
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2001/2002

Februari 2002

**IEK 205/3 - TEKNOLOGI KAWALAN
PENCEMARAN UDARA**

Masa : 3 jam

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi TIGA BELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab SEMUA (LIMA) soalan. Semua soalan mesti dijawab dalam Bahasa Malaysia.

Faktor penukaran unit terdapat dalam muka surat 12 dan 13.

...2/-

1. Terangkan mengenai salah satu daripada kajian kes IEK 205 yang telah dijalankan baru-baru ini.
(Nyatakan tajuk kajian kes dan abstraknya dengan jelas kemudian huraikan isi secara teratur).

(100 markah)

2. (a) Satu turus padatan (packed tower) digunakan untuk menyerap amonia dari suatu aliran gas sisa. Unit itu beroperasi pada 70% halaju banjir jisim gas sisa. Kadar aliran cecair sebenar ialah 30% lebih daripada takat minimum. Amonia yang dibenarkan terlepas ialah 10% daripada yang masuk ke dalam sistem. Cecair pelarut yang digunakan ialah air tulen. Kira tinggi dan diameter menara jika diberi maklumat berikut:

| | |
|---|-----------------------------------|
| Kadar aliran gas | = 5000 lb/h |
| Kepekatan masuk amonia | = 2.0 mol% |
| Padatan | = 1 in cecincin Rashig (ceramics) |
| H_{OG} | = 2.5 ft |
| Pemalar Henry, m | = 1.20 |
| Ketumpatan gas | = 0.075 lb/ft ³ |
| Ketumpatan air | = 62.4 lb/ft ³ |
| Kelikatan air | = 1.8 cP |
| Berat molekul gas M_G dan air M_L masing-masing | ialah 29 dan 18. |

Sila rujuk lampiran 1 dan 2 untuk maklumat lanjut.

(50 markah)

- (b) Terbitkan garisan operasi berikut untuk satu turus penyerap gas dengan membayangkan turus itu boleh dijalankan dengan n peringkat.

$$y_{n+1} = \frac{L}{G} x_n + C$$

y = pecahan mol zat larutan dalam fasa gas.
x = pecahan mol zat larutan dalam fasa cecair.
C = pemalar.

(50 markah)

...3/-

3. (a) Suatu *crossflow scrubber* memerangkap 90 peratus partikel yang melaluinya. Katakan kadar aliran gas perlu dijadikan dua kali aliran asal dan jika faktor-faktor pemprosesan lain ditetapkan, maka apakah keberkesanan *scrubber* pada kadar baru ini?

Diberi untuk alat ini.

$$\ln p = -1.5 \cdot \frac{\eta t}{D_D} \cdot \frac{Q_L}{Q_G} \cdot \Delta z$$

p ialah ketembusan ($p = \frac{C}{C_0}$)

C_0 ialah kepekatan masuk partikel

C ialah kepekatan keluar partikel

D_D ialah diameter titisan air

Q_L ialah kadar aliran isipadu cecair

Q_G ialah kadar aliran isipadu gas

(20 markah)

- (b) Jika keberkesanan *scrubber* ini perlu ditingkatkan dari 90% menjadi 95% dengan cara meningkatkan aliran air sementara parameter lain dikekalkan nilainya, maka berapa peratuskah peningkatan aliran air yang diperlukan.

(20 markah)

- (c) Keberkesanan *scrubber* tadi ialah 90 peratus bagi partikel saiz 3μ dan titisan air bergaris pusat 400μ . Katakan suatu muncung semburan air diubahsuai supaya titisan air menjadi 200μ sementara Q_L tidak ditukar maka kira keberkesanan baru *scrubber* itu.

$$\text{Diberi } N_s = \frac{pD^2V}{18\mu D_b}$$

...4/-

- N_s = nombor pemisahan
 p = ketumpatan partikel (2000 kg/m^3)
 D = diameter partikel
 V = halaju tamatan titisan air (terminal velocity)
 μ = kelikatan udara ($1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$)
 D_b = diameter titisan air (diameter of barrier)

(Sila gunakan lampiran 3 dan 4 untuk membantu pengiraan anda).

(60 markah)

4. (a) Buktikan persamaan kecekapan siklon η yang berikut.

$$\eta = \frac{\pi N U_c d_p^2 \rho_p}{W_i 9\mu}$$

- N = bilangan pusingan gas sisa dalam siklon
 U_c = halaju masuk gas sisa ke dalam siklon
 d_p = garis pusat partikel
 ρ_p = ketumpatan partikel
 W_i = lebar salur masuk siklon
 μ = kelikatan gas

Diberi kecekapan untuk pemendak graviti

$$\mu = \frac{L U_t}{H \bar{U}}$$

- L = panjang pemendak graviti
 U_t = halaju tamatan partikel
 H = tinggi pemendak graviti
 \bar{U} = halaju purata gas sisa dalam pemendak graviti

juga

$$U_t = \frac{g d_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu} \quad (\text{Hukum pemendakan Stoke})$$

ρ ialah ketumpatan gas

(30 markah)

...5/-

- (b) Suatu siklon untuk tujuan persampelan mempunyai garis pusat potongan, d_{pc} bersamaan 2μ . Halaju gas sisa pada salur masuk ialah 20 m/s.
- (i) Apakah maksud garis pusat potongan (cut diameter)?
 - (ii) Kira garis pusat luar siklon, D_o , jika $N = 5$ pusingan, $\rho_p = 2000 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$
 - (iii) Kira kadar aliran isipadu melalui siklon ini.

(Lampiran 5 adalah berkaitan).

(40 markah)

- (c) ESP (Electrostatic Precipitator) di Kilang Simen Langkawi dapat memerangkap 95% partikel dalam aliran gas sisa. Perundangan baru memerlukan 99% partikel diperangkap. Sekiranya sebelum perundangan baru dikuatkuasa, kilang tersebut beroperasi dengan menggunakan 10 unit ESP yang serupa maka kira berapa unit lagi yang diperlukan untuk kecekapan ESP yang baru.

$$\text{Diberi } \eta = 1 - \exp\left(-\frac{\omega A}{Q}\right)$$

$$p = 1 - \eta$$

(35 markah)

5. Sebuah rumah beg (baghouse) mempunyai 10 bahagian. Setiap bahagian terdapat 112 beg (garis pusat setiap beg ialah 8 in dan panjang 22 kaki (ft)). Luas aktif sebuah beg ialah 46 ft^2 . Kadar aliran gas sisa ialah $80,000 \text{ ft}^3/\text{min}$.

Operasi membersihkan gas dihentikan jika jatuhan tekanan pada kek ialah 3 in H_2O . Ketika itu beg akan dibersihkan.

Satu bahagian rumah beg lazimnya dibersihkan setiap 1 jam sekali. Kepekatan gas yang tiba ke rumah beg ialah 13 grains/ft^3 . Keberkesanan kutipan partikel ialah 99 peratus. Kek turas dianggarkan 50% pepejal.

...6/-

- (a) Terbitkan suatu persamaan untuk mengira nisbah jisim kek seunit luas (m/A) kemudian kira m/A dalam unit lbm/ft².
- (b) Kira nisbah udara-kain dalam ft/min.
- (c) Kira tebal kek ketika beg perlu dibersihkan (dalam unit mm).
- (d) Terbitkan persamaan untuk halaju aliran gas melalui kek dan kain turas (untuk keadaan dua rintangan yang bersiri).
- (e) Kira ketelapan kek dalam m².

Nyatakan andaian anda dalam pengiraan ketelapan kek (permeability), k

$$\begin{aligned} \text{Diberi: } \mu (\text{udara}) &= 0.018 \text{ cp} \\ \rho_{\text{kek}} &= 2 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

(100 markah)

...7/-

TABLE 2. Packing Factors—Dumped Packing

| Packing Type | Material | Nominal Packing Size (inches) | | | | | | | | | | | |
|------------------------|----------|-------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
| | | ¼ | ⅜ | ½ | ⅝ | ¾ | 1 | 1¼ | 1½ | 2 | 3 | 3½ | |
| Hy-Pak™ | Metal | | | | | | 43 | | | | 18 | 15 | |
| Super Intalox® saddles | Ceramic | | | | | | 60 | | | | 30 | | |
| Super Intalox saddles | Plastic | | | | | | 33 | | | | 21 | 16 | |
| Pall rings | Plastic | | | | 97 | | 52 | | | 40 | 25 | | 16 |
| Pall rings | Metal | | | | 70 | | 48 | | | 28 | 20 | | 16 |
| Intalox® saddles | Ceramic | 725 | 330 | 200 | | 145 | 98 | | | 52 | 40 | 36 | |
| Raschig rings | Ceramic | 1600 | 1000 | 640 | 380 | 255 | 160 | 95 | 65 | 65 | | | |
| Raschig rings | ½" metal | 700 | 390 | 300 | 170 | 185 | 115 | | | | | | |
| Raschig rings | ¼" metal | | | 410 | 290 | 230 | 137 | 110 | 83 | 57 | 32 | | |
| Berl saddles | Ceramic | 900 | | 240 | | 170 | 110 | | 65 | 45 | | | |
| Tri-packs | Plastic | | | | | | 28 | | | | 15 | | 14 |
| Tri-packs | Metal | | | | | | | | | 18 | 14 | | |

69

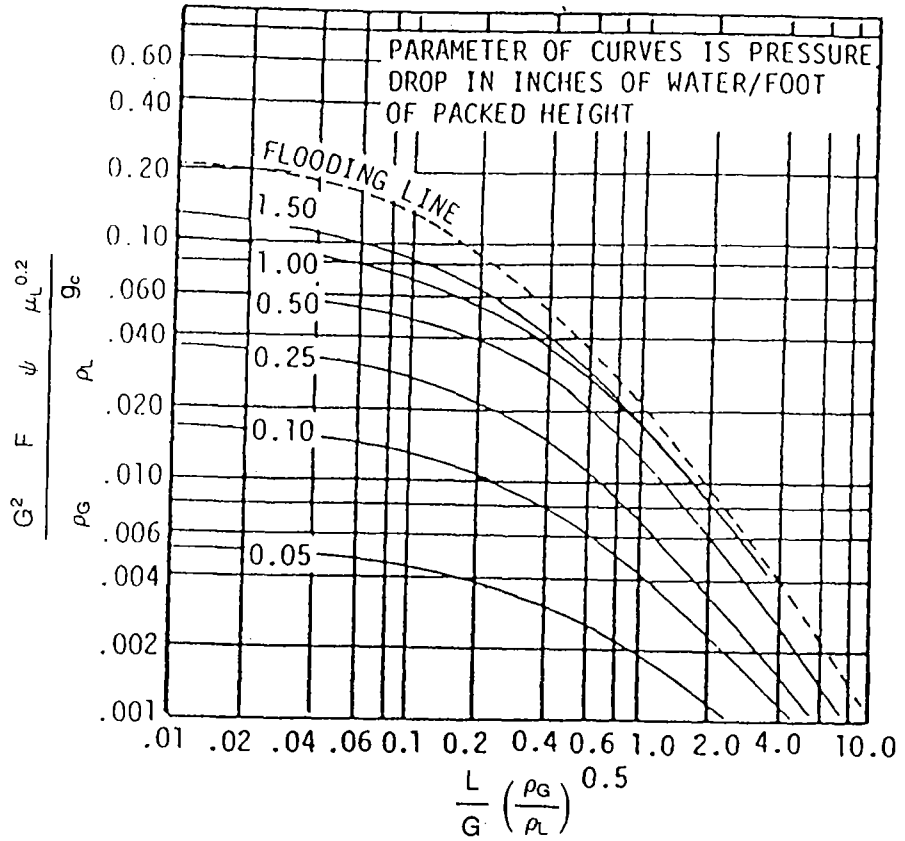


FIGURE 7. Generalized Pressure Drop Correlation to Estimate Column Diameter (G = gas flow rate, lb/sec ft²; L = liquid flow rate, lb/sec ft²; F = packing factor; Ψ = ratio, density of water/density of liquid; μ_L = liquid viscosity, cP_a; ρ_G = gas density, lb/ft³; ρ_L = liquid density, lb/ft³; g_c = 32.2).

LAMPIRAN 3 (untuk soalan No. 3)

Equivalent standard
Tyler screen mesh

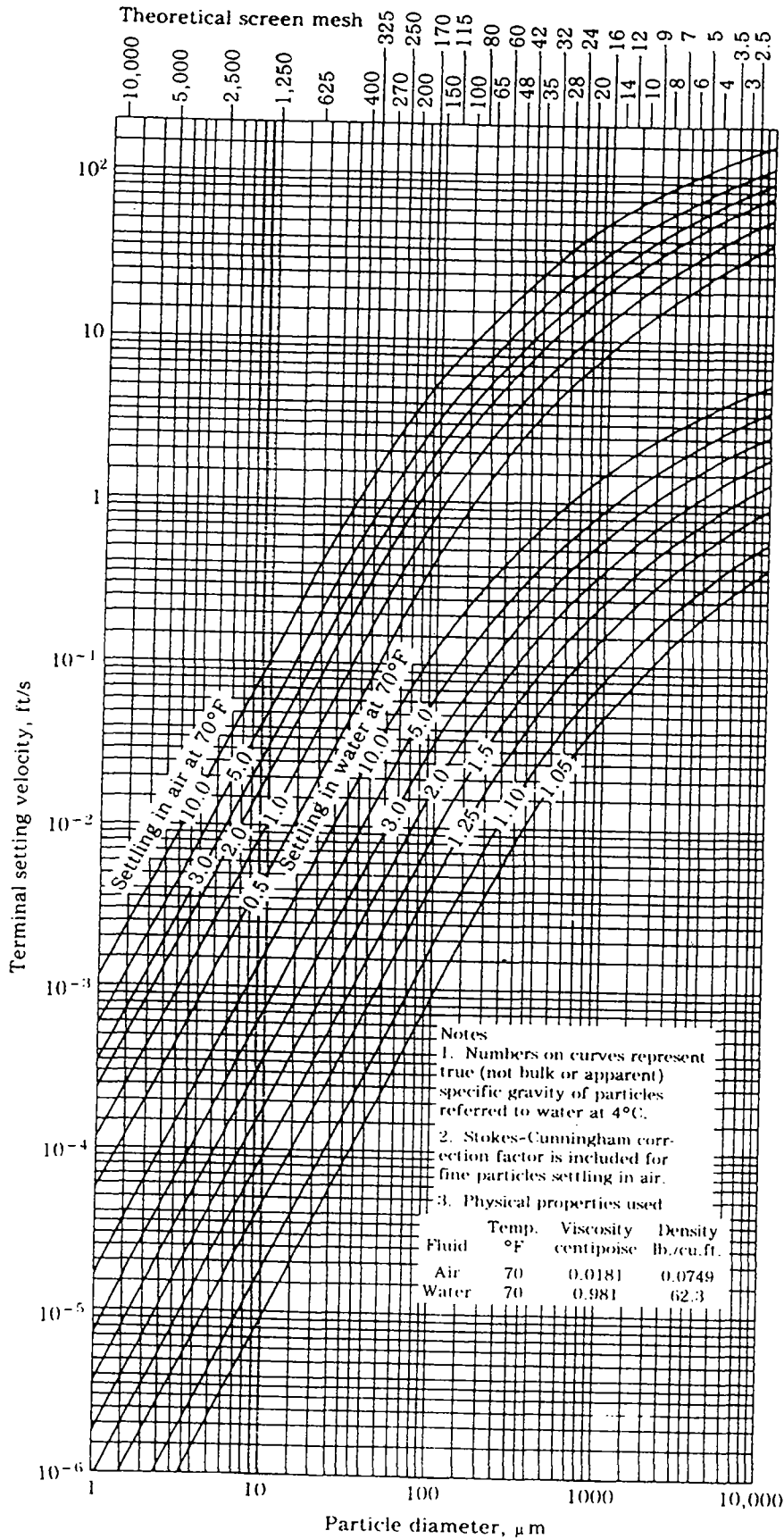


FIGURE 8.7
Terminal settling velocities of spherical particles of different densities settling in air and water at 70°F under the influence of gravity. (From C. E. Lapple, et al., *Fluid and Particle Mechanics*, University of Delaware, Newark, 1951, p. 292.) (Observe that the scale is 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5....)

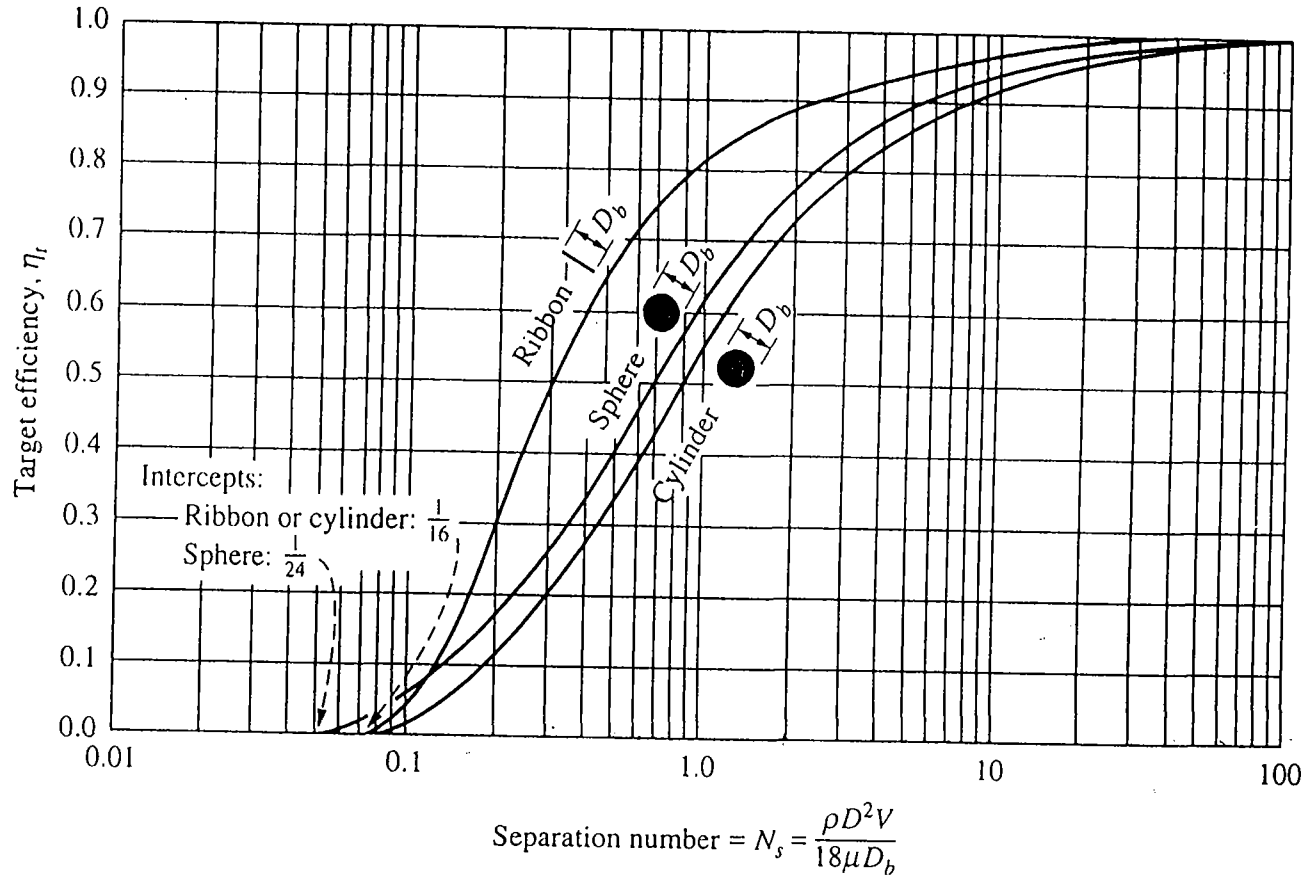


FIGURE 9.18
Target efficiency as a function of separation number, for cylinders, ribbons, and spheres. (From Ref. 18.)

RAJAH 1

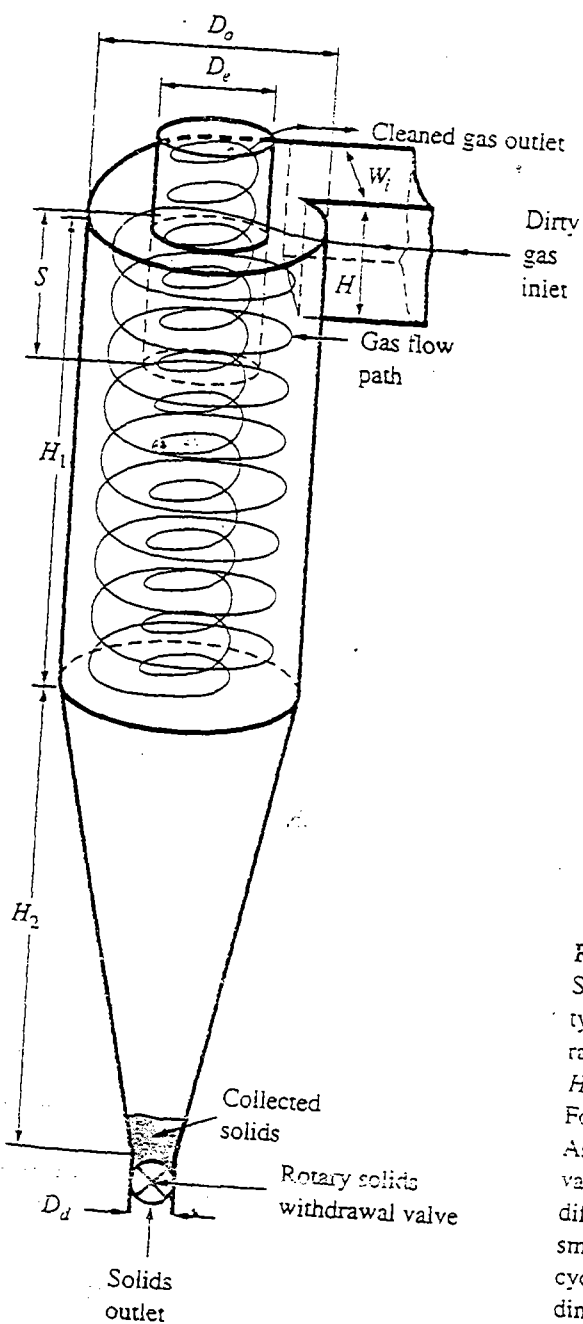


FIGURE 9.4
Schematic of a cyclone separator. Dimensions are typically based on the overall diameter D_o . Taken as ratios to that dimension, $W_i = 0.25$, $H = 0.5$, $H_1 = 2$, $H_2 = 2$, $D_e = 0.5$, $S = 0.625$, $D_d = 0.25$. For example, if $D_o = 1$ ft, then $W_i = 0.25$ ft, etc. Ashbee and Davis [2] show a table with six sets of values for these dimension ratios. The principal differences are that high-efficiency cyclones have smaller values of W_i whereas high-throughput cyclones have larger values of W_i and of D_e . The dimension ratios here are for the "conventional" design.

LAMPIRAN 6

CONVERSION FACTORS*

Length:

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m} = 12 \text{ in.} = \text{mile}/5280 = \text{nautical mile}/6076 \\ = \text{km}/3281$$

$$1 \text{ m} = 3.281 \text{ ft} = 39.37 \text{ in.} = \text{km}/1000 = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm} \\ = 10^6 \text{ microns} = 10^6 \mu\text{m} = 10^9 \text{ nm} = 10^{10} \text{ \AA}$$

Mass:

$$1 \text{ lbm} = 0.45359 \text{ kg} = \text{short ton}/2000 = \text{long ton}/2240 = 16 \text{ oz (av.)} \\ = 14.58 \text{ oz (troy)} = \text{metric ton (tonne)}/2204.63 = 7000 \text{ grains} \\ = \text{slug}/32.2$$

$$1 \text{ kg} = 2.2046 \text{ lbm} = 1000 \text{ g} = (\text{metric ton or tonne or Mg})/1000$$

Force:

$$1 \text{ lbf} = 4.4482 \text{ N} = 32.2 \text{ lbm} \cdot \text{ft}/\text{s}^2 = 32.2 \text{ poundal} = 0.4536 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ N} = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = 10^5 \text{ dyne} = \text{kgf}/9.81 = 0.2248 \text{ lbf}$$

Volume:

$$1 \text{ ft}^3 = 0.02831 \text{ m}^3 = 28.31 \text{ liters} = 7.48 \text{ U.S. gallons} \\ = 6.23 \text{ Imperial gallons} = \text{acre-ft}/43\,560$$

$$1 \text{ U.S. gallon} = 231 \text{ in.}^3 = \text{barrel (petroleum)}/42 = 4 \text{ U.S. quarts} \\ = 8 \text{ U.S. pints} = 3.785 \text{ liters} = 0.003785 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liters} = 35.29 \text{ ft}^3$$

Energy:

$$1 \text{ Btu} = 1055 \text{ J} = 1.055 \text{ kw} \cdot \text{s} = 2.93 \times 10^{-4} \text{ kwh} = 252 \text{ cal} \\ = 777.97 \text{ ft} \cdot \text{lbf} = 3.93 \times 10^{-4} \text{ hp} \cdot \text{h}$$

$$1 \text{ J} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{W} \cdot \text{s} = \text{volt} \cdot \text{coulomb} = 9.48 \times 10^{-4} \text{ Btu} \\ = 0.239 \text{ cal} = 10^7 \text{ erg} = 6.24 \times 10^{18} \text{ electron volts}$$

*These values are mostly rounded. There are several definitions for some of these quantities, e.g., the Btu and the calorie; these definitions differ from each other by up to 0.2 percent. For the most accurate values see the *ASTM Metric Practice Guide*, ASTM Pub. E 380-93, Philadelphia, 1993.

LAMPIRAN 7**Power:**

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{s} = 33\,000 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{min} = 2545 \text{ Btu}/\text{h} = 0.746 \text{ kW}$$

$$1 \text{ W} = \text{J}/\text{s} = \text{N} \cdot \text{m}/\text{s} = \text{volt} \cdot \text{ampere} = 1.34 \times 10^{-3} \text{ hp} = 0.239 \text{ cal}/\text{s} \\ = 9.49 \times 10^{-4} \text{ Btu}/\text{s}$$

Pressure:

$$1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa} = 1.013 \text{ bar} = 14.696 \text{ lbf}/\text{in.}^2 = 33.89 \text{ ft of water} \\ = 29.92 \text{ inches of mercury} = 1.033 \text{ kgf}/\text{cm}^2 = 10.33 \text{ m of water} \\ = 760 \text{ mm of mercury} = 760 \text{ torr}$$

$$1 \text{ psi} = \text{atm}/14.696 = 6.89 \text{ kPa} = 0.0689 \text{ bar} = 27.7 \text{ in. H}_2\text{O} = 51.7 \text{ torr}$$

$$1 \text{ Pa} = \text{N}/\text{m}^2 = \text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2 = 10^{-5} \text{ bar} = 1.450 \times 10^{-4} \text{ lbf}/\text{in.}^2 \\ = 0.0075 \text{ torr} = 0.0040 \text{ in. H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.987 \text{ atm} = 14.5 \text{ psia}$$

Psia, psig:

Psia means pounds per square inch, absolute. Psig means pounds per square inch, gauge, i.e., above or below the local atmospheric pressure.

Viscosity:

$$1 \text{ cp} = 0.01 \text{ poise} = 0.01 \text{ g}/\text{cm} \cdot \text{s} = 0.001 \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{s} = 0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s} \\ = 6.72 \times 10^{-4} \text{ lbf}/\text{ft} \cdot \text{s} = 2.42 \text{ lbf}/\text{ft} \cdot \text{h} = 2.09 \times 10^{-5} \text{ lbf} \cdot \text{s}/\text{ft}^2 \\ = 0.01 \text{ dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$$

Kinematic viscosity:

$$1 \text{ cs} = 0.01 \text{ stoke} = 0.01 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 1 \text{ cp}/(\text{g}/\text{cm}^3) \\ = 1.08 \times 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{s} = \text{cp}/(62.4 \text{ lbf}/\text{ft}^3)$$

Temperature:

$$\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.15 = ^\circ\text{R}/1.8 \approx ^\circ\text{C} + 273 \quad ^\circ\text{C} = (^\circ\text{F} - 32)/1.8$$

$$^\circ\text{R} = ^\circ\text{F} + 459.67 = 1.8 \text{ K} \approx ^\circ\text{F} + 460 \quad ^\circ\text{F} = 1.8^\circ\text{C} + 32$$

Concentration (ppm):

In the air pollution literature and in this book, ppm applied to a gas always means parts per million by volume or by mol. These are identical for an ideal gas, and practically identical for most gases of air pollution interest at 1 atm pressure. Ppm applied to a liquid or solid means parts per million by mass.

For perfect gases at 1 atm and 25°C, 1 ppm = (40.87 · molecular weight) $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Common Units and Values for Problems and Examples:

See inside back cover.