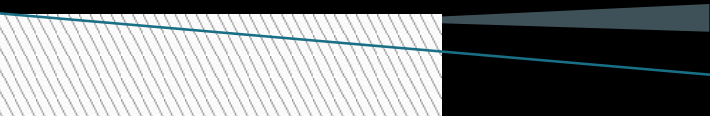


# Indirekte Suche nach Dunkler Materie

Friedrich Alexander Universität Erlangen  
Physikalisches Seminar Astro- und  
Teilchenphysik SS 2011  
Sascha Pfeiffer



# Was heisst „indirekt“?

∅ Direkt:

WIMP trifft auf den Detektor direkt.

∅ Indirekt:

WIMP „produziert“ irgendwo sekundär Teilchen  
die man im Detektor vermisst  
und somit indirekt die WIMPs detektiert.

# Was heisst „produzieren“?

- ∅ WIMP Annihilation
- ∅ Dabei können entstehen (SUSY):
  - Hadronen (welche möglicherweise zerfallen)
  - Gammastrahlung, Neutrinos

# Wo sollen wir suchen?

- ∅ Annihilation findet da statt wo viele WIMPs versammelt sind.
- ∅ WIMPs wechselwirken nur über Gravitation und schwache WW.
- ∅ Suche nach Gravitationsfallen:  
z.B.: Sonne, Erde, galaktisches Zentrum,...
- ∅ Idee: WIMP fliegt durch Gravitationsfalle, und verliert durch Stöße genug Energie um nicht mehr zu „entkommen“. Führt zur Anreicherung von WIMPs

# Wonach sollen wir nun suchen?

∅ Protonen (bzw Antiprotonen)?

Kann man vom Kosmischen Hintergrund nicht Unterscheiden.

# Wonach sollen wir nun suchen?

∅ Elektronen (bzw Positronen)?

Hochenergetische Elektronen wären denkbar.  
Verlust der Richtungsinformation durch Ablenkung  
im Magnetfeld.

# Wonach sollen wir nun suchen?

∅ Gammastrahlung?

Unterscheidung vom Hintergrund schwierig aber möglich.

Richtungsinformation erhalten.

Ursprung: galaktisches Zentrum

# Wonach sollen wir nun suchen?

∅ Neutrinos?

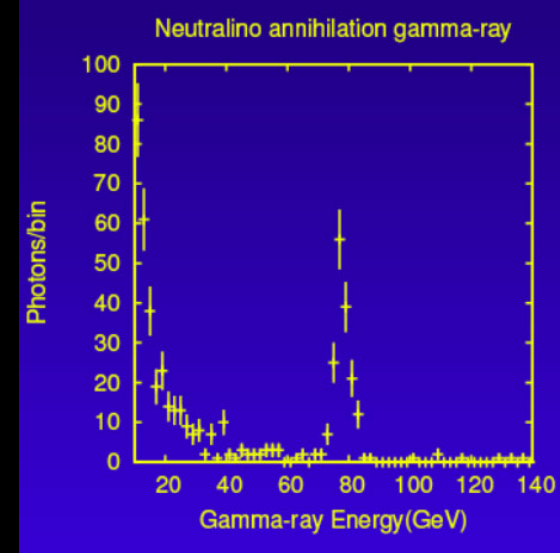
Geradlinige Ausbreitung da elektrisch neutral und nur kleine Masse.

Detektion problematisch...

Ursprung: galaktisches Zentrum/Sonne/Erde



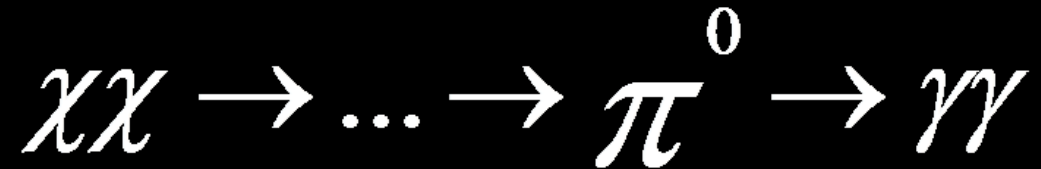
# Diskrete Gammastr.



- Gammas mit diskreter Energie (Peak im Spektrum):

$$E_\gamma = m_\chi \quad \text{oder} \quad m_\chi \left( 1 - \frac{m_Z^2}{4m_\chi^2} \right)$$

# Kontinuierliche Gammastr.



- ∅ Durch Hadronen Zerfall initiiert
- ∅ Niedrigere Energie als diskrete Gammalinien
- ∅ Höhere Rate / Annihilation da favorisiert

# Warum Neutrinos?

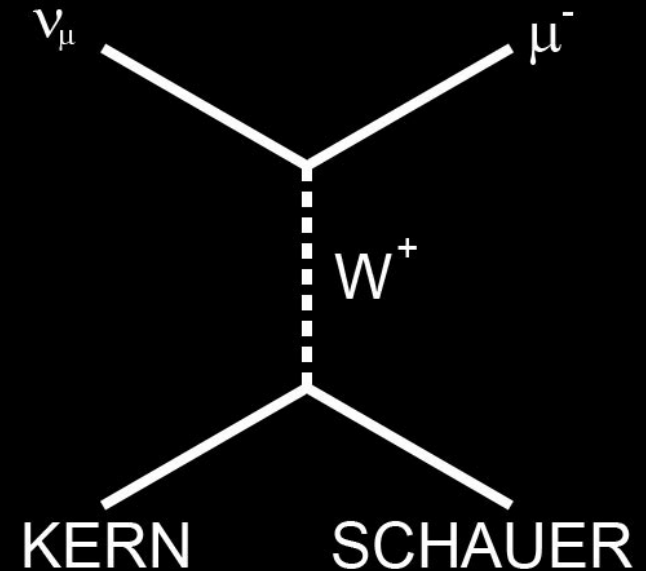
- ∅ Neutrinos sind ungeladen!  
d.h. keine Ablenkung durch E- und B-Felder
- ∅ Neutrinos interagieren nicht/kaum  
d.h. durchdringen Staub und und dichtere Materie mühelos

... aber wie detektiert man etwas, was fast überall durchfliegt?

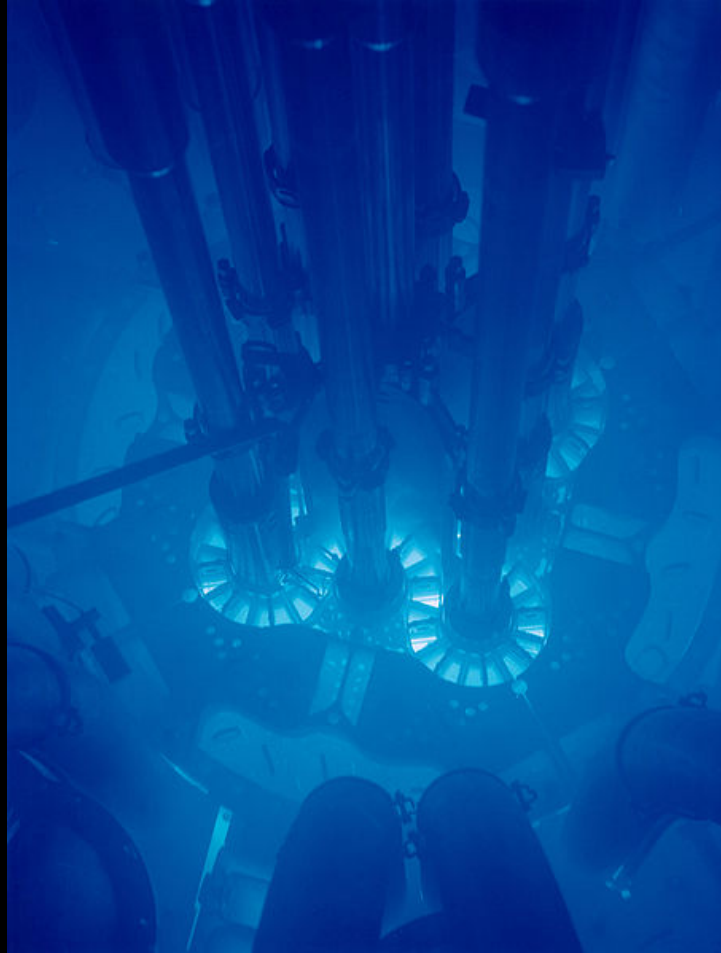
# Detektion von Neutrinos?

- ∅ Manchmal trifft ein Neutrino direkt auf einen Atomkern und erzeugt sekundär geladene Teilchen.

## ∅ Cherenkov Effekt



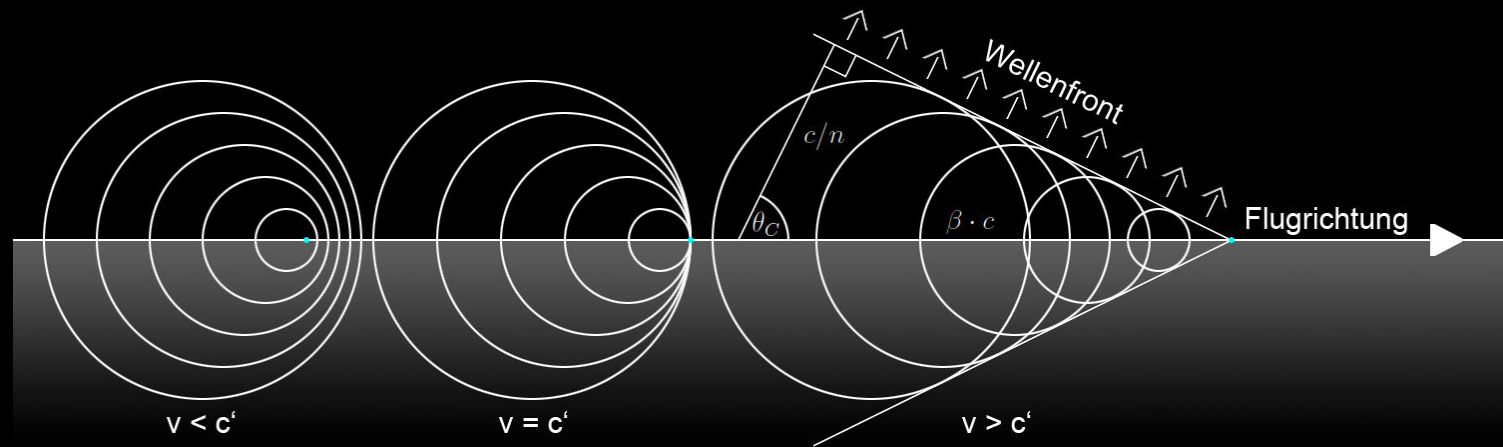
# Cherenkov Effekt



Blaues Licht  
Was macht es?  
Es leuchtet blau.

Advanced Test Reactor des Idaho National Laboratory

# Cherenkov Effekt



- ∅ Geladenes Teilchen mit einer Geschwindigkeit  $v$ , die größer ist als die Lichtgeschwindigkeit im (dielektrischen) Medium  $c'$ .

$$\cos(\theta_c) = \frac{c' \cdot t}{v \cdot t} = \frac{c/n}{\beta \cdot c} = \frac{1}{n \cdot \beta}$$

# Cherenkov Effekt

$$\cos(\theta_c) = \frac{c' \cdot t}{v \cdot t} = \frac{c/n}{\beta \cdot c} = \frac{1}{n \cdot \beta}$$

∅ Für hochrelativistische Teilchen ( $\beta=1$ ) folgt:

Luft ( $n=1.0003$ ):  $\theta_c=1.2^\circ$

Wasser ( $n=1.33$ ):  $\theta_c=42^\circ$

Eis ( $n=1.31$ ):  $\theta_c=39.5^\circ$

# IceCube

- ∅ Neutrino Detektor basierend auf dem Cherenkov Effekt
- ∅ Ort: Südpol / Antarktika
- ∅ Medium: Eis (rein/klar, frei von Radioaktivität)
  
- ∅ Neutrinos fliegen durch die Erde (natürlicher Filter), ein paar treffen dann auf ein Wasseratom. Die erzeugten geladenen Teilchen (Muon, Elektron,...) emittieren Cherenkov Licht.

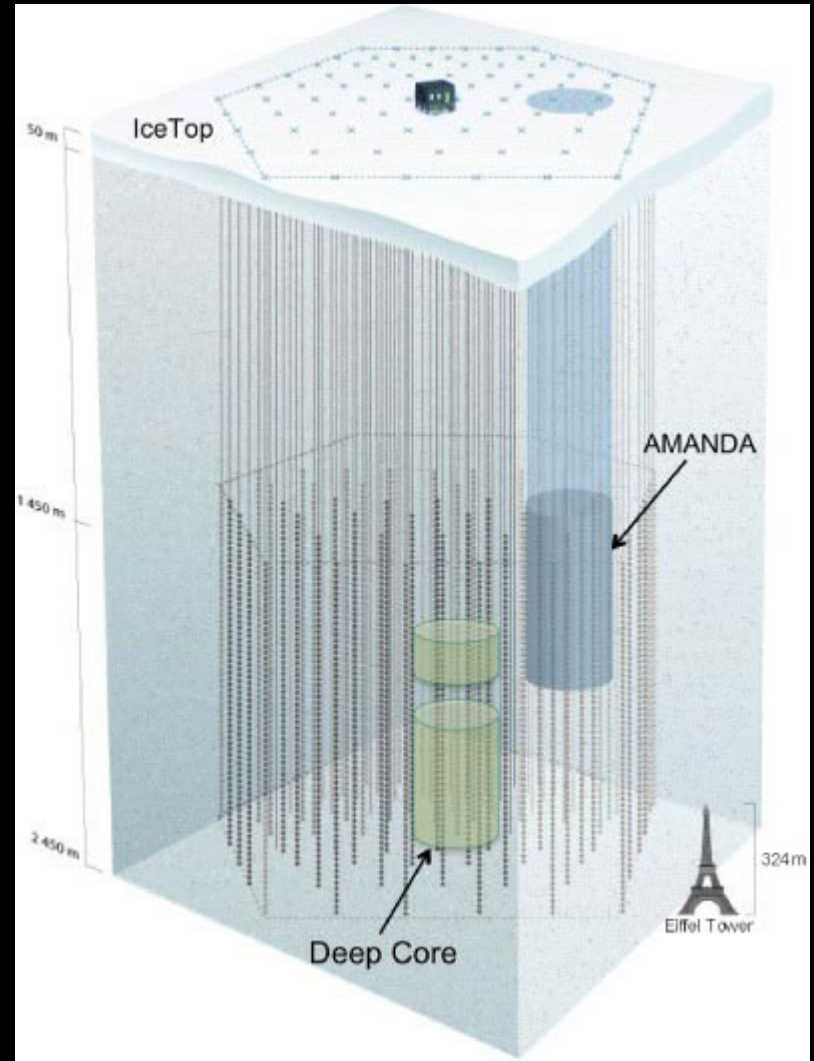


# IceCube



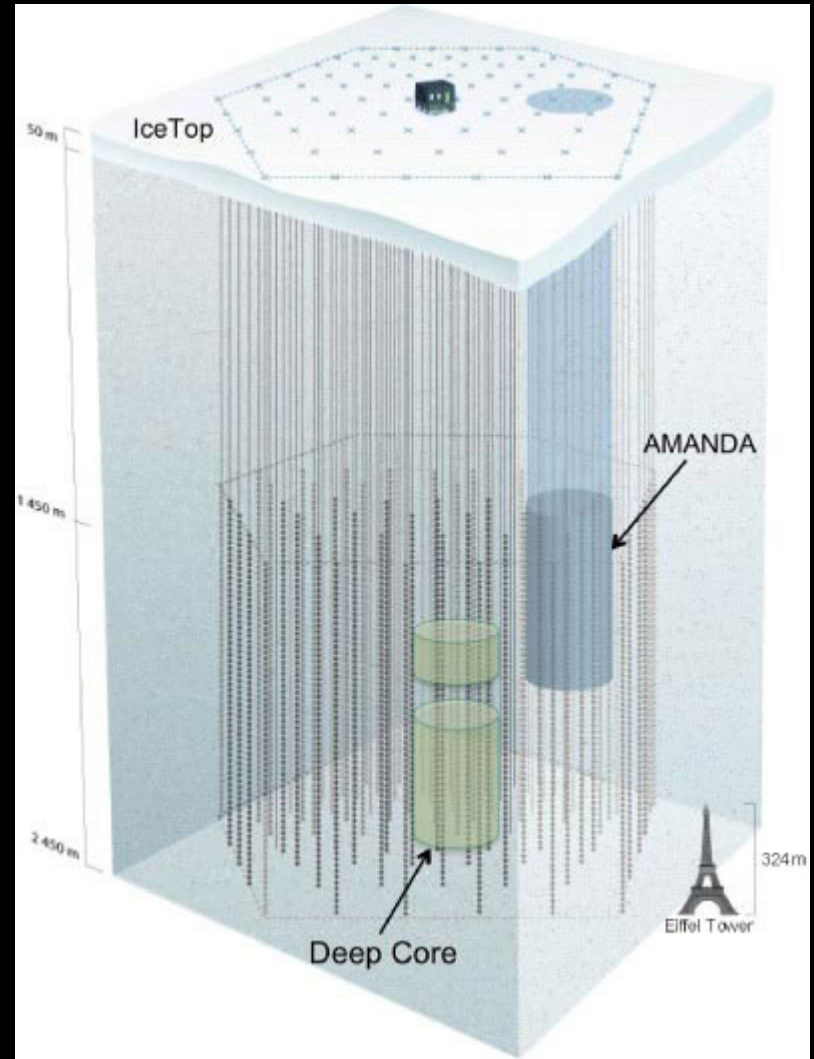
# IceCube

- ∅ Technische Details:
  - ∅ 1km<sup>3</sup> Detektorvol.
  - ∅ 86 Kabelstränge
  - ∅ 215km Kabellänge
  - ∅ 125m horiz. Abstand
  - ∅ 60 PMT pro Kabel mit 17m vert. Abstand
  - ∅ Max. Tiefe: 2450 m
  - ∅ Abgeschirmt durch 1500m Eis



# IceCube

- ∅ Deep Core:
  - ∅ 6 Kabel
  - ∅ 60 PMTs mit höherer Quanteneffizienz
  - ∅ Setzt den Threshold von 100GeV auf ~10GeV herab.
- ∅ AMANDA:
  - ∅ Vorläufer von IceCube



# IceCube

∅ Bohren durch 2.5km dickes Eis:

- ∅ 2 Bohrer
- ∅ 48h Bohrzeit
- ∅ 18.000l Benzin verbr.
- ∅ 200.000l Eis geschmolzen

... pro Loch!

# ANTARES

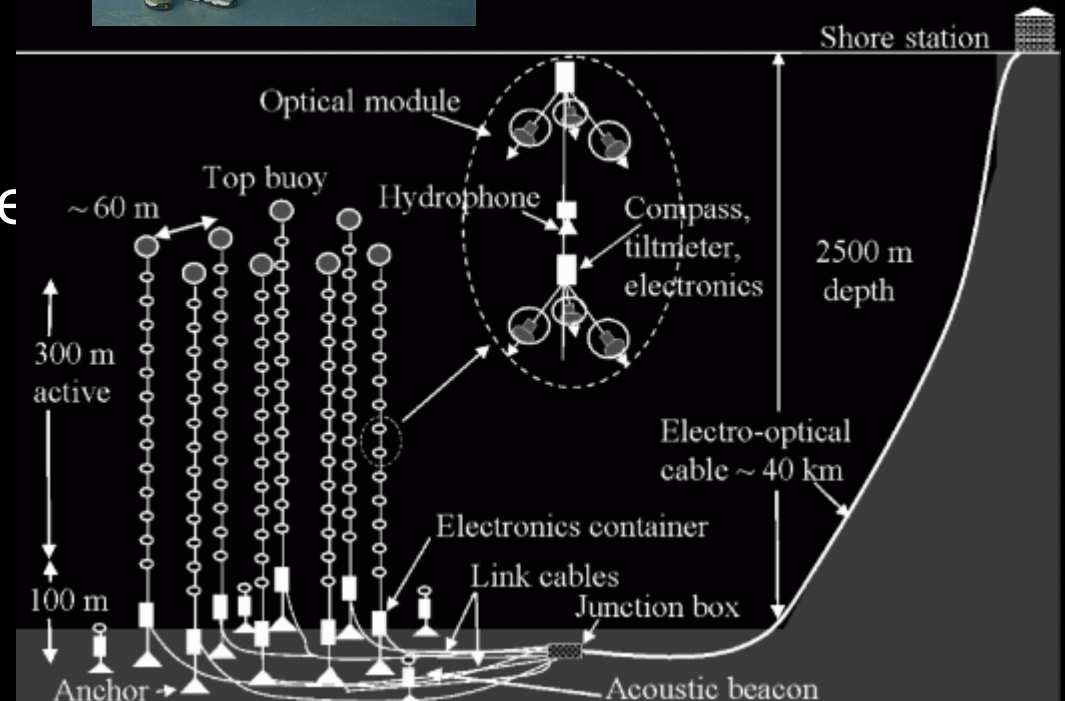
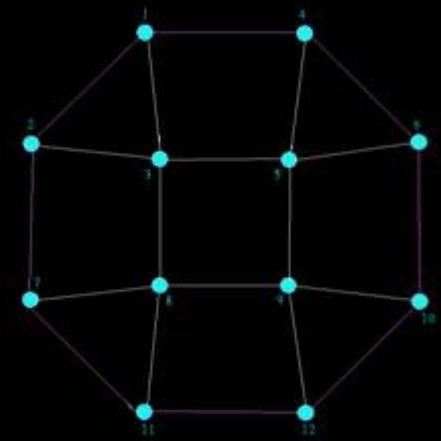
- ∅ Neutrino Detektor basierend auf dem Cherenkov Effekt
  - ∅ Ort: Französische Mittelmeerküste
  - ∅ Medium: Wasser (rein/klar)
- 
- ∅ Neutrinos fliegen durch die Erde (natürlicher Filter), ein paar treffen dann auf ein Wasseratom. Die erzeugten geladenen Teilchen (Muon, Elektron,...) emittieren Cherenkov Licht.

# ANTARES

- ∅ Neutrino  
fliegt  
durch Erde
- ∅ Neutrino  
erzeugt  
Muon
- ∅ Muon  
emittiert  
Cherenk.  
Licht

# ANTARES

- ∅ 12 Kabelstränge
- ∅ 70m Kabelabstand
- ∅ Alle 14.5m eine Etage
- ∅ Pro Etage 3 PMTs
- ∅ 1000 PMTs insgesamt
- ∅ 0.1 km<sup>2</sup> Grundfläche
- ∅ 350m Höhe



# ANTARES

∅ Platzieren eines Strings



# ANTARES

Autonomous Module for Acoustic DEtection Under  
the Sea

Ø Verkabeln der Strings

© 2014 FAU, Universität Erlangen-Nürnberg. Alle Rechte vorbehalten. FAU ist ein eingetragenes Markenzeichen der Universität Erlangen-Nürnberg.

# AMADEUS

- ∅ Ausbreitung von Cherenkovlicht im Wasser:  
~10m-40m (je nach Wellenlänge,  
Wassereigenschaften...)
  - ∅ Ausbreitung von Schallwellen im Wasser um Faktor  
10 größer
  - ∅ Klingt schön aber noch unspektakulär.
- ... bedenkt man aber, dass man für ein Volumen 1000  
mal mehr PMTs als Hydrophone benötigt, dann...
- ∅ Interessant für höher energetische Neutrinos wegen  
geringerer Rate

# MAGIC

(Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov Telescopes)

- ∅ Gamma Detektor basierend auf dem Cherenkov Effekt
- ∅ Ort: Kanarische Insel La Palma auf dem Roque de los Muchachos in 2200m
- ∅ Medium: Atmosphäre / Luft
- ∅ Zwei Teleskope (MAGIC I und II) detektieren das Cherenkov Licht, dass durch Gammastrahlung ausgelöste Teilchenschauer in der Atmosphäre verursacht wird.

# MAGIC

(Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov Telescopes)



- ∅ Je 236m<sup>2</sup> Spiegeloberfläche aus 50cm x 50cm (MAGIC I) bzw. 1m x 1m (MAGIC II) Aluminiumspiegeln
- ∅ Energiebereich 30GeV – 30TeV
- ∅ Gerüst aus Kohlefaser
- ∅ 20s Reaktionszeit
- ∅ Gewicht 40t

# MAGIC

(Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov  
Telescopes)



# MAGIC

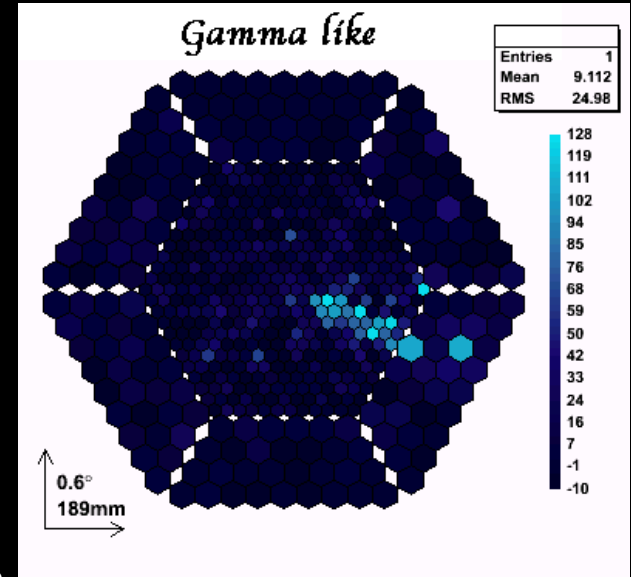
(Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov Telescopes)

- ∅ Gammastrahlung trifft in 10-20km Höhe auf ein Atom/Molekül und erzeugt dabei einen Teilchenschauer
- ∅ Teilchenschauer besteht fast ausschließlich aus Elektronen und Positronen
- ∅ Teilchen emittieren Cherenkovlicht im ultravioletten
- ∅ Licht verteilt sich typischerweise auf einen Kreis des Durchmessers von 250m

Untergrund: geladene Teilchen der kosmischen Strahlung erzeugen auch Luftschauer und sind viel häufiger als Gammas.

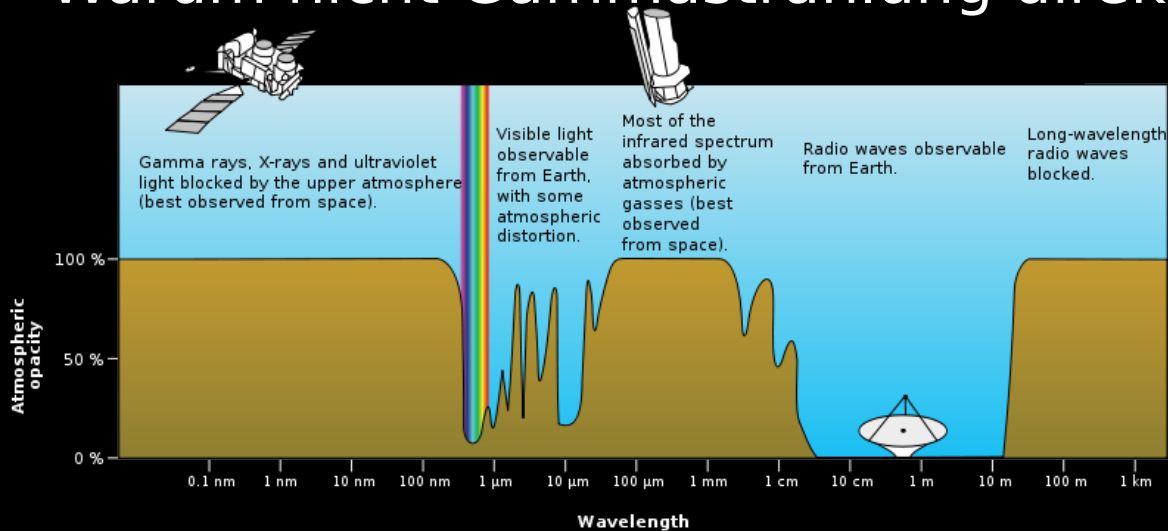
# MAGIC (Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov Telescopes)

- ∅ Wie identifiziere ich durch Gammastrahlung ausgelöstes Cherenkovlicht: Fläche, Form, Richtung...
  - ∅ Professor würde sagen: „Wie man leicht nachrechnen kann, ergeben sich die eben gezeigten Formen.“
- ... hochgradig nicht trivial.  
Große Ansprüche an die verwendeten Algorithmen.



# MAGIC (Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov Telescopes)

∅ Warum nicht Gammastrahlung direkt detektieren?



- ∅ Atmosphäre nicht durchlässig für Gammastrahlung
- ∅ Cherenkovlicht wird auf einen Kreis mit 250m im Durchmesser verteilt. (49 000 m<sup>2</sup>)  
Umweg über Cherenkovlicht.



# HESS

High Energy Stereoscopic System



- ∅ HESS besteht aus 4 Teleskopen mit je 108m<sup>2</sup> Spiegelfläche, die in einem Quadrat mit einer Seitenlänge von 120m aufgestellt sind

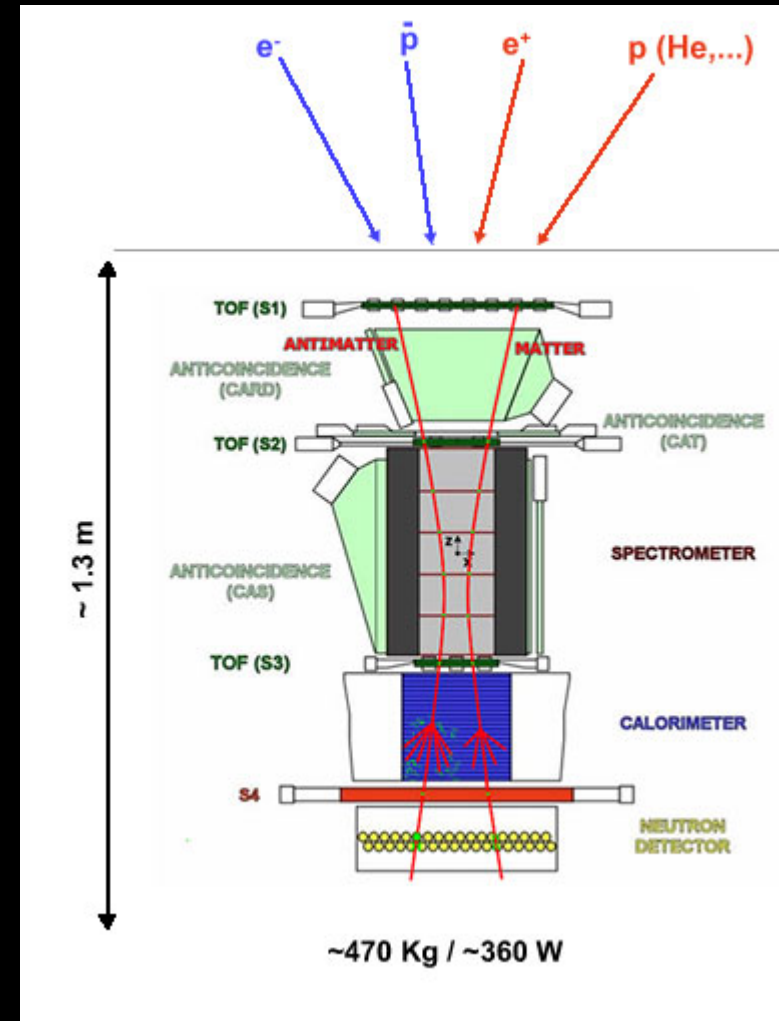
# PaMeLa

payload for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics

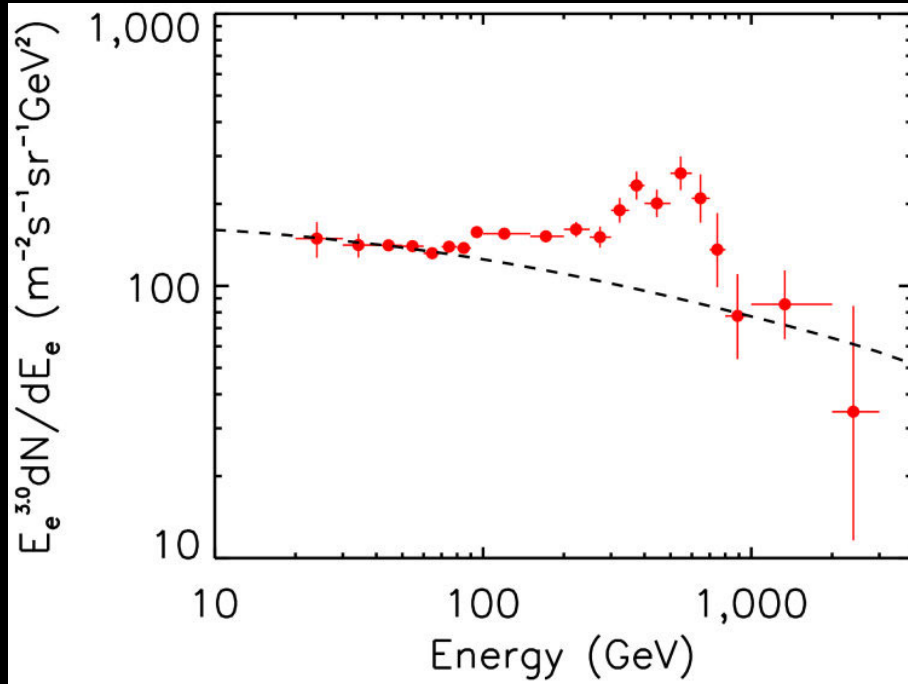
∅ Detektor im Weltall für Materie und Antimaterie

∅ „Standard“ Aufbau

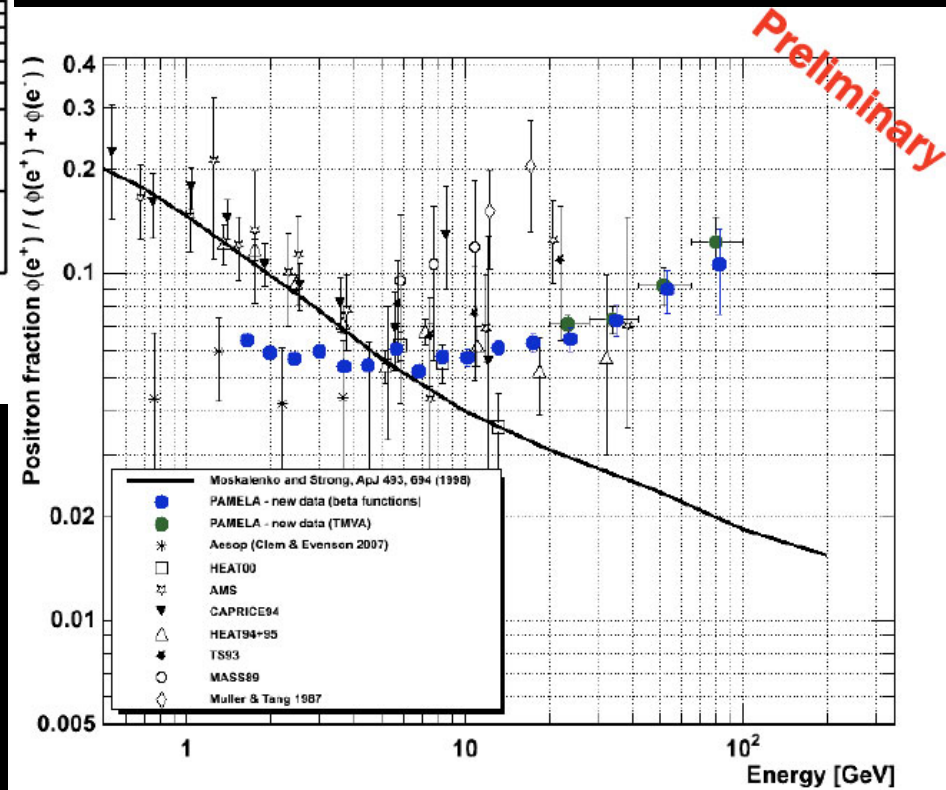
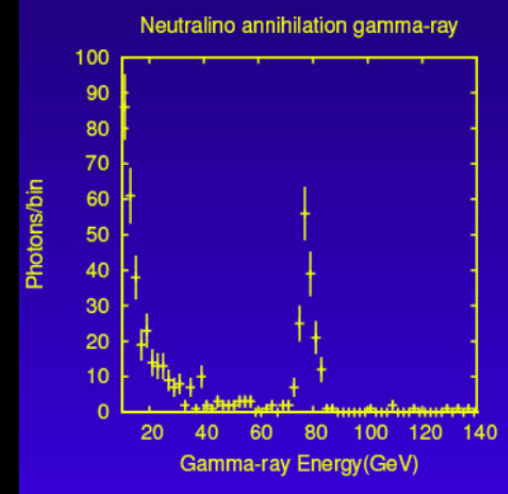
... eher langweilig, aber Daten SEHR interessant!



# Ergebnisse:

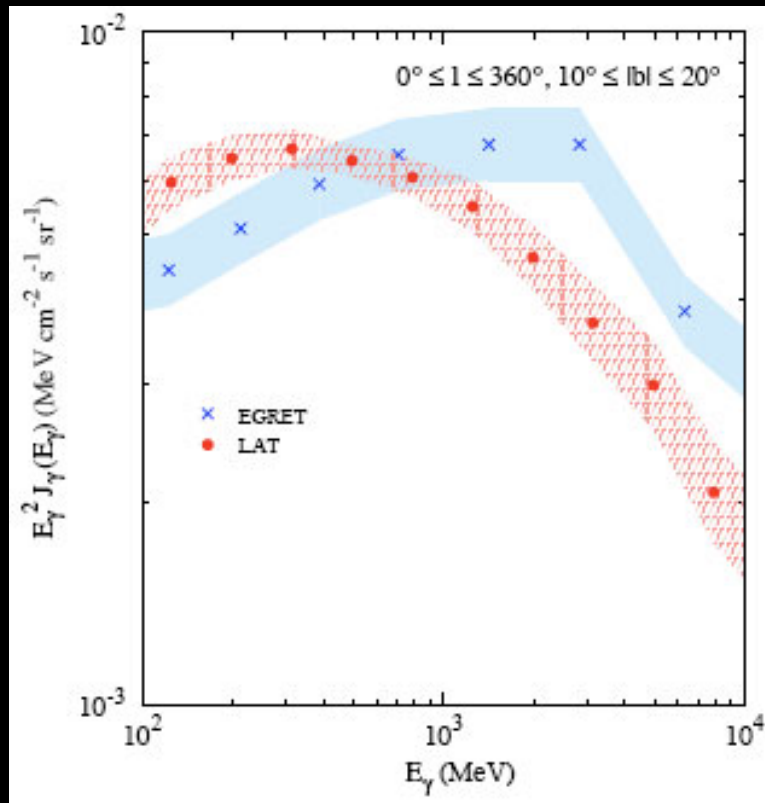


MeLa ( $e^+e^-$ )

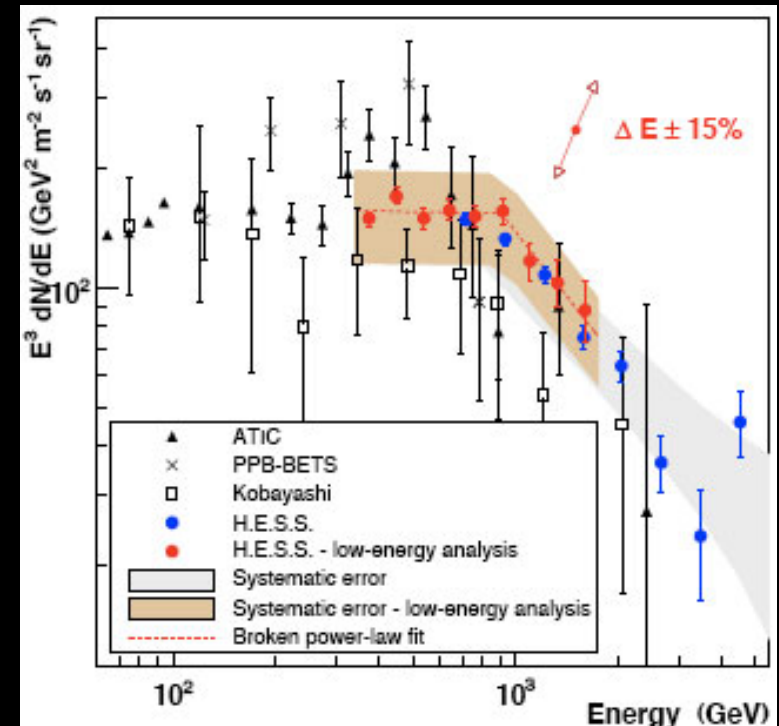


# Ergebnisse:

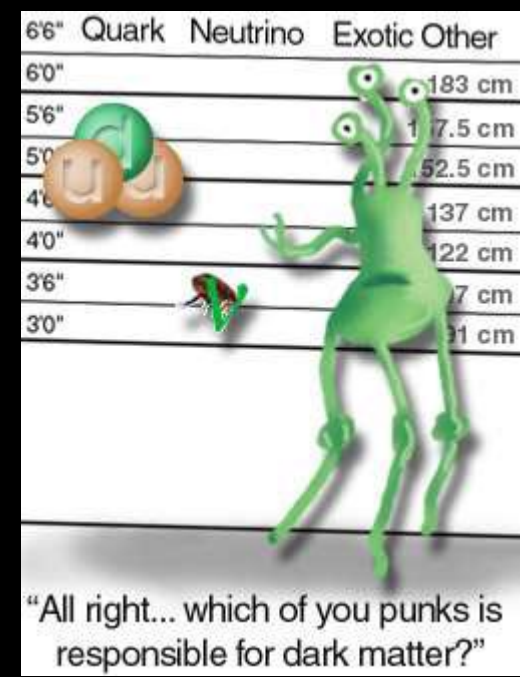
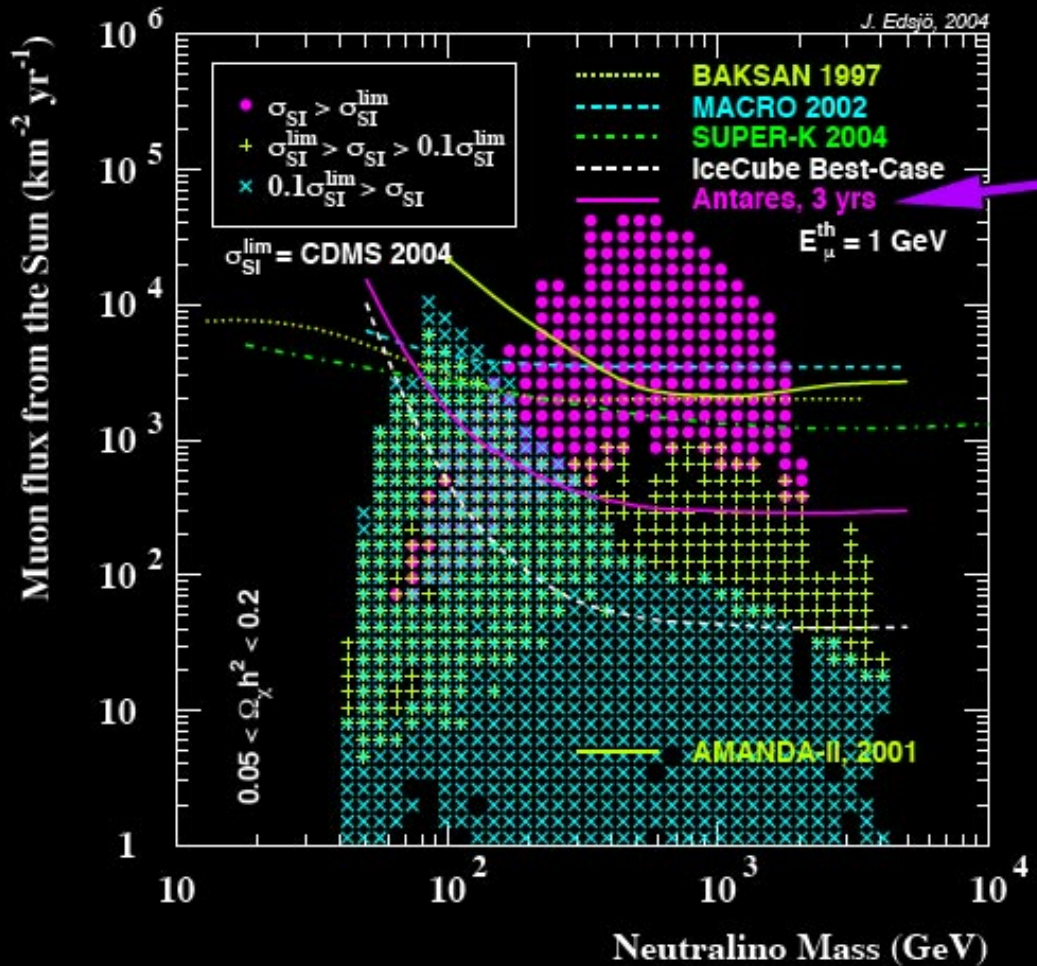
EGRET ( $\gamma$ ) + FERMI-LAT ( $\gamma$ )



HESS ( $\gamma$ )



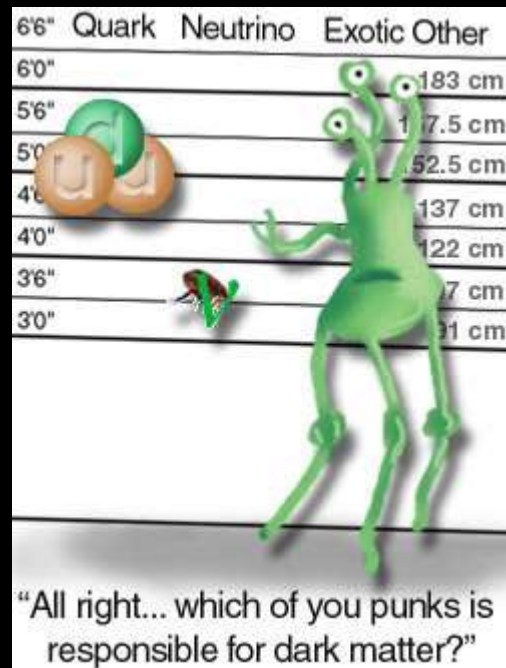
# Ergebnisse:



Ø Einschränken der SUSY Modell Parameter durch immer größere Detektorvolumen möglich.



# Fragen?



# Quellenverzeichnis

- ∅ G. Bertone, Indirect DM searches, Ecole des Houches 2005  
[http://appweb.in2p3.fr/conferences/LesHouchesPredoc05/lectures/bertone\\_houches\\_a05.pdf](http://appweb.in2p3.fr/conferences/LesHouchesPredoc05/lectures/bertone_houches_a05.pdf)
- ∅ Experimental Astroparticle Physics Dr. Vitaly Kudryavtsev  
[http://kudryavtsev.staff.shef.ac.uk/phy411\\_ap/](http://kudryavtsev.staff.shef.ac.uk/phy411_ap/)
- ∅ Tscherenkow-Licht  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Tscherenkow-Licht>
- ∅ Ice Cube Neutrino Observatory  
<http://icecube.wisc.edu/>
- ∅ Astroparticle.org  
<http://astroparticle.aspera-eu.org/>
- ∅ MAGIC-Teleskope  
<http://de.wikipedia.org/wiki/MAGIC-Teleskope>
- ∅ H.E.S.S.  
<http://de.wikipedia.org/wiki/H.E.S.S.>
- ∅ ANTARES  
<http://antares.in2p3.fr/>
- ∅ Dark Matter and Pulsar Signals for PaMeLa, Fermi and ACTs, Danni Marfatia  
<http://www.physics.ucla.edu/hep/dm10/talks/marfatia.pdf>
- ∅ Henning Gast  
[http://accms04.physik.rwth-aachen.de/~hgast/documents/Diplomfeier\\_280105.pdf](http://accms04.physik.rwth-aachen.de/~hgast/documents/Diplomfeier_280105.pdf)