



Αναλαμπές ακτίνων γ



Gamma Ray Bursts (GRB)

Λουκάς Βλάχος

Γενική παρατήρηση

- Η αστροφυσική διανύει αυτήν την εποχή τη δημιουργικότερη περίοδο της ιστορίας της. Η πληθώρα των επίγειων αλλά και διαστημικών τηλεσκοπίων, η ταχύτατη ανάπτυξη των υπολογιστών και των συστημάτων επικοινωνίας τροφοδοτεί συνεχώς με νέο υλικό τους ερευνητές

Το πρόβλημα

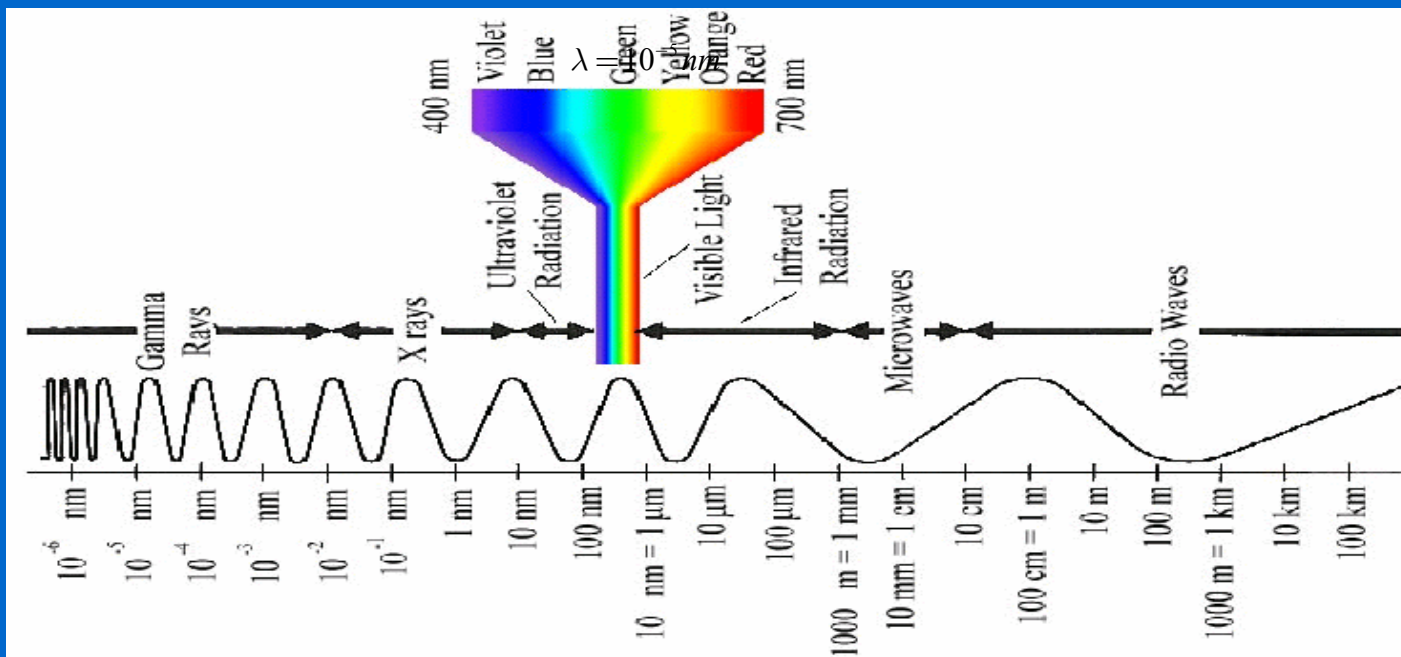
- Μια σειρά από άγνωστης προέλευσης αναλαμπές ακτίνων- γ , καταγράφονται συστηματικά τα τελευταία 25 χρόνια με ρυθμό περίπου μία ή δύο την ημέρα. Το νέο φαινόμενο ονομάζεται "Αναλαμπές ή εξάρσεις ακτίνων γ " (Gamma-Ray Bursts).
- Η πηγή που μας έστειλε τις ακτίνες- γ , θα πρέπει μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα να εξέπεμψε μερικά εκατομμύρια φορές την ενέργεια που εξέπεμψε ο ήλιος από τότε που δημιουργήθηκε μέχρι σήμερα. Οι αναλαμπές ακτίνων- γ αποτελούν τις ισχυρότερες, μετά την Μεγάλη Έκρηξη, αναλαμπές που παρατηρήσαμε ποτέ.

Το πρόβλημα

- Οι διαστάσεις της πηγής είναι περίπου ίσες με την απόσταση που διανύει το φως σε μερικά δευτερόλεπτα, δηλαδή περίπου ίση με τη διάμετρο του ήλιου. Οι ακτίνες - γ αποτελούνται από φωτόνια μεγάλης ενέργειας, πολύ πιο μεγάλης από τις ακτίνες -X.
- Για να δημιουργηθούν θα πρέπει να επικρατούν ειδικές συνθήκες στην πηγή που τις εκπέμπει. Αν μια αναλαμπή ακτίνων- γ συμβεί στη γειτονιά του δικού μας ηλιακού συστήματος θα εξαφανίσει κάθε μορφή ζωής μέσα σε λίγα λεπτά.

Μερικές Σημαντικές Πληροφορίες

- Τι είναι οι ακτίνες γ; $E=hc/\lambda$, ($\lambda=10^{-5} \text{ nm}$) GeV
- Γιατί είναι σημαντικές;
- Μπορούμε να μετρήσουμε ακτίνες-γ στην επιφάνεια της γης;



Μερικές σημαντικές πληροφορίες

- Πως μετράμε την ενέργεια που εκπέμπει η πηγή;

$$I_{\nu} = \frac{L_{\nu}}{4\pi r^2}$$

$$L_{\nu} = \int F_{\nu} dS$$

Μερικές σημαντικές πληροφορίες

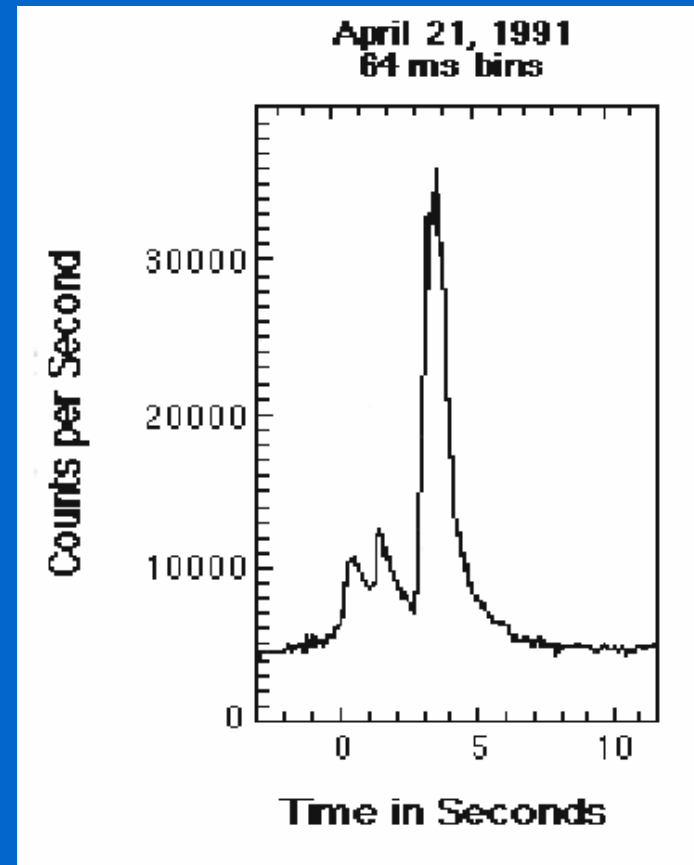
- Πως οι αστρονόμοι μετράνε αποστάσεις;
(<http://www.astro.ucla.edu/~wright/distance.htm>)
- Πως μετράμε τις διαστάσεις τις πηγής;

$$L = \Delta t * c$$

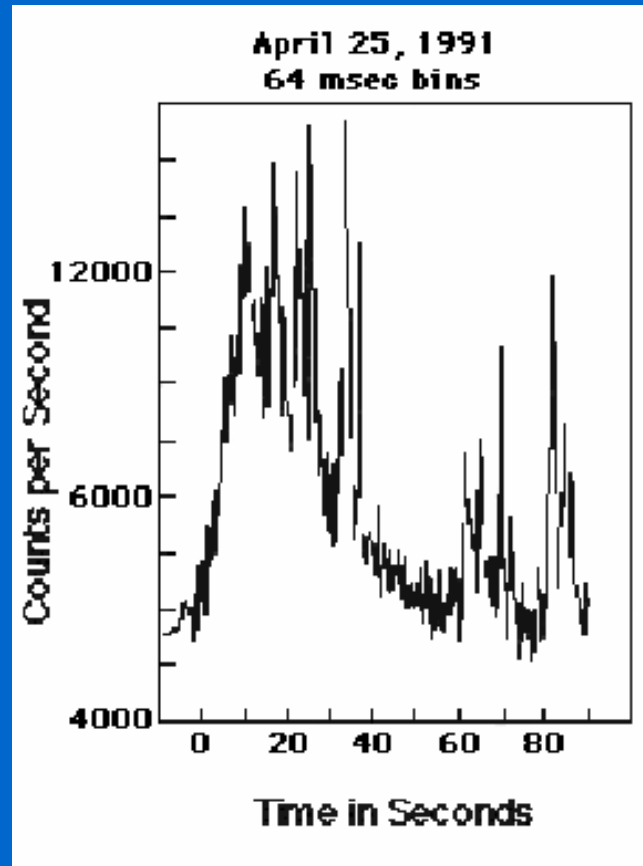
$$R_{\oplus} = 6.9 * 10^{10} cm$$

Μερικές σημαντικές πληροφορίες

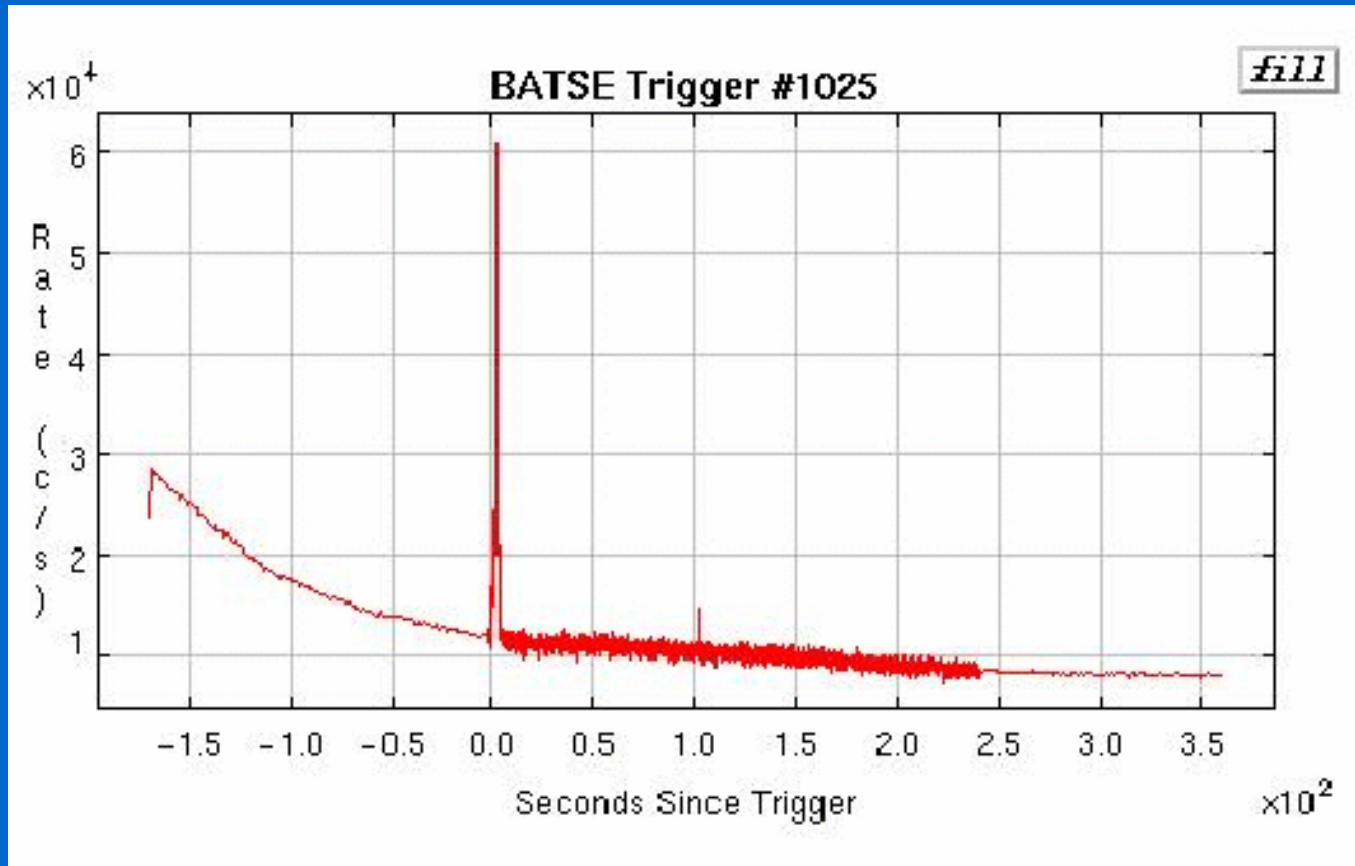
- Μια τυπική αναλαμπή ακτίνων-γ. Η τρομακτική έκρηξη που δημιούργησε την αναλαμπή απελευθέρωσε μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα ασύλληπτα ποσά ενέργειας.



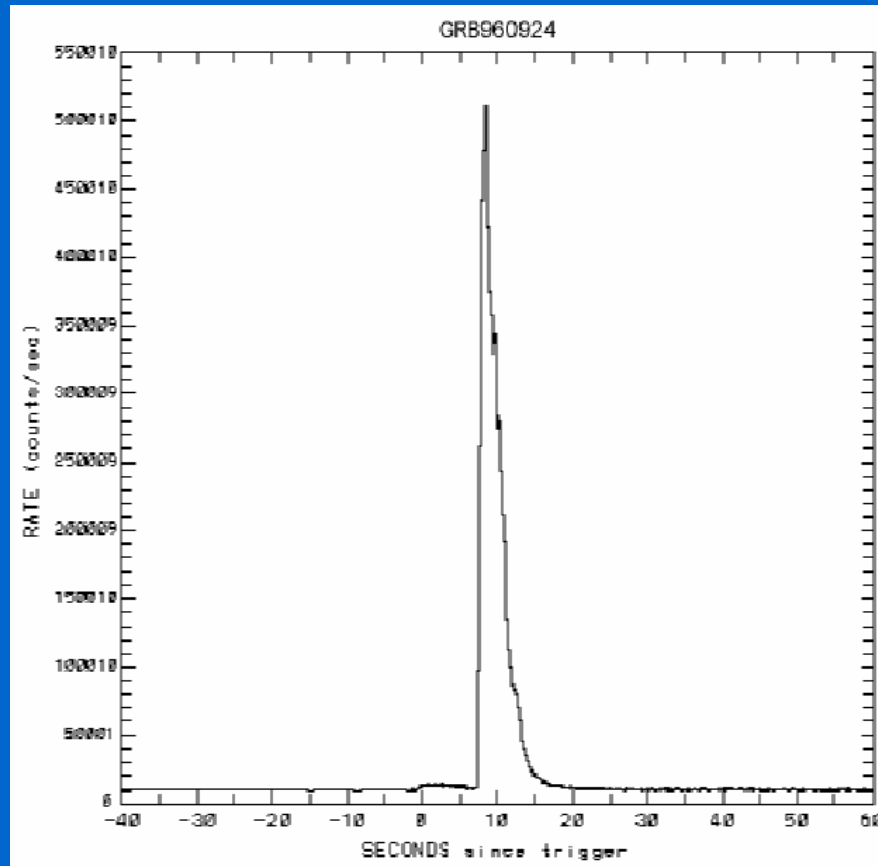
Η χρονική εξέλιξη



Η χρονική εξέλιξη

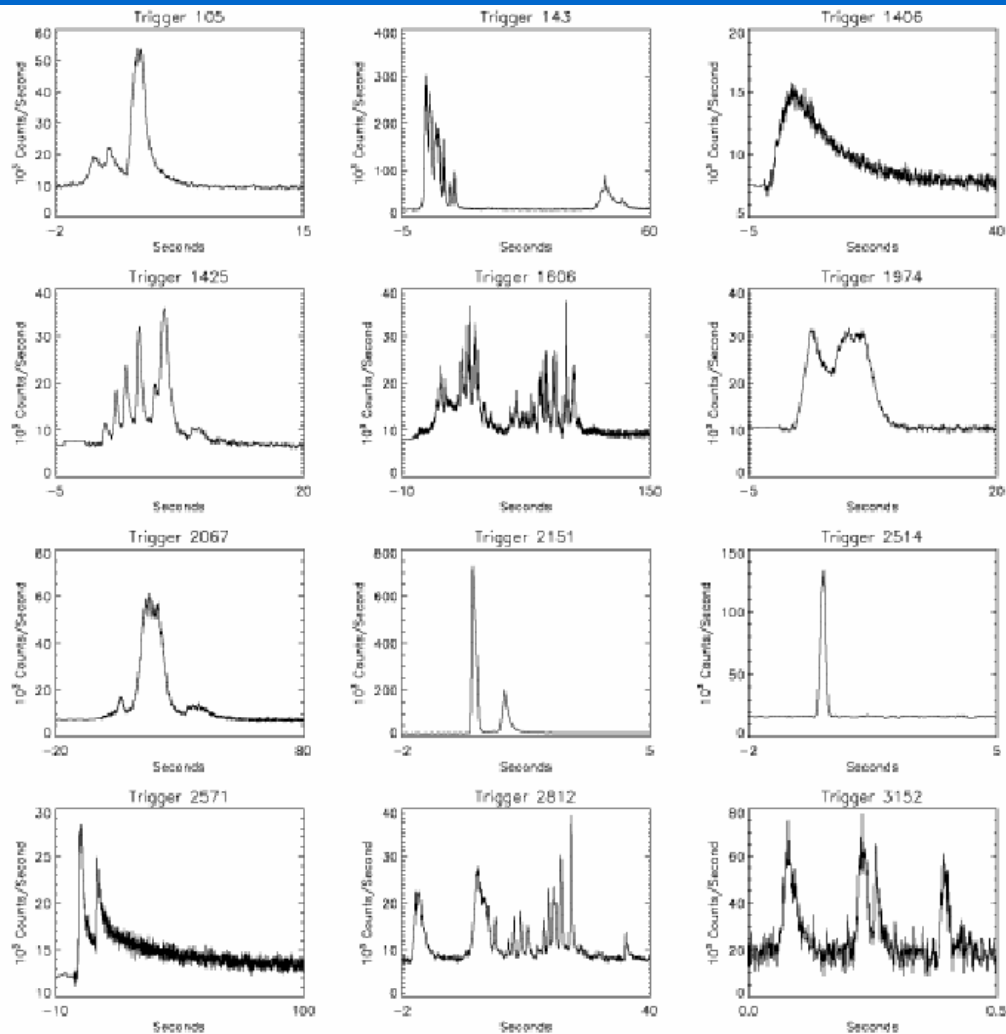


Η χρονική εξέλιξη



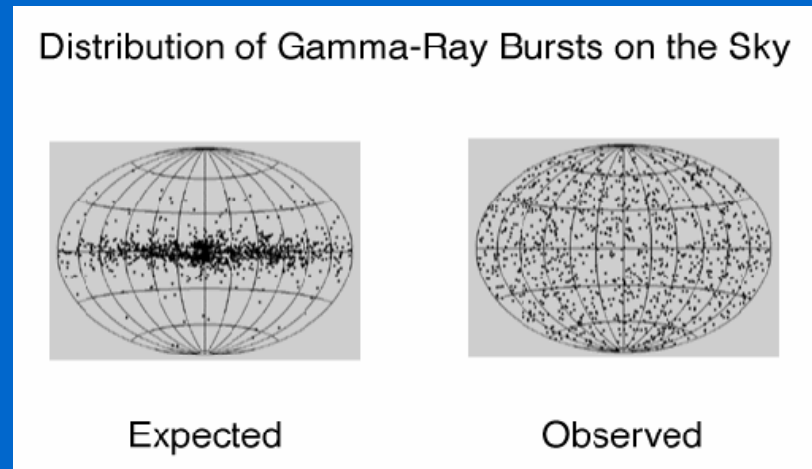
Η πρώτη καταγραφή

- Η πρώτη καταγραφή αναλαμπών ακτίνων-γ, έγινε από στρατιωτικό δορυφόρο το 1967 και αναφέρθηκε επίσημα στην επιστημονική κοινότητα έξη χρόνια αργότερα. Ένα σύστημα από δορυφόρους με την επωνυμία VELA μπήκαν σε τροχιά το 1963 και είχαν ως στόχο να καταγράψουν τυχόν παραβιάσεις της συνθήκης κατάπαυσης των πυρηνικών δοκιμών στην ατμόσφαιρα, στο διάστημα και κάτω από τη θάλασσα. Οι παρατηρήσεις στις ακτίνες-γ είναι ιδανικές για την καταγραφή πυρηνικών δοκιμών, γιατί καμιά άλλη ανθρώπινη δραστηριότητα δεν μπορεί να τις δημιουργήσει.
- Ο Ray Klebesadel και οι συνεργάτες του στο Εθνικό Ινστιτούτο του Los Alamos παρατήρησαν με έκπληξη ότι ένας μεγάλος αριθμός από αναλαμπές ακτίνων-γ δεν προέρχονταν από τη γη. Το σύμπαν «έκανε πυρηνικές δοκιμές» με γρήγορους ρυθμούς αγνοώντας τις διεθνείς συνθήκες..

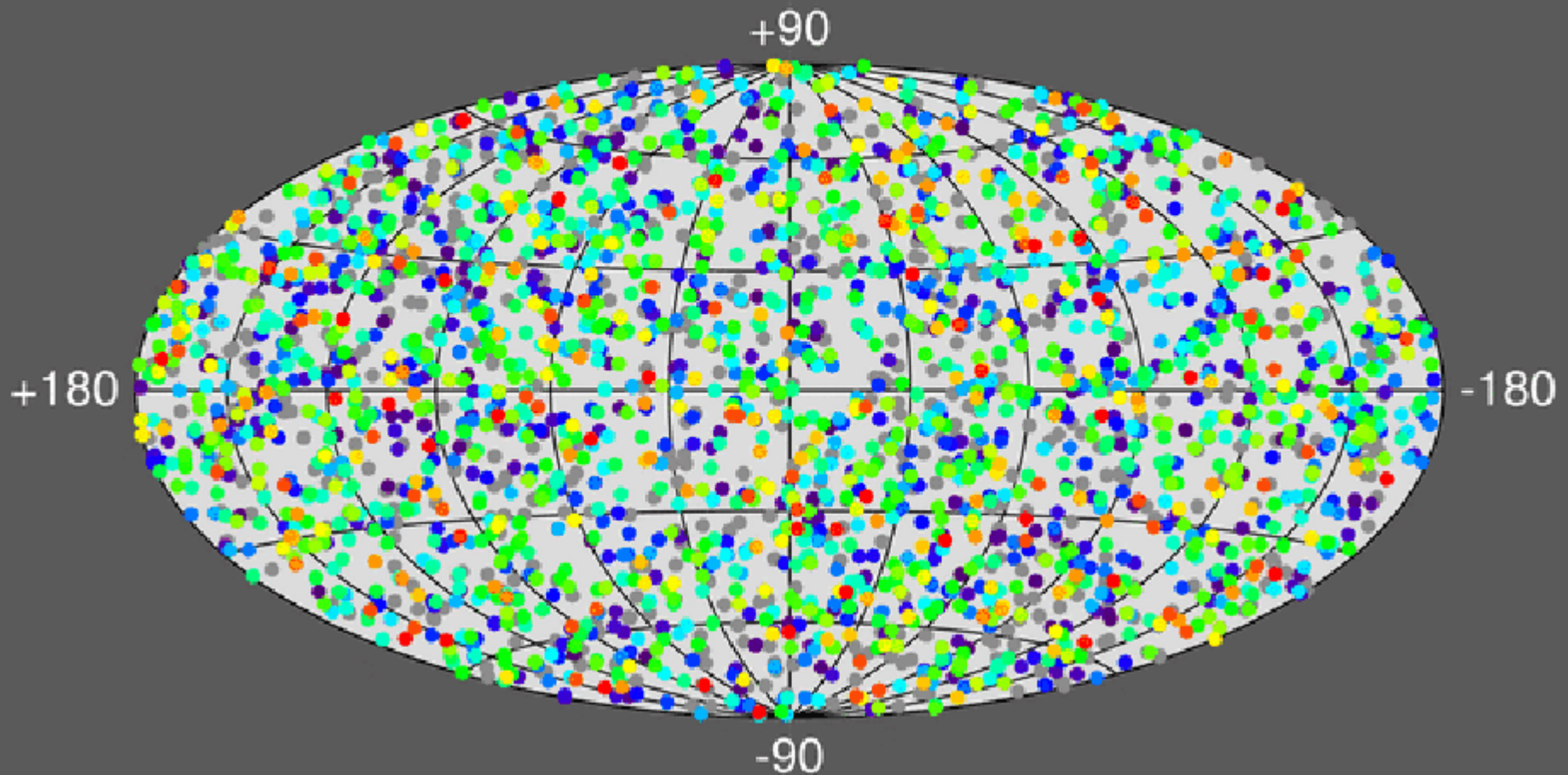


Είναι γαλαξιακής ή έξω-γαλαξιακής προέλευσης;

- Αν οι αναλαμπές προέρχονταν από το Γαλαξία μας θα έπρεπε η πλειοψηφία τους να βρίσκεται στο δίσκο του Γαλαξία.
- Οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι κατανέμονται ομοιόμορφα στον ουρανό.



2704 BATSE Gamma-Ray Bursts

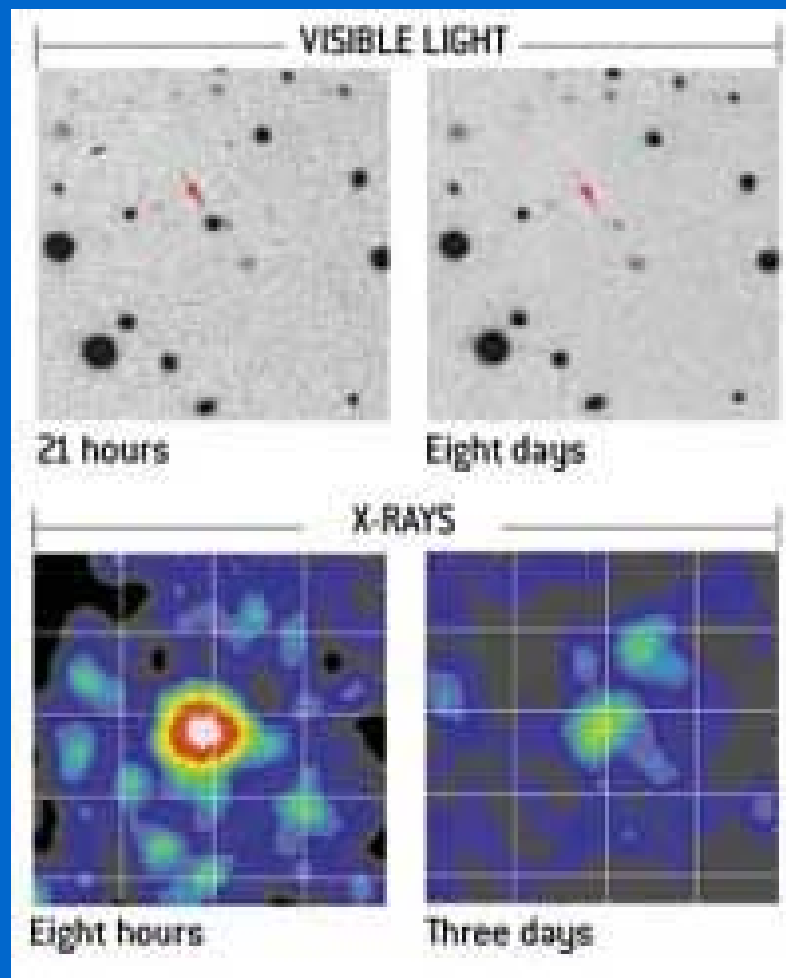


Τι γίνεται στα άλλα μήκη κύματος;

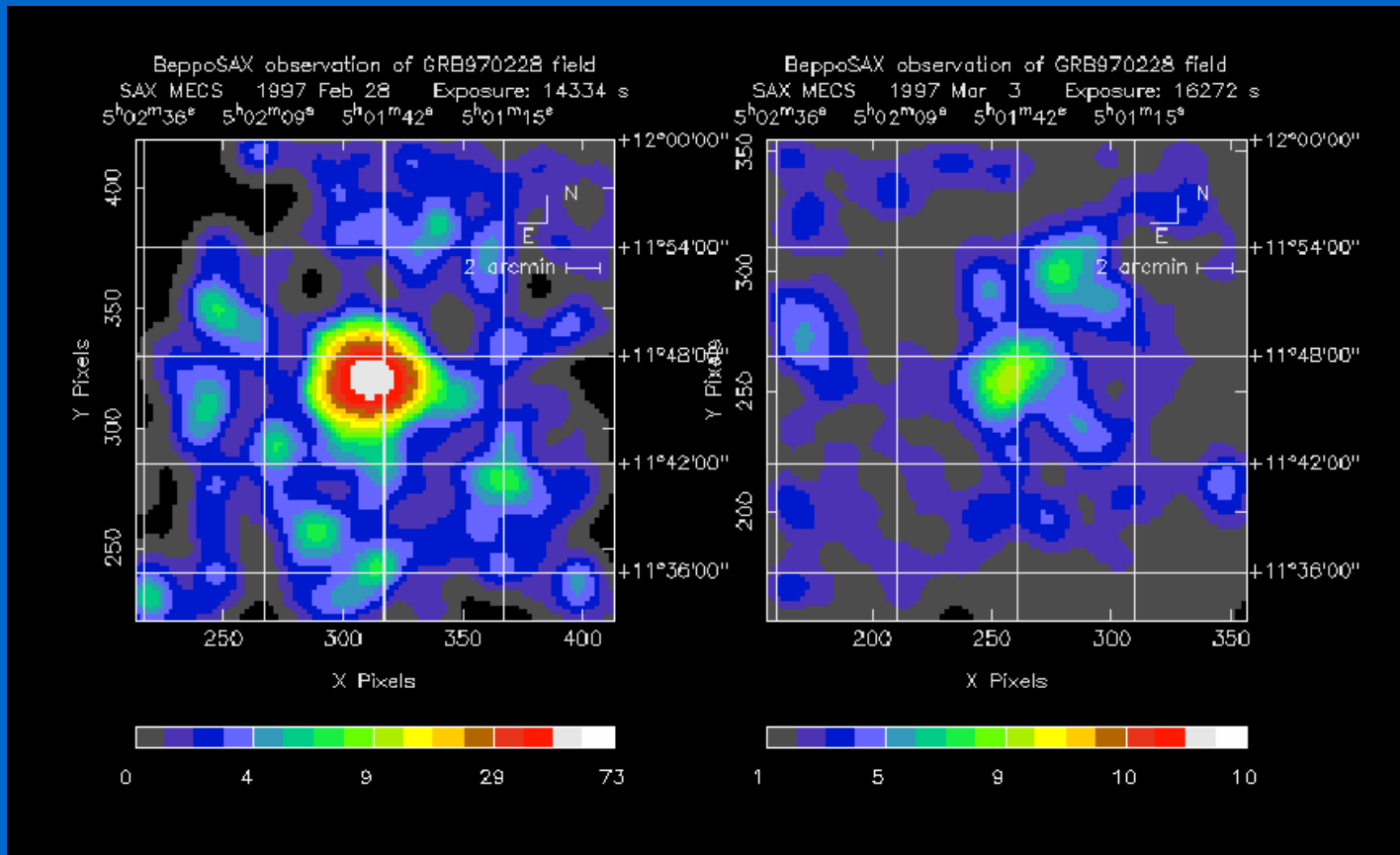
- Χωρίς πληροφορίες και από άλλα μήκη κύματος ή ταυτόχρονη παρατήρηση από διαφορετικά όργανα ήταν αδύνατον να μάθουμε αν η πηγή ήταν μέσα στο γαλαξία μας, και άρα η ενέργεια που εξέπεμπε δεν ήταν τρομακτική, ή ερχόταν από εξωγαλαξιακές (κοσμικές) πηγές και τότε θα ήταν η μεγαλύτερη σε ισχύ έκρηξη που παρατηρήσαμε μετά τη μεγάλη έκρηξη. Τα δεδομένα συνέχισαν να συσσωρεύονται και διαπιστώσαμε με έκπληξη ότι οι αναλαμπές ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένες στον ουρανό.

•
•
•

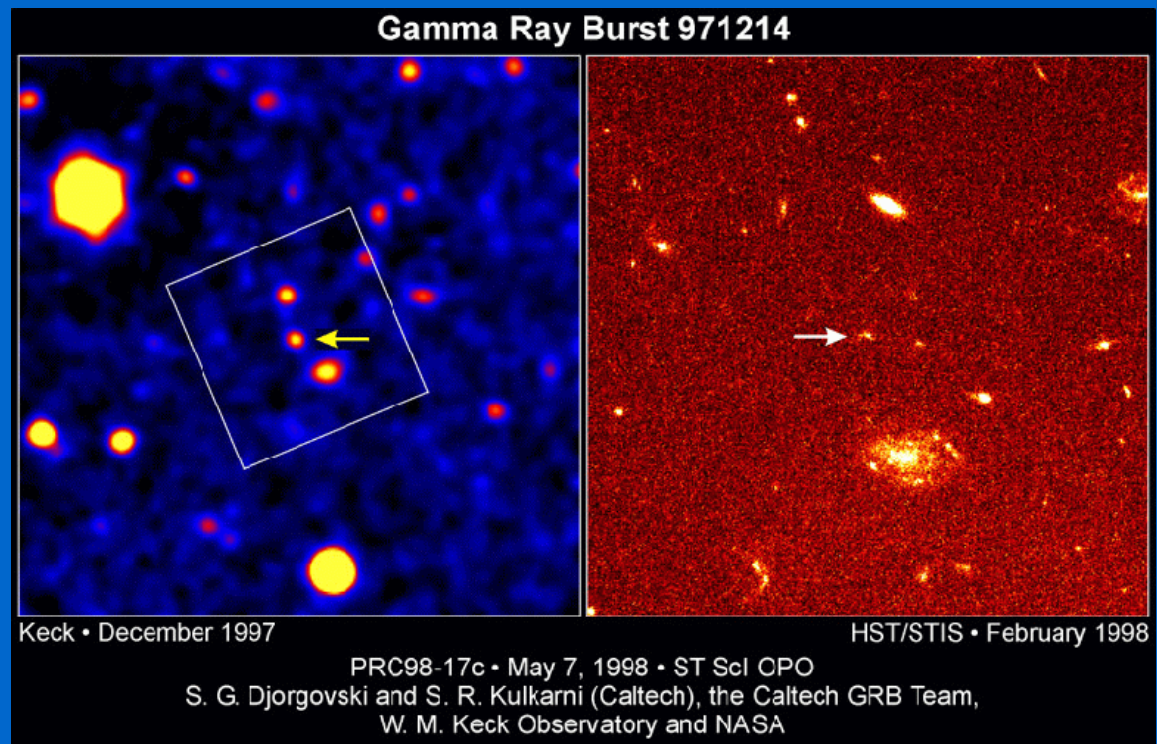
Η συνέχεια στα άλλα μήκη κύματος και μια σημαντική στιγμή



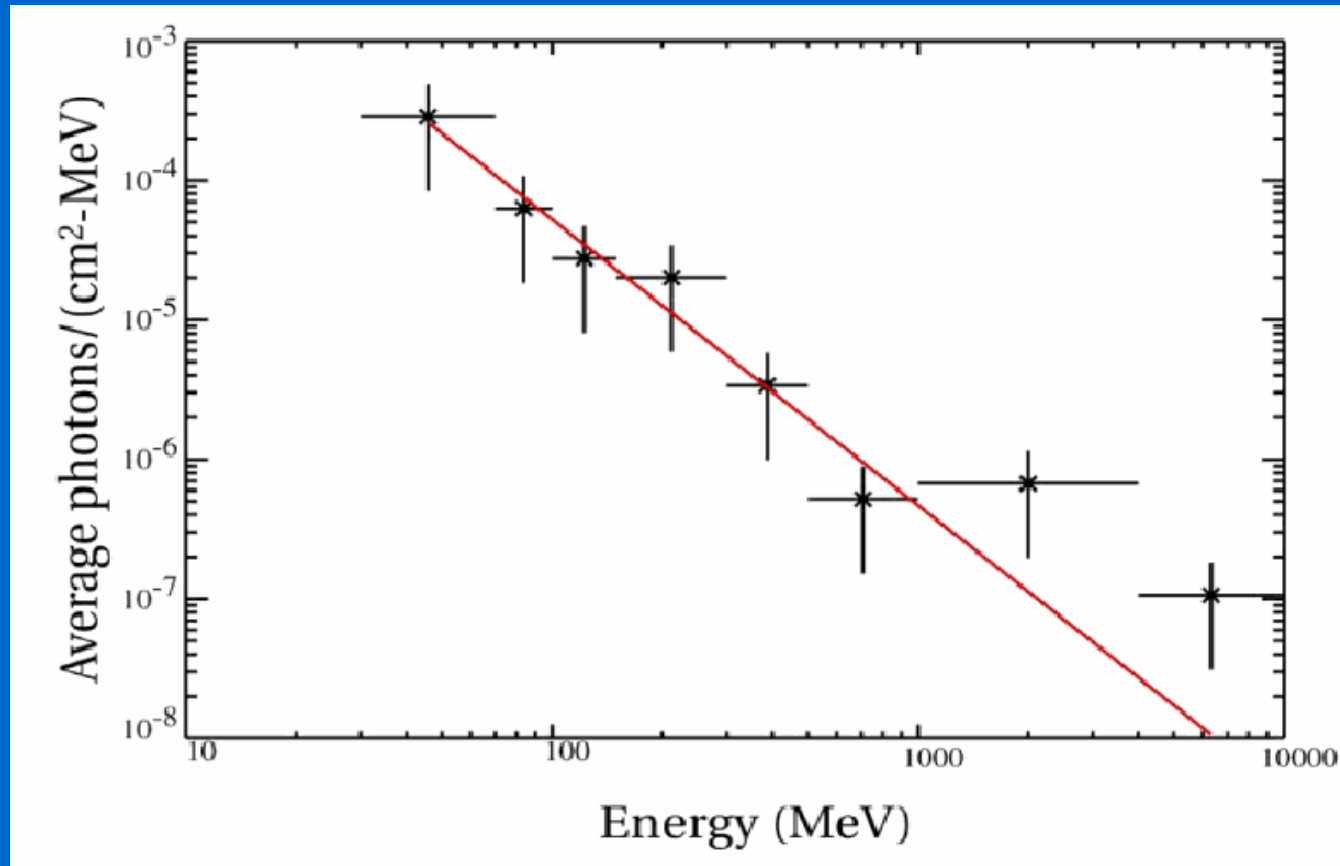
Μια πολύ σημαντική στιγμή.



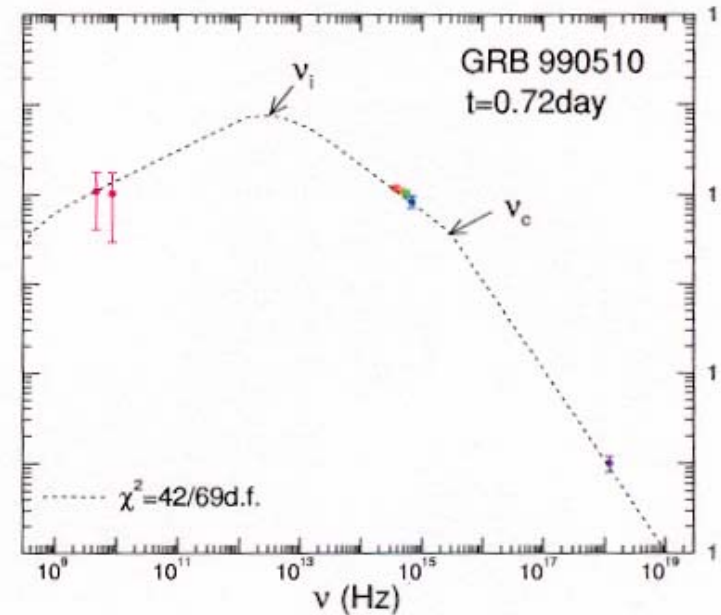
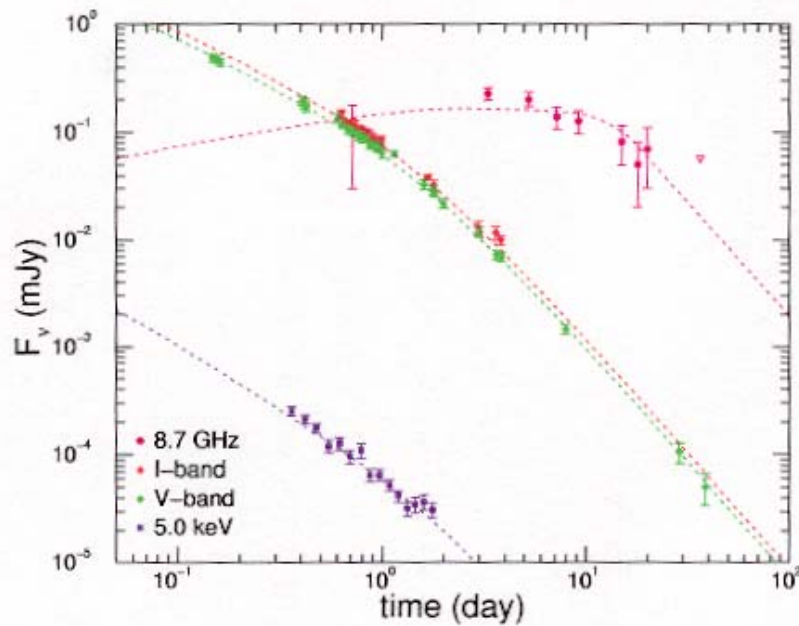
Στα οπτικά

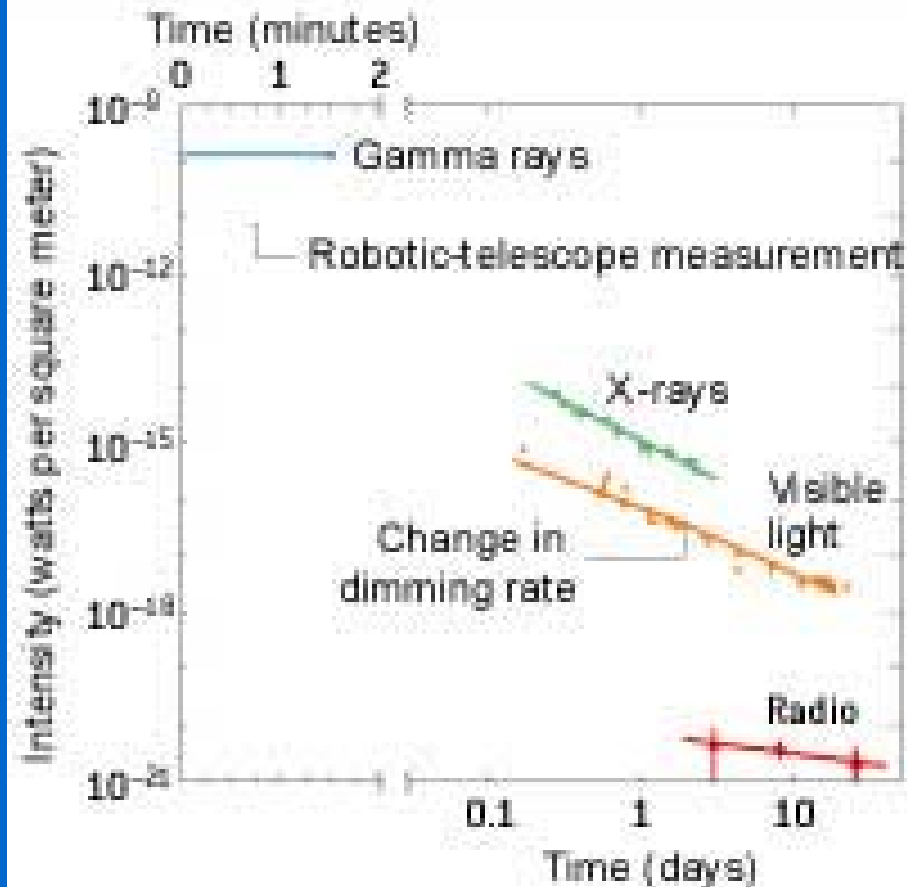


Ενεργειακό φάσμα



Φάσμα στις συχνότητες





•
•
•

Συμπεράσματα από τις παρατηρήσεις για την αναλαμπή

- GRB έχουν σύντομη διάρκεια (0.1s-100s)
- Η ενέργεια των φωτονίων

$$100 \text{ KeV} < h\nu < 1 \text{ GeV}$$

- Η χρονική εξέλιξη των παλμών δεν είναι η ίδια
- Η παρατηρούμενη ροή ενέργειας είναι
$$10^{-5} - 10^{-7} \text{ erg/cm}^2$$

Συμπεράσματα από τις παρατηρήσεις για την αναλαμπή

- Οι μετρήσεις της απόστασης της πηγής περιόρισαν την ενέργεια του παλμού στη περιοχή 10^{51} - 10^{54} ergs (σφαιρική συμμετρία) και 10^{49} - 10^{52} για κατευθυνόμενη ροή ενέργειας
- Το φάσμα είναι μη θερμικό (νόμο δύναμης με μεταβαλλόμενους εκθέτες)

Συμπεράσματα από τις παρατηρήσεις για την αναλαμπή

- Ταυτόχρονη παρατήρηση GRB με τους υπερκαινοφανείς αστέρες
- Ποια είναι η σχέση τους? Ελάχιστοι υπερκαινοφανείς συνδέονται με GRB
- Σφαιρική με κατευθυνόμενη ροή?

•
•
•

Συμπεράσματα από τις παρατηρήσεις για τις ιδιότητες της πηγής μετά την αναλαμπή (afterglow)

- Η πηγή αρχίζει να εκπέμπει και σε άλλα μήκη κύματος (ακτίνες-X, οπτικά, ραδιοφωνικά). Η ενέργεια των πηγών αυτών είναι κατά μερικές εκατοντάδες φορές μικρότερη
- Η ροή φθίνει με το χρόνο $F_\nu \approx t^{-a}$, $a \approx 1.2$
- Ταυτόχρονη παρατήρηση GRB με τους υπερκαινοφανής αστέρες

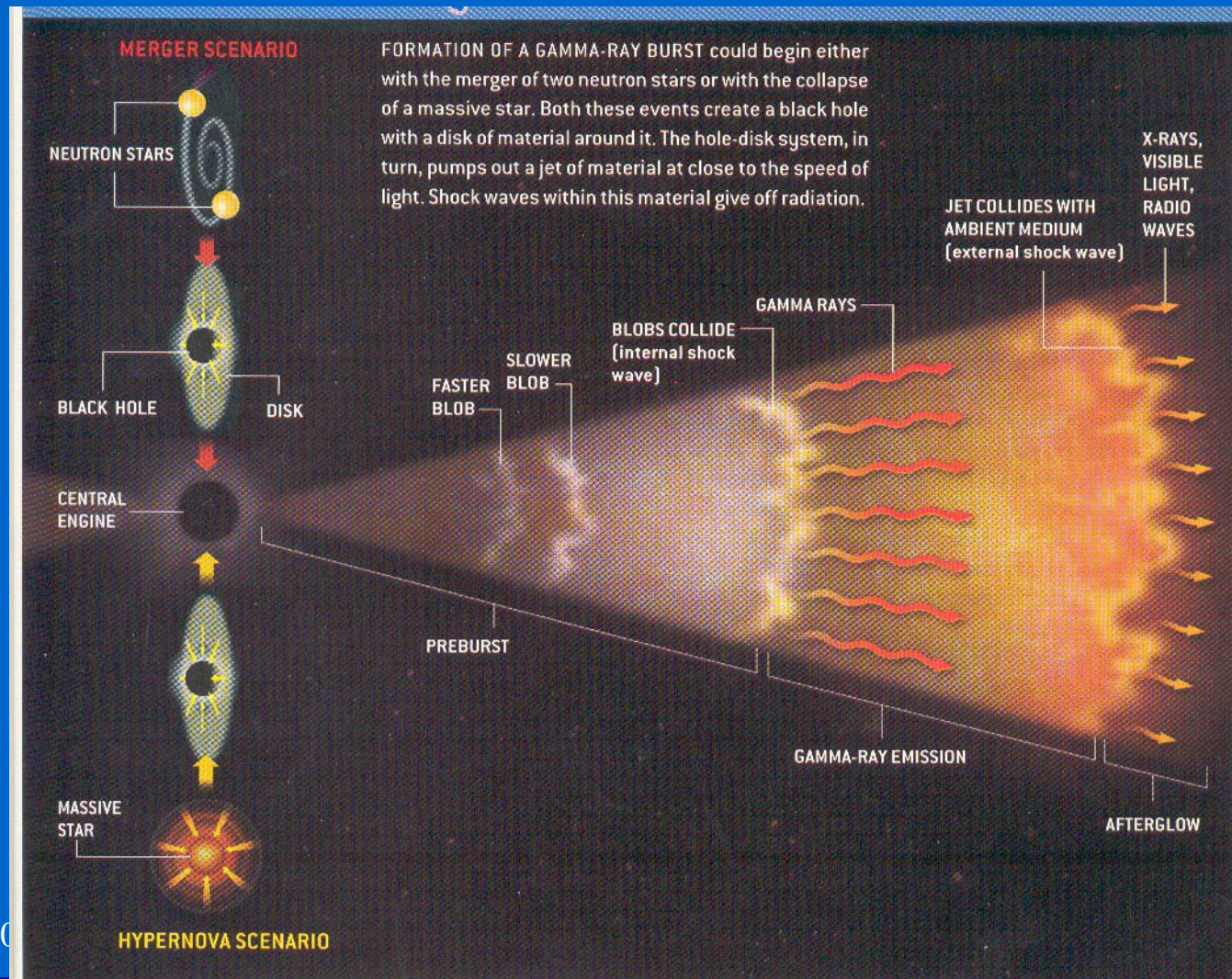
Classes of *Gamma-Ray Bursts*

BURST CLASS (SUBCLASS)	PERCENTAGE OF ALL BURSTS	TYPICAL DURATION OF INITIAL EMISSION (SECONDS)	INITIAL GAMMA-RAY EMISSION	AFTERGLOW X-RAY EMISSION	AFTERGLOW VISIBLE EMISSION	HYPOTHETICAL CENTRAL ENGINE	EXPLANATION FOR PECULIAR PROPERTIES
Long (normal)	25	20	✓	✓	✓	Energetic explosion of massive star	Not applicable
Long (ghosts or dark)	30	20	✓	✓	X	Energetic explosion of massive star	Extremely distant, obscured by dust, or intrinsically faint
Long (x-ray-rich or x-ray flashes)	25	30	X	✓	X	Energetic explosion of massive star	Extremely distant or weighed down by extra particles
Short	20	0.3	✓	?	?	Merger of pair of compact objects	Does not occur in a star-forming region, so ambient gas is less dense and external shocks are weaker

Πιθανά Μοντέλα για την ερμηνεία

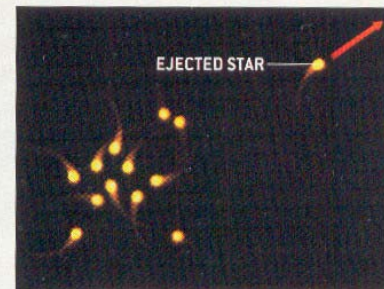
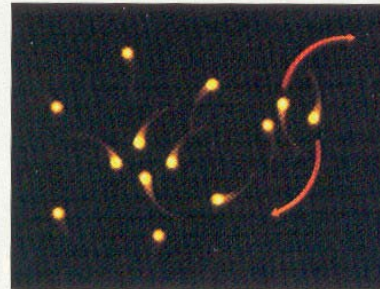
- Διπλά συστήματα αστέρων νετρονίων (αλλά και μελανών οπών) είναι πιθανό να δημιουργηθούν. Περιστρέφονται γύρω από το κοινό κέντρο μάζας τους ακτινοβολώντας ενέργεια και πλησιάζουν σιγά-σιγά μεταξύ τους. Στο τέλος πέφτουν το ένα επάνω στο άλλο απελευθερώνοντας μέσα σε δευτερόλεπτα τρομακτικά ποσά ηλεκτρομαγνητικής και βαρυτικής ενέργειας. Η ενέργεια που απελευθερώνεται είναι τόσο μεγάλη που ξεπερνά σε ένταση το φως που στέλνει ολόκληρος ο γαλαξίας.
- Η σύγκρουση αυτή έχει ως αποτέλεσμα να διαταράξει το χωρόχρονο, και αν ο Einstein έχει δίκιο θα περιμένουμε ότι όλες οι αναλαμπές ακτίνων-γ πρέπει να είναι ταυτόχρονα και πηγές βαρυτικών κυμάτων.

Η δημιουργία μιας εντοπισμένης χωρικά έκρηξης (fireball)



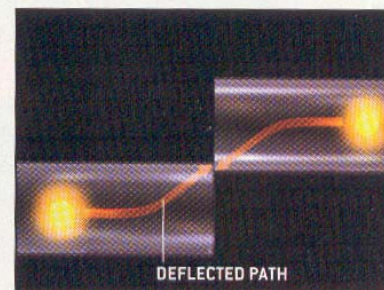
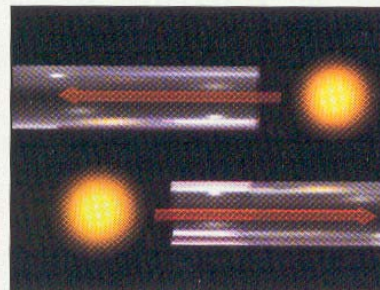
EVAPORATION

STARS IN A GLOBULAR CLUSTER zip around like bees in a swarm. Occasionally three or four come close to one another. Their close encounter redistributes energy and can fling one of the stars out of the cluster altogether. The remaining cluster members huddle together more tightly. If enough stars are ejected, the ones left behind begin to collide. This process typically occurs over billions of years.



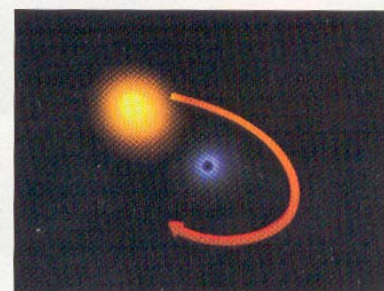
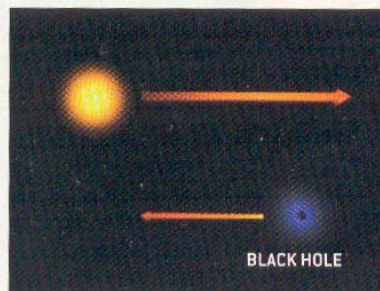
GRAVITATIONAL FOCUSING

IN THE COSMIC SCHEME of things, stars are small targets for impacts. Each sweeps out a very narrow region of space, and at first glance it appears that two such regions are unlikely to overlap. But gravity makes stars into larger targets by deflecting the paths of any approaching objects. In effect, each star actually sweeps out a region many times its own size, greatly increasing the probability of overlap and collision.

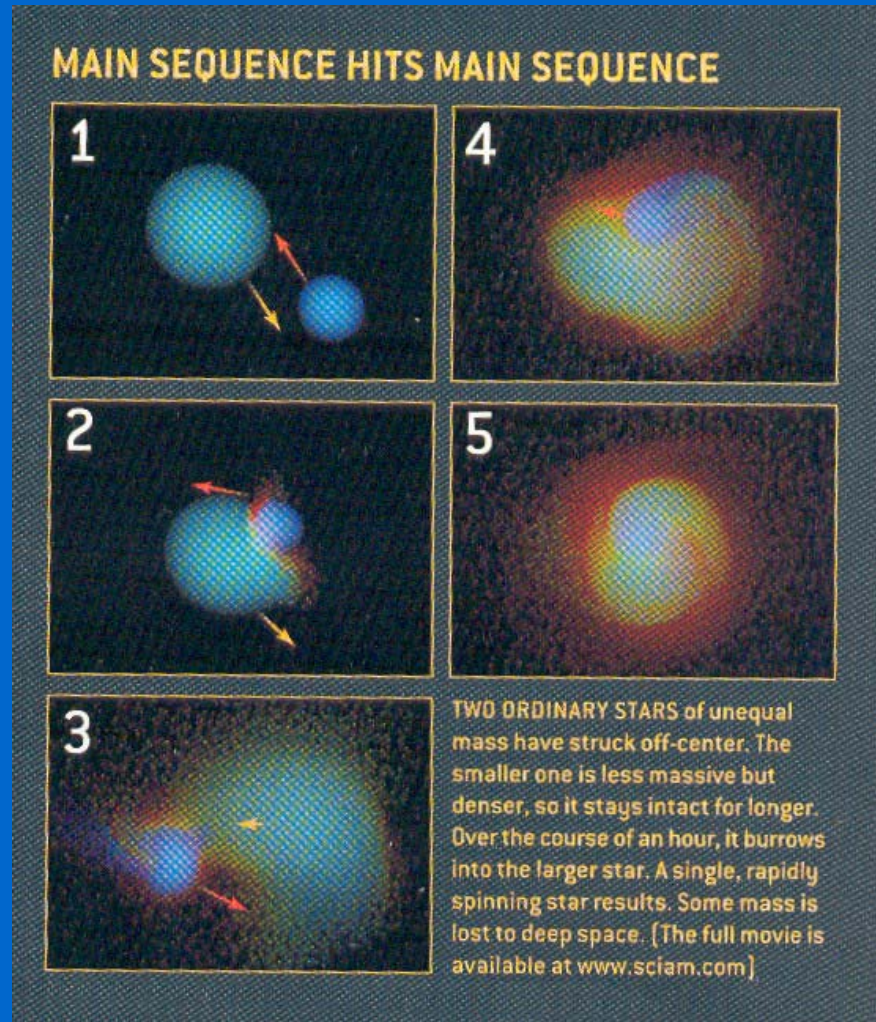


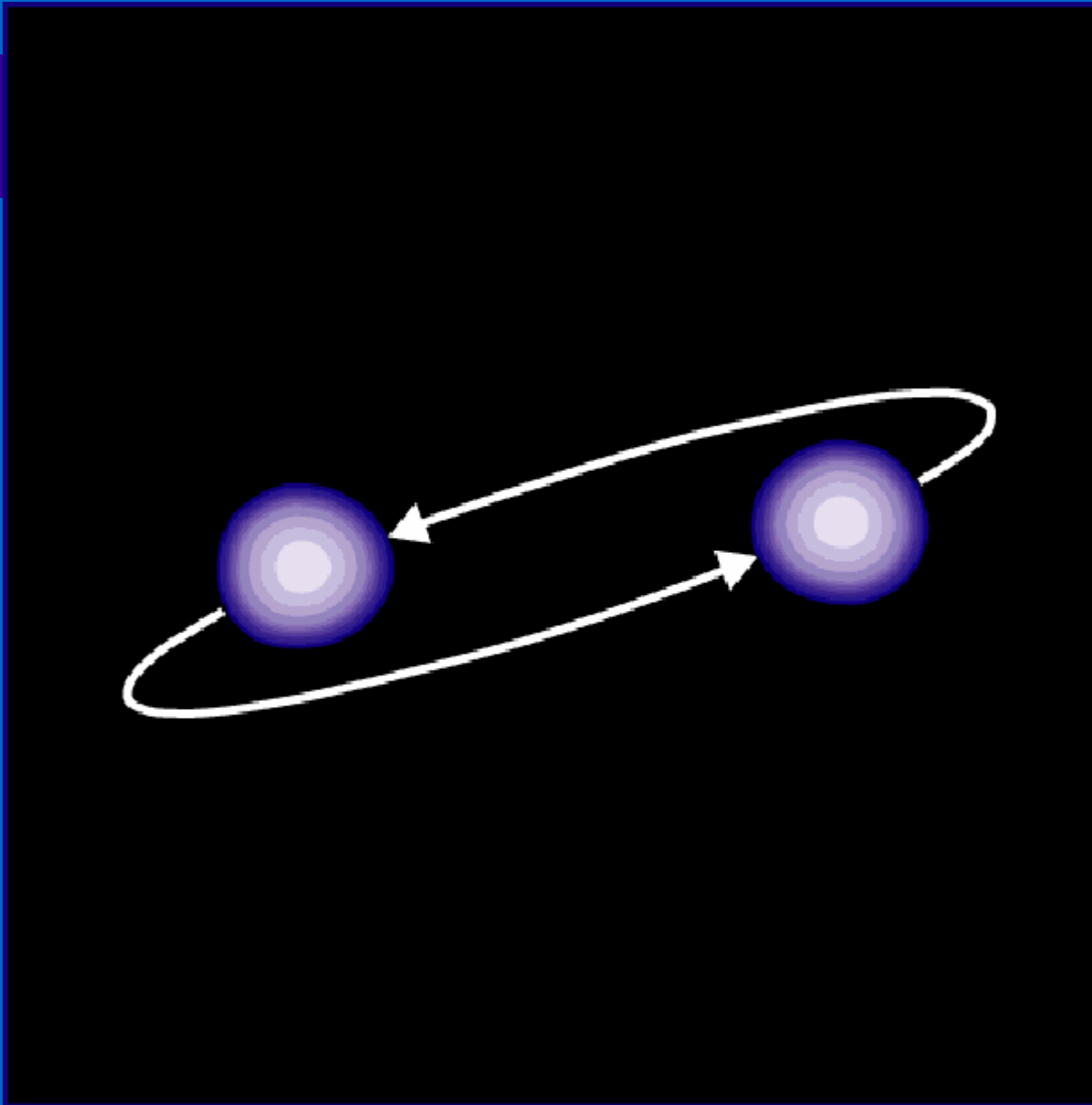
TIDAL CAPTURE

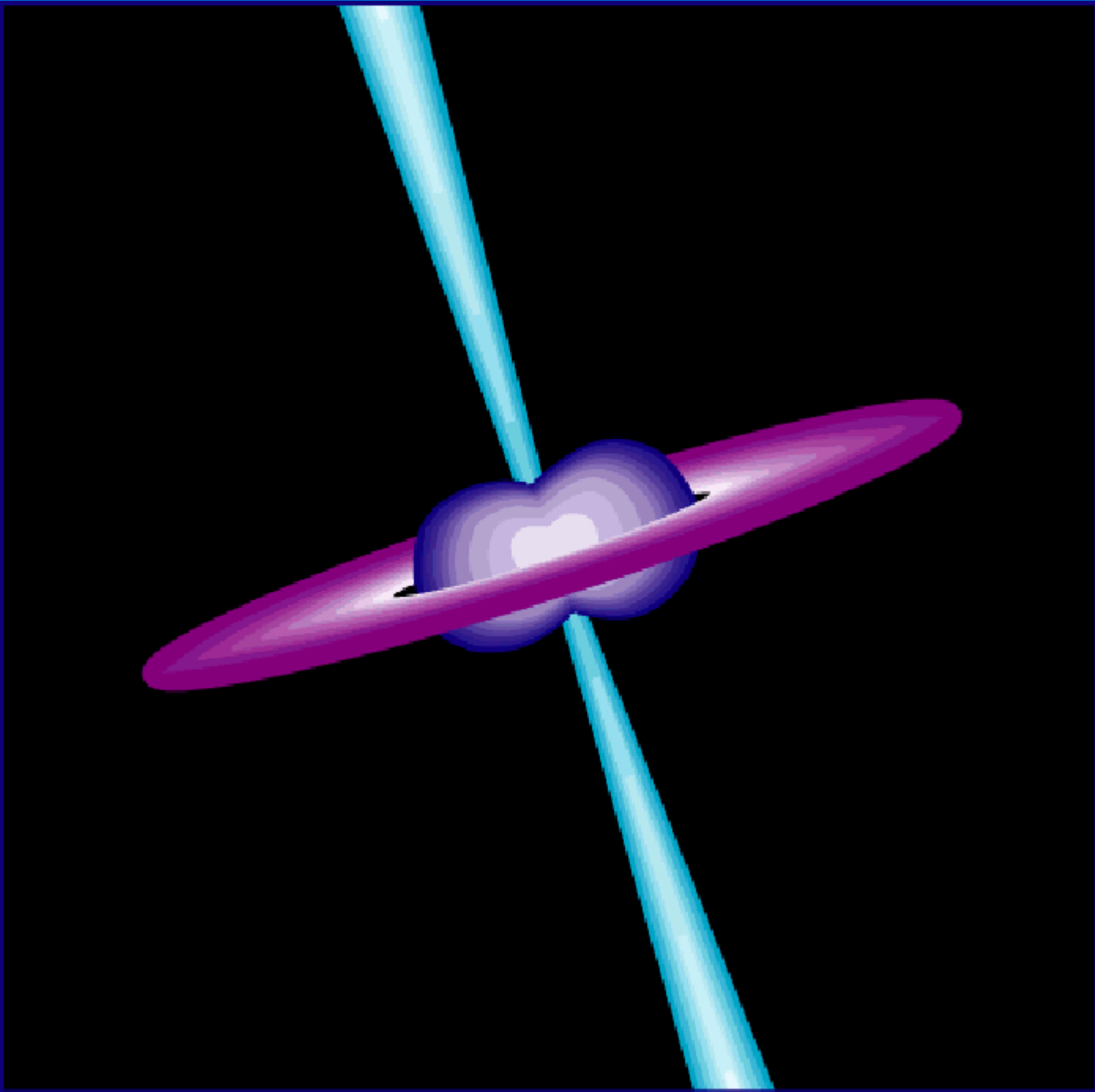
A BLACK HOLE or neutron star makes an even smaller target than a normal star. But it can exert powerful tidal forces that bend a passing star out of shape. The distortion dissipates energy and can cause the two bodies to go into orbit. A collision between the two is then just a matter of time, as successive close passages rob ever more orbital energy.

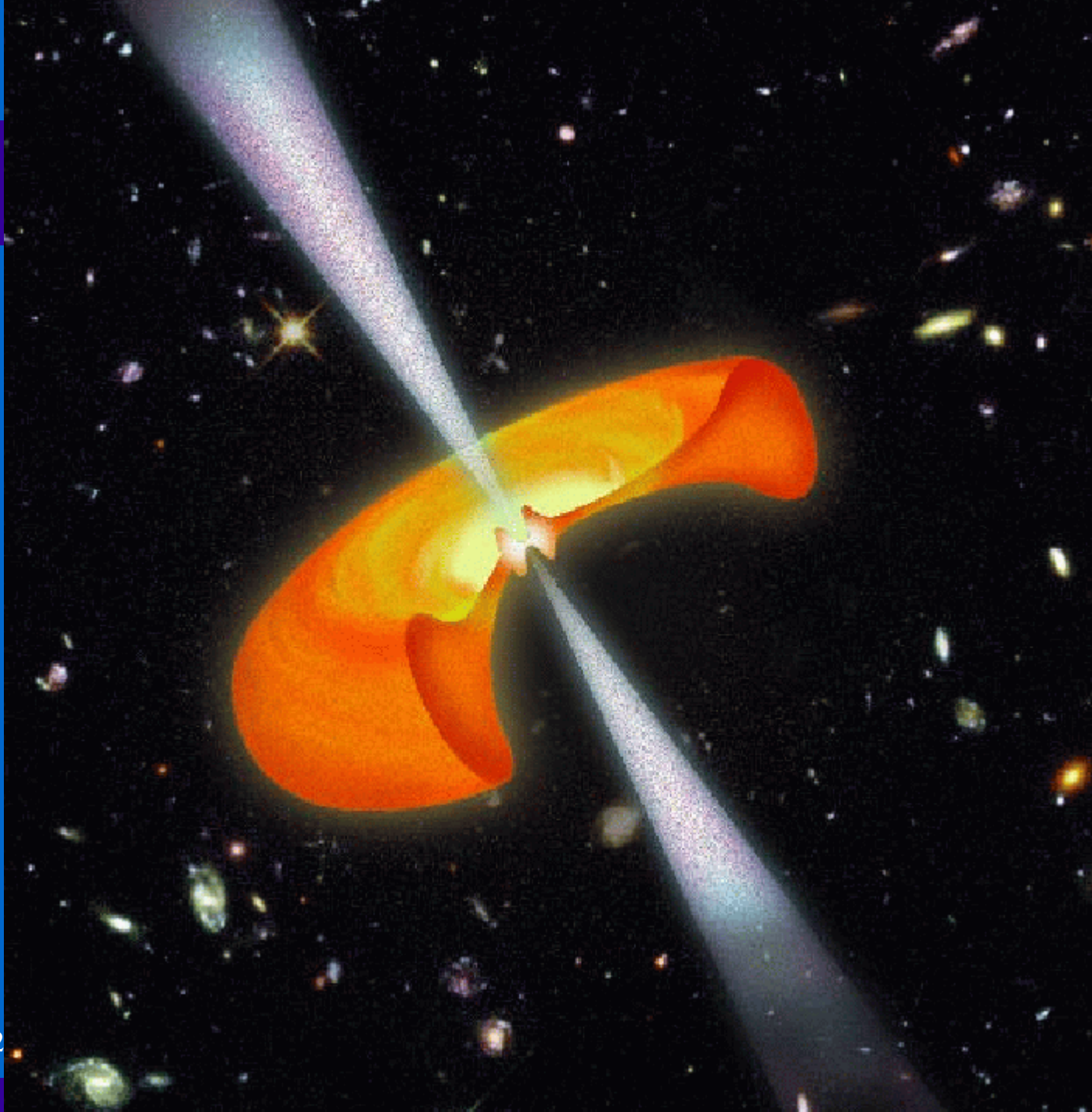


Σύγκρουση αστέρων της κύριας ακολουθίας

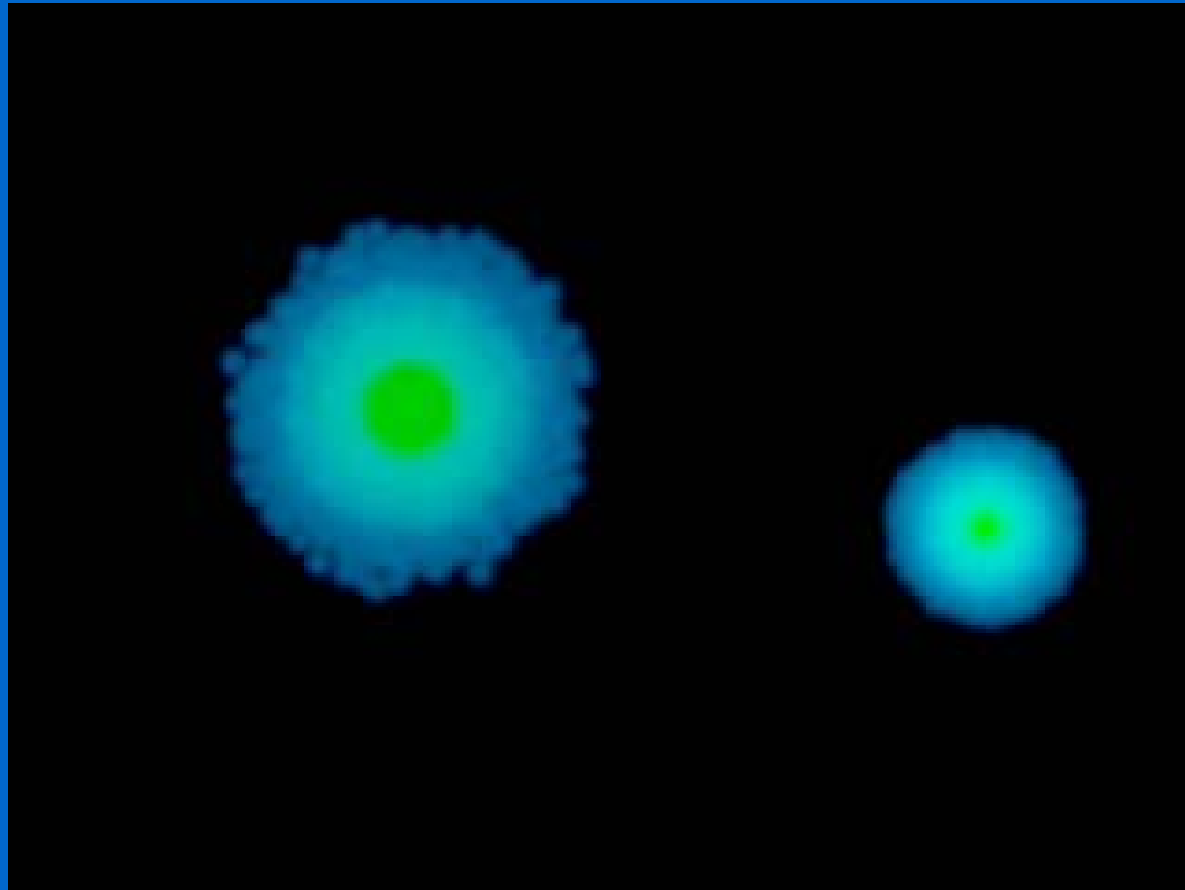








-
-
-

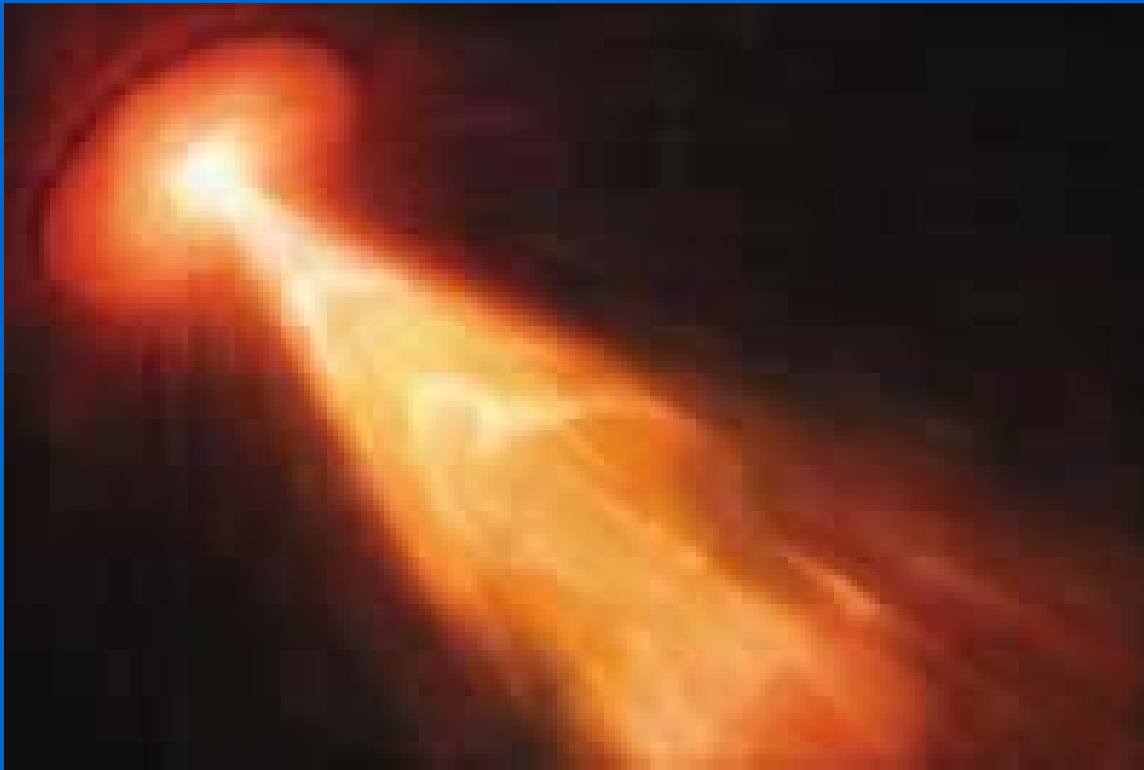


18/5/2004

35

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

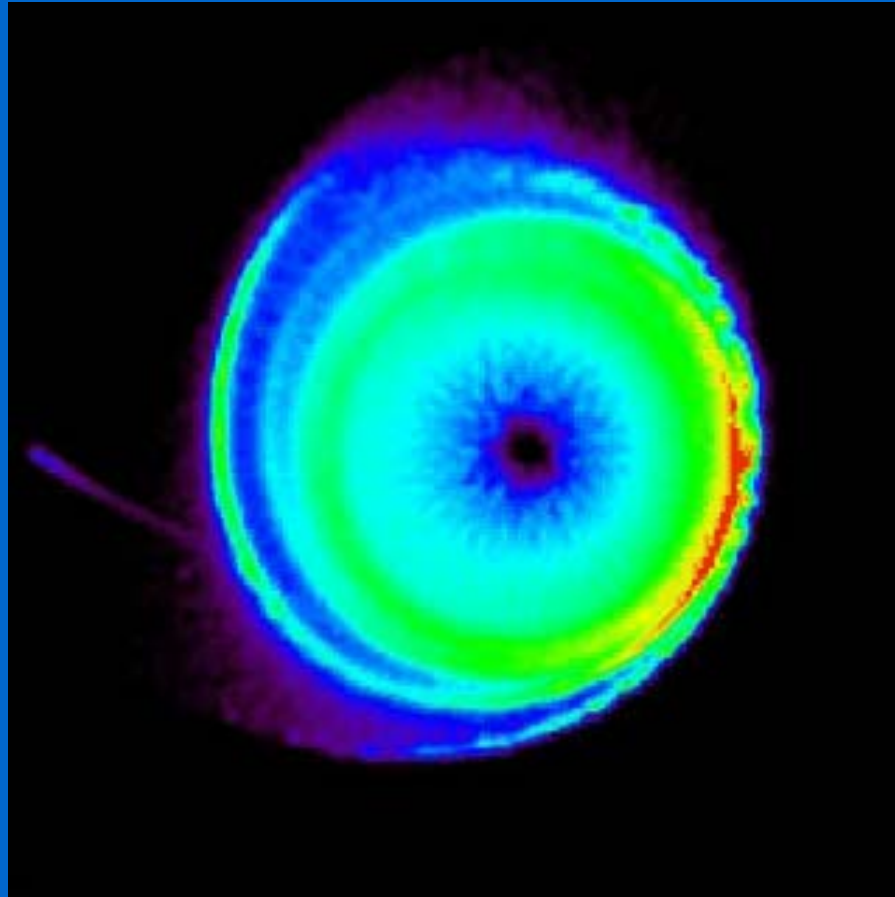


18/5/2004

36

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

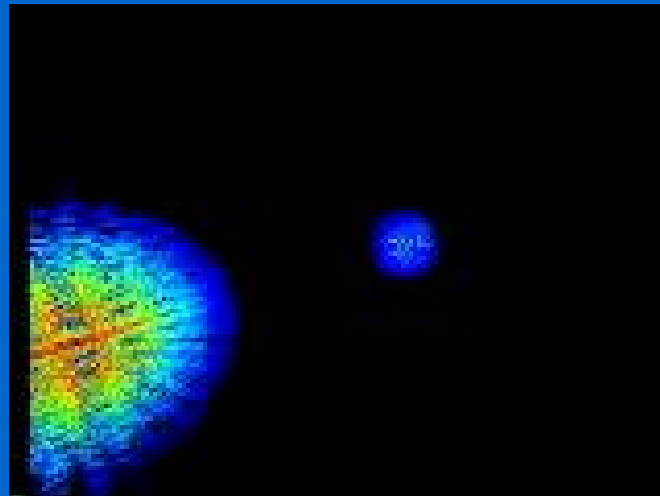


18/5/2004

37

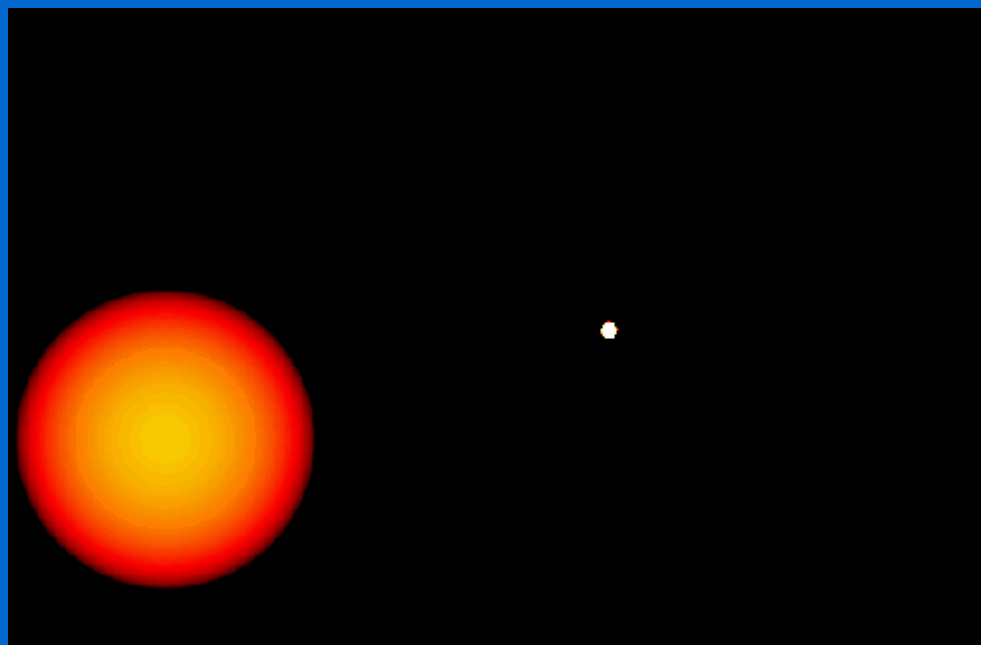
-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

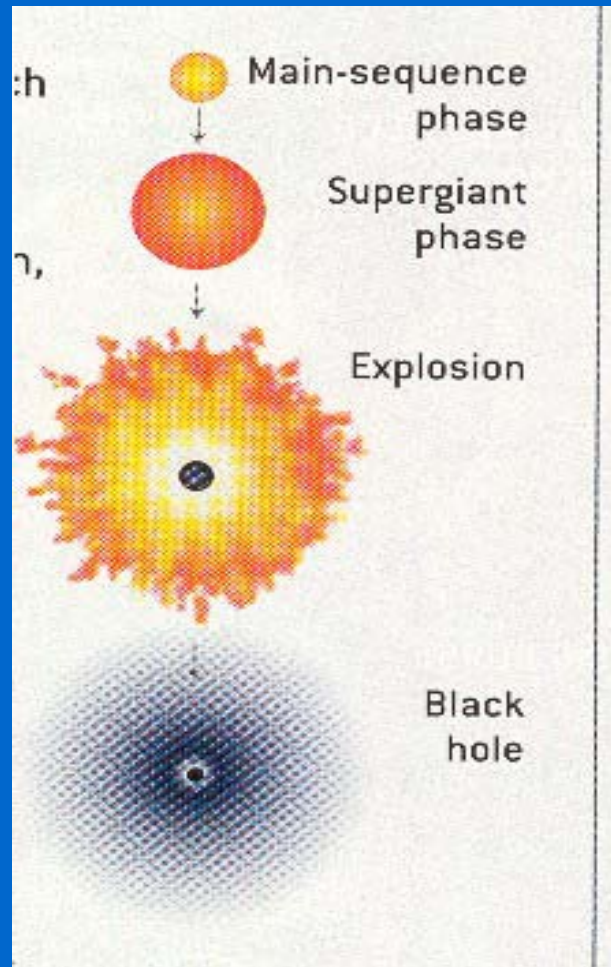


-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-



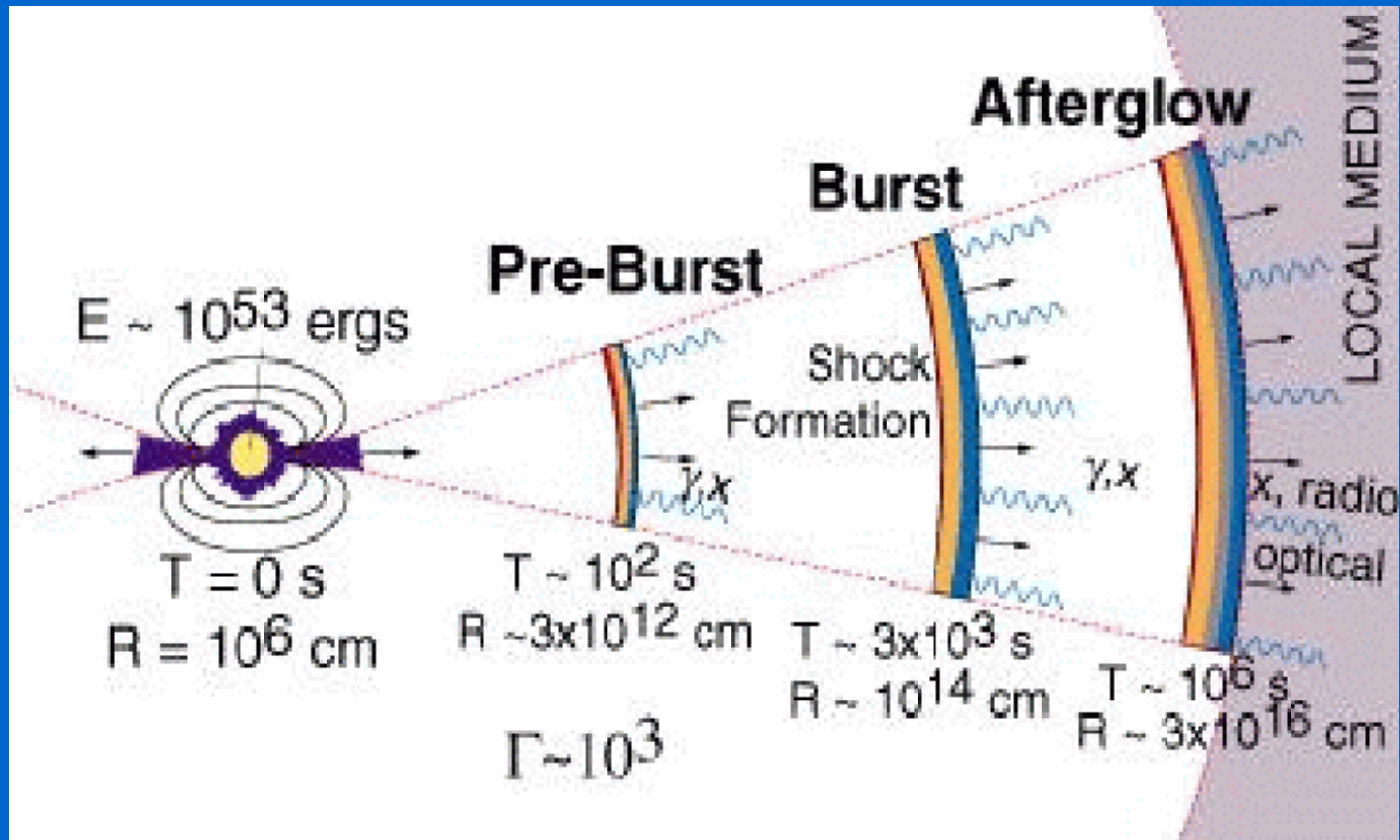
Κατάρρευση αστέρα



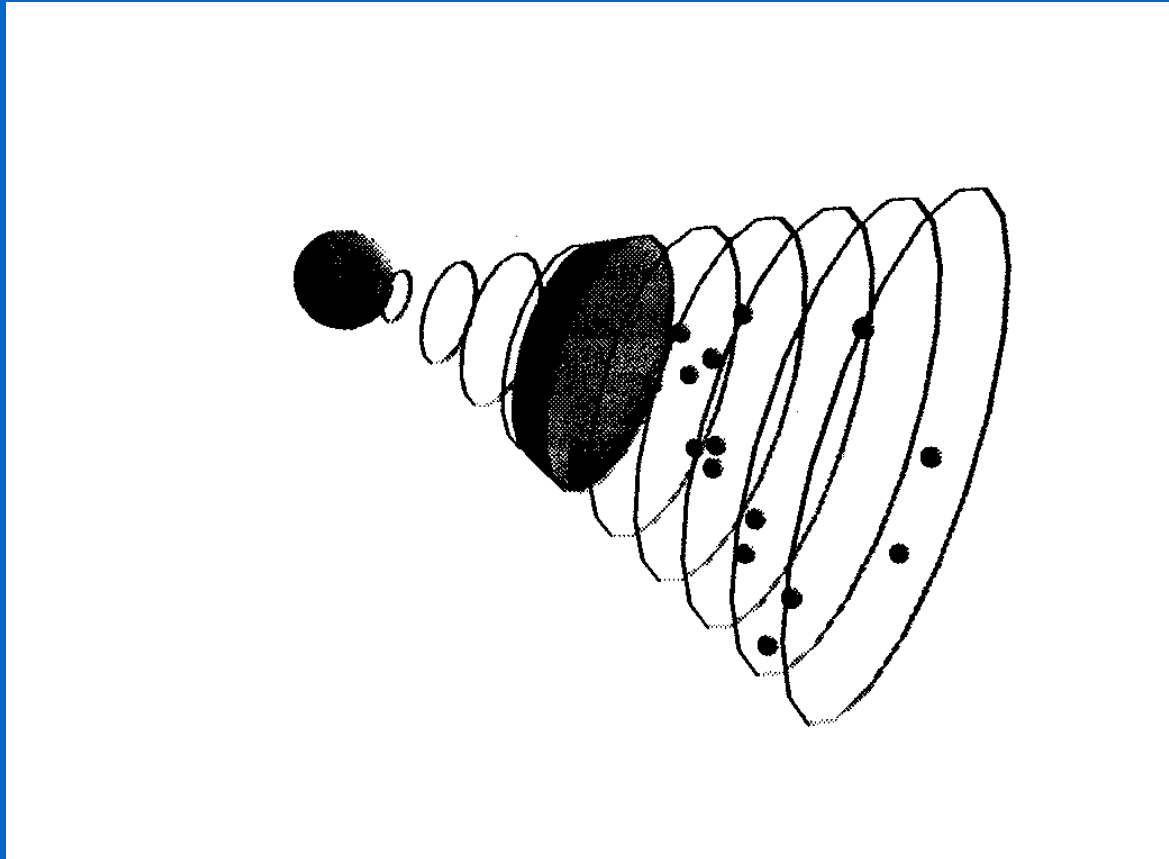
Ένα απλό μοντέλο

- Μια εσωτερική «μηχανή» που θα παράγει κατευθυνόμενη σχετικιστική ροή ενέργειας
- Η μεταφορά της ενέργειας στο χώρο
- Η μετατροπή της κινητικής ενέργειας της ροής σε ακτινοβολία με τη μορφή του παλμού
- Η μεταφορά της υπόλοιπης ενέργειας σε ακτινοβολία (ακτίνες Χ, οπτικά, ραδιοφωνικά) σε άλλη κλίμακα χρόνου

Η χρονική εξέλιξη της αναλαμπής είναι διαφορετική για κάθε μήκος κύματος και αυτό αποτελεί ένα είδος “περιορισμού” για τα μοντέλα

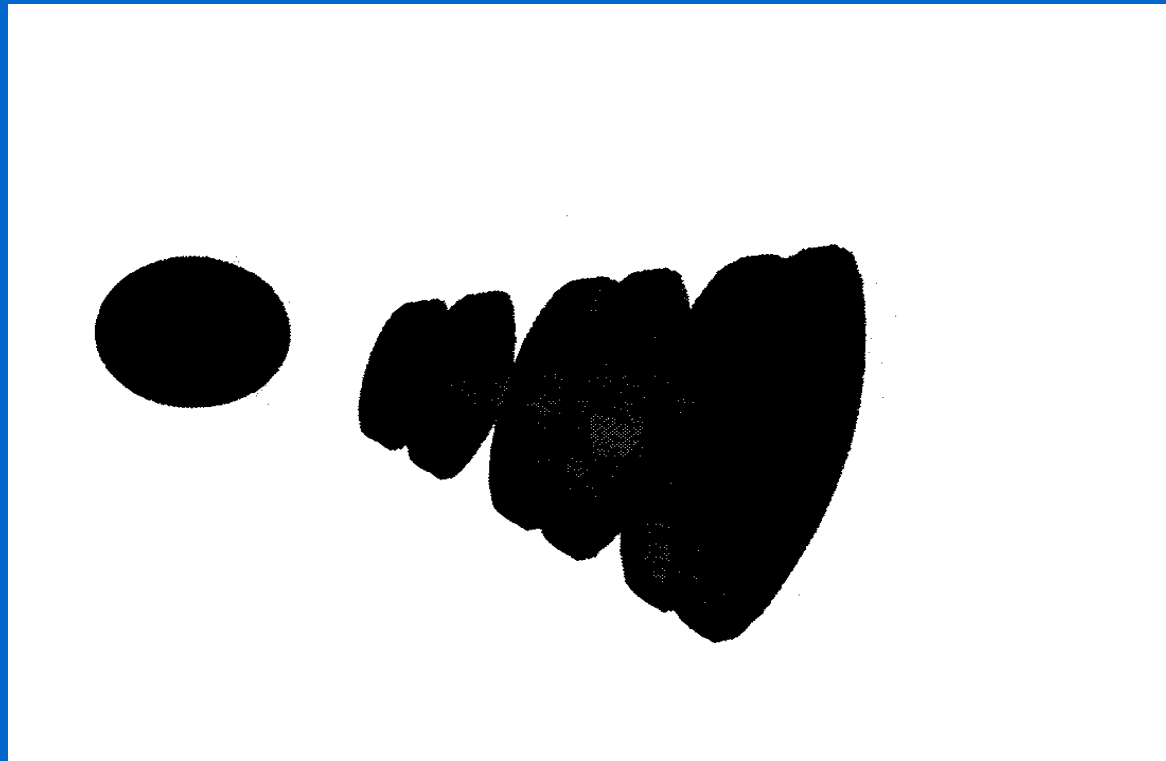


Το μοντέλο των πολλαπλών κρουστικών κυμάτων

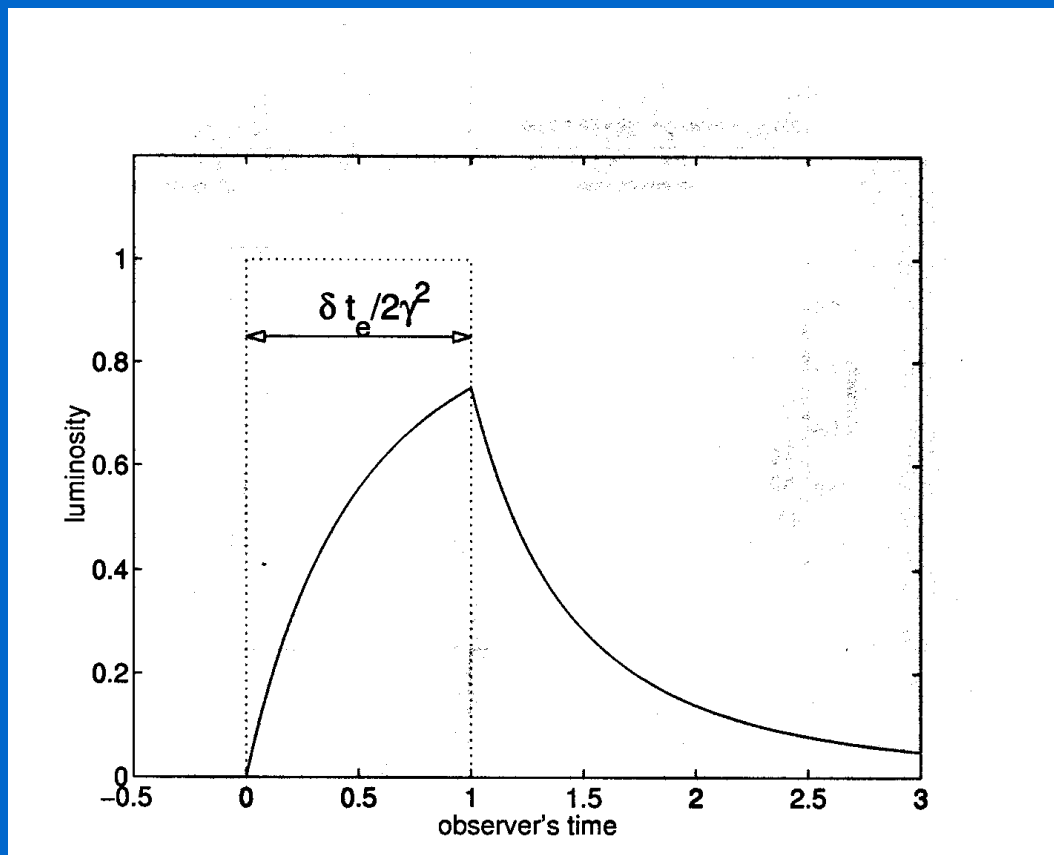


-
-
-

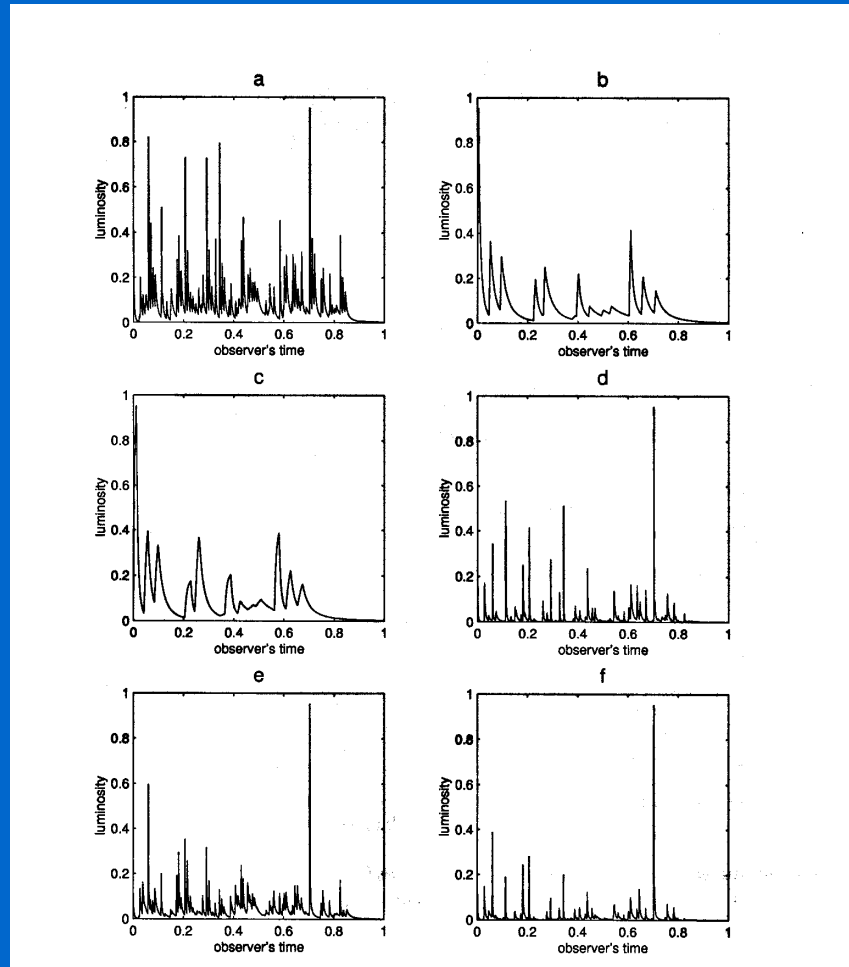
Το μοντέλο των πολλαπλών κρουστικών κυμάτων



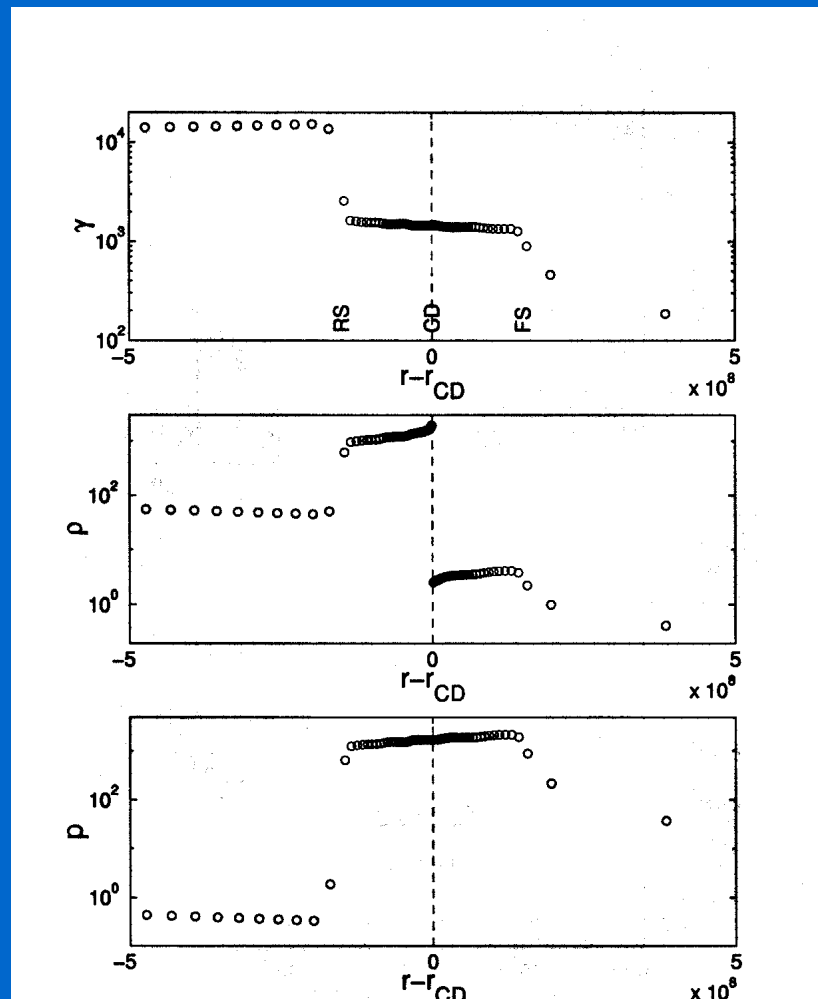
Το μοντέλο των πολλαπλών κρουστικών κυμάτων



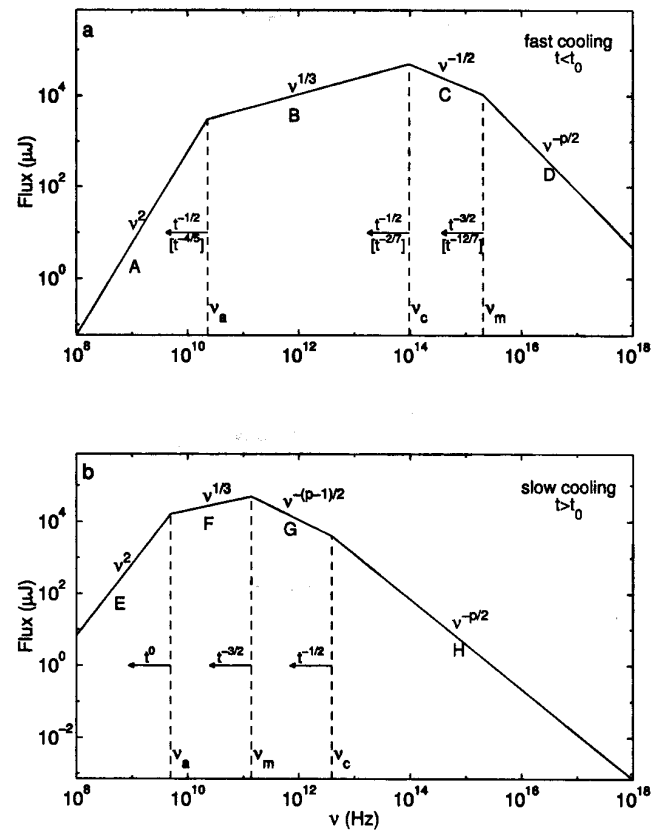
Το μοντέλο των πολλαπλών κρουστικών κυμάτων



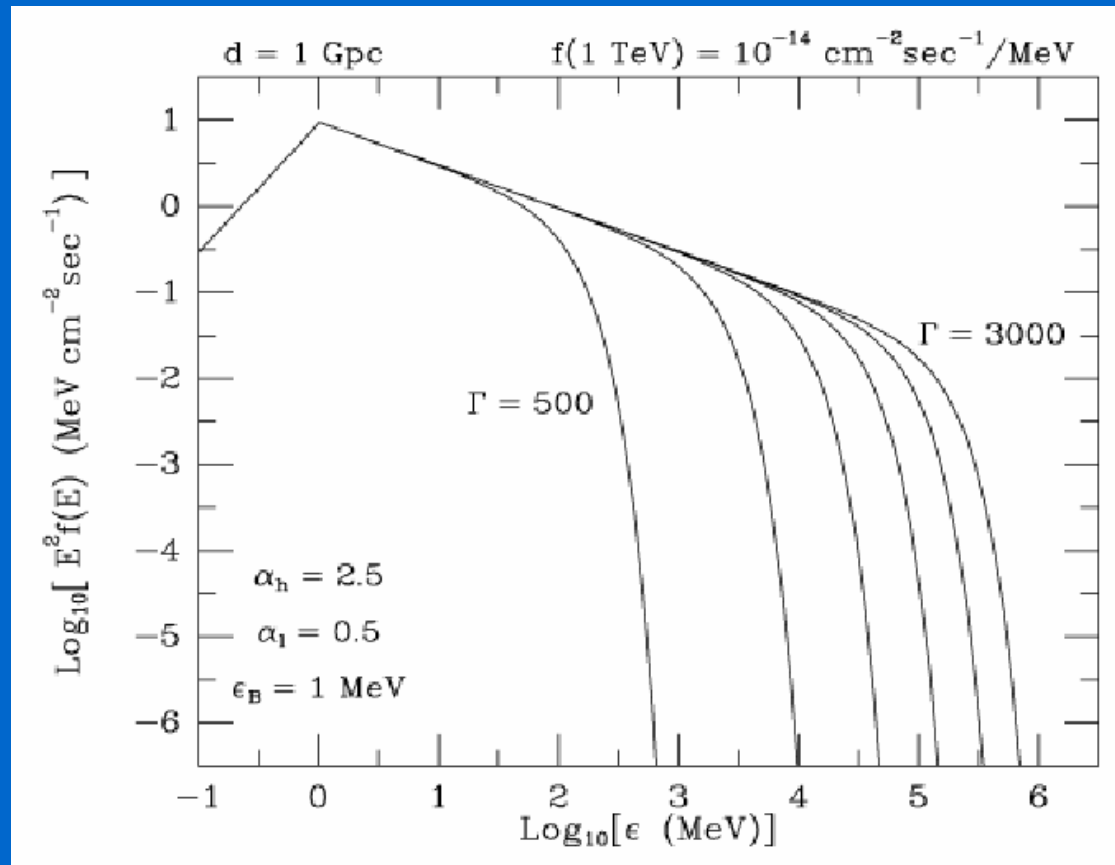
Μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε «θερμική»



Ακτινοβολία σύγχροτρον



Φάσμα από τα ηλεκτρόνια που επιταχύνονται στο κρουστικό κύμα



Ανακεφαλαίωση της πιθανής ερμηνείας

- Η ενέργεια που εκπέμπεται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα είναι ασύλληπτα μεγάλη
- Οι πηγές βρίσκονται σε απόσταση μέχρι και 12- 13 δισεκατομμύρια έτη φωτός μακριά, δηλαδή κοντά στην μεγάλη έκρηξη. Τι σημαίνει αυτό για τα μοντέλα δημιουργίας του σύμπαντος;
- Πιθανές πηγές-Το κρουστικό κύμα που δημιουργήθηκε μετά από τη σύγκρουση δύο αστέρων νετρονίων ή η δημιουργία μιας μελανής οπής από την κατάρρευση ενός αστέρα μεγάλης μάζας.

Ανακεφαλαίωση της πιθανής ερμηνείας

- Ανεξάρτητα από την πηγή που προκαλεί την απελευθέρωση της ενέργειας, η μελέτη της σχετικιστικής ροής και η δημιουργία μιας συστοιχίας κρουστικών κυμάτων που θα μετατρέψουν την κινητική ενέργεια σε ακτινοβολία σύγχροτρον αποτελεί τη κύρια θεωρητική προσπάθεια σήμερα

•
•
•

Ποια είναι η σχέση των GW με τις αναλαμπές ακτίνων γ?

- Τα πιθανά μοντέλα παραγωγής της σχετικιστικής ροής είναι κα μοντέλα βαρυτικών κυμάτων
- Ποια είναι η σχέση τους?

Βιβλιογραφία

- *Gamma Ray Bursts and the fireball model*, T. Piran, 2003, see astro-Ph data base
- *Gamma Ray Bursts-a puzzle been resolved*, T. Piran, Physics Reports, 529, 2000
- *Theories of Gamma Ray Bursts*, P. Meszaros, 2002, astro-ph/0111170
- *Gamma ray Bursts afterglow*, van Paradijs, et al., Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 2000.