

Понятие Л. р. часто применяется и к вращающимся звёздам [ур-ния (1) и (2) справедливы и в этом случае]. Однако следует учитывать, что, согласно теореме фон Цейпеля (1924), ур-ния Л. р. (1), (2) с  $F = H$ , вообще говоря, не совместимы с ур-нием гидростатич. равновесия вращающейся звезды (если только не подобран спец. образом закон изменения угл. скорости с расстоянием от оси вращения). Поэтому в общем случае во вращающейся звезде должны возникать макроскопич. потоки вещества, вносящие дополнит. вклад в полный поток энергии  $F$  (меридиональная циркуляция).

Лит.: Франк-Камшенецкий Д. А., Физические процессы внутри звезд, М., 1959; Соболев В. В., Курс теоретической астрофизики, 3 изд., М., 1985; Тассуль Ж.-Л., Теория вращающихся звезд, пер. с англ., М., 1982.

Д. К. Навошн.

**ЛУЧИСТЫЙ ПОТОК** — то же, что *поток излучения*.

**ЛУЧИСТЫЙ ТЕПЛООБМЕН** (радиационный теплообмен) — процесс переноса энергии, обусловленный вращением части внутр. энергии вещества в энергию излучения (испусканием эл.-магн. волн, или фотонов), переносом излучения в пространстве со скоростью света и его поглощением веществом (обратным превращением энергии эл.-магн. волн во внутр. энергию). При этом перенос излучения в материальной среде может сопроваждаться поглощением и рассеянием, а также собств. излучением среды. Однако для Л. т. наличие материальной среды между телами не является необходимым, что принципиально отличает Л. т. от др. видов теплообмена (*теплопроводности, конвективного теплообмена*). Передача теплоты излучением может происходить в разл. областях спектра (в зависимости от темп-ры).

Испускание лучистой энергии (тепловое излучение) абсолютно чёрного тела описывается *Стефана — Больцмана законом излучения* и *Планка законом излучения*. Применительно к условиям термодинамич. равновесия закон Стефана — Больцмана даёт выражение для плотности потока интегрального излучения в полусфере, испускаемого поверхностью абсолютно чёрного тела в пределах полусферич. телесного угла во всём интервале длин волн от 0 до  $\infty$ ,  $E_0 = \sigma T^4$  [Вт/м<sup>2</sup>], где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>К<sup>4</sup> — *Стефана — Больцмана постоянная*,  $T$  — темп-ра тела. Плотность потока монохроматич. излучения в полусфере в узком интервале длин волн  $\lambda$  описывается  $\phi$ -лой Планка:

$$E_{\lambda_0} = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} \text{ [Вт/м}^3\text{]}.$$

Здесь  $C_1$  и  $C_2$  — константы,  $C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-16}$  Вт·м<sup>2</sup>, а  $C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$  м·К. Излучат. свойства реальных тел отличаются от свойств абсолютно чёрного тела, что учитывается с помощью спец. коэф. — степени черноты, к-рый в зависимости от того, относится он к интегральному или монохроматич. излучению, наз. интегральной степенью черноты ( $\epsilon$ ) или спектральной степенью черноты ( $\epsilon_\lambda$ ). В результате плотности потоков интегрального и монохроматич. излучения для реального тела описываются выражениями  $E = \epsilon E_0$ ;  $E_\lambda = \epsilon_\lambda E_{\lambda_0}$ . Тела, у к-рых спектральная степень черноты не зависит от длины волны излучения, наз. серыми телами.

Перенос излучения в материальной среде в произвольном направлении  $s$  описывается в общем случае интегродифференц. ур-нием

$$\frac{\partial I_\lambda}{\partial s} = \kappa_\lambda (I_{\lambda_0} - I_\lambda) + \sigma_\lambda \left( \frac{1}{4\pi} \int \lambda \chi d\Omega - I_\lambda \right), \quad (1)$$

где  $I_\lambda$  — спектральная интенсивность излучения,  $I_{\lambda_0} = E_{\lambda_0}/\pi$  — спектральная интенсивность излучения абсолютно чёрного тела,  $\kappa_\lambda$  — спектральный коэф. поглощения излучения в среде,  $\sigma_\lambda$  — спектральный коэф.

рассеяния излучения,  $\chi$  — индикатриса рассеяния (см. также *Перенос излучения*). Рассеяние излучения характеризуется вторым слагаемым в правой части ур-ния (1) и существенно для сред, содержащих конденсированные частицы (твёрдые или жидкие), напр. для топок и камер сгорания, работающих на твёрдом топливе. При Л. т. в газообразной среде рассеянием излучения, как правило, можно пренебречь и перенос излучения описывать ур-нием

$$\frac{dI_\lambda}{ds} = \kappa_\lambda (I_{\lambda_0} - I_\lambda). \quad (2)$$

При рассмотрении Л. т. в системе тел вводится понятие эффективного и результирующего излучения. Плотность эфф. излучения  $H_{\text{эфф}}$  представляет собой сумму плотностей собств. и отражённого излучения, т. е. сумму всех видов излучения, уходящих от поверхности тела:

$$H_{\text{эфф}} = E + H_{\text{отр}}.$$

В свою очередь плотность отражённого излучения  $H_{\text{отр}}$  может быть выражена через плотность падающего на поверхность излучения:

$$H_{\text{отр}} = \rho \cdot H_{\text{пад}},$$

где  $\rho$  — отражат. способность поверхности тела. Для непрозрачных тел отражат.  $\rho$  и погложат.  $\alpha$  способности связаны соотношением  $\rho + \alpha = 1$ . Понятие эфф. излучения может применяться как к интегральному, так и к монохроматич. (спектральному) излучению. Плотность потока результирующего излучения равна разности суммарных потоков излучения, уходящих от поверхности тела и приходящих к ней:

$$H_{\text{рез}} = H_{\text{эфф}} - H_{\text{пад}} = E - H_{\text{погл}},$$

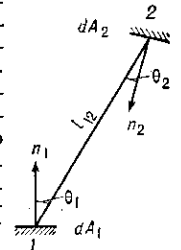
где  $H_{\text{погл}} = \alpha \cdot H_{\text{пад}}$  — плотность поглощённого излучения.

При расчёте Л. т. между отд. телами важную роль играет понятие углового коэф., или коэф. взаимной облучённости. Если тело 1 испускает энергию, а тело 2 её поглощает, то угл. коэф.  $\Phi_{12}$  представляет собой отношение потока энергии, испускаемого телом 1 и падающего на поверхность тела 2, к полному потоку энергии, испускаемому телом 1. Если излучение тела является диффузным, т. е. подчиняется *Ламберта закону*  $I = (E/\pi) = \text{const}(\theta)$ , коэф. взаимной облучённости тел конечных размеров имеет вид

$$\Phi_{12} = \frac{1}{A_1} \int \int \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi l_{12}^2} dA_2 dA_1,$$

где  $dA_1$  и  $dA_2$  — излучающая и принимающая элементарные площадки на поверхности тел,  $l_{12}$  — расстояние между площадками,  $\theta_1$  и  $\theta_2$  — углы между нормальными к площадкам и соединяющей их прямой (рис.). Коэф. взаимной облучённости для двух тел обладают свойством взаимности  $A_1 \Phi_{12} = A_2 \Phi_{21}$ , а для тел, образующих замкнутую систему, т. е. системе, излучение из к-рой не может выйти за её пределы, имеет место свойство

Схема переноса излучения между 2 элементарными площадками: 1 — излучающая площадка на поверхности  $A_1$ ; 2 — площадка на поверхности  $A_2$ , принимающая излучение.



замкнутости, представляющее собой следствие из закона сохранения энергии:  $\sum_j \Phi_{ij} = 1$ . В это выражение

входит в т. ч. т. н. коэф. самооблучённости  $\Phi_{ii}$ , характеризующий долю излучения, испускаемого  $i$ -м телом и падающего на него самого. При этом  $\Phi_{ii} \neq 0$  лишь для вогнутых поверхностей. Через угловой коэф. может быть выражена плотность потока излучения,