

ΕΠΙΔΡΑΣΗ 2 ...ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ: Ο Ήλιος ως σφαίρα τέλειου αερίου

Η κινητική θεωρία των αερίων ισχύει όταν το μέγεθος των μορίων είναι αμελητέο σε σύγκριση με τη μέση ελεύθερη διαδρομή τους. Μπορεί να φαίνεται παράδοξο, επομένως, να περιμένουμε η κινητική θεωρία, και κατά συνέπεια, ο νόμος των τέλειων αερίων, να μπορούν να εφαρμοστούν στην πυκνή ύλη στο εσωτερικό των άστρων. Στον Ήλιο, παραδείγματος χάριν, η πυκνότητα στο κέντρο του είναι 1,50 φορές εκείνη του υγρού νερού και συγκρίσιμη με αυτή του νερού σχεδόν στο μισό της ακτίνας του. Ωστόσο, πρέπει να συνειδητοποιήσουμε ότι η ύλη βρίσκεται σε κατάσταση πλάσματος, στην οποία τα ηλεκτρόνια έχουν απαγκιστρωθεί από τους πυρήνες των ατόμων του υδρογόνου και του ηλίου που αποτελούν την κυρίως ύλη των άστρων. Ως αποτέλεσμα, τα σωματίδια που αποτελούν το πλάσμα έχουν διαμέτρους συγκρίσιμες με εκείνες των πυρήνων, ή περίπου 10 fm. Συνεπώς, μέση ελεύθερη διαδρομή μόλις 0,1 pm ικανοποιεί το κριτήριο ισχύος της κινητικής θεωρίας και του νόμου των τέλειων αερίων. Μπορούμε επομένως να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση $pV = nRT$ ως καταστατική εξίσωση για το εσωτερικό των άστρων. Παρόλο που η αλληλεπίδραση Coulomb μεταξύ φορτισμένων σωματιδίων είναι ισχυρή, στις υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό των άστρων η κινητική ενέργεια των φορτισμένων σωματιδίων υπερσχύει κατά πολύ και έτσι η προσέγγιση «μόνο κινητικής ενέργειας» είναι αποδεκτή.

Όπως για κάθε τέλειο αέριο, η πίεση στο εσωτερικό του Ήλιου συνδέεται με την πυκνότητα μάζας, $\rho = m/V$, μέσω της $p = \rho RT/M$. Τα άτομα στο εσωτερικό των άστρων έχουν χάσει τα ηλεκτρόνια τους έτσι, αν υποθέσουμε ότι το εσωτερικό αποτελείται από ιονισμένα άτομα υδρογόνου, η μέση γραμμομοριακή μάζα είναι το μισό της γραμμομοριακής μάζας του υδρογόνου, ή $0,5 \text{ g mol}^{-1}$ (ο μέσος όρος των γραμμομοριακών μαζών των H^+ και e^- , με την τελευταία να είναι πρακτικά μηδέν). Στο μέσο της απόστασης από το κέντρο ως την επιφάνεια του Ήλιου, η θερμοκρασία είναι ίση με 3,6 MK και η πυκνότητα μάζας είναι $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ (ελαφρώς μεγαλύτερη από εκείνη του νερού)· έτσι, η πίεση εκεί προκύπτει ίση με 72 TPa, ή περίπου 720 εκατομμύρια ατμόσφαιρες.

Επειδή η ολική κινητική ενέργεια των μορίων δίνεται από τη σχέση $E_k = \frac{1}{2} N m v_{\text{rms}}^2$, μπορούμε να γράψουμε $p = \frac{2}{3} E_k/V$. Δηλαδή, η πίεση του πλάσματος συνδέεται με την *πυκνότητα κινητικής ενέργειας*, $\rho_k = E_k/V$, δηλαδή την κινητική ενέργεια των μορίων σε μια περιοχή διά του όγκου της περιοχής, μέσω της $p = \frac{2}{3} \rho_k$. Έπεται ότι η πυκνότητα της κινητικής ενέργειας στο μισό της απόστασης από το κέντρο ως την επιφάνεια του Ήλιου είναι περίπου $0,11 \text{ GJ cm}^{-3}$. Συγκριτικά, σε μια ζεστή ημέρα (25°C) στη Γη, η πυκνότητα (μεταφορικής) κινητικής ενέργειας της ατμόσφαιράς μας είναι μόλις $0,15 \text{ J cm}^{-3}$.