Meritev razvejitvenega razmerja

$Br(D^0 \to \pi^- \ell^+ \nu)$

z detektorjem BELLE

Urban Bitenc

MENTOR: prof. dr. Peter Križan
KOMENTOR: doc. dr. Boštjan Golob

Ljubljana, 13.september 2002

Pregled

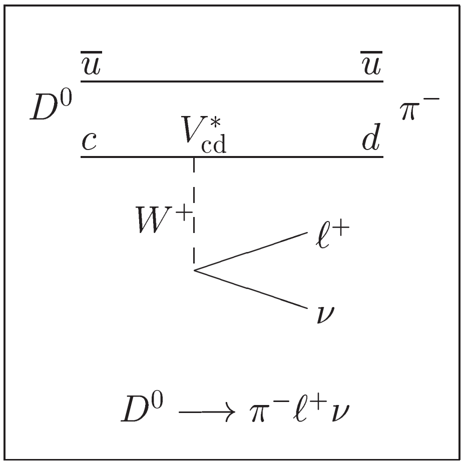
Uvod

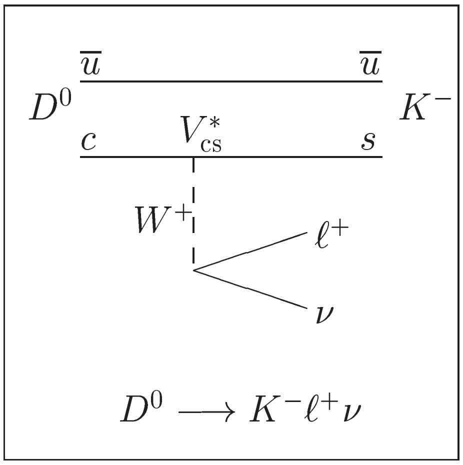
Mezon $D^0 = c\bar{u}$, $\quad m_{D^0} = 1,865\,\text{GeV} \approx 2m_p$, $\quad \tau_{D^0} = 0,415 \cdot 10^{-12}\text{s}$

Razpadi:

- hadronski,
- $\boxed{\text{semileptonski}}$: $D^0 \to \pi^- \ell^+ \nu$.

Koliko odstotkov nastalih D^0 razpade v $\pi^- \ell^+ \nu$?





Predmet diplomskega dela je meritev

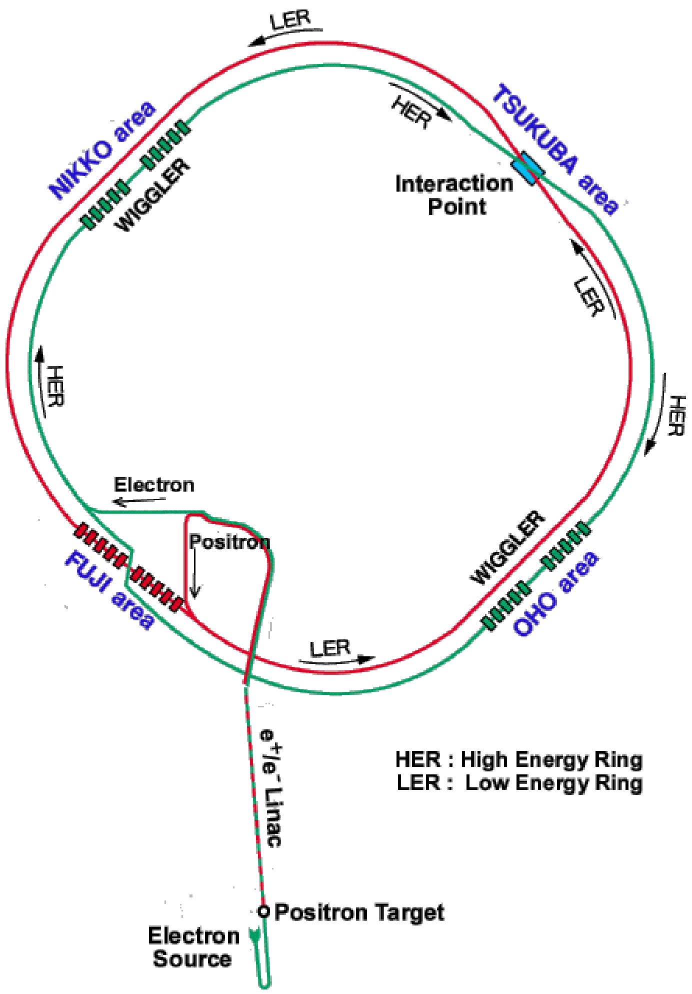
$$\frac{Br(D^0 \to \pi^- \ell^+ \nu)}{Br(D^0 \to K^- \ell^+ \nu)} = R_0,$$

iz katerega ob znanem $Br(D^0 \to K^- \ell^+ \nu)$ izračunamo $Br(D^0 \to \pi^- \ell^+ \nu)$.
Teoretično:

$$R_0 = \frac{Br(D^0 \to \pi^- \ell^+ \nu)}{Br(D^0 \to K^- \ell^+ \nu)} = C_{\pi K} \left| \frac{V_{cd}}{V_{cs}} \right|^2 \left| \frac{f_+^{\pi}(0)}{f_+^{K}(0)} \right|^2$$

Eksperimentalno okolje

Pospeševalnik KEKB, Tsukuba, Japonska:



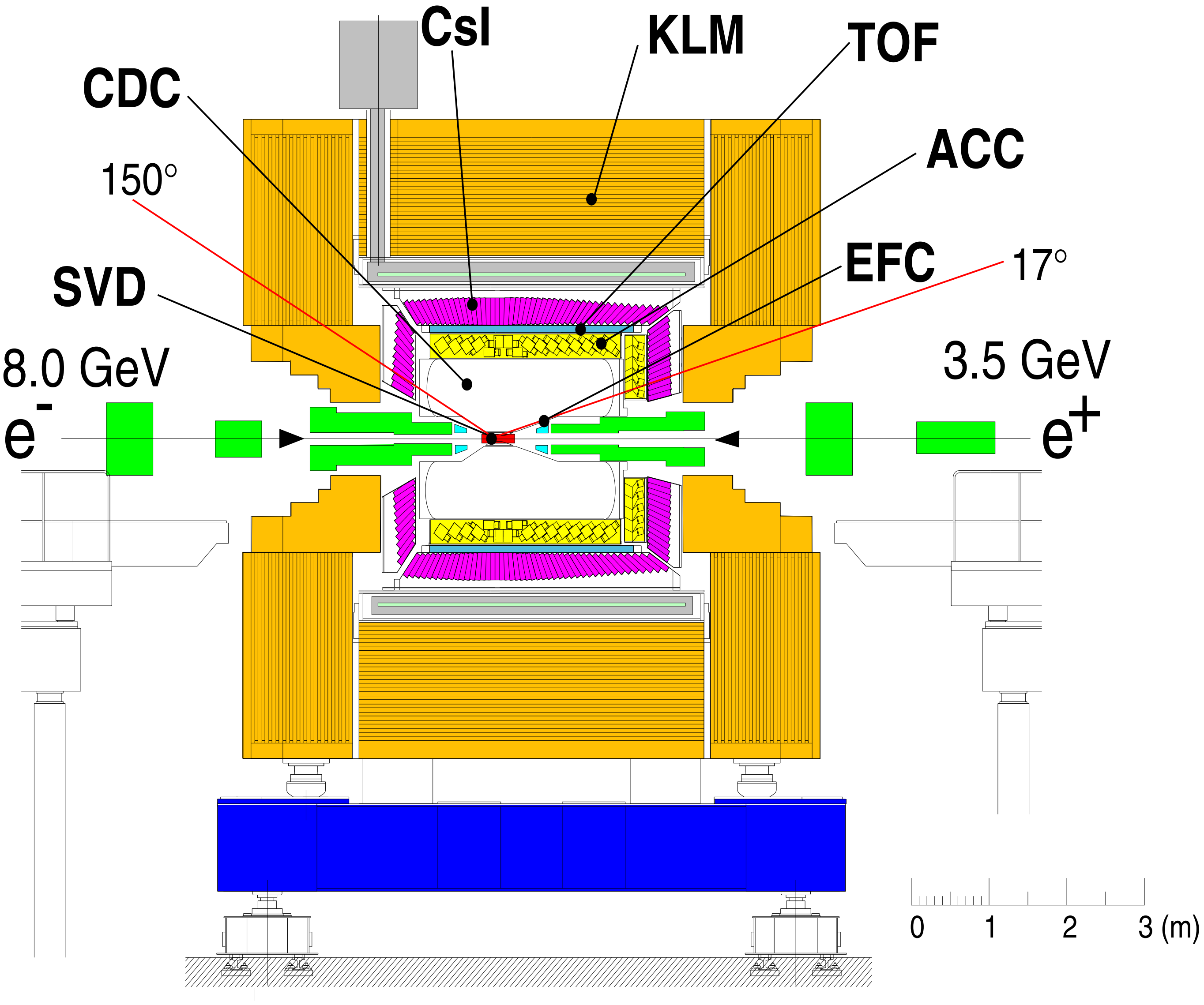
✗ HER, elektronski obroč, $E = 8,0\,\mathrm{GeV}$

✗ LER, pozitronski obroč, $E = 3,5\,\mathrm{GeV}$

☞ $E_{CMS} = 10,58\,\mathrm{GeV}$, resonanca $\Upsilon(4s)$.

Naša meritev: $E_{CMS} = 10,52\,\mathrm{GeV}$, pred resonanco $\Upsilon(4s)$, ne nastanejo pari mezonov B.

Detektor BELLE na mestu, kjer trkajo elektroni in pozitroni:



- ✗ CDC, osrednja potovalna komora: meritev gibalne količine in identifikacija delcev
- ✗ ACC, števec Čerenkova: razločevanje med K in π
- ✗ TOF, merilec časa preleta: razločevanje med K in π
- ✗ CsI, elektromagnetni kalorimeter: ločevanje e od K in π
- ✗ KLM, detektor mionov: ločevanje μ od K in π

Dogodek: trk e^+e^-.

Del dogodkov vsebuje mezone D^0. Del teh mezonov razpade semileptonsko. Del teh semileptonskih razpadov predstavlja obravnavani razpad.

Bistveni del analize: ločiti obravnavani semileptonski razpad ostalih procesov.
Pri pripravi metode si pomagamo s simuliranimi dogodki za opazovani razpadni kanal in možna ozadja.

☞ Monte Carlo simulacija:

❶ Generiramo dogodke ➪ generirana informacija

❷ Simuliramo odziv detektorja ➪ simulirana informacija

❸ Preverimo natančnost simulacije na poznanih procesih in simulacijo po potrebi popravimo.

Meritev

Metoda

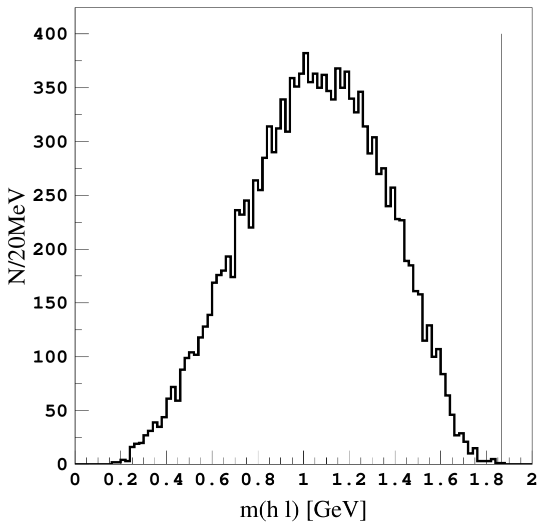
☞ Primer: razpad $D^0 \to K^-\pi^+$

- ❶ Vse kombinacije $K^-\pi^+$
- ❷ Izračunamo $m(K\pi) = \sqrt{(E_\pi + E_K)^2 - |\vec{p}_\pi + \vec{p}_K|^2}$
- ❸ Pari $K^-\pi^+$ iz D^0 so zbrani v ozkem vrhu, naključne kombinacije pa so porazdeljene po širšem področju.

☞ Obravnavani razpad $D^0 \to \pi^-\ell^+\nu$: nevtrina ne zaznamo ➪ ne moremo rekonstruirati mase D^0.

✒ Pion iz $D^0 \to \pi^-\ell^+\nu$ imenujemo *hitri pion*: π_f^-.

☞ $m(\pi_f^-\ell^+) = \sqrt{(E(\pi_f) + E(\ell))^2 - |\vec{p}(\pi_f) + \vec{p}(\ell)|^2}$ je razmazana čez široko področje.



Slika 1: Simulirana porazdelitev po $m(\pi_f^-\ell^+)$.

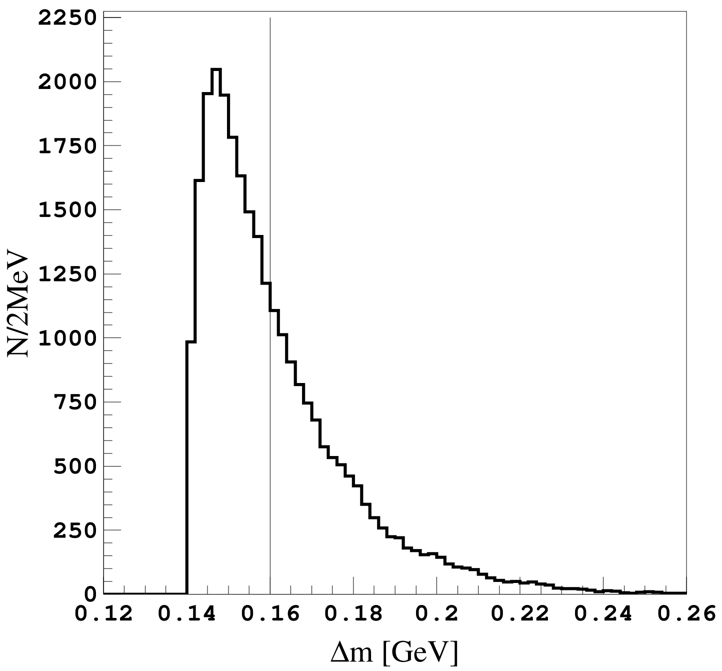
☞ Rešitev: obravnavamo le D^0, ki pridejo iz D^{*+}:

$$D^{*+} \to \pi^+ D^0 \to \pi_s^+ \pi_f^- \ell^+ \nu$$

Pion iz $D^{*+} \to \pi^+ D^0$ imenujemo *počasni pion*: π_s^+.

Konstruiramo
$m(\pi_f^- \ell^+ \pi_s^+) = \sqrt{(E(\pi_f) + E(\ell) + E(\pi_s))^2 - |\vec{p}(\pi_f) + \vec{p}(\ell) + \vec{p}(\pi_s)|^2}$.
Druga opazljivka: $\Delta m = m(\pi_f^- \ell^+ \pi_s^+) - m(\pi_f^- \ell^+)$.

Simulirana porazdelitev po Δm:



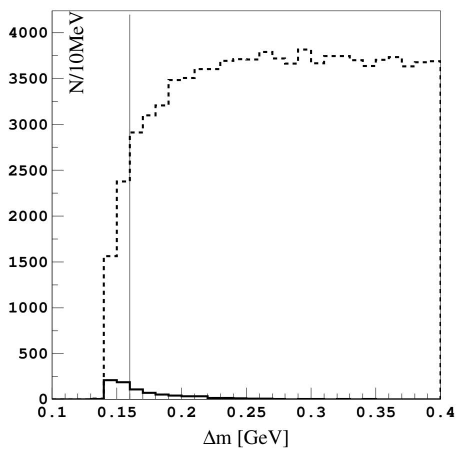
Slika 2: Dogodki iz opazovanega signala imajo razmeroma oster vrh, ozadje pa je pomaknjeno k višjim vrednostim Δm.

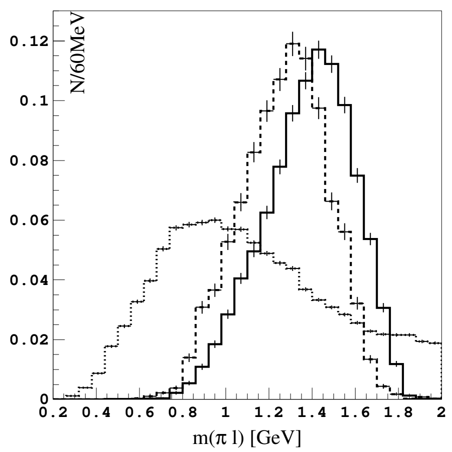
Na Monte Carlo simulaciji in na realnih podatkih

- ☞ izberemo kandidate za π_s^+, π_f^- in ℓ^+:
  - ✔ π_s^+: $p < 0,6\,\mathrm{GeV}$
  - ✔ ℓ^+: $prob(e) > 0,8$ ali $prob(\mu) > 0,8$
  - ✔ π_f^-: $\frac{probK}{prob(K)+prob(\pi)} < 0,2$
- ☞ tvorimo vse možne kombinacije,
- ☞ izločimo kombinacije z $\Delta m > 0,16\,\mathrm{GeV}$.

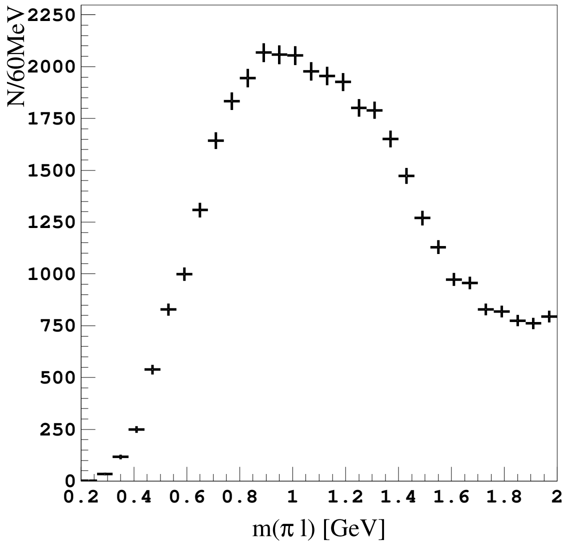
Na Monte Carlo simulaciji ločimo

- ✗ pionski signal
- ✗ kaonski signal
- ✗ kombinatorično ozadje





Slika 3: Zavrnemo kombinacije z $\Delta m > 0,16\,\mathrm{GeV}$ (leva slika). Ostale kombinacije so porazdeljene po $m(\pi_f^-\ell^+)$, kot kaže desna slika.



Slika 4: Izmerjena porazdelitev dogodkov (realni podatki) po $m(\pi_f^- \ell^+)$.

Naloga: določiti, kolikšen je delež posamezne izmed porazdelitev.

Prilagajanje

Realni podatki vsebujejo pionski signal, kaonski signal in ozadje. Prilagajamo:

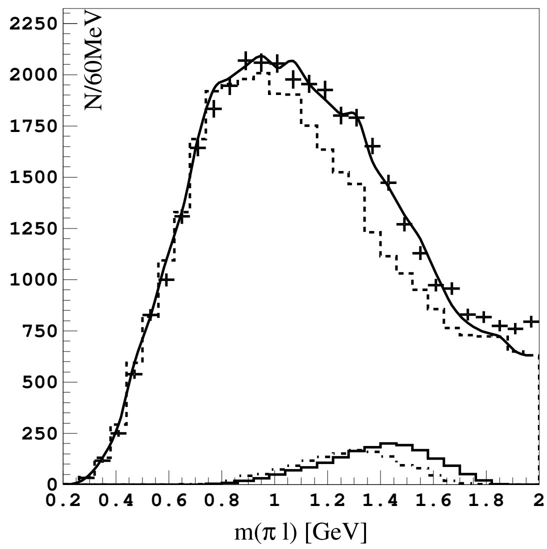
$$\text{izmerjeno} = f_{norm} \left[f_\pi \cdot \text{pionski} + f_K \cdot \text{kaonski} + (1 - f_\pi - f_K) \cdot \text{ozadje} \right]$$

Prilagajanje izvedemo tako, da minimiziramo:

$$\chi^2 = \frac{1}{N_{bin} - N_{par} - 1} \sum_{i=1}^{N_{bin}} \frac{(N(m_i) - N_t(m_i))^2}{\sigma^2(N(m_i))},$$

kjer je

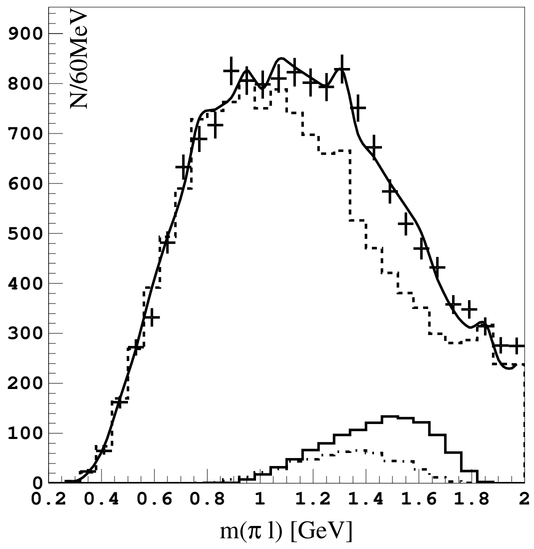
$$N_t(m_i) = f_{norm} \left[f_\pi n_\pi(m_i) + f_K n_K(m_i) + (1 - f_\pi - f_K)\, n_{oz}(m_i) \right].$$



Težavi:

- ✗ preveč ozadja
- ✗ simulirano ozadje slabo opiše realne podatke

Ostrejša zahteva: $\Delta m < 0,15$ ➩ boljše ujemanje:



Rezultat

$$R_0 = \frac{Br(D^0 \to \pi^- \ell^+ \nu)}{Br(D^0 \to K^- \ell^+ \nu)} = \frac{N_{tot}(\pi)}{N_{tot}(K)} = \frac{N(\pi)}{N(K)} \frac{\varepsilon_K}{\varepsilon_\pi} = \frac{f_\pi}{f_K} \frac{\varepsilon_K}{\varepsilon_\pi}$$

$$\begin{aligned} f_\pi &= (7,65 \pm 1,14)\% \\ f_K &= (3,94 \pm 1,36)\% \\ \varepsilon_\pi &= (5,2 \pm 0,4)\% \\ \varepsilon_K &= (0,268 \pm 0,037)\% \end{aligned}$$

Izračunamo:

$$\frac{Br(D^0 \to \pi^- \ell^+ \nu)}{Br(D^0 \to K^- \ell^+ \nu)} = R_0 = 0,100 \pm 0,037 \pm 0,012$$

Ob upoštevanju $Br(D^0 \to K^- \ell^+ \nu) = (3,50 \pm 0,17)\%$ dobimo

$$\boxed{Br(D^0 \to \pi^- \ell^+ \nu) = (3,50 \pm 1,37) \cdot 10^{-3}}.$$

Povzetek

Na podatkih, zajetih z detektorjem BELLE, sem meril količnik

$$R_0 = \frac{Br(D^0 \to \pi^- \ell^+ \nu)}{Br(D^0 \to K^- \ell^+ \nu)}.$$

Analiziral sem več kot 26 milijonov trkov e^+e^- s približno 225 000 obravnavanimi razpadi $D^{*+} \to \pi_s^+ D^0 \to \pi_s^+ \pi_f^- \ell^+ \nu$.

Nevtrina, ki odnese neznano količino energije, detektor ne zazna ➪ težko ločiti signal od ozadja.

Delež ozadja zmanjšamo z rezom na količini $\Delta m = m(\pi_f^- \ell^+ \nu) - m(\pi_f^- \ell^+)$. V končnem vzorcu je okrog 90% ozadja in 10% signala.

Rezultat

$$R_0 = 0,100 \pm 0,037 \pm 0,012$$

se zelo dobro ujema z ostalimi dosedanjimi meritvami.

Ob znanem razvejitvenem razmerju $Br(D^0 \to K^- \ell^+ \nu) = (3,50 \pm 0,17)\%$ izračunamo

$$Br(D^0 \to \pi^- \ell^+ \nu) = (3,50 \pm 1,37)10^{-3}.$$

Relativna napaka znaša okrog 40%. Pričakujem, da se bo napaka meritve razvejitvenega razmerja bistveno zmanjšala (pod 20%) z izboljšavo izbirnih kriterijev, posebno ko bo analiza zajela večji vzorec podatkov.