الإنتقال الحرارى الغير مستقر
Unsteady State Heat Transfer

الإنتقال الحرارى إما أن يكون مستقر أو غير مستقر ومن أمثلة الإنتقال الحرارى المستقر ما يحدث عند إنتقال الحرارة فى المبادلات الحرارية حيث نلاحظ أنه بعد تشغيل الجهاز (المبادل الحرارى) إذا وضع ترمومتر عند نقطة معينه فى مبادل حرارى فإننا سنلاحظ أن القراءة ستظل ثابتة طوال فترة تشغيل الجهاز - ومعنى هذا أن الحرارة لا تتغير مع الزمن ويرمز لذلك رياضيا كما يأتى:-

$$dt/dO = \text{صفر}$$

حيث (t) درجة الحرارة. (O) الزمن.

أما مثال الإنتقال الحرارى الغير مستقر فهو ما يحدث عند تسخين أحد المعلبات الغذائية بوضعها فى الأتوكلاف أو تبريدها بوضعها فى ثلاجة فإذا قيست درجة الحرارة فى نقطة تعبئته داخل العبوة سنجد أنها تتغير مع الزمن حيث تزداد فى حالة التسخين وتقل فى حالة التبريد - ويعبر عن ذلك رياضيا كما يلى:

$$dt/dO \neq \text{صفر}$$

عند تسخين مادة غذائية أو تبريدها فإنه يمكن توقيع العلاقة بين درجة حرارة المادة الغذائية وزمن التسخين أو التبريد ويتوقف الشكل الناتج على عدة عوامل:-

أ- شكل الماده الغذائية (إسطوانى - كروى - حائط).

ب- مكان قياس درجة الحرارة (فى مركز المادة الغذائية أو على السطح أو بينهما).

ج- الخواص الحرارية الطبيعية للمادة الغذائية وأهمها:
(الكثافة - الحرارة النوعية - معامل التوصيل الحرارى للمادة الغذائية).

د- معامل الإنتقال الحرارى بالحمل (h) للوسط المحيط بالمادة الغذائية (وسط التبريد أو وسط التسخين).

ولذلك تم إنشاء مجموعة من الخرائط توضح العلاقة بين درجة الحرارة وزمن التسخين أو التبريد للمادة الغذائية - وحتى يمكن إستخدام هذه الخرائط مع أى نظام مستخدم للتعبير عن الوحدات المختلفة ولذلك فإنة:-

(١) يتم التعبير عن درجة الحرارة بقيمة غير مميزة (وتكون موضحه على المحور الرأسى) وتحسب كما يلى:

$$Y = [(t_o - t_c) / (t_o - t_i)]$$

حيث: (Y) درجة الحرارة الغير مميزة.
(t_o) درجة حرارة الوسط المحيط بالغذاء.
(t_i) درجة الحرارة الإبتدائية للغذاء.
(t_c) درجة حرارة الغذاء بعد تعريضة للوسط المحيط به مدة معينة (O).

(٢) المحور الأقصى الخاص بزمن التسخين أو التبريد يخصص لمعامل غير مميز يسمى برقم (Fourier) ويرمز (Fo) وتحسب كما يلى:

$$Fo = [(k/.cp) . (O/r^2)]$$

$$Fo = [(k/.cp) . (O/L^2)]$$

حيث: (k) معامل التوصيل الحرارى للمادة الغذائية.
() كثافة المادة الغذائية.
(cp) الحرارة النوعية للمادة الغذائية.
(O) زمن التسخين أو التبريد.
(r_o) نصف القطر الشكل الكروى أو الإسطوانى.
(L_o) نصف سمك الحائط.
(r_o، L_o تتوقف على شكل المادة الغذائية).

يلاحظ أن القيمة (k/.cp) هى عبارة عن الخواص الطبيعية الحرارية للمادة الغذائية ويطلق عليها أو على قيمتها بمعامل الإنتشار الحرارى ووحداتها (متر٢/ث).

(٣) يتم حساب رقم آخر غير مميز يعرف بإسم رقم (Biot) ويرمز له (Bi) ويتم حسابه كما يلى:

$$Bi = (hr_o/k) = (hL_o/k)$$

حيث: (h) معامل الإنتقال الحرارى بالحمل لوسيط التسخين.
(k) معامل الإنتقال الحرارى بالتوصيل للمادة الغذائية.

تم إعداد ثلاث خرائط الأولى خاصة بالشكل الإسطوانى اللانهائى (Infinit cylinder) والثانية خاصة بالشكل الحائط اللانهائى (Infinit slab) والثالثة خاصة بالشكل الكروى (Sphere).

تحتوى كل خريطة على عدة أقسام كل قسم خاص بنقطه معينة يتم قياس درجة الحرارة فيها ويلاحظ أن الخرائط المتاحة لنا تحتوى على قسمين إثنين فقط إحداهما خاص لقياس درجة الحرارة فى مركز الغذاء - والآخر خاص بقياس درجة الحرارة فى منتصف المسافة بين مركز الغذاء وسطحه.

ويلاحظ أن كل قسم من تلك الأقسام المذكورة يحتوى على عدة منحنيات كل منها يمثل العلاقة بين قيمة رقم (Fourier) ويختص بها المحور الأفقى وقيمة درجة الحرارة الغير مميزة

ويختص بها المحور الرأسى وكل منحنى من تلك المنحنيات يوضح تلك العلاقة عند قيمة معينة من قيم مقلوب رقم (Biot).

كيفية إستخدام تلك الخرائط:

١- يجب أولا تحديد شكل المادة الغذائية لإختيار الخريطة المناسبة [حائط لا نهائى - أسطوانه لا نهائيه - كرة].
٢- معرفة المكان المطلوب قياس درجة الحرارة فيه وبالتالى تحديد قسم الخريطة الواجب لإستخدامة.
٣- حساب مقلوب رقم (Biot) وبالتالى يمكن تحديد المنحنى الذى يمثل العلاقة بين رقم (Fo) ودرجة الحرارة الغير مميزة.
٤- حساب رقم (Fo) والبحث عن قيمتة على المحور الأفقى وتحدد النقطة المطلوبة على المنحنى وفى نقطة تقاطع العمود الرأسى الممثل لقيمة رقم (Fo) مع المنحنى السابق تحديدة.
٥- يتم قراءة الحرارة الغير مميزه الخاصة لتلك النقطة التى تم تحديدها برسم خط أفقى من تلك النقطة حتى المحور الرأسى لتتم قراءة درجة الحرارة الغير مميزة.
٦- بالتعويض عن قيمة درجة الحرارة الغير مميزة فى المعادلة الخاصة بحسابها يمكن الحصول على درجة حرارة المادة الغذائية - وتتوقف وحداتها [ف، م] حسب التعويض عن (t_o) فى المعادلة.

س: ماذا بالنسبة للأغذية التى على شكل إسطوانة محددة أو حائط محدد؟

بالنسبة لتلك الأشكال لا يوجد لها خرائط خاصة ولكن يحدث الآتى:-

أ- فى حالة الإسطوانة المحددة Finit cylinder:

يلاحظ أن الفرق بين الإسطوانة المحددة واللانهائيه الغير محددة أن الأخيرة قيمة إرتفاعها [طولها] يكون كبير جدا بالمقارنة إلى نصف القطر وبالتالى فإن إنتقال الحرارة فى الإتجاة القطرى يكون هو الإتجاة الفعال - أما إنتقال الحرارة فى الإتجاه الطولى منظرا لكبر قيمة الطول يعتبر الإنتقال غير فعال.

أما فى حالة الإسطوانة المحددة فإن قيمة الطول [الإرتفاع] تكون قريبة لقيمة نصف القطر وبالتالى فإن إنتقال الحرارة فى الإتجاه القطرى أو الإتجاه الطولى يكون فعال ولذلك فى تلك الحالة يتم حساب درجة الحرارة الغير مميزة للإسطوانة المحددة - بإستخدام المعادلة التالية:-

$$[(t_o - t_c)/(t_o - t_i)] = [(t_o - t)/(t_o - t_i)] \cdot [(t_o - t)/(t_o - t_i)]$$
(Finite cylinder) (inifinite cylinder) (infinite slab)

من هذة المعادلة يتضح أنه لا ضرورة لوجود خريطة خاصة بشكل الإسطوانه المحددة وإنما يتم إستخدام خريطتان معا وهم خريطة الشكل الإسطوانى اللانهائى وخريطة شكل الحائط اللانهائى.

ب- فى حالة الحائط المحدد Finite slab:

يلاحظ أنه فى حالة الحائط المدد يكون الإنتقال الحرارى فعال فى إتجاه واحد فقط من الأبعاد الثلاثة التى تميز الحائط حيث يكون هذا البعد صغير بالمقارنة بالبعدين الأخرين.

أما فى حالة الحائط المحدد فتكون قيم الأبعاد الثلاثة متقاربة وبالتالىفإن إنتقال الحرارة فى إتجاه الأبعاد الثلاثة يكون فعال ولذلك فى تلك الحالة يتم إستخدام خريطة الحائط اللانهائى ثلاث مرات مرة لكل بعد ويتم حساب درجة الحرارة الغير مميزه فى الحائط المحدود من المعادلة التالية:-

$$[(t_o - t_c)/(t_o - t_i)] = [(t_o - t_c)/(t_o - t_i)]_1 \cdot [(t_o - t)/(t_o - t_i)]_2 \cdot [(t_o - t_c)/(t_o - t_i)]_3$$

(Finit slab) (Infinit slab)

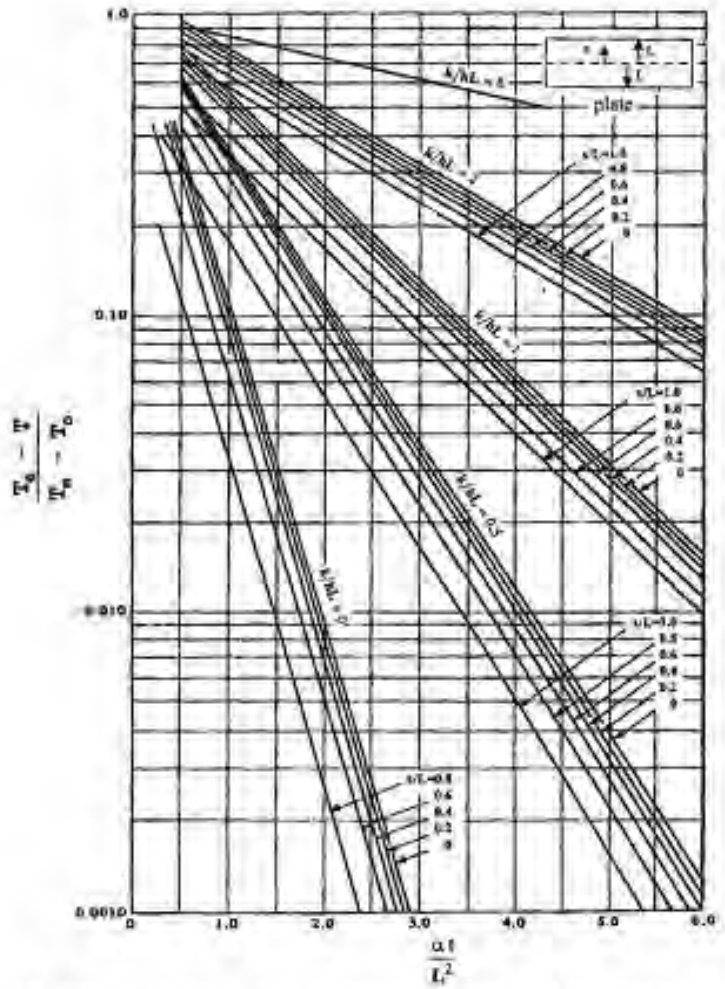

Fig. A.2 Gurney-Lurie chart for a flat plate (1923) Ind Eng Chem 15. Used with permission

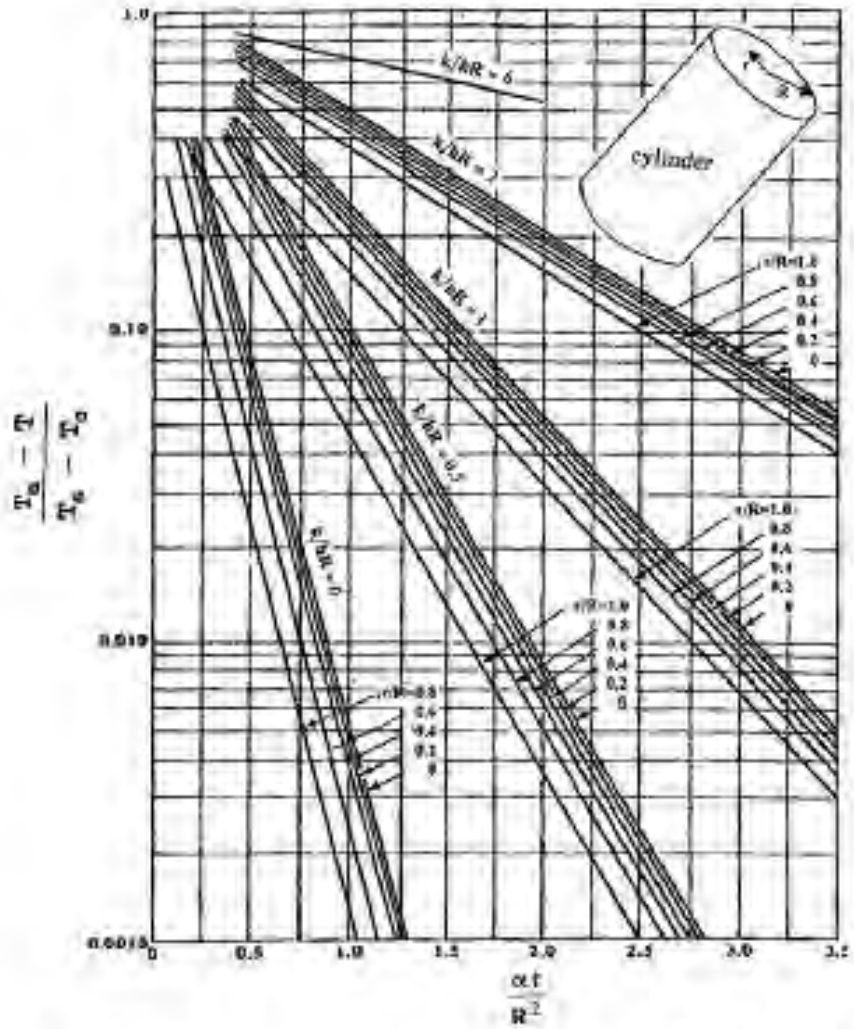

Fig. 4.3 Gurney-Lurie chart for a long cylinder (1923) Ind Eng Chem 15 Used with permission

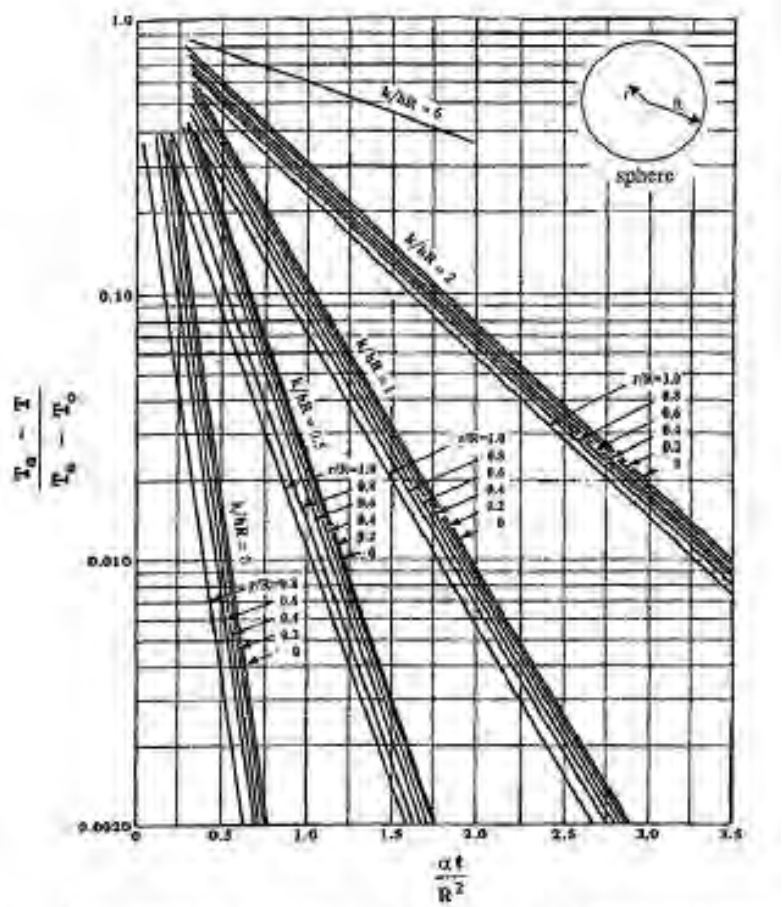

Fig. A.4 Gurney-Lurie chart for a sphere (1923) Ind Eng Chem 15. Used with permission

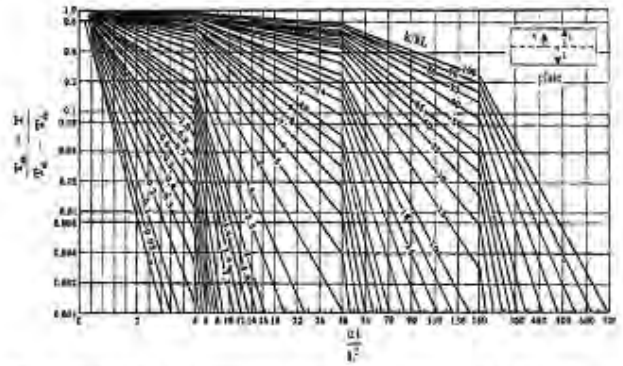

Fig. A.5 Heisler chart for determining the midplane temperature of a flat plate (1947) T ASME 69. Used with permission

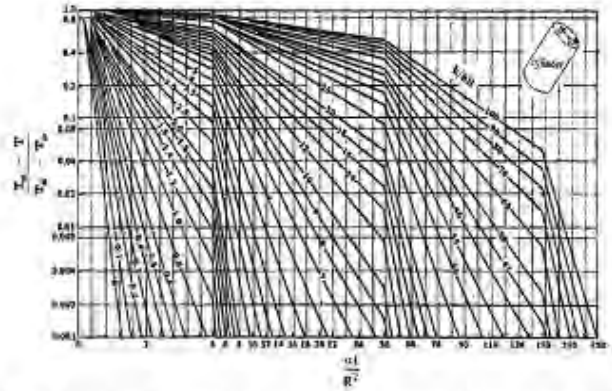

Fig. A.6 Heisler chart for determining the centerline temperature of a long cylinder (1947) T ASME 69. Used with permission

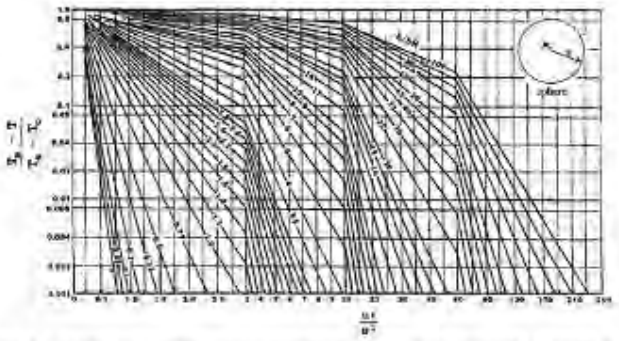

Fig. A.7 Heisler chart for determining the center temperature of a sphere (1947) T ASME 69. Used with permission