

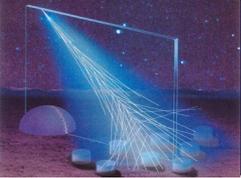
# Astroteilchenphysik: Kosmische Teilchen als Boten aus dem All

MINT-EC Camp zur Teilchenphysik, Dresden

Belina von Krosigk  
Kai Zuber, Arnd Sörensen

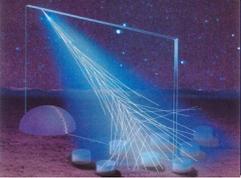
22. 11. 2012



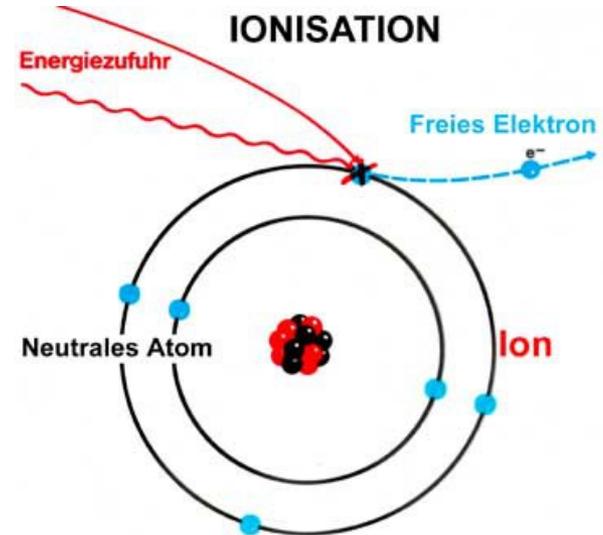
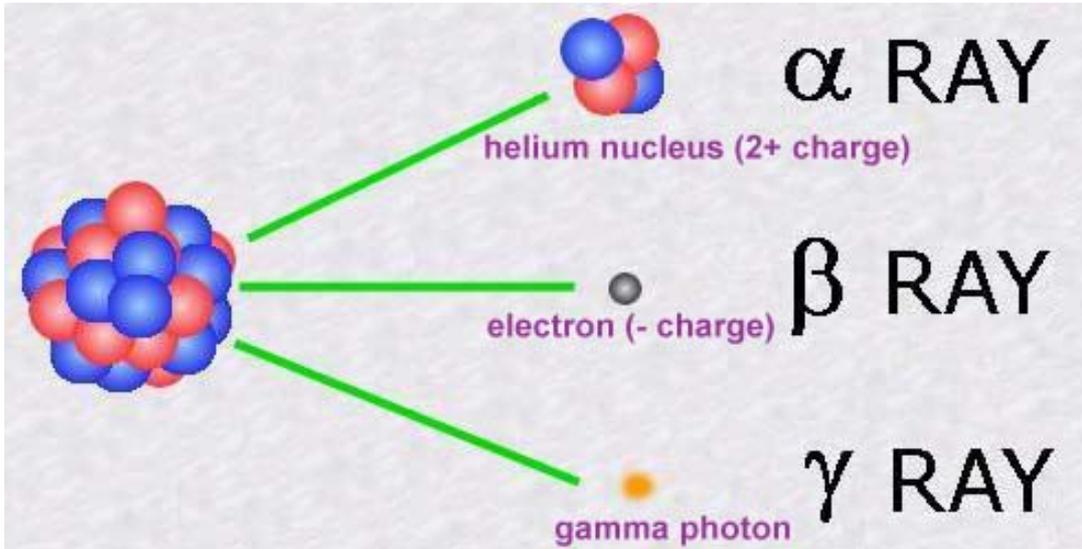






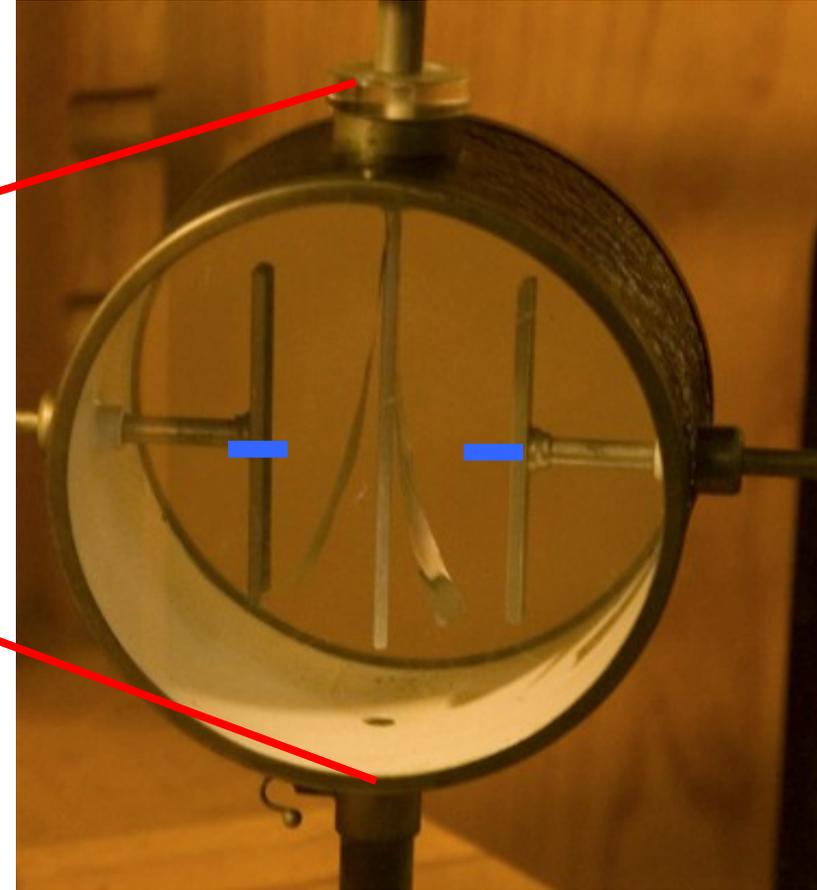
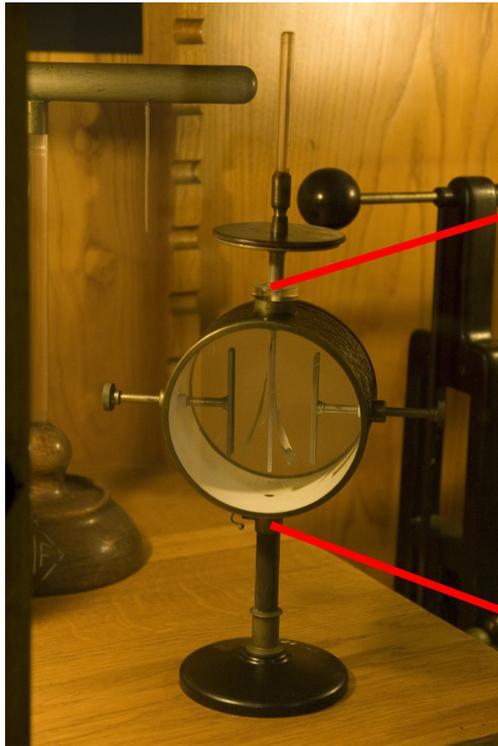
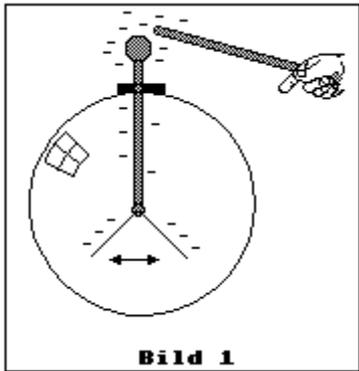
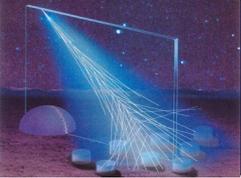


# Ionisierende Strahlung



**1899/1900:**  
Unterscheidung von  $\alpha$ -,  $\beta$ -, und  $\gamma$ -Strahlung.  
(E. Rutherford, P. Villard)

# Nachweis Ionisierender Strahlung



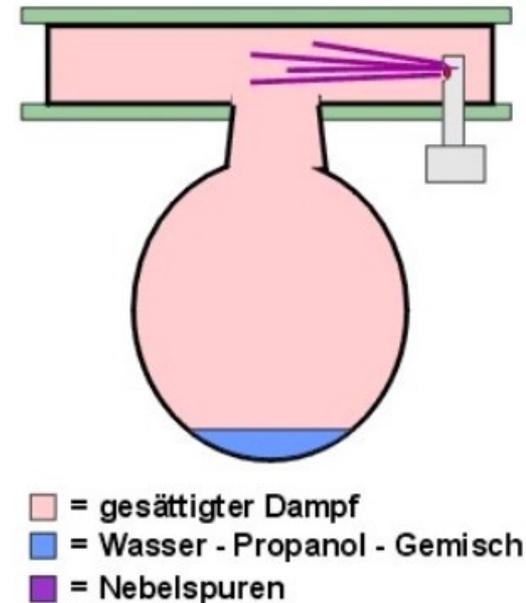
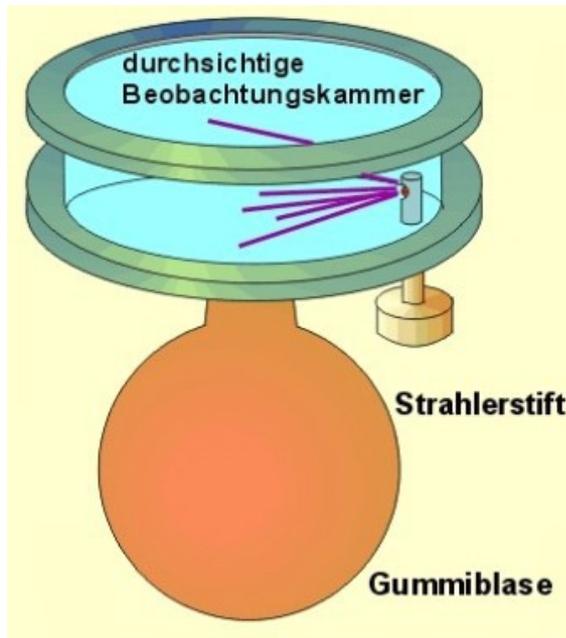
## Messung mittels **Elektrometer**:

- Aufladen des Elektrometers
- Entladung durch Ionisation
- Die Rate der Entladung ist proportional zur Stärke der Strahlung.

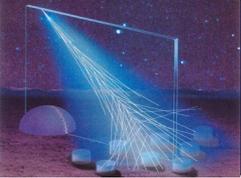
# Nachweis Ionisierender Strahlung

**1911:**

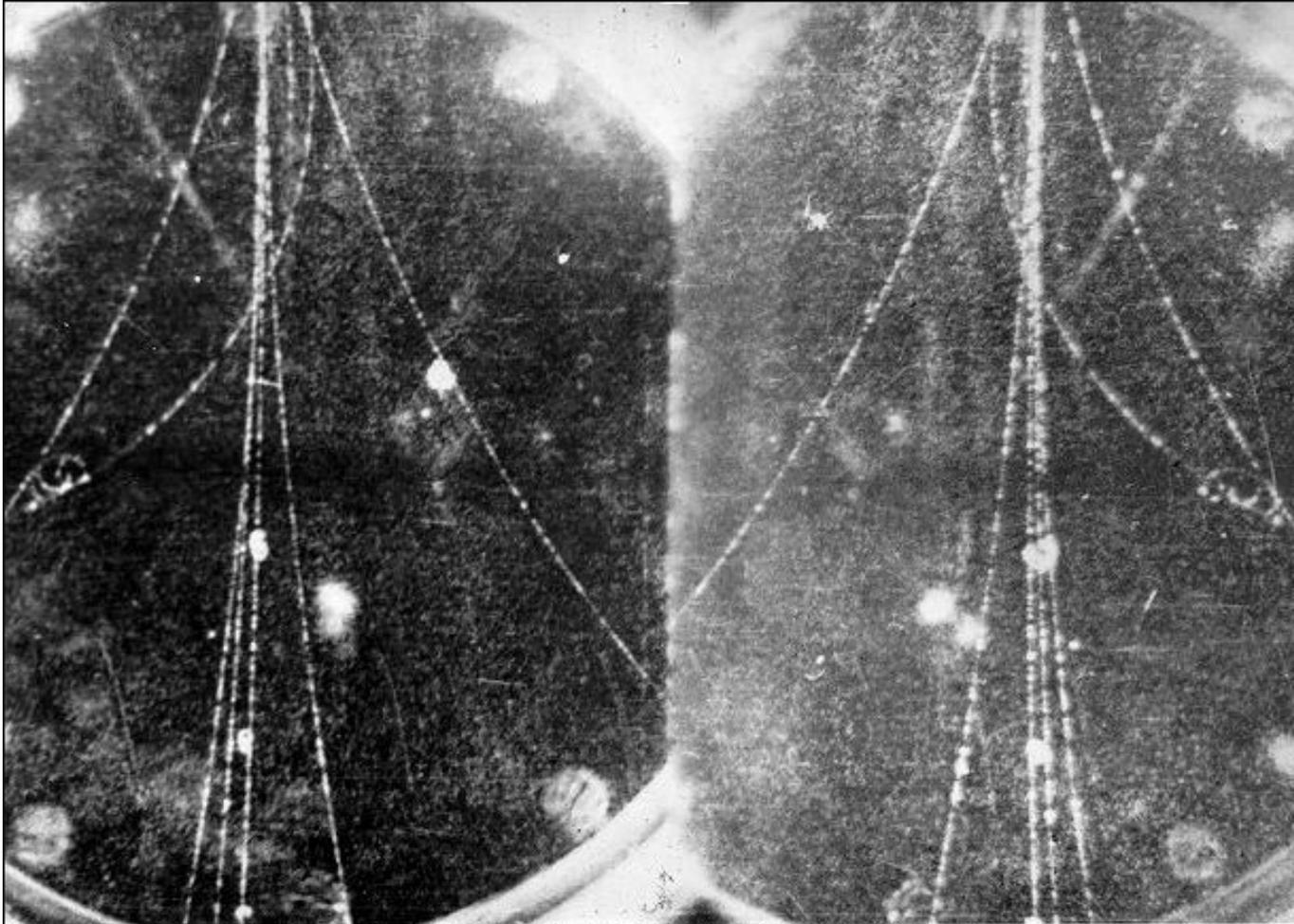
Entwicklung der **Nebelkammer** durch **C. T. R. Wilson**.



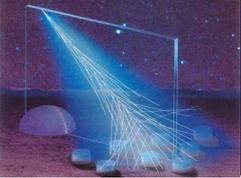
- Die Kammer ist gefüllt mit übersättigtem Dampf.
- Ein ionisierendes Teilchen erzeugt beim Durchgang Tröpfchenspur.



# Nachweis Ionisierender Strahlung



© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved.  
Commercial use or modification of this material is prohibited.



# Entdeckung kosmischer Strahlung

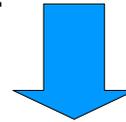


**1900:**

J. Elster & H. Geitel und C. Wilson messen die Ionisation in der Atmosphäre und führen dies auf die Radioaktivität zurück.

**1903:**

E. Rutherford und A. Eve berechnen, dass auch die energiereichste Strahlung von 1000 m Atmosphäre zu 99% abgeschirmt wird.



Die Ionisation auf dem Eiffelturm sollte 74% schwächer sein...



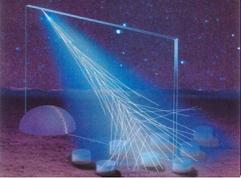
**1910**

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

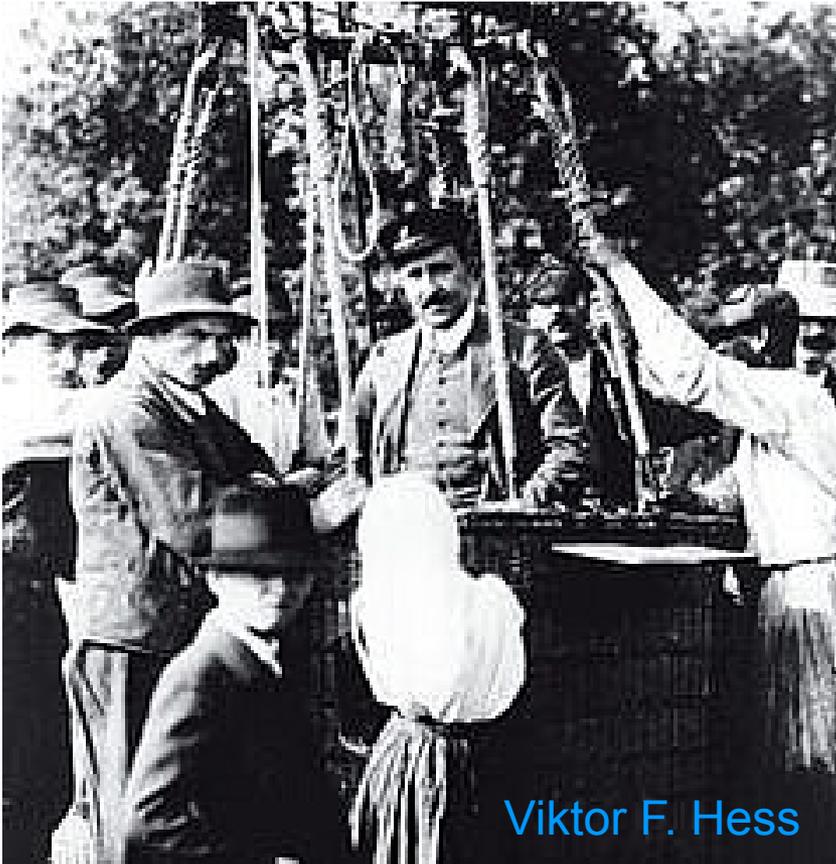
Daraus ergeben sich als Mittelwerte für die drei Orte

Valkenburg . . . . .	22,25	Ionen ccm · sec
Paris Boden . . . . .	18,0	"
Paris Eiffelturm . . . . .	15,7	"

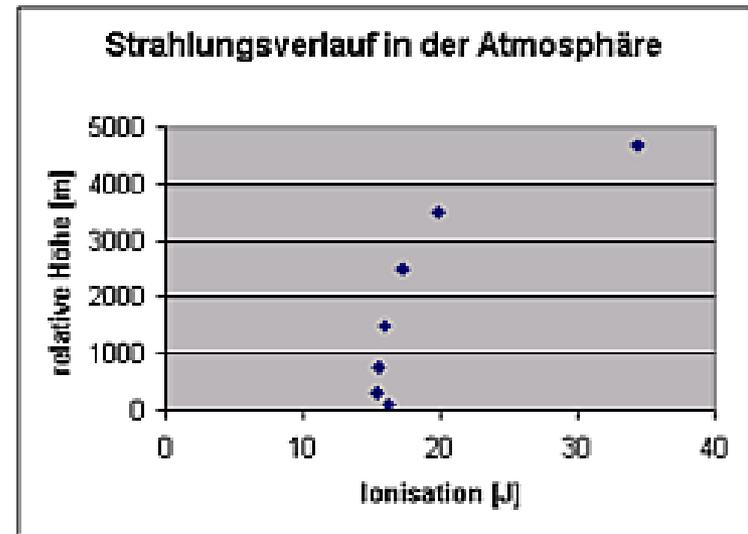




# Entdeckung kosmischer Strahlung

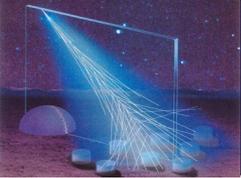


- Vermutung, energiereiche Teilchen aus dem Kosmos bewirken die Leitfähigkeit
- ⇒ die elektrische Leitfähigkeit muss in großer Höhe ansteigen
- **1912**: 7. Ballonfahrt mit 3 Messgeräten an Bord, Höhe ca. 5000 m

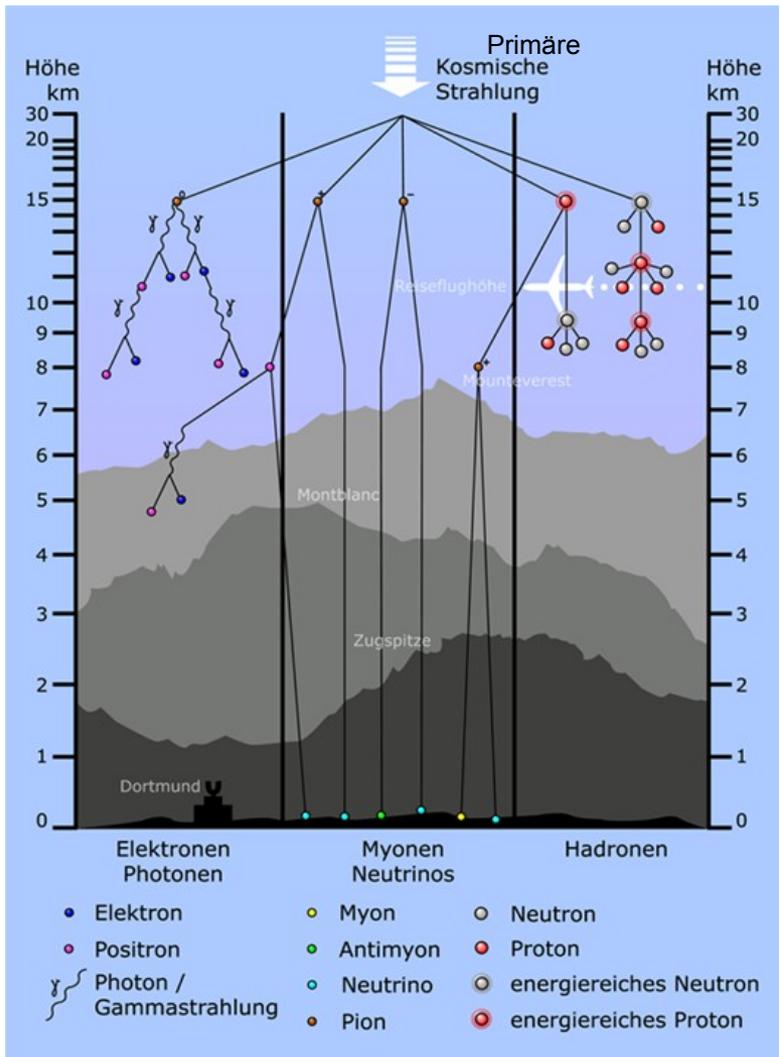


**Nachweis kosmischer Strahlung vor genau 100 Jahren!**





# Kosmische Teilchenschauer

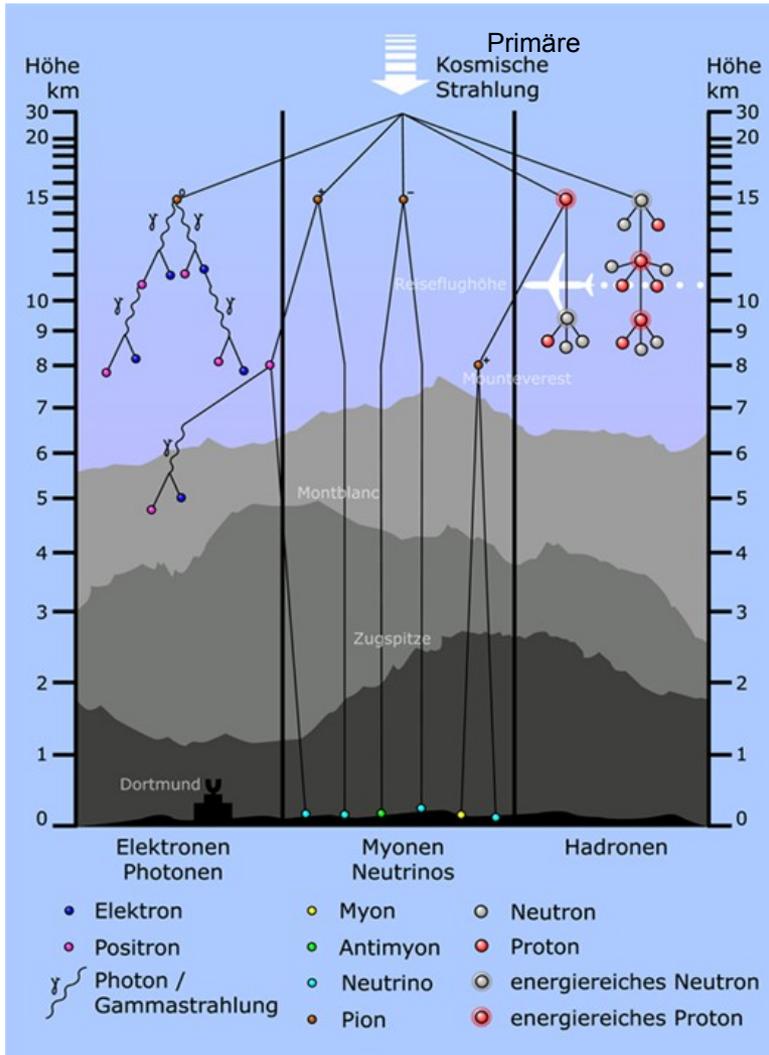


## Primäre kosmische Strahlung:

- aus allen Richtungen auf Atmosphäre
- ca. 85% Protonen
- ca. 12% alpha-Teilchen ( $^4\text{He}$ -Kerne)
- ca. 1% schwere Atomkerne
- ca. 2% Elektronen

Quellen u.a.: <http://www.physicsmasterclasses.org/>  
(DESY), <http://www.xplora.org/>

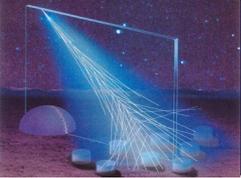
# Kosmische Teilchenschauer



## Sekundäre kosmische Strahlung:

- ausgelöst durch Stöße primärer Teilchen mit Atomen der Erdatmosphäre
- nur wenige Teilchen erreichen den Erdboden
- ca. 90% **Myonen**
- außerdem: **Neutrinos**
- Protonen**
- Neutronen**

Quellen u.a.: <http://www.physicsmasterclasses.org/>  
(DESY), <http://www.xplora.org/>

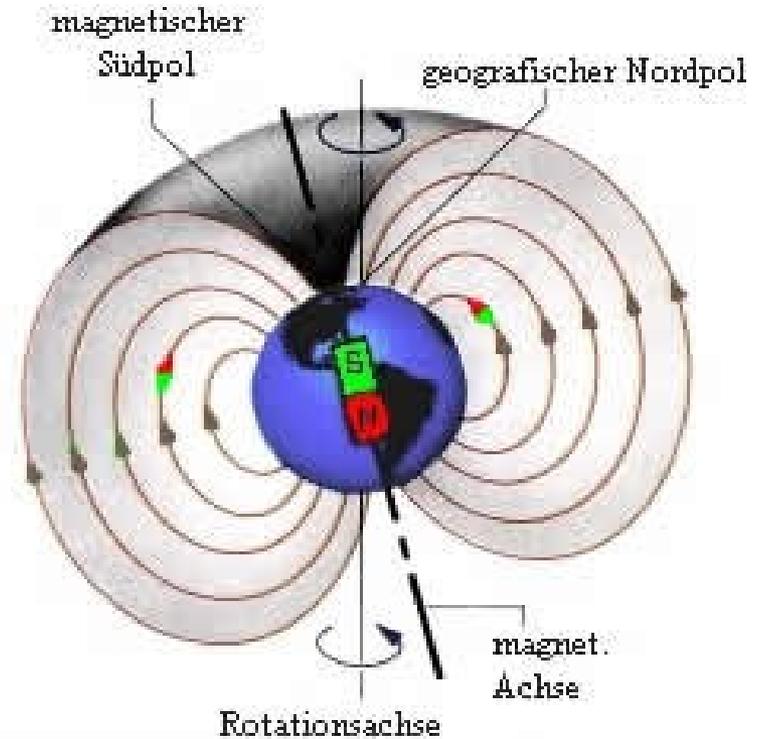
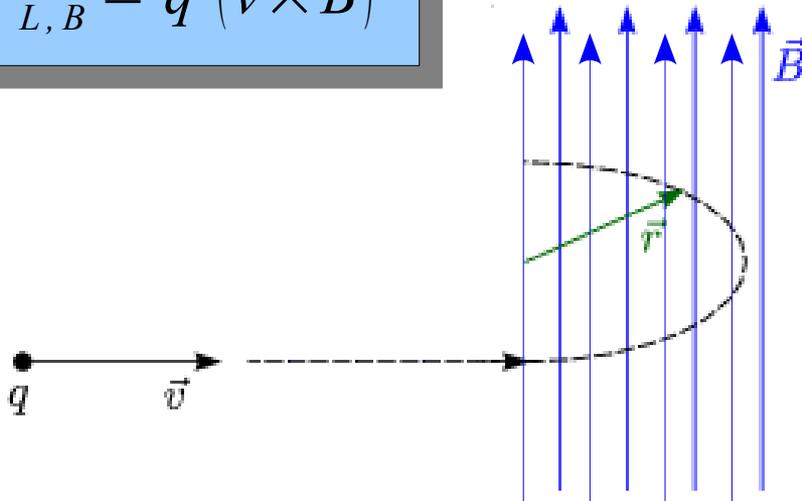


# Einfluss des Erdmagnetfeldes



## Das Magnetfeld der Erde als Regenschirm

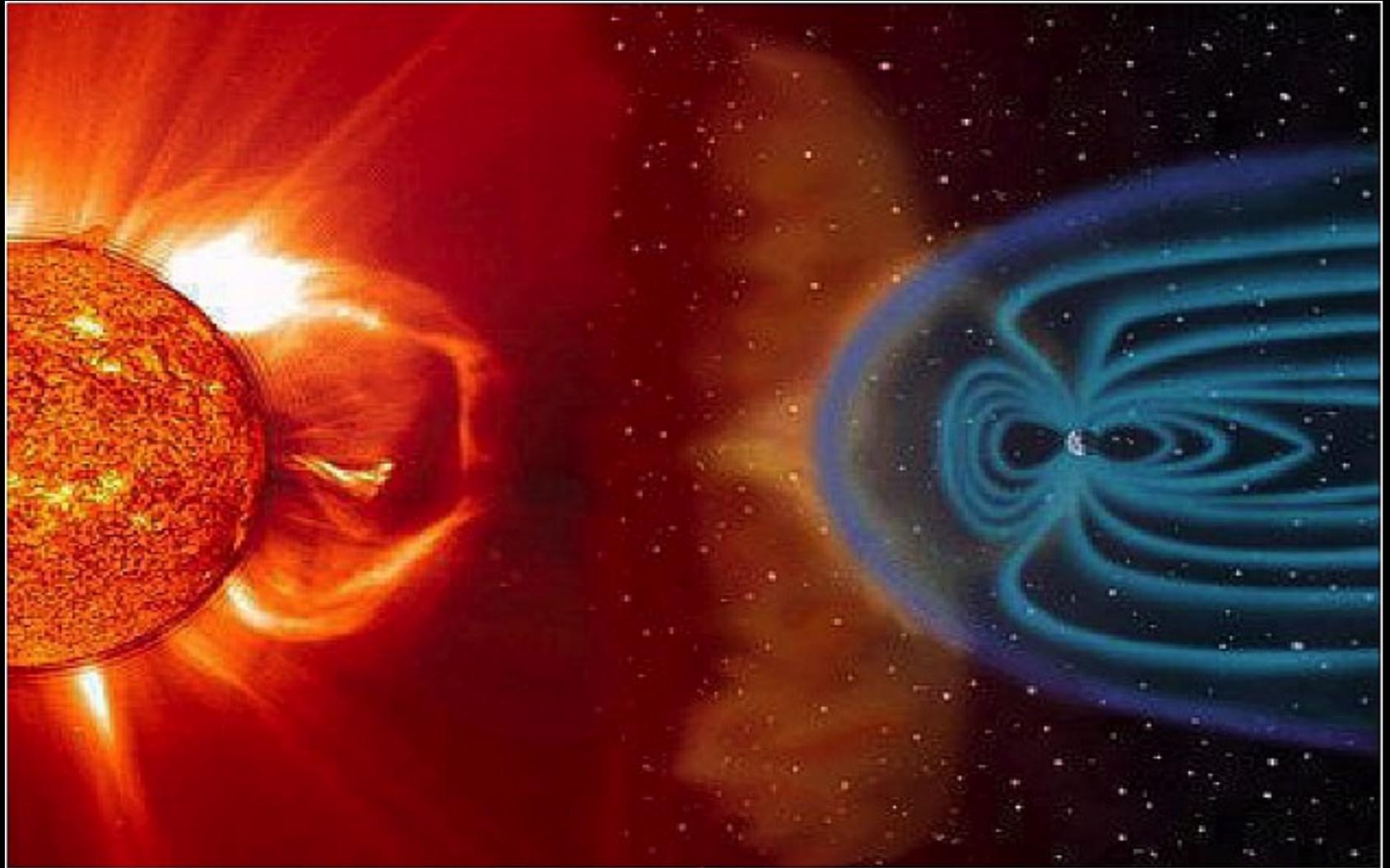
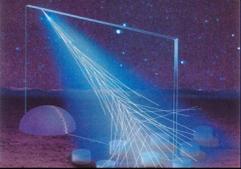
$$\vec{F}_{L,B} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$



Quelle: <http://www.polarlichtinfo.de>

Die Abschirmung durch das Erdmagnetfeld ist am effektivsten, wenn die Feldlinien parallel zur Erdoberfläche sind → Äquatornähe

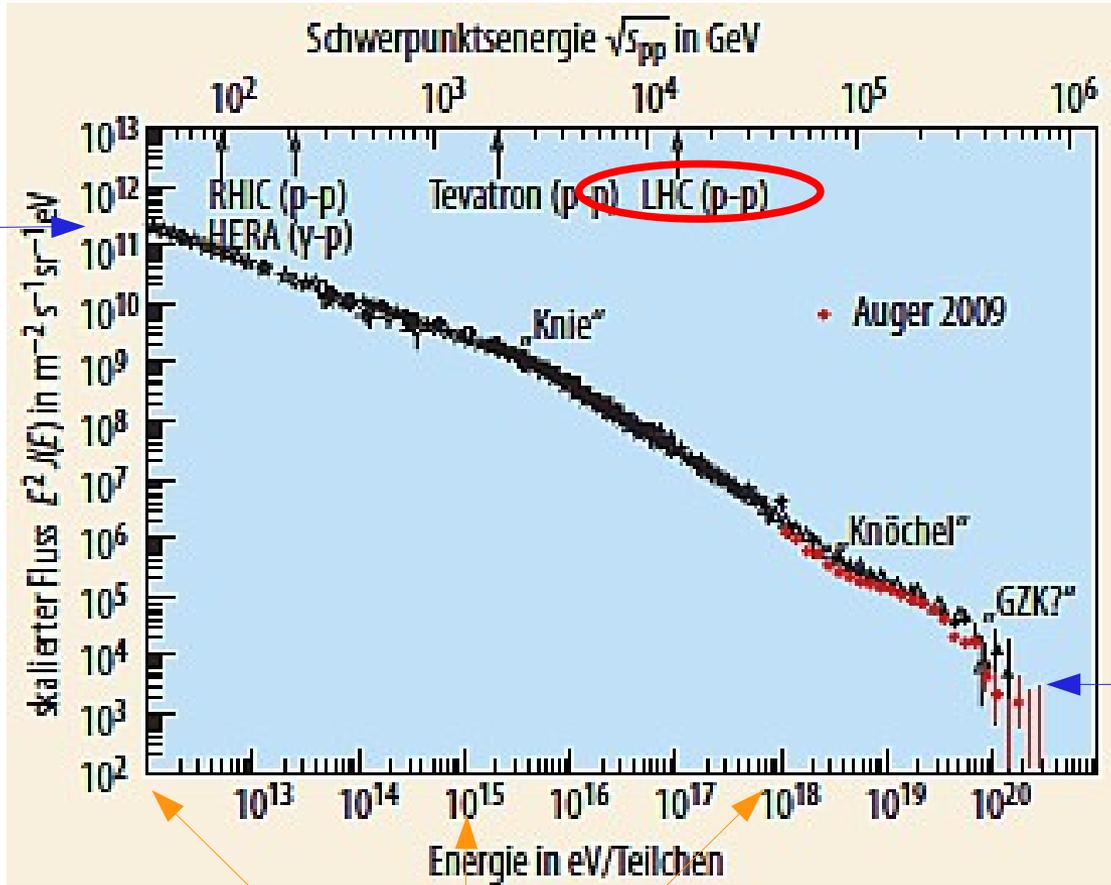
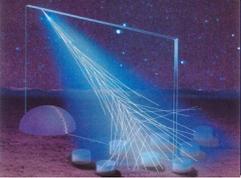
# Einfluss des Erdmagnetfeldes



# Polarlichter



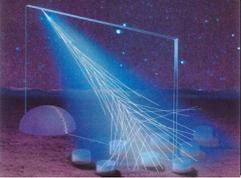
# Beobachteter Teilchenfluss



1 Teilchen pro m<sup>2</sup> und Sekunde

1 Teilchen pro km<sup>2</sup> und Jahrhundert

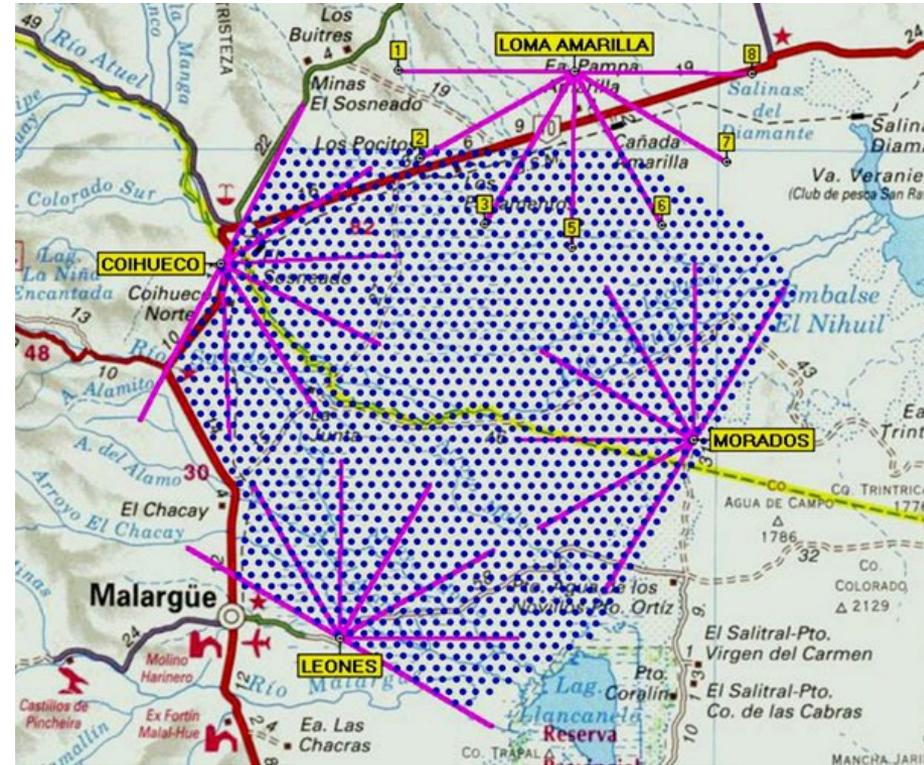
TeV PeV EeV



# Pierre-Auger-Observatorium (Süd)



- Netzwerk aus 1600 Wasser-Cherenkov-Detektoren vereint mit einem Satz hochsensitiver Teleskope
- Suche nach den energiereichsten Teilchen und ihrer Herkunft
- Standort: Argentinien



Fläche > 3000 km<sup>2</sup>

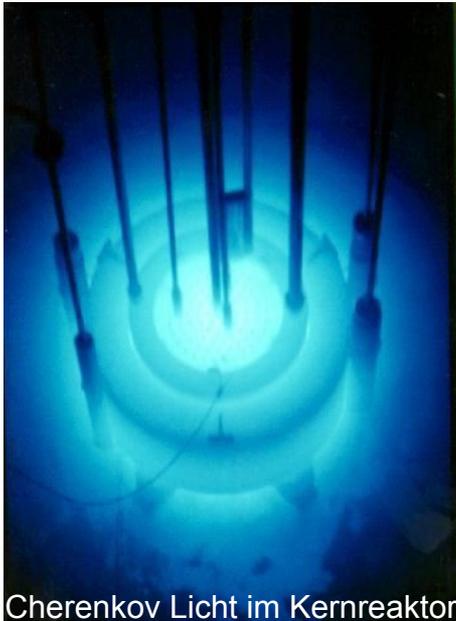




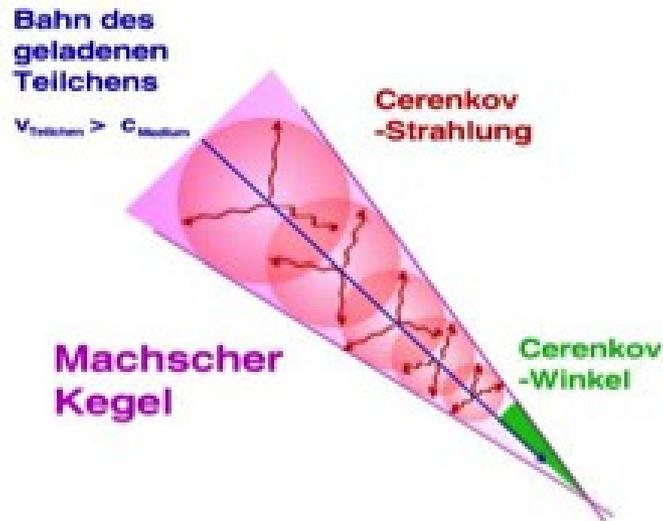
# Licht ins Dunkle bringen



## Der Cherenkov-Effekt (P. Cherenkov)

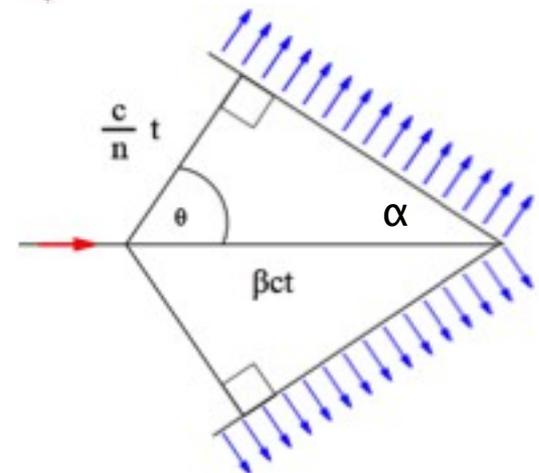


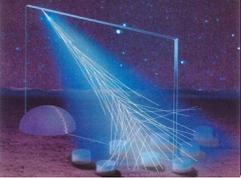
Cherenkov Licht im Kernreaktor



$$\sin(\alpha) = \frac{c}{v} = \frac{c_0}{v \cdot n}$$

- **Cherenkov-Licht** entsteht, wenn sich ein geladenes Teilchen in Medium schneller bewegt, als Licht im Medium ( $v > c_0/n$ )
- das Licht breitet sich **kegelförmig** mit Öffnungswinkel  $\alpha$  aus
- Medien: **Wasser, Gase, Eis**

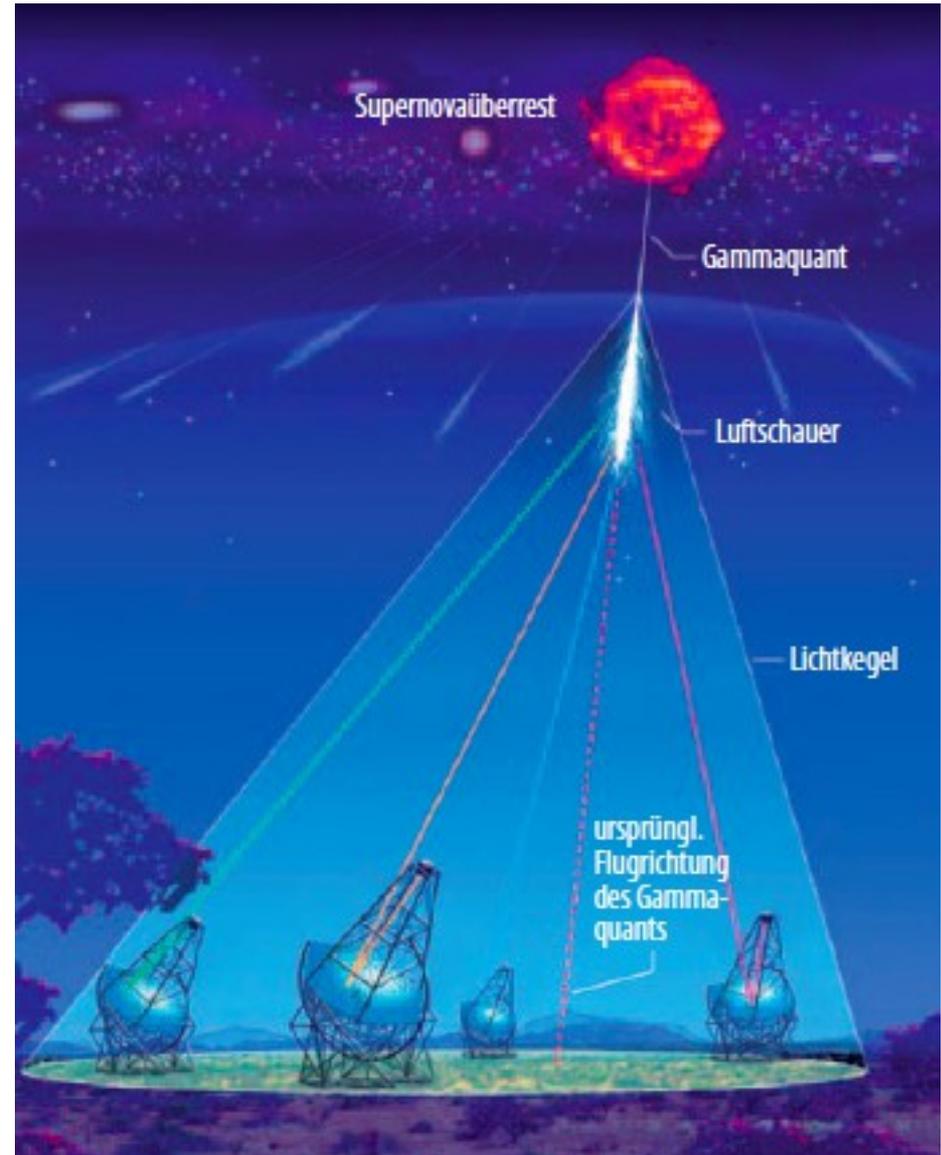


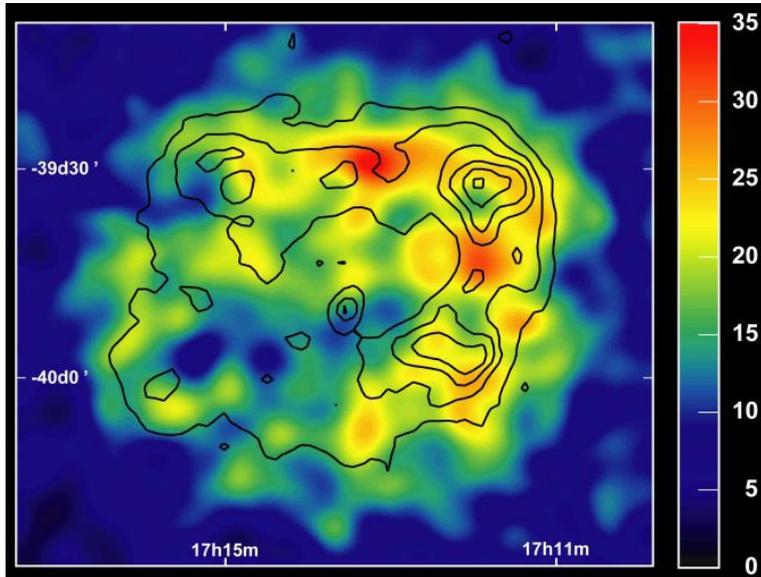
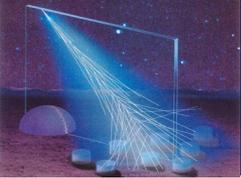


# H.E.S.S.

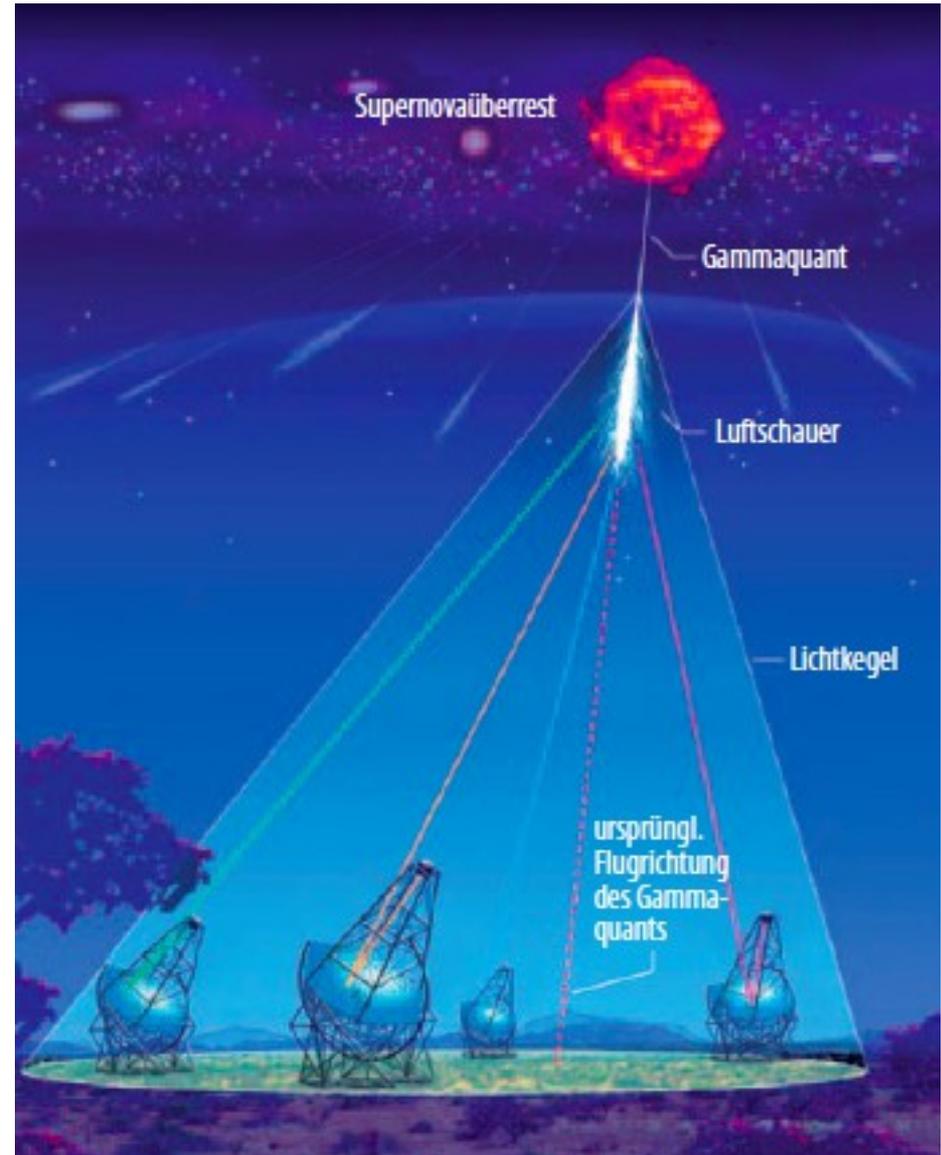


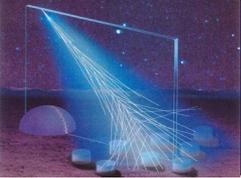
- 4 Teleskope mit einer Fläche von 107 m<sup>2</sup>
- Durchmusterung der Milchstraße nach **TeV-Gammaquellen**
- Standort: Namibia





- 4 Teleskope mit einer Fläche von  $107 \text{ m}^2$
- Durchmusterung der Milchstraße nach **TeV-Gammaquellen**
- Standort: Namibia

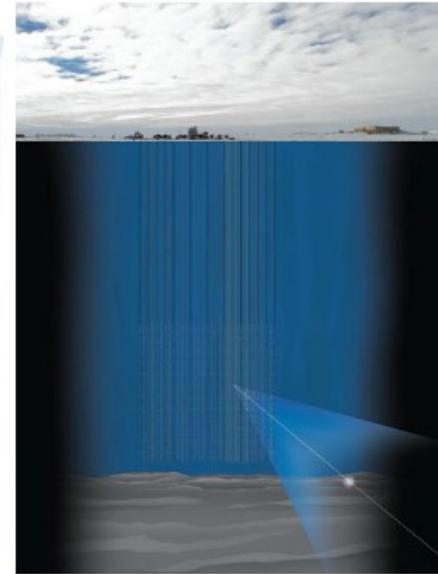
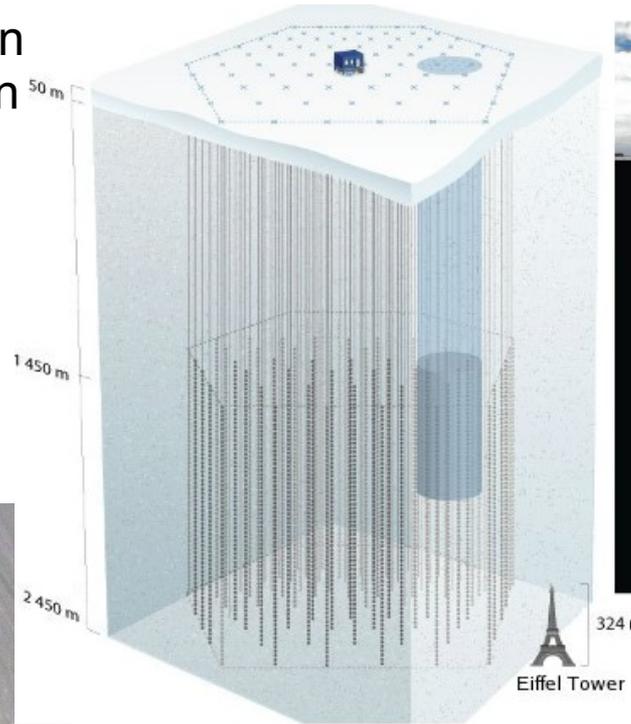




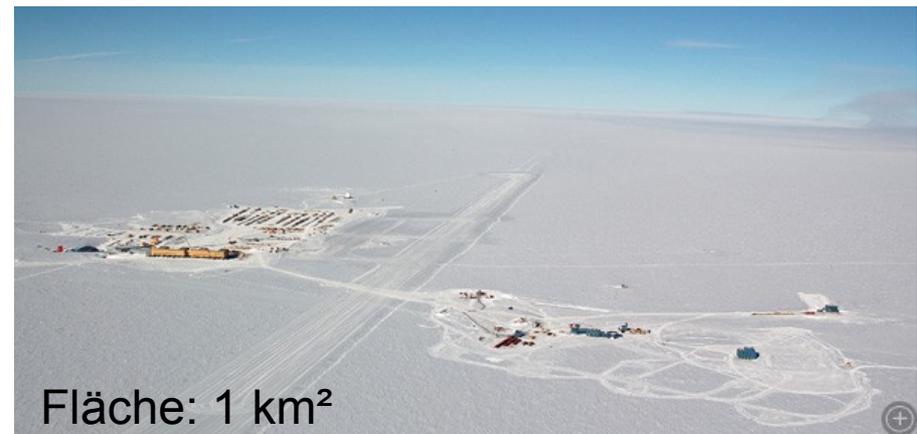
# Ice Cube



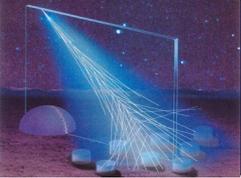
- 86 Kabeltrossen mit je 60 Glaskugeln mit hochempfindlichen Lichtsensoren
- Suche nach Informationen über weit entfernte Galaxien mit Hilfe **hochenergetischer Neutrinos**
- Standort: Südpol



**ICECUBE**

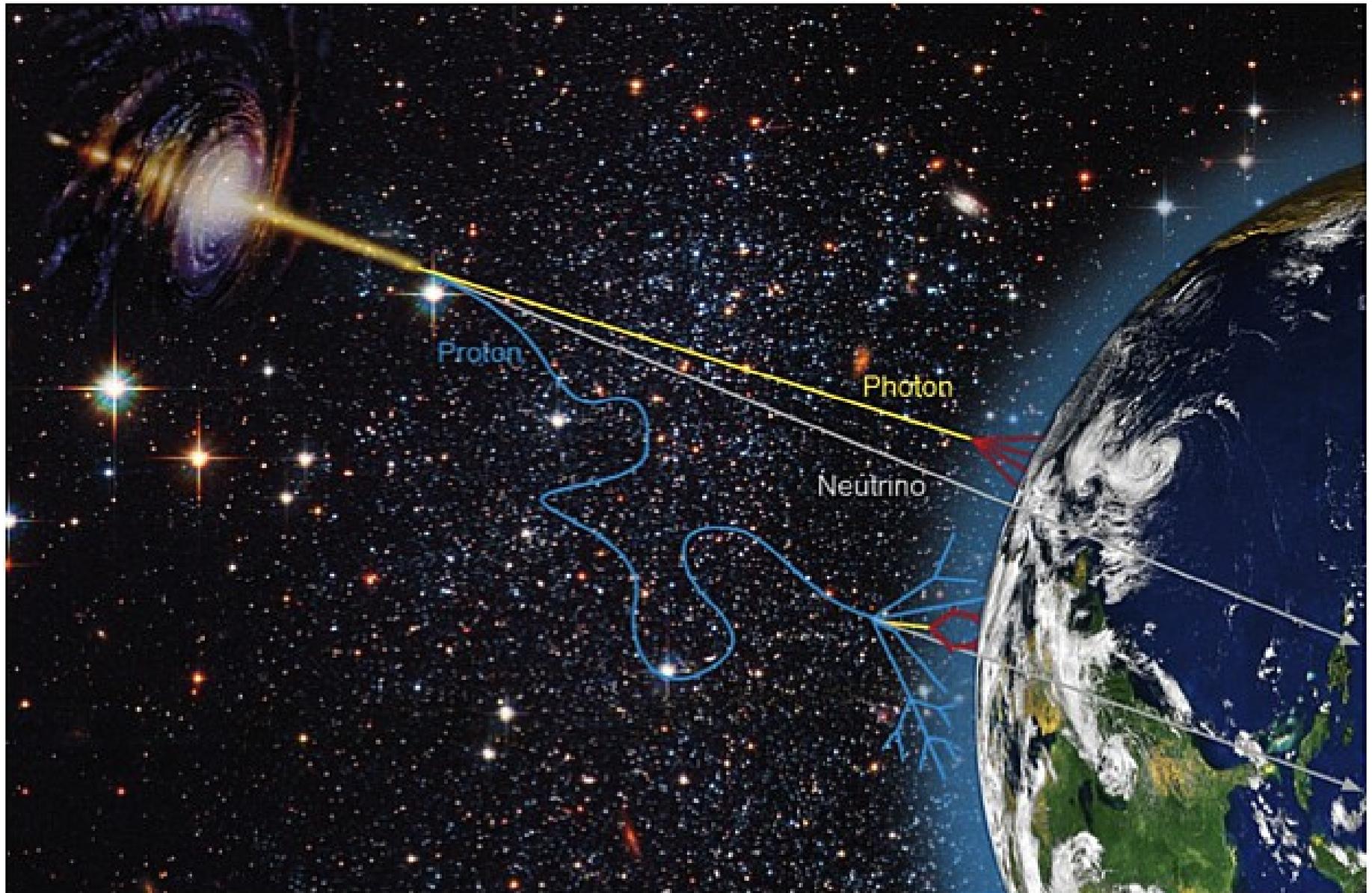
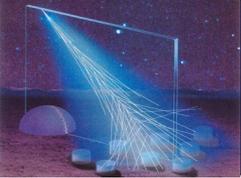


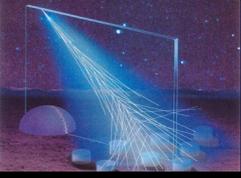
# Beispiele aktueller Experimente



- Geladene Strahlung
- Hochenergie Gamma
- Neutrinos

# Kosmische Strahlung

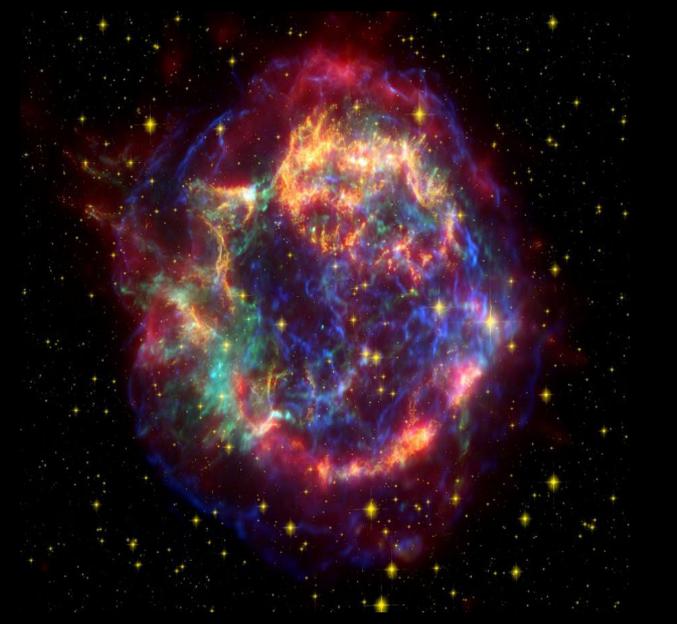


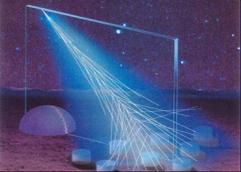


## Beschleunigungsmechanismen und mögliche Quellen

Fermi-Beschleunigung:

- ★ geladene Teilchen können relativistisch schnell werden
- ★ Energien bis PeV werden erreicht
- ★ über weitere Reaktionen können  $> \text{TeV}$  Neutrinos entstehen

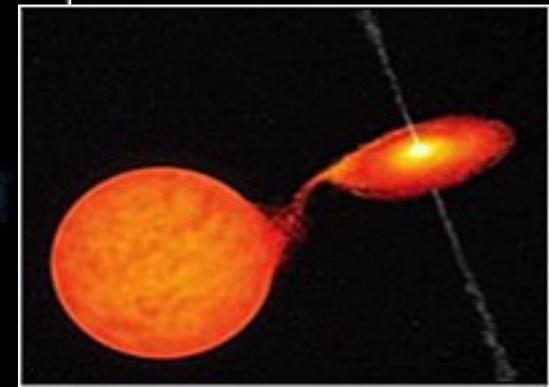
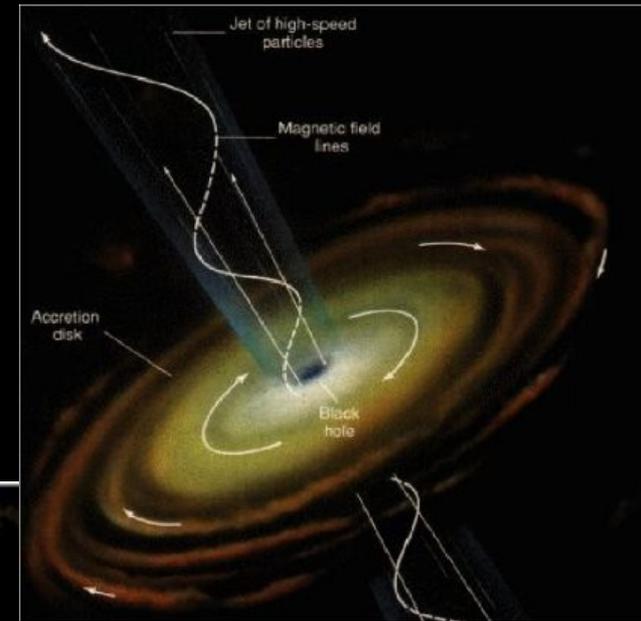




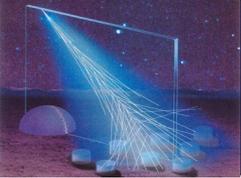
## Beschleunigungsmechanismen und mögliche Quellen

### Jets:

- ★ gebündelte Materieausflüsse von kosmischen Objekten
- ★ brauchen Materieeinfall und Magnetfeld
- ★ die größten Teilchenbeschleuniger des Universums



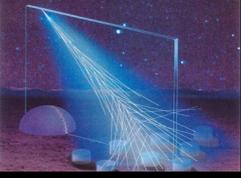
# Kosmische Beschleuniger



**LHC Beschleunigerstrecke:**  
27 km

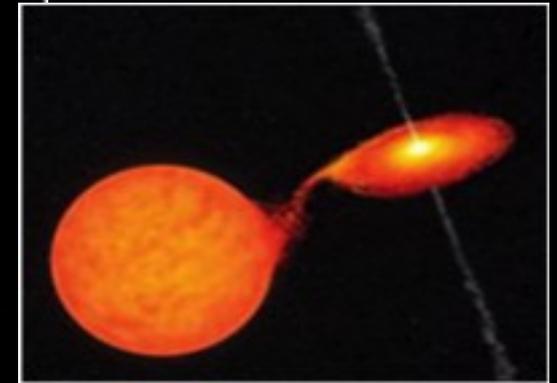
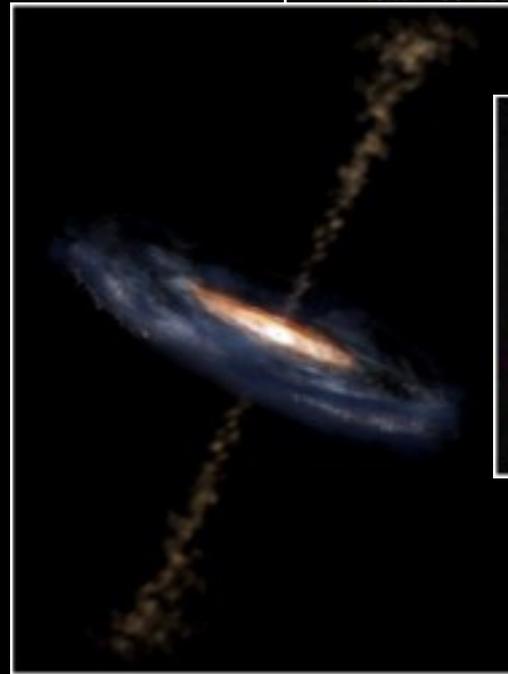
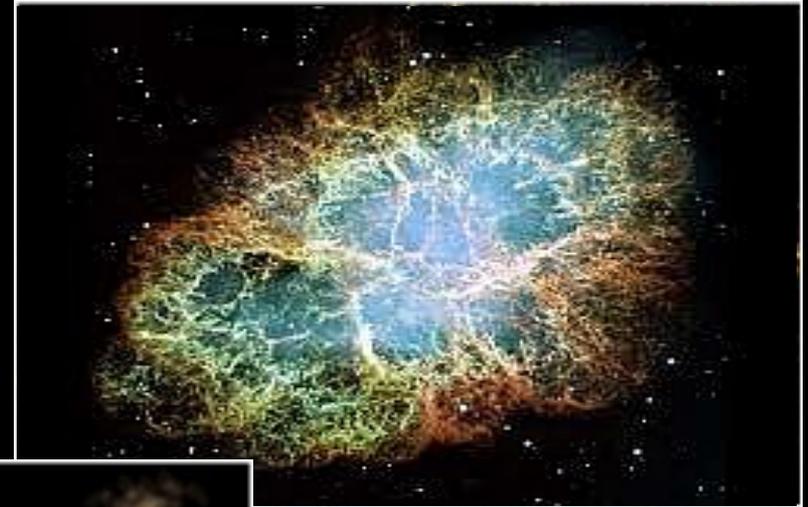


**Beschleunigerstrecke:**  
>>150 Mio. km

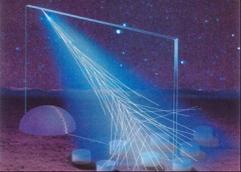


## Beschleunigungsmechanismen und mögliche Quellen

- ★ Supernovae & Überreste
- ★ Aktive Galaktische Kerne (AGN)
- ★ Binärsternsysteme
- ★ Gammastrahlenausbrüche
- ★ ...



# Kosmische Antimaterie & Dunkle Materie

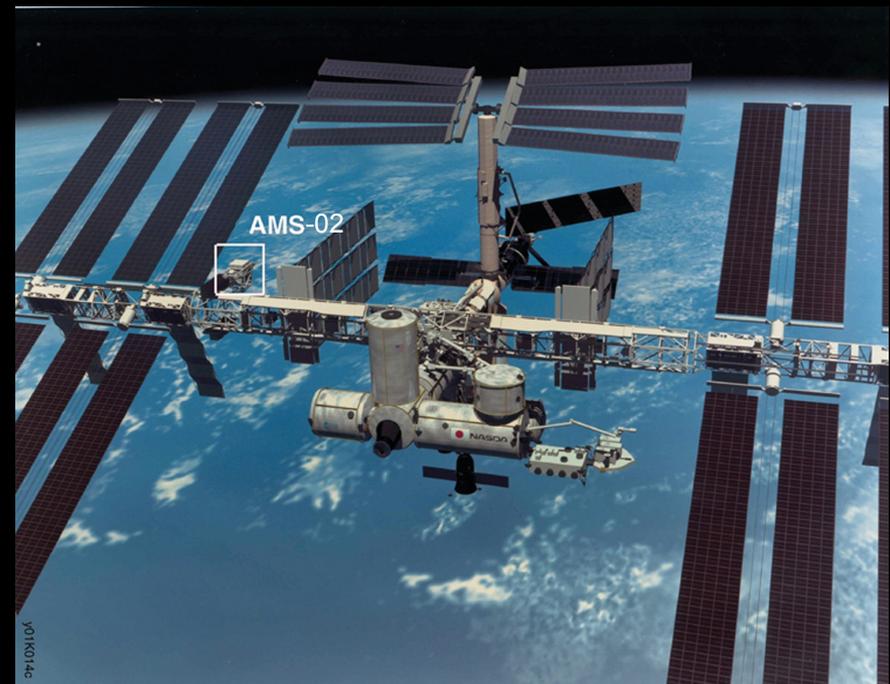


Wir sind umgeben von Materie...

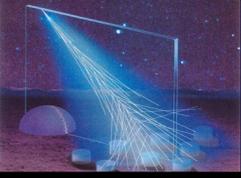
- ★ Gibt es noch primordiale Antimaterie „da draußen“, gar ganze Antimaterie Galaxien?
- ★ Woher die Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie?

Die sichtbare Materie reicht gerade für ca. 4% der Masse des Universums...

- ★ Woraus besteht die Dunkle Materie? (ca. 23%)
- ★ Was ist Dunkle Energie? (ca. 73%)



# Zentrale Fragen aktueller Forschung



- ★ Was sind die Quellen der energiereichsten Teilchen der kosmischen Strahlung?
- ★ Um welche Teilchen handelt es sich dabei?
- ★ Wo liegen die Grenzen höchstmöglicher Energien?
- ★ Kann man die extragalaktische Herkunft zeigen?
- ★ Warum gab es ein bisschen mehr Materie als Antimaterie?
- ★ Woraus besteht das Universum?
- ★ ...