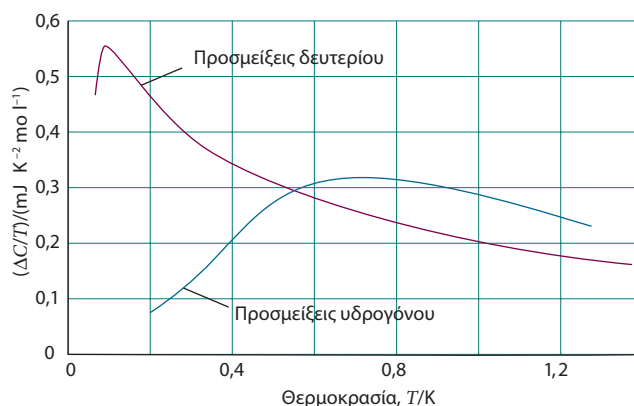


## ΕΠΙΔΡΑΣΗ 5 ...ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΥΛΙΚΩΝ: Κρυσταλλικές ατέλειες<sup>1</sup>

Ο Τρίτος Νόμος συνεπάγεται ότι σε  $T = 0$  οι τέλειες κρυσταλλικές ουσίες χαρακτηρίζονται από μεγάλης εμβέλειας, τακτικά επαναλαμβανόμενες διατάξεις ατόμων, ιόντων ή μορίων. Αυτή η κανονικότητα, και οι συνακόλουθες διαμοριακές και ενδομοριακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υπομονάδων του κρυστάλλου, δίδουν τις φυσικές, χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες του στερεού. Στην πραγματικότητα, ωστόσο, όλα τα κρυσταλλικά στερεά εμφανίζουν μία ή περισσότερες ατέλειες που επηρεάζουν τις φυσικές και χημικές ιδιότητες της ουσίας. Μάλιστα, συχνά εισάγονται προσμείξεις για την απόκτηση ειδικών επιθυμητών ιδιοτήτων, όπως το χρώμα ενός πολύτιμου λίθου ή η αυξημένη αντοχή ενός μετάλλου.

Ένας από τους κύριους τύπους κρυσταλλικών ατελειών είναι η **σημειακή ατέλεια**, μια θέση από όπου ένα άτομο λείπει ή στην οποία έχει τοποθετηθεί ένα άτομο εκτός κανονικότητας μεταξύ άλλων ατόμων του κρυστάλλου. Πολλοί πολύτιμοι λίθοι αποτελούν «στερεά αντικατάστασης», όπως το ρουμπίνι και το μπλε ζαφείρι όπου κάποια από τα ιόντα  $Al^{3+}$  στη δομή κοροουνδίου της αλουμίνας αντικαθίστανται από ιόντα  $Cr^{3+}$  και  $Fe^{3+}$ , αντίστοιχα. Ένας άλλος τύπος είναι εκείνος στον οποίον άτομα βρίσκονται στα διάκενα μεταξύ άλλων ατόμων, και δεν τα αντικαθιστούν. Αυτά τα στερεά μπορούν να προκύψουν από την τυχαία διάχυση των προσμείξεων στα διάκενα. Μπορούν επίσης να προκύψουν από αυτοδιάχυση, όπου ένα ιόν του πλέγματος αφήνει τη θέση του και μετακινείται προς ένα διάκενο. Η κενή θέση που το ιόν αφήνει πίσω του είναι γνωστή ως «ατέλεια Frenkel».

Στο σχήμα 1 απεικονίζεται η επίδραση των προσμείξεων στη θερμοχωρητικότητα και επομένως στην εντροπία ενός αμιγούς κρυστάλλου, σε αυτή την περίπτωση του νιοβίου, που είναι συστατικό των κραμάτων που εμφανίζουν την ιδιότητα της υπεραγωγιότητας (την ικανότητα να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα με μηδενική αντίσταση) κάτω από μια συγκεκριμένη κρίσιμη θερμοκρασία. Το νιόβιο έχει γίνει το κυρίαρχο μέταλλο στα κράματα ημιαγωγών χαμηλής θερμοκρασίας, διό-



**Σχήμα 1** Οι συνεισφορές των ατελειών στη γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα για νιόβιο με προσμείξεις υδρογόνου και δευτερίου. Το εμβαδόν κάτω από κάθε καμπύλη χρησιμοποιείται για να υπολογίσουμε την εντροπία που οφείλεται στην παρουσία των ατελειών. (Με βάση το G.J. Sellers and A.C. Anderson, *Phys. Rev. B*, **10**, 2771 (1974).)

τι μπορεί να κατασκευαστεί οικονομικά σε ελατή μορφή που χρειάζεται για το υψηλό κρίσιμο ρεύμα ενός ημιαγωγού. Η καθαρότητα του μετάλλου, όμως, είναι σημαντική στην εκδήλωση της υπεραγωγιότητας. Κοντά στον 1 K η θερμοχωρητικότητα του καθαρού νιοβίου ακολουθεί τον νόμο του Debye, ως  $T^3$ . Ωστόσο, όταν το  $H_2$  ή το  $D_2$  αφεθούν να διαχυθούν στο δείγμα σε  $700^\circ C$ , εισάγονται προσμείξεις και η θερμοχωρητικότητα αποκλίνει από εκείνη του καθαρού μετάλλου. Για τον προσδιορισμό του ρόλου των ατελειών, οι τιμές του  $C_p$  για το καθαρό μέταλλο αφαιρούνται από εκείνες των δειγμάτων με προσμείξεις, διαιρούνται με  $T$ , και παριστάνονται γραφικά ως προς τη θερμοκρασία. Το εμβαδόν κάτω από τις καμπύλες που προκύπτουν αναπαριστά τις συνεισφορές στην εντροπία από την παρουσία των προσμείξεων.

<sup>1</sup> Η Ενότητα αυτή βασίζεται σε υλικό που έχει παρασχεθεί από τον Καθηγητή Kerry Karukstis του Harvey Mudd College.