

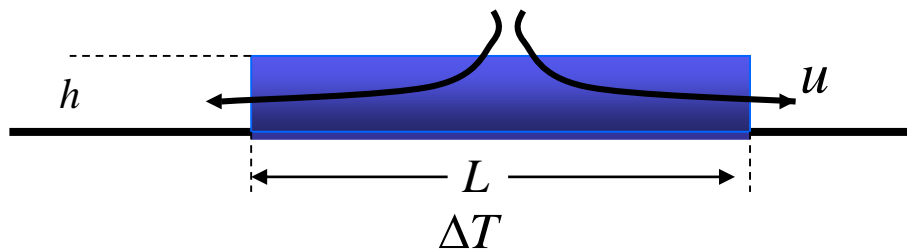
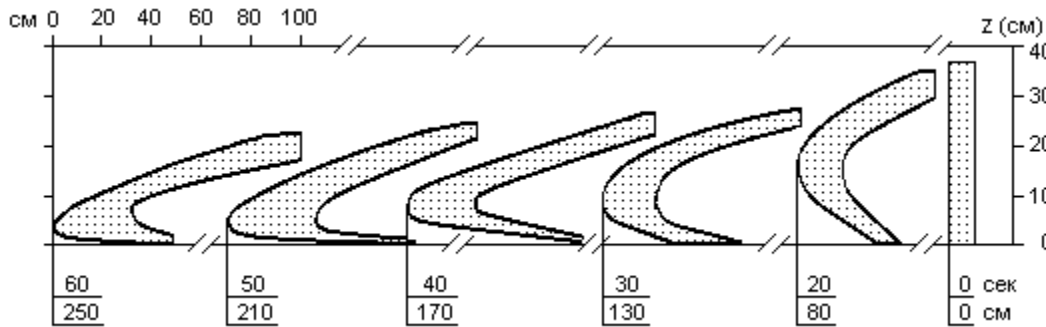
ИНТЕНСИВНАЯ НИСХОДЯЩАЯ КОНВЕКЦИЯ НАД "ХОЛОДНЫМ ПЯТНОМ" НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Л.Х. Ингель^{1,2}, Н.П. Романов¹

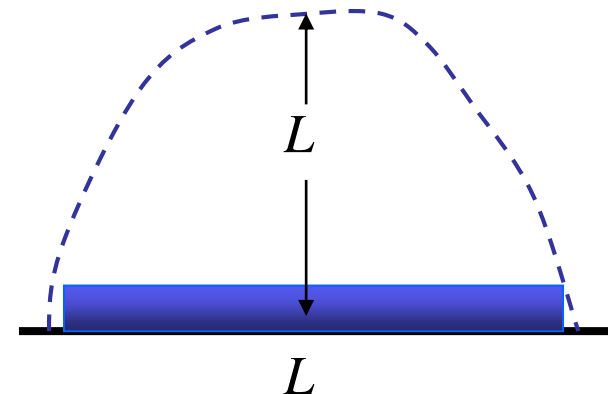
¹ ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск,

² Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва

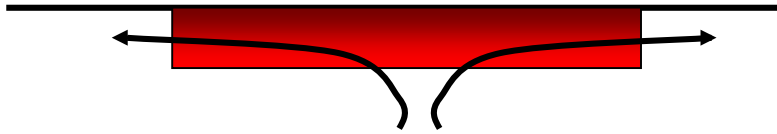
lev.ingel@gmail.com



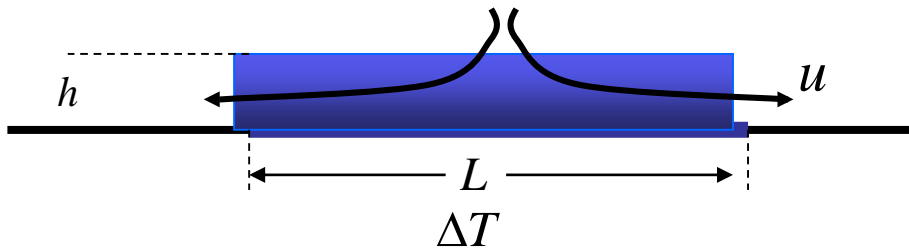
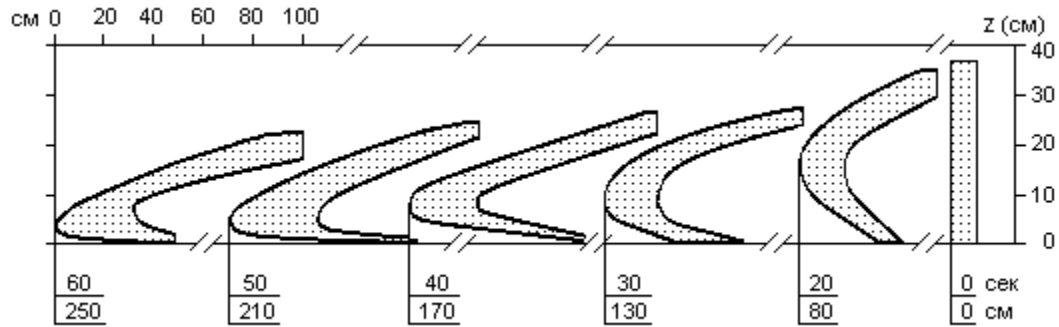
$$R = \frac{\alpha g \Delta T L^3}{\kappa^2}$$



Требуется найти: $u, h, Nu \sim h/L$



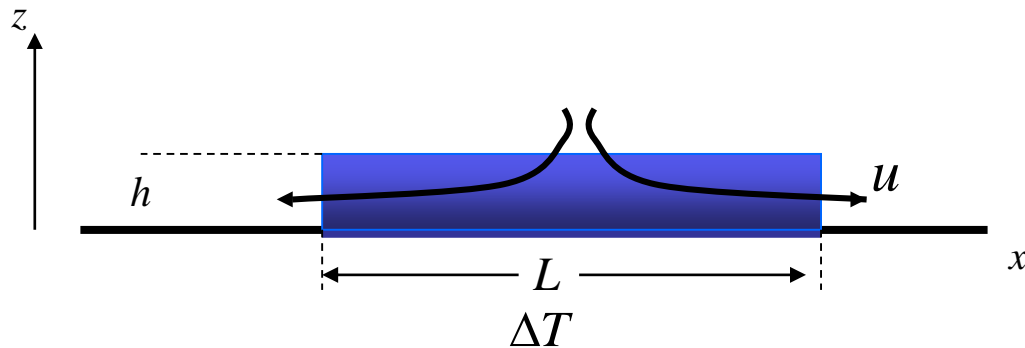
$$R = \frac{\alpha g \Delta T L^3}{\kappa^2}$$



$$\left\{ \begin{array}{l}
 \underline{u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z}} = -\frac{1}{\underline{\rho}} \frac{\partial p'}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \quad \longrightarrow p' \sim \bar{\rho} u^2 \\
 0 = -\frac{\partial p'}{\partial z} - g \rho', \quad \rho' = -\bar{\rho} \alpha T' \quad \longrightarrow |p'| \sim g |\rho'| h = \alpha g \bar{\rho} \Delta T h \\
 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad \longrightarrow |w| \sim \frac{h}{L} |u| \\
 \underline{u \frac{\partial T'}{\partial x} + w \frac{\partial T'}{\partial z}} = \kappa \left(\frac{\partial^2 T'}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T'}{\partial z^2} \right), \quad \longrightarrow u \frac{\Delta T}{L} \sim \kappa \frac{\Delta T}{h^2},
 \end{array} \right.$$

$$\mathbf{R} = \frac{\alpha g \Delta T L^3}{\kappa^2}$$

$$u \sim (\alpha g \Delta T h)^{1/2}$$



$$\mathbf{Nu} \sim \frac{L}{h} \sim \left(\frac{\alpha g \Delta T L^3}{\kappa^2} \right)^{1/5} = \mathbf{R}^{1/5}$$

$$\mathbf{h} \sim \left(\frac{\kappa^2 L^2}{\alpha g \Delta T} \right)^{1/5}, \quad \mathbf{u} \sim \left(\kappa L (\alpha g \Delta T)^2 \right)^{1/5}, \quad \mathbf{w} \sim \frac{h}{L} u \sim \left(\frac{\kappa^3 \alpha g \Delta T}{L^2} \right)^{1/5}$$

Поток тепла:

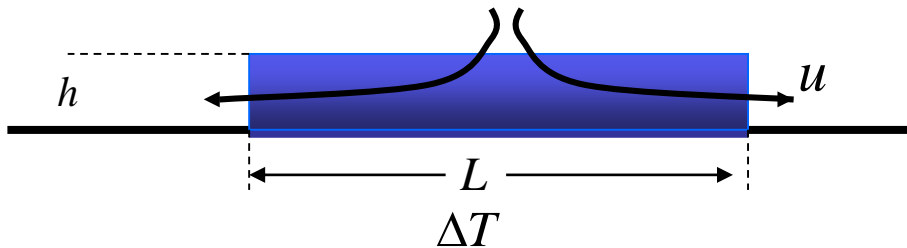
$$c_p \rho_0 \kappa \frac{\Delta T}{h} \sim c_p \rho_0 \left(\frac{\kappa^3 \alpha g \Delta T^6}{L^2} \right)^{1/5}$$

$$\text{Nu} \sim \frac{L}{h} \sim \left(\frac{\alpha g \Delta T L^3}{\kappa^2} \right)^{1/5} = \text{R}^{1/5}$$

Пример численной оценки

$L=100$ м, $\Delta T=5$ К, $\kappa = 0.3$ м²/с (коэффициент турбулентного обмена в атмосфере), $\alpha = 3.4 \cdot 10^{-3}$ 1/К. $H \sim 5$ м, $U \sim 1$ м/с $R \approx 2 \times 10^6$

Благодаря возникающим течениям, теплообмен (число Нуссельта) увеличивается почти в 20 раз.



$$\text{Ri} = \alpha g (\Delta T / h) / (U^2 / h^2)$$

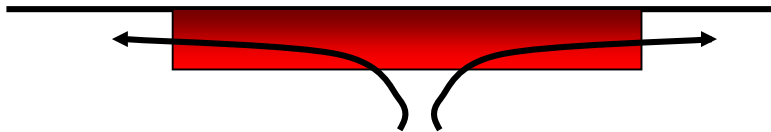
Заключение

1. Простые оценки, основанные на физических соображениях и масштабном анализе, хорошо согласуются с экспериментальными результатами в широком интервале значений $10^6 < R < 10^{11}$
2. Слабая зависимость решения от параметров, но существенная интенсификация теплообмена.

$$h \sim \left(\frac{\kappa^2 L^2}{\alpha g \Delta T} \right)^{1/5}, \quad u \sim \left(\kappa L (\alpha g \Delta T)^2 \right)^{1/5},$$

$$\text{Nu} \sim \frac{L}{h} \sim \left(\frac{\alpha g \Delta T L^3}{\kappa^2} \right)^{1/5} = R^{1/5}$$

3. Нелинейный эффект «самозамыкания» термического возмущения.



FREE CONVECTION ALONG THE DOWNWARD-FACING SURFACE OF A HEATED HORIZONTAL PLATE

T. AIHARA

Institute of High Speed Mechanics, Tōhoku University, Sendai, Japan

Y. YAMADA

Division of Engineering of Graduate School, Tōhoku University, Sendai, Japan

and

S. ENDŌ

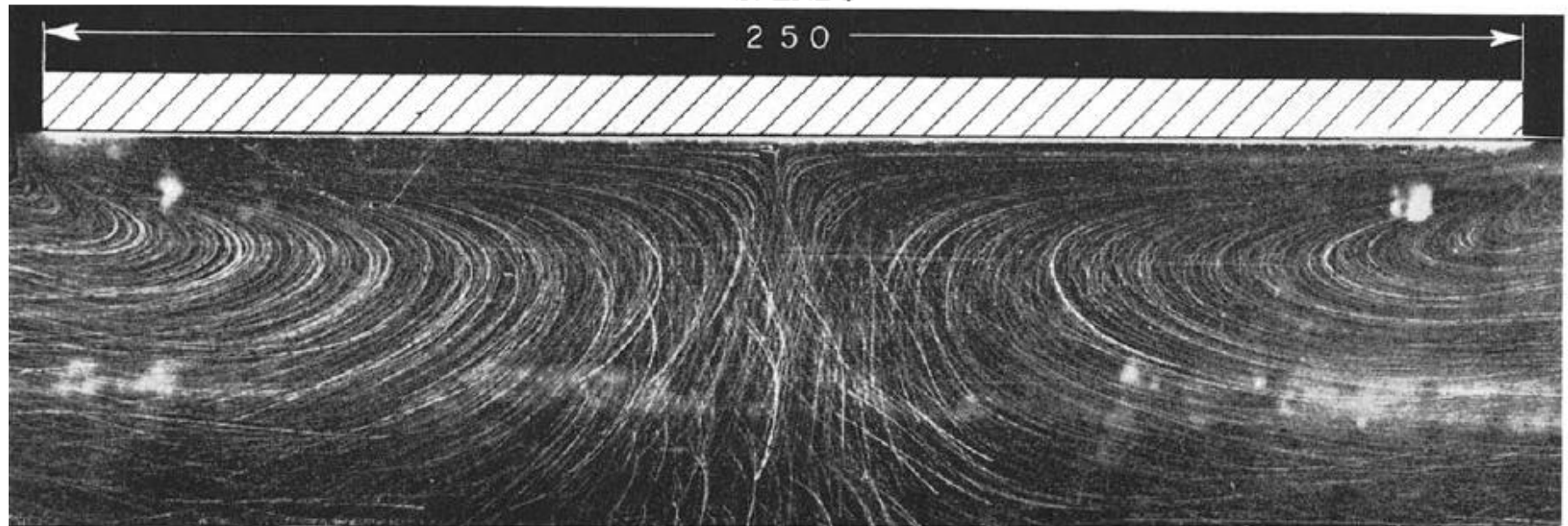
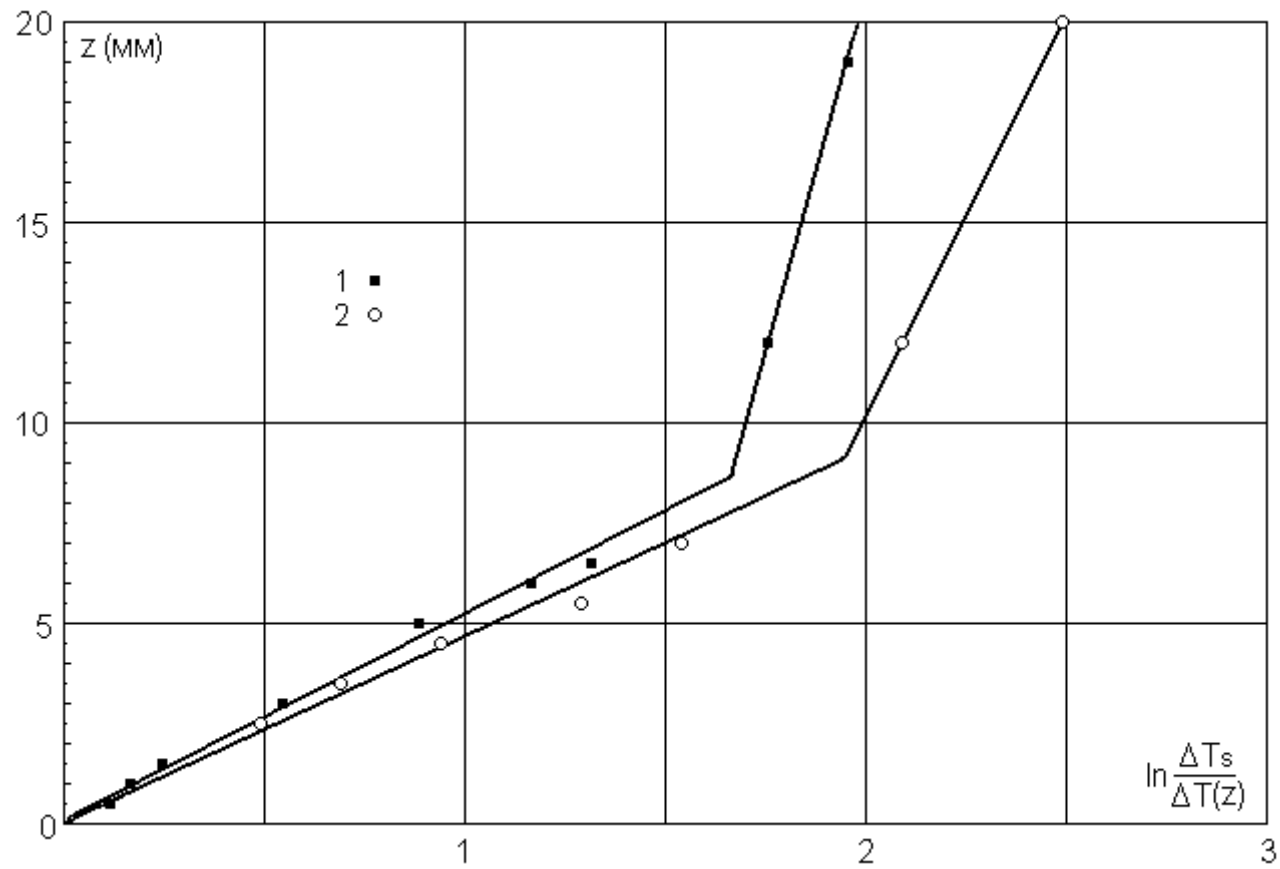


FIG. 7. Streamlines of a typical symmetrical flow near the downward-facing surface ($\theta_w - \theta_\infty = 55.2^\circ\text{C}$, time of exposure = 10 s).



Профили относительной разности температур над поверхностью холодного пятна большого диаметра.

