

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

(CMS PAPER MUO-10-001)

Motivazione

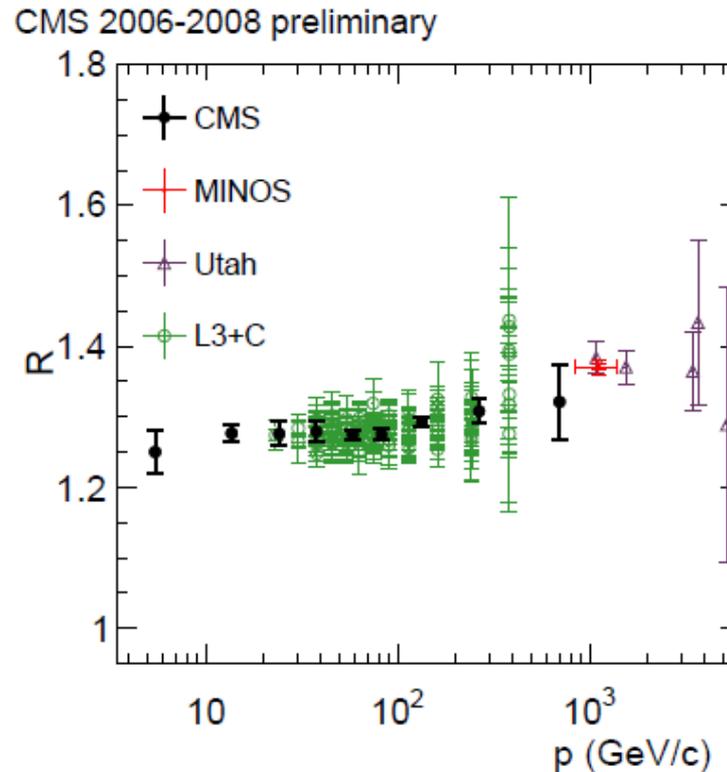
Origine dei muoni atmosferici:

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

– La produzione di π , 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 μ^+ che μ^- :

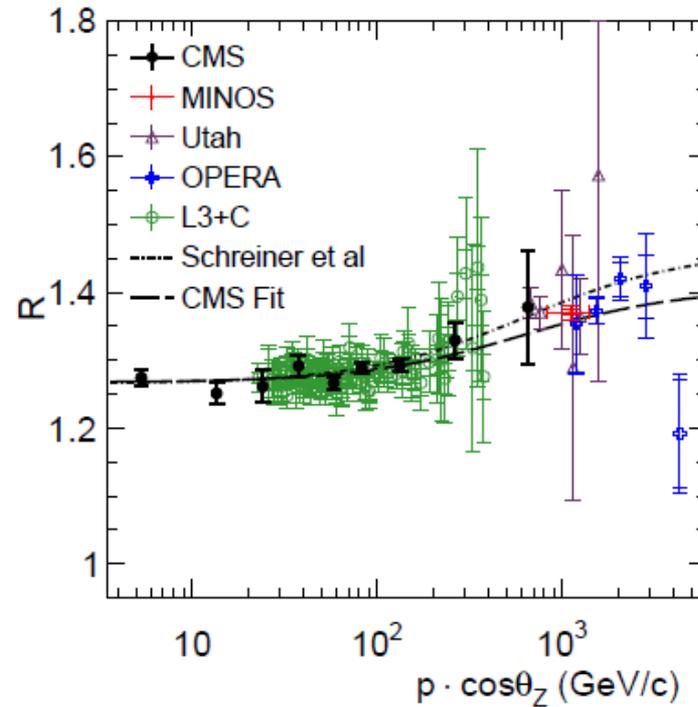
$$R = N_{\mu^+}/N_{\mu^-} > 1$$



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

Inoltre...

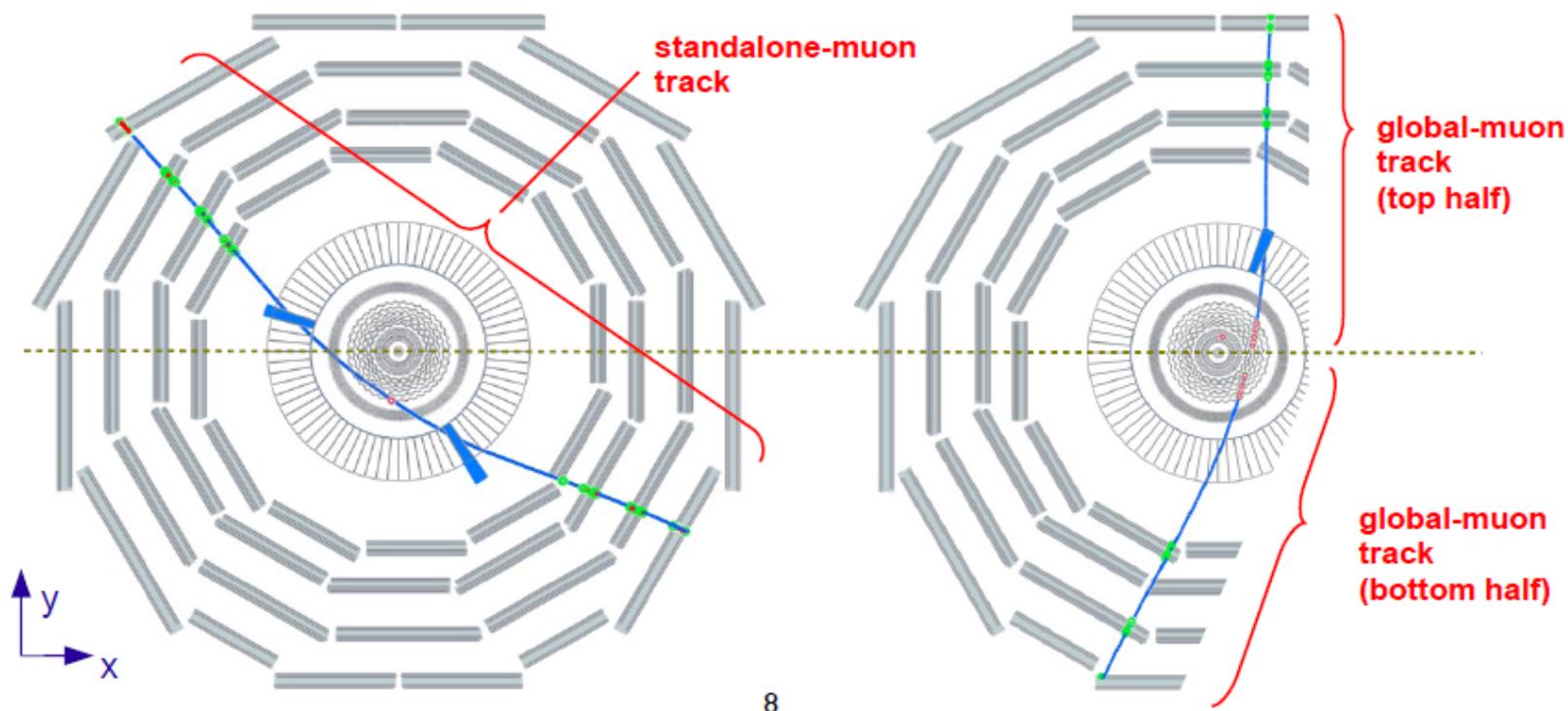
CMS 2006-2008 preliminary



- 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...

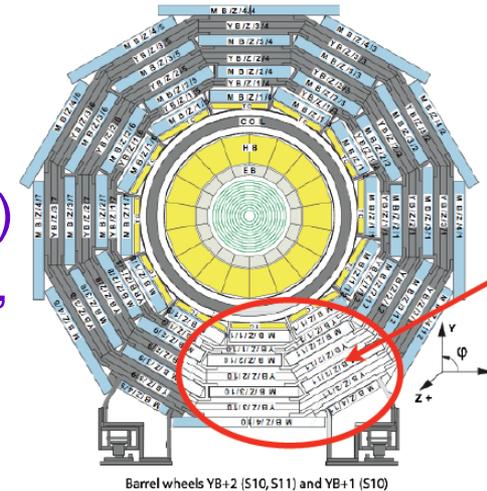
Run 68021, Event 2916729 - 2008 Oct 29 -- Run 68021, Event 2935068



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 μ^+ e μ^-
 - 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

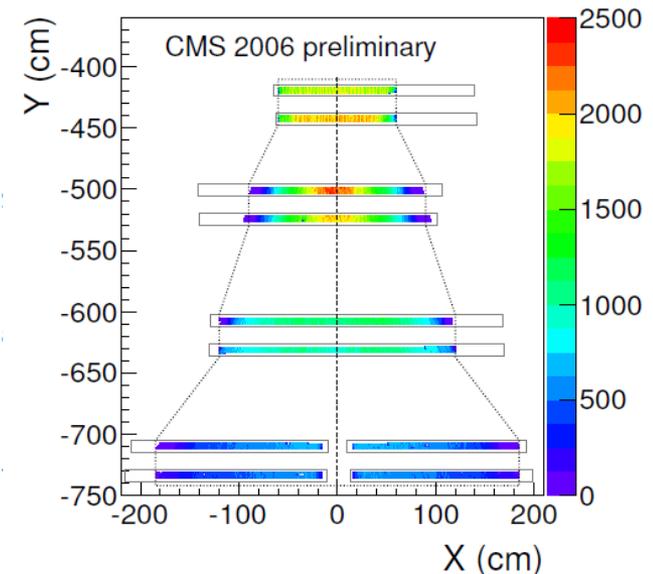
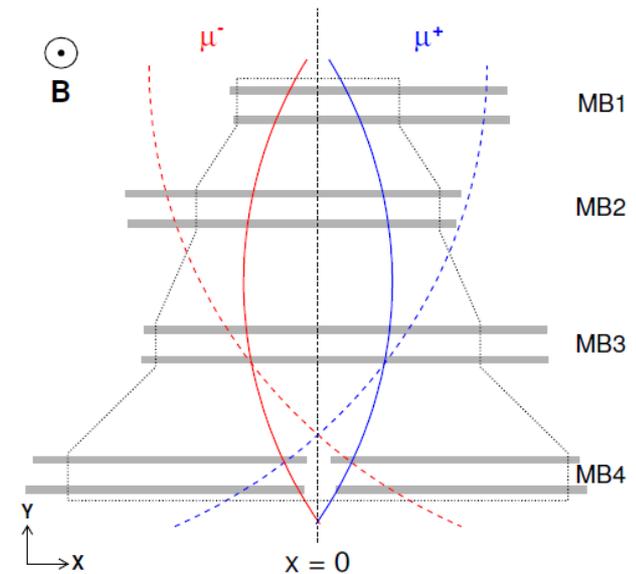
Accettanza non simmetrica rispetto alla carica

- 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 μ da momenti minori a momenti maggiori

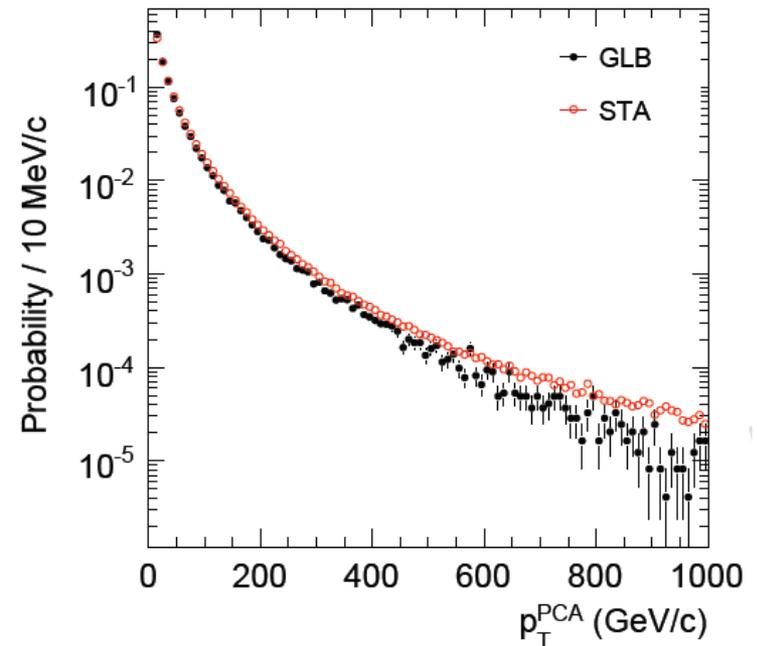
⇒ “**unfolding**” dello spettro

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

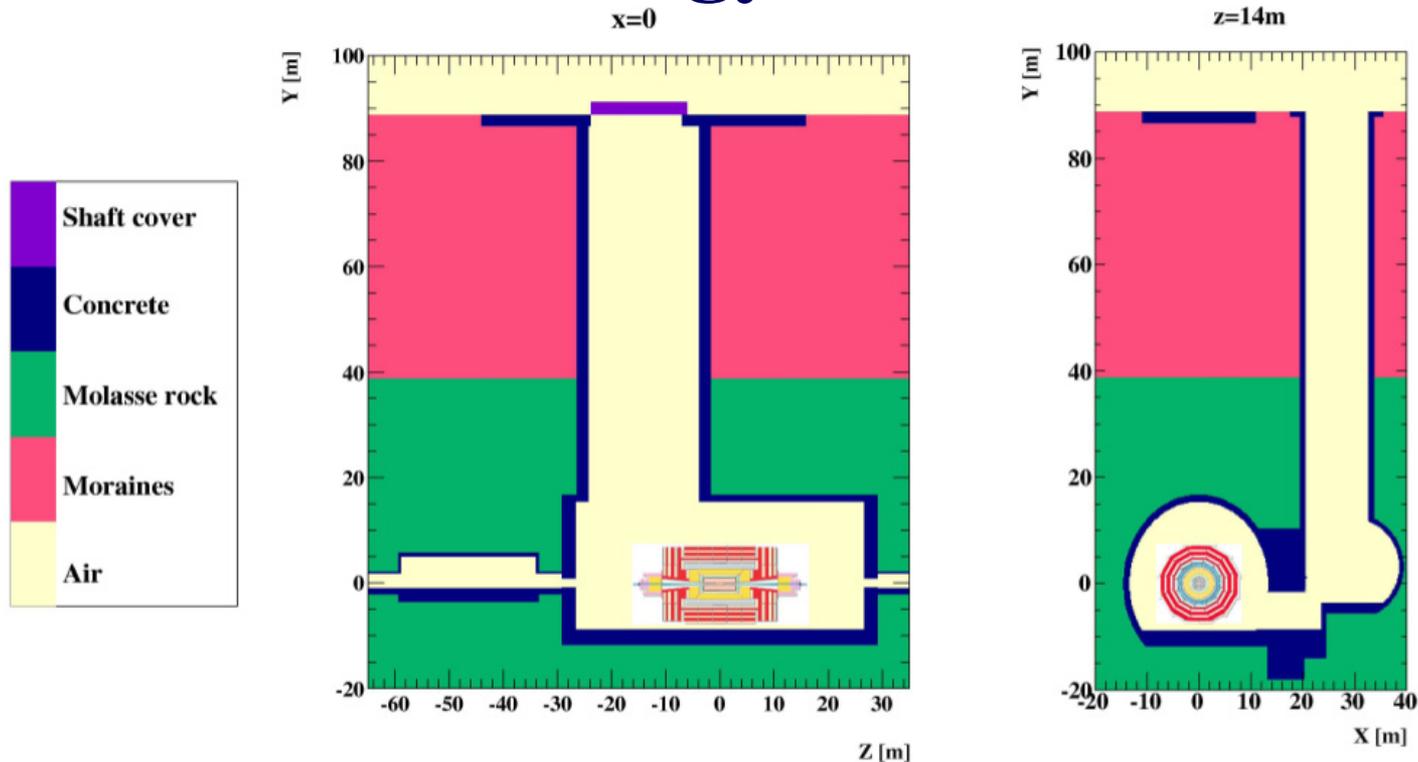
$$N_i^{measured} = \sum_j M_{ij} N_j^{true} \quad , \quad \tilde{N}_i^{true} = \sum_j \tilde{M}_{ij}^{-1} N_j^{measured}$$

“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

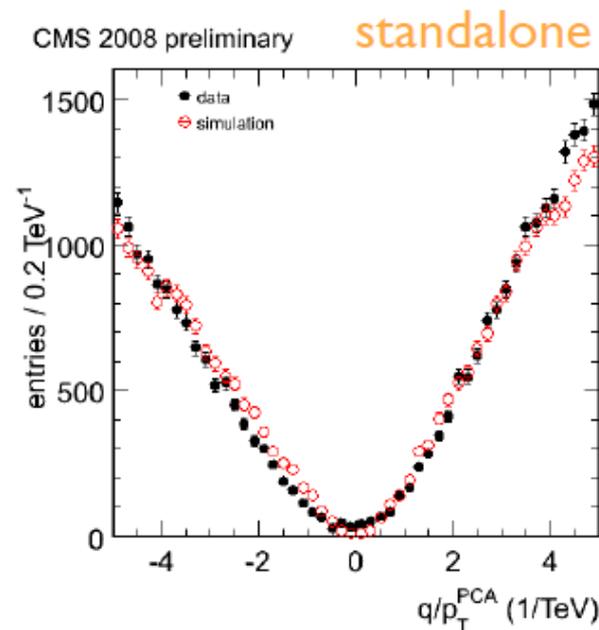
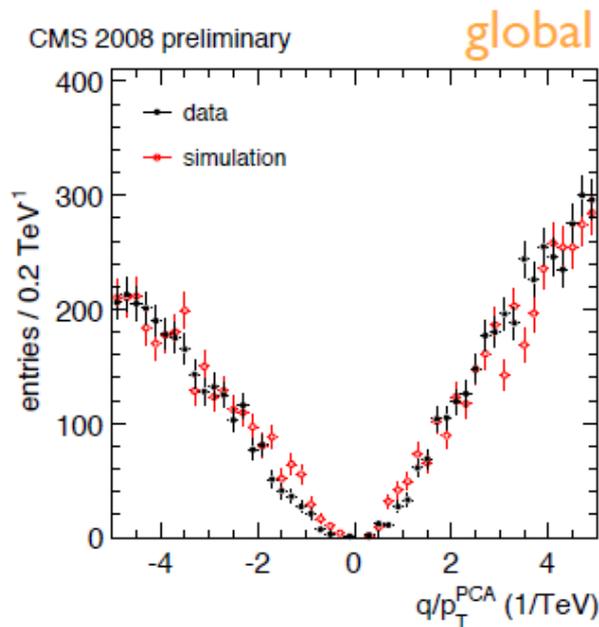
Sistematici

- 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 χ^2 -invarianti (“**weak mode**”)
 - In particolare: deformazione che produca un offset costante in q/p_T
 - bias nella scala di momento opposta per μ^+ e μ^-

End-point method

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

New method to constrain alignment !!



A bias of 0.043 ± 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 π and K contribute, ϵ 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 μ^+ and μ^- , 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 π and K is

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