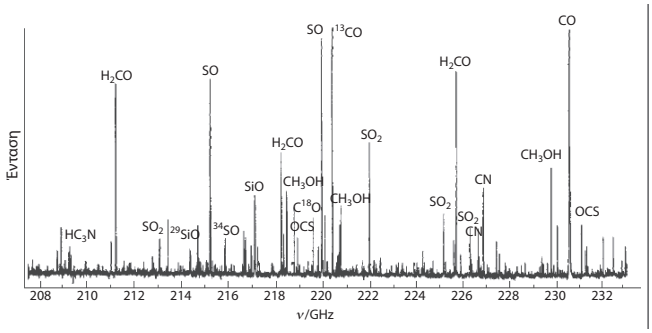
ΕΠΙΔΡΑΣΗ 16 **...ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ:**
Περιστροφική και δονητική φασματοσκοπία διαστρικών ειδών

Παρατηρήσεις από το δορυφόρο COBE (Cosmic Background Explorer) επαληθεύουν την από καιρό διατυπωμένη υπόθεση ότι η κατανομή της ενέργειας στο Σύμπαν μπορεί να προσομοιωθεί με την κατανομή του Planck (Ενότητα 7A) χρησιμοποιώντας την τιμή T = 2,726 ± 0,001 K, με το κυρίως μέρος της ακτινοβολίας να βρίσκεται στη φασματική περιοχή των μικροκυμάτων. Αυτή η *κοσμική μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου* είναι το κατάλοιπο της ενέργειας που απελευθερώθηκε κατά τη Μεγάλη Έκρηξη, το γεγονός που δημιούργησε το Σύμπαν. Οι πολύ μικρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας υποβάθρου πιστεύεται ότι είναι υπεύθυνες για τη μεγάλης κλίμακας δομή του Σύμπαντος.

Ο διαστρικός χώρος στον γαλαξία μας είναι λίγο θερμότερος από το κοσμικό υπόβαθρο και αποτελείται κυρίως από κόκκους σκόνης και νέφη αερίων. Οι κόκκοι σκόνης είναι ενώσεις με βάση τον άνθρακα καθώς και πυριτιούχα άλατα του αλουμινίου, του μαγνησίου και του σιδήρου, στα οποία είναι ενσωματωμένες ελάχιστες ποσότητες μεθανίου, νερού και αμμωνίας. Τα διαστρικά νέφη είναι σημαντικά διότι από αυτά σχηματίζονται νέα άστρα, και συνεπώς νέοι πλανήτες. Τα θερμότερα νέφη είναι σε μορφή πλάσματος με θερμοκρασίες έως 10^6 K και πυκνότητες περίπου 3×10^3 σωματίδια ανά m^3. Τα ψυχρότερα νέφη έχουν μάζες που κυμαίνονται από 0,1 έως 1000 ηλιακές μάζες (1 ηλιακή μάζα $= 2 \times 10^{30}$ kg), πυκνότητα περίπου 5×10^5 σωματίδια ανά m^3, αποτελούνται κυρίως από άτομα υδρογόνου και έχουν θερμοκρασία περίπου 80 K. Υπάρχουν επίσης ψυχρότερα και πυκνότερα νέφη, κάποια με μάζες μεγαλύτερες από 500.000 ηλιακές μάζες, πυκνότητες μεγαλύτερες από 10^9 σωματίδια ανά m^3, και θερμοκρασίες που μπορούν να είναι χαμηλότερες των 10 K. Αυτά ονομάζονται και *μοριακά νέφη*, επειδή αποτελούνται κυρίως από H_2 και αέριο CO σε αναλογία περίπου 10^5 προς 1. Υπάρχουν επίσης ελάχιστες ποσότητες μεγαλύτερων μορίων. Για να αντιληφθείτε αυτές τις πυκνότητες, σκεφτείτε ότι η πυκνότητα του υγρού νερού στους 298 K και σε 1 bar είναι περίπου 3×10^{28} σωματίδια ανά m^3.

Από την κατανομή του Boltzmann (δείτε την *Εισαγωγή* του βιβλίου) και τη χαμηλή θερμοκρασία ενός μοριακού νέφους προκύπτει ότι η μεγάλη πλειοψηφία των μορίων ενός τέτοιου νέφους βρίσκεται στις θεμελιώδεις δονητικές και ηλεκτρονιακές καταστάσεις τους. Ωστόσο, στους 10–100 K, είναι κατειλημμένες και περιστροφικές διεγερμένες καταστάσεις, οι οποίες μπορούν να αποδιεγερθούν με εκπομπή ακτινοβολίας. Ως αποτέλεσμα, το φάσμα του νέφους στις περιοχές των ραδιοσυχνοτήτων και των μικροκυμάτων αποτελείται από στενές γραμμές που αντιστοιχούν στις περιστροφικές μεταβάσεις (Σχ. 1). Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία συλλέγεται



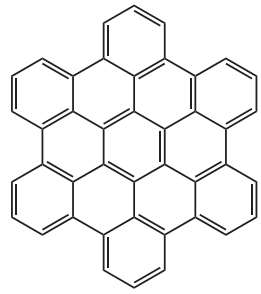
Σχήμα 1 Το περιστροφικό φάσμα του νεφελώματος του Ωρίωνα, όπου φαίνονται τα φασματικά «δακτυλικά αποτυπώματα» των διατομικών και των πολυατομικών μορίων που υπάρχουν στο διαστρικό νέφος. (Πηγή: G.A. Blake *et al.*, *Astrophys. J.* **315**, 621 (1987).)

από ραδιοτηλεσκόπια είτε επίγεια ή στο διάστημα, τηλεσκόπια των οποίων οι κεραίες και οι ανιχνευτές είναι οι κατάλληλοι για τη συλλογή και την ανάλυση της ακτινοβολίας σε αυτές τις περιοχές του φάσματος. Τα επίγεια ραδιοτηλεσκόπια είναι συχνά τοποθετημένα στις κορυφές ψηλών βουνών, αφού οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας μπορούν να επαναπορροφούν την ακτινοβολία μικροκυμάτων από το διάστημα, και έτσι να παρεμβαίνουν στη μέτρηση.

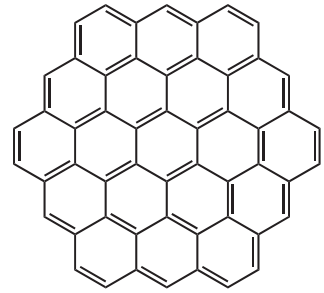
Πάνω από 100 διαστρικά μόρια έχουν ταυτοποιηθεί μέσω του περιστροφικού τους φάσματος, συχνά συγκρίνοντας τα δεδομένα από τα ραδιοτηλεσκόπια με τα φάσματα που λαμβάνονται στο εργαστήριο ή που προβλέπονται με θεωρητικές μεθόδους. Οι παρατηρήσεις έχουν αποκαλύψει την παρουσία ελάχιστων ποσοτήτων (με αφθονία μικρότερη του 10^{-8} σε σχέση με το υδρογόνο) από ουδέτερα μόρια, ιόντα και ρίζες. Παραδείγματα ουδέτερων μορίων είναι τα υδρίδια, τα οξείδια (συμπεριλαμβανομένου και του νερού), τα σουλφίδια, οι αλογονωμένες ενώσεις, τα νιτρίλια, οι υδρογονάνθρακες, οι αλδεΰδες, οι αλκοόλες, οι αιθέρες, οι κετόνες και τα αμίδια. Έως τώρα, το μεγαλύτερο μόριο που ανιχνεύθηκε με περιστροφική φασματοσκοπία είναι το νιτρίλιο $HC_{11}N$.

Ο διαστρικός χώρος μπορεί επίσης να διερευνηθεί μέσω της δονητικής φασματοσκοπίας με τη χρήση ενός συνδυασμού τηλεσκοπίων και ανιχνευτών υπερύθρου. Τα πειράματα διεξάγονται κυρίως σε τηλεσκόπια που βρίσκονται στο διάστημα διότι η ατμόσφαιρα της Γης απορροφά σε μεγάλο βαθμό την υπέρυθρη ακτινοβολία (δείτε *Επίδραση 17*). Στις περισσότερες περιπτώσεις, η απορρόφηση από μια διαστρική ουσία ανιχνεύεται σε σχέση με το υπόβαθρο της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα κοντινό άστρο. Από τα δεδο-

μένα μπορεί να ανιχνευθεί η παρουσία αέριου και στερεού νερού, CO, και CO_2 στα μοριακά νέφη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να ανιχνευθεί υπέρυθρη εκπομπή, αλλά αυτά τα συμβάντα είναι σπάνια διότι ο διαστρικός χώρος είναι πολύ ψυχρός και δεν παρέχει αρκετή ενέργεια για την προώθηση σημαντικού αριθμού μορίων στις δονητικά διεγερμένες καταστάσεις. Ωστόσο, εκπομπές υπερύθρου μπορούν να παρατηρηθούν αν τα μόρια διεγείρονται περιστασιακά από υψηλής ενέργειας φωτόνια που εκπέμπονται από θερμά άστρα στη γειτονιά του νέφους. Παραδείγματος χάριν, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες εξαβενζοκορονένιο ($C_{42}H_{18}$, Εικ. **1**) και περικορονένιο ($C_{54}H_{18}$, Εικ. **2**) έχουν ταυτοποιηθεί μέσω των χαρακτηριστικών υπέρυθρων εκπομπών τους.



Εικ. **1** Εξαβενζοκορονένιο



Εικ. **2** Περικορονένιο