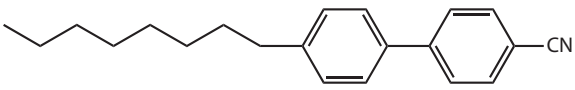
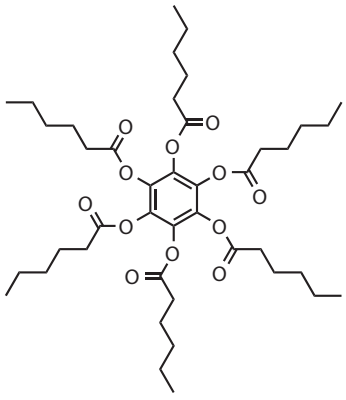
ΕΠΙΔΡΑΣΗ 8 **...ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΥΛΙΚΩΝ:**
Υγροί κρύσταλλοι

Μια *μεσόφαση* είναι μια ενδιάμεση φάση μεταξύ στερεού και υγρού. Οι μεσοφάσεις είναι πολύ σπουδαίες για τη βιολογία, διότι εμφανίζονται ως λιπιδικές διπλοστιβάδες καθώς και στα κυστικά συστήματα. Μια μεσόφαση μπορεί να προκύψει όταν τα μόρια έχουν έντονα μη σφαιρικά σχήματα, όπως όταν είναι μακριά και λεπτά (Εικ. **1**), ή δισκοειδή (Εικ. **2**). Όταν το στερεό λιώνει, κάποια στοιχεία της μακράς εμβέλειας τάξης που εμφανίζει το στερεό μπορεί να διατηρηθούν, και η νέα φάση να είναι ένας *υγρός κρύσταλλος*. Οι υγροί κρύσταλλοι είναι ουσίες που εμφανίζουν υγροειδή, μη τέλεια, μακράς εμβέλειας τάξη σε τουλάχιστον μία διεύθυνση στον χώρο, αλλά ταυτόχρονα διατηρούν κάποια τάξη ως προς τη θέση ή τον προσανατολισμό των μορίων σε τουλάχιστον μία άλλη διεύθυνση. Οι *καλαμοειδείς υγροί κρύσταλλοι* αποτελούνται από μακριά και λεπτά μόρια, ενώ οι *δισκοειδείς υγροί κρύσταλλοι* από δισκοειδή μόρια. Ένας *θερμοτροπικός* υγρός κρύσταλλος εμφανίζει μετάπτωση στην υγροκρυσταλλική φάση καθώς μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Ένας *λυοτροπικός* υγρός κρύσταλλος είναι ένα διάλυμα που υφίσταται μετάπτωση στην υγροκρυσταλλική φάση καθώς μεταβάλλεται η σύσταση.

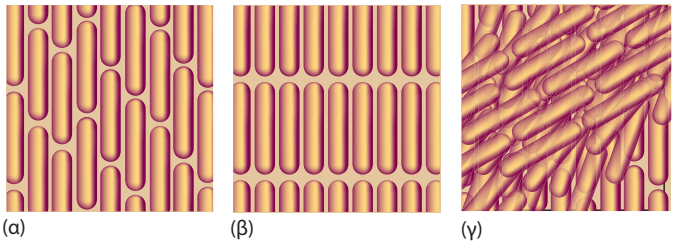


Εικ. **1**



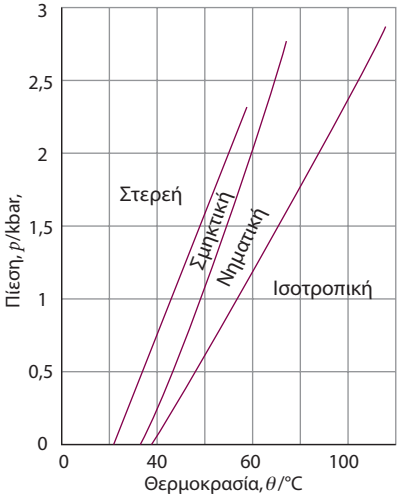
Εικ. **2**

Ένας τύπος παραμένουσας διάταξης μακράς εμβέλειας δίνει τη *σμηκτική φάση*, στην οποία τα μόρια ευθυγραμμίζονται σε στρώματα (Σχ. 1). Άλλα υλικά, και μερικοί σμηκτικοί υγροί κρύσταλλοι σε υψηλές θερμοκρασίες, δεν εμφανίζουν στρωματική δομή αλλά διατηρούν παράλληλη ευθυγράμμιση· η μεσόφαση αυτή ονομάζεται *νηματική φάση* (όρος που αναφέρεται στην παρατηρούμενη δομή της φάσης). Στη *χολεστερική φάση* τα μόρια βρίσκονται σε φύλλα υπό γωνίες που αλλάζουν ελάχιστα από φύλλο σε φύλλο. Δηλαδή, σχηματίζουν ελικοειδείς δομές με βήμα που εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Ως αποτέλεσμα, οι χολεστερικοί υγροί κρύσταλλοι περιθλούν το φως και έχουν χρώματα που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία. Δισκοειδή μόρια όπως αυτό στην Εικ. **2** μπορούν να σχηματίσουν νηματικές και κιονικές μεσοφάσεις. Στις τελευταίες, οι αρωματικοί δακτύλιοι στοιβάζονται ο ένας πάνω από τον άλλο με πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους (λιγότερο από 0,5 nm). Στο Σχ. 2 φαίνεται το διάγραμμα φάσεων πίεσης–θερμοκρασίας του οκτυλοκυανοδιφαινυλίου, που χρησιμοποιείται ευρέως στις οθόνες υγρών κρυστάλλων.



Σχήμα 1 Η διάταξη των μορίων (α) στη νηματική φάση, (β) στη σμηκτική φάση και (γ) στη χολεστερική φάση των υγρών κρυστάλλων. Στη χολεστερική φάση, η στοίβαξη των στρωμάτων συνεχίζεται και δίνει μια ελικοειδή διάταξη μορίων.

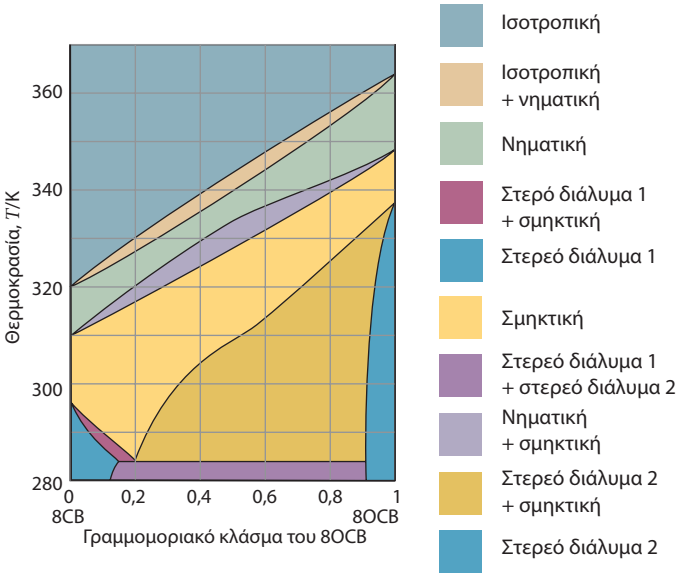
Οι οπτικές ιδιότητες των νηματικών υγρών κρυστάλλων είναι ανισότροπες, δηλαδή εξαρτώνται από τον σχετικό προσανατολισμό των μοριακών συσσωρεύσεων ως προς την πόλωση της προσπίπτουσας δέσμης φωτός. Οι νηματικοί υγροί κρύσταλλοι αποκρίνονται επίσης με ειδικούς τρόπους στα



Σχήμα 2 Το διάγραμμα πίεσης–θερμοκρασίας του οκτυλοκυανοδιφαινυλίου (8CB). (Με βάση το R. Shashidhar and G. Venkatesh, *J. de Physique Colloque*, **40**, C3 (1979).)

ηλεκτρικά πεδία. Σε συνδυασμό, αυτές οι μοναδικές οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες αποτελούν τη βάση λειτουργίας των οθονών υγρών κρυστάλλων (LCDs). Σε μια «συστραμμένη νηματική» LCD, ο υγρός κρύσταλλος συγκρατείται μεταξύ δύο επίπεδων πλακών που απέχουν περίπου 10 μm. Η εσωτερική επιφάνεια κάθε πλάκας καλύπτεται με ένα διαφανές αγώγιμο υλικό, όπως το οξείδιο ινδίου–κασσιτέρου. Η επιφάνεια των πλακών είναι τέτοια που αναγκάζει τον υγρό κρύσταλλο να υιοθετήσει έναν συγκεκριμένο προσανατολισμό στην όψη του και τυπικά οι πλάκες ρυθμίζονται στις 90° η μια ως προς την άλλη και στις 270° σε μια «υπερστραμμένη» διάταξη. Ολόκληρη η διάταξη τοποθετείται μεταξύ δύο πολωτών, οπτικών δηλαδή φίλτρων που επιτρέπουν να περάσει φως ενός μόνο συγκεκριμένου επιπέδου πόλωσης. Το προσπίπτον φως διέρχεται μέσω του εξωτερικού πολωτή, έπειτα το επίπεδο πόλωσής του στρέφεται καθώς διέρχεται από το συστραμμένο νηματικό, και, ανάλογα με τη ρύθμιση του δεύτερου πολωτή, θα περάσει (αν έτσι έχει διαταχθεί ο δεύτερος πολωτής). Όταν εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού κατά μήκος του στοιχείου, η ελικοειδής διάταξη χάνεται και το επίπεδο του φωτός δεν στρέφεται πια οπότε το φως θα εμποδιστεί από τον δεύτερο πολωτή. Το στοιχείο μπορεί επομένως να μετατραπεί από διαφανές σε αδιαφανές με εφαρμογή διαφοράς δυναμικού. Την ιδιότητα αυτή εκμεταλλευόμαστε στις ηλεκτρονικές οθόνες.

Παρόλο που υπάρχουν πολλά υγρά κρυσταλλικά υλικά, συχνά αντιμετωπίζουμε δυσκολίες στην επίτευξη μιας τεχνολογικά χρήσιμης περιοχής θερμοκρασιών για την ύπαρξη μεσόφασης. Για να ξεπεράσουμε αυτή τη δυσκολία, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μείγματα. Ένα παράδειγμα του τύπου του διαγράμματος φάσεων που προκύπτει τότε φαίνεται στο Σχ. 3. Όπως είναι φανερό, η μεσόφαση υπάρχει σε μεγαλύτερη περιοχή θερμοκρασιών από ό,τι σε καθένα από τα δύο υγροκρυσταλλικά υλικά ξεχωριστά.



Σχήμα 3 Το διάγραμμα φάσεων στη 1 atm για ένα δυαδικό σύστημα δύο υγροκρυσταλλικών υλικών, του οκτυλοκυανοδιφαινυλίου (8CB) και του οκτυλοξυκυανοδιφαινυλίου (8OCB). (Με βάση το P. Rushikesh, A. Matkar, and T. Kyua, *J. Chem. Phys.*, **124**, 224902 (2006).)