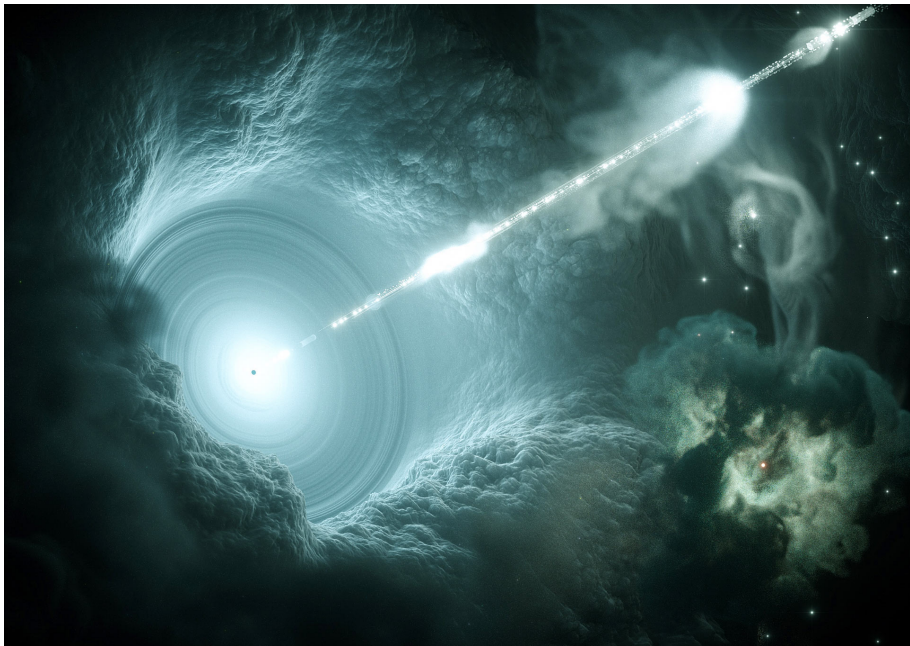


# De oorsprong van kosmische straling

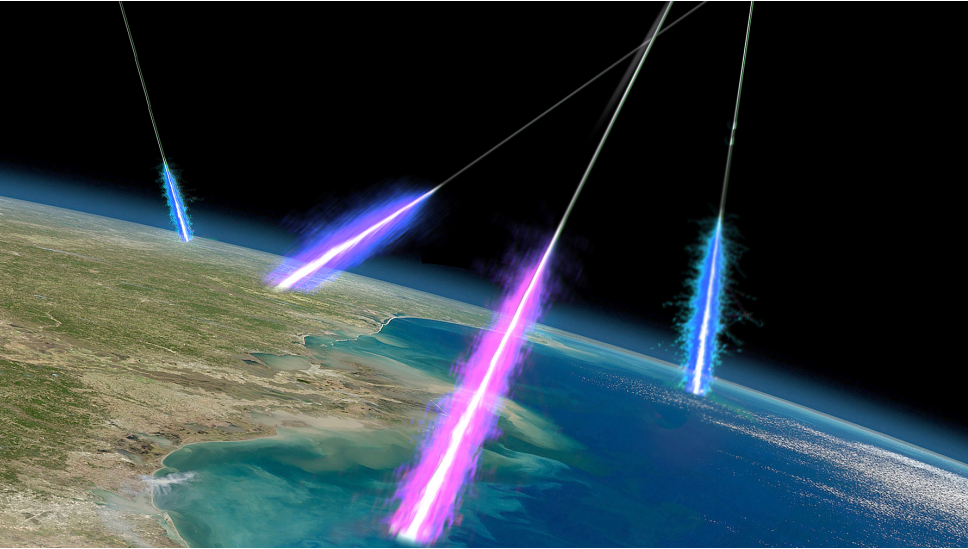


A long time ago in a galaxy far,  
far away....





Er bestaan krachtige deeltjesversnellers in het heelal



Maar waar komen deze kosmische stralen vandaan?

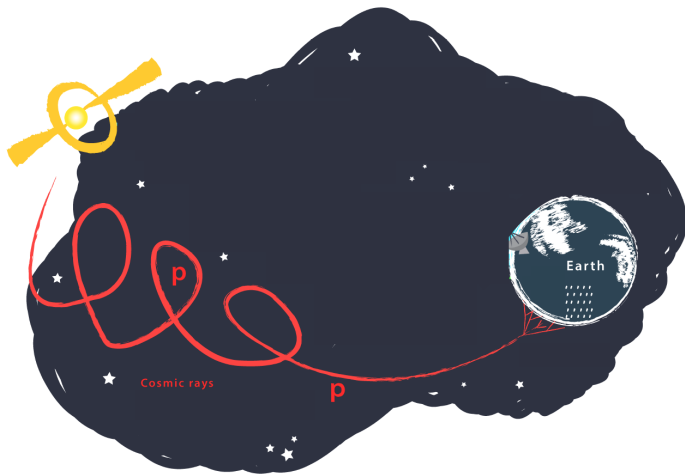


Image credit:  
Juan Antonio Aguilar and Jamie Yang. IceCube/WIPAC

Kosmische stralen wijzen niet terug naar hun oorsprong

Maar waar komen deze kosmische stralen vandaan?

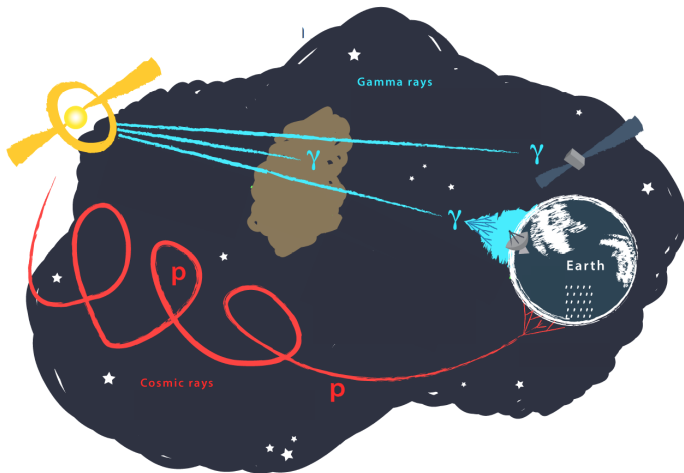


Image credit:  
Juan Antonio Aguilar and Jamie Yang. IceCube/WIPAC

Gamma stralen kunnen geabsorbeerd worden op weg naar de Aarde

Maar waar komen deze kosmische stralen vandaan?

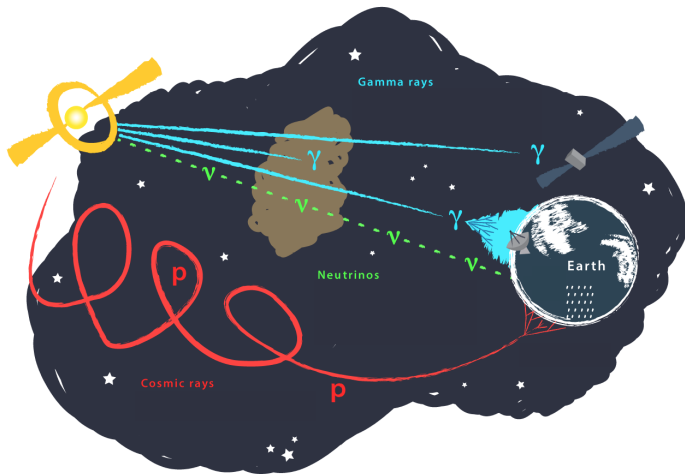
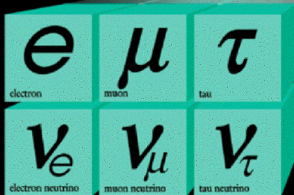
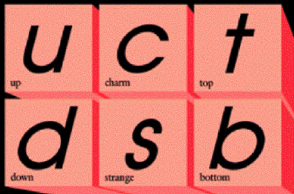


Image credit:  
Juan Antonio Aguilar and Jamie Yang. IceCube/WIPAC

Neutrino's zijn de ideale boodschappers

# Quarks



# Leptons



# Forces



## Neutrinos

- Elektrisch ongeladen
- (Bijna) geen massa
- Drie “smaken”
- Interageren zeer zwak



# (Geladen) kosmische stralen



- “Lage” energie: satellieten (AMS, PAMELA, ...)
- “Hoge” energie: Air Showers (Auger, TA, IceTop, ...)



# (Geladen) kosmische stralen



- “Lage” energie: satellieten (AMS, PAMELA, ...)
- “Hoge” energie: Air Showers (Auger, TA, IceTop, ...)

# Gamma-stralen



- “Lage” energie: satellieten (Fermi, Swift, ...)
- “Hoge” energie: Air Showers (MAGIC, HESS, HAWC, ...)

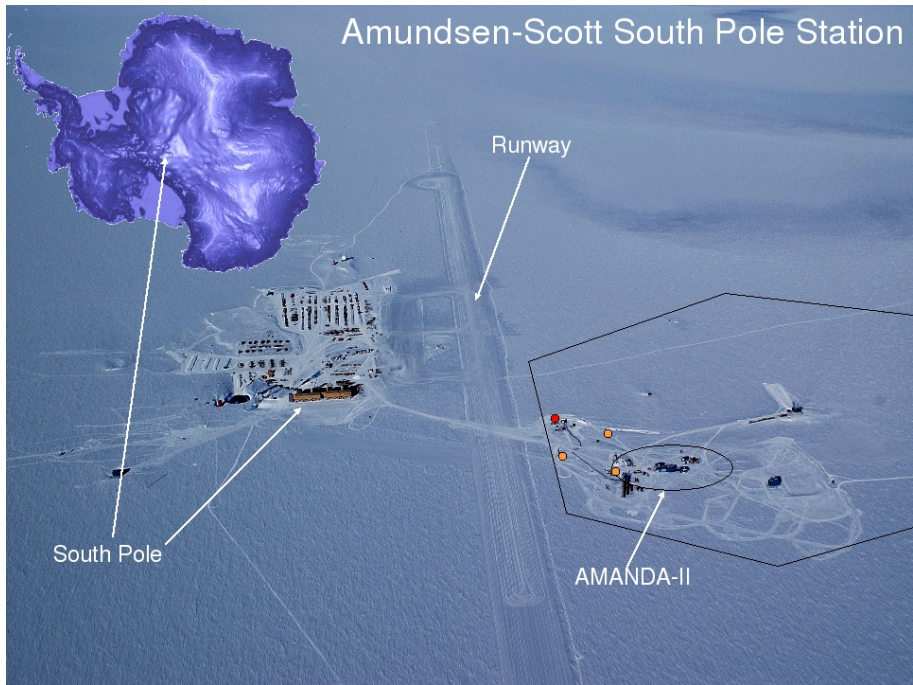
# Gamma-stralen

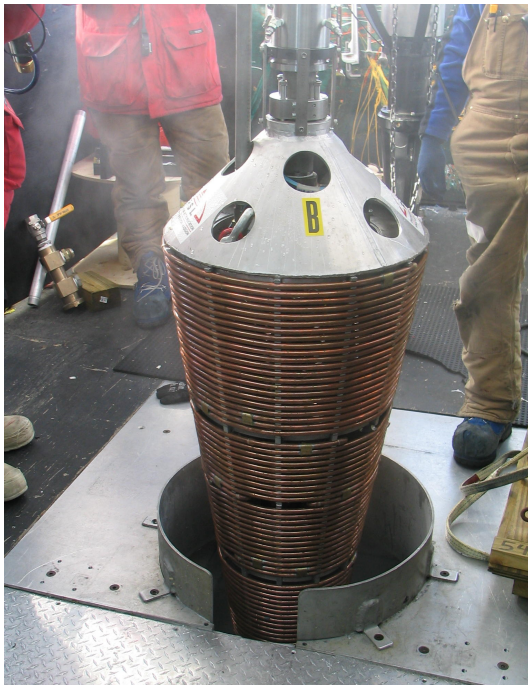


- “Lage” energie: satellieten (Fermi, Swift, ...)
- “Hoge” energie: Air Showers (Magic, HESS, HAWC, ...)

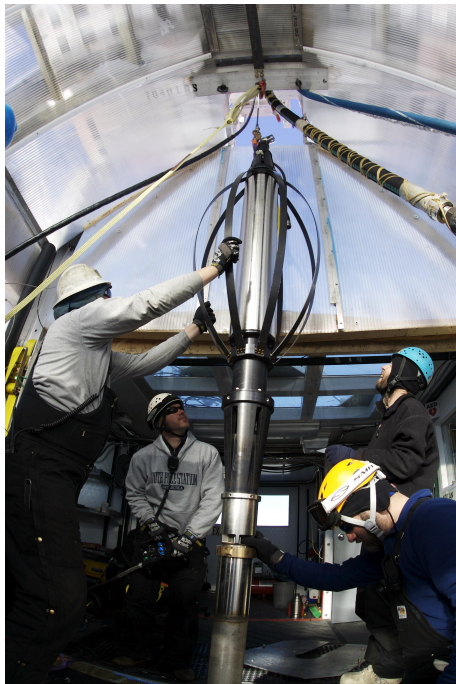


# Amundsen-Scott South Pole Station









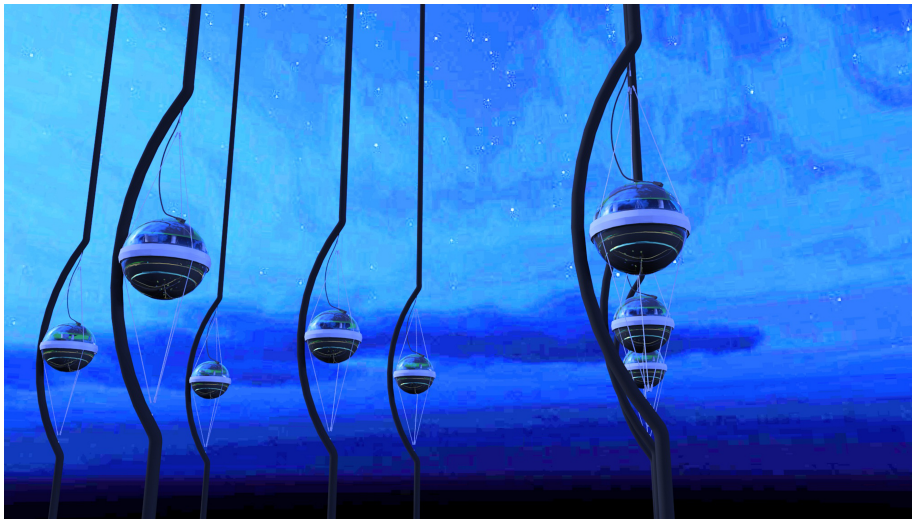


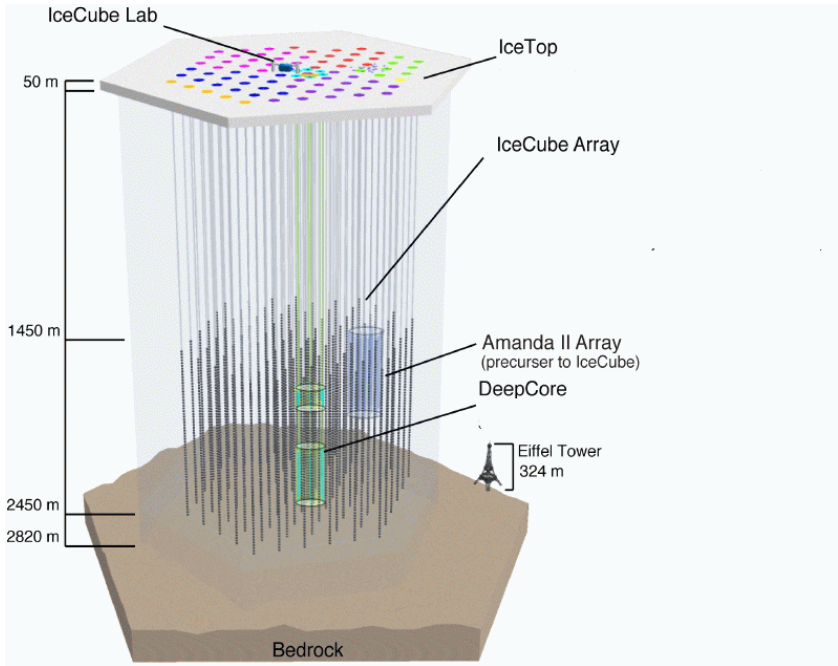


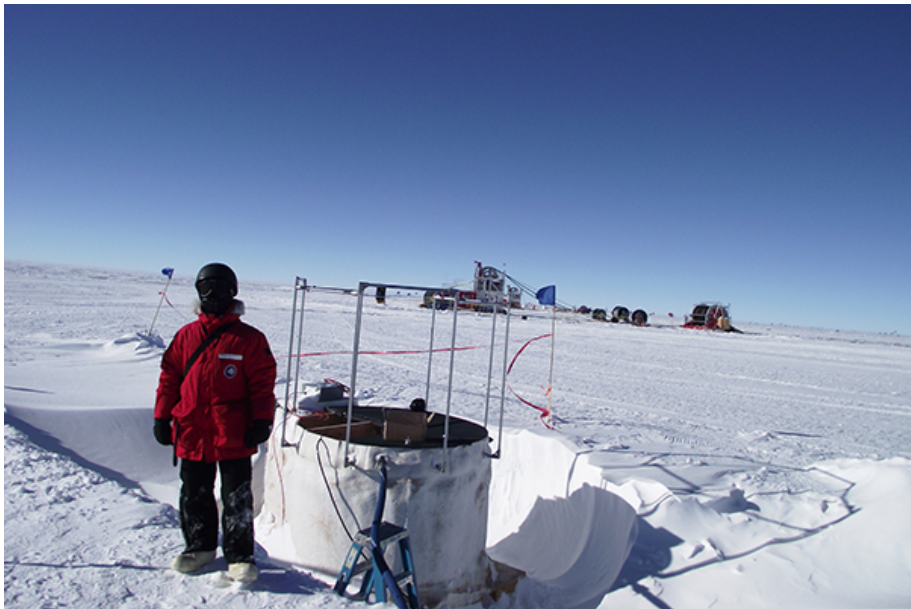




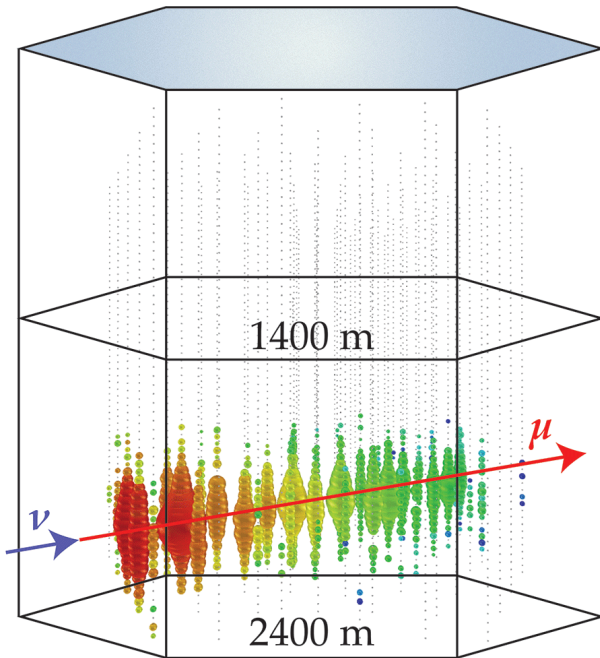




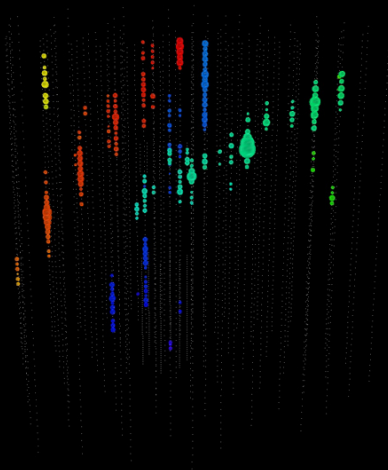






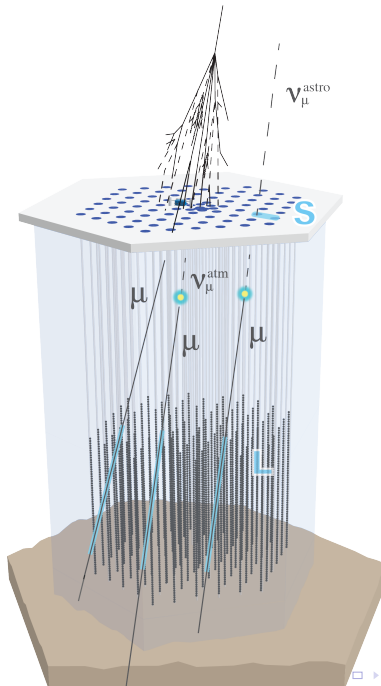


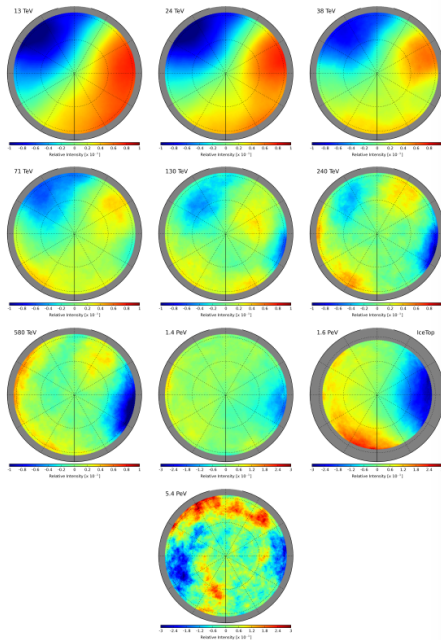
Tue Sep 7 03:19:17 2010



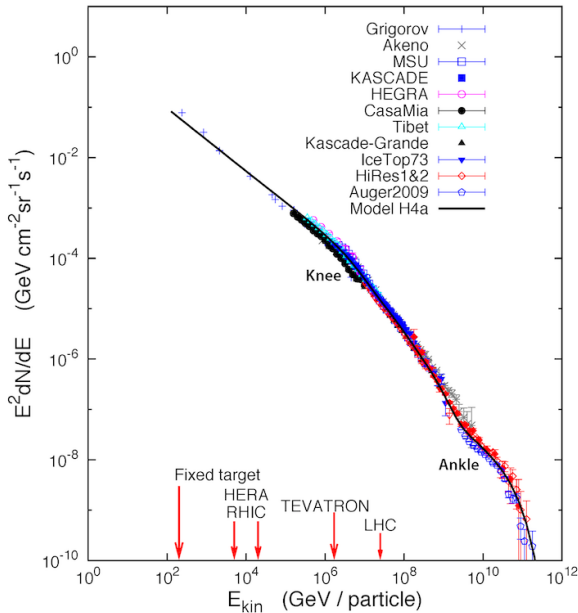
Run 116511 Event 424890 [0ns, 45000ns]



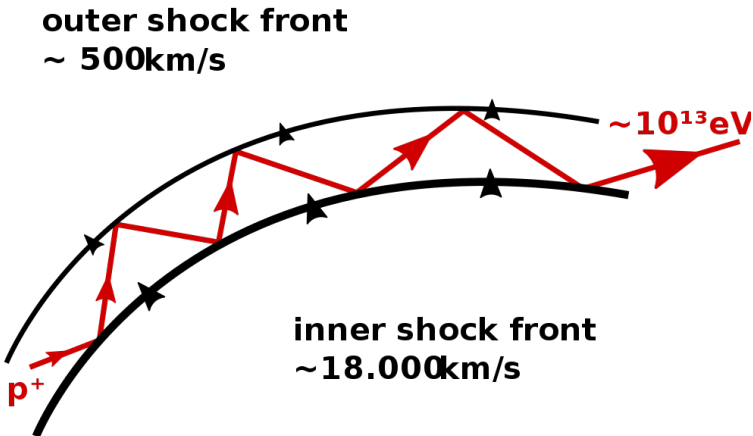




# Energies and rates of the cosmic-ray particles



Kosmische stralen worden (waarschijnlijk) versneld bij schokfronten



Kosmische stralen worden (waarschijnlijk) versneld bij schokfronten

$$p + N \rightarrow X + \text{many } \pi^+, \pi^-, \pi^0$$

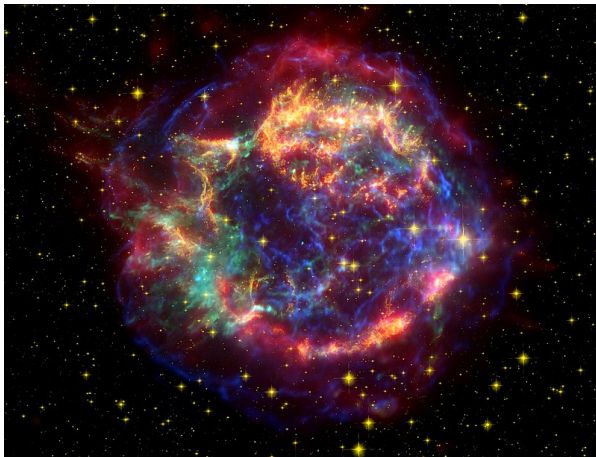
$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

$$\pi^{+,-} \rightarrow \mu^{+,-} + \nu_{\mu}$$

$$\mu^{+,-} \rightarrow e^{+,-} + \nu_e + \nu_{\mu}$$

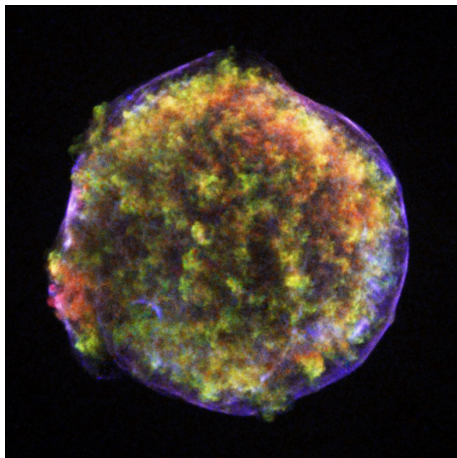
Tot  $\approx$  enkele PeV: geproduceerd (in supernova's?) en opgesloten in Melkweg

300 jaar



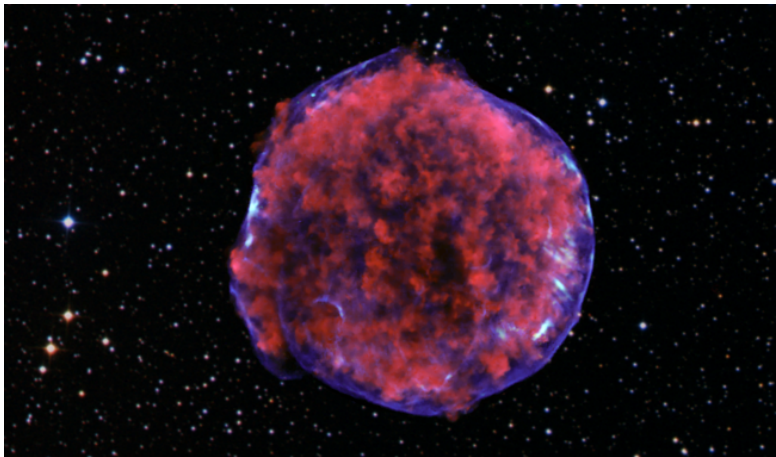
Tot  $\approx$  enkele PeV: geproduceerd (in supernova's?) en opgesloten in Melkweg

440 jaar



Tot  $\approx$  enkele PeV: geproduceerd (in supernova's?) en opgesloten in Melkweg

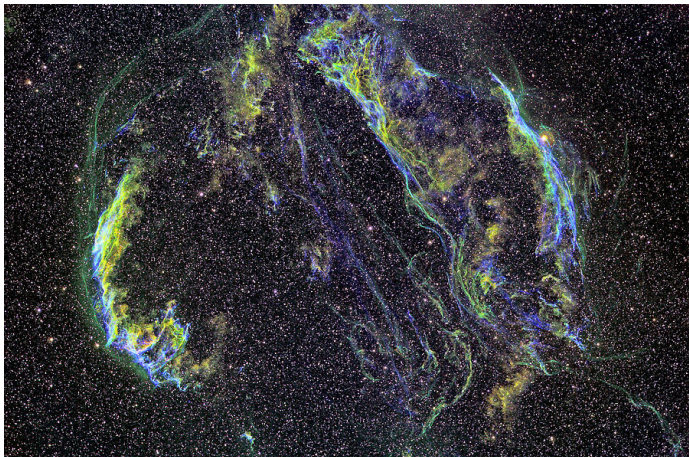
1000 jaar





Tot  $\approx$  enkele PeV: geproduceerd (in supernova's?) en opgesloten in Melkweg

6600 jaar

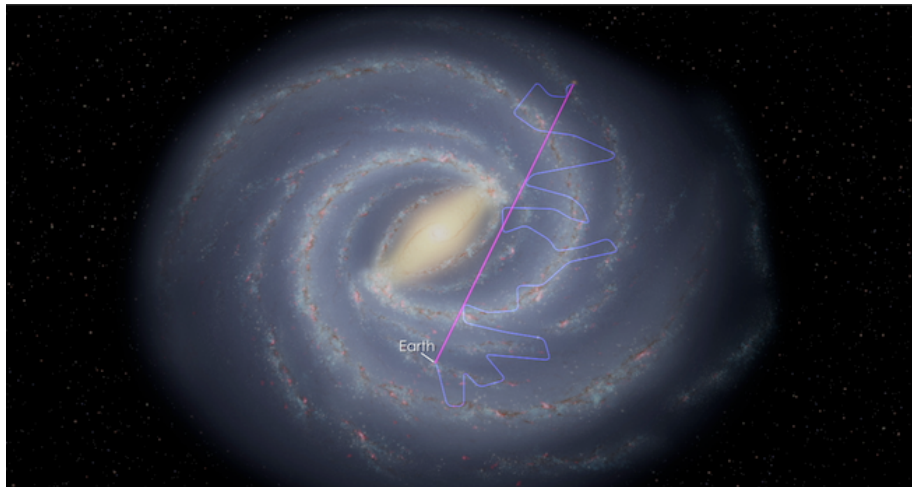


Tot  $\approx$  enkele PeV: geproduceerd (in supernova's?) en opgesloten in Melkweg

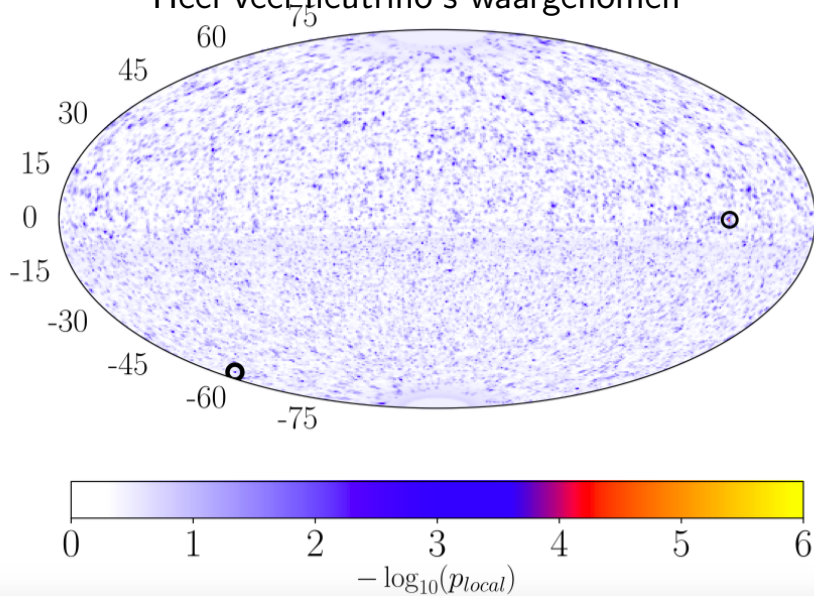
10000 jaar

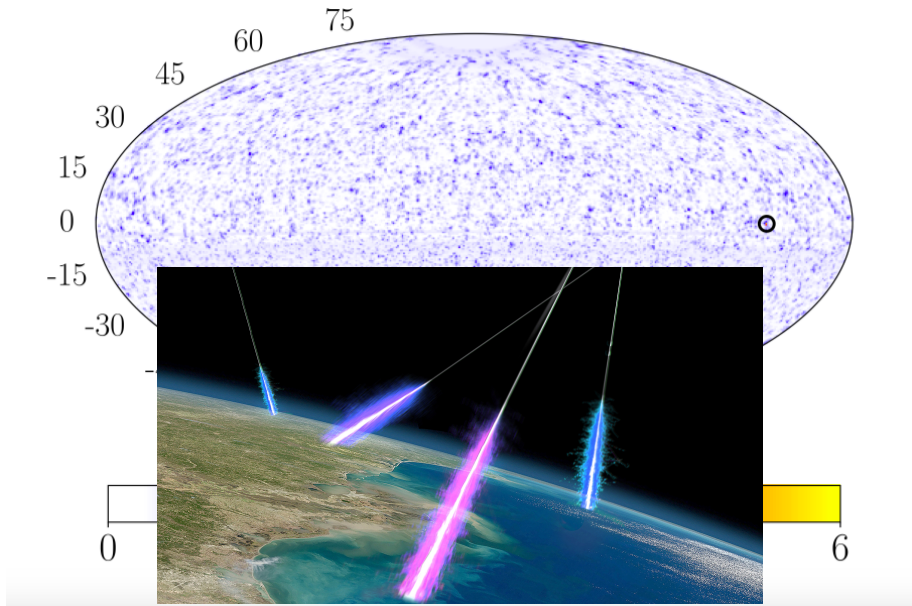


Tot  $\approx$  enkele PeV: geproduceerd (in supernova's?) en opgesloten in Melkweg

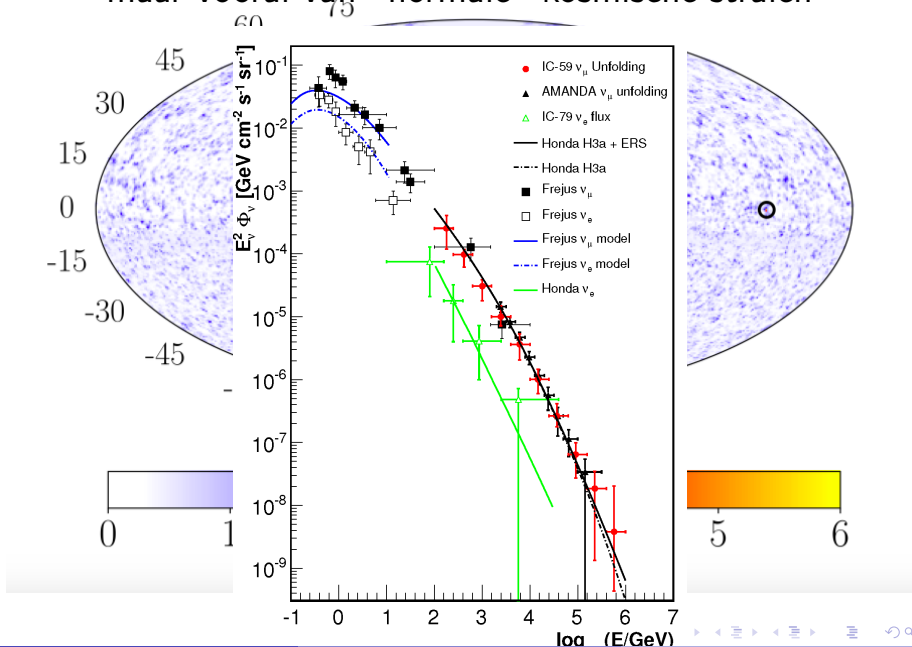


# Heel veel neutrino's waargenomen

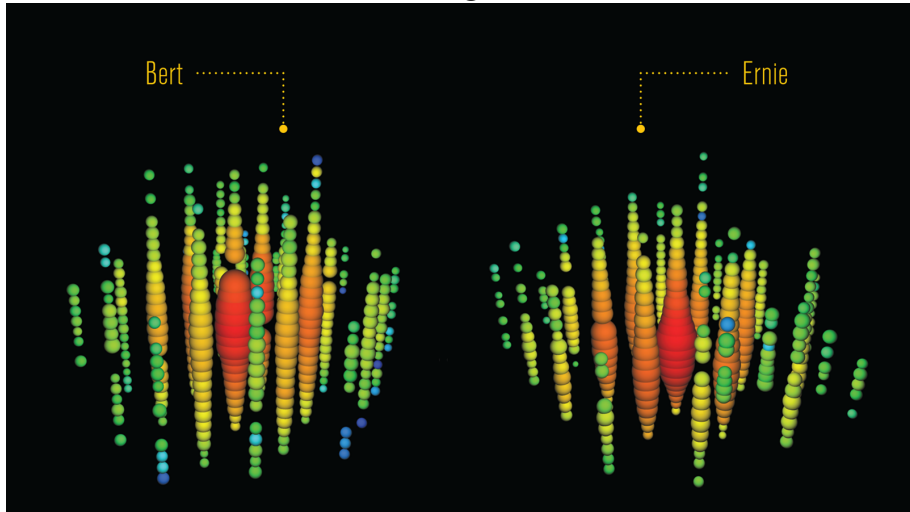




maar vooral van “normale” kosmische stralen



# Ontdekking in 2013:

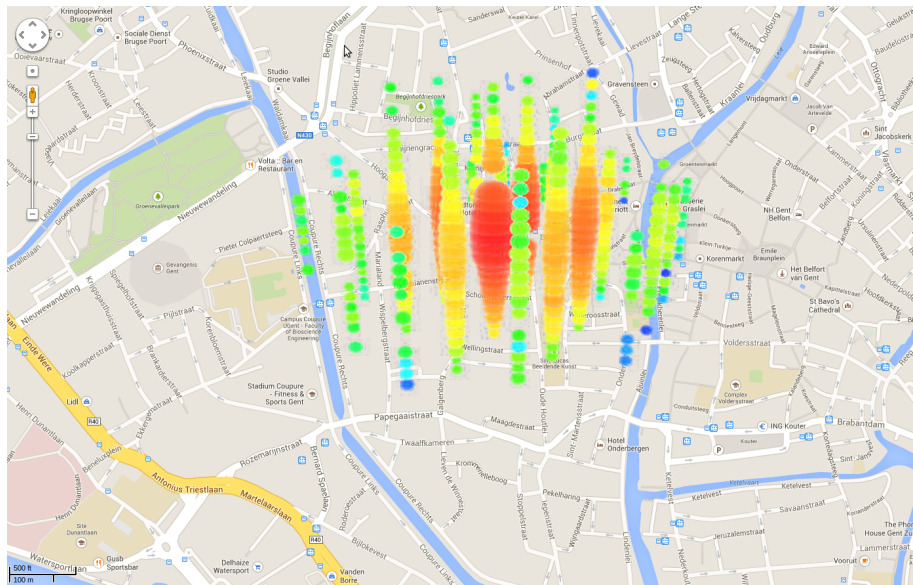


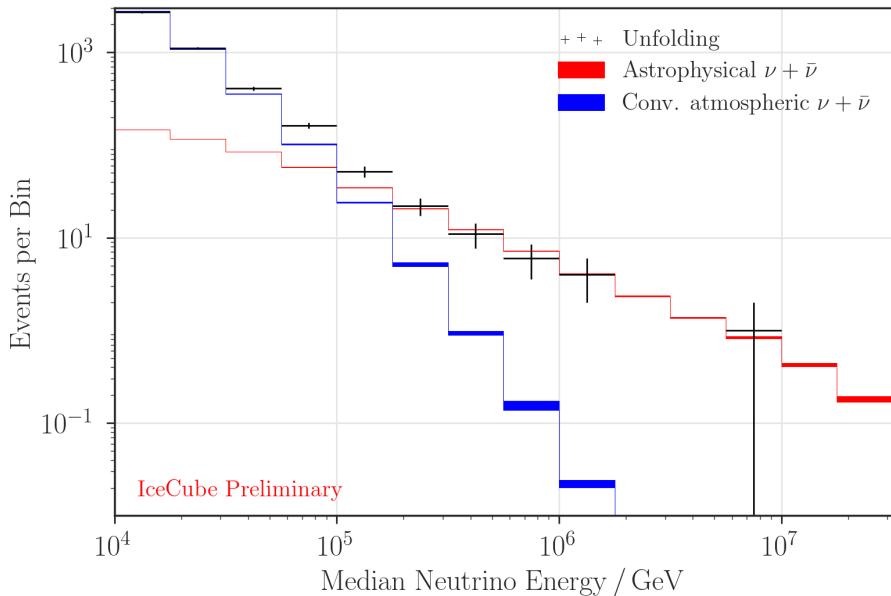
# Science

22 November 2013 | \$10

AAAS







OK, we zien astrofysische neutrino's.

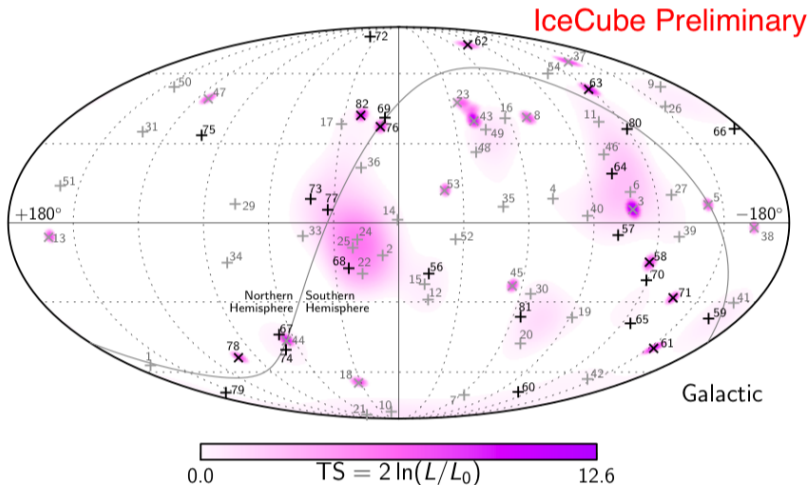
Maar waar komen ze vandaan?

(Niet uit onze Melkweg)

OK, we zien astrofysische neutrino's.

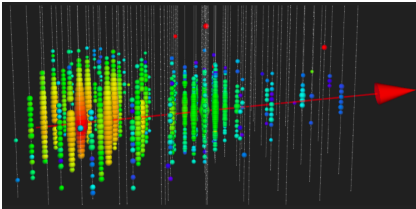
Maar waar komen ze vandaan?

(Niet uit onze Melkweg)

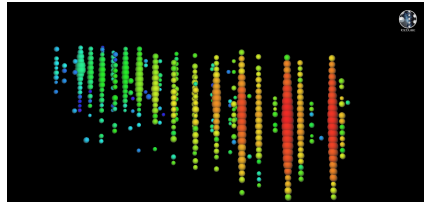


Sinds april 2016 stuurt IceCube nieuws uit van hoge-energie neutrino's

- ongeveer 10/jaar
- uitgestuurd naar gamma-straal, optische, radio observatoria
- typisch binnen de 1 minuut na de neutrino

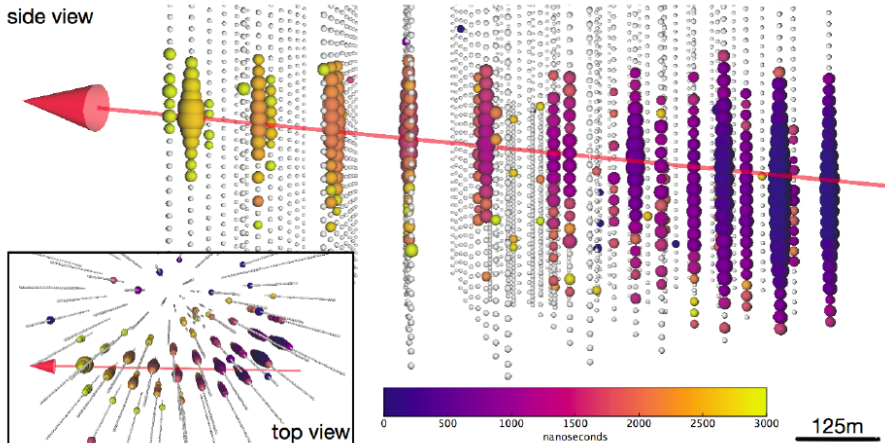


27 april 2016



22 september 2017

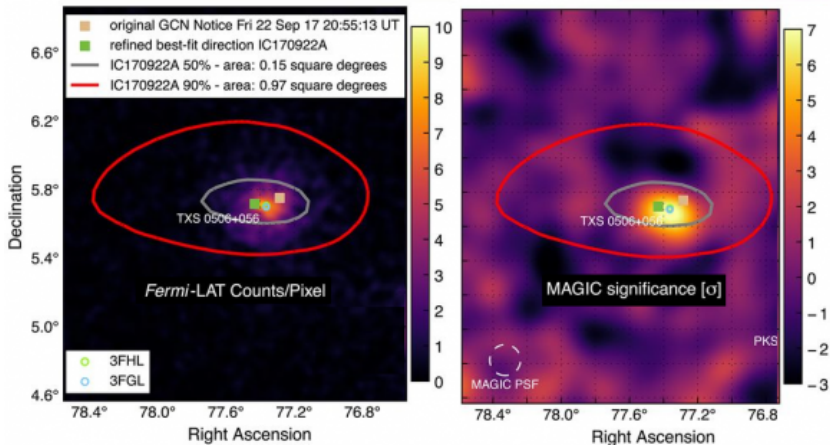
Alert # 10: uitgestuurd op 22 september 2017



$\approx 290$  TeV neutrino

## Alert # 10: uitgestuurd op 22 september 2017

- 22 september 22: IceCube detecteert een hoog energetisch neutrino
- 28 september 28: Fermi-satelliet ziet een opflakkerende “blazar” in dezelfde richting
- 4 oktober: MAGIC detecteert hoog energetische gamma's van dezelfde blazar



Alert # 10: uitgestuurd op 22 september 2017

## Allereerste bron van hoge-energie neutrino Allereerste waarneming met verschillende probes



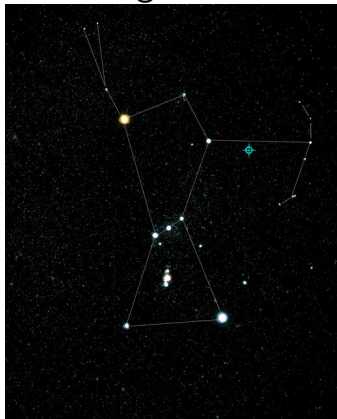
Herkend als TXS0506+056

Blazar op 5.7 miljard lichtjaar van de Aarde (afstand gemeten in 2018)



Alert # 10: uitgestuurd op 22 september 2017

## Allereerste bron van hoge-energie neutrino Allereerste waarneming met verschillende probes



Herkend als TXS0506+056

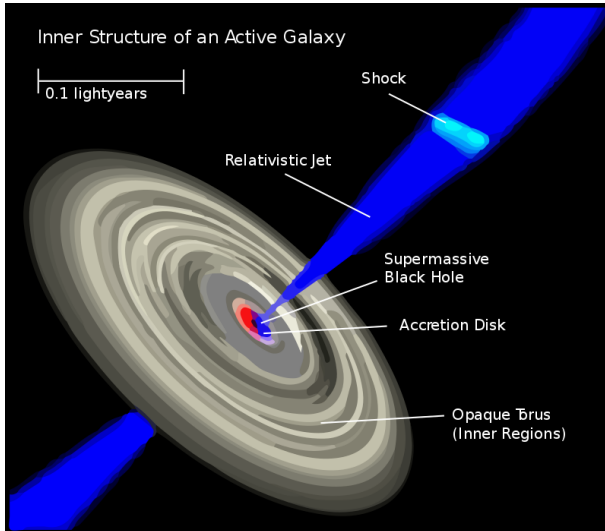
Blazar op 5.7 miljard lichtjaar van de Aarde (afstand gemeten in 2018)



Elk sterrenstelsel heeft in het centrum een supermassief zwart gat  
1% heeft een uitzonderlijk heldere kern

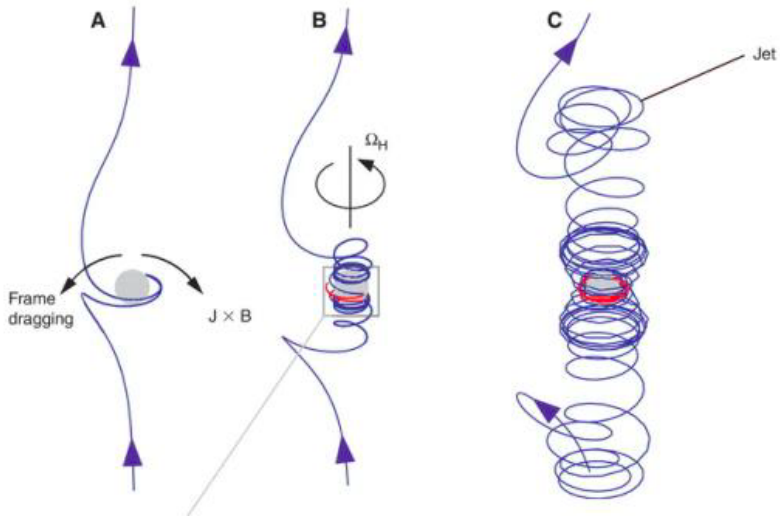


Elk sterrenstelsel heeft in het centrum een supermassief zwart gat  
1% heeft een uitzonderlijk heldere kern



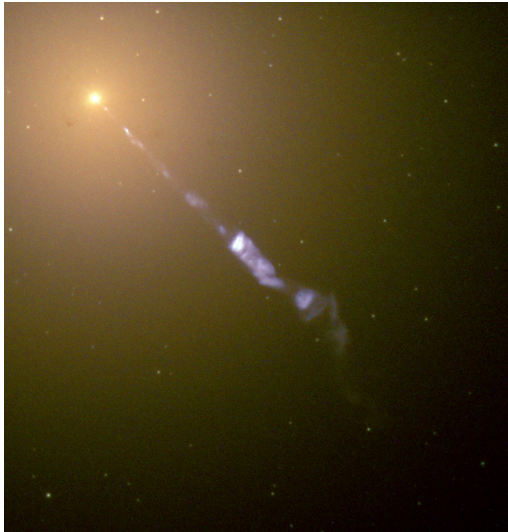
Active Galactic Nucleus (AGN) (Actief sterrenstelsel)

Elk sterrenstelsel heeft in het centrum een supermassief zwart gat  
1% heeft een uitzonderlijk heldere kern



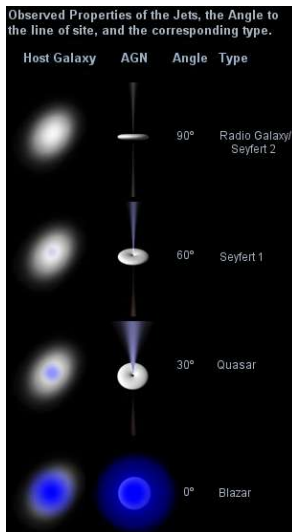
Active Galactic Nucleus (AGN) (Actief sterrenstelsel)

Elk sterrenstelsel heeft in het centrum een supermassief zwart gat  
1% heeft een uitzonderlijk heldere kern



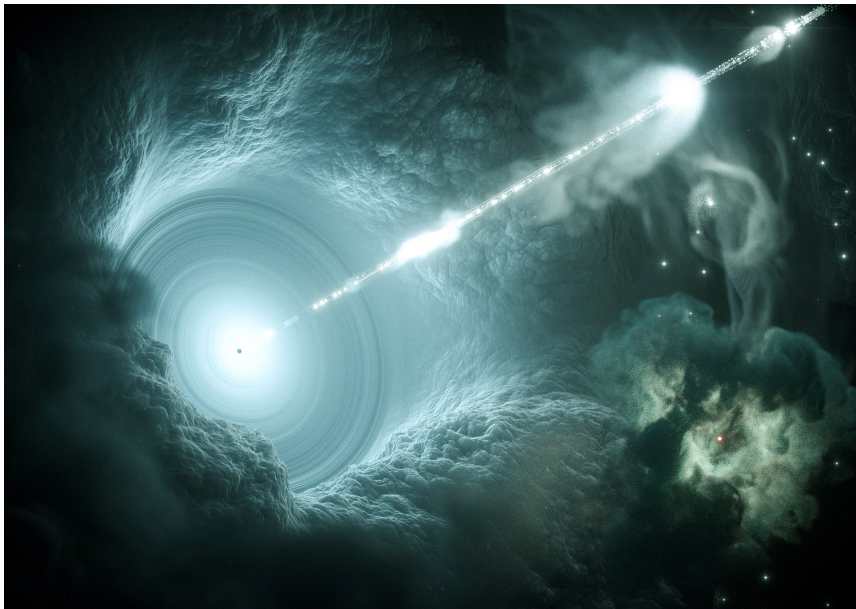
Active Galactic Nucleus (AGN) (Actief sterrenstelsel)

Elk sterrenstelsel heeft in het centrum een supermassief zwart gat  
1% heeft een uitzonderlijk heldere kern



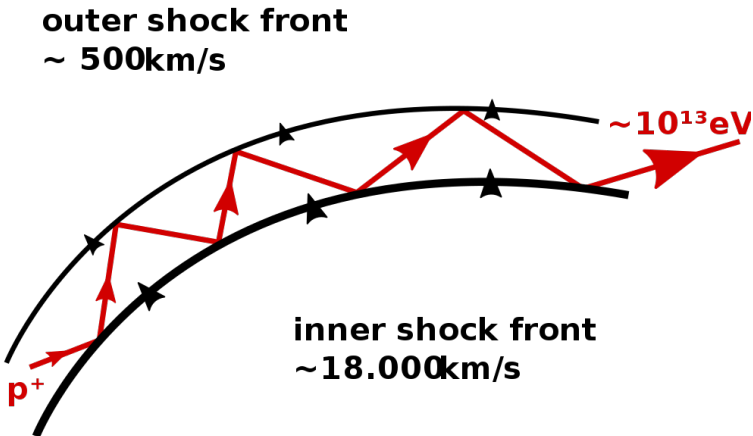
Active Galactic Nucleus (AGN) (Actief sterrenstelsel)

Kosmische stralen worden (waarschijnlijk) versneld bij schokfronten





Kosmische stralen worden (waarschijnlijk) versneld bij schokfronten



Kosmische stralen worden (waarschijnlijk) versneld bij schokfronten

$$p + N \rightarrow X + \text{many } \pi^+, \pi^-, \pi^0$$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

$$\pi^{+,-} \rightarrow \mu^{+,-} + \nu_{\mu}$$

$$\mu^{+,-} \rightarrow e^{+,-} + \nu_e + \nu_{\mu}$$

Kosmische stralen worden (waarschijnlijk) versneld bij schokfronten

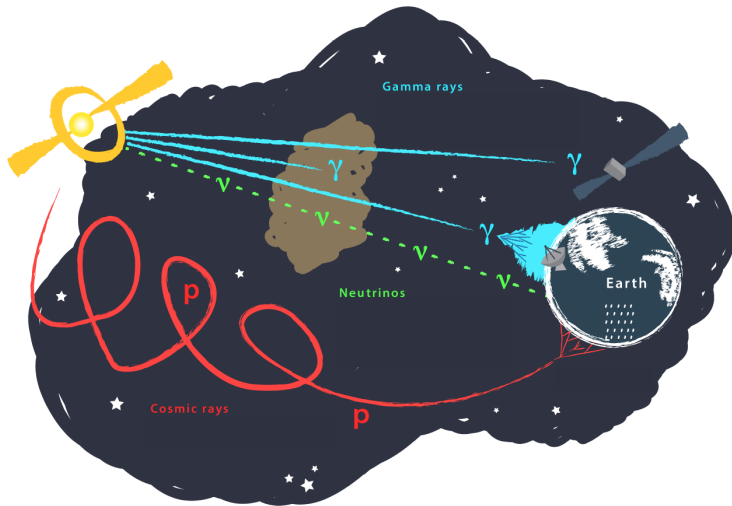
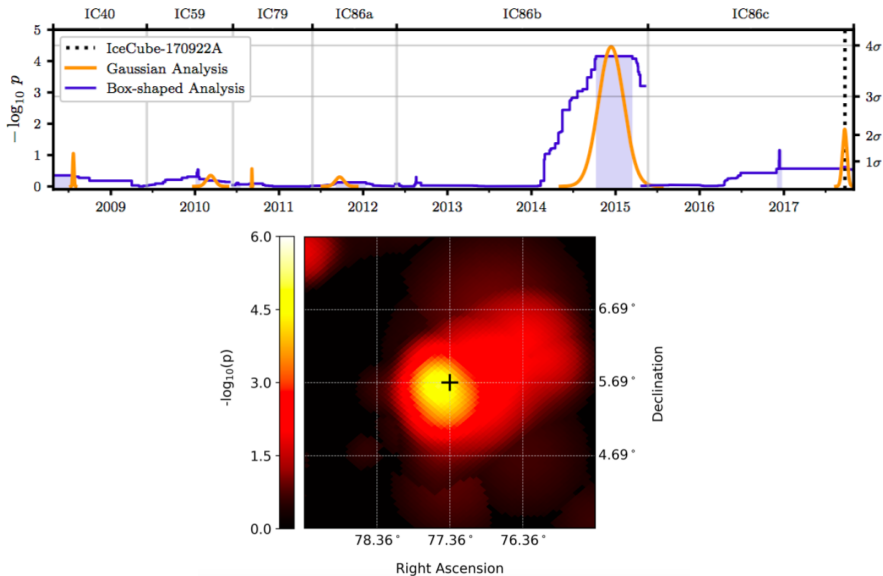


Image credit:  
Juan Antonio Aguilar and Jamie Yang. IceCube/WIPAC

# Verrassing!

Oudere gegevens uit de richting van TXS0506+056 opnieuw bekeken



TXS0506+056 is bijzonder:

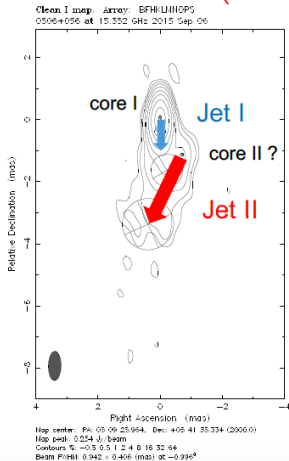
- grote afstand  $\Rightarrow$  extreem krachtig object
- “te veel” neutrino's
- geen gamma's in 2014-2015

Kosmische stralen (en neutrino's) komen van bijzondere blazars

TXS0506+056 is bijzonder:

- grote afstand  $\Rightarrow$  extreem krachtig object
- “te veel” neutrino's
- geen gamma's in 2014-2015

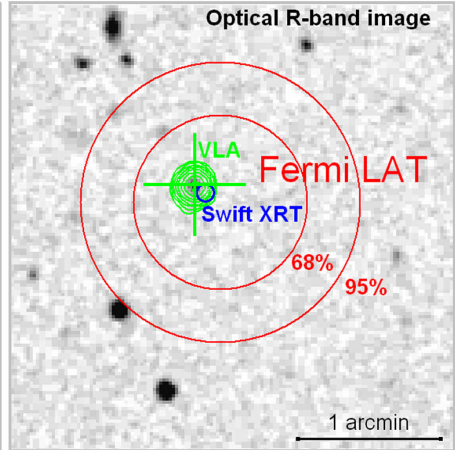
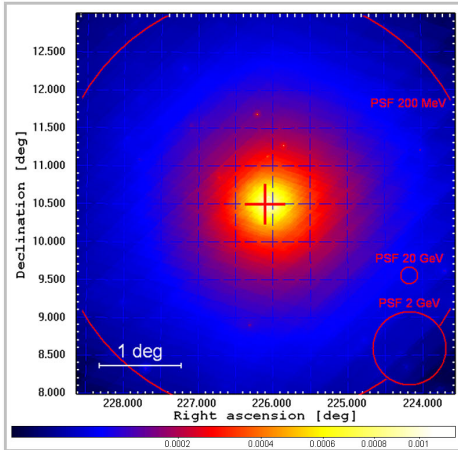
Kosmische stralen (en neutrino's) komen van bijzondere blazars



Botsing twee sterrenstelsels

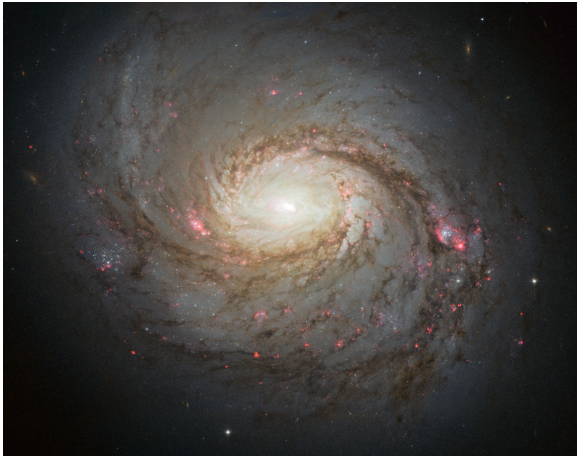
Zeer recent:

- 30 juli 2019: 300 TeV neutrino uit richting PKS 1502+106 blazar
- nog verder gelegen ( $z=1.4$ )
- bron van gamma-straling



Zeer recent:

- aanwijzing voor neutrino's uit NGC1068 (M77): Seyfert-stelsel
- “vlakbij” (50 miljoen lichtjaar)





## Eerste bewijs voor bron extra-galactische kosmische stralen:

- Blazars
- Samensmelten sterrenstelsels

## Eerste bewijs voor bron extra-galactische kosmische stralen:

- Blazars
- Samensmelten sterrenstelsels

