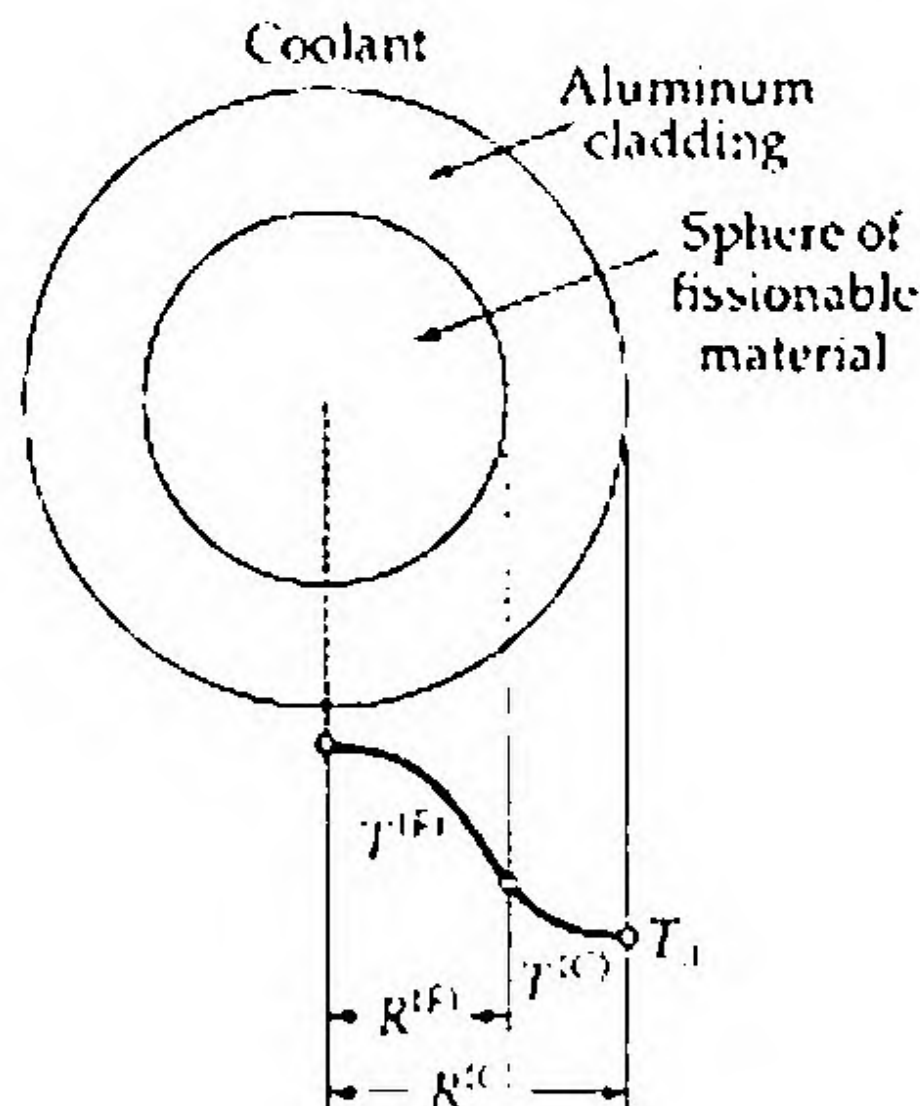


سوالات استخدای : انتقال حرارت پیشرفته

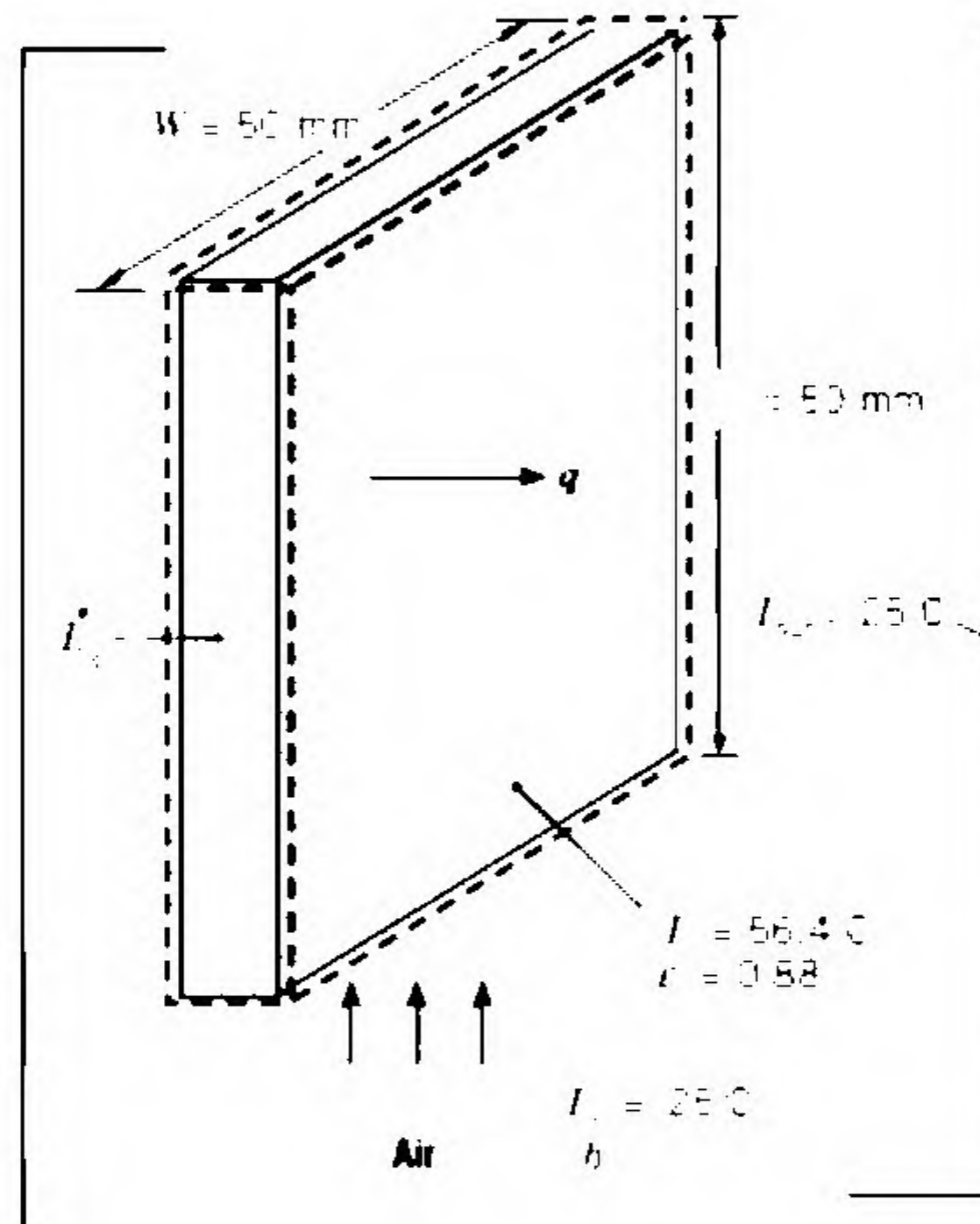
استفاده از ماشین حساب ساده ، ماشین حساب مهندسی مجاز است

۱(۱۰۱۰) استوانه ای به قطر 5cm تا دمای 200°C گرم می شود و هوا در دمای 30°C با ضریب انتقال حرارت جابجایی $180\text{W}/\text{m}^2.\text{C}^{\circ}$ عمود بر محور استوانه به آن می وزد. اگر ضریب گسیل سطح 0.7 و دیواره های اتاق در دمای 10°C باشند، کل اتلاف گرما بر واحد طول را به دست آورید. $\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{W}/\text{m}^2.\text{K}^4$

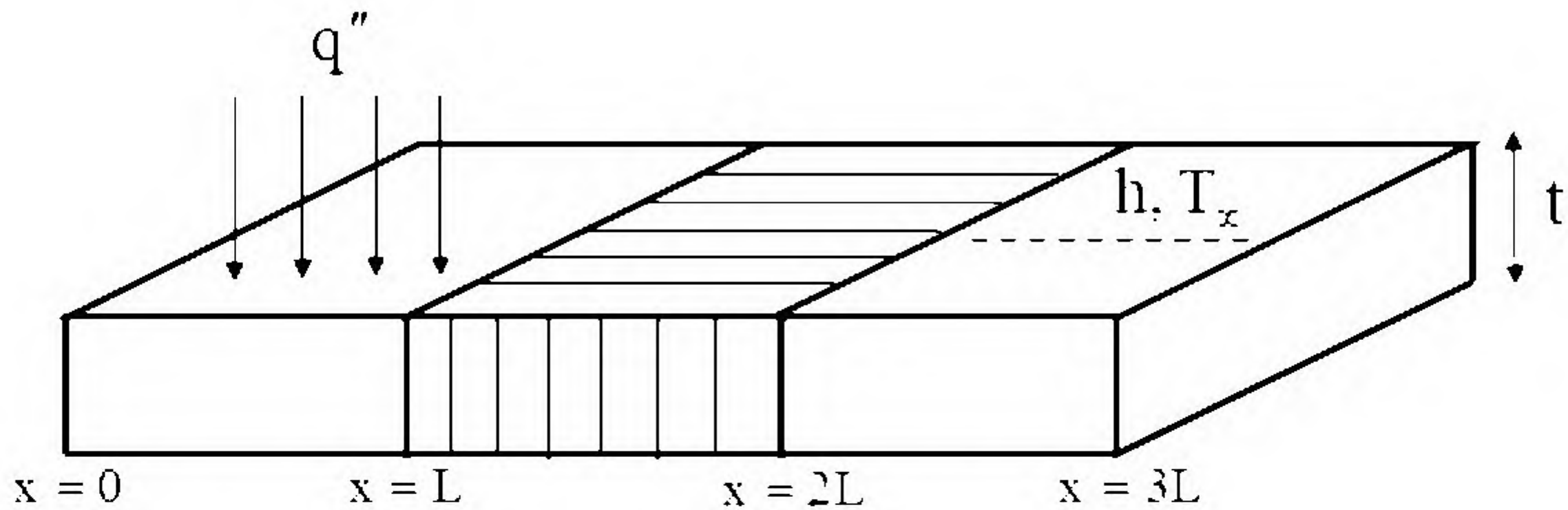
۲(۱۰۱۰) یک قطعه سوخت هسته ای کروی شکل به شعاع $R^{(F)}$ در درون پوشش آلومینیومی به شعاع $R^{(C)}$ قرار دارد. انرژی گرمایی ناشی از واکنش هسته ای با شدت $S_n (\text{cal}/\text{cm}^3.\text{s})$ تولید شده و توسط مکانیزم هدایتی از سیستم خارج می گردد. توزیع دمای پایدار در سوخت هسته ای و پوشش آلومینیومی را به دست آورید. دمای سطح خارجی پوشش آلومینیومی برابر T_0 است.



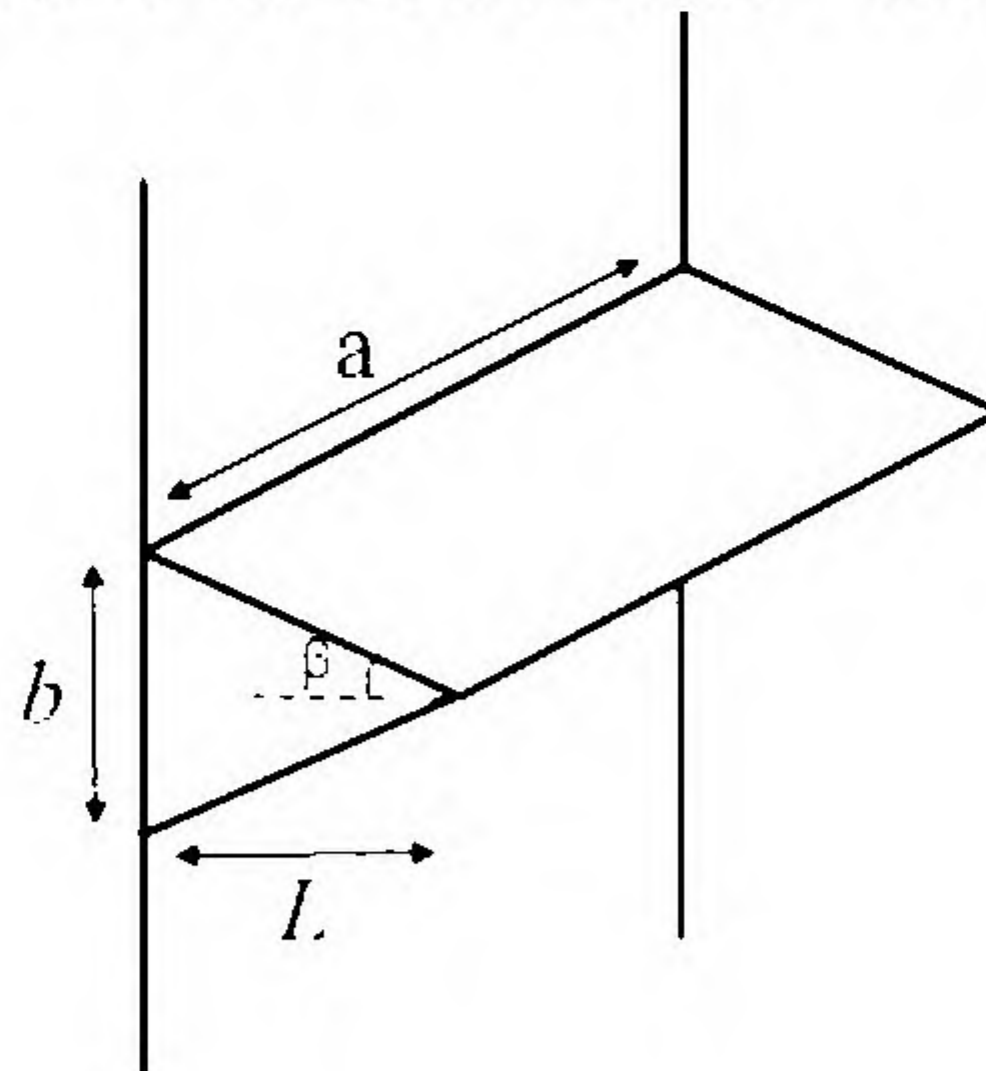
۳(۱۰۱۰) مطابق شکل زیر، در یک پیل سوختی به ابعاد $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ مقدار 11.25W گرما توسط واکنش الکتروشیمیایی تولید می شود. مطلوب است محاسبه سرعت هوای اطراف پیل سوختی که برای ثابت نگه داشتن دمای دیواره پیل در 56.4°C به کار می رود. دمای هوا و دیواره های اطراف پیل برابر با 25°C و ضریب نشر دیواره پیل سوختی 0.88 است. ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا از رابطه $h = 10.9u^{0.8}$ به دست می آید که در آن u سرعت هوا می باشد.



- ۴(۱۰۱۰) صفحه ای به ضخامت t و طول $3L$ با عمق بسیار زیاد در نظر بگیرید. یک سوم این صفحه در معرض شار حرارتی ثابت از یک شعله قرار دارد. یک سوم دیگر آن کاملاً عایق است و یک سوم باقیمانده در معرض محیطی با دمای T_∞ و ضریب همرفتی h قرار دارد. مطلوب است روابطی برای توزیع دما به عنوان تابعی از x

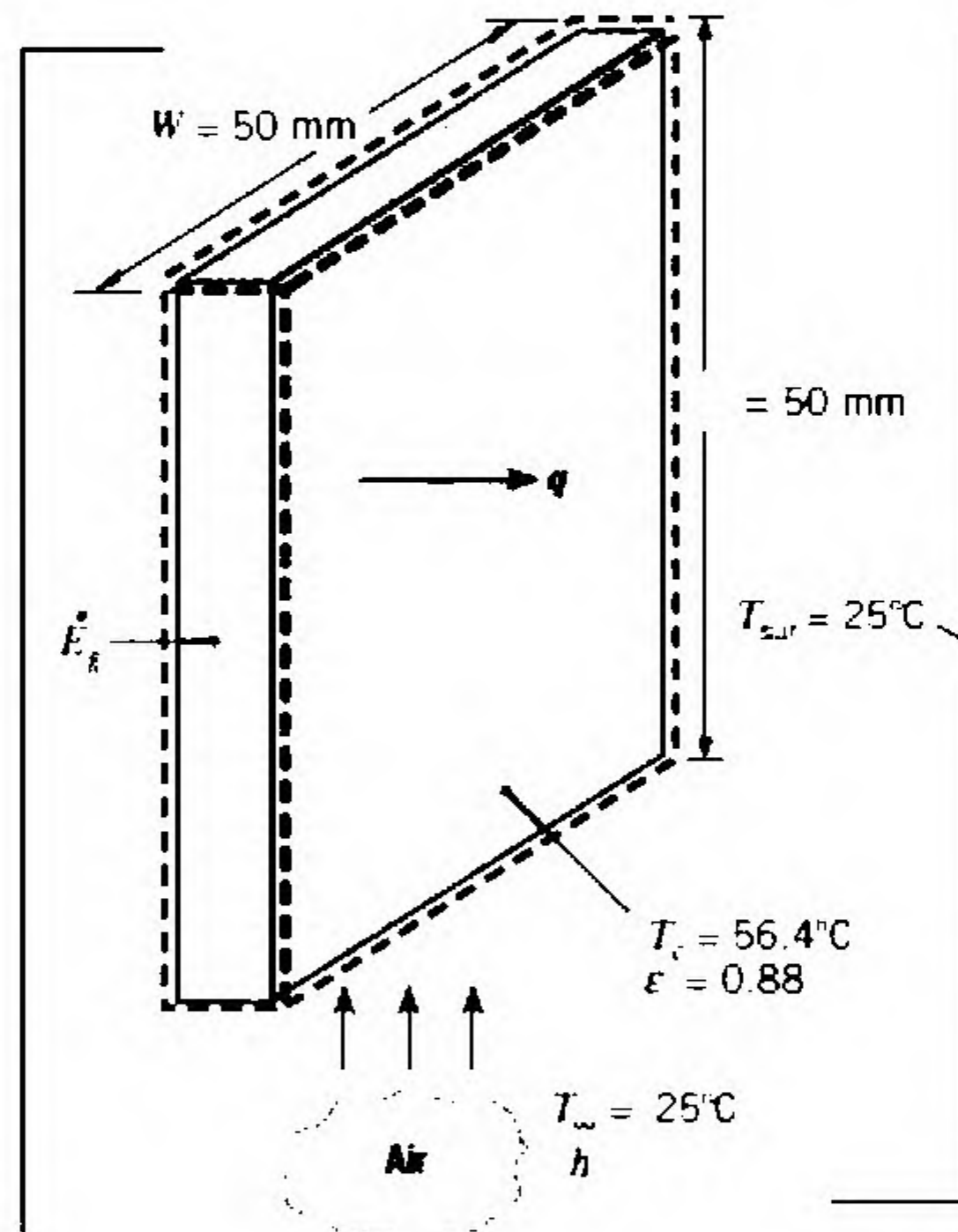


- ۵(۱۰۱۰) یک پره فلزی مثلثی مطابق شکل زیر برای افزایش انتقال حرارت از صفحه ای با دمای T_0 به کار برده می شود. معادله توزیع دمای حالت پایدار در پره همراه با شرایط مرزی را به دست آورید ($T_0 > T_\infty$). k ضریب هدایت حرارتی پره، h ضریب انتقال حرارت جابجایی هوای اطراف پره و T_∞ دمای هوا است.



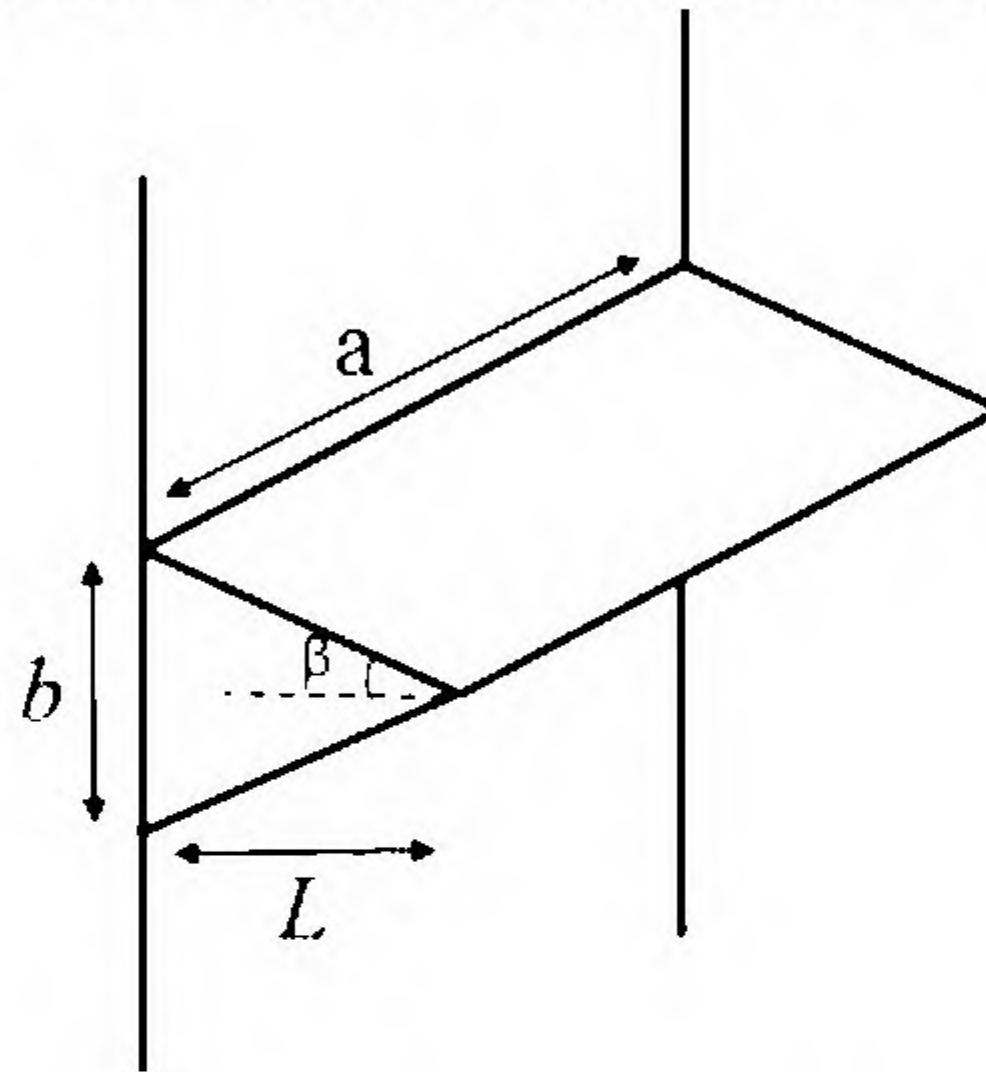
۱- مطابق شکل زیر، در یک پیل سوختی به ابعاد $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ مقدار 11.25W گرما توسط واکنش الکتروشیمیایی تولید می شود. مطلوب است محاسبه سرعت هوای اطراف پیل سوختی که برای ثابت نگه داشتن دمای دیواره پیل در 56.4°C به کار می رود. دمای هوا و دیواره های اطراف پیل برابر با 25°C و ضریب نشر دیواره پیل سوختی 0.88 است. ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا از رابطه $h = 10.9u^{0.8}$ به دست می آید که در آن u سرعت هوا می باشد.

$$\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$



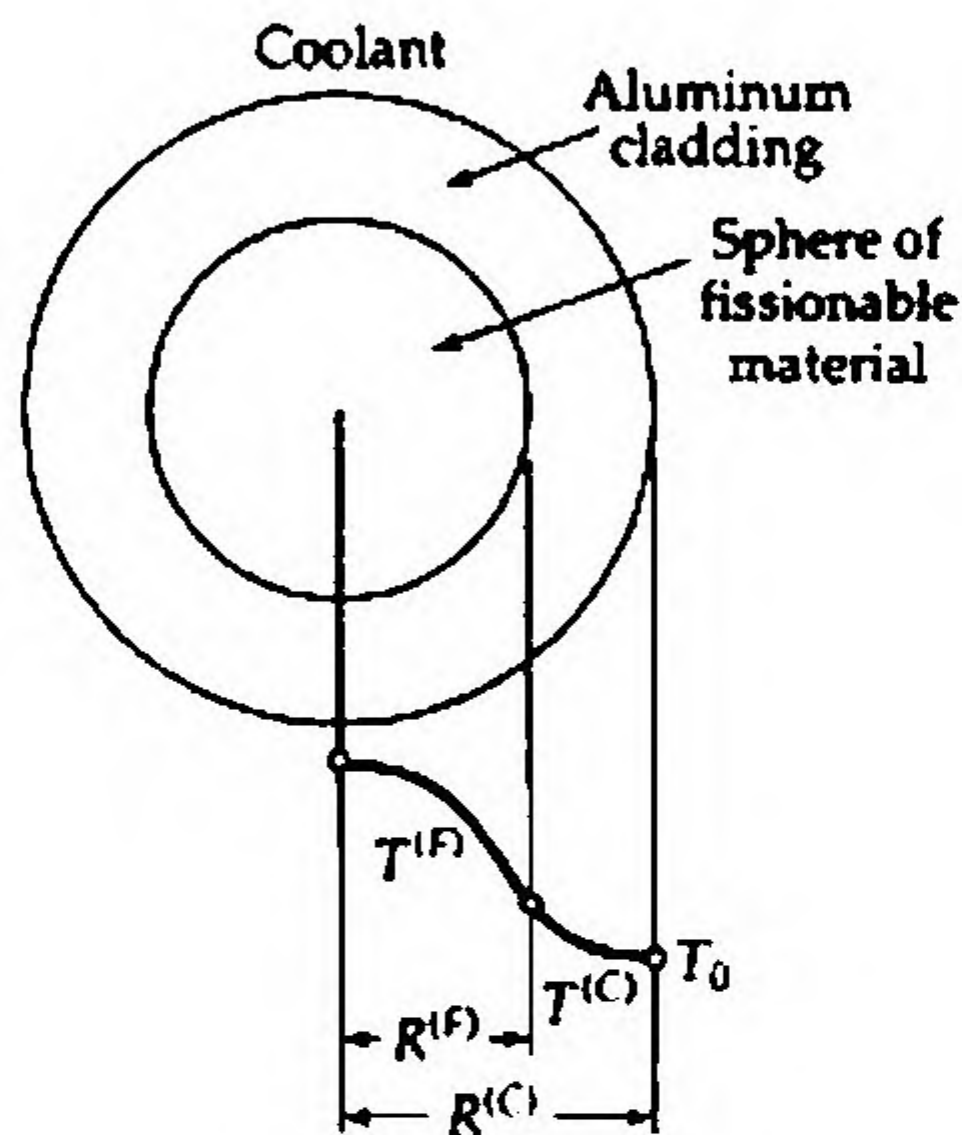
۲- محصولات داغ احتراق یک کوره توسط دیواره آجری ($k = 1.2\text{W/m}^\circ\text{C}$) به ضخامت 0.15m از هوای اطراف به دمای 25°C جدا شده اند. اندازه گیری هایی که تحت شرایط پایا انجام شده اند، دمای سطح خارجی دیواره را برابر 100°C نشان می دهند. انتقال حرارت جابجایی بین سطح دیوار و هوا انجام می شود ($h = 20\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). دمای سطح داخلی دیوار را بدست آورید.

۳- یک پره فلزی مثلثی مطابق شکل زیر برای افزایش انتقال حرارت از صفحه ای با دمای T_0 به کار برده می شود. معادله توزیع دمای حالت پایدار در پره همراه با شرایط مرزی را به دست آورید ($T_0 > T_\infty$). k ضریب هدایت حرارتی پره، h ضریب انتقال حرارت جابجایی هوای اطراف پره و T_∞ دمای هوا است.

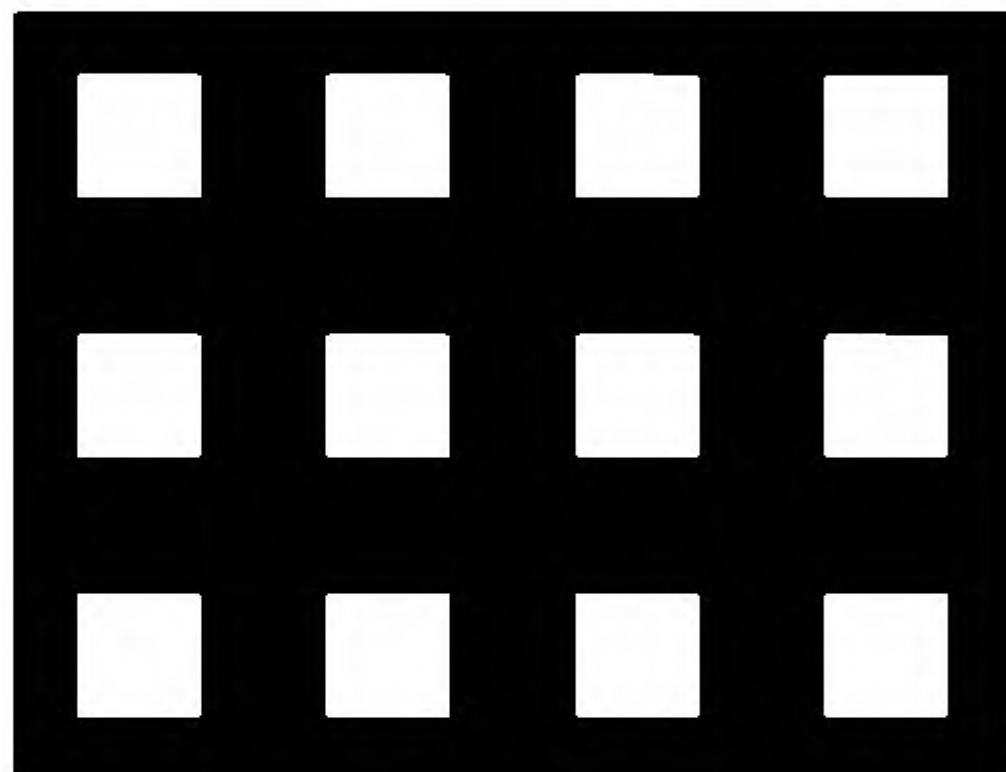


۴- معادله کلی انتقال حرارت هدایتی در شرایط ناپایا با منبع حرارتی و تولید گرمای q^0 در یک سیستم استوانه ای به دست آورید.

- ۵- یک قطعه سوخت هسته ای کروی به شکل به شعاع $R^{(F)}$ در درون پوشش آلومینیومی به شعاع $R^{(C)}$ قرار دارد. انرژی گرمایی ناشی از واکنش هسته ای با شدت S_n ($\text{cal/cm}^3 \cdot \text{s}$) تولید شده و توسط مکانیزم هدایتی از سیستم خارج می گردد. معادله توزیع دمای پایدار در سوخت هسته ای و پوشش آلومینیومی همراه با شرایط مرزی را به دست آورید. دمای سطح خارجی پوشش آلومینیومی برابر T_0 است.



۱- یک صفحه عایق از فوم پلی یورتان با ضریب رسانایی 0.03 وات بر متر. درجه کلوین با حفره های مکعبی به ابعاد 1mm و فاصله 1mm از یکدیگر مطابق شکل زیر در نظر بگیرید. حفره ها حاوی مخلوطی از گازهای نیتروژن، اکسیژن و دی اکسید کربن با کسر حجمی برابر در فشار 0.7bar و دمای 260K هستند. ضریب انتقال حرارت رسانایی این ورقه فومی را با استراتژی مقاومت های موازی محاسبه نمایید. دمای بحرانی اکسیژن 155، نیتروژن 126 و دی اکسید کربن 240 درجه کلوین و فشار بحرانی اکسیژن 50، نیتروژن 33.5 و دی اکسید کربن 74 بار است.



۲- یک لوله 4in فولادی (قطر خارجی 4in و ضخامت لوله 5mm) با ضریب رسانایی 40 وات بر متر. درجه کلوین به طول 6m با دبی ورودی 1 lit/min آب با دمای 310K را در نظر بگیرید. چه ضخامتی از عایق مسأله 1 (فوم پلی یورتان) دور این لوله باید پیچید تا دمای خروجی از 303K پایین تر نیاید. دمای محیط 260K بوده و شرایط جابه جایی آزاد برای آن لحاظ شود. برای شرایط انتقال حرارت درون لوله انتقال حرارت اجباری لحاظ شود. در صورتی که ضریب انتقال حرارت جابه جایی را نمی توانید محاسبه نمایید از مقادیر ثابت 6 و 220 وات بر مترمربع. درجه کلوین به ترتیب برای شرایط خارجی و داخلی لوله استفاده نمایید.

۳- سیم مسی به قطر 4mm با پوشش عایق پلی اتیلن به ضخامت 2mm به طول 10m، افت ولتاژ 1 ولتی را تجربه می کند. اگر دمای محیط 20°C و ضریب انتقال حرارت جابه جایی آزاد 6W/m².K باشد، مطلوب است:

(الف) حداکثر دمای سیم

(ب) اگر سیم روکش نداشت، حداکثر دما چقدر می شد؟

ضریب رسانایی مس 400 و ژلی اتیلن 0.8 وات بر متر. درجه کلوین است.

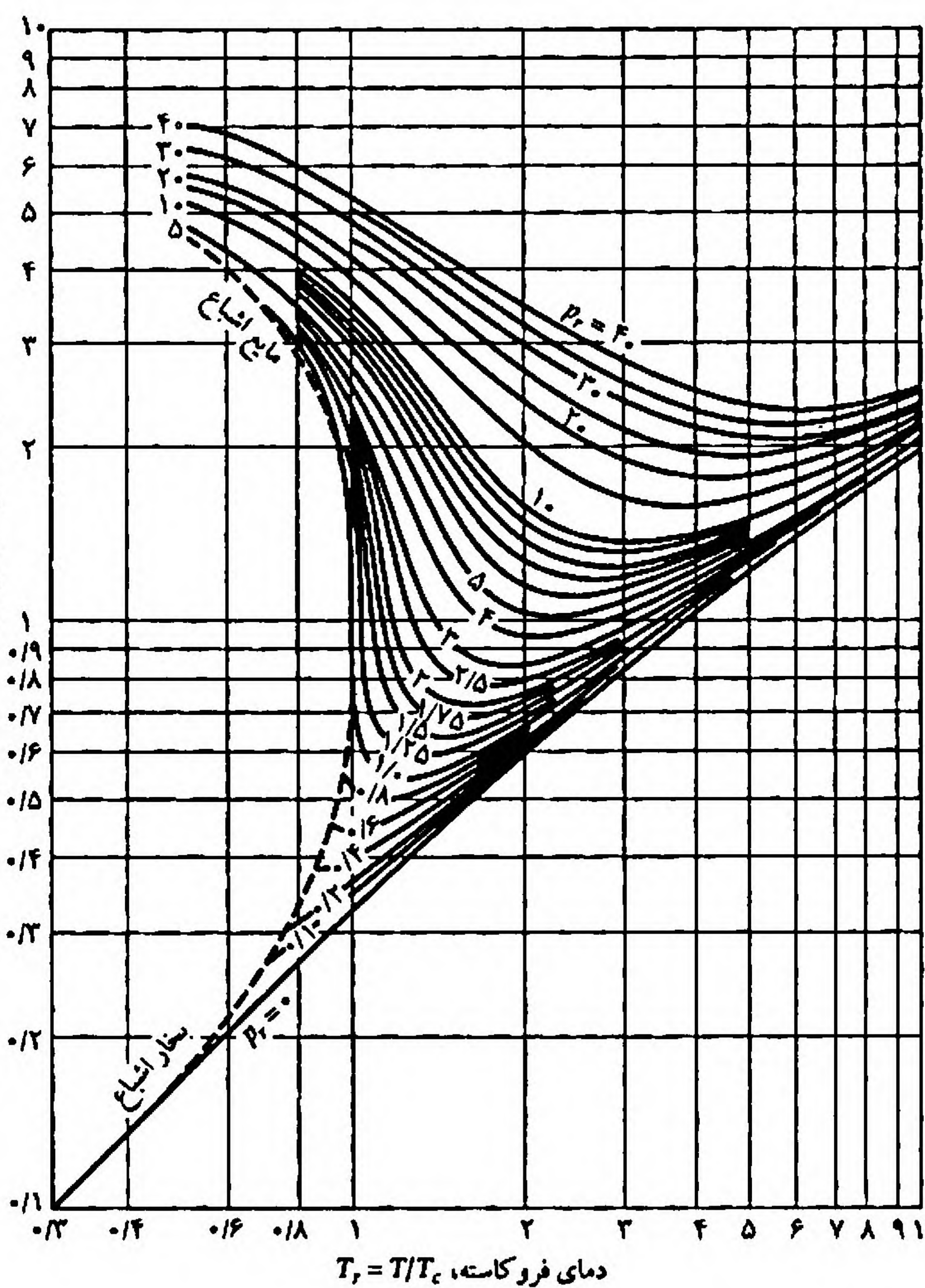
در صورتی که داده ای برای حل مسئله احتیاج دارید آن را فرض کنید و مسئله خود را حل کنید.

عدد پرانتل	ظرفیت گرمایی	رسانندگی گرمایی	دما	گاز
Pr(—)	$\hat{C}_p(J/kg \cdot K)$	$k(W/m \cdot K)$	T(K)	
۰٫۶۸۲	۱۱٫۱۹۲	۰٫۰۶۷۹۹	۱۰۰	H _۲
۰٫۷۲۴	۱۳٫۶۶۷	۰٫۱۲۸۲	۲۰۰	
۰٫۷۲۰	۱۴٫۳۱۶	۰٫۱۷۷۹	۳۰۰	
۰٫۷۶۴	۹۱۰	۰٫۰۰۹۰۴	۱۰۰	O _۲
۰٫۷۳۴	۹۱۱	۰٫۰۱۸۳۳	۲۰۰	
۰٫۷۱۶	۹۲۰	۰٫۲۶۵۷	۳۰۰	
۰٫۷۸۱	۱۰۱۵	۰٫۰۱۷۷۸	۲۰۰	NO
۰٫۷۴۲	۹۹۷	۰٫۰۲۵۹۰	۳۰۰	
۰٫۷۸۳	۷۳۴	۰٫۰۰۹۵۰	۲۰۰	CO _۲
۰٫۷۵۸	۸۴۶	۰٫۰۱۶۶۵	۳۰۰	

جدول ۱-۳.۹ مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده عدد پراتل برای گازها در فشار جو.^{الف}

گاز	$T(K)$	$\hat{C}_p \mu / k$	$\hat{C}_p \mu / k$
		از معادله (۱۶-۳.۹)	از مقادیر مشاهده‌شده $\hat{C}_p$ ، μ و k
Ne	۲۷۳٫۲	۰٫۶۶۷	۰٫۶۶
Ar	۲۷۳٫۲	۰٫۶۶۷	۰٫۶۷
H _۲	۹۰٫۶	۰٫۶۸	۰٫۶۸
	۲۷۳٫۲	۰٫۷۳	۰٫۷۰
	۶۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۶۵
N _۲	۲۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۷۳
O _۲	۲۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۷۴
هوا	۲۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۷۳
CO	۲۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۷۶
NO	۲۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۷۷
Cl _۲	۲۷۳٫۲	۰٫۷۶	۰٫۷۶
H _۲ O	۳۷۳٫۲	۰٫۷۷	۰٫۹۴
	۶۷۳٫۲	۰٫۷۸	۰٫۹۰
CO _۲	۲۷۳٫۲	۰٫۷۸	۰٫۷۸

رسانندگی گرمایی فرو کاسته، $k_r = k/k_c$



۱- فصل ۹ ص ۴۸۷

۲- فصل ۱۰ ص ۵۵۰

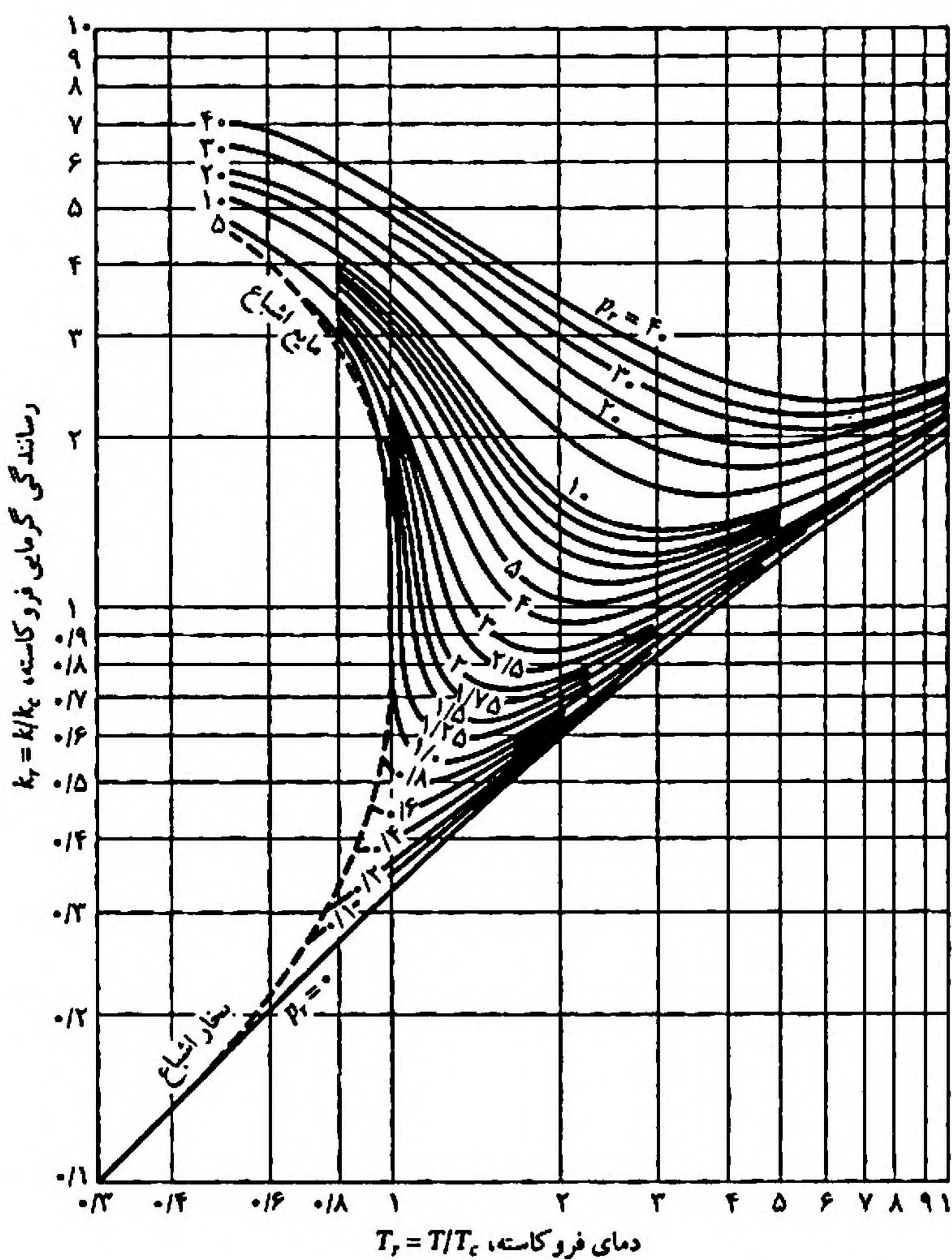
۳- فصل ۱۱ ص ۶۴۰

در صورتی که داده ای برای حل مسئله احتیاج دارید آن را فرض کنید و مسئله خود را حل کنید.

گاز	دما $T(K)$	رسانندگی گرمایی $k(W/m \cdot K)$	ظرفیت گرمایی $\hat{C}_p(J/kg \cdot K)$	عدد پراتل $Pr(-)$
H_2	۱۰۰	۰٫۰۶۷۹۹	۱۱٫۱۹۲	۰٫۶۸۲
	۲۰۰	۰٫۱۲۸۲	۱۳٫۶۶۷	۰٫۷۲۴
	۳۰۰	۰٫۱۷۷۹	۱۴٫۳۱۶	۰٫۷۲۰
O_2	۱۰۰	۰٫۰۰۹۰۴	۹۱۰	۰٫۷۶۴
	۲۰۰	۰٫۰۱۸۳۳	۹۱۱	۰٫۷۳۴
	۳۰۰	۰٫۲۶۵۷	۹۲۰	۰٫۷۱۶
NO	۲۰۰	۰٫۰۱۷۷۸	۱۰۱۵	۰٫۷۸۱
	۳۰۰	۰٫۰۲۵۹۰	۹۹۷	۰٫۷۴۲
CO_2	۲۰۰	۰٫۰۰۹۵۰	۷۳۴	۰٫۷۸۳
	۳۰۰	۰٫۰۱۶۶۵	۸۴۶	۰٫۷۵۸

جدول ۱-۳.۹ مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده عدد پراتل برای گازها در فشار جو.^{الف}

گاز	$T(K)$	$\hat{C}_p \mu / k$	$\hat{C}_p \mu / k$
		از معادله (۱۶-۳.۹)	از مقادیر مشاهده‌شده $\hat{C}_p$ ، μ و k
Ne	۲۷۳٫۲	۰٫۶۶۷	۰٫۶۶
Ar	۲۷۳٫۲	۰٫۶۶۷	۰٫۶۷
H _۲	۹۰٫۶	۰٫۶۸	۰٫۶۸
	۲۷۳٫۲	۰٫۷۳	۰٫۷۰
	۶۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۶۵
N _۲	۲۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۷۳
O _۲	۲۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۷۴
هوا	۲۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۷۳
CO	۲۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۷۶
NO	۲۷۳٫۲	۰٫۷۴	۰٫۷۷
Cl _۲	۲۷۳٫۲	۰٫۷۶	۰٫۷۶
H _۲ O	۳۷۳٫۲	۰٫۷۷	۰٫۹۴
	۶۷۳٫۲	۰٫۷۸	۰٫۹۰
CO _۲	۲۷۳٫۲	۰٫۷۸	۰٫۷۸



- ۱- ضریب هدایت حرارتی مخلوط کلر- هوا در دمای 297K و فشار 1atm را برای کسرهای مولی کلر برابر با 0.25، 0.5 و 0.75 را بدست آورید. در صورت نیاز از اطلاعات زیر استفاده نمایید.

ماده	$\mu(\text{Pa.s})$	$k(\text{W} / \text{m} \cdot \text{K})$	$\hat{C}_p(\text{J} / \text{kg} \cdot \text{K})$
هوا	1.854×10^{-5}	2.614×10^{-2}	1.001×10^3
کلر	1.351×10^{-5}	8.960×10^{-3}	4.798×10^2

$$\Phi_{\alpha\beta} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left(1 + \frac{M_\alpha}{M_\beta} \right)^{-1/2} \left[1 + \left(\frac{\mu_\alpha}{\mu_\beta} \right)^{1/2} \left(\frac{M_\alpha}{M_\beta} \right)^{1/4} \right]^2$$

$$k_{\text{mix}} = \sum_{\alpha=1}^N \frac{x_\alpha k_\alpha}{\sum_{\beta} x_\beta \Phi_{\alpha\beta}}, \quad M_{\text{air}} = 28.97, \quad M_{\text{chlorine}} = 70.91$$

- ۲- الف) بردار انرژی مرکب چیست و هر یک از عبارات آن معرف چه نوعی از انتقال انرژی است؟
 ب) وابستگی دمایی رسانندگی گرمایی گازها، مایعات و جامدات را با هم مقایسه نمایید.
 ج) همرفت واداشته و همرفت آزاد را مقایسه نمایید.

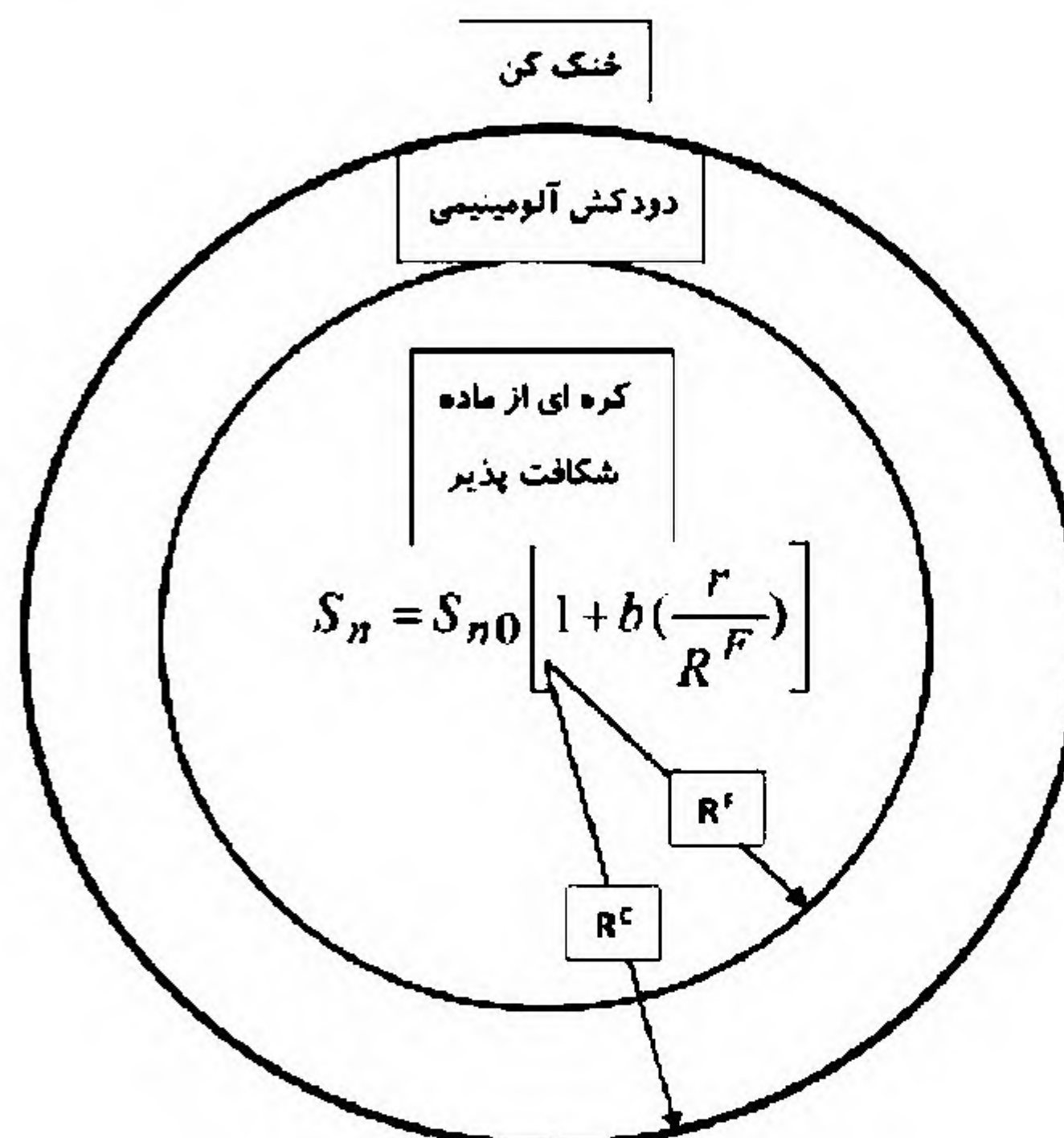
د) آیا می توان بدون داشتن اطلاعات تفصیلی در مورد توزیع سرعت سیستم، معادله انرژی را کاملاً به طور دقیق حل نمود؟ اگر می توان چه وقت این امر امکان پذیر است؟

- ۳- گرمای هدر رفته از دیواری گچی با ضریب رسانایی حرارتی $0.75 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$ ؛ برابر 80% نرخ انتقال حرارت از دیواری آجری با ضریب رسانایی حرارتی $0.25 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$ و ضخامت 100 میلی متر است. اگر اختلاف دمای سطح بیرونی و درونی و مساحت سطح دو دیوار یکسان باشد: ضخامت دیوار گچی چقدر است؟

۴- در رسانش گرما با منبع گرمای هسته ای زیر، رابطه ای جهت توزیع دما در لایه ماده شکافت پذیر و دودکش آلومینیومی بدست آورید.

$$S_n = S_{n0} \left[1 + b \left(\frac{r}{R^F} \right)^2 \right]$$

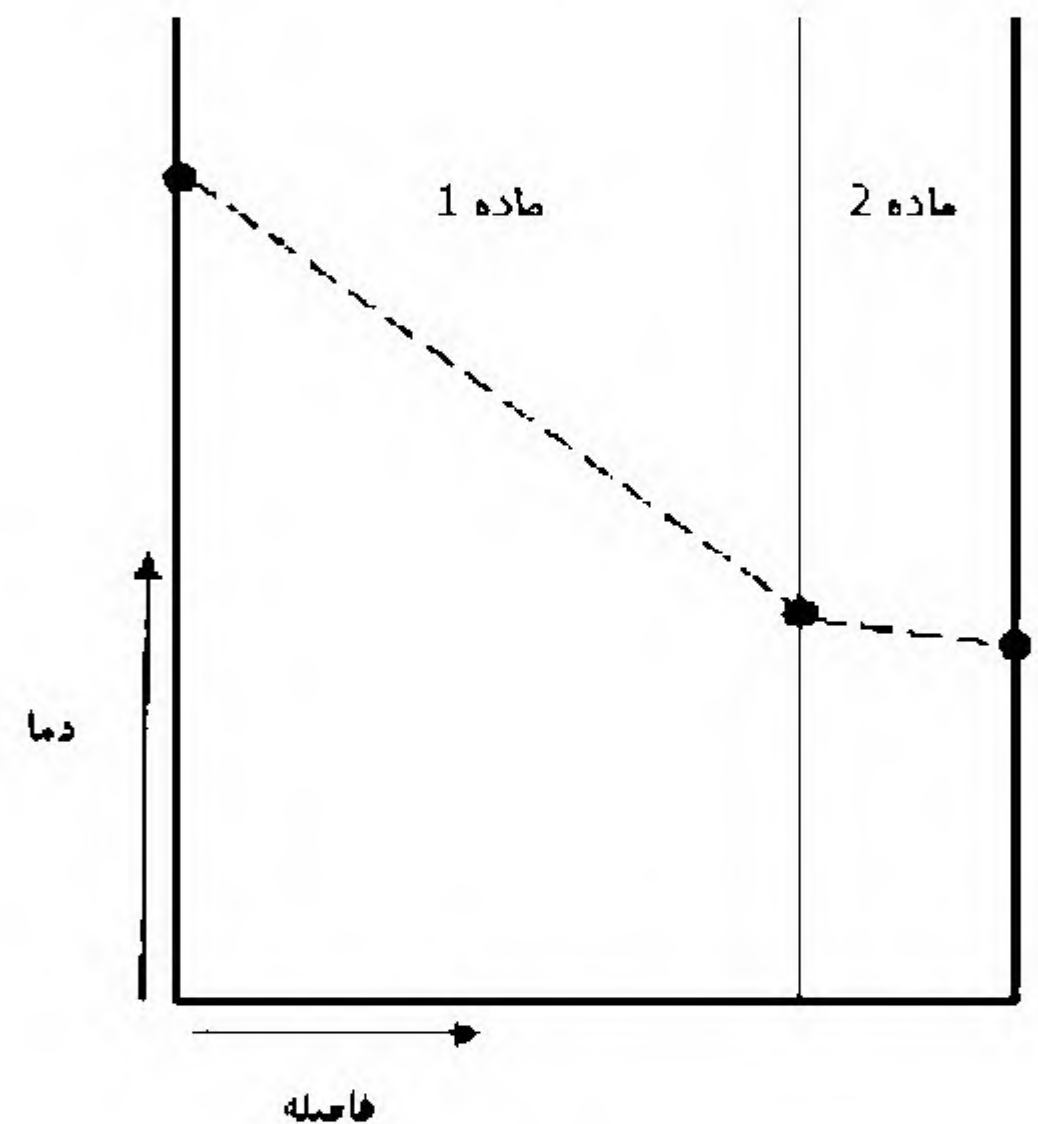
رابطه انرژی گرمایی حاصل از شکافت هسته ای:



۵- در یک سیم مسی جریان الکتریکی عبور می کند. با نوشتن موازنه پوسته ای، رابطه توزیع دما در طول آن را بدست آورید. اگر قطر این سیم 4mm و طول (L) آن 10m باشد چه ولتاژی (E) نیاز است که حداکثر اختلاف دما در سیم و سطح آن به 10°C برسد، اگر دمای سطح سیم 25°C باشد.

$$S_e = \frac{E^2}{L^2 \times k_e}, \quad k = 385 \frac{W}{m.K}, \quad k_e = 5.8 \times 10^7 \frac{A}{V.m}$$

- ۱- الف) وابستگی دمایی رسانندگی گرمایی (k) گازها، مایعات و جامدات را مقایسه نمایید.
 ب) عدد پرانتل را تعریف نموده و مرتبه بزرگی آن را در مایعات و گازها با هم مقایسه نمایید.
- ۲- در حالت پایا، توزیع دما در سیستم چند لایه مطابق شکل زیر است. کدام ماده رسانندگی گرمایی بالاتری دارد؟ توضیح دهید.



- ۳- گرمای هدر رفته از دیواری گچی با ضریب رسانایی حرارتی $0.75W/m.K$ ؛ برابر 80% نرخ انتقال حرارت از دیواری آجری با ضریب رسانایی حرارتی $0.25W/m.K$ و ضخامت 100 میلی متر است. اگر اختلاف دمای سطح بیرونی و درونی و مساحت سطح دو دیوار یکسان باشد: ضخامت دیوار گچی چقدر است؟
- ۴- یک دیوار مرکب از دیوار A به ضخامت 30 سانتی متر و ضریب رسانایی حرارتی $5W/m.K$ و دیوار B به ضخامت 20 سانتی متر و ضریب رسانایی حرارتی $4W/m.K$ تشکیل شده است. اگر دما در سطح بیرونی دیوار A برابر با $32^\circ C$ و در سطح بیرونی دیوار B برابر $10^\circ C$ باشد، دما در سطح مشترک A و B چند درجه سانتی گراد است؟

۵- رسانندگی حرارتی اکسیژن مولکولی در دمای 300 K و فشار پایین را تخمین بزنید.

$$M_{O_2} = 32,$$

$$C_p = 7.019 \text{ cal} / \text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}$$

$$\sigma = 3.433 \text{ \AA}, \frac{\epsilon}{k} = 113$$

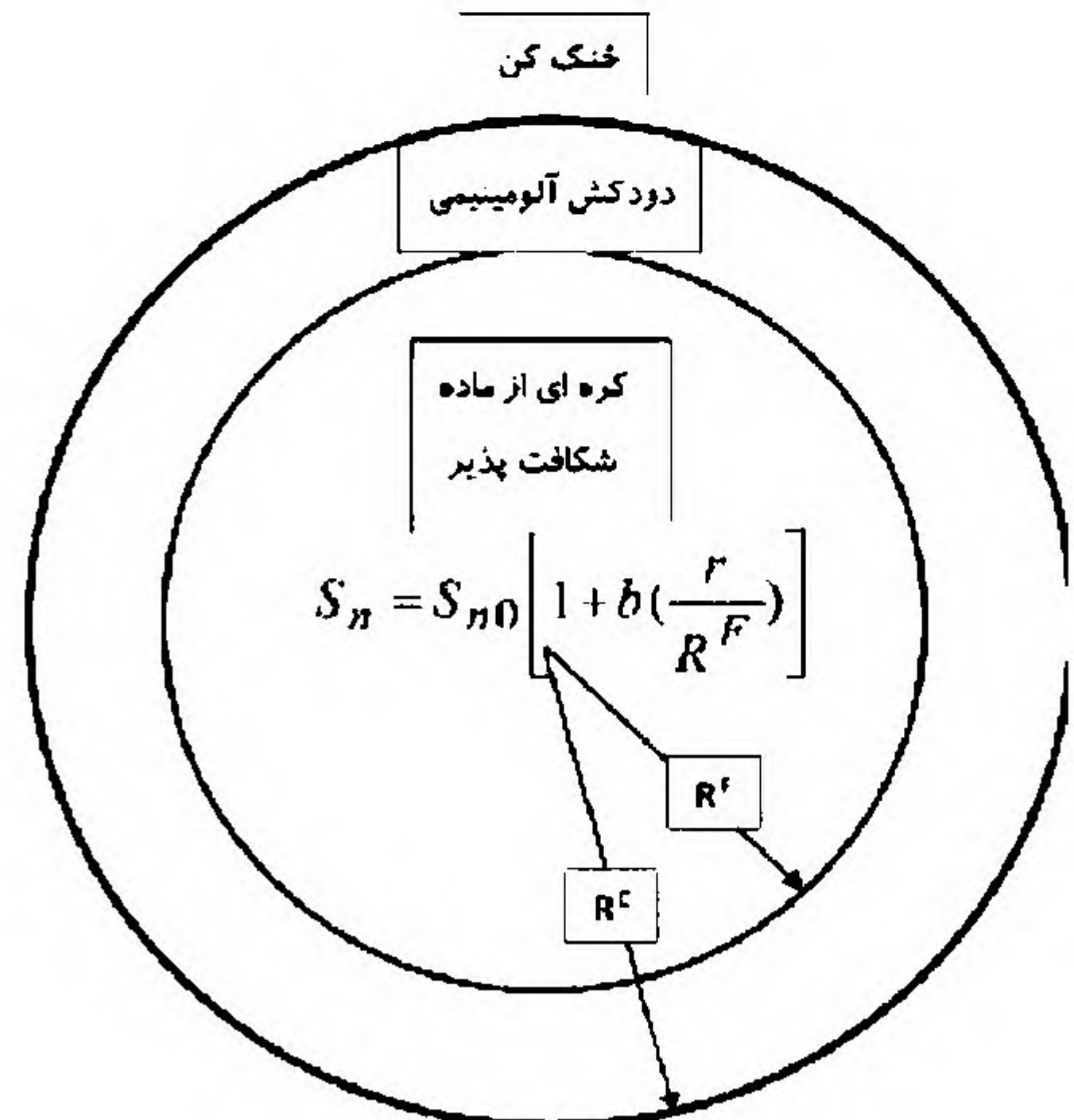
$$\mu = (2.6693 \times 10^{-5}) \frac{\sqrt{MT}}{\sigma^2 \Omega_\mu}$$

$$k = (C_p + \frac{5}{4}R) \left(\frac{\mu}{M} \right)$$

۶- در رسانش گرما با منبع گرمای هسته ای زیر، رابطه ای جهت توزیع دما در لایه ماده شکافت پذیر و دودکش آلومینیومی بدست آورید.

$$S_n = S_{n0} \left[1 + b \left(\frac{r}{R^F} \right)^2 \right]$$

رابطه انرژی گرمایی حاصل از شکافت هسته ای:



۱- الف) بردار انرژی مرکب چیست و هر یک از عبارات آن معرف چه نوعی از انتقال انرژی است؟

ب) وابستگی دمایی رسانندگی گرمایی گازها، مایعات و جامدات را با هم مقایسه نمایید.

ج) همرفت واداشته و همرفت آزاد را مقایسه نمایید.

د) آیا می توان بدون داشتن اطلاعات تفصیلی در مورد توزیع سرعت سیستم، معادله انرژی را کاملاً به طور دقیق حل نمود؟ اگر می توان چه وقت این امر امکان پذیر است؟

۲- دمای دو طرف صفحه ای به مساحت 800cm^2 و ضخامت 0.5cm در شرایط پایا برابر است با

$T_0 = 24^\circ\text{C}, T_1 = 26^\circ\text{C}$. در این حالت انتقال گرما با آهنگ 4W از طریق رسانش در طول صفحه انتقال می یابد. رسانندگی گرمایی صفحه را بدست آورید.

۳- با در نظر گرفتن یک حجم کنترل به ضخامت Δr در یک سیم مدور با شعاع R و آهنگ تولید گرما در واحد

حجم $S_e = \frac{I_2}{k_e}$ ، معادله ای جهت توزیع دما در سیم بدست آورید. در این رابطه I جریان الکتریکی و هدایت

الکتریکی سیم k_e می باشد.

۴- یک میله سوخت استوانه ای طویل از سه لایه تشکیل شده است. اگر دمای سوخت داخل میله برابر با

1000°C ، دما و ضریب انتقال حرارت جابجایی مایع خنک کن برابر با $h = 10\text{ (W / m}^2\text{.K)}$ ، 20°C می باشد. میزان انتقال حرارت از میله به مایع خنک کن را محاسبه نمایید.

شعاع میله سوخت هسته ای: $R_1 = 0.1\text{m}$

ضخامت روکش آلومینیمی و رسانندگی حرارتی آن: $t = 0.2\text{m}, k = 205.9\text{ (W / m.K)}$



۵- الف) در توصیف جریان غیر هم دما در سیالات نیوتنی از چه معادلاتی استفاده می شود؟

ب) مایعی با جریان آرام و پایا، از روی یک سطح شیبدار به سمت پایین حرکت می کند. سطح آزاد در دمای

T_0 و سطح جامد در $x = \delta$ در دمای T_δ نگه داشته شده است. اگر وابستگی ویسکوزیته به دما را بتوان

به صورت $\mu = A e^{B/T}$ بیان نمود (که در آن A و B ثوابت تجربی اند)، توزیع سرعت را در این جریان بدست آورید.

راهنمایی: ابتدا با توجه به شرایط مساله، معادله انرژی را ساده نمایید و توزیع دما در لایه را بدست آورید. سپس با توجه به رابطه تعادل نیروها در یک لایه از سیال روی سطح شیبدار، توزیع سرعت را بدست آورید.

۱- ضریب هدایت حرارتی در سه فاز مایع، جامد و گاز به چه کمیت‌هایی وابسته است؟

۲- بردار شار انرژی ترکیبی شامل چه نوع انرژی‌هایی است؟ هر کدام از آنها را معرفی نمایید و مشخص کنید که مربوط به کدام مکانیسم (نفوذ یا جابجایی) هستند.

$$\dot{e} = \dot{q} + (\dot{\tau} \cdot \dot{v}) + \frac{1}{2}(\rho v^2 + \rho \hat{H})\dot{v}$$

۳- در یک سیم مسی جریان الکتریکی عبور می‌کند. با نوشتن موازنه پوسته‌ای، رابطه توزیع دما در طول آن را بدست آورید. اگر قطر این سیم 4mm و طول (L) آن 10m باشد چه ولتاژی (E) نیاز است که حداکثر اختلاف دما در سیم و سطح آن به 10°C برسد، اگر دمای سطح سیم 25°C باشد.

$$S_e = \frac{E^2}{L^2 \times k_e}, \quad k = 385 \frac{W}{m.K}, \quad k_e = 5.8 \times 10^7 \frac{A}{V.m}$$

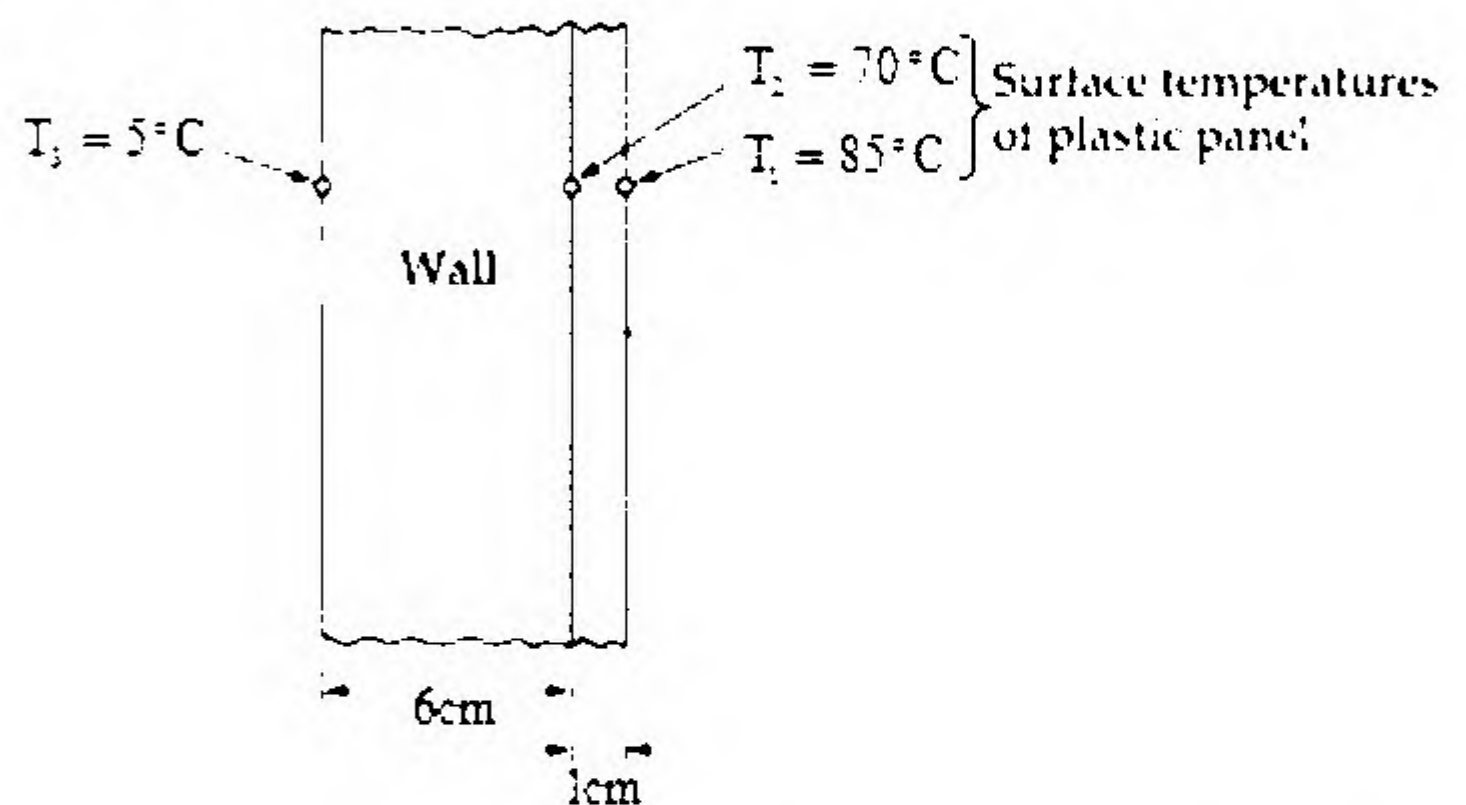
۴- هر یک از جملات شکل دیفرانسیلی قانون بقای انرژی را معرفی کنید. این معادله را برای جریان گازی که در میان دو استوانه پوسته‌ای هم مرکز و متخلخل جریان دارد به نحوی که هوای خشک گرم با سرعتی کم و به صورت شعاعی از پوسته داخلی به پوسته خارجی استوانه منتقل می‌شود، ساده کنید. این گاز ایده‌آل، جریان پایدار و آرام است.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho \hat{U} \right) = -\dot{\nabla} \cdot \left(\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho \hat{U} \right) \dot{v} - \dot{\nabla} \dot{q} - \dot{\nabla} \cdot p \dot{v} - \dot{\nabla} [\dot{\tau} \cdot \dot{v}] + \rho (\dot{v} \cdot \dot{g})$$

$$v_r = \frac{4}{r}$$

۱- قانون فوریه را در حالت عمومی بنویسید. وابستگی ضریب هدایت حرارتی به دما در گازها، مایعات و جامدات چگونه است؟ مقدار آن را برای این سه فاز با هم مقایسه نمایید.

۲- یک دیواره با یک ورق پلاستیکی پوشش داده شده است با نوشتن موازنه پوسته‌ای معادله دیفرانسیل انرژی حاکم بر دیواره و پوشش را بدست آورید. با توجه به شکل شروط مرزی هر معادله را نوشته و معادلات را حل نمایید. توزیع دما در دیواره و پوشش را بدست آورید و میزان شار حرارتی را در فاصله 3cm از دیواره محاسبه کنید. (ضریب هدایت دیواره 2 W/m.K و ضریب هدایت پوشش پلاستیکی 0.4 W/m.K است)



۳- الف) هر کدام از جملات معادله زیر را معرفی نمایید.

ب) معادله دیفرانسیل را برای جریان گازی که در سیستم زیر جریان دارد، ساده کنید.

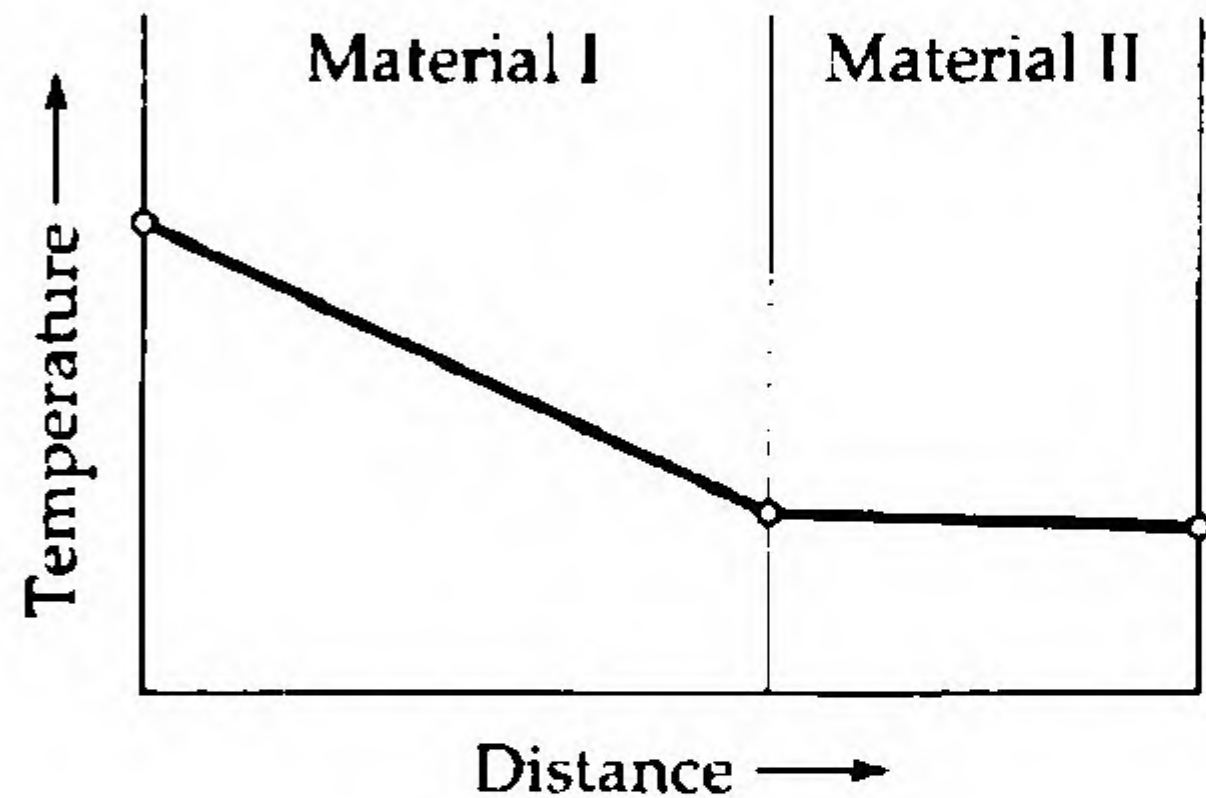
دو استوانه پوسته‌ای هم مرکز و متخلخل وجود دارند که هوای خشک گرم با سرعتی کم و به صورت شعاعی از پوسته داخلی به پوسته خارجی منتقل می شود. گاز ایده آل، جریان پایدار و آرام است. تغییرات سرعت با شعاع در زیر آمده است.

$$\nabla = \delta_r \frac{\partial}{\partial r} + \delta_\theta \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} + \delta_z \frac{\partial}{\partial z}$$

۱- مرتبه عدد پراندل را در گازها و مایعات مقایسه کنید.

۲- فلاکس انرژی ترکیبی (c) شامل چه انرژی هایی است رابطه آن را بنویسید و هر جمله را معرفی نمایید.

۳- توزیع دمای پایدار در یک صفحه پوشش داده شده به شکل زیر است کدام ماده ضریب هدایت حرارتی بالاتری دارد؟ با نوشتن روابط توضیح دهید.



۴- توزیع دمای پایدار در جهت شعاع را برای یک سیم مسی به شعاع 5 میلیمتر با ضریب هدایت حرارتی $100W/m.K$ که با عبور جریان برق از آن گرمایی معادل $Se = 100J/m^3.S$ تولید می کند را بدست آورید. بیشینه دما در این سیم چقدر است؟

۵- معادله دیفرانسیل عمومی انرژی در چه شرایطی به معادله زیر تبدیل می شود.

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \hat{H} = -(\nabla \cdot \rho \hat{H} v) - (\nabla q) - (\tau : \nabla v) + \frac{Dp}{Dt}$$
$$\rho \hat{C}_p v_x \frac{dT}{dx} = \frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right)$$

۶- یک دیواره فلزی به ضخامت 2b در ابتدا در دمای T_0 است که به طور ناگهانی هر دو طرف آن در دمای T_1 قرار می گیرد. با نوشتن موازنه انرژی پوسته ای در حالت ناپایدار معادله دیفرانسیل را بدست آورده و پس از حل آن توزیع دما را به صورت تابعی از زمان و ضخامت، $T(t, y)$ ، بدست آوردید.

۷- سرعت افت حرارت توسط انتقال حرارت جابجایی آزاد به ازای واحد طول یک لوله افقی طویل با قطر خارجی 4cm را محاسبه کنید. اگر دما در سطح خارجی 30 درجه سلسیوس و هوای اطراف 10- درجه سلسیوس با فشار یک اتمسفر باشد.

$$Nu = 0.772(Gr.Pr)^{0.25}$$

$$Gr = g(D^3)B(\Delta T)(\rho/\mu)^2$$

$$Pr = C_p.\mu/k$$

$$B = 0.002 / K, C_p = 1kJ / kg.K, k = 0.08W / m^2.K, \mu = 0.00002kg / m.s, \rho = 1.16kg / m^3$$

- ۱- ضریب هدایت حرارتی مخلوط کلر- هوا در دمای 297K و فشار 1atm را برای کسرهای مولی کلر برابر با 0.25، 0.5 و 0.75 را بدست آورید. در صورت نیاز از اطلاعات زیر استفاده نمایید.

ماده	$\mu(\text{Pa.s})$	$k(\text{W/m}\cdot\text{K})$	$\hat{C}_p(\text{J/kg}\cdot\text{K})$
هوا	1.854×10^{-5}	2.614×10^{-2}	1.001×10^3
کلر	1.351×10^{-5}	8.960×10^{-3}	4.798×10^2

$$\Phi_{\alpha\beta} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left(1 + \frac{M_\alpha}{M_\beta} \right)^{-1/2} \left[1 + \left(\frac{\mu_\alpha}{\mu_\beta} \right)^{1/2} \left(\frac{M_\alpha}{M_\beta} \right)^{1/4} \right]^2$$

$$k_{\text{mix}} = \sum_{\alpha=1}^N \frac{x_\alpha k_\alpha}{\sum_{\beta} x_\beta \Phi_{\alpha\beta}}, \quad M_{\text{air}} = 28.97, \quad M_{\text{chlorine}} = 70.91$$

- ۲- کره گرم شده‌ای به شعاع R در حجم بزرگی از سیال ساکن قرار دارد. مطالعه هدایت حرارتی در سیال اطراف کره در غیاب جابجایی مورد نظر است.
الف) معادله دیفرانسیلی برای توصیف دمای T در سیال اطراف به صورت تابعی از r، فاصله از مرکز کره بدست آورید.

- ب) از معادله دیفرانسیل انتگرال گرفته و رابطه توزیع دما را بصورت تابعی از r بدست آورید.
ج) با استفاده از رابطه توزیع دما، عبارتی برای شار حرارتی در سطح بدست آورید.

- ۳- معادله کلی انرژی را بنویسید و هریک از ترم‌های آن را به اختصار توضیح دهید.

- ۴- اعداد بدون بعد پکلت (Pe) و برینکمن (Br) در انتقال حرارت چه مفهومی دارند؟ رابطه آن‌ها را به صورت نسبت‌های گرمایی نوشته و توضیح دهید. کوچک بودن عدد برینکمن به چه معنی است؟

- ۵- یک ماده جامد که فضایی را از $y = 0$ تا $y = \infty$ اشغال می‌کند، ابتدا در دمای T_0 قرار دارد. در زمان $t = 0$ دمای سطح واقع در $y = 0$ به طور ناگهانی به T_1 افزایش می‌یابد و برای $t > 0$ در این دما باقی می‌ماند. مطلوبست توزیع دمای وابسته به زمان $T(y, t)$.

۶- کره ای جامد به قطر 1 in در معرض جریانی از هوا با سرعت 100 ft/s ، دمای 100°F و فشار 1 atm قرار می‌گیرد. دمای سطح کره با استفاده از یک کویل الکتریکی که داخل کره قرار دارد در 200°F نگه داشته می‌شود. نرخ تولید حرارت الکتریکی بر حسب cal/s چقدر باشد، تا شرایط مذکور برقرار باشد. در صورت نیاز از اطلاعات زیر استفاده نمایید.

$$\rho = 1.042 \times 10^{-3} \text{ gr/cm}^3,$$

$$\mu = 2.023 \times 10^{-4} \text{ gr/cm} \cdot \text{s},$$

$$\bar{C}_p = 1.008 \text{ J/gr} \cdot \text{K},$$

$$k = 26.9 \times 10^{-3} \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$Nu_m = 2 + 0.60 \text{Re}^{1/2} \text{Pr}^{1/3}$$

$$1\text{ ft} = 12\text{ in}, \quad 1\text{ in} = 2.54\text{ cm},$$

$$1\text{ cal} = 4.1855\text{ J}, \quad T^{oF} = 1.8T^{oC} + 32$$

۷- فرمول بردار شار انرژی ترکیبی (e) را بنویسید و هریک از ترم‌های آن را توضیح دهید.

- ۱- همه مراحل لازم جهت دستیابی به معادله تغیی برای دما را خلاصه کنید.
- ۲- ضریب انتقال گرما، عدد نوسلت، عدد استانتون و چیلتون-کولبورن را تعیین کنید. هر یک از این ژارامترها را چگونه می توان تزئین کرد تا نیروی رانش مبتنی بر اختلاف دمای مورد استفاده را نشان دهد؟
- ۳- قیاس رینولدز (Reynolds AnalogY) چیست و چه کاربردهایی دارد؟
- ۴- عدد بدون بعد برینکمن (Br) در انتقال حرارت چه مفهومی دارد؛ رابطه آن را نوشته و توضیح دهید کوچک بودن عدد برینکمن به چه معنی است.
- ۵- الف) ضریب هدایت حرارتی متان (CH_4) را در دمای $1500K$ و $1.37atm$ تخمین بزنید. گرمای ویژه مولی در فشار ثابت در $1500K$ برابر $20.71cal/gmole.K$ است.
ب) عدد پرائتل (Pr) در همان دما و فشار را محاسبه کنید.
در صورت نیاز از اطلاعات داده شده استفاده کنید.

$$K = 1.9891 \times 10^{-4} \frac{\sqrt{T/M}}{\sigma^2 \Omega_K} \quad (\text{monatomic gas})$$

$$K = \frac{15}{4} \frac{R}{M} \mu = \frac{5}{2} \hat{C}_v \mu \quad (\text{monatomic gas})$$

$$k = \left(\hat{C}_p + \frac{5}{4} \frac{R}{M} \right) \mu \quad (\text{polyatomic gas})$$

$$Pr = \frac{\hat{C}_p \mu}{K} = \frac{\hat{C}_p}{\hat{C}_p + \frac{5}{4} \frac{R}{M}} \quad (\text{polyatomic gas})$$

$$\mu = 2.6693 \times 10^{-5} \frac{\sqrt{MT}}{\sigma^2 \Omega_\mu}$$

$$\mu = \frac{2}{3} \frac{\sqrt{mKT/\pi}}{\pi d^2} = \frac{2}{3\pi} \frac{\sqrt{\pi mkT}}{\pi d^2}$$

$$M = 16.04 \quad \sigma = 3.780 \quad \varepsilon/k = 154 \quad kT/\varepsilon = 9.740$$

$$\Omega_\mu = 0.8280$$

- ۶- یک سیم برق با مقطع مدور به شعاع R و هدایت الکتریکی $Ke \text{ ohm}^{-1}cm^{-1}$ را در نظر بگیرید. از این سیم جریان الکتریکی با دانسیته جریان $I \text{ amp/cm}^2$ عبور می کند. انتقال جریان الکتریکی، فرایندی برگشتناپذیر است و بخشی از انرژی الکتریکی به حرارت (انرژی حرارتی) تبدیل می شود. نرخ تولید حرارت در واحد حجم از رابطه زیر به دست می آید:

$$S_e = \frac{I^2}{k_e}$$

- کمیت S_e چشمه حرارتی حاصل از اتلاف الکتریکی است. سطح سیم در درجه حرارت T_0 نگه داشته می شود. با استفاده از موازنه انرژی برای یک المان پوسته ای از سیم؛ رابطه توزیع دما در سیم را بدست آورید.

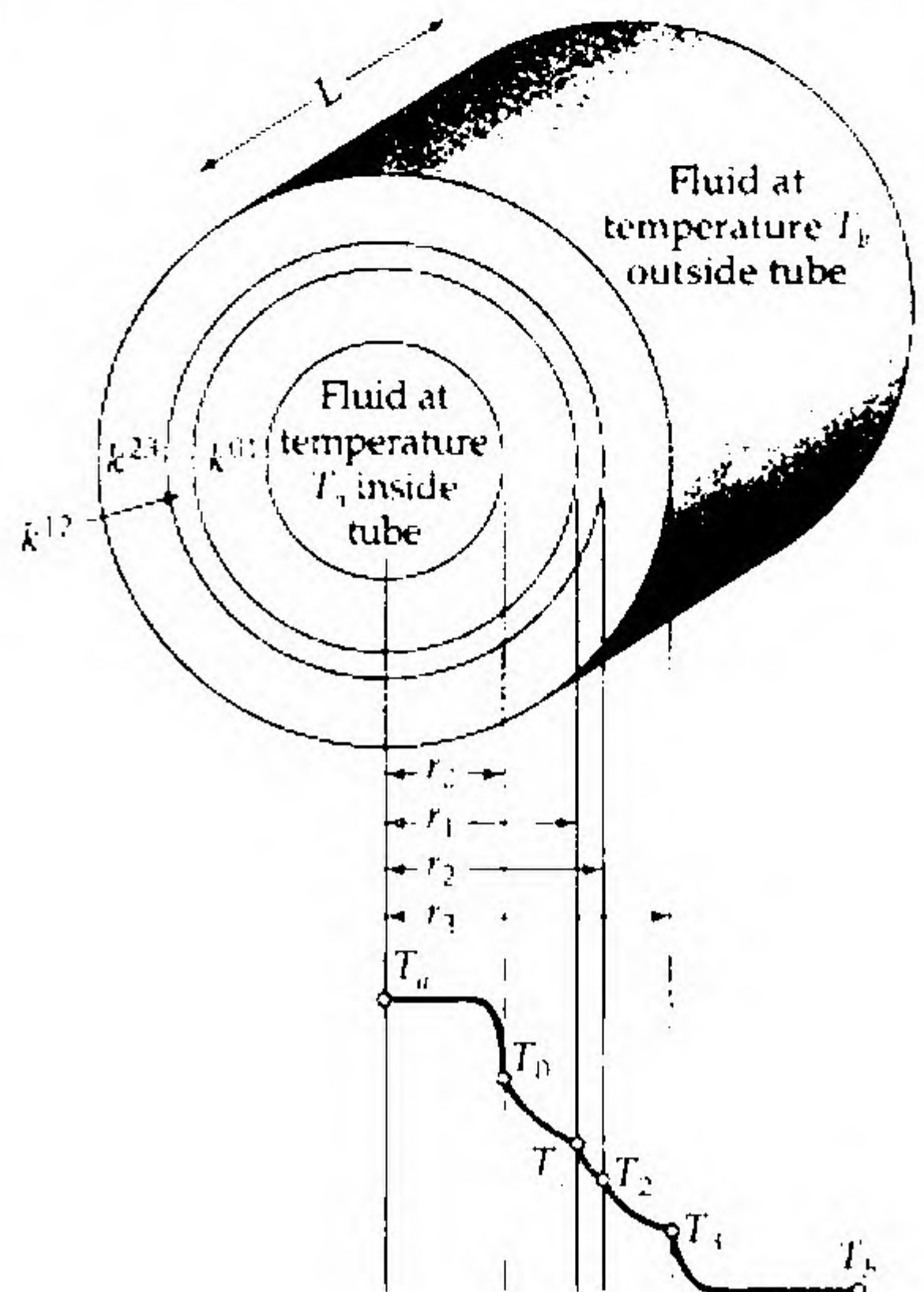
۱- چگالی CCl_4 مایع در 20°C و فشار یک اتمسفر برابر 1.595g/cm^3 و تراکم پذیری همدمای آن $(1/\rho)(\partial\rho/\partial P)_T$ برابر $90.7 \times 10^{-6}\text{atm}^{-1}$ است. مطلوب است تعیین رسانندگی گرمایی این مایع. جرم

$$k = 2.8(\tilde{N}/\tilde{V})^{2/3} K v_s, \quad v_s = \sqrt{\frac{C_p}{C_v} \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_T} \text{ می باشد.}$$

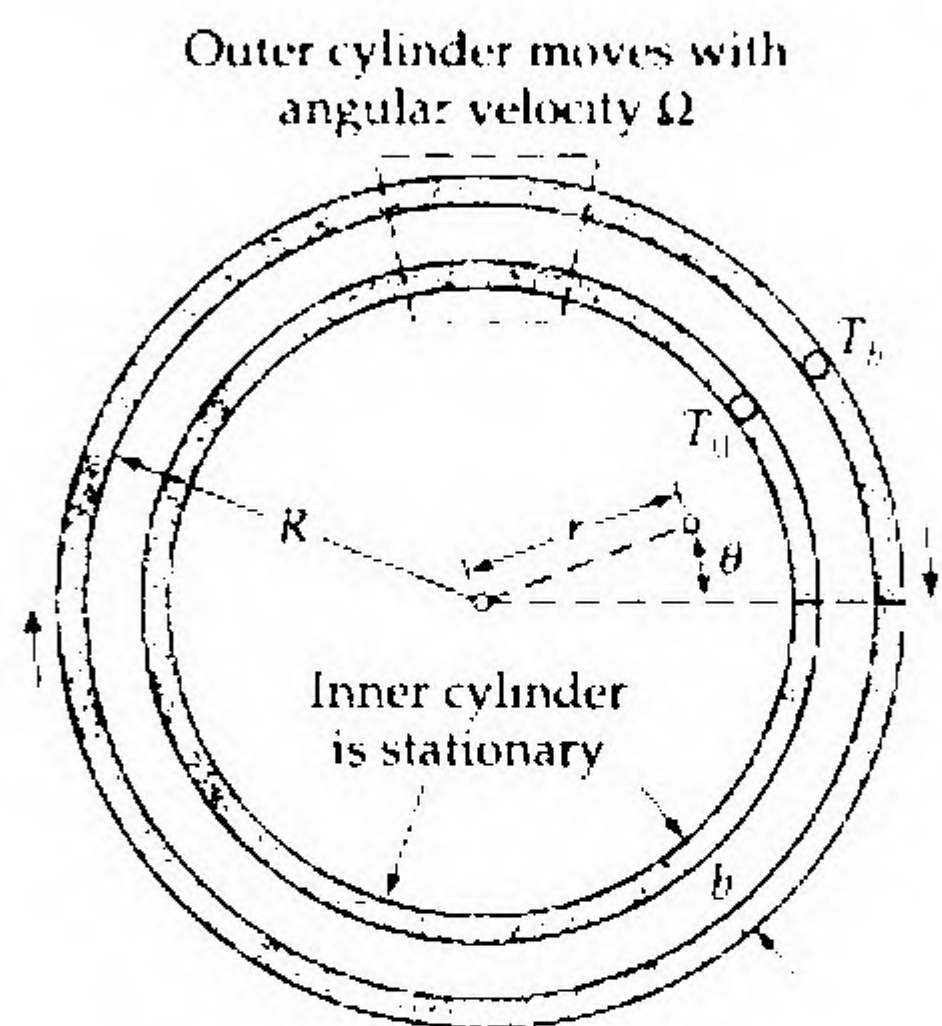
مولکولی CCl_4 مایع 153.84 می باشد.

۲- سیم برقی با مقطع مدور به شعاع R و رسانندگی الکتریکی $k_e (\text{ohm}^{-1}\text{cm}^{-1})$ را در نظر بگیرید. از این سیم جریانی الکتریکی با چگالی $I (\text{amp/cm}^2)$ می گذرد. انتقال جریان الکتریکی فرآیندی برگشت ناپذیر است و بخشی از انرژی الکتریکی به گرما (انرژی گرمایی) تبدیل می شود. آهنگ تولید گرما در واحد حجم از عبارت $S_e = I^2 / k_e$ به دست می آید. کمیت S_e منبع گرمای حاصل از اتلاف الکتریکی است. در این جا فرض می کنیم که افزایش دما در سیم به اندازه ای زیاد نیست که لازم باشد وابستگی دمایی رسانندگی گرمایی یا الکتریکی را در نظر گرفت. سطح سیم در دمای T_0 نگه داشته می شود. توزیع شعاعی دما در داخل سیم را به دست آورید. افزایش دمای ماکزیمم و جریان خروجی از سطح را محاسبه کنید.

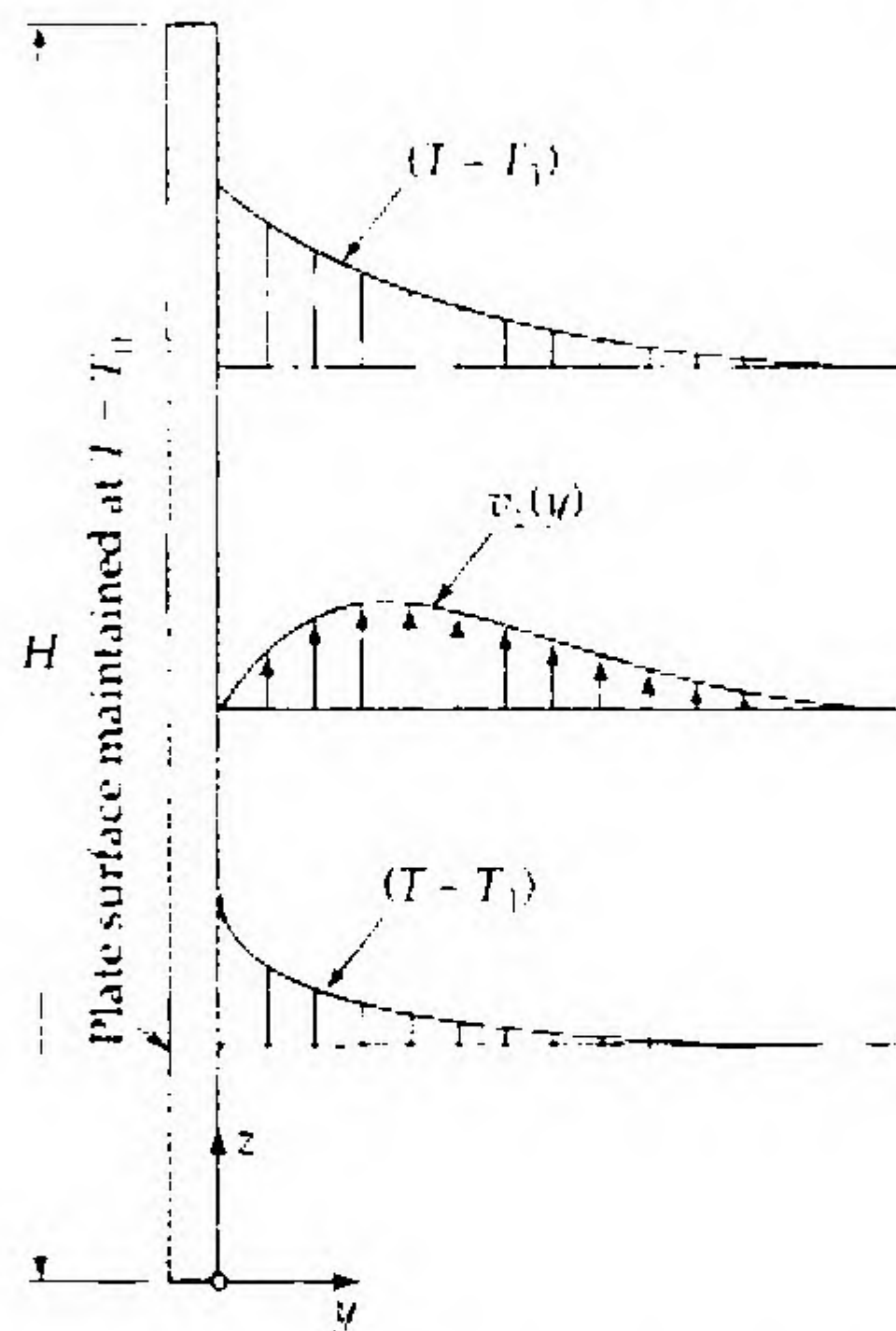
۳- فرمولی برای ضریب انتقال گرمای کلی جدار مرکب لوله استوانه ای نشان داده در شکل زیر بدست آورید.



۴- مطلوب است تعیین توزیع دما در مایع تراکم ناپذیر محصور بین دو استوانه هم محور که استوانه خارجی با سرعت زاویه ای پایای Ω_0 می چرخد. نسبت دو شعاع داخلی و خارجی (k) را کوچک در نظر بگیرید تا بتوان انحنای خطوط جریان سیال را به حساب آورد. دمای سطوح داخلی و خارجی ناحیه حلقوی را به ترتیب در T_k و T_l ثابت نگه می داریم و می دانیم که $T_l \neq T_k$. جریان را آرام و پایا فرض کنید و از وابستگی خواص فیزیکی به دما چشم پوشی کنید.



۵- صفحه ای تخت به ارتفاع H و عرض W ($W \gg H$) را تا دمای T_0 گرما می دهند و در پهنه بزرگی از سیال آویزان می کنند. دمای سیال T_1 و برابر دمای محیط است. در همسایگی صفحه داغ، سیال بر اثر نیروی شناوری بالا می رود (طبق شکل). از معادلات تغییر، وابستگی اتلاف گرما به متغیرهای سیستم را استنتاج کنید. خواص فیزیکی سیال ثابت فرض می شوند و فقط با استفاده از تقریب بوسینسک، تغییر چگالی با دما به حساب آورده می شود.



۶- ماده ای جامد که فضایی را از $y = 0$ تا $y = \infty$ اشغال می کند، ابتدا در دمای T_0 است. در زمان $t = 0$ دمای سطح واقع در $y = 0$ به طور ناگهانی به T_1 افزایش می یابد و به مدت $t > 0$ در این دما نگه داشته می شود. مطلوب است تعیین توزیع دمای وابسته به زمان ($T(y, t) = ?$).