

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ТЕПЛОвого ИЗЛУЧЕНИЯ

В. А. СОКОЛОВ

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

В ряде опубликованных за последнее время исследований В. М. Кудрявцевой, Г. И. Синяпкиной [1] и автора данной статьи [2, 3] показано, что так называемая „кандолюминесценция“, возникающая у некоторых окислов при высоких температурах, представляет собой не люминесцентное излучение, а тепловое, обусловленное лишь особенностями температурной радиации этих веществ. Исследование, например, спектров высокотемпературного свечения окиси цинка позволило заключить, что этот вид свечения целиком подчиняется закону Кирхгофа и, следовательно, на основе критерия Вавилова-Видемана не может быть люминесцентным. Подобный же вывод можно сделать и по отношению к другим металлическим окислам, дающим необычайно яркое голубое или зеленое свечение при высоких температурах. Вместе с тем по данным Никольса [4, 5] и др. подобные окислы, будучи помещенными в высокотемпературное (например, в кислородно-водородное) пламя, излучают в видимой (голубой) области во много раз интенсивнее, чем абсолютно черное тело, что, казалось бы, может иметь место только при наличии люминесценции.

В обзоре по кандолюминесценции, опубликованном в „Успехах физических наук“ [3], мы указывали на возможное объяснение этого „парадокса“, который, по нашему мнению, связан с тем, что применявшийся в качестве абсолютно черного тела черный окисел урана, излучая очень сильно в инфракрасной части спектра, принимал в пламени значительно меньшую температуру, чем сравниваемый с ним белый<sup>1)</sup> металлический окисел, обладающий большой селективностью голубого свечения и мало излучающий в инфракрасной области спектра.

Но на первый взгляд подобное объяснение может показаться недостаточным. Действительно, для области спектра, соответствующей, например, максимуму излучения  $\lambda_{\max}$ , последнее возрастает пропорционально пятой степени абсолютной температуры тела. Возьмем крайний случай. Пусть в условиях одного и того же пламени температура одного окисла в два раза выше температуры другого. Ясно,

---

<sup>1)</sup> Как правило, окислы, обладающие упомянутой особенностью теплового излучения, имеют при обычных условиях белую окраску.

что в этом случае, при одинаковых коэффициентах поглощения, превышение излучательной способности первого тела по сравнению со вторым не может быть более чем в 32 раза. Вместе с тем по данным Никольса и других интенсивность излучения белого окисла в условиях одного и того же пламени может в сто и более раз превышать интенсивность излучения черного окисла.

В данной статье нам хочется обратить внимание на то, что и это „несоответствие“ вполне объяснимо на основе законов теплового излучения и обусловлено, в частности, особенностью распределения энергии в спектре температурной радиации твердых тел.

Дело в том, что закон роста излучения пропорционально пятой степени абсолютной температуры справедлив лишь для максимума излучения; в общем же случае рост лучеиспускательной способности тела с температурой для любой части спектра не может быть описан

законом  $\sim T^n$  и подчиняется только общему закону  $\sim \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$ ,

т. е. закону Планка, в соответствии с которым в видимой части спектра отношения между ординатами разных температурных кривых для определенных длин волн могут быть весьма большими.

На рис. 1 изображены кривые излучения черного тела для различных температур. Легко видеть, что чем выше температура, тем круче поднимается соответствующая кривая с левой стороны, т. е. со стороны видимой части спектра. Взяв для сравнения две кривые—одну для более низкой, другую для более высокой температуры, мы легко найдем для них такое значение  $\lambda$ , для которого отношение ординат соответствующих кривых было бы чрезвычайно большим. Причем этого не может быть в инфракрасной и особенно в далекой инфракрасной части спектра, где отношение между ординатами различных изотерм постепенно уменьшается, стремясь к единице.

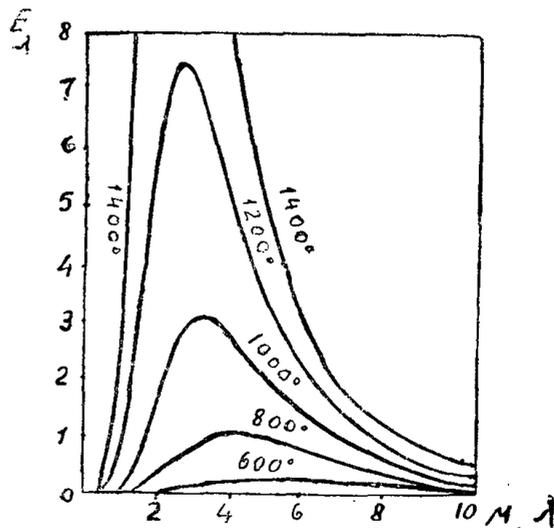


Рис. 1

На основании изложенного вполне можно объяснить появление больших отношений между интенсивностями излучения белого и черного окислов как результата разности температур.

В качестве иллюстрации подсчитаем, например, какова теоретически должна быть разница в температурах между окислами, возбуждаемыми одним и тем же пламенем, для того, чтобы отношение между интенсивностями было бы примерно того же порядка, что и по данным Никольса. Проведем это конкретно для случая окиси магния, которая по Никольсу излучает в голубой области спектра ( $\lambda = 0,45\mu$ ) при температуре  $665^\circ\text{C}$  в 155,7 раза интенсивнее, чем черный окисел.

Используем для этого закон Вина  $E = c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$ , который яв-

ляется частным выражением закона Планка для нашего случая (относительно небольшого значения  $\lambda$ ).

Логарифмируя, имеем:

$$\lg E = \lg C_1 - 5 \lg \lambda - \frac{C_2}{\lambda T} \lg e.$$

Положим,  $\lambda = 0,45 \mu = 4,5 \cdot 10^{-5}$  см. Так как нас интересует разность между логарифмами излучательных способностей при различных температурах и при одной и той же  $\lambda$ , то подсчитать в правой части необходимо только последний член  $-\frac{C_2}{\lambda T} \lg e$ , поскольку первые два являются постоянными.

Будем считать, что температура черного окисла равна  $665^\circ\text{C} = 938^\circ$  абс.

Подставляя значения  $\lambda$ ,  $T$  и постоянных  $C_2 = 1,43$  см град.,

$\lg e = 0,43$  и, обозначая  $\lg E_1 - \lg C_1 + 5 \lg \lambda = -\frac{C_2}{\lambda T} \lg e$  через

$\lg E_1$ , имеем:

$$\lg E_1 = -\frac{1,43 \cdot 0,43}{T \cdot 4,5 \cdot 10^{-5}} = -\frac{13,6 \cdot 10^3}{T} = -\frac{13,6 \cdot 10^3}{0,938 \cdot 10^3} = -14,50.$$

Предположим теперь, что MgO, находясь в том же пламени, в силу изложенных выше причин имеет более высокую температуру, чем черный окисел. Коэффициент поглощения у MgO при высокой температуре для  $\lambda = 0,45 \mu$  по своему значению согласно измерениям Либмана [6] близок к единице. Это дает нам право применить и к MgO ту же формулу (для черного излучения) в данной области спектра.

Излучение MgO в условиях пламени может превышать, по Никольсу, излучение черного окисла в 155,7 раза. Найдем отсюда, насколько выше должна быть температура MgO, если температура черного окисла  $T_1 = 665^\circ\text{C}$ .

Так как  $\lg 155,7 = 2,192$  и так как для  $T_1 = 665^\circ\text{C} = 938^\circ$  абс. мы получили  $\lg E'_1 = 14,50$ , то  $\lg E'_2$  для искомого случая должен быть больше на 2,192:

$$\lg E'_2 = \lg E_1 + \lg 155,7 = -14,50 + 2,192 = -12,408, \text{ т. е.}$$

$$\lg E'_2 = -\frac{13,6 \cdot 10^3}{T_2} = -12,408.$$

$$\text{Отсюда искомая температура } T_2 = \frac{13,6 \cdot 10^3}{12,408} = 1,096 \cdot 10^3 =$$

$= 1096^\circ$  абс.  $= 823^\circ\text{C}$ . Это та температура, при которой, по нашим предположениям, находится MgO в пламени в том случае, если в этом же пламени черный окисел имеет температуру  $T_1 = 938^\circ$  абс.  $= 665^\circ\text{C}$ .

Разница в температурах составляла бы  $823 - 665 = 158^\circ$ , что является вполне возможным, т. к. для других окислов были экспери-

ментально установлены различия в температурах и значительно большего порядка (так, например, в одном и том же пламени при  $T_1 = 1350^\circ$  абс. у окиси церия окись тория принимает температуру  $T_2 = 1800^\circ$  абс. [7]).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцева В. М. и Синяпкина Г. И. Температурное излучение окиси цинка, Докл. Акад. наук СССР, т. 59, № 8, 1948.
  2. Соколов В. А. О термическом характере свечения при окислении цинка. Докл. Акад. наук СССР, т. 66, № 1, 1949.
  3. Соколов, В. А. Кандоллюминесценция, Успехи физических наук, т. 47, вып. 4, 1952.
  4. E. L. Nichols, H. L. Howes and D. T. Wilber, Cathodo-luminescence and the luminescence of incandescent solids, Washington, 1948.
  5. L. T. Minchin, Luminescence of oxides under flame excitation, Trans. Farad Soc., vol. 35, part 1, 1939.
  6. G. Liebman, Die Temperaturstrahlung der ungefärbten Oxyde im Sichtbaren Zts. f. Phys., bd 63, 1930.
  7. Р и б о, Оптическая пирометрия, ГТТИ, 1934.
-