

Αντιδράσεις φωτονίων στην
ατμόσφαιρα, δημιουργία
Ηλεκτρομαγνητικών Καταιονισμών

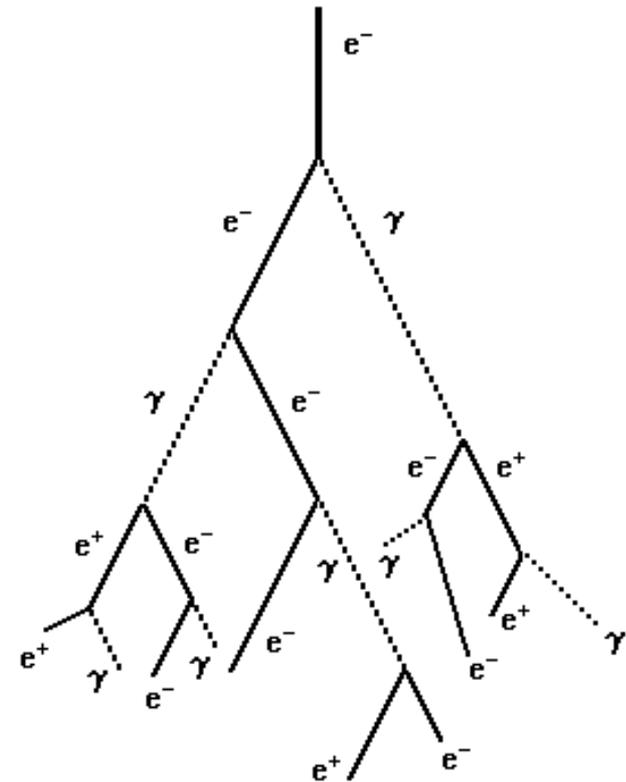
Ακτινοβολία πέδησης, παραγωγή ζεύγους

- Οι Η.Μ. καταιονισμοί δημιουργούνται όταν ένα φωτόνιο υψηλής ενέργειας εισέλθει στην ατμόσφαιρα.
- Το φωτόνιο δημιουργεί ένα ζευγάρι ($e^+ e^-$), στη συνέχεια, τα ηλεκτρόνια δημιουργούν φωτόνια, μέσω του μηχανισμού πέδησης.
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η ενέργεια των φωτονίων δεν αρκεί για τη δημιουργία νέων ζευγών.

Ηλεκτρομαγνητικοί Καταιονισμοί.

Ακτινοβολία πέδησης

Δίδυμη Γένεση



Περίληψη:

Η γ μεγάλης ενέργειας δημιουργεί ζεύγος $e^+ e^-$.

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^- -$$

Η μέση ελεύθερη διαδρομή για παραγωγή ζεύγους είναι:

$$\lambda_{\text{ζεύγος}} = 1 / n\sigma_{\text{ζεύγος}}$$

Η ενεργή διατομή στον αέρα είναι:

$$\Sigma_{\text{ζεύγος}} = 5.7 r_e^2 = 6 \times 10^{-26} \text{ cm}^2$$

Τα $e^+ e^-$ εκπέμπουν ακτινοβολία πέδης. Η σχέση των διατομών είναι:

$$\sigma_{\text{ζεύγος}} = (7/9)\sigma_{\text{πέδης}}$$

Τα $e^+ e^-$ φθάνουν σε Κρίσιμη ενέργεια όταν οι απώλειες ακτινοβολίας πέδης γίνουν ίσες με τις απώλειες ιονισμού.

$$\left(\frac{dE}{dX} \right)_{\text{πέδης}} = \left(\frac{dE}{dX} \right)_{\text{ιονισμός}}$$

Μοντέλο Heitler

- Αν το Μήκος Ακτινοβολίας είναι λ .
- Μετά από ένα μήκος Ακτινοβολίας έχουμε μία αντίδραση του αρχικού.
- Στην αντίδραση παράγονται δύο σωματίδια με ενέργεια $E/2$.
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για N μήκη.

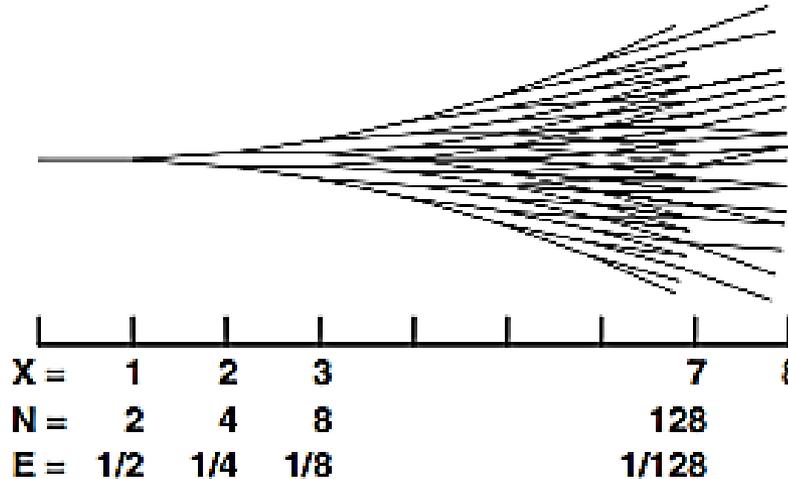


Fig. 8.1. Heitler's toy model of cascade development. In this sketch $E_c = E_0/128$.

$$E_0 \rightarrow 2 E_0/2 \rightarrow 4 E_0/4 \dots \quad X=N\lambda \rightarrow 2^N \text{ σωματίδια}$$

- Στο απλό μοντέλο του Heitler σε κάθε βήμα διπλασιάζεται ο αριθμός των σωματιδίων. Η ενέργεια μοιράζεται εξ'ίσου στα δύο σωματίδια που προκύπτουν μετά από κάθε αντίδραση.

Ο υπολογισμός σταματά όταν $E=E_c$. $N_{\max}=E_0/E_c$ $X_{\max}=\lambda \log_2(E_0/E_c)$

Το μήκος ακτινοβολίας για τον αέρα είναι:

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

Ορισμός κρίσιμης ενέργειας.

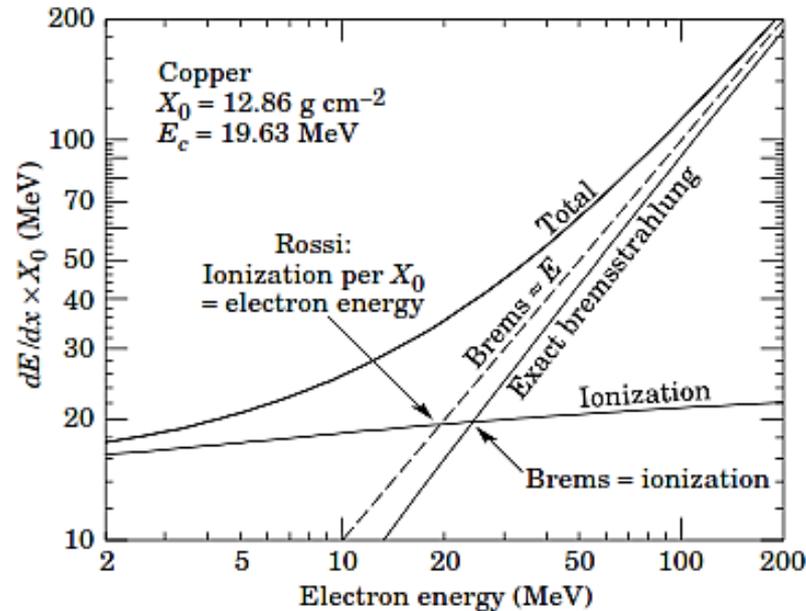


Figure 30.13: Two definitions of the critical energy E_c .

- Κρίσιμη ενέργεια E_c είναι η ενέργεια στην οποία η απώλεια λόγω ακτινοβολία πέδης είναι ίση με την απώλεια λόγω ιονισμού.
- Όταν η ενέργεια γίνει μικρότερη από την κρίσιμη, τότε τα ηλεκτρόνια χάνουν ενέργεια χωρίς να μπορούν να δημιουργήσουν νέα σωματίδια.

Προσεγγίσεις, μοντέλο A

Στο απλοποιημένο μοντέλο του Heitler, χρησιμοποιούμε τις παρακάτω προσεγγίσεις:

Για ηλεκτρονία και ποζιτρονία αγνοούμε:

τις απώλειες λόγω ιονισμού των μεγάλης ενέργειας

τις σκεδάσεις στους πυρήνες.

Για τα φωτόνια μεγάλης ενέργειας, αγνοούμε:

Τις σκεδάσεις Compton,

Τη φωτοδιάσπαση των πυρήνων

Την ανελαστική σκέδαση και άλλα φαινόμενα υψηλών ενεργειών.

- Το μοντέλο σταματά ουσιαστικά με τον υπολογισμό του μεγίστου του καταιονισμού.
- Αποδίδει ποιοτικά την μορφή των καταιονισμών, ηλεκτρομαγνητικών και αδρονικών.
- Η ελάττωση και τελικά η απορρόφηση των σωματιδίων οφείλεται στις απώλειες που καταλήγουν σε απώλειες ιονισμού.
- Όταν η ενέργεια ενός σωματιδίου γίνει μικρότερη από την E_C μικραίνει η πιθανότητα ακτινοβολίας πρέδης σε σχέση με την απώλεια ιονισμού.
- Ο αριθμός των δημιουργούμενων σωματιδίων γίνεται διαρκώς μικρότερος από τα απορροφούμενα.
- Τελικά όλη η ενέργεια του αρχικού σωματιδίου μετατρέπεται σε ιονισμό του μέσου.

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 α) στην εγκάρσια ορμή κατά την παραγωγή: $\langle p_T \rangle \sim m_e$
β) 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** δίνει **5,94 g/cm**.

Υπολογισμοί

Αναλυτικός υπολογισμός από Greisen και Rossi.

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

$$N_e^\gamma = \frac{0.135}{\sqrt{\beta}} \exp[X(1 - \frac{3}{2} \ln s)] (A)$$

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

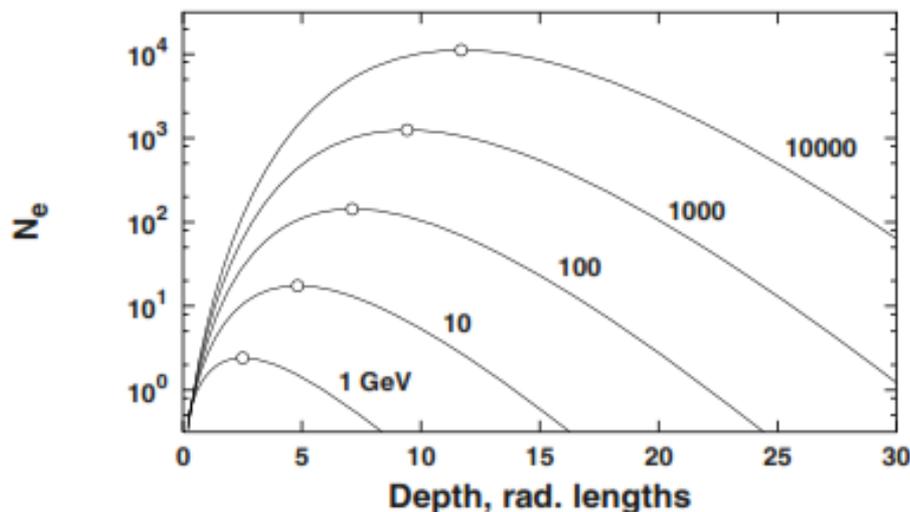
$$s = \frac{3X}{X + 2\beta}$$

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

Υπολογισμός με τη μέθοδο Monte Carlo.

Σε κάθε βήμα $0,5 X_0$ γίνεται υπολογισμός της πιθανότητας για δημιουργία νέων σωματιδίων βάσει της εκθετικής σχέσης 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



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

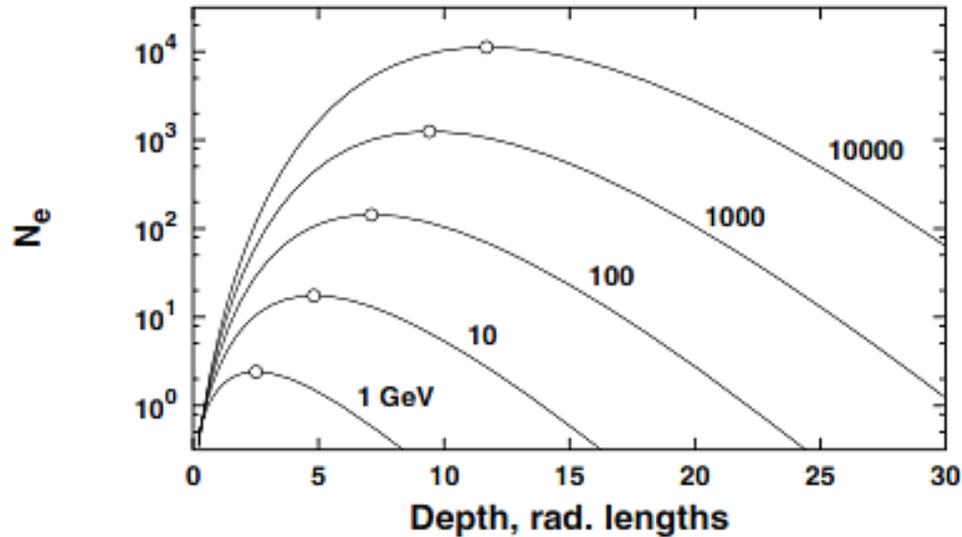
$$s = \frac{3X}{X + 2\beta}$$

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

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

Από τις παραπάνω καμπύλες συμπεραίνουμε ότι σχήμα του καταιονισμού είναι ανεξαρτητο του υλικού αν το εκφράσουμε σαν συνάρτηση του μήκους ακτινοβολίας. Επίσης χρησιμοποιώντας την πειρατική σταθερά s (ηλικία του καταιονισμού) το σχήμα είναι το ίδιο και ανεξάρτητο από την ενέργεια.

Παραμετρικός υπολογισμός



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

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

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

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, διασπορά.

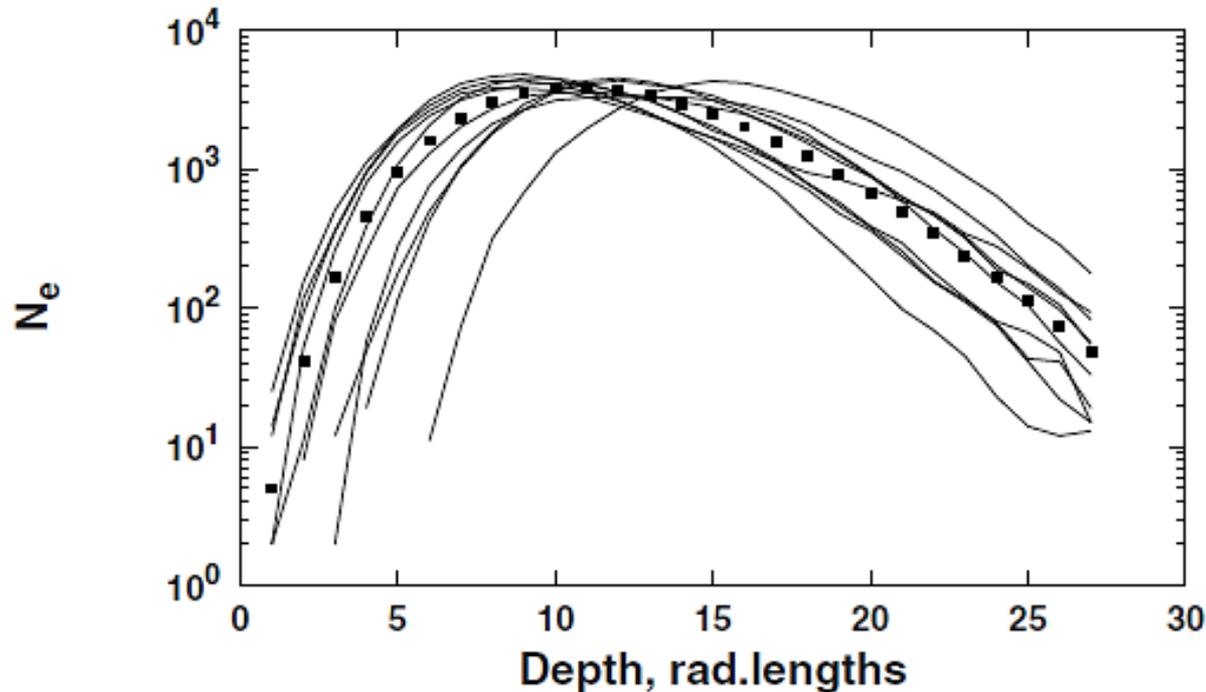
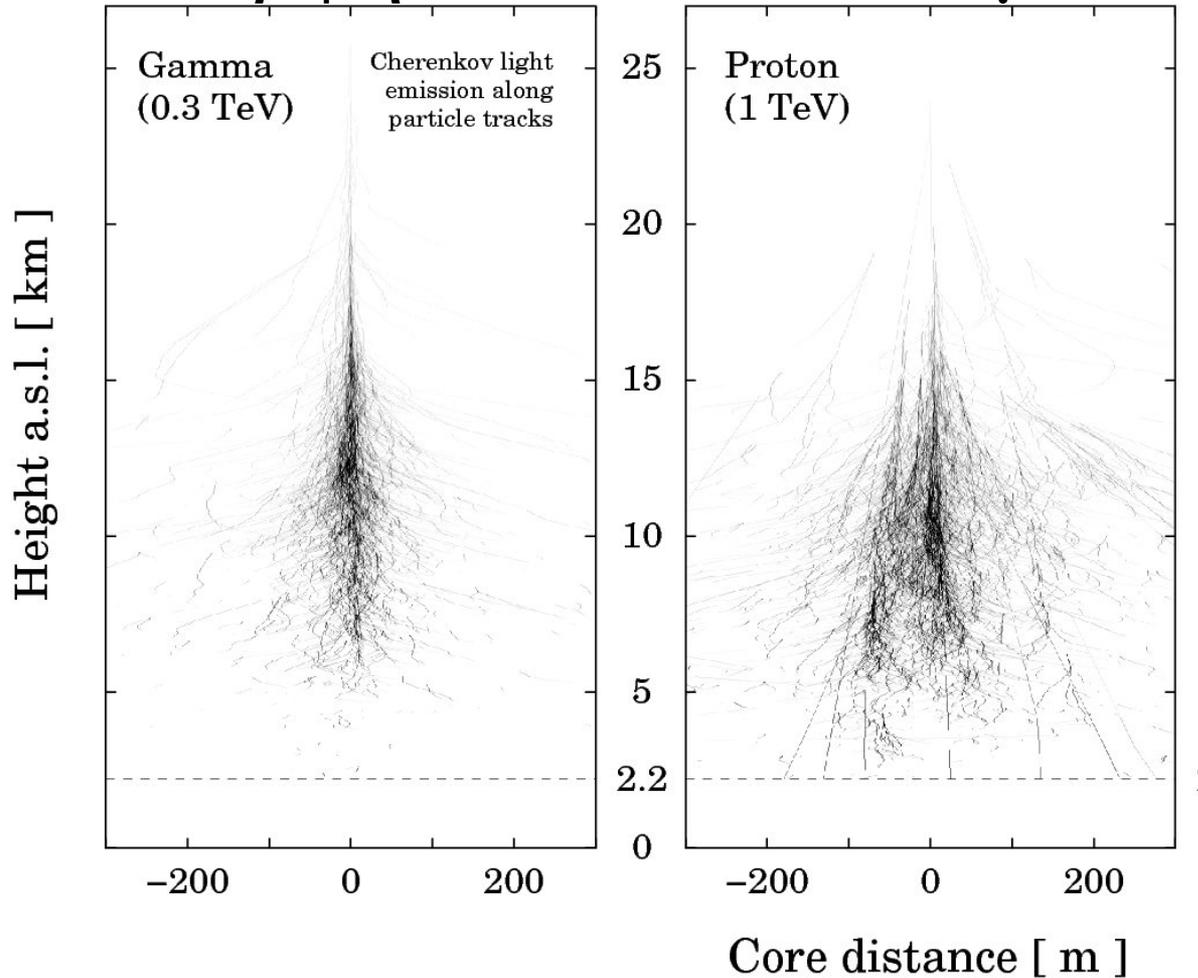


Fig. 8.6. Number of electrons with energy above 1 GeV in a shower from primary photon of energy 10^5 GeV. The lines show the shower profiles for 10 individual

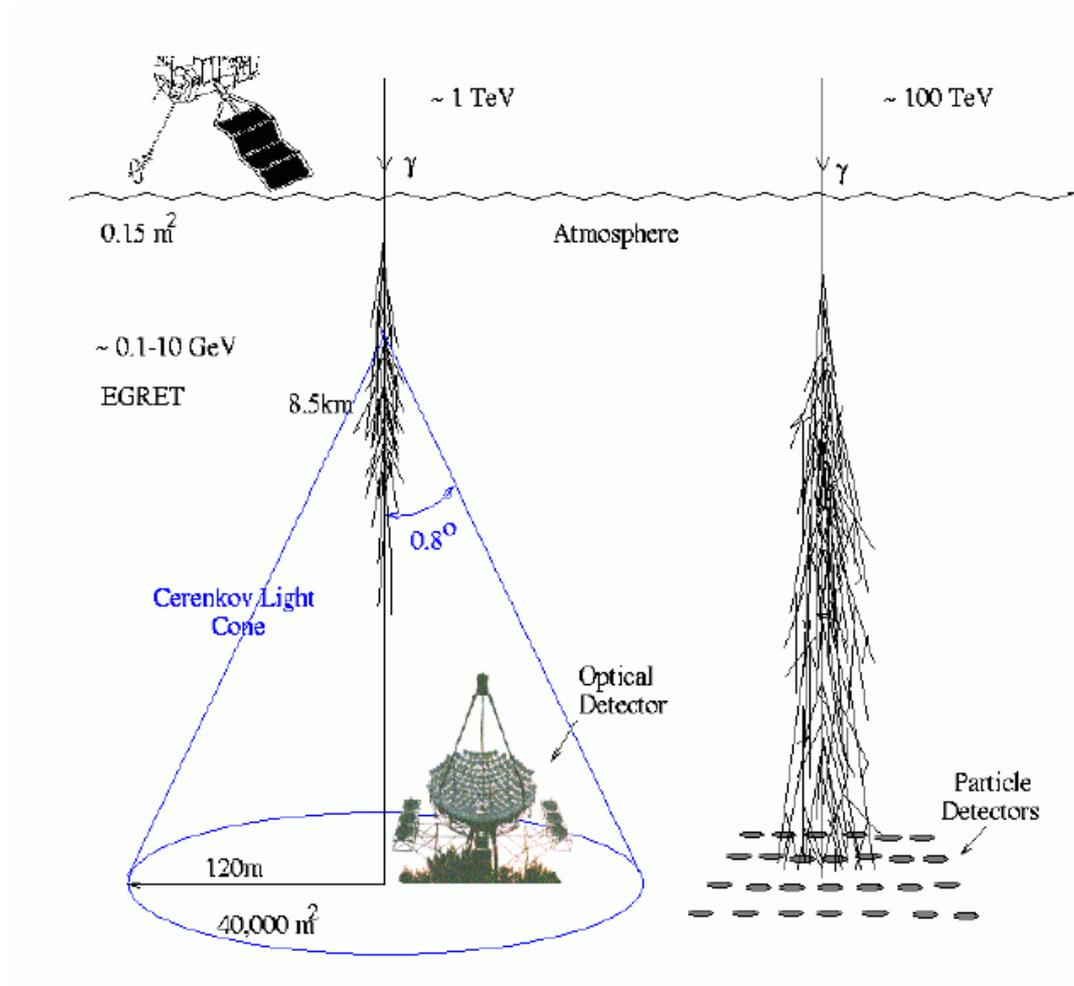
Με τον υπολογισμό Μ.Κ. μπορούμε να υπολογίσουμε την διασπορά στη θέση δημιουργίας, στον αριθμό των σωματιδίων και το άνοιγμα του καταιονισμού.

Μορφή ΗΜ καταιονισμών

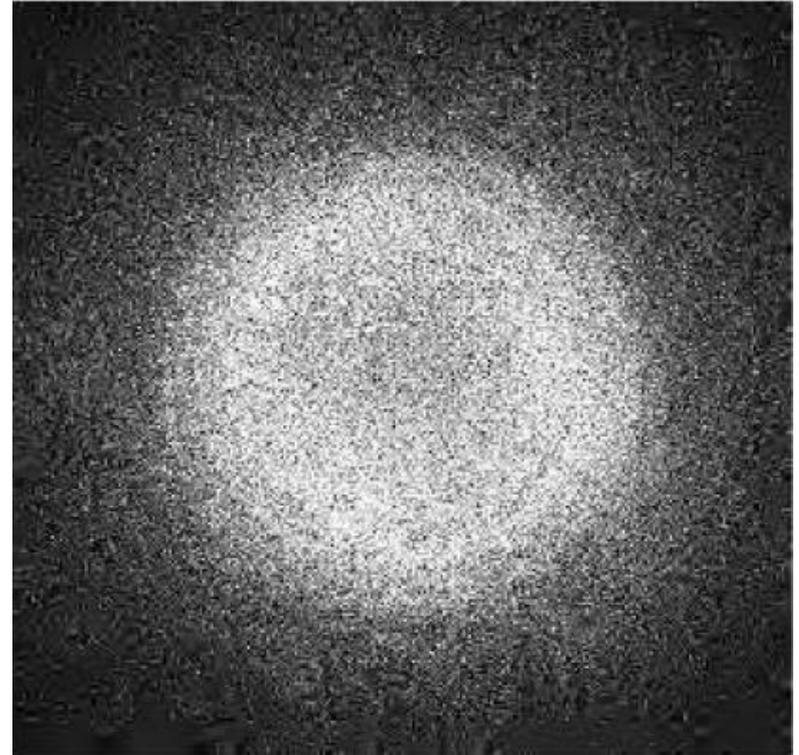
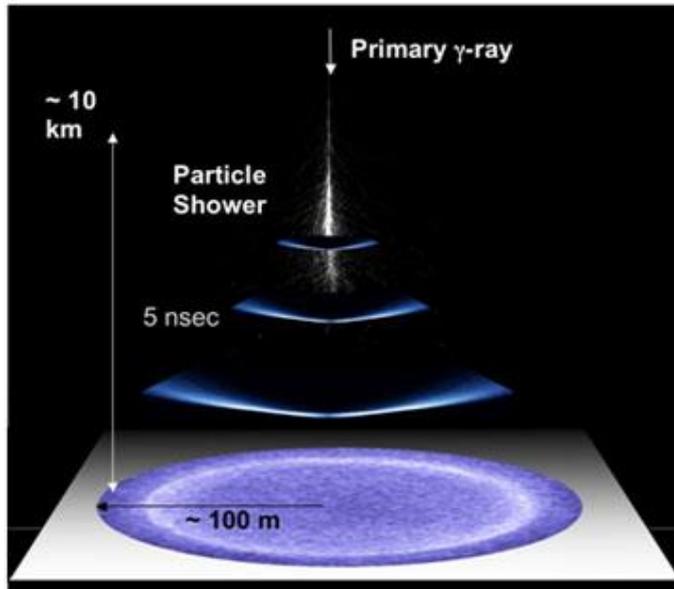


Ο Η.Μ. καταιονισμός, χαρακτηρίζεται από το συμμετρικό σχήμα και το μικρό άνοιγμα. Οι Η.Μ. διαδικασίες είναι περιορισμένες και έχουν σταθερό μήκος ακτινοβολίας. Ο αδρονικός καταιονισμός χαρακτηρίζεται από το ασύμμετρο σχήμα, λόγω της διεισδυτικότητας των παραγόμενων σωματιδίων και των μεγάλων στατιστικών διακυμάνσεων του αριθμού των δευτερογενών σωματιδίων. Στην εικόνα δεξιά διακρίνονται δευτερογενείς καταιονισμοί που οφείλονται σε ενεργητικά πιόνια.

Ανιχνευτές Ακτίνων Γάμμα Υψηλής Ενέργειας



Μέτωπο Cerenkov



Τα φωτόνια Cerenkov που παράγονται από τα ηλεκτρόνια, σχηματίζουν μέτωπο που κινείται προς το έδαφος. Η διαφορά στη χρονική διασπορά που παρατηρείται, είναι μικρότερη από 10 ns. Οφείλεται στη διαφορά του χρόνου για τη διαδρομή ενός φορτισμένου σωματιδίου και τη διαδρομή του φωτός, καθώς και στη διασπορά των τροχιών του καταιονισμού.

Ο δίσκος των φωτονίων που προβάλλεται στο έδαφος έχει διάμετρο 100-150 m. Οι εικόνες έχουν δημιουργηθεί με προσομοίωση Μόντε Κάρλο.

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)

1990 Πιθανό σήμα από Cyg X3 (Whipple). (Μάλλον λάθος ανάλυση)

Ξεκινά η κατασκευή νέων τηλεσκοπίων με μεγάλη διακριτική ικανότητα.

Ιδιότητες Τηλεσκοπίων Cherenkov

Μεγάλη κατευθυντικότητα του φωτός, μπορεί να εντοπίσει σημειακές πηγές.

Ανιχνεύουν γ πολύ υψηλής ενέργειας.

Μεγάλη επιφάνεια ανιχνευσης, για γεγονότα με μικρή συχνότητα.

Χαμηλό κατώφλι ενέργειας. Μετα νέα μεγάλα κάτοπτρα έχει ελαττωθεί στα 30 GeV

Η ανώτατη ενέργεια που μπορεί να ανιχνευτεί περιορίζεται από την επιφάνεια κάλυψης του ανιχνευτή.

Η διάταξη με πολλά τηλεσκόπια αυξάνει την ανώτατη ενέργεια. $>1 \text{ TeV}$

Διάκριση από αδρονικούς καταιονισμούς

Οι ΗΜ έχουν στενότερο ίχνος

Χρονική διασπορά μικρότερη από 10 ns.

Κατασκευή με πολλά τηλεσκόπια για μεγαλύτερη διακριτότητα. ($<1^\circ$)

Hawaii-Athens-Wisconsin

Haleakala Observatoty



Whipple, VERITAS

Arizona mount Hopkins



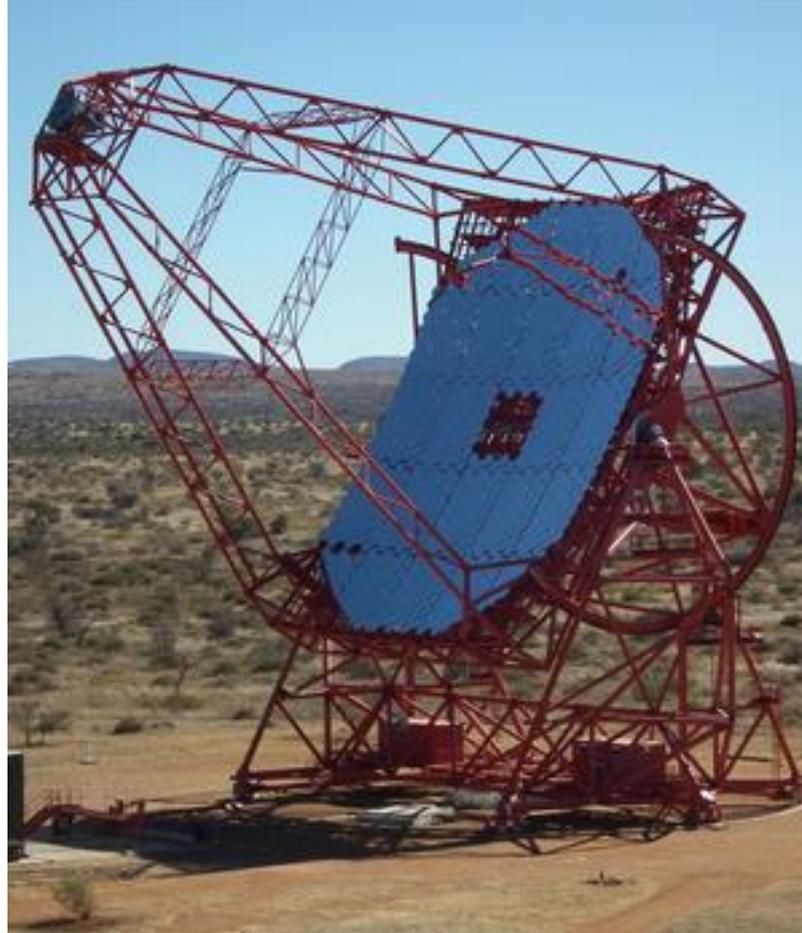
HESS

Namibia



Στερεοσκοπική διάταξη ώστε να βλέπουν τον shower από διαφορετική γωνία και
Κάθε τηλεσκόπιο έχει κάτοπτρο 12m επιφάνειας 107m² και εστιάζει σε κάμερα με
να είναι δυνατή η ακτιμολογία του ύψους και της διαμέτρου του.
960 PMT. Γωνία αποδοχής 5⁰ και διακριτότητα 0,1⁰ . 4 κάτοπτρα για
στερεοσκοπική εικόνα σε απόσταση 120 . Βρίσκεται στην Namibia σε υψόμετρο
1800 .

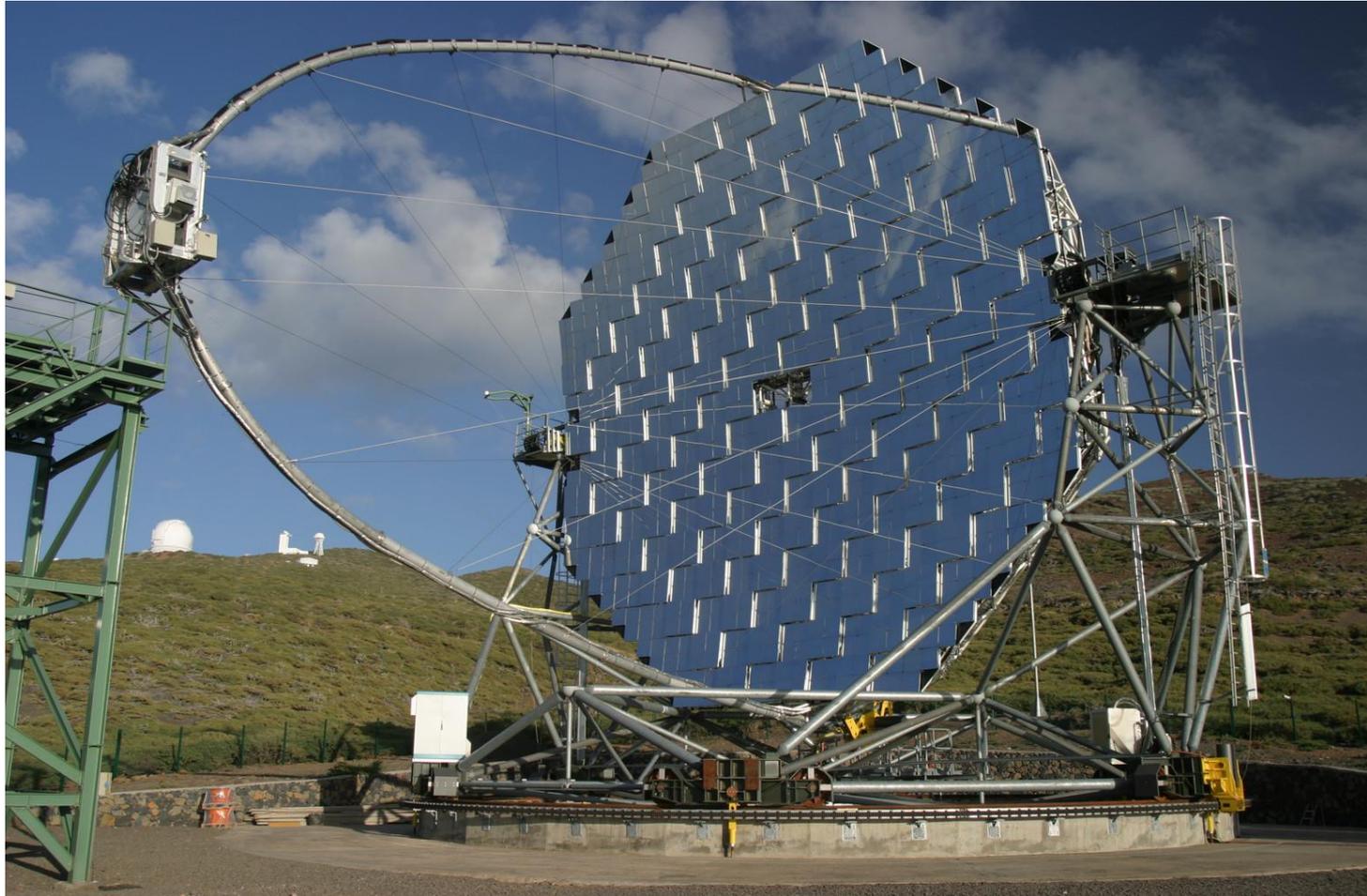
HESS



32.6 m by 24.3 m 600 m²

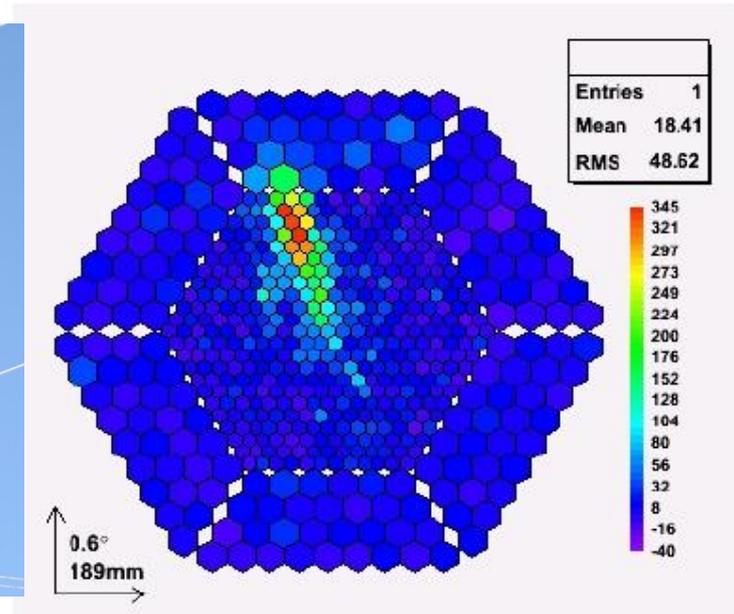
MAGIC

La Palma Kanarie island



Διάμετρος κατόπτρου 17m και επιφάνεια 236 m² η κάμερα αποτελείται από 576 PMT. Ενέργεια κατωφλίου 60 GeV. La Palma Kanarie islands Υψόμετρο 2,2 km.

Κάμερα MAGIC



Ιχνος καταιονισμού στην κάμερα.

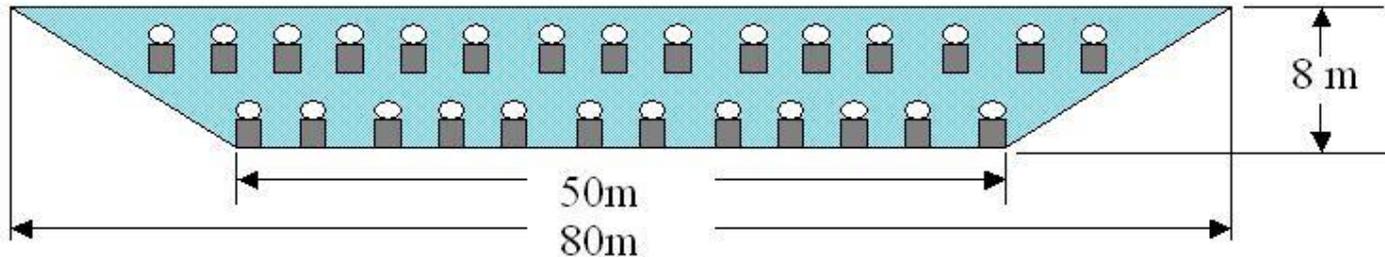
KANGAROO

Australia



4 κάτοπτρα διαμέτρου 10m και επιφάνεια $57,3 \text{ m}^2$, γωνιακό άνοιγμα 4° , σε απόσταση 100 m. Αυστραλία.

MILAGRO



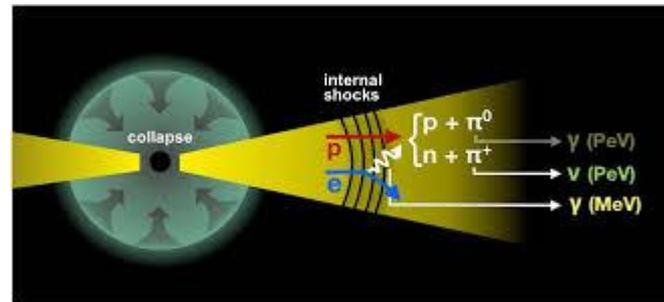
Δεξαμενή νερού, με φωτοπολλαπλασιαστές. Τα ηλεκτρόνια του καταιονισμού παράγουν φως Cerenkov. Ανιχνεύει φωτόνια πολύ μεγάλης ενέργειας.

Παραγωγή

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

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

Ενέργεια σε γ , $e^+ e^-$ 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.

Παραγωγή κατά τις Αντιδράσεις:

Πρωτόνια αντιδρούν με το αέριο γύρω από τη πηγή και παράγουν π^0 το οποίο διασπάται σε δύο φωτόνια γ . $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$

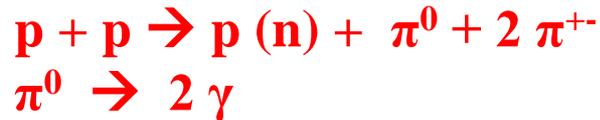
Ηλεκτρόνια επιταχύνονται στα κύματα κρούσης, στη συνέχεια, με αντίστροφη σκέδαση Compton, μεταφέρεται η ενέργεια τους στα φωτόνια γ . $\gamma + e^- \rightarrow \gamma + e^-$

Ο πρώτος μηχανισμός επικρατεί στα πυκνά νέφη, ($N > 100 \text{ p/cm}^3$)

Ο δεύτερος στα αραιά νέφη. ($N < 100 \text{ p/cm}^3$)

Παραγωγή ακτίνων γ από π^0

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



Κοντά στην περιοχή επιτάχυνσης πρέπει να υπάρχει νέφος μεγαλύτερης πυκνότητας είτε υπόλειμμα από τον αρχικό αστέρα, ή μοριακό νέφος που παρεμβάλλεται ανάμεσα στο SNR.

Η πυκνότητα της ύλης, πρέπει να είναι αρκετή για την αντίδραση των πρωτονίων, αλλά αρκετά μικρή για να μπορούν να διαφύγουν οι ακτίνες γ πριν αντιδράσουν.

Από τις παρατηρήσεις αποδείχθηκε ότι τα SNR αποτελούν πηγές επιτάχυνσης κοσμικών ακτίνων.

Παραγωγή ακτίνων γ από ηλεκτρόνια

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

Σε περιοχές όπου υπάρχει ισχυρό μαγνητικό πεδίο τα ηλεκτρόνια διαγράφουν κυκλικές τροχιές. Λόγω της επιτάχυνσης τα ηλεκτρόνια εκπέμπουν ακτινοβολία σύγχροτρον. Η ενέργεια των φωτονίων είναι στην περιοχή ακτίνων X.

Αν η πυκνότητα των φωτονίων X είναι υψηλή τότε σκεδάζονται στα ηλεκτρόνια με αντίστροφη σκέδαση Compton και αποκτούν υψηλότερη ενέργεια.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα τον νεφέλωμα Crab.

Ακτινοβολία Σύγχροτρον ή μαγνητικής πέδησης.

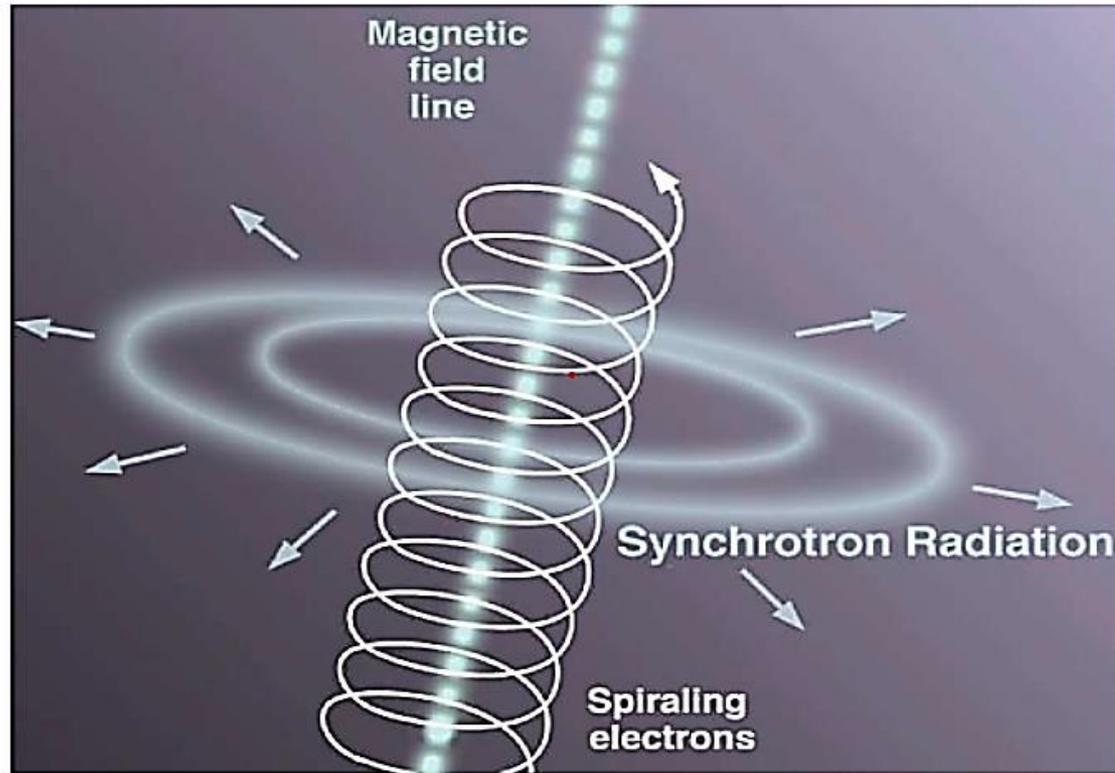


Fig. 1.— Artist's conception of synchrotron radiation. Cool figure from <http://www.gemini.edu/gallery/science/m87/Synchrotron-Radiation-med.jpg>

Εκπέμπεται κατά την καμπύλωση της τροχιάς του ηλεκτρονίου από μαγνητικό πεδίο. Παρατηρήθηκε πρώτη φορά σε επιταχυντές σύγχροτρον.

Κύμα κρούσης σε Υ.Κ.

Εκτοξευμένη ύλη που
επεκτείνεται

Acceleration to $> 100 \text{ TeV}$

167

Διαστρικό
μέσο.

Άνεμος
Πάλσαρ

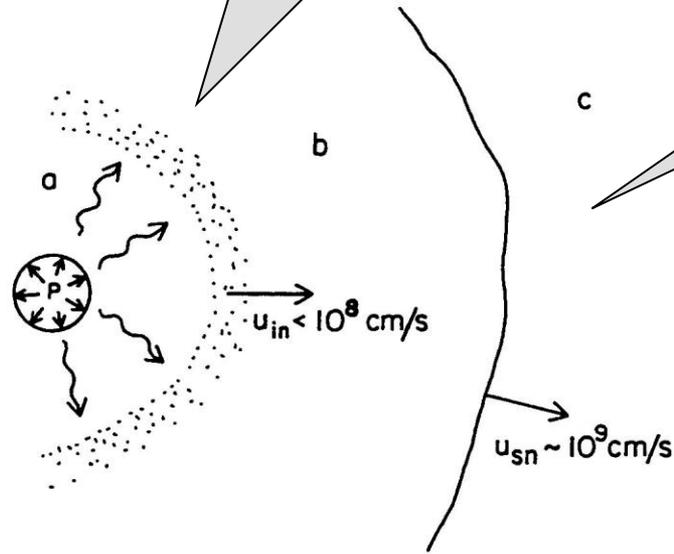


Figure 12.2: A very young supernova remnant: (a) shocked pulsar wind; (b) expanding ejecta; (c) interstellar medium (perhaps modified by wind of progenitor star). Straight and wavy arrows represent, respectively, unshocked and shocked pulsar wind. From Gaisser, Harding & Stanev, 1989.

Στάδια δημιουργίας κύματος κρούσης

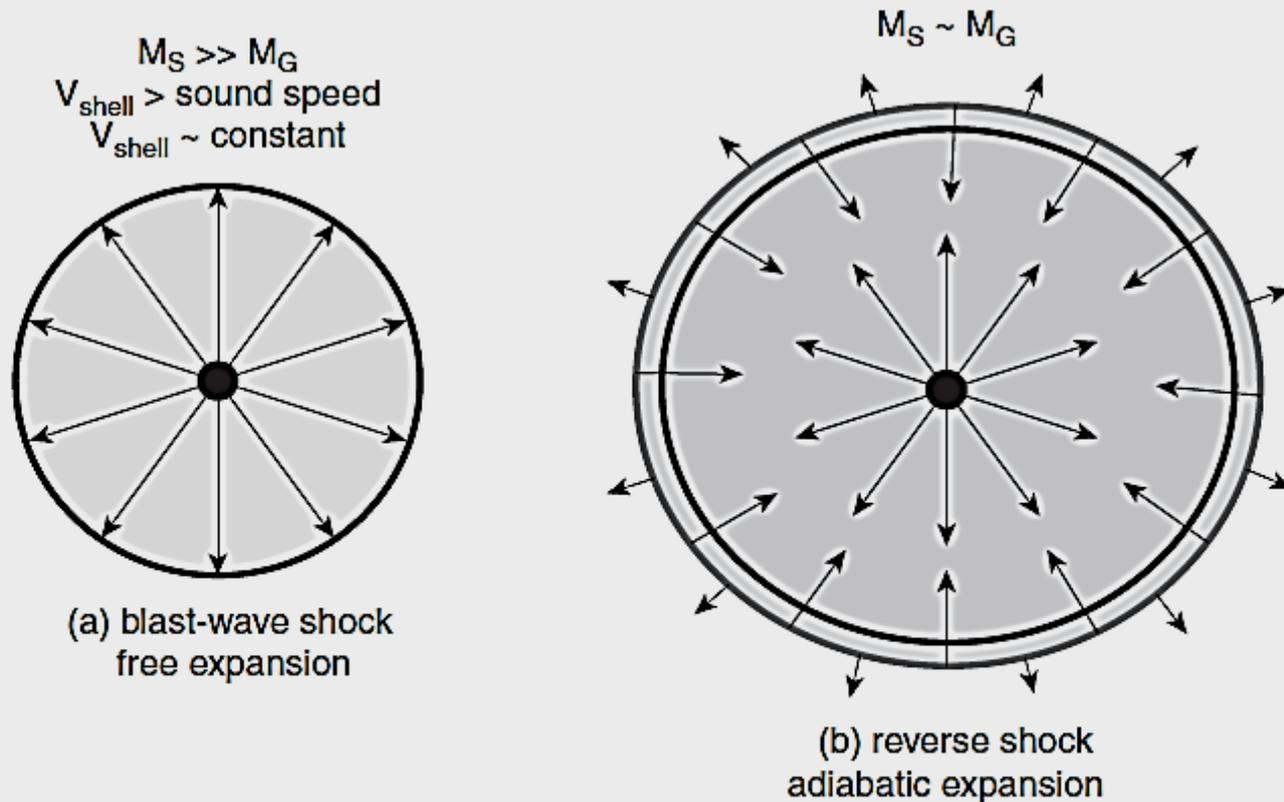


Figure 13.7 Idealized picture of a supernova remnant ejecta-dominated phase: (a) formation of the *blast-wave shock*, (b) formation of the *reverse shock*.

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 κερδίζει ενέργεια**.

Για μία μετωπική κρούση, υπολογίζεται :

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

Αν ηλεκτρόνιο με $\gamma=1000$ ($E=510 \text{ MeV}$) (γ είναι ο παράγοντας Lorentz)

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

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

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

Πηγές στον Γαλαξία

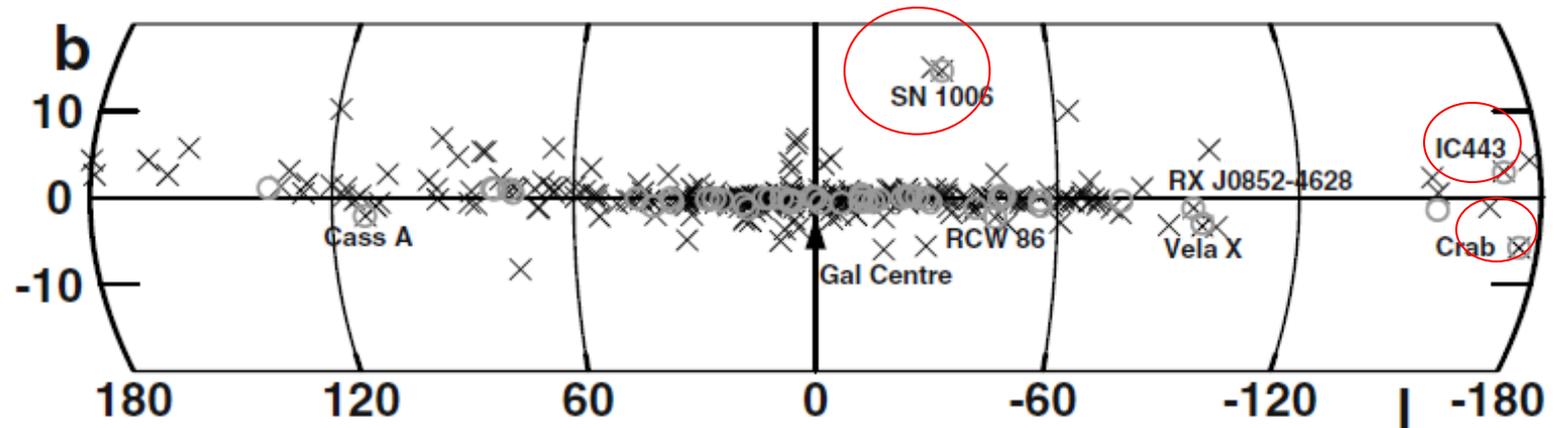


Fig. 10.5. Circles show the positions of the TeVCat TeV γ -ray sources and the x 's show the positions of 274 supernova remnants from D.A. Green's catalog in galactic

Κατανομή των πηγών **TeV** στον Γαλαξία. Παρατηρούμε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση κοντά στον πυρήνα του γαλαξία. Παρατηρούμε για ορισμένες πηγές TeV σύμπτωση με SNR . Ξεχωρίζει η σύμπτωση με τον SN 1006. Επίσης παρατηρούμε σύμπτωση με το νέφος IC443 ενώ δείχνει πηγή κοντά στο νεφέλωμα Crab.

Σύγκριση με θέση SNR

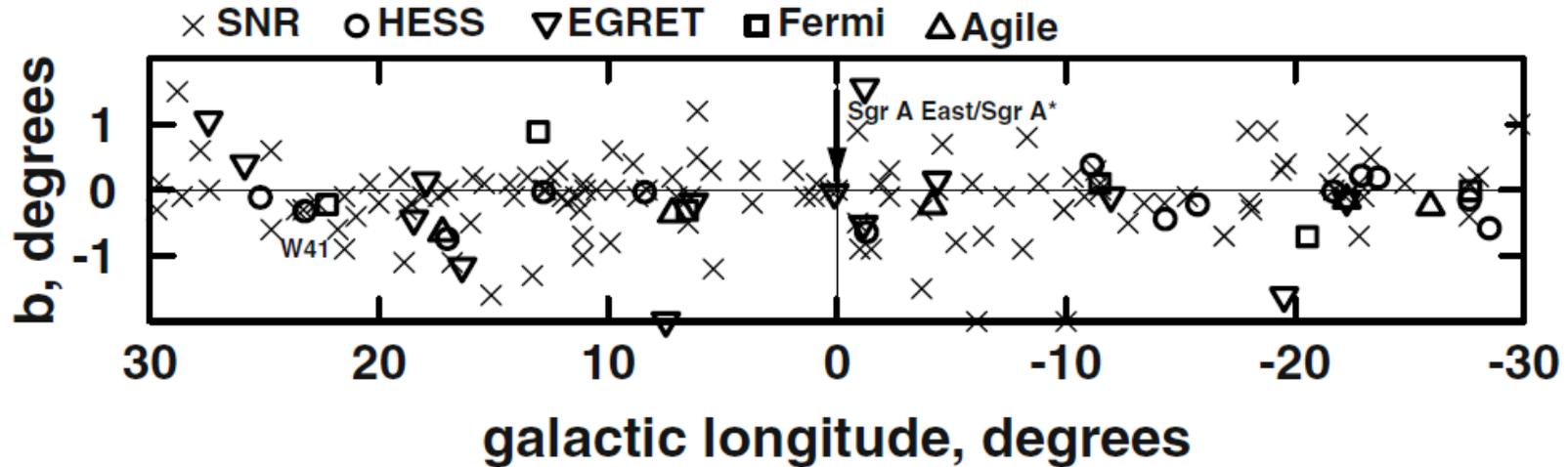
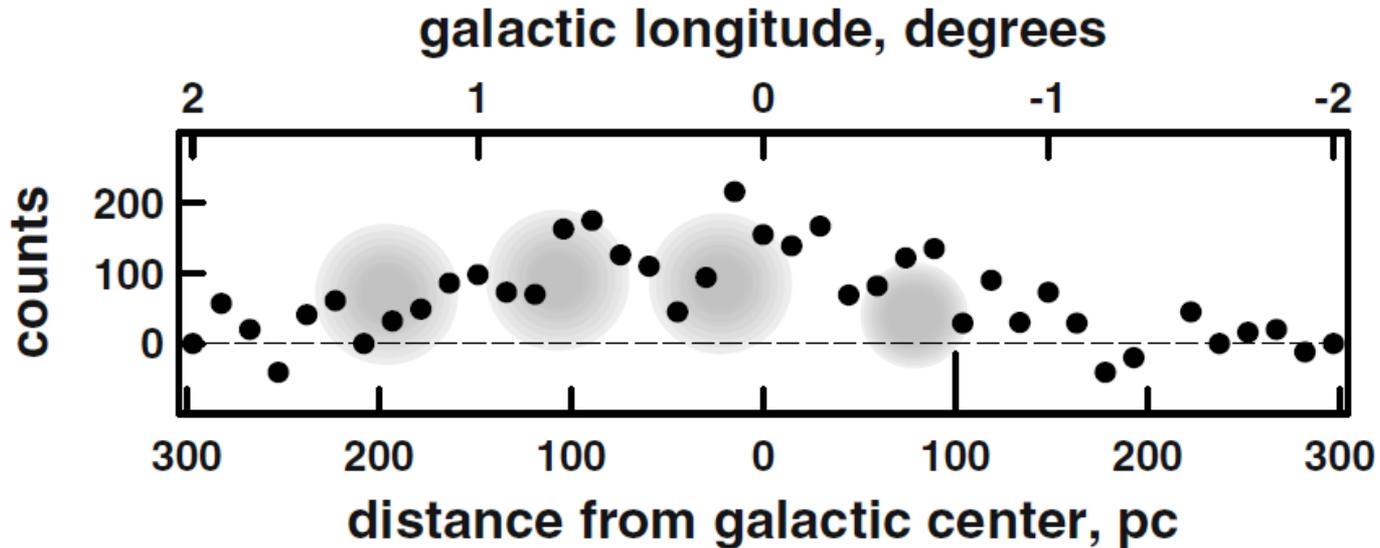


Fig. 10.6. The HESS survey of the central galaxy compared to the positions of SNR and data from GeV γ -ray telescopes.

Πηγές GeV και σύγκριση με SNR. Παρατηρούμε ότι στις περισσότερες πηγές δεν υπάρχει ακριβής σύμπτωση.

Μοριακά νέφη



Οι πηγές που ανίχνευσε το HESS, κοντά στο γαλαξιακό επίπεδο, σε σχέση με τα μοριακά νέφη. Συμπεραίνουμε ότι στις πηγές επιταχύνονται πρωτόνια τα οποία αντιδρούν και παράγουν TeV gamma στο υλικό του μοριακού νέφους

Ακτίνες γ με ενέργεια TeV, από SNR (υπόλειμμα Σ.Ν.)

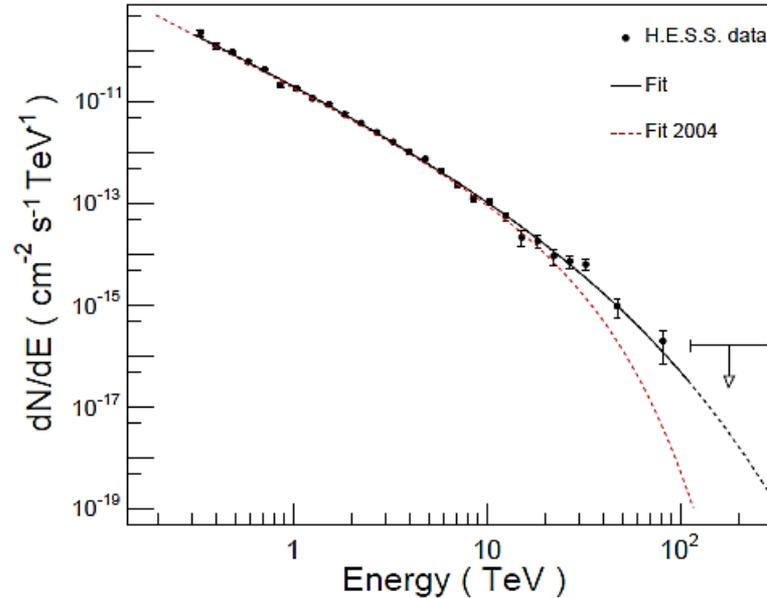
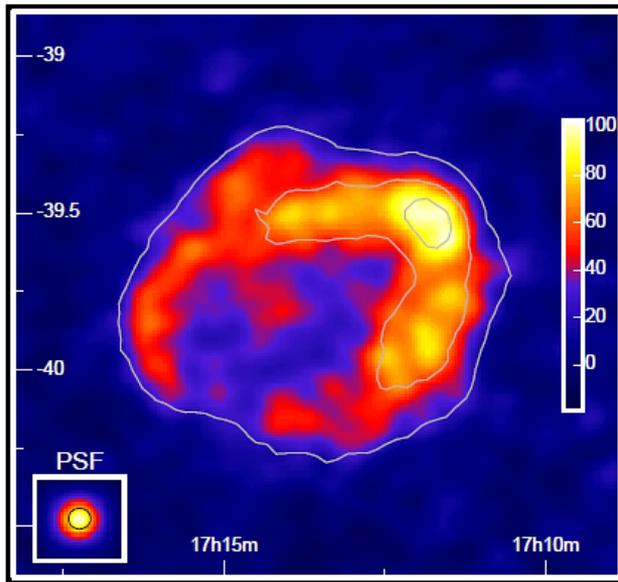


Fig. 1. The TeV gamma-ray image of RX J1713.7-3946. The energy spectrum of gamma-rays from RX J1713.7-3946. The spec

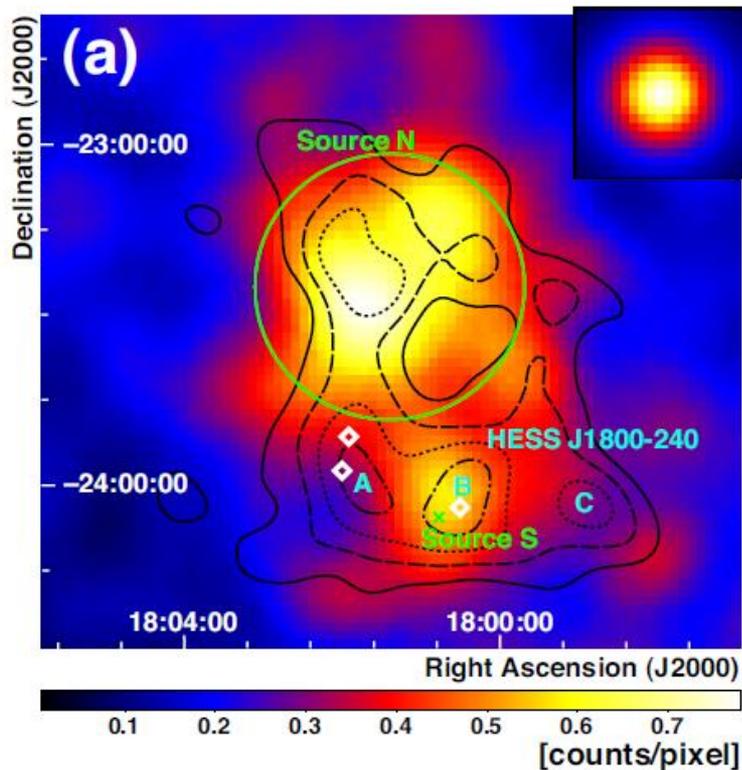
The Fascinating TeV Sky

Felix Aharonian

Παραγωγή TeV γ από
πρωτόνια υψηλής ενέργειας

Παραγωγή σε μοριακά νέφη.

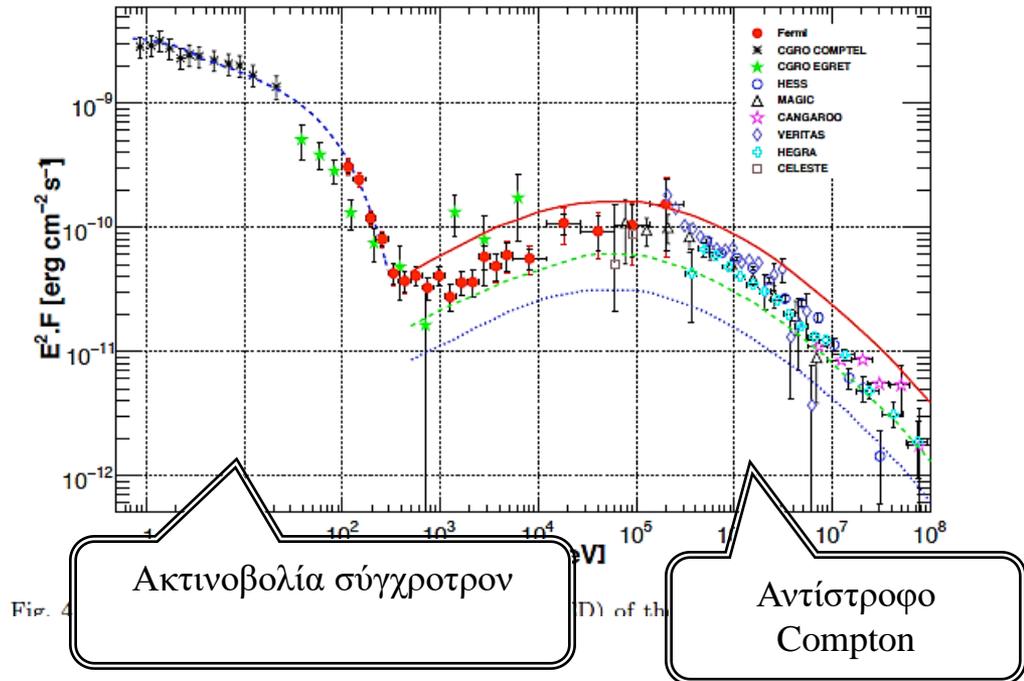
Τα περιγράμματα αντιστοιχούν σε θερμές περιοχές σε ακτινοβολία TeV, πρόκειται για μοριακά νέφη τα οποία βρίσκονται στη διαδρομή των πρωτονίων μετά την έξοδο από το SNR και ίσως σχετίζονται με προηγούμενο στάδιο του SN.



W28 Fermi-LAT 2-10GeV ,
HESS TeV

noothed image of 2-10 GeV gamma-rays around W28 obtained w
ontours show the HESS significance map for TeV gamma-rays (20%,

Grab Nebula , Αντίστροφη σκέδαση Compton

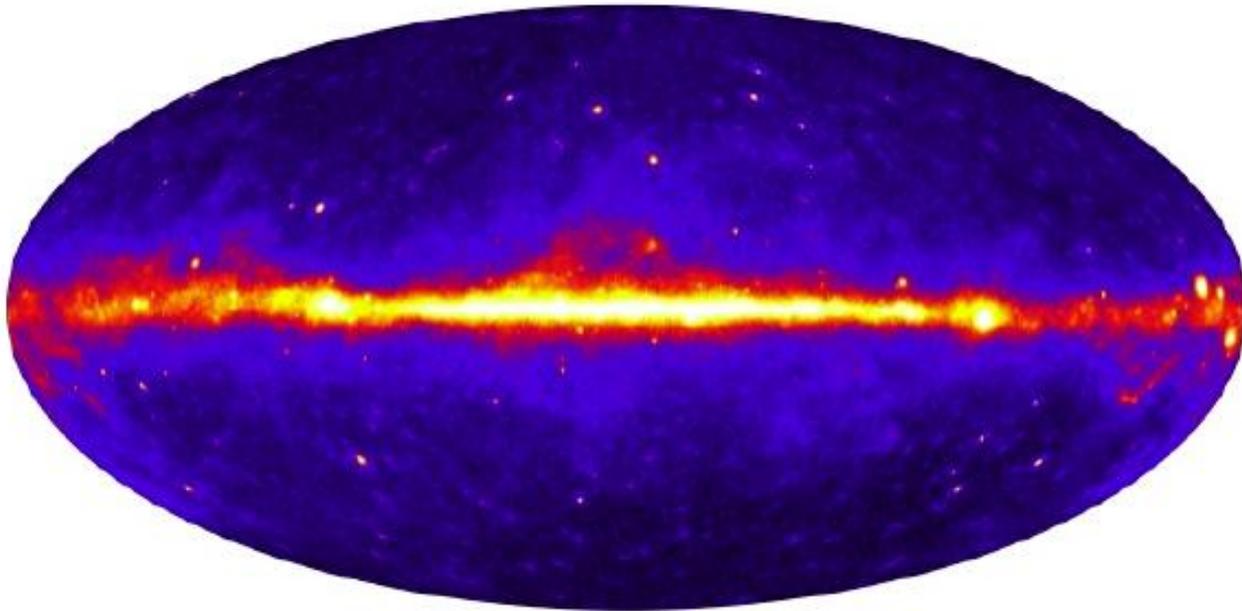


Fermi-LAT, HESS

Παραγωγή TeV γ από Ηλεκτρόνια.

Συνδυασμός δορυφορικών και επίγειων μετρήσεων

Εικόνα του Γαλαξία από την παρατήρηση των ακτίνων γ



Διακρίνονται η διάχυτη ακτινοβολία στο γαλαξιακό επίπεδο, καθώς και ισχυρές πηγές.

Εξωγαλαξιακές πηγές

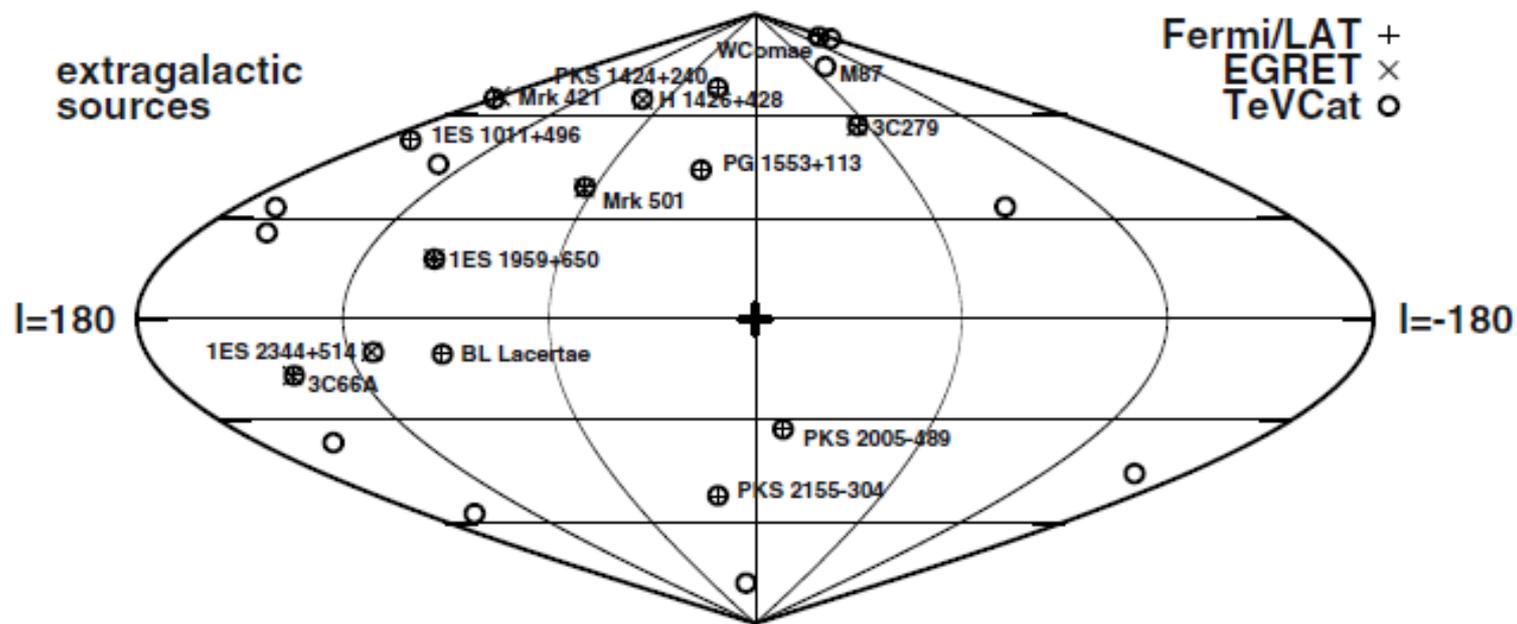


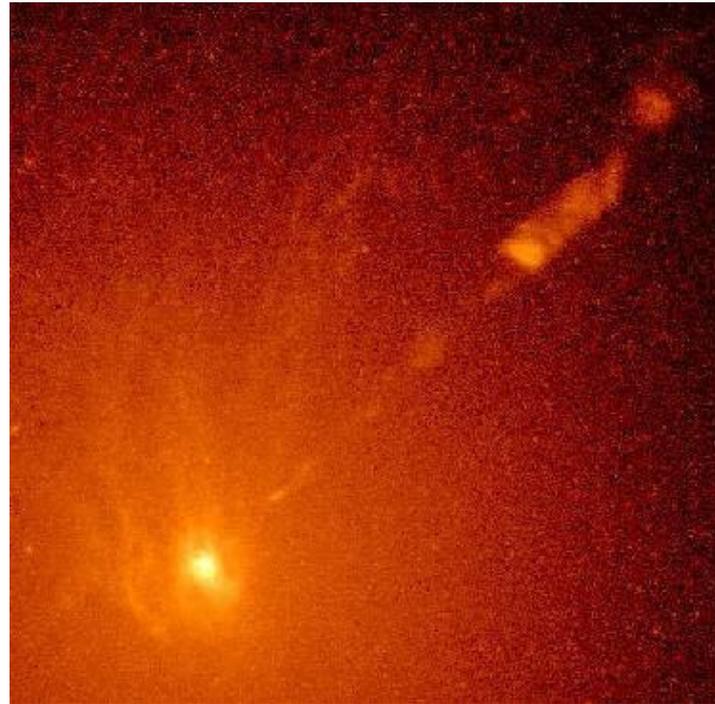
Fig. 10.9. Twenty-three TeV γ -ray sources listed in TeVCat are shown with circles

Κατανομή εξωγαλαξιακών πηγών TeV. Τα δεδομένα είναι από δορυφορικά και επίγεια πειράματα. Οι πηγές ταυτίζονται με ενεργούς γαλαξίες AGN δηλαδή με γαλαξίες που βρίσκονται σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης.

Οι πηγές αυτές χαρακτηρίζονται από φωτεινότητα σε ενέργειες GeV μεγαλύτερη από τη φωτεινότητα στο ορατό.

Ραδιογαλαξίας M87

Απόσταση 16 Mpc
Μάζα Μαύρης Οπής $3 \cdot 10^9$ ηλ.
Μεταβλητή ροή ακτίνων TeV.
Η παραγωγή γίνεται στην
κεντρική περιοχή.

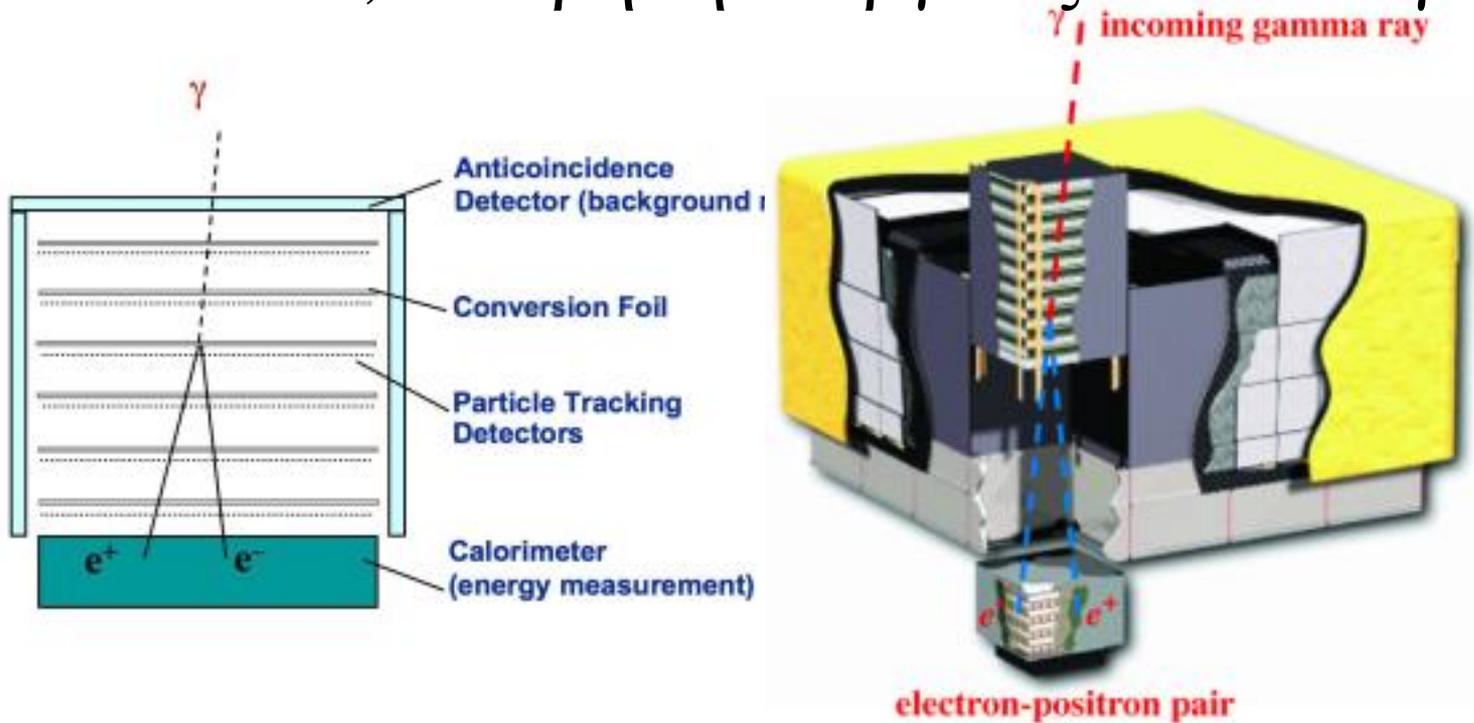


Δορυφορικά πειράματα

Οι μετρήσεις ακτίνων γάμα με δορυφόρους ξεκίνησαν το 1972 και συνεχίζονται με διαρκώς αυξανόμενη περιοχή ενεργειών.

| | | | |
|-----------|------|-------|----------------------------|
| SAS2 | 1972 | max E | 1 GeV |
| COS-B | 1975 | | 5 GeV |
| EGRET | 1991 | | 30 GeV κατέγραψε 271 πηγές |
| AGILE | 2007 | | 50 GeV Λειτουργεί |
| Fermi-LAT | 2008 | | 200 GeV Λειτουργεί |

FERMI, Μέτρηση ενέργειας ακτίνων γ .



Large Area Telescope

Pair-production instrument

Energy range: 20 MeV to > 300 GeV

Field of view: 2.4 steradians

Single photon angular resolution: $<1^\circ$ at 1 GeV

Timing accuracy: 1 microsecond

LAT Web site:

<https://www-glast.stanford.edu/instrument.html>

Gamma-ray Burst Monitor

NaI and BGO scintillators

Energy range: 8 keV to 40 MeV

Field of view: 9.5 steradians

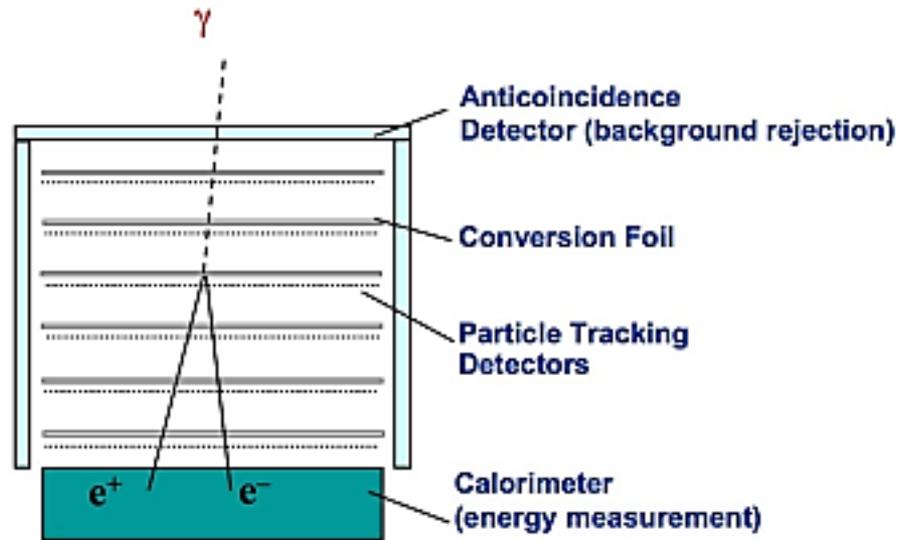
Gamma-ray burst localization: typical 3°

Timing accuracy: 2 microseconds

GBM Web site:

<http://f64.nssc.nasa.gov/gbm/instrument/>

Ανιχνευτής ακτίνων γάμα GLAST Fermi Gamma-ray Space Telescope



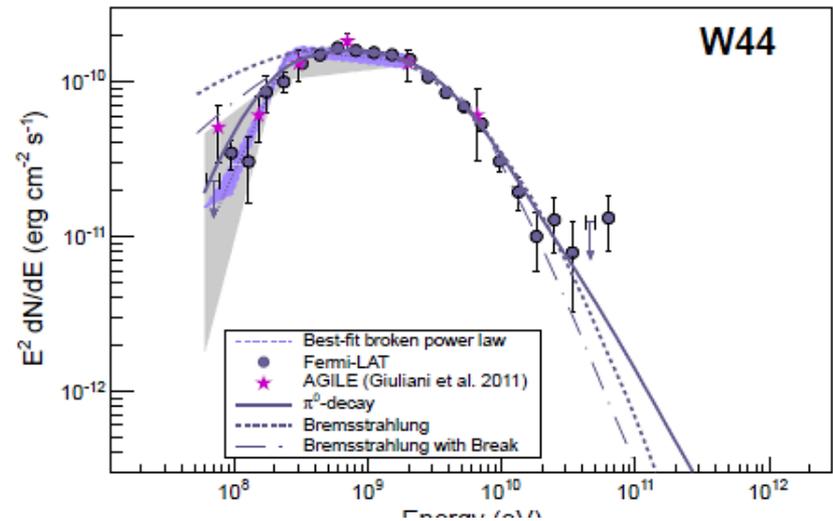
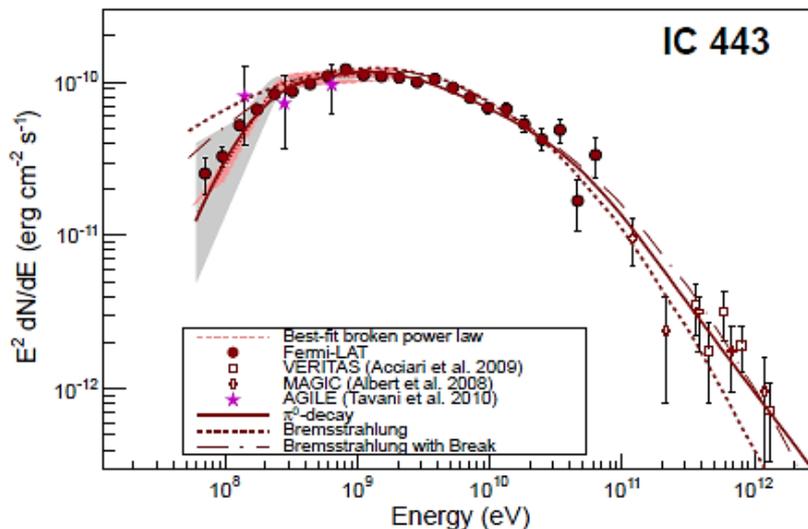
Λεπτά φύλλα μολύβδου χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των ακτίνων γ σε ζεύγη. Ακολουθούνται από επίπεδα silicon strip, τα οποία μετρούν την τροχιά των φορτισμένων σωματιδίων. Ο ανιχνευτής με μπλόκ CsI, μετρά την ολική ενέργεια του φωτονίου.



Φωτόνια (20 MeV) μέχρι (300 GeV)

FERMI Επιβεβαίωση μοντέλου επιτάχυνσης SNR

Μέτρησαν το φάσμα εκπομπής ακτίνων γ από τα δύο νέφη IC433 και W44. Χρησιμοποιώντας το ενεργειακό φάσμα των πρωτονίων, υπολόγισαν το φάσμα των ακτίνων γ, που παράγονται από την διάσπαση των π^0 . Η καμπύλη συμφωνεί με τα δεδομένα.



Εκπομπή από binaries

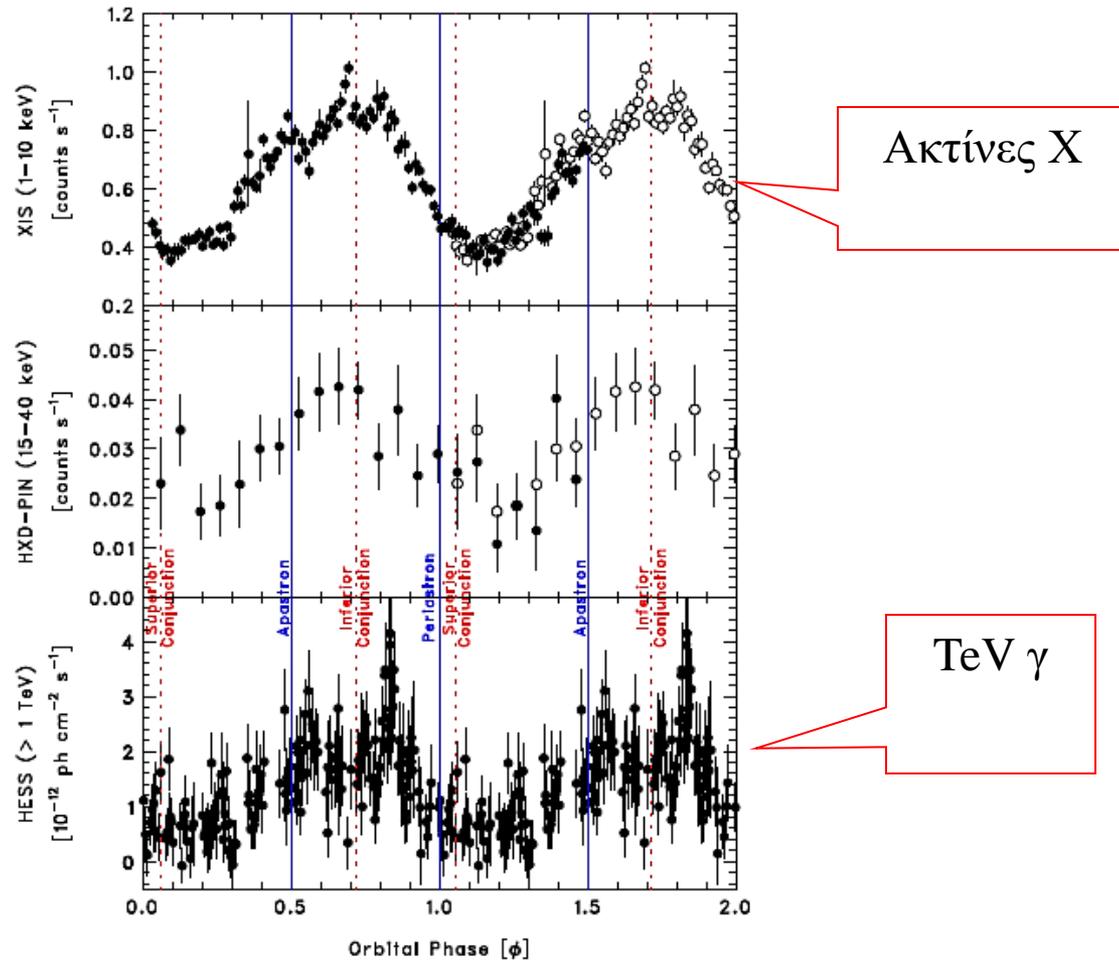


Fig. 6. X-ray and TeV gamma-ray orbital lightcurves of LS 5039. *Suzaku* count rates in the 1–10 keV (top) and 15–40 keV (middle) bands continuously obtained for a 200 ks duration (filled circles). The light curve of integral fluxes at energies $E > 1$ TeV (bottom) is obtained by HESS on

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

The Fascinating TeV Sky

Felix Aharonian

<http://tevcat.uchicago.edu/>