تابع مذكرة ٣٤١ هزر (الجزء الثاني) بداية الخواص الحرارية

مقدمة عن المحتوى الحراري والانتقال الحراري للأغذية

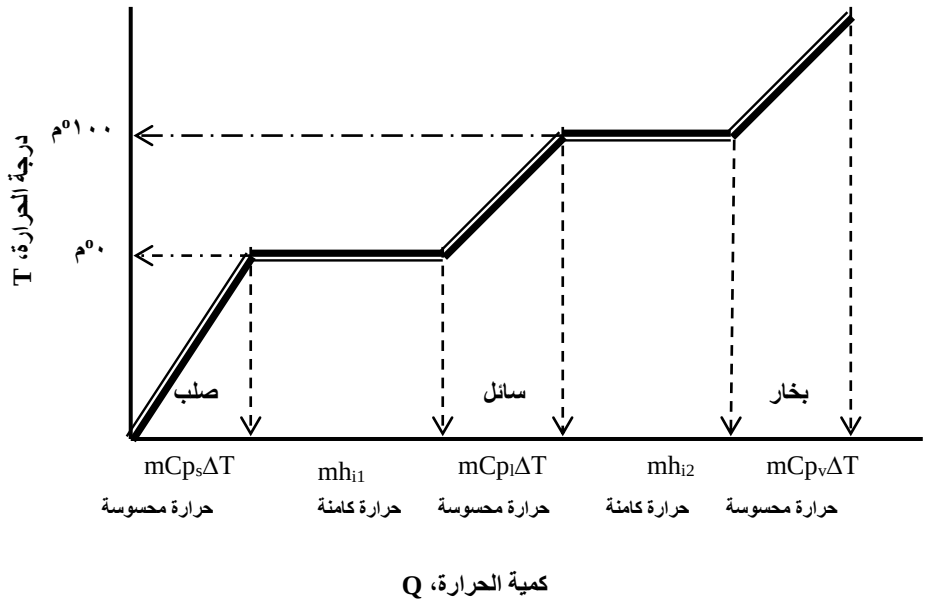
تقدير المحتوى الحراري في المواد الغذائية:

من ضمن خصائص الانتقال الحراري التي تعتمد على خواص المادة هو كمية الحرارة الموجودة بالمادة. ويمكن تقدير كمية الحرارة المحتواة في مادة بمعرفة الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة. حيث ينقسم المحتوى الحراري إلى قسمين رئيسين، الأول محسوسة: حيث تتغير درجة الحرارة في نفس الطور مثل تغير درجة الحرارة للسائل. والأخرى كامنة (غير محسوسة) أي لا تتغير درجة الحرارة معها مثل التجمد والتبخر.

أ – **الحرارة المحسوسة:** هي الحرارة المزالة أو المضافة لمادة وتؤدي إلى تغير في درجة حرارتها مع ثبات الطور، مثلا: تسخين الماء من ٢٠ إلى ٨٠ ^{o}م عند الضغط الجوي (خلال سائل أو صلب أو غاز بدون تغير في الطور)

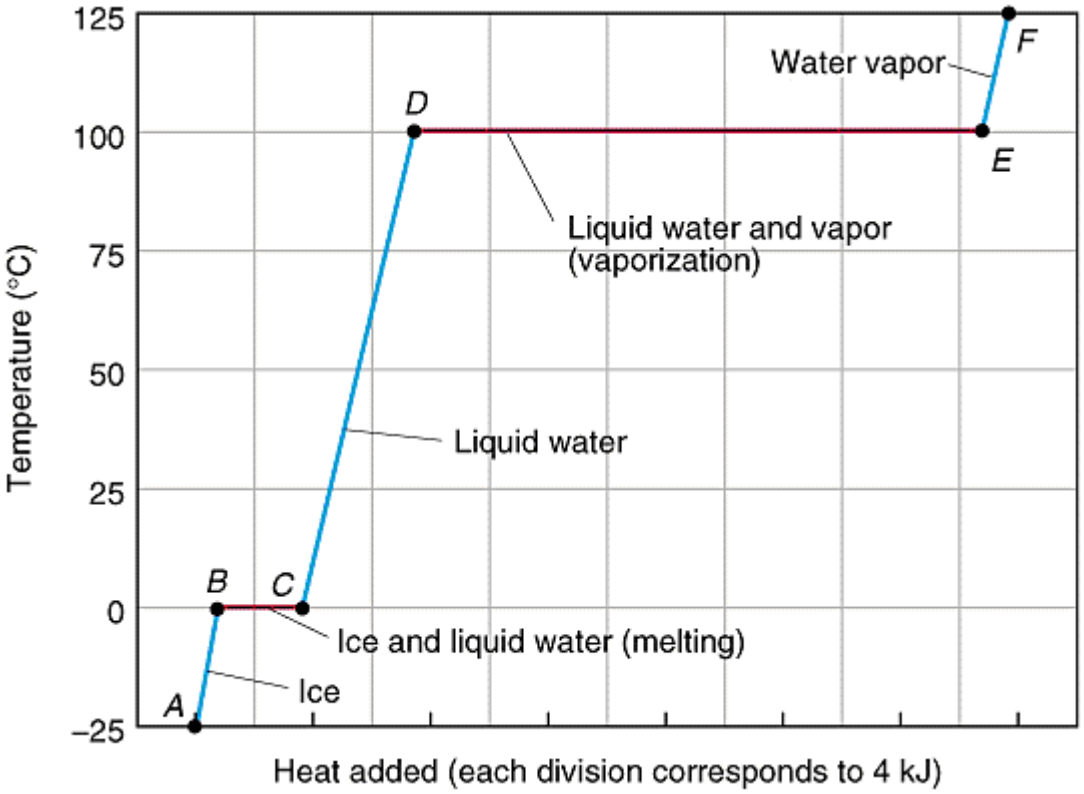
ب– **الحرارة الكامنة:** هي كمية الحرارة اللازمة لتغيير الطور عند ثبات درجة الحرارة من طور إلى آخر. (الانصهار أو التجمد والتبخير أو التكثيف عند تغير الطور بين صلب وسائل وغاز)

إذاً الكمية الكلية للحرارة = الحرارة المحسوسة (بخار + سائل + صلب) + الكامنة (انصهار + تبخير)

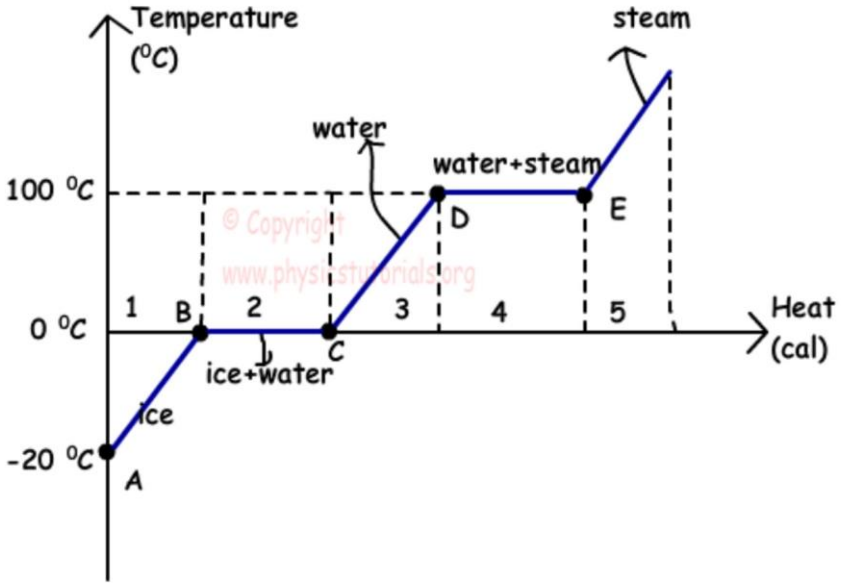


رسم بياني يوضح الكميات الحرارية للماء لدرجات الحرارة المختلفة عند الضغط الجوي.

رسمتين توضيحيتين للسلم الحراري للماء عند الضغط الجوي:



Phase Transition of Water



مثال: يراد تجميد طن من مركز البرتقال من درجة حرارة الغرفة إلى −٢٥°م. بين (ولكن بدقة وتركيز) إجمالي كمية الحرارة للوصول إلى درجة التجمّد هذه، موضحاً كل المعادلات المناسبة.. (لك الحرية في افتراض البيانات الملائمة]. قد يساعدك رسم السلم الحراري في الحل.

$$Q = \sum m.Cp.dT + \sum m.hi$$

$$Q = (m\ C_{p1}\ \Delta T_1)_{solid} + m\ h_{i1} + (m\ C_{p2}\ \Delta T_2)_{liquid} + mh_{i2} + m\ C_v\ \Delta T_3$$

مادة إضافية للقراءة والاطلاع

أسس في الانتقال الحراري في عمليات التصنيع الغذائي

أهمية الانتقال الحراري :

يحدث لمعظم إن لم يكن لجميع خطوط الإنتاج في المصانع الغذائية. وتحدث عمليات الانتقال الحراري – كما هو لانتقال الكتلة أو السريان – نتيجة لوجود فرق في درجات الحرارة بين الأجسام – وهي ما تسمى بالقوة (الدافعة) المحركة للانتقال الحراري.

ويمكن التعبير عن معدل الانتقال بـ:

معدل الانتقال = القوة الدافعة / المقاومة = فوق درجة الحرارة / مقاومة الوسط لسريان الحرارة

طرق انتقال الحرارة :

1- **التوصيل** : تبادل مباشر للطاقة الجزيئية من الطاقة الأكبر إلى الطاقة الأقل للجزيئات ، من خلال الجدران والمعلبات الصلبة.

2- **الإشعاع** : انتقال الحرارة عبر الموجات الكهرومغناطيسية ، مثل التجفيف الشمسي – سخانات كهربائية محمرة.

3- **الحمل** : انتقال حرارة نتيجة لحركة مجموعات من الجزيئات في المائع.

- حمل طبيعي (أو حمل حر) : فرق درجات الحرارة تبعاً لتغير كثافة السائل.
- حمل قسري : يحدث نتيجة حركة ميكانيكية بالإضافة إلى فرق درجات الحرارة.

وبالطبع قد يحدث انتقال الحرارة عبر الطرق الثلاثة مجتمعة.

الانتقال الحراري المستقر والانتقالي:

أ – الانتقال الحراري المستقر : ويكون معدل انتقال الحرارة ثابت ولا يتأثر بالزمن. وحسابات الانتقال الحراري المستقر تكون أبسط بكثير من الغير مستقر. مثل : سريان الحرارة من خلال جدار عند درجة حرارة ثابتة على جانبيه.

ب – الانتقال الحراري الانتقالي (الغير مستقر): ويكون معدل انتقال الحرارة غير ثابت ، أي أن معدل الانتقال الحراري يزيد أو يقل مع الزمن. وحسابات الانتقال الحراري في هذه الحالة تكون أعقد. مثال ذلك سريان الحرارة إلى علبة عصير في حالة وضعها في معقم أو في حالة تبريد العلبة بعد تعقيمها.

في التالي سيتم استعراض انتقال الحرارة المستقر بطريقتي التوصيل والحمل الحراري

أولاً: انتقال الحرارة بالتوصيل:

كما ذكر سابقاُ فتنتقل الحرارة بسبب القوة الدافعة وهي فرق درجة الحرارة بين نقطتين أو جسمين.

انتقال الحرارة = القوة الدافعة / المقاومة

1- قانون فورير للتوصيل الحراري $\frac{dQ}{dt} = KA\frac{dt}{dx}$

2- في حالة ثبات $\frac{dQ}{dt}$ (مع الزمن) $q = KA\frac{\Delta T}{\Delta X}$

ووحدات K هي: $(\frac{J}{m\ ^oC\ s})\ K = \frac{q\Delta x}{A\Delta T}$

- غالبا ما يكون معامل التوصيل الحراري ثابتاً لكثير من المواد الغذائية ، أو يتغير تغيراً طفيفاً.
- تتراوح قيمة K حسب نوع المادة وتركيبها ، كما في الجدول التالي.

المادة	K, watt/m °C
الماء	٠,٧
المواد الغذائية	٠,٥ – ٢
الهواء	٠,٠٢٤
المواد العازلة	٠,٠٣٨ – ٠,٠٥٢
ثلج	٢,٣

وسيتم أخذ بعض الأمثلة على تطبيقات انتقال الحرارة بالتوصيل بعدة حالات.

(أ) التوصيل الحراري خلال طبقة واحدة:

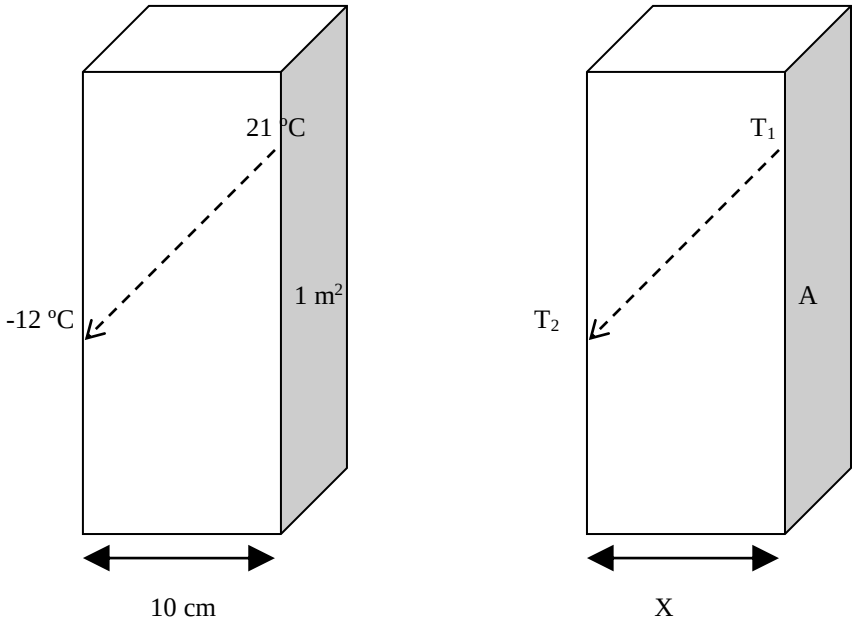
$$q = KA\frac{\Delta T}{\Delta X}$$

$$q = KA\frac{(T_1 - T_2)}{X}$$

وهـي أبسـط معـادلات الانتقـال الحـرارة

(قانون فورير) وتفترض أن:

١- أن Q لا تتغير مع الزمن.
٢- أن K ثابت.
٣- أن المادة متجانسة.
٤- السريان في جهة واحدة (بُعد واحد).



مثال ١ :

ما هو معدل انتقال الحرارة خلال ١ متر^{٢} من مساحة الجدار إذا كان (أنظر المخطط المرفق):

T_1= 21 °C K=0.042 j/m °C s T_2= -12 °C

X= 10 cm = 0.1 m A= 1 m^2

الحل:

$$q = KA\frac{\Delta T}{\Delta X}$$

$$= 0.042(1)(\frac{21-(-12)}{0.1})$$

$$= 13.9\frac{J}{S}$$

$$= 14watt$$

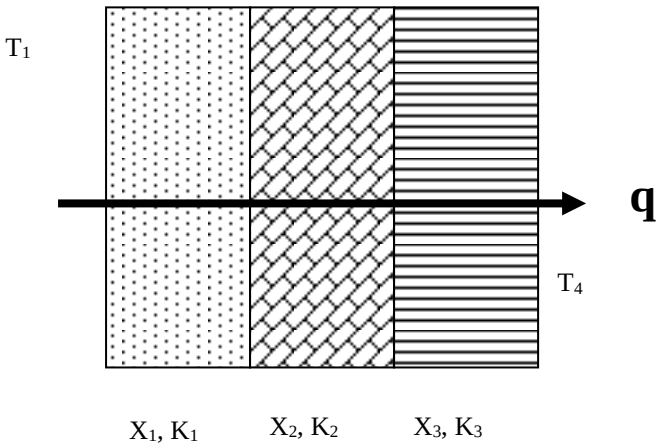
(ب) التوصيل الحراري على التوالي:

بوجود عدة طبقات لجدار مثل في حائط : بوية – البلك – عازل فلين – الدهان الخارجي أو مثل حائط مخزن التبريد.

فعند السريان الحراري المستقر:

$$q_1=q_2=q_3$$

حيث أنه ليس هناك تخزين للحرارة في الجدار.



$$q_1 = K_1 A_1 \frac{\Delta T_1}{\Delta X_1}$$

$$q_2 = K_2 A_2 \frac{\Delta T_2}{\Delta X_2}$$

$$q_3 = K_3 A_3 \frac{\Delta T_3}{\Delta X_3}$$

$$q_1 = q_2 = q_3$$

في حالة الجدار: $A_1=A_2=A_3$ فإن: $q=UA\Delta T$ وباشتقاق U:

$$U = \frac{1}{\frac{X_1}{K_1}+\frac{X_2}{K_2}+\frac{X_3}{K_3}}$$

تصبح المعادلة النهائية على التوالي :

$$q = \frac{A\Delta T}{\frac{X_1}{K_1}+\frac{X_2}{K_2}+\frac{X_3}{K_3}}$$

حيث $\Delta T=T_1-T_4$

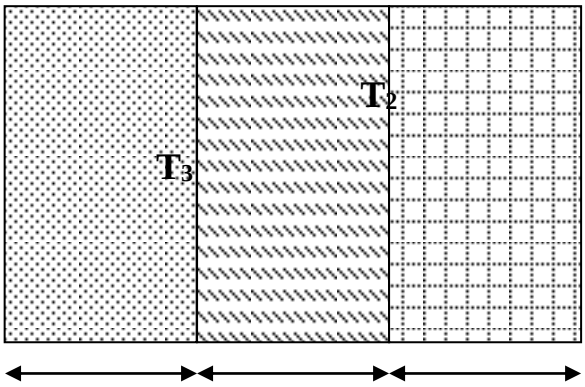
مثال ٢. مستودع تبريد له جدار بعدة طبقات كما في الرسم،

أ- احسب معدل انتقال الحرارة q لكل متر^2.

الحل :

نفترض أن انتقال الحرارة:

- مستقر
- اتجاه واحد
- K ثابت لكل طبقة



$$q = \frac{A(T_1 - T_4)}{\frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2} + \frac{X_3}{K_3}}$$

$$q = UA\Delta T = \frac{A(T_1 - T_4)}{\frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2} + \frac{X_3}{K_3}}$$

$$= \frac{1[18 - (-18)]}{\frac{0.11}{0.69} + \frac{0.075}{0.076} + \frac{0.1}{0.043}}$$

$$= 13.7 \frac{J}{s} \approx 14 watt$$

ب- حساب T_3:

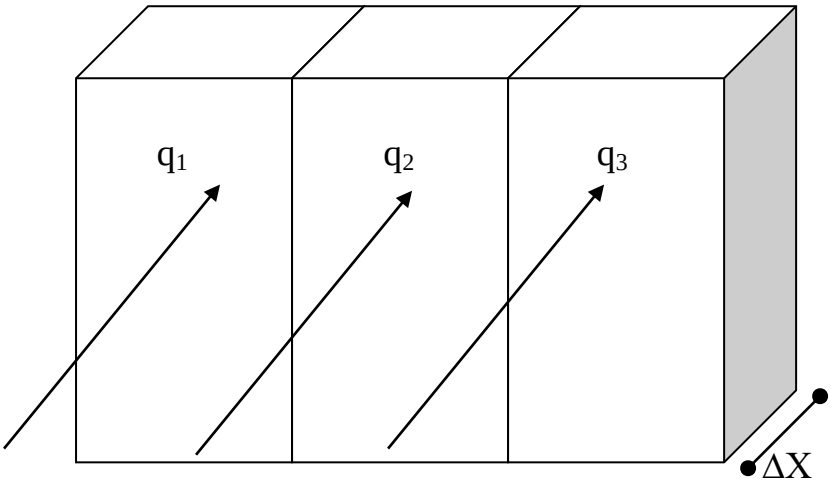
$$q = q_3 = \frac{[T_3 - (-18)](1)(0.43)}{0.10} = 13.7$$

$$\rightarrow T_3 = 14^oC$$

(جـ) التوصيل الحراري على التوازي :

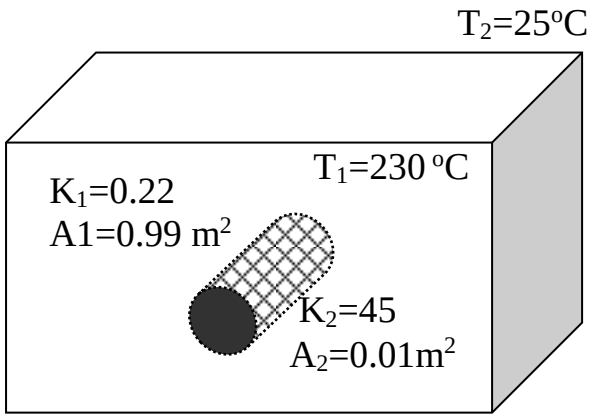
أي يكون أسطح المنشأة متوازية مع انتقال الحرارة مثل غرفة مكونة من حوائط ونوافذ وباب.

الشكل التالي يوضح انتقال الحرارة على التوازي:



$q=q_1+q_2+q_3$

مثال ٣ : فرن مصنوع من عازل طوبي وبه دعامات فولاذية للتثبيت.



أ- احسب كمية الحرارة الكلية

$$q = q_1 + q_2$$

$$= K_1 A_2 \frac{\Delta T_1}{\Delta X} + K_2 A_2 \frac{\Delta T_2}{\Delta X_2}$$

$$= \frac{0.22(0.99)(230-25)}{0.10} + \frac{45(0.01)(230-25)}{0.10}$$

$$= 446 + 923 = 1369$$

ب- نسبة كمية الحرارة النافذة من الطوب مقارنة بالفولاذ.

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{446}{923} = 0.48$$

البناء الطوبي أقل من نصف الكمية الكلية بالرغم من شغله ل ٩٩% من المساحة !!

ج- أو نسبة إنفاذ الفولاذ للحرارة.

$$= \frac{q_2}{q_1 + q_2} = ٦٧\%$$ هذا بالرغم من أنه يشكل فقط ١% من المساحة الكلية.

ثانياً: انتقال الحرارة بالحمل

عند سريان سوائل في أنابيب أو على ألواح عند درجات حرارة مختلفة ، فتنتقل الحرارة بين السائل وسطح الأنبوبة أو اللوح عن طريق الحمل الحراري. معدل (سرعة) انتقال الحرارة بين السائل والسطح تعتمد على خصائص السريان وكذلك خصائص السوائل من حيث:

- فخصائص السريان تشمل : * سرعة السريان
  * الضغط
  * سائل أو بخار
- خصائص السوائل : * اللزوجة μ
  * الكثافة ρ
  * الخواص الحرارية

هذا بالإضافة إلى فرق درجة الحرارة ومساحة السطح المتلامس.

ويمكن التعبير عن انتقال الحرارة بين السائل والسطح بقانون نيوتن للتبريد.

$$q = hA\Delta T$$

$$q = UA\Delta T = \frac{A\Delta T}{\frac{1}{h_1} + \frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2} + \ldots + \frac{1}{h_2}}$$

حيث h : معامل انتقال الحرارة السطحي

ويمكن تقدير h معملياً. ومن الصعوبة إعطاء قيم عامة لمعامل انتقال الحرارة السطحي، فلكل حالة بياناتها، ولكن هنا بعض الأمثلة على بعض حالات الانتقال الحراري بالحمل:

قيم تقريبية للمعامل h

الحالة	h (watt/m^2. ^{o}C)
١- سائل يغلي	٢٤٠٠-٢٤٠٠٠
٢- سائل مكثف	١٨٠٠-١٨٠٠٠
٣- هواء ساكن	٦
٤- هواء (متر^3/ث)	٣٠
٥- سوائل في أنابيب	١٢٠٠-٦٠٠٠