronomen in om te kijken of zij toevallig iets gezien hadden in het gebied aan de hemel waar de neutrino vandaan kwam, vertelt co-auteur Sjoert van Velzen, van de Universiteit Leiden. Meestal levert dit niets op, maar nu was het raak. De neutrino bleek afkomstig uit een gebied waar een superzwaar zwart gat - met dertig miljoen keer de massa van de zon - een ster aan stukken aan het scheuren was. Slierten materie, afkomstig van de ster, draaien hierbij in een kolkende schijf om het zwarte gat voordat ze erin verdwijnen, als een draai-

kol van water dat in een afvoerputje verdwijnt.

De kans dat de neutrino toevallig tegelijkertijd met dit kosmische geweld ontstond is slechts een op vijfhonderd, schrijven de onderzoekers. Dat maakt het zeer waarschijnlijk dat de neutrino door de verscheurde ster geproduceerd werd.

Het is een spannende en onverwachte ontdekking

Antoine Kouchner Antares

De neutrino-detectie vertelt iets over de manier waarop de ster verscheurd wordt. 'Dat we een neutrino zien, betekent dat er in de kolkende schijf bij het zwarte gat deeltjes verspreid worden tot een hoge energie', zegt Van Velzen. 'Als die verspreide

deeltjes botsen met andere materie die ook rond het zwarte gat draait, dan ontstaan er namelijk neutrino's.' Hoe die deeltjes precies verspreid worden en waar ze mee botsen is nog onduidelijk. Sinds de bekendmaking van de ontdekking zijn er wel al enkele artikelen verschenen met mogelijke verklaringen, maar een definitief antwoord is er nog niet.

Combinatie van metingen

'Het is een spannende en onverwachte ontdekking. Zowel de observatie van zo'n neutrino als van een verscheurde ster, is zeldzaam', zegt Antoine Kouchner, woordvoerder van Antares, een neutrino-detector in de Middellandse Zee en niet betrokken bij de publicatie. 'Het is ook een mooie demonstratie van zogeheten multi-messenger-astronomie, waarbij verschillende soorten metingen gecombineerd worden. De ontdekking was alleen mogelijk door traditionele

telescoopmetingen te combineren met de neutrino-detectie.'

Het is de tweede keer dat de herkomst van een energierijk neutrino achterhaald is. De eerste keer, in 2018, bleek de herkomst een bundel hoogenergetische materie, uitgezonden door een superzwaar zwart gat. De derde zit in de pijplijn, vertelt Kouchner. 'De IceCube-samenwerking heeft recentelijk aangekondigd dat ze nog een neutrino hebben gevonden die afkomstig is van een ander zwart gat dat een ster verscheurt.' Deze ontdekking is nog niet gepubliceerd.

Kouchner en Van Velzen verwachten dat er de komende tijd nog meer bronnen van energierijke neutrino's gevonden worden. IceCube krijgt een upgrade en er komt een nieuwe neutrino-detector, genaamd KM3NeT, in de Middellandse Zee. Ook vindt er steeds meer multi-messenger-astronomie plaats.

URLs

https://www.desy.de/news/news_search/index_eng.html?openDirectAnchor=2030&two_columns=0

<https://www.youtube.com/watch?v=-dFQYQCmqk>

<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/nasa-s-swift-helps-tie-neutrino-to-star-shredding-black-hole>

