



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Εισαγωγή στην Αστροφυσική

Ενότητα 2: Ζωή και Θάνατος των Αστέρων

Ξενοφών Δ. Μουσάς
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Φυσικής



Εθνικό και Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

*Εισαγωγή στην Αστροφυσική
και Αστρονομία*

Τελικό στάδιο και θάνατος ενός άστρου

Ξενοφών Δ. Μουσάς,
Καθηγ. Φυσικής Διαστήματος

ΑΘΗΝΑ 2014

Εικόνα του νεφελώματος του Καρκίνου
του κ. Νίκου Πασχάλη, από το αστεροσκοπείο του στην Σκιάθο

Βιβλιογραφία

- Μάνου Δανέζη και Στράτου Θεοδοσίου, **Το Σύμπαν που αγάπησα**, Εκδ. Δίαυλος, Αθήνα, 2012, ISBN: 978-960-531-288-6
- Χαράλαμπου Βάρβογλη και Γιάννη Χ. Σειραδάκη, **Εισαγωγή στη σύγχρονη αστρονομία**, Εκδότης: Γαρταγάνης, Αριθμός Σελίδων: 352, 1994
- Σταύρου Ι. Αυγολούπη και Ιωάννη Χ. Σειραδάκη, **Παρατηρησιακή Αστρονομία**, Εκδότης Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, 2004, Αριθμός Σελίδων 246, ISBN 960-86810-3-0

- B. W. Carroll and D. A. Ostlie
- *An Introduction to Modern Astrophysics*,
- εκδ. Addison-Wesley, 1996 και 2013,
- ISBN-13: 978-1292022932



Επίσης:

<http://www.astro.virginia.edu/class/majewski/astr551/lectures/LECTURE2/lec2b.html>

<http://casswww.ucsd.edu/archive/public/tutorial/Stars.html>

http://www.astro.washington.edu/users/anamunn/Astro101/Project1/stellar_spectroscopy_introduction.html

<http://handprint.com/ASTRO/>

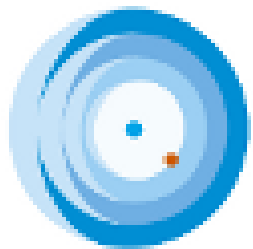
<http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit1/sptypes.html>

Γενικώς μπορείτε να βρίσκετε επιστημονικά άρθρα σε οποιοδήποτε αντικείμενο, αστροφυσικής, φυσικής, μαθηματικών, φιλοσοφίας ή οτιδήποτε, στην ιστοσελίδα:

scholar.google.gr/

Τα άρθρα παρουσιάζονται με αξιολόγηση και πρώτα αναφέρονται τα πιο χρησιμοποιημένα, τα κατά τεκμήριο πιο σημαντικά.





Εύδοξος

Ηλεκτρονική Υπηρεσία Ολοκληρωμένης Διαχείρισης
Συγγραμμάτων και Λοιπών Βοηθημάτων

ΒΙΒΛΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ

Το σύμπαν που αγάπησα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 22684958

Έκδοση: Πανεπιστημιακή Έκδοση/2012

Συγγραφείς: Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος

ISBN: 978-960-531-288-6

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

Το σύμπαν που αγάπησα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 12212

Αριθμός τόμου: Τόμος 1

Έκδοση: 3η έκδ./1999

Συγγραφείς: Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος

ISBN: 978-960-531-062-2

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

Το σύμπαν που αγάπησα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 12213

Αριθμός τόμου: Τόμος 2

Έκδοση: 3η έκδ./1999

Συγγραφείς: Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος

ISBN: 978-960-531-063-9

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

Εισαγωγή στην αστροφυσική

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 42022440

Έκδοση: 1η/2014

Συγγραφείς: Αλυσσανδράκης Κ.

ISBN: 978-960-02-3058-1

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ ΑΕΒΕ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 22846310

Έκδοση: Α' ΕΚΔΟΣΗ/2012

Συγγραφείς: ΖΑΦΕΙΡΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΖΑΦΕΙΡΟΠΟΥΛΟΥ

ΚΑΡΑΤΖΟΓΛΟΥ ΦΙΛΑΡΕΤΗ

ISBN: 978-960-530-148-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): Εταιρεία Αξιοποίησης και Διαχείρισης Περιουσίας

Πανεπιστημίου Πατρών

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ ΤΟΜΟΣ Ι

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 280

Αριθμός τόμου: Ι

Έκδοση: 1η/2009

Συγγραφείς: SHU FRANK

ISBN: 978-960-7309-16-7

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΕΥΝΑΣ-

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ

ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ ΤΟΜΟΣ ΙΙ

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 282

Αριθμός τόμου: ΙΙ

Έκδοση: 1η/2009

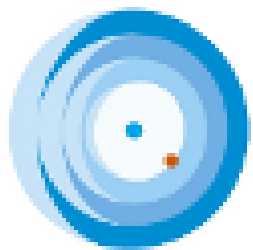
Συγγραφείς: SHU FRANK

ISBN: 978-960-7309-17-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΕΥΝΑΣ-

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ



Εύδοξος

Ηλεκτρονική Υπηρεσία Ολοκληρωμένης Διαχείρισης
Συγγραμμάτων και Λοιπών Βοηθημάτων

ΒΙΒΛΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ

Αστροφυσική Πλάσματος

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 50661503

Έκδοση: 2η Έκδοση/2015

Συγγραφείς: Κανάρης Τσίγκανος

ISBN: 978-960-91748-2-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΚΑΝΑΡΗΣ ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ

Αστροφυσική Πλάσματος

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 42116553

Έκδοση: 1η Έκδοση/2015

Συγγραφείς: Κανάρης Τσίγκανος

ISBN: 978-960-91748-2-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΚΑΝΑΡΗΣ ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ

Κοσμική Ακτινοβολία

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 45309

Έκδοση: 1η έκδ./2009

Συγγραφείς: Μαυρομιχαλάκη - Χριστοπούλου Ελένη

ISBN: 978-960-266-251-9

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): Σ.ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.

Γενική Σχετικότητα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 6236

Έκδοση: 3/2007

Συγγραφείς: Bernard F. Schutz

ISBN: 960-7122-21-6

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΤΡΑΥΛΟΣ & ΣΙΑ ΟΕ

Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες Ευχαριστίες οφείλονται στη NASA, ESA, ESO, NOAO/NSO/Kitt Peak FTS/AURA/NSF

στους Ερευνητές και λοιπούς συντελεστές των επιγείων τηλεσκοπίων και διαστημικών πειραμάτων, στους κυρίους Στράτο Κουφό, Νίκο Πασχάλη, Πάνο Παπασπύρου για τις εικόνες που χρησιμοποιούνται σε αυτό το μάθημα, σε αυτούς που μας έδωσαν μετρήσεις ή συμβουλές, στην Wikipedia για πολλές πολύτιμες εικόνες που προσφέρονται χωρίς δικαιώματα χρήσης και συνεπώς είναι πολύτιμες σε κάθε δάσκαλο.

Εικόνα του νεφελώματος του Καρκίνου που έχει στο
κέντρο του έναν αστέρα νετρονίων, πάσσαρ
του κ. Νίκου Πασχάλη, από το αστεροσκοπείο του στην
Σκιάθο

Βλέπε <http://www.nunki.gr/imagesgallery.htm>



«Θάνατος» των άστρων

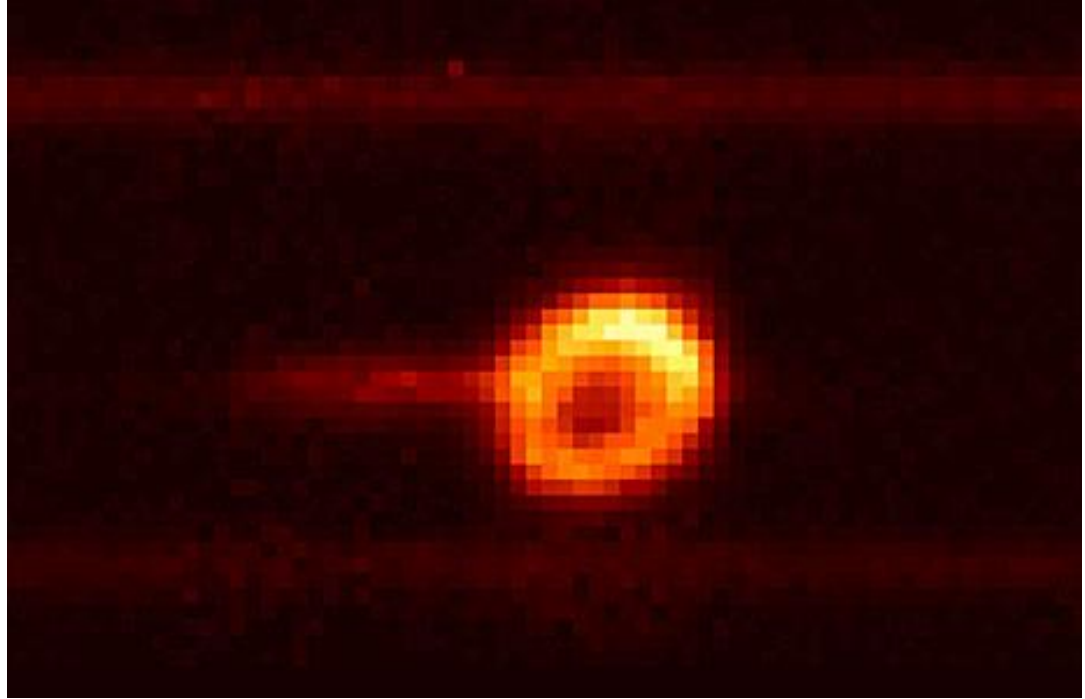
Εικόνα του νεφελώματος Αλτήρας (Dumbbell Nebula), γνωστό και ως Μεσιέ 27, M27, NGC 6853 του κ. Νίκου Πασχάλη, το πρώτο πλανητικό νεφέλωμα που ανακαλύφθηκε, υπόλειμμα έκρηξης άστρου που εξερράγη και στο κέντρο του είναι ο μεγαλύτερος γνωστός λευκός νάνος με ακτίνα μόλις 0,055 της ηλιακής ακτίνες, και "μάζα σχεδόν μισή του Ηλίου μας από το αστεροσκοπείο του στην Σκιάθο



Φωτογραφία ενός υπολείμματος
υπερκαινοφανούς
Ελήθφη με μια πολύ έξυπνη
μέθοδο που επέτρεψε να
απεικονισθεί ένα πολύ μικρό
αντικείμενο σε τεράστια
απόσταση

This image displays a "spectral image" of SN1987A, the supernova that exploded 1987 in the Large Magellanic Cloud. It was obtained using the medium resolution spectroscopic mode of ISAAC with a 2 arcsec wide slit and the grating centred close to the HeI emission line at $1.083 \mu\text{m}$ (1083 nm). The orange bands above and below the SN are due to stars.

Credit:ESO



Τελικό στάδιο ενός άστρου

Τα τελικά στάδια της ζωής ενός άστρου είναι:

1. λευκός (μέλας) νάνος,
2. άστρο νετρονίων
3. ή μαύρη τρύπα



Τελικό στάδιο ενός άστρου

Το τελικό στάδιο της ζωής ενός άστρου εξαρτάται από την μάζα του.



Το τελικό στάδιο της ζωής ενός άστρου

- Άστρα όπως ο Ήλιος με **μάζα < 1,5** μάζες Ηλίου θα γίνουν **ερυθροί γίγαντες** --> **πλανητικά νεφελώματα** --> **λευκοί νάνοι** --> **μελανοί νάνοι**
- **Μεγάλα άστρα με μάζα 1,5 έως 3 φορές τη μάζα του Ηλίου** θα γίνουν --> **ερυθροί υπεργίγαντες** --> **υπερκαινοφανείς (Supernova)** --> **αστέρες νετρονίων (Pulsar για ένα χρονικό διάστημα)**
- **Γίγαντες αστέρες με μάζα > 3 φορές τη μάζα του Ηλίου** θα γίνουν **ερυθροί υπεργίγαντες** --> **υπερκαινοφανείς (Supernova)** --> **μελανές οπές**



Ο θάνατος των άστρων

- Η διάμετρος των άστρων αυξάνει με τον χρόνο καθώς καίνε το υδρογόνο τους.
- Το ήλιο του πυρήνα συστέλλεται ενώ τα εξωτερικά κελύφη διαστέλλονται, η θερμοκρασία μειούται και γίνεται λιγότερο λαμπρό
- Γίνεται ένας ερυθρός γίγας ή ερυθρός υπεργίγας, ανάλογα με τη μάζα του αρχικού άστρου, και τέλος καταρρέει και εκρήγνυται



Ο θάνατος των άστρων

- Ο χρόνος ζωής εξαρτάται από την αρχική μάζα
- Τα άστρα πολύ μεγάλης μάζας (50 με 25 φορές την μάζα του Ηλίου) ζούνε μόλις μερικά εκατομμύρια έτη
- Καίγουν ταχύτατα τα καύσιμά τους διότι η πίεση είναι μεγάλη και η θερμοκρασία ομοίως.



Ο Betelgeuse, το δεύτερο λαμπρότερο άστρο του Ωρίωνα είναι ένας ερυθρός γίγαντας με μάζα 20 τη μάζα του Ηλίου και ισχύ 14000 φορές μεγαλύτερη του Ηλίου.

Ο Ήλιος θα ζήσει 10 δις έτη δηλαδή 7000 περισσότερο από τον Betelgeuse.



- Η ισχύς αυξάνει σημαντικά σε φάσεις με αναπάλσεις (ταλαντώσεις) του άστρου
- Για άστρα μιας ηλιακής μάζας αναπάλσεις αυξάνουν δραματικά τη φωτεινότητα για αρκετές δεκαετίες.
- τα εξωτερικά στρώματα του αστεριού σχεδόν ολοκληρωτικά εκτινάσσονται γύρω του και δημιουργείται ένα περιστρεφόμενο κέλυφος.



- Άστρα σαν τον Ήλιο χάνουν περίπου 40% της μάζας του κατά τη διάρκεια της έκρηξης.
- Περισσότερα μαζικά αστέρια χάνουν ένα μεγαλύτερο ποσοστό της αρχικής του μάζας.



- εκτινάσσονται υδρογόνο και όλα τα στοιχεία που παράγονται μέσω αντιδράσεων πυρηνοσύνθεσης στο αρχικό αστέρι μεταξύ των οποίων κόκκοι σκόνης πυριτικών ενώσεων και άνθρακα.



Ταχύτες δεκάδων χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο



Εξέλιξη και Θάνατος Ηλίου

- Ο Ήλιος μας θα εξαντλήσει το υδρογόνο του πυρήνα του και εξελίσσεται από την κύρια ακολουθία σε έναν κόκκινο γίγαντα.
- Μετά το φλας ηλίου ξεκινά καύση ηλίου και προχωρά στον οριζόντιο κλάδο,
- μοίρα των άστρων από 8 ηλιακές μάζες ή λιγότερο.
- Αυτά τα αστέρια θα γίνουν πλανητικά νεφελώματα και να καταλήξουν λευκοί νάνοι.



Δημιουργείτε το πλανητικό νεφέλωμα

- Με την εκτίναξη των εξωτερικών στρωμάτων του άστρου μένει πυκνότερος θερμός πυρήνας του άστρου που αφήνεται εκτεθειμένος.
- Η έντονη υπεριώδης ακτινοβολία που εκπέμπει ionίζει το κέλυφος.
- Έτσι δημιουργείται το λαμπερό σύννεφο, παρόμοιο με ένα νεφέλωμα εκπομπής.
- Τα Πλανητικά νεφελώματα συνήθως περιέχουν 0,1 έως 0,2 ηλιακές μάζες σε πυκνότητες που ισοδυναμεί το κενό σε εργαστήριο στη Γη.



Πλανητικά νεφελώματα ζουν γύρω στα 20.000 χρόνια

- Υπάρχουν κάπου 1.500 γνωστά στο Γαλαξία μας και μερικά είναι ορατά σε κοντινούς γαλαξίες.
- Αυτά είναι χρήσιμα για τον προσδιορισμό αποστάσεις αυτών γαλαξίες.



- το εκτεθειμένο απομεινάρι του πυρήνα που ιονίζει το πλανητικό νεφέλωμα είναι μια πολύ καυτή, πυκνή σφαίρα από άνθρακα και οξυγόνου.
- το υδρογόνου που δεν εκτοξεύεται γρήγορα καίγεται σε ένα κέλυφος
- Αρχικά, το κεντρικό αστέρι έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από 30 000 K
- Έχει φωτεινότητα 100000 του ήλιου μας
- Ταχύτατα εξασθενίζει στο 90% μέσα σε έναν αιώνα. Το αστρικό υπόλοιπο γίνεται λευκός νάνος με επιφανειακή θερμοκρασία περίπου 10^4 K.



- Οι λευκοί νάνοι είναι πολύ μικροί
- Ο όγκος τους είναι συγκρίσιμος με της Γης
- Δεν γίνονται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, δεν λαμβάνει χώρα η σύντηξη
- Δεν υπάρχει η πίεση της ακτινοβολίας προς τα έξω για να αντέχουν βαρυτική κατάρρευση.
- λευκός νάνος μάζας 0,5 ηλιακές μάζες έχει μια ακτίνα $1,9 \times$ αυτή της Γης,
- ένας 1,0 ηλιακής μάζας είναι μόλις 1,5 ακτίνες γη,
- λευκός νάνος με μάζα 1,3 έχει ακτίνα 1,4 ακτίνες γη.



ηλεκτρόνια που έχουν φτιάξει αέριο που εκφυλίζεται

- Ένας λευκός νάνος αποτελείται από άνθρακα και οξυγόνο αναμιγνύεται σε ιόντα με μια θάλασσα από ηλεκτρόνια που έχει εκφυλίζεται
- Η πίεση εκφυλισμού δημιουργείται από τα ηλεκτρόνια αποτρέπει την περαιτέρω κατάρρευση.

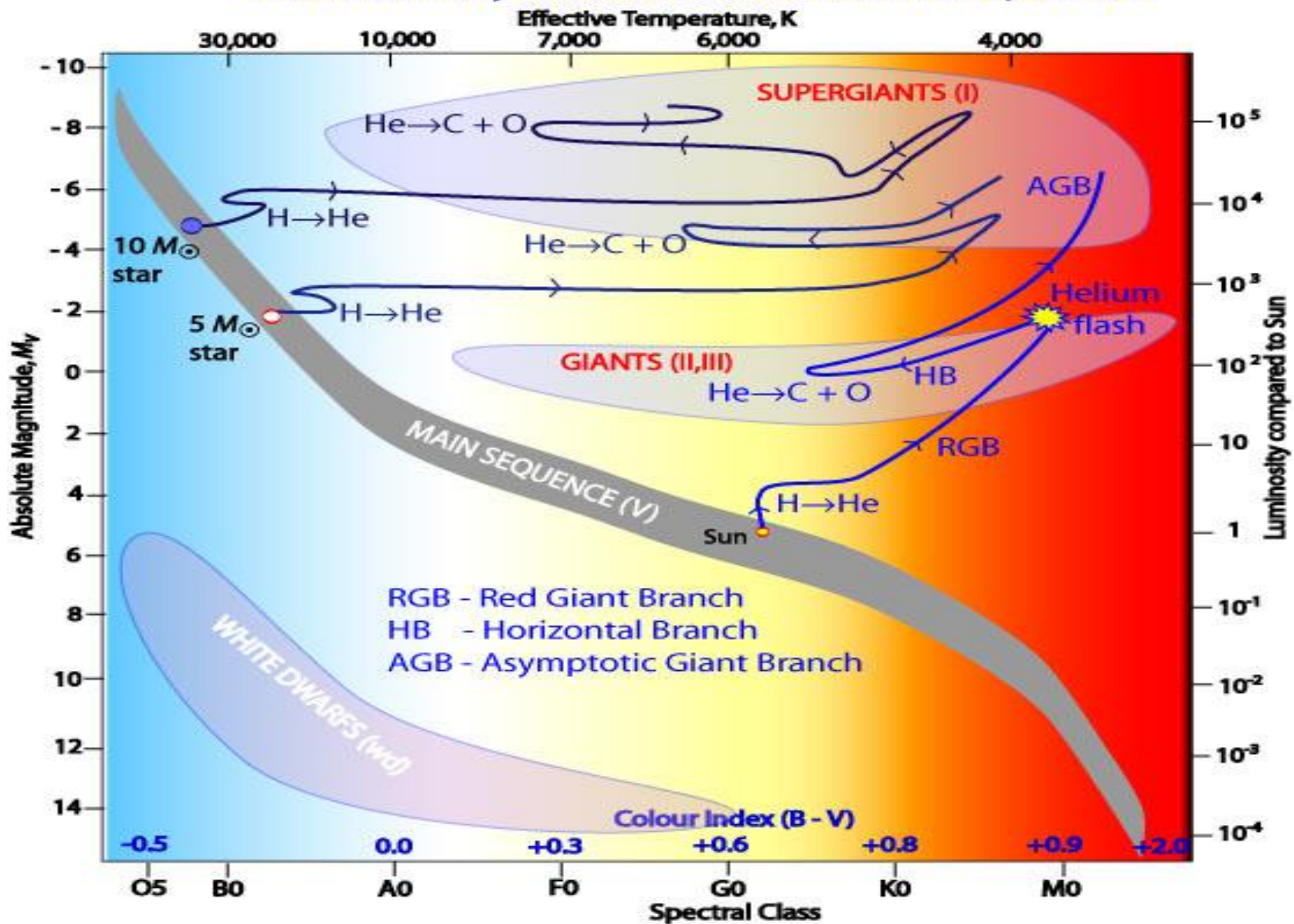


χαρακτηριστικά

- λευκός νάνος, με μάζα περίπου σαν τον Ήλιο με όγκο σαν τη Γη πρέπει έχει υψηλή πυκνότητα 10^9 kg m^{-3}
- Η θερμοκρασία της επιφάνειας είναι περίπου 10.000 K,
- η θερμοκρασία του πυρήνα 10^7 K .



Evolutionary Tracks off the Main Sequence



- Εξέλιξη της μεγάλης μάζας αστέρια από την κύρια ακολουθία είναι μια περίπλοκη διαδικασία και κανείς δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή.



- Τα μεγάλης μάζας αστέρια είναι πιο σπάνια και έχουν πολύ μικρή διάρκεια ζωής σε σχέση με τα χαμηλότερου μάζας αστέρια.
- Υπεργίγαντες όπως Betelgeuse, Deneb, Rigel και Αντάρης είναι τα πιο γνωστά αστέρια στον ουρανό μας



Υψηλής μάζας αστέρια καταναλώνουν υδρογόνο πυρήνα τους σε τεράστια ποσοστά έτσι μπορεί να επιβιώσει μόνο για την κύρια ακολουθία για εκατομμύρια και όχι δισεκατομμύρια χρόνια.

- Μόλις το καύσιμο έχει εξαντληθεί, ο πυρήνας συστέλλεται λόγω της βαρύτητας και θερμαίνεται.
- Αυτό πυροδοτεί καύση ηλίου στον πυρήνα.
- Σε αντίθεση με χαμηλότερο-μάζας αστέρια, η σύντηξη ηλίου (τριπλή-άλφα διαδικασία) ξεκινά σταδιακά και όχι σε έκρηξη.



μετακίνηση από την κύρια ακολουθία

- η ενεργός θερμοκρασία του άστρου μειωνεται
- έχουν αυξημένη ακτίνα
- η συνολική φωτεινότητα παραμένει ουσιαστικά σταθερή.
- Εξελικτική κομμάτια για αυτά τα τεράστια αστέρια έτσι κινείται οριζόντια σε όλη την περιοχή του υπεργίγαντα
- Η ενέργεια που ελευθερώνεται από σύντηξη ηλίου στον πυρήνα αυξάνει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κελύφους υδρογόνου έτσι ώστε να αρχίσει υπερβολικά σύντηξη.

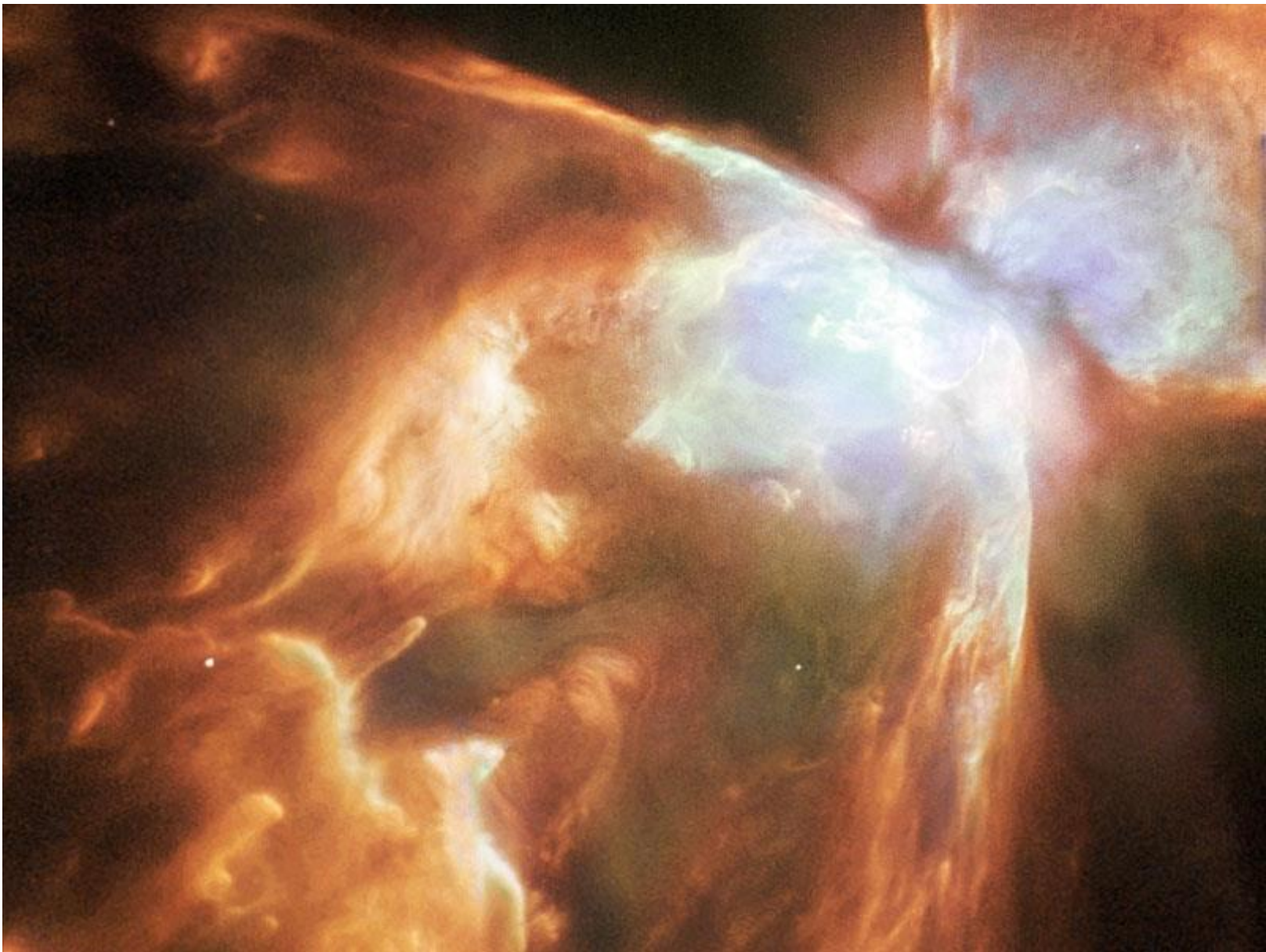


- αστέρια από 5 ηλιακές μάζες ή υψηλότερη, η πίεση της ακτινοβολίας και όχι από την πίεση του αερίου είναι η κυρίαρχη για να αντέξει κατάρρευση.
- Η μάζα είναι αρκετά μεγάλη ώστε η βαρύτητα ενεργεί επί του πυρήνα μετά την καύση ήλιο είναι επαρκής για να παράγει θερμοκρασίες 3×10^8 K όπου η σύντηξη του άνθρακα με ήλιο για την παραγωγή οξυγόνου κυριαρχεί.
- Ένα αστέρι από 8 ηλιακές μάζες ή περισσότερο μπορεί να πάει για να συνθέσουν ακόμη βαρύτερα στοιχεία στον πυρήνα.



- Βαρυτική συστολή του πυρήνα παράγει μια θερμοκρασία περίπου $5 \times 10^8 \text{ K}$
- Αντιδράσεις με πυρήνες άνθρακα να παράγουν νάτριο, νέον και μαγνήσιο.
- Παραγωγή μαγνησίου απελευθερώνει ένα φωτόνιο γάμμα, αυτή του νατρίου απελευθερώνει ένα πρωτόνιο και παράγει ένα νέον πυρήνα ηλίου.
- Μόλις όλοι οι άνθρακες καταναλωθούν, έχουμε θερμοκρασίες έως περίπου 10^9 K .
- Σε αυτή τη θερμοκρασία, οι αντιδράσεις που απελευθερώνουν φωτόνια γάμμα, όπως
- $^{16}\text{O} + ^4\text{He} \rightarrow ^{20}\text{Ne} + \gamma,$





NGC 6302: Big, Bright, Bug Nebula

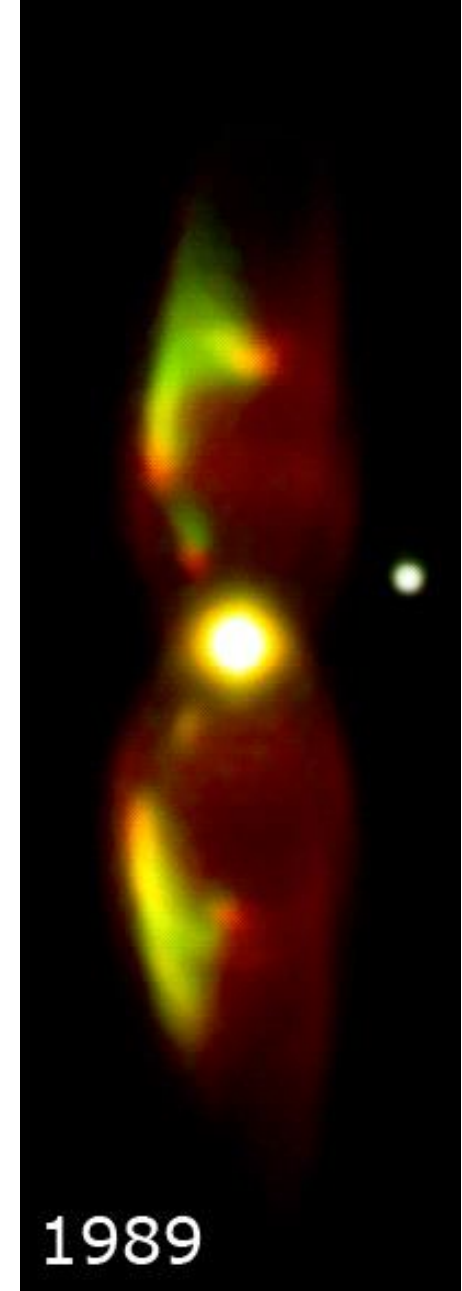
Credit: [A. Zijlstra \(UMIST\)](#) et al., [ESA](#), [NASA](#)



Πλανητικό νεφέλωμα M2-9

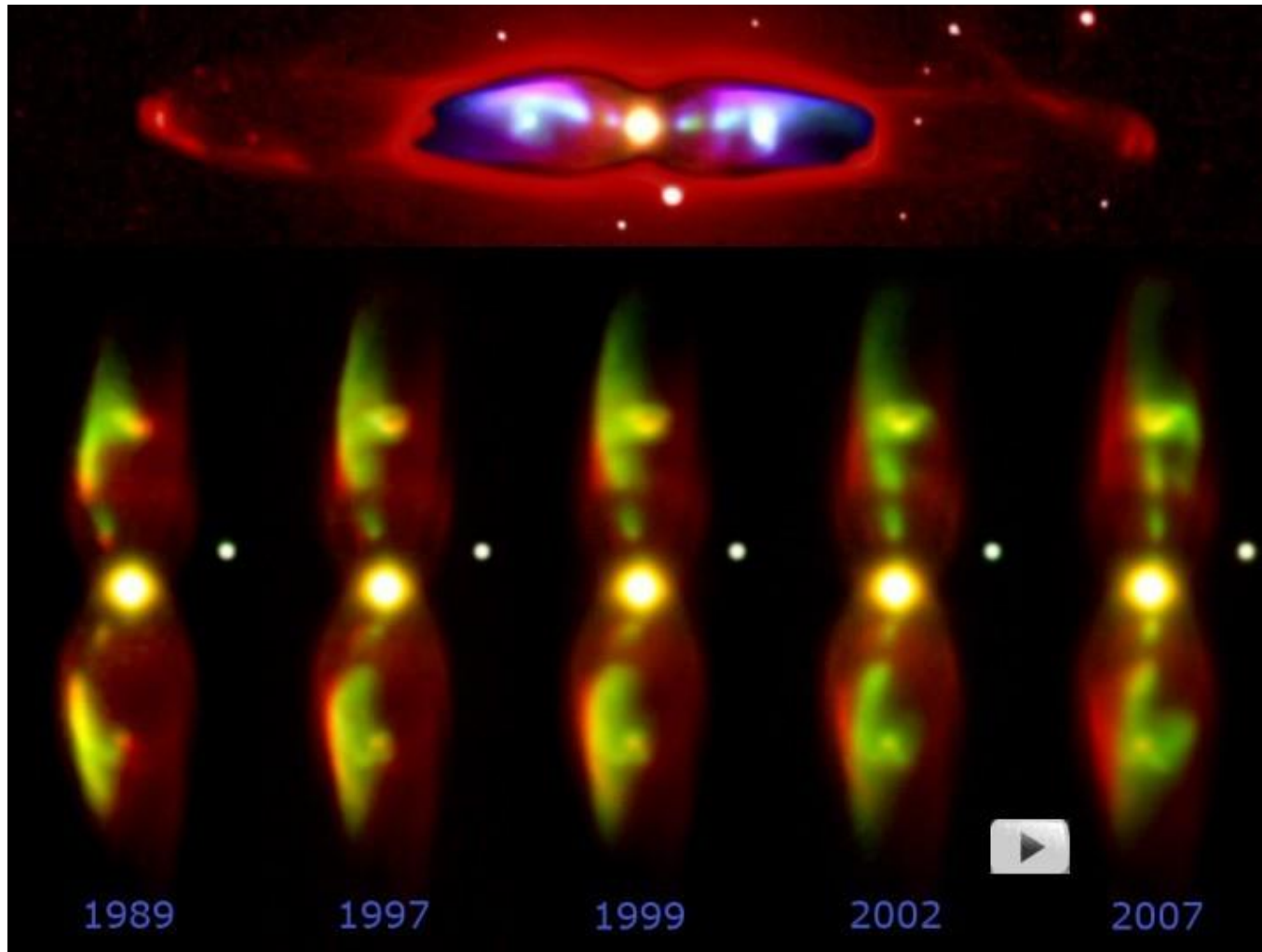
Credit: R. Corradi, M. Santander-Garcia
([Isaac Newton Group](#), [IAC](#)), Bruce Balick (U.
Washington)

The binary system of a giant star and hot white dwarf star orbit each other about once every 120 years.

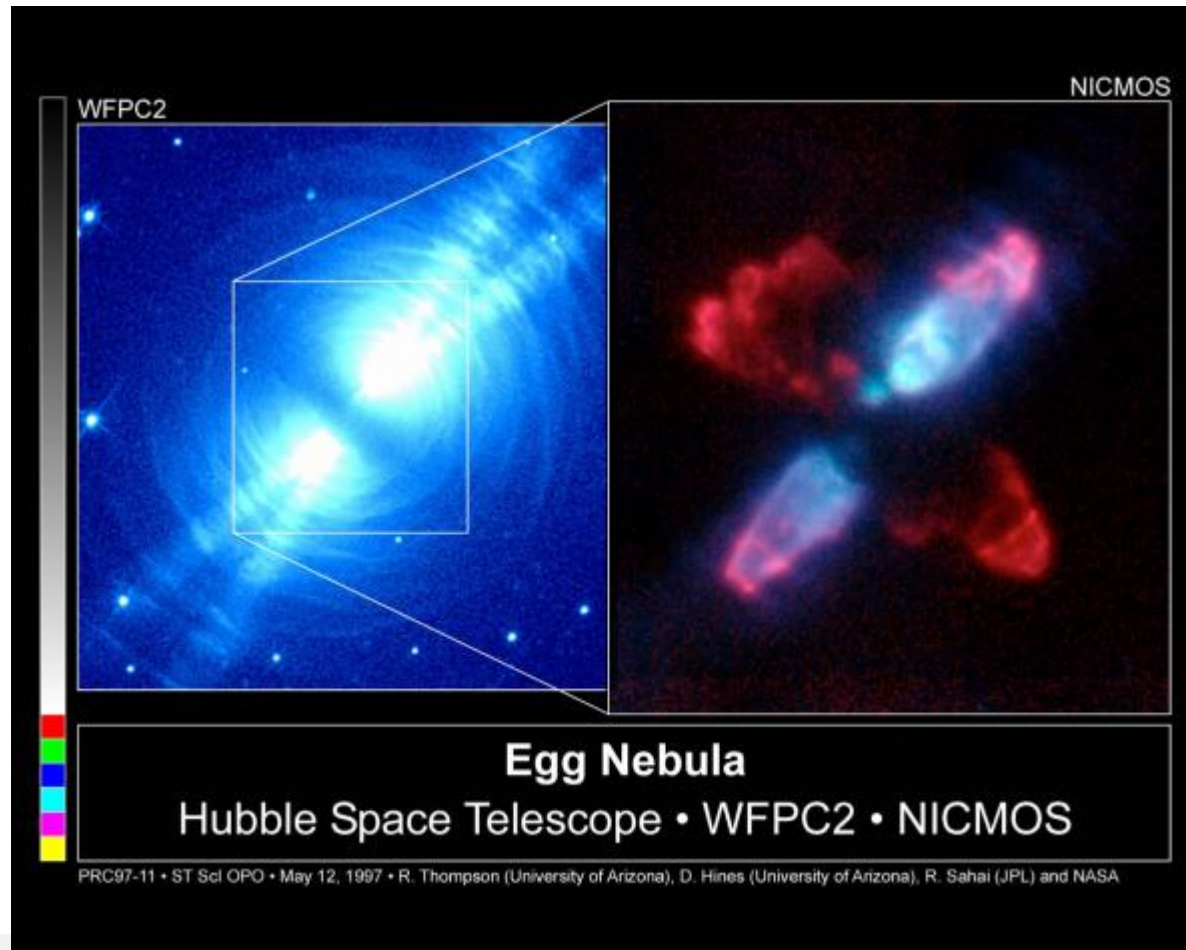


M2-9

Credit: R. Corradi, M. Santander-Garcia
([Isaac Newton Group, IAC](#)), Bruce Balick ([U. Washington](#))

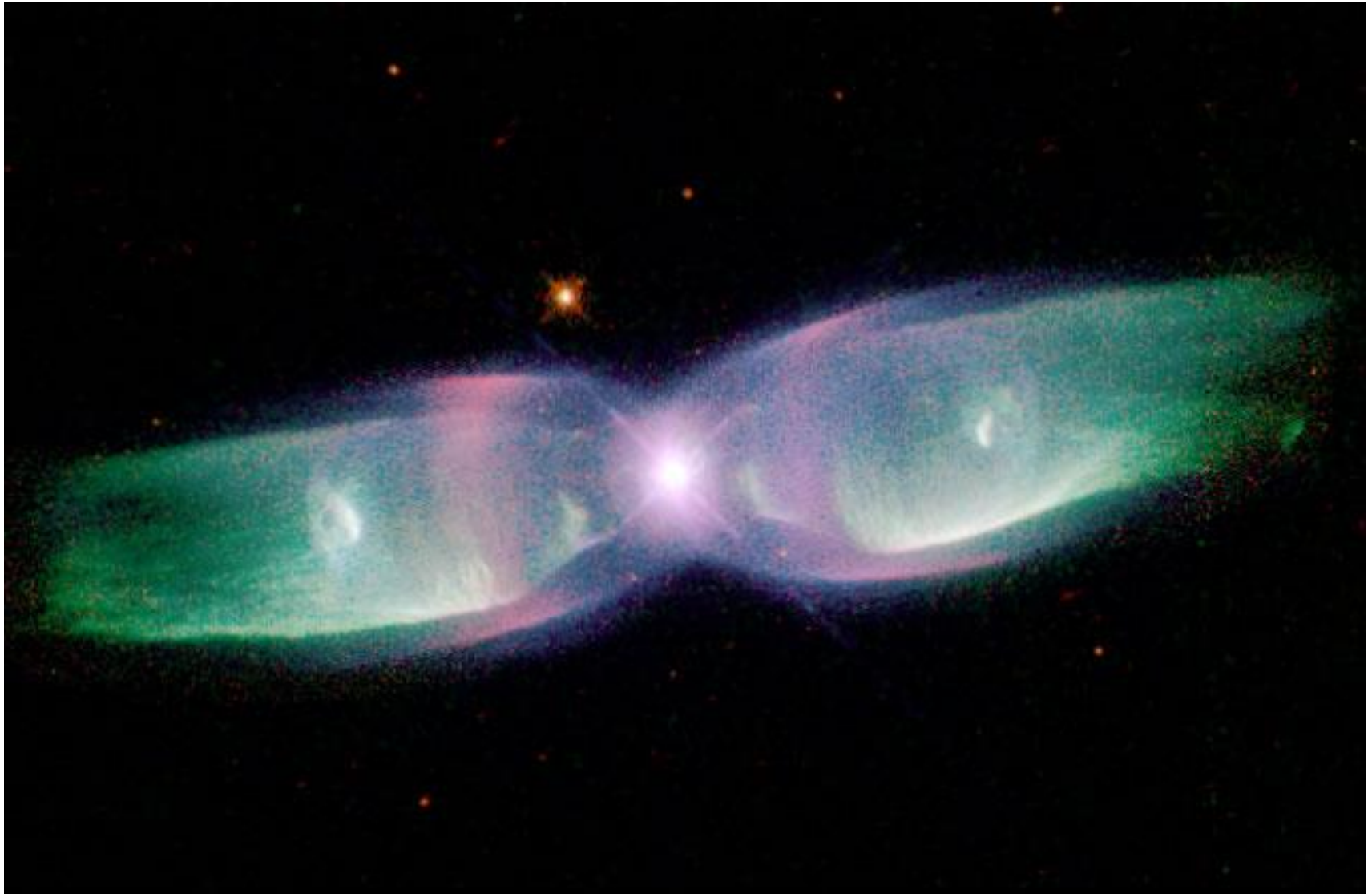


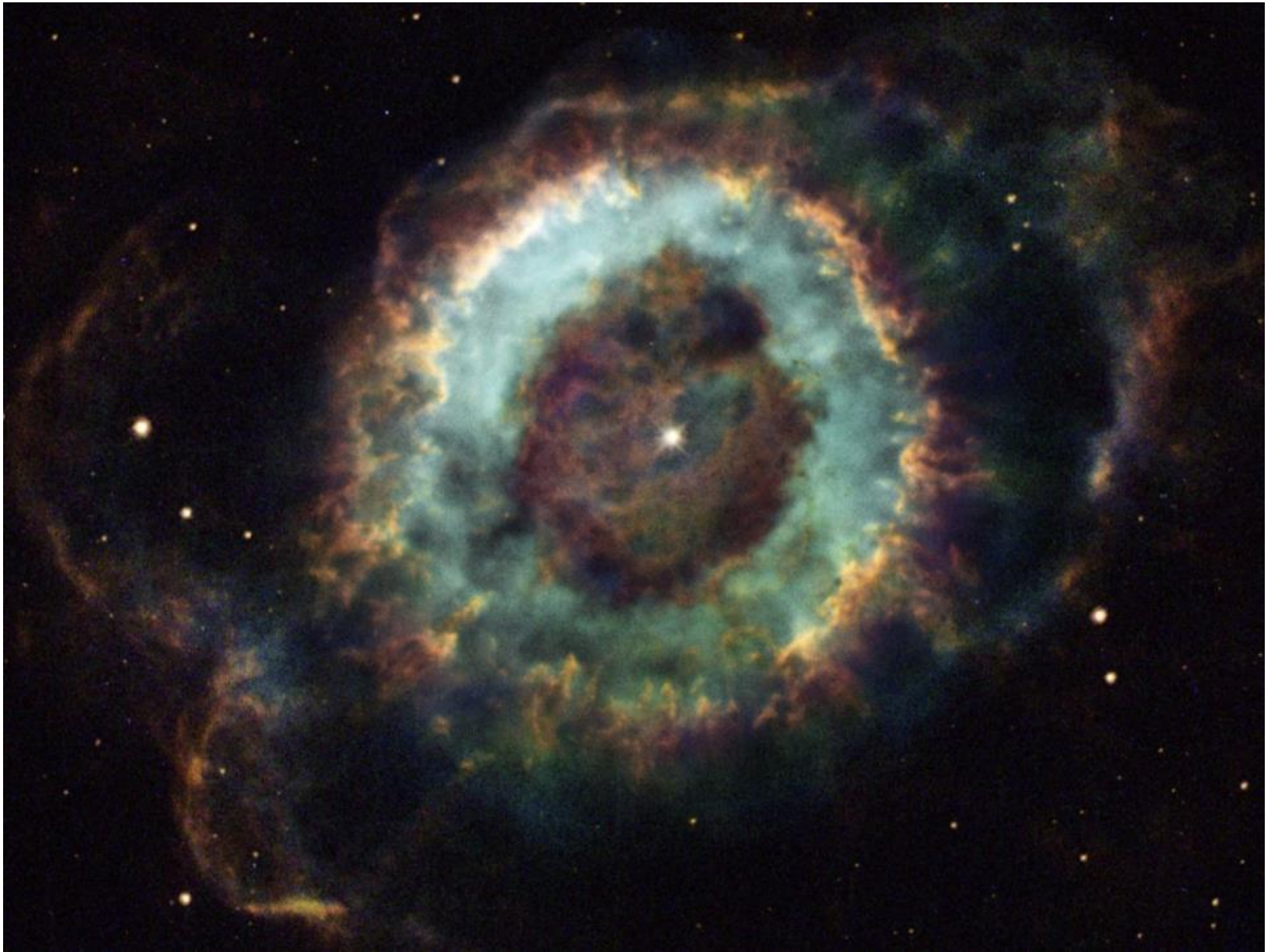
- Άστρα όπως ο Ήλιος με μάζα $< 1,5$ μάζες Ηλίου θα γίνουν ερυθροί γίγαντες --> πλανητικά νεφελώματα --> λευκοί νάνοι --> μελανοί νάνοι



Πλανητικά νεφελώματα



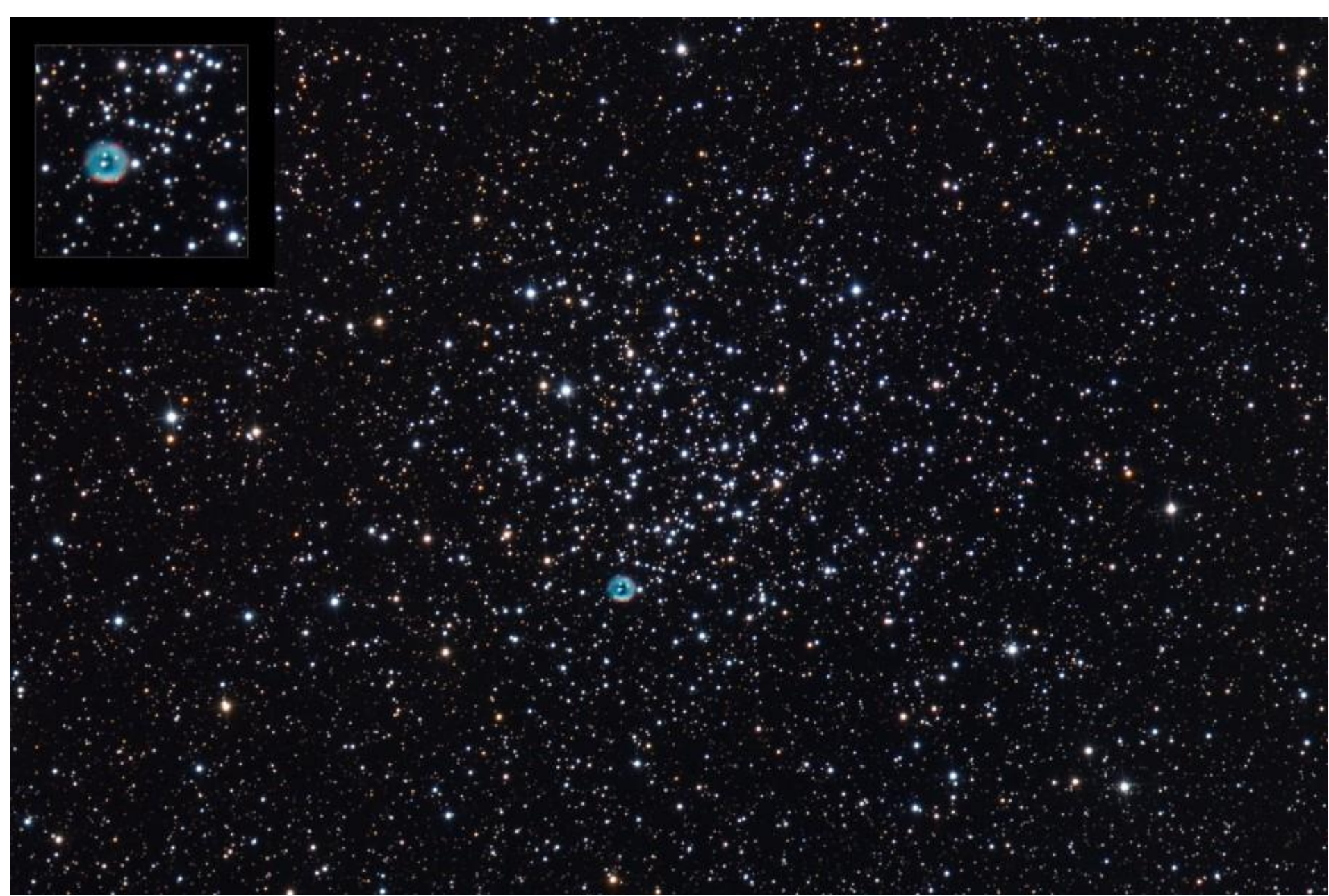






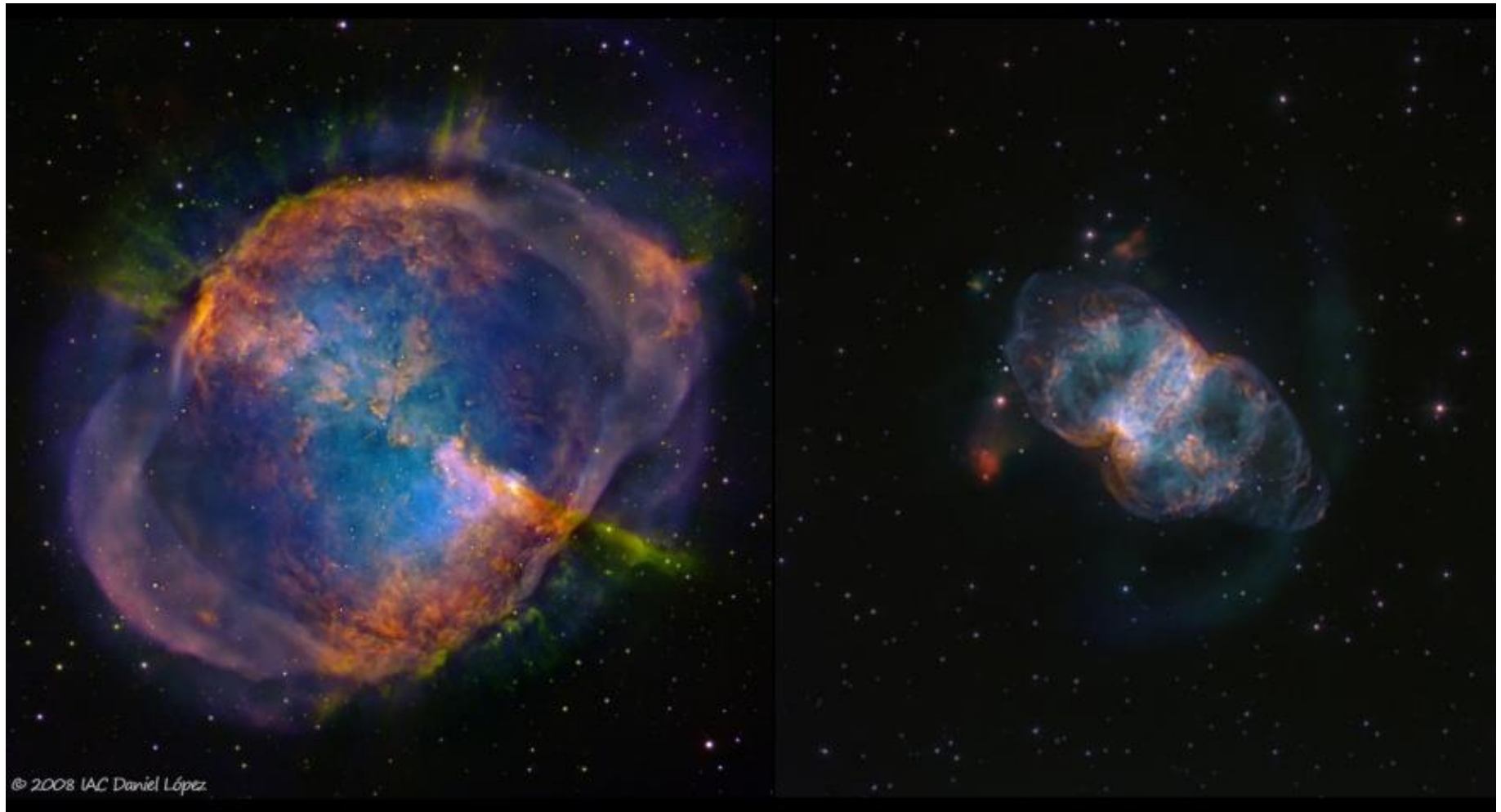














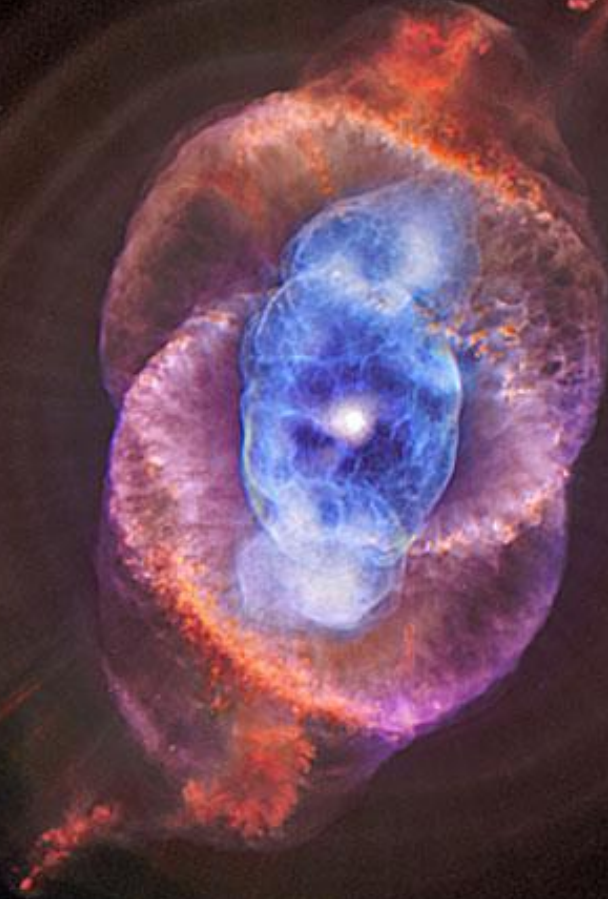


Το δακτυλιοειδές νεφέλωμα



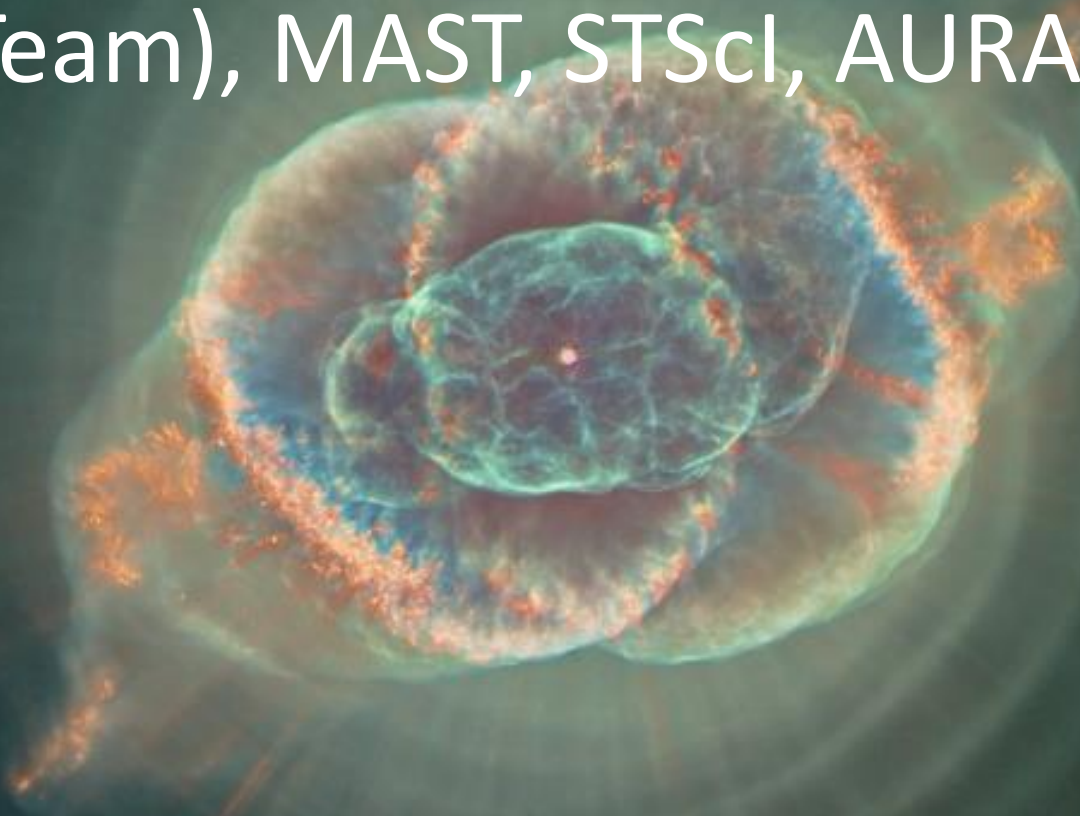


Το Μάτι της Γάτας



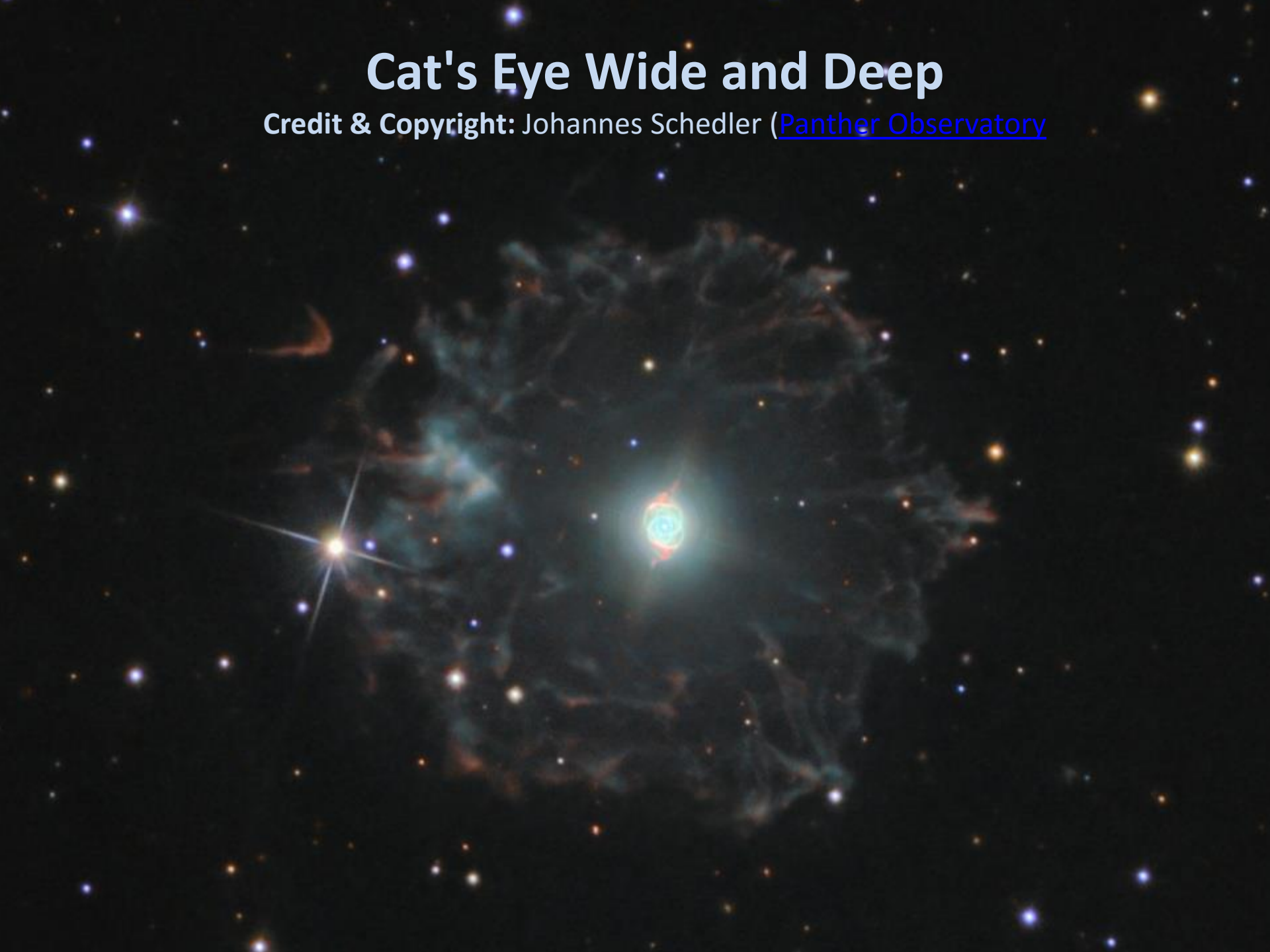
Cat's Eye Hubble Remix

Credit & Copyright: Vicent Peris (OAUUV / PTeam), MAST, STScI, AURA, NASA



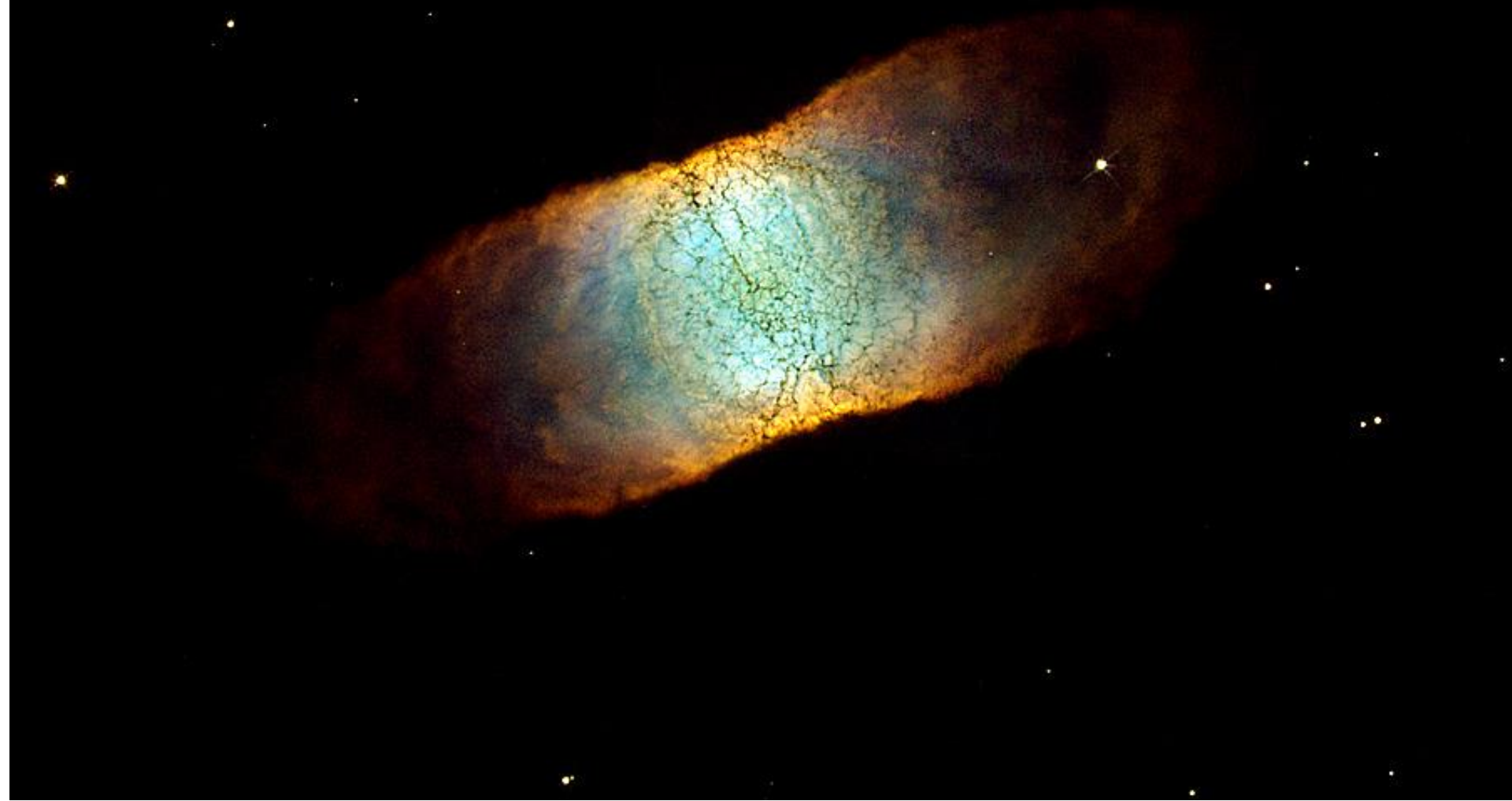
Cat's Eye Wide and Deep

Credit & Copyright: Johannes Schedler ([Panther Observatory](#))



IC 4406: A Seemingly Square Nebula

Credit: C. R. O'Dell (Vanderbilt U.) et al., Hubble Heritage Team, NASA



M27: Not A Comet

Credit & Copyright: Nik Szymanek,
w/Faulkes Telescope North



A Beautiful Boomerang Nebula

Credit: Hubble Heritage Team, J. Biretta (STScI)
et al., (STScI/AURA), ESA, NASA



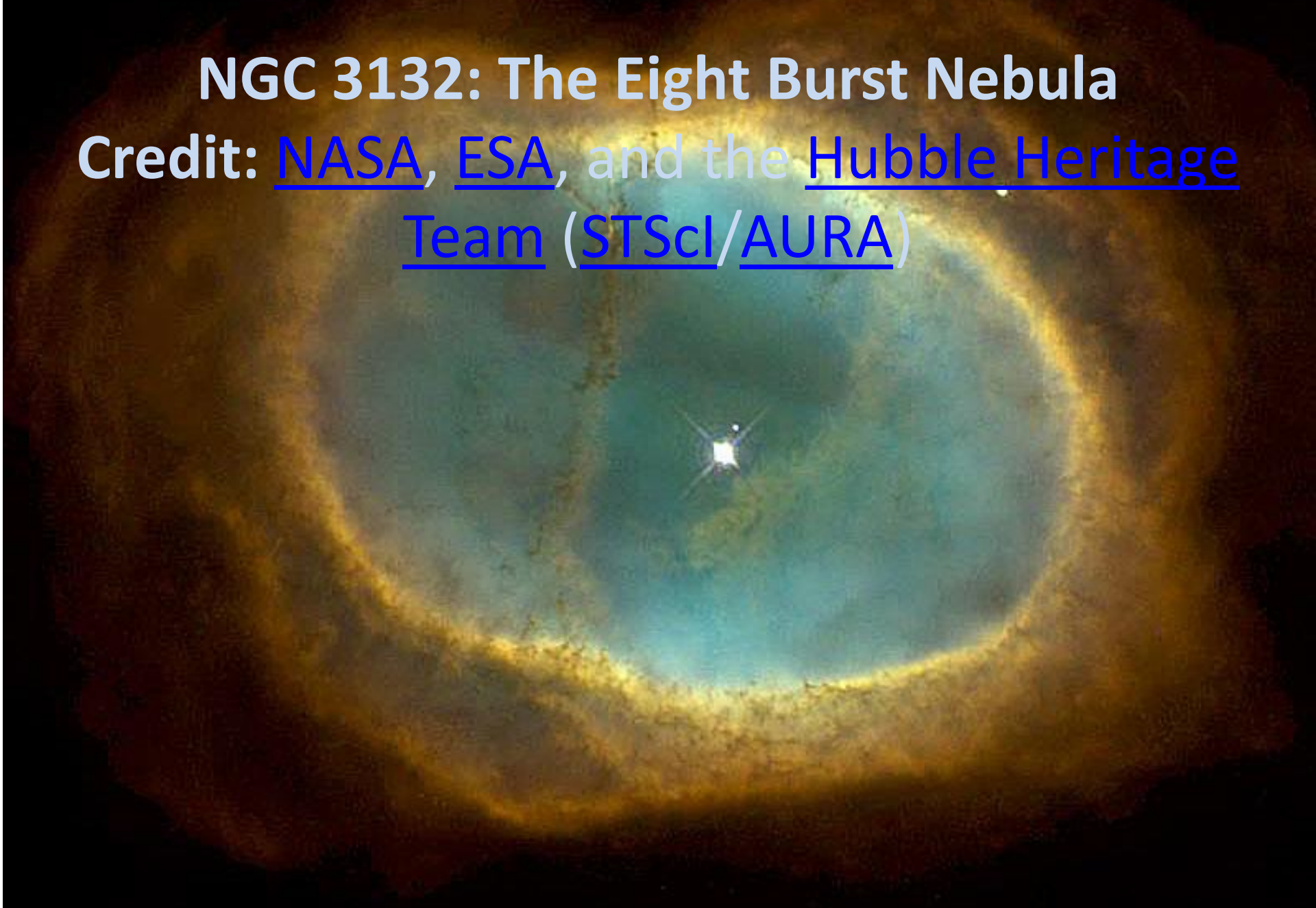
The Medusa Nebula

Credit & Copyright: Don Goldman



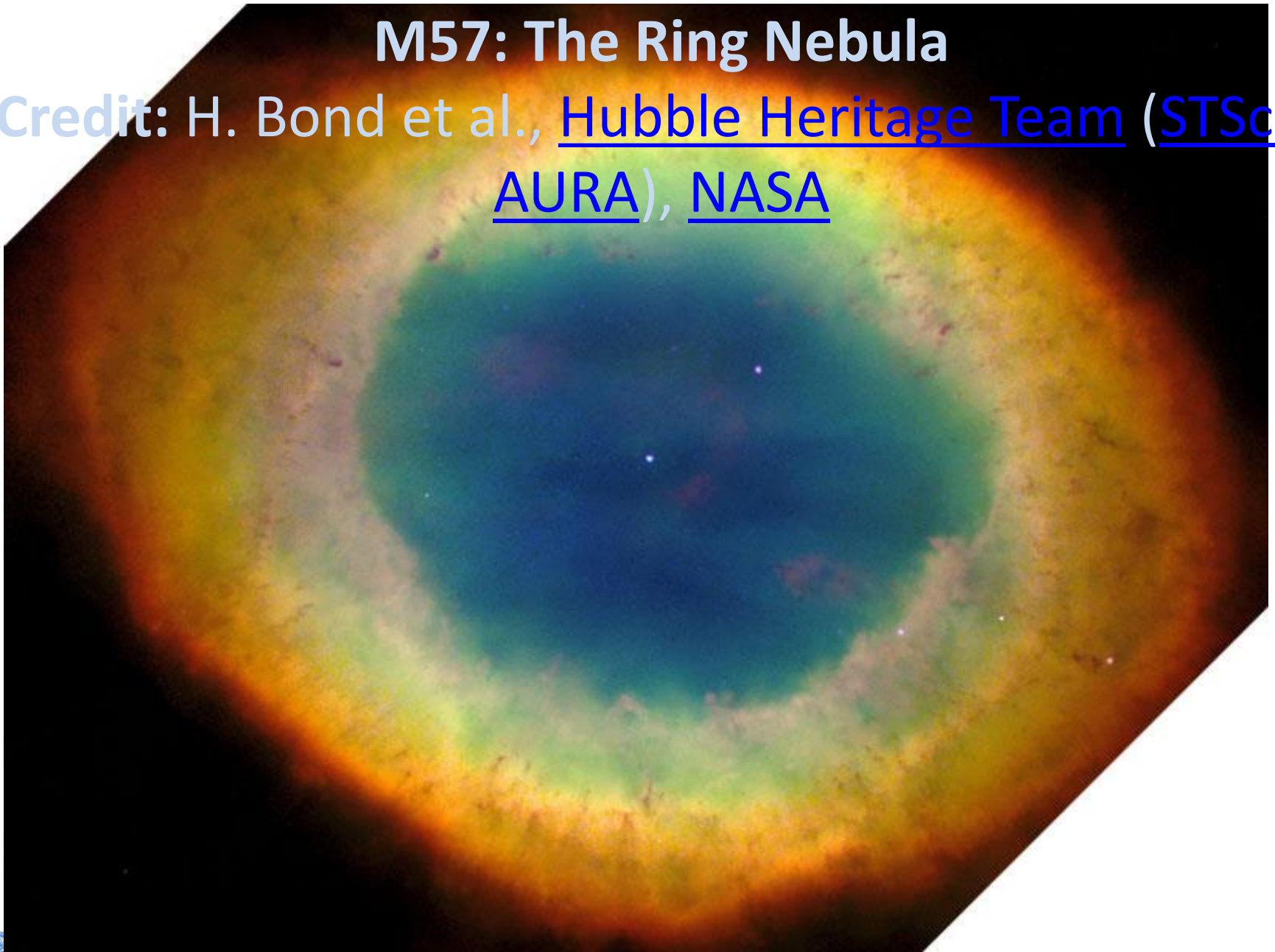
NGC 3132: The Eight Burst Nebula

Credit: [NASA](#), [ESA](#), and the [Hubble Heritage Team](#) ([STScI/AURA](#))



M57: The Ring Nebula

Credit: H. Bond et al., [Hubble Heritage Team \(STScI / AURA\)](#), [NASA](#)



NGC 7293: The Helix Nebula

Credit & Copyright: Imaging - [Josch Hambsch](#),
Processing - [Karel Teuwen](#)



Infrared Helix

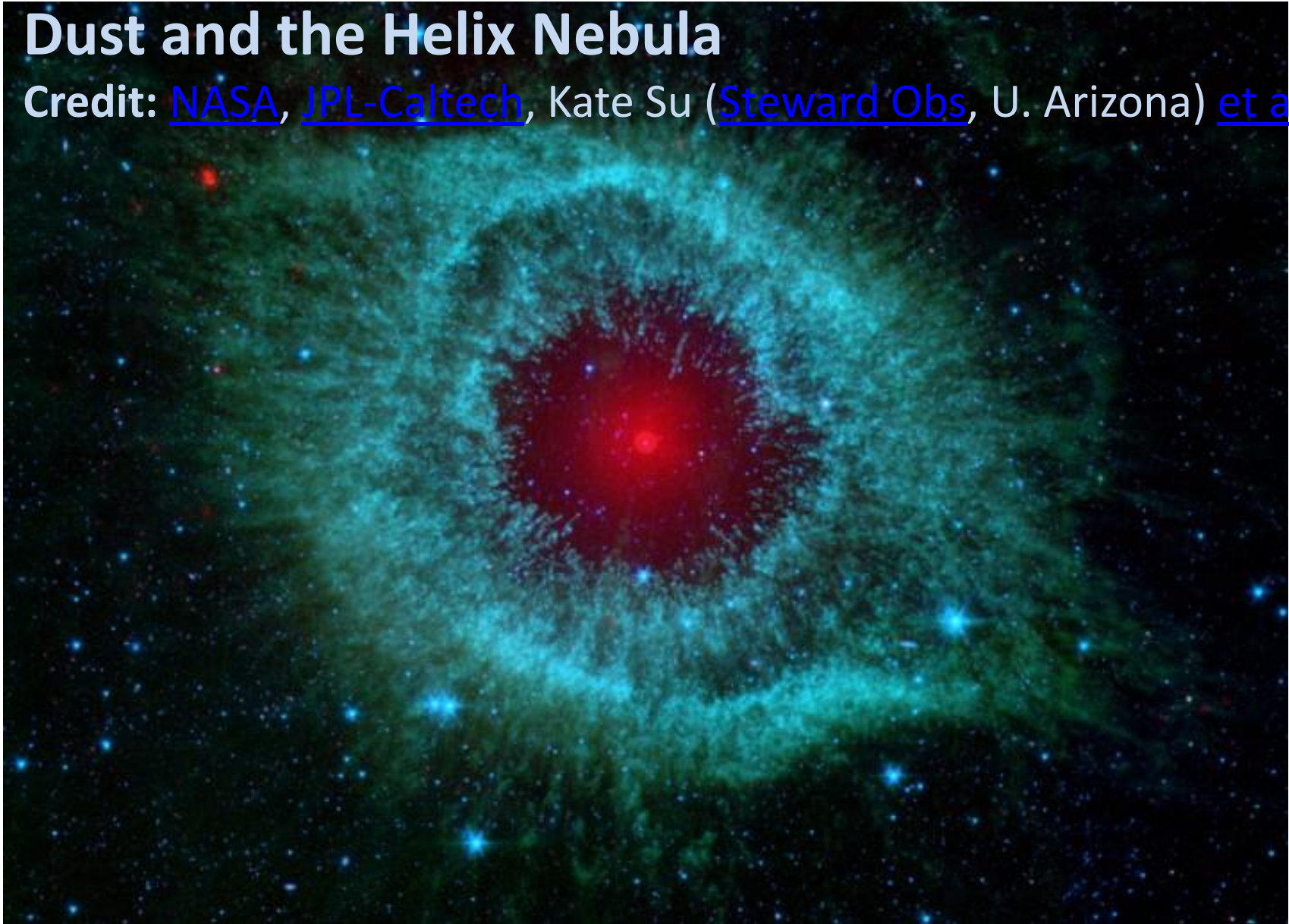
Credit: J. Hora

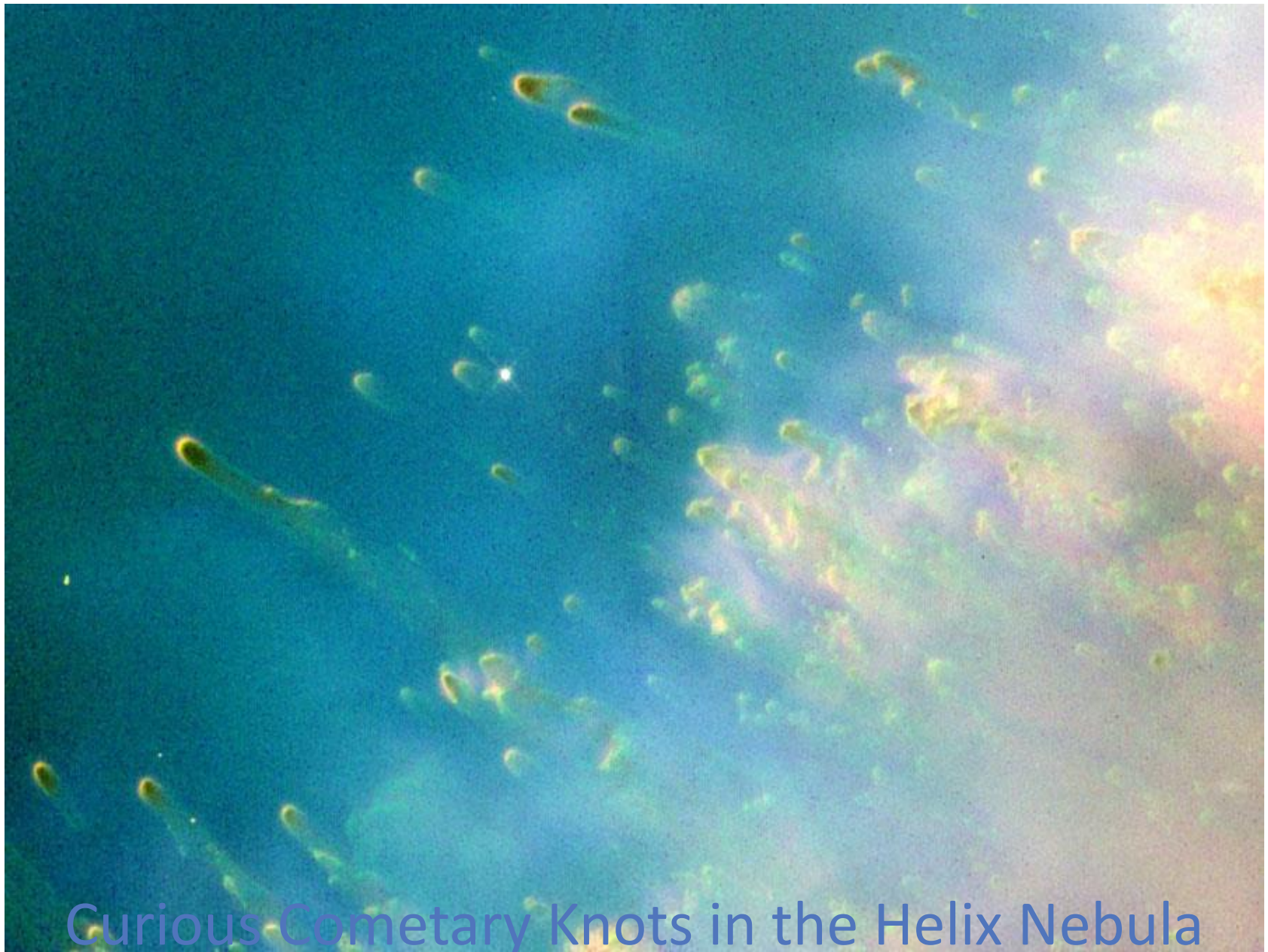
([Harvard-Smithsonian CfA](#)) [et al.](#),
([SSC/Caltech](#)), [JPL-Caltech](#), [NASA](#)



Dust and the Helix Nebula

Credit: [NASA](#), [JPL-Caltech](#), Kate Su ([Steward Obs](#), U. Arizona) [et al.](#)



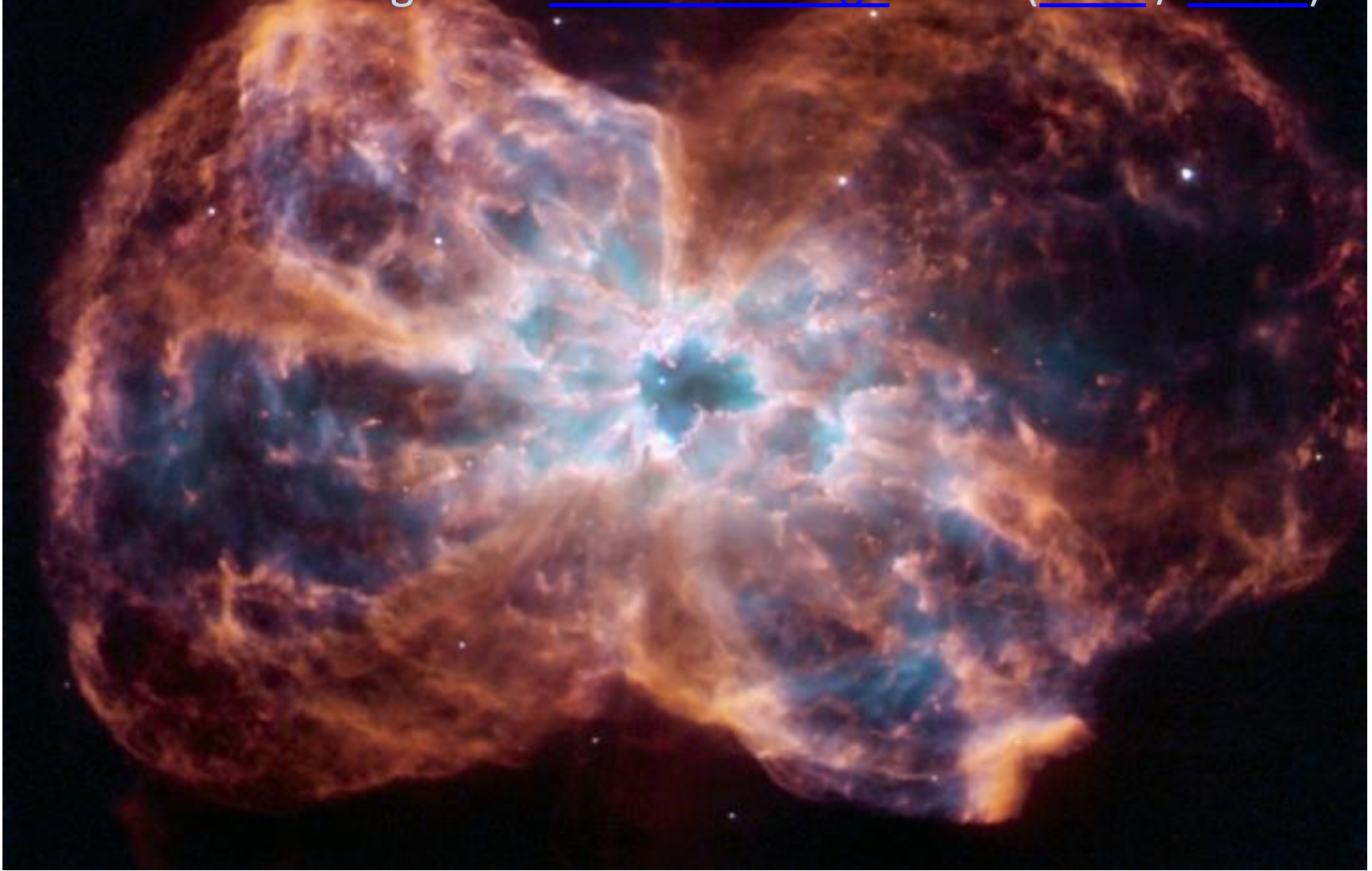


Curious Cometary Knots in the Helix Nebula

Credit: C. R. O'Dell and K. Handron (Rice University), NASA



Planetary Nebula NGC 2440, Credit: [NASA](#), [ESA](#), K. Noll ([STScI](#))
Acknowledgment: [Hubble Heritage](#) Team ([STScI](#) / [AURA](#))



NGC 2440: Cocoon of a New White Dwarf

Credit: H. Bond (STScI), R. Ciardullo (PSU), WFPC2,
HST, NASA



NGC 246 and the Dying Star

Credit: Gemini South GMOS, Travis
Rector (Univ. Alaska)



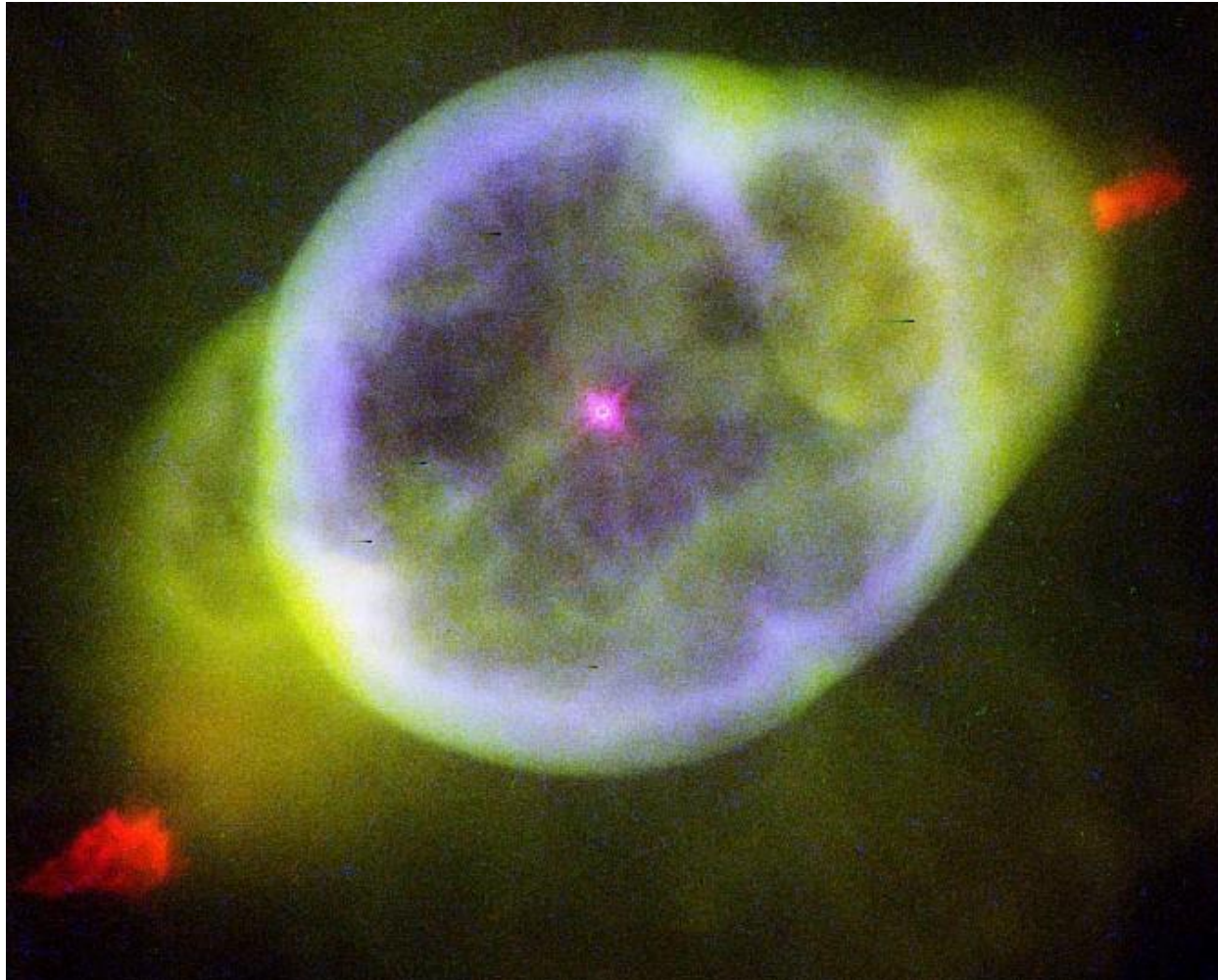
Messier 76

Credit & Copyright: Stefan Seip



NGC 3242: The Ghost of Jupiter

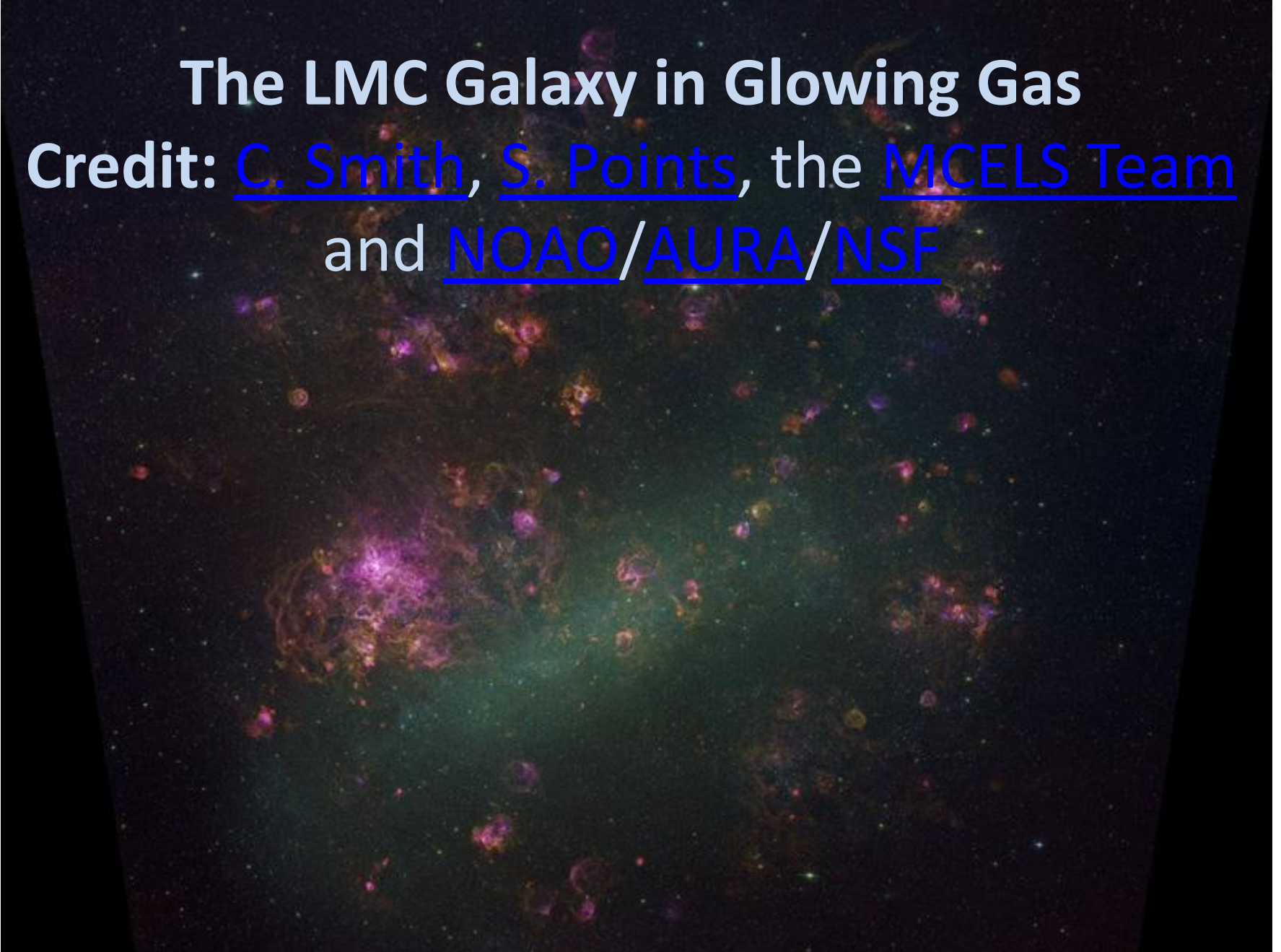
Credit: Bruce Balick (U. Washington) et al., HST, NASA





The LMC Galaxy in Glowing Gas

Credit: [C. Smith](#), [S. Points](#), the [MCELS Team](#)
and [NOAO/AURA/NSF](#)



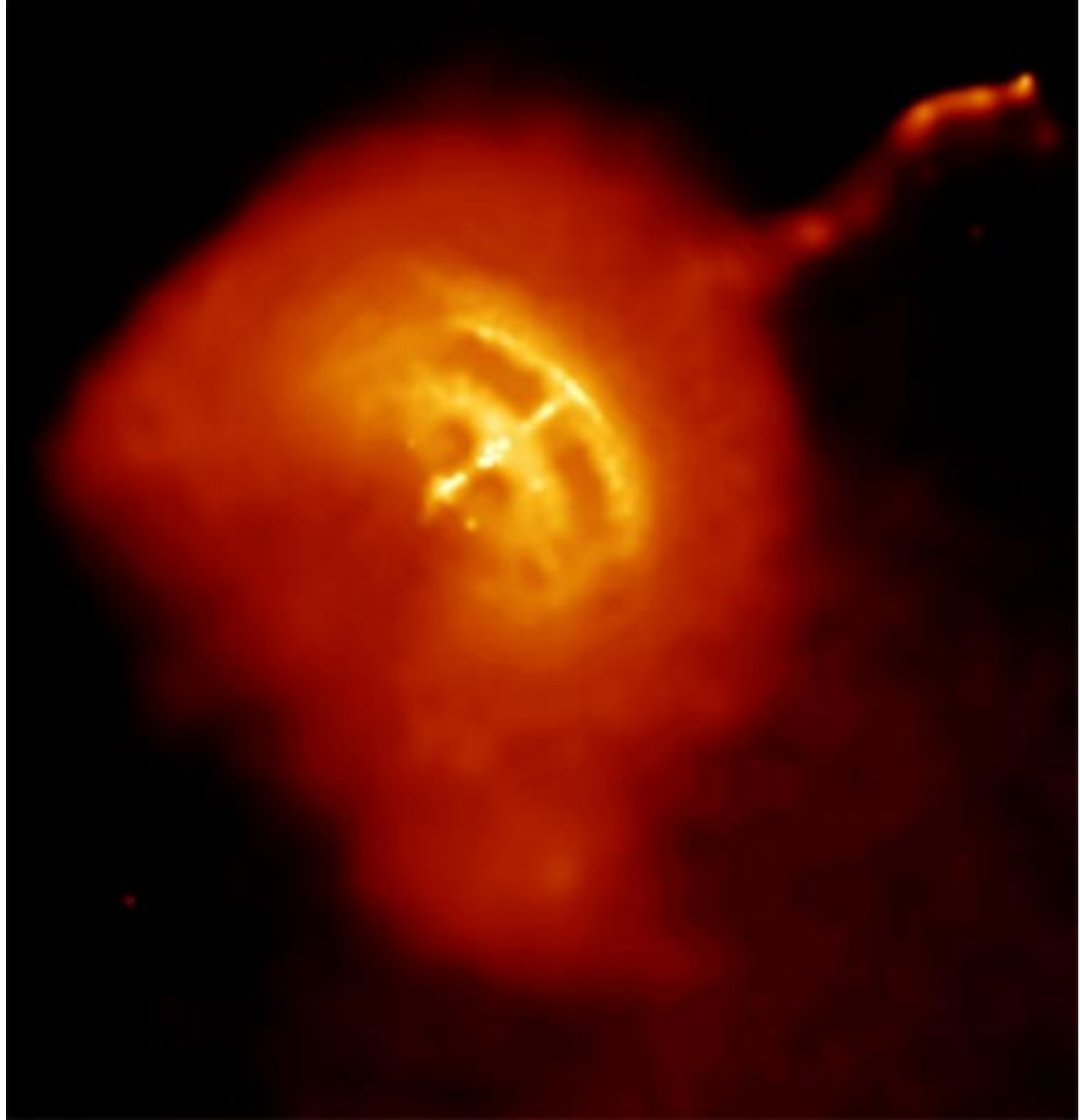




- **Μεγάλα άστρα με μάζα 1,5 έως 3 φορές τη μάζα του Ηλίου θα γίνουν --> ερυθροί υπεργίγαντες --> υπερκαινοφανείς (Supernova) --> αστέρες νετρονίων (Pulsar για ένα χρονικό διάστημα)**

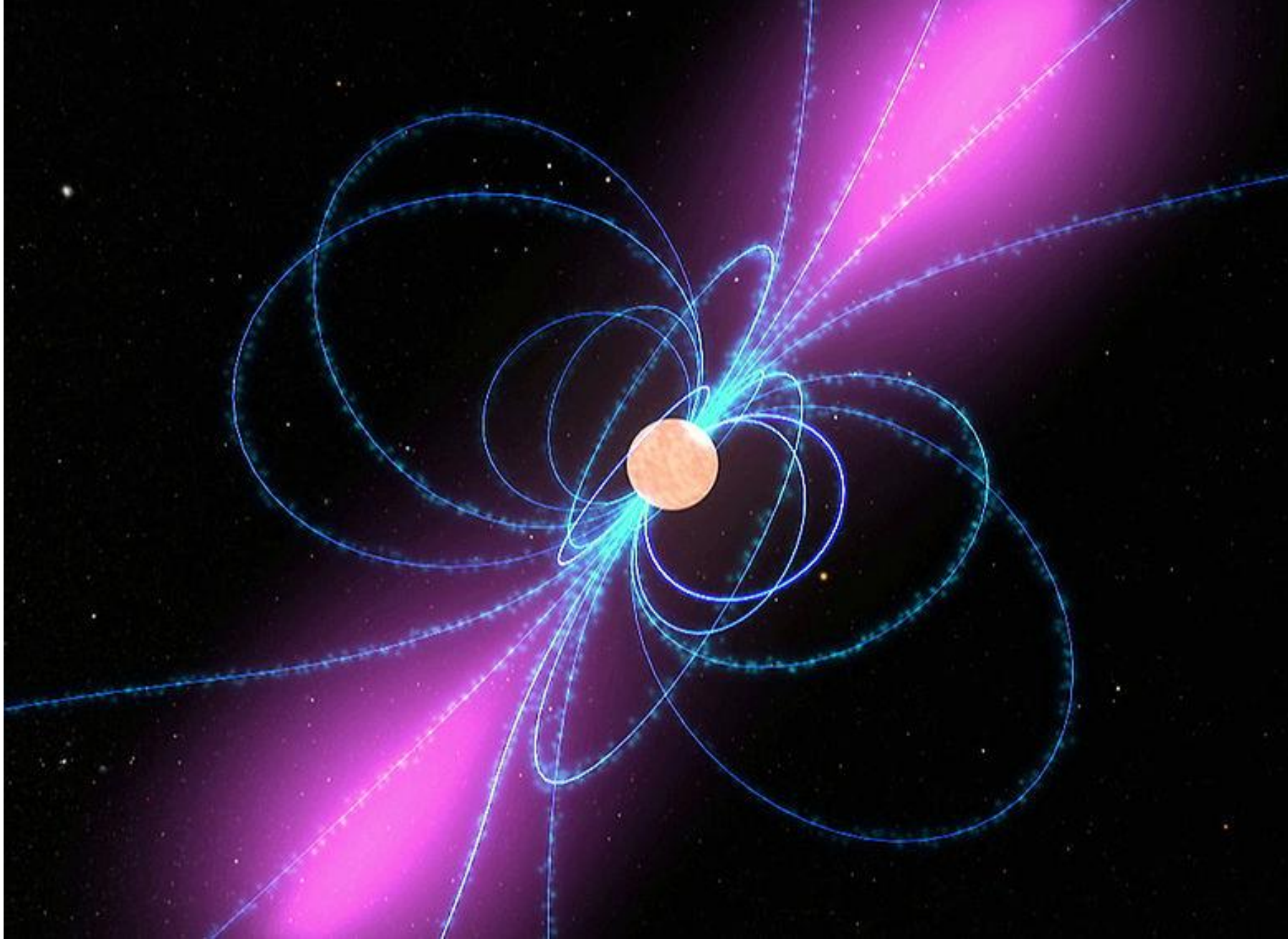


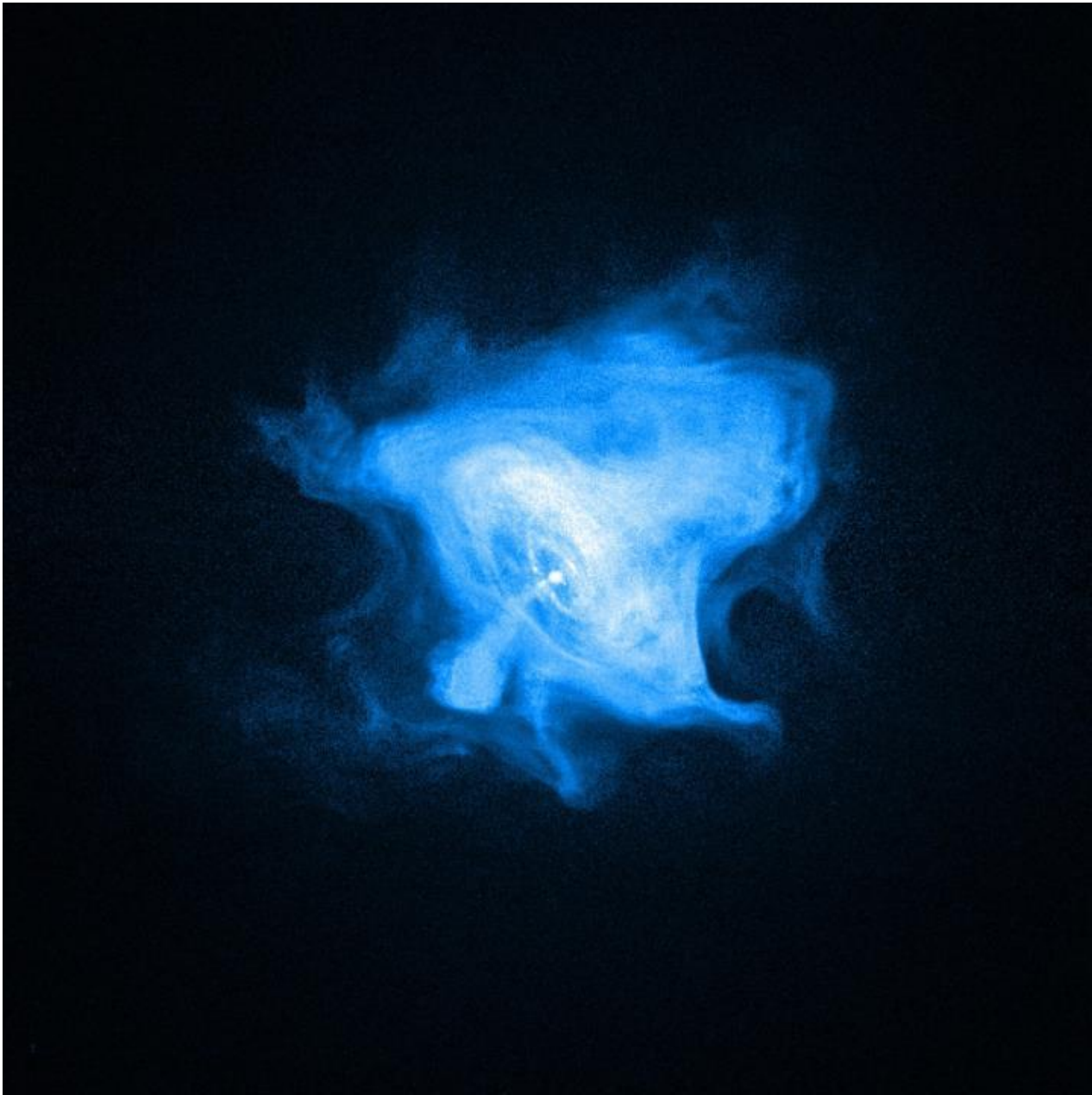


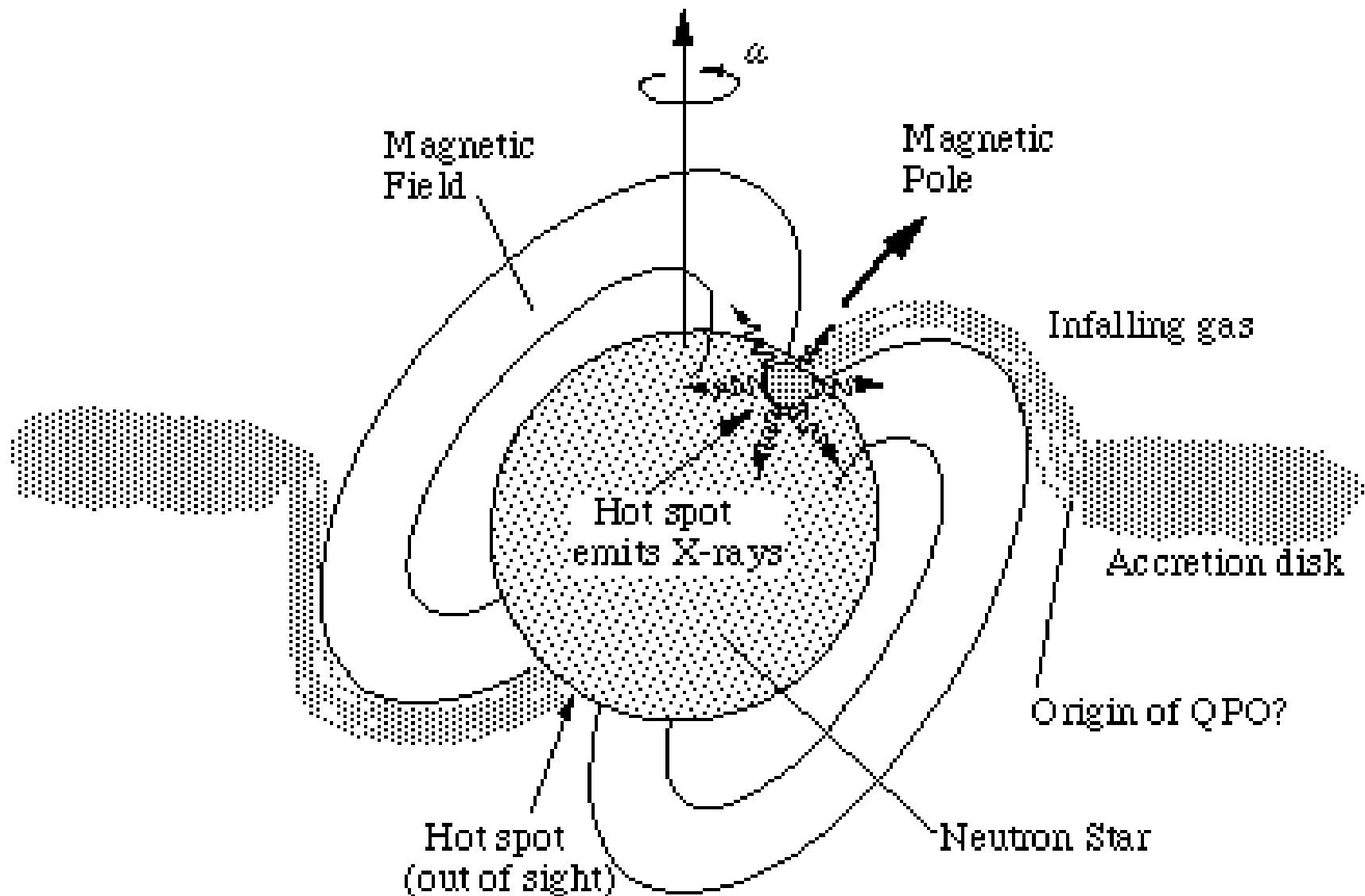


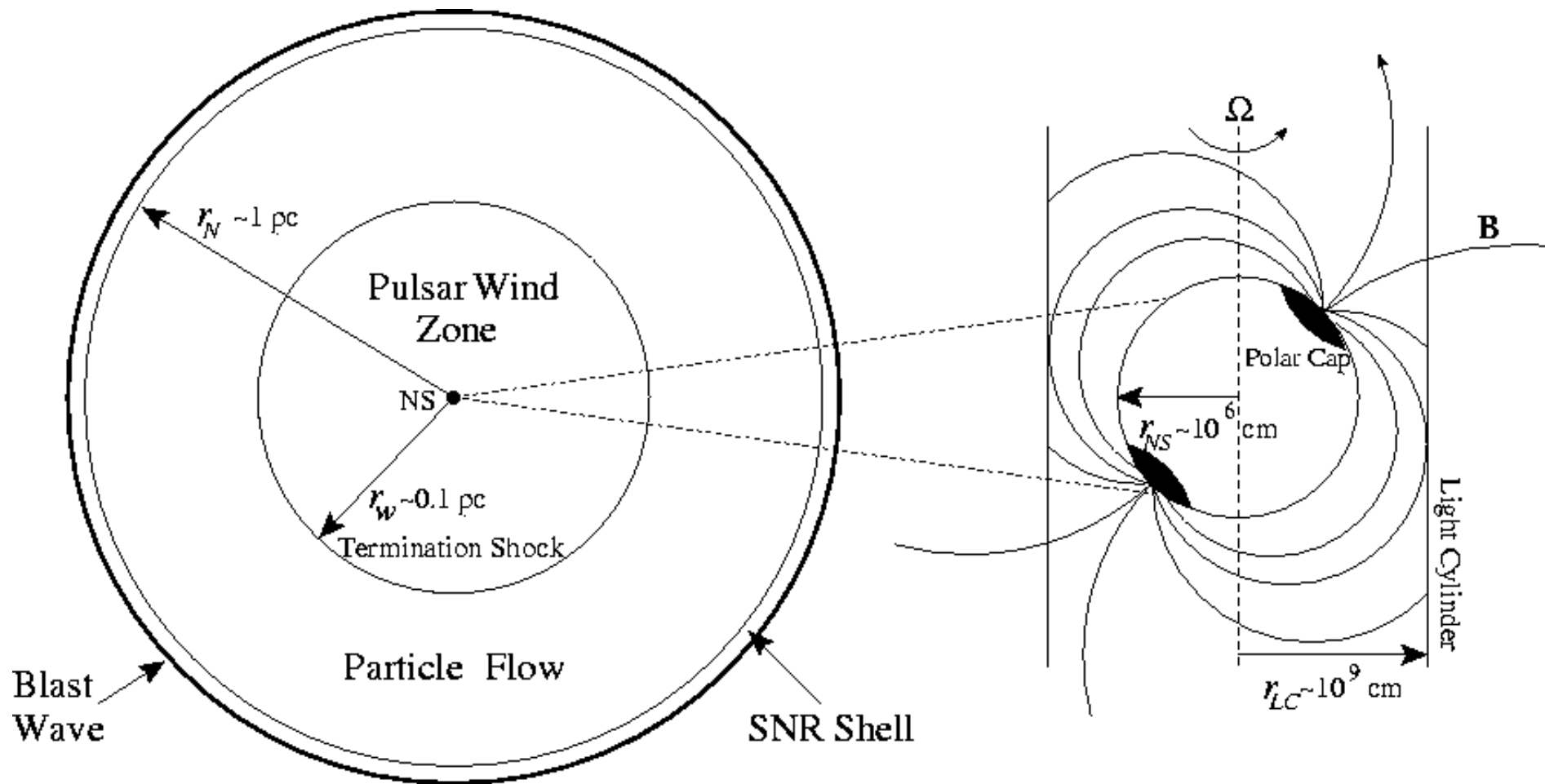


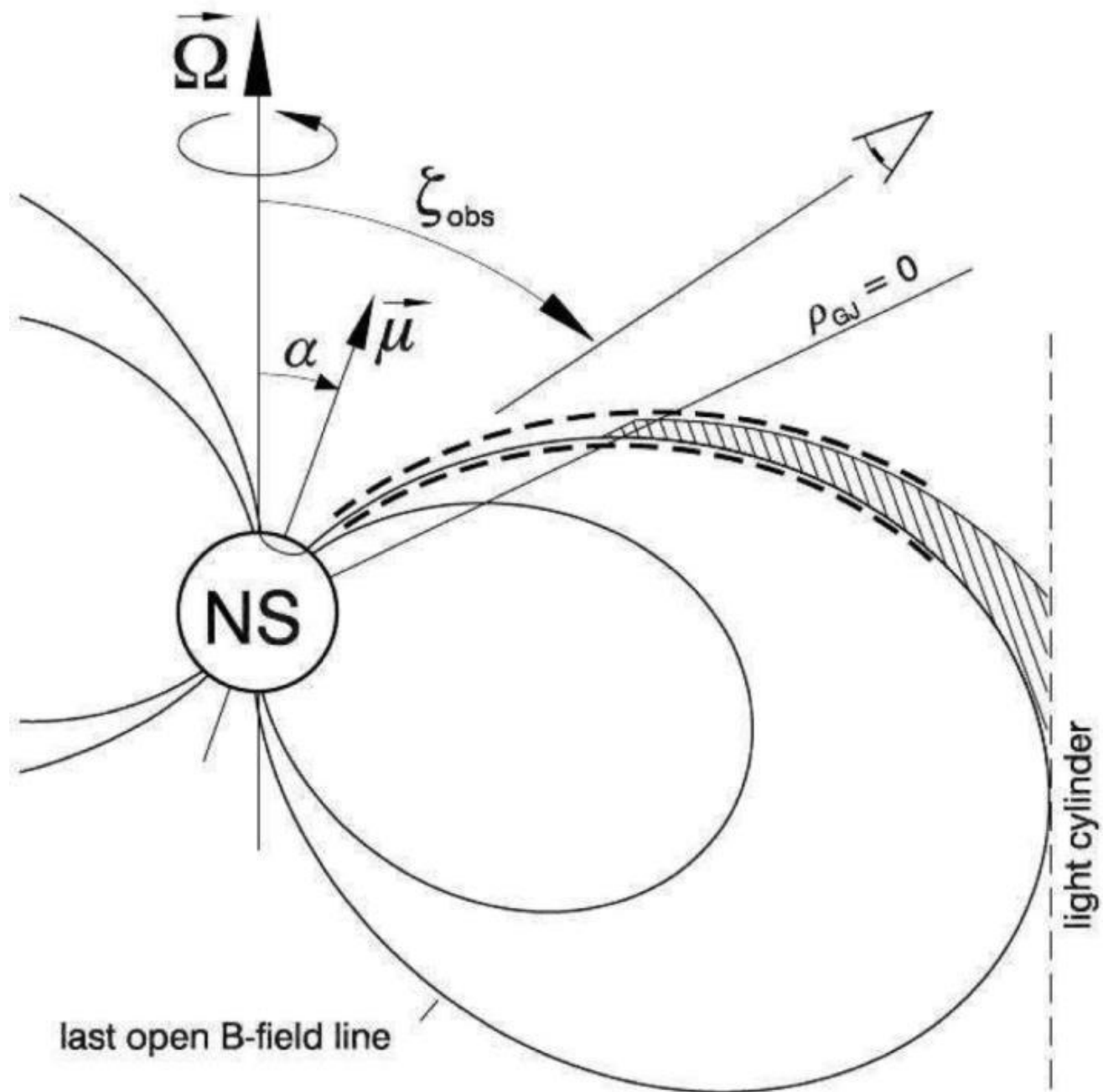


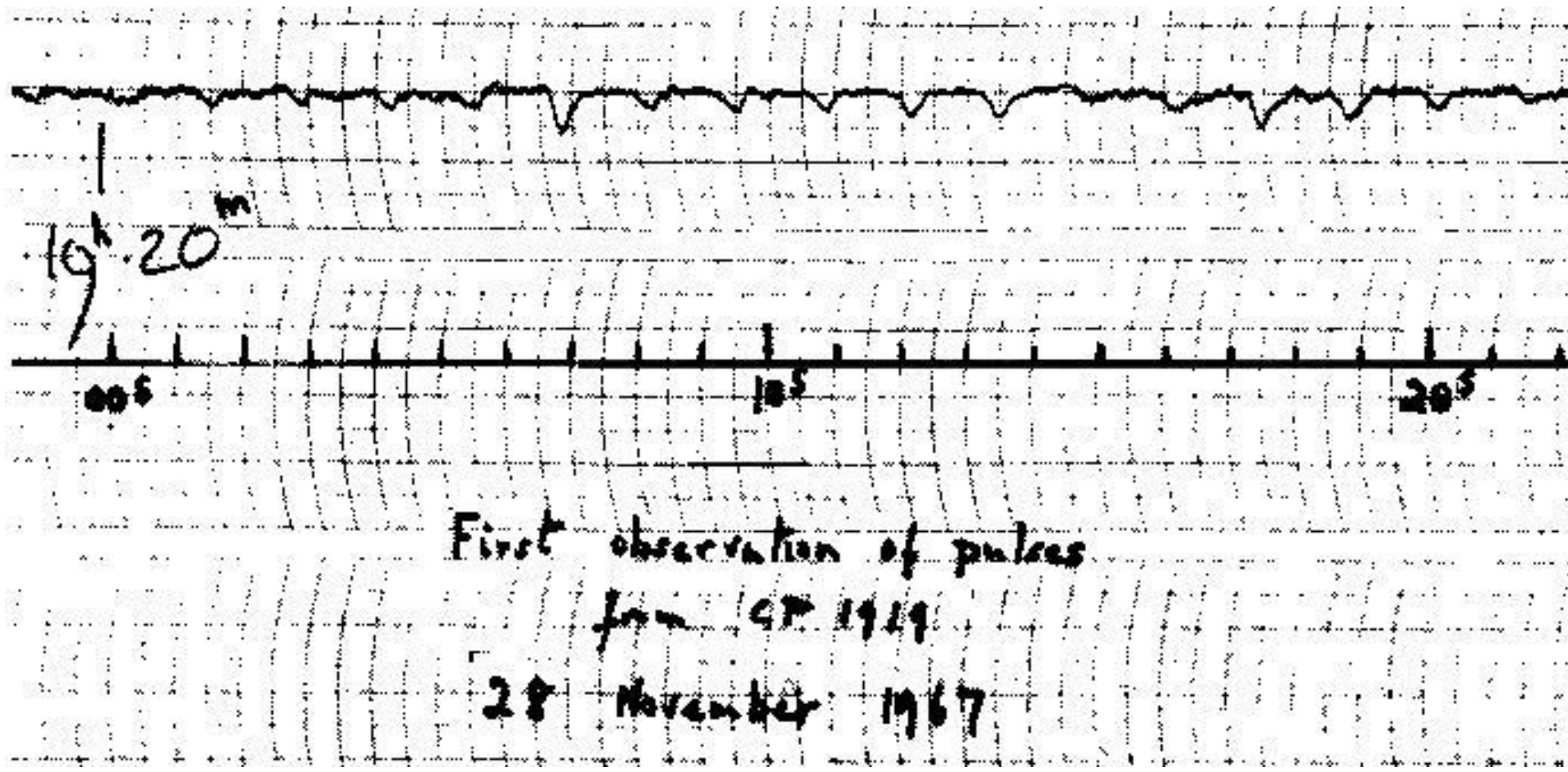








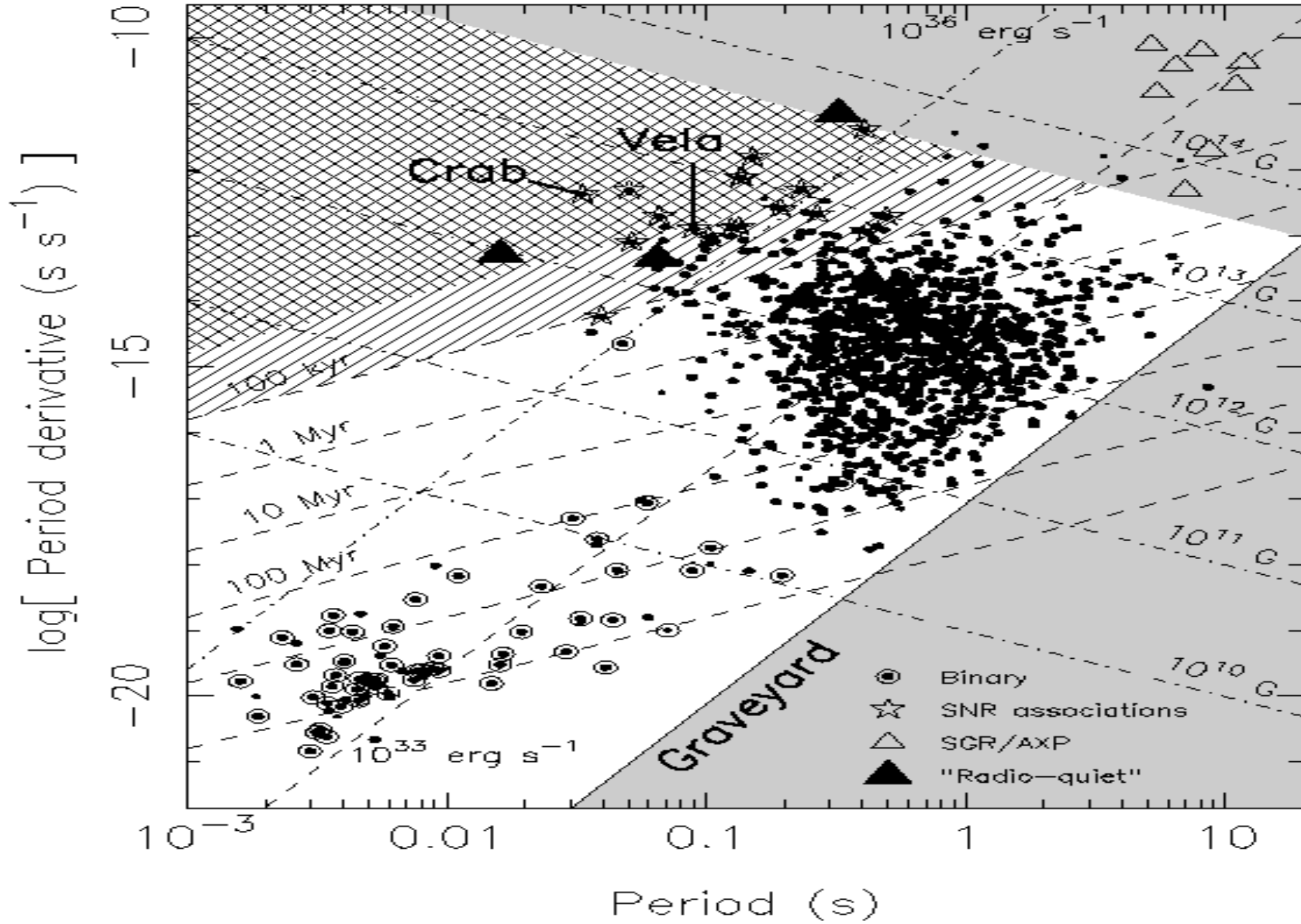






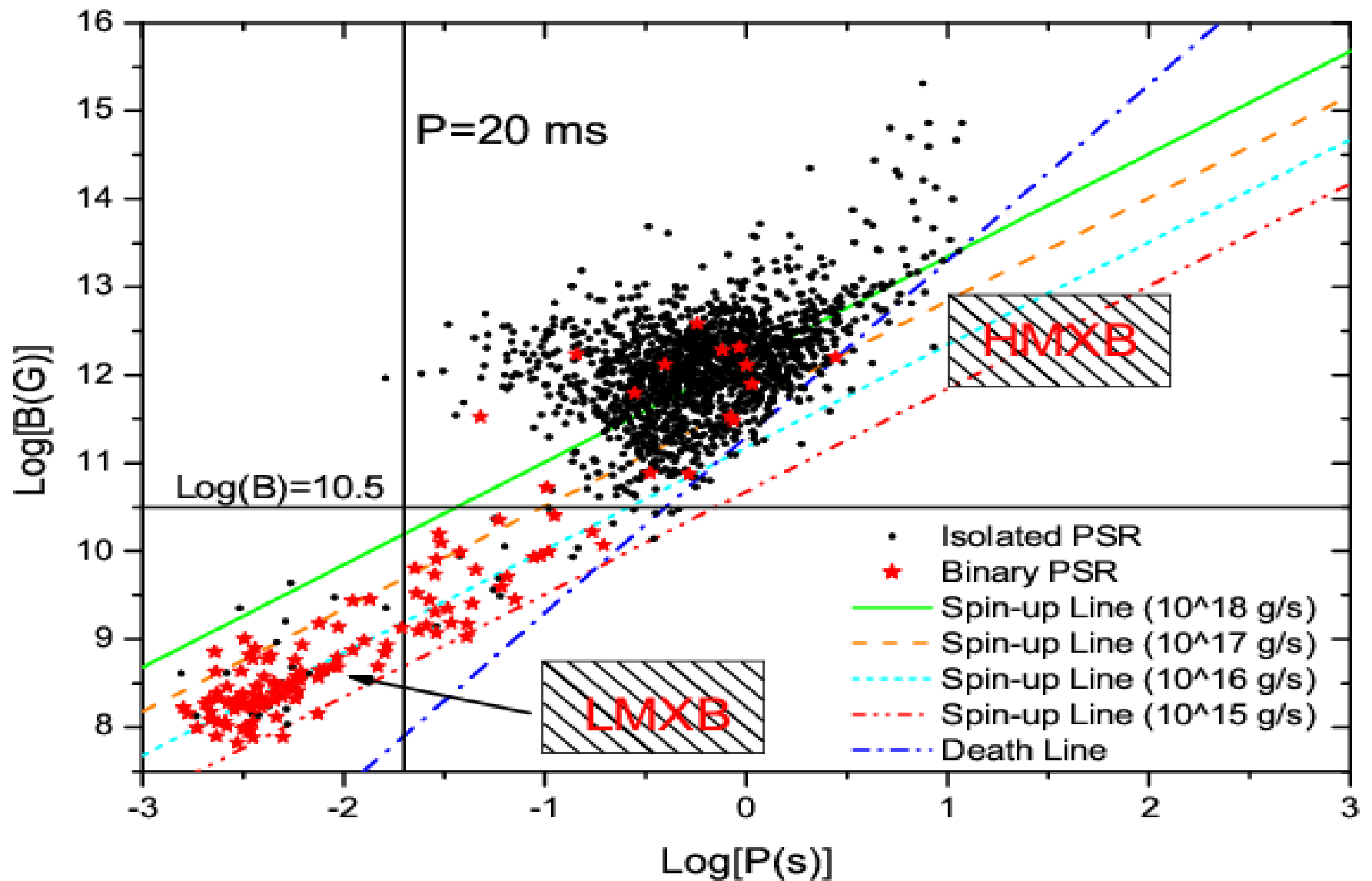
Credit: [J. Hester \(ASU\)](#), [CXC](#), [HST](#), [NRAO](#), [NSF](#), [NASA](#)





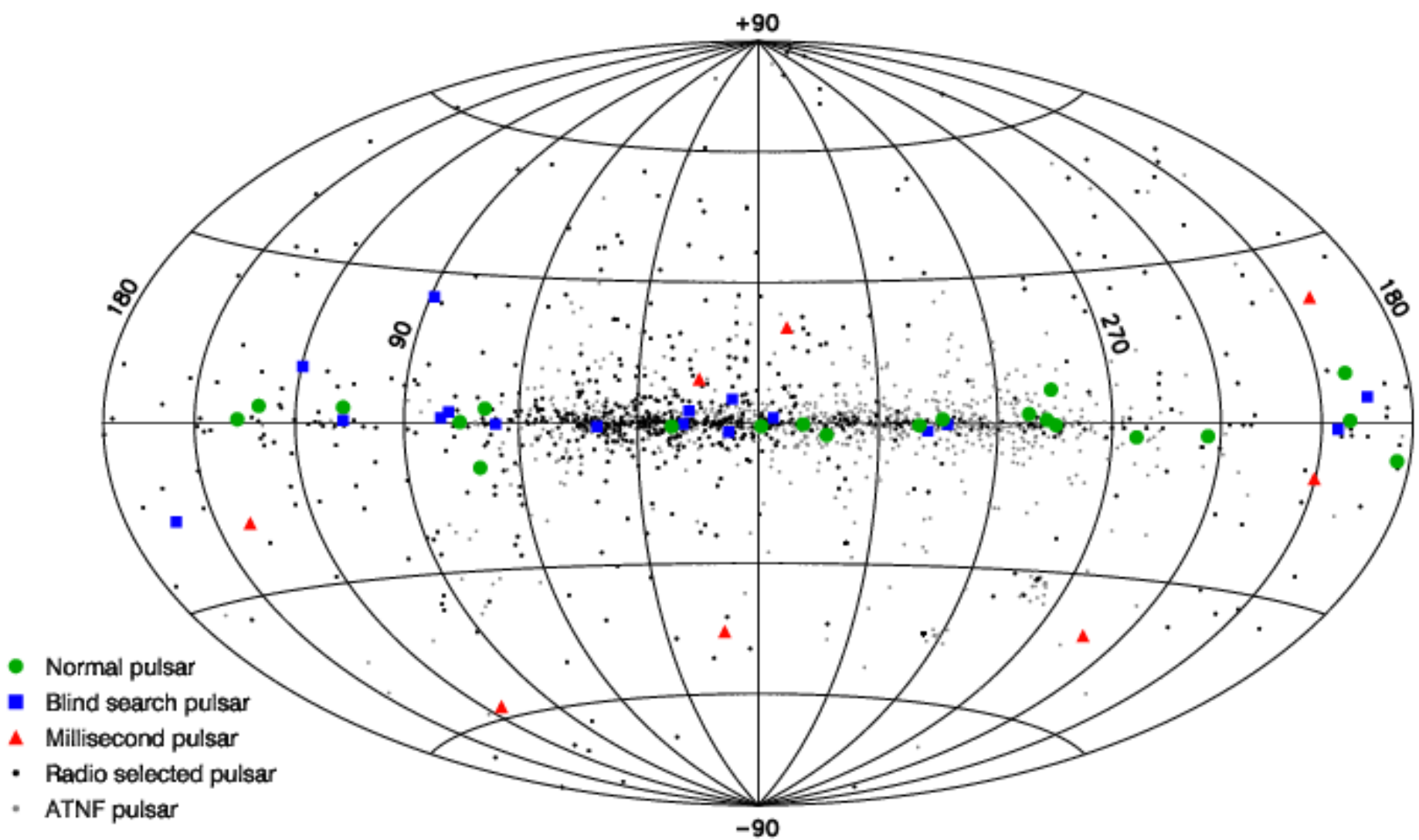
Taken from "Handbook of Pulsar Astronomy" by Lorimer & Kramer





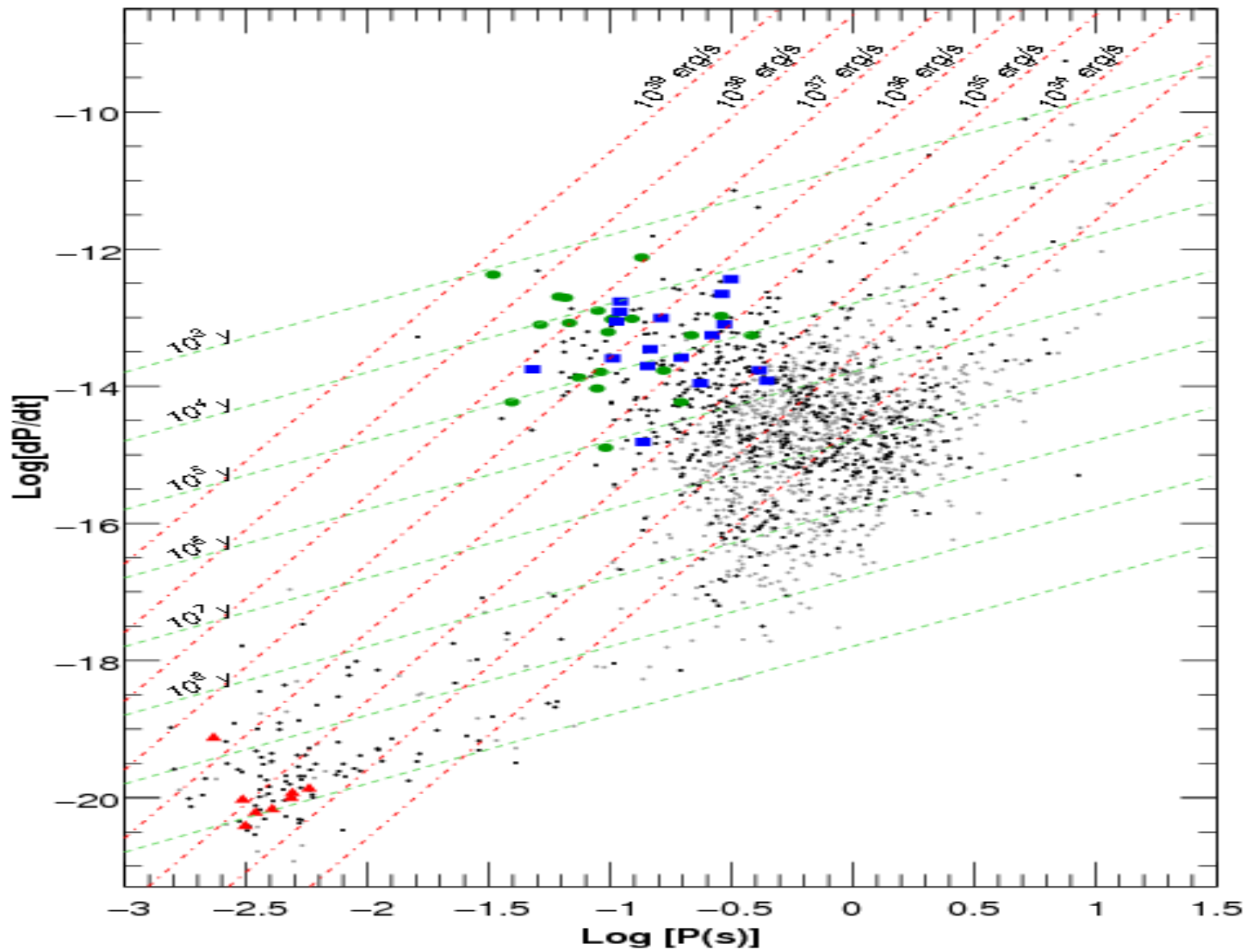
Binary Pulsars in Magnetic Field versus Spin Period Diagram

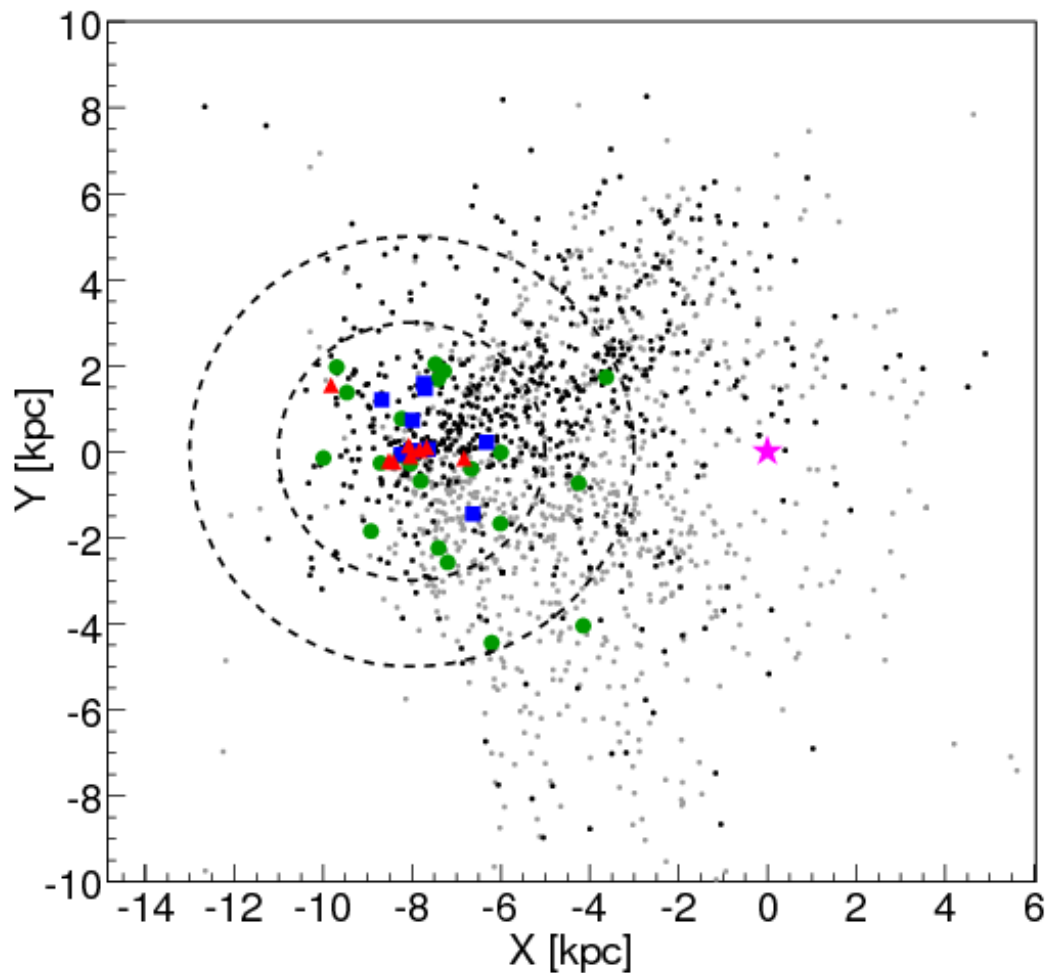
Pan Yuanyue (Xinjiang U.), Wang Na, Zhang Chengmin, [10.1007/s10509-013-1432-3 arXiv:1304.2489](https://arxiv.org/abs/1304.2489)



[The First Fermi Large Area Telescope Catalog of Gamma-ray Pulsars](#) [Fermi LAT](#)
[Abdo, A.A.](#)

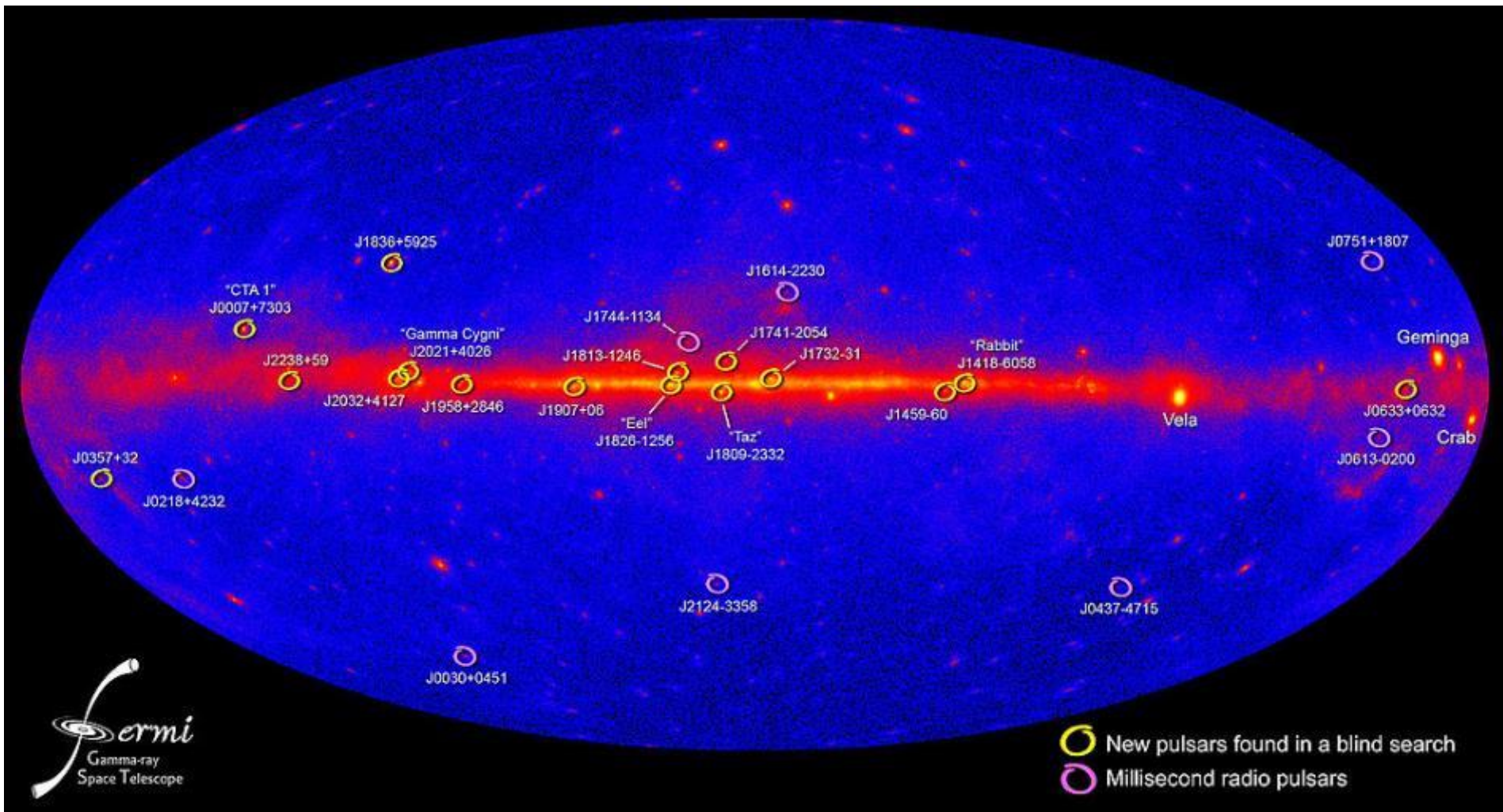






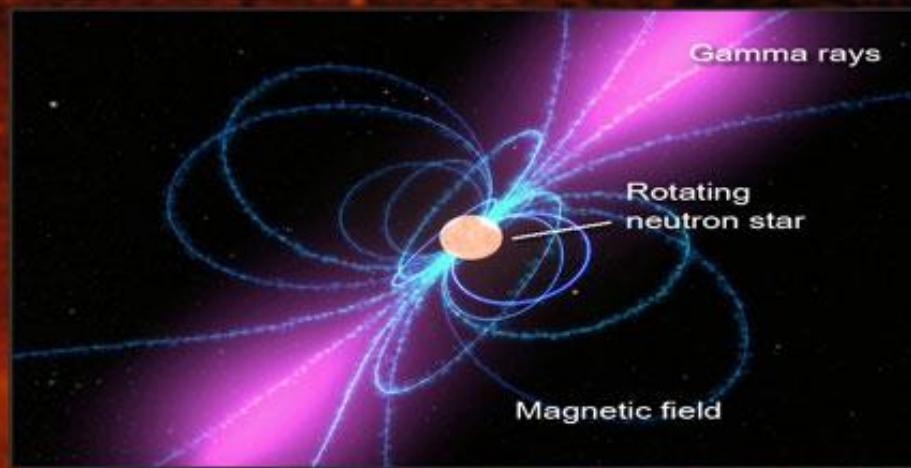
[The First Fermi Large Area Telescope Catalog of Gamma-ray Pulsars](#) - [Fermi LAT Collaboration](#) ([Abdo, A.A. et al.](#)) *Astrophys.J.Suppl.* 187 (2010) 460-494, Erratum-ibid. 193 (2011) 22 arXiv:0910.1608 [astro-ph.HE] SLAC-PUB-14907
 Η κατανομή των pulsar στο Γαλαξιακό επίπεδο





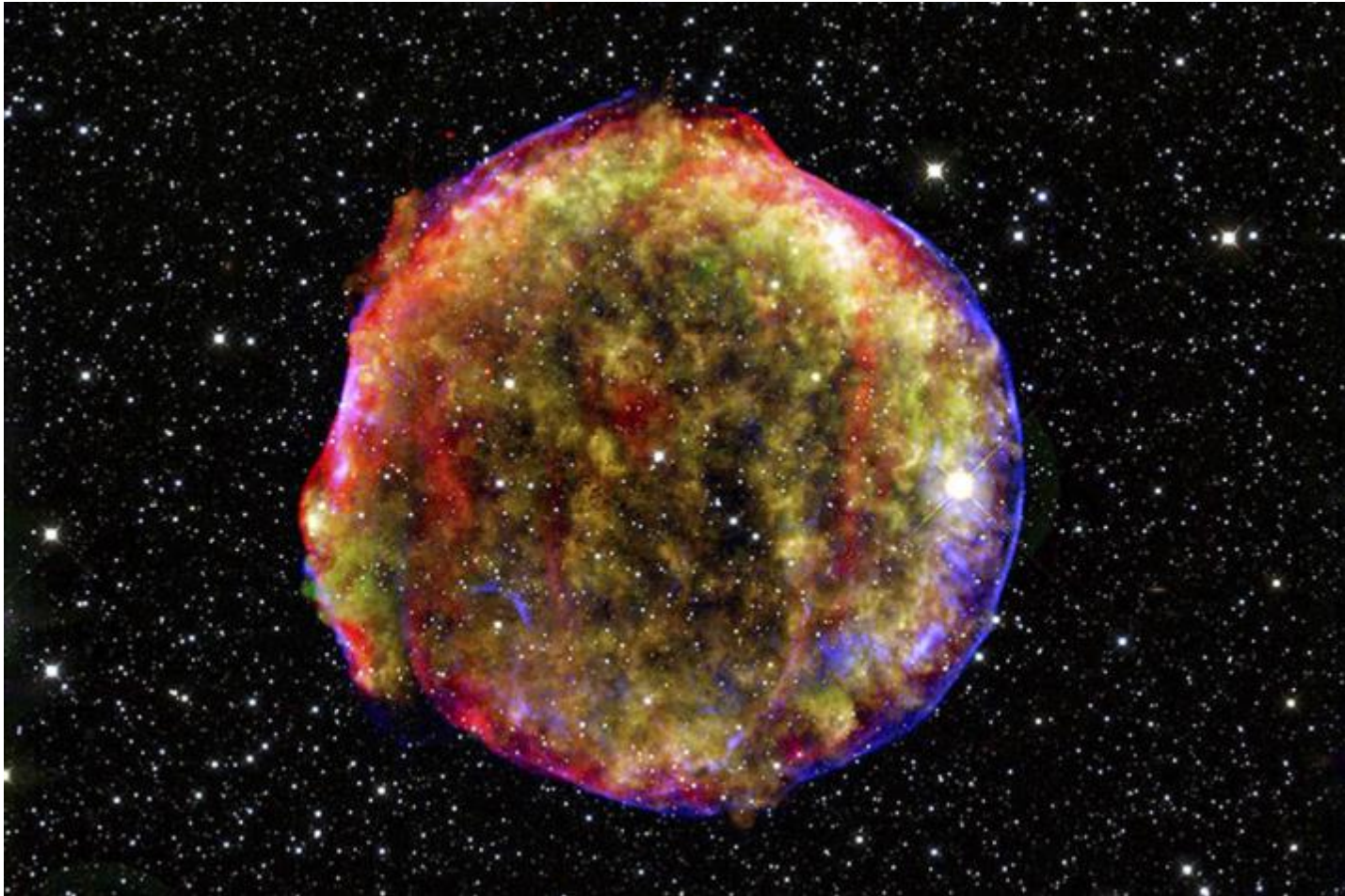
A Dark Pulsar in CTA 1

Credit: [NASA](#), [S. Pineault](#) ([DRAO](#))



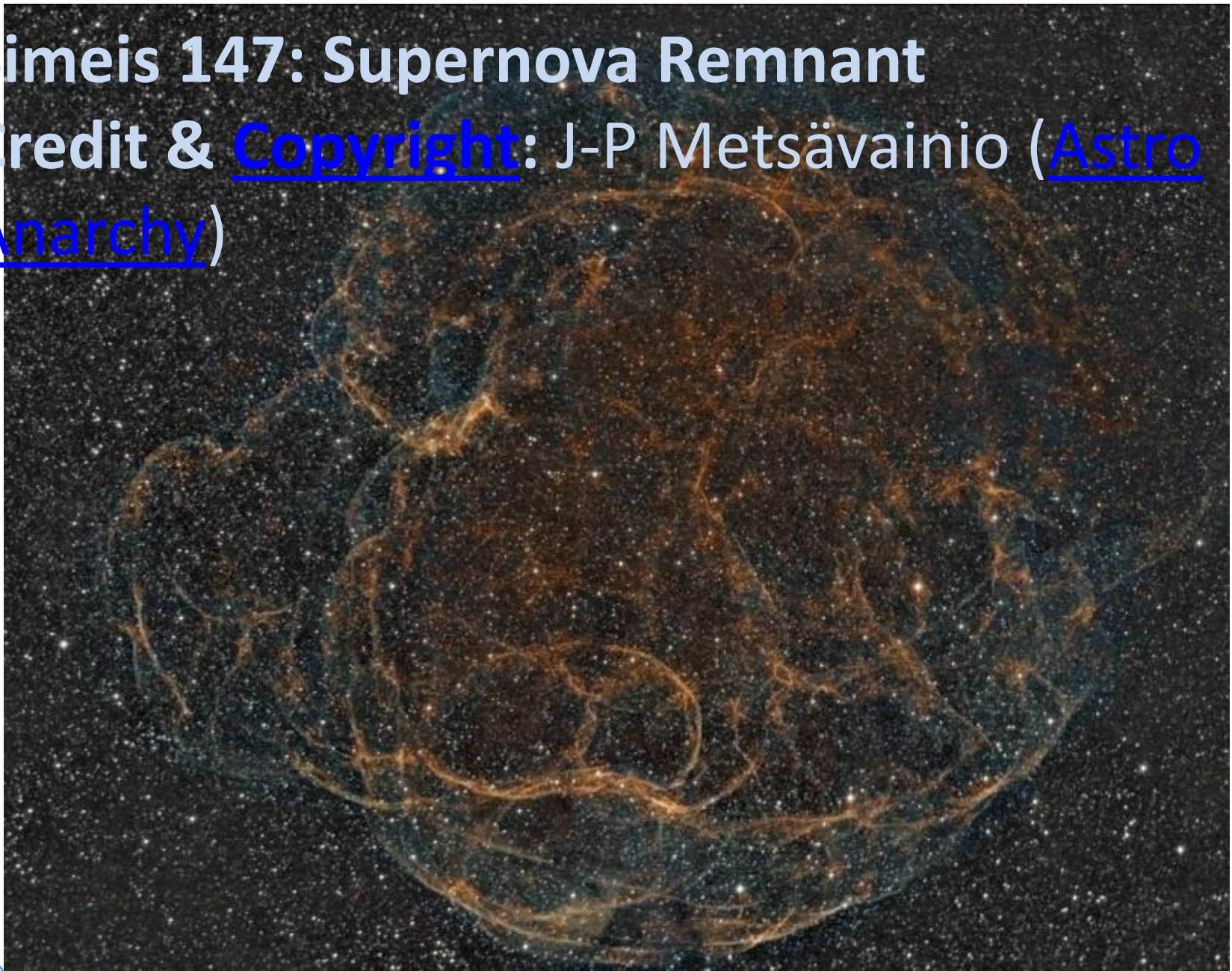
Tycho's Supernova Remnant

Credit: X-ray: NASA/CXC/SAO; Infrared: NASA/JPL-Caltech; Optical: MPIA, Calar Alto, O. Krause et al.



Simeis 147: Supernova Remnant

Credit & [Copyright](#): J-P Metsävainio ([Astro Anarchy](#))



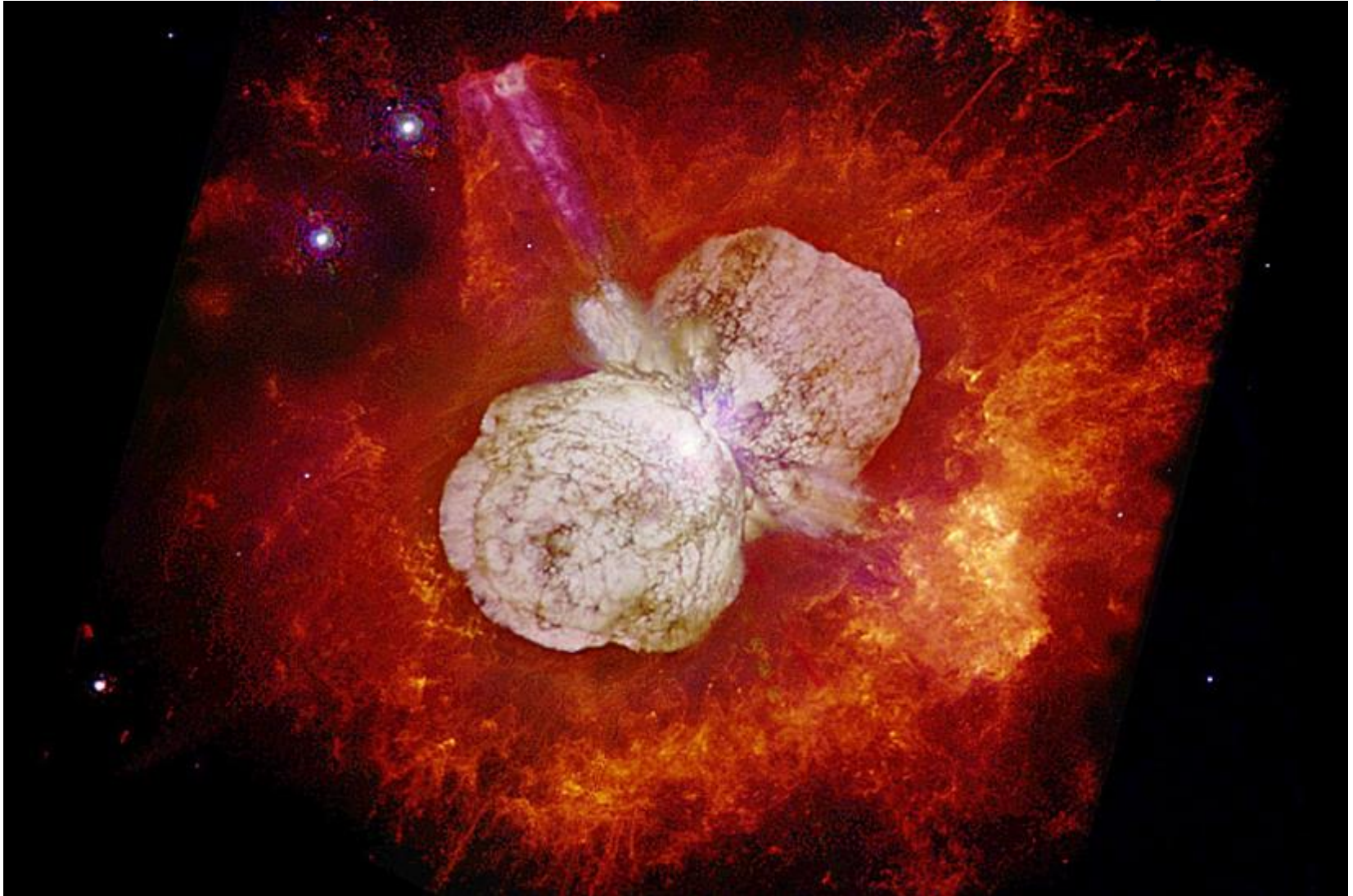
SN 1006 Supernova Remnant

Image Credit: [NASA](#), [ESA](#), Zolt Levay ([STScI](#))



Eta Carinae and the Homunculus Nebula

Credit: N. Smith, J. A. Morse (U. Colorado) et al., NASA



M1: The Crab Nebula from Hubble

Image Credit: NASA, ESA, J. Hester, A. Loll (ASU);

Acknowledgement: Davide De Martin (Skyfactory)

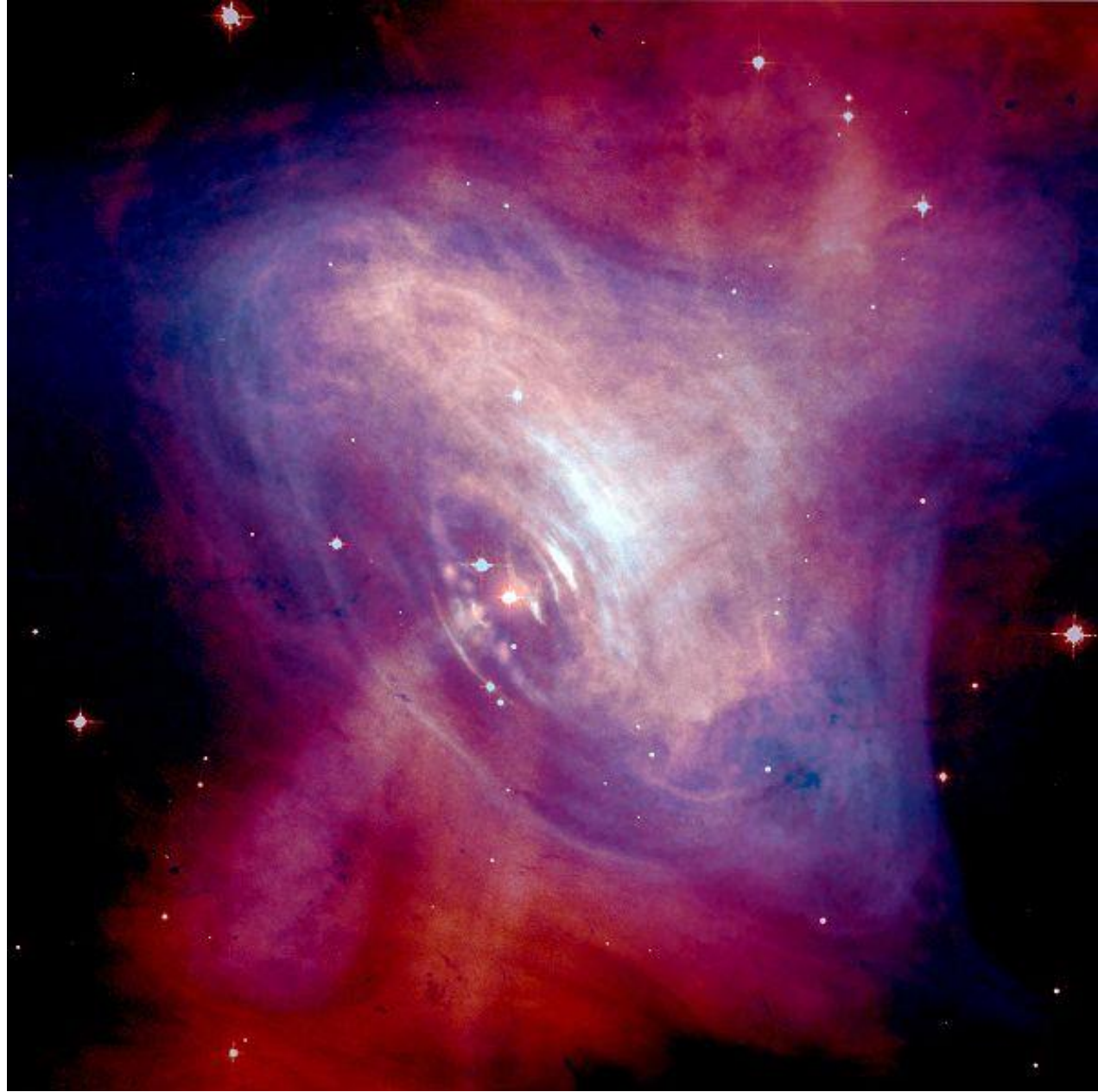


Composite Crab

Credit: [NASA](#) - X-ray: [CXC](#), J.Hester ([ASU](#)) et al.;
Optical: [ESA](#), J.Hester and A.Loll (ASU); Infrared:
[JPL-Caltech](#), R.Gehrz ([U. Minn](#))



The Crab Pulsar. This image combines optical data from Hubble (in red) and X-ray images from Chandra X-ray Observatory (in blue).



The Mysterious Rings of Supernova 1987A

Credit: ([ESA/ STScI](#)), [HST](#), [NASA](#)



- Γίγαντες αστέρες με μάζα > 3 φορές τη μάζα του Ηλίου θα γίνουν ερυθροί υπεργίγαντες --
> υπερκαινοφανείς (Supernova) --> μελανές οπές



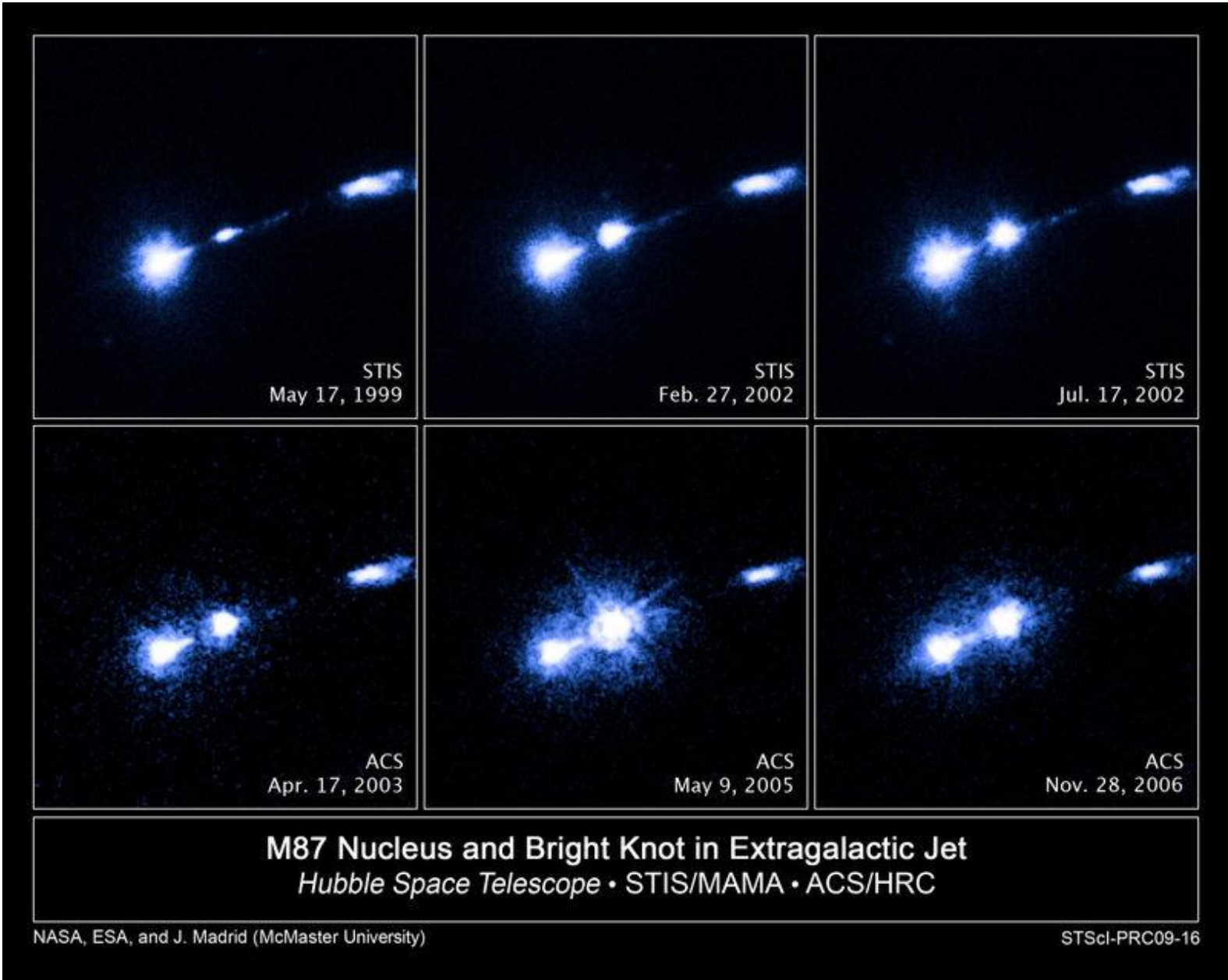
Μαύρες τρύπες

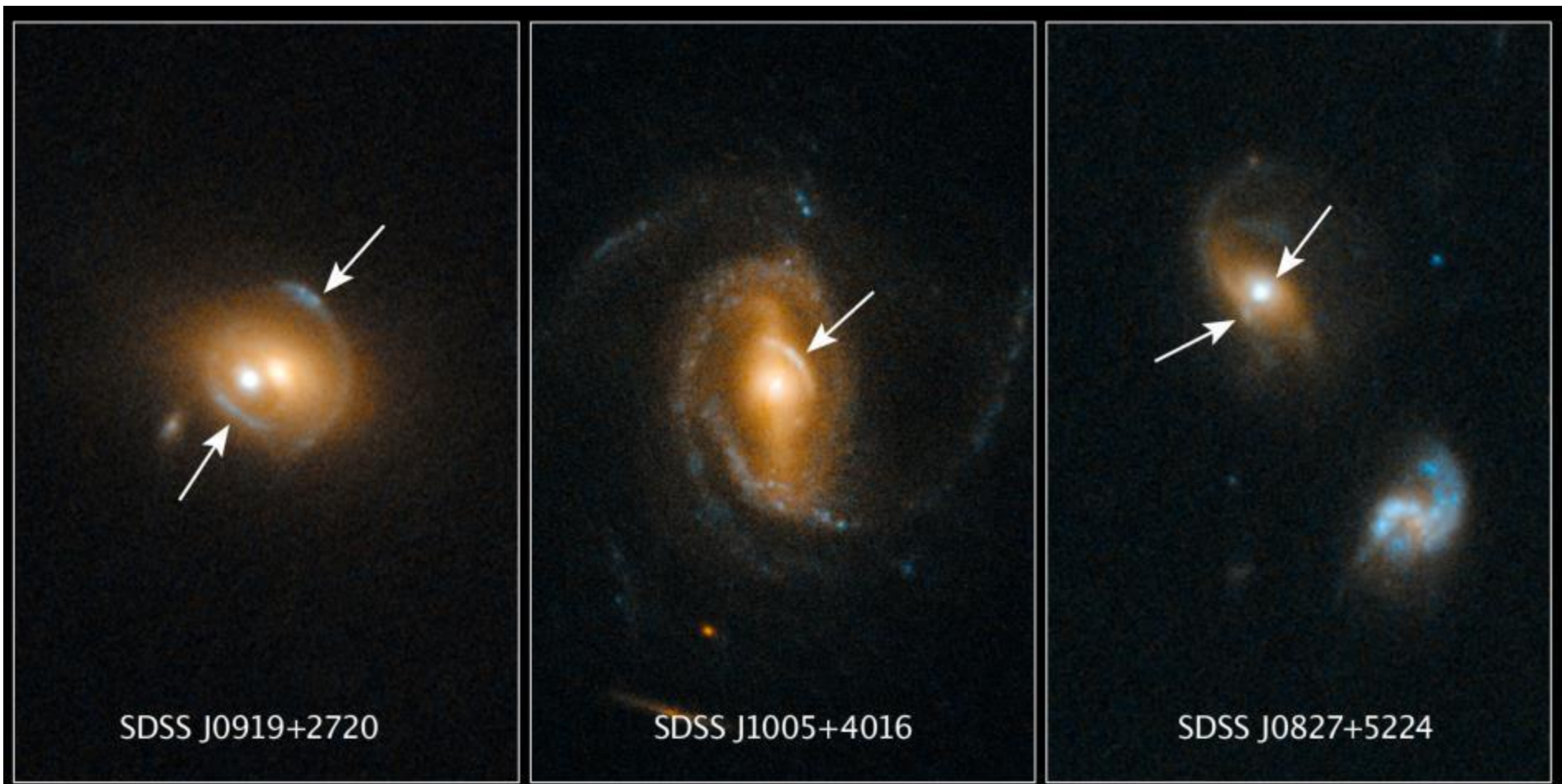
συγκέντρωση μεγάλης ποσότητας μάζας ώστε η βαρύτητα να μην επιτρέπει να διαφεύγει τίποτε, ούτε φως.

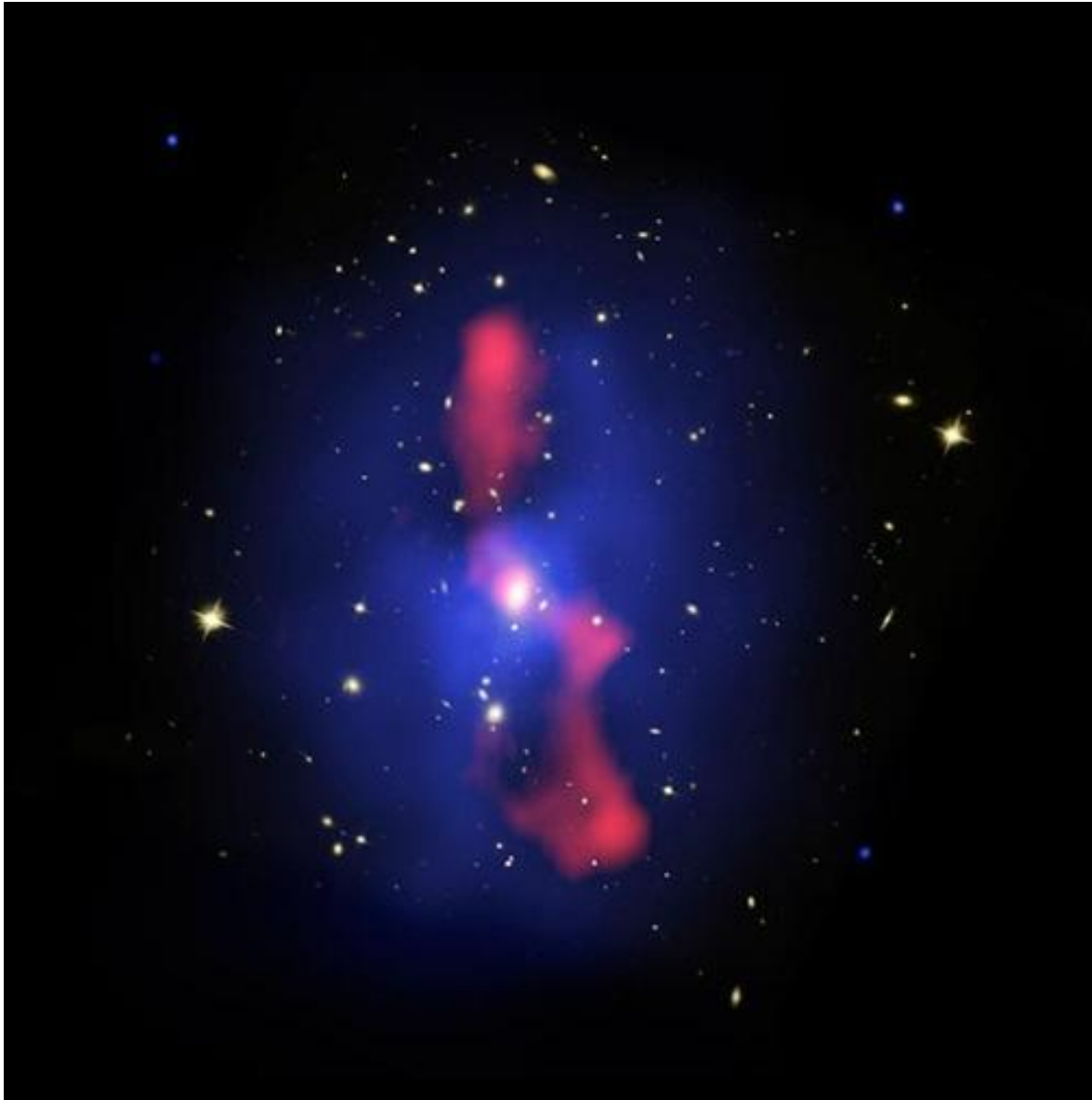
Θεωρητικά εκτιμάται ότι τέτοια διεργασία είναι δυνατό να γίνεται με κβαντική διεργασία

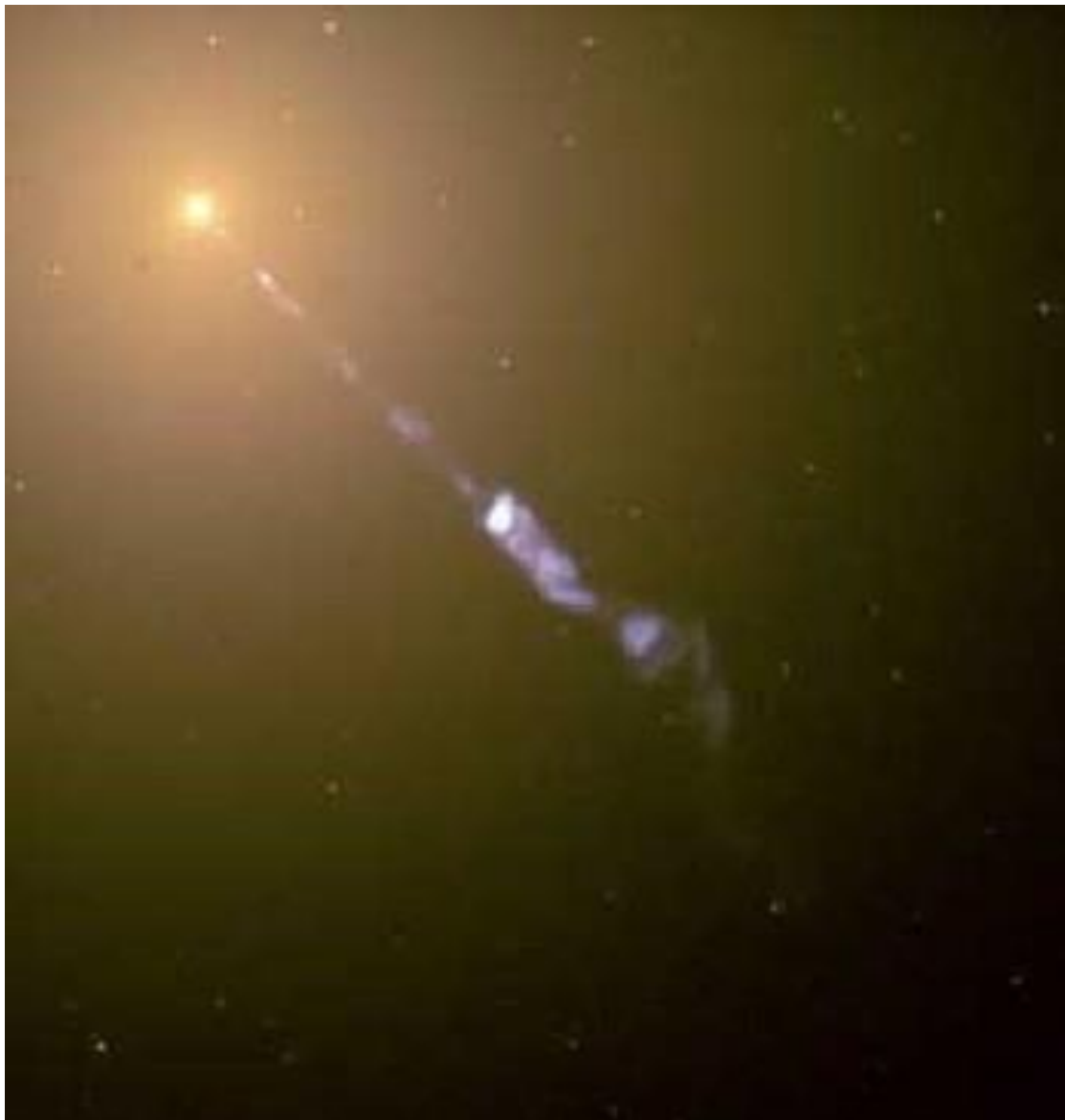
- The basic concept is not new and, in a sense, dates back to the suggestion made in 1783 by John Michell and in 1798 by Pierre Laplace that there might exist in the universe massive bodies which would be quite invisible because the force of gravity at their surfaces would be too great to allow light to escape.







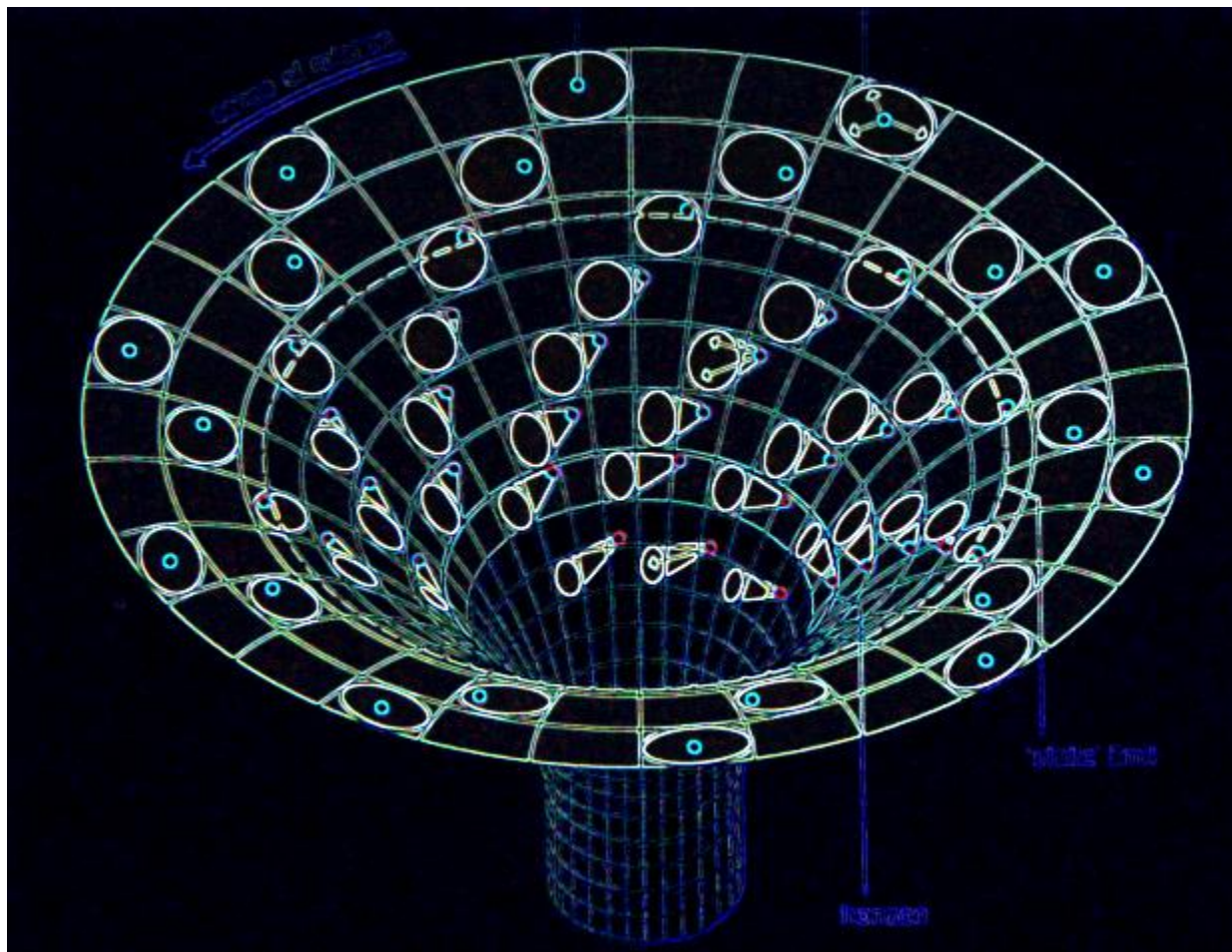




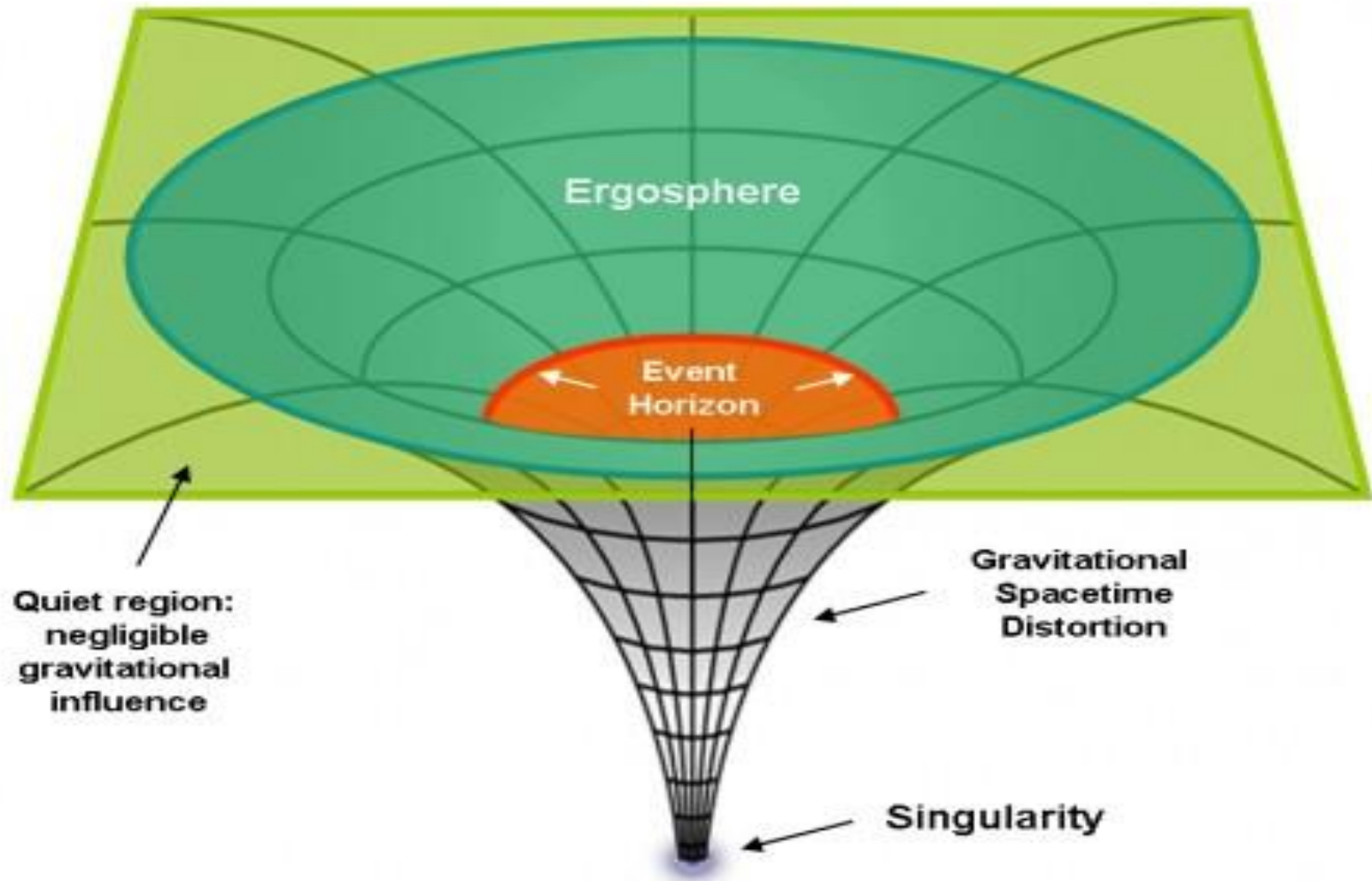




Μαύρη τρύπα



Black Hole Regions



Μαύρη τρύπα

- η ταχύτητα διαφυγής σε κάποια απόσταση από το κέντρο γίνεται ίση με την ταχύτητα του φωτός,
- Στην απόσταση αυτή βρίσκεται ο ορίζοντας γεγονότων
- μέσα σε αυτόν ύλη και ενέργεια καταρρέουν σε μοναδικό σημείο,
- σχηματίζουν μοναδικότητα.



μαύρες τρύπες

Προβλέπονται:

- από την Γενική θεωρία της Σχετικότητας
- Και από την κλασική μηχανική



- Το υλικό που πέφτει στις μαύρες τρύπες χαρακτηρίζεται μόνο από την μάζα και το φορτίο της ύλης που εισήλθε
- Δεν διατηρούνται τα σωμάτια
- Χάνεται όλη η πληροφορία



Karl Schwarzschild

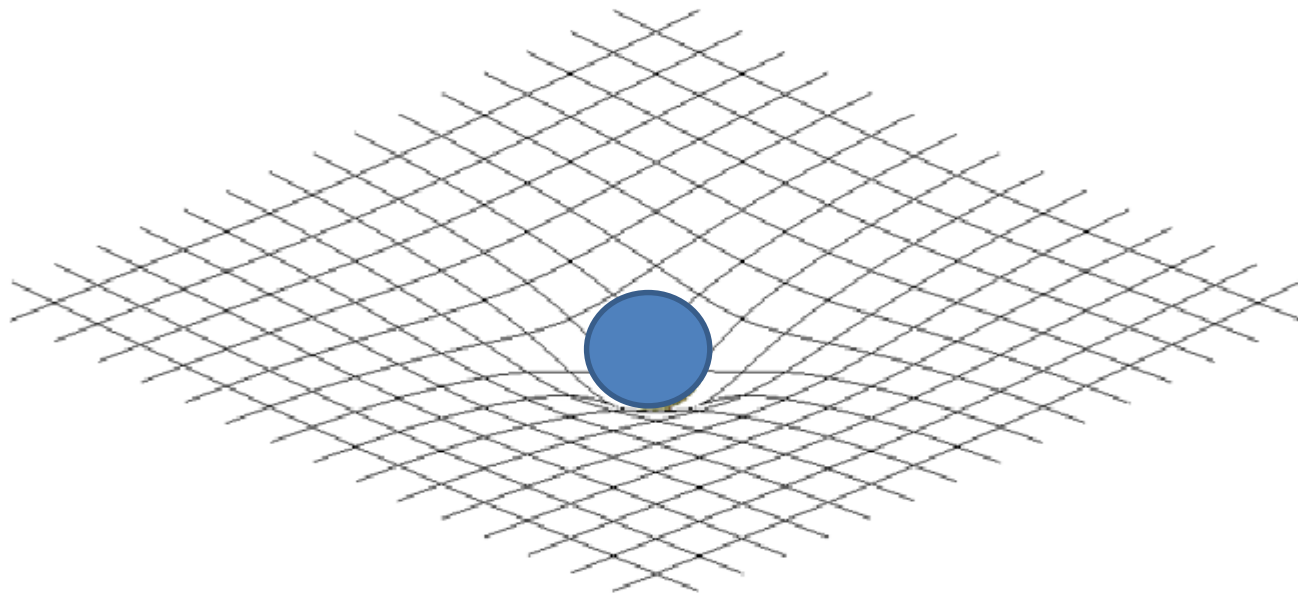
- Το 1916 ο Karl Schwarzschild επεξεργάστηκε μια λύση για την εξίσωση του Αϊνστάιν που περιγράφει την γεωμετρία και την εξέλιξη του χωροχρόνου.
- περιγράφει μια πιθανή μορφή του χωροχρόνου γύρω από σφαιρικά συμμετρικό και άνευ φορτίου μάζα, που δεν περιστρέφεται

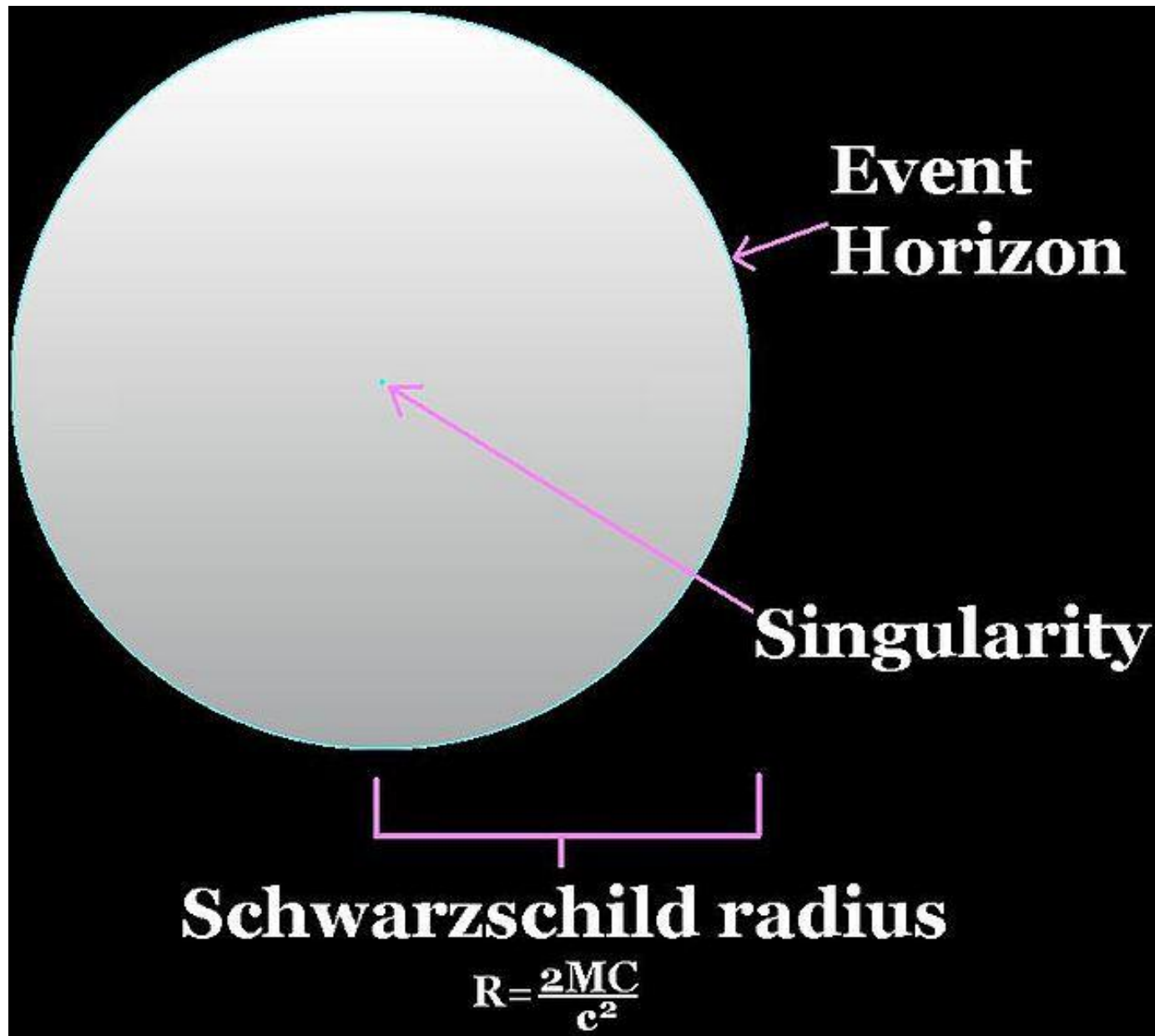


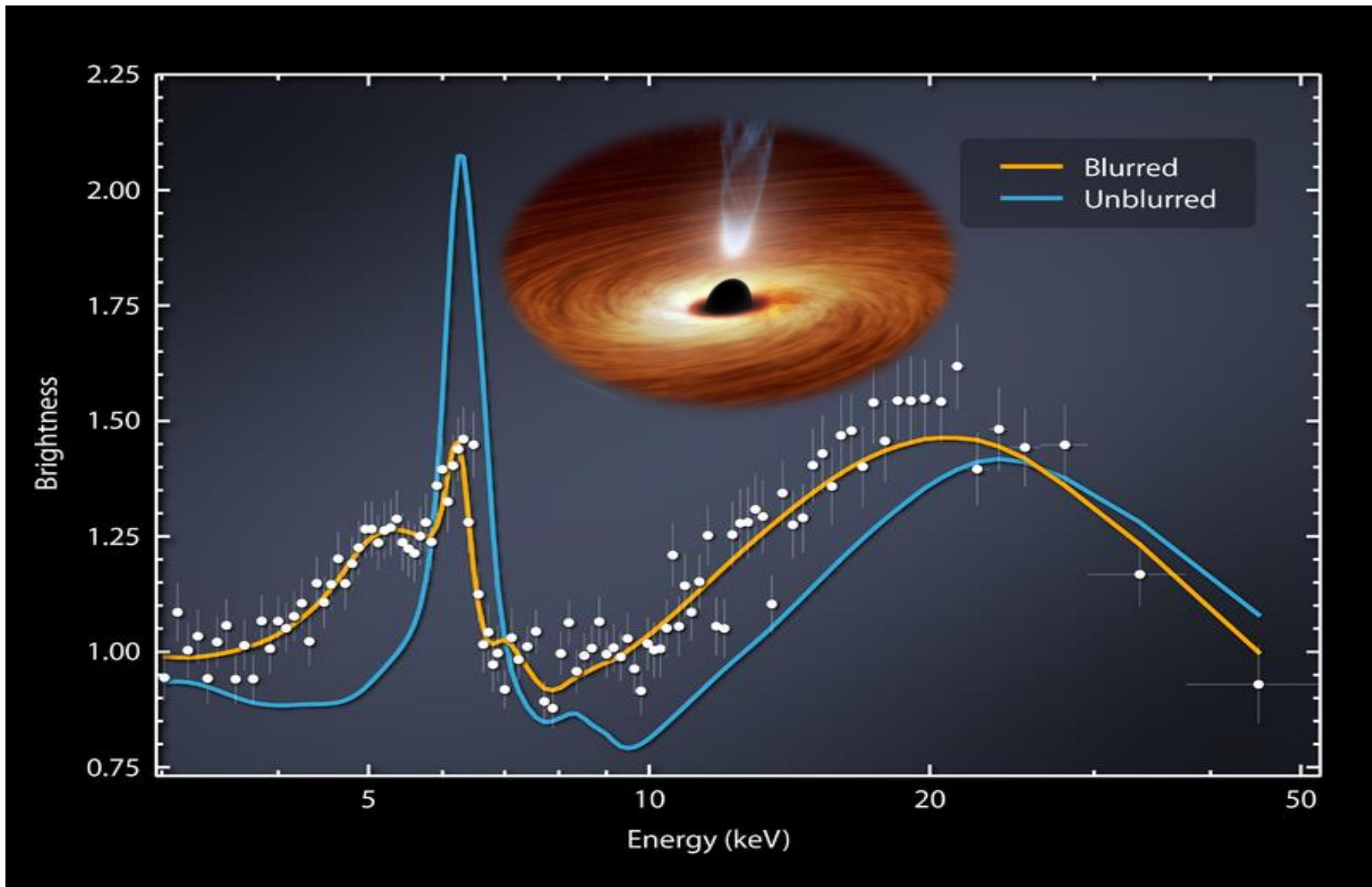
- δημιουργείται μια σημειακή ιδιομορφία στο κέντρο, $r = 0$.
- η καμπυλότητα του χωροχρόνου ήταν άπειρη



- Το 1971 ο John Archibald Wheeler ονομάζει ένα τέτοιο αντικείμενο μαύρη τρύπα







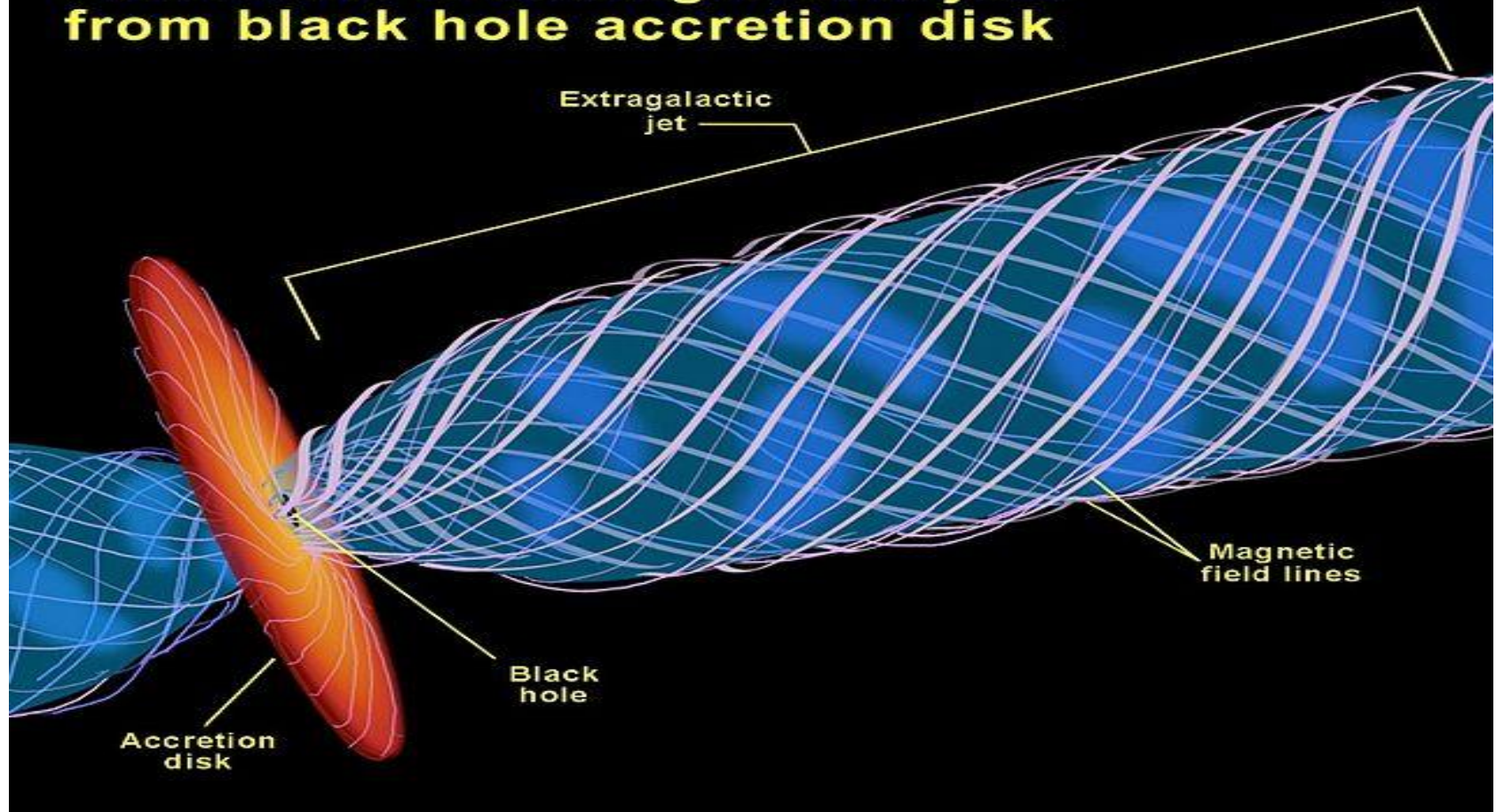
. Ακτινοβολία που εκπέμπει δίσκος συσσώρευσης που είναι γύρω από μια μαυρη τρύπα
[NASA's NuSTAR Sees Rare Blurring of Black Hole Light".NASA](#)



[Μαύρη τρύπα \(ζωγραφιά\)](http://www.nasa.gov/nustar)
<http://www.nasa.gov/nustar> και
<http://www.nustar.caltech.edu/>



Formation of extragalactic jets from black hole accretion disk

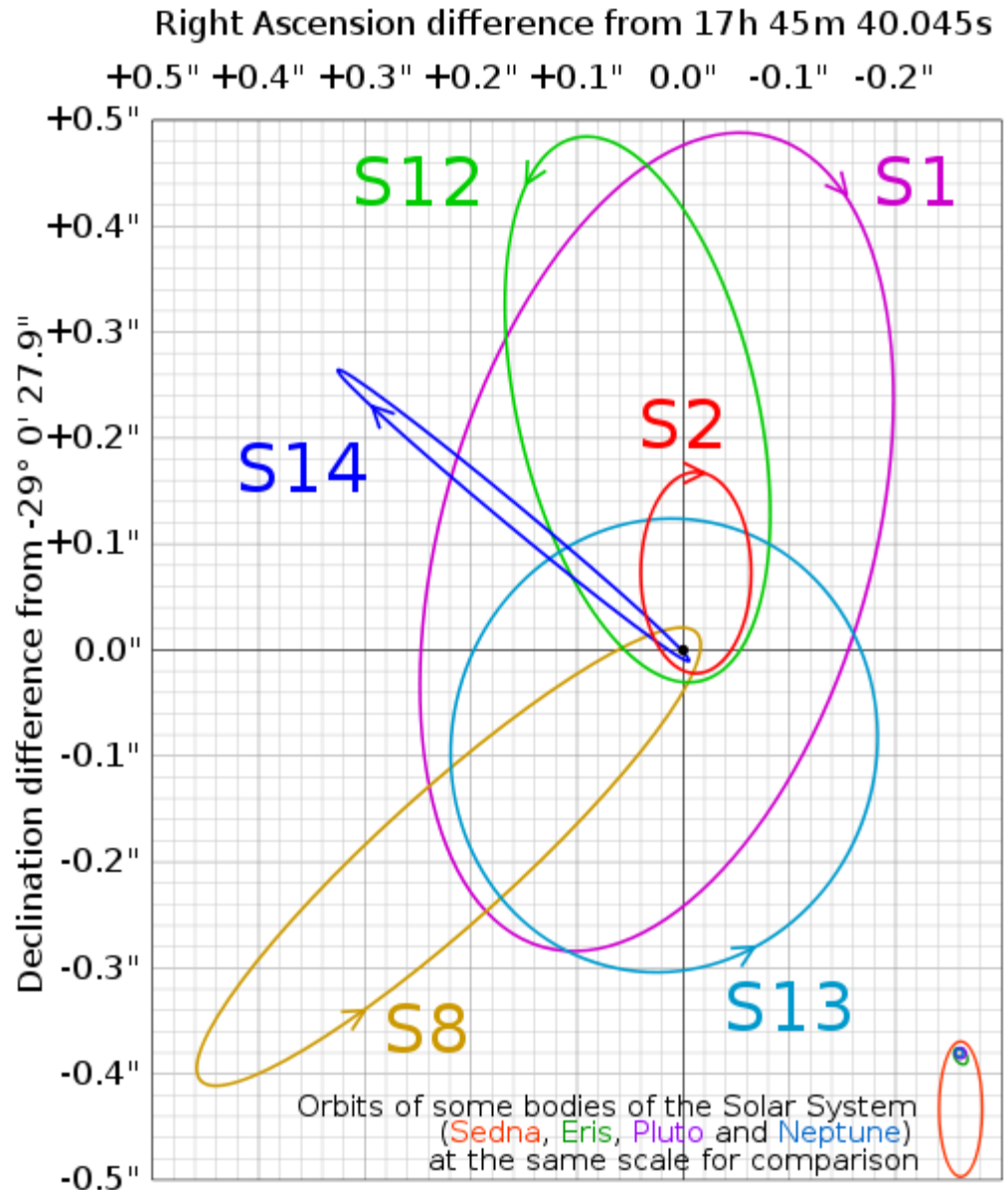


http://www.nasa.gov/centers/goddard/images/content/96552main_jet_schematic.jpg

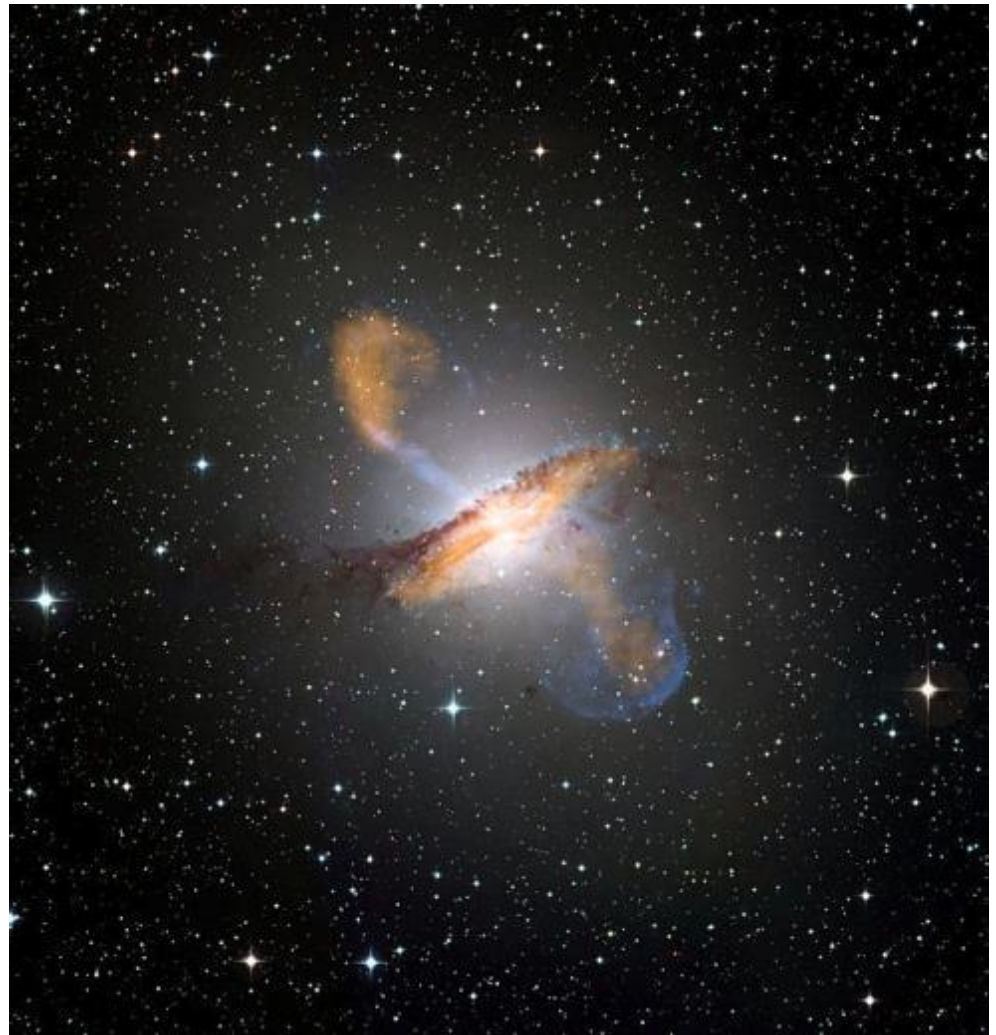


- Τροχιές 6 άστρων στο κέντρο του Γαλαξία μας, στον Sagittarius A που δείχνουν ότι υπάρχει μια τεράστια μαύρη τρύπα.

- [SINFONI in the galactic center: young stars and infrared flares in the central light-month by Eisenhauer et al, The Astrophysical Journal, 628:246-259, 2005](#)



Δυο τεράστιοι πίδακες
δημιουργούνται από
υλικό που πέφτει σε
μια τεράστια μαύρη
τρύπα στο κέντρο του
Γαλαξία [Centaurus A](http://www.eso.org/gallery/v/ESOPIA/Galaxies/phot-03a-09-fullres.tif.html)



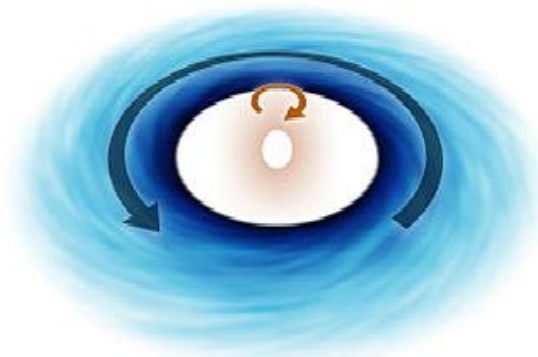
ESO/WFI (Optical); MPIfR/ESO/APEX/A.Weiss et al. (Submillimetre);
NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al. (X-ray) -

<http://www.eso.org/gallery/v/ESOPIA/Galaxies/phot-03a-09-fullres.tif.html>

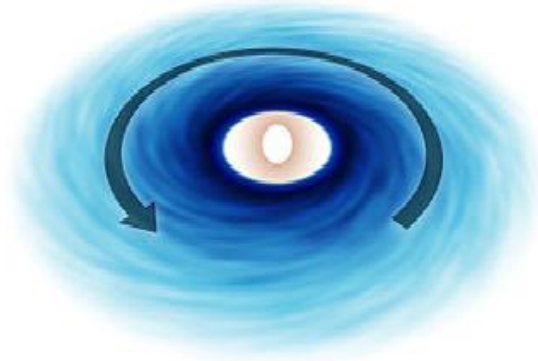
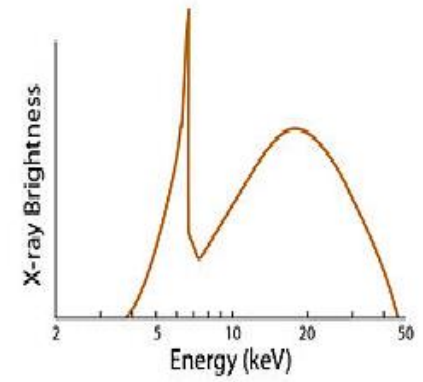


Φάσματα Ακτινοβολίας από περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες

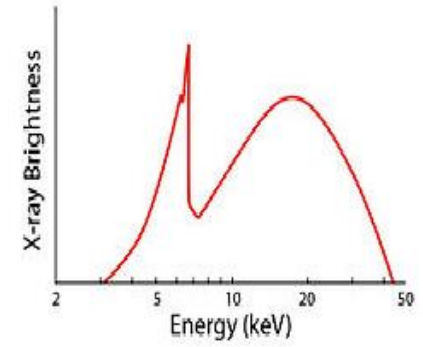
NASA/JPL-Caltech



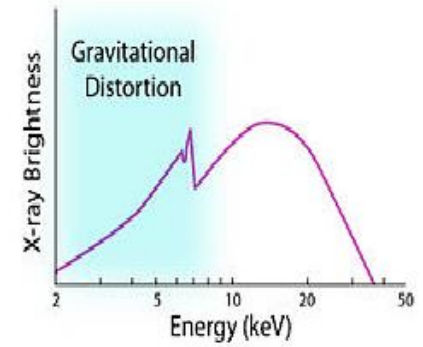
Retrograde
Rotation



No Black Hole
Rotation



Prograde
Rotation



http://www.nasa.gov/mission_pages/nustar/multimedia/pia16696.html



Υπάρχει ακτινοβολία Hawking;



Τι γίνεται με την ακτινοβολία Hawking;

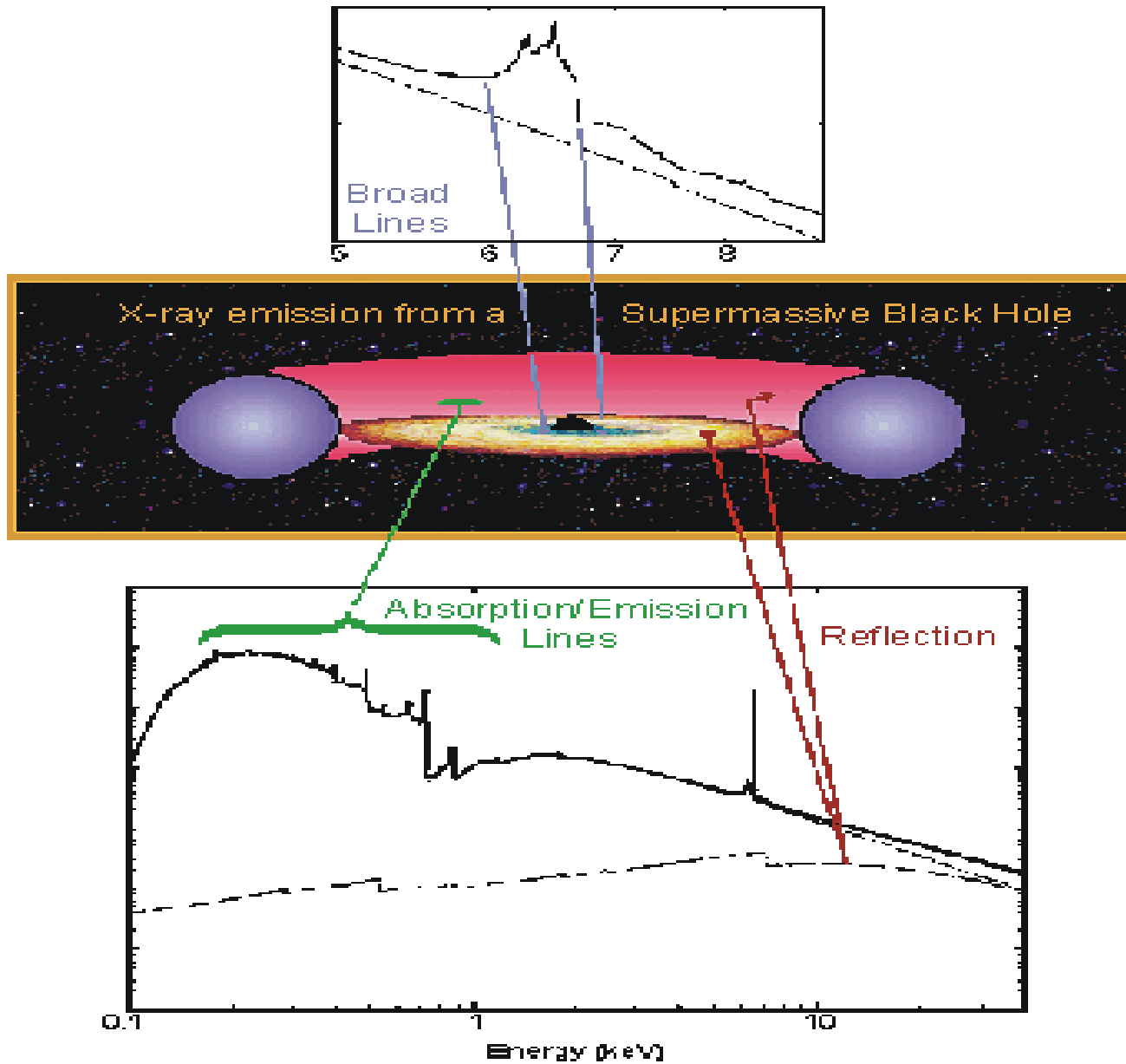
- **Πόσο χρόνο χρειάζεται μια μαύρη τρύπα να εξατμιστεί;**
- Δεν γνωρίζουμε αρκετά για αυτά τα φαινόμενα, δεν είναι πραγματικά κατανοητό το φαινόμενο σχετικά με εξάτμιση μαύρες τρύπες
- Από θερμοδυναμική επιχειρήματα Stephen Hawking συνειδητοποίησε ότι μια μαύρη τρύπα θα πρέπει να έχει μια μη μηδενική θερμοκρασία, και ως εκ τούτου θα έπρεπε να εκπέμπουν ακτινοβολία μέλανος σώματος.
- Τελικά αντιλήφθηκε ένα κβαντομηχανικό μηχανισμό για αυτό.



Τι γίνεται με την ακτινοβολία Hawking;

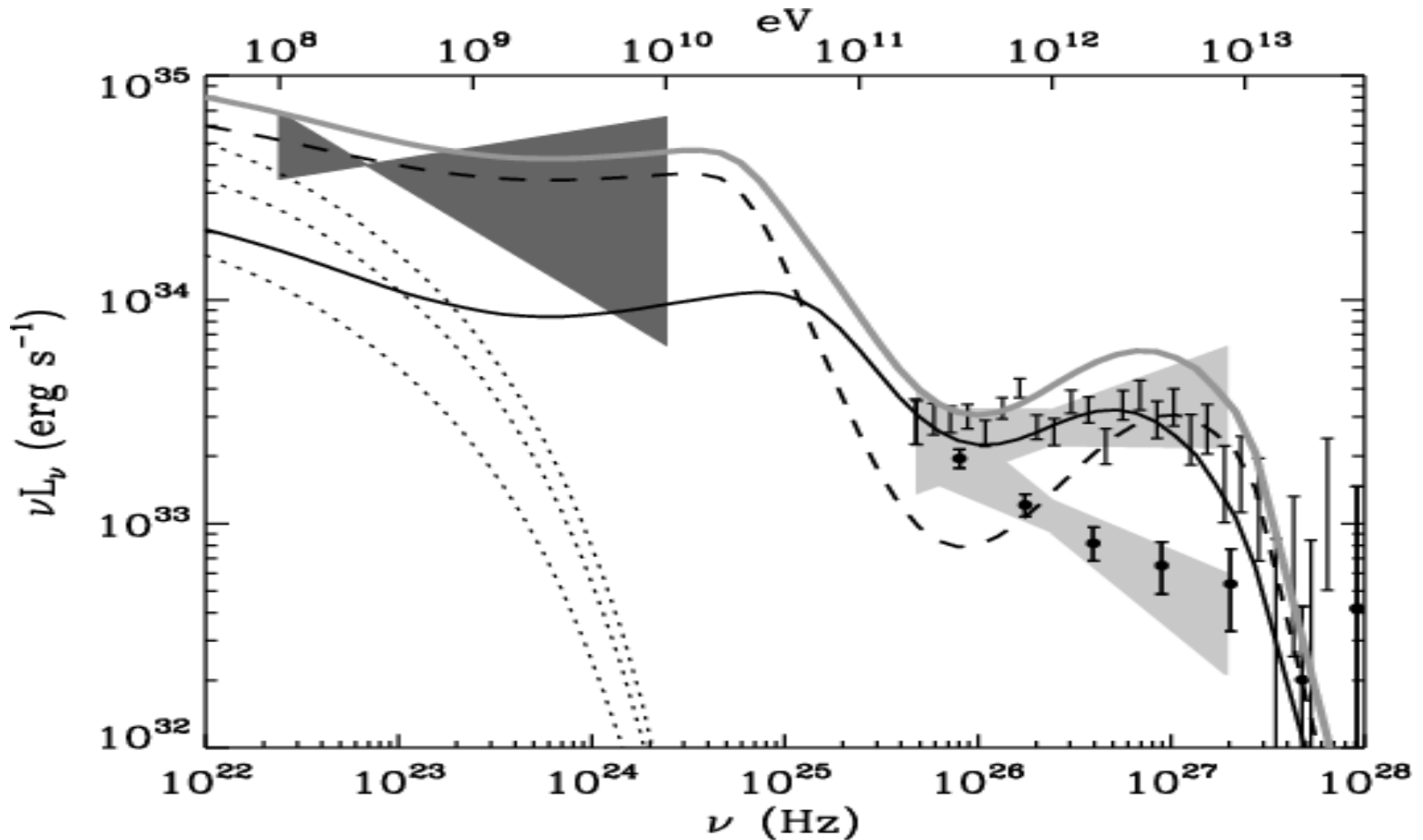
- Οι μαύρες τρύπες θα πρέπει να χάνουν μάζα μέσω ακτινοβολίας πολύ αργά, μια απώλεια που επιταχύνει όπως η τρύπα μικραίνει και τελικά εξατμίζεται πλήρως σε μια έκρηξη ακτινοβολίας.
- Αυτό συμβαίνει σε ένα πεπερασμένο χρονικό διάστημα, σύμφωνα με έναν εξωτερικό παρατηρητή.
- Αλλά ένας εξωτερικός παρατηρητής δεν θα παρατηρήσει ποτέ ένα αντικείμενο να εισέρχεται στον ορίζοντα



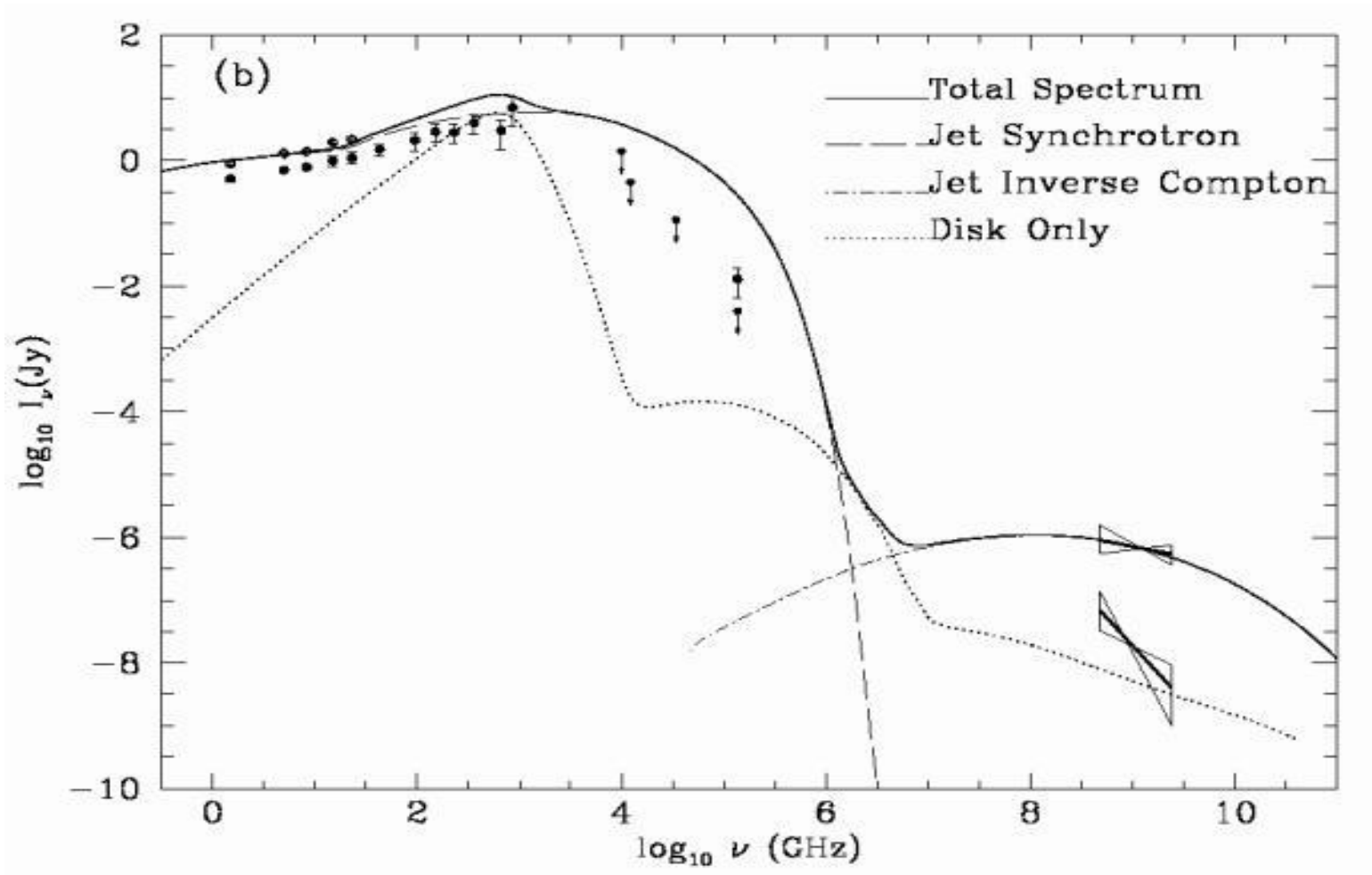


Φάσμα εκπομπής δίσκου συσσώρευσης μαύρης τρύπας σε ακτίνες Χ

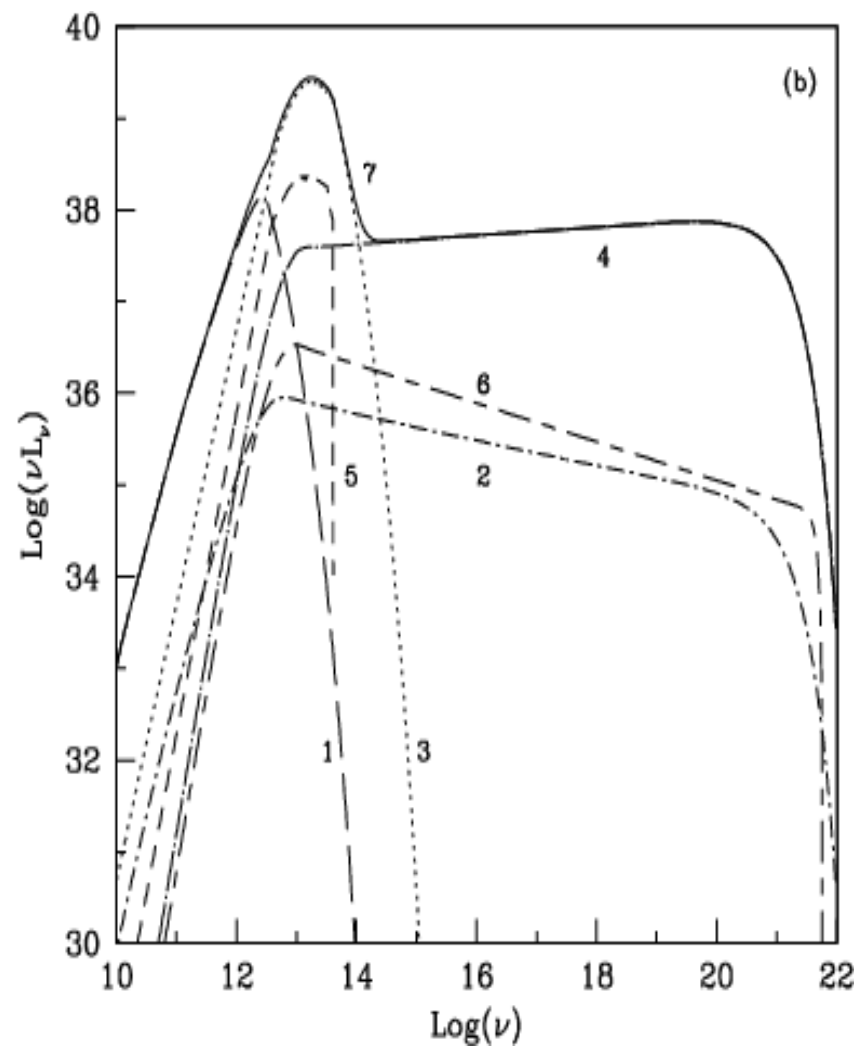
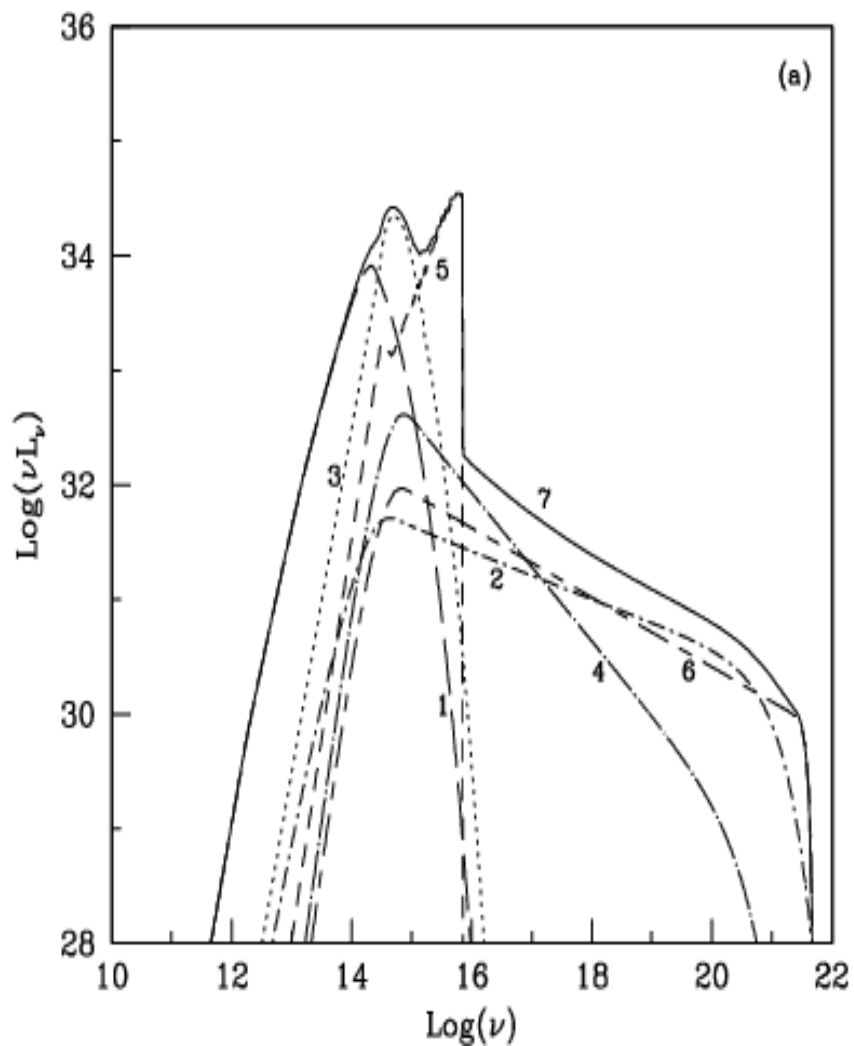
www.aanda.org/.../aa8261-07/aa8261-07.right.html



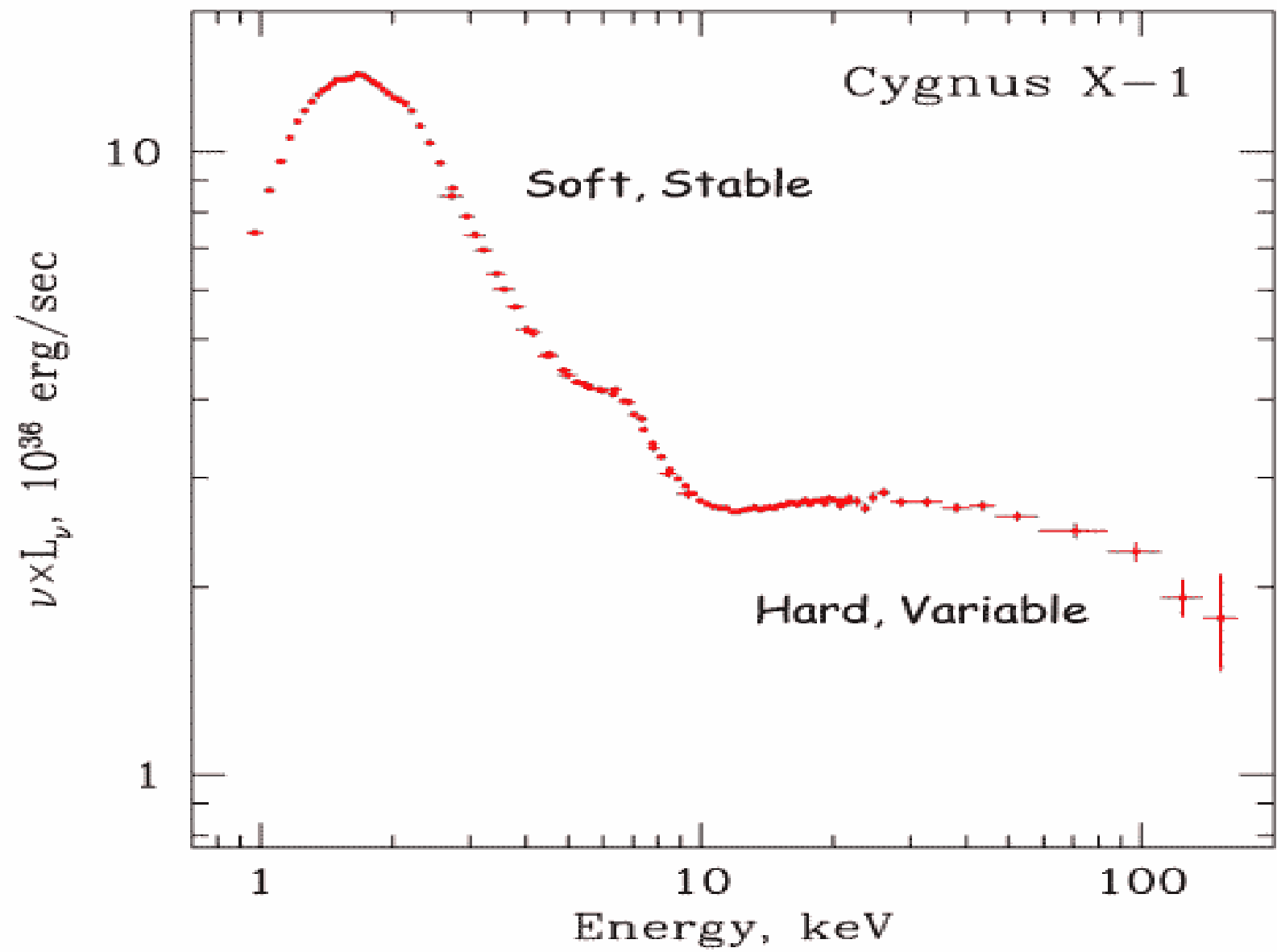
Φάσμα εκπομπής δίσκου συσσώρευσης μαύρης τρύπας σε ακτίνες Χ



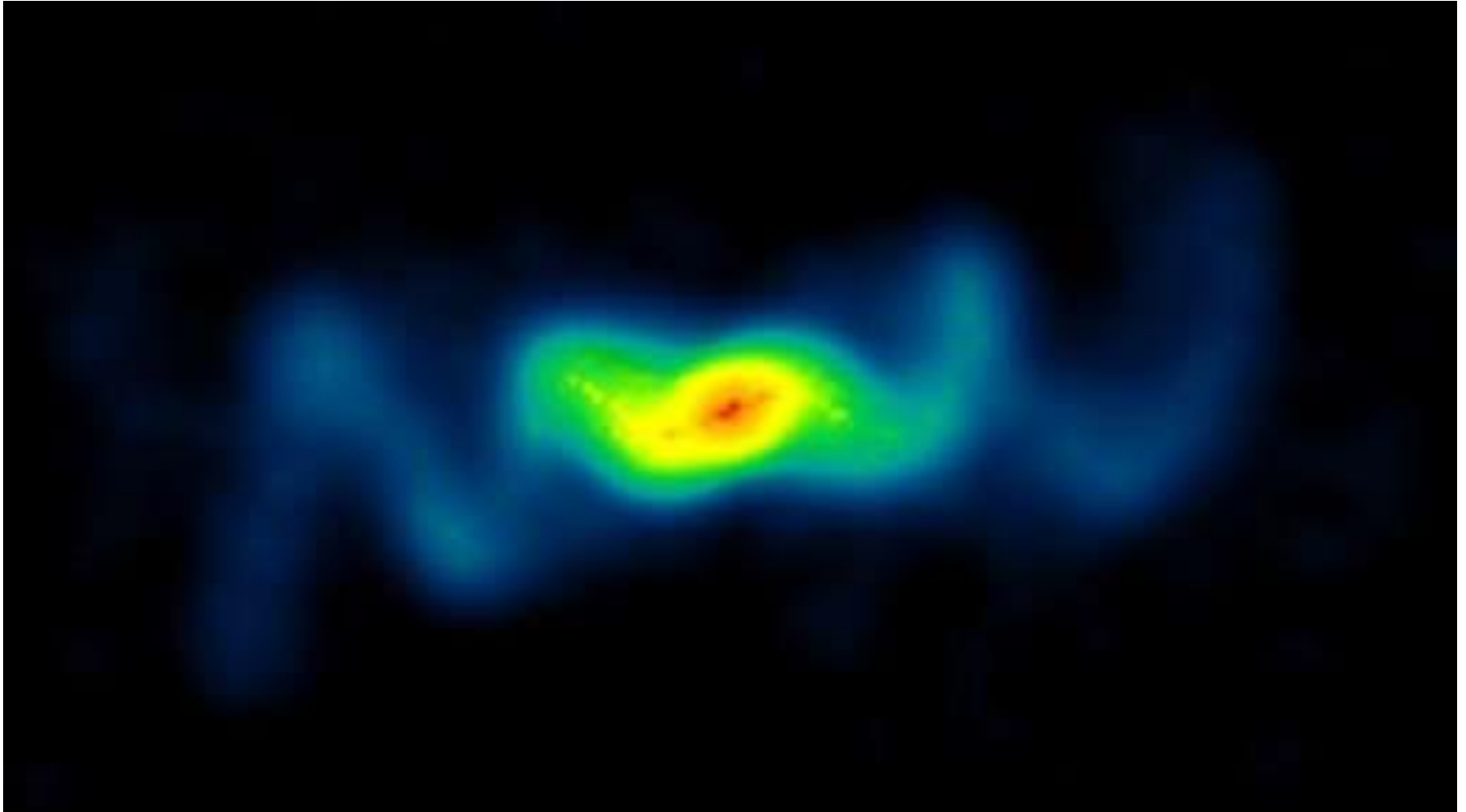
Φάσμα εκπομπής δίσκου συσσώρευσης μαύρης τρύπας σε ακτίνες Χ



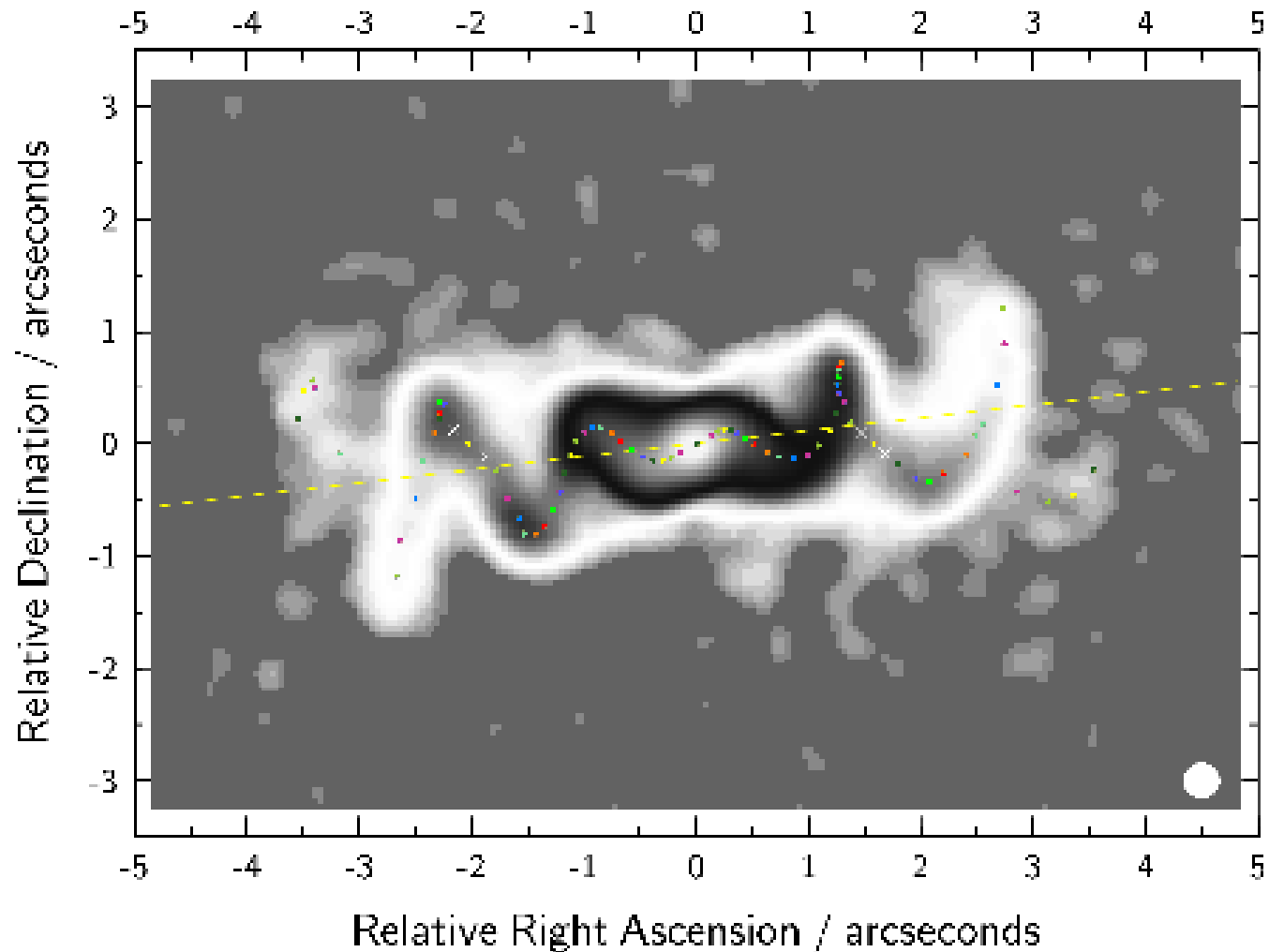
Cygnus X-1



Μαύρη τρύπα στο κέντρο του SS433



Μαύρη τρύπα στο κέντρο του SS433



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Ξενοφών Δ. Μουσάς 2015.«Εισαγωγή στην Αστροφυσική. Ζωή και Θάνατος των αστέρων». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/PHYS1/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

