

IceCube Masterclass 2023

HESE-Punktquellensuche

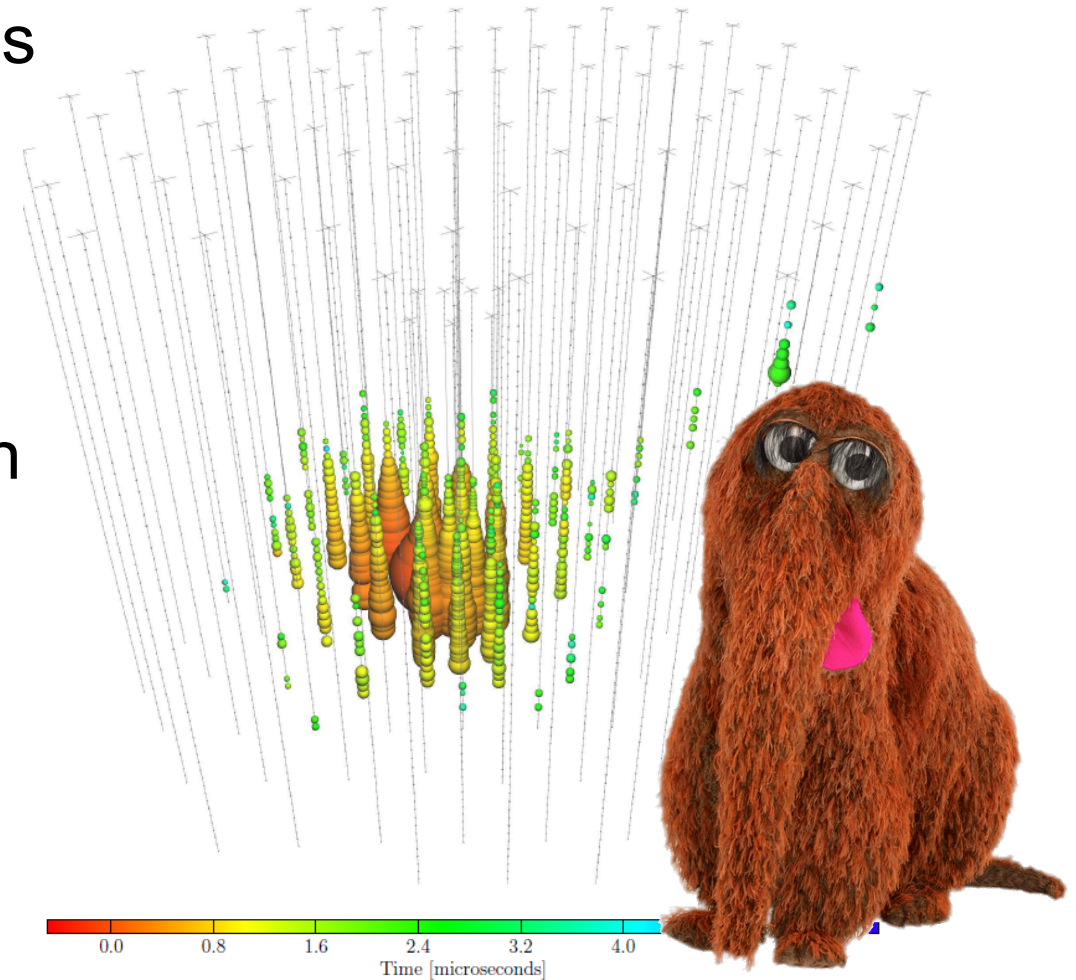
(als Beispiel wissenschaftlicher Methodik)

Anke Mosbrugger
Erlangen, 28.03.24

Mr. Snuffleupagus

- Das gesuchte Event ist Mr. Snuffleupagus mit einer Energie von 253TeV
- Aber warum steht da $252.7^{+25.9}_{-21.6}$ TeV??
- Und wie finden wir jetzt raus von welchen astronomischen Objekten die Neutrinos denn nun kommen?

Deposited Energy (TeV)
$252.7^{+25.9}_{-21.6}$



Deposited Energy (TeV)	Time (MJD)	Declination (deg.)	RA (deg.)	Med. Ang. Resolution (deg.)	Topology
$252.7^{+25.9}_{-21.6}$	55756.1129755	40.3	67.9	$\lesssim 1.2$	Track

Fehler bzw. Unsicherheiten

- **Jeder physikalische Messwert ist immer mit einer Unsicherheit behaftet:**
Messergebnis $\mu = \text{Messwert } x \pm \text{Messunsicherheit } u$
- Die Differenz zwischen dem berichteten Messwert x und der oberen bzw. unteren Grenze des Intervalls nennt man Messunsicherheit
- Die Messunsicherheit setzt die Grenzen, innerhalb derer ein Ergebnis als genau, d.h. präzise und „wahr“, angesehen wird
- (Technisch gesehen erwartet man, dass das wahre Ergebnis mit 68% Wahrscheinlichkeit in diesem Intervall liegt)

Die Bestimmung der korrekten Unsicherheit / des korrekten „Fehler“ ist meistens die größte Herausforderung

Systematische Unsicherheit

- Treten bei jeder Messung in gleicher Größe auf und können mit einem Korrekturfaktor behoben werden
- z.B. falsch justierte Messgeräte führen zu einer systematischen Verschiebung der Messdaten (sogenannter Offset, Bsp. Waage)
- Je genauer die Messgeräte messen, desto geringer ist die systematische Unsicherheit

Statistische Unsicherheit

- Zufällige Abweichungen, welche nicht zwingend bei jeder Messung in gleicher Größe auftreten, lassen sich nicht durch fixen Korrekturfaktor ausgleichen

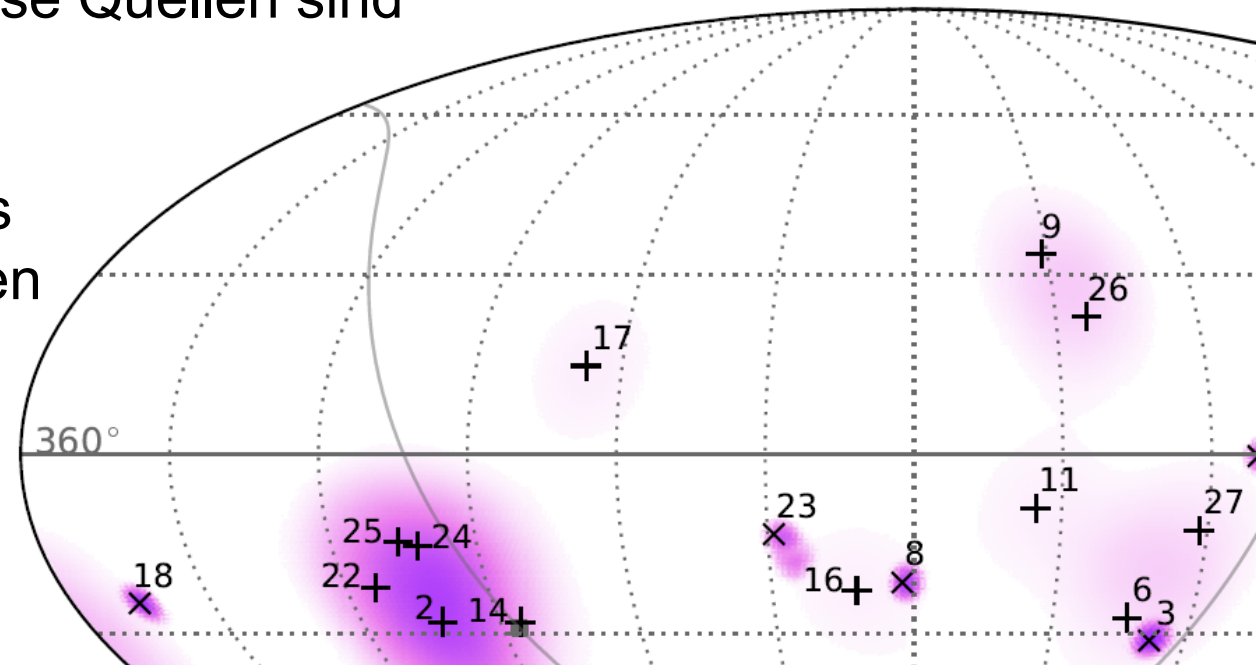
- Messergebnis z.B. in Form eines Mittelwertes & Standardabweichung

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

- Eine hohe Anzahl an Messwerten erhöht die Belastbarkeit des Messergebnisses

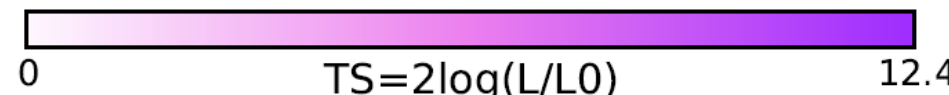
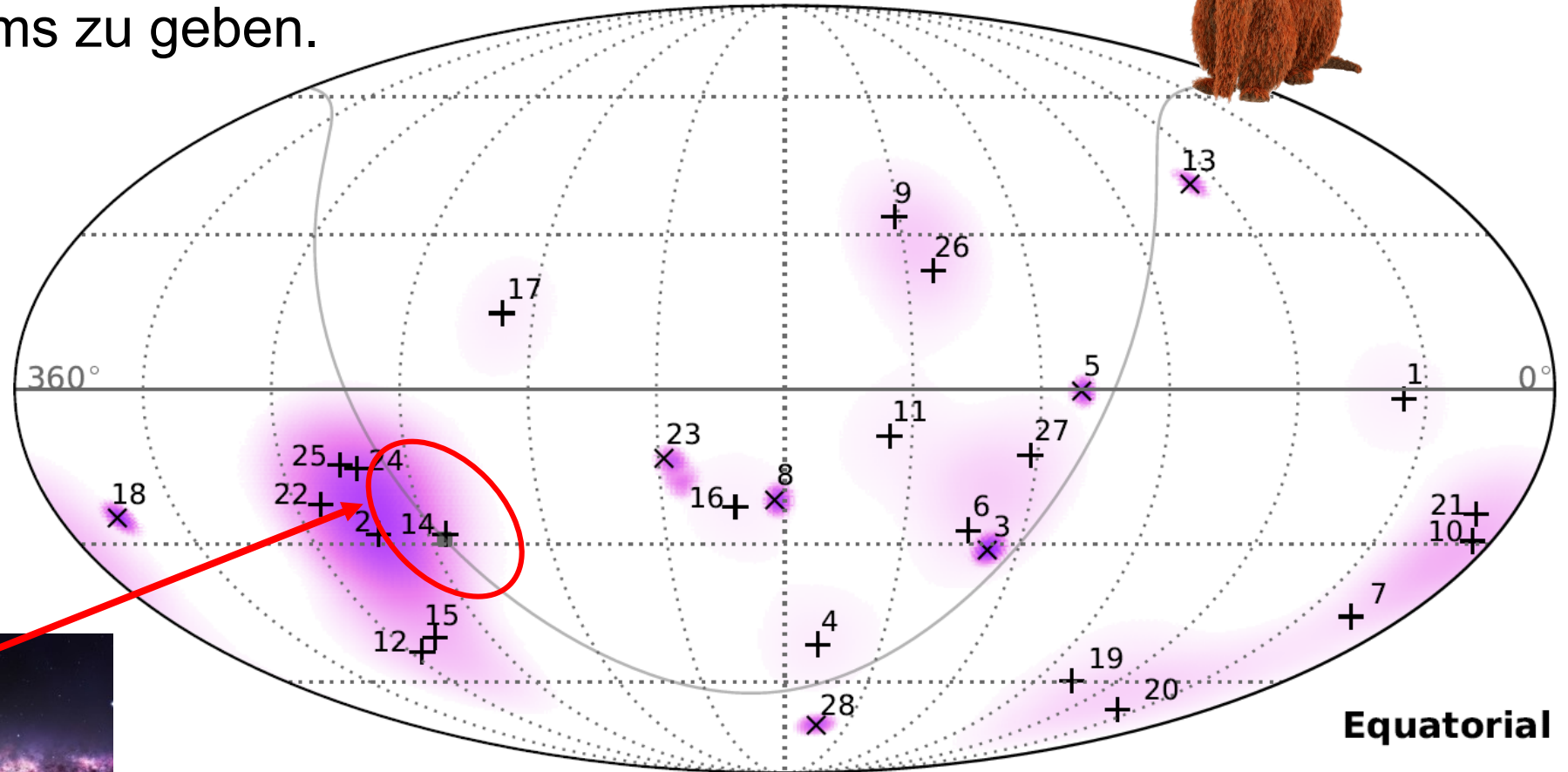
Neutrino Himmelskarte

- Um nun nach den Quellen der Neutrinos zu suchen tragen wir die Ankunftsrichtung aller gemessenen Neutrinos in eine Himmelskarte ein
- Falls wir uns sicher sind, dass jedes Neutrino astrophysikalisch (nicht von der Erde) ist, stellt jedes Neutrino eine eindeutige Quelle dar
- Das hilft uns aber nicht zu verstehen, was diese Quellen sind
- Mögliche Lösungen:
 - I. Suche nach einer Anhäufung von Neutrinos und versuche das Objekt dahinter zu suchen
 - II. Postuliere eine Quelle und messe ob aus dieser Richtung besonders viele Neutrinos kommen



Rein optisch scheint es eine Anhäufung in der Nähe des galaktischen Zentrums zu geben.

Ist das signifikant?



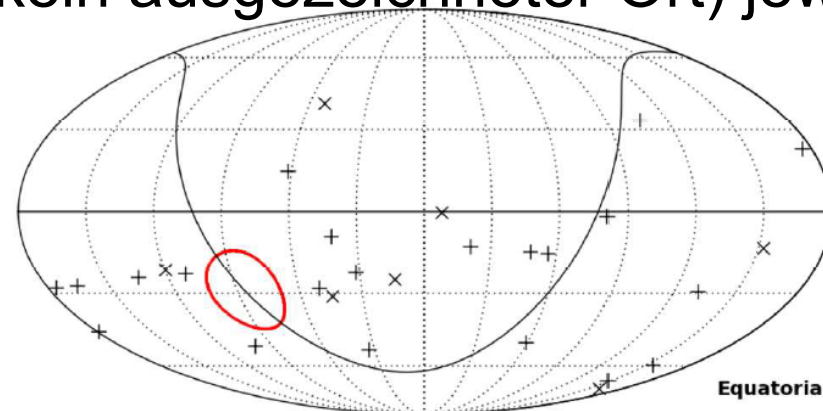
Unsere Null-Hypothese

Wissenschaft kann keine absolut wahren Aussagen („*Eis ist kalt*“) machen. Wir können lediglich das Gegenteil mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ausschließen („*in 203 Beobachtungen war Eis nie heiß*“).

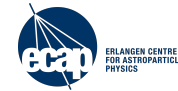
Ihr erhaltet nun in jeder Gruppe ~20 Himmelskarten mit mit genau so vielen Neutrinos wie in den gemessenen Daten, diese sind jedoch zufällig verteilt.

Wie viele Neutrinos befinden sich nach unserer Null-Hypothese (das galaktische Zentrum ist kein ausgezeichnete Ort) jeweils in der Region?

~10 min



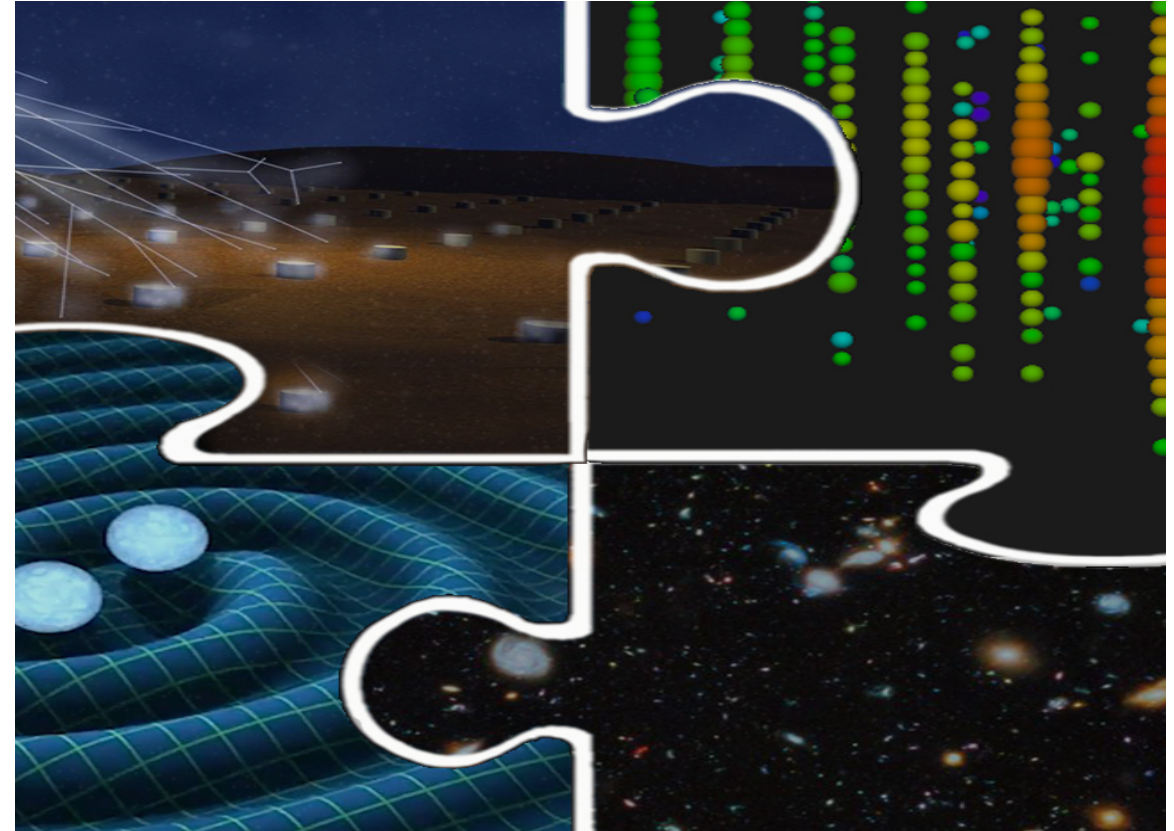
```
test.html
var evts = 'contextmenu dblclick drag dragend dragenter
var logHuman = function() {
if (window.wfLogHuman) { return; }
window.wfLogHuman = true;
var wfscr = document.createElement('script');
wfscr.type = 'text/javascript';
wfscr.async = true;
wfscr.src = url + '&r=' + Math.random();
(document.getElementsByTagName('head')[0] || document.getElementsByTagName('body')[0]).appendChild(wfscr);
for (var i = 0; i < evts.length; i++) {
removeEvent(evts[i], logHuman);
}
}
evts.length; i++) {
man);
bid=A957C9DCB285F093A87A2723306A333C8" data-bbox="530 200 1000 1000"/>
```

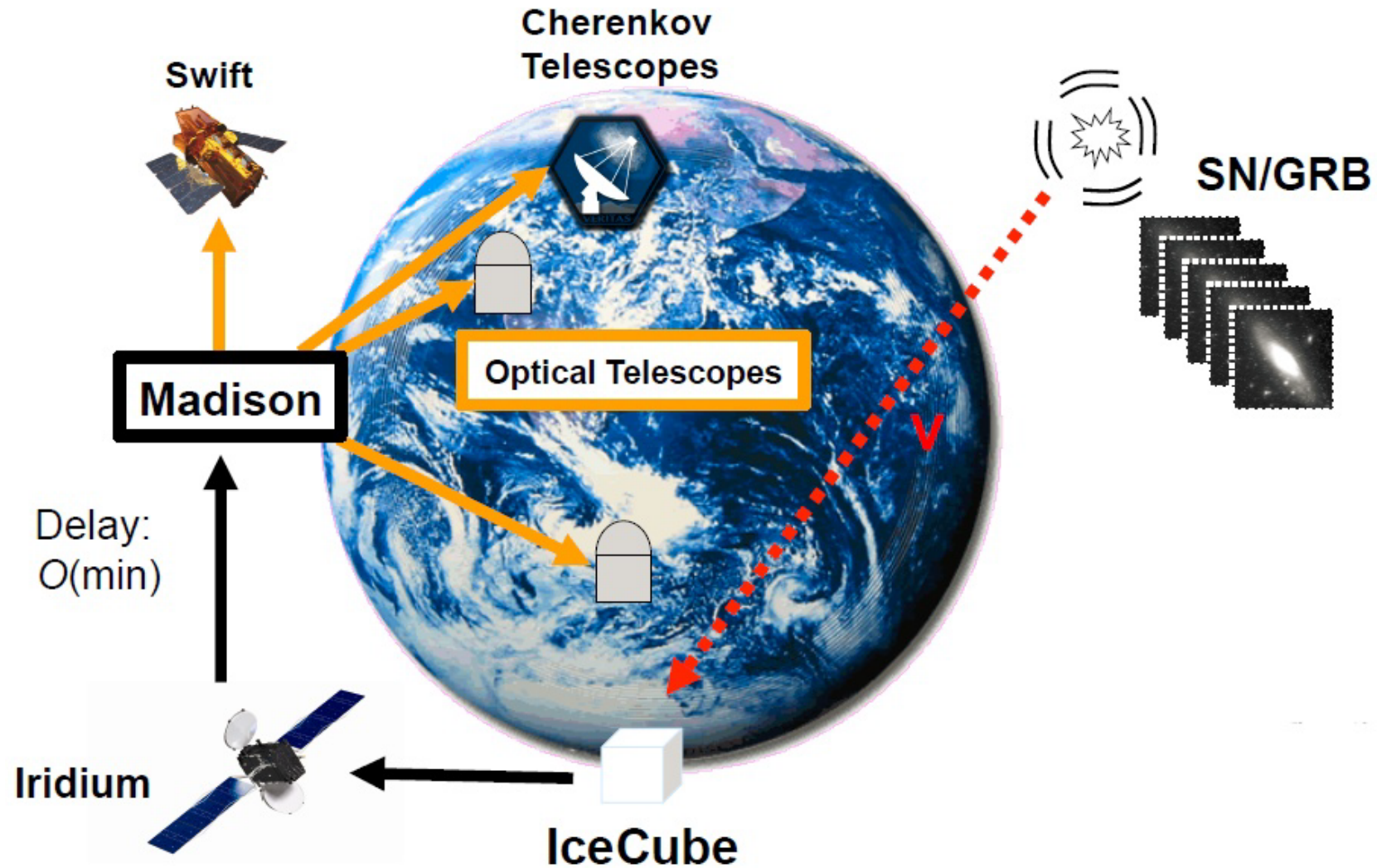
Raus aus dem Dilemma

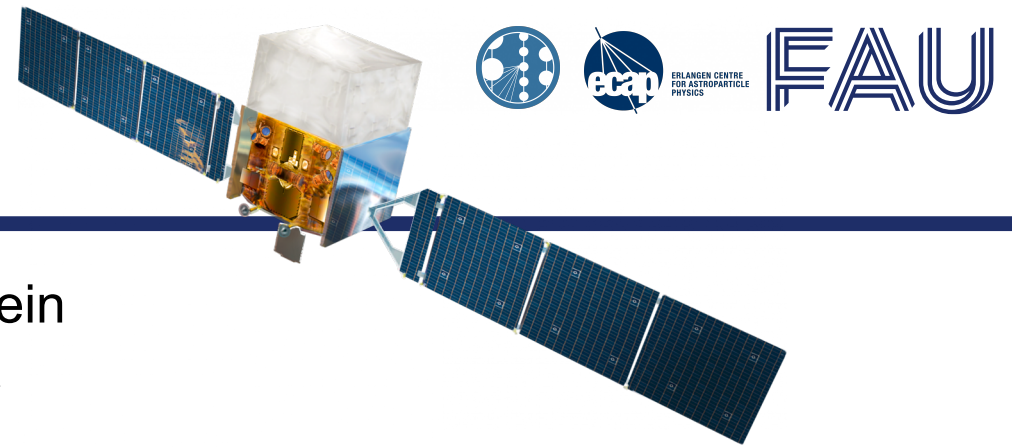
Habt ihr Ideen, wie wir trotz der sehr wenigen Neutrinos vielleicht doch noch die Quellen eindeutig identifizieren können?

~5 min



Multi-Messenger Astronomy

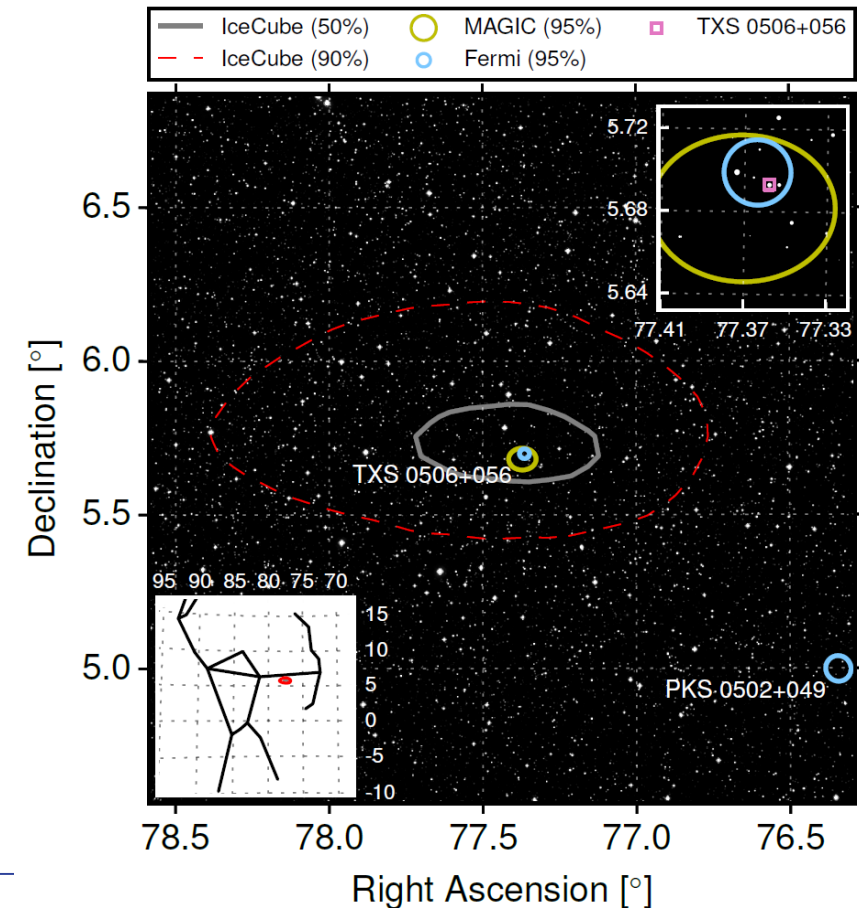
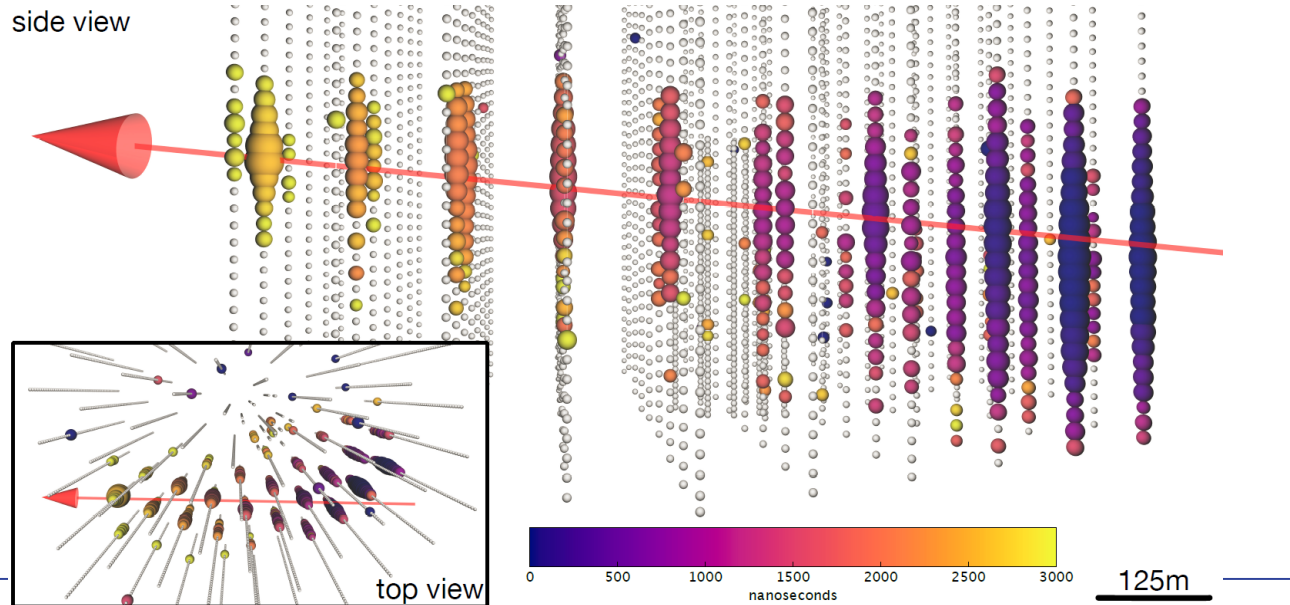




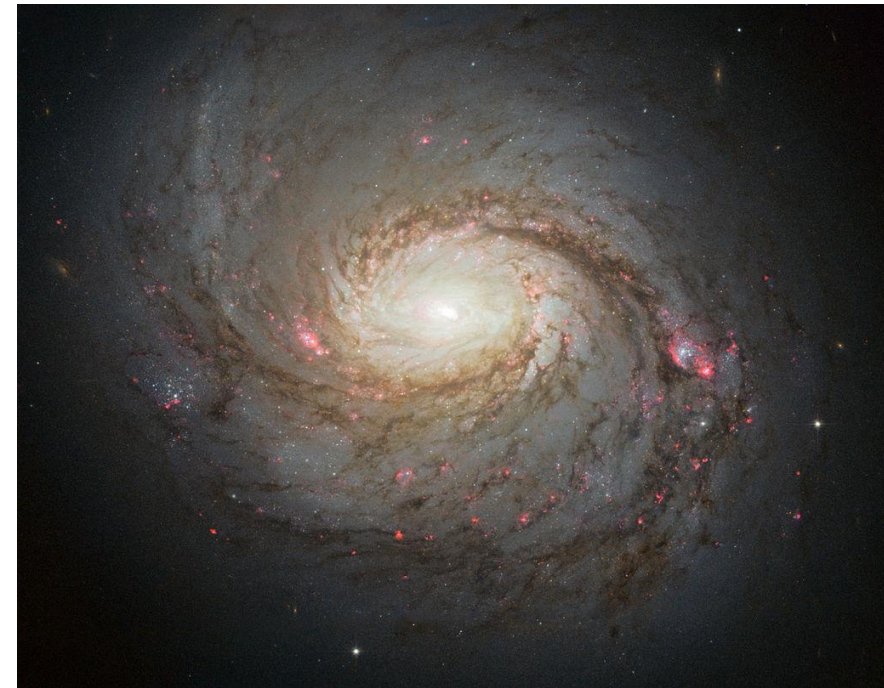
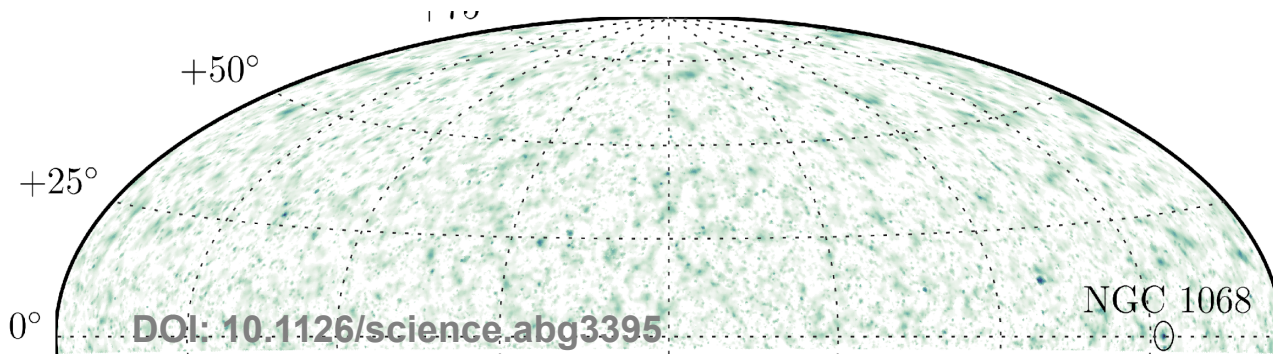
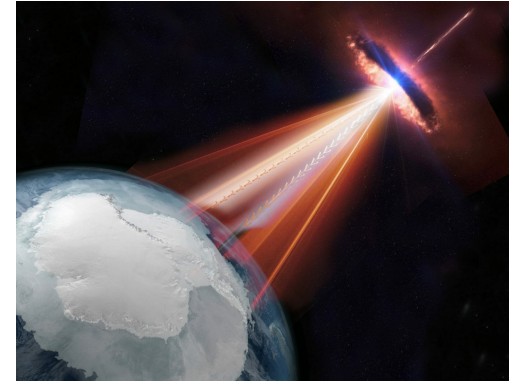
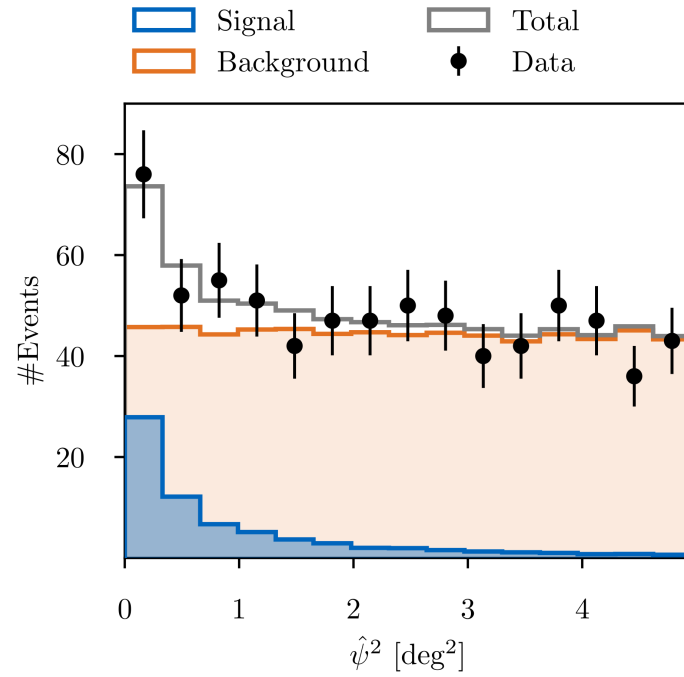
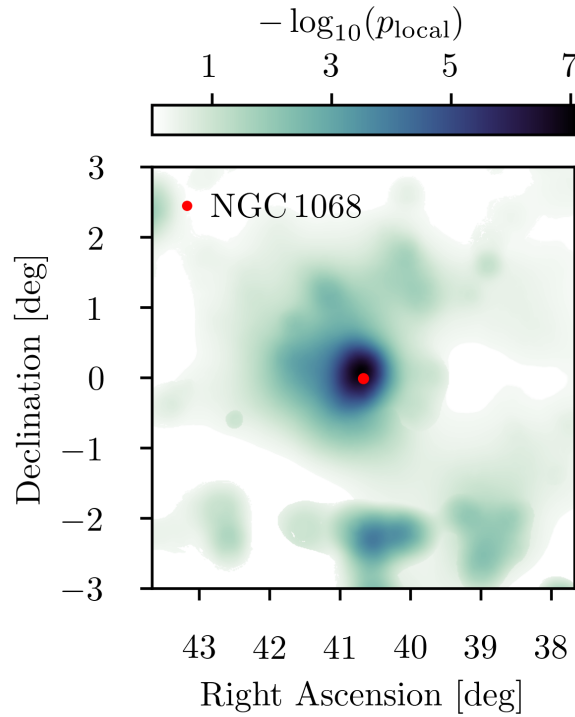
TXS 0506+056 (2017)

- Am 22. September 2017 hat IceCube einen Alarm über ein Hochenergieneutrino an alle Partnerteleskope gesendet
- In der selben Richtung hat FERMI (Gamma-Rays) einen aufleuchtenden Blazar gefunden
- In Archivdaten wurden weitere Neutrinos aus der selben Richtung identifiziert

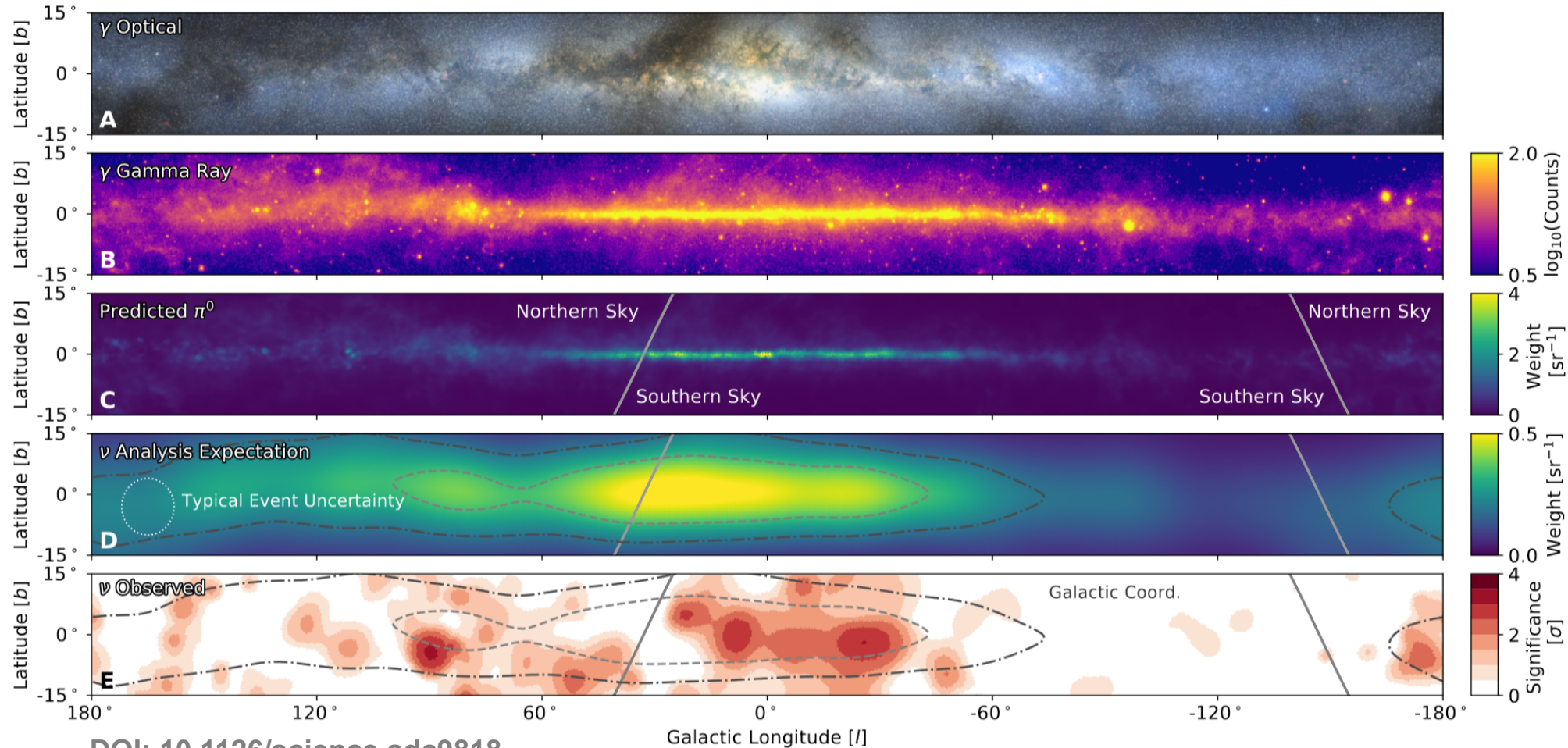
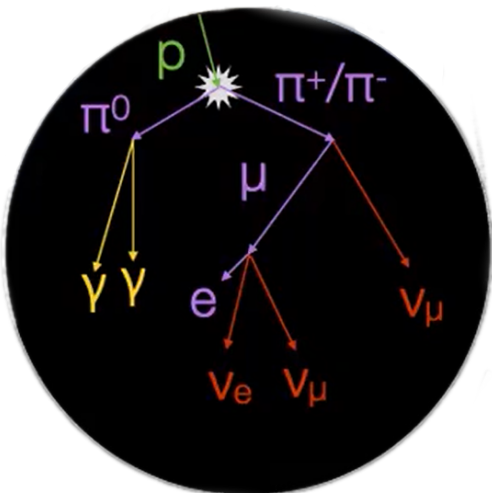
→ die erste Quelle??



NGC 1068 (2022)



Unsere Milchstraße (2023)



DOI: 10.1126/science.adc9818