

Το Σύμπαν στο τσεπάκι μου

Αποκρυπτογράφηση του αστρικού φωτός



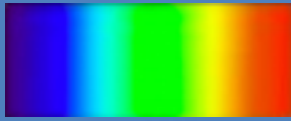
Αρ. 30

Grażyna Stasińska

Αστεροσκοπείο του Παρισιού

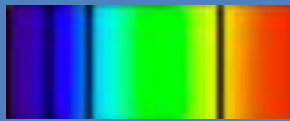
Τύποι φασμάτων

συνεχές φάσμα



Λευκό φως

φάσμα με γραμμές απορρόφησης



Λευκό φως

φάσμα με γραμμές εκπομπής

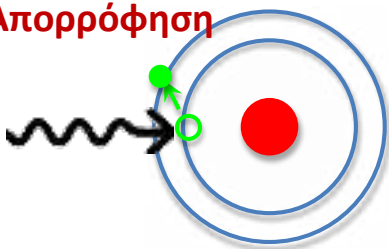


αέριο

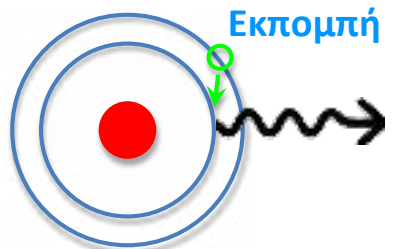
Ένα φωτόνιο (ένας "κόκκος φωτός") μπορεί να διεγείρει ένα άτομο μετακινώντας ένα ηλεκτρόνιο σε ένα υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο. Εάν το φωτόνιο έχει αρκετή ενέργεια, μπορεί να **ιονίσει** το άτομο, δηλαδή να αφαιρέσει το ηλεκτρόνιο από το άτομο. Και στις δύο περιπτώσεις, το φωτόνιο **απορροφάται**.

Κατά την αντίστροφη διαδικασία, την αποδιέγερση ή τον **ανασυνδυασμό**, **εκπέμπεται** ένα φωτόνιο.

Απορρόφηση



Εκπομπή

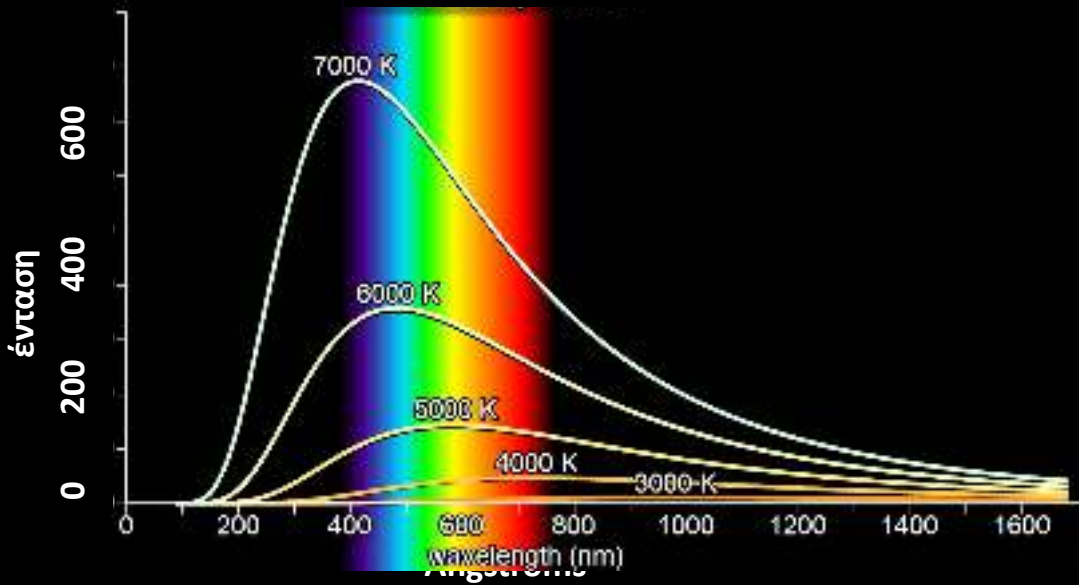


Το 1835 ο Γάλλος φιλόσοφος *Auguste Comte* είπε ότι δεν θα μάθουμε ποτέ από τι είναι φτιαγμένα τα αστέρια.

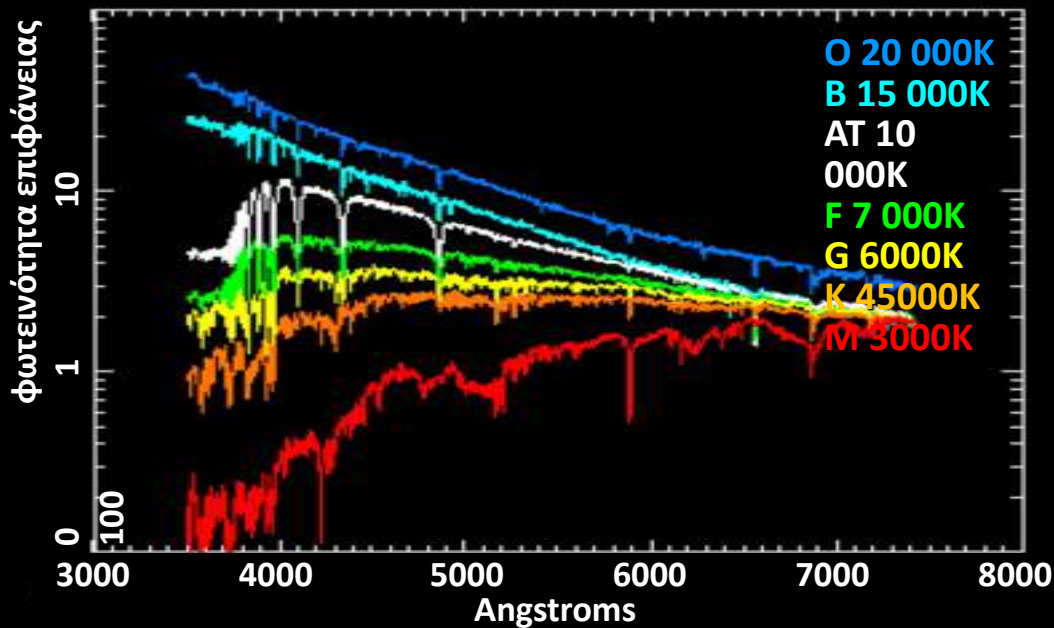
Ωστόσο, ο Ισαάκ Νεύτωνας είχε ήδη δείξει ότι αν μια δέσμη φωτός από τον Ήλιο διαχωριστεί από ένα πρίσμα, προκύπτει μια κηλίδα με τα χρώματα του ουράνιου τόξου: ένα "**φάσμα**" (βλ. *ΤΥΙΜΡ 2*).

Το 1814, ο *Joseph von Fraunhofer* κατασκεύασε έναν φασματογράφο που ανακάλυψε περισσότερες από 500 σκοτεινές **γραμμές** στο φάσμα του Ήλιου. Αλλά μόλις το 1860 ο *Gustav Kirchhoff* έδειξε ότι οι γραμμές αυτές προέρχονται από χημικά στοιχεία στα ανώτερα στρώματα του Ήλιου. Η ταυτοποίηση αυτών των γραμμών άρχισε αμέσως μετά, διαψεύδοντας την απαισιόδοξη πρόβλεψη του *Comte*.

Αυτή ήταν η αρχή της αστροφυσικής, του κλάδου της αστρονομίας που μελετά τη φύση των άστρων αναλύοντας την ακτινοβολία που εκπέμπουν.



Ένταση ακτινοβολίας ενός θερμού σώματος ως συνάρτηση του μήκους κύματος για διάφορες τιμές θερμοκρασίας.



Φάσματα αστέρων διαφόρων τύπων στην περιοχή του ορατού φωτός του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

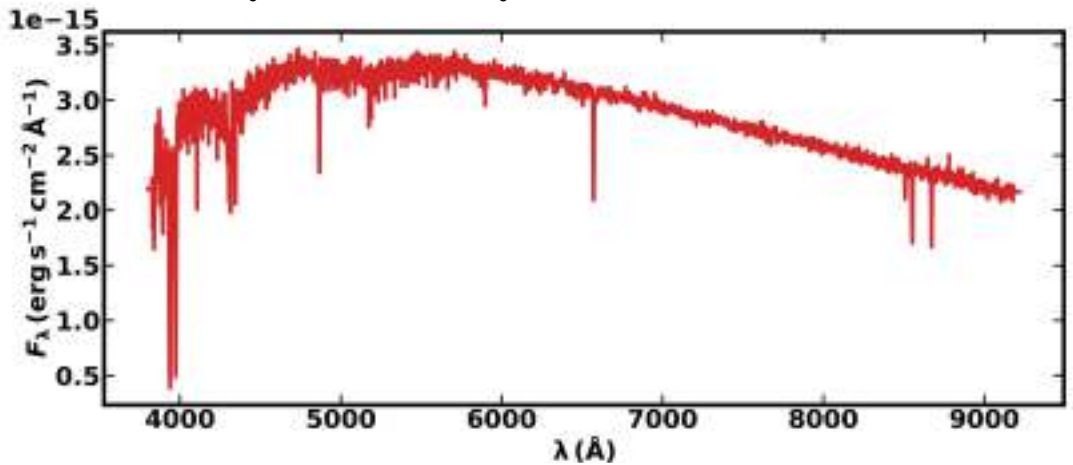
Οι θερμοκρασίες των άστρων

Δεν έχουν όλα τα αστέρια το ίδιο χρώμα. Τα πιο ψυχρά είναι κόκκινα. Τα θερμότερα είναι μπλε. Ο Ήλιος, με επιφανειακή θερμοκρασία 5500°C (5800 K), είναι κίτρινος.

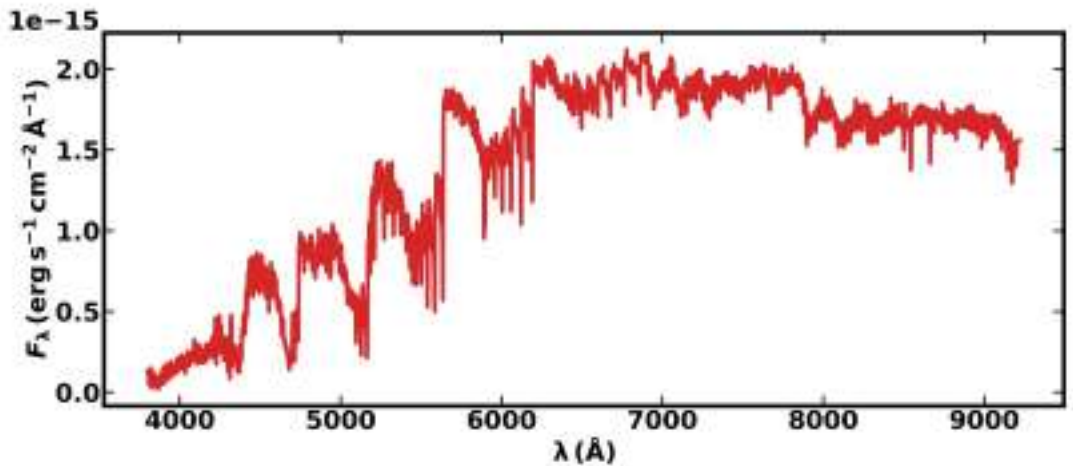
Αυτές οι χρωματικές διαφορές προκύπτουν λόγω του τρόπου με τον οποίο μεταβάλλεται το σχήμα του φάσματος ακτινοβολίας ενός αστέρα ανάλογα με τη θερμοκρασία, όπως φαίνεται στο σχήμα της διπλανής σελίδας.

Ακολουθούν ορατά φάσματα πραγματικών αστέρων διαφόρων τύπων (O, B, A, F, G, K, M). Κάθε τύπος έχει τη δική του θερμοκρασία. Εκτός από τη συνολική κατανομή της έντασης της ακτινοβολίας, υπάρχουν επίσης γραμμές απορρόφησης διαφορετικού βάθους που οφείλονται σε στοιχεία που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα των αστέρων με τη μορφή ατόμων ή ιόντων.

Ακολουθούν τα φάσματα δύο αστέρων που διαφέρουν μόνο στη χημική τους σύνθεση.



Πάνω: ένα αστέρι τύπου G κανονικής σύστασης (παρόμοιο με τον Ήλιο).



Πάνω: ένα αστέρι τύπου G με επιφάνεια πολύ πλούσια σε άνθρακα (που παράγεται στο εσωτερικό του αστέρα και μεταφέρεται στην επιφάνεια με ρεύματα μεταφοράς). Οι βαθιές γραμμές και η μείωση της έντασης σε μικρότερα μήκη κύματος οφείλονται σε μόρια άνθρακα.

Η σύνθεση των αστεριών

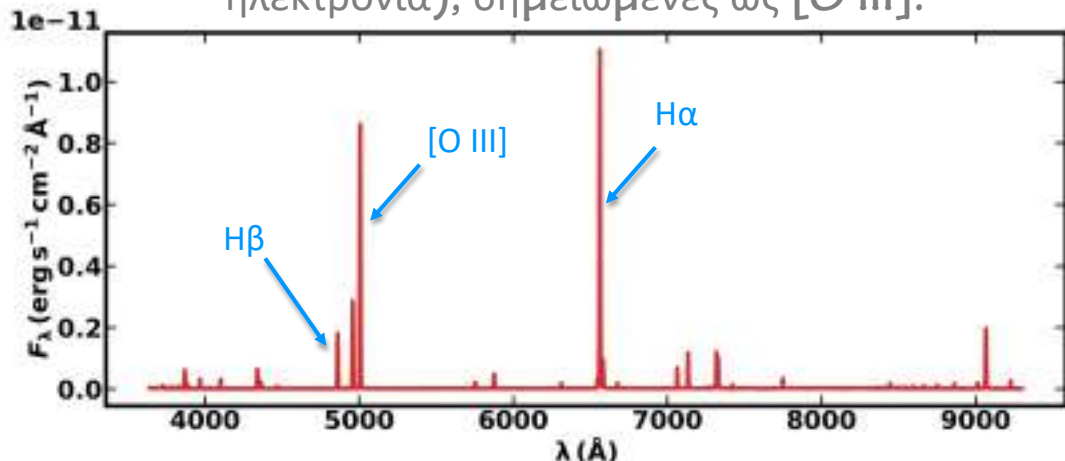
Σήμερα, χάρη στις γραμμές απορρόφησης που παρατηρούνται στα φάσματα των αστεριών, οι αστρονόμοι γνωρίζουν ποια στοιχεία υπάρχουν στην ατμόσφαιρά τους και μπορούν να μετρήσουν την αφθονία τους.

Η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας ενός αστέρα είναι, γενικά, πανομοιότυπη με εκείνη του μοριακού νέφους στο οποίο σχηματίστηκε. Το εσωτερικό του άστρου έχει διαφορετική χημική σύσταση από την ατμόσφαιρα λόγω των αντιδράσεων πυρηνοσύνθεσης που συμβαίνουν εκεί (βλέπε ΤΥΙΜΡ14), αλλά αυτό δεν μετριέται άμεσα.

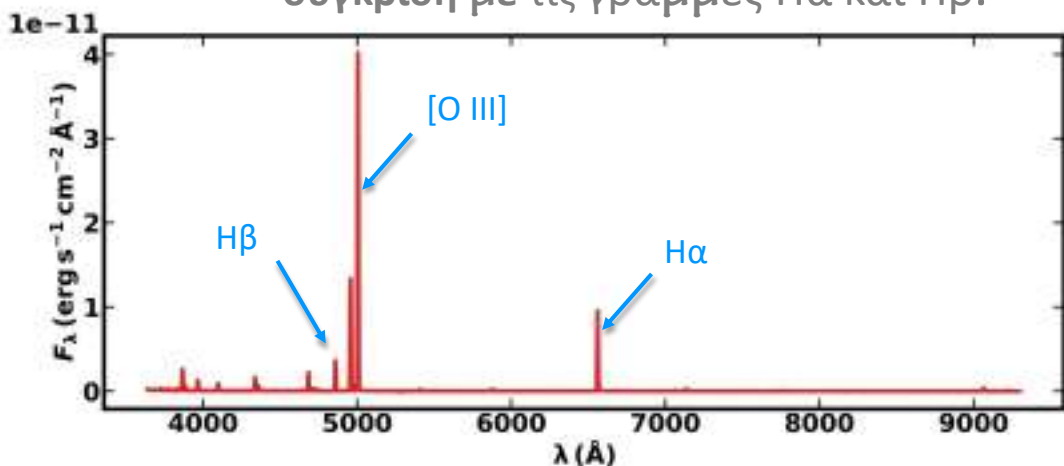
Μπορεί να διαπιστωθεί ότι, σε γενικές γραμμές, τα αστέρια έχουν χημική σύσταση παρόμοια με εκείνη του Ήλιου. Ωστόσο, οι αστέρες στα εξώτερα τμήματα του Γαλαξία τείνουν να είναι λιγότερο πλούσιοι σε στοιχεία βαρύτερα από το ήλιο, επειδή είναι λιγότερο εμπλουτισμένοι με προϊόντα πυρηνοσύνθεσης.



Το **πλανητικό νεφέλωμα Hb 12**, ιονισμένο από ένα αστέρι **48 000 K**. Οι ισχυρότερες γραμμές στο φάσμα του είναι οι γραμμές **επανασύνδεσης** του υδρογόνου H α και H β και οι **απαγορευμένες** γραμμές του ιόντος O $^{++}$ (άτομο οξυγόνου που έχει χάσει δύο ηλεκτρόνια), σημειωμένες ως [O III].



Το **πλανητικό νεφέλωμα NGC 7662** ιονισμένο από ένα αστέρι **130 000 K**. Επειδή αυτός ο αστέρας είναι θερμότερος, παράγει μεγαλύτερο ποσοστό ιόντων O $^{++}$ και οι γραμμές [O III] είναι πιο έντονες σε σύγκριση με τις γραμμές H α και H β .



Φάσματα ιονισμένων νεφελωμάτων

Τα νεφελώματα είναι νέφη διάχυτου αερίου. Μπορούν να **ιονιστούν** από νεαρούς αστέρες μεγάλης μάζας με θερμοκρασίες γύρω στους 40000K (πρόκειται για τις "περιοχές HII") ή από λιγότερο μεγάλους εξελιγμένους αστέρες που μπορούν να υπερβούν τους 100000K (πρόκειται για τα "πλανητικά νεφελώματα").

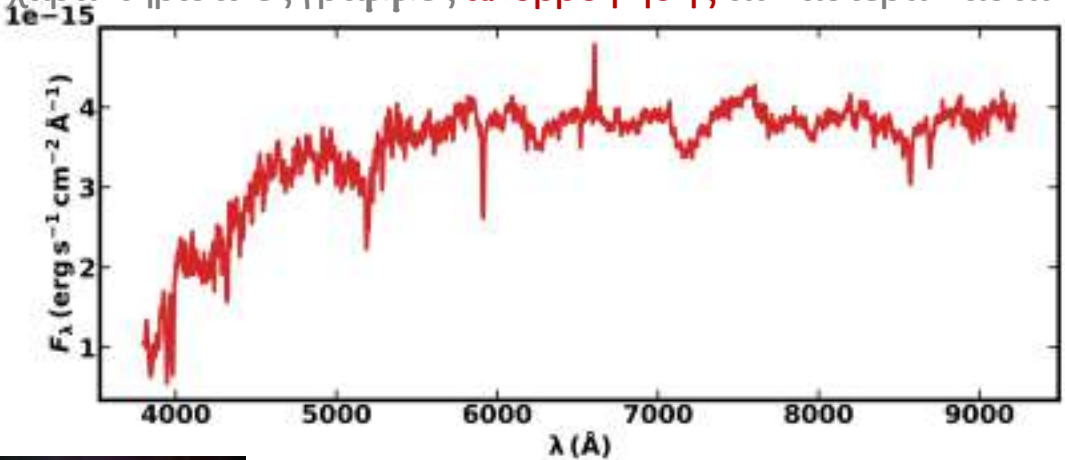
Τα φάσματα των **ιονισμένων** νεφελωμάτων είναι πολύ διαφορετικά από τα αστρικά φάσματα. Ενώ τα τελευταία παρουσιάζουν κυρίως γραμμές **απορρόφησης**, το μεγαλύτερο μέρος του φωτός στα νεφελώματα **εκπέμπεται** σε λίγες μόνο γραμμές, οι οποίες προέρχονται είτε από **ανασυνδυασμό** υδρογόνου και ηλίου είτε από **συγκρούσεις** με ελεύθερα ηλεκτρόνια στο αέριο.

Αυτές οι γραμμές **συγκρούσεων** δεν παρατηρούνται στους αστέρες και αρχικά αποδόθηκαν σε ένα άγνωστο στοιχείο, το λεγόμενο "νεφούλιο". Μόλις το 1928 ο Ira Bowen έδειξε ότι οι γραμμές αυτές προέρχονται από γνωστά στοιχεία αλλά εμφανίζονται μόνο σε πολύ χαμηλές πυκνότητες. Ονομάζονται "**απαγορευμένες γραμμές**".



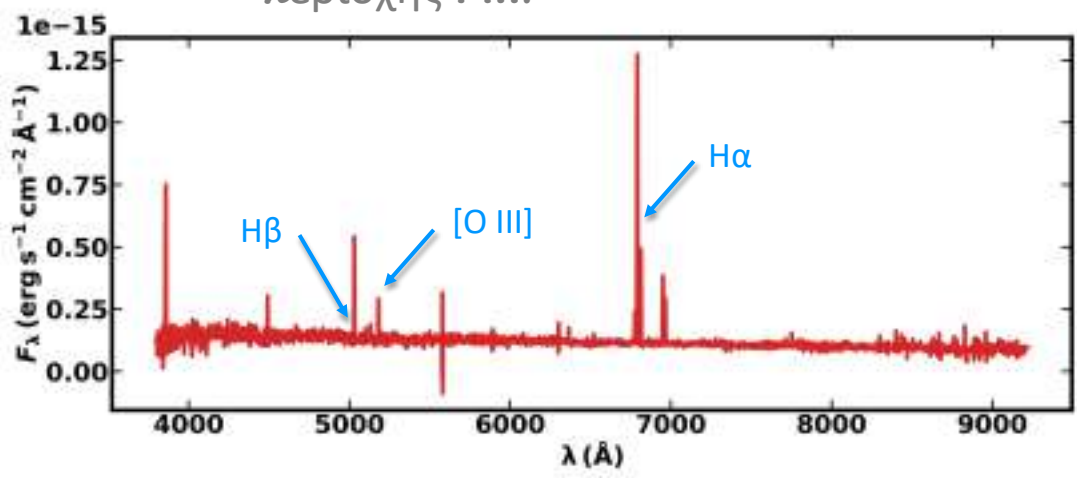
SDSS

Ένας ελλειπτικός γαλαξίας. Το φάσμα του, που ελήφθη στο πλαίσιο της Ψηφιακής Έρευνας Sloan (SDSS), παρουσιάζει φθίνουσα ένταση προς τα μικρότερα μήκη κύματος, γιατί τα περισσότερα αστέρια του γαλαξία είναι κόκκινα. Διακρίνονται οι χαρακτηριστικές γραμμές απορρόφησης των αστέρων αυτών.



SDSS

Ένας σπειροειδής γαλαξίας. Το φάσμα του, που παρουσιάζει γραμμές εκπομπής, είναι παρόμοιο με αυτό μιας περιοχής HII.



Τα φάσματα των γαλαξιών

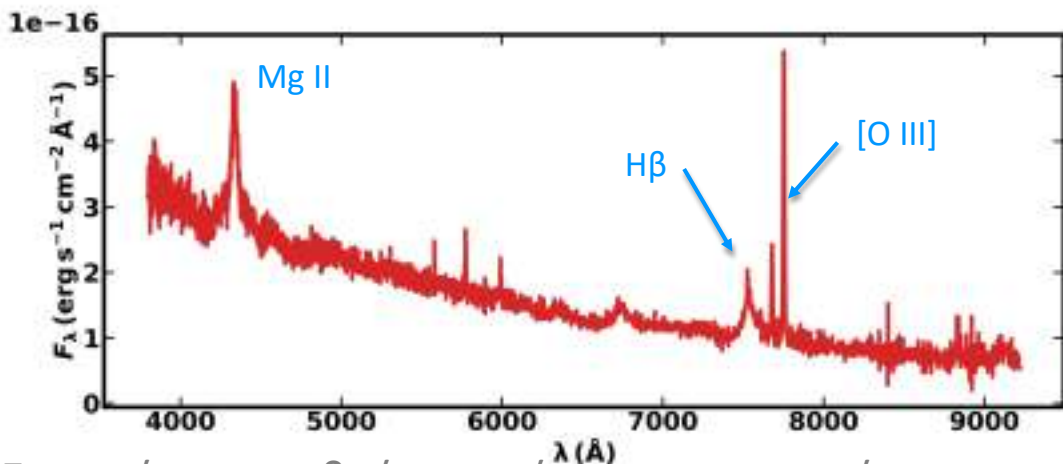
Ένας γαλαξίας περιέχει εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια αστέρια και μερικές φορές αέριο. Επομένως, το φάσμα ενός γαλαξία αναμένεται να μοιάζει με ένα συνδυασμό αστρικών φασμάτων και ενδεχομένως φασμάτων από νεφελώματα.

Οι ελλειπτικοί γαλαξίες (βλέπε ΤΥΙΜΡ 3 και 23) δεν περιέχουν αέριο και δεν έχουν σχηματιστεί νέα αστέρια σε αυτούς για μεγάλο χρονικό διάστημα. Απαρτίζονται μόνο από παλιά, κόκκινα άστρα. Όλα τα μεγάλης μάζας άστρα που κάποτε υπήρχαν έχουν εκραγεί ως υπερκαινοφανείς αστέρες. Το φάσμα τους δείχνει μόνο γραμμές **απορρόφησης**.

Οι σπειροειδείς γαλαξίες περιέχουν αέριο και αστέρια μεγάλης μάζας (τύπου **O** και **B**) ικανά να **ιονίζουν** το αέριο. Έτσι, τα φάσματά τους παρουσιάζουν έντονες γραμμές **εκπομπής**, οι οποίες επικαλύπτονται από ένα φάσμα στο οποίο κυριαρχούν οι θερμοί αστέρες.

SDSS

Ένα κβάζαρ που βρίσκεται σε ερυθρομετατόπιση $z = 0.548$, η οποία αντιστοιχεί σε απόσταση 10 δισεκατομμυρίων ετών φωτός.



Σε αυτή την ερυθρή μετατόπιση, οι γραμμές μετατοπίζονται σε μήκος κύματος κατά περισσότερο από 50%. Για παράδειγμα, η γραμμή H β του υδρογόνου παρατηρείται στα 7524 Å, ενώ το μήκος κύματος ηρεμίας της είναι 4861 Å. Βλέπουμε ακόμη και μια γραμμή ιονισμένου μαγνησίου (Mg II) που δεν εμφανίζεται ποτέ στα οπτικά φάσματα κοντινών γαλαξιών.

Ορισμένες γραμμές (H β , Mg II) είναι πολύ ευρείες, επειδή σχηματίζονται κοντά στη μαύρη τρύπα σε μια ζώνη όπου η ταχύτητα περιστροφής φτάνει τα 20000 km/s. Το φάσμα αυξάνεται προς το μπλε λόγω της εκπομπής από τον δίσκο προσαύξεσης που είναι πολύ θερμός.

Φάσματα κβάζαρ

Τα κβάζαρ είναι αντικείμενα που βρίσκονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις και περιέχουν μια υπερμεγέθη μαύρη τρύπα στο κέντρο τους, η οποία έλκει την περιβάλλουσα ύλη (βλ. ΤΥΙΜΡ 6). Πριν πέσει στη μαύρη τρύπα, η ύλη συσσωρεύεται σε έναν "δίσκο προσαύξησης" και θερμαίνεται σε εκατοντάδες χιλιάδες βαθμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα πολύ μπλε φάσμα. Οι γραμμές **εκπομπής** διευρύνονται και μετατοπίζονται προς το ερυθρό (η μετατόπιση αυτή ονομάζεται "μετατόπιση προς το ερυθρό"). Η διεύρυνση και η ερυθρομετατόπιση οφείλονται στο φαινόμενο **Doppler** (βλέπε ΤΥΙΜΡ 15), το οποίο μεταβάλλει τη συχνότητα του φωτεινού κύματος ανάλογα με την ταχύτητα της πηγής σε σχέση με τον παρατηρητή. Οι γραμμές μετατοπίζονται προς το ερυθρό λόγω της υποχώρησης των κβάζαρ λόγω της διαστολής του Σύμπαντος και διευρύνονται λόγω της περιστροφής της ύλης γύρω από τη μαύρη τρύπα.




Κουίζ


Ποιο από αυτά τα αντικείμενα έχει γραμμές εκπομπής στο φάσμα του;



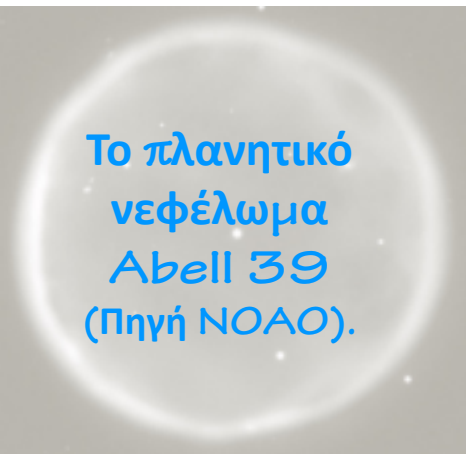
Απάντηση στο πίσω μέρος



Μια εικόνα του
Ήλιου.
(Πίστωση NASA).

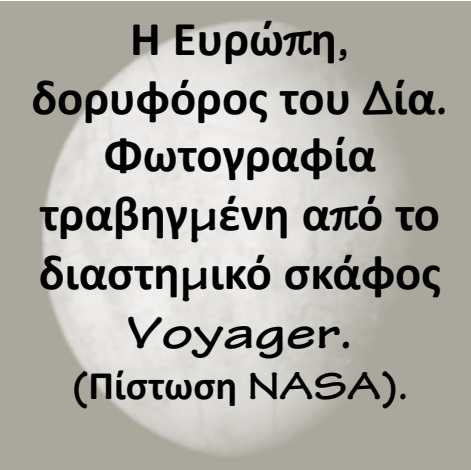


Το σφαιρωτό σμήνος
M80 (credit
AURA/STScI/NASA).

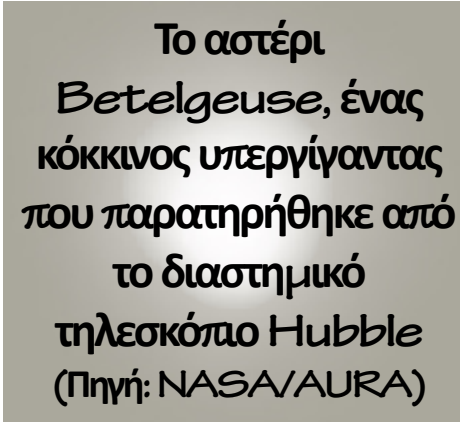


Το πλανητικό
νεφέλωμα
Abell 39
(Πηγή NOAO).

Μόνο το πλανητικό νεφέλωμα
έχει **γραμμές εκπομπής** στο
φάσμα του.



Η Ευρώπη,
δορυφόρος του Δία.
Φωτογραφία
τραβηγμένη από το
διαστημικό σκάφος
Voyager.
(Πίστωση NASA).



Το αστέρι
Betelgeuse, ένας
κόκκινος υπεργίγαντας
που παρατηρήθηκε από
το διαστημικό
τηλεσκόπιο Hubble
(Πηγή: NASA/AURA)

Όλα τα άλλα αντικείμενα
έχουν **αστρικό** φάσμα.

Το σύμπαν στην τσέπη μου Αρ. 30

Αυτό το φυλλάδιο γράφτηκε το 2021 από την *Grażyna Stasińska*, από το Αστεροσκοπείο του Παρισιού, με τη βοήθεια της *Natalia Vale Asari* (UFSC, Βραζιλία).

Εικόνα εξωφύλλου: Το φάσμα του Ήλιου κομμένο σε ζώνες που στοιβάζονται η μία πάνω στην άλλη. Δείχνει όλες τις γραμμές απορρόφησης που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα του Ήλιου στην ορατή περιοχή. Αυτός είναι ο "γραμμωτός κώδικας" του Ήλιου. Αυτό το φάσμα ελήφθη με το ηλιακό τηλεσκόπιο στο Εθνικό Ηλιακό Παρατηρητήριο στο *Kit Peak* της Αριζόνα (ΗΠΑ).



Για να μάθετε περισσότερα σχετικά με τις εκδόσεις και τα θέματα που παρουσιάζονται στο βιβλιαράκι, επισκεφθείτε την ιστοσελίδα <http://www.tuimp.org>.

Μετάφραση: Τζίνα Πανοπούλου
TUIMP Creative Commons

