

IceCube : Neutrino's vangen op Antarctica

Nick van Eijndhoven

nick@icecube.wisc.edu <http://www.iihe.ac.be>



VRIJE
UNIVERSITEIT
BRUSSEL

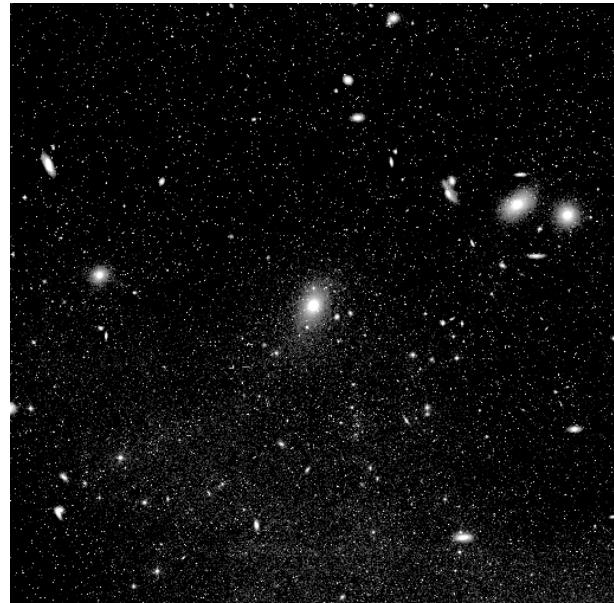
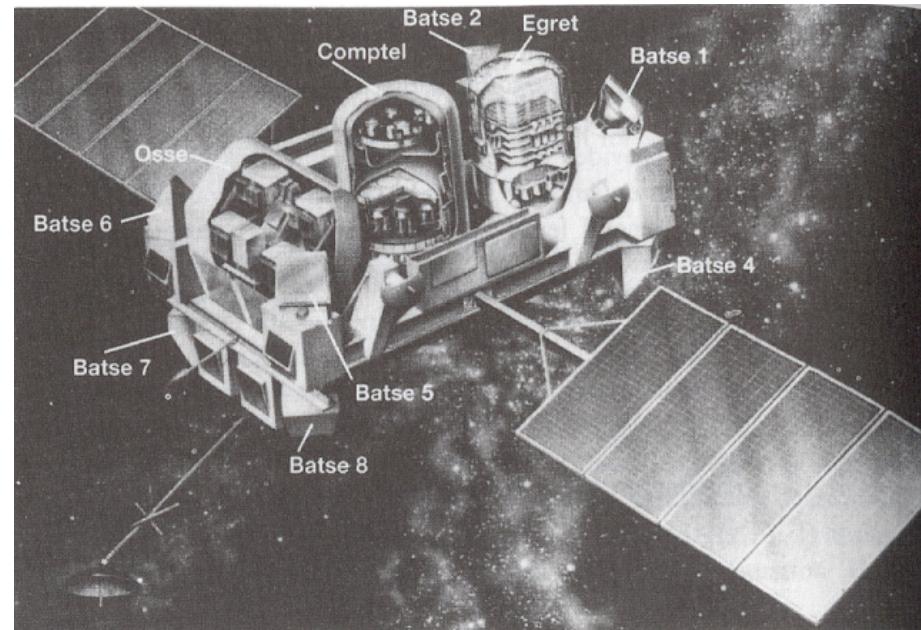
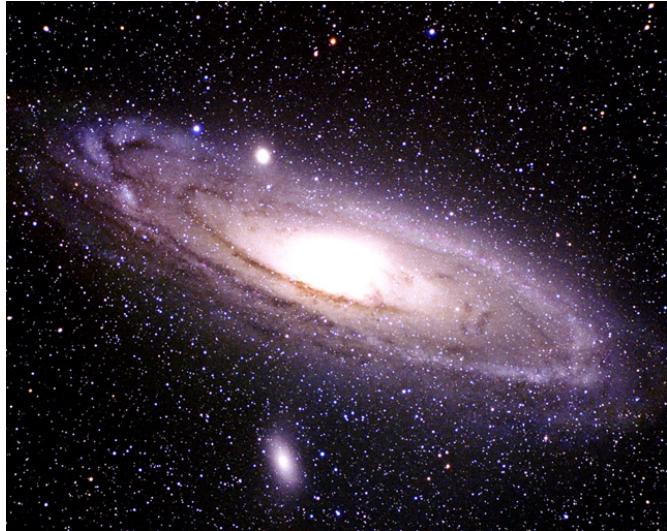


Vrije Universiteit Brussel - IIHE(ULB-VUB)
Pleinlaan 2, B-1050 Brussel, Belgium

Overzicht

Het zichtbare heelal	1
Het onzichtbare heelal	3
Jacht op kosmische neutrinos	16
De IceCube Neutrino Telescoop	17
Neutrinos van kosmische gammaflitsen	30
The Muppets on Ice	31
Vooruitzichten	37

Electromagnetische straling



Het zichtbare heelal

- Waar komt deze materie vandaan ?



- Waarom zo "klonterig" verdeeld ?

Onderlinge interacties

Mechanica (zwaartekracht)

- Wat laat de sterren stralen ?

Nucleaire processen

Deeltjes fysica

- Emissie en absorptie lijnen ?

Atoom structuur

Quantum fysica

- Observatie verschoven spectraallijnen

Uitdijend Heelal

Kosmologisch model

Het onzichtbare heelal

La physique des particules étudie la matière dans ses dimensions les plus petites.

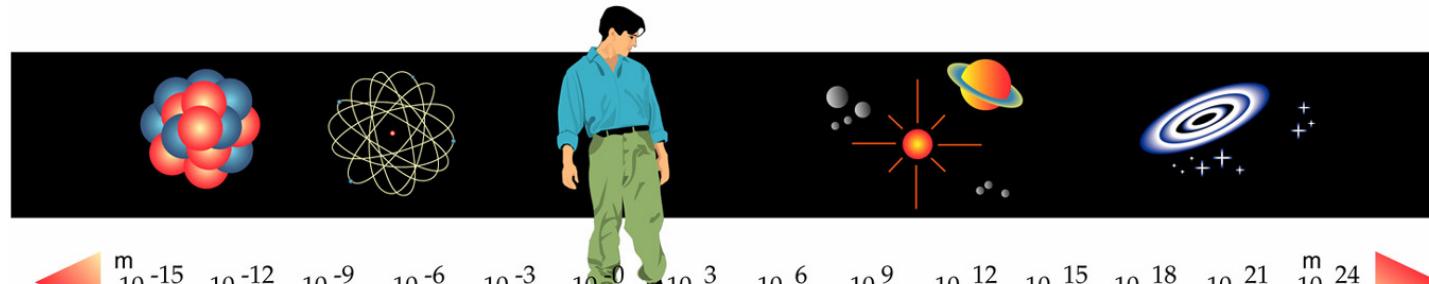


Particle physics looks at matter in its smallest dimensions.

L'astrophysique étudie la matière dans ses dimensions les plus grandes.



Astrophysics looks at matter in its largest dimensions.



Microscopes
Microscopes

Jumelles
Binoculars

Telescopes optiques & radio
Optical & radio telescopes

Accélérateurs
et détecteurs
Accelerators
and detectors

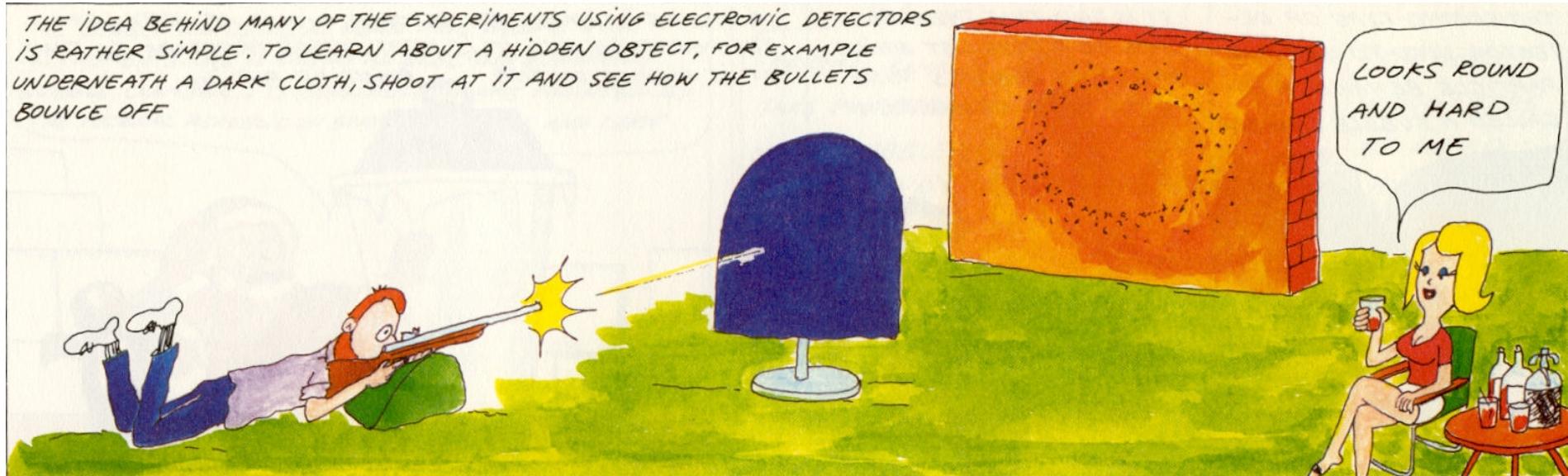
L'oeil nu.
Naked eye

THE TWO FRONTIERS OF PHYSICS LES DEUX FRONTIERES DE LA PHYSIQUE

CERN AC - Z11 - V11/5/98

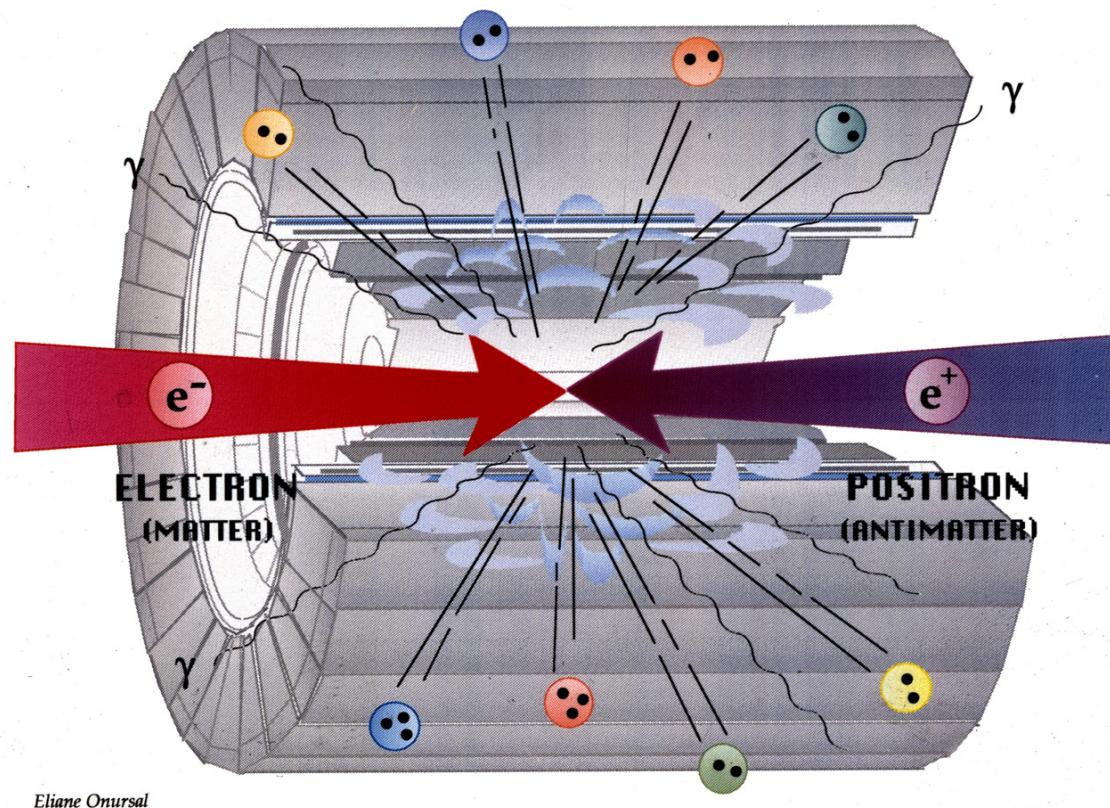
Het onzichtbare heelal

Onderzoek naar de structuur van materie



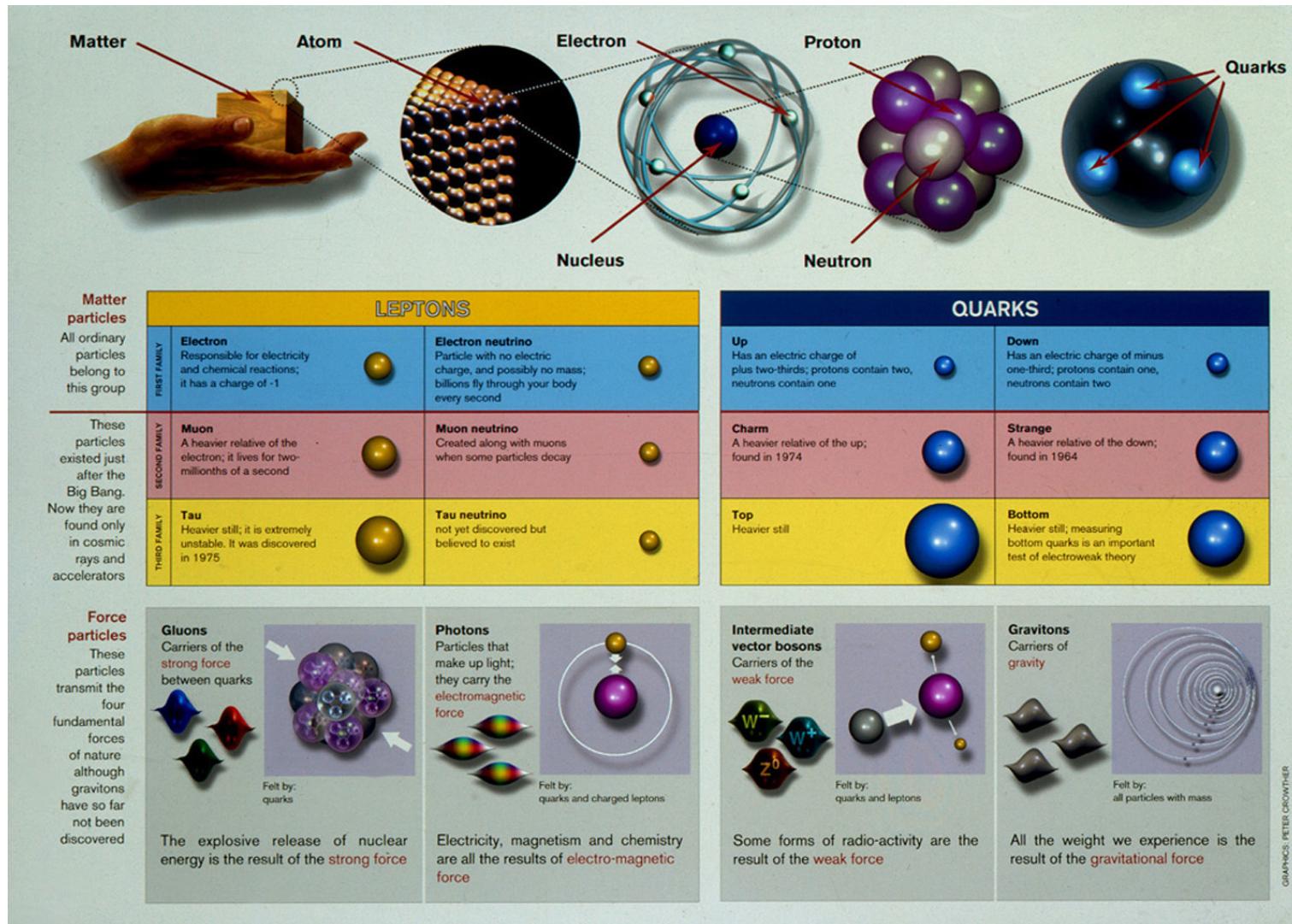
Het onzichtbare heelal

Speurtocht naar nieuwe deeltjes



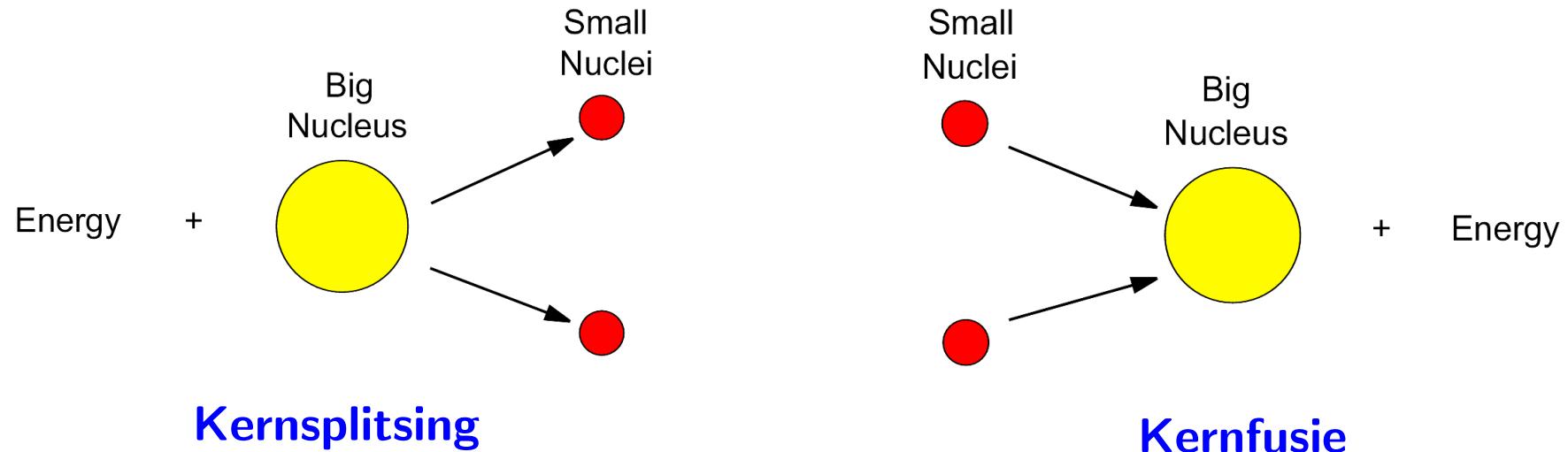
Deeltjes productie via Energie – Massa conversie ($E_{rust} = mc^2$)

Het onzichtbare heelal



Interacties via uitwisseling van "boodschapper" deeltjes

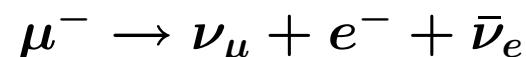
Kernfusie laat sterren stralen



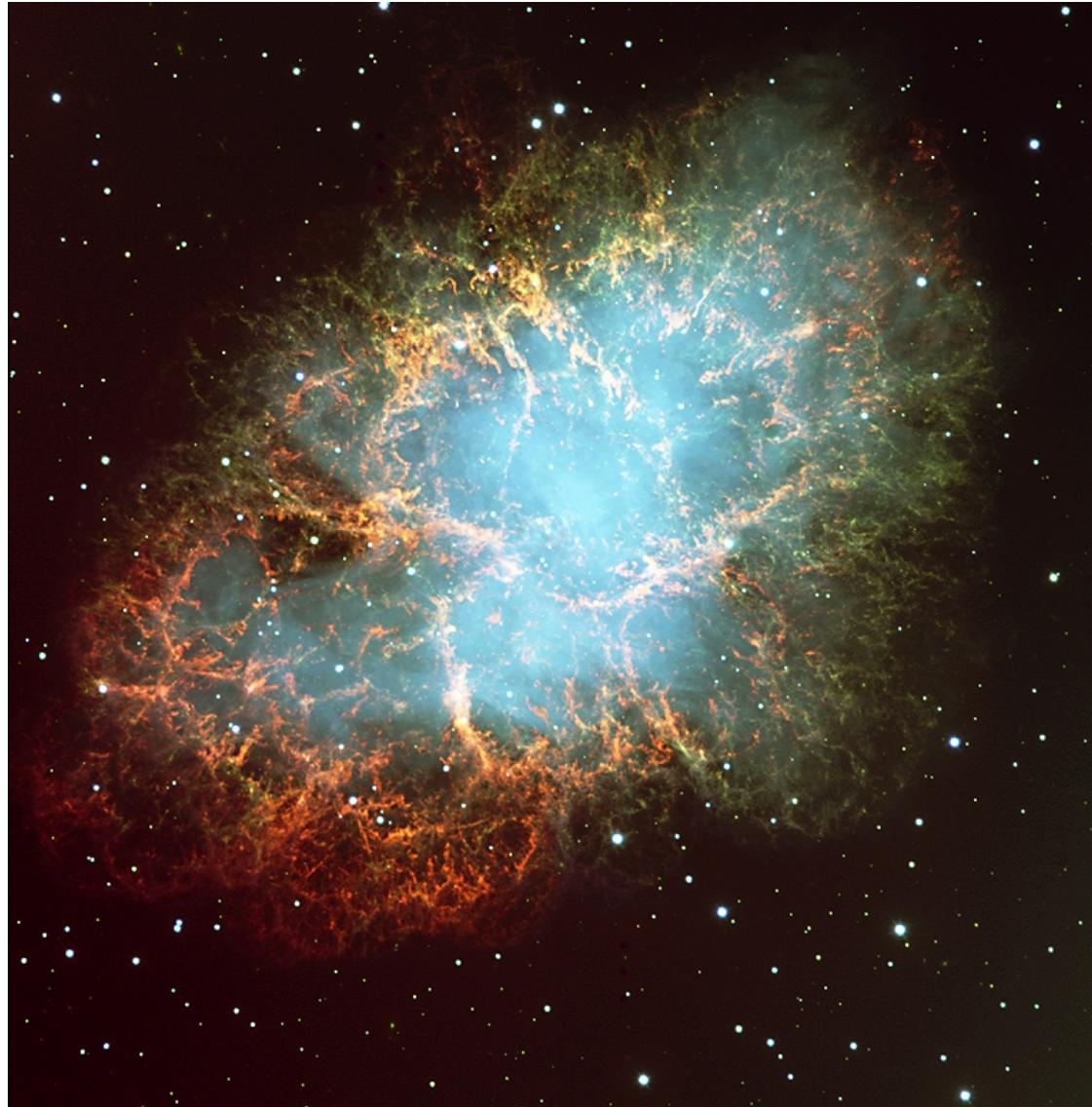
Zwakke kracht produceert neutrinos

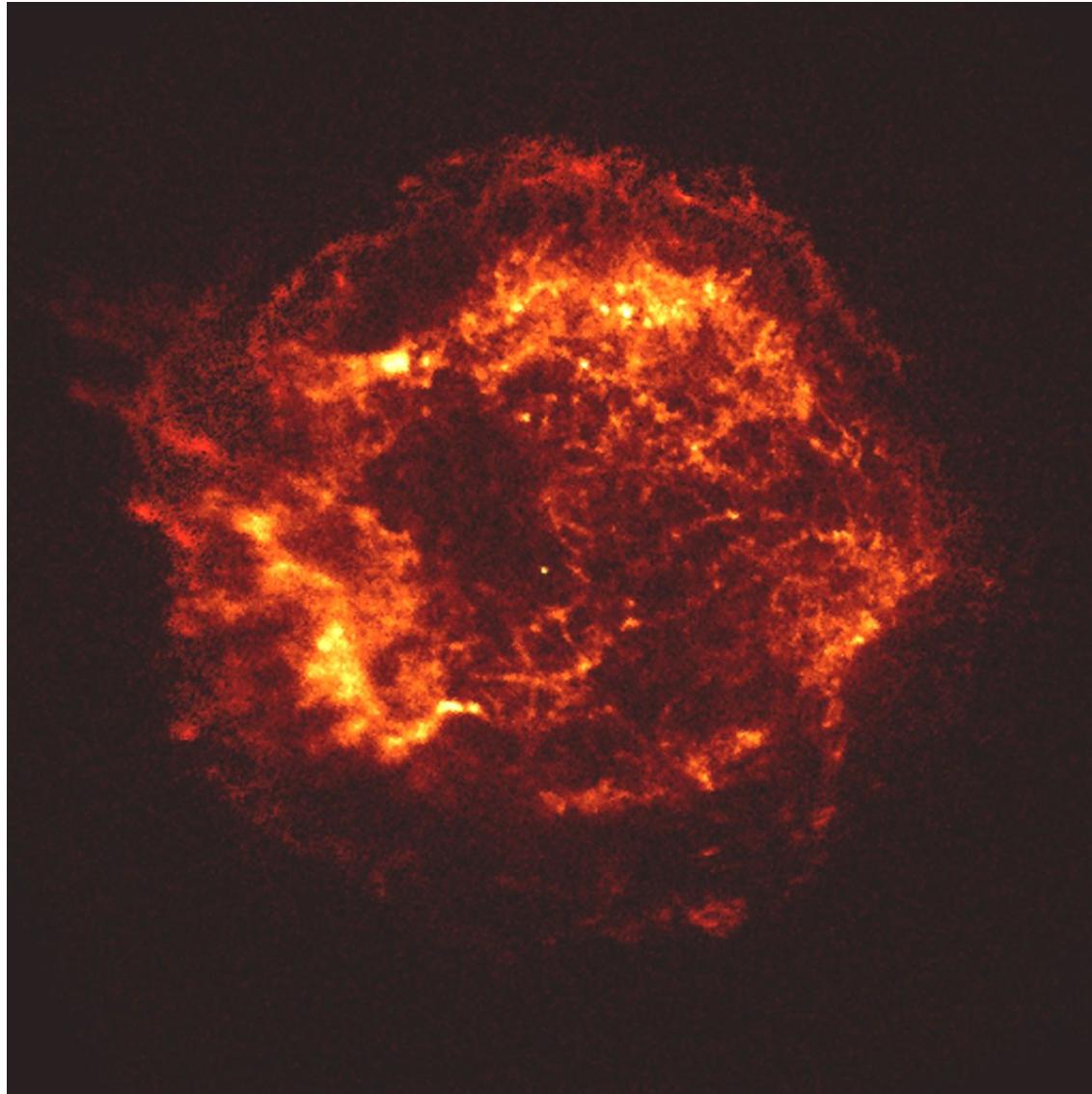
(Supernovae, AGN, GRBs)

- Ontstaan van neutronen sterren

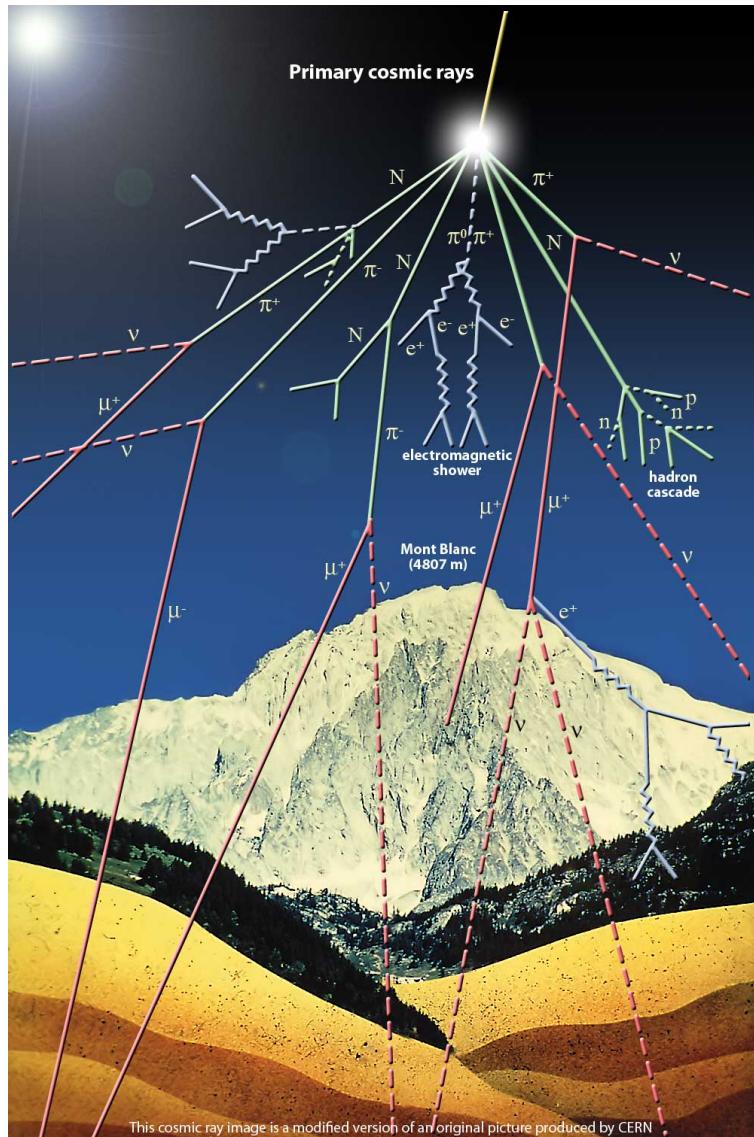


Het onzichtbare heelal





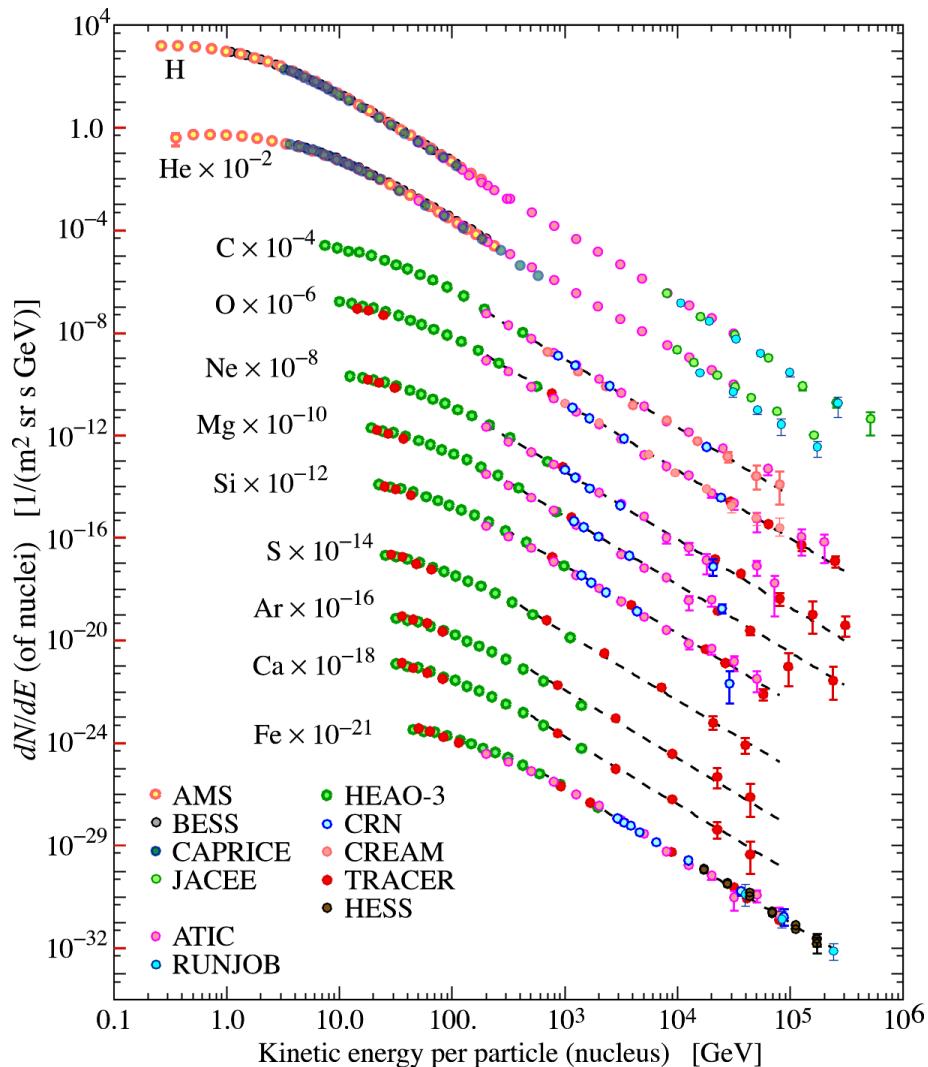
Het onzichtbare heelal



- **Waarneming :**
 - Lading lekt langzaam weg**
 - Effect is kleiner bij afscherming**
- **Idee :**
 - Lucht wordt geioniseerd door geladen deeltjes**
- **Waar komen deze deeltjes vandaan ?**
 - Uit het heelal ! (Hess 1912)**
- **Waar worden ze geproduceerd ?**
 - Bij gigantische kosmische explosies**
 - **Supernova's**
 - **Gammaflitsen**
 - **Zwarte gaten**

Astrodeeltjes Fysica

Spectrum van kosmische straling



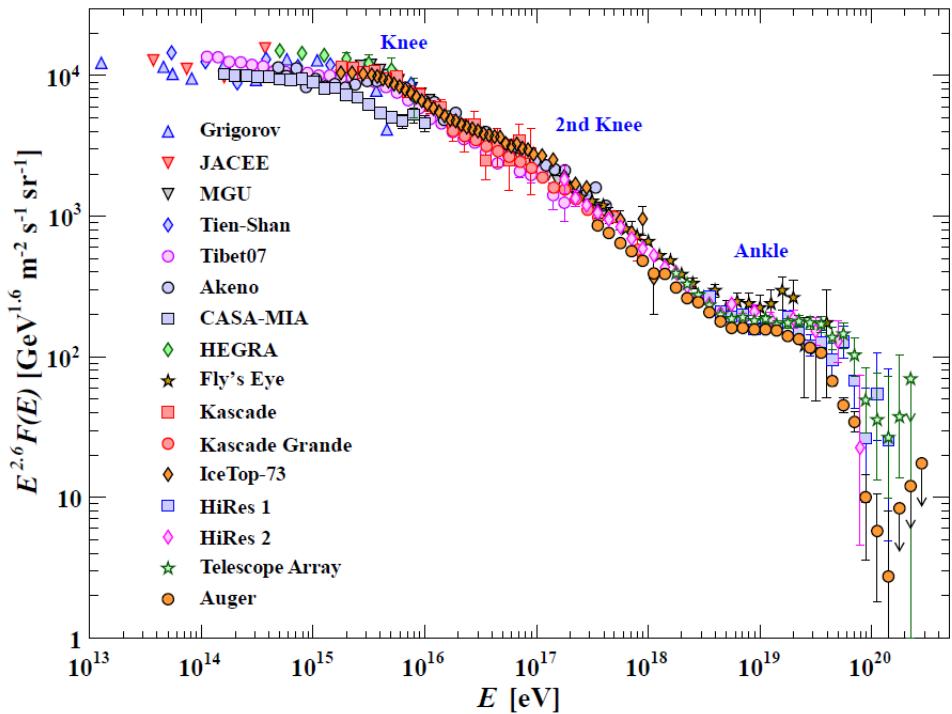
Onder 10 GeV → Solaire modulatie

Bij hogere energien zien we

- Verhoudingen diverse componenten onafhankelijk van energie
- $\frac{dN}{dE} \propto E^{-2.6}$
- B spectrum valt steiler af
- B is een reactieproduct van C en O
- Secondaire kernen steiler dan de primaire kernen
- Ratio sec./prim. \downarrow als energie \uparrow
- Hoge E deeltjes ontsnappen uit ons Melkwegstelsel

Wat is de maximum energie ?

$E^{2.6}$ geschaalde flux



- Spectraal structuur (knie, enkel)
- Energetische limieten van kosmische versnellers ?
- Wat zijn dit voor versnellers ?
- Heftige explosieve fenomenen
 - Supernova's
 - Gammaflitsen
 - Zwarte gaten

- Supernova schokgolven

Bewegende lading in mag. veld

$$\text{Gyroradius } r = \frac{p}{ZeB} \quad (\vec{p} \perp \vec{B})$$

$$\rightarrow \left(\frac{p}{1 \text{ eV}} \right) = 0.03 \cdot Z \left(\frac{B}{1 \mu\text{G}} \right) \left(\frac{r}{1 \text{ m}} \right)$$

- Versneller van afmeting R

$r > R \rightarrow \text{deeltje ontsnapt} \rightarrow E_{max}$

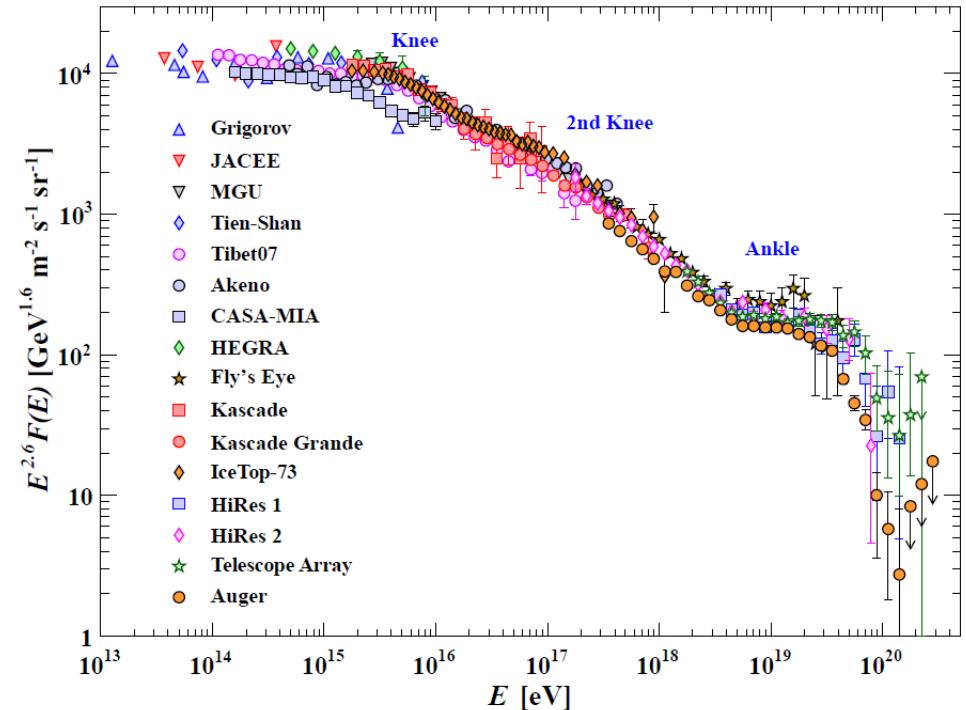
Typisch : $B \approx \mu\text{G}$ $R \approx 3 \cdot 10^{16} \text{ m}$

→ Protonen : $E_{max} \approx 10^{15} \text{ eV}$

* Bij bepaalde $r \rightarrow E_Z = ZE_{proton}$

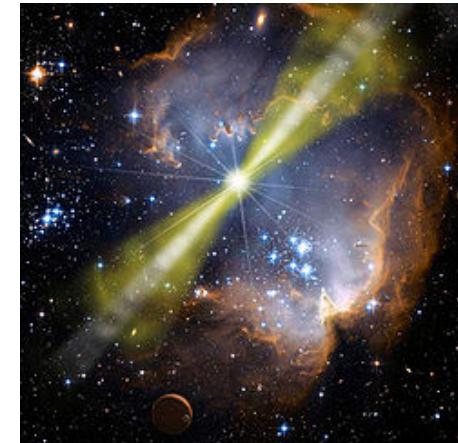
* $E > 10^{19} \text{ eV} \rightarrow r > R_{melkweg}$

⇒ Extra-galactische oorsprong

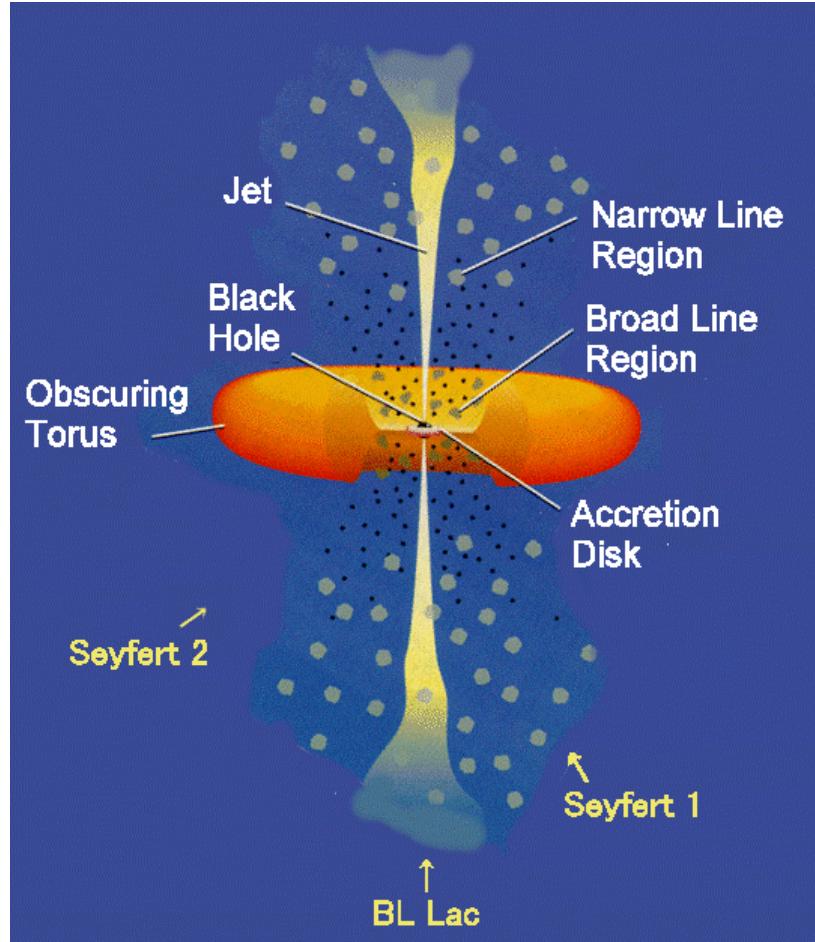


Wat veroorzaakt de 'enkel' ?

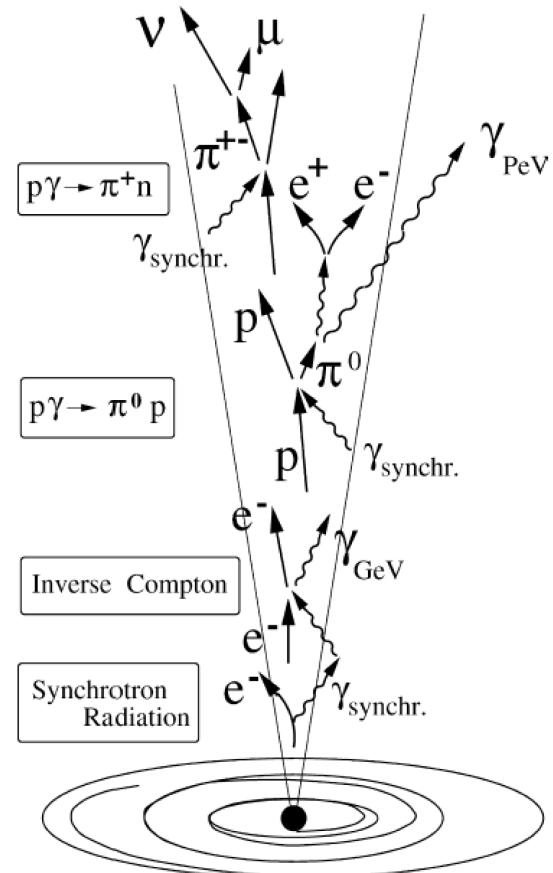
Nog veel krachtiger explosies
(AGN and GRBs)

Actieve Melkwegkernen (AGN)**Kosmische Gamma Flitsen (GRBs)**

Algemeen beeld

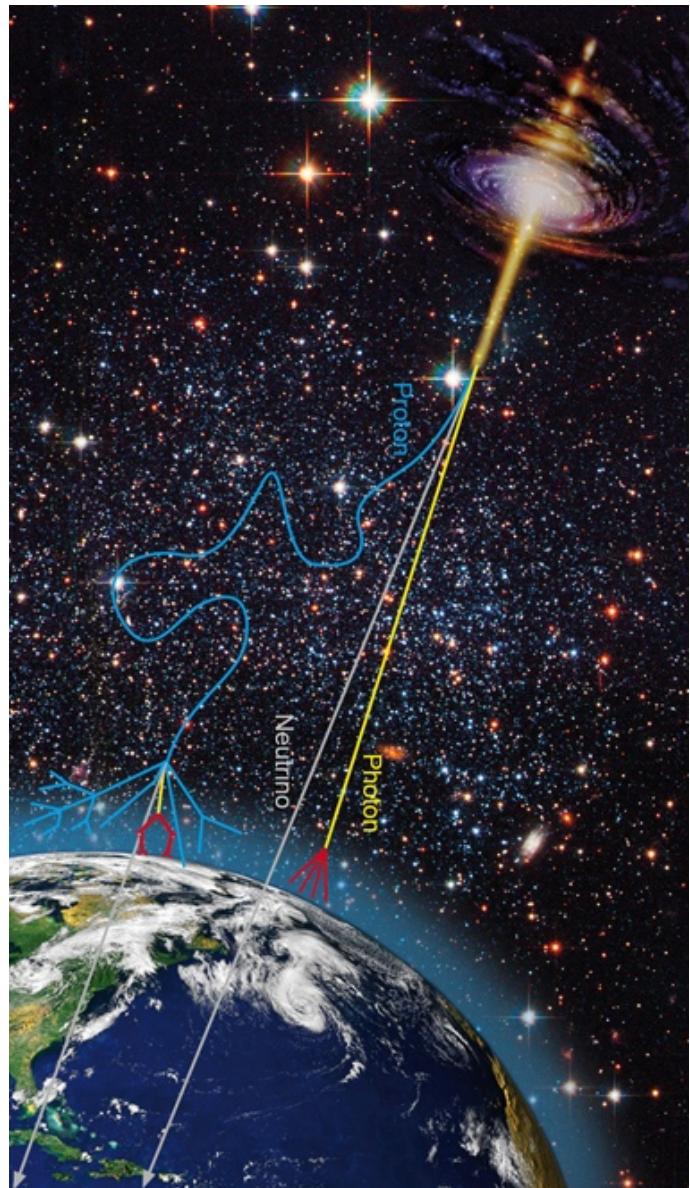


Fysische processen



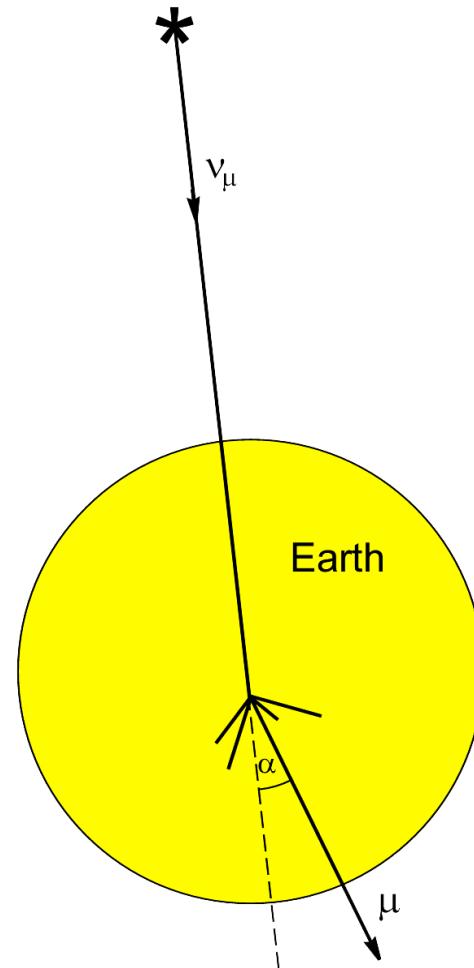
Versnelling in schokgolven

Hoog-energetische fotonen en neutrinos



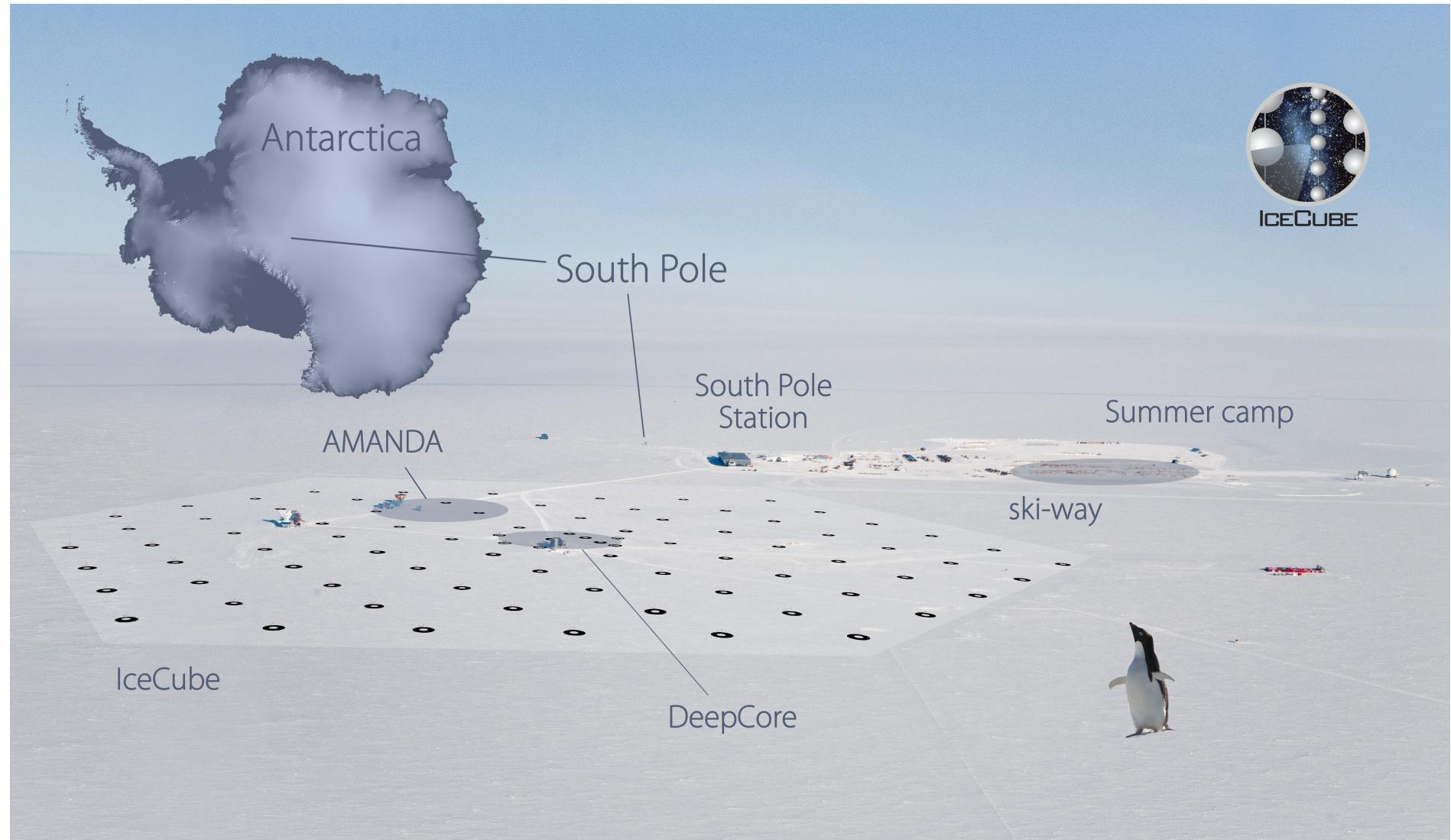
Neutrino detectie mechanisme

Cosmic Event





De IceCube Neutrino Telescoop





De IceCube Neutrino Telescoop



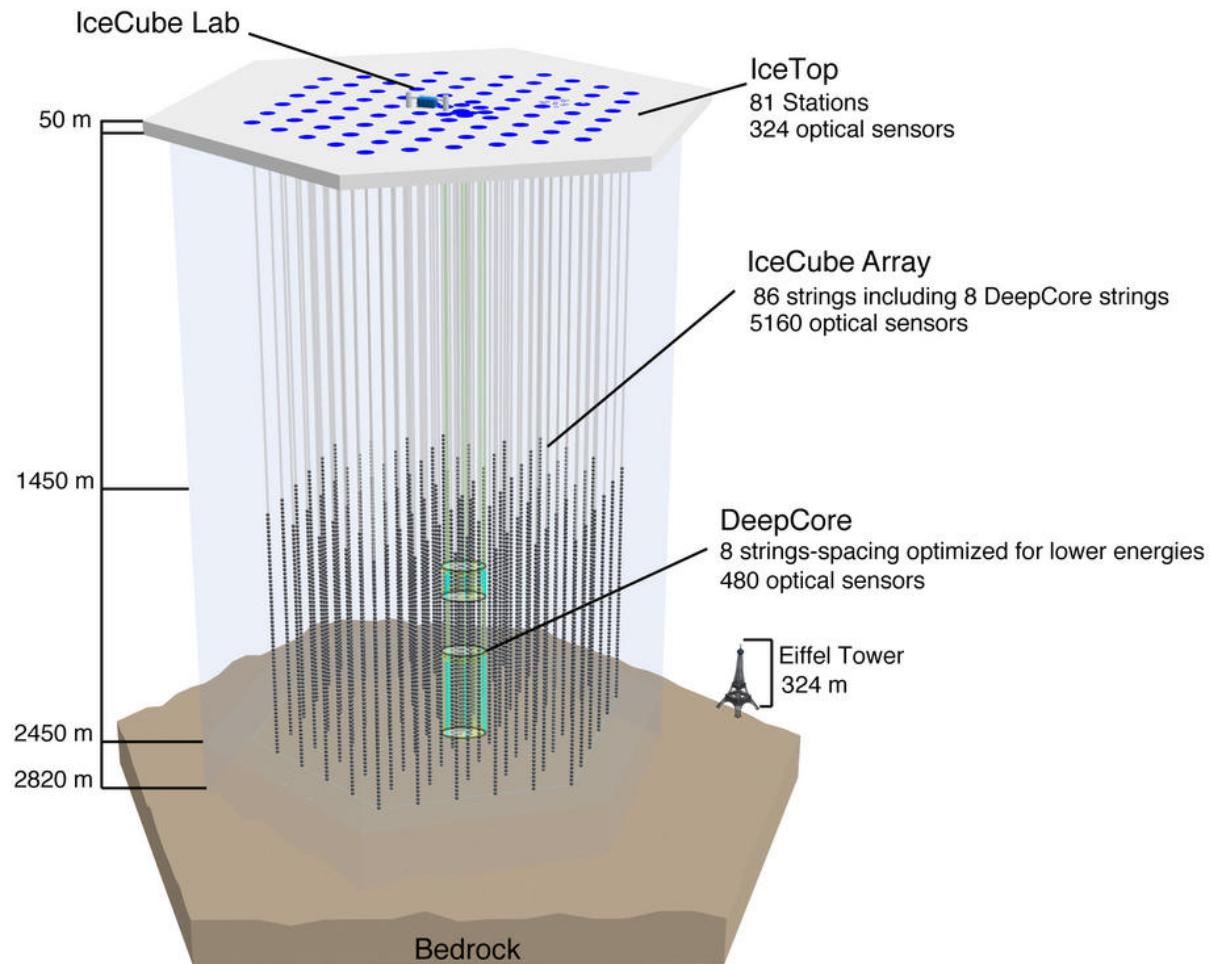
De IceCube Neutrino Telescoop



De IceCube Neutrino Telescoop

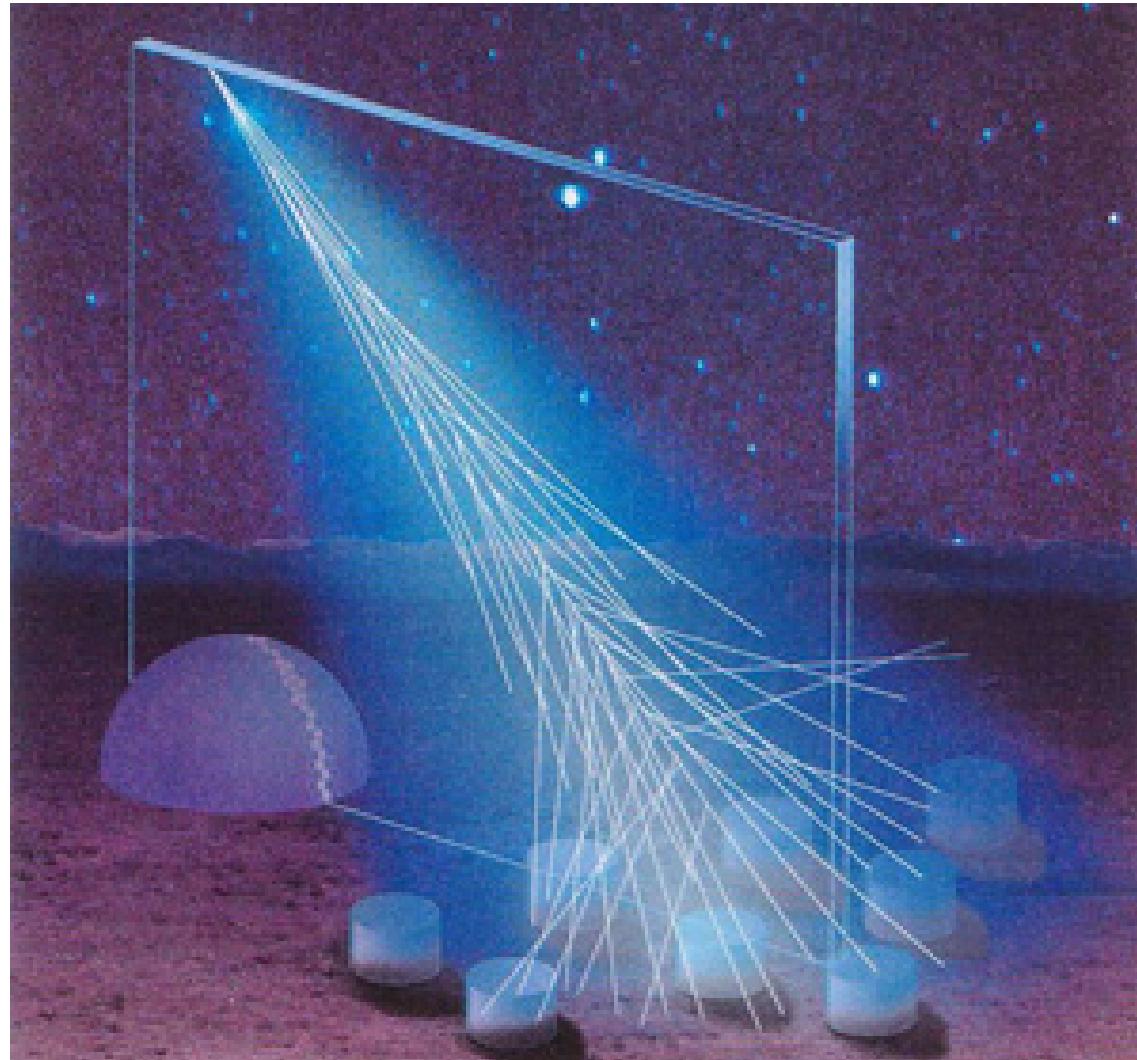


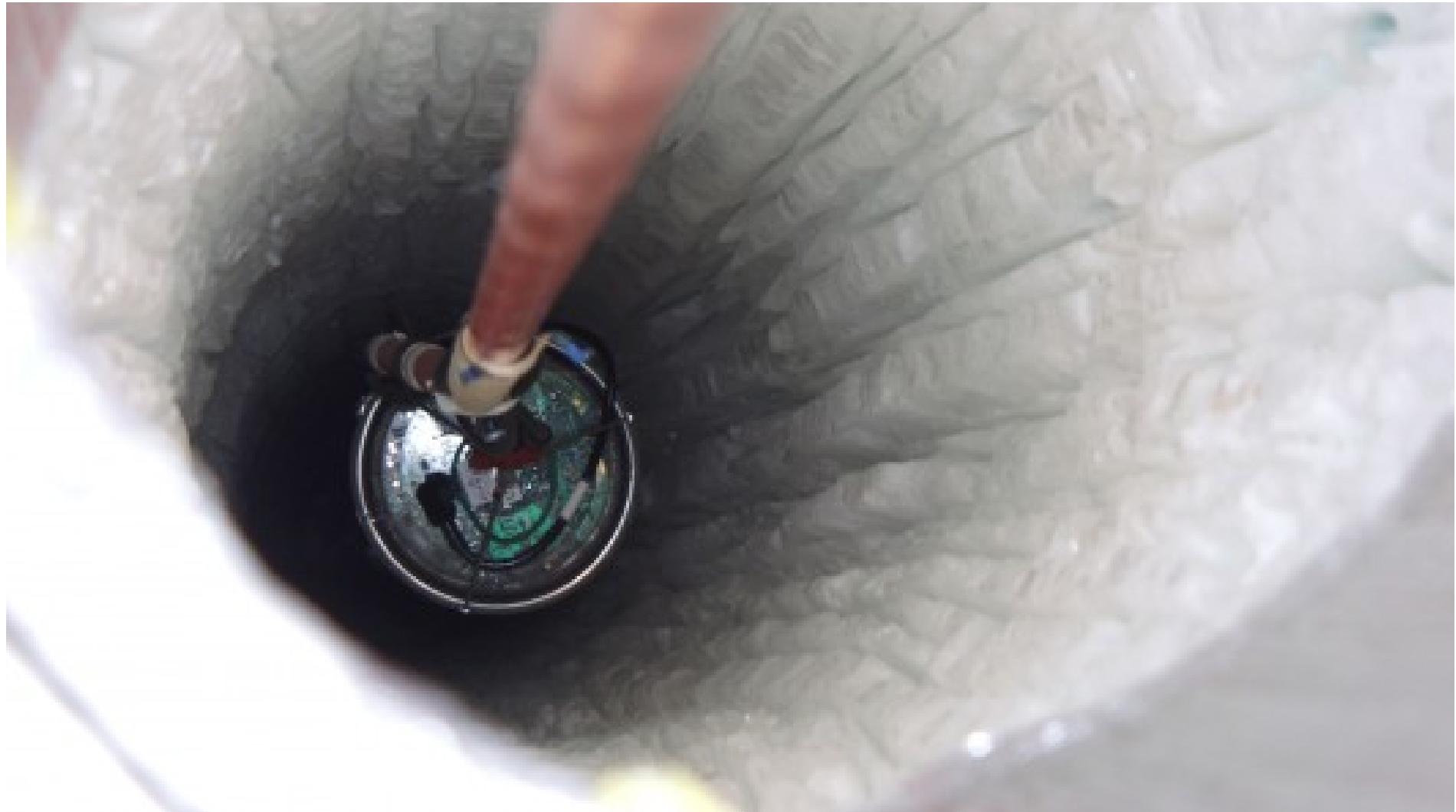
De IceCube Neutrino Telescoop



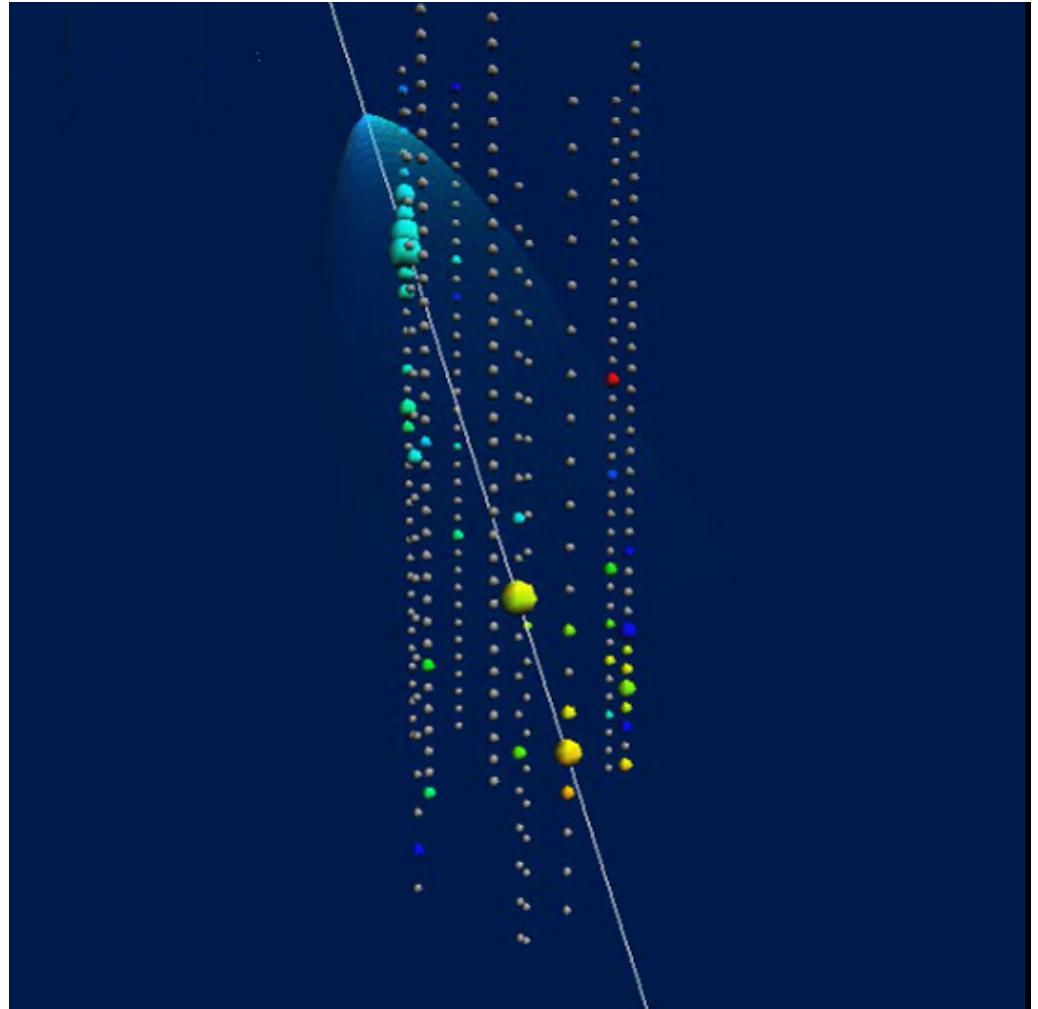
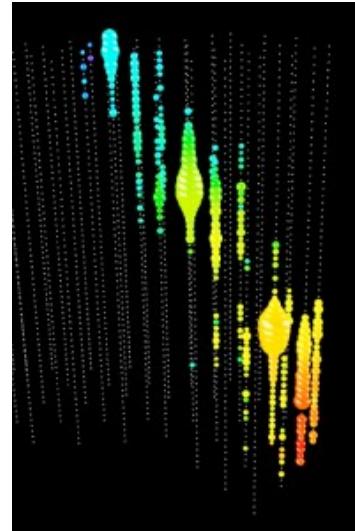


IceTop detectie principe



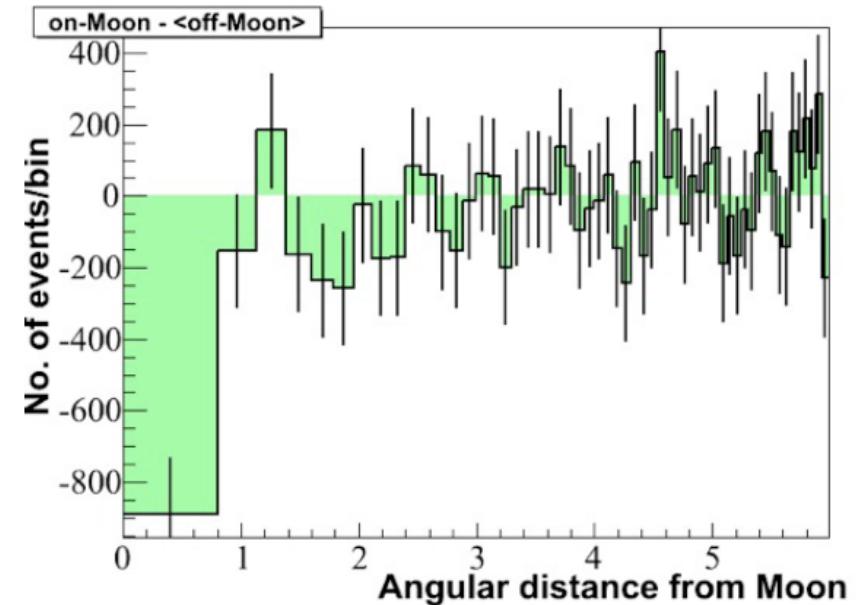
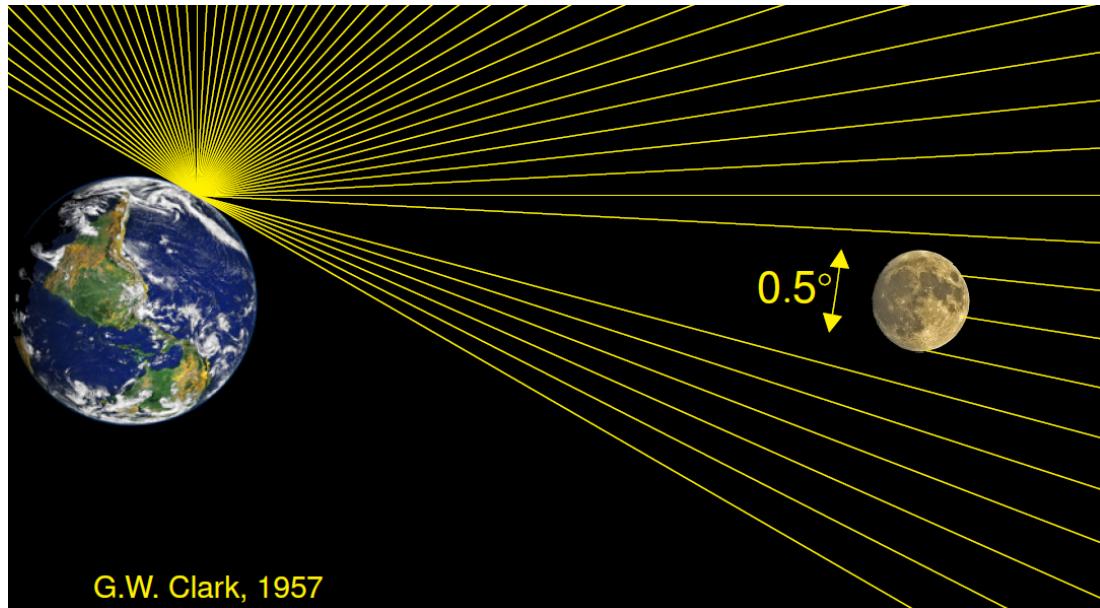


InIce detectie principe



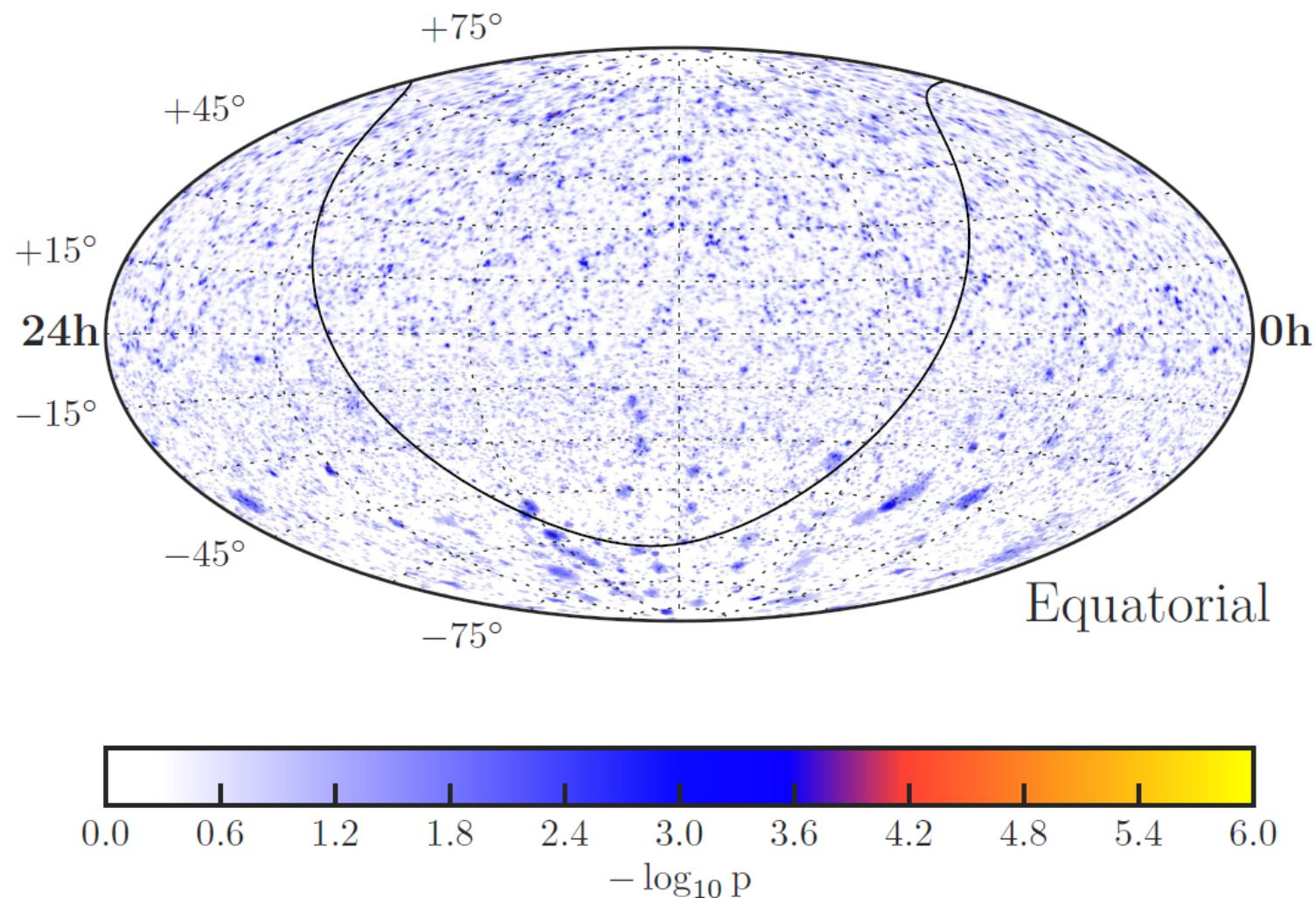
Muonen van atmosferische interacties

De schaduw van de Maan

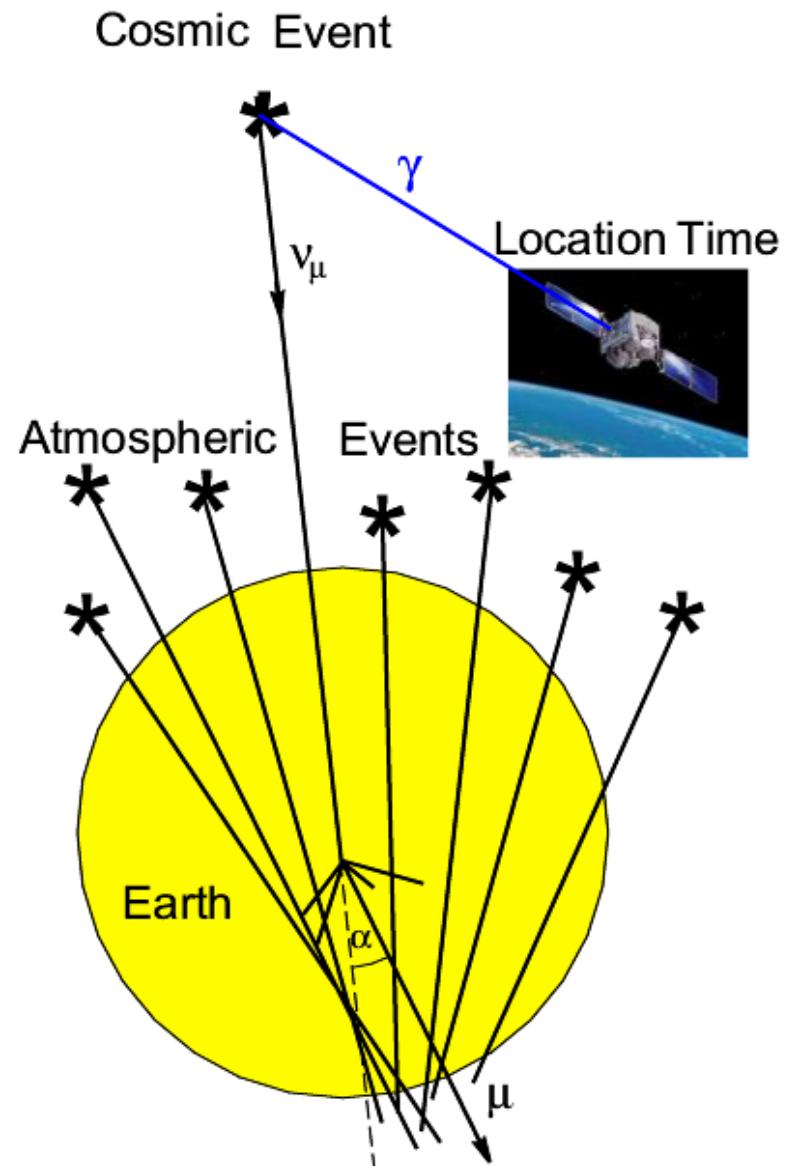


Hoekresolutie : $\sim 0.8^\circ$

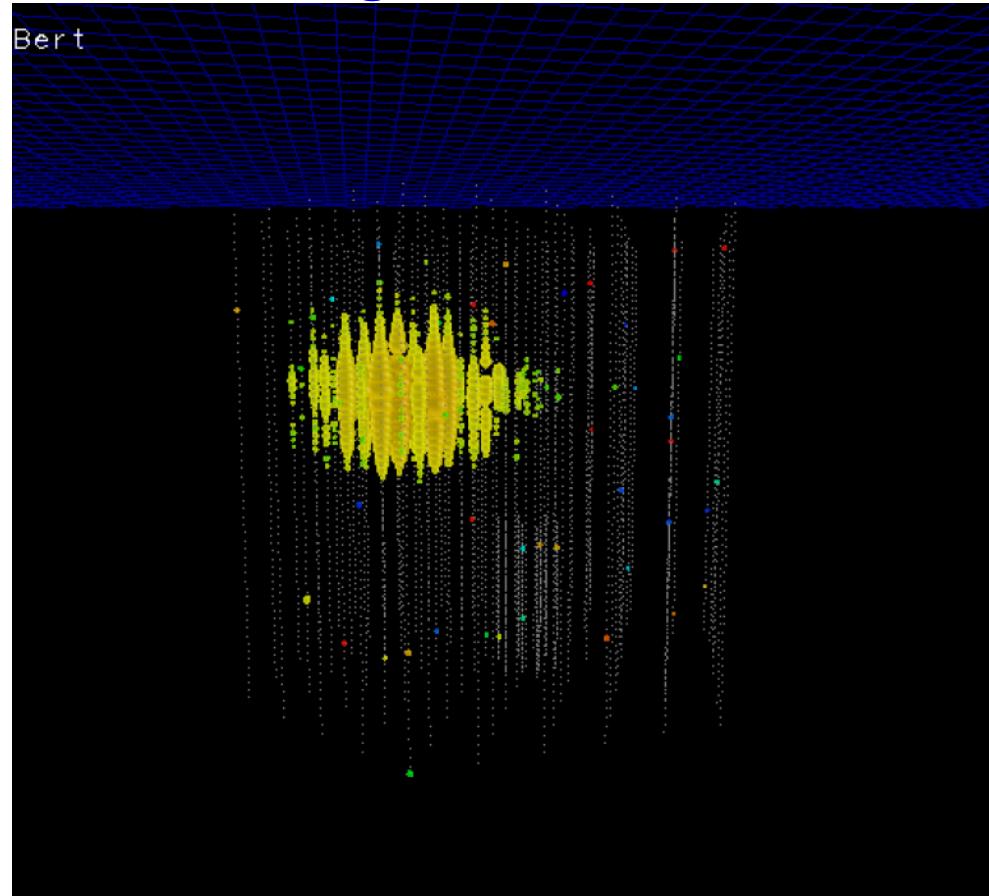
De IceCube hemelkaart (7 jaar data, $\sim 700'000$ events)



- Signalen zijn atm. achtergrond ν
Niet te onderscheiden van kosm. ν
- Langer meten → Hot spots
- Of : **Kijk naar kortstondige explosies**
Specifieke plaats en tijd (satelliet)
→ **nagenoeg geen achtergrond**
- Gelijktijdig $\gamma - \nu$ signaal
Faalt ingeval van een tijdverschil
- **@VUB: Nieuwe methode**
Ontwikkeld voor $\gamma - \nu$ tijdverschillen
Stapelt info van diverse bursts



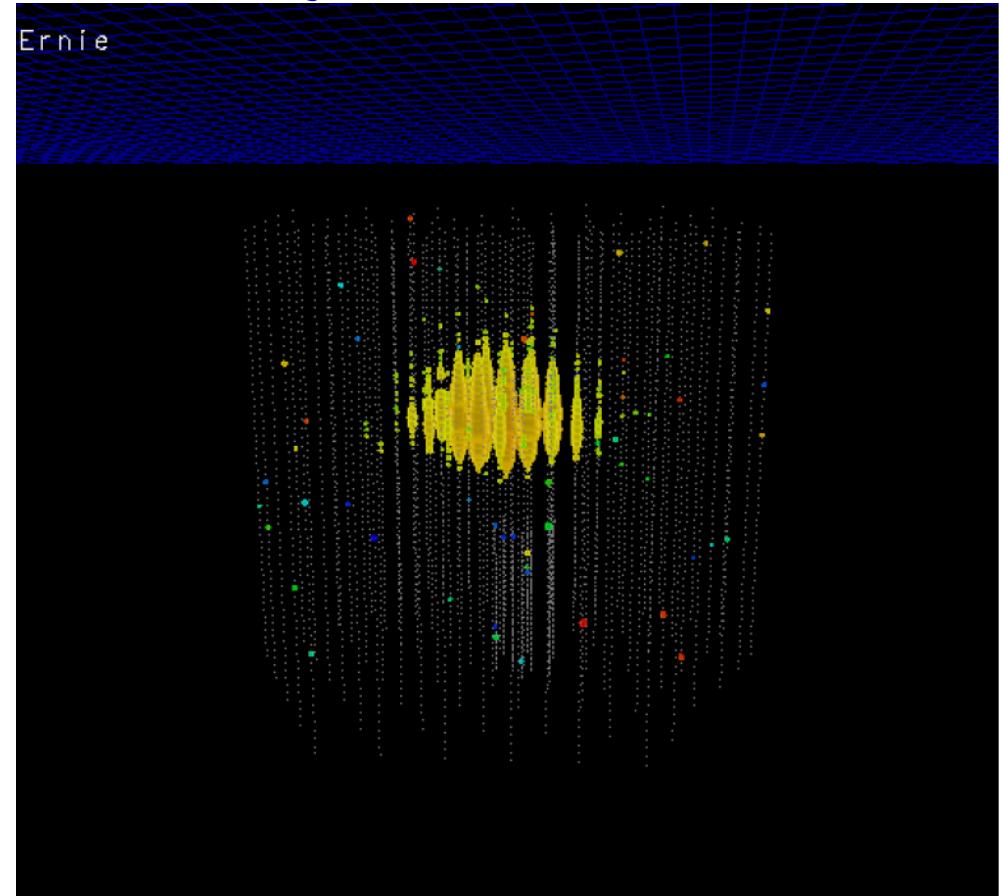
Tue 09-aug-2011 07:23:18 UTC



1.04 ± 0.16 PeV

Atmosferische ν achtergrond ?

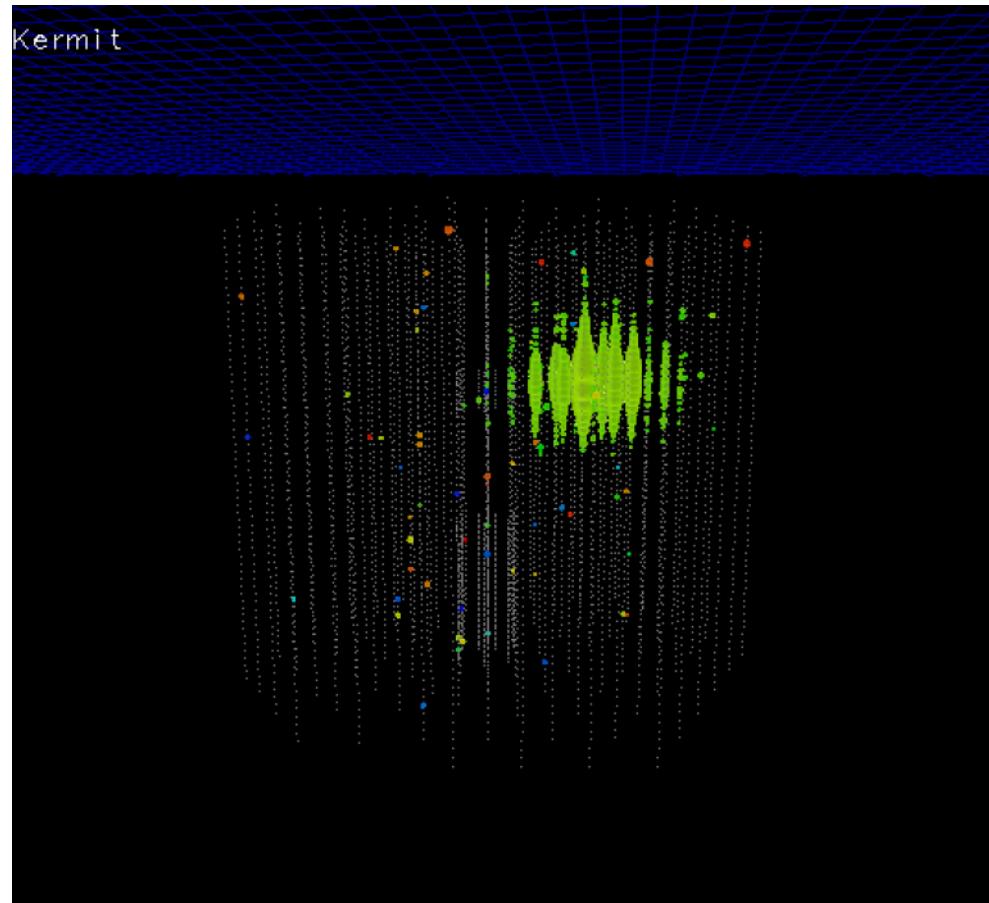
Tue 03-jan-2012 03:34:01 UTC



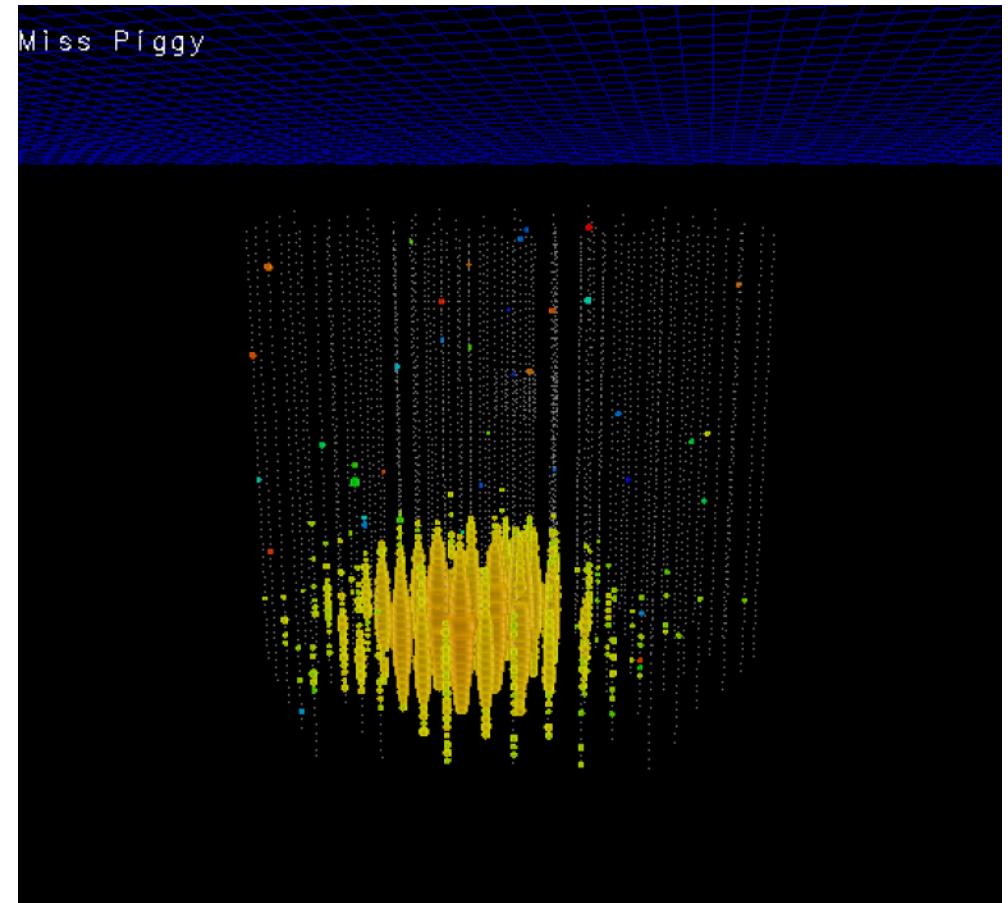
1.14 ± 0.17 PeV

Slechts ca. 0.3% kans op achtergrond

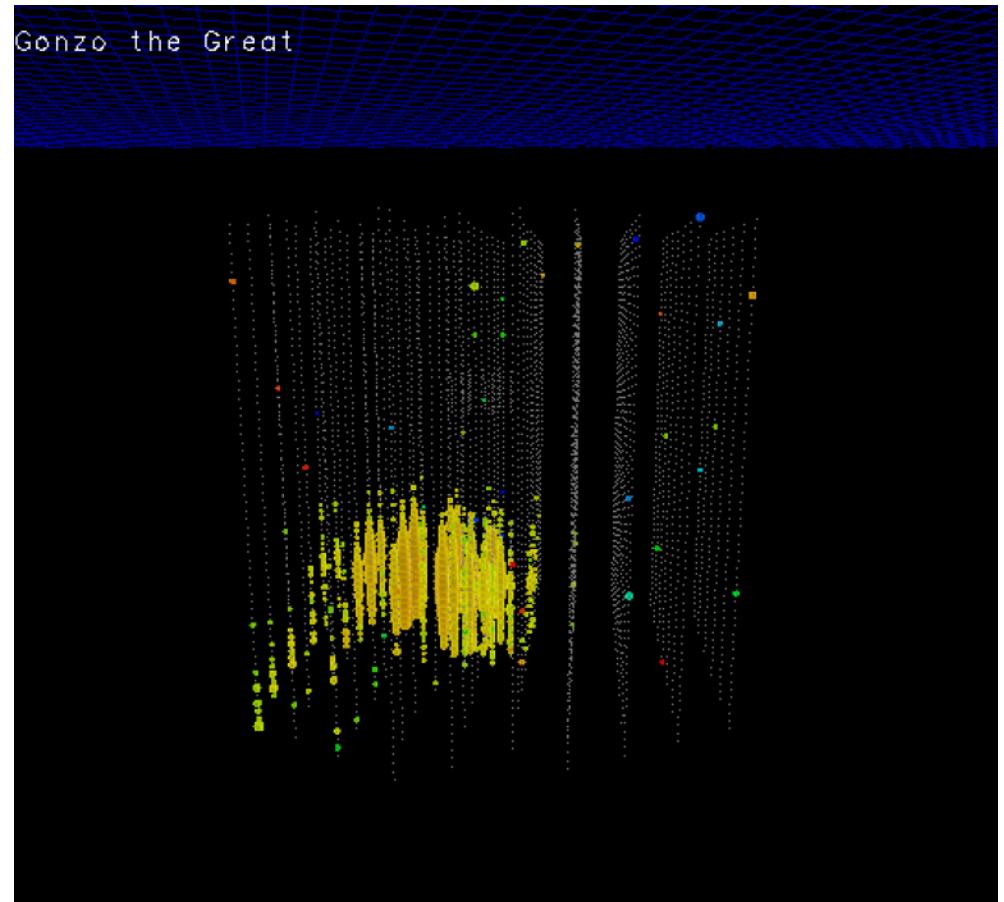
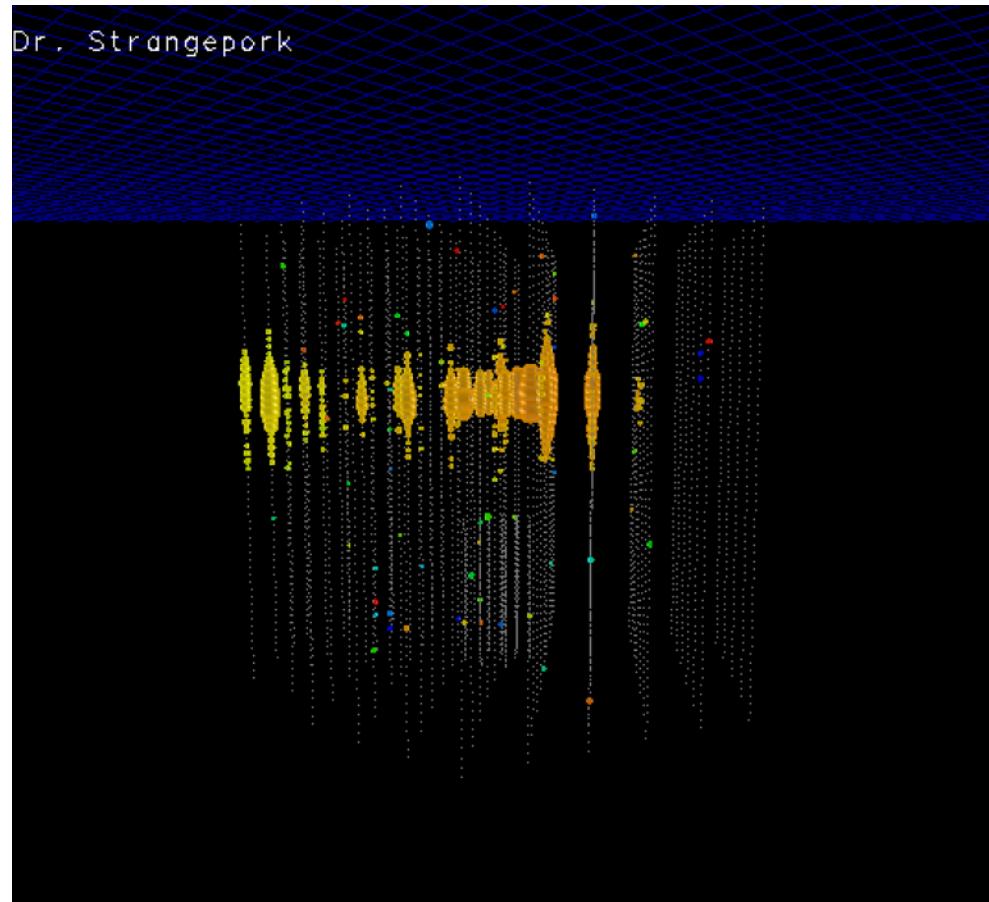
Kermit



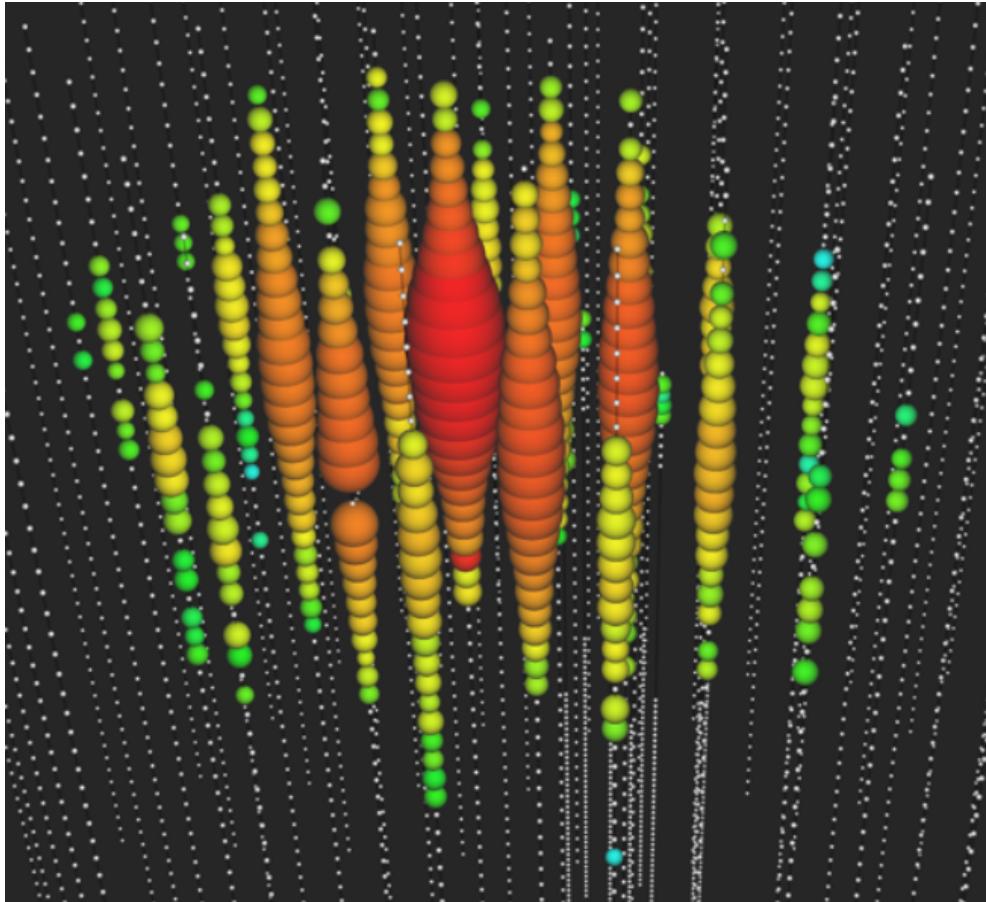
Miss Piggy



Ook enkele μ spoor signaturen



Onze huidige kampioen

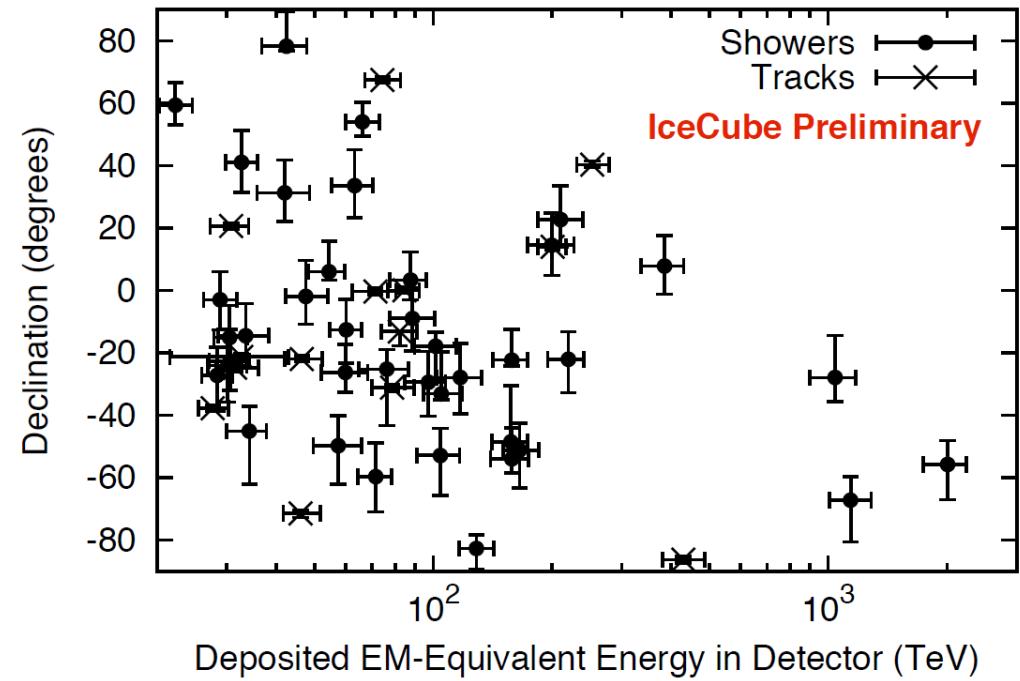
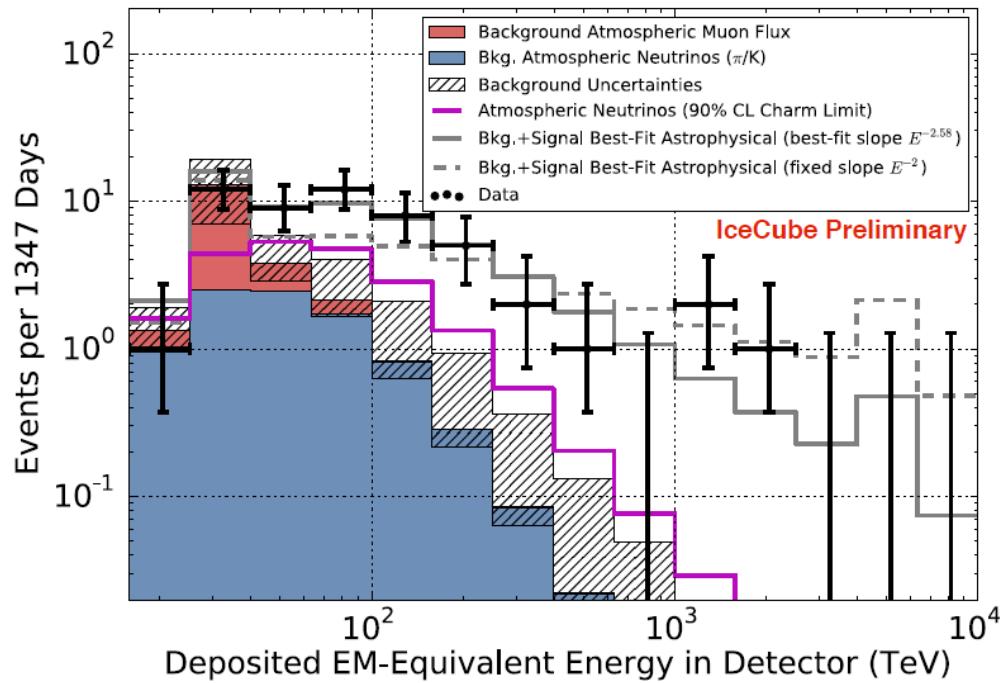


2.00 ± 0.25 PeV



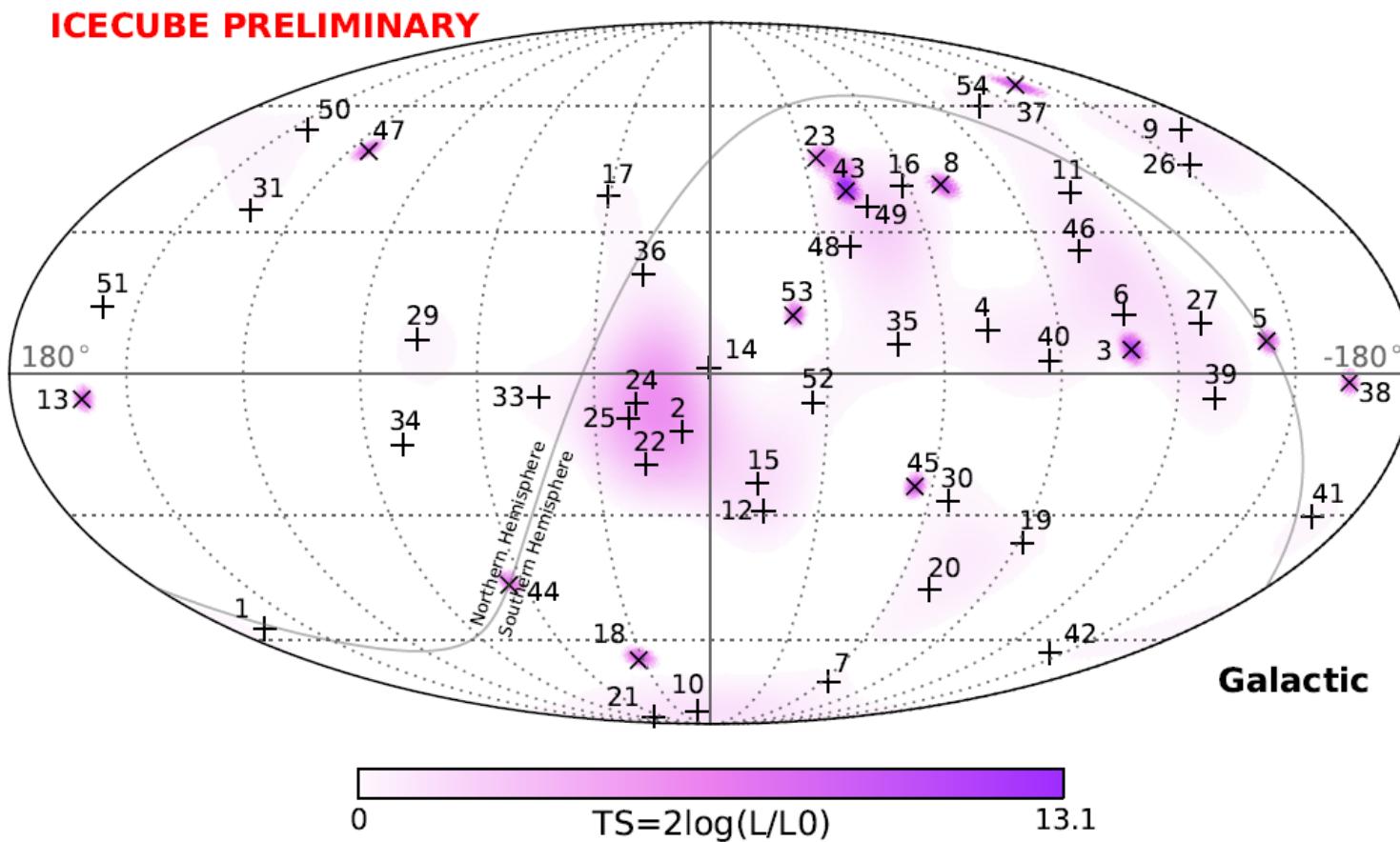
Big Bird

Energie distributie van de 54 events



Aanduiding voor kosmische hoog-energetische neutrino's

Herkomst van de 54 events



Geen bewijs voor puntbron(nen)

- **IceCube : 's Werelds grootste neutrino observatorium op de Zuidpool**

De volledige IceCube detector is sinds december 2010 in bedrijf

IceCube sensoren werken naar behoren (Maanschaduw, hemelkaart)

- **Zeer gedetailleerd onderzoek van de "neutrino hemel"**

Valt in tijd mooi samen met satelliet waarnemingen (Swift, Fermi)

→ Perfect voor GRB onderzoek

- **Wereldprimeur : Kosmische hoog-energetische neutrino's ontdekt**

De geboorte van Neutrino Astronomie

- **Onderzoek aan de VUB :**

Nieuwe methode voor detectie van GRB neutrino's

Onderzoek naar neutrino productie in zonnevlammen

Nieuw idee voor neutrino detectie van actieve melwegkernen

Er breken zeer interessante tijden aan voor onze Astrodeeltjes Fysica !