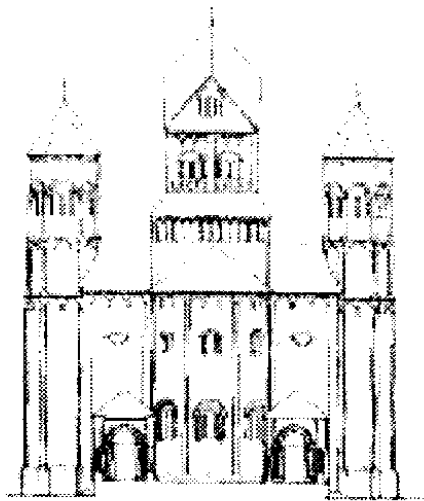


Grundlagen der Detektorphysik



UNIVER
SITÄT
MAINZ

K. Jakobs
Institut für Physik
Universität Mainz

1. Einführung
Motivation für Teilchendetektoren
(Anwendungsgebiete, Meßgrößen)
2. Physikalische Grundlagen
3. Orts- und Impulsmessung
4. Energiemessung in Kalorimetern
5. Teilchenidentifizierung
6. Detektorsystem (Beispiel: ATLAS Detektor)

1. Motivation für Teilchendetektoren

1.1. Anwendungsgebiete

Elementarteilchenphysik:

Nachweis von Teilchenreaktionen an Beschleunigern

Vermessung des Endzustandes:

- Impulse, Energien und Identität einzelner Teilchen
- Energiebilanz (transversale Energie oder Gesamtenergie)

geladene Teilchen:

$e, \mu, \pi^\pm, K^\pm, p, \dots$

neutrale Teilchen:

γ, K^0, n, \dots

nur schwach wechselwirkende Teilchen:

$\nu, \tilde{\chi}^0, \dots$

Energiebereich: $\sim 1 \text{ GeV} - \sim 5 \text{ TeV}$

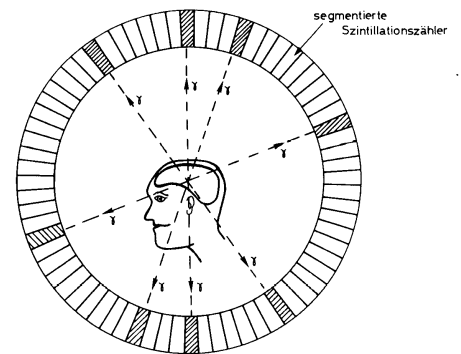
Teilchenphysik ohne Beschleuniger:

- Astro- und Astroteilchenphysik
 - kosmische Hintergrundstrahlung
 - Röntgenstrahlung (ROSAT)
 - hochenergetische Photonen (γ ray bursts)
 - hochenergetische Neutrinos
- Neutrino-physik
 - solare Neutrinos
 - atmosphärische Neutrinos
 - Neutrinos von Beschleunigern

Energiebereich: $\sim 100 \mu\text{eV} \rightarrow > \sim 1000 \text{ TeV}$

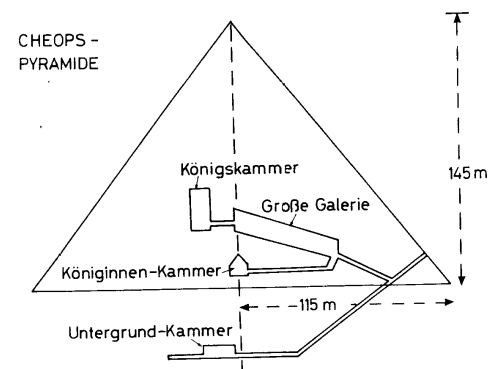
Medizin: (bildgebende Verfahren)

- **Nuklearmedizin**
(Nachweis von γ -Strahlung, nach Anreicherung entsprechender radioaktiver Isotope in inneren Organen, z.B. Schilddrüse)
- Positronen-Emissions-Tomographie ($e^+ + e^- \rightarrow \gamma\gamma$)
- Tumortherapie mit Hadronen (π^- oder n)
- Röntgenstrahlung



Archäologie:

- Altersbestimmung (z.B. C^{14} -Methode)
- Röntgen der Pyramiden im Lichte kosmischer Myonen
- ...



Umweltphysik:

- Vermessung natürlicher und künstlicher Radioaktivität oder Strahlenbelastung

1.2. Meßgrößen

- **Impuls \vec{p}**

Vermessung der **Bahnkurve in einem Magnetfeld**
(gel. Teilchen)

Lorentzkraft: $\vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B})$

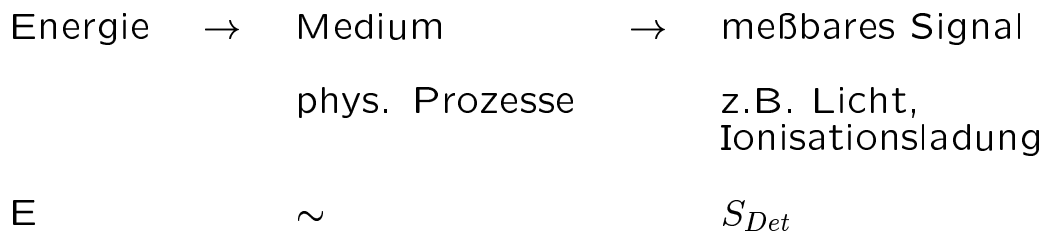
Spezialfall: homogenes Magnetfeld \Rightarrow Helix-Bahn
Ortsinformation, \rightarrow Krümmungsradius ρ

\rightarrow Impuls p $p = 0.3 \cdot B \cdot \rho$

(Einheiten: p in (GeV/c), B in (Tesla), ρ in (m))

- **Energie**

Deposition der Teilchenenergie in sog. **Kalorimetern**



- **Identität der Teilchen**

Natur der Teilchen ist durch **Masse (+ Ladung)** eindeutig bestimmt

relativistische Energie-Impulsbeziehung: ($c=\hbar=1$)

$$\Rightarrow m = \sqrt{E^2 - p^2}$$
$$\beta = \frac{v}{c} = \frac{p}{E} = \frac{1}{\sqrt{1 + m^2/p^2}}$$
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{E}{m} = \sqrt{1 + p^2/m^2}$$

Identifizierung/Massenbestimmung ist möglich durch:

– Messung einer Kombination zweier Größen:

z.B.: Impuls und Geschwindigkeit β
oder Impuls und γ -Faktor

Methode: Flugzeit, Energieverlustmessung,
Cherenkov- oder Übergangsstrahlungssignatur

– Kombination der Signaturen aus verschiedenen Detektoren (\rightarrow Detektorsystem)

z.B.: Kalorimeter \oplus Spurdetektoren \oplus Myonendet.

- Lebensdauer von Teilchen

Hauptanwendung: Zerfälle von Hadronen mit schweren Quarks, z.B. B-Mesonen

typische B-Lebensdauer: $\tau(B_d^0) = 1.55 \text{ ps}$

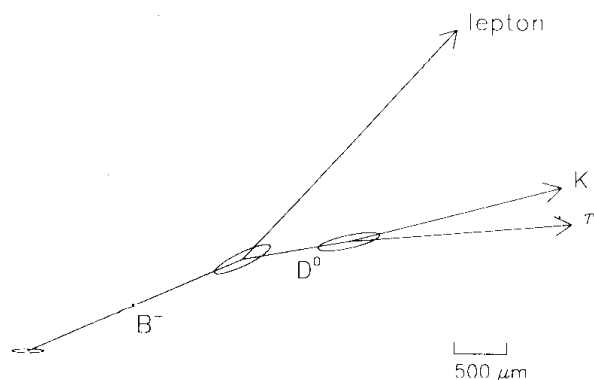


Fig. 5.22. Schematic representation of a typical B decay into $D^0 l X$.

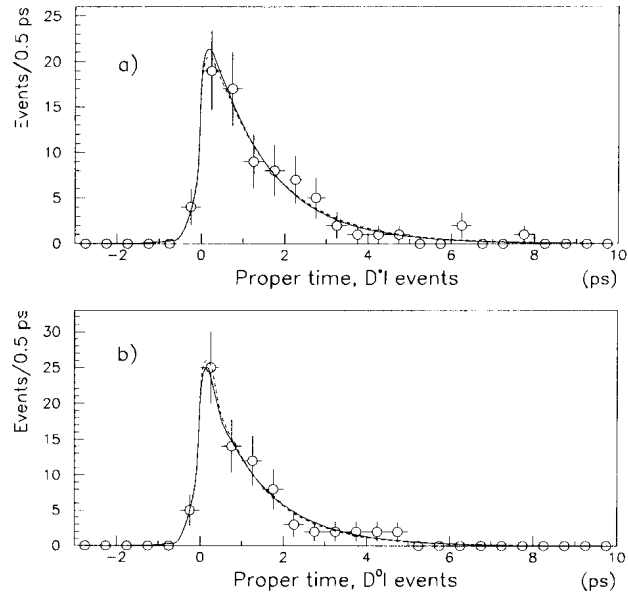
mittlere Flugstrecke hängt vom Impuls des Teilchens ab:

$$\langle l \rangle = v \cdot \gamma \cdot \tau = \frac{p}{E} \cdot c \cdot \frac{E}{m} \cdot \tau = \frac{p}{m} \cdot c \cdot \tau$$

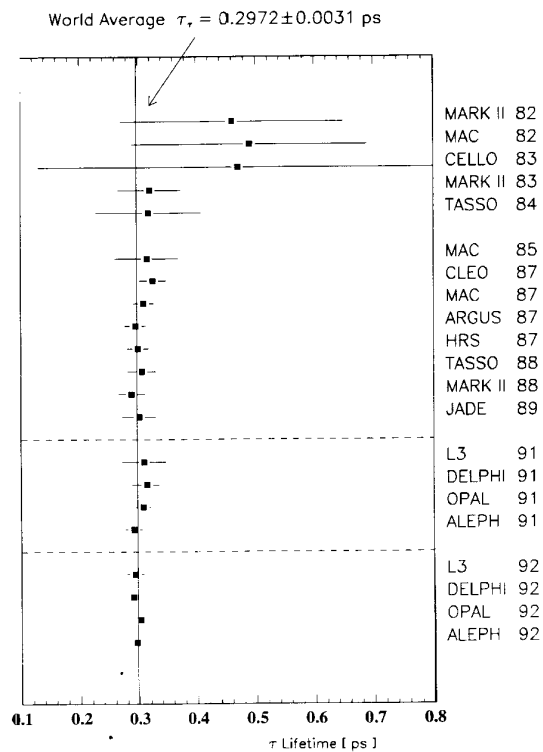
für $\langle p \rangle = 20 \text{ GeV}$, $m = 5 \text{ GeV}$ und $\tau = 1.5 \text{ ps}$ ergibt sich:

$$\langle l \rangle = 1.9 \text{ mm}$$

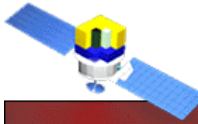
a) gemessene Lebensdauerverteilung in $D - l$ Ereignissen (ALEPH Kollaboration)



b) Messungen der τ -Lepton Lebensdauer



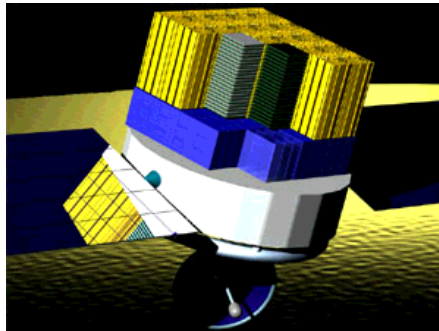
Signifikante Verbesserung durch neue Detektortechnologie (Siliziumstreifen-Vertexdetektoren)



GLAST *The Gamma Ray Large Area Space Telescope*

[Home | Precision Tracker | Calorimeter | Data Acquisition System | Anticoincidence Detector]

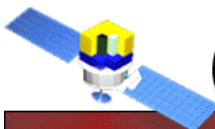
The GLAST Large Area Telescope



The GLAST Large Area Telescope will be comprised of four key components.

- Precision Tracker
- Calorimeter
- Data Acquisition System
- Anticoincidence Detector

Created by: Tim Graves on July 12, 1999
Modified by: Tim Graves on July 29, 1999



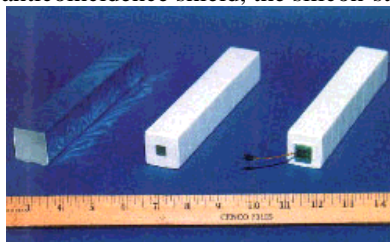
GLAST *The Gamma Ray Large Area Space Telescope*

[Home | Precision Tracker | Calorimeter | Data Acquisition System | Anticoincidence Detector]

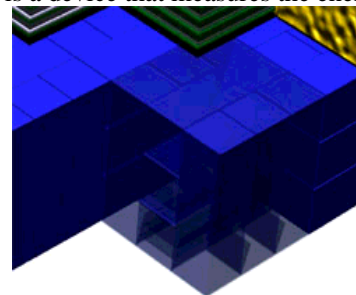
Calorimeter

The calorimeter design for GLAST produces flashes of light that are used to determine how much energy is in each gamma-ray. A calorimeter ("calorie-meter") is a device that measures the energy (heat in calories) of a particle when it is totally absorbed.

CsI(Tl) bars, arranged in a segmented manner, give both longitudinal and transverse information about the energy deposition pattern. Once a gamma ray penetrates through the



anticoincidence shield, the silicon-strip tracker and lead converter planes, it then passes into the cesium-iodide calorimeters. This causes a scintillation reaction in the cesium-iodide, and the resultant light flash is



photoelectrically converted to a voltage. This voltage is then digitized, recorded and relayed to earth by the spacecraft's onboard computer telemetry antenna. Cesium-iodide blocks are arranged in two perpendicular directions, to provide additional positional information

about the shower.

Created by: Tim Graves on July 12, 1999
Modified by: Tim Graves on July 29, 1999