

Μιόνιο $\mu^\pm$.

Mass $m = 105.6583715 \pm 0.0000035$ MeV

Mean life $\tau = (2.1969811 \pm 0.0000022) \times 10^{-6}$ s

$\tau_{\mu^+}/\tau_{\mu^-} = 1.00002 \pm 0.00008$

$c\tau = 658.6384$ m

Παραγωγή μιονίων

- $\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu} \quad (\approx 100\%)$
 $K^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu} \quad (\approx 63,5\%)$
- Η συνεισφορά των καονίων είναι 5% στις χαμηλές ενέργειες μιονίων , 8% στα 100 GeV και 19% στα 1000 GeV.
- :

$$\mu^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu_e(\bar{\nu}_e) + \bar{\nu}_{\mu}(\nu_{\mu})$$

Ροή μιονίων

Η ροή μιονίων, όπως δίδεται παραμετρικά από τον Gaisser, είναι:

$$\frac{dN_\mu}{dE_\mu d\Omega} \approx \frac{0.14 E_\mu^{-2.7}}{\text{cm}^2 \text{ s sr GeV}} \times \left\{ \frac{1}{1 + \frac{1.1 E_\mu \cos \theta}{115 \text{ GeV}}} + \frac{0.054}{1 + \frac{1.1 E_\mu \cos \theta}{850 \text{ GeV}}} \right\}$$

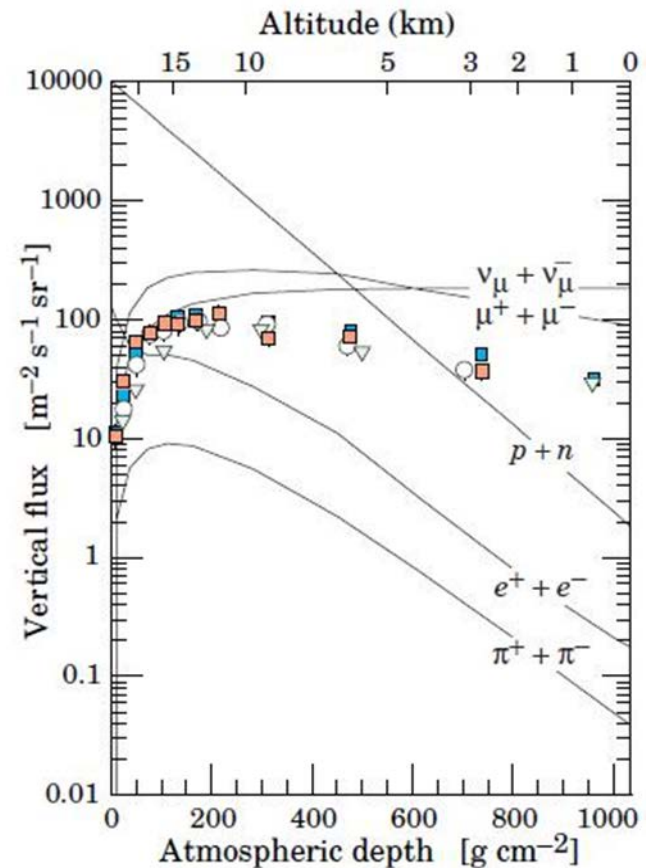
Ο πρώτος όρος περιγράφει την συνεισφορά των πιονίων ενώ ο δεύτερος την συνεισφορά των καονίων. Η κρίσιμη ενέργεια για τα πιόνια είναι 115 GeV για τα Καόνια 850 GeV.

θ είναι η γωνία της τροχιάς με την κατακόρυφο (ζενιθιακή γωνία).

Βάθος παραγωγής

Ο χρόνος ζωής των πιονίων είναι μικρός όμως ο παράγοντας γ μπορεί να είναι μεγάλος.

Στην ενέργεια 115 GeV για τα πιόνια, 850 GeV για τα καόνια, το μήκος διάσπασης γίνεται ίσο με το «βάθος» της ατμόσφαιρας. Δηλαδή σε ενέργεια μικρότερη από αυτήν επικρατεί η διάσπαση των πιονίων και το φάσμα ακολουθεί το φάσμα των πρωτογενών ενώ σε υψηλότερες ενέργειες, γίνεται πιο απότομο κατά μία μονάδα επειδή το μήκος διάσπασης γίνεται υπερβολικά μεγάλο σε σχέση με το ύψος της ατμόσφαιρας και τα πιόνια δεν προλαβαίνουν να διασπαστούν. ($\sigma\tau=7.8$ m $E_\pi = 1000$ GeV γίνεται 55,7 km).



Λόγος μ^+ / μ^-

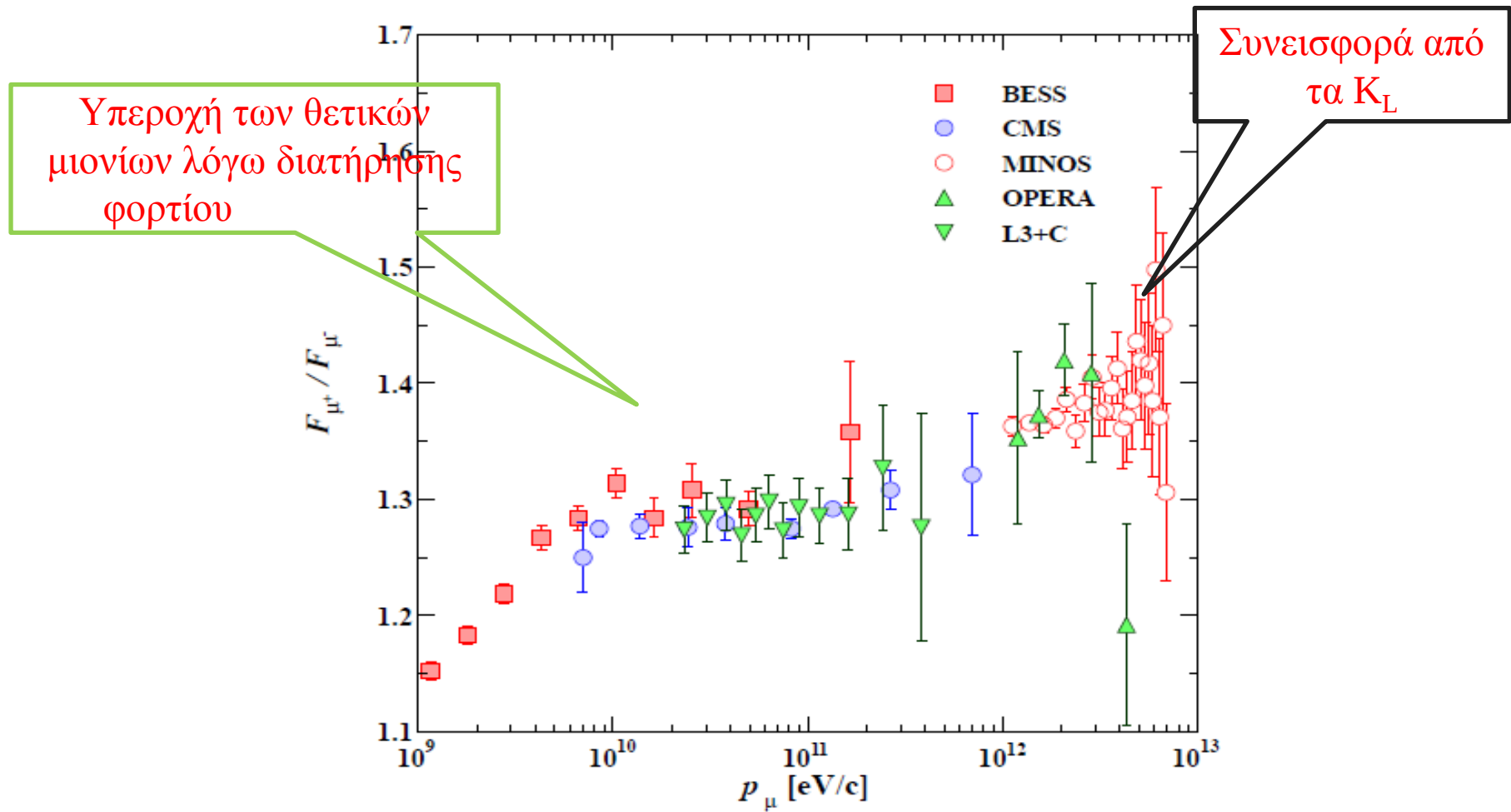


Figure 29.6: Muon charge ratio as a function of the muon momentum from Refs. [53,54,60,65,66].

Απώλειες Ενέργειας

Η απώλεια ενέργειας για μίονα είναι κατά προσέγγιση ίση με:

$$\frac{dE}{dx} \approx - \left(1,8 + 0,08 \ln \left(\frac{E_{\mu}}{\mu} \right) \right)$$

Σε γρήγορους υπολογισμούς χρησιμοποιούμε τον τύπο:

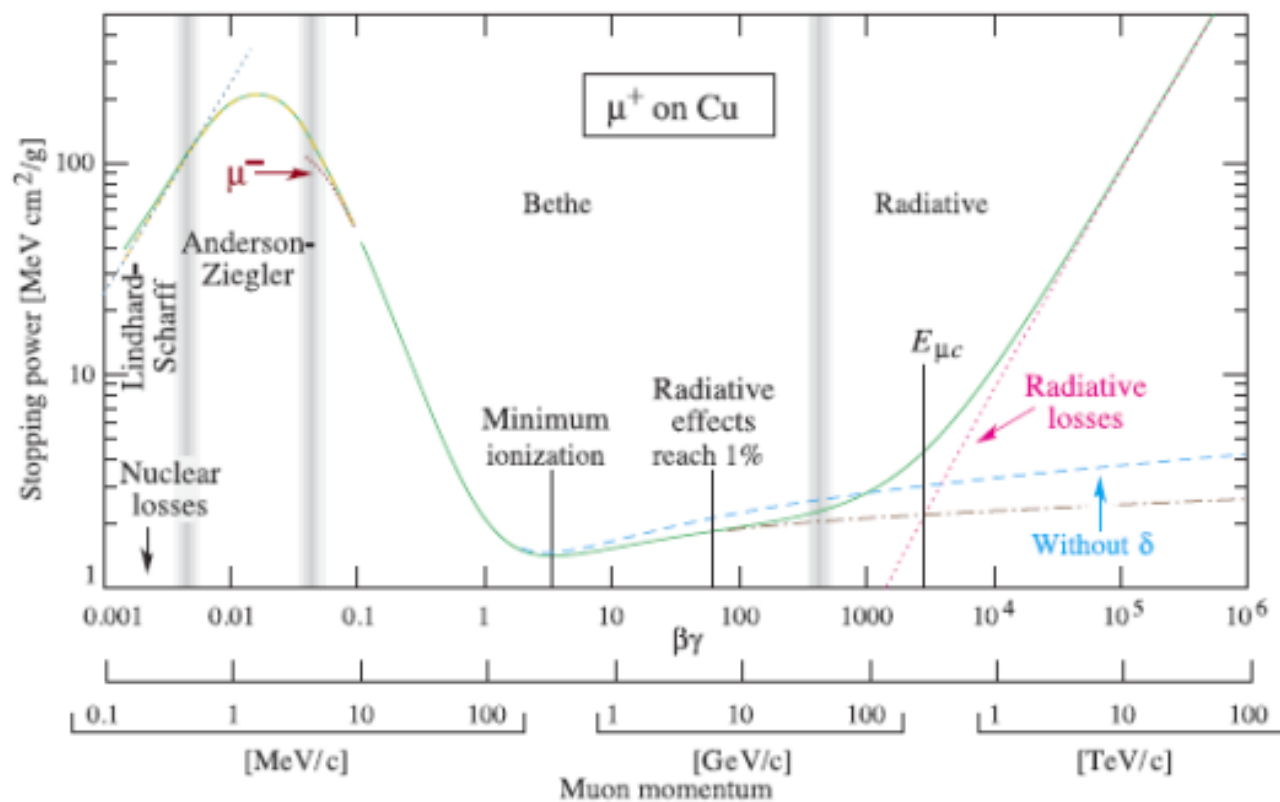
$$\frac{dE}{dx} \approx -1.8 \text{ MeV} / g \text{ cm}^{-2}$$

Το x είναι η επιφανειακή πυκνότητα σε g/cm^2 .

Η επιφανειακή πυκνότητα που αντιστοιχεί σε μια κατακόρυφη αέριο στήλη είναι περίπου $1030 g/cm^2$

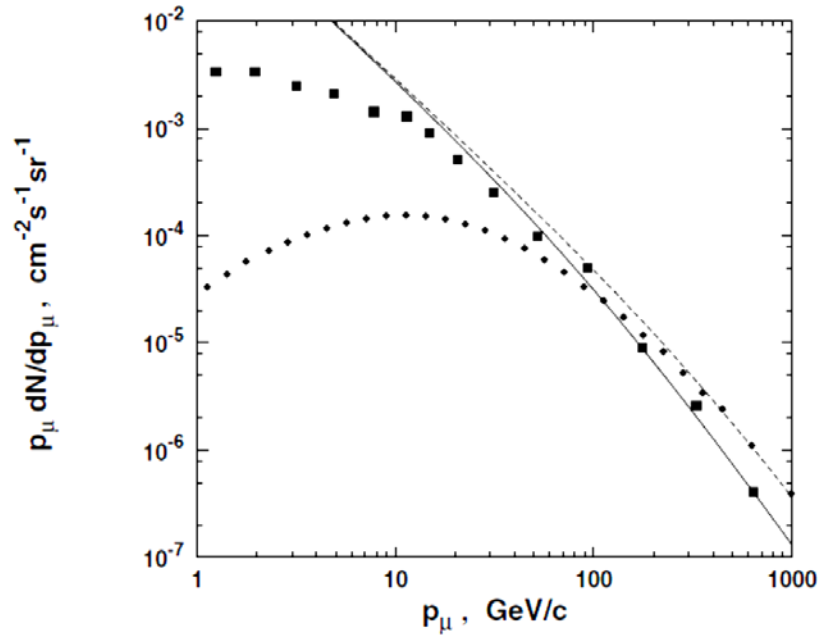
Οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας πέδης, είναι πολύ μικρότερες από τις απώλειες των ηλεκτρονίων, επειδή εξαρτώνται από τον λόγο $(m_e/m_{\mu})^2$ περίπου 40000 φορές μικρότερες.

Απώλεια ενέργειας μιονίων.



Διακρίνονται οι περιοχές ιονισμού, και ακτινοβολίας. Η ενδιάμεση περιοχή (0,5 ως 50 GeV είναι περιοχή ελάχιστου ιονισμού.

Ενεργειακό φάσμα.



Βλέπουμε την ροή των μιονίων σαν συνάρτηση της ορμής, όπως τα μετράμε στην επιφάνεια της θάλασσας. Τα τετράγωνα αντιστοιχούν σε κατακόρυφη διαδρομή, ενώ οι ρόμβοι σε γωνία 75 από την κατακόρυφο. Η συμπαγής γραμμές είναι ο υπολογισμός για τις δύο περιπτώσεις (σχέση 1). Παρατηρούμε την απώλεια ενέργειας στις χαμηλές ενέργειες, που οφείλεται στην ατμόσφαιρα. Στη δεύτερη περίπτωση διασχίζει πολύ μεγαλύτερο πάχος ατμόσφαιρας.

Πειραματικές τιμές

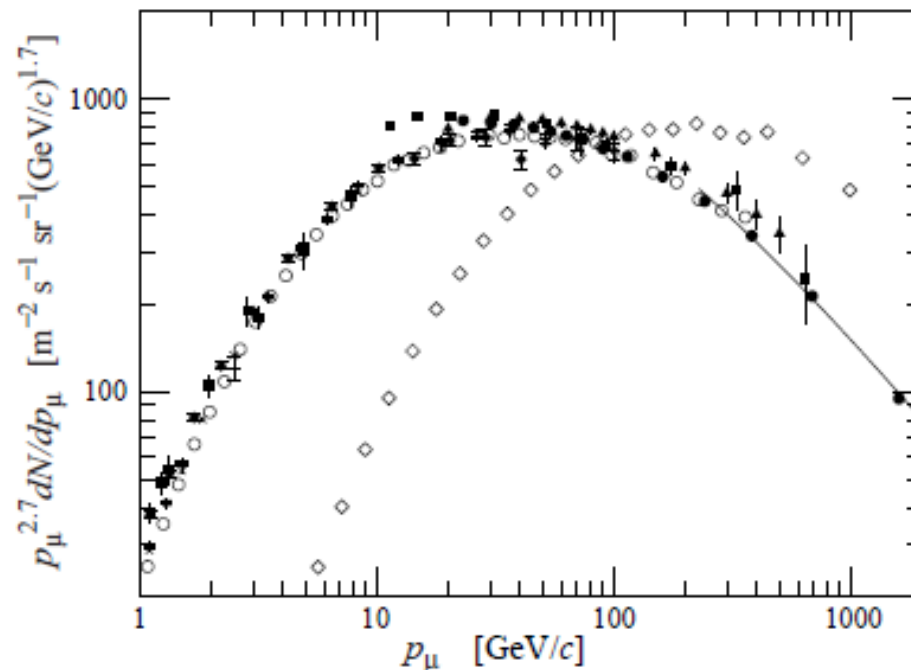
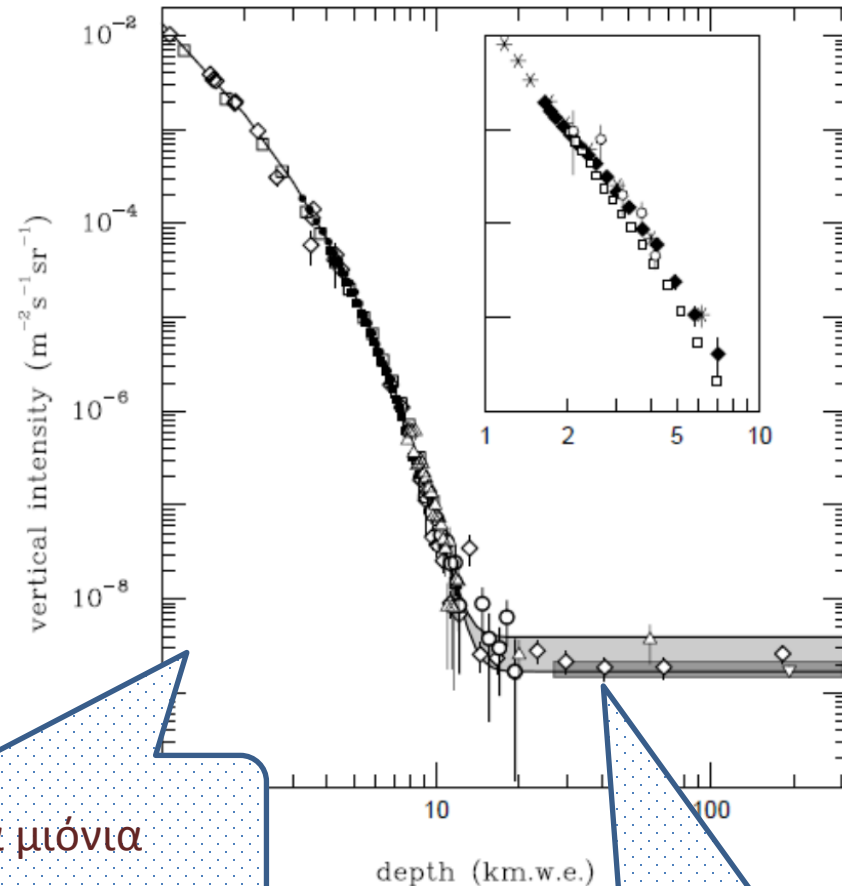


Figure 26.4: Spectrum of muons at $\theta = 0^\circ$ ($\blacklozenge$ [41], $\blacksquare$ [46], $\blacktriangledown$ [47], $\blacktriangle$ [48], $\times$, $+$ [43], $\circ$ [44], and $\bullet$ [45] and $\theta = 75^\circ$ $\diamond$ [49]). The line plots the result from Eq. (26.4) for vertical showers.

Μιόνια σε μεγάλο βάθος

Η ροή των μιονίων όπως έχει μετρηθεί και υπολογιστεί σε μεγάλο βάθος εδάφους ή νερού. Το βάθος δίνεται σε ισοδύναμα km νερού για να γίνεται σύγκριση ανάμεσα σε μετρήσεις στο έδαφος και τη θάλασσα.

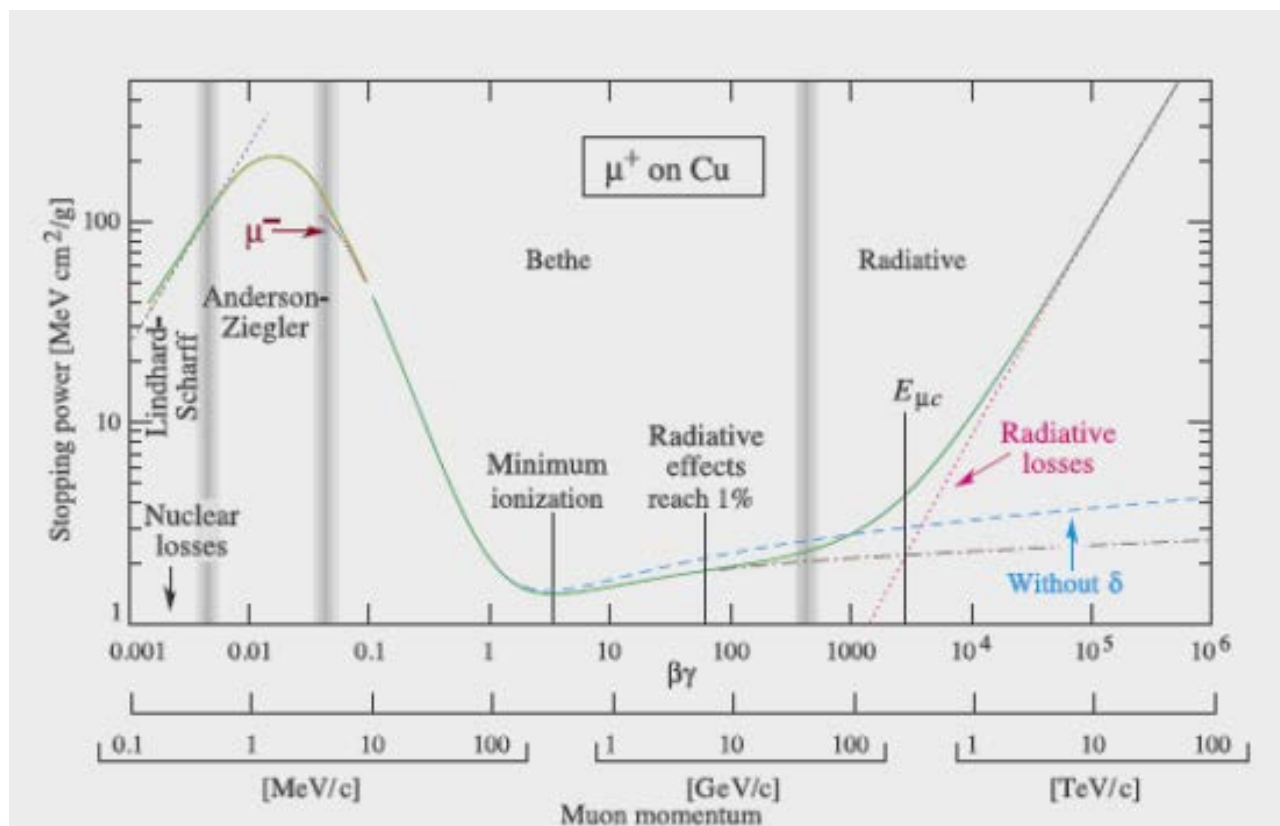
$$E_0^* = e^{-\frac{X}{\xi}} (E_\mu + \varepsilon) - \varepsilon$$



Ατμοσφαιρικά μιόνια

Τα μιόνια αυτά,
παράγονται από νετρίνα

Απώλειες Ενέργειας



Μετρήσεις μιονίων.

- Αρχικά μέχρι τη δεκαετία του 1970, για τη μελέτη του γεωμαγνητικού πεδίου.
- Στη συνέχεια για τη μελέτη των αδρονικών αντιδράσεων και της παραγωγής των αδρονικών καταιονισμών.
- Για τη μελέτη των αντιδράσεων των νετρίνων.

Μετρήσεις μιονίων

- Μετρήσεις του φάσματος των ορμών γίνονται με μαγνητικά φασματομέτρα.
- Το μιονίο δημιουργεί ένα καθαρό ίχνος στους ανιχνευτές, και λόγω της μικρής απώλειας ενέργειας διασχίζει ολόκληρο τον ανιχνευτή.
- Σε μεγάλους ανιχνευτές οι τοχιές των κοσμικών μιονίων χρησιμοποιούνται για την ευθυγράμμιση των ανιχνευτών.
Σε περιόδους που δεν έχουν δέσμη τα πειράματα καταγράφουν κοσμικά μίονια, και υπολογίζουν την ορμή τους από την απόκλιση της τροχιάς στο μαγνητικό πεδίο του ανιχνευτή.
- Τα πειράματα του LEP έκαναν ακριβείς μετρήσεις για το φορτίο, και την ορμή των μιονίων

Μέτρηση ορμής

- Η ικανότητα μέτρησης περιορίζεται στις υψηλές ορμές λόγω της μικρής απόκλισης.
- Όμως τα μίονια είναι διεισδυτικά και μπορούμε να υπολογίσουμε τις απώλειες ενέργειας όταν διασχίζουν την ύλη.
- Εδώ και δεκαετίες έχουν κατασκευαστεί πειράματα σε μεγάλο βάθος στο έδαφος σε μεγάλο βάθος στη θάλασσα καθώς και στον πάγο της Ανταρκτικής.
- Το ενδιαφέρον έχει μετατοπιστεί στην ανίχνευση νετρίνων.

Ανιχνευτές

- Στους ανιχνευτές αυτούς δεν προσδιορίζουμε την ορμή, αλλά υπολογίζουμε την ενέργεια από το βάθος διείσδυσης.
- Οι διαφορετικές ζενιθιακές γωνίες αντιστοιχούν σε διαφορετικά βάθη.
- Στους υπολογισμούς συνήθως θεωρούμε ότι η μέση επιφανειακή πυκνότητα της γης είναι $2,65 \text{ gr/cm}^2$.
- Για μεγαλύτερη ακρίβεια, χρησιμοποιούνται τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής.
- Για να έχουμε σύγκριση με τα πειράματα σε νερό, χρησιμοποιούμε σαν μονάδα το 1k.w.e. (Ισοδύναμο χιλιόμετρο νερού)

Ροή μιονίων σ θάλασσα.

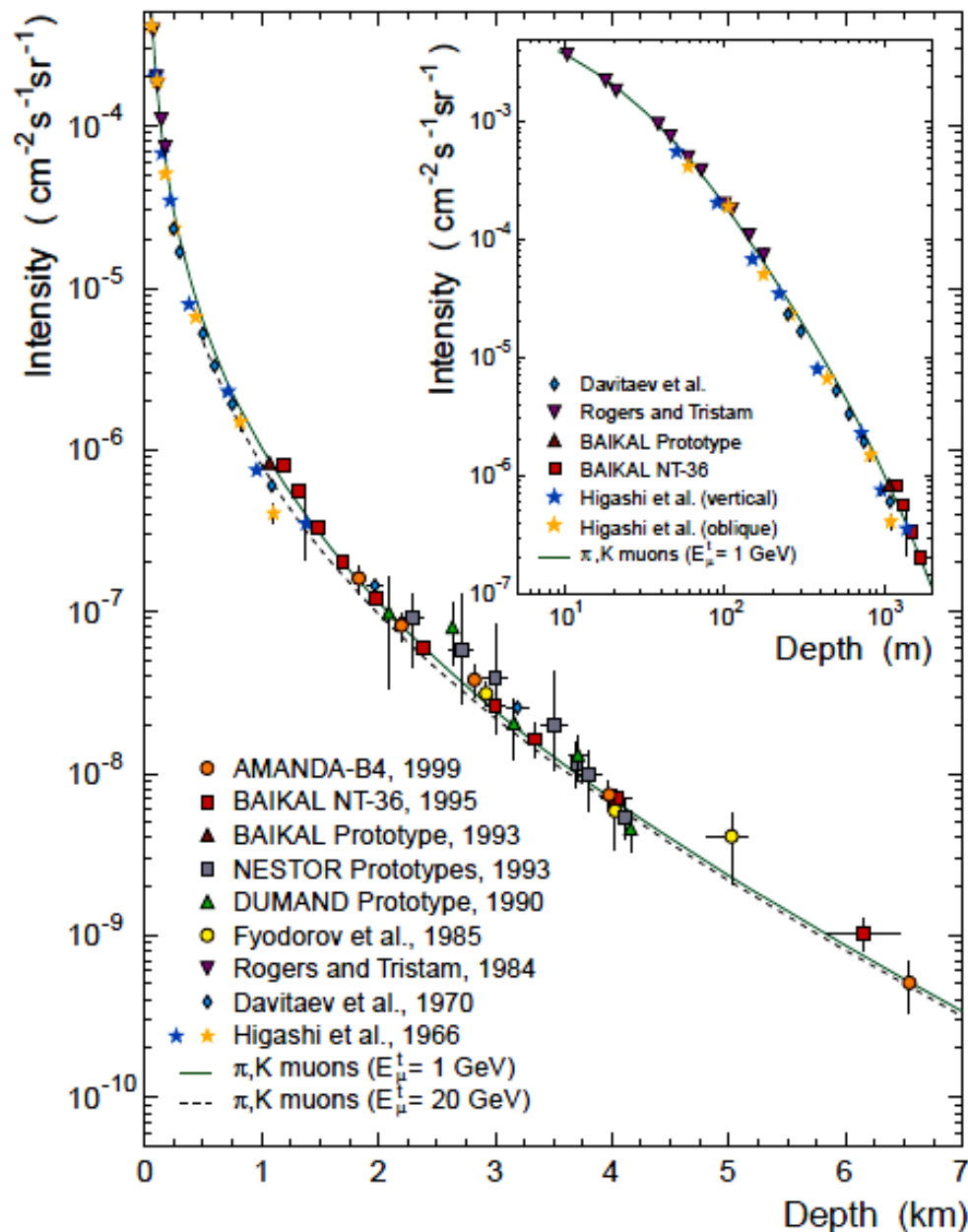
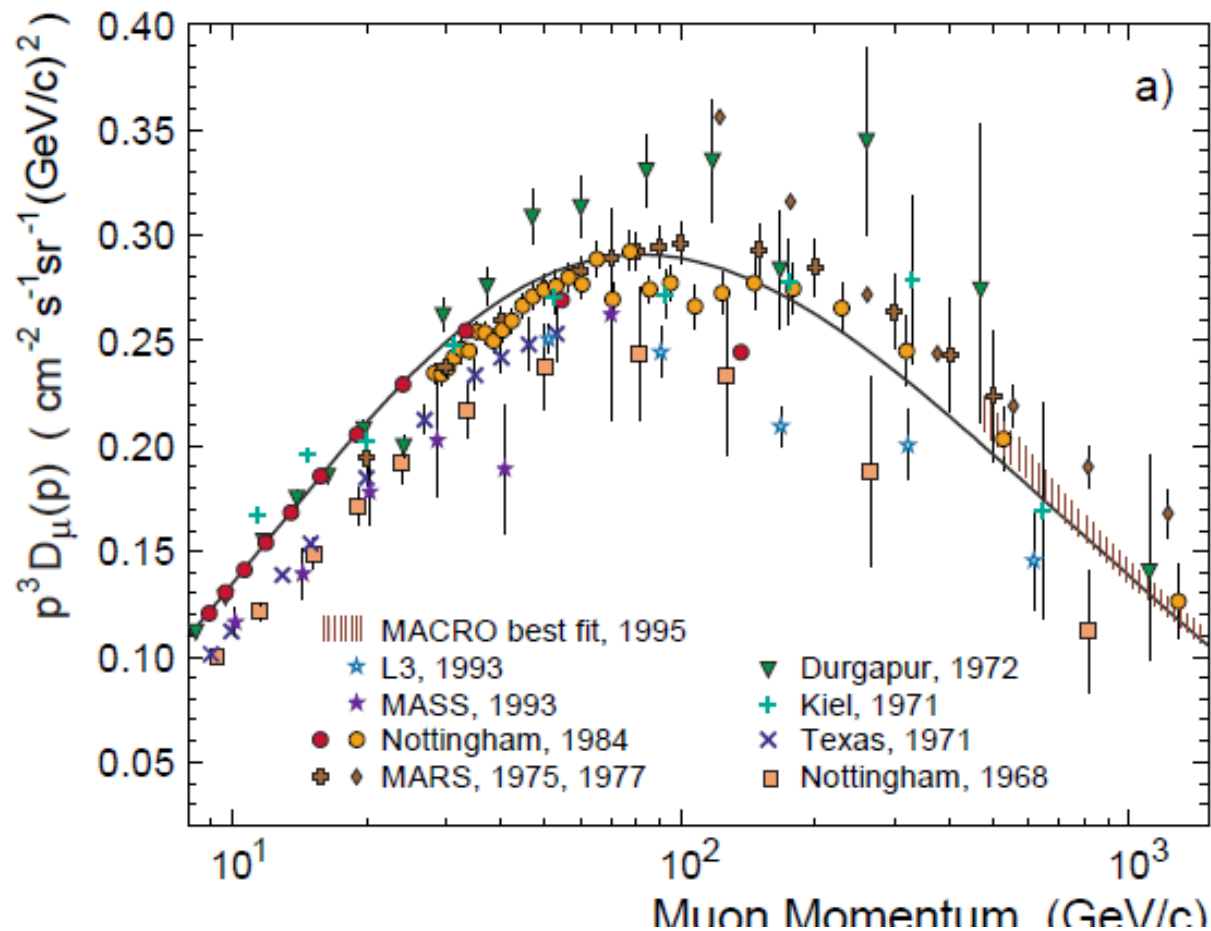
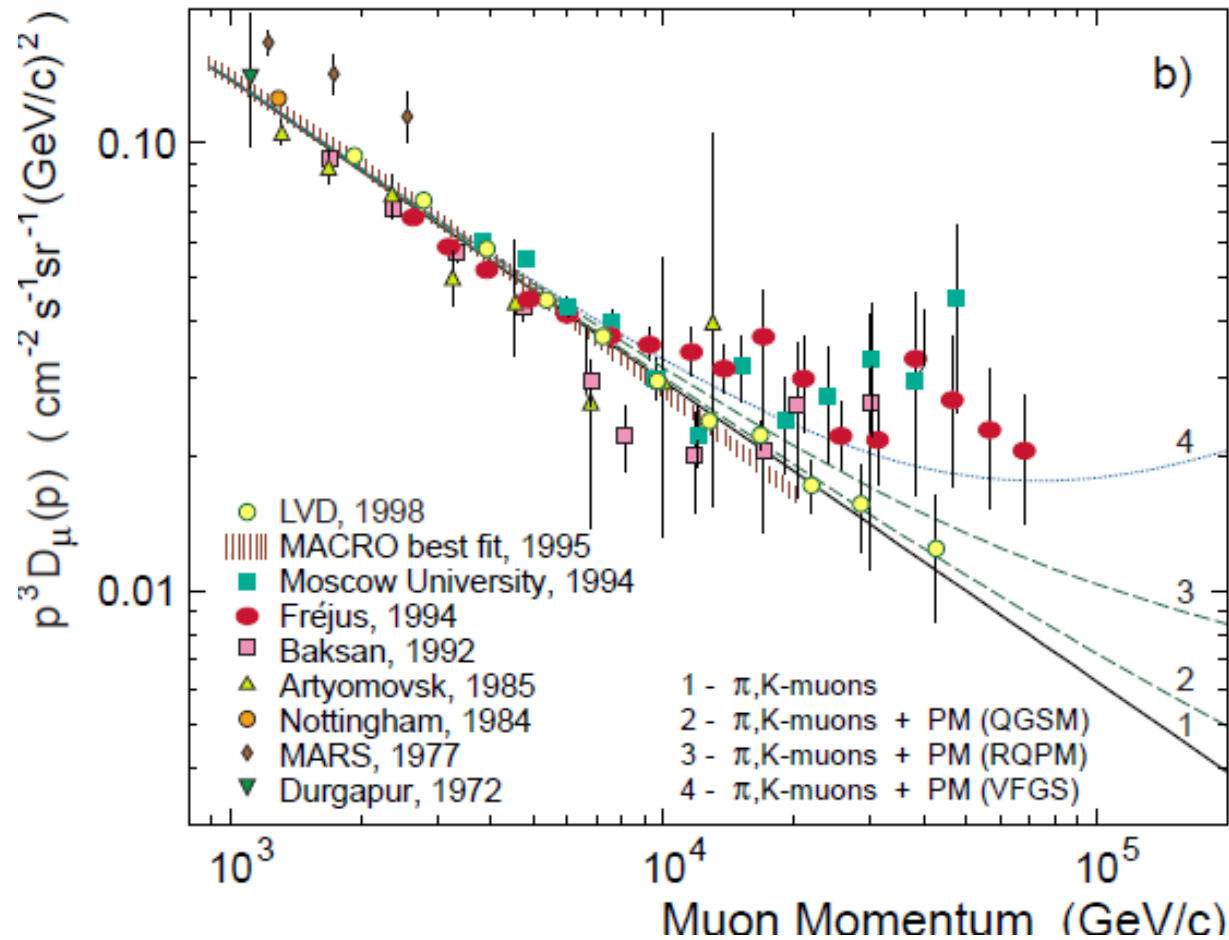


FIG. 15. Muon intensity vs depth in water. The data of underwater experiments are from Refs. [51–59]. The curves are for the calculated π, K -muon DIR.

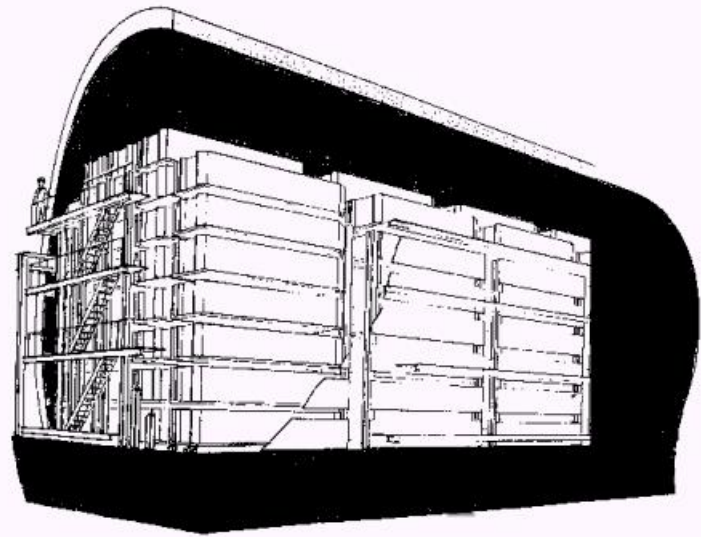
Κατακόρυφη ροή μιονίων στην επιφάνεια της γης.



Κατακόρυφη ροή μιονίων στην επιφάνεια της γης.



Ανιχνευτής LVD στο Gran Sasso.



Ανιχνευτής LVD στο Gran Sasso.

