



Οι Γαλαξίες

&

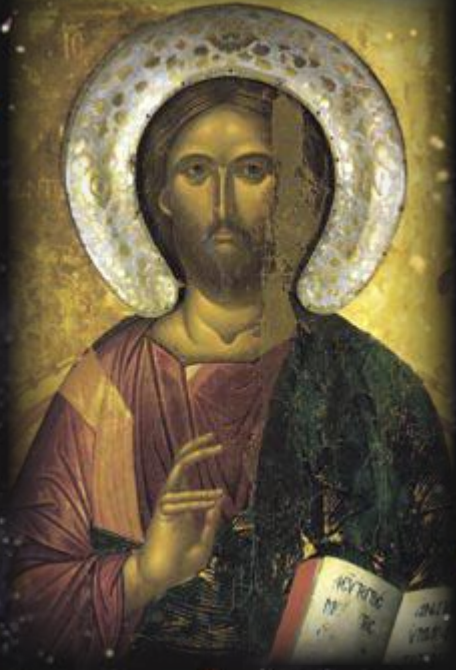
Οι Αστέρες

ΣΤΟ

"Ανοιχτό Υπερβολικό Σύμπαν"

(γένεση - εξέλιξη - θάνατος)

Κείμενο - Φωτογραφίες: Της (ΠΖ) Ιωάννης Χρ. Αγαπάκης



*Εν Αρχήν ην ο Λόγος
και ο Λόγος ην προς τον Θεόν
και Θεός ην ο Λόγος...
«κατά Ιωάννην Ευαγγέλιον»*

Το ότι η αρχή των πάντων είναι ο Θεός δεν μπόρεσε κανείς ακόμη να το αποδείξει, αλλά το ίδιο βέβαιο είναι ότι κανείς δεν μπορεί (τουλάχιστον μέχρι σήμερα) να το απορρίψει.

Ακόμη και αν δεχθούμε ότι όλα αυτά που υπάρχουν έγιναν τυχαία, τότε πρέπει να δώσουμε απάντηση στα μεγάλα ερωτήματα:

- τι υπήρχε πριν ξεκινήσει η «τυχαία» αυτή δημιουργία;

- ποιος δημιούργησε αυτό το «τι» που υπήρχε;

- ποιος άναψε το «φυτίλι» για να γίνει η Μεγάλη Έκρηξη που τελικά όλοι δεχόμαστε;

Μήπως στο Ευαγγέλιο πρέπει να επιστρέψουμε για την αναζήτηση απαντήσεων στα τρία τελευταία ερωτήματα;

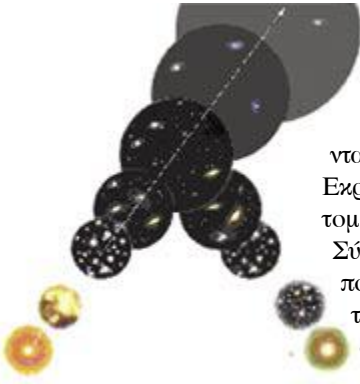
Επειδή όμως ο Θεός, ως Θεός, δεν χρειάζεται απόδειξη, (αρκεί κανείς να κοιτάξει γύρω του και θα τον δει!), ας κοιτάξουμε λίγο τι κατάφερε να δημιουργήσει και μετά από ποιες διαδικασίες φθάσαμε στους γαλαξίες στους αστέρες και τα άλλα ουράνια σώματα του παρατηρούμε στον ουρανό σήμερα.

- *Εν Αρχήν εποίησεν ο Θεός τον ουρανόν και την γήν...*

- *Και είπεν ο Θεός γενηθήτω φως και εγένετο φως*

«Παλαιά Διαθήκη»

Εάν η Παλαιά Διαθήκη ξαναγραφόταν σήμερα, τα εδάφια αυτά θα διαφοροποιούνταν λίγο από την τότε γραφή τους, λόγω της εξέλιξης της επιστήμης σε Κοσμολογικά θέματα αφού την εποχή εκείνη οι άνθρωποι δεν θα καταλάβαιναν τίποτε, αν η Παλαιά Διαθήκη αναφερόταν σε Μεγάλη έκρηξη, γαλαξίες, αστέρες, χώρο και χρόνο.



Δημιουργία Γαλαξιών

Αφήνοντας λοιπόν ανοικτό το θέμα του Θεού και προχωρώντας μερικές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια μετά από την Μεγάλη Εκρηξη, οπότε δημιουργήθηκε το Σύμπαν (περίπου 20 δισεκατομμύρια χρόνια από σήμερα) φθάνουμε στη στιγμή που το Σύμπαν αποτελείται από ένα τεράστιο αραιό νέφος αερίου σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Είναι πιθανό το υδρογόνο να ήταν το μοναδικό στοιχείο του νέφους, με τη μορφή των βασικών σωματιδίων που το αποτελούν, τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια. Τα υπόλοιπα στοιχεία δημιουργήθηκαν αργότερα.

Μεγάλη έκρηξη-εξέλιξη σύμπαντος Πιστεύεται πως οι διάφορες περιοχές του νέφους αυτού ασκούσαν βαρυτική έλξη, η μια στην άλλη, και το αποτέλεσμα ήταν η συστολή του νέφους και η αύξηση της πυκνότητάς του.

Καθώς αυξανόταν η πυκνότητα, οι συγκρούσεις ανάμεσα στα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια και η επακόλουθη εκπομπή ακτινοβολίας γίνονταν όλο και πιο συχνά. Ενώ κρύωνε το νέφος, η εσωτερική πίεση του αερίου δεν ήταν σε θέση να αντισταθμίσει τη βαρυτική έλξη και η συστολή συνεχιζόταν με όλο και πιο γρήγορο ρυθμό.

Μερικοί μαθηματικοί υπολογισμοί υποδηλώνουν πως σε μία τέτοια συμπίκνωση, το νέφος θα τεμαχιζόταν υποχρεωτικά σε άλλες μικρότερες μάζες, τους πρωτογαλαξίες, τους οποίους πολλοί αστρονόμοι θεωρούν σαν προγόνους των γαλαξιών.

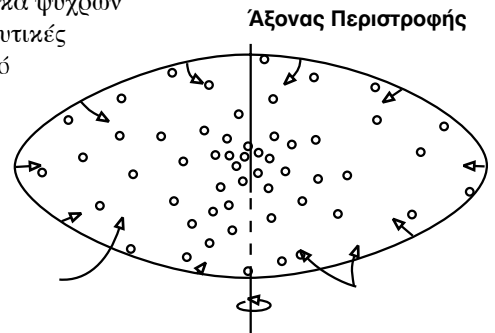
Ο καθένας από αυτούς τους σχηματισμένους πρωτογαλαξίες, που συνέχιζαν τη συστολή τους κάτω από την επιρροή της ίδιας τους της βαρύτητας, τεμαχίστηκε σε ακόμα μικρότερες μάζες, που αργότερα αποτέλεσαν τα σφαιρικά αστρικά σμήνη. Πιστεύεται πως το τέταρτο επίπεδο τεμαχισμού των σφαιρικών σμηνών οδήγησε στο σχηματισμό των ξεχωριστών άστρων της πρώτης γενιάς, δηλαδή εκείνων που αποτελούνταν αποκλειστικά ή σχεδόν αποκλειστικά από υδρογόνο (H_2).

Στη μακρινή εκείνη εποχή των τεμαχισμών, οι σχετικές ταχύτητες των ξεχωριστών ομάδων ήταν αρκετά υψηλές, και οι πρωτογαλαξίες θα πρέπει να είχαν περίπου σφαιρική μορφή.

Είναι εύκολο να καταλάβουμε γιατί οι αρχικοί γαλαξίες με το σφαιρικό ή ακανόνιστο σχήμα κατέληξαν να γίνουν δισκοειδείς: Οι συγκρούσεις των σωματιδίων του αερίου στον πρωτογαλαξία θέρμαιναν το νέφος. Τότε, το θερμό νέφος ακτινοβολούσε στο διάστημα, χάνοντας έτσι κινητική ενέργεια. Με άλλα λόγια το νέφος γινόταν όλο και πιο ψυχρό. Οι κινήσεις των σχετικά ψυχρών σωματιδίων κυριαρχούνταν τώρα από τις βαρυτικές δυνάμεις με αποτέλεσμα το πρωτογαλαξιακό νέφος να συμπυκνώνεται.

Εάν υποθέσουμε ότι ένας πρωτογαλαξίας περιστρεφόταν έστω και λίγο όταν άρχισε η συμπίκνωση, μπορούμε να δείξουμε με

Σχήμα 1. Σχηματική αναπαράσταση ενός γαλαξία στο στάδιο του σχηματισμού του. Καθώς το νέφος αερίου πέφτει προς τον πυρήνα, η ταχύτητα περιστροφής του αυξάνεται. Αποτέλεσμα η πλάτυνση του συστήματος στους πόλους.



Συστελλόμενο Νέφος-Αερίου **Σφαιρικά Σμήνη**

απλή Νευτώνεια Μηχανική ότι θα περιστρεφόταν πολύ γρηγορότερα καθώς προχωρούσε η συμπίκνωση παίρνοντας τελικά δισκοειδες σχήμα (βλ σχήμα 1).

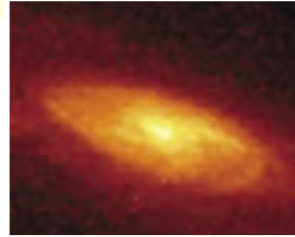
Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες τέτοιων δισκοειδών επιπέδων περιστρεφόμενων συστημάτων (γαλαξίες).

► Σπειροειδείς (τύπου S)

- **Sa**: Σπειροειδείς με λαμπρούς πυρήνες και κλειστές σπείρες.
- **Sb**: Σπειροειδείς με κάπως αμυδρότερους πυρήνες και πιο ανοικτές σπείρες.
- **Sc**: Σπειροειδείς με μικρούς αμυδρούς πυρήνες, ανοικτές σπείρες και πιο ανοικτές σπείρες.



Σπειροειδής γαλαξίας



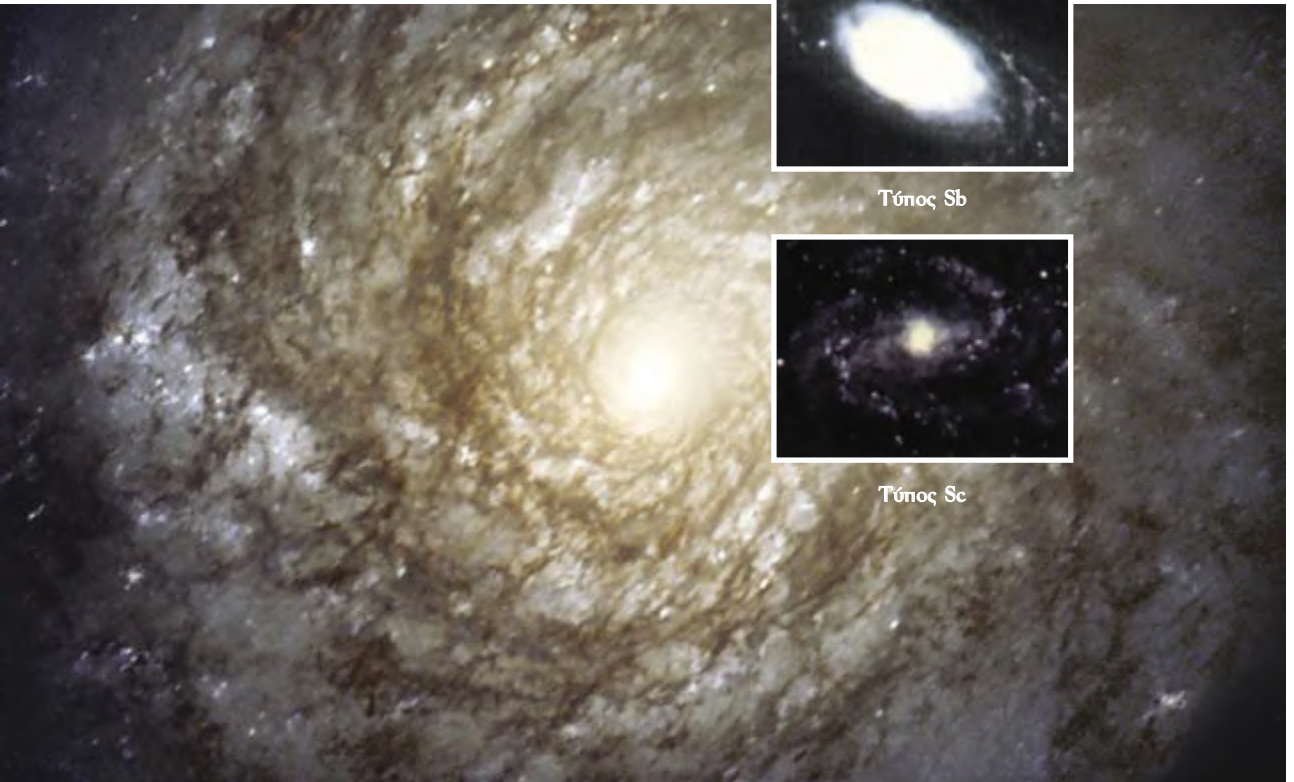
Τύπος Sa



Τύπος Sb



Τύπος Sc



► Ραβδωτοί Σπειροειδείς (τύπου SB)

- **SBa**: Σπειροειδείς με λαμπρούς πυρήνες και κλειστές σπείρες.
- **SBb**: Σπειροειδείς με κάπως αμυδρότερους πυρήνες και πιο ανοικτές σπείρες.
- **SBc**: Σπειροειδείς με μικρούς αμυδρούς πυρήνες, ανοικτές σπείρες και πιο ανοικτές σπείρες.



Σπειροειδής γαλαξίας NGC1365. Οι φωτεινοί του βραχίονες ξεκινούν από μία κεντρική ράβδο.



Τύπος SBa



Τύπος SBb



Τύπος SBc



► Ελλειπτικοί (τύπου E) E0, E1, ..., E7.

Οι ελλειπτικοί γαλαξίες διακρίνονται σε οκτώ τύπους, E0, E1, ..., E7, ανάλογα με τις διαστάσεις της μικρής και της μεγάλης διαμέτρου της έλλειψης.



NGC 205 ελλειψοειδής γαλαξίας συνοδός του M31 (Ανδρομέδα).



NGC 5128 ελλειπτικός γαλαξίας που καλύπτεται κατά ζώνες από υπολείμματα ενός άλλου αστρικού συστήματος (Α Κενταύρου).



Άλλη άποψη του NGC 5128 (Α Κενταύρου).

► Ανώμαλοι (τύπου Irr).

- Irr I: περιέχουν πολύ λίγη σκόνη και ευδιάκριτους αστέρες.
- Irr II: περιέχουν ζώνες σκόνης που εμποδίζουν την παρατήρηση μεμονωμένων αστέρων.



Ανώμαλος γαλαξίας (Νεφέλωμα).



Ανώμαλου τύπου γαλαξίας NGC 3293.



Ο γειτονικός με το δικό μας γαλαξίας M31 (Ανδρομέδα).

Τα χαρακτηριστικά ενός γαλαξία προσδιορίζονται από την αρχική του μάζα, τη σημερινή του ηλικία και την αρχική ταχύτητα περιστροφής του, δηλαδή την ταχύτητα περιστροφής του πρωτογαλαξία.

Περαιτέρω σχηματισμοί άστρων σε τέτοιους γαλαξίες θα γίνουν μόνο προς το μέρος του πυρήνα τους, όπου μπορεί να έχει συγκεντρωθεί το υπόλοιπο του διαστρικού αερίου. Μερικές φορές, ο σχηματισμός αστέρων μπορεί να σταματήσει εντελώς και τότε οι γαλαξίες χαρακτηρίζονται από λίγο αέριο, σκόνη και πολλούς αστέρες. Οι ελλειψοειδείς γαλαξίες δείχνουν τέτοιες ιδιότητες.

Αν ο πρωτογαλαξίας έχει μεγάλη μάζα και περιστρέφεται πολύ γρήγορα, υπάρχουν πιθανότητες να σχηματιστούν σπειροειδείς βραχιόνες που οδηγούν στην εξέλιξη ενός σπειροειδούς γαλαξία σαν τον δικό μας.

Εξέλιξη γαλαξιών

Οι πρωτογαλαξίες είναι χαοτικοί σχηματισμοί αερίου και σκόνης που συστέλλονται στον διαγαλαξιακό χώρο. Καθώς περνάει ο καιρός, υπάρχει μεγάλη δραστηριότητα σχηματισμού άστρων και ο γαλαξίας αναγνωρίζεται σαν ακανόνιστος. Τότε ο γαλαξίας συστέλλεται προς το κεντρικό του επίπεδο και με διάφορες διαδικασίες, που ακόμα δεν καταλαβαίνουμε πολύ καλά, σχηματίζει ανοιχτούς ελεύθερους από τη μια μεριά βραχιόνες, όπου είναι συγκεντρωμένη περισσότερη σκόνη και όπου κατά προτίμηση σχηματίζονται οι αστέρες. Ίσως μαγνητικά πεδία να ελέγχουν την κατασκευή των σπειροειδών βραχιόνων, αλλά οι λεπτομέρειες της διαδικασίας αυτής



Γαλαξίας NGC 4594 (M104) ή αλλιώς «Sombrero galaxy» ένα σπειροειδής τύπου Sa με πολύ σφικτά δεμένες στον πυρήνα υς σπείρες του.

παραμένουν μέχρι τώρα σκοτεινές για μας. Καθώς οι διαδοχικές γενιές άστρων εξαντλούν το διαστρικό αέριο και τη σκόνη, η πυκνότητα του διαστρικού χώρου ελαττώνεται, ο αριθμός των εξελιγμένων αστέρων αυξάνεται και οι σπειροειδείς βραχίονες τυλίγονται όλο και πιο σφιχτά κοντά στον πυρήνα του γαλαξία.

Κάποτε σχεδόν όλο το αέριο και η σκόνη καταλήγουν να χρησιμοποιηθούν για το σχηματισμό αστέρων, οι σπειροειδείς βραχίονες έχουν τυλιχτεί ολοκληρωτικά στον πυρήνα και ο γαλαξίας χαρακτηρίζεται πια από γέρικα, εξελιγμένα άστρα. Έχει δημιουργηθεί πια ένας ελλειψοειδής γαλαξίας.

Δημιουργία και εξέλιξη αστέρων

Ας εξετάσουμε τώρα πως σχηματίζονται οι αστέρες.

Στους γαλαξίες υπάρχουν μεγάλα σύννεφα μεσοαστρικής ύλης, με μάζες που κυμαίνονται από 100-1000 ηλιακές μάζες. Η μεσοαστρική ύλη είναι συγκεντρωμένη κυρίως στο γαλαξιακό επίπεδο και στις σπείρες των σπειροειδών γαλαξιών και έχει πολύ μικρή πυκνότητα, περίπου 1 πρωτόνιο ανά κυβικό εκατοστό.

Υποτίθεται πως, κάτω από ορισμένες ειδικές συνθήκες το νέφος αυτό αερίου και σκόνης αρχίζει να συμπυκνώνεται (ίσως αυτό να συμβαίνει χάρη στις δυνάμεις βαρύτητας που κάθε τμήμα του διαστρικού νέφους ασκεί σε όλα τα υπόλοιπα τμήματα του).

Οι αστέρες αρχίζουν να σχηματίζονται όταν στη μεσοαστρική ύλη δημιουργηθούν τυχαίες συμπυκνώσεις ύλης που, επειδή πλέον διαθέτουν βαρυντικό πεδίο ισχυρότερο από τη γύρω τους περιοχή, αρχίζουν να μεγαλώνουν, έλκοντας και άλλες ποσότητες ύλης. Κοντά στη συμπύκνωση, η ταχύτητα διαφυγής σύντομα μεγαλώνει, ενώ μακριά από αυ-



Η Μεσοαστρική ύλη Νεφλώματος από την οποία δημιουργούνται οι αστέρες.



Στις σπείρες σπειροειδών γαλαξιών δημιουργούνται οι συνθήκες για τη γένεση.

τήν παραμένει πολύ μικρή, μικρότερη από τις ταχύτητες που εύκολα αποκτούν τα μόρια του μεσοαστρικού αερίου κατά τις τυχαίες συγκρούσεις τους. Έτσι, πολύ σύντομα μια ποσότητα μάζας ξεχωρίζει από την υπόλοιπη μεσοαστρική ύλη. Η μάζα αυτή τελικά θα σχηματίσει τον αστέρα.

Η συστολή της μάζας συνεχίζεται. Θεωρώντας την προς στιγμινή σφαιρική και ομογενή, η μάζα αυτή έχει ολική δυναμική (βαρυτική) ενέργεια που συνεχώς αυξάνει κατά τη διάρκεια της συστολής.

Η σφαίρα δεν είναι ακόμη άστρο, αφού οι θερμοκρασίες στις κεντρικές του περιοχές δεν είναι αρκετά υψηλές για να προκληθούν θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Στις σχετικά χαμηλές αυτές θερμοκρασίες, οι πιέσεις του αερίου στο εσωτερικό της σφαίρας δεν είναι αρκετά μεγάλες για να αναχαιτίσουν τις ελκτικές δυνάμεις βαρύτητας. Άρα, η σφαίρα συνεχίζει να συστέλλεται. Πιστεύεται πως τα πρωτοάστρα, σ' αυτό το αδιαφανές απλωμένο στάδιο, μπορούν να παρατηρηθούν σαν μικρές, σκοτεινές κηλίδες. Υπάρχουν λόγοι να πιστεύουμε πως τα πρωτοάστρα σχηματίζονται κατά ομάδες. Αργότερα, αυτές οι ομάδες πρωτοαστρων εξελίσσονται σε συναθροίσεις άστρων ή σμήνη. Είναι πολύ πιθανό πως, σ' αυτό το αρχικό στάδιο εξέλιξης, γύρω από τα άστρα, σχηματίζονται ομάδες μικρότερων μαζών που, αργότερα, μεταμορφώνονται σε πλανήτες.

Καθώς συστέλλεται το πρωτοάστρο, η δυναμική βαρυτική του ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα και φως. Χρειάζονται τεράστιες ποσότητες ενέργειας για να θερμομανθεί μια αστρική μάζα από θερμοκρασίες κοντά στο απόλυτο μηδέν μέχρι δεκάδες εκατομμύρια βαθμούς. Η υπόλοιπη δυναμική ενέργεια που ελευθερώνεται κατά τη συστολή εκπέμπεται στο γύρω διάστημα.

Καθώς περνάει ο χρόνος, το πρωτοάστρο συνεχίζει τη συστολή του. Οι διαστάσεις του μικραίνουν ενώ η θερμοκρασία τόσο στο εσωτερικό όσο και στην επιφάνεια μεγαλώνει. Αυτή η αρχική φάση συστολής του πρωτοαστρων γίνεται σχετικά γρήγορα για τα διαστημικά δεδομένα.

-Αν το αρχικό νέφος αερίου είχε μια πυκνότητα 10.000 ατόμων για κάθε κυβικό εκατοστό, ο χρόνος παρακαμψής θα ήταν περίπου 500.000 χρόνια.

-Αν η αρχική πυκνότητα είναι μεγαλύτερη ο χρόνος παρακαμψής είναι μικρότερος, αφού η ελκτική δύναμη της βαρύτητας που οδηγεί στην παρακαμψή γίνεται μεγαλύτερη με τη μεγαλύτερη πυκνότητα.

Σ' αυτό το σημείο, η εσωτερική θερμοκρασία του πρωτοαστρων φτάνει τους 100.000 βαθμούς Kelvin. Επειδή η θερμοκρασία δεν είναι αρκετή για να προκληθούν θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, δεν έχει σχηματιστεί ακόμη άστρο. Αυτή όμως η θερμοκρασία είναι αρκετή για να ιονίσει το υδρογόνο (H_2) και το ήλιο (He) που αποτελούν τα κύρια συστατικά στοιχεία του πρωτοαστρων. Αυτό σημαίνει πως αυτή η θερμοκρασία είναι αρκετή ώστε τα άτομα υδρογόνου και ηλίου να χάνουν ηλεκτρόνια με τις βίαιες συγκρούσεις τους. Αυτά τα ιονισμένα άτομα απορροφούν πιο αποτελεσματικά την ακτινοβολία που προέρχεται απ' το εσωτερικό του πρωτοαστρων, παρά τα ουδέτερα εκείνα άτομα που έχουν συμπληρωμένο αριθμό ηλεκτρονίων. Έτσι η ακτινοβολία που πριν απελευθερωνόταν στο διάστημα τώρα παγιδεύεται στο εσωτερικό και κάνει το πρωτοάστρο να θερμαίνεται παραπάνω.

Όταν η εσωτερική θερμοκρασία φτάσει τους 500.000 βαθμούς Kelvin, αρχίζουν οι πρώτες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Πρώτα καίγονται το δευτέριο (${}_1D^2$) και τα ελαφρά στοιχεία, λίθιο (Li), βηρύλιο (Be) και βόριο (B) τα οποία όμως πολύ σύντομα εξαντλούνται, γιατί αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό της αρχικής ύλης. Η συρρίκνωση συνεχίζεται και η θερμοκρασία συνεχώς αυξάνει. Όταν η κεντρική θερμοκρασία φτάσει τα 10 εκατομμύρια βαθμούς Kelvin αρχίζει η καύση του άφθονου υδρογόνου, που μετατρέπεται

σε ήλιο μέσω θερμοπυρηνικών αντιδράσεων.

Έτσι λοιπόν φθάνουμε στο σημείο που η πίεση στο εσωτερικό ισορροπεί ακριβώς την ελκτική δύναμη της βαρύτητας και ολόκληρη η σφαίρα αερίου παύει να συστέλλεται. Το πρωτοάστρο έχει γίνει άστρο.

Στο άστρο επικρατεί τώρα κατάσταση θερμοδυναμικής και υδροστατικής ισορροπίας, (1^η φάση). Στο στάδιο αυτό βρίσκεται η πλειονότητα των άστρων που παρατηρούμε.

Κατά την περίοδο αυτή της υδροστατικής και θερμοδυναμικής ισορροπίας λέμε ότι το άστρο βρίσκεται στην κύρια ακολουθία.

Το χρονικό διάστημα από την αρχική συμύκνωση της μεσοαστρικής ύλης μέχρι το σχηματισμό του αστέρα και τη σταθεροποίησή του στο στάδιο της κύριας ακολουθίας είναι πάρα πολύ σύντομο.

Υπολογίζεται μόλις σε δυο εκατομμύρια χρόνια για τον Ήλιο, λιγότερο για τα μεγαλύτερα άστρα και μερικές δεκάδες εκατομμύρια χρόνια για τα μικρότερα από τον Ήλιο άστρα.

Αφού υπάρχει μια ορισμένη ποσότητα υδρογόνου στον πυρήνα του άστρου, αργά ή γρήγορα, τα πυρηνικά καύσιμα κάποτε θα εξαντληθούν, ανάλογα με τη μάζα του αστέρα.

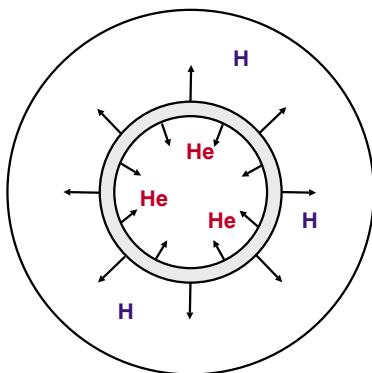
Το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους τα αστέρια το περνούν στο στάδιο της κύριας ακολουθίας. Θεωρείται η περίοδος της ωριμότητας τους, επειδή χαρακτηρίζεται από σταθερότητα (2^η φάση).

Συνεχίζοντας την εξέλιξη του ο αστέρας φθάνει να κάψει το 10 % του υδρογόνου του μετατρέποντας το σε ήλιο στο εσωτερικό του. Εκεί λοιπόν σχηματίζεται ένας σημαντικά μεγάλος πυρήνας ηλίου (με διαστάσεις μισή περίπου αστρική ακτίνα), ενώ το υδρογόνο εξακολουθεί να καίγεται στους αμέσως υπερκείμενους φλοιούς (Σχήμα 2). Στον πυρήνα δεν γίνονται πια θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, γιατί η καύση του ηλίου απαιτεί θερμοκρασίες τουλάχιστον 100 εκατομμυρίων βαθμών.

Ο πυρήνας ηλίου αρχίζει να συστέλλεται εξαιτίας της βαρύτητας, θερμαίνεται, ακτινοβολεί και θερμαίνει τα προσκείμενα στρώματα υδρογόνου. Το υδρογόνο των ανώτερων στρωμάτων όμως συνεχίζει τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις και έτσι το περίβλημα διαστέλλεται, σε αντίθεση με τον πυρήνα Ηλίου (He) ο οποίος συνεχίζει να συστέλλεται. Η συρρίκνωση του κεντρικού πυρήνα ηλίου, λόγω της βαρύτητας, έχει ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία του να φθάσει σύντομα στα 100 εκατομμύρια βαθμούς.

Τότε αρχίζουν για πρώτη φορά οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις του ηλίου, που καίγεται προς άνθρακα (C). Ο αστέρας αρχίζει να παράγει ενέργεια με πολύ ταχύτερο ρυθμό, το εσωτερικό του θερμαίνεται, η πίεση αυξάνει, η υδροστατική ισορροπία σταματά να υφίσταται και ο αστέρας διαστέλλεται. Η έντονη αυτή καύση του He του πυρήνα ονομάζεται «Λάμψη Ηλίου» και το άστρο στο στάδιο αυτό ονομάζεται ερυθρός γίγαντας (3^η φάση).

Στο στάδιο των ερυθρών γιγάντων δεν είναι δυνατόν οι αστέρες να μείνουν πολύ, επειδή ακριβώς δαπανούν ενέργεια με τόσο ταχύ ρυθμό. Η προηγούμενη ιστορία επαναλαμβάνεται μερικές φορές. Τώρα λοιπόν έχουμε την έντονη καύση του άνθρακα. Κατ'αντιστοιχία με τον πυρήνα ηλίου της προηγούμενης φάσεως, σχηματίζεται ένας κεντρικός πυρήνας από την καύση του άνθρακα. Αυτός ο πυρήνας δεν μπορεί να καεί στις επικρατούσες θερμοκρασίες (100 εκατομμύρια βαθμοί). Η βαρύτητα έχει ξανά τον λόγο. Ο πυρήνας συστέλλεται



Σχήμα 2. Σχηματισμός πυρήνα He στο εσωτερικό κατά την καύση του 10% του H₂. Στους αμέσως υπερκείμενους φλοιούς συνεχίζεται η καύση H.

και η θερμοκρασία ανεβαίνει φθάνοντας σε επίπεδα που επιτρέπουν τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις των πυρήνων άνθρακα, όποτε ο πυρήνας σταθεροποιείται έως ότου εξαντληθεί ο άνθρακας. Η καύση αυτή του άνθρακα ονομάζεται «Λάμψη Άνθρακα».

Το ίδιο συμβαίνει ακολούθως και για τα άλλα παράγωγα των καύσεων. Έτσι λοιπόν το ήλιο ήταν προϊόν της καύσης (στάχτη) του υδρογόνου, ο άνθρακας η στάχτη του ηλίου κ.ο.κ. Οι καύσεις σταματούν με την παραγωγή σιδήρου (Fe), που είναι ο σταθερότερος γνωστός πυρήνας. Ο σχηματισμός βαρύτερων πυρήνων είναι ενδόθερμη αντίδραση που δεν συμφέρει, ενεργειακά, τον αστέρα να την πραγματοποιήσει, αφού αντί να κερδίσει, θα πληρώσει σε ενέργεια.

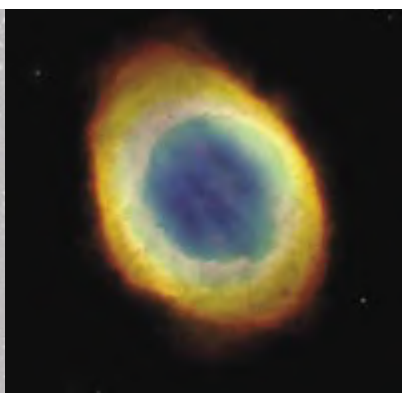
Απ' αυτά συνάγεται το γεγονός, ότι τα αστέρια στην απεγνωσμένη προσπάθεια τους να εξουδετερώσουν την βαρύτητα, καίνε διαδοχικά τη στάχτη των προηγούμενων θερμοπυρηνικών αντιδράσεων. Στις διαδοχικές αυτές καύσεις παράγονται τα πιο βαριά στοιχεία που ευθύνονται για την εμφάνιση της ζωής!

Η μοίρα τους όμως είναι τα καύσιμα τους να εξαντληθούν. Η περίοδος που οι αστέρες γίνονται ερυθροί γίγαντες είναι η περίοδος της ζωής τους που κάνουν «τις τρέλες» τους, ξοδεύοντας ενέργεια αλόγιστα. Αλλά, όπως και για τους ανθρώπους, οι τρέλες δεν μπορούν να κρατήσουν για πολύ. Η μόνη διαφορά είναι ότι τα αστέρια περνούν το στάδιο της «εφηβείας» μετά από την ωριμότητά τους (Κύρια Ακολουθία), λίγο πριν το τέλος της ζωής τους.

Δυστυχώς για τα αστέρια, οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σταματούν οριστικά με το σχηματισμό του σιδήρου, όπως ήδη έχει αναφερθεί. Με την εξάντληση όλων των διαθέσιμων πηγών ενέργειας, ο αστέρας αντιμετωπίζει ενεργειακή κρίση! Στο εσωτερικό του η θερμοκρασία και η πίεση πέφτουν και η βαρύτητα πάλι νικά!

Άμεσες οπτικές παρατηρήσεις και θεωρητικοί υπολογισμοί υποδηλώνουν πως στο επόμενο στάδιο του κύκλου ζωής του άστρου, ένα σημαντικό ποσοστό της μάζας του μπορεί να διασπαστεί με έκρηξη. Τα εξωτερικά στρώματα μπορεί να αποχωριστούν απ' το καθαυτό άστρο και να συνεχίσουν να απομακρύνονται, μέχρι που να σχηματίσουν έναν πλανητι-
κό νεφελοειδή, σαν αυτόν που φαίνεται στην ακτινοβολία του

Νεφέλωμα M57.
Βρίσκεται 2000 έτη φωτός μακριά μας, προς τον αστερισμό της Λύρας. Δημιουργήθηκε από την έκρηξη του αστέρα που φαίνεται αμυδρά στο κέντρο (HST Οκτ.1998).



εικόνα. Η έντονη υπεριώδης κεντρικού άστρου, του «πυρήνα» του πλανητικού νεφελοειδή, θα ιονίσει τα ουδέτερα άτομα του νεφελοειδούς και θα τα κάνει να φωσφορίζουν. Μετά από μερικές δεκάδες χιλιάδες χρόνια, ο νεφελοειδής θα διαλυθεί και θα μείνει μόνο το μικρό, θερμό και πυκνό κεντρικό άστρο (4^η φάση).

Ο αστέρας αρχίζει να πεθαίνει και συρρικνώνεται

εξαιτίας του βάρους των υπερεκείμενων φλοιών. Τώρα πια δεν παράγει ενέργεια, παρά ταύτα έχει βαρύτητα. Η βαρύτητα αυτή είναι ανάλογη με την μάζα που έχει απομείνει στον αστέρα και ανάλογα με την μάζα του η τελική κατάρρευση και ο θάνατος του θα το φέρει σε μία από τις τρεις ακόλουθες καταστάσεις που ονομάζονται «Τελικές καταστάσεις αστέρων». Αυτές είναι:

- Λευκός νάνος (white dwarf)
- Αστέρας νετρονίων (neutron star)
- Μελανή οπή (black hole)

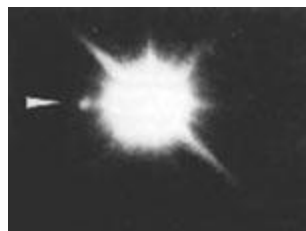
► Λευκοί νάνοι

Αν η εναπομείνουσα μάζα του αστέρα είναι μικρότερη από $1,4 M_{\odot}$ (όριο Chandrasekhar), όπου M_{\odot} είναι μια ηλιακή μάζα, η πυκνότητα του φθάνει στα 1.000.000 γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό. Στις πυκνότητες αυτές, η ύλη είναι απόλυτα ιονισμένη και ο αστέρας αποτελείται από πυρήνες και ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Όπως είναι γνωστό από τη κβαντομηχανική, δυο ελεύθερα ηλεκτρόνια δε μπορούν να βρίσκονται στην ίδια ενεργειακή θέση. Αυτό είναι γνωστό ως απαγορευτική αρχή του Pauli. Συνεπώς, κι όταν ακόμη ο αστέρας έχει εξαντλήσει κάθε δυνατότητα παραγωγής ενέργειας, διαθέτει την πίεση των ηλεκτρονίων λόγω της απαγορευτικής αρχής του Pauli - η οποία, ως μη θερμική, είναι «δωρεάν» - για να αντισταθμίσει τη βαρύτητα.

Επειδή συνεχώς ακτινοβολεί ο αστέρας χωρίς να αναπληρώνει την ενέργεια που χάνει, η επιφανειακή του θερμοκρασία βαθμιαία ελαττώνεται - οι διαστάσεις του παραμένουν σταθερές περίπου ίσες ή και μικρότερες απ' αυτές της Γης - το φως του γίνεται όλο και πιο αδύναμο μέχρι που εξαφανίζεται.

Το άστρο έχει πεθάνει! (Σκοτεινός νάνος)



Φωτογραφία του διπλού συστήματος Σείριος Α-Β. Ο λευκός νάνος Σείριος Β είναι ο αμυδρός αστέρας που δείχνει το βέλος.

► Αστέρες νετρονίων

Αν τώρα η εναπομείνουσα μάζα του αστέρα είναι μεγαλύτερη του $1,4 M_{\odot}$, αλλά μικρότερη των $2,5 M_{\odot}$, τότε ο αστέρας αυτός δεν θα ησυχάσει πεθαίνοντας σαν λευκός νάνος.

Για τους αστέρες αυτούς, που έχουν ήδη εξαντλήσει τα πυρηνικά τους καύσιμα, η συρρίκνωση λόγω βαρύτητας συνεχίζεται πέρα κι από τις πυκνότητες των λευκών νάνων, μέχρις ότου οι πυρήνες των ατόμων αρχίσουν να εφάπτονται μεταξύ τους. Σ' αυτή την κατάσταση της ύλης δεν έχει μείνει πρακτικά χώρος για ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα οποία και ωθούνται μέσα στους πυρήνες, όπου και αντιδρούν με τα πρωτόνια και σχηματίζουν νετρόνια και νετρίνα. Τα νετρίνα επειδή αντιδρούν μόνο με ασθενείς αλληλεπιδράσεις, διαφεύγουν από τον αστέρα, η μάζα του οποίου αποτελείται πλέον κυρίως από νετρόνια, απ' όπου προέρχεται και η ονομασία των αστέρων αυτών. Στην επιφάνεια, φυσικά, του αστέρα περιμένουμε την ύπαρξη και φορτισμένων σωματιδίων.

Τα νετρόνια, όπως και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, ασκούν πίεση εξαιτίας της απαγορευτικής αρχής του Pauli. Η πίεση αυτή των εκφυλισμένων νετρονίων συγκρατεί τον αστέρα νετρονίων από περαιτέρω βαρυντική κατάρρευση. Η αντίστοιχη θεωρία είναι ακριβώς η ίδια με τη θεωρία που αναπτύχθηκε για τους λευκούς νάνους, με μοναδική διαφορά ότι τώρα η χαρακτηριστική τιμή ολικής μάζας, η αντίστοιχη προς το όριο Chandrasekhar, είναι για τους αστέρες νετρονίων περίπου $2,5 M_{\odot}$.

► Υπερκαινοφανείς (Supernova)

Αν η εναπομείνουσα μάζα του αστέρα είναι μεγαλύτερη των $2,5 M_{\odot}$ και μικρότερη των $7 M_{\odot}$, τότε κατά τη διάρκεια της καύσης του άνθρακα μπορεί στον κεντρικό πυρήνα να συντελεστεί έκρηξη. Η έκρηξη αυτή ονομάζεται Supernova. Είναι τόσο μεγάλη σε ισχύ και ένταση που μόνο η Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang) ήταν μεγαλύτερη της. Η λα-



Στο κάτω αριστερά μέρος του γαλαξία NGC 4526 διακρίνεται έντονα η Supernova 1994 D.

μπρότητα του αστέρα κατά την έκρηξη Supernova αυξάνει μέσα σε λίγες ώρες ή λίγες ημέρες κατά 100 εκατομμύρια έως και 100 δισεκατομμύρια φορές και μετά φθίνει βαθμιαία, με χρόνο ημίσειας ζωής της τάξεως των 100 ημερών περίπου. Η συνολική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια του σύντομου σχετικά αυτού φαινομένου είναι συγκρίσιμη με όση εκπέμπει ο Ήλιος σ' όλη τη διάρκεια της ζωής του στην κύρια ακολουθία (10 δισεκατομμύρια έτη)!

Αν μετά την έκρηξη απέμεινε στον αστέρα μάζα μεταξύ $1.4 M_{\odot}$ και $2,5 M_{\odot}$, τότε αυτός πεθαίνει ήσυχα ως αστέρας νετρονίων.

Αν η μάζα της έκρηξη είναι μικρότερη των $1,4 M_{\odot}$ τότε σβήνει ως λευκός νάνος.

Για μεγαλύτερα αστέρια που η εναπομείνουσα μάζα είναι της τάξεως των 8-20 M_{\odot} , η προηγούμενη έκρηξη δεν θα αρκούσε να διασπάσει όλο το αστέρι. Για τα μεγάλα, λοιπόν, αστέρια η καύση συνεχίζεται κανονικά, μέχρις ότου σχηματιστεί στο κέντρο ένας αρκετά μεγάλος πυρήνας σιδήρου μεγαλύτερος από το όριο Chandrasekhar. Τότε, αν και τα εξωτερικά στρώματα του αστέρα εξακολουθούν να βρίσκονται σε θερμοδυναμική και υδροστατική ισορροπία, καίγοντας ελαφρύτερα στοιχεία, ο πυρήνας σιδήρου καταρρέει βαρυτικά, γιατί δεν μπορεί να εξισορροπήσει τη βαρύτητα του με την πίεση των ηλεκτρονίων και νετρονίων.

Όταν η πυκνότητα του κεντρικού πυρήνα φτάσει τα 400 εκατομμύρια κιλά ανά κυβικό εκατοστό, η ύλη γίνεται αρκετά αδιαφανής ακόμη και στα νετρίνα, τα οποία προσωρινά παγιδεύονται στον πυρήνα. Τα νετρίνα, όμως, έβγαζαν προς τα έξω το μεγαλύτερο ποσό της ενέργειας του αστέρα. Με τη σημαντική επιβράδυνση του μηχανισμού διάχυσης της ενέργειας (μετά από αρκετή ταλαιπωρία, κυρίως απορροφήσεις και επανεκπομπές, τα νετρίνα καταφέρνουν τελικά να διαφύγουν), η συσσωρευμένη ενέργεια στον πυρήνα δημιουργεί ένα κύμα σοκ (shock wave), που κινείται προς τα έξω με 30.000 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο και δημιουργεί την έκρηξη. Με την πρόσληψη ενέργειας από το σοκ είναι πλέον δυνατή η πραγματοποίηση και ενδόθερμων πυρηνικών αντιδράσεων. Σ' αυτές τις αντιδράσεις σχηματίζονται τα βαρύτερα του σιδήρου στοιχεία που παρατηρούμε στο σύμπαν.

Μελανές οπές



Προσομοίωση μελανής οπής

Τέλος αν η μάζα του αστέρα είναι αρκετά μεγάλη ώστε μετά από έκρηξη Supernova να απομείνει με μάζα μεγαλύτερη από $2,5 M_{\odot}$, τότε δεν υπάρχει κανένας μηχανισμός (αντίστοιχος της πίεσης ηλεκτρονίων και νετρονίων, των λευκών νάνων και αστέρων νετρονίων) ικανός να εξισορροπήσει τη βαρύτητα και να σταματήσει τον αστέρα από την τελική κατάρρευση. Η πυκνότητα αυξάνει δραματικά και οι διαστάσεις αντίστοιχα μικραίνουν.

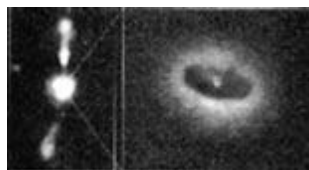
Είναι δυνατό να αποδείξουμε ότι για να διαφύγει ένα σώμα από τον αστέρα αυτό πρέπει να αναπτύξει ταχύτητα μεγαλύτερη της ταχύτητας του φωτός.

Εφόσον μάλιστα η ταχύτητα του φωτός αποτελεί το ανώτατο όριο των ταχυτήτων που μπορούν να υπάρξουν, τίποτε δεν μπορεί να διαφύγει από το άστρο αυτό. Οι Μελανές οπές δεν φαίνονται διότι δεν αφήνουν καμιά πληροφορία, ούτε καν φως να διαφύγει απ' αυτές προς εμάς ώστε να τις εντοπίσουμε. Σε μακρινές αποστάσεις μόνο το βαρυτικό της πεδίο προδίδει την παρουσία της.

Ο Κύκνος Χ-1 (το λαμπρότερο αντικείμενο) πιστεύεται ότι αποτελείται από ζεύγος μίας μελανής οπής και ενός συννηθισμένου αστέρα το ένα γύρω από το άλλο.



Ένα χαρακτηριστικό μέγεθος των μελανών οπών είναι η λεγόμενη ακτίνα Schwarzschild. Είναι η ελάχιστη απόσταση από τη μελανή οπή από την οποία το φως μπορεί να διαφύγει της μελανής οπής. Η ακτίνα Schwarzschild δεν είναι ίδια για όλες τις μελανές οπές, αλλά αυξάνει ανάλογα με τη μάζα



Στον γαλαξία NGC 4261 παρατηρήθηκε το 1993 ένας σκοτεινός δίσκος. Κάθετα προς το επίπεδο του δίσκου υπάρχουν δύο πίδακες ύλης. Εικάζεται ότι το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην ύπαρξη μιας μελανής οπής στο κέντρο του γαλαξία.

της. Έτσι, αν θα μπορούσε ο Ήλιος να γίνει Μελανή οπή, τότε η ακτίνα Schwarzschild του θα ήταν 3 χιλιόμετρα, ενώ η αντίστοιχη

ακτίνα μιας μελανής οπής με μάζα ίση με αυτή της Γης θα ήταν 1 εκατοστό.

Οι μελανές οπές δεν είναι τα άκρως επικίνδυνα ουράνια σώματα που «κατατρώνουν» ό,τι υπάρχει γύρω τους. Είναι οι πιο «δυστυχημένοι» αστέρες, οι οποίοι δεν μπόρεσαν να αποφύγουν την βαρυτική τους κατάρρευση. Είναι επικίνδυνες μόνο για τους πολύ «περίεργους» που τις πλησιάζουν σε αποστάσεις μερικών ακτινών Schwarzschild και θανατηφόρες γι' αυτούς που περνούν και την ακτίνα Schwarzschild.

Συνοψίζοντας θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα αστέρια οφείλουν τη γένεση και τη ζωή τους στην βαρύτητα, αλλά, τι τραγικό(!), είναι καταδικασμένα από τον ίδιο τους τον ευεργέτη (τη βαρύτητα) να πεθάνουν εκτοξεύοντας, ίσως, την ύλη τους στο διάστημα με την ελπίδα κάποτε να ξαναγεννηθούν (να αναστηθούν) συντηρώντας έτσι την ζωή, το Μέλλον!

*...προσδοκώ Ανάσταση νεκρών
και ζωήν του μέλλοντος αιώνος Αμήν.*

«Σύμβολο της Πίστεως»

Να λοιπόν που στο τέλος, όπως και στην αρχή του πονήματος τούτου, φαίνεται ότι ίσως πρέπει να ψάξουμε στον Χριστιανισμό για απαντήσεις, για τις οποίες αλλιώς δεν θα ήταν αρκετός ο χρόνος της ζωής, ούτε και αυτού του ίδιου του Σύμπαντος για να τις βρούμε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ☞ «Παλαιά Διαθήκη».
- ☞ «Κατά Ιωάννην Ευαγγέλιο».
- ☞ Βασίλη Ξανθόπουλου: «Περί Αστέρων και Συμπάντων».
- ☞ Stephen Hawking: «Το χρονικό του Χρόνου».
- ☞ Carl Sagan - I.S. Sklovski: «Το Σύμπαν».
- ☞ Βάρβογλη - Σπύρου - Μπαρμπάνη: «Προβλήματα Αστρονομίας».
- ☞ Νικολάου Σπύρου: «Εισαγωγή στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας».
- ☞ Νικολάου Σπύρου: «Αρχές αστρικής εξέλιξης».