

# Astroteilchenphysik – I

### Wintersemester 2013/14 Vorlesung # 4, 14.11.2013

Guido Drexlin, Institut für Experimentelle Kernphysik

#### **Experimentelle Techniken**

Luftschauer-Prozesse:
 ECAL & HCAL, Myonen
 Schema Luftschauer
 Lateral/Longitudinalverteilung
 primäre Wechselwirkung
 Myon-Elektron Verhältnis





#### www.kit.edu

# Kosmische Strahlung – Energiespektrum



# Wechselwirkungsprozesse in Schauern

indirekte Messungen über Luftschauerexperimente am Boden: Primärteilchen-Energien und Massen von 10<sup>13</sup> eV - 10<sup>20</sup> eV





Teilchenprozesse in Schauern: sehr enge Analogie zu Teilchenkaskaden in der Hochenergiephysik (fixed target) ECAL – HCAL – Myonkammern



Elektromagnetische
 Kaskadenprozesse:
 Atmosphäre = ECAL
 mit ~ 25 X<sub>0</sub>
 Schauerentwicklung
 abhängig von Atmosphäre

# Elektromagnetische Komponente



- Schauerentwicklung: Erdatmosphäre wirkt als massiver Absorber
  - Primärenergien <  $10^{13}$  eV erreichen nicht den Erdboden



# Kalorimetrie an Beschleunigern



#### Methodische Querverbindungen: Teilchen- und Astroteilchenphysik



### Myonische Komponente



Myonen ("Cosmics"): - Fl



- : Flussdichte in Meereshöhe  $d\Phi/dA = 100 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 
  - Ladungsverhältnis  $\mu^+ / \mu^- = 1.2$
  - Gesamtanteil an Sekundärteilchen: ~ 1.7%

#### Myonen

- Lebensdauer  $\tau = \gamma \cdot 2.2 \ \mu s$
- Energieverlust dE/dx ~ 2 MeV/cm (H<sub>2</sub>O)
  Similar minimal ionisierende Teilchen (m.i.p.s)
- durchdringende Komponente auch nach massiver Abschirmung



### Myonen an Beschleunigern



### Methodische Querverbindungen: Teilchen- und Astroteilchenphysik

Myonen vom LHC-Beschleuniger

Beschleuniger

Protonen bis 7 TeV



1400 Myonkammern im Rückflussjoch





#### Myonen von kosm. Beschleunigern

Detekto

Beschleuniger

Protonen bis 10<sup>20</sup> eV

Myonabschirmung im Untergrundlabor

### Hadronische Komponente

Λ

Hadronen



Hadronen: Protonen, Neutronen, Pionen, Kaonen, ... (0.3% Anteil) lokalisiert im Schauerkern, Erdatmosphäre entspricht

~ 11 hadronischen Wechselwirkungslängen  $\Lambda$ 

Hadronische Wechselwirkungen

- hadronische Wechselwirkungslänge  $\Lambda$ = mittlere Länge für inelastische Streuung

$$\Lambda = \frac{1}{\sigma \cdot n}$$

in [g cm<sup>-2</sup>] bzw. [cm]

- σ: Kern-Wirkungsquerschnitt
- n: Anzahl der Streuzentren
- $\Lambda$  ist wesentlich größer als X<sub>0</sub>

### Hadronen an Beschleunigern



### Methodische Querverbindungen: Teilchen- und Astroteilchenphysik

























#### elektromagnetische, myonische und hadronische Komponenten



#### Luftschauersimulation generiert mit dem weitverbreiteten CORSIKA Code





### Erdatmosphäre als Kalorimeter für die Primärteilchen



Karlsruhe Institute of Technology



### Luftschauer – Simulation



### Luftschauer – Rekonstruktion







von Myonen & Elektronen

### Lateralverteilung



### Lateralverteilung p(r) von Myonen & Elektronen

- Aufgabe: Bestimmung von  $N_e = Elektronanzahl im Schauer$   $N_\mu = Myonanzahl im Schauer$ aus Integration über Lateralerteilung  $\rho(r)$
- Fit von Lateralverteilung p(r): keine exakte Beschreibung möglich analytische Parametrisierung:

NKG-Fit

Nishimura Kamata Greisen Greisen-Fit





### Energie des Primärteilchens



### **Primärenergie** $E_0$ aus $N_e$ und $N_{\mu}$ :



### Masse des Primärteilchens



#### Masse abgeleitet aus Ort X der ersten Wechselwirkung:



 - schwerer Kern (<sup>56</sup>Fe): wechselwirkt rasch in obersten Atmosphäreschichten ⇒ kleines X
 - leichter Kern (p): dringt tiefer ein ⇒ großes X



### Masse des Primärteilchens



#### Methode: am Boden erfolgt Messung von N<sub>e</sub> und N<sub>µ</sub>



#### Elektronenzahl N<sub>e</sub> – Myonenzahl N<sub>µ</sub>

#### Myonen:

- es werden weniger µ als e erzeugt
- erreichen den Boden auch aus großen Höhen (d.h. kleinem X)

#### **Elektronen**:

- es werden mehr e als µ erzeugt
- erreichen den Boden bevorzugt aus kleinen Höhen (d.h. großem X)



### Luftschauer – Experimente





### **KASCADE** Experiment



#### KASCADE - KArlsruhe Shower Core and Array DEtector (1996-2009)



Gesamtfläche ~ 200 × 200 m<sup>2</sup> Messfläche: ~ 2% der Gesamtfläche Hauptkomponenten: Array: 16 × 16 Detektorstationen Elektronen/Myonen-Detektoren Zentralkalorimeter: TMS - Kammern ∜ Hadronen-Nachweis Myontunnel: Myonenverteilung



# KASCADE – Myonen und Elektronen



# Myonzahl N<sub>µ</sub> und Elektronzahl N<sub>e</sub>: Messung über 2 Szintillatorschichten, getrennt durch Pb-Abschirmung



### KASCADE – Grande Experiment



### **KASCADE** - Grande (1996-2009):

- Erweiterung des ursprünglichen Arrays für E =  $10^{16}$ - $10^{18}$  eV zur



### Masse des Primärteilchens

### Myonzahl N<sub>µ</sub> und Elektronzahl N<sub>e</sub> zur Bestimmung der

Masse des Primärteilchens

- gute Korrelation von
  N<sub>e</sub> und N<sub>µ</sub>
  Summe als Primär-Energieindikator
- leichte Kerne (p, α, <sup>12</sup>C) wechselwirken tiefer in Atmosphäre (großes X)
   Verhältnis N<sub>e</sub>/N<sub>µ</sub> groß
- schwere Kerne (<sup>56</sup>Fe) wechselwirken früher in Atmosphäre (kleines X)
   Verhältnis N<sub>e</sub>/N<sub>µ</sub> klein

experimentelle KASCADE Daten

![](_page_27_Figure_7.jpeg)

![](_page_27_Picture_10.jpeg)