

أ) من الشكل (٧-٣) صفحة ١١٥، فإن حالة المادة في كل فترة هي:

الفترة	حالة المادة
أ	صلبة
ب	صلبة + سائلة
ج	سائلة
د	سائلة + غازية

ب) من الشكل نفسه:

فإن درجة انصهار هذه المادة ٦٠°س لأن المادة تكون في مرحلة انتقالية بين الحالة الصلبة والسائلة عند هذه الدرجة. ودرجة غليان هذه المادة ١٢٠°س لأن المادة تكون في مرحلة انتقالية بين الحالة السائلة والغازية عند هذه الدرجة. ج) يمكن حساب الحرارة النوعية للمادة في الحالة الصلبة باستخدام معادلة حساب كمية الحرارة في حالة تسخين مادة أي في حالة عدم تغير حالة المادة:

$$\text{كح} = \text{ك} \times \text{ن} \times \text{د} \quad \leftarrow (١)$$

ولقد ذكر في السؤال أن كتلة المادة ١ كجم. ومعدل الطاقة الحرارية التي يتم اكتسابها هو ٢٠٠ جول/ث، ويمكن أن نستفيد من معدل الطاقة الحرارية لإيجاد كمية الحرارة التي اكتسبتها المادة باستخدام المعادلة:

$$\text{كح} = \text{الزمن} \times \text{معدل الطاقة الحرارية}$$

وبما أن معدل الطاقة الحرارية = ٢٠٠ جول/ث

$$\text{كح} = ٢٠٠ \times \text{الزمن} \quad \leftarrow (٢)$$

وبالرجوع للشكل المذكور والمرافق مع السؤال نلاحظ أنه في الفترة أ أي في الحالة الصلبة للمادة تم تسخين هذه المادة من درجة ٠°س إلى ٦٠°س وذلك في زمن قدره دقيقتان. من هذه المعلومات نحصل على:-

$$\text{مقدار التغير في درجة الحرارة} \quad \text{د} = ٦٠ - ٠ = ٦٠$$

$$\text{د} = ٦٠ = ٠ \quad \text{س}$$

وباستخدام الزمن (دقيقتان) يمكن معرفة كمية الحرارة (كح) ولكن يجب تحويل هذا الزمن إلى وحدة الثانية لأن معدل الطاقة الحرارية يتغير بالنسبة للثانية (٢٠٠ جول/ث).

$$\text{الزمن بالثانية} = ٦٠ \times ٢ = ١٢٠ \text{ ث}$$

$$\text{من المعادلة (٢)} \quad \text{كح} = ١٢٠ \times ٢٠٠ = ٢٤٠٠٠ \text{ جول}$$

المعلومات المتوفرة لدينا هي

$$\text{الكتلة ك} = ١ \text{ كجم}$$

$$\text{كمية الحرارة كح} = ٢٤٠٠٠ \text{ جول}$$

$$\text{د} = ٦٠ \text{ س}$$

باستخدام المعادلة (١) كح = ك × ن × د

وبالتعويض في هذه المعادلة

$$٦٠ \times ن \times ١ = ٢٤٠٠٠$$

$$ن \times ٦٠ = ٢٤٠٠٠$$

$$\text{الحرارة النوعية للمادة في الحالة الصلبة} ن = \frac{٢٤٠٠٠}{٦٠} = ٤٠٠ \text{ جول/كجم} \cdot \text{س}$$

د) يمكن حساب الحرارة الكامنة لانصهار المادة بعد معرفة كمية الحرارة اللازمة لتحويل المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (الفترة ب) بواسطة المعادلة:

$$\text{كح} = \text{معدل الطاقة الحرارية} \times \text{الزمن}$$

والزمن المستغرق خلال الفترة ب هو ٦-٢ = ٤ دقائق فقط

$$\text{والزمن بالثانية} = ٦٠ \times ٤ = ٢٤٠ \text{ ثانية}$$

بما أن معدل الطاقة الحرارية = ٢٠٠ جول/ث

$$\text{كح} = ٢٤٠ \times ٢٠٠ = ٤٨٠٠٠ \text{ جول}$$

وفي حالة انصهار أي مادة نستخدم المعادلة كح = ك × حص

حيث حص هي الحرارة الكامنة لانصهار المادة.

$$\text{وبما أن كح} = ٤٨٠٠٠ \text{ جول و ك} = ١ \text{ كجم}$$

$$\text{كح} = ك \times \text{حص}$$

$$٤٨٠٠٠ = ١ \times \text{حص}$$

الحرارة الكامنة لانصهار هذه المادة حص = ٤٨٠٠٠ جول/كجم

ولحساب الحرارة الكامنة للتصعيد نعيد الخطوات السابقة:

الزمن للفترة د (حيث تتحول المادة من الحالة السائلة إلى الغازية) يساوي ٢٠-١٢ = ٨ دقائق

$$\text{والزمن بالثانية} = ٦٠ \times ٨ = ٤٨٠ \text{ ث}$$

$$\text{كمية الحرارة المكتسبة} = ٤٨٠ \times ٢٠٠$$

$$\text{كح} = ٩٦٠٠٠ \text{ جول}$$

في حالة التصعيد نستخدم المعادلة كح = ك × حت

$$٩٦٠٠٠ = ١ \times \text{حت}$$

الحرارة الكامنة لتصعيد هذه المادة حت = ٩٦٠٠٠ جول/كجم

٩) قطعة الجليد تمتص كمية من الحرارة أكبر مما تمتصها نفس الكتلة من الماء عند درجة صفر لأن الجليد يمتص أولاً كمية من الحرارة ليتحول إلى ماء (أي ينصهر) ثم كمية من الحرارة ليسخن، لكن الماء يمتص الحرارة ليسخن فقط.

١٠) في هذه المسألة، عند وضع قطعة جليد عند درجة في إناء به ماء دافئ عند درجة ٣٢,٤ °س فإن الإناء والماء الذي فيه سوف يفقدان الحرارة وسيكتسبها الجليد والماء الناتج من ذوبانه.

كمية الحرارة المكتسبة = كمية الحرارة المكتسبة (لصهر الجليد) + كمية الحرارة المكتسبة (لتسخين الماء الناتج من ذوبان الجليد)

$$= ك_١ \times حص + ك_٢ \times ن_٢ \times د_٢ \leftarrow (١)$$

كمية الحرارة المفقودة = كمية الحرارة المفقودة (لتبريد الماء الموجود في الإناء) + كمية الحرارة المفقودة (لتبريد الإناء)

$$= ك_٣ \times ن_٣ \times د_٣ + ك_٤ \times ن_٤ \times د_٤ \leftarrow (٢)$$

بالنسبة للجليد

$$الكتلة ك_١ = ٤٦,٩ \text{ جرام}$$

حص؟ هي المطلوب إيجادها.

بالنسبة للماء الناتج عن الجليد

$$كتلته مثل كتلة الجليد ك_٢ = ٤٦,٩ \text{ جرام}$$

$$\text{درجة حرارته الابتدائية} = ٠ \text{ °س}$$

$$\text{درجة حرارته النهائية} = ١٧,١ \text{ °س}$$

$$\text{مقدار التغير في درجة الحرارة} = د_٢ = ١٧,١ - ٠ = ١٧,١ \text{ °س}$$

$$\text{حرارته النوعية} ن_٢ = ٤٢٠٠ \text{ جول/كجم. °س}$$

بما أن كل الكتل بوحدة الجرام فسوف نحول الحرارة النوعية للماء إلى وحدة سعر/جرام. °س

$$\text{نعلم أن } ١ \text{ سعر} = ٤,١٨ \text{ جول} \text{ وسوف نقربها إلى } ١ \text{ سعر} = ٤,٢ \text{ جول}$$

$$\text{ونعرف أيضاً أن } ١ \text{ كجم} = ١٠٠٠ \text{ جم}$$

$$٤٢٠٠ \text{ جول/كجم. °س} = ٤٢٠٠ \frac{\text{جول}}{\text{كجم} \times \text{°س}} \times \frac{١ \text{ سعر}}{٤,٢ \text{ جول}} \times \frac{١ \text{ كجم}}{١٠٠٠ \text{ جرام}}$$

$$= \frac{٤٢٠٠}{٤٢٠٠} = \frac{\text{سعر}}{\text{جم. °س}} = \frac{٤٢٠٠}{١٠٠٠ \times ٤,٢} \text{ سعر/جرام}$$

$$٤٢٠٠ \text{ جول/كجم. °س} = ١ \text{ سعر/جرام. °س}$$

$$٢ = ١ \text{ سعر/جرام. °س}$$

بالنسبة للماء الموجود في الإناء

$$\text{كتلته} ك_٣ = ٢٦٥ \text{ جرام}$$

$$\text{درجة حرارته الابتدائية} = ٣٢,٤ \text{ °س} \text{ أي قبل وضع قطعة الجليد.}$$

$$\text{درجة حرارته النهائية} = ١٧,١ \text{ °س} \text{ أي بعد وضع قطعة الجليد.}$$

$$\text{مقدار التغير في درجة الحرارة} = د_٣ = ٣٢,٤ - ١٧,١ = ١٥,٣ \text{ °س}$$

$$\text{حرارته النوعية} ن_٣ = ١ \text{ سعر/جرام. °س}$$

بالنسبة للإناء

$$\text{كتلته ك} = ٤ = ٩١,٤ \text{ جرام}$$

بما أن مقدار التغير في درجة حرارة الإناء يساوي مقدار التغير في درجة حرارة الماء الذي فيه.

$$\text{د} = \text{د} = ١٥,٣ \text{ س} \leftarrow$$

$$\text{ن} = ٠,٢٢ = \text{سعر/جرام. س} \quad (\text{من معطيات المسألة})$$

بما أنه قد تم مزج أكثر من مادة فيجب استخدام قانون الاتزان الحراري.

$$\text{كمية الحرارة المكتسبة} = \text{كمية الحرارة المفقودة}$$

من المعادلتين (١) و (٢) نحصل على

$$\text{ك} \times \text{حص} + \text{ك} \times \text{ن} \times \text{د} = \text{د} \times \text{ن} \times \text{د} + \text{ك} \times \text{ن} \times \text{د} + \text{ك} \times \text{ن} \times \text{د}$$

$$١٣,٥ \times ٠,٢٢ \times ٩١,٤ + ١٥,٣ \times ١ \times ٢٦٥ = \text{حص} \times ٤٦,٩ + ١٧,١ \times ١ \times ٤٦,٩$$

$$٣٠٧,٦٥٢٤ + ٤٠٥٤,٥ = \text{حص} \times ٤٦,٩ + ٨٠١,٩٩$$

$$٨٠١,٩٩ \quad ٤٣٦٢,١٥٢٤ = \text{حص} \times ٤٦,٩$$

$$٣٥٦٠,١٦٢٤ = \text{حص} \times ٤٦,٩$$

$$\text{الحرارة الكامنة لانصهار الجليد حص} = \frac{٣٥٦٠,١٦٢٤}{٤٦,٩} = ٧٥,٩١ \text{ سعر/جرام}$$

وهذه النتيجة تختلف عن القيمة المبينة في الجدول (٧-١) صفحة ١٠٨ والتي تبلغ ٨٠ سعر/جرام، وذلك بسبب أن الإناء غير معزول عن الوسط الخارجي.

(١١)

$$\text{كتلة إناء الألمنيوم ك} = ٣٤٠ = \text{جرام} = ٠,٣٤ \text{ كجم}$$

درجة حرارة إناء الألمنيوم الابتدائية تساوي درجة حرارة الماء الذي فيه.

$$\text{درجة حرارة إناء الألمنيوم الابتدائية د} = ٢٠ \text{ س}$$

$$\text{كتلة الماء ك} = ٣٠٠ = \text{جرام} = ٠,٣ \text{ كجم}$$

$$\text{درجة حرارته الابتدائية د} = ٢٠ \text{ س}$$

$$\text{معدل الطاقة الحرارية} = ١٠٠ \text{ سعر/ث}$$

نحول المعدل إلى وحدة جول/ث فنضرب في ٤,٢ لأن ١ سعر = ٤,٢ جول تقريباً.

$$\text{معدل الطاقة الحرارية} = ٤,٢ \times ١٠٠ = ٤٢٠ \text{ جول/ث}$$

$$\text{ونحن نعلم أن كح} = \text{المعدل} \times \text{الزمن} \leftarrow (١)$$

١- ليبدأ الماء في الغليان، يجب أن نرفع درجة حرارة كل من الإناء والماء الذي فيه إلى درجة ١٠٠ س.

$$\text{درجة الحرارة النهائية اللازمة لإناء الألمنيوم د} = ١٠٠ \text{ س}$$

$$\text{و درجة الحرارة النهائية اللازمة للماء د} = ١٠٠ \text{ س}$$

$$د = د_1 - د_2 = 100 - 20 = 80 \text{ س}$$

$$د = د_1 - د_2 = 100 - 20 = 80 \text{ س}$$

بما أن كمية الحرارة اللازمة لتغليان الماء = كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الإناء إلى 100°س + كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء إلى 100°س

$$كح = كح_1 + كح_2$$

$$= ك_1 \times ن_1 \times د_1 + ك_2 \times ن_2 \times د_2$$

بالرجوع إلى الكتاب صفحة ٤٨ فإن

$$\text{الحرارة النوعية للألمنيوم } ن_1 = 924 \text{ جول/كجم.}^{\circ}\text{س}$$

$$\text{الحرارة النوعية للماء } ن_2 = 4200 \text{ جول/كجم.}^{\circ}\text{س}$$

$$كح = ك_1 \times ن_1 \times د_1 + ك_2 \times ن_2 \times د_2$$

$$= 80 \times 924 \times 0,3 + 80 \times 4200 \times 0,3$$

$$= 25132,8 + 100800$$

$$= 125932,8 \text{ جول}$$

$$\text{من المعادلة (١) نجد أن الزمن} = \frac{\text{كح}}{\text{المعدل}}$$

$$\text{الزمن} = \frac{125932,8}{420} = 299,84 \text{ ثانية}$$

نحول الزمن إلى وحدة الدقيقة لنجد أن

$$\text{الزمن اللازم ليبدأ الماء بالغليان (بالدقيقة)} = \frac{299,84}{60} = 5 \text{ دقائق تقريباً.}$$

٢- لتبدأ درجة حرارة الإناء في الارتفاع عن 100°س، يجب أن يتبخر الماء كله، لأنه من المعروف أن الماء لا يمكن أن ترتفع درجة حرارته عن 100°س في حالة الغليان، وبما أن الإناء والماء الذي فيه متلامسان دائماً، فإن الإناء سيظل عند 100°س حتى تتحول كل كمية الماء إلى بخار.

يجب أن ترتفع أولاً درجة حرارة الماء والإناء إلى 100°س حتى يغلي الماء وقد أوجدناها في الجزء الأول من السؤال وعرفنا أن المدة الزمنية التي نحتاجها لذلك هي 5 دقائق.

والآن لنحسب الزمن الذي نحتاجه لتحويل الماء إلى بخار وذلك باستخدام المعادلة:

$$كح = ك \times ح$$

$$\text{كتلة الماء } ك = 0,3 \text{ كجم}$$

$$\text{الحرارة الكامنة لتسفيد الماء } ح = 2260000 \text{ جول/كجم من الجدول (٧-٢) صفحة ١١٢}$$

$$كح = ك \times ح$$

$$= 2260000 \times 0,3 = 678000 \text{ جول}$$

يمكن حساب الزمن الذي نحتاجه لتبخير الماء من المعادلة (٢)

$$\frac{\text{كح}}{\text{المعدل}} = \frac{678000}{420}$$

$$\text{الزمن} = = = ١٦١٤,٢٩ \text{ ثانية}$$

$$\text{الزمن اللازم لارتفاع درجة حرارة الإناء عن } ١٠٠ \text{ س بعد غليان الماء (بالدقيقة)} = \frac{١٦١٤,٢٩}{٢٠} = ٢٦,٩ \text{ دقيقة}$$

أي تقريباً ٢٧ دقيقة.

(١٢) في هذه المسألة يجب تطبيق قانون الاتزان الحراري على أساس أن البخار سوف يفقد الحرارة وكل من الجليد والماء الذي معه في الإناء سوف يكتسبان الحرارة. ولكن في البداية سنحسب كل من كمية الحرارة المفقودة وكمية الحرارة المكتسبة على حدة.

❖ كمية الحرارة المفقودة للبخار والماء الناتج من تكثف البخار:

كتلة البخار مجهولة وهي المطلوبة ك_١ ؟

$$\text{درجة الحرارة البخار الابتدائية } ١٠ = ١٠ \text{ س}$$

وحتى تصل درجة الحرارة إلى ٢٥ س يجب أولاً أن يتحول البخار عند ١٠٠ س إلى ماء عند ١٠٠ س ثم تنخفض درجة الماء الناتج من عملية تكثف الماء.

$$\text{كمية الحرارة اللازم فقدها ليتحول البخار إلى ماء عند } ١٠٠ \text{ س} \quad \text{كح}_١ = \text{ك} \times \text{حت}$$

$$\text{حت للماء} = ٢٢٦٠٠٠٠٠ \text{ جول/كجم}$$

$$\text{كح}_١ = \text{ك} \times ٢٢٦٠٠٠٠٠$$

$$\text{كح}_١ = ٢٢٦٠٠٠٠٠ \text{ ك}$$

ثم نحسب كمية الحرارة اللازمة لتبريد الماء الناتج من البخار وهو عند ١٠٠ س إلى ٢٥ س، وذلك باستخدام المعادلة:

$$\text{كح}_٢ = \text{ك} \times \text{ن} \times \text{د}$$

وحيث أن الحرارة النوعية للماء ن = ٤٢٠٠ جول/كجم. س

$$\text{ومقدار التغير في درجة الحرارة } \text{د} = ١٠٠ - ٢٥ = ٧٥ \text{ س}$$

وكتلة هذا الماء تساوي كتلة البخار لأنه نتج منه.

$$\text{كتلة الماء} = \text{ك}$$

$$\text{كح}_٢ = \text{ك} \times ٤٢٠٠ \times ٧٥$$

$$= ٣١٥٠٠٠ \times \text{ك}$$

$$\text{كح}_٢ = ٣١٥٠٠٠ \text{ ك}$$

$$\text{كمية الحرارة المفقودة} = \text{كح}_١ + \text{كح}_٢$$

$$= ٢٢٦٠٠٠٠٠ \text{ ك} + ٣١٥٠٠٠ \text{ ك}$$

$$= (٢٢٦٠٠٠٠٠ + ٣١٥٠٠٠) \text{ ك}$$

حيث ك_١ هي كتلة البخار.

$$\text{كمية الحرارة المفقودة} = ٢٥٧٥٠٠٠ \text{ ك}$$

❖ كمية الحرارة المكتسبة للماء الموجود في الإناء والجليد والماء الناتج عن ذوبانه بالنسبة للماء الموجود في الإناء

$$\text{كتلته } \text{ك} = ٨٠٠ \text{ جرام} = ٠,٨ \text{ كجم}$$

$$\text{درجة حرارته الابتدائية } ١٠ = ٠ \text{ س}$$

$$\text{درجة حرارته النهائية } ١٠ = ٢٥ \text{ س} \quad \text{وهي النهائية للخليط.}$$

$$١,٤ = ٠ - ٢٥ = ٢٥ \text{ س}$$

الحرارة النوعية للماء $١,٤ = ٤٢٠٠ \text{ جول/كجم. س}$

كمية الحرارة التي سوف تسخن الماء من ٠ س إلى ٢٥ س هي:

$$\text{كج} = ١,٤ \times ١ \times ٢٥$$

$$= ٢٥ \times ٤٢٠٠ \times ٠,٨ =$$

$$\text{كج} = ٨٤٠٠٠ \text{ جول}$$

أما الجليد فسوف يتحول من جليد عند ٠ س إلى ماء عند ٠ س ، ويمكن حساب كمية الحرارة اللازمة لهذا الانصهار من المعادلة

$$\text{كج} = ٢,٤ \times \text{حص}$$

وحيث أن $٢,٤ \text{ حص} = ٣٣٦٠٠٠ \text{ جول/كجم}$ وكتلة هذا الجليد $٢,٤ = ٤٠٠ \text{ جرام} = ٠,٤ \text{ كجم}$

$$\text{كج} = ٢,٤ \times ٠,٤ = ٣٣٦٠٠٠$$

كمية الحرارة اللازمة لتحويل الجليد عند ٠ س إلى ماء عند ٠ س $٢,٤ = ١٣٤٤٠٠ \text{ جول}$

والماء الناتج عن ذوبان الجليد (٠ س) سيسخن إلى ٢٥ س (النهائية للخليط) باكتساب كمية من الحرارة يمكن احتسابها كالتالي

$$\text{كج} = ٢,٤ \times ١ \times ٢٥$$

درجة الحرارة الابتدائية للماء الناتج عن الجليد طبعاً $١,٤ = ٠ \text{ س}$

درجة الحرارة الابتدائية للماء الناتج عن الجليد $٢,٤ = ٢٥ \text{ س}$

$$٢,٤ = ٠ - ٢٥ = ٢٥ \text{ س}$$

وحرارته النوعية $١,٤ = ٤٢٠٠ \text{ جول/كجم. س}$

وكتلته تساوي أيضاً كتلة الجليد

$$\text{كج} = ٠,٤ = ٤٠٠ \text{ كجم}$$

$$\text{كج} = ٢,٤ \times ٤٢٠٠ \times ٠,٤ = ٢٥$$

كمية الحرارة اللازمة لتسخين الماء الناتج من ذوبان الجليد من ٠ س إلى ٢٥ س $٢,٤ = ٤٢٠٠٠ \text{ جول}$

$$\text{كج المكتسبة} = \text{كج} + \text{كج} + \text{كج}$$

$$= ٤٢٠٠٠ + ١٣٤٤٠٠ + ٨٤٠٠٠ =$$

$$\text{كمية الحرارة المكتسبة} = ٢٦٠٤٠٠ \text{ جول}$$

من قانون الاتزان الحراري

$$\text{كمية الحرارة المفقودة} = \text{كمية الحرارة المكتسبة}$$

$$٢٦٠٤٠٠ = ٢٥٧٥٠٠٠ \text{ كج}$$

$$\frac{٢٦٠٤٠٠}{٢٥٧٥٠٠٠} =$$

$$= ١,٠١ = ٠,١٠١ \text{ كجم}$$

$$= ١٠٠٠ \times ٠,١٠١ =$$

$$= ١٠١ \text{ جرام}$$

كتلة البخار اللازمة لإتمام العملية هي ١٠١ جرام

مع إهمال أثر الإناء لأننا لم ندخله في حساباتنا.