أسس التقنية الكهربائية

متغيرات العمليات الكيميائية

الجدارة

فهم أساسيات الحسابات الكيميائية للسهر على التشغيل الكفء لأجهزة الإنتاج في الصناعة ، المحافظة على الطاقة وإدراك الأسباب الكامنة وراء مشاكل التصنيع.

الأهداف

في نهاية هذا الفصل يكون الطالب قادرا على:

- معرفة متغيرات العمليات الكيميائية (درجة الحرارة، الضغط، الكسر المولي، الكسر الحجمي، الكسر الكتلي، الكثافة، الوزن النوعي)
- المصطلحات المستعملية في طرق التحليل و القياسات.

مستوى الأداء المطلوب : أن لا تقل الجدارة عن ٩٥ ٪.

الوقت المتوقع للتدريب : ١٥ ساعة.

الوسائل المساعدة : اعتمادا الطريقة المتبعة في المقرر لحل المسائل.

متطلبات الجدارة

قبل دراسة هذا الفص يجب أن يكون الطالب ملما بالعلوم التالية:

الكيمياء العامة

الكيمياء الفيزيائية

الديناميكا الحرارية الكيمائية

الرياضيات الأساسية

الكثافة (ρ) Density

هي نسبة الكتلة على وحدة الحجم.

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (2-1)$$

يعبر عن الكثافة بالوحدات kg/m^3 , g/cm^3 , $1b_m/ft^3$

يحتوي تعبير الكثافة عادة على كل من القيمة العددية والوحدات المرافقة والجدول التالي يوضح كثافة الماء عند درجة حرارة($4^\circ C$) للأنظمة المختلفة:

النظام	كثافة الماء
النظام الدولي (SI)	$1000\ kg/m^3$ $1.0\ g/cm^3$
النظام الأنجليزي	$62.4\ 1b_m/ft^3$

قياس الكثافة

١. للمواد الصلبة: بطريقة الإزاحة لمعرفة الحجم ويشترط أن وزن هذه المادة معروف.
٢. للمواد السائلة: بجهاز الهيدرومتر.
٣. للمواد الغازية: بميزان ادواردز.

الوزن النوعي (S.G) Specific Gravity

هو نسبة مجردة من الأبعاد (الوحدات) بين كثافة المادة ذات الاهتمام (A) إلى المادة المتخذة كمرجع (reference).

$$S.G. = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \qquad (2-2)$$

و يعتبر الماء مرجع للسوائل والمواد الصلبة، لذا فالوزن النوعي (S.G.) هو نسبة كثافة المادة إلى كثافة الماء. أما الوزن النوعي للغازات فالمرجع هو الهواء ويمكن أن ينسب إلى غازات أخرى.
وكثافة السوائل لا تعتمد على الضغط، ولكن تتغير مع درجة الحرارة. لذا فانه من الضروري تثبيت درجة الحرارة عند نشير إلى الوزن النوعي.

مثال ٢- ١

إذا كان الوزن النوعي لثانى البرومـوبنتين مساويا 1.57 ، احسب كثافته بالوحدات المختلفة لنظام الوحدات.

الحل

$$S.G.=\frac{\rho_A}{\rho_{H_2O}}$$

$$\rho_A = S.G. \times \rho_{H_2O}$$

$$\rho_A = 1.57 \times (1000\ \frac{kg}{m^3}) = 1570\ \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_A = 1.57 \times (1\ \frac{g}{cm^3}) = 1.57 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_A = 1.57 \times (62.4\ \frac{lb_m}{ft^3}) = 97.9\ \frac{lb_m}{ft^3}$$

الحجم النوعي Specific Volume (S.V.)

الحجم النوعي لأي مركب هو مقلوب الكثافة **(S.V. = 1/ρ)** ويعبر عنه بالوحدات التالية:

$$ft^3/1b_m,\ cm^3/g,\ m^3/kg$$

مثال ٢- ٢

احسب الحجم النوعي لثاني البروموبنتين في المثال ٢- ٢.

الحل

$$\text{الحجم النوعي لثاني البروموبنتين} = \frac{١}{\text{كثافة ثاني البروموبنتين}}$$

$$S.V.=\frac{1}{1570\frac{kg}{m^3}}=6.369\times10^{-4}\frac{m^3}{kg}$$

$$S.V.=\frac{1}{1.570\frac{kg}{m^3}}=0.6369\frac{cm^3}{g}$$

$$S.V.=\frac{1}{97.9\frac{lb_m}{ft^3}}=0.0102\frac{ft^3}{lb_m}$$

طرق التعبير عن تراكيب المخاليط والمحاليل

هناك طرق مختلفة وشائعة الاستعمال للتعبير عن تركيب المخاليط والمحاليل، ولتوضيحها نفرض أن خليط مكون من مادتين A و B حيث تحتوى المادة A على (x kg) بينما تحتوى المادة B على (y kg) . فإذا كانت الأوزان الجزيئية للمادتين A وB تساوي (M_A kg/mol) و (M_B kg/mol) على التوالي وحجم الخليط يساوى (V m^3). . عند فصل المادتين A و B من الخليط إلى حالتهما النقية وجد أن حجمهما يكون ,, V_A و V_B على التوالي.

النسبة المئوي (٪) الوزنية (%) Weight

تحسب النسبة المئوية الوزنية لأي مادة في خليط بقسمة وزنه تلك المادة على مجموع أوزان المواد في الخليط كما في المعادلة أدناه:

$$\text{النسبة المئوية (\%) الوزنية للمادة A} = \frac{\text{وزن المادة A}}{\text{(وزن المادة A + وزن المادة B)}} \times ١٠٠$$

إن هذه الطريقة شائعة الاستعمال لمركبات المواد الصلبة والسائلة ولا تستعمل عادة للحالات الغازية.

و أحد الفوائد المستخلصة من تعبير التركيب بالنسبة المئوية الوزنية هو عدم تغير قيمة النسبة بتغير درجة حرارة الخليط (عند افتراض عدم وجود أي تبخر أو تبلور أو تفاعل كيميائي). ويجب أن يكون حاصل جمع جميع النسب المئوية لأوزان مركبات الخليط يساوى مائة.

النسبة المئوية (٪) الحجمية (%) Volume

تحسب النسبة المئوية الحجمية لأي مادة في خليط بقسمة حجم تلك المادة على مجموع احجام المواد في الخليط كما هو مبين في المعادلة أدناه:

$$\text{النسبة المئوية الحجمية للمادة A} (\%) = \frac{\text{حجم المادة A}}{\text{(حجم المادة A + حجم المادة B)}} \times ١٠٠$$

وتستعمل هذه النسبة في اغلب الأحيان للغازات تحت الضغوط المنخفضة وفى بعض الأحيان للسوائل ونادرا ما تستعمل للمواد الصلبة، وأي نسبة مئوية للغازات تذكر بدون بيان نوعها تؤخذ بأنها نسبة مئوية حجمية.

و.يتم تحليل الغازات ومركباته بدرجة حرارة الغرفة وتحت الضغط الجوى. ويسلك تقريبا الخليط ومركباته الغازية المفردة سلوك الغاز المثالي.

ويمكن الحصول على الحجم الكلى بجمع أحجام المواد النقية للخليط:

$$V_A + V_B + ... = V \qquad (2\text{-}3)$$

ويجب أن يكون حاصل جمع النسب المئوية الحجمية للمركبات يساوي مائة. وينتج عن أي تغيير بدرجة الحرارة تغير مساوي بالأحجام الجزيئية للمركبات، لذا فان التركيب الحجمى للغازات ثابت بتغير درجة الحرارة.

أما في حالة المحاليل السائلة ففي اغلب الأحيان يلاحظ حدوث تقلص آو تمدد بحجم الخليط أي ان إن حاصل جمع أحجام المركبات النقية قبل الخلط لا يساوي حجم الخليط لذا فان النسبة المئوية في هذه الحالة لا تساوى مائة، إضافة إلى ذلك فإن صفات التمدد للمركبات النقية فيما بينها في الغالب غير متساوية وتختلف عما عليه للخليط. .ولهذا السبب فان أي تغير بدرجة الحرارة سيؤدى إلي تغير تركيب المحلول السوائل ووفقا لهذا فإن حساب النسبة المئوية الحجمية لمحاليل السوائل يجب أن يتبعها علاقة تغير الحجم مع درجة الحرارة.

مثال ٢- ٣

إذا كان 215 kg من الزئبق تحتل حجم قدره $0.56\ ft^3$ عند 20^oC وعُلم أن تغير حجم الزئبق مع درجة الحرارة يمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$V(T)=V_0(1+0.18182\times10^{-3}T+0.0078\times10^{-6}T^2) \qquad (2\text{-}4)$$

١. احسب الحجم المحتل بواسطة الزئبق إذا رفعت درجة الحرارة إلى $100\ ^oC$.

٢. افترض أن الزئبق وضع في أنبوب قطره يساوي 0.25 in ، احسب التغير في الارتفاع عندما ترفع درجة حرارة الزئبق من 20^oC إلى $100\ ^oC$.

الحل

١. من المعادلة (2-4)

$$V(100^oC)=V_0(1+0.18182\times10^{-3}(100)+0.0078\times10^{-6}(100)^2) \qquad (2-5)$$

و

$$V(20^oC)=0.560ft^3=V_0(1+0.18182\times10^{-3}(20)+0.0078\times10^{-6}(20)^2) \qquad (2-6)$$

بإيجاد قيمة V_0 من المعادلة 2-6

$$V(100^oC)=0.568ft^3 \qquad (2-7)$$

٢. حجم الزئبق في الأنبوب يساوي:

$$V=\frac{\pi D^2H}{4} \qquad (2-8)$$

حيث تمثل:

D: قطر الأنبوب.

H: الارتفاع.

$$H(100^oC)-H(20^oC)=\frac{V(100^oC)-V(20^oC)}{\frac{\pi D^2}{4}} \qquad (2-9)$$

D = (0.25/12) ft
= 23.5 ft

الكسر الكتلي و الكسر المولى Mass and Mole Fractions

غالبا ما تحتوي تيارات (streams) العملية على أكثر من مادة في صورة خليط من السوائل أو الغازات.

ويمكن التعبير عن التركيب الكتلي (mass fraction, x_i) أو المول (mole fraction, y_i) بواسطة المعادلات التالية:

$$\text{الكسر الكتلي للمادة A } (x_A) = \frac{\text{كتلة المادة A}}{\text{(الكتلة الكلية للخليط)}} \left(\frac{\text{Kg A}}{\text{Kg total}}\right) \left(\frac{\text{lb}_m\text{ A}}{\text{lb}_m\text{ total}}\right)$$

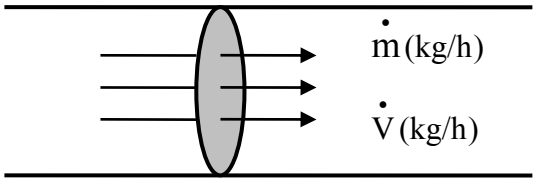
و

$$\text{الكسر المولي للمادة A } (y_A) = \frac{\text{عدد مولات المادة A}}{\text{(عدد المولات الكلية للخليط)}} \left(\frac{\text{kmol A}}{\text{kmol total}}\right) \left(\frac{\text{lb mol A}}{\text{lb mol total}}\right)$$

ويمكن التعبير عن الكسر الكتلي أو المولي كنسبة مئوية كتلية أو مولية بضرب x_A أو y_A في ١٠٠ ويجب ان يساوي حاصل جمع الكسر الكتلي أو المولي مساويا لواحد (١).

معدلات السريان الكتلي والحجمي Mass and Volumetric Flow Rate

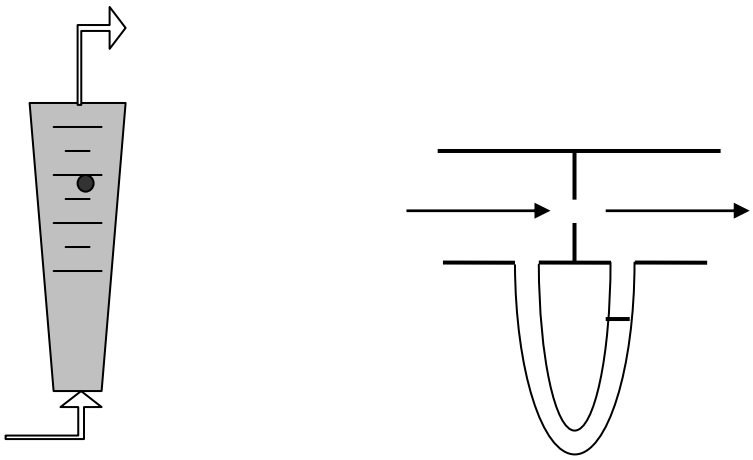
معظم العمليات يتخللها حركة للمواد فيما ببين وحدات العمليات أو من نقطة إلى أخرى. معدل انتقال هذه المواد هو معدل سريانها أو تدفقها. ويعبر عن معدلات السريان لتيارات العملية بمعدل السريان الكتلي (mass flow rate) $\frac{\text{كتلة}}{\text{وقت}}$ أو معدل سريان حجمي (volumetric flow rate) $\frac{\text{حجم}}{\text{وقت}}$



ويمكن استخدام الكثافة معدل السريان ألحجمي إلى معدل سريان كتلي أو العكس كما يلي:

$$\text{الكثافة } (\rho) = \frac{\text{الكتلة } (m)}{\text{الحجم } (V)} = \frac{\text{معدل السريان الكتلي } (\dot{m})}{\text{معدل السريان ألحجمي } (\dot{V})}$$

ويقاس معدل السريان بالروتاميتر (Rotameter) والاورفيس ميتر (Orifice meter).



(ب) (أ)

شكل ٢- ١: (أ) اورفيس ميتير (ب) روتاميتير

مثال ٢- ٤

محلول يحتوي على نسبة كتلية تساوي 15% من المادة A ($x_A = 0.15$) و نسبة مولية تساوي 20% من المادة B ($y_B = 0.20$). احسب:

١. كتلة المادة A في 175 kg من المحلول.
٢. معدل التدفق الكتلي للمادة A إذا كان معدل التدفق للمحلول يساوي 53 lb_m/h.
٣. معدل التدفق المولي للمادة B إذا كان معدل التدفق للمحلول يساوي 1000 mol/min.
٤. معدل التدفق المولي للمحلول إذا كان معدل التدفق المولي للمادة B يساوي 25 kmol B/s.
٥. كتلة المحلول المحتوي على 300 lb_m من المادة A.

الحل

١.

$$\frac{0.15 \text{ kg A}}{\text{kg محلول}} \left| \frac{175 \text{ kg محلول}}{} \right. = 26 \text{ kg A}$$

٢.

$$\frac{8.0\ lb_m\ A}{h} = \frac{0.15\ lb_m\ A}{lb_m} \left| \frac{53\ lb_m}{h} \right.$$

٣.

$$\frac{200\ mol\ B}{min} = \frac{0.2\ mol\ B}{mol} \left| \frac{1000\ mol}{min} \right.$$

٤.

$$\frac{140\ kmol\ \text{محلول}}{s} = \frac{1\ kmol\ \text{محلول}}{0.20\ kmol\ B} \left| \frac{28\ kmol\ B}{s} \right.$$

٥.

$$2000\ lb_m\ \text{محلول} = \frac{1 lb_m\ \text{محلول}}{0.15\ lb_m\ A} \left| \frac{300\ lb_m\ A}{} \right.$$

الأساس الجاف في الحسابات :

إن تحاليل الغازات مثل الهواء و نواتج الاحتراق و غازات أخرى مشابهة تبنى عادة على الأساس الجاف أي باستثناء بخار الماء حيث تسمى هذه التحاليل بتحاليل الاورست.
ويحتوى الهواء على 21% أوكسجين و 79% نيتروجين. .و يعد الهواء من الغازات المثالية، لذا فان كل نموذج من الهواء يحتوى على 21% حجما أوكسجين وبنفس الوقت 21% مول أوكسجين .ولما كانت النسبة المئوية ممثلة بحاصل ضرب الكسر بمائة فان الكسر المولى للأوكسجين يساوى 0.21.

مثال ٢- ٥

مادة تستعمل لتنظيف مياه الصرف الصحي تحتوي على 5.00 kg ماء و 5.00 kg هيدروكسيد الصوديوم (NaOH). اوجد الكسر الكتلي والكسر المولى للماء وهيدروكسيد الصوديوم.

الحل

ليكون الكسر الكتلي للماء و هيدروكسيد الصوديوم هما x_A و x_B على التوالي، الكسر المولي لهما y_A و y_B على التوالي.

اذن:

$$x_A = \frac{5\,kg\,A}{(5\,kg\,A + 5\,kg\,B)} = 0.5$$

$$x_B = \frac{5\,kg\,B}{(5\,kg\,A + 5\,kg\,B)} = 0.5$$

بما ان:

الوزن الجزئي للماء (H_2O) = (2 × 1+1 × 16) = 18 كجم/مول

الوزن الجزئي لهيدروكسيد الصوديوم (NaOH) = (1 × 23 + 1 × 16 + 1 × 1) = 40 كجم/مول

عدد مولات الماء = $\frac{5\ kg}{18\ kg/mol}$ = 0.278 mol

عدد مولات هيدروكسيد الصوديوم = $\frac{5\ kg}{40\ kg/mol}$ = 0.125 mol

الكسر المولي للماء (y_A) = $\frac{0.278\ mol}{0.403\ total\ mol}$ = $\frac{0.699\ mol\ A}{total\ mol}$

الكسر المولي لهيدروكسيد الصوديوم (y_B) = $\frac{0.125\ mol}{0.403\ total\ mol}$ = $\frac{0.311 mol\ A}{total\ mol}$

يجب أن يكون مجموع الكسر المولى للماء والكسر المولى لهيدروكسيد الصوديوم يساوى 1.0.

أي 0.699 + 0.311 = 1

يجب أن يكون مجموع الكسر الوزني للماء والكسر الوزني لهيدروكسيد الصوديوم يساوى 1.0.

أي 0.5 + 0.5 = 1

مثال ٢- ٦

احسب الكسر الكتلي (x_A) للأوكسجين في خليط يحوي أوكسجين وهيدروجين، إذا كان الكسر المولى للأوكسجين يساوي 0.333.

الحل

ليكون: y_B الكسر المولي للهيدروجين

m_A وزن الأوكسجين

m_B وزن الأوكسجين

m_T وزن الخليط

x_A الكسر الكتلي للأوكسجين

$y_B = (0.333 \quad -1) = 0.667$

$m_A = (32 \text{ kg/mol}) \times 0.333 = 10.66 \text{ kg}$

$m_B = (2 \text{ kg/mol}) \times 0.667 = 1.33 \text{ kg}$

$m_T = 10.56 + 1.33 = 11.99 \text{ kg}$

$x_A = 10.66/11.99 = 0.889 \text{ kg}$

التركيز (Concentration)

إن المقصود بالتركيز هو التعبير عن كمية المذاب لكل وحدة حجم من المذيب في المحلول أو الخليط المكون من مركبين أو اكثر .وهناك وحدات مختلفة تستعمل للتعبير عن التركيز مثل:

$$g/cm^3, \quad kg/L^3, \quad lb_m/ft^3$$

ووحدات الحجم الشائعة الاستعمال هي اللتر (L) ، القدم المكعب (ft^3) ، الجالون (gal)، والمتر المكعب (m^3). أما بعض التعابير الشائعة للتركيز فممثلة بالتالي:

جم مذاب/لتر.

جم مولات مذاب/لتر.

رطل مذاب/جالون.

رطل مولات مذاب/جالون.

كجم مذاب/متر مكعب.

كيلو مولات مذاب/متر مكعب.

وهذه التعابير تستعمل بصورة واسعة لتعيين تراكيب المحاليل السائلة سواء كان ذلك في المختبرات أم المصانع .ويعود ذلك إلى سهولة قياس أحجام السوائل.

وبالنسبة للمحاليل ذات التركيز المنخفضة جدا فيعبر عن تركيزها بالأجزاء للمليون (parts per million–ppm). ويكافئ الـ ppm الكسر الكتلي للمواد الصلبة والسائلة وذلك لان كمية المجموع اكثر بكثير من كمية المذيب.

و هناك طرق أخرى للتعبير عن التركيز مثل:

المولارية (Molarity) - (المول/لتر).

العيارية (Normality) - (الوزن المكافئ/لتر).

المولالية (Molality) - (مول/1000 جرام مذيب) .

مثال ٢- ٧

محلول كلوريد الصوديوم (NaCl) في الماء يحتوى على $230\ kg/m^3$ كلوريد الصوديوم عند درجة حرارة $20^{\circ}C$ حيث تكون كثافة المحلول تساوي $1148\ kg/m^3$ أوجد ما يلي:

١. التركيب بالنسبة المئوية الكتلية.
٢. النسبة المئوية الحجمية للماء.
٣. التركيب بالنسبة المئوية المولية.
٤. المولالية.

الحل

الأساس: $1\ m^3$ من المحلول

ليكون: m_1: كتلة المحلول

m_2: كتلة كلوريد الصوديوم (NaCl)

m_3: كتلة الماء

n_2: عدد مولات كلوريد الصوديوم (NaCl)

n_3: عدد مولات الماء

Mw : الوزن ألجزيئي لـ NaCl

إذن:

$$\text{كتلة المحلول } (m_1) = \rho \times V = (1148\ kg/m^3) \times (1\ m^3) = 1148\ kg$$

و بما أن:

$$m_2 = 230\ kg$$

اذن:

$$\text{عدد مولات NaCl } (n_2) = \frac{m_2}{Mw} = \frac{230\ kg}{58.5\ kg/kmol} = 3.93 kmol$$

$$\text{كتلة الماء } (m_3) = 230 - 1148 = 918\ kg$$

$$\text{عدد مولات الماء } (n_3) = \frac{918\ kg}{18.0\ kg/kmol} = 51\ kmol$$

$$\text{عدد مولات في المحلول} = 3.93 + 51.0 = 54.93\ kmol$$

مجموع المولات في المحلول

١. التركيب بالنسبة المئوية الكتلية

$$\text{النسبة المئوية الكتلية لـ NaCl} = \frac{230\ kg\ NaCl}{1148\ kg} \times 100 = 20\%$$

$$\text{النسبة المئوية للماء} = \frac{918\ kg\ H_2O}{1148\ kg} \times 100 = 80\%$$

٢. النسبة المئوية الحجمية للماء

كثافة الماء النقي عند درجة حرارة $20\ ^{\circ}C$ هي $998\ kg/m^3$

$$\text{حجم الماء} = \frac{918\ kg}{998\ kg/m^3} = 0.920\ m^3$$

$$\text{النسبة المئوية الحجمية للماء} = 0.920\ m^3 \times 1\ m^3 = 92\ \%$$

٣. التركيب بالنسبة المئوية المولية

$$\text{النسبة المئوية المولية للماء} = \frac{51\ \text{kmol}\ H_2O}{54.93\ \text{total mole}} \times 100 = 92.84\ \%$$

$$\text{النسبة المئوية المولية لـ NaCl} = \frac{3.93\ \text{kmol NaCl}}{54.93\ \text{total mole}} \times 100 = 7.16\%$$

٤. المولالية

$$\text{المولالية} = 3.93\ \text{kmol NaCl} \times \frac{1000\ \text{kg}\ H_2O}{918\ \text{kg}\ H_2O} = \frac{4.28\ \text{kmol NaCl}}{1000\ \text{kg}\ H_2O}$$

مثال ٢- ٨

عند 60 °F الوزن النوعي (Specific Gravity, S.G) لمحلول يحتوي على 30 % وزنا من حامض الكبريتيك (H_2SO_4) يساوي 1.22. ما هو تركيز الحامض بالوحدات التالية؟

أ. lb mole/U.S gal

ب. lb/ft^3

ج. g/L

الحل:

أ. 100 lb من محلول تركيزه 30 % وزنا يحتوي على 30 lb من H_2SO_4 النقي و70 lb من الماء H_2O.

بما أن:

$$\text{تركيز المحلول (المولارية)} = \frac{\text{عدد المولات}}{\text{حجم المحلول}}$$

$$\text{الكثافة } (\rho) = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{وزن المادة}}{\text{الوزن ألجزيئي}}$$

$$\text{الوزن ألجزيئي لـ } H_2SO_4 = 2 \times \frac{1\ lb}{lbmol} + \frac{32\ lb}{lbmol} + (4 \times \frac{16\ lb}{lbmol}) = \frac{98\ lb}{lbmol}$$

$$\text{عدد المولات} = \frac{30\ lb}{\frac{98\ lb}{lbmol}} = 0.306\ lbmol$$

كثافة الماء (ρ) عند 4^oC = $62.4\ lb/ft^3$

بما أن:

$$\text{الوزن النوعي للمحلول (S.G)} = \frac{\text{الكثافة}}{\text{كثافة الماء عند } 4^oC}$$

إذن

$$\text{كثافة المحلول} = \text{الوزن النوعي للمحلول (S.G)} \times (\text{كثافة الماء عند } 4^{o}C)$$

$$\text{كثافة المحلول} = 1.22 \times 62.4\ lb/ft^3 = 76.128\ lb/ft^3$$

إذن

$$\text{حجم المحلول} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الكثافة}}$$

$$\frac{100\ lb\ solution}{76.128\ lb/ft^3} \left| \frac{7.481\ gal}{1\ ft^3} \right. = 9.83\ gal$$

إذن:

$$\text{تركيز الحامض (المولارية)} = \frac{0.306\ lbmol}{9.83\ gal} = 0.031\ lbmol/gal$$

ب.

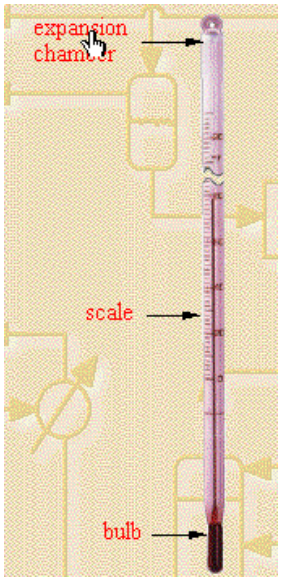
$$\frac{0.03113\ lbmol\ H_2SO_4}{gal} \left| \frac{98.08\ lb\ H_2SO_4}{1\ lb\ mol\ H_2SO_4} \right| \frac{7.481\ gal}{1\ ft^3} = 22.84\ lb\ H_2SO_4/ft^3$$

ج.

$$\frac{22.84\ lb\ H_2SO_4}{1\ ft^3} \left| \frac{454\ g}{1\ lb} \right| \frac{1\ ft^3}{28.32\ L} = 366.15\ g\ H_2SO_4/L$$

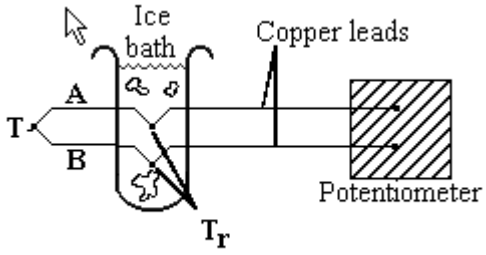
درجة الحرارة (Temperature)

تم استنباط فكرة مقياس درجة الحرارة الترمومتر لتحديد نوع وكمية الحرارة.

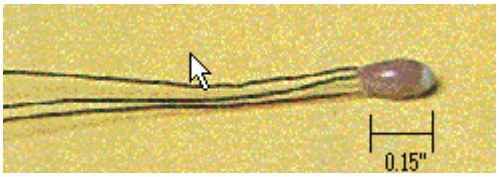


وهناك طرق أخرى شائعة الاستعمال لقياس درجة الحرارة من أهمها:

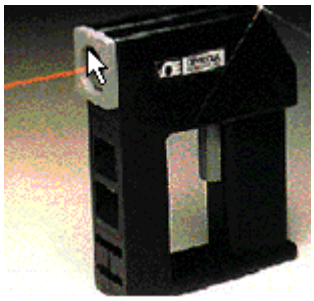
١. **المزدوج الحراري –Thermocouple** – يستعمل كمقياس لدرجة الحرارة و يعمل بتوليد الفولتية عند نقطة اتصال موصلين غير متشابهين والمتغيرة بتغير درجة الحرارة.



٢. **الثرمستر –Thermister** – يعمل هذا الجهاز على أساس خواص تبديل المقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة.



٣. **البايروميتر–Pyrometer** – جهاز يستعمل لقياس درجات الحرارة العالية حيث يسجل الطاقة المشعة التي تترك الجسم الحار.



ودرجة الحرارة هي قياس للطاقة الحرارية للحركة العشوائية لجزيئات الجسم المتوازن حراريا. ووحدات قياس درجة الحرارة هي الفهرنهايت Fahrenheit ويرمز لها بـ ^{o}F و المئوية Celsius ويرمز لها بـ ^{o}C.

إن القياس العلمي الشائع الاستعمال هو مقياس المئوية – ميزان الحرارة المئوي حيث درجة الصفر تمثل نقطة تجمد الماء ودرجة المائة تمثل نقطة غليان الماء الاعتيادية .

أما مقياس الفهرنهايت فان درجة $32^{\circ}F$ تمثل نقطة تجمد الماء ودرجة $212^{\circ}F$ تمثل درجة غليان الماء الاعتيادية.

وهناك مقياسان لقياس الدرجة الحرارية المطلقة أولهما متدرج من المقياس المئوي وله نفس وحداته ويسمى بمقياس كلفن Kelvin ويرمز لها بـ K وثانيهما متدرج المقياس الفهرنهايت وله نفس وحداته ويسمى بمقياس رانكن Rankine ويرمز لها بـ ^{o}R . ويمكن التحويل من وحدة إلى أخرى كما يلي:

$$T(K) = T(^{o}C) + 273.15$$
$$T(^{o}R) = T(^{o}F) + 459.67$$
$$T(^{o}R) = 1.8T(K)$$
$$T(^{o}F) = 1.8T(^{o}C) + 32$$

يوجد معاملات أخرى لتحويل درجات الحرارة المختلفة كما يلي:

$$\frac{1.8\ ^{o}C}{1\ ^{o}C}\ ,\ \frac{1.8\ ^{o}R}{1\ K}\ ,\ \frac{1\ ^{o}F}{1\ ^{o}R}\ ,\ \frac{1\ ^{o}C}{1\ K}$$

مثال٢- ٩

حول $100\ ^{\circ}C$ إلى ما يعادلها من وحدات درجة الحرارة الاخرى:

١. K
٢. $^{\circ}F$
٣. $^{\circ}R$

الحل

$$T(K) = T(^{o}C) + 273.15$$
$$= 100 + 273.15 =$$
$$= \mathbf{373.15\ K}$$
$$T(^{o}F) = 1.8T(^{o}C) + 32$$
$$= 1.8\ (100^{o}C) + 32 = 212$$
$$= \mathbf{212^{o}F}$$
$$T(^{o}R) = 1.8T(K)$$
$$= 1.8\ (373.15K)$$
$$= 671.67\ ^{\circ}R$$

الضغط (Pressure)

يعرف الضغط (P) بالقوة المسلطة على وحدة المساحات أي:

$$P = F/A \qquad (2\text{-}10)$$

تعار يف هامة

١. الضغط الجوى Atmospheric Pressure: هو ضغط الهواء والجو المحيط بنا والمتغير من يوم إلى آخر.
٢. الضغط البارومتري Barometric Pressure : هو نفس الضغط الجوى ويسمى ضغط بارومتري بسبب استعمال البارومتر لقياسه.
٣. الضغط المطلق Absolute Pressure: هو قياس الضغط الذي يشير إلى فراغ تام (vacuum) أو ضغط صفر.
٤. ضغط المقاس Gauge Pressure: هو الضغط المعبر عنه بالكمية المقاسة من (فوق) الضغط الجوى (أو لضغط آخر يستعمل كمرجع).
٥. الجو المخلخل من الهواء –فراغ- : هي طريقة التعبير عن الضغط بالكمية الأقل من الضغط الجوى (أو لضغط آخر يستعمل كمرجع).

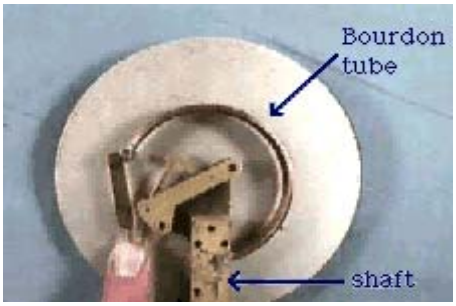
ومن وحدات قياس الضغط ما يلي:

N/m^2, dynes/cm^2, lb_f/in^2, psi, pascal, ft H_2O, atm, bar, mmHg

قياس ضغط الموائع Fluid Pressure Measurement

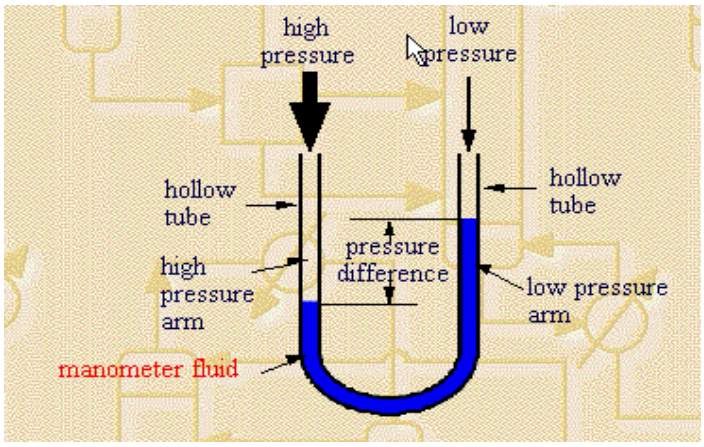
١. ساعة بُوردن (Bourdon gauge)

وهي عبارة عن أنبوب مطاطي مغلق من جهة ومثني على شكل حرف C. تعرض النهاية المفتوحة إلى المائع المراد قياس الضغط له. وعندما يزداد الضغط فان الأنبوب المطاطي يبدأ بالاستطالة مسببا دوران للمؤشر المثبت في الأنبوب. موقع المؤشر على ساعة معايرة يعطي ضغط الساعة للمائع (gauge pressure).



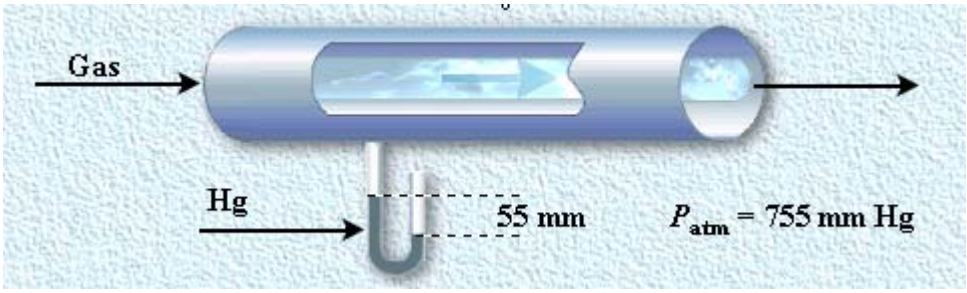
٢. المانوميتر Manometer

وهو عبارة عن أنبو على شكل U مملوء بمائع معلوم الكثافة (يسمى مائع المانوميتر manometer fluid). عندما يتم تعريض نهايتي المانوميتر إلى ضغوط مختلفة، فان مستوى المائع داخل الأنبوب ينخفض في الساق ذات الضغط العالي بينما يرتفع في الساق ذات الضغط المنخفض. ويمكن حساب الاختلاف في الضغط بواسطة قياس فرق ارتفاع المائع في ساقي المانوميتر.



أ. **المانوميتر مفتوح النهاية** Open-end Manometer

تعرض احد الساق المانوميتر إلى المائع المراد قياس ضغطه بينما تعرض الساق الأخرى إلى الضغط الجوي (atmospheric pressure).



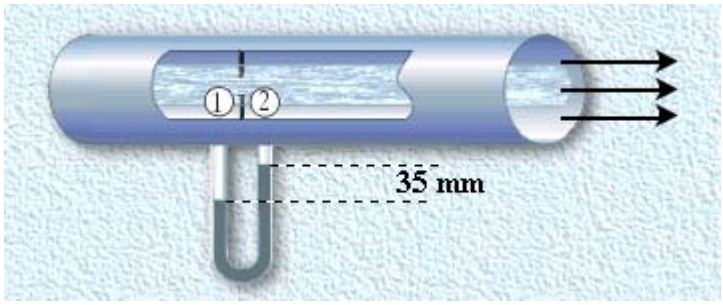
شكل ٢- ٢: مانوميتر مفتوح النهاية

ب. **المانوميتر مغلق النهاية** Seal-end Manometer

ويحتوي على فراغ (vacuum) عند احد نهايتيه.

ت. **المانوميتر التفاضلي** Differential Manometer

ويستخدم لقياس الاختلاف في الضغط عند نقطتين في أي عملية.



شكل ٢- ٣: مانوميتر التفاضلي

قياس الضغط (نسبى أو مطلق) يعتمد على نوعية المقياس المستعمل للقياس. فمثلا المانوميتر مفتوح النهاية (شكل ٢- ٢) يقرأ الضغط النسبي نسبة إلى الضغط الجوى. وضغط المرجع في النهاية المفتوحة هو الضغط الجوى. من جهة أخرى غلق نهاية المانوميتر يوليد فراغ مما يسهل علينا مقياسا الضغط مقابل فراغ (Vacuum) كامل أو ضغط معدوم .

إن هذا القياس للضغط يسمى بالضغط المطلق. وقياس الضغط المطلق منسوب إلى جو فارغ تماما وهذا المرجع لا يعتمد على الموقع أو درجة الحرارة أو الضغط الجوى أو أي عوامل أخرى وعليه فان الضغط المطلق يعطى قيمة دقيقة وغير متغيرة وسهلة المعرفة.

تشير نقطة الصفر لمقياس الضغط المطلق إلى ضغط الفراغ التام بينما في حالة مقياس الضغط النسبي فيشير عادة إلى ضغط الهواء الذي يحيط به في جميع الأوقات وكما هو معروف أن ضغط الهواء الجوى يتغير قليلا من وقت إلى آخر.

إن فهم طريقة العمل الرئيسية للمانوميتر ستساعد على إدراك طبيعة الضغط المقاس به.

ويتذبذب مستوى سطح المائع في ساقي المانوميتر حتى نحصل على نقطة الموازنة للسائل (Hydrostatic balance) حيث يستقر السائل في المانوميتر والفرق بين ارتفاع المئع في الساق المفتوحة و الساق المتصلة بمصدر الضغط المطلوب قياسه يساوى الفرق بين الضغط الجوى والضغط المسلط. إذا كان العامل المؤثر للضغط اقل من الضغط الجوى – التفريغ (Vacuum) بدل من الضغط – اكثر من الضغط الجوى – والمرتبط بنفس الساق الأخرى، فان فرق الضغط يساوى الفرق بارتفاع السائل في الساقين.

ويعتبر الماء و الزئبق المائعين الأكثر استعمالا في المانوميتر ويعبر عن القراءة بالبوصات أو بوصات الزئبق أو الملميتر زئبق.

إن مقاييس الضغط قد تكون اكثر إرباكا من مقاييس درجة الحرارة لكون نقطة الصفر بمقاييس الضغط النسبية ليست ثابتة وذلك لاعتمادها على الضغط الجوى المتغير نسبيا من وقت إلى آخر بينما في مقاييس درجة الحرارة فان درجة الغليان أو درجة التجمد للماء دائما ثابتة القيم والممارسة خير وسيلة للتدريب على مقاييس الضغط .

إن العلاقة بين الضغط النسبي والمطلق يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

الضغط المطلق = الضغط المقاس + الضغط الجوي (الضغط البارومتري)

$$P_{absolute} = P_{gauge} + P_{atm} \qquad (2\text{-}11)$$

يجب أن تستعمل وحدات ثابتة لجميع الحدود في المعادلة أعلاه ومن الملاحظ في هذه المعادلة أن الضغط الجوى أي الضغط البارومتري يضاف إلى قراءة الضغط المقاس أو الضغط النسبي (أو قراءة البارومتر ذو النهاية المفتوحة) وذلك للحصول على الضغط المطلق.

إن نظام مقياس تخلخل الضغط شائع الاستعمال في الأجهزة التي تعمل تحت ضغط اقل من الضغط الجوى كما هي الحالة بالنسبة للمبخرات والمرشحات التي تعمل تحت جو مخلخل من الهواء.

يجب الملاحظة وعدم الالتباس بين الضغط القياسي وبين الضغط الجوى ..فالضغط القياسي يعرف بالضغط (تحت تأثير قوة الجاذبية القياسية)المكافئ إلى 14.696 psi أو 760 mmHg عند درجة $10^{\circ}C$ والقيمة المكافئة بالوحدات الأخرى بينما الضغط الجوى متغير القيمة ويجب الحصول عليه من المانوميتر لكل مرة نحتاجه.

تعيين فرق الضغط في المانوميتر

لتحديد العلاقة في تعيين فرق الضغط عند اختلاف مستوى السائل في المانوميتر فيجب أن يساوى ضغط السائل في أي نقطتين وفى نفس الارتفاع في السائل المستمر. وتوصف المعادلة العامة للمانوميتر بالشكل الآتي:

$$P_1 + \rho_1 g d_1 = P_2 + \rho_2 g d_2 + \rho_f g h \qquad (2\text{-}12)$$

- في المانوميتر التفاضلي يكون السائل 1 هو نفسه السائل 2

وبالتالي تصبح المعادلة ١٢- ٢ أعلاه:

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_f \qquad (2\text{-}13)$$

$$P_1 - P_2 = (\rho_f - \rho)\, g \cdot h \qquad (2\text{-}14)$$

- إذا كان أحد ساقي المانوميتر مفتوح للهواء الجوى فان كثافة المائع في هذه الساق اقل بـ 100-1000 مرة من كثافة سائل المانوميتر، لذا فان $\rho \cdot g \cdot d$ يمكن أن تهمل في المعادلة العامة للمانوميتر لتصبح المعادلة:

$$P_1 - P_2 = \rho_f \cdot g \cdot h \qquad (2\text{-}15)$$

- إذا كان كلا المائعين غاز تصبح المعادلة:

$$P_1 - P_2 = h \qquad (2\text{-}16)$$

مثال٢- ١٠

مانوميتر تفاضلي يستخدم لقياس الانخفاض في الضغط بين نقطتين في أنبوب مياه. الوزن النوعي (S.G.) لمائع المانوميتر هو 1.05. القياسات لكل مائع في كل ساق للمانوميتر معطاة كما هو موضح في الشكل أدناه. احسب الفرق في الضغط بين النقطتين 1 و 2 .

الحل:

$$h = (382 - 374)\ mm = 8\ mm$$

$$P_1 - P_2 = (\rho_f - \rho)\, g \cdot h$$

$$= (1.05 - 1.00) \times 980 \times 0.8$$

$$= 39.2\ \text{dynes}/cm^2$$

مثال٢- ١١

ضغط الغاز المسحوب خلال أنبوب بواسطة مضخة تفريغ مقاس بمانوميتر زئبقي ذو نهاية مفتوحة وكانت القراءة 2- in احسب الضغط المقاس بـ inHg ثم احسب الضغط المطلق إذا علمت أن الضغط الجوى يساوي 30 inHg .

الحل

$$P_1 - P_{atm} = -2\ \text{inHg}$$

$$P_1 = Patm + P_{gaug}$$

$$= 30 - 2 = 28\ \text{inHg}$$

تمارين

١. احسب :

- الوزن بالـ lb_f لجسم كتلته 25 lb_m
- الكتلة بالـ kg لجسم وزنه 25 N
- الوزن بال dyne لجسم كتلته 10 ton

٢.خزان به سائل طول هذا الخزان 50 m وعرضه 15 m وعمقه 2 m إذا كانت كثافة هذا السائل 58 lb_m/ft^3 فاحسب محتوى الخزان بال lb_f

٣ .احسب الكثافة للزئبق بال lb_m/ft^3 إذا علمت أن الوزن النوعي للزئبق هو 13.546 عند 20 $^{\circ}C$ ثم احسب الحجم بال ft^3 ل 215 kg زئبق

٤. احسب الحجم النوعي للزئبق في السؤال الثالث .

٥.خليط مكون من مجموعة غازات وكان الكسر الكتلي لكل غاز من هذه الغازات هي على النحو التالي :

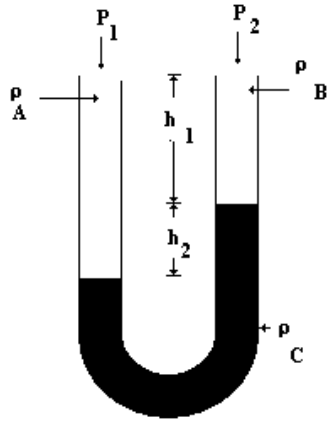
O_2 = 16 %
CO = 4.0 %
CO_2 = 17 %
N_2 = 63 %

احسب الكسر المولى للخليط.

٦. حول درجات الحرارة التالية:

- 85 $^{\circ}F$ إلى $^{\circ}R$
- 40 $^{\circ}C$ إلى K
- 85 $^{\circ}F$ إلى $^{\circ}C$
- -10 ^{0}C إلى $^{\circ}F$

٧. .ثلاث سوائل مختلفة في المانوميتر الموضح أدناه:



- اشتق العلاقة التي تبين فرق الضغط $P_1 - P_2$ متضمنة ρ_A ، ρ_B ، h_1 ، h_2 ، ρ_C
- افترض أن المائع A هو الميثانول والمائع B هو الماء وC هو مائع المانوميتر وان الوزن النوعي لمائع المانوميتر هو 1.37 و P_2 هو 121 kPa و h_1 هو 30 cm و h_2 هو 24 cm احسب P_1 بال kPa

٨, .سائل مجهول الكثافة يستخدم في مانوميترين مانوميتر الأول أحد ساقيه مغلقه والمانوميتر الثاني متصل بأنبوب من نوع اروفيس الضغط البارروميترى قرىء خلال يوم وكان 756 mmHg احسب فرق الضغط بال mmHg من النقطة a الى النقطة b .