

Κεφάλαιο 8

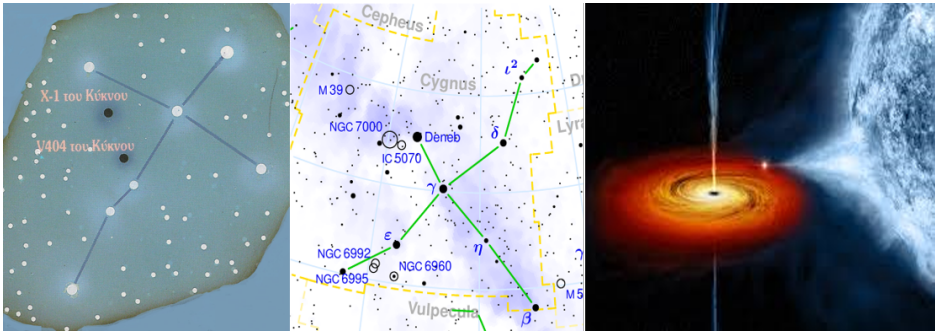
Οι Μελανές Οπές ως υπαρκτά αντικείμενα στο Σύμπαν

8.1 Παρατηρήσεις Μελανών Οπών

Οι Μελανές Οπές υπάρχουν από την αρχή της δημιουργίας του Σύμπαντος, δεν ήταν όμως δυνατόν να εντοπιστούν, διότι παγιδεύουν στο εσωτερικό τους κάθε πληροφορία ακόμη και τις ίδιες τις φωτεινές ακτίνες. Ο εντοπισμός τους έγινε, αφού πρώτα τεκμηριώθηκε η θεωρητική τους θεμελίωση και αφότου η τεχνολογία επέτρεψε στους αστρονόμους να αναπτύξουν νέες μεθόδους παρατήρησης. Η παρατήρηση εκτός από τα μήκη κύματος του ορατού φωτός στράφηκε και στα ραδιοφωνικά κύματα, στην υπέρυθη και υπεριώδη ακτινοβολία και στις ακτίνες X και γ . Αποτέλεσμα ήταν να έλθουν στο φως πληροφορίες για βίαια γεγονότα που συμβαίνουν στο Σύμπαν και αποκάλυψαν τις Μελανές Οπές, που μέχρι πριν λίγες δεκαετίες κρύβονταν στο σκοτάδι της ύπαρξής τους. Στα 1970 τέθηκε σε τροχιά ο δορυφόρος *Uhuru*⁷⁵. Στόχος του ήταν να

⁷⁵Η εκτόξευση του δορυφόρου *Uhuru* έγινε από την Κένυα στις 12 Δεχ 1970, ημέρα που η αφρικανική χώρα γιόρταζε την 7η επέτειο της ανεξαρτησίας της και το όνομά του στα Σουαχίλι σημαίνει «ελευθερία»

εντοπίζει αντικείμενα με έντονη ακτινοβολία σε πολύ μικρά μήκη κύματος, κοντά στις ακτίνες X.⁷⁶ Ο δορυφόρος εντόπισε 339 πηγές ακτίνων X⁷⁷ μία εκ των οποίων και η X-1 του αστερισμού του Κύκνου.^{[49],[51]} Σε πολλές από αυτές τις περιπτώσεις η πηγή ήταν ένας Αστέρας Νετρονίων που βίαια αποσπούσε αέριο από τον συνοδό του αστέρα.



Σχήμα 8.1: Αριστερά η περιοχή του αστερισμού του Κύκνου, σε σχηματική αναπαράσταση και σε ουρανογραφικό χάρτη, στην οποία βρέθηκε το αντικείμενο X-1, που εκπέμπει έντονη ακτινοβολία X. Δεξιά καλλιτεχνική αναπαράσταση της Μελανής Οπής X-1 του αστερισμού του Κύκνου, στην οποία εικονίζεται η μεταφορά ύλης από τον γαλάζιο γίγαντα συνοδό προς την X-1, καθώς και ο δίσκος προσαύξησης.

Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, η ανίχνευση των ισχυρών ακτίνων X και γ, αλλά και λεπτών κάθετων δεσμών ιονισμένης ύλης (*πίδακες-jets*), οδήγησε στο συμπέρασμα της ύπαρξης των Μελανών Οπών. Η ύπαρξη αυτή ερμηνεύτηκε με το πρότυπο του «*δίσκου προσαύξησης*» (*accretion disk*), σύμφωνα με το οποίο, η ύλη που κινείται προς μία μελανή οπή ακολουθεί σπειροειδή τροχιά, το επίπεδο της οποίας ορίζει τον δίσκο προσαύξησης. Αν η κινητική ενέργεια της προσπίπτουσας ύλης είναι μικρή, τότε, καθώς πλησιάζει προς τη μελανή οπή, θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία της τάξεως $T \geq 10^6 K$ και, μέχρι να περάσει

⁷⁶Οι ακτίνες X δεν διεισδύουν στην ατμόσφαιρα και αυτός ήταν ο λόγος για την εκτόξευση στο διάστημα του *Uhuru*.

⁷⁷Οι πηγές των ακτίνων X είναι ένα υπέρθερμο αέριο σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 100 εκατομμυρίων βαθμών.

μέσα από τον ορίζοντα γεγονότων, εκπέμπει θερμική ακτινοβολία, το μέγιστο της οποίας βρίσκεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στην περιοχή των ακτίνων X και γ . Στην περίπτωση που η κινητική ενέργεια της προσπίπτουσας ύλης είναι πολύ μεγάλη, τότε η ύλη είναι δυνατόν να διαφύγει από την έλξη της μελανής οπής κατά μήκος δύο λεπτών κωνικών δεσμών κάθετων προς το επίπεδο του δίσκου (σχήμα 8.1 δεξιά). Μία τέτοια περίπτωση ήταν και εκείνη του X-1 του αστερισμού του Κύκνου. Στην ίδια περιοχή, όπου εμφανιζόταν η ισχυρή πηγή ακτίνων X (λαμπρότητα $L_x \approx 10^{38} \text{ erg/sec}$), υπήρχε ένας τεράστιος γαλάζιος αστέρας μάζας $30 M_\odot$. Ο αστέρας αυτός ελκόταν από ένα αόρατο αντικείμενο, του οποίου η μάζα υπολογίστηκε δεκαπλάσια του Ηλίου, πολύ μεγαλύτερη δηλαδή από το όριο μάζας των Αστέρων Νετρονίων.⁷⁸ Οι αστρονόμοι συμφώνησαν ότι το αντικείμενο αυτό δεν μπορεί να είναι κάτι διαφορετικό από μία Μελανή Οπή,⁷⁹ που μέχρι τότε μόνο θεωρητικά προβλεπόταν. [1],[31]

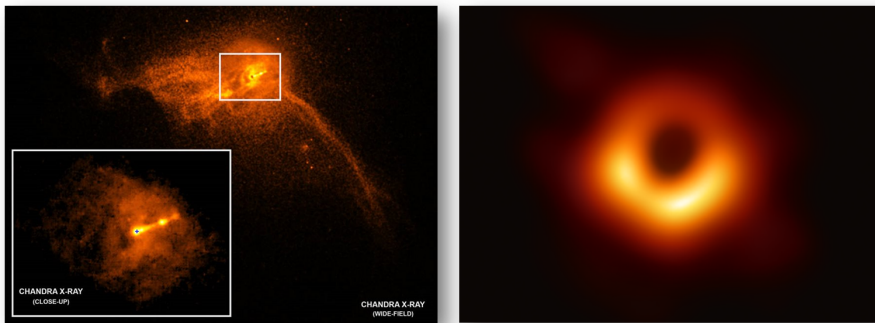
Η πηγή X-1 του αστερισμού του Κύκνου ήταν η πρώτη Μελανή Οπή που εντοπίστηκε. Έκτοτε ακολούθησαν εκατοντάδες τέτοιες ανακαλύψεις, οι οποίες επιβεβαίωσαν την ύπαρξη του απόκοσμου και αόρατου αυτού αντικειμένου.

Η επιβεβαίωση της ύπαρξης Μελανών Οπών γινόταν μέχρι πρόσφατα με έμμεσο τρόπο (ανίχνευση ακτίνων X, πίδακες-*jets*, μελέτη του δίσκου προσαύξεσης κλπ). Την Τετάρτη 10 Απριλίου 2019 είδε το φως της δημοσιότητας η πολυαναμενόμενη πρώτη φωτογραφία μελανής οπής. [53]

⁷⁸Το όριο μάζας των Αστέρων Νετρονίων ονομάζεται «όριο Oppenheimer-Volkoff-Snyder» (M_{OVS}) και η τιμή του βρίσκεται στο διάστημα $0,7 M_\odot < M_{OVS} < 3,2 M_\odot$ (βλέπε κεφάλαιο 1, παρ. 1.2)

⁷⁹Η πηγή παρουσίαζε έντονες μεταβολές στην ένταση και στην ακτινοβολία της σε χρονικά διαστήματα Δt , της τάξεως του $0,1 \text{ sec}$. Η γραμμική διάσταση της περιοχής, από την οποία εκπεμπόταν η ακτινοβολία, δεν θα μπορούσε να ήταν μεγαλύτερη από $c \cdot \Delta t$, που με άλλα λόγια σήμαινε ότι η διάμετρος της πηγής δεν θα μπορούσε να ήταν μεγαλύτερη από 30.000 Km , δηλαδή θα έπρεπε να είναι Λευκός Νάνος ή Αστέρας Νετρονίων. Με τη βοήθεια του υπεργίγαντα συνοδού υπολογίστηκε το κατώτατο όριο της μάζας της πηγής $M_x > 6 M_\odot$, από το οποίο αποκλείστηκε το ενδεχόμενο να είναι Λευκός Νάνος (ανώτατο όριο μάζας $1,4 M_\odot$), ή Αστέρας Νετρονίων (ανώτατο όριο μάζας $3,2 M_\odot$), οπότε κατέληξαν στο ότι είναι μια Μελανή Οπή.

Συγκεκριμένα οι επιστήμονες του *Event Horizon Telescope*⁸⁰ (*EHT*) ανακοίνωσαν ότι για πρώτη φορά «φωτογράρισαν» την τεράστια μελανή οπή, η οποία βρίσκεται στο κέντρο του γιγαντιαίου γαλαξία *Messier 87* (*M87*) στον αστερισμό της Παρθένου. Η μελανή οπή έχει διάμετρο περίπου 40 δισεκατομμυρίων χιλιομέτρων (τρία εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από τη Γη), μάζα 6,5 δισεκατομμύρια φορές αυτής του Ηλίου και βρίσκεται σε απόσταση 55 εκατομμυρίων ετών φωτός από τη Γη.



Σχήμα 8.2: Αριστερά η περιοχή του κέντρου του γαλαξία *M87* από την οποία το τηλεσκόπιο *EHT* πήρε την πρώτη φωτογραφία μελανής οπής. Δεξιά η πρώτη φωτογραφία! Το περίγραμμα της *M.O* γίνεται ορατό λόγω της δέσμης φωτός που συγκεντρώνεται στο στόμιο της. (Πηγή: *Event Horizon Telescope*)

Στην πραγματικότητα πρόκειται για την «σκιά» που η μελανή οπή ρίχνει στο φωτεινό υπόβαθρο των αερίων που στροβιλίζονται γύρω της, αφού είναι αδύνατο να δει κανείς τι πραγματικά υπάρχει στο εσωτερικό της,

⁸⁰Το τηλεσκόπιο *EHT*, ξεκίνησε να δημιουργείται στα 2012. Αποτελείται από ένα ευρύ δίκτυο οκτώ διάσπαρτων και συντονισμένων μεταξύ τους ραδιοτηλεσκοπίων σε διάφορα μέρη του κόσμου (Ανταρκτική, Αριζόνα, Γαλλία, Γροιλανδία, Ισπανία, Μεξικό, Χαβάη και Χιλή). Αυτά δημιουργούν -μέσω της διασυνδέσεώς τους με τη βοήθεια της συμβολομετρίας και ενός υπερυπολογιστή- ένα ενιαίο, τεράστιο εικονικό τηλεσκόπιο με μέγεθος σχεδόν όσο η Γη, το οποίο καταγράφει τις ακτινοβολίες ραδιοκυμάτων που εκπέμπονται από κάποια μελανή οπή. Με τον τρόπο αυτόν δίδεται η δυνατότητα μεγέθυνσης ώστε να απεικονισθεί η περιοχή γύρω από τη μελανή οπή.

απ' όπου δεν μπορεί να δραπετεύσει τίποτε, ούτε το ίδιο το φως.^[53]

Μετά από αυτό λοιπόν οι επιστήμονες έχουν πλέον μία έστω και θολή εικόνα του περιβάλλοντος της μελανής οπής (του λεγόμενου «ορίζοντα των γεγονότων»), δηλαδή της οριακής περιοχής, πέραν της οποίας δεν υπάρχει επιστροφή. (Εικόνα 8.2)

Οι Μελανές Οπές ποικίλλουν σε μέγεθος.

(α) Οι πιο συνηθισμένες έχουν μάζα $10 M_{\odot}$ και είναι ό,τι απέμεινε από τη βαρυτική κατάρρευση υπερμεγέθων αστέρων ή από εκρήξεις Υπερκαινοφανών (*Syppernova*)⁸¹ Στην περίπτωση που, η εναπομείνασα μάζα μετά την έκρηξη υπερκαινοφανούς, ξεπερνά τις $3 M_{\odot}$, τότε η βαρυτική κατάρρευση οδηγεί σε μια Μελανή Οπή.^[31]

(β) Υπάρχουν τεράστιες Μελανές Οπές, με μάζα εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια φορές αυτής του Ηλίου, κρυμμένες στα κέντρα των γαλαξιών οι οποίες πιθανόν δημιουργήθηκαν τις πρώτες στιγμές της δημιουργίας του Σύμπαντος, όταν τεράστιες αρχέγονες «σφαίρες» αερίου συσώρευσαν μάζα που κατέρρευσε υπό την επίδραση της ίδιας της βαρύτητας, και οι οποίες κατά τη διάρκεια των 13,7 δισεκατομμυρίων ετών της ζωής τους «καταβρόχθησαν» οτιδήποτε έφθανε κοντά τους, αυξάνοντας συνεχώς τη μάζα τους.^[31]

Μία τέτοια μελανή οπή πιθανόν να υπάρχει και στο δικό μας Γαλαξία. Τα νέα τηλεσκόπια και δορυφόροι αποκαλύπτουν έντονη δραστηριότητα στο κέντρο του Γαλαξία. Ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω κάποιες από αυτές τις ενδιαφέρουσες αποκαλύψεις.

-Το κέντρο του Γαλαξία βρίσκεται βαθιά μέσα στα αστρικά νέφη του αστερισμού του Τοξότη. Από τις πρώτες ανακαλύψεις των ραδιοτηλεσκοπίων ήταν δύο ισχυρές ραδιοπηγές στο σημείο του «Τοξότη Α και Β». Σήμερα γνωρίζουμε ότι είναι νέφη θερμού αερίου που σχετίζονται

⁸¹Όταν ένας μεγάλης μάζας αστέρας, εξαντλώντας τα «καύσιμά» του (H, He, Be, \dots), καταλήξει να σχηματίσει πυρήνα σιδήρου Fe (στοιχείο που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως «καύσιμο» για περαιτέρω σύντηξη), και η μάζα του είναι ακόμη πολύ μεγάλη, τότε η θερμοκρασία του ανεβαίνει (λόγω της βαρυτικής πίεσεως βλέπε κεφάλαιο 2) απότομα στους 50 δισεκατομμύρια βαθμούς, με αποτέλεσμα να καταλήξει βιαίως σε μία έκρηξη που ονομάζεται **Υπερκαινοφανής** (*Syppernova*). Η έκρηξη αυτή είναι ό,τι πιο βίαιο συμβαίνει στο Σύμπαν μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

με εξαιρετικά βίαιη δραστηριότητα στο γαλαξιακό κέντρο.^{[10],[31]}

-Εκρηγνύομενος δακτύλιος από σκοτεινά νέφη, γεμάτος σκόνη και μόρια, επεκτείνεται ταχύτατα μετά από μία τεράστια έκρηξη που συνέβη πριν πολλά εκατομμύρια έτη. Η αιτία εικάζεται ότι ήταν κάποιο μικρό, ισχυρό σώμα στον πυρήνα.^[10]

-Ένας δακτύλιος θερμού αερίου (Τοξότης Α) στροβιλίζεται γύρω από το κέντρο του Γαλαξία. Η μεγάλη ταχύτητα περιστροφής δείχνει ότι πρέπει να βρίσκεται υπό την επίδραση μιας ισχυρής ελκτικής δύναμης, ισχυρότερης από αυτήν που θα δικαιολογούσε η έλξη των αστέρων που βρίσκονται στο κέντρο. Πολύ πιθανόν είναι η επιπλέον αυτή έλξη να οφείλεται στο βαρυτικό πεδίο μιας μελανή οπής.^[10]

-Μια περιοχή ισχυρού μαγνητικού πεδίου, σε σχήμα βαρελιού, περιβάλλει το κέντρο του Γαλαξία. Μια περιελιγμένη δέσμη λεπτών μαγνητικών νημάτων μήκους 150 και πάχους μόλις μισού έτους φωτός, που ονομάζεται «Τόξο» συνθέτουν αυτήν την περιοχή. Το σχήμα του «Τόξου» υποδηλώνει την ύπαρξη μιας ηλεκτρικής γεννήτριας στο κέντρο. Εικάζεται ότι, ίσως είναι αποτέλεσμα μιας περιστρεφόμενης μελανής οπής *Kerr – Newmann*.^[10]

-Μία πολύ μικρή, αλλά ιδιαιτέρως ισχυρή ραδιοπηγή, η οποία εκπέμπει ακριβώς από το κέντρο του Γαλαξία, πιθανόν να είναι ένας δίσκος προσάυξης από υπέρθερμο αέριο που περιβάλλει μια μελανή οπή.^{[10],[31]}

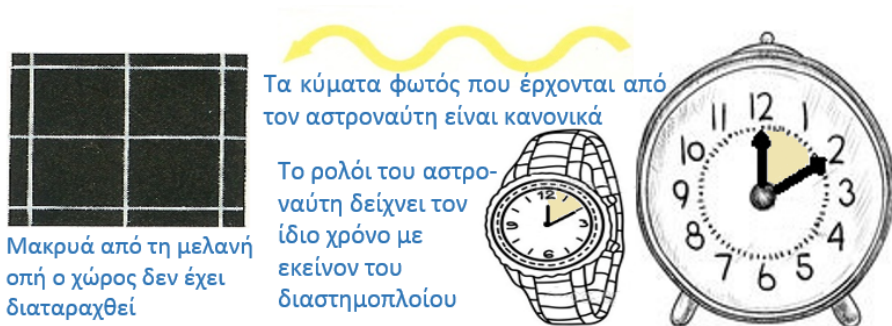
Αυτές και πλήθος άλλων παρόμοιων παρατηρήσεων, που λαμβάνουμε από τα σύγχρονα τηλεσκόπια στα ραδιοκύματα και τις ακτίνες Χ, αφήνουν έντονη την αίσθηση ύπαρξης μιας τεραστίων διαστάσεων μελανής οπής κρυμμένης στην καρδιά του δικού μας Γαλαξία.

(γ) Τέλος πιστεύεται ότι υπάρχουν αμέτρητες Μελανές Οπές στο Σύμπαν στο μέγεθος του ατόμου ($R_s \sim 10^{-33} \text{ cm}$) και μάζα ίση με τη μάζα Planck⁸², οι οποίες δημιουργήθηκαν λόγω των απότομων μεταβολών της πυκνότητας κατά τα πρώτα στάδια της δημιουργίας του Σύμπαντος και ονομάζονται «αρχέγονες» ή «πρωταρχικές».^[31]

⁸²Μάζα Planck ορίζεται ως η μάζα $M_p \equiv (hc/8\pi G)^{1/2} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ gr}$. (βλέπε κεφάλαιο 7)

8.2 Πέρφτοντας σε μια Μελανή Οπή

Τι θα συνέβαινε όμως αν κάποιος παρατηρητής έπεφτε σε μία Μελανή Οπή; Αρχικά θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εμπειρίες του θα είναι διαφορετικές από αυτό που βλέπουν να του συμβαίνει κάποιοι που τον παρακολουθούν έξω απ' αυτήν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο χώρος και ο χρόνος συμπεριφέρονται «παράξενα», όπως έχουμε δει σε προηγούμενα κεφάλαια, μέσα στον ορίζοντα γεγονότων. Ο μεν χρόνος για τον παρατηρητή, όπως τον αντιλαμβάνονται οι φίλοι του από μακριά, παγώνει, ενώ ο χώρος γύρω του στρεβλώνεται έντονα. Για να γίνει περισσότερο κατόνοητό αυτό θα περιγράψουμε τρεις φάσεις, από την προσέγγιση ενός αστροναύτη στη Μελανή Οπή μέχρι την πτώση του στο κέντρο της (ανωμαλία).



Σχήμα 8.3: Στην εικόνα του σχήματος φαίνεται ο χώρος με το τετραγωνισμένο σύστημα, ο χρόνος με τα ρολόγια, του αστροναύτη και του σκάφους, και τέλος το μήκος κύματος των φωτεινών ακτίνων.

Έξω από τον ορίζοντα

Στην αρχή όλα φαίνονται να κυλούν φυσιολογικά. Το ρολόι στο χέρι του αστροναύτη δείχνει τον ίδιο χρόνο με το ρολόι του διαστημοπλοίου που κοιτούν οι συνάδελφοί του και ο χώρος γύρω του είναι αδιάταρακτος (επίπεδος χώρος «*Minkowski*»). Τα φωτόνια της εικόνας που

έρχονται στα μάτια των συναδέλφων του με κανονικό ρυθμό (ταχύτητα φωτός).[σχήμα 8.3]

Καθώς ο αστροναύτης πλησιάζει στον ορίζοντα, αρχίζει να επιμηκύνεται σαν κάποιος, δίκην Προκρούστη, να τον τραβά από τα πόδια, καθώς η βαρύτητα είναι πιο έντονη στα πόδια παρά στο κεφάλι του. Εδώ ο χώρος στρεβλώνεται (όπως φαίνεται στο σχήμα 8.4). Η βαρύτητα της Μελανής Οπής αρχίζει να επηρεάζει τον χρόνο και το ρολόι του αστροναύτη, το οποίο καθυστερεί σχετικά με αυτό του διαστημοπλοίου (επιβράδυνση του χρόνου). Τέλος το μήκος κύματος της εικόνας του μεγαλώνει (σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 3) και στα μάτια των συναδέλφων του στο διαστημόπλοιο φαίνεται όλο και πιο κόκκινος.



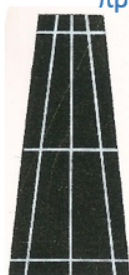
Σχήμα 8.4: Ο χώρος στρεβλώνεται (καμπυλώνεται) κοντά στον ορίζοντα, ο χρόνος τρέχει πιο αργά και το μήκος κύματος των φωτονίων γίνεται μεγαλύτερο (μετατόπιση προς το ερυθρό).

Πάνω στον ορίζοντα

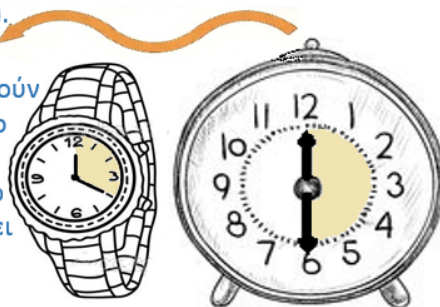
Πλησιάζοντας κι άλλο τον ορίζοντα τα φαινόμενα που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα γίνονται ολένα και πιο έντονα. Ακριβώς πάνω στον ορίζοντα η επιμήκυνση του αστροναύτη είναι τεράστια, καθώς η βαρύτητα της Μελανής Οπής έχει στρεβλώσει πάρα πολύ τον χώρο γύρω της. (σχήμα 8.5).

Ο αστροναύτης μόλις που είναι ορατός από τους συναδέλφους του, η εικόνα που μεταφέρει το φως είναι κόκκινη και αμυδρή, καθώς αυτό έχει χάσει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειάς του στον αγώνα ενάντια στη βαρύτητα και το μήκος κύματος έχει μεγαλώσει πολύ. Οι συνάδελφοί του τον βλέπουν σταματημένο στο όριο του ορίζοντα, αφού ο συντεταγμένος χρόνος έχει παγώσει και δεν φαίνεται να εισέρχεται και να κατευθύνεται προς την ανωμαλία, αλλά να αιωρείται εκεί για άπειρο χρόνο. Τέλος το ρολόι του, όπως το βλέπουν οι συνάδελφοί του από το διαστημόπλοιο, έχει σταματήσει (στις 12:20 όπως φαίνεται στο σχήμα 8.5). Ο ίδιος όμως, (τι παράξενο!!!) βλέπει τους δείκτες να κι-

Το μήκος κύματος των εκπεμπομένων φωτονίων μετατοπίζεται προς το ερυθρό (μεγαλώνει).



Γι' αυτούς που παρατηρούν από το διαστημόπλοιο, ο χρόνος στον ορίζοντα «παγώνει». Το ρολόι στο χέρι του αστροναύτη έχει σταματήσει στις 12:20.



Στον ορίζοντα η παραμόρφωση του χώρου είναι πολύ έντονη.

Σχήμα 8.5: Πάνω στον ορίζοντα το ρολόι του αστροναύτη έχει σταματήσει, ο χώρος έχει υποστεί μεγάλη παραμόρφωση και το μήκος κύματος έχει αυξηθεί κι άλλο μετατοπίζοντας το φάσμα ακόμη περισσότερο στο ερυθρό.

νούνται και τον χρόνο να κυλά κανονικά.

Μέσα στον ορίζοντα-κινούμενος προς την ανωμαλία

Ο αστροναύτης μας αντίθετα με αυτό που βλέπουν οι συνάδελφοί του⁸³ αισθάνεται να κατευθύνεται όλο και γρηγορότερα προς το κέντρο της

⁸³Γι' αυτούς η εικόνα του έχει παγώσει στη στιγμή που διέσχισε τον ορίζοντα και βλέπουν σταματημένη μόνον εκείνη τη στιγμή.

Μελανής Οπής και να βυθίζεται όλο και πιο βαθιά προς την ανωμαλία, αγνοώντας το γεγονός ότι οι συνάδελφοί του από το διαστημόπλοιο τον βλέπουν σταματημένο στον ορίζοντα. Μπροστά του διαγράφεται η ανωμαλία και κινείται προς αυτήν χωρίς να μπορεί να κάνει πίσω. Όμως το σκοτεινό κενό που έβλεπε πριν περάσει τον ορίζοντα, έχει αντικατασταθεί στα μάτια του από άπλετο φως, το φως από άλλα σύμπαντα που προέβλεψαν οι *Einstein* και *Rossen*. Ο χωροχρόνος εκεί είναι τόσο καμπυλωμένος που του επιτρέπει να δέχεται το φως από πολλά και διαφορετικά σύμπαντα, θα φθάσει όμως (όταν φθάσει) μόνο σε ένα από αυτά, σε εκείνο με το οποίο τον συνδέει η γέφυρα *Einstein – Rossen*. Φυσικά δεν έχει άλλη επιλογή, αφού η ανωμαλία τον κατευθύνει στο μονόδρομο του νέου σύμπαντος. Το πιο τρομερό όμως είναι ότι δεν θα επιζήσει για να δει πώς είναι εκεί, αφού, για να περάσει από τον λαιμό της σκουληχότρυπας, θα πρέπει να λεπτύνει σε διαστάσεις ατόμου. Έτσι θα υποστεί σύνθλιψη, πριν αποκτήσει την εμπειρία του νέου σύμπαντος. Αν όμως επιβίωνε από τη σύνθλιψη, θα είχε τη δυνατότητα να δει έναν πολύ διαφορετικό κόσμο από τον δικό μας εξερχόμενος από τη Λευκή Οπή που προβλέπει η θεωρία. Ίσως έφθανε σ' ένα σύμπαν με περισσότερες διαστάσεις, με διαφορετικές μορφές ύλης και ποιος ξέρει ίσως συναντούσε εξωτικές μορφές ζωής. Αν τέλος έπεφτε σε μία άλλη περιστρεφόμενη μελανή οπή εκείνου του νέου σύμπαντος, μπορεί με τον ίδιο τρόπο να περνούσε σε άλλο (τρίτο) σύμπαν, θα είχε δε ελάχιστες πιθανότητες να βρει «γέφυρα» που να τον φέρει πίσω στο δικό μας Σύμπαν!

8.3 Ταξίδια στο χρόνο

Όπως έχουμε πει παραπάνω, πρακτικά είναι ανέφικτο να περάσει κανείς από το λαιμό μίας σκουληχότρυπας, δεδομένου ότι οι διαστάσεις του είναι μηδενικές (της τάξεως της ατομικής ακτίνας), αφού θα έπρεπε το σώμα του να συνθλιβεί για να διέλθει απ' αυτόν. Φυσικά πριν θα έπρεπε να είχε ξεπεράσει τους κινδύνους της επιμήκυνσης κατά το πέρασμα από τον ορίζοντα.

Αν όμως ήταν δυνατόν να ξεπεραστούν αυτά τα πρακτικά προβλήματα, τότε η θεωρία θα του επέτρεπε κάτι ακόμη πιο εκπληκτικό από το να βγει σε άλλα σύμπαντα. Θα του επέτρεπε ένα ταξίδι στο χρόνο!

Ταξίδι στο χρόνο, κατά κάποιον τρόπο, θεωρείται και αυτό της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας (ΕΘΣ), στην οποία επιτρέπεται ένα σύντομο πέρασμα στο χρόνο, γνωστό ως «η διαστολή του χρόνου». Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, ένα κινούμενο ρολόι τρέχει πιο αργά από το ίδιος κατασκευής ακίνητο, ανάλογα με την ταχύτητα με την οποία αυτό κινείται.⁸⁴ [38]

Επομένως, αν από δύο δίδυμους 25χρονους αδελφούς ο ένας κινούμενος με διαστημόπλοιο με ταχύτητα $0,99c$ ταξιδέψει στον Γαλαξία για 30 χρόνια και διανύσει σε άλλα 30 την απόσταση της επιστροφής, τότε επιστρέφοντας στη Γη θα βρει τον γερασμένο 85χρονο αδελφό του να τον περιμένει.⁸⁵ Ο ταξιδιώτης αδελφός όμως θα έχει μεγαλώσει μόνο κατά 8,5 χρόνια και θα είναι μόνο 33,5 ετών. Αυτό συμβαίνει, διότι ταξίδευε όλο αυτό το διάστημα με ταχύτητα κοντά στην ταχύτητα του φωτός και ο χρόνος γι' αυτόν κυλούσε πιο αργά.

Το θεωρητικό αυτό γεγονός που προβλέπεται από την ΕΘΣ είναι γνωστό ως «το παράδοξο των διδύμων» και κατά κάποιον τρόπο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα είδος ταξιδιού στο χρόνο, αφού ο ταξιδιώτης αδελφός ουσιαστικά **ταξίδεψε στο μέλλον του δίδυμου αδελφού του**. Συνδυάζοντας τώρα τη διαστολή του χρόνου, που προβλέπει η ΕΘΣ, με την θεωρητική πρόβλεψη της γέφυρας *Einstein – Rossen* [12] της ΓΘΣ, είναι δυνατόν (σε θεωρητικό πάντα επίπεδο, αφού πολλές ανυπέρβλητες πρακτικές δυσκολίες πρέπει να ξεπεραστούν)⁸⁶ να επιτευχθεί ένα ακόμη ταξίδι, στο παρελθόν αυτή τη φορά.

⁸⁴Η σχέση που συνδέει το χρονικό διάστημα $\Delta t'$ που μετράει το κινούμενο με ταχύτητα u ρολόι, με το χρονικό διάστημα Δt που δείχνει το ακίνητο όμοιό του

$$\text{είναι: } \Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} .$$

⁸⁵Στη Γη έχουν περάσει $30 + 30 = 60$ χρόνια

⁸⁶Στους κινδύνους από τη σύνθλιψη και επιμήκυνση που αναφέρθηκαν πιο πάνω, θα πρέπει να προστεθεί και η δυσκολία επιτεύξεως ταχύτητας τόσο κοντά στην ταχύτητα του φωτός

Έτσι, αν στο προαναφερθέν διαστημόπλοιο, στο έτος 2019, προσαρμόσουμε τη μία άκρη μιας σκουληκότρυπας, τη δε άλλη τη στερεώσουμε σταθερά στη Γη και το προγραμματίσουμε να επιστρέψει μετά από 8,5 έτη,⁸⁷ μετρημένα με ρολόι που βρίσκεται μέσα σ' αυτό, τότε, όταν θα επιστρέψει, στη Γη, θα έχουν περάσει 60 χρόνια. Οι δύο αδελφοί, που περίμεναν την επιστροφή του δίπλα στη στερεωμένη στη Γη άκρη της γέφυρας, θα είναι 85 ετών. Αν τώρα οι δίδυμοι περάσουν από τη στερεωμένη στη Γη άκρη της γέφυρας (έτος 2079), τότε θα τους περιμένει μία έκπληξη στην άλλη άκρη, την προσαρμοσμένη στο σκάφος που μόλις επέστρεψε. Μέσα σε κλάσμα δεπτερολέπτου θα έχουν περάσει στο παρελθόν της Γης, αφού σύμφωνα με το ρολόι του διαστημοπλοίου εκεί (στην άλλη άκρη της γέφυρας) έχουν περάσει μόνο 8,5 έτη από την έναρξη του ταξιδιού του διαστημοπλοίου και το ημερολόγιο δείχνει το έτος 2027,5. **Θα έχουν δηλαδή επισκεφθεί το παρελθόν τους.**

Τα παράδοξα, όμως, τέτοιου είδους ταξιδιών δε σταματούν εδώ. Αν υποθέσουμε ότι κάποιος παρατηρητής (με κακές προθέσεις), εκμεταλλευόμενος κατ' αυτόν τον τρόπο μία γέφυρα *Einstein – Rossen*, επισκεπτόταν το παρελθόν, στο σημείο του χρόνου που δεν είχε ακόμη γεννηθεί η μητέρα του και σκότωνε την γιαγιά του, τότε η γέννηση της μητέρας του δεν θα είχε γίνει ποτέ!!! Άρα, αφού δεν θα είχε γεννηθεί η μητέρα του δεν θα γεννούσε και τον ίδιο. Με το ταξίδι του αυτό θα απέτρεπε την γέννησή του! Επομένως τίθεται το εύλογο ερώτημα: «πώς είναι δυνατόν (αφού δε γεννήθηκε ποτέ!) να ταξιδέψει πίσω στο χρόνο και να σκοτώσει τη γιαγιά του;»

Πολλά τέτοιου είδους παράδοξα κάνουν τους επιστήμονες να σκέφτονται ότι τα ταξίδια στο χρόνο είναι μάλλον αδύνατα.

Παρελθόν, παρόν και μέλλον «λικνίζονται» ρομάντικά σε έναν περίεργο χορό με συνοδούς τις πιο όμορφες θεωρίες της σύγχρονης φυσικής, έναν χορό που μπορεί να σε ταξιδέψει στα πέρατα της φαντασίας!

⁸⁷ Δεν είναι απαραίτητο να ταξιδέψει μαζί του και ο ένας από τους δίδυμους αδελφούς.

8.4 Ημιαστέρες - Κβάζαρς (Quasars)

Στα 1963 τον Αμερικανο-Ολλανδό αστρονόμο *Marteen Schmidt* προβληματίζε ένα «αστέρι», το 3C 273, του οποίου φάσμα περιείχε αρκετές ευρείες και «άγνωστες» γραμμές εκπομπής.^[37]

Ο *Schmidt* χρησιμοποίησε το μεγάλο τηλεσκόπιο 5 μέτρων του αστροσκοπείου *Palomar*, για να πάρει ένα πολύ ακριβέστερο και λεπτομερέστερο φάσμα. Τότε διαπίστωσε ότι οι «άγνωστες» γραμμές ήταν οι γραμμές *Balmer*^{88 [13]} του υδρογόνου, αλλά μετατοπισμένες σε μήκος κύματος κατά 15,8% προς το ερυθρό, κάτι που σήμαινε ότι το «αστέρι» απομακρυνόταν με πολύ μεγάλη ταχύτητα.^{89 [17],[21],[31]}

Έτσι πρότεινε για πρώτη φορά τη σωστή ερμηνεία για το κβάζαρ, δηλαδή ότι επρόκειτο για κάποιον μακρινό γαλαξία, που απομακρυνόταν με ταχύτητα 47.400 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο (το 15,8% της ταχύτητας του φωτός). Ο *Schmidt* ονόμασε το αντικείμενο αυτό «**QUAS** - **stellaR** object» (δηλαδή *ημιαστέρα*).⁹⁰ Σήμερα οι επιστήμονες συμφωνούν ότι τα κβάζαρ είναι η συμπαγής άλως του υλικού που περιβάλλει την υπερβαρεία μελανή οπή που βρίσκεται στο κέντρο του γαλαξία.

⁸⁸Οι γραμμές *Balmer* στην ατομική φυσική είναι η ονομασία των έξι γραμμών, που περιγράφουν τις φασματικές εκπομπές του ατόμου του υδρογόνου. Πήραν το όνομά τους από τον Ελβετό μαθηματικό *Johann Balmer (1825-1898)*, ο οποίος στα 1885 εισήγαγε την εμπειρική εξίσωση [εξίσωση *Balmer*: $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, $n = 3, 4, \dots$ όπου $R = 1,097 \cdot 10^7 m^{-1}$ η σταθερά *Rydberg*], σύμφωνα με την οποία υπολογίζονται τα μήκη κύματος των γραμμών.

⁸⁹Η μετατόπιση των φασμάτων τέτοιων αντικειμένων προς το ερυθρό είναι από 0,06 μέχρι 6,4. Επομένως το κοντινότερο απέχει περί τα 780 εκατομμύρια έτη φωτός από εμάς, με τα περισσότερα να υπερβαίνουν τα τρία δισεκατομμύρια έτη φωτός. Αυτό προκύπτει ως αποτέλεσμα του συνδυασμού του φαινομένου *Doppler* και του νόμου του *Hubble*. Συγκεκριμένα με τη μεταβολή του μήκους κύματος της πηγής, σύμφωνα με το φαινόμενο *Doppler*, υπολογίζουμε την ταχύτητα v απομάκρυνσης. Κατόπιν και, αφού γνωρίζουμε πια την ταχύτητα απομάκρυνσης, υπολογίζουμε την απόσταση του αντικειμένου, που σύμφωνα με τον νόμο του *Hubble* θα είναι: $d = \frac{v}{H}$, όπου H : η σταθερά *Hubble*.

⁹⁰Τη σύντμηση *QUASAR* εισήγαγε ο Κινεζοαμερικανός αστροφυσικός *Hong-Yee Chiu*. Καταγράφηκε για πρώτη φορά στο Α΄ Συμπόσιο Σχετικιστικής Αστροφυσικής του Τέξας. (Ντάλας, 16-18 Δεκεμβρίου 1963)

Η ακτινοβολία (υπό τη μορφή θερμότητας) ενός κβάρζαρ δεν προέρχεται βέβαια από την ίδια τη μελανή οπή, αλλά από την ύλη που παγιδεύεται στην έλξη της.⁹¹ Η ύλη αυτή, που αποτελείται από κατακεραματισμένους αστέρες και σκόνη, πριν τελικά χαθεί μέσα στην «κοσμική δίνη», στροβιλίζεται γύρω της σε ακραίες ταχύτητες, δημιουργώντας έναν δίσκο («**δίσκος προσαύξησης**») και αναπτύσσει πολύ υψηλή θερμοκρασία. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών η ύλη (αέριο) διαστέλ-



Σχήμα 8.6: Μια καλλιτεχνική απεικόνιση του *ULAS J1120+0641*. Πρόκειται για το πιο μακρινό, μάζας $2.000.000.000M_{\odot}$, κβάρζαρ που έχει παρατηρηθεί σε απόσταση 28,85 δισεκατομμυρίων ετών φωτός (*Comoving distance*, δηλαδή απόσταση που δεν λαμβάνει υπόψη τη διαστολή του Σύμπαντος) από τη Γη. (Πηγή: *ESO/M.Kornmesser*)

λεται. Η διαστολή αυτή, σε συνδυασμό με τις δυνάμεις βαρύτητας και περιστροφής, έχει σαν αποτέλεσμα να απομακρυνθούν οι δύο επιφάνειες του δίσκου, σχηματίζοντας μια εσοχή. Τα ισχυρά μαγνητικά πεδία που

⁹¹Θυμίζουμε ότι ο περιορισμός στην ακτινοβολία μιας μελανής οπής, αναφέρεται μόνο στην ύλη που είναι μέσα στον ορίζοντα γεγονότων. Η έντονη ακτινοβολία από τους κβάρζαρ προέρχεται έξω από αυτήν την περιοχή.

αναπτύσσονται επιταχύνουν τα σωματίδια των ατόμων του αερίου και τα εκτινάσσουν μακριά σε δύο «πίδακες», (έναν σε κάθε πλευρά του δίσκου προσαύξεσης) με τεράστια ταχύτητα σχεδόν ίση με την ταχύτητα του φωτός. Οι «πίδακες» αυτοί είναι μαγνητισμένα νέφη ηλεκτρονίων, που κινούνται με σχετικιστικές ταχύτητες.^[31] (Σχήμα 8.6)

Ας δούμε τώρα την «αρχή», σύμφωνα με την οποία οι κβάζαρς ακτινοβολούν. Κατ' αρχάς το αέριο που πέφτει στη μελανή οπή πρέπει να μειώσει τη μεγάλη στροφορμή που έχει. Πράγματι δεν είναι εύκολο να πέσει ύλη μέσα σε μια μελανή οπή έχοντας μεγάλη στροφορμή. Ο ορίζοντας γεγονότων γύρω από τη μελανή οπή είναι μικρός και τα σωματίδια, για να πέσουν μέσα, πρέπει να κατευθύνονται ακριβώς στο κέντρο της. Διαφορετικά θα στροβιλίζονται γύρω από τον ορίζοντα.⁹² Το υλικό που συνωστίζεται ολοένα και περισσότερο κοντά στον ορίζοντα στροβιλίζεται και αναπτύσσει τεράστιες τριβές, σε σχέση με το υλικό που βρίσκεται πιο μακριά. Περιστρεφόμενο ολοένα και πιο αργά, κινείται σπειροειδώς προς το κέντρο και τελικά πέφτει μέσα στον ορίζοντα, οπότε και χάνεται για πάντα. Το μεγαλύτερο μέρος της της κινητικής ενέργειας γίνεται θερμότητα με τη βοήθεια του έργου των τριβών, και ακτινοβολείται έπειτα ως θερμική ακτινοβολία.

Η τεράστια παραγωγή ενέργειας προέρχεται, όπως είπαμε, από τους δίσκους προσαύξεσης της κεντρικής μελανής οπής, όπου το υλικό από την αρχή μέχρι και την πτώση του μέσα στην ανωμαλία μπορεί να μετατρέψει μέχρι και το 10% της μάζας του σε ενέργεια! Η απόδοση αυτού του μηχανισμού είναι τεράστια, αν αναλογιστεί κανείς ότι στην πυρηνική σύντηξη (αλυσίδα $p - p$),⁹³ που κυριαρχεί στην παραγωγή ενέργειας

⁹²Ένα ανάλογο παράδειγμα είναι το νερό που πέφτει σε ένα νεροχύτη. Το νερό αναπόφευκτα στροβιλίζεται γύρω από την τρύπα του νεροχύτη, και πρέπει να μειώσει τη στροφορμή, για να μπορέσει να πέσει μέσα. Το αέριο που πέφτει μέσα στη μελανή οπή, όπως το νερό, χάνει τη στροφορμή του με τον ίδιο τρόπο, σχηματίζοντας ένα στροβιλιζόμενο δίσκο του υλικού κοντά στον ορίζοντα γεγονότων.

⁹³Η αλυσίδα πρωτονίου - πρωτονίου ($p - p$) είναι μία σειρά θερμοπυρηνικών αντιδράσεων, σύμφωνα με την οποία οι αστέρες μετατρέπουν το υδρογόνο σε ήλιο και εφαρμόζεται σε αστέρες μέσου και μικρού μεγέθους, όπως είναι ο Ήλιος. Η συγκεκριμένη αλυσίδα θερμοπυρηνικών αντιδράσεων συντήξεως απαιτεί υψηλή θερμοκρασία και συνεπώς υψηλή κινητική ενέργεια, ώστε να ξεπεραστεί η αμοιβαία

στο εσωτερικό των αστέρων, μόνο το 0,7% της ύλης μετατρέπεται σε ενέργεια.^{[1],[7],[32]}

Στο στάδιο της τριβής τους (καθώς δηλαδή τα στρώματα του αερίου και της σκόνης στροβιλίζονται πολύ γρήγορα) τα σωματίδια αποχτούν θερμοκρασίες τεράστιες, που φτάνουν και τους εκατομμύρια βαθμούς εκείνα που είναι πιο κοντά στον ορίζοντα. Το δε αέριο με την πυράκτωση αυτή εκπέμπει έντονη θερμική ακτινοβολία και παίρνει λευκό χρώμα.⁹⁴

Ο συνδυασμός της θερμικής ακτινοβολίας, το λευκό χρώμα και το μεγάλο μέγεθος του δίσκου, κάνουν τους κβάζαρς τα δεύτερα πιο φωτεινά αντικείμενα στο Σύμπαν, μετά τους υπερκαινοφανείς αστέρες.

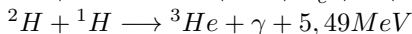
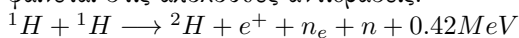
Ένας συνηθισμένος κβάζαρ για να στηρίξει τη λαμπρότητα του (να ακτινοβολεί δηλαδή) πρέπει να «καταπίνει» περίπου 1 ηλιακή μάζα ($1M_{\odot}$) σε αέριο ετησίως, ενώ τα μεγαλύτερα ακόμα και $1000M_{\odot}$!

Πρόσφατες έρευνες αποκάλυψαν ότι οι κβάζαρς γεννήθηκαν περίπου δυόμισι δισεκατομμύρια έτη μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Τότε υπήρχαν χίλιες φορές περισσότεροι κβάζαρς από αυτούς που υπάρχουν σήμερα.

Πώς όμως δημιουργήθηκαν σ' εκείνη τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή; Ένα μοντέλο, που υποστηρίζουν πολλοί επιστήμονες και εξηγεί τη δημιουργία τους, είναι το παρακάτω:

Μετά τη μεγάλη έκρηξη, νέφη αερίου και σκόνης συγκεντρώθηκαν υπό την επίδραση της βαρύτητας και συγχωνεύθηκαν, για να σχηματίσουν, με τον τρόπο αυτό, γαλαξίες. Στο κέντρο κάποιων, νεαρών τότε γαλαξιών η βαρύτητα συγκέντρωσε το μεγαλύτερο μέρος των αστέρων και της ύλης δημιουργώντας (με τον τρόπο που έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2) τελικά μια μελανή οπή. Καθώς έπεφτε συνεχώς στην μελανή

άπωση των θετικών φορτίων. Η αλυσίδα $p - p$ λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια, όπως φαίνεται στις ακόλουθες αντιδράσεις:



μεσολαβεί η ενδιάμεση αντίδραση, κατά την οποία το ποζιτρόνιο εξαιλώνεται άμεσα με ένα ηλεκτρόνιο και η ενέργεια μετατρέπεται σε δύο ακτίνες γ , σύμφωνα με την $e^+ + e^- \longrightarrow 2\gamma + 1.02\text{MeV}$ ^[7]

⁹⁴Στα πιο φωτεινά, άρα και μεγάλα, κβάζαρς αυτός ο πυρακτωμένος δίσκος του αερίου μπορεί να εκτείνεται σε μια απόσταση 10.000 φορές μεγαλύτερη από την απόσταση της Γης από τον Ήλιο.

οπή, η ύλη θερμαινόταν έντονα και με τη γνωστή διαδικασία δημιουργήσε τον κβάζαρ.^{[10],[31]}

Ο αριθμός των κβάζαρς ελαττώνεται με τον χρόνο. Η εξαφάνισή τους οφείλεται στο σταμάτημα του ανεφοδιασμού τους με καύσιμα. Παλιότερα υπήρχε στους γαλαξίες άφθονο αέριο, προτού αυτό να συμπυκνωθεί σε αστέρες. Τώρα το μεγαλύτερο μέρος αυτού του αερίου έχει δημιουργήσει τους αστέρες και δεν είναι πια διαθέσιμο, για να πέσει στις κεντρικές μελανές οπές των γαλαξιών.

Κβάζαρς, που η εγγύς περιοχή τους περιβάλλεται από ύλη (αστέρες και αέριο), «*παραμιονεύουν*»⁹⁵ μέχρι η ύλη αυτή να πλησιάσει αρκετά, ώστε να την παγιδεύσουν στο βαρυτικό τους πεδίο και τελικά να την «*καταβροχθήσουν*» με τη διαδικασία που αναφέρθηκε πιο πάνω. Τότε έχουμε την αναζωπύρωση του κβάζαρ.

Στο κέντρο του δικού μας Γαλαξία υπάρχει μια υπερβαρεία μελανή οπή, με μάζα $1.000.000M_{\odot}$, και σε απόσταση μόνο 30.000 έτη φωτός από τον Ήλιο. Το αέριο που την τροφοδοτούσε όμως εξαντλήθηκε και για αυτό εκπέμπει μόνο μια εξασθενημένη ραδιοακτινοβολία, ένα «*χλωμό*» φως πολύ ασθενέστερο από αυτό που πιθανόν να εξέπεμπε πριν μερικά δισεκατομμύρια χρόνια.

Όπως έχει αναφερθεί, ο πρώτος κβάζαρ που παρατηρήθηκε, είναι ο 3C 273, του οποίου η απόστασή από τη Γη είναι 2 δισεκατομμύρια έτη φωτός και απομακρύνεται από τον δικό μας Γαλαξία (και φυσικά και από τη Γη) με ταχύτητα 47.400 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο (το 15,8% της ταχύτητας του φωτός)^[37]. Εκείνη η επιτυχία έφερε επανάσταση στις παρατηρήσεις των κβάζαρς και παρότρυνε τους αστρονόμους να μετρήσουν τις μετατοπίσεις προς το ερυθρό και άλλων ραδιοπηγών. Η πηγή 3C 48 βρέθηκε να έχει ταχύτητα απομακρύνσεως το 37% της ταχύτητας του φωτός.^[52] Ακολούθησαν εκατοντάδες περιπτώσεις τέτοιων πηγών, που παρέπεμπαν σε αντίστοιχους κβάζαρς. Μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί πάνω από 100 χιλιάδες κβάζαρς και αποτελούν μαζί με τους αστέρες νετρονίων από τα πιο εντυπωσιακά παρατηρούμενα αντικείμενα στο Σύμπαν.

⁹⁵Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την λυρική αυτή έκφραση αφού οι κβάζαρς που δεν τροφοδοτούνται με ύλη, βρίσκονται σε «καταστολή».

