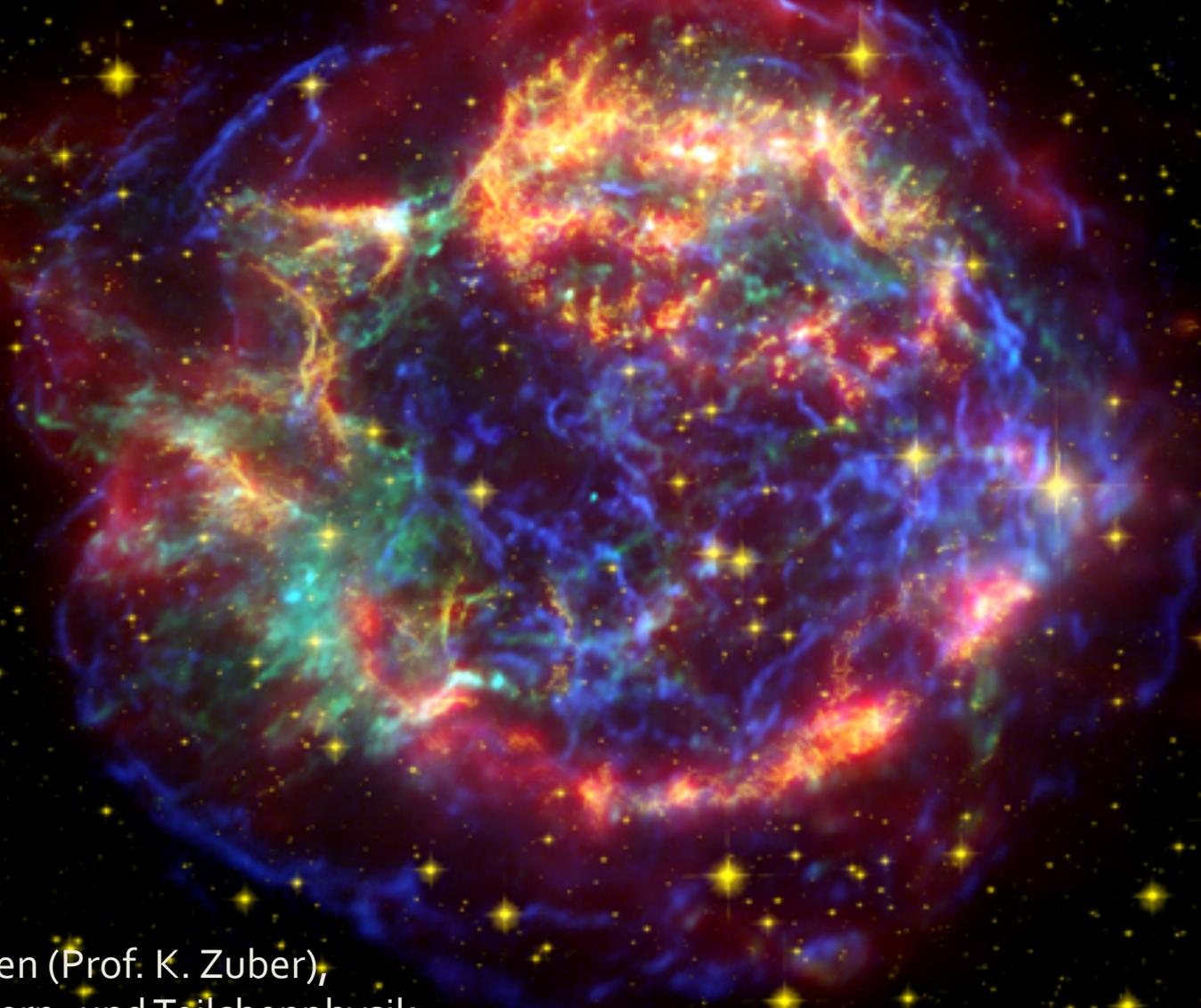
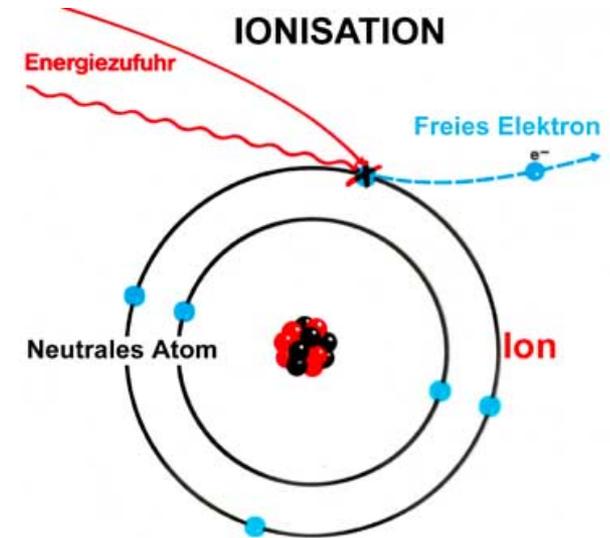
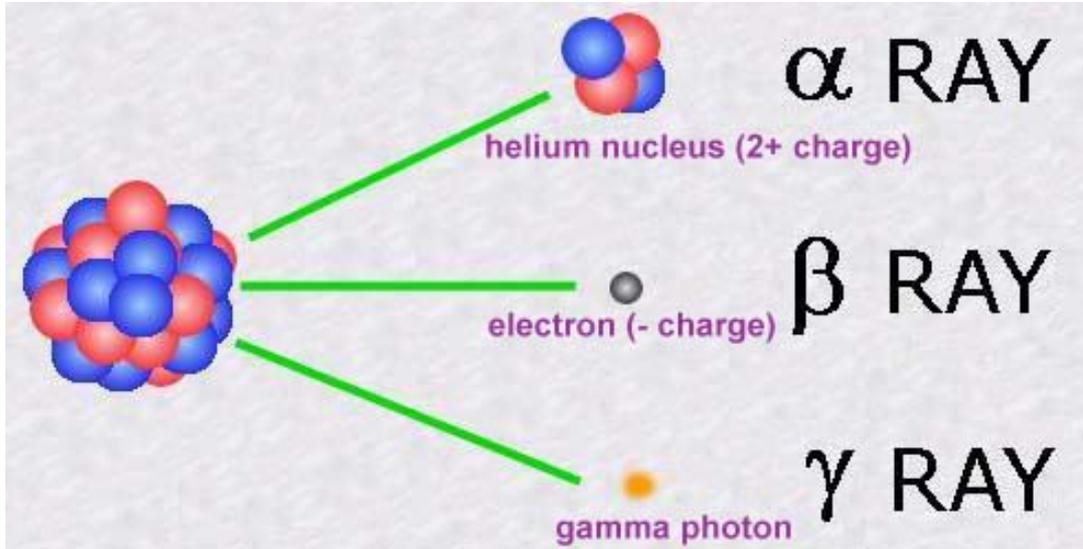


100 Jahre kosmische Strahlung



Arnd Sörensen (Prof. K. Zuber),
Institut für Kern- und Teilchenphysik

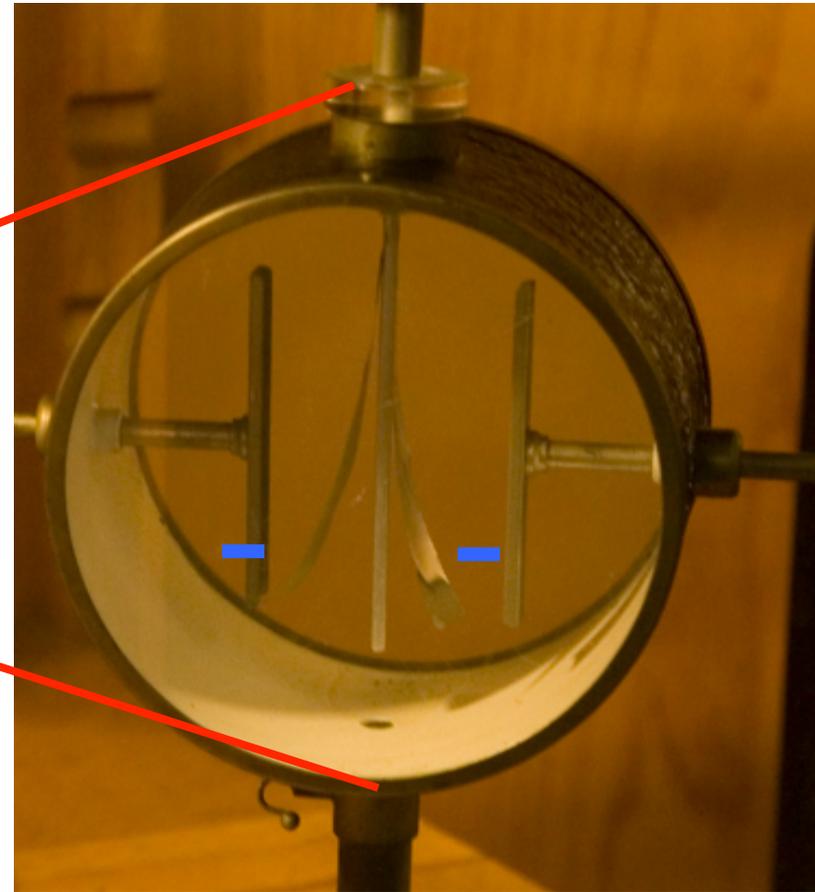
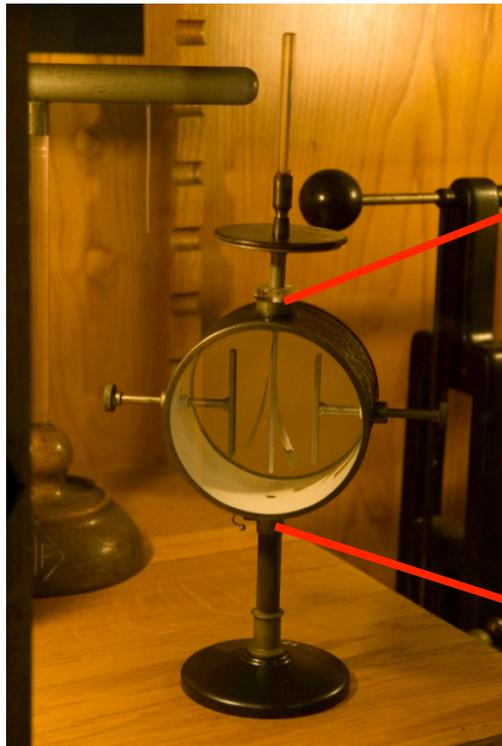
Ionisierende Strahlung



- 1900** Julius Elster, Hans Geitel und Charles Wilson messen die Ionisation in der Atmosphäre und führen dies auf die Radioaktivität zurück
- 1903** Rutherford und Eve berechnen, dass auch die energiereichste Strahlung von 1000 m Atmosphäre zu 99 Prozent abgeschirmt wird

Messung der ionisierenden Strahlung

Jesuit Theodor Wulf entwickelt neuartiges Gerät zur Messung von Ladung (Ionisation)



Messungen auf Oberfläche, unter Wasser, in Bergwerken führten zu dem Resultat:
 „...dass die durchdringende Strahlung von primär radioaktiven Substanzen
 verursacht wird, welche in den obersten Erdschichten liegen, bis etwa
 1 m unter der Oberfläche.“



Erwartung: Nach Eve sollte die Ionisations auf dem Eiffelturm 74% schwächer sein

1910

| Datum | O r t | Ionen ccm sec |
|----------|------------------------|------------------|
| 28. März | Valkenburg | 22,5 |
| 29. „ | Paris, Boden | 17,5 |
| 30. „ | „ Eiffelturm | 16,2 |
| 31. „ | „ „ | 14,4 |
| 1. April | „ „ | 15,0 |
| 2. „ | „ „ | 17,2 |
| 3. „ | „ Boden | 18,3 |
| 4. „ | Valkenburg | 22,0 |

Daraus ergeben sich als Mittelwerte für die drei Orte

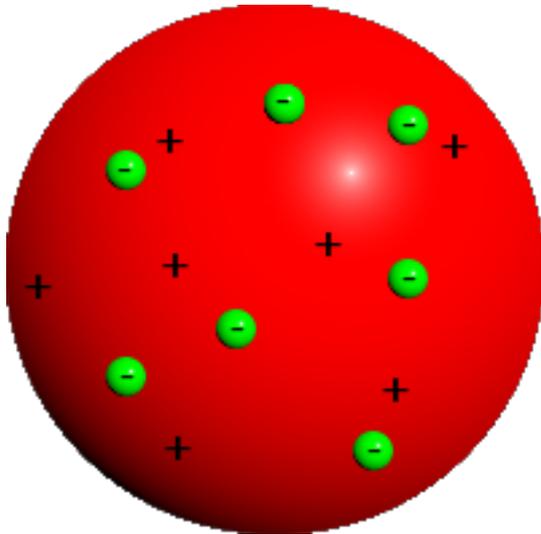
| | | |
|----------------------------|-------|--------------------|
| Valkenburg | 22,25 | Ionen ccm · sec |
| Paris Boden | 18,0 | „ |
| Paris Eiffelturm | 15,7 | „ |

← Zahlen nahezu gleich !!!

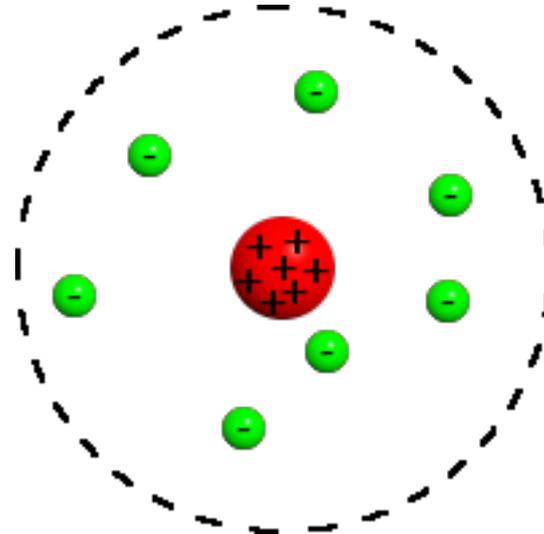
Schlussfolgerung: Radioaktive Ausstrahlungen in der Atmosphäre

1911...

Thomson 1903



Rutherford 1911



Elementarteilchen

Heute:

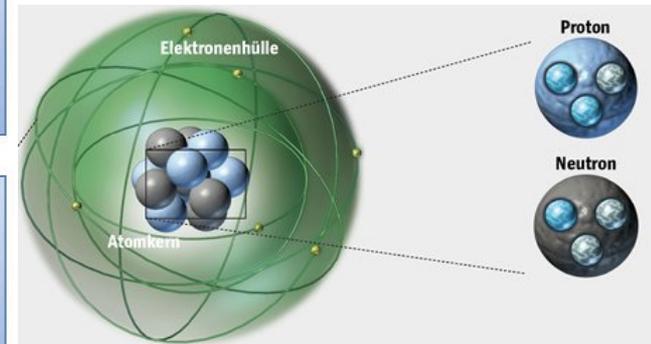
| | Name | Abkürzung | Ladung | Masse (u) |
|---|----------|----------------|--------|-----------|
|  | Proton | p ⁺ | +1 | 1,00728 |
|  | Neutron | n | 0 | 1,00867 |
|  | Elektron | e ⁻ | -1 | 0,000549 |



Wir feiern 2013 auch 81 Jahre der
Entdeckung des Neutrons

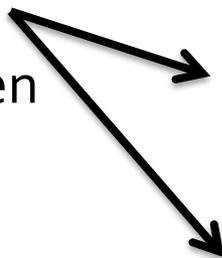
2011...

| | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|
| e Elektron $5,5 \cdot 10^{-4}$ -1 $\frac{1}{2}$ | e^+ Positron $5,5 \cdot 10^{-4}$ 1 $\frac{1}{2}$ | μ Myon 0,113 -1 $\frac{1}{2}$ | $\bar{\mu}$ Anti-Myon 0,113 1 $\frac{1}{2}$ | τ Tauon 1,907 -1 $\frac{1}{2}$ | $\bar{\tau}$ Anti-Tauon 1,907 1 $\frac{1}{2}$ |
| ν_e Elektronneutrino $<2,4 \cdot 10^{-9}$ 0 $\frac{1}{2}$ | $\bar{\nu}_e$ Anti-Elektronneutrino $<2,4 \cdot 10^{-9}$ 0 $\frac{1}{2}$ | ν_μ Myonneutrino $<1,8 \cdot 10^{-4}$ 0 $\frac{1}{2}$ | $\bar{\nu}_\mu$ Anti-Myonneutrino $<1,8 \cdot 10^{-4}$ 0 $\frac{1}{2}$ | ν_τ Tauoneutrino $<0,017$ 0 $\frac{1}{2}$ | $\bar{\nu}_\tau$ Anti-Tauoneutrino $<0,017$ 0 $\frac{1}{2}$ |
| u Upquark $2,6 \cdot 10^{-3}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{u} Anti-Upquark $2,6 \cdot 10^{-3}$ $-\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ | c Charmquark 1,367 $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{c} Anti-Charmquark 1,367 $-\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ | t Topquark 184,3 $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{t} Anti-Topquark 184,3 $-\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ |
| d Downquark $5,2 \cdot 10^{-3}$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{d} Anti-Downquark $5,2 \cdot 10^{-3}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ | s Strangequark 0,112 $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{s} Anti-Strangequark 0,112 $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ | b Bottomquark 4,521 $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{b} Anti-Bottomquark 4,521 $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ |



1911...

bauen
Protonen
und
Neutronen
auf



| | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|
| e Elektron $5,5 \cdot 10^{-4}$ -1 $\frac{1}{2}$ | e⁺ Positron $5,5 \cdot 10^{-4}$ 1 $\frac{1}{2}$ | μ Myon 0,113 -1 $\frac{1}{2}$ | $\bar{\mu}$ Anti-Myon 0,113 1 $\frac{1}{2}$ | τ Tauon 1,907 -1 $\frac{1}{2}$ | $\bar{\tau}$ Anti-Tauon 1,907 1 $\frac{1}{2}$ |
| ν_e Elektronneutrino $<2,4 \cdot 10^{-9}$ 0 $\frac{1}{2}$ | $\bar{\nu}_e$ Anti-Elektronneutr. $<2,4 \cdot 10^{-9}$ 0 $\frac{1}{2}$ | ν_μ Myonneutrino $<1,8 \cdot 10^{-4}$ 0 $\frac{1}{2}$ | $\bar{\nu}_\mu$ Anti-Myonneutrino $<1,8 \cdot 10^{-4}$ 0 $\frac{1}{2}$ | ν_τ Tauneutrino $<0,017$ 0 $\frac{1}{2}$ | $\bar{\nu}_\tau$ Anti-Tauneutrino $<0,017$ 0 $\frac{1}{2}$ |
| u Upquark $2,6 \cdot 10^{-3}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{u} Anti-Upquark $2,6 \cdot 10^{-3}$ $-\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ | c Charmquark 1,367 $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{c} Anti-Charmquark 1,367 $-\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ | t Topquark 184,3 $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{t} Anti-Topquark 184,3 $-\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ |
| d Downquark $5,2 \cdot 10^{-3}$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{d} Anti-Downquark $5,2 \cdot 10^{-3}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ | s Strangequark 0,112 $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{s} Anti-Strangequark 0,112 $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ | b Bottomquark 4,521 $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ | \bar{b} Anti-Bottomquark 4,521 $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ |

Viktor Hess 1912



Der 7. Flug (7.8.1912)

1084 Hess, Durchdringende Strahlung bei sieben Freiballonfahrten. Physik. Zeitschr. XIII, 1912.

Aus der Abteilung für Geophysik, Meteorologie
und Erdmagnetismus:

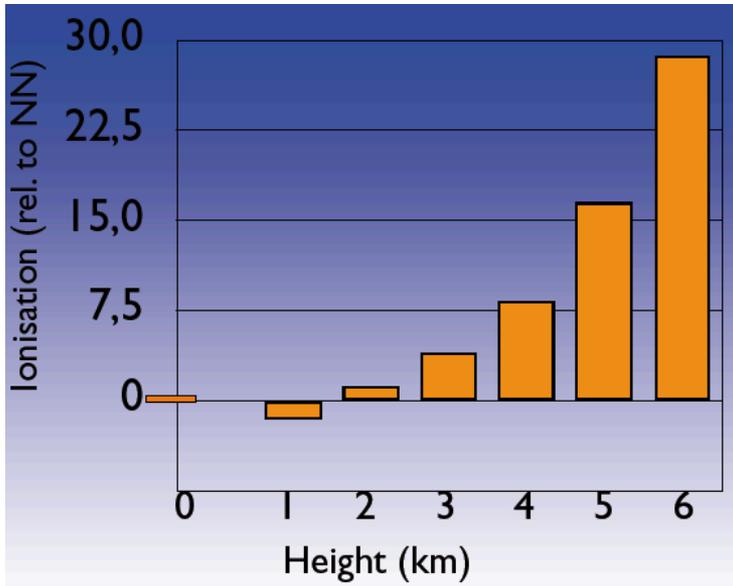
Viktor F. Hess (Wien), Über Beobachtungen
der durchdringenden Strahlung bei sieben
Freiballonfahrten.

Wir stiegen um 6^h12 früh von Aussig a. d. Elbe auf. Wir überflogen die sächsische Grenze bei Peterswalde, Struppen bei Pirna, Bischofswerda und Kottbus. In der Gegend des Schwielochsees wurde die Höhe von 5350 m erreicht. Um 12^h15 mittags landeten wir bei Pieskow, 50 km östlich von Berlin. Am Auf-

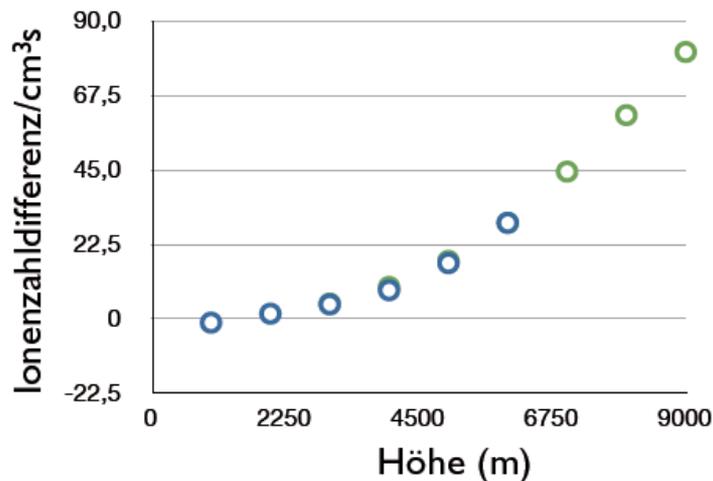
Die Ergebnisse der vorliegenden Beobachtungen scheinen am ehesten durch die Annahme erklärt werden zu können, daß eine Strahlung von sehr hoher Durchdringungskraft von oben her in unsere Atmosphäre eindringt, und auch noch in deren untersten Schichten einen Teil der in geschlossenen Gefäßen beobachteten Ionisation hervorruft. Die



Resultate



„Die Annahme, dass der Ursprung dieser durchdringenden Strahlung nicht in den bekannten radioaktiven Stoffen der Erde oder der Atmosphäre zu suchen ist, gewinnt dadurch bedeutend an Wahrscheinlichkeit.“
(Phys. Zeitschr. XIV (1913) 1153)



*Messungen der durchdringenden
Strahlungen bis in Höhen von 9300 m;
von W. Kolhörster.*

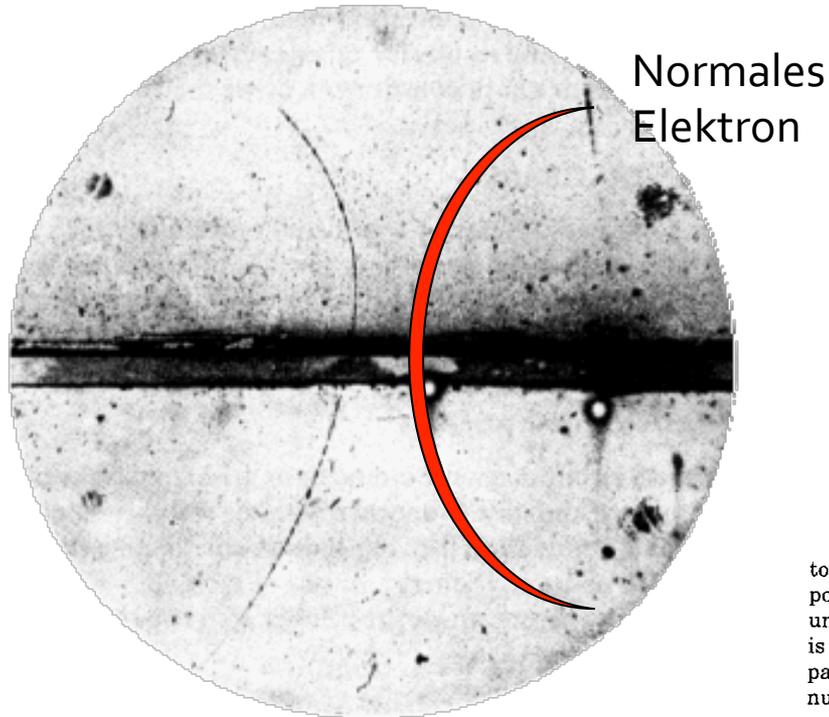
1913



Werner Kolhörster (1887-1964)
Kaiser Wilhelm Institut,
Charlottenburg

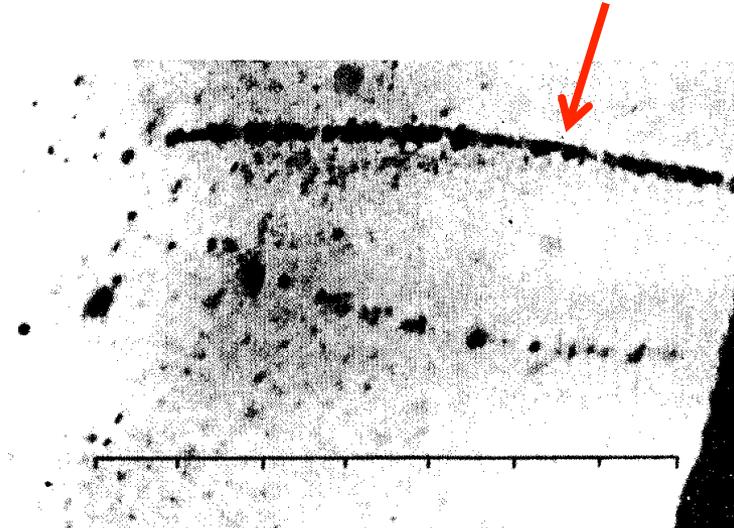
Weitere Entdeckungen

Das positive Elektron (e^+)



Anderson 1933,
Nobelpreis 1936
(zusammen mit V. Hess)

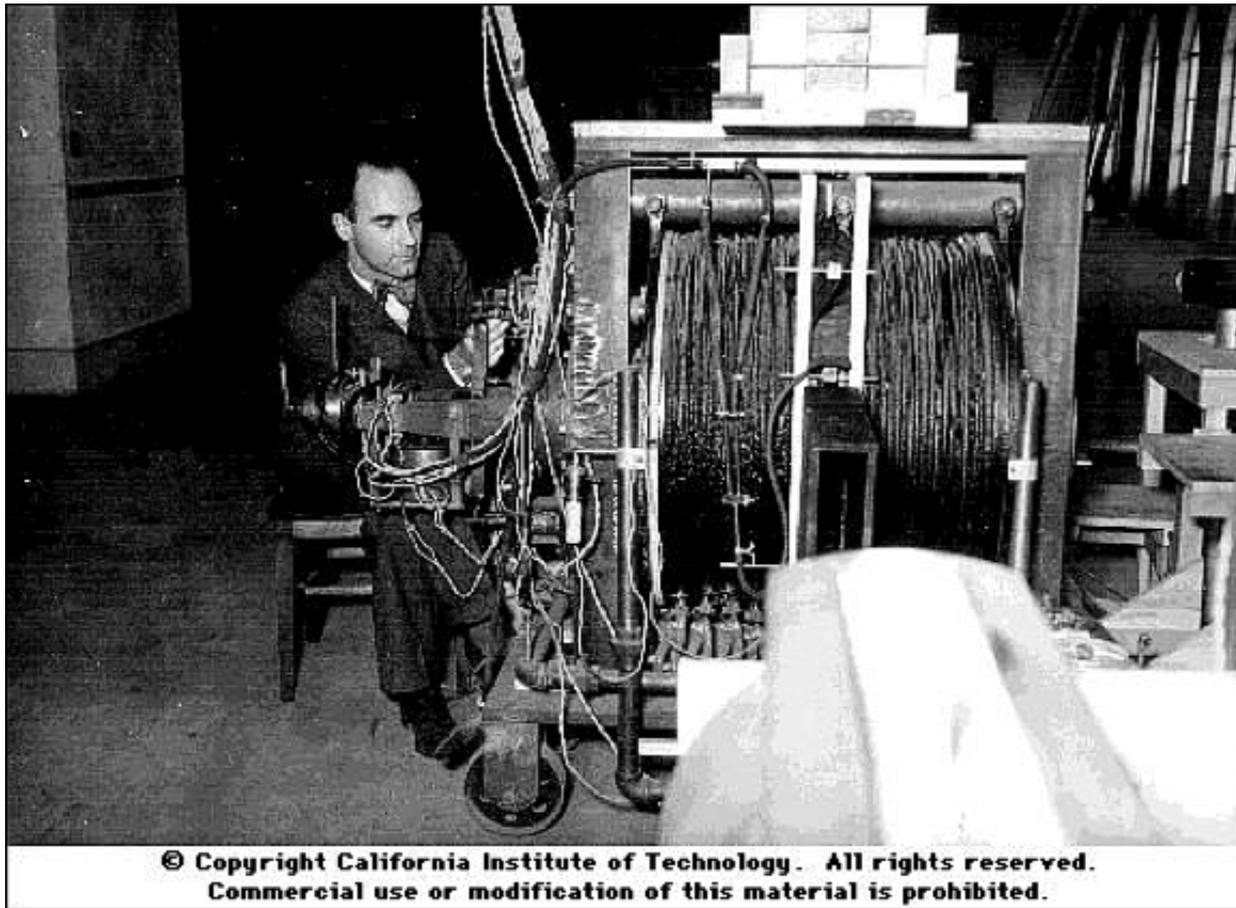
Das schwere Elektron (μ^- Myon)



"The other double trace of the same type (figure 5) shows closely together the thin trace of an electron of 37 MeV, and a much more strongly ionizing positive particle with a much larger bending radius. The nature of this particle is unknown; for a proton it does not ionize enough and for a positive electron the ionization is too strong. The present double trace is probably a segment from a "shower" of particles as they have been observed by Blackett and Occhialini, i.e. the result of a nuclear explosion".

Kunze, P., Z. Phys. 83, (1933) 1

Wer hat denn das bestellt ???
(I. Rabi)

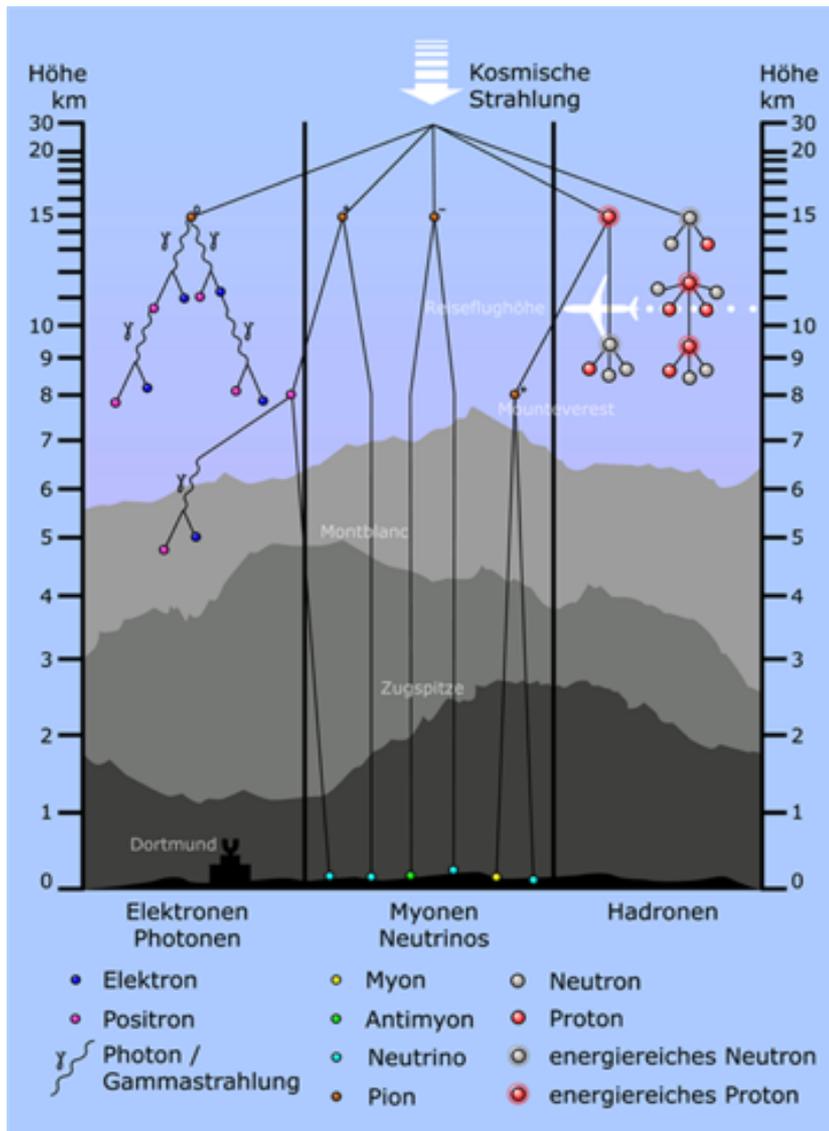


Anderson bei der Arbeit an seiner Nebelkammer



- Was prallt da eigentlich auf die Erde ?
- Welche Energien haben diese Teilchen ?
- Wo kommen sie her ?
- Wie werden sie beschleunigt ?

Zusammensetzung und Energie



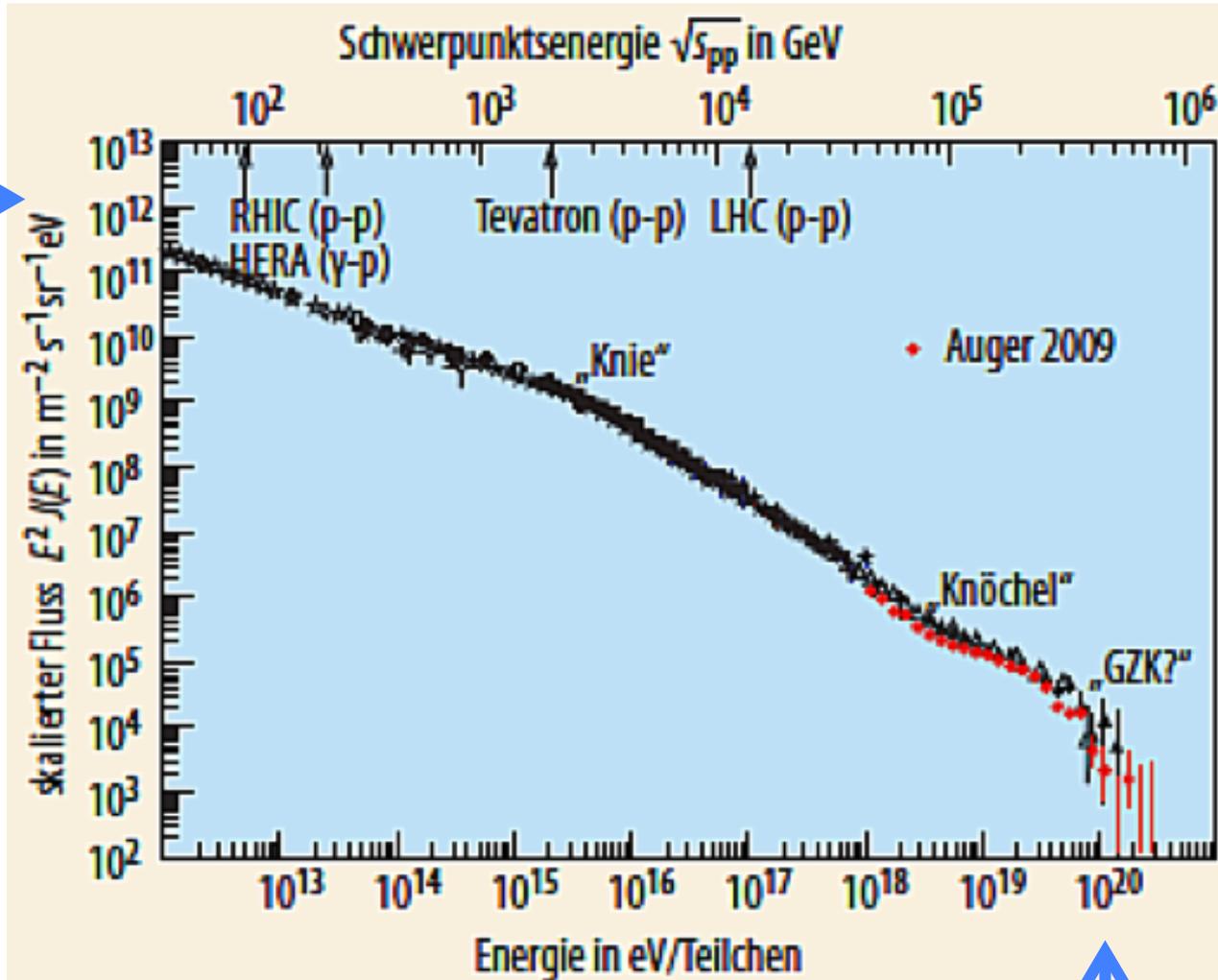
Primäre kosm. Strahlung:

- ca. 85 % Protonen
- ca. 12 % α -Teilchen (^4He -Kerne)
- ca. 1 % schwere Atomkerne
- ca. 2 % Elektronen

Sekundäre kosm. Strahlung:

- ausgelöst durch Stöße primärer Teilchen mit Atomen der Erdatmosphäre
- nur wenige Teilchen erreichen den Erdboden
- ca. 90% Myonen

Zusammensetzung und Energie



1 Teilchen
pro m² und
Sekunde →

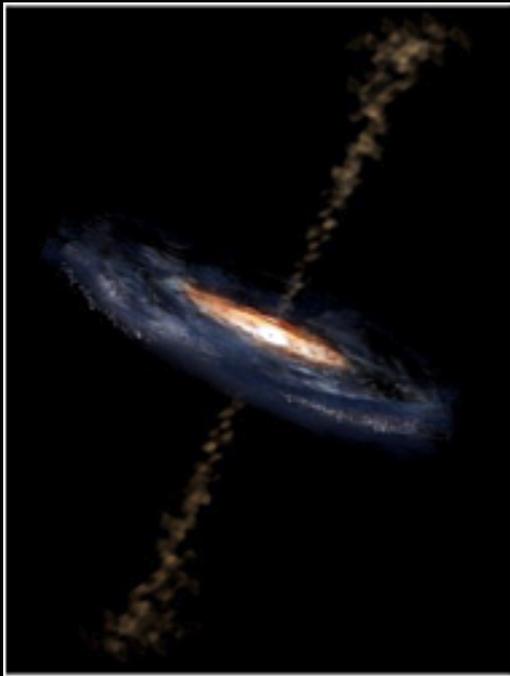
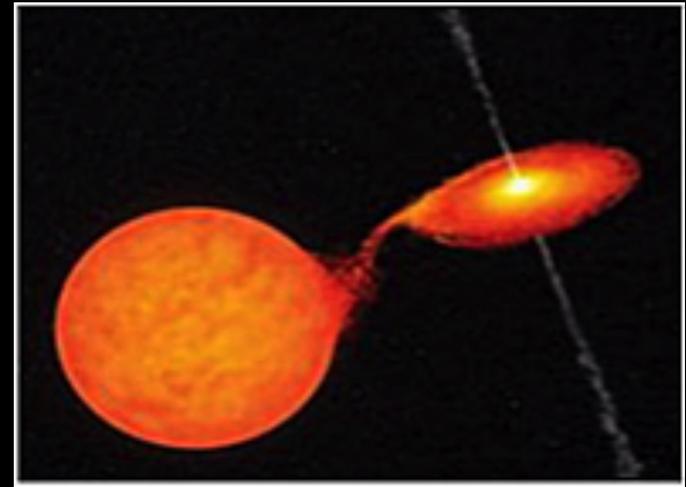
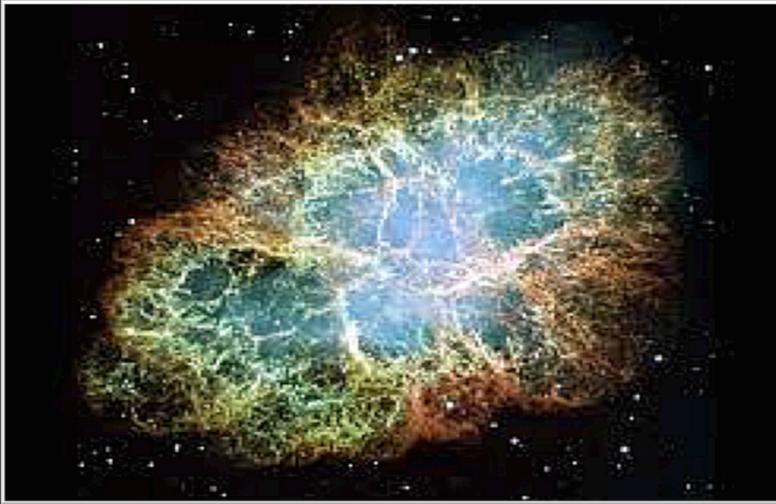
1 Teilchen
pro km² und
Jahrhundert ←

↑
LHC

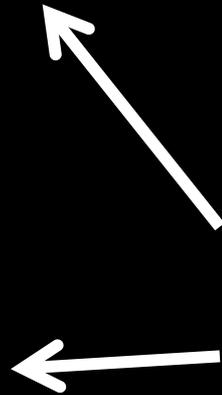
↑
1000 mal LHC

Was sind die Quellen der kosmischen Strahlen ?





- Schwarze Löcher
- Supernovae & Überreste
- Aktive Galaktische Kerne (AGN)
- Gamma-Strahlenausbrüche
- Binärsternsysteme



Fermi-Beschleunigung 1. Art

- surfen auf der Schockwelle -



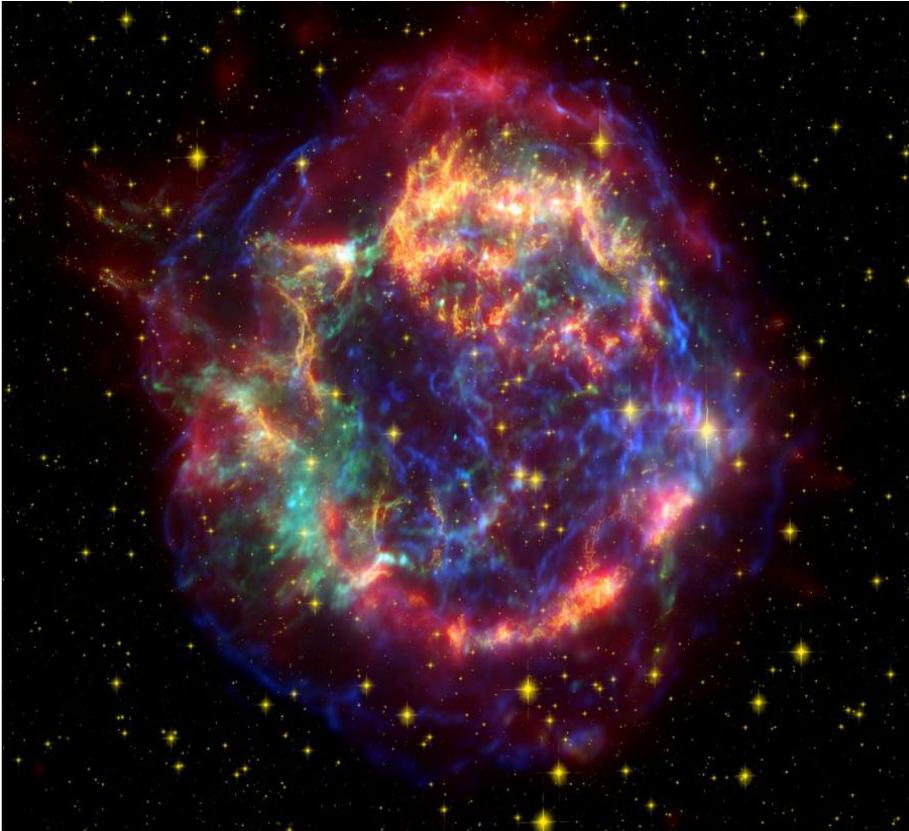
eine relativistische Schockwelle
breitet sich in einem turbulenten
Plasma aus

geladene Teilchen im Plasma werden
im Magnetfeld der Schockwelle
mitgeführt

⇒ Beschleunigung

Fermi-Beschleunigung 2. Ordnung

- Stochastik -



nicht-relativistische Geschwindigkeiten

stochastische Beschleunigung einiger
Teilchen bei Diffusion durch
turbulentes Plasma

Kosmische Beschleuniger

Beschleunigungsstrecke: 27 km



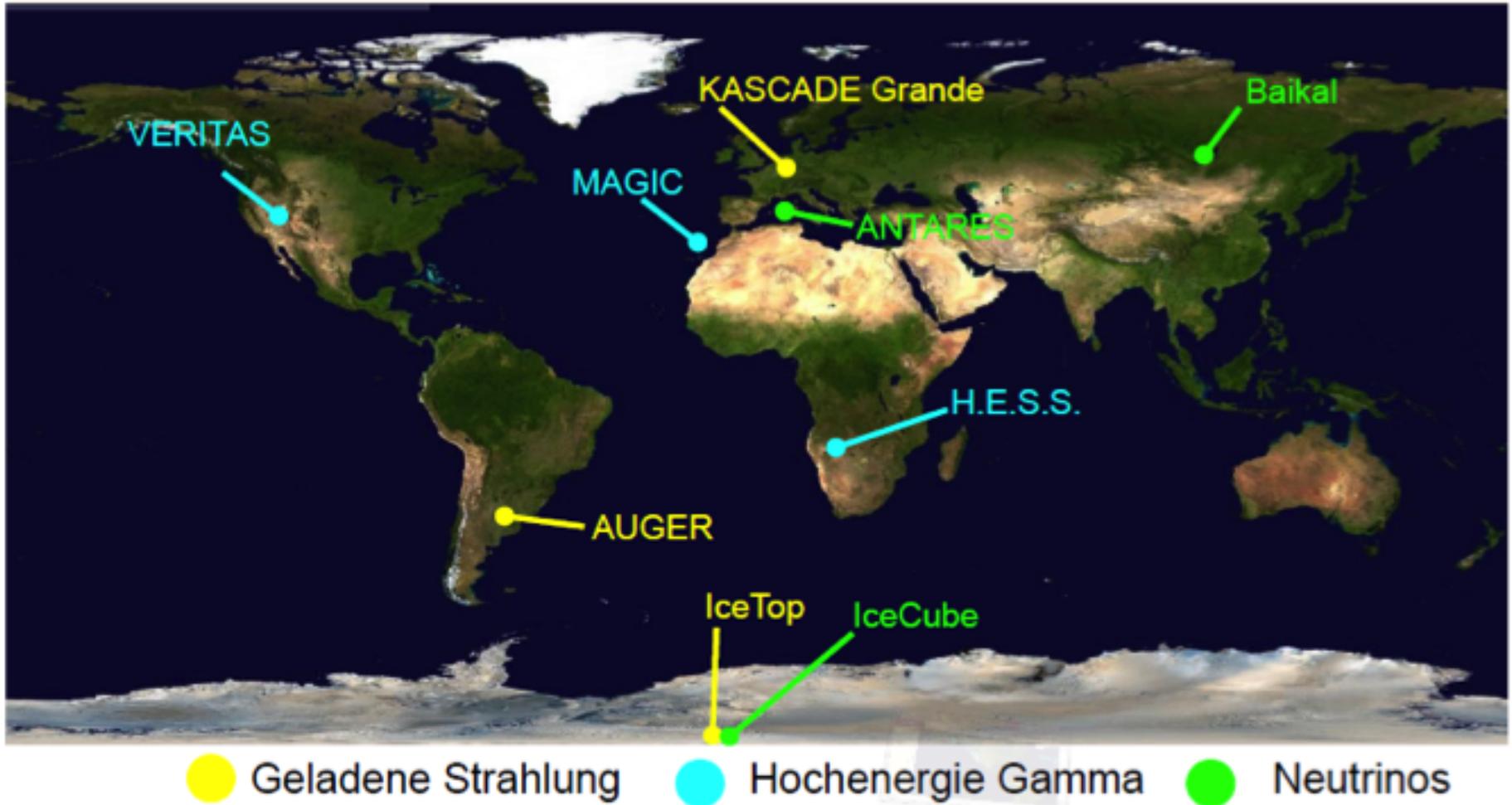
LHC – Beschleuniger am CERN

Beschleunigungsstrecke:
>> 150 Millionen km



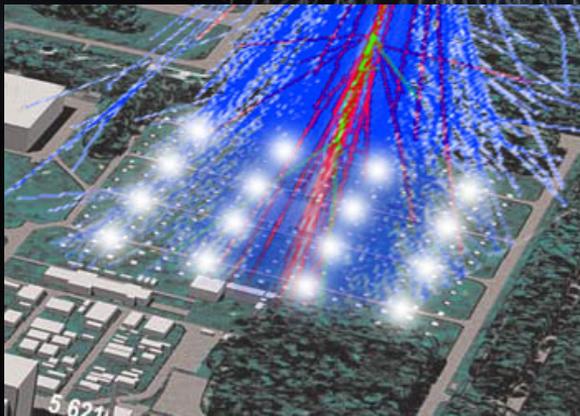
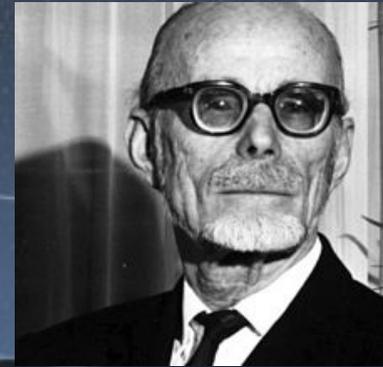
Aktive galaktische Kerne

aktuelle Experimente

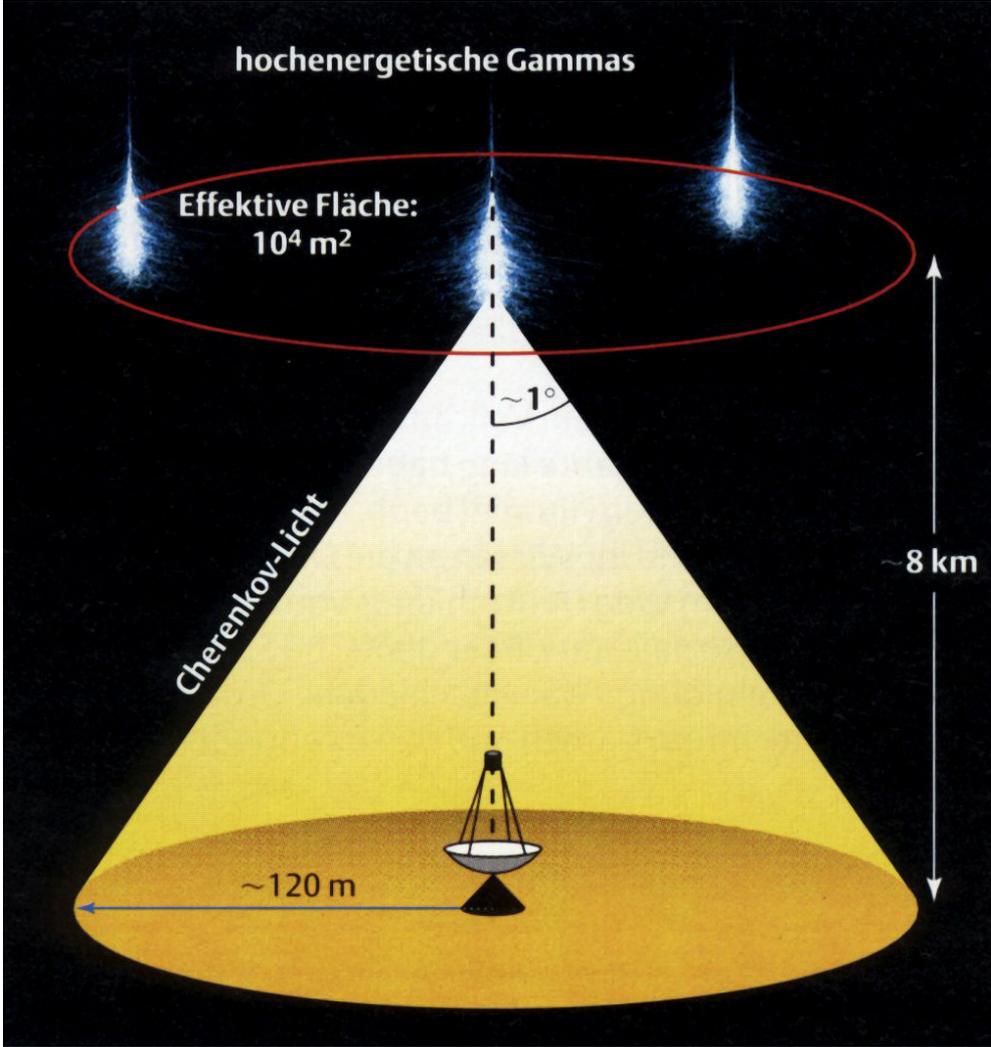
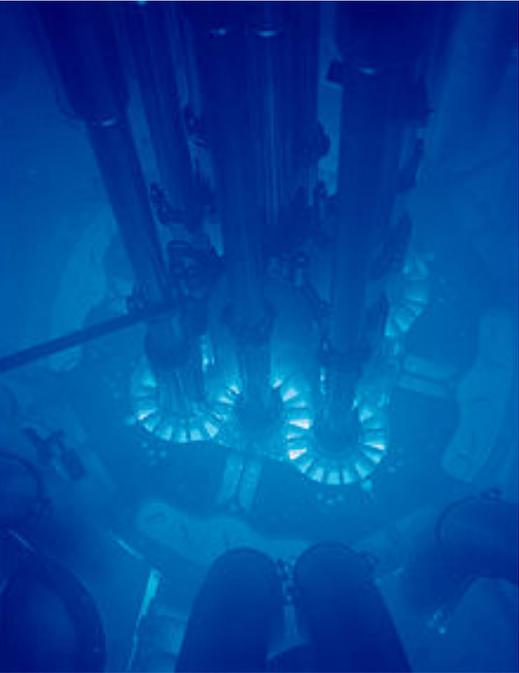
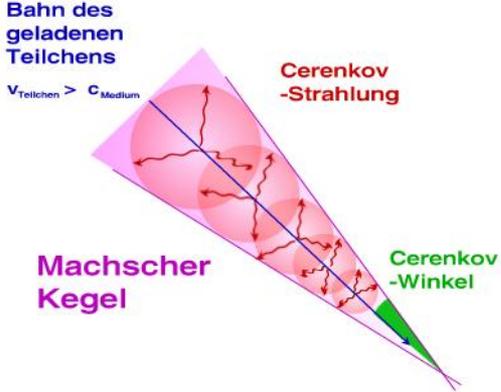


Messung über Luftschauder:
Je mehr Teilchen, desto größer
die Energie...

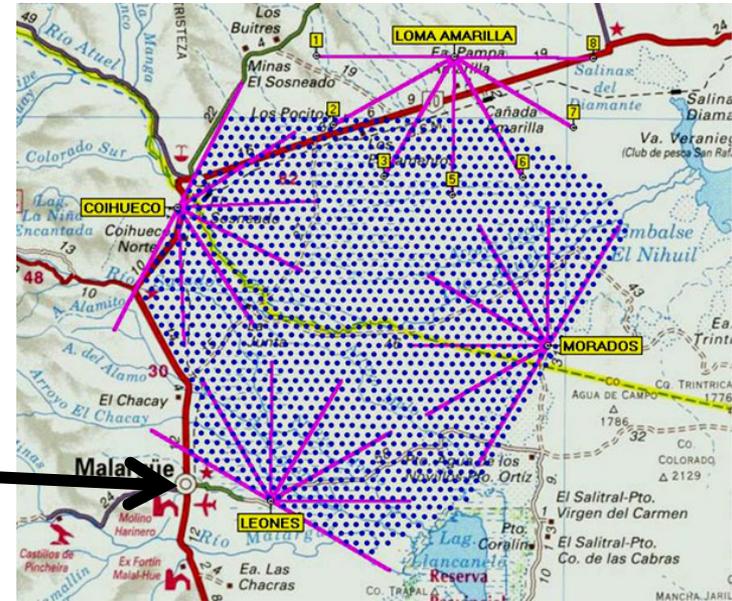
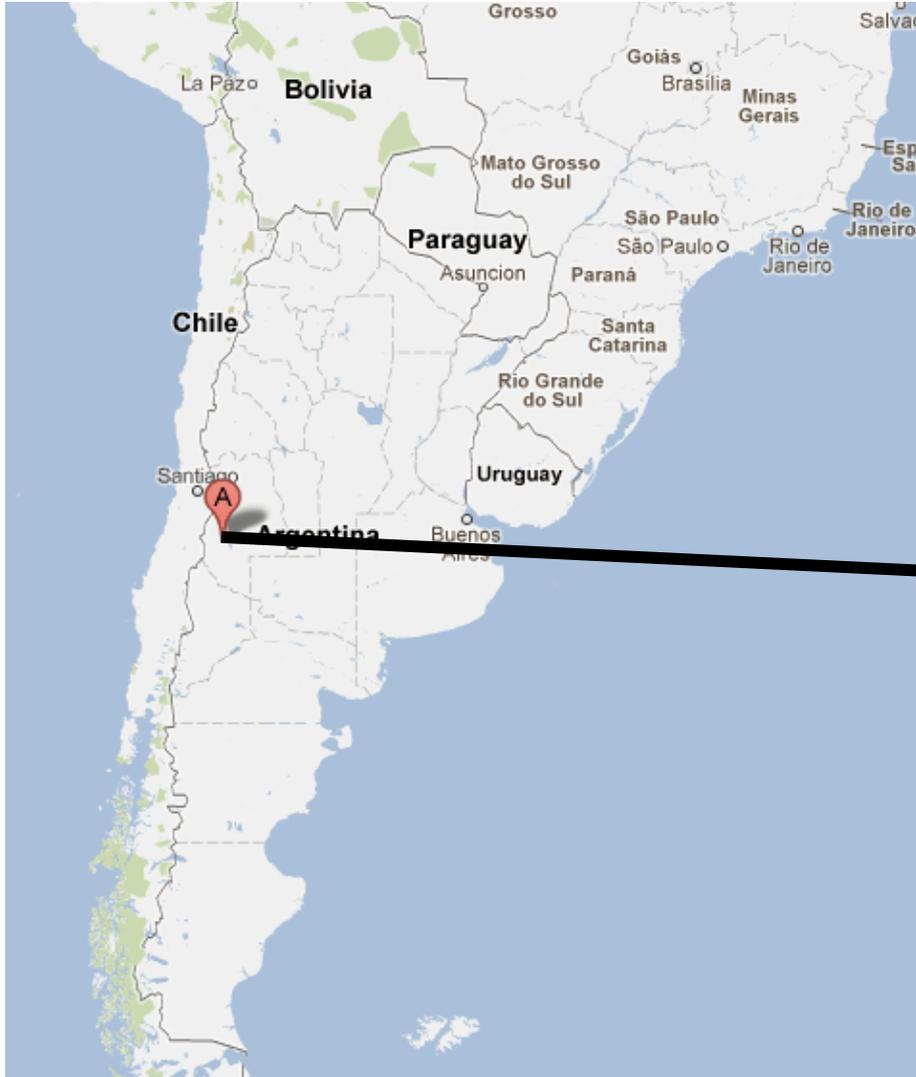
Pierre Auger



Cherenkov Licht



Das Auger Experiment



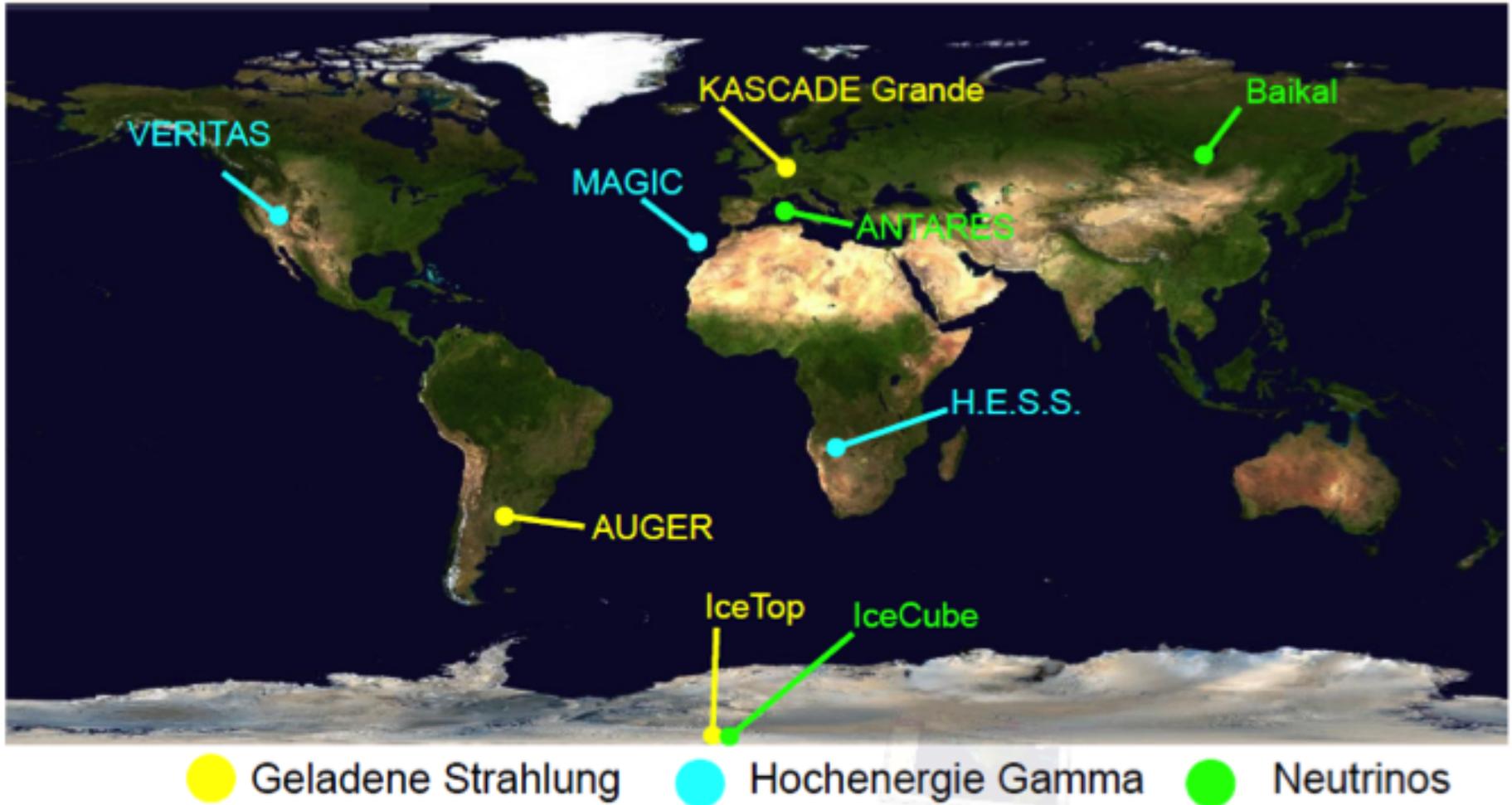
Um die höchstenergetischen kosmischen Strahlung zu sehen wurden 1500 Detektoren und 4 Teleskope auf einer Fläche des Saarlands verteilt

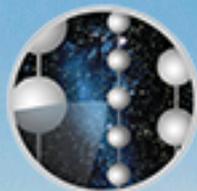


POLAKOS



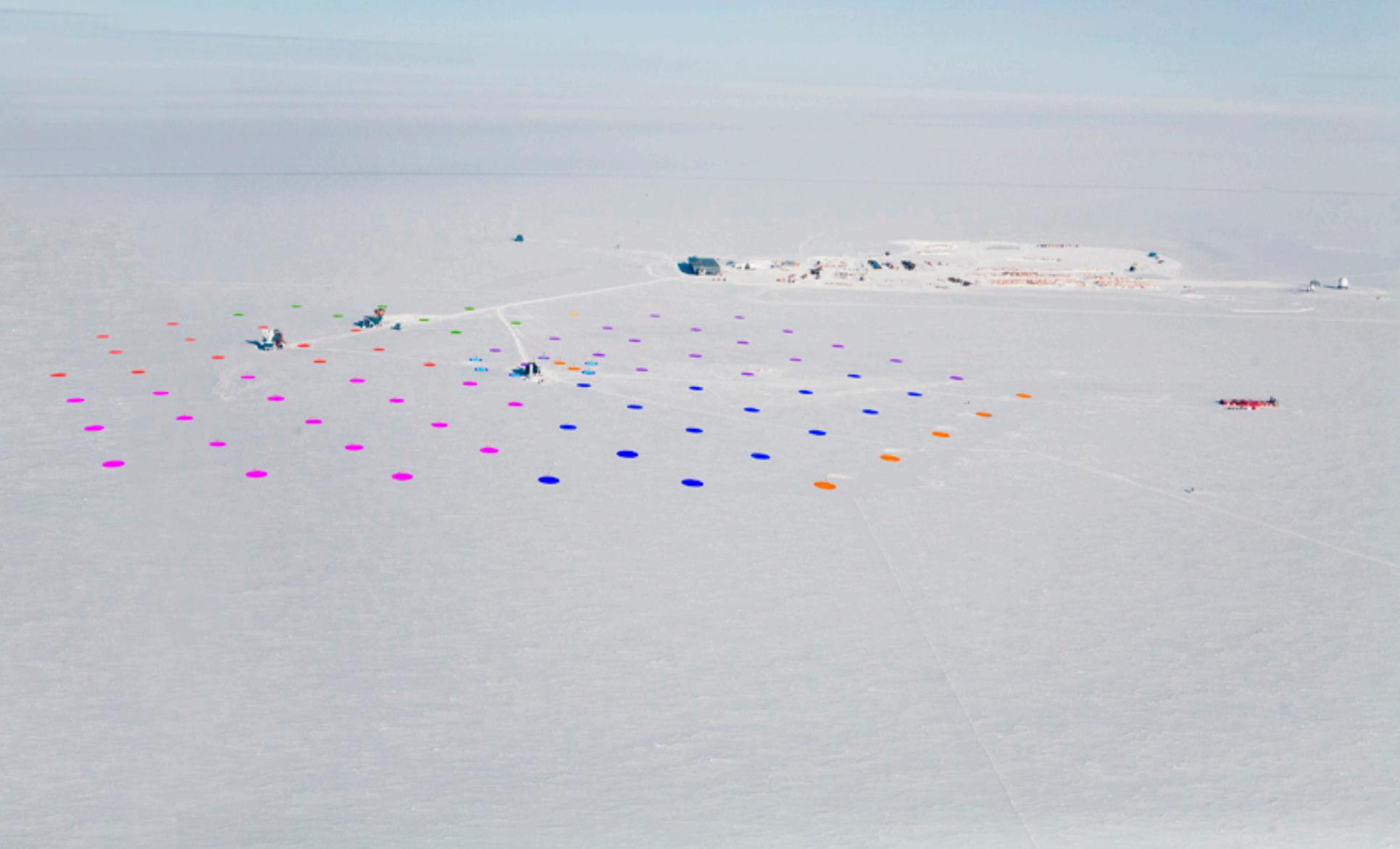
aktuelle Experimente



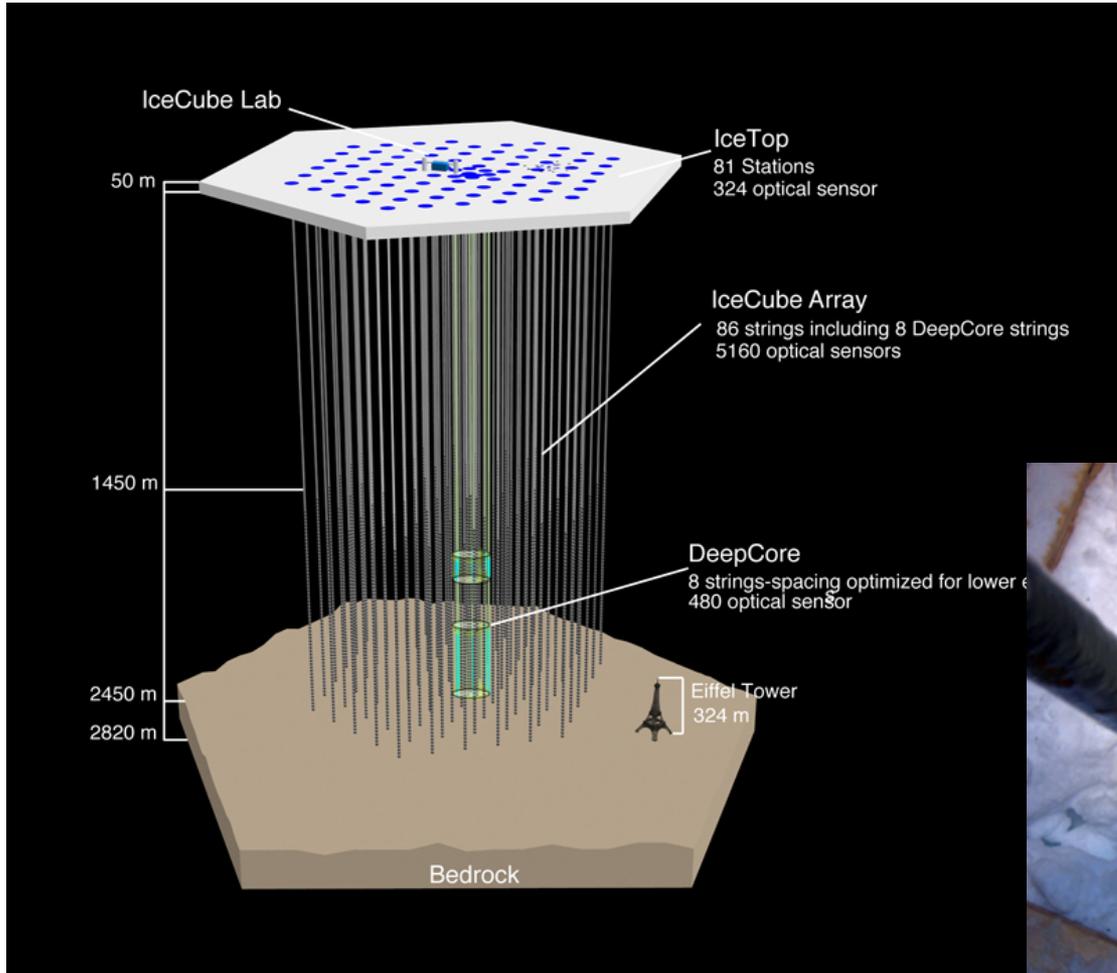


ICECUBE

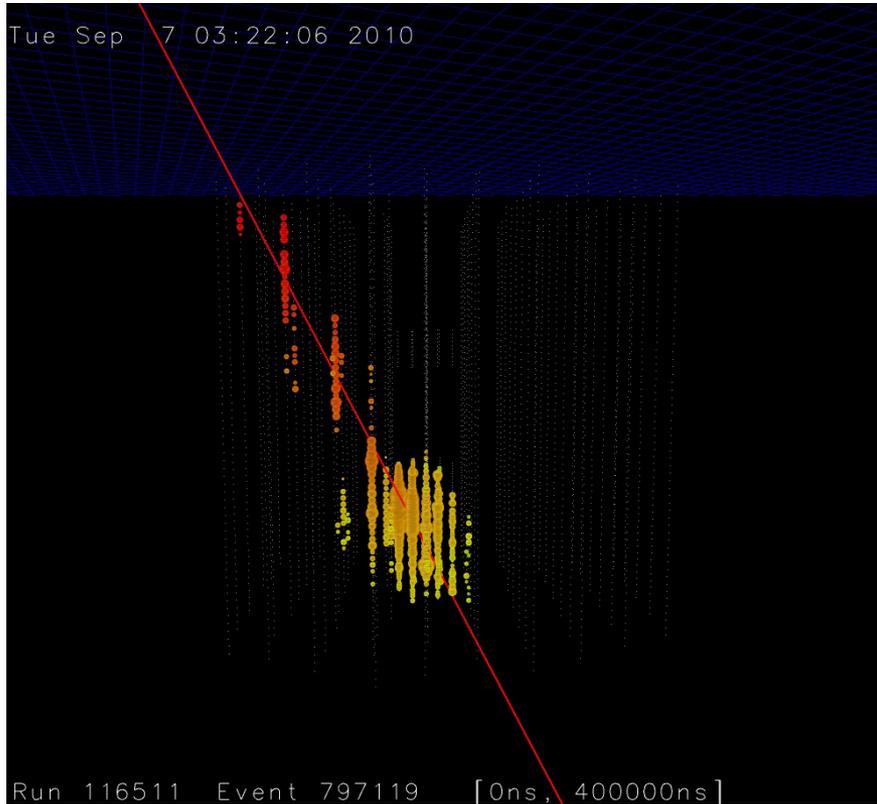
SOUTH POLE NEUTRINO OBSERVATORY



5160 Photomultiplier an 86 Kabeln



ICECUBE



Leute sitzen Tag und Nacht (dauert am Südpol sehr lange...) und kontrollieren das Experiment!

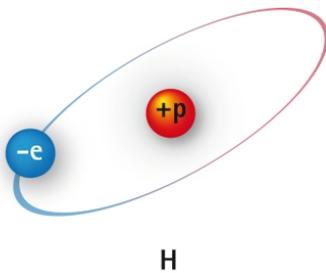
(kürzlich wurde ein 46 Jahre alter Rekord gebrochen: Es war kälter als -74 Grad !!!)



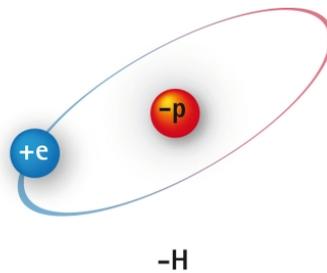
Kosmische Antimaterie

Gibt es Anti-Atome, die Anti-Elemente in einem Anti-Periodensystem sind ?

Wasserstoff

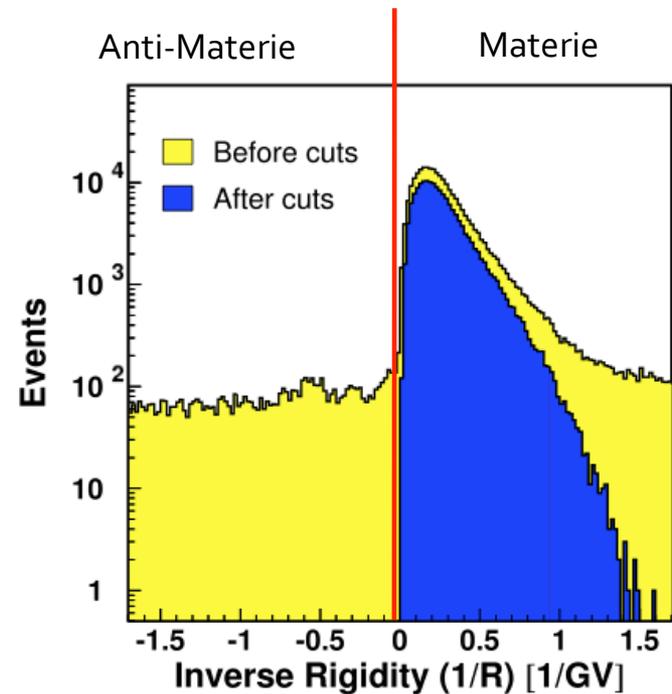


Anti-Wasserstoff



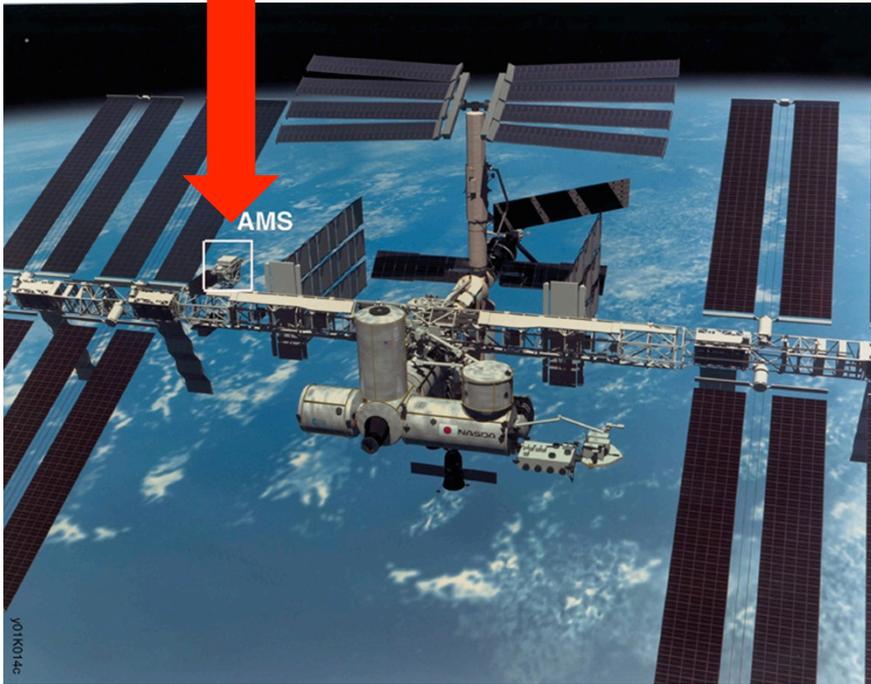
Einige Atome werden
am CERN erzeugt

Test-Flug auf Space Shuttle
(AMS-01)



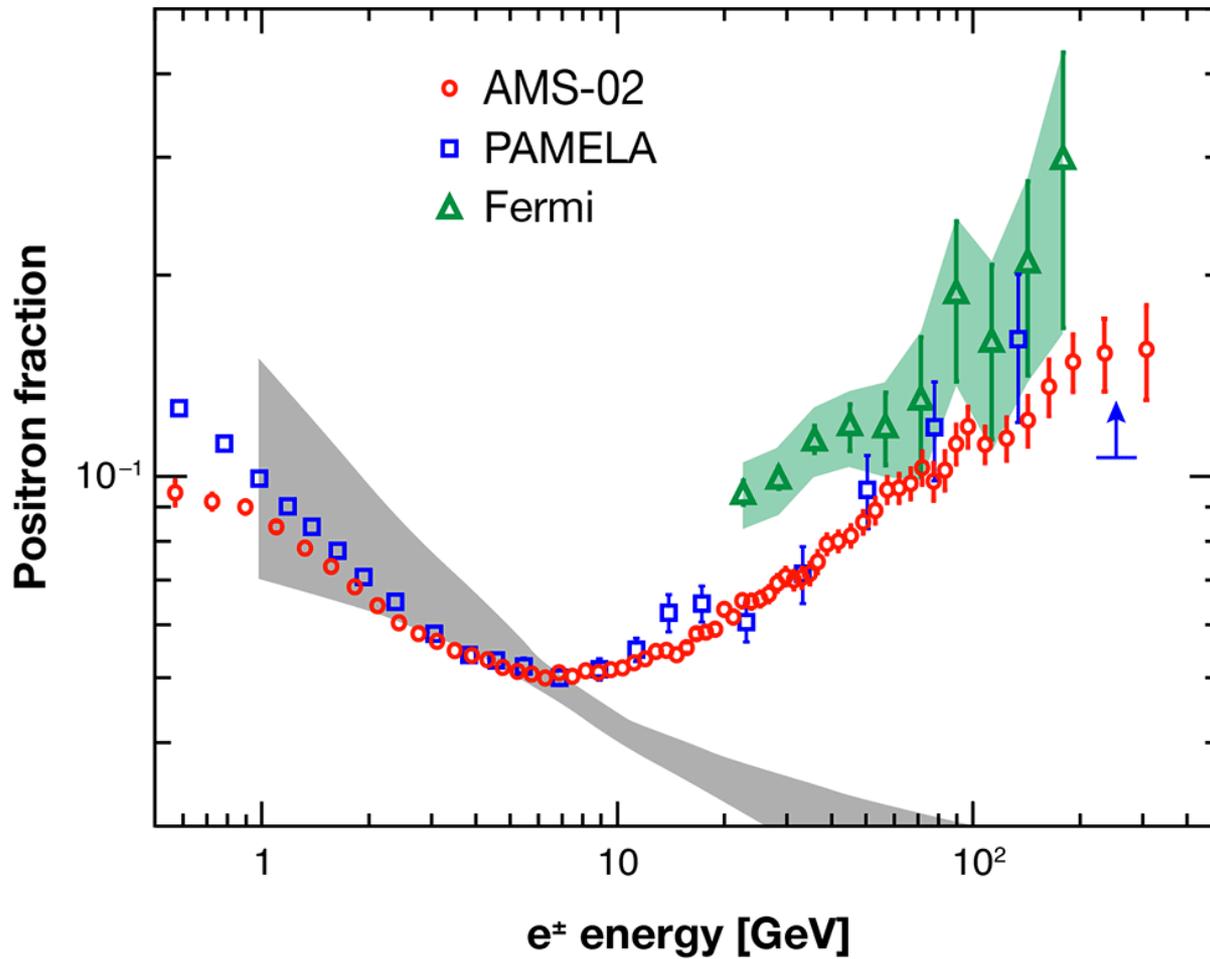
Kosmische Antimaterie

Der Kreis schließt sich...nach fast 80 Jahren

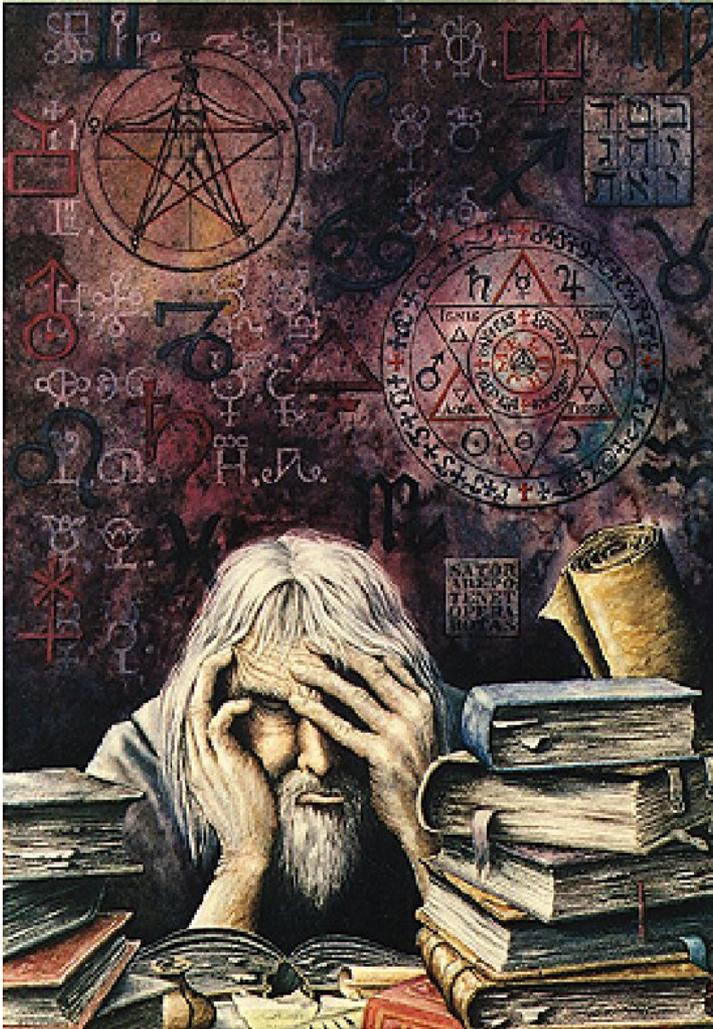


Der letzte Space Shuttle Flug

aktuelle Veröffentlichung des
Alpha Magnet Spectrometer (AMS-02): 06.04.2013



Zusammenfassung



- 100 Jahre kosmische Strahlung haben zu vielen Entdeckungen geführt
- Vor den Beschleunigern war dies die Teilchenphysik
- Wir haben viel gelernt, aber es gibt noch viele Fragen:
 - Kennen wir alle Quellen?
 - Wie wird was beschleunigt?
 - Gibt es eine maximale Energie?
 - Ändert sich die Zusammensetzung?
 - Gibt es Anti-Elemente?