

Measurement of the charge  
asymmetry of atmospheric  
muons with the CMS detector

(CMS PAPER MUO-10-001)

# Motivazione

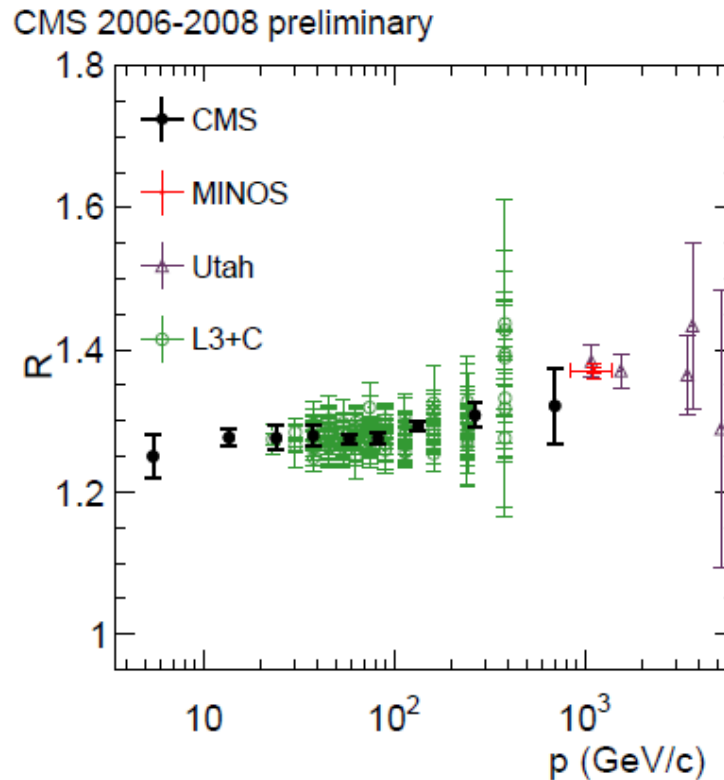
## Origine dei muoni atmosferici:

1. Interazione di raggi cosmici primari (p,  $\alpha$ , ..., Fe) su aria  $\rightarrow$  adroni, e,  $\gamma$ ;
2.  $(\pi^\pm, K^\pm) \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu$ ;  
 $\rightarrow e^\pm + \nu_e$

### – La produzione di $\pi$ , K positivi è favorita

- Ci si aspetta  $\pi^+/\pi^- \sim 1.27$  sulla base del contenuto dei quark dei protoni nell'atmosfera e nei cosmici primari
- $K^+/K^-$  e' ancora maggiore (produzione associata per particelle strane) quindi avremo più  $\mu^+$  che  $\mu^-$ :

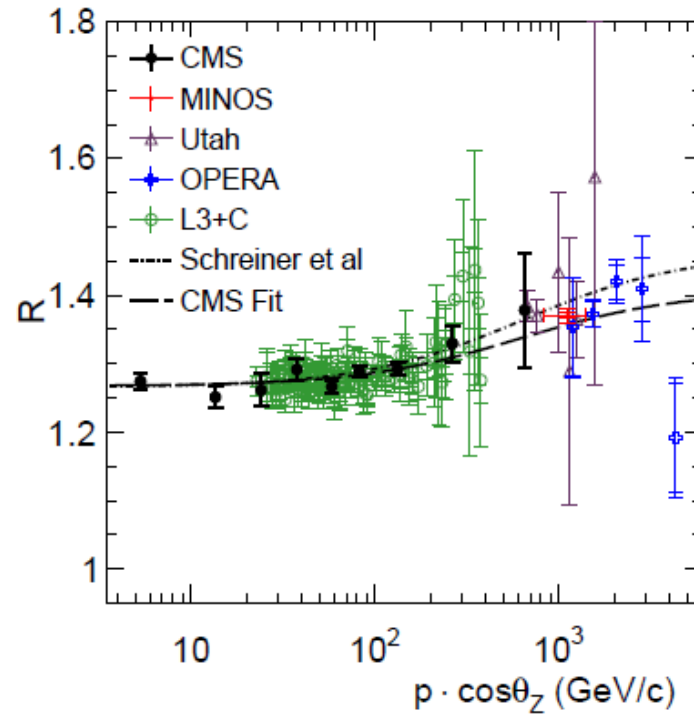
$$R = N_{\mu^+}/N_{\mu^-} > 1$$



- Il valore di  $R$  e la sua dipendenza da  $p_\mu$  derivano dall'interplay fra sezioni d'urto di produzione dei mesoni e dalla loro lunghezza di decadimento.
  - Al di sopra di  $\sim 115$  GeV i pioni interagiscono prima di decadere
  - Per i  $K$  questo avviene a  $\sim 850$  GeV  $\Rightarrow$  ci si aspetta un aumento di  $R$  fra questi valori

# Inoltre...

CMS 2006-2008 preliminary



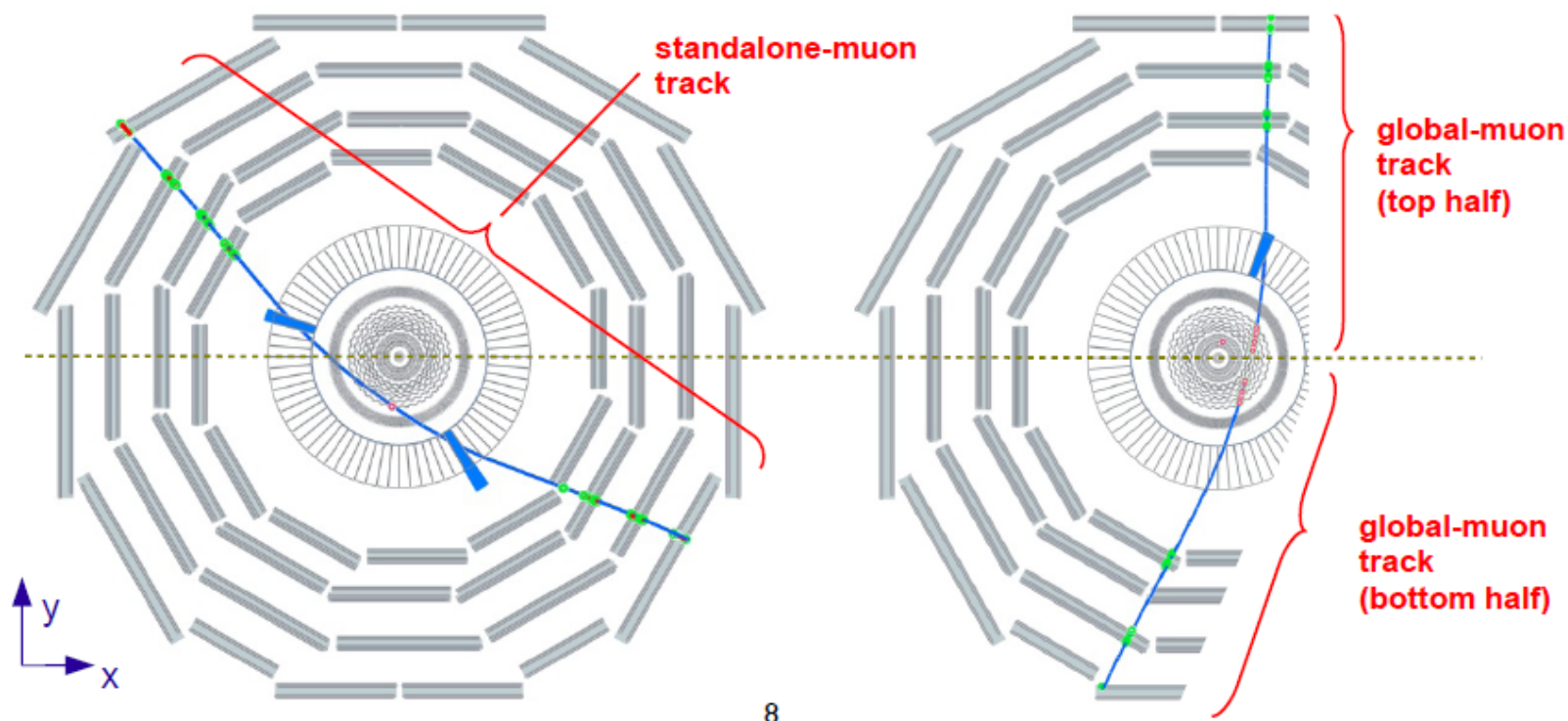
- La dipendenza è più marcata in  $p \cos\theta_z$  (componente verticale di  $p$ )
  - Risultati parametrizzati; consente di mettere dei constraint su parametri rilevanti nelle interazioni adroniche a basso  $p_T$  e per la predizione del flusso di neutrini atmosferici (*sic*)
- Ma soprattutto un esercizio molto utile
  - un test molto stringente della performance di CMS nel settore dei muoni in un'analisi dominata dai sistematici!

# Vari tipi di ricostruzione dei cosmici...

Run 68021, Event 2916729

2008 Oct 29

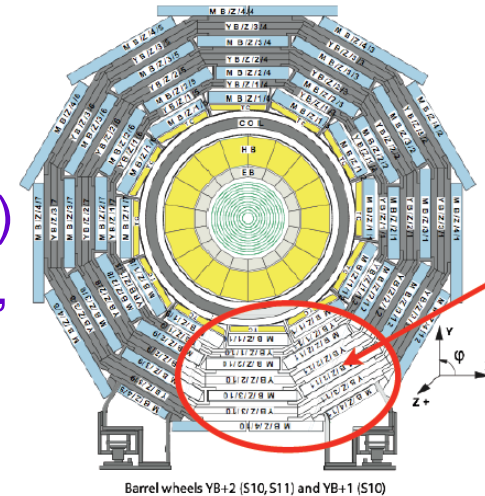
Run 68021, Event 2935068



8

# Tre analisi

- Dati MTCC (2006)
  - Pro: in superficie (vede regione dei bassi momenti)
  - Con: Solo una frazione del sistema delle DT attivo, no tracker
- CRAFT, 2-leg global muons
  - Pro: ottima risoluzione
  - Completamente data-driven: risoluzione e charge-mis id possono essere stimate confrontando top e bottom leg
  - Con: minore statistica
- CRAFT, 1-leg standalone muons
  - Pro: maggiore statistica
  - Con: risoluzione peggiore (ma comunque buona dato che si usano tracce con hit che attraversano completamente CMS)
  - Misura indipendente del tracker disponibile per confronto solo in 1/3 degli eventi



# Challenge sperimentale

- Si tratta “solo” di misurare carica e momento dei cosmici, ma a differenza di quanto ci si potrebbe aspettare è un’analisi molto, molto difficile.
  - L’accettazione di CMS non e’ simmetrica per  $\mu^+$  e  $\mu^-$
  - Bisogna correggere per effetti sperimentali
    - mis-assegnazione della carica
    - Risoluzione sul momento, su uno spettro “steeply falling”
    - Perdita di energia fra la superficie ed il rivelatore+fluttuazioni
  - Comprensione della scala di momento
  - E’ istruttivo vedere come questi problemi sono stati affrontati
    - Alcuni highlight nelle pagine successive

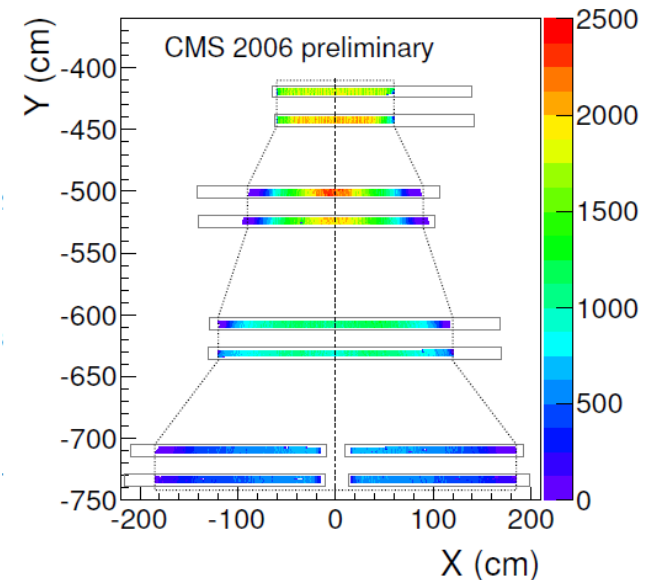
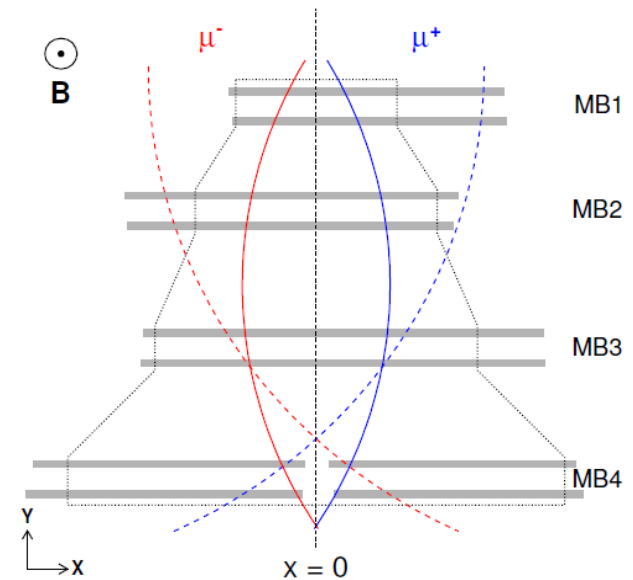
# Accettanza non simmetrica rispetto alla carica

- Misura su MTCC

- Le DT accese nell'MTCC non sono simmetriche rispetto al piano XZ
- ⇒ Definizione di una **regione fiduciale** perfettamente charge-symmetric

- Misure su CRAFT

- Gli shaft di CMS non sono disposti in modo simmetrico
- ⇒ “**Simmetrizzazione**” degli shaft: rimozione dei muoni che passano negli shaft ausiliari e nelle loro immagini X-simmetriche





# Mis-assegnazione della carica

- Per un mis-assignment del 50%,  $R_{\text{misurato}} = 1!$
- La **probabilità di charge-misassignment** va misurata e usata per correggere  $R$ 
  - Global: ottenuta si confrontano le cariche nei due “leg”
  - Standalone: si stima usando il MC
    - Verificata con il subsample di standalone che hanno una traccia associata nel tracker. Ulteriore correzione+systematico per la differenza che si osserva fra dati e MC in questo subsample
  - MTCC: stima dal MC
    - Il relativo systematico uccide questa misura sopra i 200 GeV

# Risoluzione

- La risoluzione finita su  $p$  fa sì che ci sia una migrazione netta di  $\mu$  da momenti minori a momenti maggiori

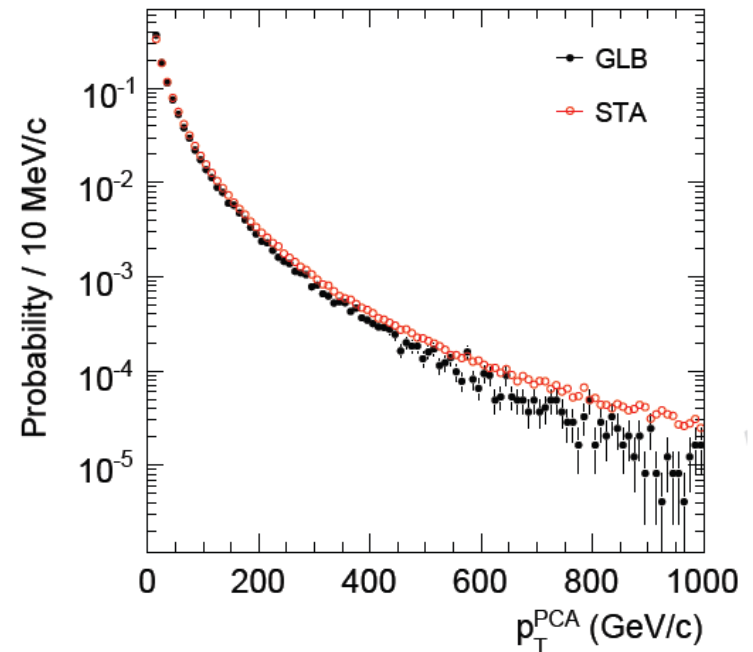
⇒ “**unfolding**” dello spettro

Stima del numero vero di muoni in un dato bin dell’istogramma finale; dato il numero di muoni osservati in tutti i bin

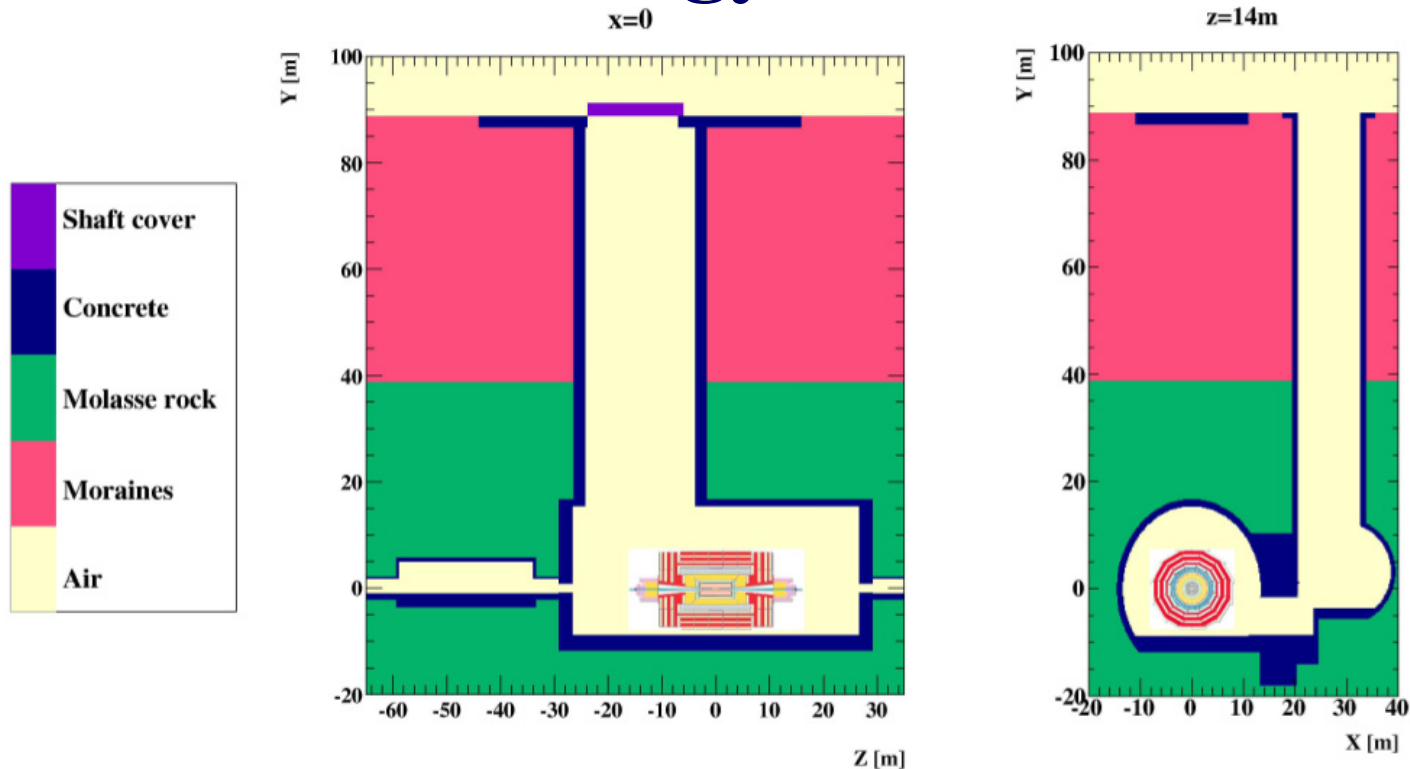
$$N_i^{measured} = \sum_j M_{ij} N_j^{true} \quad , \quad \tilde{N}_i^{true} = \sum_j \tilde{M}_{ij}^{-1} N_j^{measured}$$

“Migration matrix” costruita:

- Global: dai dati, usando i 2 leg
- Standalone: dalla simulazione



# Energy loss



- Il momento va riferito alla superficie. Modello accurato della roccia sopra CMS e delle caverne usato per **estrapolare alla superficie** tenendo conto della perdita di energia media
- Fluttuazioni nell'energy loss
  - Contribuiscono allo spill fra bin descritto alla slide precedente
  - Tenuto in conto con uno smearing del 10% sul momento utilizzato nella costruzione della matrice di unfolding

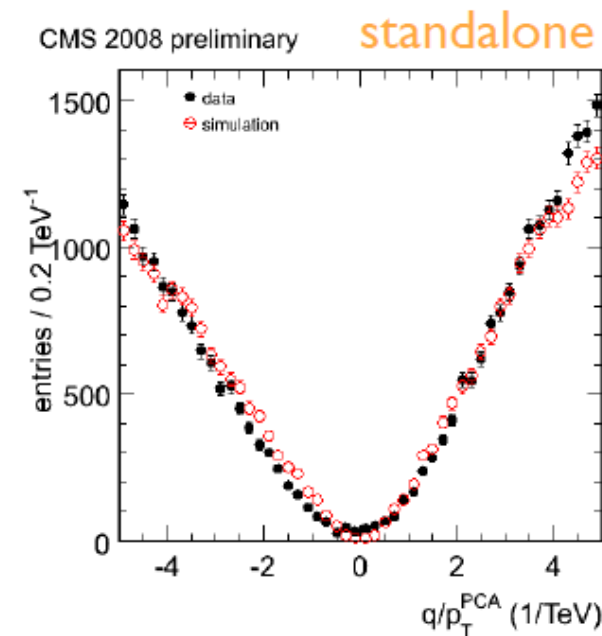
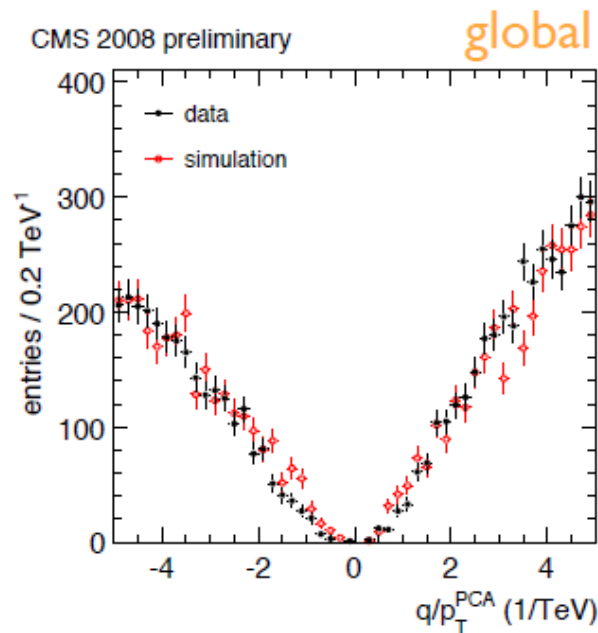
# Sistematici

- Moltissimi effetti studiati
  - Accuratezza della mappa di B, bias dovuto al trigger, effetti residui di accettazione, descrizione del materiale nell'estrapolazione alla superficie, mis-assegnazione della carica, incertezze nella procedura di unfolding, allineamento
  - Alcuni sistematici sono correlati fra bin della stessa analisi
- Uno studio interessante: scala di momento
  - Un bias nella scala di momento produce una migrazione fra i bin
  - L'allineamento non escude bias  $\chi^2$ -invarianti (“**weak mode**”)
  - In particolare: deformazione che produca un offset costante in  $q/p_T$ 
    - bias nella scala di momento opposta per  $\mu^+$  e  $\mu^-$

# End-point method

Determine muon momentum scale at high momentum ( $\sim 1$  TeV/c) using the end-point method: at infinite momentum,  $q/p_T^{\text{PCA}}$ , must be centred at zero. Different slope due to the charge asymmetry.

New method to constrain alignment !!



A bias of  $0.043 \pm 0.022$  c/TeV is measured, and applied as a correction to the final charge ratio result.

# Curiosità varie

- Unica misura “di fisica” dei raggi cosmici fatta da CMS in 4 anni di presa dati cosmici 😊
- La misura più precisa al mondo, a bassi momenti
- Coinvolgimento diretto del gruppo di allineamento di Torino!
- Piu' dettagli negli approval:
  - <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=81371>
  - <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=81379>

# Backups

# The PIKA model

- Muon energy spectrum underground (vertical muons,  $\cos\theta=1$ ):

$$\frac{[dN]}{[dE_\mu]} = A \left\{ \frac{1}{1 + \frac{1.1E_\mu \cos\theta}{\epsilon_\pi}} + \frac{0.054}{1 + \frac{1.1E_\mu \cos\theta}{\epsilon_K}} \right\} \quad A \equiv \frac{0.14E_\mu^{-2.7}}{\text{cm}^2 \text{ s sr GeV}}$$

- Both  $\pi$  and K contribute,  $\epsilon$  is the energy where the probability of meson interaction and decay are equal:  $\epsilon_\pi = 115 \text{ GeV}$  and  $\epsilon_K = 850 \text{ GeV}$ .
- Generalising for  $\mu^+$  and  $\mu^-$ , the measured charge ratio on surface is:

$$\frac{N^{\mu^+}}{N^{\mu^-}} = \left\{ \frac{f_\pi}{1 + \frac{1.1E_{\mu^+} \cos\theta}{115 \text{ GeV}}} + \frac{0.054 \times f_K}{1 + \frac{1.1E_{\mu^+} \cos\theta}{850 \text{ GeV}}} \right\} / \left\{ \frac{1 - f_\pi}{1 + \frac{1.1E_{\mu^-} \cos\theta}{115 \text{ GeV}}} + \frac{0.054 \times (1 - f_K)}{1 + \frac{1.1E_{\mu^-} \cos\theta}{850 \text{ GeV}}} \right\}$$

- From L3+C and MINOS,  $f_\pi = 0.555(2)$  and  $f_K = 0.667(7)$ . These values imply the muon charge asymmetry induced by  $\pi$  and K is

$$r_\pi = f_\pi / (1 - f_\pi) = 1.25 \quad \text{and} \quad r_K = f_K / (1 - f_K) = 2$$