

Тема3.3 Теплообмен излучением

План

- 1.Основные понятия и определения.
2. Основные законы теплового излучения.

Основная литература:

1 Крестин Евгений Александрович. Основы гидравлики и теплотехники
Редактор: Смирнова Н. А. Издательство: Кнорус, 2020 г.

Серия: Среднее профессиональное образование

Подробнее: <https://www.labirint.ru/books/733774/>

2 Брюханов О. Н, Мелик-Аракелян А.Т., Коробко В.И. Основы гидравлики и теплотехники: учебник (3-е издание), - М.: Издательский центр «Академия», 2017.

3 Лашутина Н.Г. и др. Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики: учебник- Л.: Машиностроение,1988.

Дополнительная литература:

1 Кудинов, В. А. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для среднего профессионального образования / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. -4-е изд., перераб. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2022. - 454 с. - (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-12196-4. - Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. —URL: <https://urait.ru/bcode/495923> .

2 Жуховицкий Д.А. Сборник задач по технической термодинамике: учебное пособие, второе издание-г. Ульяновк,2007

Интернет-ресурсы:

1 Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов. –
Режим доступа: <http://fcior.edu.ru>

2 Электронная библиотека. Электронные учебники. - Режим доступа:
<http://subscribe.ru/group/mechanika-studentam/>

Теплообмен излучением происходит непрерывно между телами, произвольно расположенными в пространстве. Тепловое излучение свойственно всем телам: твердым, жидким и газообразным, если их температура больше 0 К.

Спектр излучения большинства твердых и жидких тел непрерывен. Эти тела испускают лучи, различающиеся между собой длиной волны λ , а следовательно, и своими свойствами.

Различают следующие виды излучения: космическое, γ -излучение, рентгеновское, ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное и радиоизлучение. В теплотехнике наибольший интерес представляет тепловое излучение. При температурах до 1500° С такое излучение в основном инфракрасное и частично видимое (свет).

Лучистой энергией называют физическую величину

, равную испускаемой, переносимой и воспринимаемой энергии излучения. Единица лучистой энергии в СИ — джоуль (Дж), как и других видов энергии.

Отношение лучистой энергии ко времени излучения называют *лучистым потоком*:

$$\Phi = Q/t,$$

где Φ — лучистый поток; Q — лучистая энергия; t — время излучения. Если Q выражено в Дж, t — в с, то Φ должно быть выражено в ваттах (Вт).

Отношение лучистого потока к площади поверхности, которая излучает (или поглощает) лучистый поток, называют *поверхностной плотностью лучистого потока*:

$$\varphi = \Phi/S.$$

Различают излучательность и облученность. *Излучательностью* называют отношение лучистого потока равномерно излучающей поверхности к площади этой поверхности:

$$M = \Phi/S.$$

Облученностью называют отношение равномерно падающего лучистого потока к площади поверхности, на которую падает лучистый поток:

$$E = \Phi/S,$$

где M — излучательность; E — облученность, Вт/м².

Поток излучения зависит в основном от температуры излучающего тела, площади его поверхности и от ее физических свойств.

Лучистый поток, падающий на какую-либо поверхность реально существующего тела, частично им поглощается, частично отражается и частично проходит сквозь тело. Обозначим поглощенную часть потока излучения через Φ_a , отраженную — через Φ_p и пропущенную сквозь тело — через Φ_x . Очевидно, что $\Phi_a + \Phi_p + \Phi_x = \Phi$, где Φ — лучистый поток. Разделив обе части этого равенства на Φ , получим: $\Phi_a/\Phi + \Phi_p/\Phi + \Phi_x/\Phi = 1$. Обозначим $\Phi_a/\Phi = a$, $\Phi_p/\Phi = p$, $\Phi_x/\Phi = t$. Тогда $a + p + t = 1$. Здесь a — коэффициент поглощения; p — коэффициент отражения; t — коэффициент пропускания.

Если поверхность поглощает весь падающий на нее поток излучения ($a = 1$; $p = 0$, $t = 0$), то она называется *черной*. Если гладкая поверхность отражает весь падающий на нее поток излучения ($a = 0$; $p = 1$; $t = 0$), причем под тем же углом, под которым он падает на нее, то такую поверхность называют *зеркальной*. Если же поверхность шероховатая, то луч, падающий на нее, расщепляется при отражении в различных направлениях. Такая поверхность называется *белой*, а отражение — *диффузным*.

Если сквозь тело проходит весь падающий на нее поток излучения, то такое тело называется *прозрачным* ($a + p = 0$).

В природе черных, белых и прозрачных тел не существует; они рассматриваются как научные абстракции, но некоторые реальные тела по своим свойствам могут более или менее приближаться к этим абстракциям.

Все реально существующие тела называются *серыми*. Для них $a + p + t = 1$.

Большинство твердых и жидких (капельных) тел излучают волны всех длин от 0 до ∞ , т. е. имеют сплошной спектр излучения. Газы могут излучать энергию только в определенных интервалах длин волн (полосах спектра), т. е. имеют линейный спектр. Вне этих полос газы прозрачны для тепловых лучей, т. е. не могут излучать энергию. Это значит, что излучательность газов носит избирательный (селективный) характер.

Одно- и двухатомные газы прозрачны для тепловых лучей. Практическое значение имеют непрозрачные трех- и многоатомные газы, в особенности углекислый газ и водяной пар, являющиеся продуктами сгорания топлива.

Следует иметь в виду, что энергия излучения, испускаемая черным телом, распределяется неравномерно по отдельным длинам волн. Каждой длине луча при определенной температуре соответствует определенная

спектральная интенсивность излучения J (А), под которой понимают отношение излучательности для определенного интервала волн к данному интервалу длин волн ДА. (Здесь и далее все величины, после обозначения которых приводится в скобках обозначение длины волны, например $J(X)$, обозначают спектральные величины для данной длины волны. Все величины с индексом «s» характеризуют черное тело.)

Закон П л а н к а. *Интенсивность излучения черного тела и любого реального тела зависит от термодинамической температуры и длины волны.*

На рис. 20.1 представлена зависимость интенсивности излучения черного тела, т. е. тела, испускающего лучи всех длин волн (от $\lambda = 0$ до $\lambda = \infty$), от длины волны λ и термодинамической температуры T . Из этого рисунка видно, что при длине волны $\lambda = 0$ интенсивность излучения $J_s(\lambda) = 0$; с увеличением длины волны интенсивность излучения увеличивается, а при некотором значении λ достигает максимума, затем уменьшается, принимая значение, равное нулю при длине волны, равной бесконечности. Кроме того, из рисунка видно, что интенсивность излучения для одной и той же длины волны тем больше, чем больше температура поверхности T .

Закон Вина. По закону Вина максимальная интенсивность излучения соответствует длине волны, определяемой по формуле

$$\lambda_{s, \max} = 2,9 / (10^3 T),$$

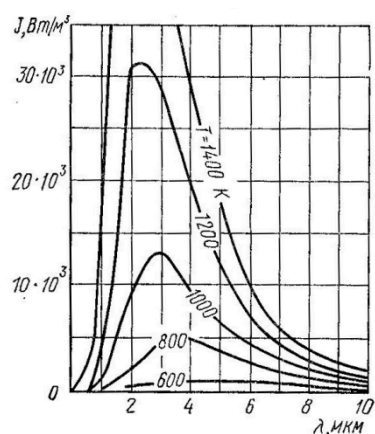


Рис. 20.1. Зависимость интенсивности излучения черного тела от длины волны

где T — термодинамическая температура поверхности, К.

Из этой формулы, так же как и из рис. 20.1, видно, что с повышением температуры интенсивность излучения смещается (в сторону коротких волн). Поэтому закон Вина называется также *законом смещения*.

Закон Стефан а—Б ольцмана. Стефан (1879) и Больдаан (1884) установили, что *излучательность черного тела прямо пропорциональна его термодинамической температуре в четвертой степени*.

$$M_s = \sigma_s T^4,$$

$$\Phi_s = \sigma_s S T^4,$$

где Φ_s , — поток излучения черного тела, Вт; σ_s — постоянная Стсфааыа— Больцмана, равная $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/ (м² • К⁴); S — площадь поверхности излучения, м².

Для удобства вычислений формулу (20.2а) представляют в следующем расчетном виде:

$$\Phi_s = C_s S (T/100)^4,$$

где C_s — коэффициент излучения черного тела, равный $5,67$ Вт/ (м⁴ • К").

Для реальных тел вводится понятие о сером излучении, аналогичном излучению черного тела, обладающего сплошным спектром. Однако интенсивность серого излучения для каждой длины волны и при любой температуре составляет только часть интенсивности излучения черного тела $J_a(\kappa)$: $J(\lambda) = e J_s(\lambda)$, откуда следует, что

$$e = J(\lambda)/J_s(\lambda) = \text{const},$$

где e —коэффициент черноты серого тела, зависящий от его физических свойств ($e < 1$).

Поток излучения серого тела определяют по формуле, аналогичной (20.26):

где C — коэффициент излучения серого тела, зависящий от физических свойств тела, от состояния поверхности или от ее шероховатости, от температуры поверхности и длины волны, Вт/ (м² • К⁴);

$$\Phi = e \Phi_s = C S (T/100)^4,$$

Материал	Температура, °C	ϵ
Алюминий полированный	50—500	0,04-0,06
Сталь листовая оцинкованная блестящая	50	0,1
Чугун с необработанной поверхностью	50	0,81
Сталь (листовой прокат)	50	0,56
То же, окисленная . . .	500	0,98
Асбест (картон) . . . ,	20	0,96
Кирпич шамотный . . .	1000	0,75
Кирпич красный шероховатый	20	0,88—0,93
	20-100	0,91—0,94
Сажа ламповая	20—400	0,95
Лак черный, матовый . .	40—100	0,96—0,98
Лак белый	40-100	0,80-0,95
Краски масляные различных цветов	100	0,92—0,96

Значения коэффициента черноты ϵ для некоторых материалов приведены в

табл. 20.1.

Для черного тела $\epsilon = 1$, а для белого $\epsilon = 0$.

Закон Кирхгофа. По этому закону *отношение коэффициента излучения тела к его коэффициенту поглощения одинаково для поверхностей всех серых тел, имеющих одну и ту же температуру, и равно коэффициенту излучения черного тела при той же температуре.*

Это значит, если тело обладает малым коэффициентом поглощения, то оно обладает и малым коэффициентом излучения. Черное тело, имеющее максимальный коэффициент

Таблица 20.1. Коэффициент черноты ϵ для некоторых материалов

поглощения $\alpha = 1$, обладает и максимальным коэффициентом излучения. Белое тело, у которого коэффициент поглощения $\alpha = 0$, не способно излучать энергию. Из закона Кирхгофа следует, что коэффициент черноты серого тела ϵ при одной и той же температуре равен коэффициенту поглощения α

$$\epsilon = \alpha.$$

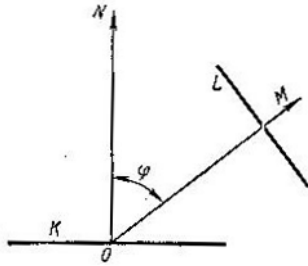


Рисунок 20.2. К объяснению закона Ламберта

Закон Л а м б е р т а Закон Ламберта устанавливает зависимость излучающей способности черного тела и тел, обладающих диффузным излучением, от направления излучения. Рис.

Согласно этому закону количество энергии, излучаемой

в перпендикулярном направлении к поверхности излучения K (рис. 20.2, луч ON), является максимальным. Количество энергии, излучаемой в других направлениях, меньше, чем в перпендикулярном, и пропорционально $\cos \varphi$, где φ — угол, составленный направлением излучения OM с нормалью к дучевопришшающей поверхности L (луч OM).