

Άσκηση στην Αστρονομία ακτίνων Χ:
Εύρεση μαγνητικού πεδίου αστέρα νετρονίων σε
Υπερφωτεινό (Ultraluminous) X-ray Pulsar

Δ. Χατζηδημητρίου, Γ. Βασιλόπουλος

Στόχος της άσκησης

- Ο στόχος της άσκησης είναι να γνωρίσουμε σύγχρονες τεχνικές στην αστρονομία ακτίνων X.
- Θα συζητήσουμε πως λειτουργούν τα τηλεσκόπια ακτίνων X και θα αναφέρουμε τα κύρια χαρακτηριστικά των ανιχνευτών CCD στις ακτίνες X.
- Θα μάθουμε μερικά από τα βασικά βήματα που απαιτούνται για την ανάλυση αστρονομικών δεδομένων ακτίνων X
- Θα δούμε παραδείγματα δεδομένων ακτίνων X που έχουν παρθεί με σύγχρονα τηλεσκόπια και θα μάθουμε πως μπορούμε να φτιάξουμε μια χρονοσειρά από μία μεταβλητή πηγή ακτίνων X και να την ερμηνεύσουμε.
- Συγκεκριμένα θα ασχοληθούμε με την μεταβλητή περίοδο ενός υπέρλαμπρου (superluminous) pulsar στον γαλαξία NGC300.
- Για τη θεωρία των pulsar θα μιλήσουμε αναλυτικά στο μάθημα της φυσικής των αστέρων.

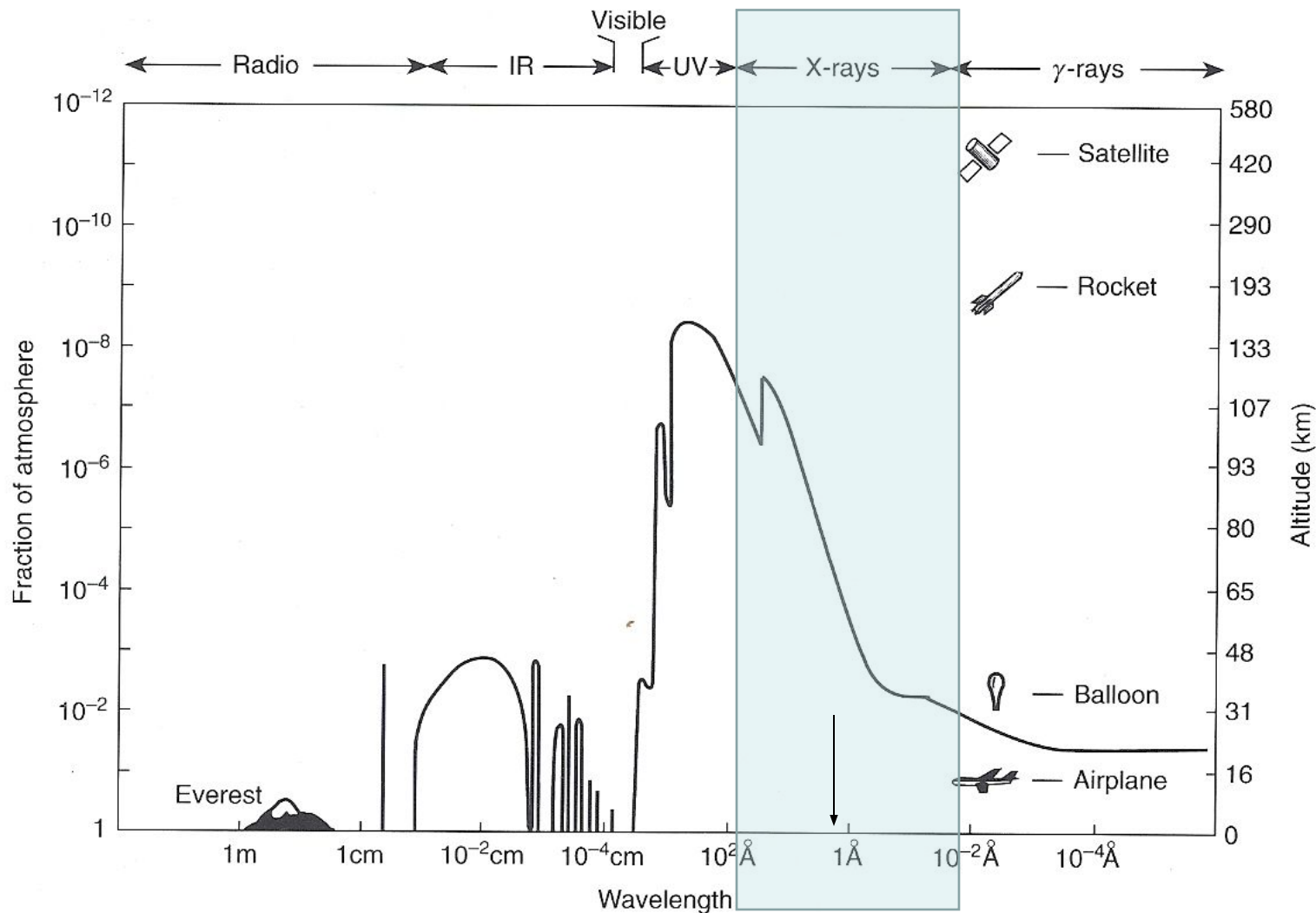
Αστρονομία ακτίνων X

- Φωτόνια με ενέργειες:
 - ο $>$ φωτοηλεκτρικό όριο, λόγω παρεμβαλλόμενου H ($\sim 2\text{keV}$)
 - ο $<$ μερικές 100'ες keV

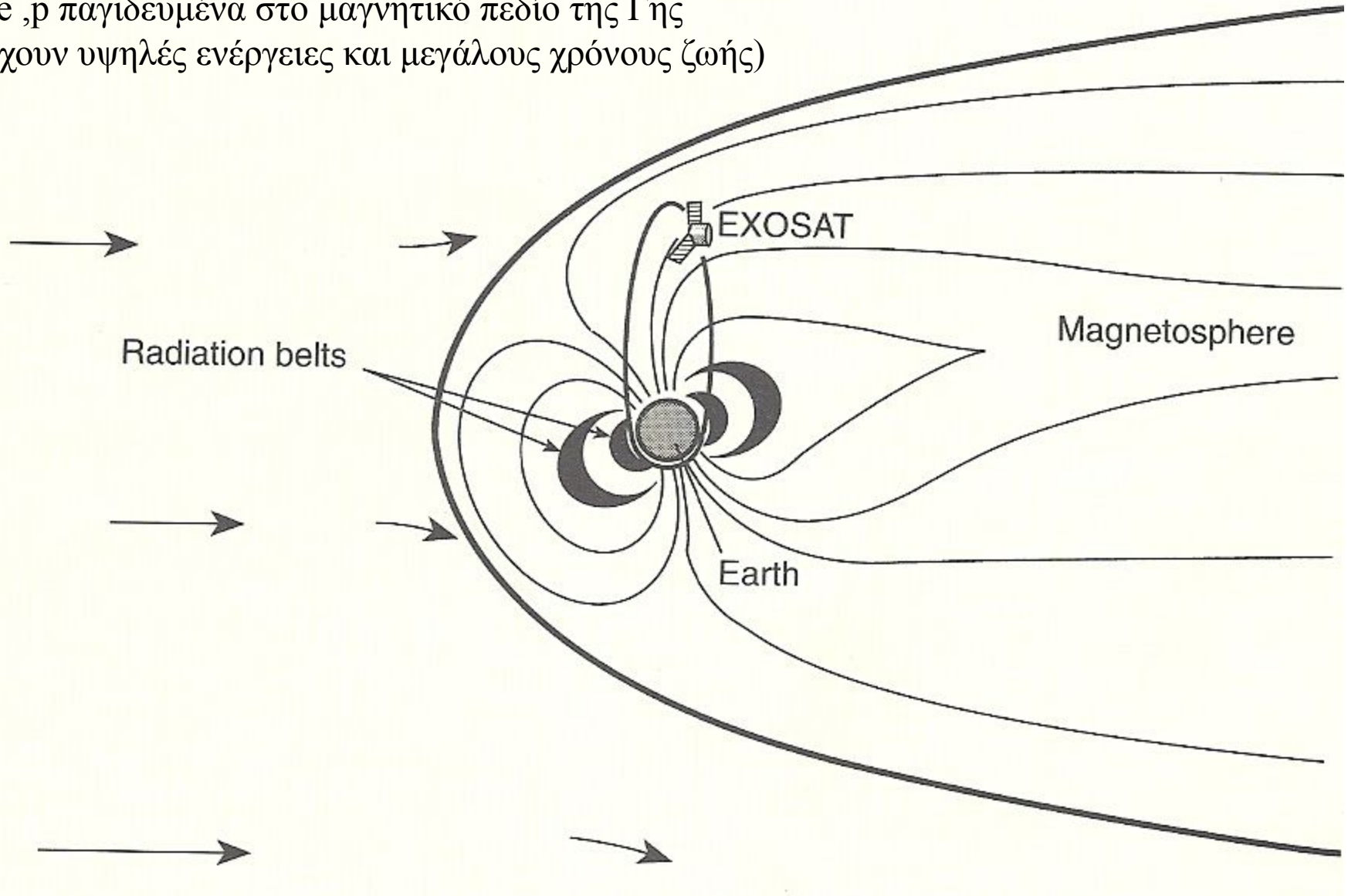
- Επειδή τα φωτόνια ακτίνων X παράγονται σε πολύ θερμές και βίαιες διαδικασίες, οι περισσότερες πηγές είναι μεταβλητές:
 - Χρειάζεται παρακολούθηση (monitoring) των πηγών
 - Υπάρχουν λίγες «σταθερές» πηγές για βαθμονόμηση (standards)

Παρατήρηση ακτίνων X

Το ύψος πάνω από το επίπεδο της θάλασσας όπου μπορεί να φτάσει ακτινοβολία διαφορετικών μηκών κύματος



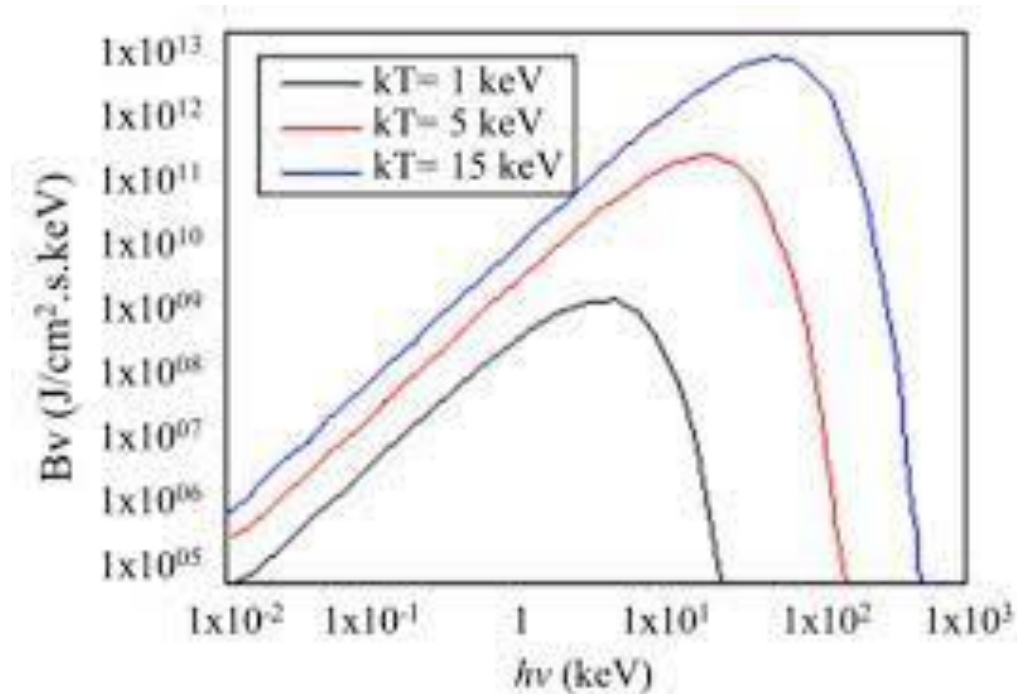
Μακριά από τους πόλους
Μακριά από τις ζώνες ακτινοβολίας Allen
(e ,p παγιδευμένα στο μαγνητικό πεδίο της Γης
έχουν υψηλές ενέργειες και μεγάλους χρόνους ζωής)



Φυσικές Διαδικασίες παραγωγής ακτίνων Χ

- Ακτινοβολία μελανού σώματος
- Bremsstrahlung
- Inverse Compton scattering
- Synchrotron radiation
- Metallic line emission

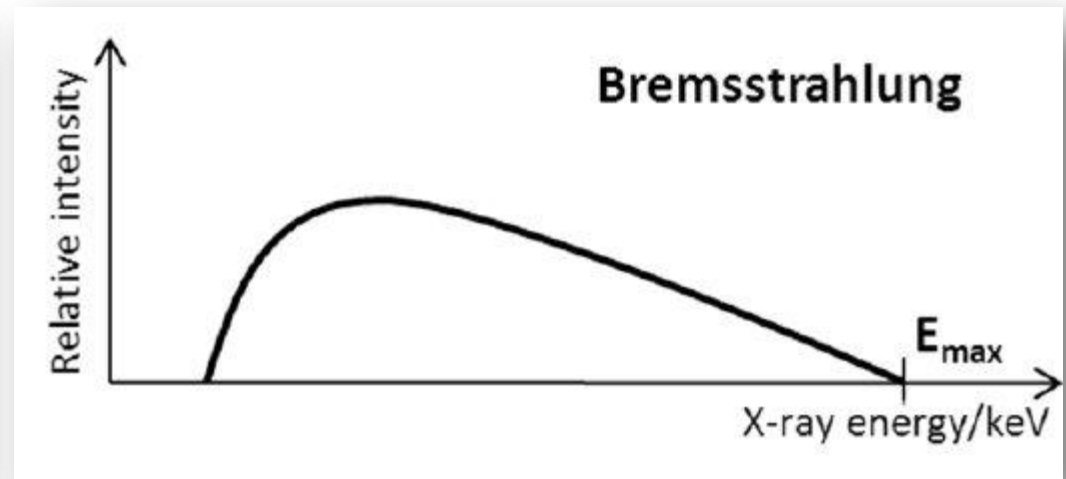
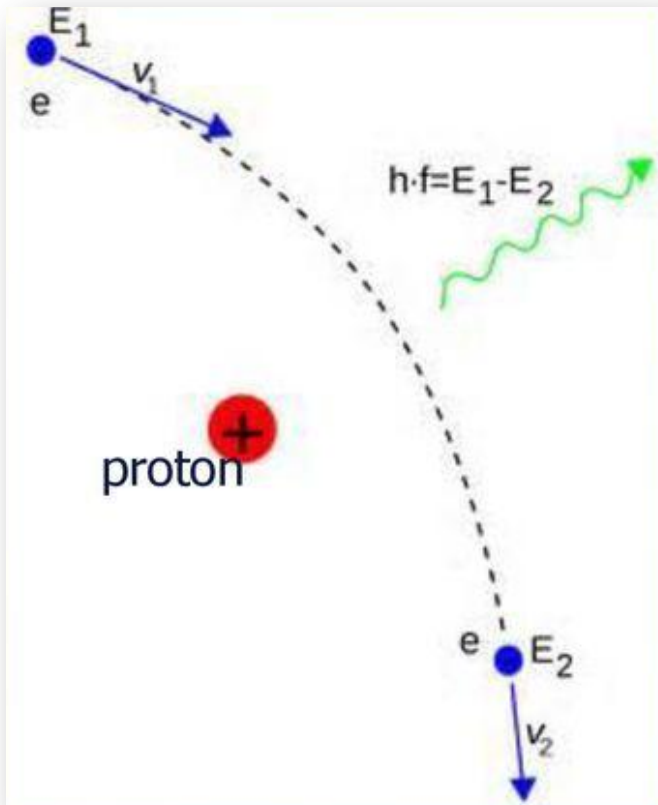
Ακτινοβολία μέλανος σώματος



Ακτινοβολία από οπτικά πυκνό αέριο σε θερμοκρασία μερικών εκατομμυρίων Kelvin.

Π.χ. Δίσκοι προσάυξησης γύρω από μαύρες τρύπες μπορεί να είναι αρκετά θερμοί και πυκνοί ώστε να εκπέμπουν στις ακτίνες X (soft X rays)

Ακτινοβολία πέδησης -bremsstrahlung

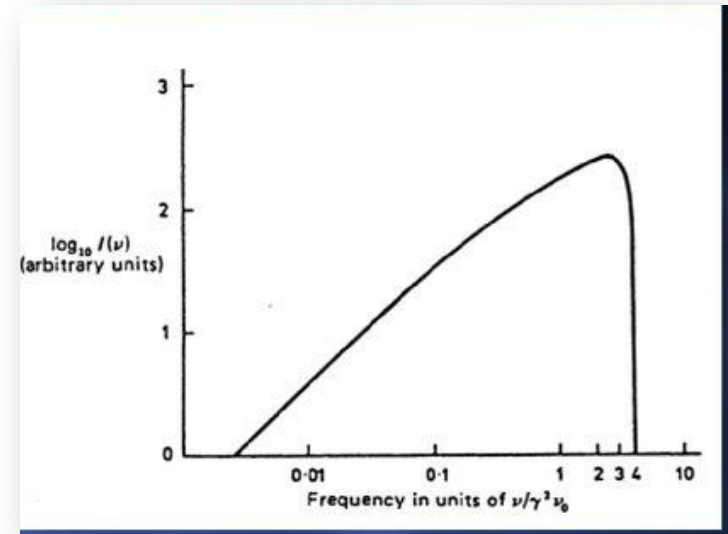
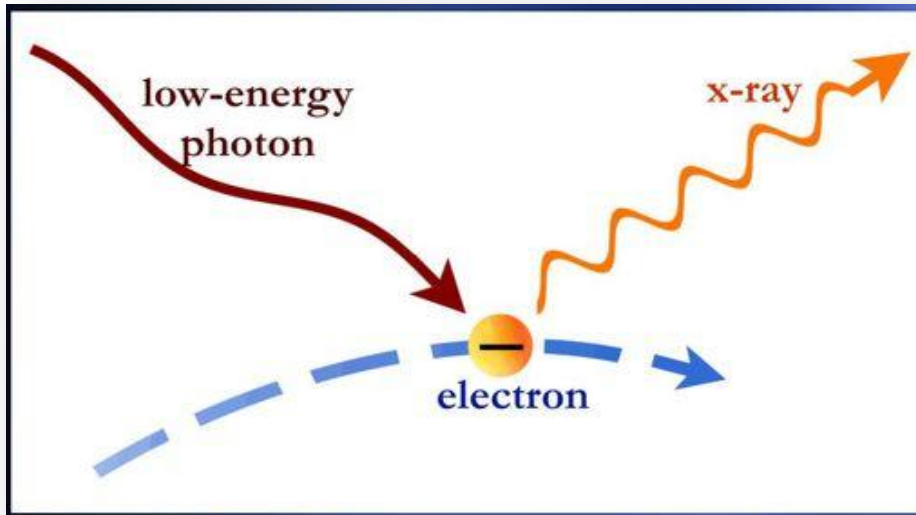


Οπτικά αραιό αέριο σε θερμοκρασία αρκετά υψηλή ώστε να είναι σχεδόν **πλήρως ιονισμένο**.

Τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται στο πεδίο των πυρήνων και **εκπέμπουν ακτινοβολία πέδησης**.

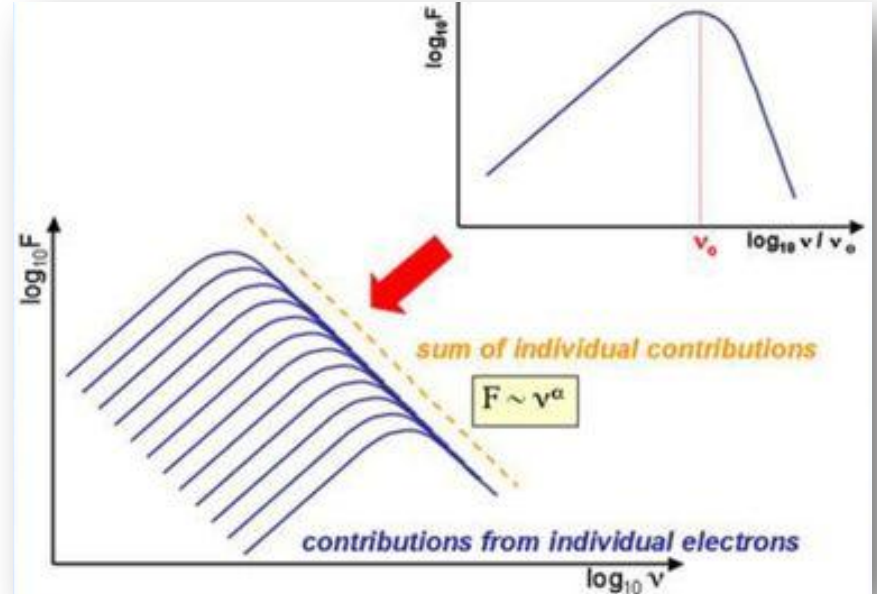
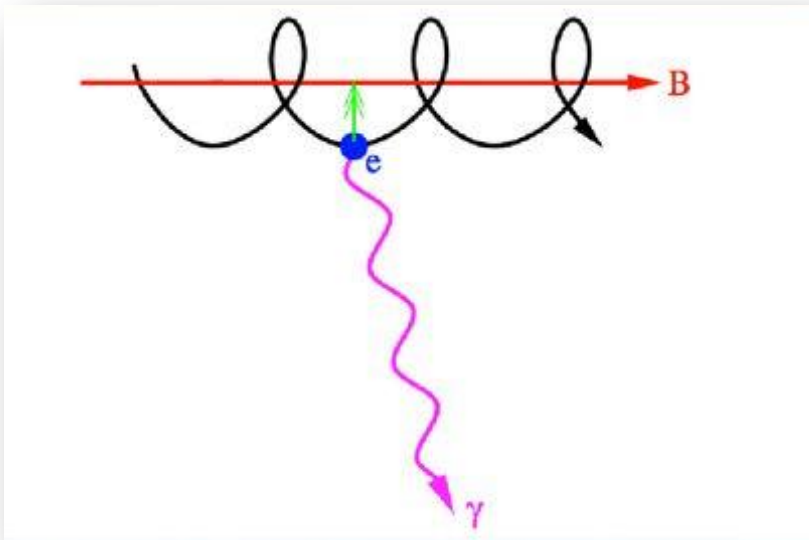
Η ακτινοβολούμενη ενέργεια είναι ανάλογη του $T^{1/2} n_e n_i$, όπου n_e η αριθμητική πυκνότητα των ηλεκτρονίων και n_i των ιόντων

Αντίστροφο φαινόμενο Compton-Inverse Compton scattering



Σκέδαση φωτονίων χαμηλής ενέργειας από ηλεκτρόνια υψηλών ενεργειών □ αύξηση της ενέργειας των φωτονίων
Π.χ. οπτικά ή υπεριώδη φωτόνια από το δίσκο προσαύξησης μπορούν να σκεδαστούν από ενεργά e στη κορώνα του AGN αυξάνοντας την ενέργεια τους αρκετά ώστε να φτάσουν στη περιοχή ακτίνων X.

Ακτινοβολία συγχρότρου



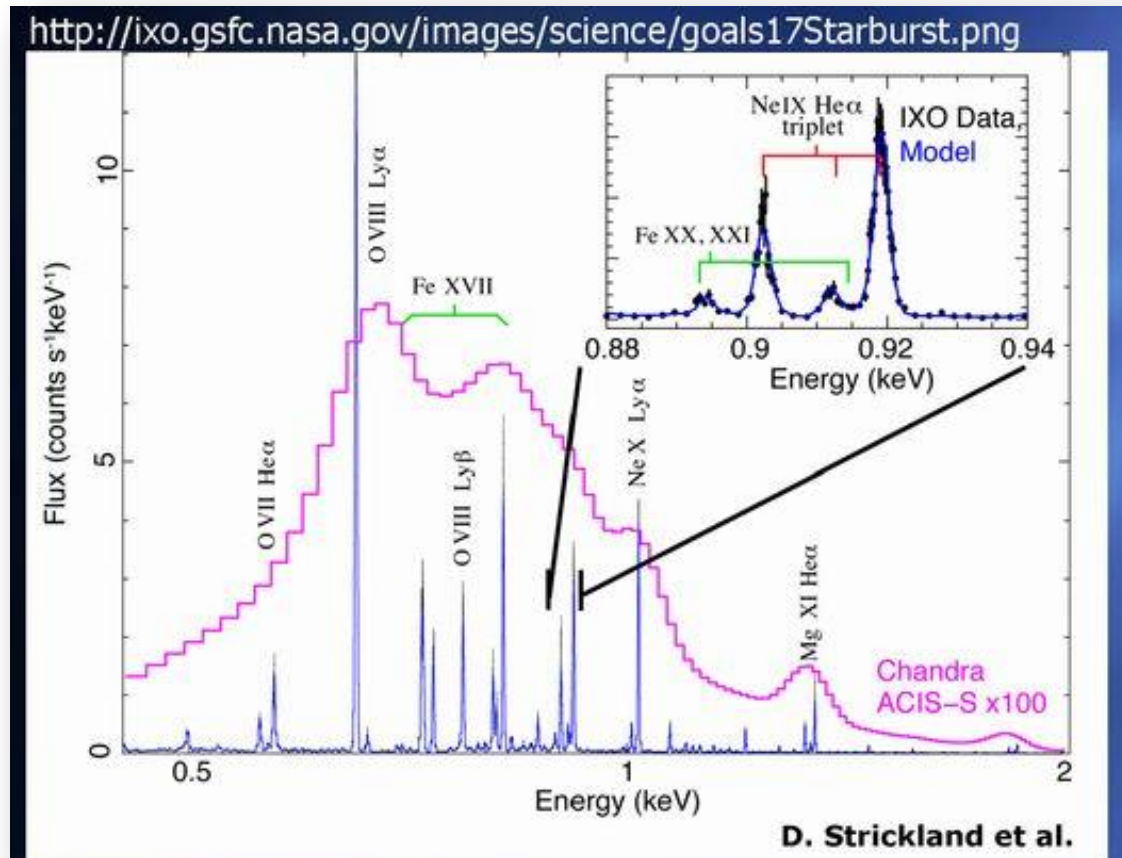
Μη θερμική ακτινοβολία που προκύπτει από τη σπειροειδή κίνηση φορτισμένων σχετικιστικών ηλεκτρονίων γύρω από τις γραμμές μαγνητικού πεδίου. Η ενέργεια εξαρτάται από τη ταχύτητα του ηλεκτρονίου τη στιγμή της εκπομπής.

Το φάσμα προκύπτει από το άθροισμα των φασμάτων όλων των μεμονωμένων ηλεκτρονίων.

Γραμμική εκπομπή- μεταλλικές γραμμές

Ηλεκτρονικές
μεταβάσεις για
εσωτερικά ηλεκτρόνια
μεταλλικών ιόντων

Π.χ. FeXVII, Ni, OVII,
Mg XI, Ne X κλπ

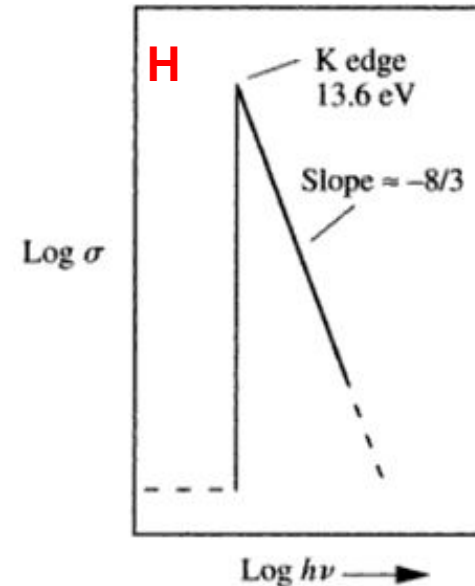


Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο – απορρόφηση ακτίνων X

- Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι ένας βασικός τρόπος απορρόφησης φωτονίων στον Γαλαξία.
- Φωτόνια με ενέργειες μεταξύ περίπου 13.6 eV και 2keV δεν μπορούν να διασχίσουν αποστάσεις συγκρίσιμες με την ακτίνα του γαλαξιακού δίσκου μέσα στη μεσοαστρική ύλη
- Το πιο άφθονο στοιχείο στη μεσοαστρική ύλη, το υδρογόνο, μπορεί να ιονιστεί από φωτόνια με ενέργειες μεγαλύτερες από 13.6eV.
- Η ενεργός διατομή φωτοηλεκτρικής απορρόφησης από άτομο H φαίνεται στο διπλανό σχήμα. (K-edge □ K στιβάδα)

$$\sigma \propto \nu^{-8/3}$$

- Βαρύτερα στοιχεία εμφανίζουν και άλλες ακμές που αντιστοιχούν στις στιβάδες L, M, κλπ.

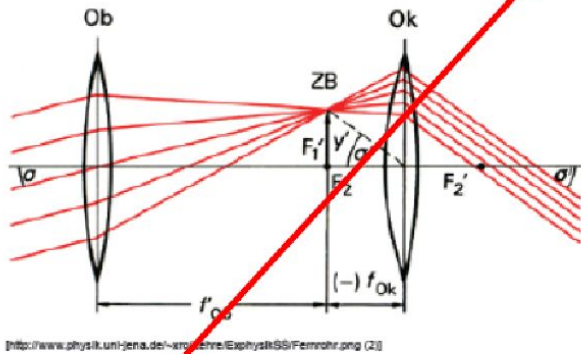


Διαγράμματα από Astronomy Methods:
A Physical Approach to Astronomical
Observations, Hale Bradt

Όργανα παρατήρησης στην αστρονομία ακτίνων X

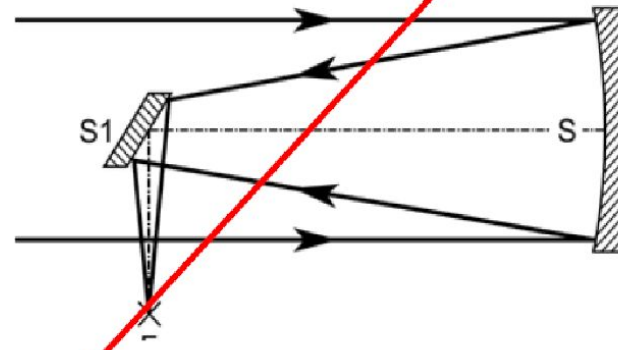
- Εστίαση στις ακτίνες X ???
- Τηλεσκόπιο τύπου Wolter
- CCD κάμερες στις ακτίνες X

Οπτικός φακός



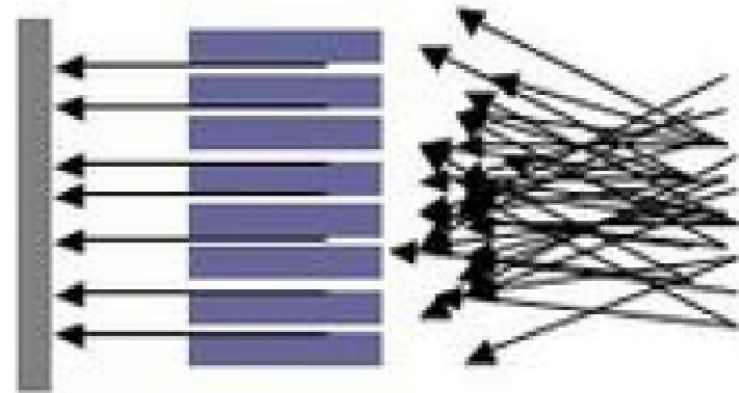
Δεν υπάρχει υλικό που να έχει δείκτη διάθλασης σημαντικά διαφορετικό από το 1 στις ακτίνες X

Παραβολικό κάτοπτρο

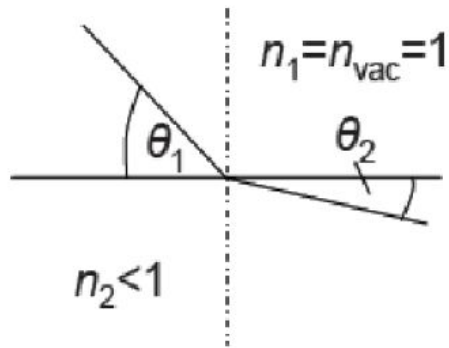
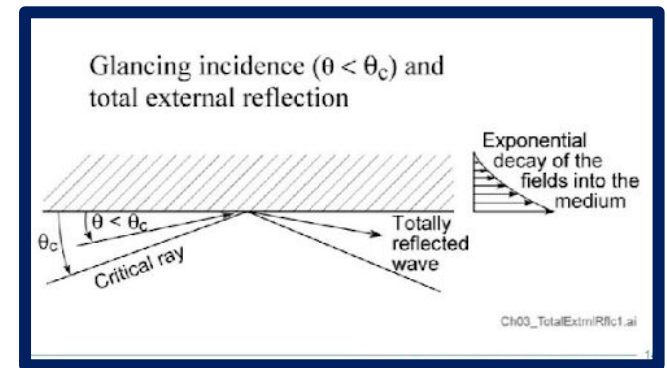


Οι (σχεδόν κάθετα) προσπίπτουσες ακτίνες X απορροφώνται ή διαπερνούν το υλικό, δεν ανακλώνται

Μπορούμε να «φιλτράρουμε» τις ακτίνες X και όχι να εστιάσουμε με την συνήθη έννοια της οπτικής



Ολική ανάκλαση για πολύ μεγάλη γωνία πρόσπτωσης, δηλ. σχεδόν παρ/λα προς την επιφάνεια (grazing incidence)



Νόμος του Snell

$$\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \xrightarrow{\theta_2=0} \cos \theta_c = n_2$$

Ολική ανάκλαση $\theta < \theta_c$

Για ακτίνες X ο δείκτης διάθλασης μπορεί να γραφεί σαν μιγαδικός αριθμός

$$n = 1 - \delta + i\beta$$

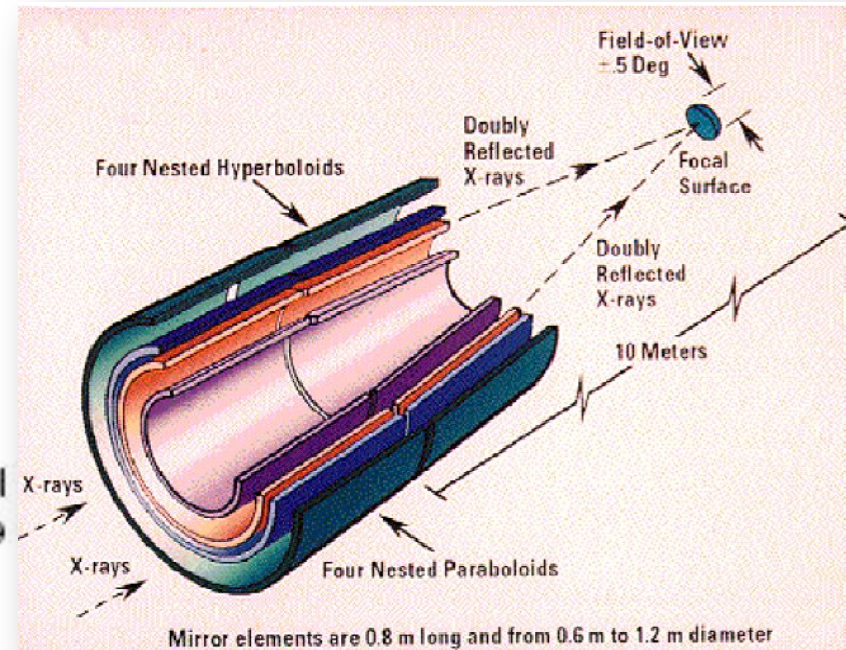
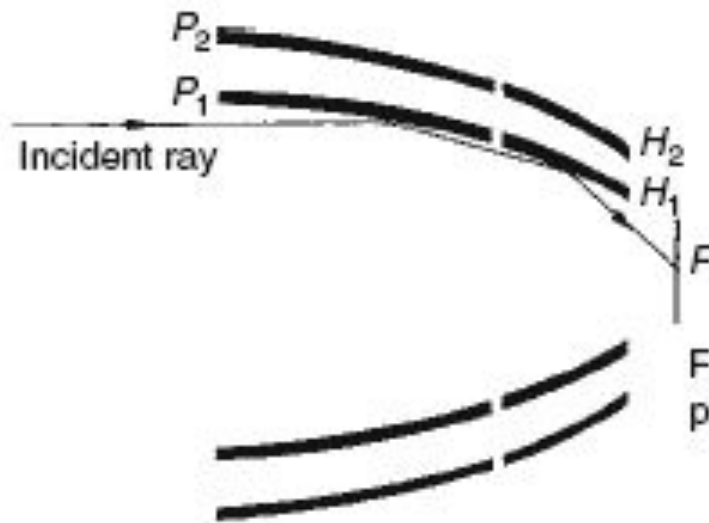
δ : Περιγράφει την «συνιστώσα» της διασποράς κατά την αλληλεπίδραση ύλης – ακτινοβολίας

β : Περιγράφει την «συνιστώσα» της απορρόφησης κατά την αλληλεπίδραση ύλης – ακτινοβολίας

$$\cos \theta_c = 1 - \delta \Rightarrow 1 - \frac{\theta_c^2}{2} + \dots = 1 - \delta \Rightarrow \delta \sim \frac{\theta_c^2}{2} \Rightarrow \theta_c \sim \sqrt{2\delta}$$

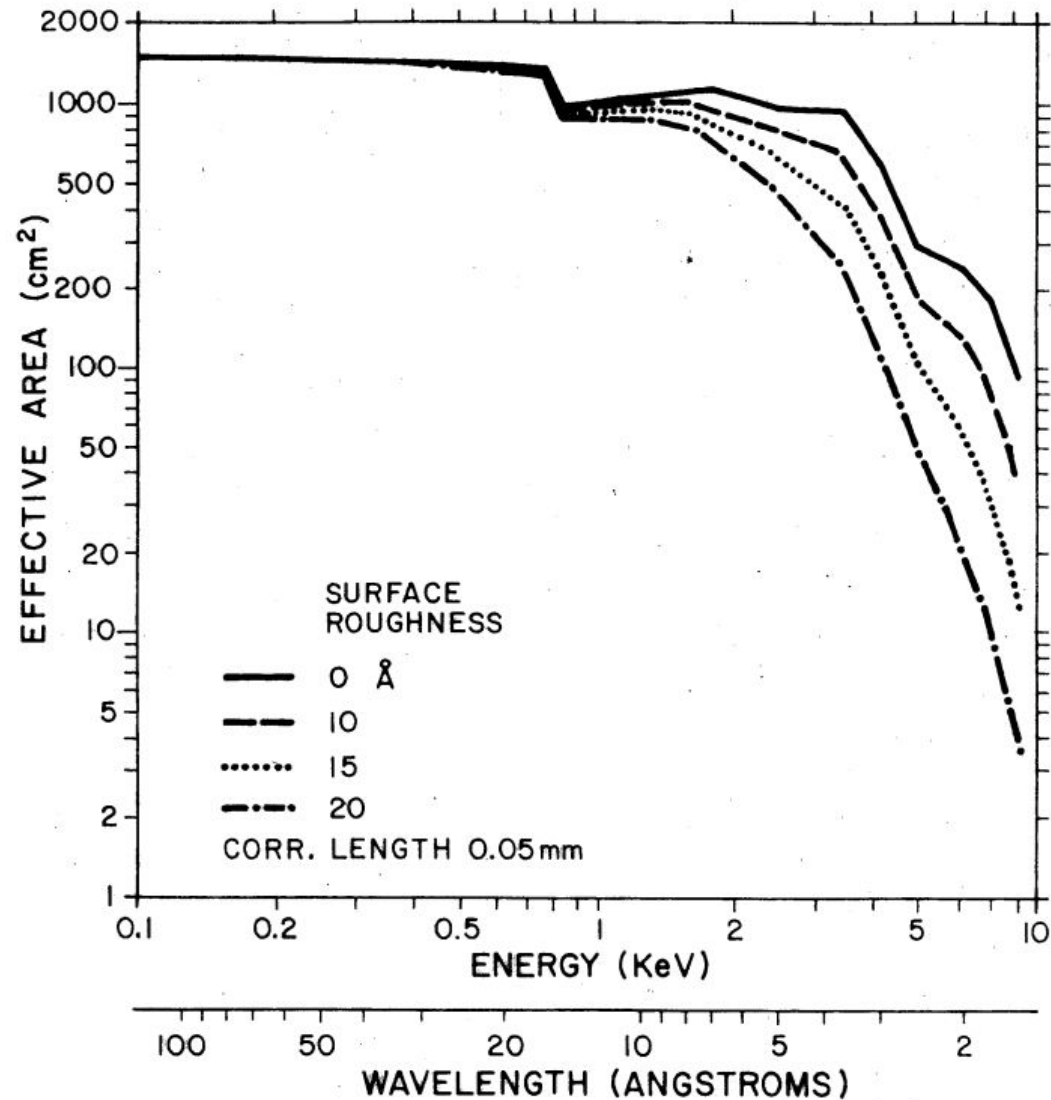
$$\theta_c \propto \lambda \sqrt{Z}$$

Τηλεσκόπιο ακτίνων X τύπου Wolter

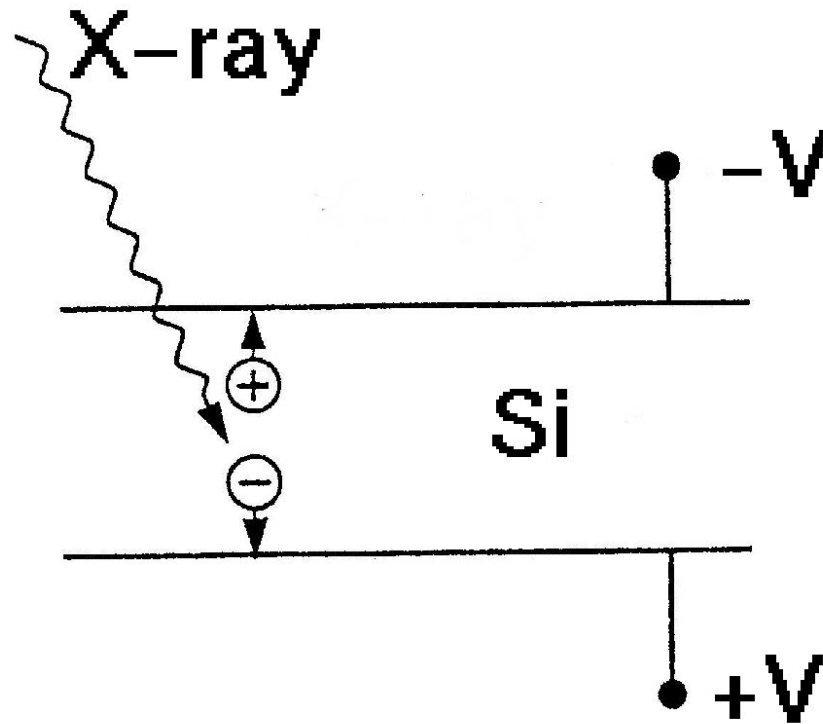


- Καθώς οι μεταλλικές επιφάνειες απορροφούν τις ακτίνες X σε όλες τις γωνίες πρόσπτωσης εκτός από τις πολύ μεγάλες, το τηλεσκόπιο Wolter χρησιμοποιεί «grazing incidence».
- Για να αυξηθεί η ενεργός συλλεκτική επιφάνεια του τηλεσκοπίου τοποθετούνται πολλά κάτοπτρα σε μορφή «κρεμμυδιού» (nested).

Σημαντική παράμετρος: λείανση της επιφάνειας: όσο μικρότερο το μήκος κύματος τόσο ακριβέστερη πρέπει να είναι η λείανση, για να μην έχουμε σημαντικές απώλειες

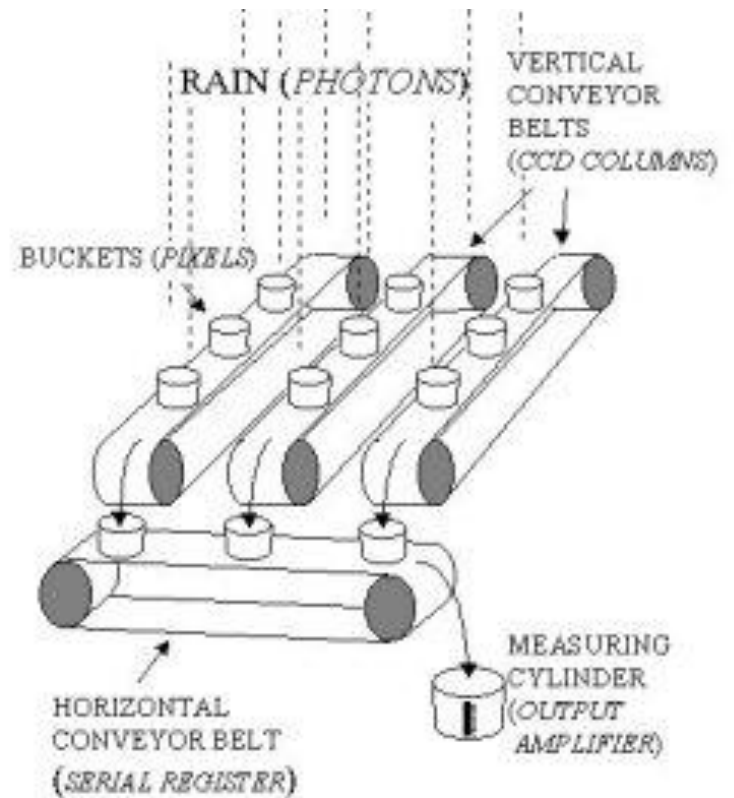
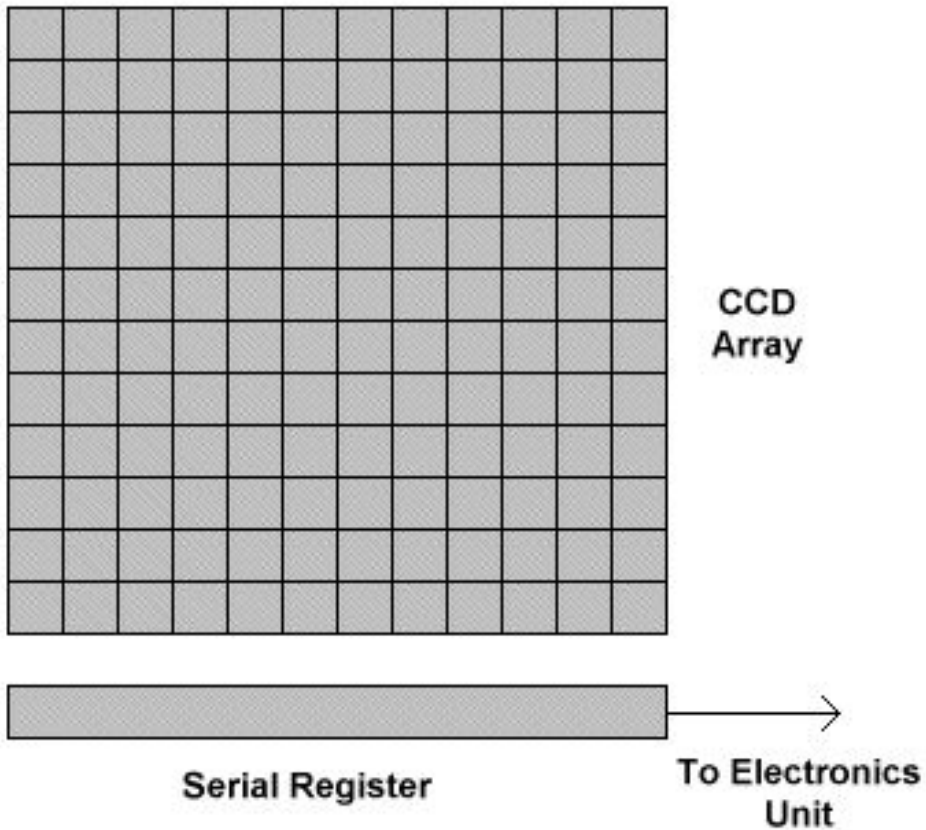
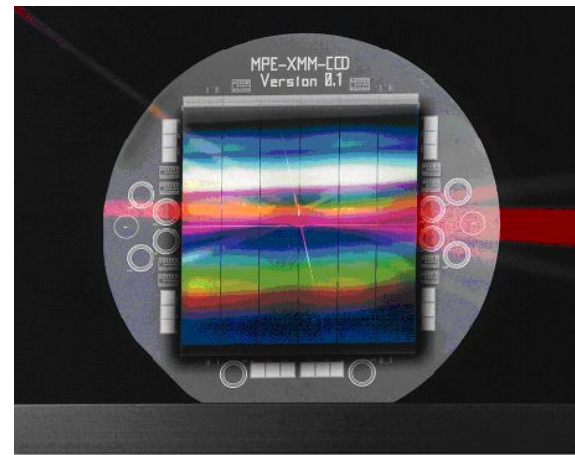


Ανιχνευτές στερεάς κατάστασης (Solid State X-ray Detectors)



X-ray interacts in material to produce photoelectrons which are collected by applying a drift field

CCD: Charge Coupled Devices



Σύγκριση της χρήσης των CCD στο ορατό και στις ακτίνες X

- Ένα φωτόνιο στο **ορατό** απελευθερώνει ένα μόνο ζεύγος e-οπής στον ημιαγωγό. Οπότε στο ορατό οι CCD λειτουργούν σαν **“integrating detectors”**
- **Στις ακτίνες X** ένα και μόνο φωτόνιο έχει **αρκετή ενέργεια** για να δημιουργήσει **πολλά ζεύγη e-p** (λόγω δευτερεύοντος ιονισμού από το πρωτεύον φωτοηλεκτρόνιο) (π.χ. στο Si κατά μέσο όρο ένα ζεύγος e-p απελευθερώνεται όταν απορροφηθεί ενέργεια 3.68 eV . Οπότε από ένα φωτόνιο απελευθερώνονται ~100-1000 e.
- **Οπότε στις ακτίνες X οι CCD λειτουργούν σαν αναλογικοί απαριθμητές (το σήμα είναι ανάλογο της ενέργειας του προσπίπτοντος φωτονίου) .**
- **Όμως: πρέπει μόνο ένα φωτόνιο να έχει συμμετάσχει στη δημιουργία του σήματος , άρα πολύ μικρές εκθέσεις (secs)**

Ιδιαιτερότητα των Δεδομένων στις ακτίνες X

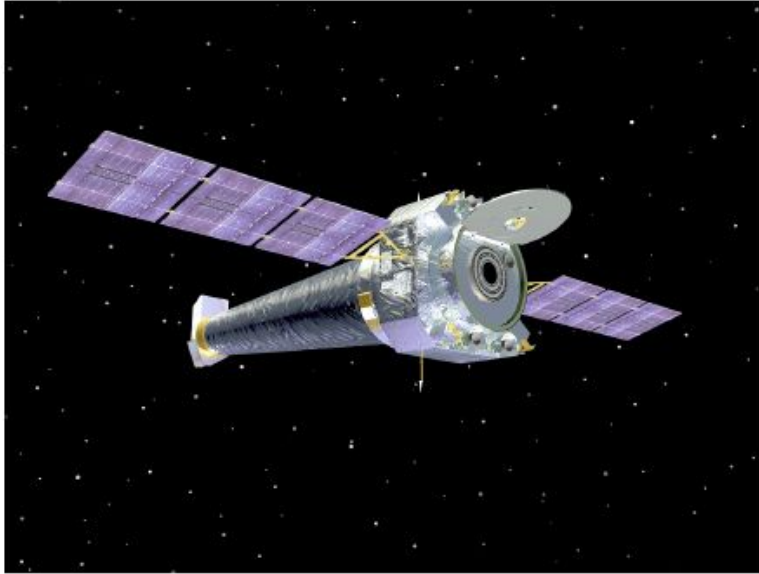
- Για κάθε φωτόνιο καταγράφονται:
 - Ο χρόνος άφιξης
 - Η θέση (και κατανομή φορτίου)
 - Η ενέργεια
- Άρα με μία παρατήρηση, μπορούμε να κατασκευάσουμε:
 - Εικόνες σε διάφορες περιοχές μηκών κύματος
 - Φάσμα
 - Καμπύλες φωτός (χρονική μεταβλητότητα)



EVENTS

Σύγχρονα τηλεσκόπια ακτίνων Χ

Chandra and XMM Newton



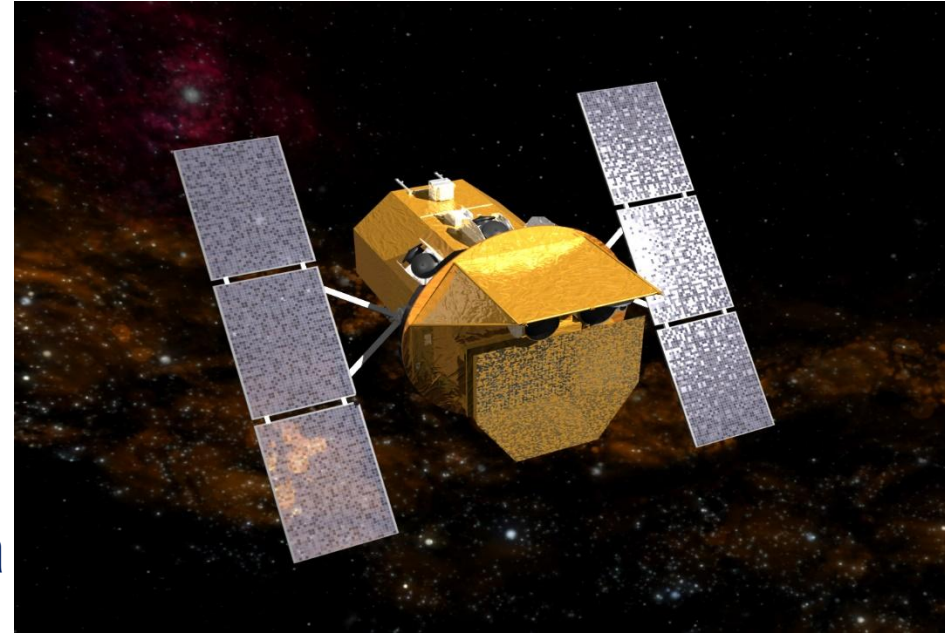
- **Chandra (NASA)**
 - Launch: July 1999
 - Orbit: 64 hours
- Two Transmission Grating Spectrometers
- Angular resolution $\sim 0.5''$



- **XMM-Newton (ESA)**
 - Launch: December 1999
 - Orbit: 48 hours
- Reflection Grating Spectrometer
- angular resolution $\sim 15''$

Άλλα σύγχρονα δορυφορικά τηλεσκόπια στις ακτίνες X: Swift

- Ο βασικός στόχος της αποστολής είναι η μελέτη/εντοπισμός των εκλάμψεων ακτίνων γ (Gamma-ray bursts)
- Περιλαμβάνει
 - ✓ ανιχνευτή ευρέως πεδίου στις σκληρές ακτίνες X (wide-field hard X-ray detector - BAT) □ επισκόπηση όλου του ουρανού στις σκληρές ακτίνες X ($> 15-150$ keV).
 - ✓ Τηλεσκόπιο ακτίνων X-ray με ανιχνευτή CCD (XRT: $0.3-10$ keV)
 - ✓ Τηλεσκόπιο στο οπτικό και UV (UVOT).



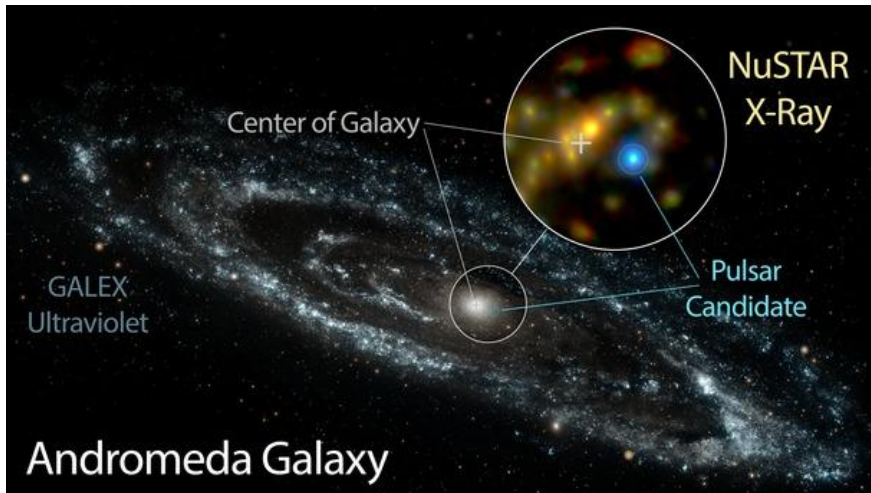
Orbital parameters	
Reference system	Geocentric orbit ^[4]
Regime	Low Earth orbit
Perigee altitude	585 km (364 mi)
Apogee altitude	604 km (375 mi)
Inclination	20.60°
Period	96.60 minutes
Instruments	

NuSTAR

- 2012-...
- **3 to 79 keV**
- 2 ευθυγραμμισμένα κωνικά τηλεσκόπια Wolter
- 133 concentric shells
- multilayered to increase reflectivity
- newly developed detectors that extend sensitivity to higher energies



<http://www.nustar.caltech.edu/>



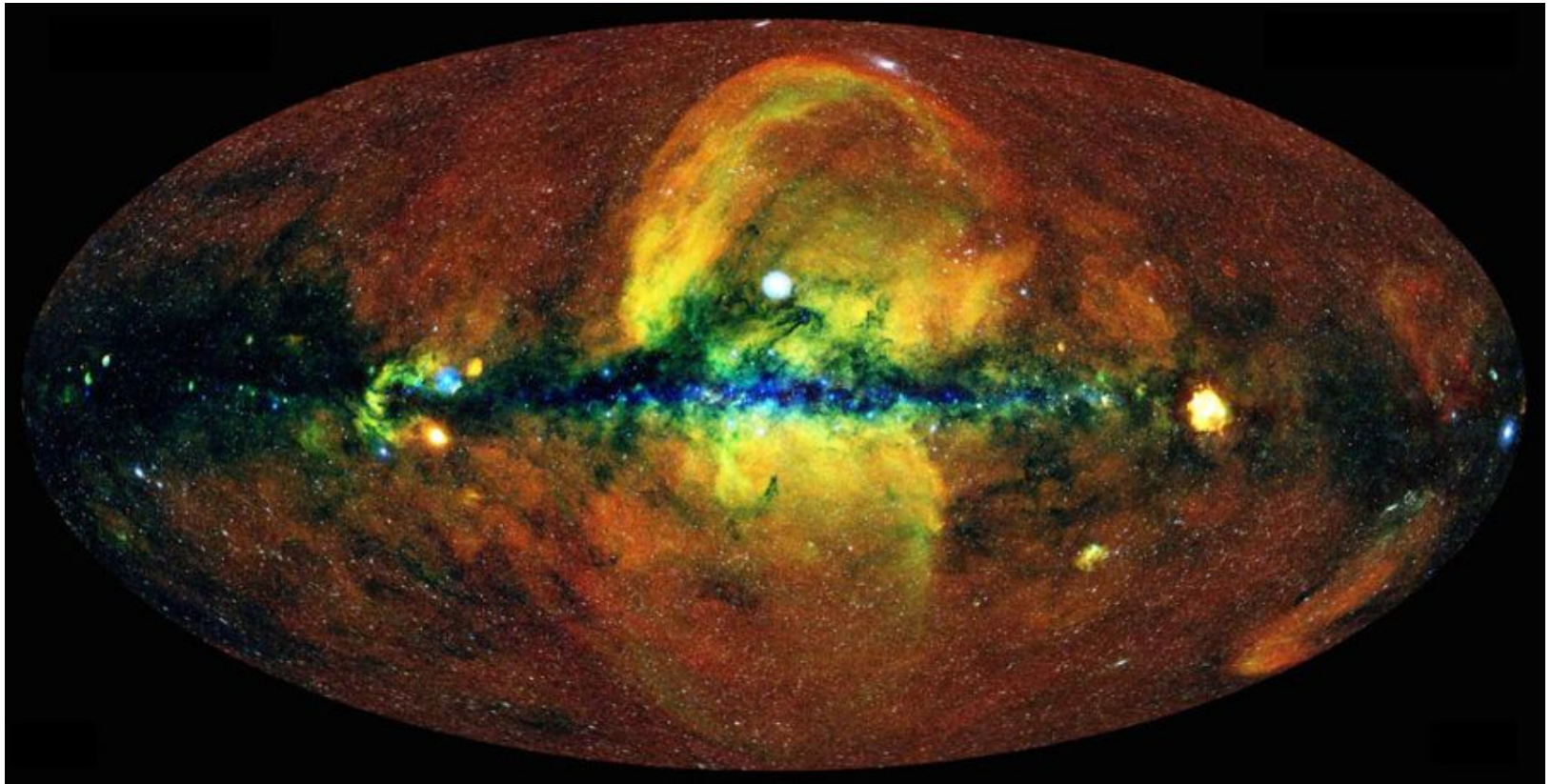
Orbital parameters

Reference system	Geocentric orbit
Regime	Near-equatorial orbit
Perigee altitude	596.6 km (370.7 mi)
Apogee altitude	612.6 km (380.7 mi)
Inclination	6.027°
Period	96.8 minutes

Spectrum-Roentgen-Gamma (SRG) e-Rosita



Constructs a full-sky survey that will be 25 times more sensitive than the ROSAT All-Sky Survey in the 0.2–2.4 keV X-ray band and will provide the **first true** imaging survey of the 2.4–8 keV sky



Παρατηρήσεις αστρονομικών αντικειμένων στις ακτίνες X- Παραδείγματα

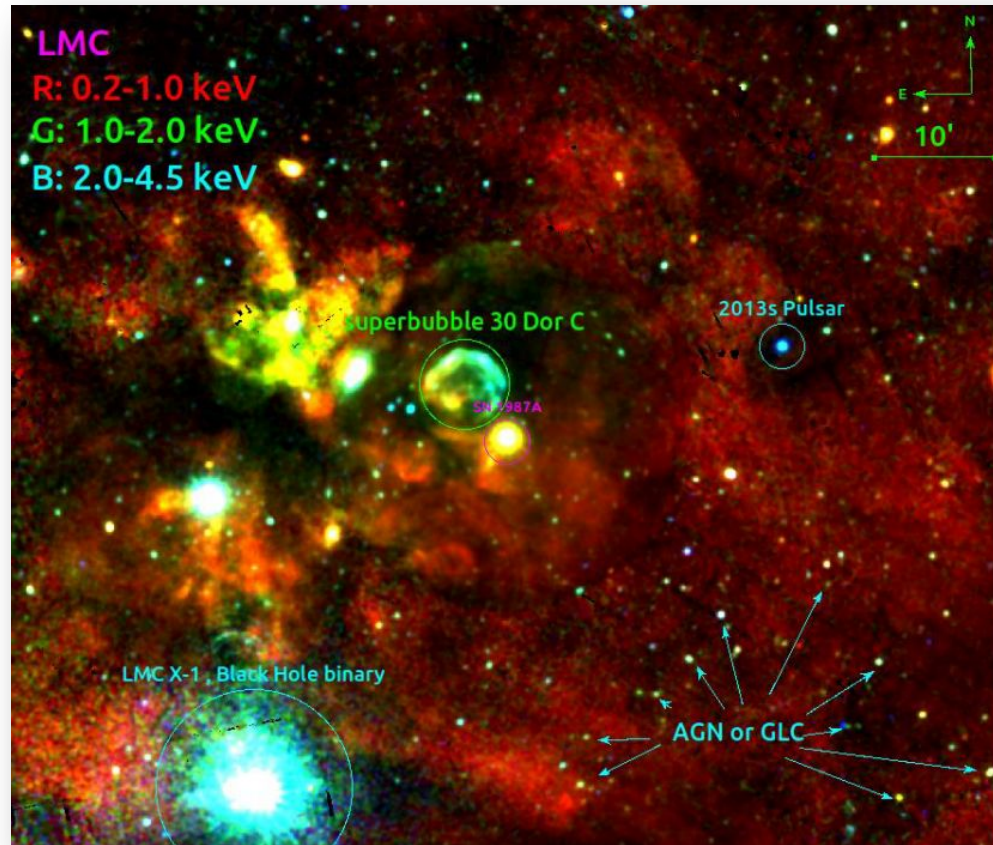
Τυπικές τιμές παραμέτρων στις ακτίνες Χ σε αστρονομικά αντικείμενα

Temperature: hot gas in supernovae remnants or elliptical galaxies – 0.3 – 1 keV
hot gas in groups/clusters of galaxies – 2 – 10 keV
X-ray binary accretion disks – 1 – 2 keV
stellar coronae – 0.1 keV

X-ray Luminosity (typically in 0.1 – 10 keV energy band):
Sun – 10^{27} ergs s^{-1}
Eddington-limited neutron star – 10^{38} ergs s^{-1}
Typical X-ray AGN – 10^{41} ergs s^{-1}
Gas-rich elliptical galaxy – 10^{40-41} ergs s^{-1}
Rich cluster of galaxies – 10^{44-45} ergs s^{-1}
Brightest X-ray quasars – 10^{47} ergs s^{-1}

Εικόνες

Οι εικόνες είναι το πιο εύκολα προσβάσιμο αποτέλεσμα από αποστολές ακτίνων Χ. Το πρωτογενές προϊόν (output) ενός ανιχνευτή ακτίνων Χ είναι το αρχείο "γεγονότων", το οποίο δείχνει πόσα φωτόνια έχουν "χτυπήσει" κάθε pixel του ανιχνευτή.

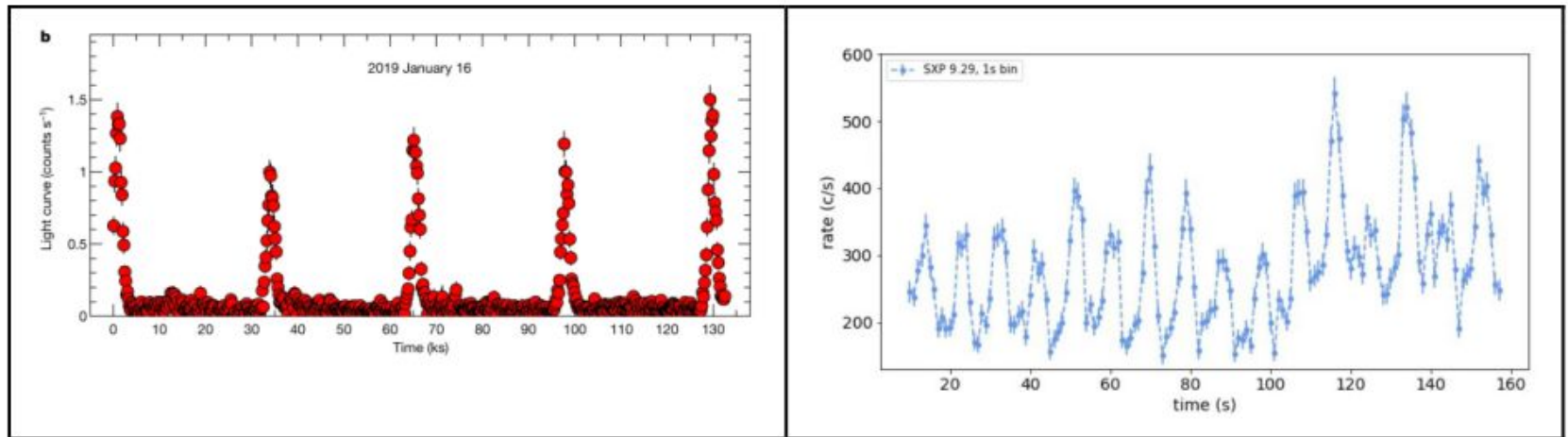


Εδώ, διαφορετικές ενεργειακές μπάντες αποτυπώνονται με διαφορετικά χρώματα.

Χρονοσειρές

Καθώς οι ανιχνευτές μπορούν να καταγράψουν τη χρονική στιγμή που ανιχνεύεται το κάθε φωτόνιο, είναι δυνατό να εξετάσουμε αν η εκπομπή μιας πηγής μεταβάλλεται με το χρόνο.

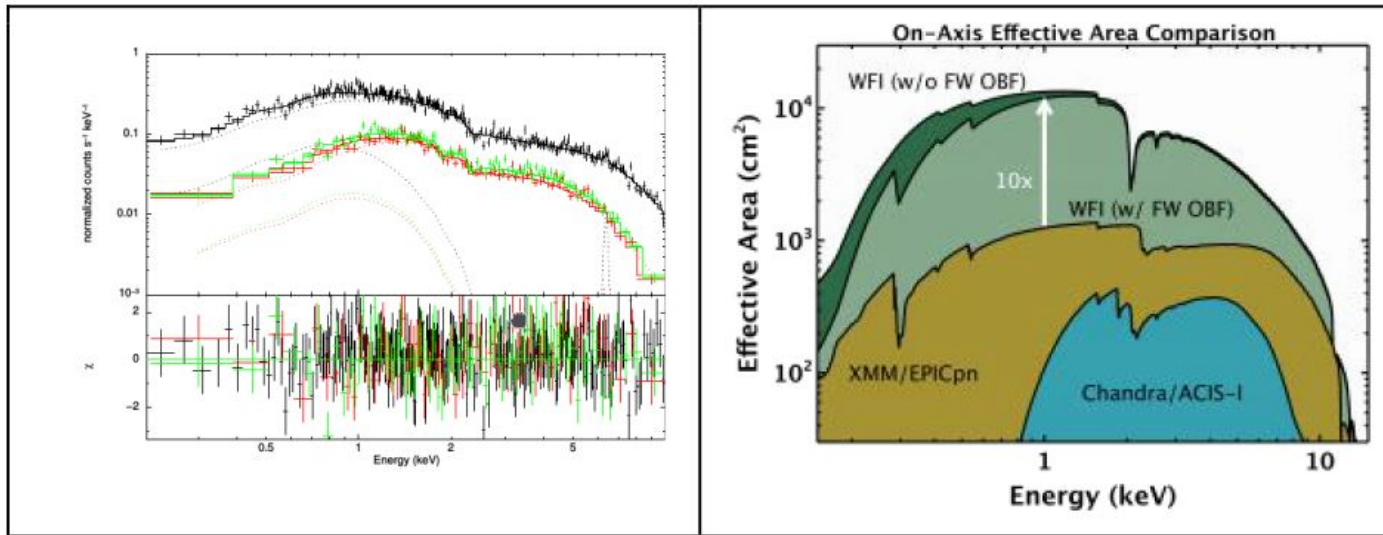
Για να το κάνουμε αυτό, κατασκευάζουμε μία χρονοσειρά, που είναι στην ουσία ένα ιστόγραμμα των φωτονίων που ανιχνεύονται συναρτήσει του χρόνου.



Σχήμα 6: Αριστερά βλέπουμε μια χρονοσειρά από ένα Ενεργό Γαλαξιακό Πυρήνα που εμφανίζει quasi-periodic εκλάμψεις (δεν ξέρουμε γιατί!). Δεξιά βλέπουμε ένα περιοδικό σήμα από έναν αστέρα νετρονίων σε διπλό σύστημα. Η περίοδος των παλμών είναι η περίοδος περιστροφής του αστέρα.

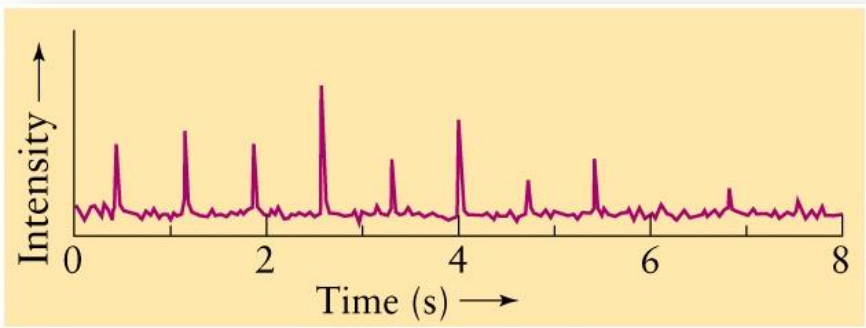
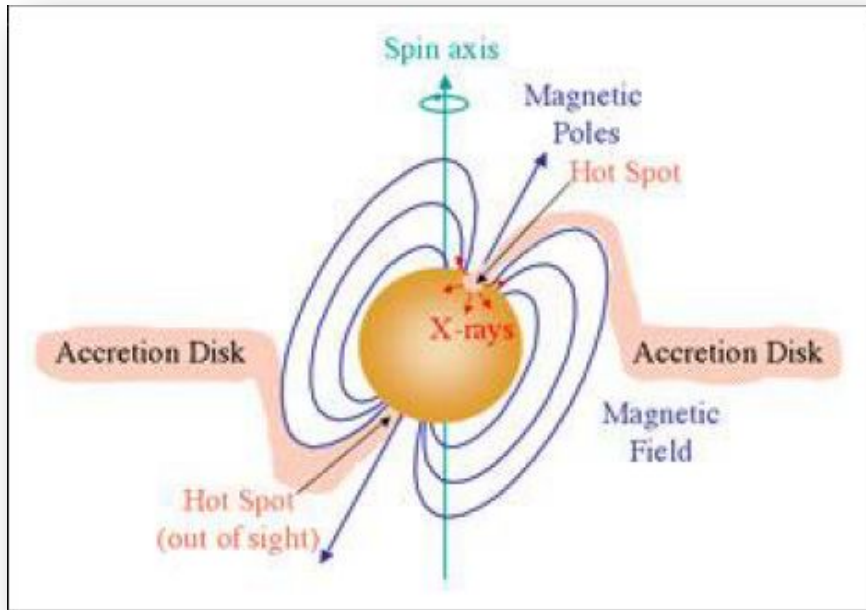
Φάσματα

Τα φάσματα δίνουν πληροφορίες για τις φυσικές διεργασίες στις οποίες οφείλεται η εκπομπή ακτίνων Χ.



Σχήμα 5: Αριστερά βλέπουμε 3 φάσματα στις ακτίνες Χ, μοντελοποιημένα με το ίδιο μοντέλο που αποτελείται από δύο συναρτήσεις, ένα μέλαν σώμα (<2 keV) και ένα νόμο δύναμης. Το φάσμα είναι στην ουσία ένα ιστόγραμμα της ενέργειας των φωτονίων. Ο νόμος δύναμης μοιάζει "παράξενος" και δεν είναι ευθεία γραμμή. Αυτό συμβαίνει γιατί βλέπουμε αυτό που παρατηρεί η κάμερα και όχι το φάσμα καθ' εαυτό. Η κάμερα έχει κβαντική απόδοση που εξαρτάται από την ενέργεια, ενώ οι καθρέφτες του τηλεσκοπίου απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας. Δεξιά βλέπουμε τι θα παρατηρούσαν 3 διαφορετικά τηλεσκόπια για επίπεδο φάσμα: XMM-Newton, Chandra, και Athena (το τελευταίο αναμένεται να πετάξει το 2035). Είναι προφανής η μειωμένη κβαντική απόδοση στις μεγάλες ενέργειες αλλά και γραμμές λόγω του ίδιου του ανιχνευτή στα 2 keV και ~0.3 keV.

X-ray pulsar



- Εάν το συμπαγές αντικείμενο σε ένα διπλό σύστημα ακτίνων X είναι ένας αστέρας νετρονίων με ισχυρό μαγνητικό πεδίο, το αέριο που συσσωρεύεται από το συνοδό αστέρα θα διοχετευτεί στους μαγνητικούς πόλους του αστέρα νετρονίων.
- Αυτό δημιουργεί θερμά σημεία στην επιφάνεια του αστέρα νετρονίων, που εκπέμπουν ακτίνες X.
- Αυτές κινούνται εντός και εκτός του κώνου παρατήρησης καθώς το AN περιστρέφεται, προκαλώντας κανονικούς παλμούς ακτίνων X.
- Το αντικείμενο αυτό είναι γνωστό ως πάλσαρ ακτίνων X (X-ray pulsar).

Η περίοδος των pulsar ακτίνων X

- P από 1.5ms μέχρι μερικές ώρες
- Τα pulsar ακτίνων X πολύ μεγάλης περιόδου έχουν συνήθως ισχυρά μαγνητικά πεδία που είναι σε θέση να παγιδεύσουν τον άνεμο από το συνοδό αστέρα. Αυτό αναγκάζει το pulsar να μειώνει τον ρυθμό περιστροφής του (**spin-down**) μέσω ροπών που ασκούνται στη μαγνητόσφαιρά του.
- Ορισμένα pulsar ακτίνων X έχει βρεθεί ότι αυξάνουν τον ρυθμό περιστροφής τους (περιστρέφονται πιο γρήγορα με το πέρασμα του χρόνου, **spin-up**).
- Άλλα μπορεί να εμφανίζουν άλλοτε spin-up και άλλοτε spin-down.
- Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στο ότι το pulsar μπορεί να κερδίσει, να χάσει ή να διατηρήσει τη στροφορμή του ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο το συσσωρευμένο υλικό μεταφέρεται στον AN (συνεχής μεταφορά μάζας από υπερχειλίση του λοβού Roche, επεισόδια συσσώρευσης μάζας ή συσσώρευση αστρικού ανέμου.)

Δίσκος προσαύξησης

□ Τα σωματίδια μάζας που παρέχονται από το συνοδό αστέρι διαθέτουν **στροφορμή** και δεν ταξιδεύουν ακτινικά στο συμπαγές αντικείμενο.

□ Αντίθετα, θα ανταλλάξουν ενέργεια μεταξύ τους και θα εγκατασταθούν σε έναν **δίσκο προσαύξησης**

□ Εκεί ακολουθούν **ομοεπίπεδες κυκλικές τροχιές** με την τοπική Κεπλεριανή ταχύτητα

$$V_K = (GM / r)^{1/2}$$

Μαγνητόσφαιρα και ακτίνα Alfvén

● Ακτίνα Alfvén

πυκνότητα μαγνητικής ενέργειας = πυκνότητα κινητικής ενέργειας

→ Χαρακτηριστική ακτίνα εντός της οποίας οι μαγνητικές τάσεις είναι κυρίαρχες, στη ροή στο δίσκο προσαύξησης. Η περιοχή εντός αυτής της ακτίνας ονομάζεται **μαγνητόσφαιρα**.

$$R_A \sim 1800 \left(\frac{B_s}{10^{12} \text{G}} \right)^{4/7} \left(\frac{R_{NS}}{10 \text{km}} \right)^{12/7} \left(\frac{M_{NS}}{1.4 M_\odot} \right)^{-1/7} \left(\frac{\dot{m}}{10^{-8} M_\odot \text{yr}^{-1}} \right)^{-2/7} \text{ km}$$

όπου B_s η επιφανειακή ένταση του μαγνητικού πεδίου και R_{NS} η ακτίνα του AN, \dot{m} ο ρυθμός προσαύξησης μάζας

Ανάλογα με τη θεωρία για την περιγραφή του ορίου δίσκου-μαγνητόσφαιρας, το μέγεθος της μαγνητόσφαιρας R_M λαμβάνεται μέσω μιας ελαφριάς τροποποίησης της παραπάνω εξίσωσης, δίνοντας $R_M = \xi R_A$, με (αδιάστατο) συντελεστή $\xi \sim 0.1 - 1$.

- Στο R_M , η ύλη φεύγει από το δίσκο προσαύξησης και ακολουθεί τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου στον AN, καταλήγοντας στους μαγνητικούς πόλους.
- Για να πραγματοποιηθεί αυτή η «μαγνητική προσαύξηση», η μαγνητοσφαιρική ακτίνα (και επομένως η εσωτερική άκρη του δίσκου) πρέπει να βρίσκεται εντός της ακτίνας συμπεριστροφής R_{co} , όπου η ταχύτητα Κέπλερ του δίσκου ισούται με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου $V_{mag} = 2\pi r/P$, όπου P η περίοδος περιστροφής (spin) του AN.

$$\text{Δηλ. } R_m < R_{co} = P^{2/3} \left(\frac{GM_{NS}}{4\pi^2} \right)^{1/3} \sim 1700 \left(\frac{P}{1s} \right)^{2/3} \left(\frac{M_{NS}}{1.4M_{\odot}} \right)^{1/3} \text{ km}$$

Ρυθμός προσαύξησης μάζας

Η προσαύξηση μάζας σε ένα συμπαγές αντικείμενο μπορεί να είναι μια από τις αποτελεσματικότερες διαδικασίες παραγωγής ενέργειας.

$$L_{\text{acc}} = \frac{GM\dot{m}}{R}$$

$$M \approx 1.4M_{\text{solar}}$$

$$R \approx 10\text{km}$$

Για να βρούμε το L , θα χρησιμοποιήσουμε τη ροή που έχει καταγραφεί στις ακτίνες X μεταξύ κάποιων ενεργειών, θα κάνουμε την κατάλληλη βολομετρική διόρθωση, και θα

Ροπή αδράνειας spin-up

Η κύρια ροπή που εφαρμόζεται στο αστέρι από την προσαύξηση, N_{acc} , ορίζεται ως:

$$N_{acc} = \dot{m} \sqrt{GM R_M}$$

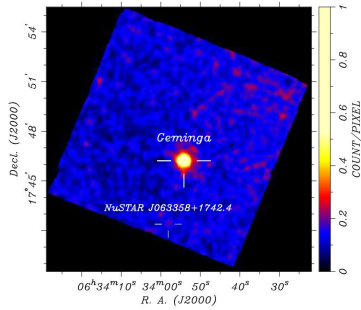
$$\dot{\nu} \equiv \frac{\dot{\Omega}}{2\pi} = \frac{N_{tot}}{2\pi I}$$

$$I = (2/5) MR^2$$

Θα μετρήσετε το $\dot{\nu}$ και θα εκτιμήσετε, χρησιμοποιώντας τα παραπάνω, την ένταση του μαγνητικού πεδίου στην επιφάνεια του pulsar.

X-ray Projects

NuSTAR/XMM-Newton/Swift

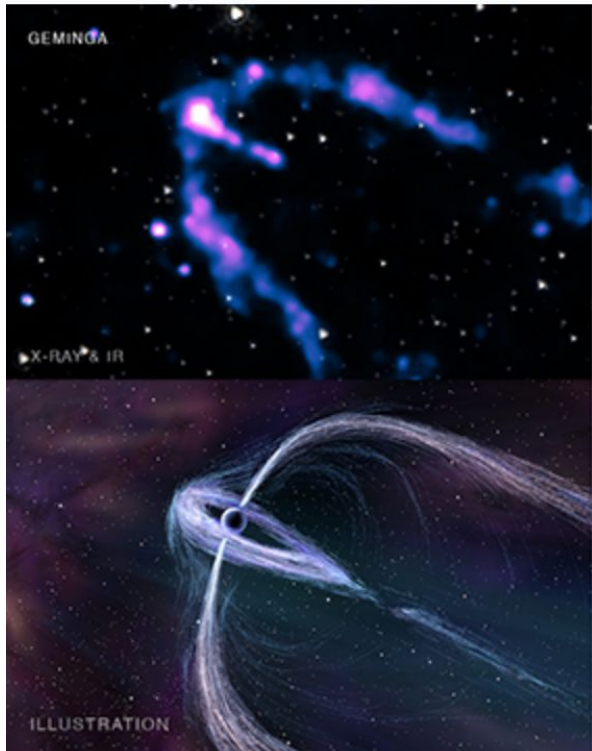


Temporal studies

- Study the pulse profile in different energy bands (0.3-2 keV, 3-10 keV, >10 keV)
- Shape and regions of emission (NS surface and magnetosphere)

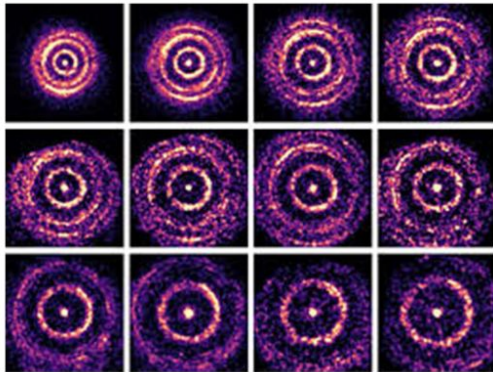
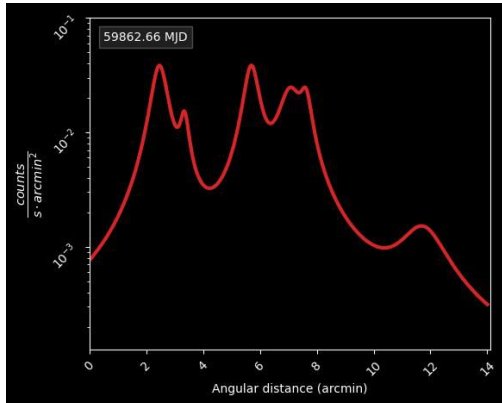
Spectral studies

- Study the spectrum, can it be described by a black body? Do we see multiple components?
- Compare energetics with Theory
- Structure of shock

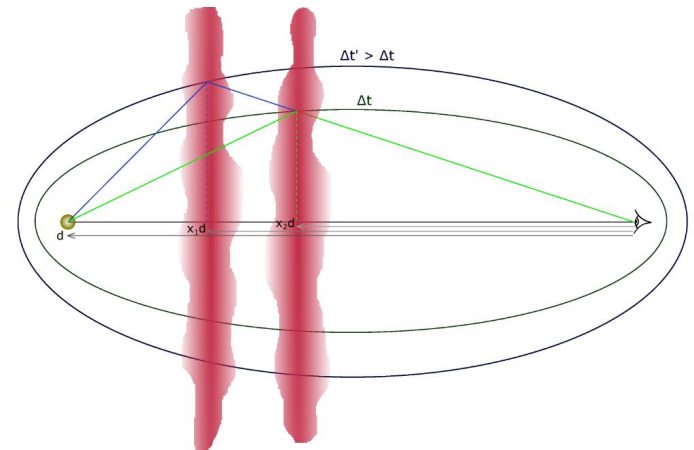


Dust scattering Echoes

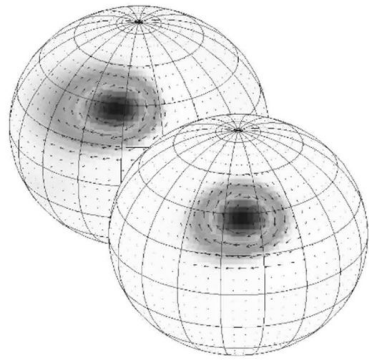
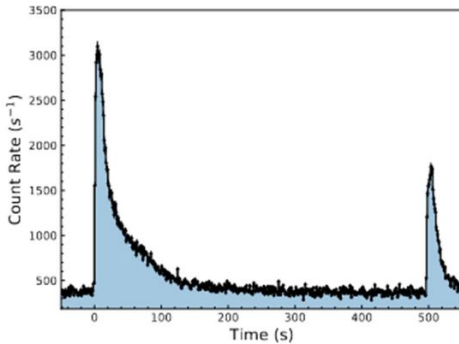
- Echoes Visible after bright outbursts (GRBs or XRBs)
- Are a result of time delay between light that travels directly from source and light that is scattered from Galactic Clouds.



- Study of time delay helped to distance or measure
- For extragalactic sources

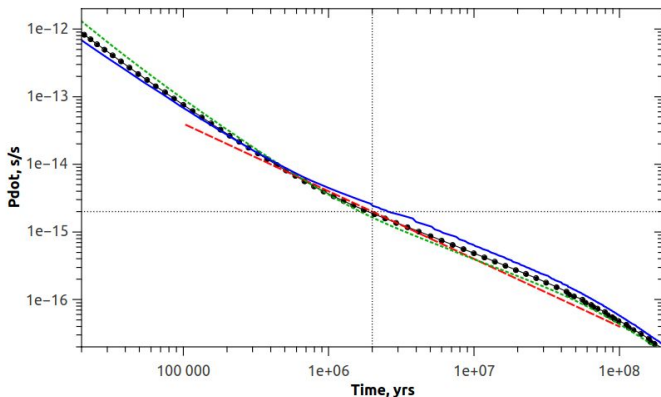
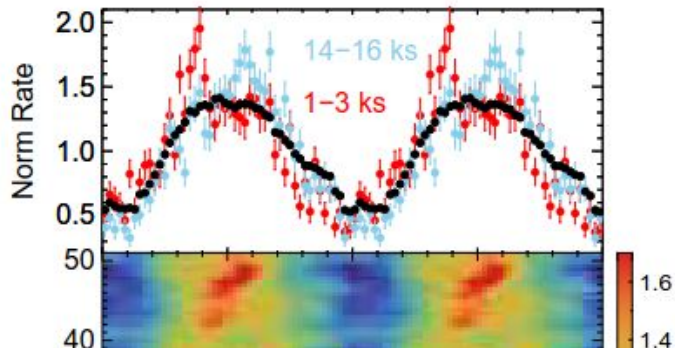


Thermonuclear bursts from NS surface



- In some binary systems mass accretion can be quite slow, thus material accumulates in NS surface.
- At some critical limit matter erupts producing major short bursts
- You may study the distribution of bursts, and their energetics to

A contracting White Dwarf?



- Spin evolution can have multiple causes. WD, spin up due to accretion might be very small
- An alternative theory says that we may be observing spin-up due to WD contracting/collapsing
- Can we use multiple X-ray observations to