

Simulation von B-Mesonen-Zerfällen innerhalb des Sherpa Event-Generators

Frank Siegert¹, ITP/IKTP TU Dresden

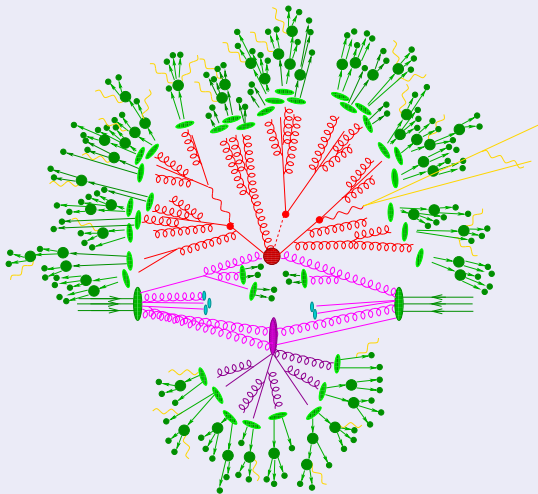
8. März 2007



¹Die Sherpas: T. Gleisberg, S. Höche, F. Krauss, S. Schumann, FS, J. Winter

Monte-Carlo Simulation für Hochenergiephysik

- Initial state parton shower (QCD)
- Underlying event
- Signal-Prozess
- Final state parton shower (QCD)
- Fragmentation
- Hadronzerfälle
⇒ dieser Vortrag



Hadronzerfälle in Sherpa: Features

Zerfallskinematik entsprechend der differentiellen Zerfallsrate

$$d\Gamma(P \rightarrow p_1 \dots p_n) = \underbrace{\frac{1}{2P}}_{\text{flux factor}} \cdot \underbrace{|\mathcal{M}|^2}_{\text{squared matrix element}} \cdot \underbrace{d\text{LiPS}}_{\text{Lorentz invariant phase space}}$$

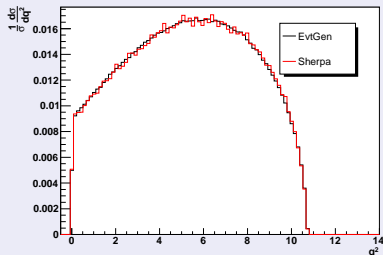
- Bibliothek von Matrix-Elementen, sehr einfach erweiterbar
- Bibliothek von Phasenraum-Integratoren, z. B. für typische Resonanzstrukturen
- Wahl der Zerfallskanäle entsprechend Zerfallstabellen (\approx PDG)
- Spin-Korrelationen zwischen Zerfällen selbst und auch zu Signal-Prozess
- Mixing neutraler Mesonen/CP Verletzung

Matrizelemente – Status

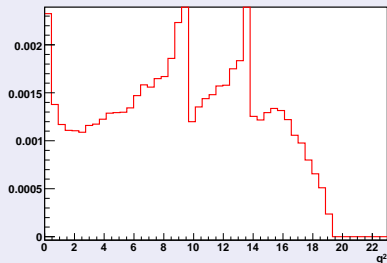
- Einige hundert Zerfallskanäle mit Matrizelementen und Formfaktoren, hauptsächlich τ und B
- Alle anderen Zerfallskanäle isotrop
- ME-Wahl und Parameter können zur Laufzeit in Textdateien verändert werden

Beispiele

$$B^+ \rightarrow \overline{D^*(2007)^0} \bar{l} \nu_l$$



$$B^+ \rightarrow K^*(892)^+ \mu^- \mu^+$$



B-Zerfälle mit Matrixelement – Auszug

- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^* \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}_2^*(2460) \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}_0^*(2400) \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}_1(2420) \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}_1(2430) \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \pi^0 \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \eta \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \eta'_{(958)} \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow f_{0(980)} \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \rho(770) \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \omega(782) \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow a_{1(1260)}^0 \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow D^- \pi^+ \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^0 \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow D^*(2010)^- \pi^+ \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) \pi^0 \nu_l l^+$
- $B^+ \rightarrow K^+ l^- l^+$
- $B^+ \rightarrow K_{(892)}^{*+} l^+ l^-$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 K^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) \pi^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+ \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 K^+ K_S$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 K^+ K_L$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 K_S \pi^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+ K_L$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 K^+ \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) \pi^+ \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ K_S$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ K_L$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K_S \pi^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) \pi^+ K_L$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+ \pi^0 \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K_S \pi^+ \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) \pi^+ K_L \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ \pi^+ \pi^-$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ \pi^0 \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ K^- \pi^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ K_S \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ K_L \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K_S \pi^+ K_L$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K_S K_S \pi^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+ K_L K_L$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 K^+ K^+ K^-$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) \pi^+ \pi^+ \pi^-$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) \pi^+ \pi^0 \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K_S \pi^+ \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) \pi^+ K_L \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ \pi^+ \pi^-$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ \pi^0 \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ K^- \pi^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ K_S \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K^+ K_L \pi^0$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K_S \pi^+ K_L$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) K_S K_S \pi^+$
- $B^+ \rightarrow \bar{D}^*(2007) \pi^+ K_L K_L$

Mixing neutraler Mesonen und CP-Verletzung

Massen-Eigenzustände \neq Flavour-Eigenzustände

$$|N_h\rangle = p|N^0\rangle - q|\overline{N^0}\rangle \quad \gamma_h = im_h + \frac{\Gamma_h}{2}$$

$$|N_l\rangle = p|N^0\rangle + q|\overline{N^0}\rangle \quad \gamma_l = im_l + \frac{\Gamma_l}{2}$$

$$|N_{\text{phys}}^0(t)\rangle = \frac{1}{2} \left((e^{-\gamma_h t} + e^{-\gamma_l t})|N^0\rangle - \frac{q}{p}(e^{-\gamma_h t} - e^{-\gamma_l t})|\overline{N^0}\rangle \right)$$

Mixing-Amplituden am Beispiel B^0 ($\Delta\Gamma \approx 0$)

$$\mathcal{M}_m(B_{\text{phys}}^0 \rightarrow \overline{B^0}) \sim i \frac{q}{p} \sin\left(\frac{\Delta m}{2} t\right)$$

$$\mathcal{M}_m(\overline{B}_{\text{phys}}^0 \rightarrow B^0) \sim i \frac{p}{q} \sin\left(\frac{\Delta m}{2} t\right)$$

Besonderheiten der Zeitabhängigkeit bei kohärenten Meson-Paaren

- Kohärente B -Paare: $\Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$
 \implies immer genau ein B und ein \bar{B} bis zum Tagging-Zerfall
- Zerfall des $B(\bar{B})$ in einen identifizierbaren Flavour-Eigenzustand (Tag) \iff Zustand des $\bar{B}(B)$ zur Zeit $t = t_{\text{tag}}$ festgelegt
 $\implies \bar{B}(B)_{\text{phys}}^0(t - t_{\text{tag}})$ Zeitentwicklung, auch für $t - t_{\text{tag}} < 0$

Fazit

- $t \rightarrow 0$ (also keine Mixing-Effekte) für Tagging-Zerfall
- $t \rightarrow \Delta t = t_{\text{dec}} - t_{\text{tag}}$ in allen Mixing-Wahrscheinlichkeiten und CP-Asymmetrien des Signal-Zerfalls.

Relevante Phänomene: Direkte CP-Verletzung

- Zerfallsamplituden für Endzustand f :

$$A_f = \mathcal{M}(B \rightarrow f)$$

$$\bar{A}_{\bar{f}} = \mathcal{M}(\bar{B} \rightarrow \bar{f})$$

- Asymmetry durch

$$\left| \frac{\bar{A}_{\bar{f}}}{A_f} \right| \neq 1$$

Implementation

Unterschiedliche Zerfallstabellen (+ evtl. MEs) für Meson und Anti-Meson

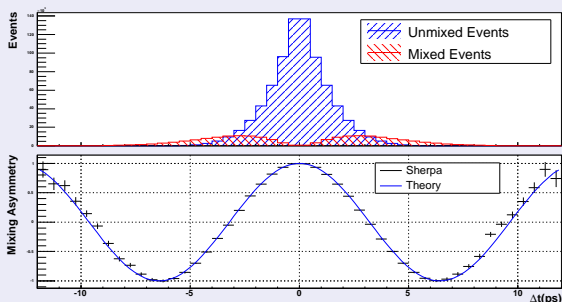
Relevante Phänomene: Explizites Mixing/CP-Verletzung

$$P(N^0 \rightarrow \bar{N}^0) \sim \left| \frac{q}{p} \right|^2 \left(\cosh \frac{\Delta\Gamma t}{2} - \cos \Delta m t \right)$$

$$P(\bar{N}^0 \rightarrow N^0) \sim \left| \frac{p}{q} \right|^2 \left(\cosh \frac{\Delta\Gamma t}{2} - \cos \Delta m t \right)$$

$$\text{CP-Verletzung: } \left| \frac{q}{p} \right| \neq 1 \iff P(N^0 \rightarrow \bar{N}^0) \neq P(\bar{N}^0 \rightarrow N^0)$$

Implementation: Bsp. $B^0\bar{B}^0$ -Paare, $\Delta\Gamma \approx 0$, $\left| \frac{q}{p} \right| = 1$



Relevante Phänomene: CP-Verletzung in der Interferenz

Zerfälle in gemeinsamen Endzustand f

- Zerfallsamplituden:

$$\mathcal{M}(B_{\text{phys}}^0 \rightarrow f) = \mathcal{M}_m(B_{\text{phys}}^0 \rightarrow B^0) \cdot \mathcal{M}_d(B^0 \rightarrow f) + \mathcal{M}_m(B_{\text{phys}}^0 \rightarrow \bar{B}^0) \cdot \mathcal{M}_d(\bar{B}^0 \rightarrow f)$$

$$\mathcal{M}(\bar{B}_{\text{phys}}^0 \rightarrow f) = \mathcal{M}_m(\bar{B}_{\text{phys}}^0 \rightarrow B^0) \cdot \mathcal{M}_d(B^0 \rightarrow f) + \mathcal{M}_m(\bar{B}_{\text{phys}}^0 \rightarrow \bar{B}^0) \cdot \mathcal{M}_d(\bar{B}^0 \rightarrow f)$$

- Asymmetry:

$$A_{CP} = \frac{\Gamma(B_{\text{phys}}^0 \rightarrow f) - \Gamma(\bar{B}_{\text{phys}}^0 \rightarrow f)}{\Gamma(B_{\text{phys}}^0 \rightarrow f) + \Gamma(\bar{B}_{\text{phys}}^0 \rightarrow f)}$$

Für CP-Eigenzustand f_{CP} mit $\lambda_{f_{CP}} = \eta_{CP} \frac{q}{p} \frac{\bar{A}_f}{A_f}$

$$A_{CP} = \Im(\lambda_{f_{CP}}) \sin(\Delta m_B t)$$

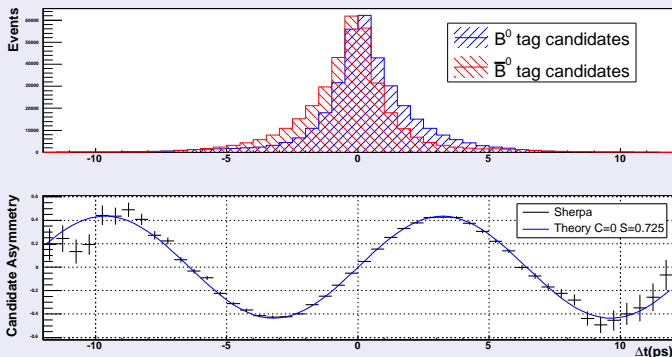
Allgemeiner:

$$A_{CP} = S \cdot \sin(\Delta m_B t) - C \cdot \cos(\Delta m_B t)$$

Relevante Phänomene: CP-Verletzung in der Interferenz

Beispiel: $B_d \rightarrow J/\Psi K_S$

- $\Im(\lambda_{f_{CP}}) = \sin(2\beta)$
- Mistag fraction $w = 0.2$



Zusammenfassung

- Alle Hadronenzerfälle können von Sherpa simuliert werden, viele auch mit Matrixelementen.
- Neutrale Mesonen können inkl. Mixing-Phänomenen beschrieben werden.
- Interface von Sherpa zu LHCb Production und LHCb Decay existiert (→ Jan Stieglitz, T511.5)

Ausblick

- Implementierung von zusätzlichen Matrixelementen und Formfaktoren
- Komplettierung der B-Zerfallstabellen (PDG + Verknüpfung mit partonischen Zerfällen + Shower wo nötig)
- Freigabe mit einem Sherpa-Release im Sommer 2007