Einführung in die Datenanalyse

Thomas Lück (Folien Uni Bonn)

19. März 2025

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

UNIVERSITÄT BONN

Belle II

1. Sammeln die Signale
2. Rekonstruieren das Ereignis
3. Wiederholen dies so oft es geht

Warum reicht es nicht ein Event zu finden?

UNIVERSITÄT BONN

Belle II

1. Sammeln die Signale
2. Rekonstruieren das Ereignis
3. Wiederholen dies so oft es geht

Warum reicht es nicht ein Event zu finden?

- Es gibt statistische Schwankungen
- Jede Messung beinhaltet Messfehler
- Je mehr Messpunkte desto kleiner der Fehler

WIE VIELE FARBEN HAT EIN QUARK?

- Letztes mal haben wir gelernt, wie der R-Wert und damit die Anzahl der Quark-Farben berechnet werden kann.

WIE VIELE FARBEN HAT EIN QUARK?

- Letztes mal haben wir gelernt, wie der R-Wert und damit die Anzahl der Quark-Farben berechnet werden kann.

$$R = \frac{N(\text{leichte Quarks})}{\frac{1}{2} \cdot [N(\text{Myonen}) + N(\text{Tauonen})]} = N_C \cdot \frac{10}{9}$$

WIE VIELE FARBEN HAT EIN QUARK?

- Letztes mal haben wir gelernt, wie der R-Wert und damit die Anzahl der Quark-Farben berechnet werden kann.

$$R = \frac{N(\text{leichte Quarks})}{\frac{1}{2} \cdot [N(\text{Myonen}) + N(\text{Tauonen})]} = N_C \cdot \frac{10}{9}$$

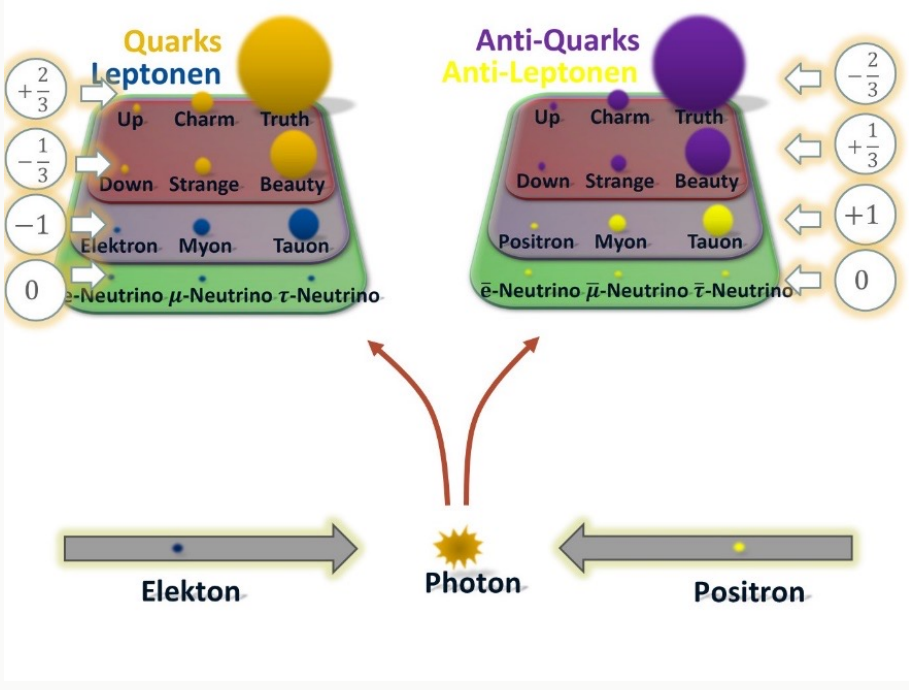
➢ Um die Anzahl der Farben zu bestimmen, müssen wir die Anzahl der verschiedenen Ereignisse bestimmen.

- Deswegen:

  ➢ Wollen wir lernen, die einzelnen Ereignisse im Detektor voneinander zu unterscheiden

WAS PASSIERT HIER EIGENTLICH GENAU?

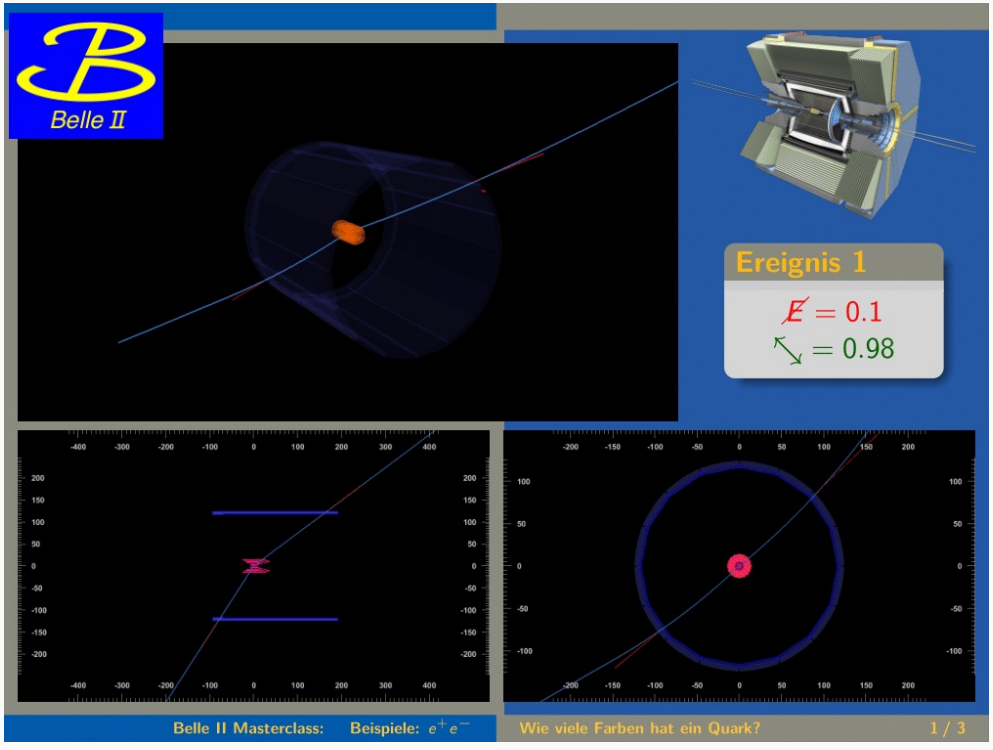
- $e^+e^- \rightarrow$ „reine Energie“ $\rightarrow$ Teilchen/Antiteilchen
- Leptonpaare:
  - **Elektron-Positron** Ereignisse
  - **Myon-Antimyon** Ereignisse
  - **Tauon-Antitauon** Ereignisse
- Quarkpaare:
  - **Leichte Quark-Antiquark** Ereignisse
  - $\mathbf{b\bar{b}}$ **Quark** Ereignisse

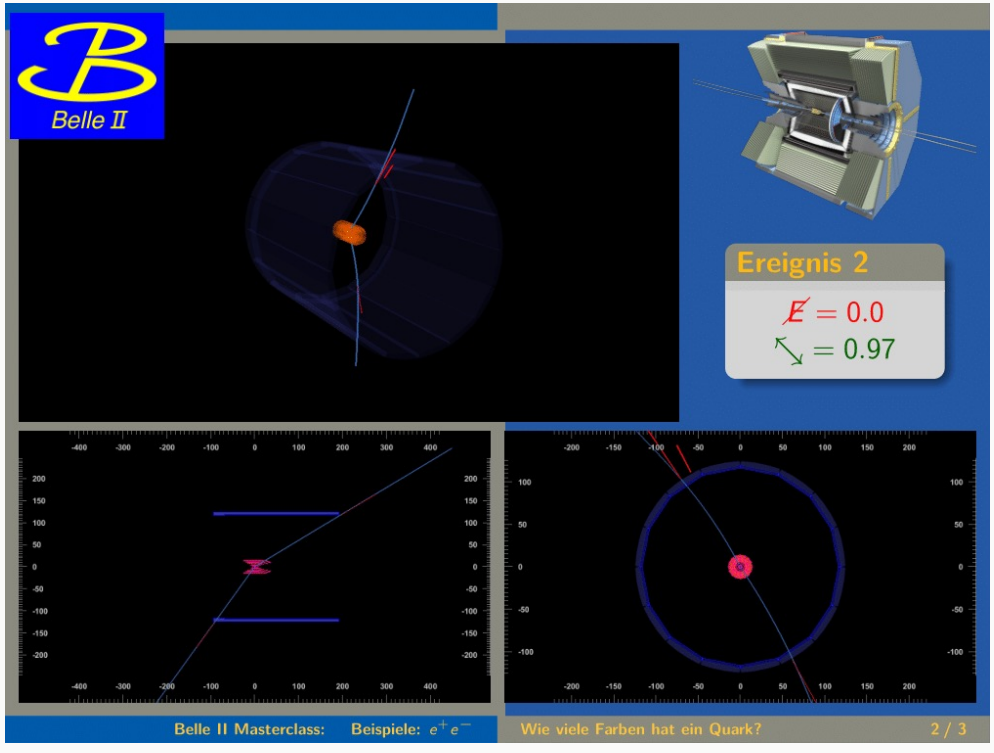


Elektron-Positron Ereignisse

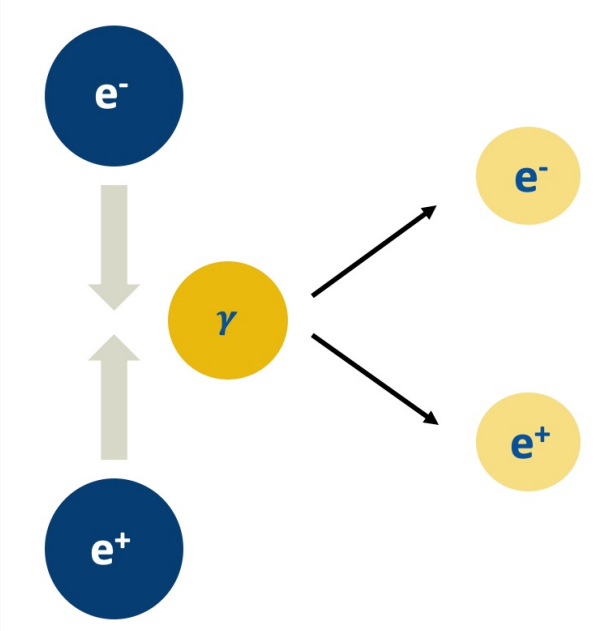
UNIVERSITÄT BONN

ELEKTRON/POSITRON-EREIGNISSE





ELEKTRON/POSITRON-EREIGNISSE



- **Zwei** klar zu erkennende **Spuren**
- Energiedeposition im Kalorimeter (rotes Signal nahe der Spur)

ELEKTRON/POSITRON-EREIGNISSE

Warum fehlen Elektron/Positron- Ereignisse in unserer Formel für den R-Wert?

$$R = \frac{N(\text{leichte Quarks})}{\frac{1}{2} \cdot [N(\text{Myonen}) + N(\text{Tauonen})]}$$

ELEKTRON/POSITRON-EREIGNISSE

Warum fehlen Elektron/Positron- Ereignisse in unserer Formel für den R-Wert?

$$R = \frac{N(\mathrm{e}^+e^- \to \gamma \to \bar{u}u, \bar{d}d, \bar{s}s, \bar{c}c)}{\frac{1}{2}[N(\mathrm{e}^+e^- \to \gamma \to \mu^+\mu^-) + N(\mathrm{e}^+e^- \to \gamma \to \tau^+\tau^-)]}$$

ELEKTRON/POSITRON-EREIGNISSE

Warum fehlen Elektron/Positron- Ereignisse in unserer Formel für den R-Wert?

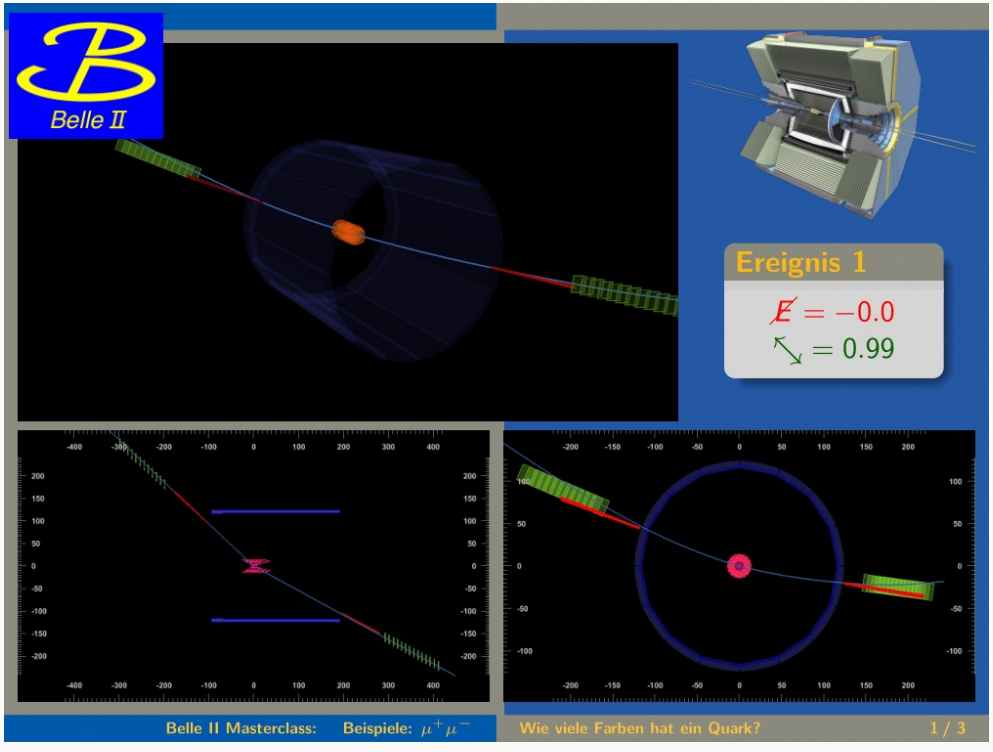
$$R = \frac{N(\mathrm{e}^+e^- \to \gamma \to \bar{u}u, \bar{d}d, \bar{s}s, \bar{c}c)}{\frac{1}{2}[N(\mathrm{e}^+e^- \to \gamma \to \mu^+\mu^-) + N(\mathrm{e}^+e^- \to \gamma \to \tau^+\tau^-)]}$$

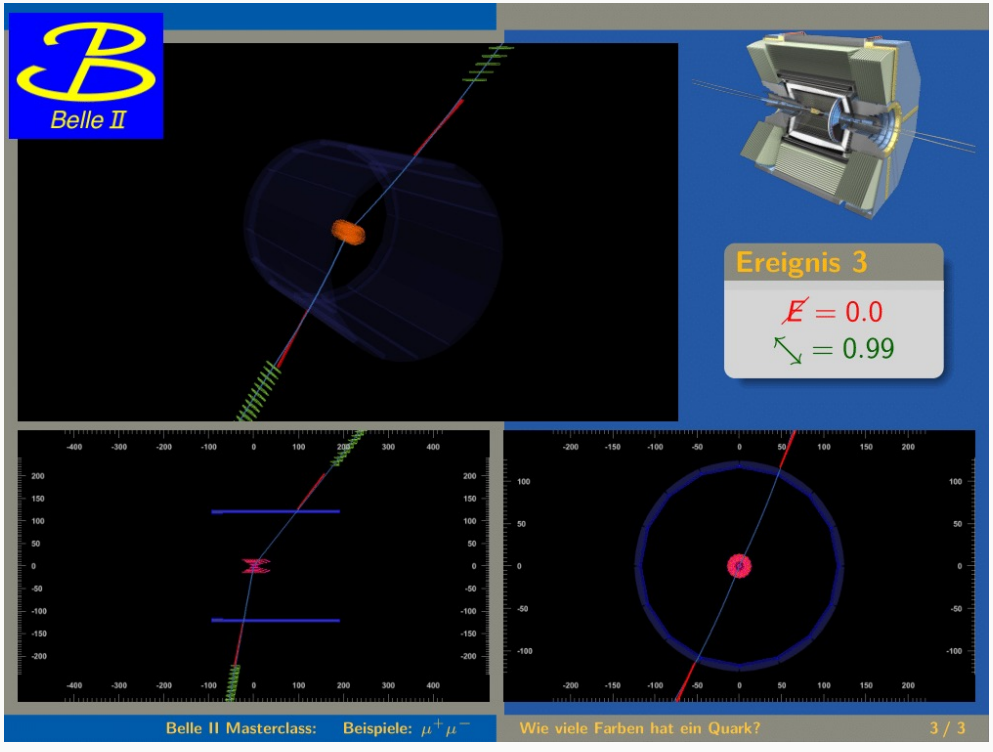
→ Häufig Elektron/Positron- Streuung

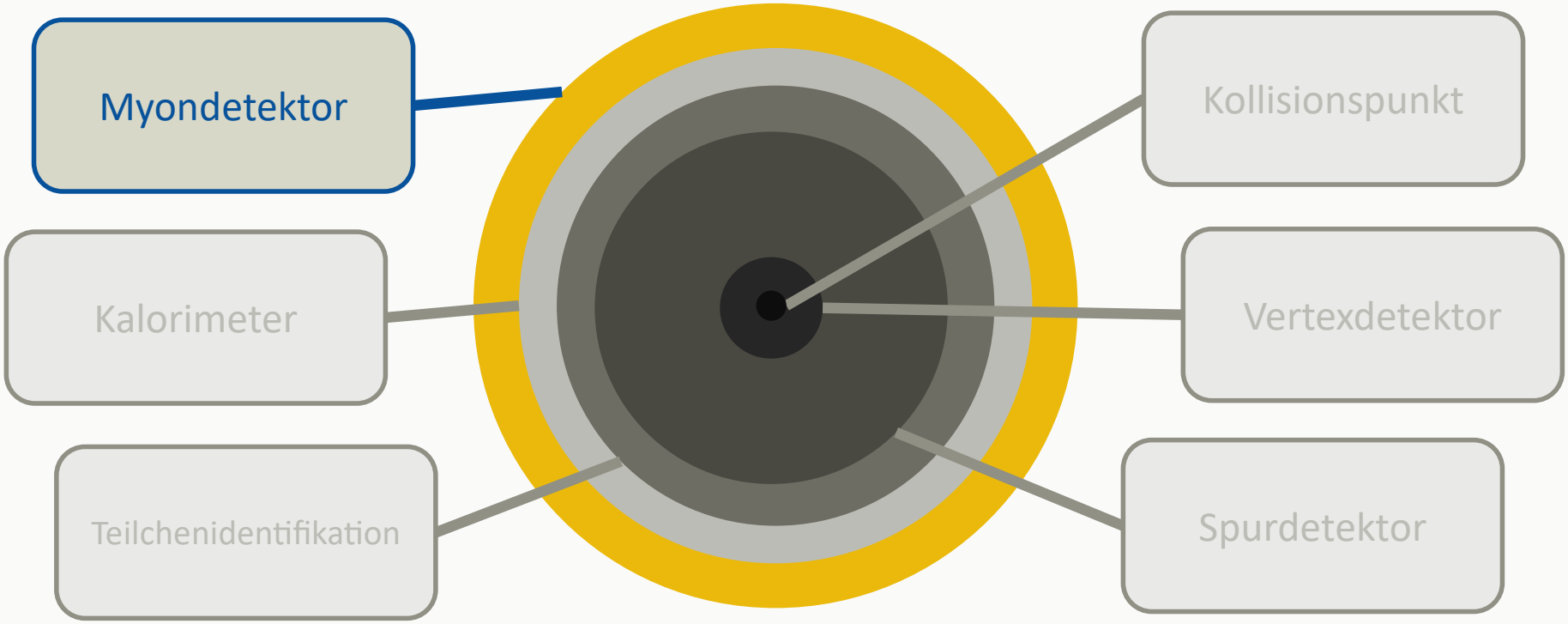
Muon-Antimuon Ereignisse

UNIVERSITÄT BONN

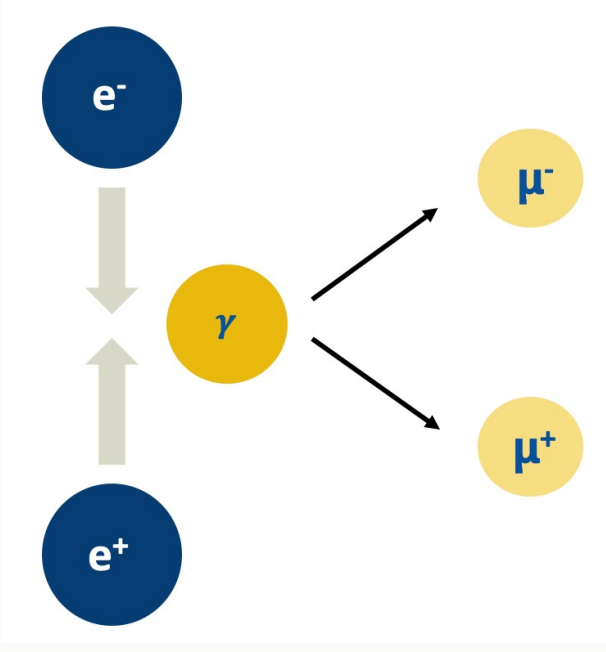
MYON/ANTIMYON-EREIGNISSE






Myondetektor
Kalorimeter
Teilchenidentifikation
Kollisionspunkt
Vertexdetektor
Spurdetektor

MYON/ANTIMYON-EREIGNISSE



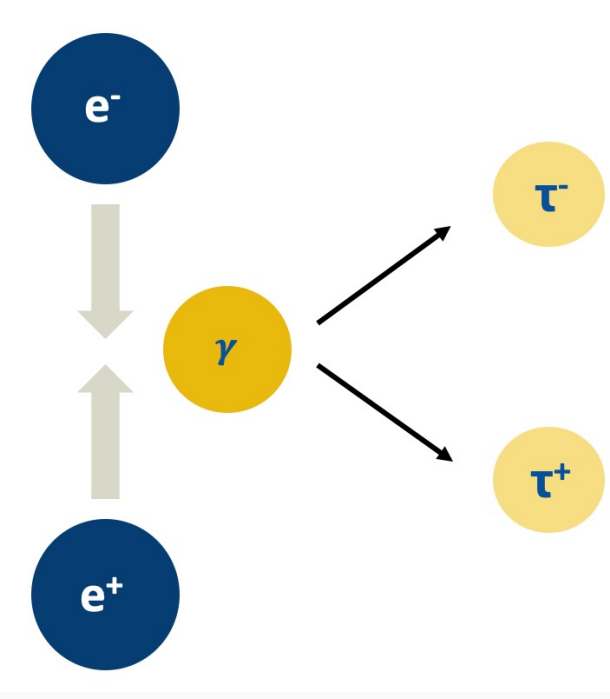
- **Zwei** klar zu erkennende **Spuren**
- Energiedeposition im Kalorimeter (rotes Signal nahe der Spur)
- Energiedeposition im Myondetektor **(grünes Signal nahe der Spur!)**

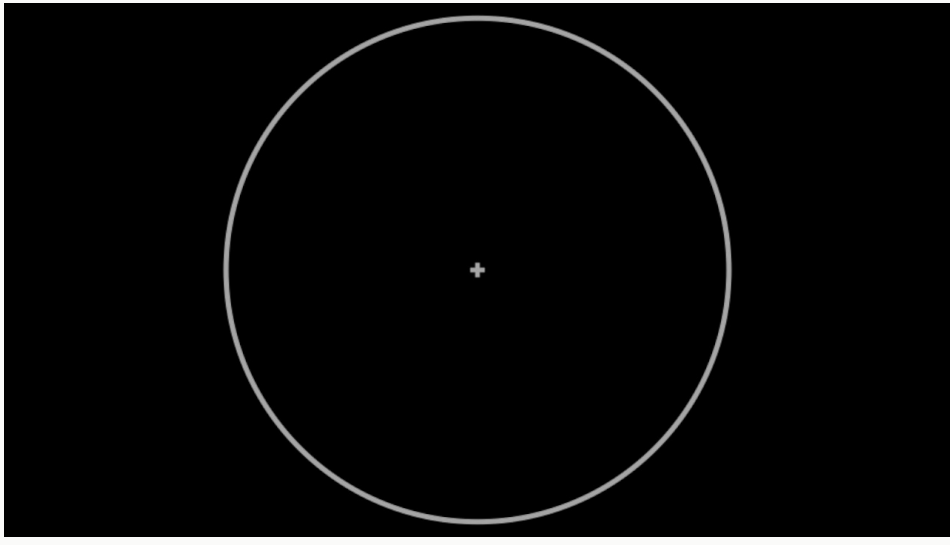
Tauon/Antitauon Ereignisse

UNIVERSITÄT BONN

Belle II

TAUON/ANTITAUON-EREIGNISSE

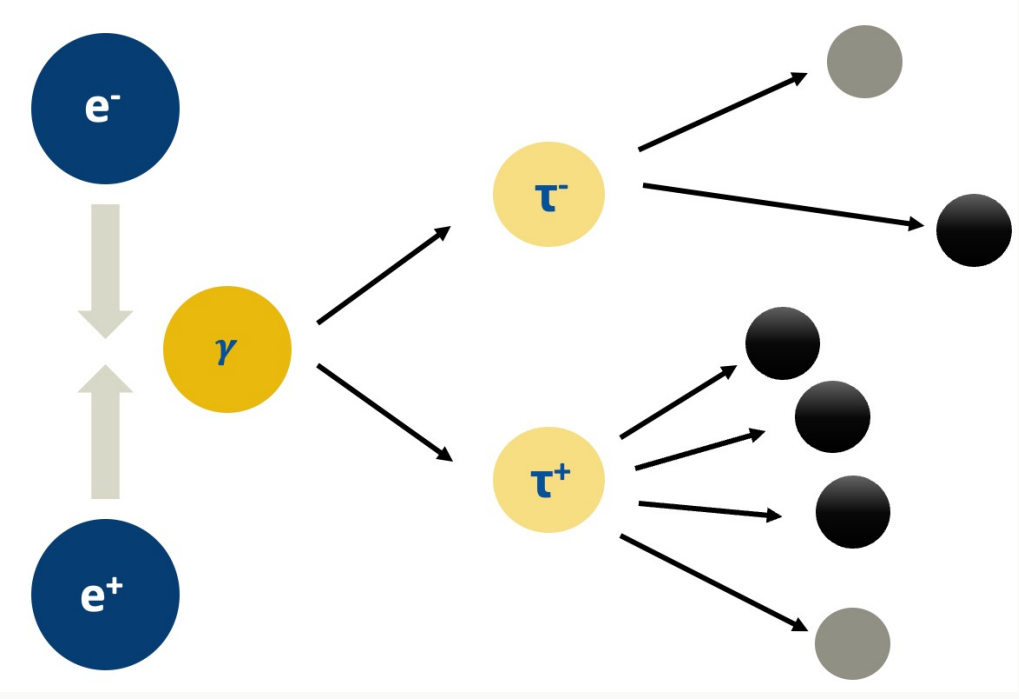


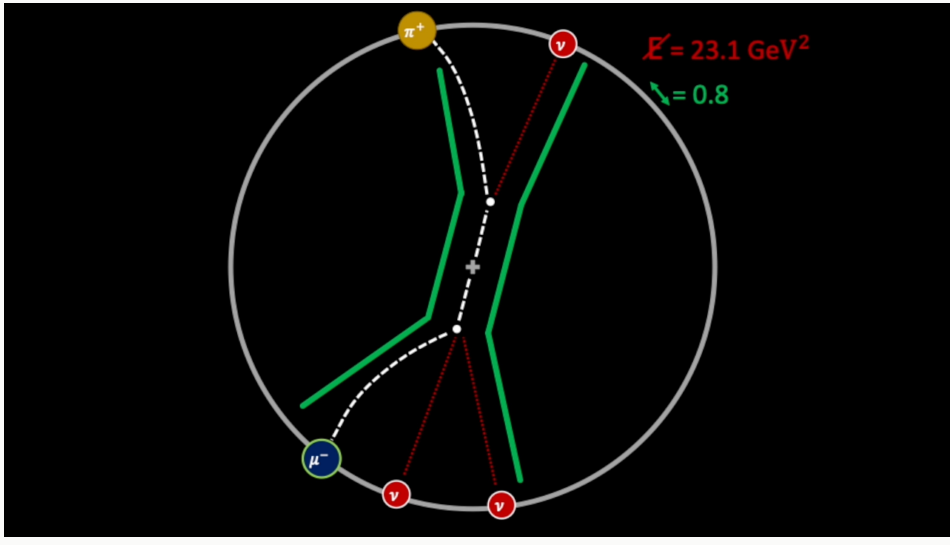


UNIVERSITÄT BONN

Belle II

TAUON/ANTITAUON-EREIGNISSE

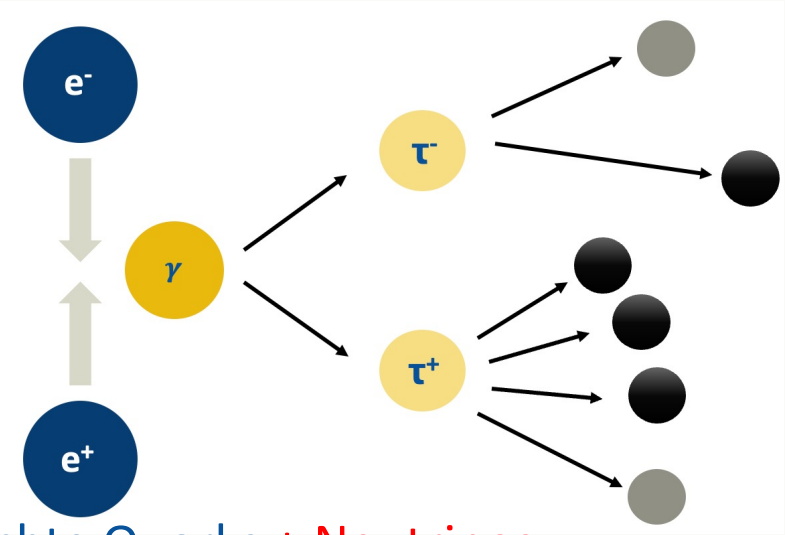




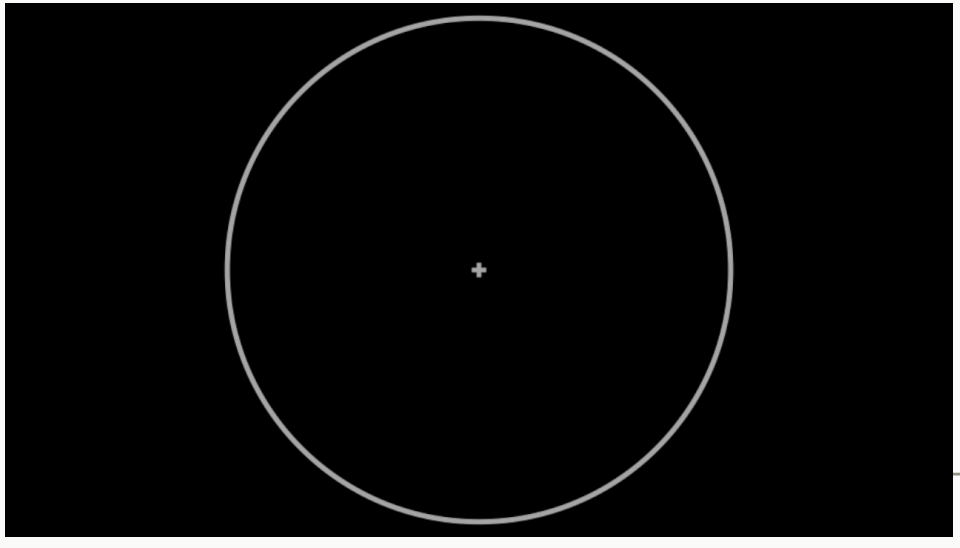
UNIVERSITÄT BONN

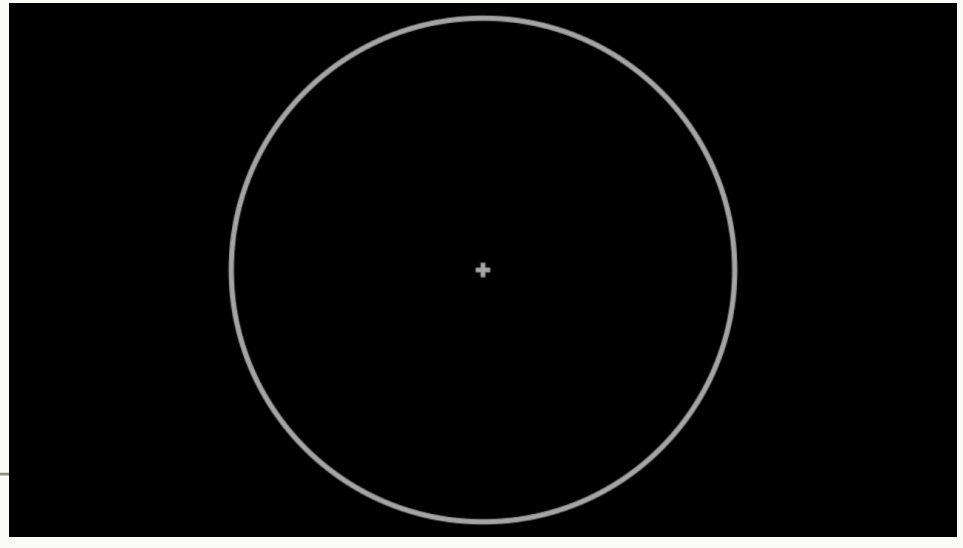
Belle II

TAUON/ANTITAUON-EREIGNISSE

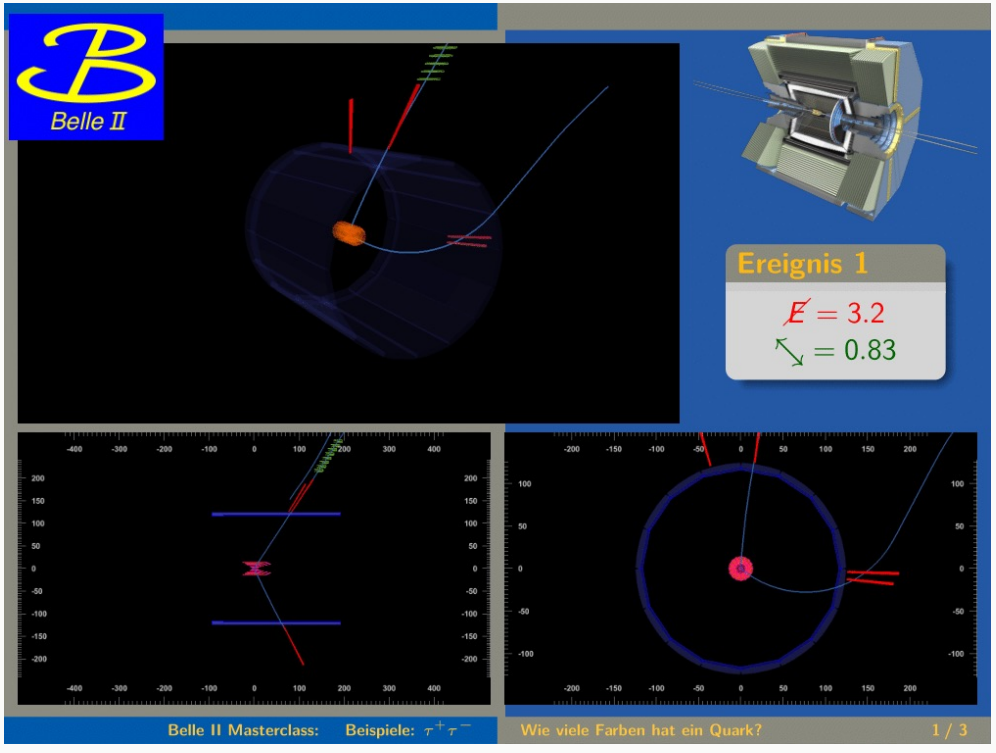


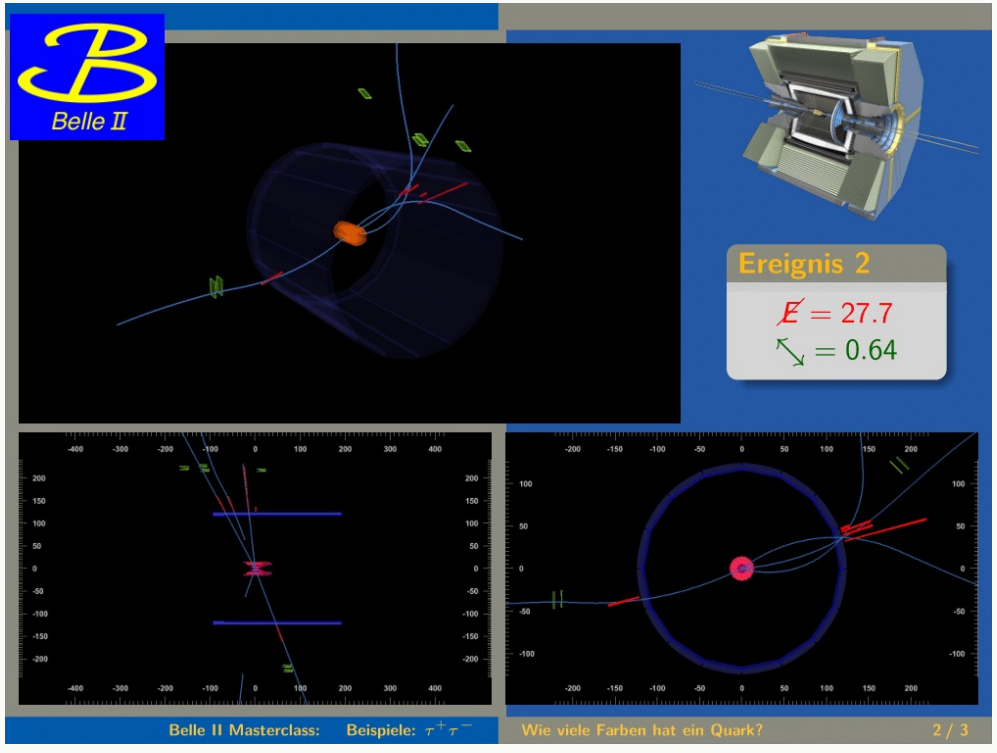
- Die Tauonen **zerfallen** kurz nach ihrer Entstehung im Detektor.
- Gibt mehrere Zerfallsmöglichkeiten:
  - In geladene Leptonen + Neutrinos
  - In leichte Quarks + Neutrinos



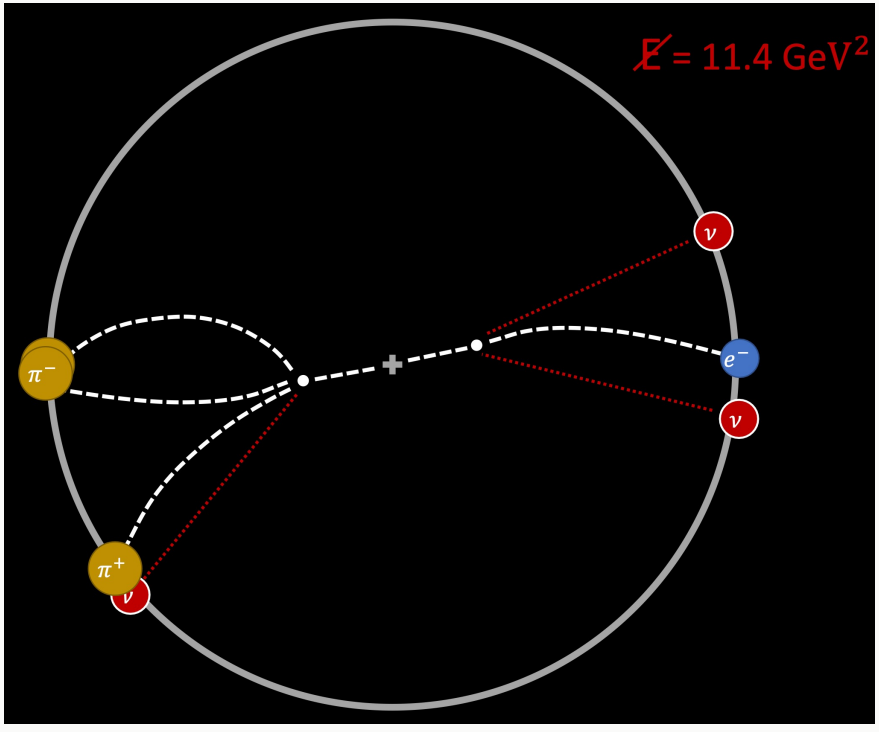


TAUON/ANTITAUON-EREIGNISSE



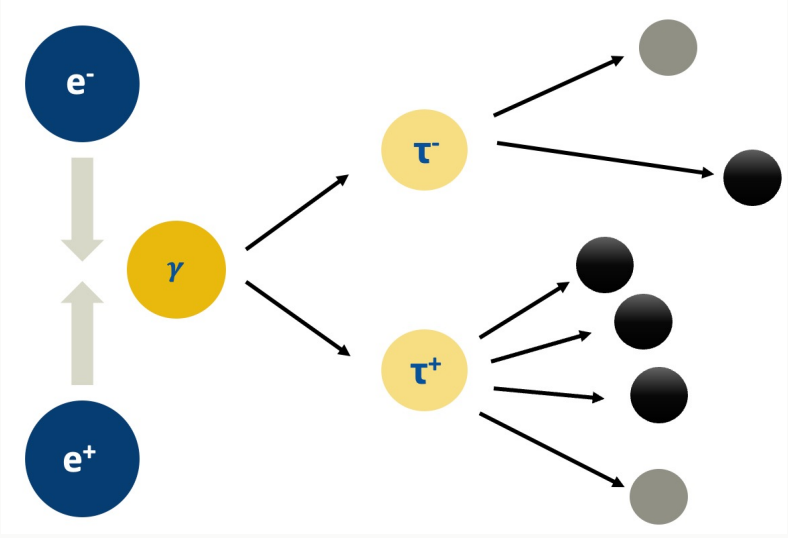


FEHLENDE ENERGIE: $\not{E}$



- **Neutrinos wechselwirken nicht** und sind nicht detektierbar → Teilchen gehen verloren
- Wir kennen die Energie im Beschleuniger (Anfangszustand)
- **Energie-/Impulserhaltung →$\not{E}$**

TAUON/ANTI-TAUON-EREIGNISSE

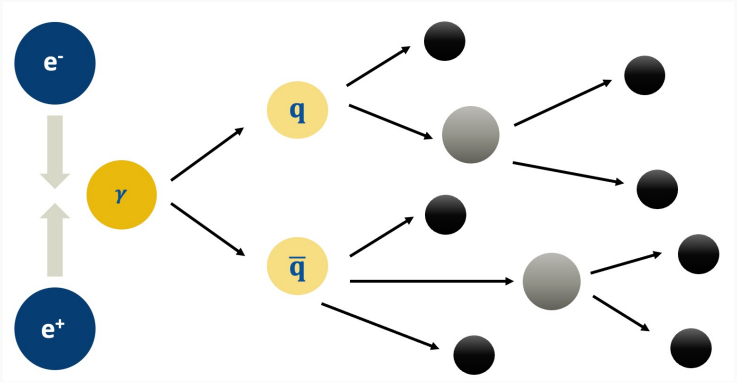


- Zerfälle führen zu **keiner einheitlichen Spuranzahl**
  - ➢ **2 oder 4 (+ Gabelstruktur)** am häufigsten
- Abhängig vom Zerfall Energiedeposition in Kalorimeter und Myondetektor
- **Hohe fehlende Energie** (durch beim Zerfall entstehende Neutrinos)

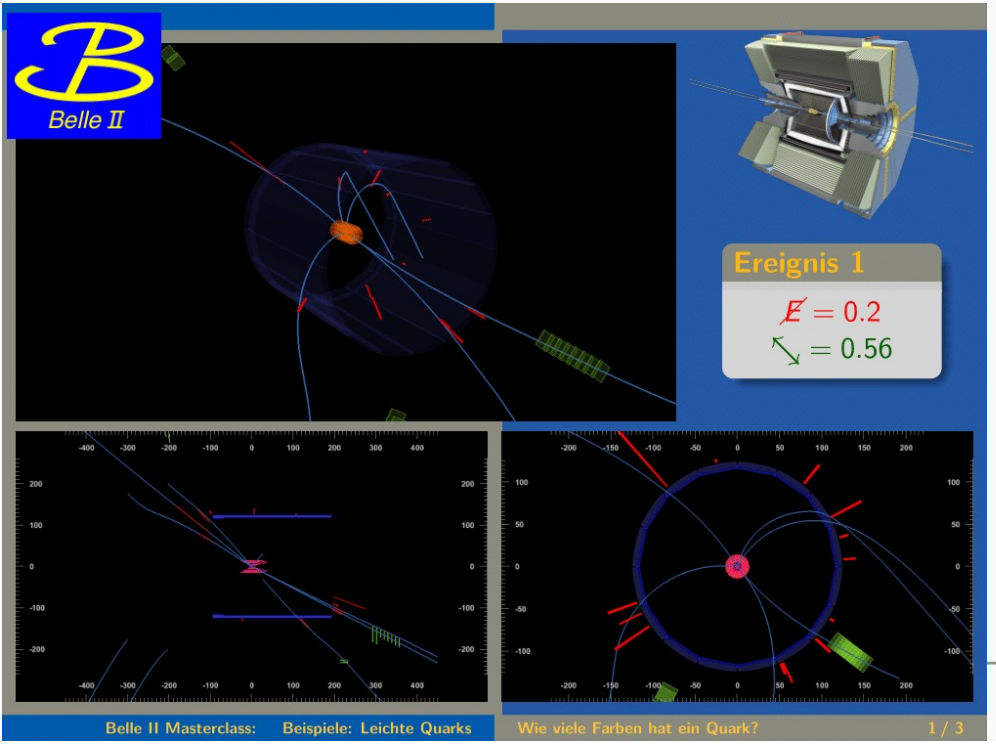
Leichte Quark/Antiquark Ereignisse

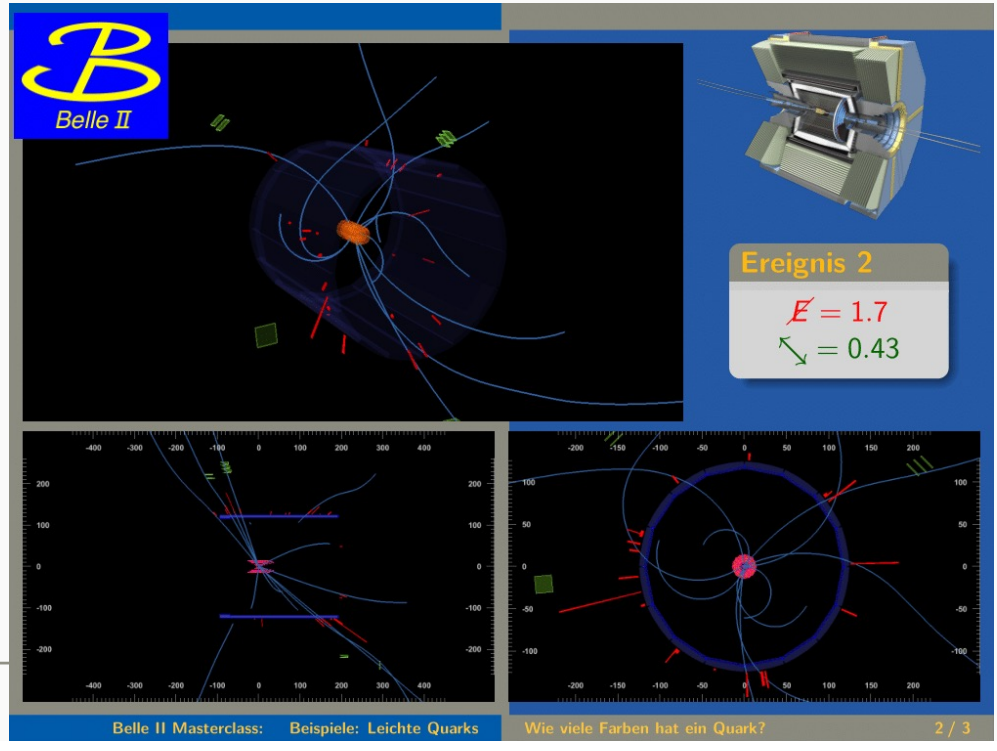
UNIVERSITÄT BONN

LEICHTE QUARK/ANTIQUARK-EREIGNISSE

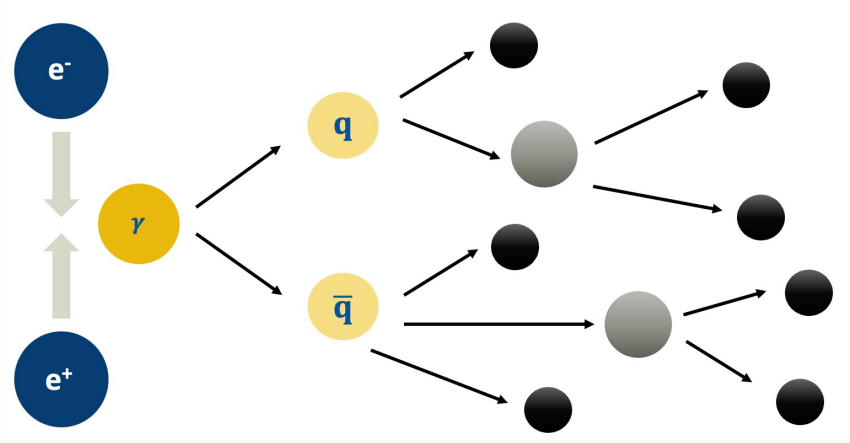


- Zerfall in viele mögliche Endzustände





LEICHTE QUARK/ANTIQUARK-EREIGNISSE

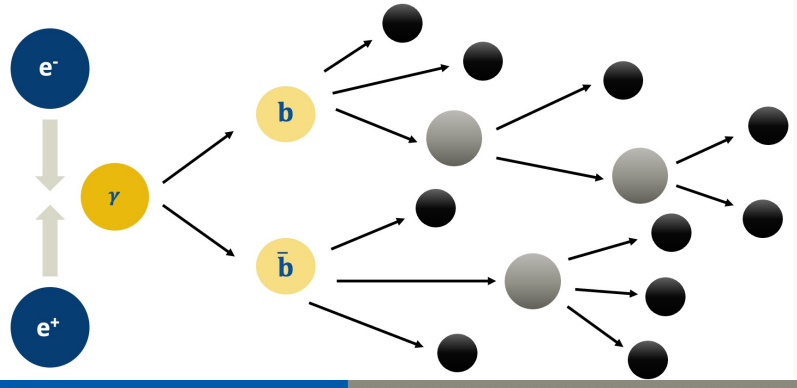


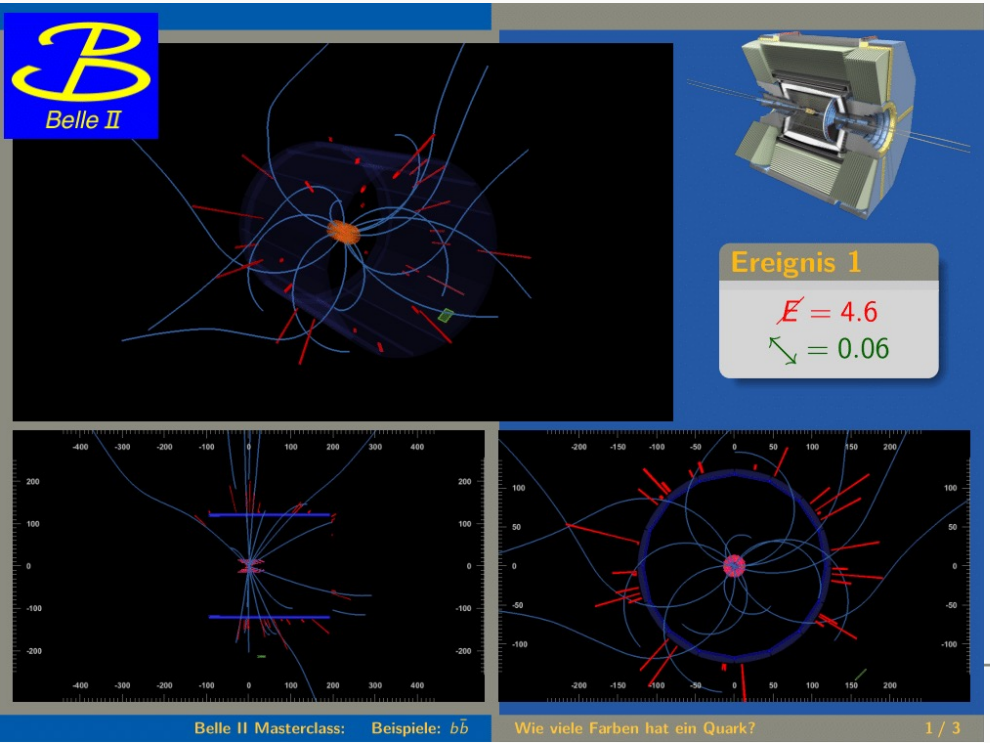
- Zerfallskaskaden führen zu **keiner einheitlichen Spuranzahl**
  - **Hohe Anzahl** häufig
- Weniger fehlende Energie durch weniger Neutrinos
- Zerfälle in mehr verschiedene Richtungen als bei den Leptonen

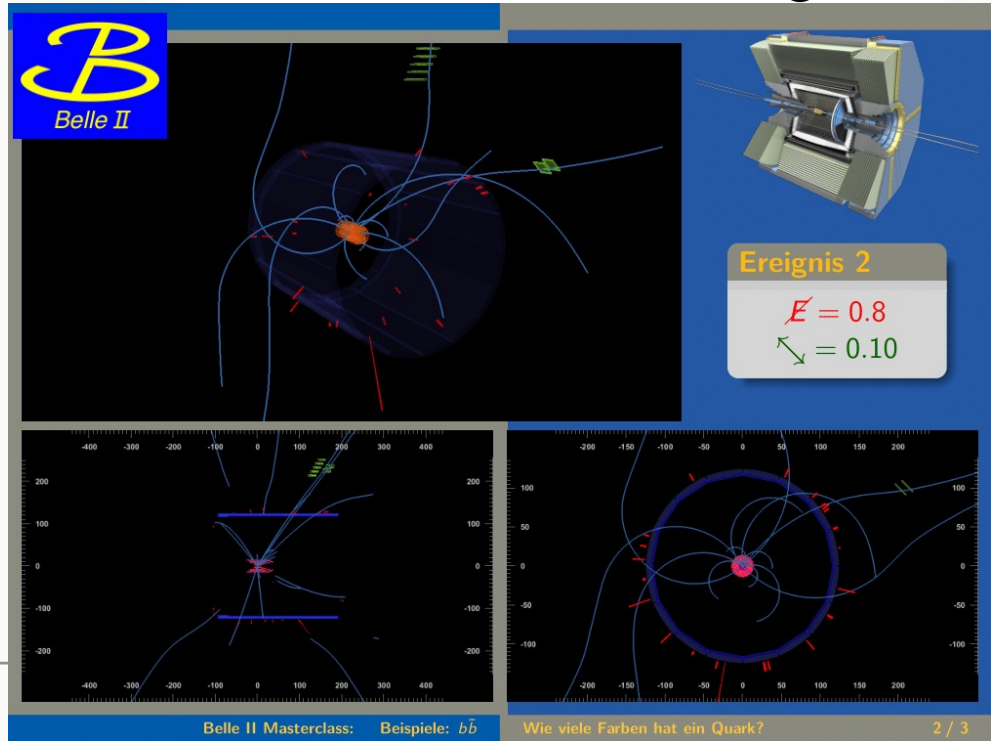
b-Quark/Anti-b-Quark Ereignisse

UNIVERSITÄT BONN

b/ANTI-b QUARK-EREIGNISSE



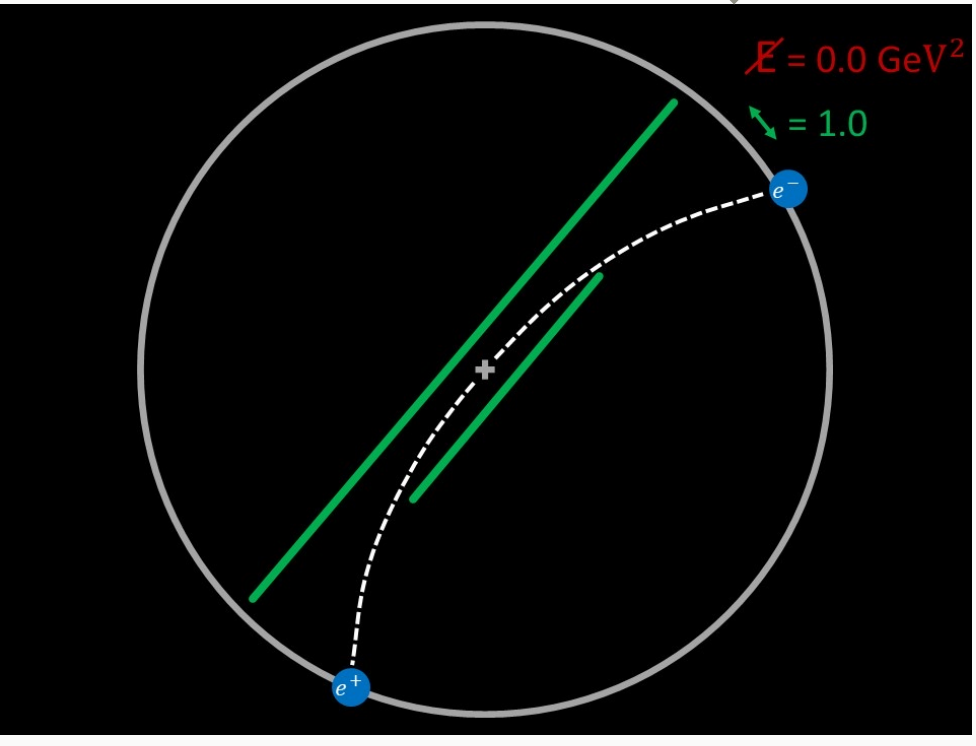


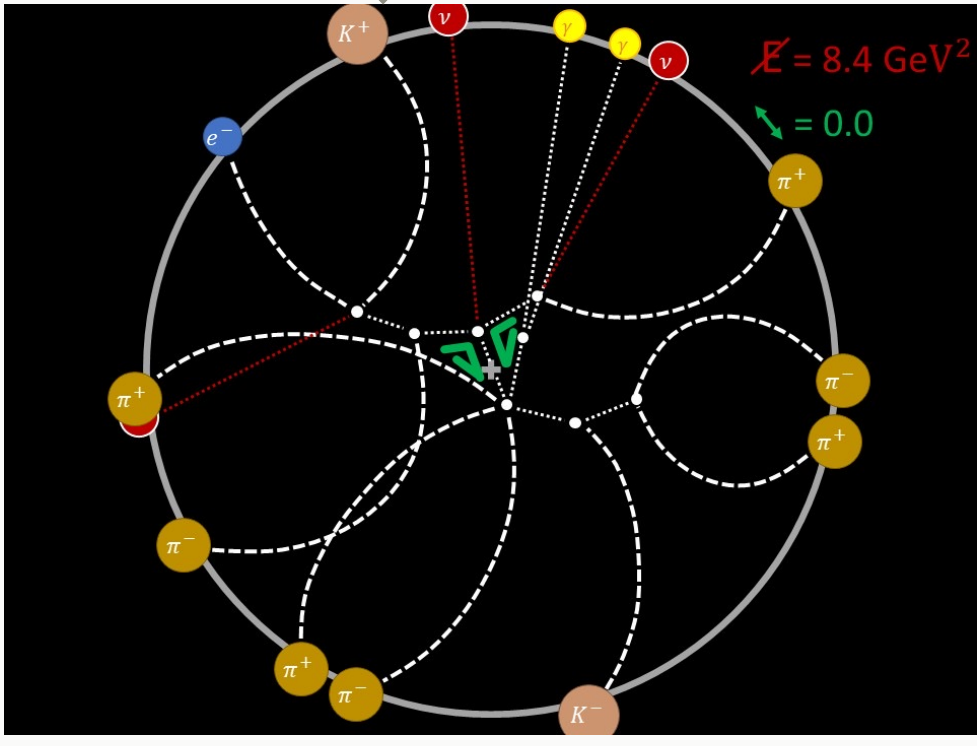


UNIVERSITÄT BONN

Belle II

GERADLINIGKEIT: ↘
ELEKTRON/POSITRON VS b-QUARKS

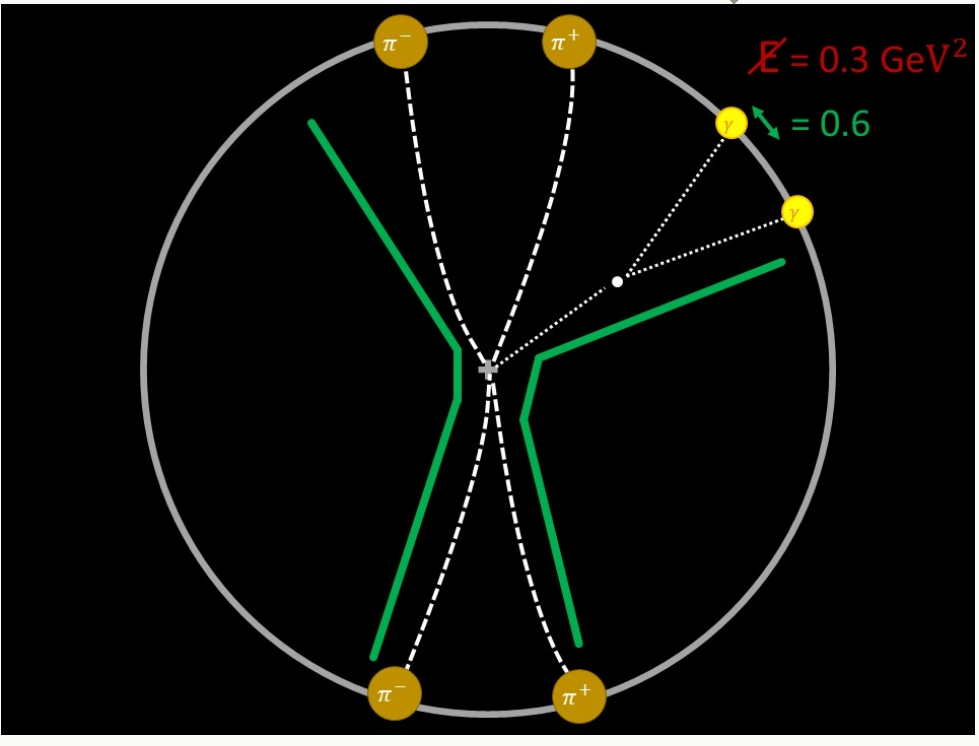


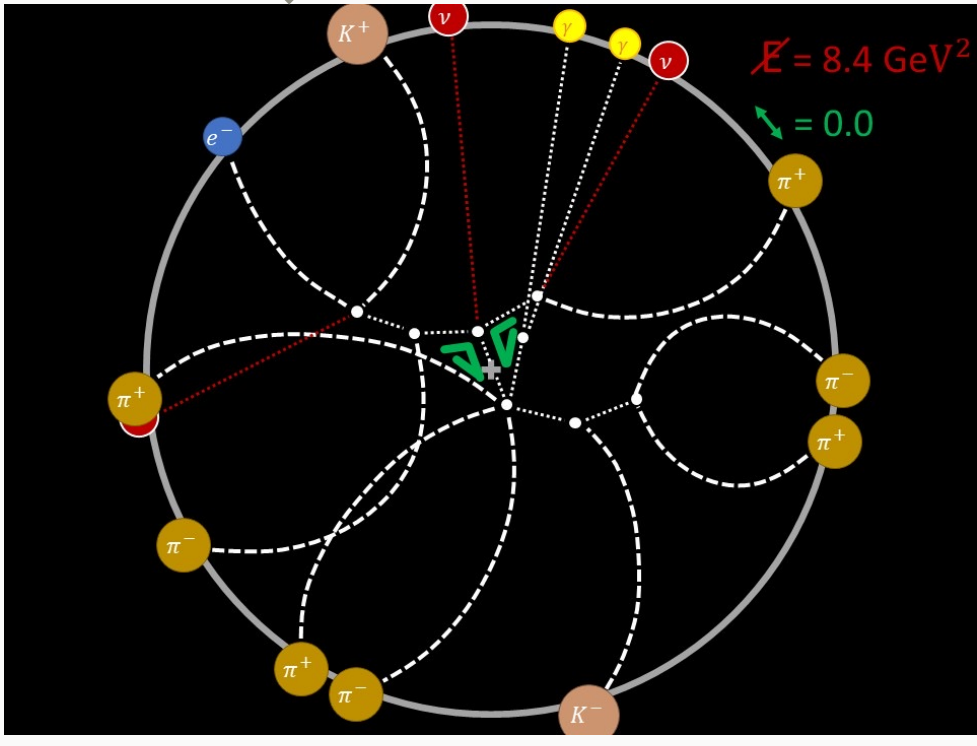


UNIVERSITÄT BONN

Belle II

GERADLINIGKEIT: ↘
LEICHTE QUARKS VS b-QUARKS

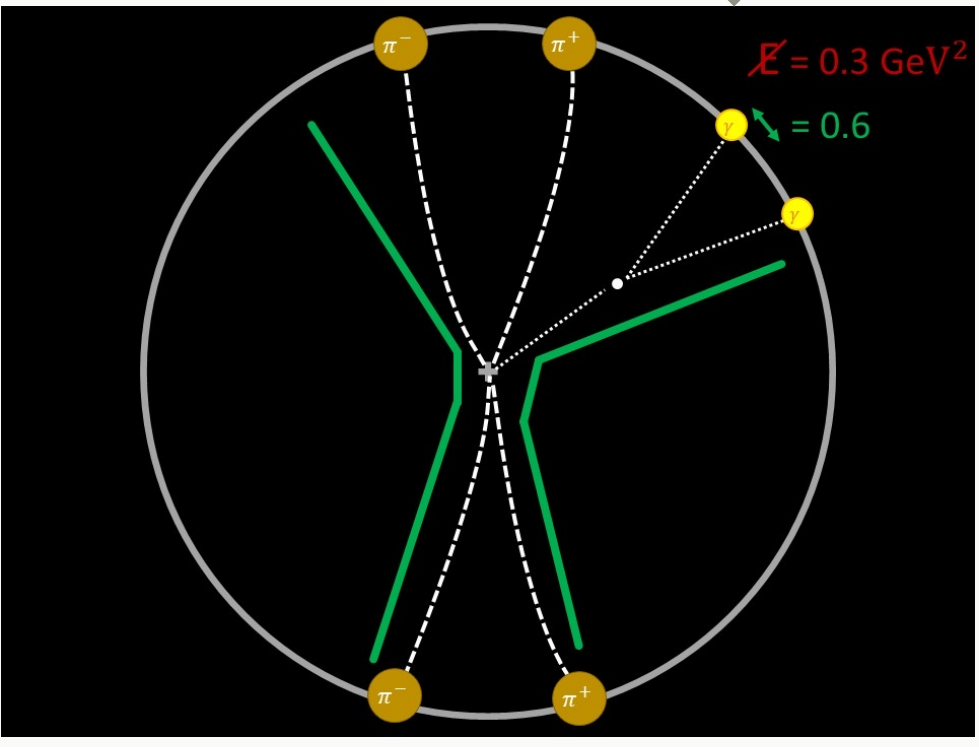


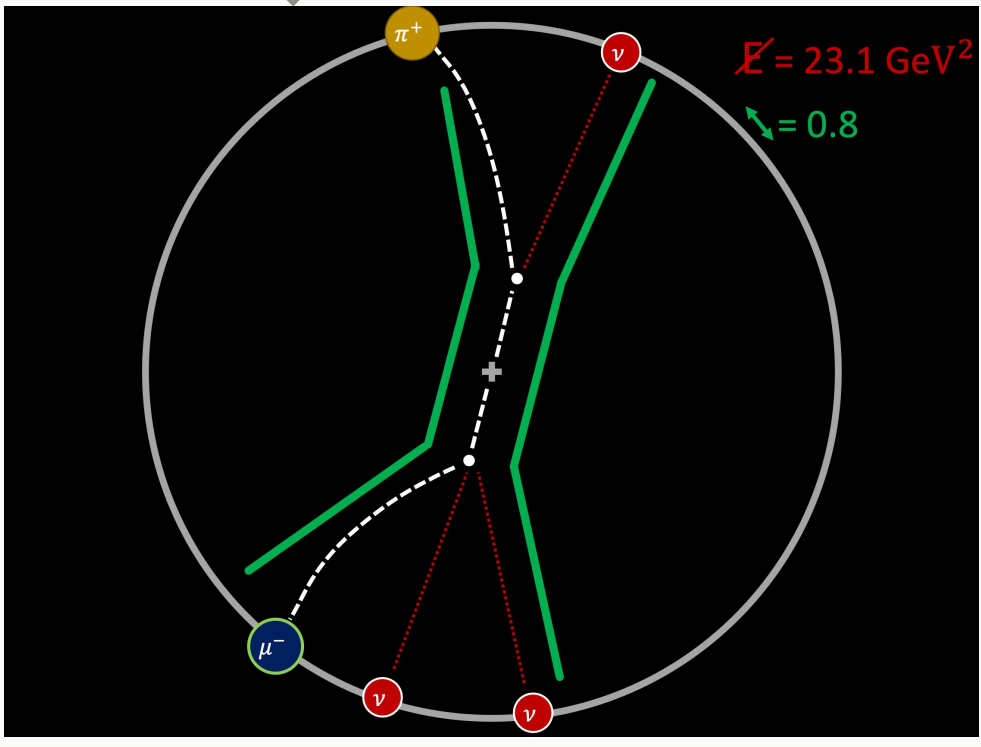


UNIVERSITÄT BONN

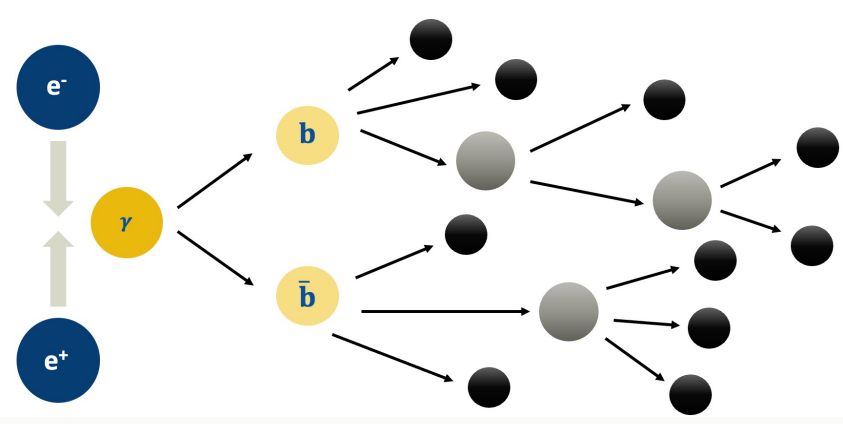
Belle II

GERADLINIGKEIT: ↘
LEICHTE QUARKS VS TAUONEN





b/ANTI-b QUARK- EREIGNISSE



- Schwerstmögliche Teilchen
  - Zerfallen in viele Teilchen und **alle Richtungen**
- Viel Energie → viele Teilchen → **viele Spuren**
- **Niedrige Geradlinigkeit** ↘

b/ANTI-b QUARK- EREIGNISSE

b-Quark- Antiquark- Ereignisse sind auch nicht in der R-Wert Formel enthalten!

$$R = \frac{N(e^+e^- \to \gamma \to \bar{u}u, \bar{d}d, \bar{s}s, \bar{c}c)}{\frac{1}{2}[N(e^+e^- \to \gamma \to \mu^+\mu^-) + N(e^+e^- \to \gamma \to \tau^+\tau^-)]}$$

→Belle-II ist „B-Fabrik“: Produziert häufig schwere „B-Mesonen“ mit b-Quarks

(Kollisionsenergie des SuperKEKB- Beschleunigers „auf Resonanz eingestellt”)

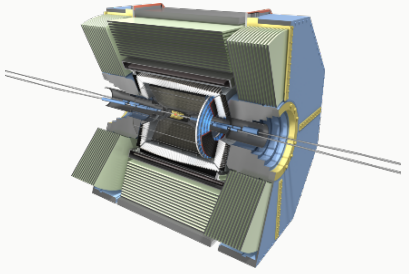
UNIVERSITÄT BONN

Belle II

NOCHMAL ALLES IM ÜBERBLICK

UNIVERSITÄT BONN

Belle II



Start

Wie viele Spuren zählst Du im Ereignis?

≤ 1

Anderes

2

Wie groß ist $\not{E}$?

≤ 5.9

Wie viele Spuren haben außen viele grüne KLM-Hits?

0

e^+e^-

2

$\mu^+\mu^-$

1

$\tau^+\tau^-$

≥ 6

3

4

Sind die Spuren ca. so ψ geformt?

ja

unsicher/nein

Wie groß ist $\not{E}$?

≥ 0

Wie groß ist ↘ ?

≥ 0.6

$\tau^+\tau^-$

≤ 0.59

$\bar{q}q$

≤ −0.1

$\bar{q}q$

5 − 11

Wie groß ist ↘ ?

≥ 0.16

$\bar{q}q$

≤ 0.15

$\bar{b}b$

≥ 12

$\bar{b}b$

UNIVERSITÄT BONN

Belle II

Ihr seid an der Reihe!

Ablauf

- öffnet die indico Seite: https://indico.mpp.mpg.de/event/10880/

Auswertung

- hier öffnet das google doc um Ergebnisse einzutragen: Auswertung (Rechtsklick dann "new tab")
- Auswertung erfolgt in Gruppen A .. Z
- jede Gruppe hat ihr eigenes Tab: "Munich A" .. "Munich Z" (Schaltfläche ganz unten im google doc, scrollen falls nötig)

Datensätze

- öffnet den link für die Datensätze: Quark-Farben (Rechtsklick dann "new tab")
- hier geht bitte in das Menü: "MEASURE QUARK COLORS" $\Rightarrow$ "MAIN TASK"
- klickt link entsprechend eurer Gruppe: "Data set A" .. "Data set Z"
- ein pdf-Dokument mit eurem Datensatz öffnet sich

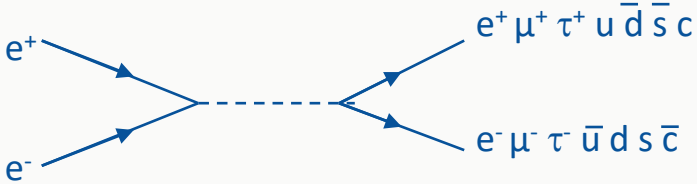
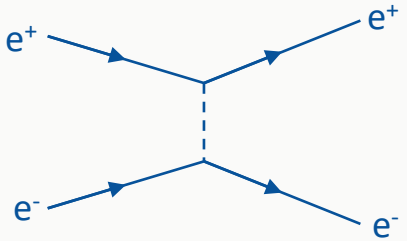
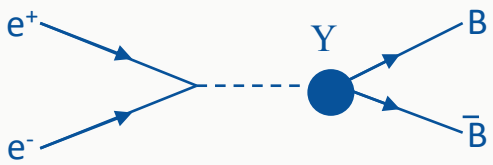
Backup

BEISPIELE FÜR EREIGNISSKLASSEN

1) $e^+ e^- \Rightarrow e^+ e^-$

2) $e^+ e^- \Rightarrow \mu^+ \mu^-$

3) $e^+ e^- \Rightarrow \tau^+ \tau^-$

4) $e^+ e^- \Rightarrow q \bar{q}$ (q = u, d, s, c)

5) $e^+ e^- \Rightarrow \Upsilon \Rightarrow B \bar{B}$