

Βασικές ιδιότητες Η.Μ. καταιονισμού.

Ο μέγιστος αριθμός σωματιδίων που δημιουργούνται :

$$N_{\max} = E_0 / E_c$$

Το μέγιστο δημιουργείται σε απόσταση (σε μήκη ακτινοβολίας):

$$X_{\max} = \lambda \ln(E_0 / E_c) / \ln 2$$

Εγκάρσιο πλάτος.

Το άνοιγμα του κώνου οφείλεται στην σκέδαση των ηλεκτρονίων στα ατομικά ηλεκτρόνια του μέσου. Πολλαπλή σκέδαση. Η μέση γωνία σκέδασης δίνεται:

$$\langle \delta\theta^2 \rangle = \left(\frac{E_s}{E} \right)^2 \delta X$$

Η διεύρυνση υπολογίζεται:

$$R_E = r_1 \frac{E_c}{E}$$

Όπου r_1 η ακτίνα Molier

$$r_1 = \left(\frac{E_s}{E_c} \right) X$$

$E_c = 80 \text{ MeV}$, $E_s = 21 \text{ MeV}$. Ο τύπος ισχύει για χαμηλές ενέργειες στις υψηλότερες η ακτίνα γίνεται στενότερη. Ο τύπος δίνει $r_1 = 9,3 \text{ g/cm}^2$, ενώ ο υπολογισμός MC για ένα φωτόνιο ενέργειας **1000 GeV** δίδει **5,94 g/cm**.

Ορισμός κρίσιμης ενέργειας.

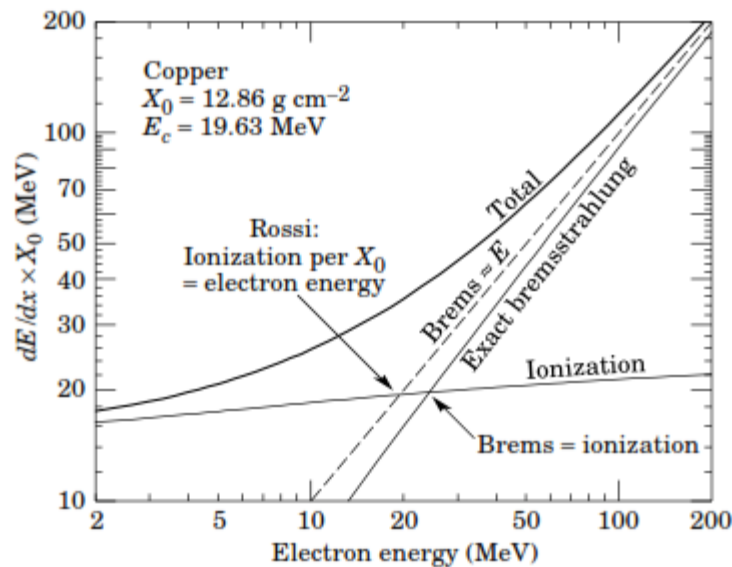


Figure 30.13: Two definitions of the critical energy E_c .

Το μήκος ακτινοβολίας για τον αέρα είναι:

$\xi_0 = 36.62 \text{ gr/cm}^2$ ή $X_0 = 280 \text{ m}$ (κανονικές συνθήκες)

Υπολογισμοί

Αναλυτικός υπολογισμός από Greisen και Rossi.

Γρήγορος, παραμετρικός υπολογισμός. Ιδιαίτερα χρήσιμος την εποχή που οι υπολογιστές δεν είχαν αναπτυχθεί.

$$N_e^r = \frac{0.31}{\sqrt{\beta}} \exp \left[X \left(1 - \frac{3}{2} \ln s \right) \right]$$

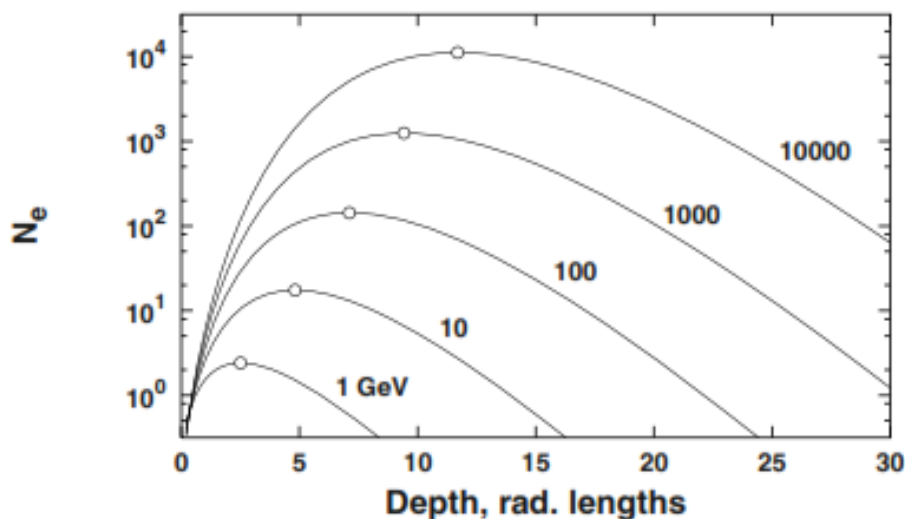
$$s = \frac{3X}{X + 2\beta}$$

$$\beta = \frac{E}{E_c}$$

Υπολογισμός με τη μέθοδο Monte Carlo.

Σε κάθε βήμα $0,5 X_0$ γίνεται υπολογισμός της πιθανότητας για δημιουργία νέων σωματιδίων και υπολογίζονται οι απώλειες και η γωνία σκέδασης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε σωματίδιο και σταματά όταν η ενέργεια κάτω από την ενέργεια που έχουμε ορίσει.

Παραμετρικός υπολογισμός



$$N_e^r = \frac{0.31}{\sqrt{\beta}} \exp \left[X \left(1 - \frac{3}{2} \ln s \right) \right]$$

$$s = \frac{3X}{X + 2\beta}$$

$$\beta = \frac{E}{E_c}$$

Fig. 8.2. Shower profiles for electrons in Appr. B in showers of primary photons of different energy calculated with (8.6). The primary energy is indicated by the respective profiles. The depth of shower maximum is indicated with circles.

Αριθμός σωματιδίων και μέγιστο καταιονισμού όπως υπολογίζεται από τους τύπους των Rossi και Greisen . Οι καμπύλες χρησιμοποιούνται για γρήγορο υπολογισμό του βάθους του μεγίστου.

Υπολογισμός με Μόντε Κάρλο

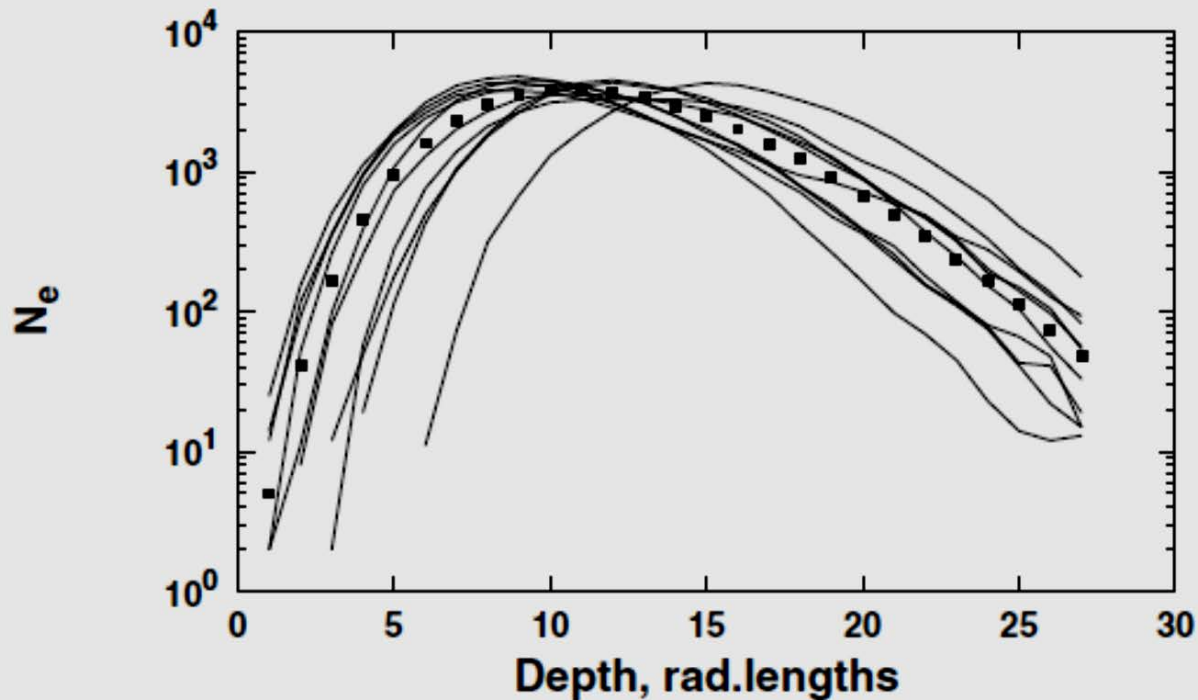
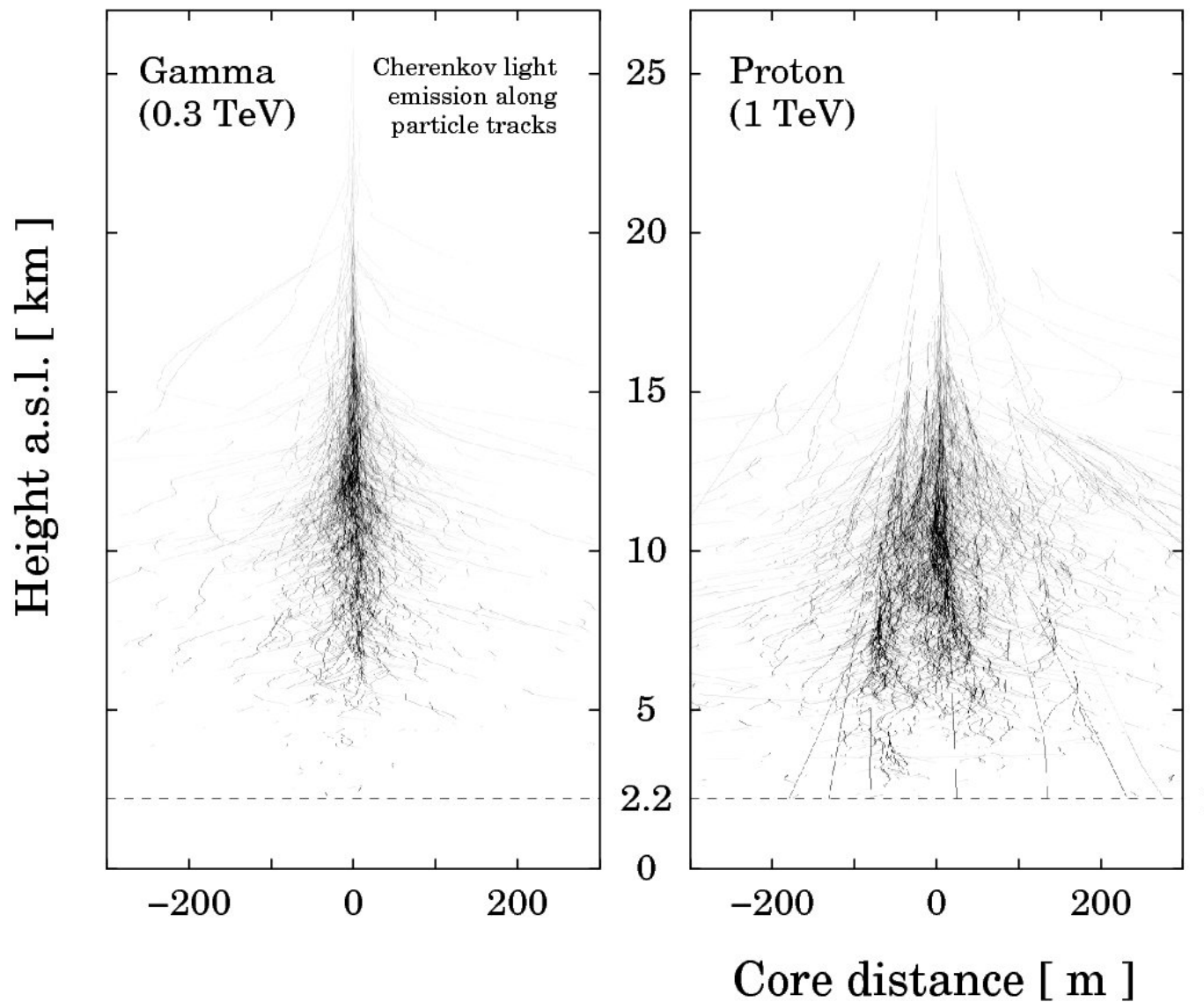


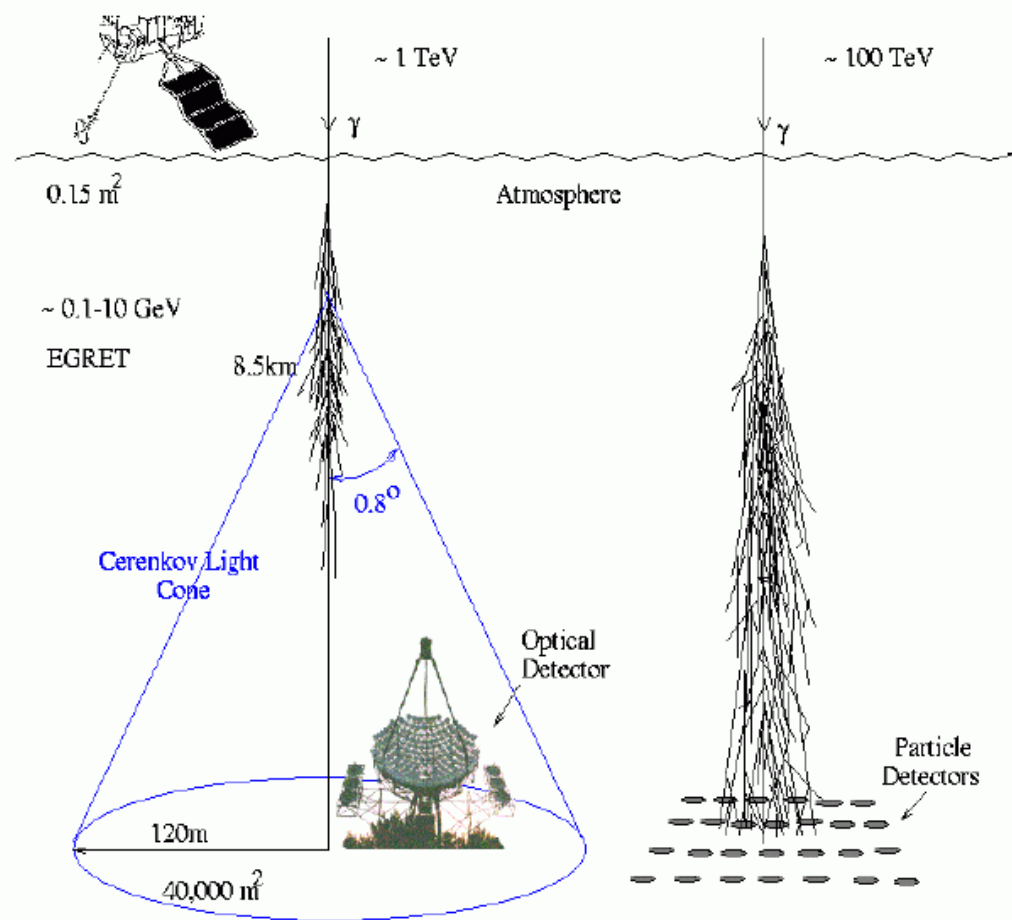
Fig. 8.6. Number of electrons with energy above 1 GeV in a shower from primary photon of energy 10^5 GeV. The lines show the shower profiles for 10 individual showers and the squares show the average profile from 100 showers

Με τον υπολογισμό Μ.Κ. μπορούμε να υπολογίσουμε την διασπορά στη θέση δημιουργίας, στον αριθμό των σωματιδίων και το άνοιγμα του καταιονισμού.

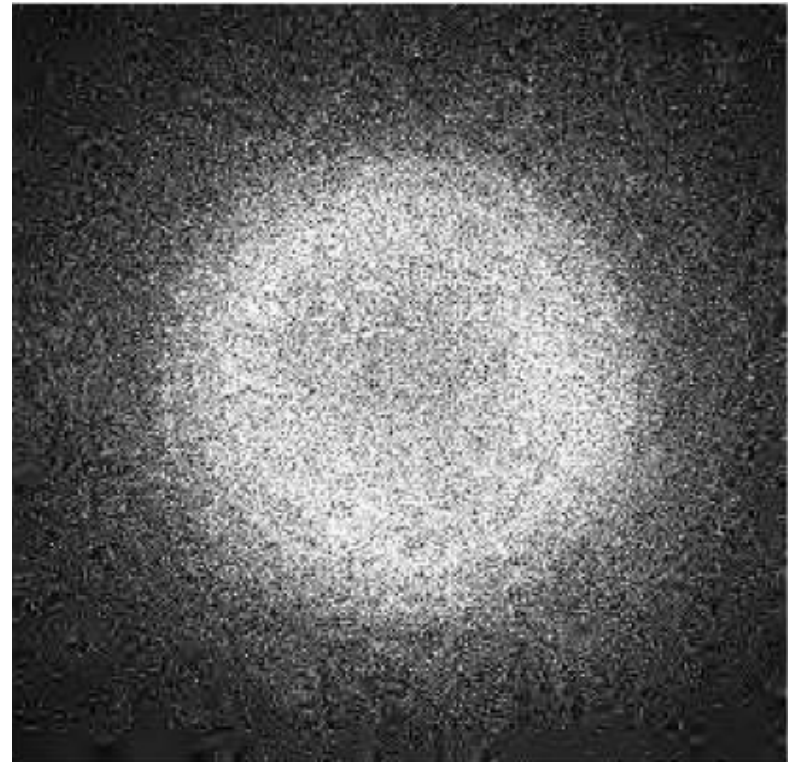
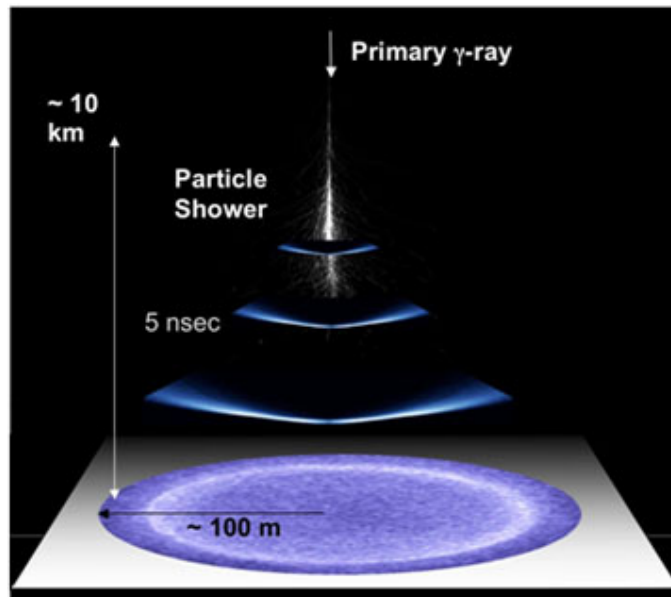
Μορφή ΗΜ καταιονισμών



Ανιχνευτές γάμμα



Μέτωπο Cerenkov



Ιστορία.

Δεκατία 1960 Jelly, παρατηρήθηκε η ακτινοβολία Cherenkov σε Κ.Α.

Δεκαετία 1980 μια ένδειξη ότι υπάρχει ακτινοβολία που συσχετίζεται με τον Cyg X3.

Νέο ενδιαφέρον για τις ακτίνες γ , (T. Weeks)

!990 Πιθανό σήμα από Cyg X3 (Whipple). (Μάλλον λάθος ανάλυση)

Ξεκινά η κατασκευή νέων τηλεσκοπίων με μεγάλη διακριτική ικανότητα.



Ιδιότητες

Μεγάλη κατευθυντικότητα του φωτός, μπορεί να εντοπίσει σημειακές πηγές.

Ανιχνεύουν γ πολύ υψηλής ενέργειας.

Μεγάλη επιφάνεια ανιχνευσης, για γεγονότα με μικρή συχνότητα.

Υπόβαθρο από αδρονικούς καταιονισμούς

Οι ΗΜ έχουν στενότερο ίχνος

Χρονική διασπορά μικρότερη από 10 ns.

Κατασκευή με πολλούς ανιχνευτές για μεγαλύτερη διακριτότητα.

Υψηλό κατώφλι ενέργειας (1 TeV)

Με τα νέα μεγάλα κάτοπτρα έχει ελαττωθεί στα 50 GeV



Whipple, VERITAS



HESS

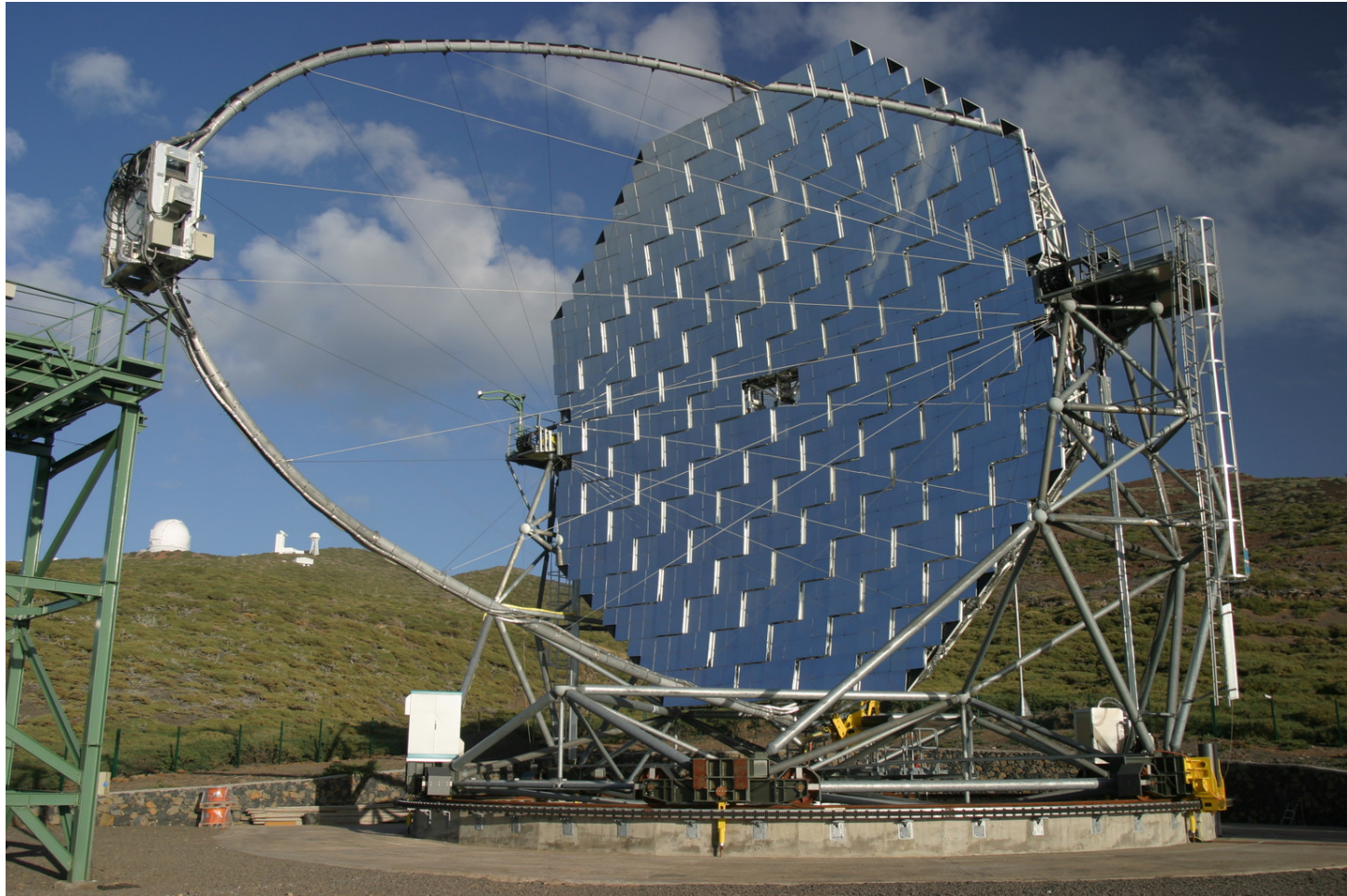


HESS

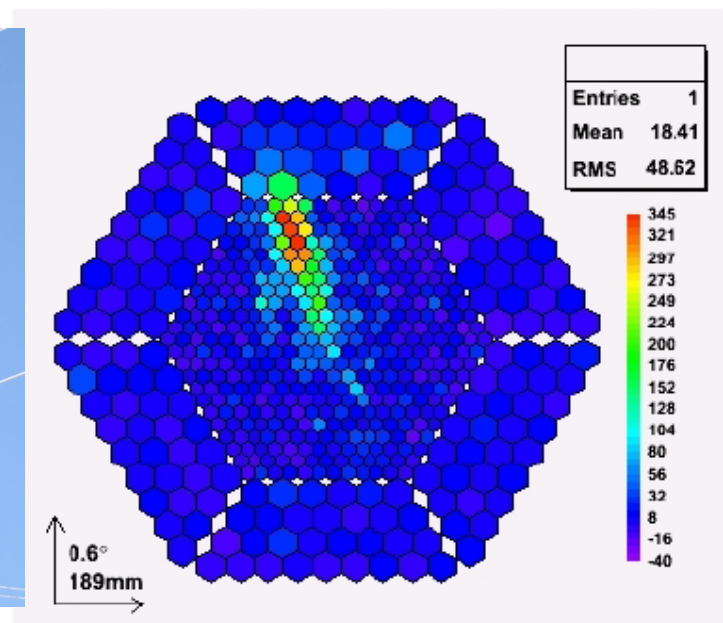




MAGIC



Κάμερα MAGIC

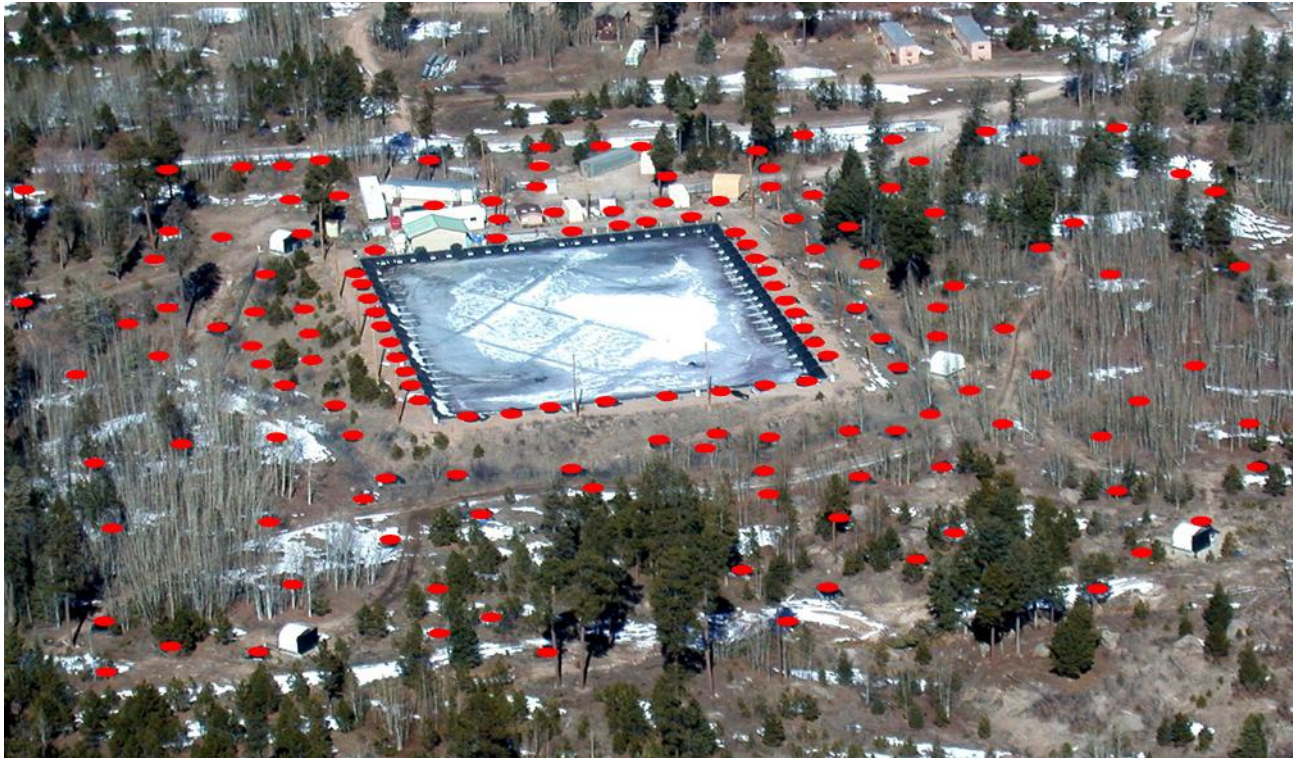
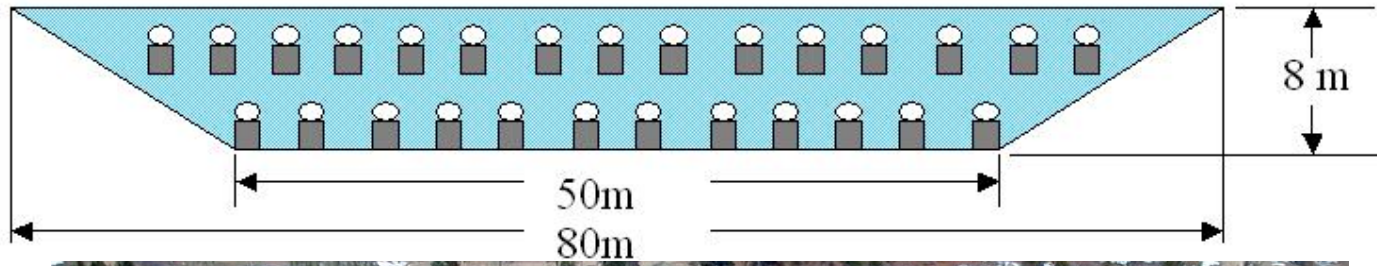




KANGAROO



MILAGRO



Παραγωγή

$p + p \rightarrow p(n) + m \pi^0 + 2m \pi^{+-}$
 m η πολλαπλότητα.

π^0	π^+	π^{--}	p
1/6	1/6	1/6	1/2
$\gamma \gamma$	$e^+ \nu_e \nu_\mu \bar{\nu}_\mu$	$e^- \dots$	

Ενέργεια σε $\gamma e^+ e^-$ ίση με την ενέργεια που πάει σε νετρίνα.

Πηγές

Γαλαξιακές

SNR Υπολείμματα Σουπερ Νόβα.

PWN pulsar wind nebule

BP Διαδικοί Πάλσαρ

GMC Γιγάντια Μοριακά νέφη.

Εξωγαλαξιακές

AGN (Blasars) Ενεργοί Πυρήνες Γαλαξιών.

Αντιδράσεις:

Πρωτόνια αντιδρούν με το αέριο γύρω από τη πηγή και παράγουν π^0 το οποίο διασπάται σε δύο φωτόνια γ .

Ηλεκτρόνια επιταχύνονται στα κύματα κρούσης, στη συνέχεια, με αντίστροφη σκέδαση Compton, μεταφέρεται ενέργεια τους στα φωτόνια γ .

Αντίστροφη Σκέδαση Compton

Είναι γνωστό το φαινόμενο Compton κατά το οποίο ένα φωτόνιο σκεδάζεται σε ένα ατομικό ηλεκτρόνιο, μεταφέροντας ένα μέρος της ενέργειας του στο ηλεκτρόνιο.

Εάν το ηλεκτρόνιο έχει μεγάλη κινητική ενέργεια συμβαίνει τον αντίστροφο φαινόμενο δηλαδή το φωτόνιο να κερδίσει ενέργεια.

Για μία μετωπική κρούση, υπολογίζεται :

$$\hbar\omega = \frac{4}{3} \gamma^2 \hbar\omega_0$$

Αν ηλεκτρόνιο με $\gamma=1000$ (510 MeV)

σκεδαστεί με φωτόνιο

R.F. $\nu=10^9$ Hz $\rightarrow 10^{15}$ Hz (UV)

I.F. $\nu=3 \times 10^{12}$ Hz $\rightarrow 3 \times 10^{18}$ (x-ray)

visual $\nu=4 \times 10^{14}$ Hz $\rightarrow 4 \times 10^{20}$ (γ 1,6 MeV)

Ενέργεια από SNR (υπόλειμμα Σ.Ν.)

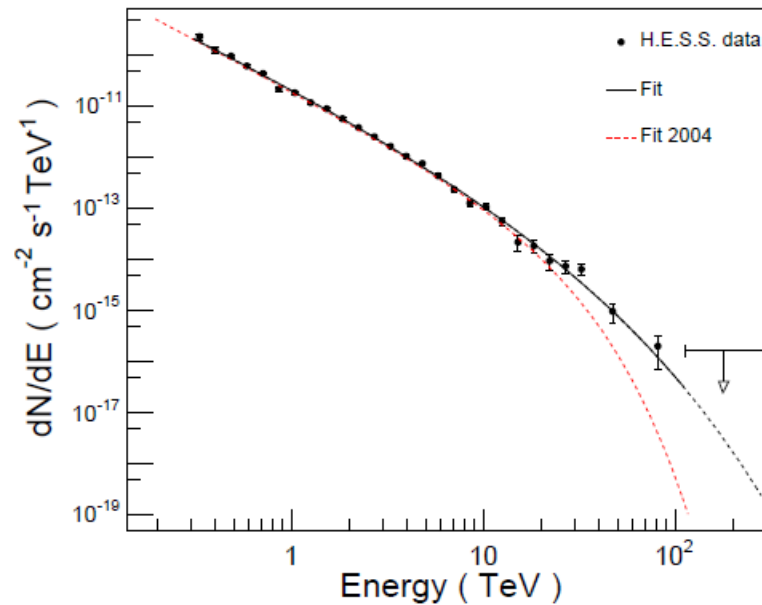
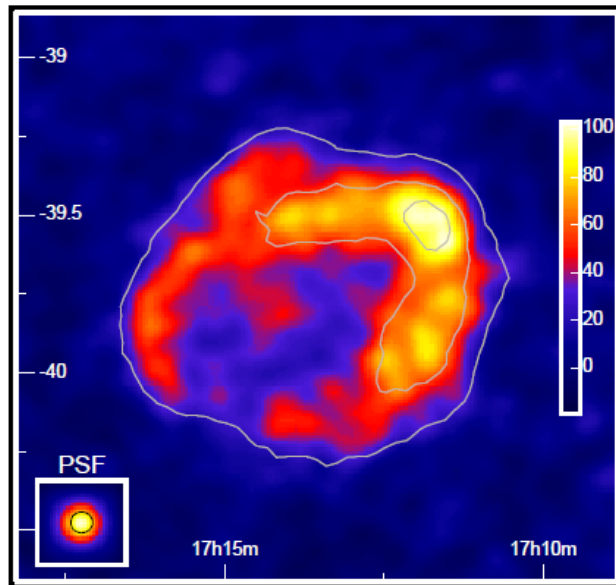


Fig. 1. The TeV gamma-ray image of RX J1713.7-3946. The energy spectrum of gamma-rays from RX J1713.7-3946. The spec

The Fascinating TeV Sky

Felix Aharonian

Crab Nebula , Αντίστροφη σκέδαση Compton

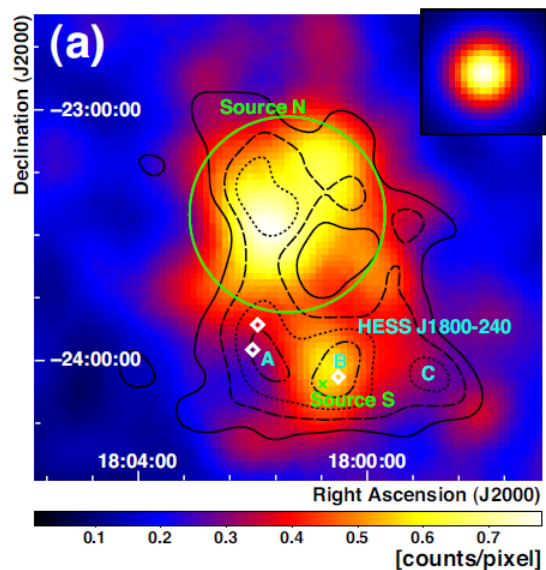


Figure 3: Smoothed image of 2-10 GeV gamma-rays around W28 obtained with the Fermi-LAT. The contours show the HESS significance map for TeV gamma-rays (20%, 50%, and 100% significance levels).

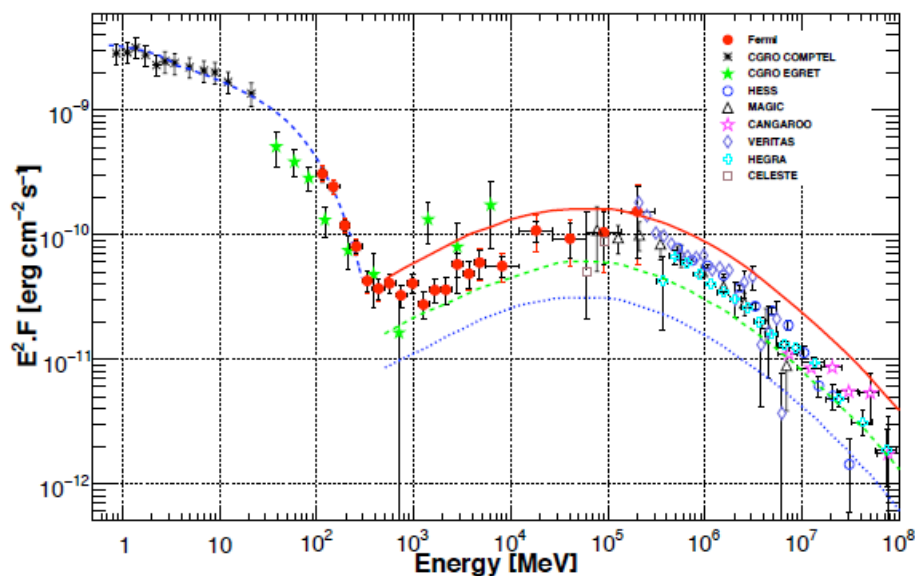


Figure 4: Broad-band spectral energy distribution (SED) of the Crab Nebula (see for details in the text).

Συνδιασμός δορυφορικών και επίγειων μετρήσεων

Πηγές στον Γαλαξία

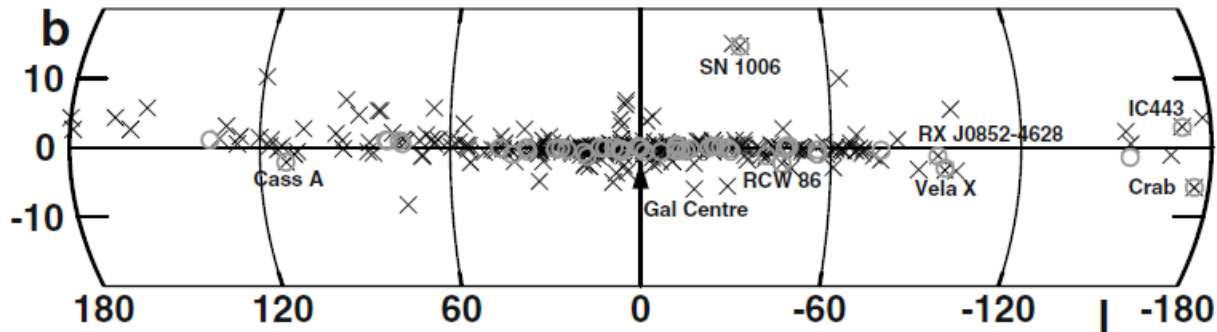


Fig. 10.5. Circles show the positions of the TeVCat TeV γ -ray sources and the x 's show the positions of 274 supernova remnants from D.A. Green's catalog in galactic coordinates.

Κατανομή των πηγών TeV στον Γαλαξία. Παρατηρούμε τη μεγαλύτερη συγκεντρωση στον πυρήνα του γαλαξία.

Εξωγαλαξιακές πηγές

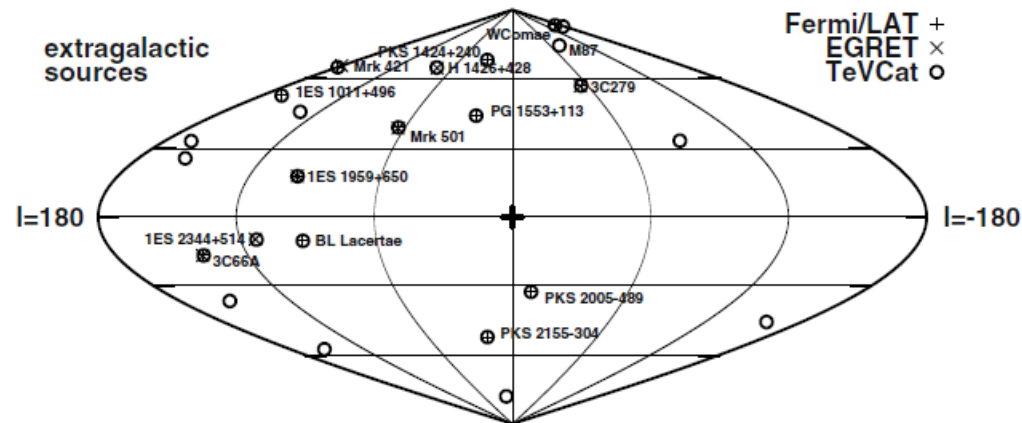


Fig. 10.9. Twenty-three TeV γ -ray sources listed in TeVCat are shown with circles

Κατανομή εξωγαλαξιακών πηγών TeV. Τα εδομένα είναι από δορυφορικά και επίγεια πειράματα.

T. Stanev, High Energy Cosmic rays, Springer 2009.

The Fascinating TeV Sky

Felix Aharonian