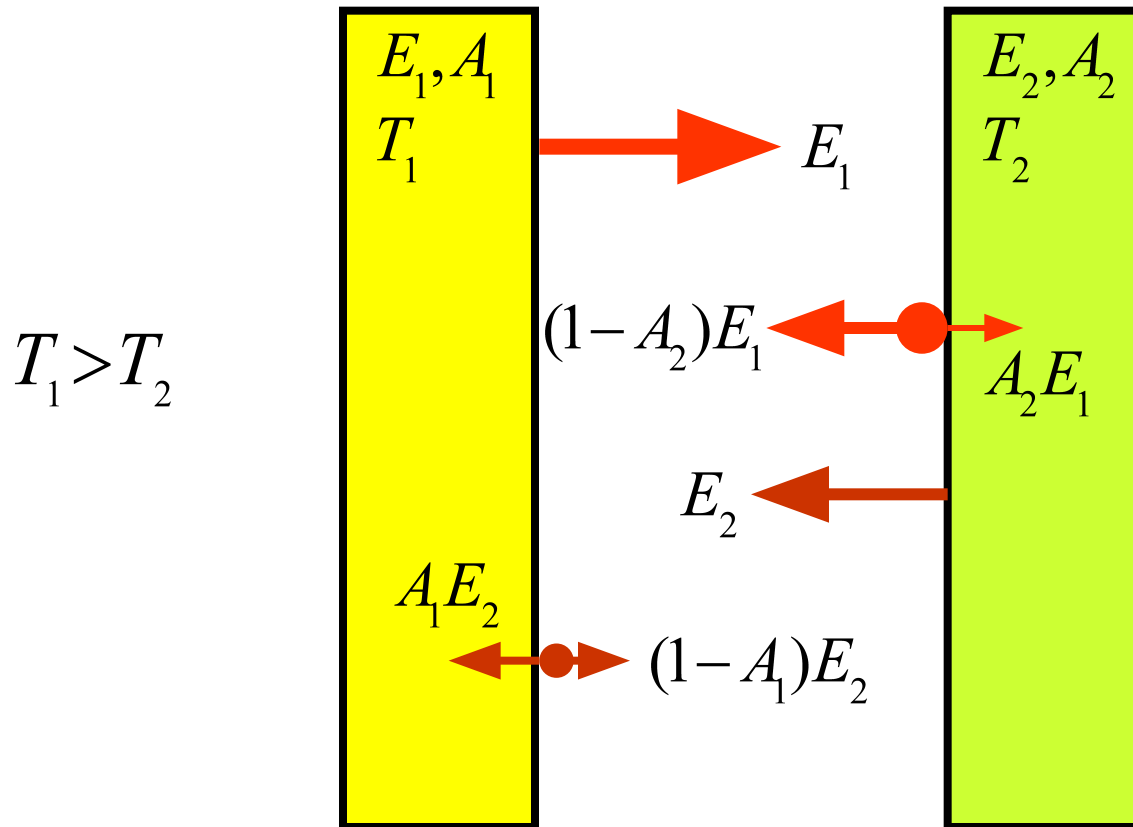


Тепломассообмен 8

- Лучистый теплообмен между параллельными поверхностями
- Тепловые экраны
- Лучистый теплообмен в газах

Лучистый теплообмен между параллельными поверхностями



Допущения

Допущения: высота и ширина поверхностей много больше расстояния между ними, теплопроводность и конвекция отсутствуют. На предыдущем слайде показаны только первые отражения поверхностями лучистых потоков. Отраженные потоки попадают на противоположные поверхности и снова частично поглощаются и отражаются, и так до бесконечности (до полного поглощения).

На предыдущем слайде обозначены соответственно:

E_1, A_1, T_1 излучательная, поглощательная способности и температура левой поверхности; E_2, A_2, T_2 то же для правой поверхности; $A_1 E_2; A_2 E_1$ лучистая энергия, поглощенная левой и правой поверхностями; $(1 - A_1) E_2; (1 - A_2) E_1$ энергия, отраженная левой и правой поверхностями.

Эффективные излучения поверхностей

С учетом многочисленных переотражений эффективные излучения поверхностей будут:

$$q_1 = E_1 + (1 - A_1)q_2;$$
$$q_2 = E_2 + (1 - A_2)q_1.$$

После подстановки

(2) в (1) имеем: $q_1 = E_1 + (1 - A_1)E_2 + (1 - A_1)(1 - A_2)q_1,$

откуда: $q_1 = \frac{E_1 + E_2 - A_1 E_2}{1 - (1 - A_1)(1 - A_2)} = \frac{E_1 + E_2 - A_1 E_2}{A_1 + A_2 - A_1 A_2}.$

Аналогично после подстановки (1) в (2):

$$q_2 = \frac{E_2 + E_1 - A_2 E_1}{1 - (1 - A_1)(1 - A_2)} = \frac{E_1 + E_2 - A_2 E_1}{A_1 + A_2 - A_1 A_2}.$$

Приведенная степень черноты

Результирующий лучистый тепловой поток между поверхностями:

$$q = q_1 - q_2 = \frac{E_1 + E_2 - A_1 E_2 - E_1 - E_2 + A_2 E_1}{A_1 + A_2 - A_1 A_2}$$

После сокращения $E_1; E_2$ с разными знаками и замены поглощательных способностей поверхностей $A_1; A_2$ на равные им степени черноты $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ (по следствию из закона Кирхгофа) имеем:

$$q = \frac{\varepsilon_2 E_1 - \varepsilon_1 E_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2}$$

Поделив числитель и знаменатель на $\varepsilon_1 \varepsilon_2$, получим:

$$q = \frac{\frac{E_1}{\varepsilon_1} - \frac{E_2}{\varepsilon_2}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (4)$$

Лучистый тепловой поток между поверхностями

Вводим обозначение приведенной степени черноты поверхностей:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

После подстановки в (4) выражений закона Стефана-Больцмана для поверхностей

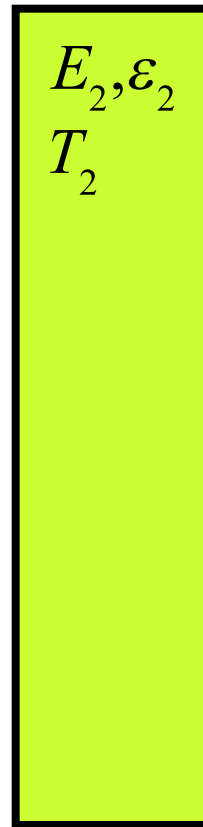
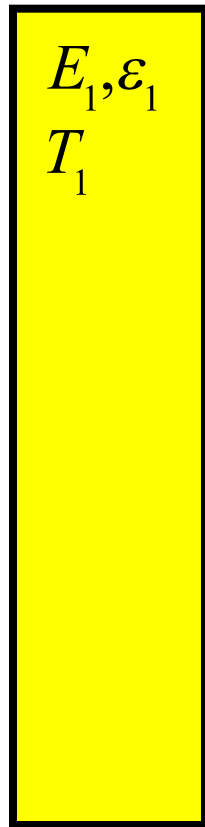
$$E_1 = \varepsilon_1 c_0 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4; E_2 = \varepsilon_2 c_0 \left(\frac{T_2}{100}\right)^4,$$

получим удельный лучистый тепловой поток между параллельными поверхностями Вт/м²:

$$(5) \quad q = \varepsilon_{np} c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right].$$

Тепловые экраны

$$T_1 > T_2$$



Требования к тепловым экранам

Лучистый теплообмен в излучающих системах может быть уменьшен за счет применения тепловых экранов, которые устанавливаются перпендикулярно к направлению излучения и выполняются из материалов с малой поглощательной и высокой отражательной способностями (алюминиевая фольга).

В результате переизлучения экранами в направлении, обратном направлению распространения теплоты, величина результирующего теплового потока соответственно уменьшается.

Рассмотрим параллельные поверхности и установим между ними тепловой экран.

Лучистый теплообмен при наличии экранов

Для простоты предположим, что степени черноты поверхностей и экрана одинаковы, тогда при стационарном режиме, пренебрегая термическим сопротивлением тонкого экрана (алюминиевая фольга), лучистый тепловой поток от левой поверхности к экрану и от экрана к правой поверхности, Вт/м²:

$$q_{1-\text{э}} = \varepsilon_{np} c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{э}}}{100} \right)^4 \right], \quad (6)$$

$$q_{\text{э}-2} = \varepsilon_{np} c_0 \left[\left(\frac{T_{\text{э}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]. \quad (7)$$

При $q_{1-\text{э}} = q_{\text{э}-2}$ из (6) и (7) найдем температуру экрана:

$$\left(\frac{T_{\text{э}}}{100} \right)^4 = 0,5 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]. \quad (8)$$

Эффективность тепловых экранов

Подставив (8) в (6), получим лучистый тепловой поток от левой поверхности к экрану:

$$q_{1-э} = 0,5\varepsilon_{np} c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = \frac{q_{1-2}}{2},$$

то есть при наличии одного экрана лучистый тепловой поток между поверхностями сокращается в 2 раза, аналогично можно доказать, что при « n » экранах тепловой поток уменьшится в ($n+1$) раз. Выше рассматривалась «альфолевая» изоляция, в которой были установлены « n » тепловых экранов на расстоянии 5-10 мм друг от друга. Они минимизировали свободную конвекцию воздуха в узких щелях между листами алюминиевой фольги (теплота передавалась только теплопроводностью и излучением).

Сосуд Дьюара

Воздух, если нет свободной конвекции, является хорошим изолятором $\lambda_{\text{воз}} \approx 0,025 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Кроме того надо исключить и теплопроводность, например, в сосуде Дьюара (колбе термоса), из внутренней полости между двумя зеркальными стеклянными стенками откачивается воздух, то есть минимизируется теплопроводность.

При степенях черноты зеркальных поверхностей $\varepsilon \approx 0,1$ внутренняя зеркальная поверхность поглотит 10 % лучистой энергии от горячего содержимого термоса, а наружная зеркальная поверхность колбы термоса излучит в окружающую среду 10 % от тех 10 %, которые переизлучились через вакуум между стенками колбы термоса. **Благодаря этому сосуды Дьюара хорошо «держат» теплоту или холод.**