

高等

数学 基重

工程热力学习题集

苏联B.A.克里林 A.E.欣德林著

电力工业出版社

高 等 学 校 教 学 用 书

工 程 热 力 学 习 题 集

苏联B.A. 克里林 A.E. 欣德林 著
張 成 錫 译

苏联高等教育部审定作为高等工业学校教学参考书

电 力 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本習題集包括動力學院熱工專業“工程熱力學”課程各章節的習題，特別着重的是“熱力裝置”一節。

習題集的前部分是題目，後部分是解答。

因為讀者在運用本習題集時已有該課程的教科書，故在本習題集中就不再有任何理論敘述部分。

В. А. КИРИЛЛИН А. Е. ШЕЙНДЛИН

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ

根據蘇聯國立動力出版社 1949 年莫斯科版譯

書號 301

工 程 熱 力 學 習 題 集

張 成 錫 譯

電力工業出版社出版（北京府右街 26 號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第 082 號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：劉玉枝 朱雅軒 校對：趙迦南

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 8 $\frac{1}{2}$ 印張 * 215 千字 * 印 1—2,600 冊

1956 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

定價（第 8 類）1.36 元

原 序

这本習題集，作者是根据 1949 年所審定的動力学院熱工專業適用的工程熱力学教学大綱而編寫的。無論在材料的編排或篇幅的处理方面都符合於这个大綱。因此，这本習題集首先適用於動力学院熱工專業的学生們。除此以外，本書也適合於其他許多專業，尤其是高等学校各科系動力專業的工程熱力学教学大綱。作者同样希望这本習題集能對一切願意認真學習工程熱力学的人們有所幫助。

近幾年來，我們祖國（苏联）的力能學向前邁進了一大步。这是由於大量运用高压与高溫蒸汽，由於在燃气輪机方面進行了巨量的工作，以及由於最新出現的更完善的標準材料，首先是關於水蒸汽和气体熱容量的材料的結果。所有这一切都反映於本書內。很大一部分習題是按照高參數蒸汽，現代內燃机（包括燃气輪机在內）以及現代蒸汽動力裝置而編定的。考慮到提高蒸汽動力裝置运行的經濟性的特殊意义，因而特別注意確定最大可能的有效功、計算实际过程的不可逆性以及与之相联系的功的損失。在附錄中附有很多参考材料，其中包括 М. П. 烏卡洛維奇（Вукалович）的最新水蒸汽表，由莫斯科莫洛托夫動力学院（МЭИ）和捷尔任斯基全苏熱工研究所（ВТИ）所共同研究而製定的工程上各主要气体的熱容量表，以及湿空气的 $i-d$ 圖等。

本習題集以莫斯科莫洛托夫動力学院熱工学理論基礎教研室所積累的經驗和許多材料作为基礎。作者仔細地参考了早已出版的工程熱力学方面的習題集，其中有 С. Н. 華西里也夫（Васильев）、А. В. 克瓦斯尼柯夫（Квасников）、М. В. 諾索夫（Носов）和 Н. А. 庫狄林（Кутырин）的習題集，並尽量吸取了他們的經驗。

本習題集的全部習題都是由作者所編寫和解答的。所有的習題都有答案，而一部分典型的和比較複雜的習題還有詳細的解法。

作者認為有必要對評閱者 Я. М. 魯濱什傑恩 (Рубинштейн) 的許多有價值的批評與勸告以及 Н. А. 基麗林娜 (Кириллина) 所完成的細緻的製圖工作致以真誠的感謝。

作者將愉快地听取並以感激的心情接受讀者們的批評和意見。

目 錄

原序

符号	4
習題	6
参数	6
熱力学第一定律	8
永久气体（完全气体）及其基本定律	9
熱容量	16
混合气体	18
基本的气体过程	26
熱力学第二定律及 Ts 圖	38
气体循环	41
实际工質。水蒸汽	64
(1) 一般關係	64
(2) 基本熱力过程	71
气流熱力学	80
(1) 气体的流動和節流	80
(2) 水蒸汽流的流動、節流和混合	82
蒸汽動力循环	88
製冷裝置循环	97
濕空气	101
化学过程的熱力学	103
習題的答案和解法	106
附錄	221

符 号

$A = \frac{1}{427}$ 大卡/公斤·公尺——功的熱当量。

B 公斤/時——燃料量。

C 公尺/秒——气流速度。

c, c_p, c_v 大卡/公斤·度——重量比熱。

d 公斤蒸汽/公斤乾空气——濕量。

$\epsilon = \frac{Q_{0x.1}}{Al}$ ——製冷係數。

$\eta_t = \frac{Al}{q}$ ——熱效率。

F 公尺²——截面面積。

q ——速度係數。

q ——空气的相对濕度。

ψ ——空气的飽和度。

G 公斤或公斤/秒——物質的重量。

$g = 9.81$ 公尺/秒²——重力加速度。

g 公斤/公斤——在混合气体中'气体的重量百分數。

γ 公斤/公尺³——重度。

h 公尺——幾何高度。

1 大卡——焓。

i 大卡/公斤——單位重量的焓。

°K——絕對溫標（凱氏溫標）。

$k = \frac{c_p}{c_v}$ ——絕熱曲綫指數。

l 公斤·公尺/公斤——單位重量的功。

M ——摩尔數。

μ 公斤——摩尔重量；或分子量
(不名數)。

$\mu c, \mu c_v, \mu c_p$ 大卡/摩尔·度——摩尔熱容量。

n ——多变曲綫指數。

1 标准公尺³ = 1 摩尔理想气体容積的 $\frac{1}{22.4}$ ——标准公尺³ (數
量的單位)。

p 公斤/公尺²——压力。

Q 大卡——熱量。

q 大卡/公斤——單位重量的熱量。

R 公斤·公尺/公斤·度——气体常數。

S 大卡/°K——熵。

s 大卡/公斤·°K——單位重量的熵。

T °K——絕對溫度。

t °C——百度溫標的溫度刻度。

τ 秒——時間。

U 大卡——內能。

u 大卡/公斤——單位重量的內能。

V 公尺³——容積。

v 公尺³/公斤——比容。

x 公斤/公斤——蒸汽含量, 蒸汽的乾度。

習 題

(註：* 星号的習題，後面附有詳解)

參 數

1*. 在海平面上，高度 $H_1=2000$ 公尺处空气的压力 p_1 为 0.7 絕對大气压，而在高度 $H_2=6000$ 公尺处的压力 $p_2=0.5$ 絕對大气压。試根据这些數據，並取海平面上 ($H_0=0$) 空气压力 $p_0=1$ 絕對大气压，求在高度 $H_3=4500$ 公尺处空气的压力 p_3 。用 H 的冪級數形式寫出空气的压力 p 和海平面上高度 H 之間關係的插入方程式。對於所有这四點，即：(1) $H_0=0$ ；(2) $H_1=2000$ 公尺；(3) $H_2=6000$ 公尺；(4) $H_3=4500$ 公尺，試計算空气的压力为多少物理大气压，多少克/公厘²，多少公斤/公分² (工程大气压)，多少公斤/公尺²，多少噸/公尺²，多少公厘水銀柱和多少公厘水柱。

2. 鍋爐中的剩餘压力用彈簧压力表量出为 $p_{H36}=32.3$ 表大气压，凝汽器中的真空度按真空表的讀數为 $p_{vac}=710.6$ 公厘水銀柱。

若大气压力 $B=740$ 公厘水銀柱，試求鍋爐及凝汽器中的絕對压力。又若电廠位於拔海 2500 公尺处，求 (利用上題所得的方程式) 当鍋爐及凝汽器中的絕對压力不变時，压力表及真空表的讀數应如何？这时在海平面上的大气压力可認為等於 1 工程大气压。

3. 按百度溫标，水的冰點为 0°C ，而水的沸點为 100°C ①。

① 水的冰點和沸點係取压力極近似於 1 絕對大气压時的數值 (參閱本書附錄中的飽和水蒸汽表)。

在英國和美國，至今仍沿用華氏溫標，水的冰點為 32°F ，沸點為 212°F 。

試寫出將物體溫度的數值和物體溫度的改變值由華氏溫標度數化為百度溫標度數，以及反過來由百度溫標度數化為華氏溫標度數的換算方程式。求 86°F 和 -4°F 各相當於百度溫標若干度， 500°C 和 -5°C 各相當於華氏溫標若干度？

4. 英國和美國在工程上量壓力時，不顧已經規定了的國際標準，仍採用英制，即每平方吋上 1 磅或 $1\text{ 磅}/\text{吋}^2$ 這個單位（ $1\text{ 吋}=25.4\text{ 公厘}$ ， $1\text{ 磅}=0.4536\text{ 公斤}$ ）。

求由 $\text{磅}/\text{吋}^2$ 化為 $\text{公斤}/\text{公分}^2$ 及由 $\text{公斤}/\text{公分}^2$ 化為 $\text{磅}/\text{吋}^2$ 的換算係數。 1.35 和 100 工程大氣壓各等於若干 $\text{磅}/\text{吋}^2$ ？

5. 在蘇聯，正在進行設計並製造用高初參數。水蒸汽運行的功率巨大的汽輪機。例如，預料用初壓力 $p_0=170$ 絕對大氣壓和初溫度 $t_0=550^{\circ}\text{C}$

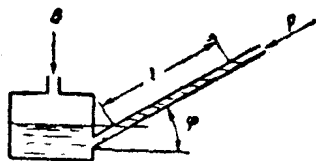


圖 1

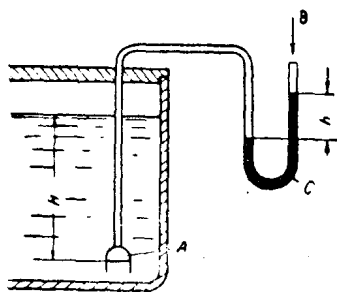


圖 2

的水蒸汽運行的汽輪機已經被製造出來了。

試將壓力 p_0 化為 $\text{磅}/\text{吋}^2$ ，溫度 t_0 化為 $^{\circ}\text{F}$ 。

6. 當蒸汽經過鍋爐設備的過熱器時，溫度升高了 360°F 。

若用 $^{\circ}\text{C}$ 表示，則溫度增加了多少？

7. 在鍋爐設備的煙道中，因受吸風機工作的影響，它的壓力略低於大氣壓力。煙道中的真空度可用如圖 1 所示的斜管式通風表來測量。斜角 $\varphi=30^{\circ}$ 。通風表中所用的液體是重度 $\gamma=0.8$ 克/公分³ 的煤油。沿斜管上刻度的讀數 $l=200$ 公厘。

假定大气压力 $B = 745$ 公厘水銀柱，求烟道中的绝对压力。

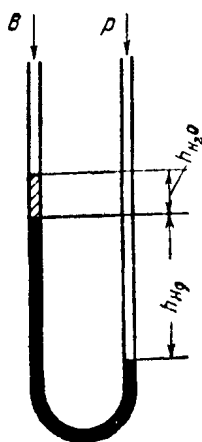


圖 3

8. 为了測量貯藏在封閉容器內液体燃料的存量(液面)，常用圖 2 中所示的由鐘形口 A 和 U 形压力表 C 所構成的設備。

若压力表的讀數 $h = 220$ 公厘水銀柱，燃料重度 $\gamma = 0.84$ 噸/公尺³，試求燃料層的高度 H 。

9. 由於水銀蒸汽對於人体的組織有害，故在水銀液面上常注入一層水，以防止水銀蒸汽產生。

假定 U 形压力表 (圖 3) 的水銀柱高度 $h_{Hg} = 450$ 公厘，水銀液面上水柱的高度 $h_{H_2O} = 100$ 公厘，大气压力 $B = 740$ 公厘水銀柱，試求空气管中的绝对压力为多少工程大气压？

熱力学第一定律

10. 水从 $H = 75$ 公尺的高处落下來，温度升高多少度？此時可以假定水与外界無熱量交換，而且所有落能全部積蓄在水的内部。

若水銀从同样高度处落下，求温度升高多少度？

水及水銀的比熱各为

$$G_{H_2O} = 1 \text{ 大卡/公斤} \cdot \text{度},$$

$$C_{Hg} = 0.035 \text{ 大卡/公斤} \cdot \text{度}.$$

11. 一个重量 $G_m = 250$ 公斤的錘，从 $H = 1.5$ 公尺的高处落下來，假定錘落下的能量全部变为熱，並且这熱全部傳給鉛，求利用此錘的打撃能使多少鉛受熱到熔點温度？鉛的初温度 $t_1 = 25^\circ\text{C}$ ，熔點 $t_{m, \text{Pb}} = 327^\circ\text{C}$ ，鉛的比熱可以看成是常數，並且等於 $c_{Pb} = 0.031$ 大卡/公斤·度。

12. 測量熱量常用的工程單位為大卡 (仟卡), 大家都知道, 它是加熱 1 公斤化學純水使其從 19.5°C 升高到 20.5°C ① 所需的熱量。但在英國和美國測量熱量時, 採用所謂英熱單位 (BTU), 它等於加熱 1 磅水 (1 磅 = 0.4536 公斤) 使其溫度升高 1°F 所需的熱量。

求 1 BTU 等於多少大卡和多少公斤·公尺。500 和 10 000 大卡各相當於多少 BTU?

13. 求 1 馬力·時和 1 瓩·時的熱當量。已知 1 馬力 = 75 公斤·公尺/秒及 1 瓩 = 1.36 馬力。

14. 將一只功率為 300 瓦特的電沸水器放在 1.5 公升水中去加熱。

假定和周圍的物質沒有熱交換, 水的初溫度是 20°C , 求將水熱到沸點所需要的時間 τ 。

15. 在運行試驗中, 特別是當試驗發動機時, 需要用制動器 (測功器) 加負荷。為了避免制動設備過分受熱, 通常用水來冷卻它。

假定機器的功率為 50 瓩, 冷卻水容許升高的溫度為 40°C , 並設由摩擦所生熱的 25% 傳給外界, 而其餘 75% 傳給冷卻水。求用於冷卻制動器的水每小時的最大流量。

永久氣體 (完全氣體) 及其基本定律②

16. 一只具有可移動活塞的汽缸中盛有溫度 $t_1 = 100^{\circ}\text{C}$ 的氣體; 汽缸內的真空度 $h = 350$ 公厘水銀柱。氣體在等溫下被壓縮

① 按蘇聯標準 6259 規定水的溫度, 是因為水的比熱隨溫度的變化而略有變化。

② 凡精確地服從熱狀態方程式 $Pv = RT$ 的氣體, 就叫它做完全氣體或理想氣體。實際氣體的壓力愈低和溫度愈高, 則其性質愈接近理想氣體。在很多情況下, 理想氣體的定律具有實際的用途 (例如, 用於鍋爐爐煙, 用於活塞式內燃機、燃氣輪機及噴射式發動機的燃燒產物)。

求解本篇中的習題時, 我們都把氣體的熱容量當作定值而與溫度無關。

到 $p_2 = 10$ 表大气压。

設已知大气压力 $B = 750$ 公厘水銀柱，求气体的容積減少多少倍？

17*. 大家都知道，理想气体在等压下受熱時，温度每升高 1°C ，容積即膨脹相當於它在 0°C 時所佔容積的 $\frac{1}{273.2} \approx \frac{1}{273}$ 。係數

$\alpha = \frac{1}{273}$ 称为气体的熱膨脹係數。

假定不选 0°C 而选 $t' = 100^\circ\text{C}$ 和 $t'' = 300^\circ\text{C}$ 作为初状态，試求相当的 α' 和 α'' 的數值。

18. 試对一氧化碳、二氧化碳和空气分別計算，温度为 $t' = 0^\circ\text{C}$ 、 $t'' = 100^\circ\text{C}$ 和 $t''' = 500^\circ\text{C}$ 時等温方程式的常數 c' 、 c'' 和 c''' 的數值各为多少公斤·公尺/公斤。解題時，必須利用表 1（參看附錄）的數據。

19*. 一气球內盛有氫气，若气球在最大高度 $H = 6000$ 公尺处应当有上升力 3.5 噸，假設在 6000 公尺高度处的压力为 0.5 絕對大气压，温度为 0°C ，試求气球必需的容積。

若为了避免危險起見，气球中不充氫气而換以不燃燒的气体——氦，則上升力的变化如何？

又若飛機場上的压力为 1 絕對大气压，温度为 20°C ，則气球在飛機場上的容積如何？

解題時必須应用表 1 的數據。

21. 有一个球囊容積 $V = 150\,000$ 公尺³的輕气球，在空气压力 $p = 0.9$ 絕對大气压的高空 $H \approx 1000$ 公尺处，由温度 $t_1 = 5^\circ\text{C}$ 的空气層飛到温度 $t_2 = 15^\circ\text{C}$ 的空气層。

假定球內气体的温度和外界温度的勻和進行得非常緩慢，試求在这种情况下气球的上升力变化了多少，以及其变化的方向怎样？

21. 內盛氮气的电灯泡 (圖 4), 当外界温度 $t_{ep}=25^{\circ}\text{C}$ 和压力 $B=760$ 公厘水銀柱時, 灯泡內的真空度 $p_{\text{вак}}=200$ 公厘水銀柱。通电並当情况穩定後, 灯泡內球形部分的温度 $t_1=160^{\circ}\text{C}$, 而柱形部分的温度 $t_2=70^{\circ}\text{C}$ 。

假定灯泡球形部分的容積为 90 公分³, 柱形部分的容積为 15 公分³。試求在穩定情况下灯泡內的压力。

22. 某重量的碳 G_c 公斤与 5 公斤的氮化合成气体, 在温度 $t=350^{\circ}\text{C}$ 和压力 $p=785$ 公厘水銀柱時, 此气体的重度 $\gamma=0.325$ 公斤/公尺³。

求所用碳的重量 G_c , 以及所生成的气体的分子量和化学式。

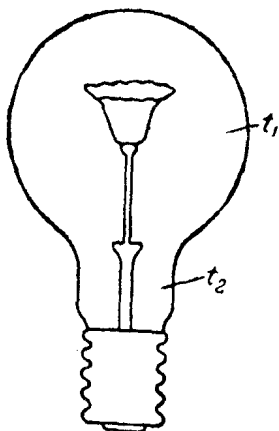


圖 4

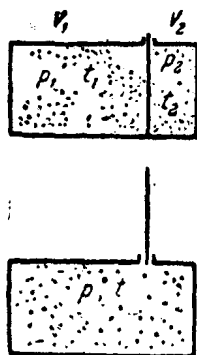


圖 5

23. 在 $t=500^{\circ}\text{C}$ 和 $p=1$ 絕對物理大气压時, 氮气和氮气化合成重度 $\gamma=0.268$ 公斤/公尺³的气体。

現在要製备 1 公斤这种气体, 試求在 $t=20^{\circ}\text{C}$ 和 $p=755$ 公厘水銀柱時, 氮气和氮气各应取若干容積?

2*. 在用隔板分隔的容器 (參看圖 5) 中盛有二氧化碳, 已知二氧化碳的初參數为: $p_1=430$ 公厘水銀柱, $t_1=170^{\circ}\text{C}$; $p_2=940$ 公厘水銀柱, $t_2=210^{\circ}\text{C}$ 。

又已知兩部分二氧化碳初容積之比為：

$$V_1:V_2=3.$$

求取去隔板後，在容器 (V_1+V_2) 內的壓力 p 和溫度 t_0 。

25. 某發動機(柴油機)在發動前，容積為 40 公升的儲氣筒中應具有 2.8 公斤的空氣。假定壓縮站所在地的溫度 $t_K=10^\circ\text{C}$ ，試求此儲氣筒在壓縮站充空氣時應達到的壓力。

又若將這儲氣筒移到柴油機機器房中去，機器房中的溫度 $t_M=25^\circ\text{C}$ ，求儲氣筒中空氣的壓力應增加到多少？

26*. 試求包括在雙層窗框空間中的空氣平均溫度 t_{cp} 和標準立方公尺數，假定沿空氣層的厚度溫度的變化規律為直線性質(圖 6)；靠外層玻璃的空氣層的溫度 $t_1=-10^\circ\text{C}$ ，靠內層玻璃的空氣層溫度 $t_2=20^\circ\text{C}$ 。又已知：窗高 $l_1=1.8$ 公尺，窗寬 $l_2=1.2$ 公尺，兩層玻璃間的距离 $\delta=0.25$ 公尺及大氣壓力 $B=770$ 公厘水銀柱。空氣的熱容量像對於本篇中其他的習題一樣，當作定值。解題時必須考慮空氣的重度 $\gamma_{\text{возд}}$ 隨溫度而變化。

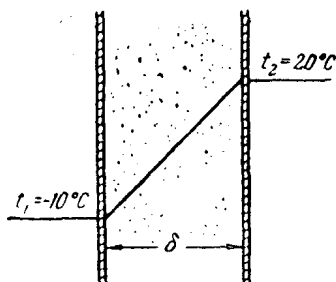


圖 6

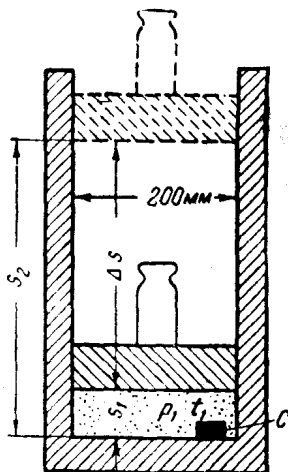


圖 7

27. 在一個容積為 2 公升的彈內，盛有壓力 $p=770$ 公厘水銀柱和溫度 $t=25^\circ\text{C}$ 的空氣。求在不完全燃燒(燃燒產物為一氧化碳 CO)和完全燃燒(燃燒產物為二氧化碳 CO_2)的情況下，炭在彈

內能燃燒的重量。假定空氣是由 76.6% 的 N_2 和 23.4% 的 O_2 所組成(按重量計)的。

28. 直徑為 200 公厘的圓筒在活塞初高度 $s_1 = 50$ 公厘時，內盛 $p_1 = 2.5$ 絕對大氣壓， $t_1 = 80^\circ C$ 的空氣和一小塊固體碳(圖 7)。由於一部分碳燃燒的結果，使空氣中所含的氧完全耗盡。燃燒產物為二氧化碳 CO_2 。

假定燃燒是在 $p = \text{常數} = 2.5$ 絕對大氣壓下進行的，且不計傳給圓筒的熱，求由於燃燒而生成的氣體所作的功。氣體的比熱可當作常數(這樣計算可以得到極近似的結果)。又已知：固體碳的比熱 $c_c = 0.31$ 大卡/公斤·度，碳完全燃燒時(產物為 CO_2)的發熱量為 8080 大卡/公斤。空氣的重量成分為 76.6% 的 N_2 和 23.4% 的 O_2 。

29*. 在密閉的充以空氣的彈內燃燒了一些固體碳，燃燒的結果使空氣中所含的氧完全耗盡。燃燒後，由於與周圍物質的熱交換，彈中溫度降低到開始時的數值(即變為燃燒前空氣的溫度)。

設研究的對象為理想氣體，試求在(a)進行完全燃燒(產物為 CO_2)及(б)進行不完全燃燒時，彈內的碳在未燃燒前與燃燒後並且冷卻到初溫度時壓力的相對變化。

30. 在一彈內盛有 10 公斤的 N_2 和 2 公斤的 H_2 ，此二氣體進行化合成為氣態氨 NH_3 。

假定反應後由於與周圍物質的熱交換，彈內氣體的溫度變為和開始時的溫度相等，試求彈內壓力的相對變化。

31. 氧氣的狀態決定於熱膨脹係數 $\alpha = 0.00128 \frac{1}{^\circ K}$ 和壓縮係數 $\lambda = 0.0286$ 公分³/公斤。

求在所給狀態下氧氣的比重 γ_{O_2} 。

32. 若已知： $\gamma = 5.65$ 公斤/公尺³， $\alpha = 0.003 \frac{1}{^\circ K}$ ， $p = 80$ 絕對大氣壓，求彈內盛的是什麼氣體。

33. 圖 8 中所示的儀器可以測量比大氣壓力略高的壓力。玻

璃管的末端盛以空气，弯曲部分为水银。在 $t_0=15^\circ\text{C}$ 和 $p_0=745$ 公厘水银柱时，两个管子中的水银面高度相等。

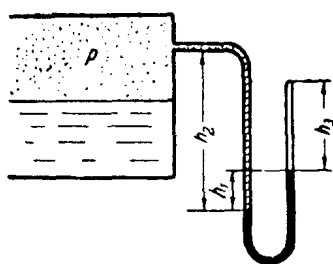


圖 8

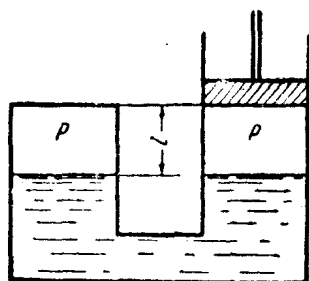


圖 9

若已知：玻璃管末端盛空气部分的温度 $t=30^\circ\text{C}$ ，水银面高度差 $h_1=300$ 公厘，盛空气部分的管的高度 $h_3=400$ 公厘，水银面上水柱的高度 $h_2=1000$ 公厘，求預热器中的压力 p 。

34. 圖 9 中所示是两个連通的容器，器內盛的液体是水，左边部分用盖盖住，右边部分裝了一个可移動的活塞。圖中所表示的是連通的兩個容器在同样压力 $p=1$ 絕對大气压时的情况，这时高度 $l=500$ 公厘。

假定要使右面的容器与左面容器液面的差为 500 公厘，求活塞应升高多少？

35. 圖 10 中所示为两个連通的容器。左边的容器藉一通風口与大气相通。圖中所示的为通風口關閉时的情况。左边容器內的压力 p_1 大於右边容器內的压力 p_2 ；压力差由高度为 h_1 的液柱所平衡。已知： $p_1=0.8$ 絕對大气压， $h_1=500$ 公厘， $l_1=1000$ 公厘，液体重度 $\gamma=1000$ 公斤/公尺³（水）。求開放通風口使左边

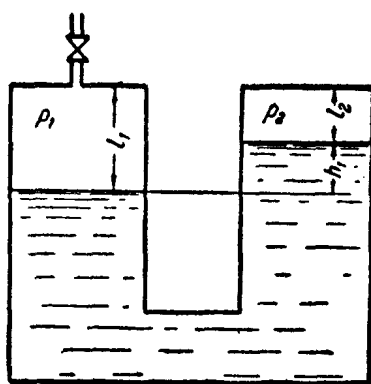


圖 10