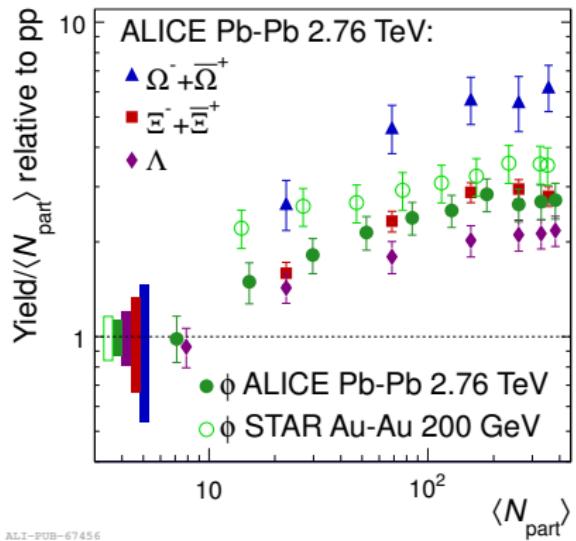


Anden øvelse

Bestemme strangeness enhancement

Christian Holm Christensen
Niels Bohr Institutet



Overblik

- ① Første øvelse
- ② Stor-skala analyse
- ③ Modellering
- ④ Strangeness Enhancement
- ⑤ Opgaven



Overblik

① Første øvelse

② Stor-skala analyse

③ Modellering

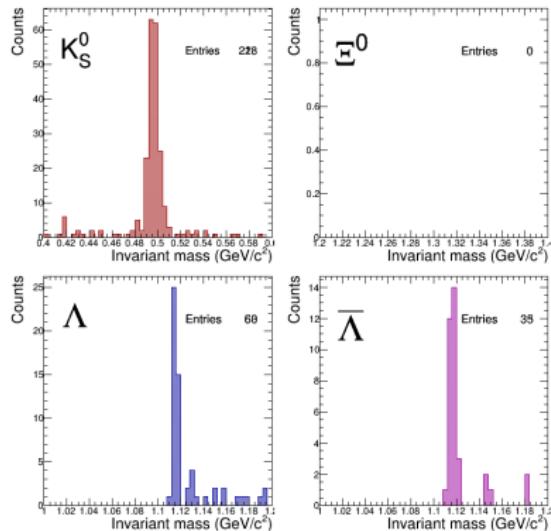
④ Strangeness Enhancement

⑤ Opgaven



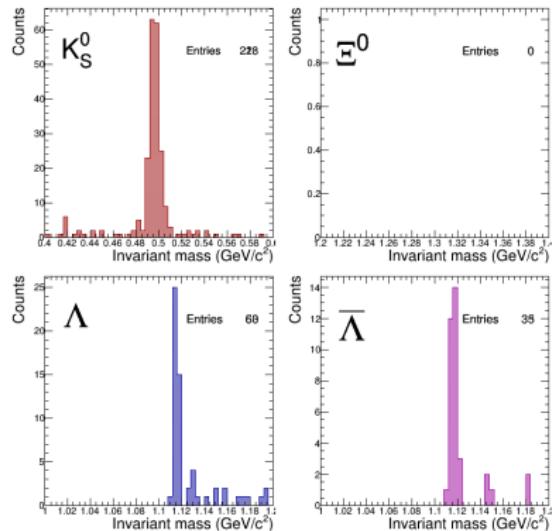
Fra første øvelse

- Invariant masse spektra
 - K_S^0
 - Λ
 - $\bar{\Lambda}$
- Pænt centreret om m
- Ingen baggrund



Fra første øvelse

- Invariant masse spektra
 - K_S^0
 - Λ
 - $\bar{\Lambda}$
- Pænt centreret om m
- Ingen baggrund



Den menneskelige hjerne er god til mønsterenkendelse



Overblik

① Første øvelse

② Stor-skala analyse

③ Modellering

④ Strangeness Enhancement

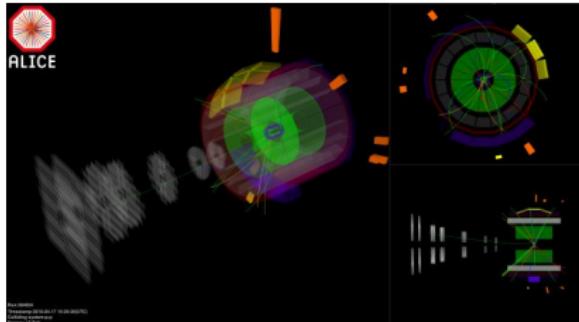
⑤ Opgaven



pp versus Pb–Pb kollisioner

pp kollisioner

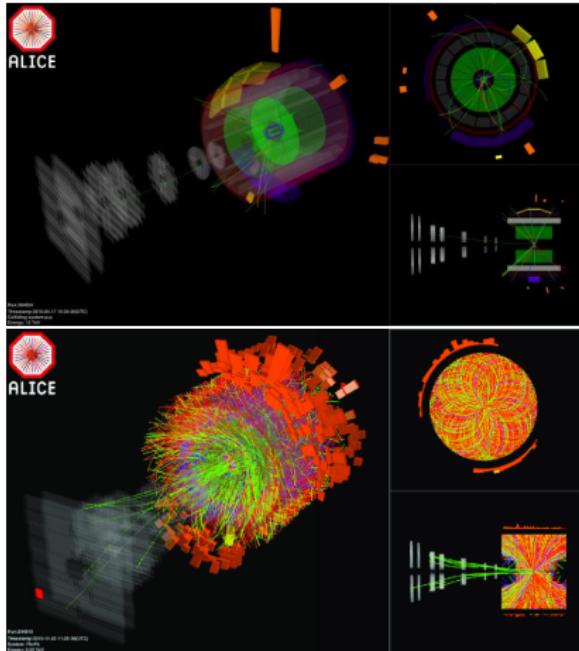
- Få spor (mellem 1 og 100)
 - Nemme at skille ad
 - Nemt at finde V0'er



pp versus Pb–Pb kollisioner

pp kollisioner

- Få spor (mellem 1 og 100)
 - Nemme at skille ad
 - Nemt at finde V0'er



Pb–Pb kollisioner

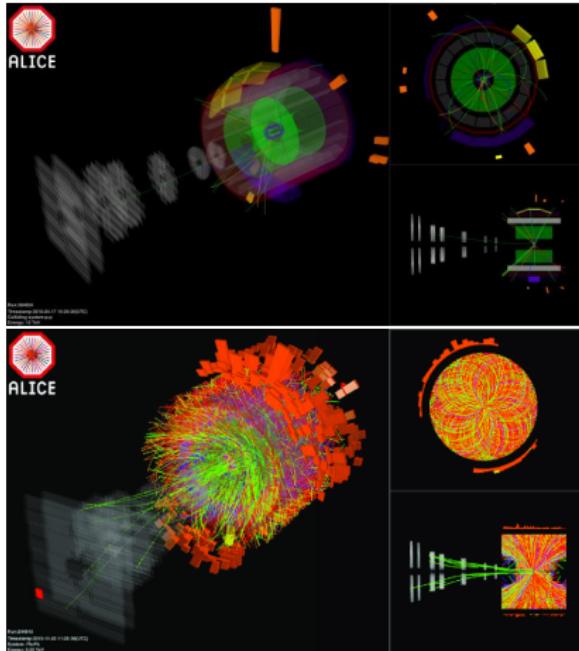
- Mange spor (mellem 100 og 1000)
 - Ikke til at holde styr på
 - Sværere at skille ad
 - Svært at finde V0'er



pp versus Pb–Pb kollisioner

pp kollisioner

- Få spor (mellem 1 og 100)
 - Nemme at skille ad
 - Nemt at finde V0'er



Pb–Pb kollisioner

- Mange spor (mellem 100 og 1000)
 - Ikke til at holde styr på
 - Sværere at skille ad
 - Svært at finde V0'er

Brug computer til at finde V0'er

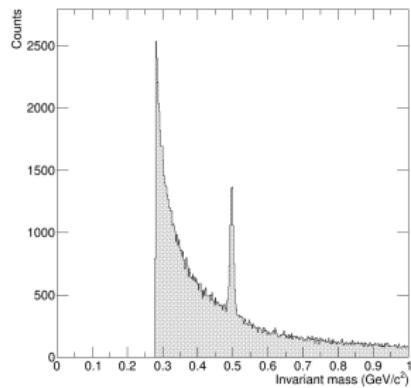


Stor-skala analyse

For eksempel

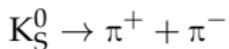
$$K_S^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$$

- Lav alle kombinationer af π^+ og π^-
- Beregn den invariante masse m for hver kombination
 - Giver spektrum af m

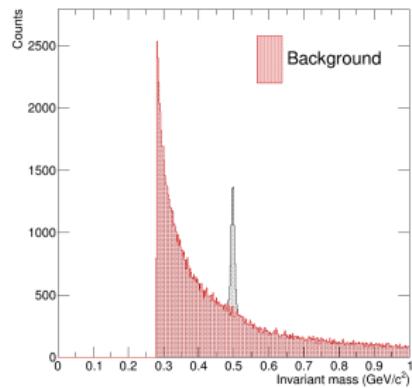


Stor-skala analyse

For eksempel



- Lav alle kombinationer af π^+ og π^-
- Beregn den invariante masse m for hver kombination
 - Giver spektrum af m
 - Nogle kombinationer kommer ikke fra K_S^0
– baggrund

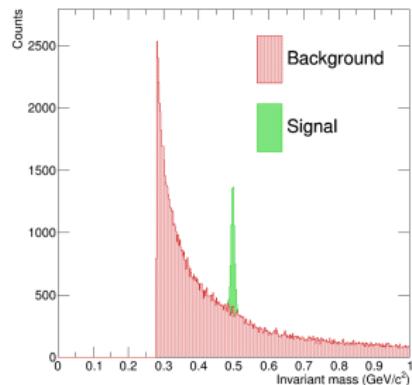


Stor-skala analyse

For eksempel

$$K_S^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$$

- Lav alle kombinationer af π^+ og π^-
- Beregn den invariante masse m for hver kombination
 - Giver spektrum af m
 - Nogle kombinationer kommer ikke fra K_S^0 – **baggrund**
 - De kombinationer der er fra K_S^0 viser sig som top – **signal**

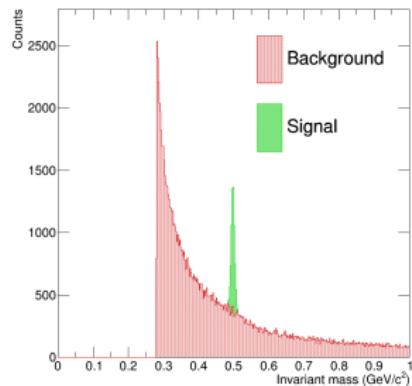


Stor-skala analyse

For eksempel

$$K_S^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$$

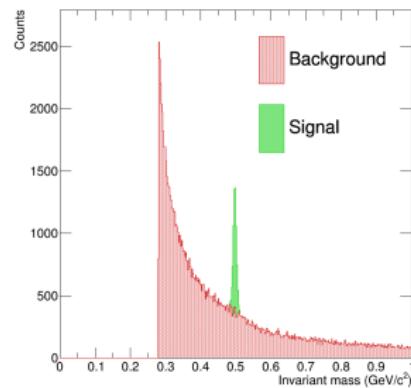
- Lav alle kombinationer af π^+ og π^-
- Beregn den invariante masse m for hver kombination
 - Giver spektrum af m
 - Nogle kombinationer kommer ikke fra K_S^0 – **baggrund**
 - De kombinationer der er fra K_S^0 viser sig som top – **signal**
- Antal K_S^0 : Antal tællinger i **signal** top



Finde antal strange partikler

For eksempel K_S^0

- Antal tællinger i signal top



Finde antal strange partikler

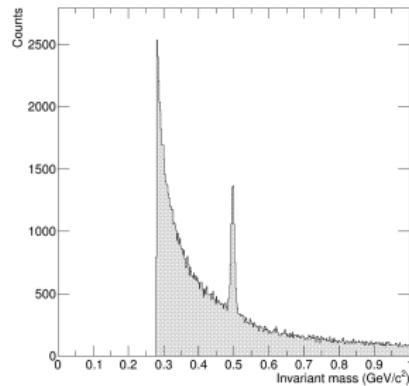
For eksempel K_S^0

- Antal tællinger i signal top
- Tilpas (engl. fit) model

$$D(m) = B(m) + S(m)$$

$$= a + bm + cm^2 + A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{(m-m_0)^2}{\sigma^2}}$$

til data. Dvs. find parameterværdierne
 a, b, c, A, m_0 og σ så $D(m)$ er tæt på data



Finde antal strange partikler

For eksempel K_S^0

- Antal tællinger i signal top
- Tilpas (engl. fit) model

$$D(m) = B(m) + S(m)$$

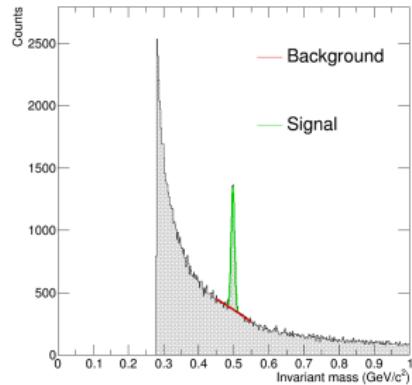
$$= a + bm + cm^2 + A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{(m-m_0)^2}{\sigma^2}}$$

til data. Dvs. find parameterværdierne
 a, b, c, A, m_0 og σ så $D(m)$ er tæt på data

- Antal K_S^0 er da

$$N_{K_S^0} = \int_l^h dm D(m) - \int_l^h dm B(m)$$

l og h er henholdsvis nedre og øvre grænse
 for tilpasning.



Overblik

① Første øvelse

② Stor-skala analyse

③ Modellering

④ Strangeness Enhancement

⑤ Opgaven



Modeltilpasning

- Henholdsvis data og model med parametre p_1, \dots, p_n

$$(x_i, y_i, \delta_i) = (x_i, y_i, \sqrt{y_i}) \quad i = 1, 2, \dots, N$$
$$f(x; p_1, \dots, p_n) = \dots$$

- Vi finder parametreværdierne p_1, \dots, p_n der bedst beskriver data givet modellen f ved

$$\min \chi^2 = \min \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{y_i - f(x_i, p_1, \dots, p_n)}{\delta_i} \right)^2 \right] = \min \left[\sum_{i=1}^N \frac{(y_i - f(x_i, p_1, \dots, p_n))^2}{y_i} \right]$$

- Antal frihedsgrader

$$\nu = N - n$$

- Hvis model f beskriver data, så

$$\frac{\chi^2}{\nu} \approx 1$$



χ^2 – goodness-of-fit

- "Bedste" parametre p_1, \dots, p_n findes hvor

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - f(x_i, p_1, \dots, p_n))^2}{y_i}$$

er mindst

- Varier parametre p_1, \dots, p_n indenfor grænser for at finde minimum af χ^2
- χ^2/ν er kvalitetsparameteren for modeltilpasningen

$$\chi^2 \begin{cases} \ll 1 & \text{For store fejl, mange parametre} \\ \approx 1 & \text{Model beskriver data} \\ \gg 1 & \text{Dårlig model, for små fejl} \end{cases}$$



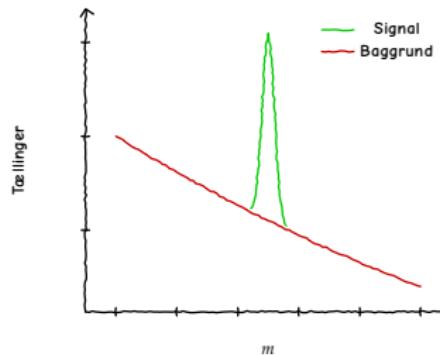
Vores model

- Model for signal og baggrund

$$D(m; a, b, c, A, \mu, \sigma) = B(m; a, b, c) + S(m; A, m_0, \sigma)$$

- Baggrund: parabel

$$B(m; a, b, c) = a + bm + cm^2$$



Stil fra XKCD



Vores model

- Model for signal og baggrund

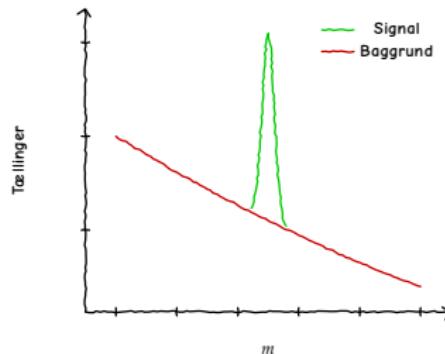
$$D(m; a, b, c, A, \mu, \sigma) = B(m; a, b, c) + S(m; A, m_0, \sigma)$$

- Baggrund: parabel

$$B(m; a, b, c) = a + bm + cm^2$$

- Signal: Normalfordeling omkring m_0

$$S(m; A, m_0, \sigma) = A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{(m-m_0)^2}{\sigma^2}}$$



Stil fra XKCD



Vores model

- Model for signal og baggrund

$$D(m; a, b, c, A, \mu, \sigma) = B(m; a, b, c) + S(m; A, m_0, \sigma)$$

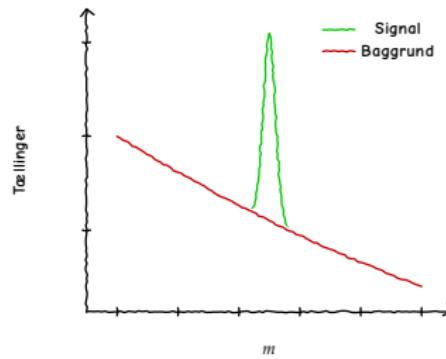
- Baggrund: parabel

$$B(m; a, b, c) = a + bm + cm^2$$

- Signal: Normalfordeling omkring m_0

$$S(m; A, m_0, \sigma) = A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{(m-m_0)^2}{\sigma^2}}$$

- Parametre:



Stil fra XKCD



Vores model

- Model for signal og baggrund

$$D(m; a, b, c, A, \mu, \sigma) = B(m; a, b, c) + S(m; A, m_0, \sigma)$$

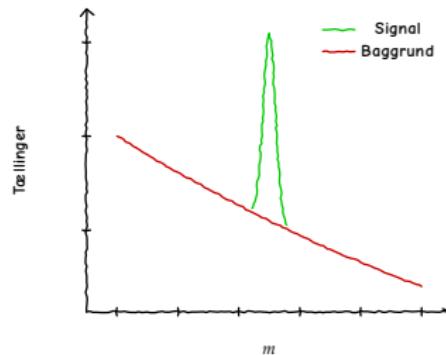
- Baggrund: parabel

$$B(m; a, b, c) = a + bm + cm^2$$

- Signal: Normalfordeling omkring m_0

$$S(m; A, m_0, \sigma) = A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{(m-m_0)^2}{\sigma^2}}$$

- Parametre:
 - a, b, c baggrundsparametre



Stil fra XKCD



Vores model

- Model for signal og baggrund

$$D(m; a, b, c, A, \mu, \sigma) = B(m; a, b, c) + S(m; A, m_0, \sigma)$$

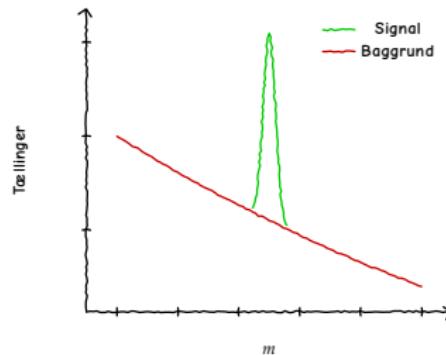
- Baggrund: parabel

$$B(m; a, b, c) = a + bm + cm^2$$

- Signal: Normalfordeling omkring m_0

$$S(m; A, m_0, \sigma) = A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{(m-m_0)^2}{\sigma^2}}$$

- Parametre:
 - a, b, c baggrundsparametre
 - A cirka antal i top



Vores model

- Model for signal og baggrund

$$D(m; a, b, c, A, \mu, \sigma) = B(m; a, b, c) + S(m; A, m_0, \sigma)$$

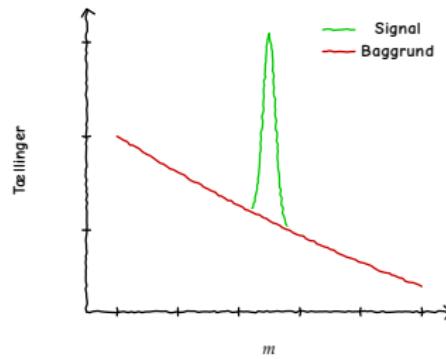
- Baggrund: parabel

$$B(m; a, b, c) = a + bm + cm^2$$

- Signal: Normalfordeling omkring m_0

$$S(m; A, m_0, \sigma) = A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{(m-m_0)^2}{\sigma^2}}$$

- Parametre:
 - a, b, c baggrundsparametre
 - A cirka antal i top
 - m_0 middelværdi af invariante masse



Stil fra XKCD



Vores model

- Model for signal og baggrund

$$D(m; a, b, c, A, \mu, \sigma) = B(m; a, b, c) + S(m; A, m_0, \sigma)$$

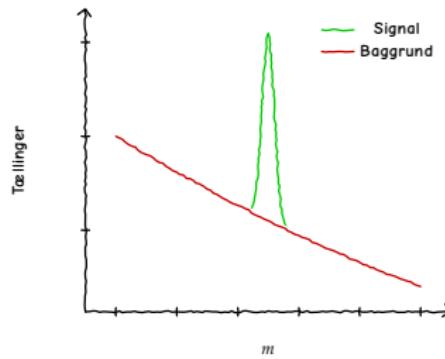
- Baggrund: parabel

$$B(m; a, b, c) = a + bm + cm^2$$

- Signal: Normalfordeling omkring m_0

$$S(m; A, m_0, \sigma) = A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{(m-m_0)^2}{\sigma^2}}$$

- Parametre:
 - a, b, c baggrundsparametre
 - A cirka antal i top
 - m_0 middelværdi af invariante masse
 - σ spredning af m omkring m_0



Stil fra XKCD



Overblik

- ① Første øvelse
- ② Stor-skala analyse
- ③ Modellering
- ④ Strangeness Enhancement
- ⑤ Opgaven



Strangeness Enhancement

- Vi bestemmer

$$N_X = \int_l^h dm D(m; a, b, c, A, m_0, \sigma) - \int_l^h dm S(m; a, b, c, A, m_0, \sigma)$$

for $X = K_S^0, \Lambda$ og $\bar{\Lambda}$ i pp og Pb–Pb kollisioner



Strangeness Enhancement

- Vi bestemmer

$$N_X = \int_l^h dm D(m; a, b, c, A, m_0, \sigma) - \int_l^h dm S(m; a, b, c, A, m_0, \sigma)$$

for $X = K_S^0, \Lambda$ og $\bar{\Lambda}$ i pp og Pb–Pb kollisioner

- Vi bestemmer *Yield* som gennemsnittet over begivenheder

$$Y = \frac{N_X}{N_{\text{events}}} \frac{1}{\varepsilon_X}$$

ε_X er effektivitet – hvor sandsynligt er det vi finder X



Strangeness Enhancement

- Vi bestemmer

$$N_X = \int_l^h dm D(m; a, b, c, A, m_0, \sigma) - \int_l^h dm S(m; a, b, c, A, m_0, \sigma)$$

for $X = K_S^0, \Lambda$ og $\bar{\Lambda}$ i pp og Pb–Pb kollisioner

- Vi bestemmer *Yield* som gennemsnittet over begivenheder

$$Y = \frac{N_X}{N_{\text{events}}} \frac{1}{\varepsilon_X}$$

ε_X er effektivitet – hvor sandsynligt er det vi finder X

- *Strangeness Enhancement* målet er da

$$H_X = \frac{2}{N_{\text{part}}} \frac{Y_X^{\text{Pb-Pb}}}{Y_X^{\text{pp}}}$$

hvor N_{part} er antal kernepartikler (p eller n) der deltager i en Pb–Pb kollision



Strangeness Enhancement

- Vi bestemmer

$$N_X = \int_l^h dm D(m; a, b, c, A, m_0, \sigma) - \int_l^h dm S(m; a, b, c, A, m_0, \sigma)$$

for $X = K_S^0, \Lambda$ og $\bar{\Lambda}$ i pp og Pb–Pb kollisioner

- Vi bestemmer *Yield* som gennemsnittet over begivenheder

$$Y = \frac{N_X}{N_{\text{events}}} \frac{1}{\varepsilon_X}$$

ε_X er effektivitet – hvor sandsynligt er det vi finder X

- *Strangeness Enhancement* målet er da

$$H_X = \frac{2}{N_{\text{part}}} \frac{Y_X^{\text{Pb–Pb}}}{Y_X^{\text{pp}}}$$

hvor N_{part} er antal kernepartikler (p eller n) der deltager i en Pb–Pb kollision

- Hvorfor faktoren $\frac{2}{N_{\text{part}}}$?



Strangeness Enhancement

- Vi bestemmer

$$N_X = \int_l^h dm D(m; a, b, c, A, m_0, \sigma) - \int_l^h dm S(m; a, b, c, A, m_0, \sigma)$$

for $X = K_S^0, \Lambda$ og $\bar{\Lambda}$ i pp og Pb–Pb kollisioner

- Vi bestemmer *Yield* som gennemsnittet over begivenheder

$$Y = \frac{N_X}{N_{\text{events}}} \frac{1}{\varepsilon_X}$$

ε_X er effektivitet – hvor sandsynligt er det vi finder X

- *Strangeness Enhancement* målet er da

$$H_X = \frac{2}{N_{\text{part}}} \frac{Y_X^{\text{Pb–Pb}}}{Y_X^{\text{pp}}}$$

hvor N_{part} er antal kernepartikler (p eller n) der deltager i en Pb–Pb kollision

- Hvorfor faktoren $\frac{2}{N_{\text{part}}}$? Skalerer til pp kollisioner



Geometri af Pb–Pb kollisioner

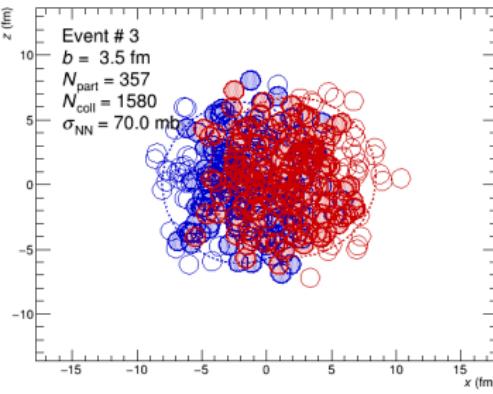
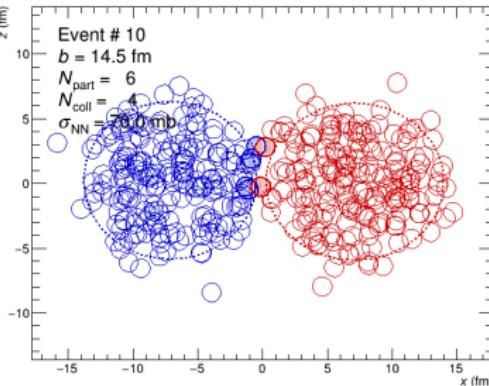
- Pb-kerner er store ($\phi \approx 15\text{fm}$)
i forhold til p ($\phi \approx 1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$)



Geometri af Pb–Pb kollisioner

- Pb-kerner er store ($\phi \approx 15\text{fm}$)
i forhold til p ($\phi \approx 1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$)
- Overlap af kerner varierer
 b er afstanden mellem centre

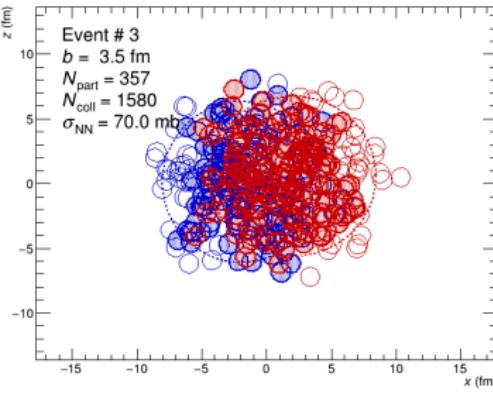
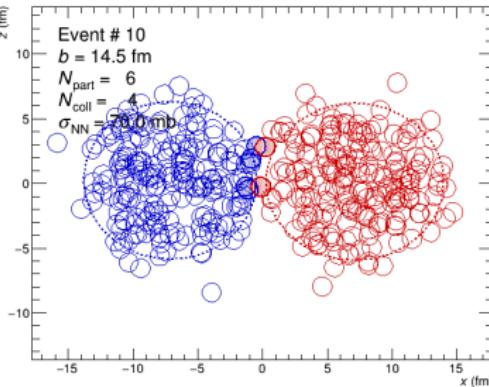
Modelberegninger:



Geometri af Pb–Pb kollisioner

- Pb-kerner er store ($\phi \approx 15\text{fm}$)
i forhold til p ($\phi \approx 1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$)
- Overlap af kerner varierer
 b er afstanden mellem centre
- Variation af hvor mange
kernepartikler der ”deltager” i
kollisionen
 N_{part} varierer med b

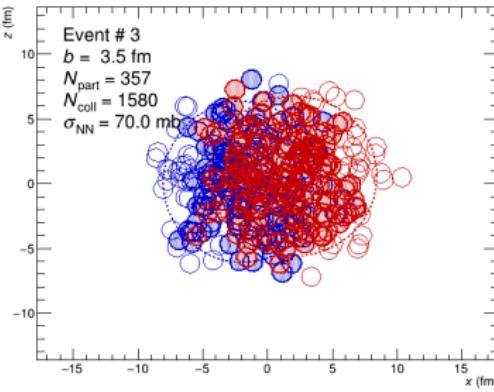
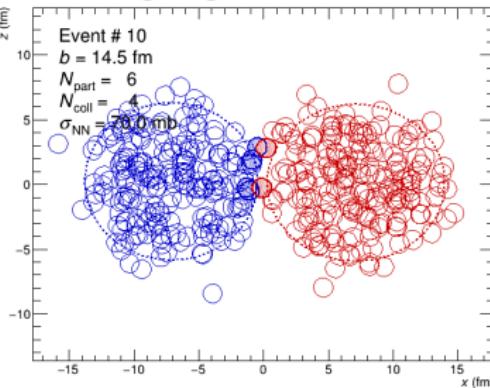
Modelberegninger:



Geometri af Pb–Pb kollisioner

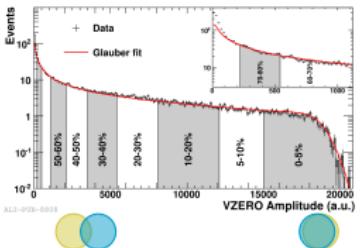
- Pb-kerner er store ($\phi \approx 15\text{fm}$)
i forhold til p ($\phi \approx 1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$)
- Overlap af kerner varierer
 b er afstanden mellem centre
- Variation af hvor mange
kernepartikler der ”deltager” i
kollisionen
 N_{part} varierer med b
- b kan ikke måles

Modelberegninger:

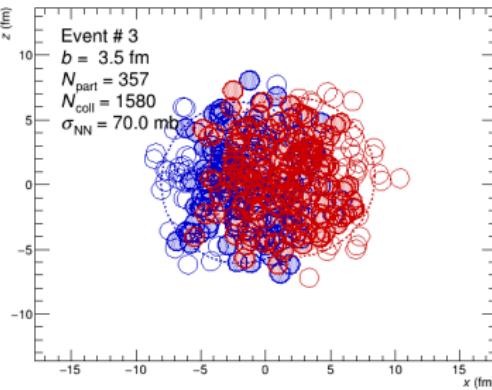
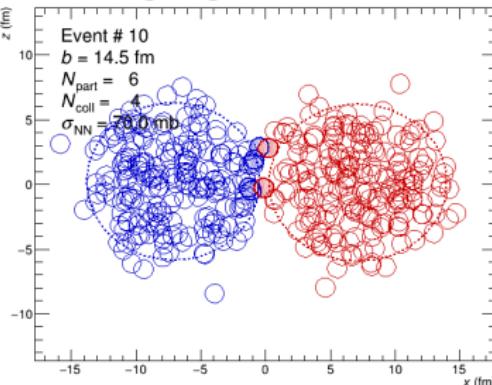


Geometri af Pb–Pb kollisioner

- Pb-kerner er store ($\phi \approx 15\text{fm}$)
i forhold til p ($\phi \approx 1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$)
- Overlap af kerner varierer
 b er afstanden mellem centre
- Variation af hvor mange
kernepartikler der "deltager" i
kollisionen
 N_{part} varierer med b
- b kan ikke måles
- I stedet bruger vi *centralitet*
 - $N_{\text{ch}} \propto \frac{1}{b}$, så
 - Flest N_{ch} – lille b , lille centralitet
 - Færrest N_{ch} – stor b , stor
centralitet



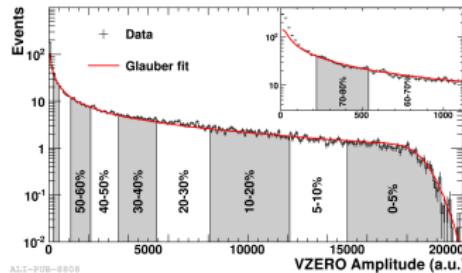
Modelberegninger:



Strangeness enhancement som funktion af centralitet

- Stor variation i N_{part} i Pb–Pb kollisioner

Centrality	N_{part}	N_{events}
pp	2	5260
0 – 10	360	213
10 – 20	260	290
20 – 30	186	302
30 – 40	129	310
40 – 50	85	302
50 – 60	52	300
60 – 70	30	315
70 – 80	16	350

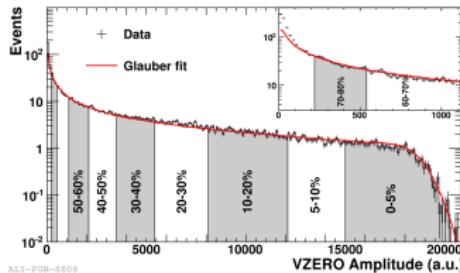


Strangeness enhancement som funktion af centralitet

- Stor variation i N_{part} i Pb–Pb kollisioner
- Vi bestemmer H_X som funktion af centralitet c

$$H_X(c) = \frac{2}{N_{\text{part}}(c)} \frac{Y_X^{\text{Pb-Pb}}(c)}{Y_X^{\text{pp}}}$$

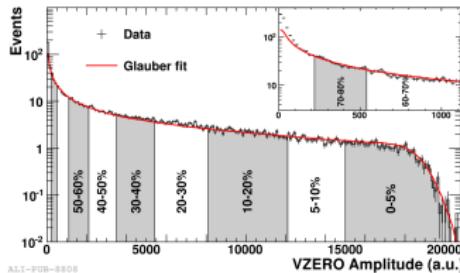
Centrality	N_{part}	N_{events}
pp	2	5260
0 – 10	360	213
10 – 20	260	290
20 – 30	186	302
30 – 40	129	310
40 – 50	85	302
50 – 60	52	300
60 – 70	30	315
70 – 80	16	350



Strangeness enhancement som funktion af centralitet

- Stor variation i N_{part} i Pb–Pb kollisioner
 - Vi bestemmer H_X som funktion af centralitet c
- $$H_X(c) = \frac{2}{N_{\text{part}}(c)} \frac{Y_X^{\text{Pb–Pb}}(c)}{Y_X^{\text{pp}}}$$
- For pp har vi ikke centralitet. $N_{\text{part}}^{\text{pp}} = 2$

Centrality	N_{part}	N_{events}
pp	2	5260
0 – 10	360	213
10 – 20	260	290
20 – 30	186	302
30 – 40	129	310
40 – 50	85	302
50 – 60	52	300
60 – 70	30	315
70 – 80	16	350



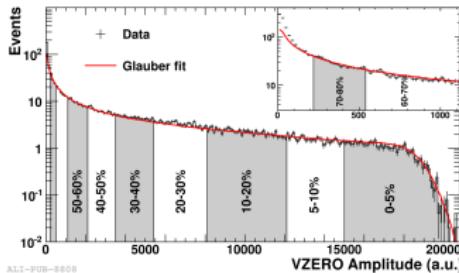
Strangeness enhancement som funktion af centralitet

- Stor variation i N_{part} i Pb–Pb kollisioner
- Vi bestemmer H_X som funktion af centralitet c

$$H_X(c) = \frac{2}{N_{\text{part}}(c)} \frac{Y_X^{\text{Pb–Pb}}(c)}{Y_X^{\text{pp}}}$$

- For pp har vi ikke centralitet. $N_{\text{part}}^{\text{pp}} = 2$
- Kan vi forvente forskel mellem lav og høj centralitet?

Centrality	N_{part}	N_{events}
pp	2	5260
0 – 10	360	213
10 – 20	260	290
20 – 30	186	302
30 – 40	129	310
40 – 50	85	302
50 – 60	52	300
60 – 70	30	315
70 – 80	16	350



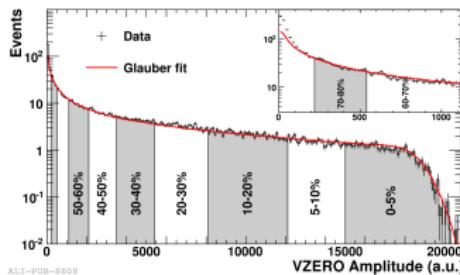
Strangeness enhancement som funktion af centralitet

- Stor variation i N_{part} i Pb–Pb kollisioner
- Vi bestemmer H_X som funktion af centralitet c

$$H_X(c) = \frac{2}{N_{\text{part}}(c)} \frac{Y_X^{\text{Pb–Pb}}(c)}{Y_X^{\text{pp}}}$$

- For pp har vi ikke centralitet. $N_{\text{part}}^{\text{pp}} = 2$
- Kan vi forvente forskel mellem lav og høj centralitet? Ja, lav centralitet – større energitæthed

Centrality	N_{part}	N_{events}
pp	2	5260
0 – 10	360	213
10 – 20	260	290
20 – 30	186	302
30 – 40	129	310
40 – 50	85	302
50 – 60	52	300
60 – 70	30	315
70 – 80	16	350



Overblik

① Første øvelse

② Stor-skala analyse

③ Modellering

④ Strangeness Enhancement

⑤ Opgaven



Opgaven

① Tilpas model til m spektra for K_S^0, Λ og $\bar{\Lambda}$ i

- pp kollisioner
 - Pb-Pb kollisioner ved forskellig centralitet
- 1 Justér tilpasningsgrænser
 - 2 Udfør tilpasning
 - 3 Er $\chi^2/\nu \approx 1$?
 - 4 Hvis ikke, gå tilbage til 1.
 - 5 Ellers acceptér tilpasning og få N_X

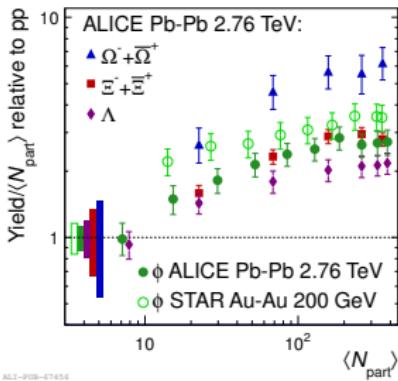
② I hvert tilfælde, bestem

- $Y_{K_S^0}$,
- Y_Λ og
- $Y_{\bar{\Lambda}}$

③ Som funktion af N_{part} beregn

- $H_{K_S^0}$,
- H_Λ og
- $H_{\bar{\Lambda}}$

Til sidst reporterer vi resultater til CERN



Phys. Rev. C91(2015)024609



Back-ups



Nogle tal

Centrality	N _{part}	N _{events}	$\varepsilon_{K_S^0}$	ε_{Λ}	$\varepsilon_{\bar{\Lambda}}$
pp	2	5260	0.26	0.67	0.44
0 – 10	360	213	0.26	0.20	0.20
10 – 20	260	290	0.26	0.21	0.21
20 – 30	186	302	0.29	0.22	0.22
30 – 40	129	310	0.29	0.22	0.22
40 – 50	85	302	0.29	0.22	0.22
50 – 60	52	300	0.29	0.20	0.20
60 – 70	30	315	0.35	0.20	0.20
70 – 80	16	350	0.26	0.20	0.20

