



جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية صناعي/تكرير النفط ومعالجة الغاز الأول

الدكتور المهندس
كاظم نوري عبد

د. يوسف جواد كاظم

د. نيران خليل إبراهيم

م.م احمد جاسم محمد

د. شاكر محمود احمد

1447 هـ - 2025 م

الطبعة الرابعة

مقدمة

يُعد تكرير النفط، ومعالجة الغاز من العمليات الضرورية التي يمكن من خلالها استخلاص المركبات العديدة وتحويلها إلى منتجات صالحة للاستهلاك، إذ انه ليس من الممكن استعمال النفط الخام بالصورة التي يوجد بها في باطن الأرض. والمقصود بالتكرير فصل النفط الخام عن طريق التقطير إلى مكونات مثل البنزين والكيروسين والنفثا وغيرها . والنفط يُعد المادة الخام للكثير من المنتجات الكيميائية مثل الأدوية والأسمدة والمبيدات والمذيبات واللدائن، كما انه يستعمل في النقل والمواصلات وإنتاج الزيوت المعدنية والشموع وغير ذلك ، ويعد مصدراً مهماً في الصناعات البتروكيمياوية، إذ يدخل في الصناعات البلاستيكية والألياف الصناعية والأصباغ. يعتبر البترول من أهم وأنظف مصادر الطاقة عند المقارنة بالأنواع الأخرى من الوقود. تكمن أهمية البترول في سهولة تخزينه ونقله.

تُعتمد العديد من الصناعات على الغاز الطبيعي مثل الصناعات البلاستيكية والألياف الصناعية والمنتجات البتروكيمياوية. كما يعد الغاز الطبيعي مصدراً للطاقة كونه يستعمل في التدفئة المنزلية، وفي مجال التدفئة المركزية وتسخين المياه وتبريدها، وذلك لما يتمتع به من ميزات وصفات تميزه عن غيره من أنواع الوقود المستعملة حالياً، ومن أهمها قلة نسبة التلوث الحاصلة عند استعماله. يحترق الغاز الطبيعي بشكل تام، ويؤدي ذلك إلى إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون عوضاً عن أول أكسيد الكربون السام. يحتوي الغاز الطبيعي على نسبة ضئيلة من الشوائب والعوالق التي من الممكن إن تزال بسهولة وبتكلفة قليلة. يتميز الغاز الطبيعي باشتعاله السريع ونظافته وجودته وكفاءته.

يُعنى تخصص تكرير النفط ومعالجة الغاز الذي استحدثته المديرية العامة للتعليم المهني بإعداد كوادر فنية وسطية قادرة على العمل في مجالي تصفية النفط ومعالجة الغاز بداية من فوهة البئر ولحين تهيئة المنتجات النفطية المختلفة بعد المعالجة والتصفية للمستهلك .

الكتاب الحالي (العلوم الصناعية / الصف الأول) يحتوي على سبعة فصول هي مفاهيم أساسية في الكيمياء العامة ، الحسابات الكيمياوية ، مبادئ الكيمياء العضوية ، النفط والغاز ، تكنولوجيا الوقود ، الاحتراق وانتقال الحرارة ، وجميعها تتضمن محاور أساسية لتزويد الطالب بالمعارف التي تؤهله لفهم المواضيع التي تتضمنها الكتب المنهجية للصفين الثاني والثالث. نرجو من جميع الاخوة المدرسين تزويدنا بمقترحاتهم لتطوير المحتوى العلمي للكتاب .

والله الموفق

المؤلفون

الفهرست

3	مقدمة
9	الفصل الاول: مفاهيم اساسية في الكيمياء
9	1.1 تمهيد Preface
9	2.1 الحجم – الكتلة - الضغط – الكثافة Volume, Mass, Pressure and Density
13	3.1 الحرارة ودرجة الحرارة Heat and temperature
13	1.3.1 الحرارة Heat
14	2.3.1 مقاييس درجة الحرارة Scales of Temperature
14	4.1 قوانين الغازات Gases Laws
17	5.1 النظرية الحركية للغازات Kinetic Theory of Gaseous
17	6.1 التركيب الذري Atomic Structure
18	7.1 التكافؤ Valence
18	8.1 الكتلة الذرية Atomic Mass
19	9.1 الكتلة المكافئة Equivalent Mass
20	10.1 مفهوم المول Mole Concept
20	11.1 قوانين الاتحاد الكيميائي Laws of chemical Combination
21	12.1 الحالات الصلبة والسائلة والغازية Solid, Liquid and Gas states
21	13.1 الغليان ودرجة الغليان
21	14.1 الانصهار ودرجة الانصهار
22	15.1 المحاليل
22	16.1 التركيز وطرق التعبير عن التركيز Concentrations
24	17.1 الصيغة الكيميائية
25	18.1 المعادلة الكيميائية Chemical Equation
26	19.1 المركب الكيميائي Chemical Compound
26	20.1 تعريف الذرة Definition of Atom
27	1.20.1 الإلكترون- البروتون- النيوترون Electron- Proton- Neutron
28	21.1 الاواصر الكيميائية (الايونية – التساهمية - التناسقية)
29	22.1 الحوامض والقواعد والاملاح Acids, Bases, and Salts
31	الفصل الثاني : الحسابات الكيميائية
31	1.2 تمهيد
32	2.2 وحدات القياس (Measurement Units)
36	1.2.2 تحويل الوحدات (Units Conversion)
38	3.2 مفاهيم أساسية (Basic Concepts)
38	1.3.2 الكثافة والوزن النوعي Density and Specific Gravity
41	2.3.2 درجة الحرارة (Temperature)

42	3.3.2 الضغط (Pressure)
44	4.3.2 المول (Mole)
46	5.3.2 التركيب (Composition)
47	6.3.2 التركيز (Concentration)
52	4.2 موازنة المادة (Material Balance):
59	5.2 موازنة الطاقة (Energy Balance)
59	1.5.2 الديناميكا الحرارية (Thermodynamics)
60	2.5.2 قوانين الديناميكا الحرارية (Laws of Thermodynamics)
62	3.5.2 موازنة الطاقة للعمليات الفيزيائية (Energy Balance in Physical Processes)
66	6.2 الغازات والأبخرة (Gases and Vapors)
66	1.6.2 قوانين الغاز (Gas Laws)
71	2.6.2 الأبخرة (Vapors)
72	7.2 اشكال الطاقة (Forms of Energy)
73	1.7.2 الطاقة الحركية (Kinetic Energy)
73	2.7.2 الطاقة الكامنة
74	3.7.2 الطاقة الداخلية الكامنة
77	4.7.2 طاقة حالة المادة (Entropy)
79	8.2 القياس (Measurments)
79	1.8.2 مفاهيم علم القياس (Concepts of Metrology)
80	9.2 مقاييس الضغط (Pressure Measurements)
81	10.2 مقاييس الحرارة (Heat)
83	11.2 قياس ومعايرة المستوى في الخزانات (Measurement and Calibration of Level in Tanks)
84	12.2 قياس التدفق ومعايرة العدادات (Flow Measurement and Calibration of Counters)
90	الفصل الثالث: مبادئ الكيمياء العضوية Principles of Organic Chemistry
90	1.3 تمهيد Preface
90	2.3 الترتيب الذري لذرة الكربون Electronic Arrangement of Carbon Atom
92	3.3 الصيغة التركيبية Structural Formula
93	4.3 الهيدروكربونات Hydrocarbons
93	1.4.3 الالكانات او البارافينات Alkane or Paraffin
98	2.4.3 الالكينات الاوليفينات Alkenes or Olefin
102	3.4.3 الالكينات الاستيلينات Alkynes or Acetylenes
104	5.3 المركبات الاروماتية Aromatic Compounds
105	1.5.3 تركيب البنزين Benzene Composition
105	2.5.3 الخواص الفيزيائية للبنزين Physical Properties of Benzene
105	3.5.3 تسمية مشتقات البنزين Nomenclature of Benzene Derivatives

109	..... Sources of Aromatic Compounds	4.5.3	مصدر المركبات الاروماتية
109	..... Alcohols and Phenols	6.3	الكحولات والفينولات
109	..... Alcohol Classification	1.6.3	تصنيف الكحولات
110	..... Alcohols Nomenclatures	2.6.3	تسمية الكحولات
112	..... Phenols Nomenclatures	3.6.3	تسمية الفينولات
112	..... Physical Properties of Phenols	4.6.3	الخواص الفيزيائية للفينولات
113	..... Carboxylic acids	7.3	الحوامض الكربوكسيلية
115	..... Oil and Gas		الفصل الرابع: النفط والغاز
115	.....	1.4	تمهيد
115	.....	2.4	تعريف النفط الخام
116	.....	1.2.4	اصل النفط ونظريات نشوؤه
117	.....	2.2.4	النظرية العضوية
119	.....	3.2.4	النظرية اللاعضوية
119	.....	4.2.4	النظرية الكونية :Astronomical Theory
119	.....	3.4	أهم الحقول النفطية العراقية :
120	.....	4.4	التركيب الكيماوي للنفط الخام
122	.....	1.4.4	المركبات الهيدروكربونية :
124	.....	2.4.4	المركبات العضوية غير هيدروكربونية (الشوائب الذائبة):
126	.....	3.4.4	الشوائب غير الذائبة (الماء والاملاح والرواسب) Insoluble Impurities
126	.....	5.4	تصنيف النفط الخام والفحوصات المختبرية
127	.....	6.4	خامات النفط القياسية
128	.....	7.4	الاهمية الاقتصادية للنفط والغاز الطبيعي
129	.....	8.4	استخراج الغاز الطبيعي
130	.....	9.4	تركيب الغاز الطبيعي ومصادره
132	.....	10.4	نقل وتوزيع الغاز الطبيعي
134	.....		الفصل الخامس: تكنولوجيا الوقود Fuel Technology
134	.....	1.5	تمهيد Preface
135	.....	2.5	تعريف الوقود Fuel Definition
137	.....	1.2.5	تفاعلات الاحتراق Combustion reactions
138	.....	3.5	تصنيف الوقود Fuel Classification
144	.....	1.3.5	مجالات استخدام الطاقة النووية السلمية
144	.....	2.3.5	المفاعلات النووية
145	.....	3.3.5	انواع التفاعلات النووية
146	.....	4.3.5	كيف تعمل محطات الطاقة النووية؟
146	.....	5.3.5	مميزات الطاقة النووية

147	6.3.5 مساوي استخدام الطاقة النووية
147	4.5 انتاج الوقود Fuel Production
149	5.5 مضافات الوقود Fuel Additives
151	6.5 خزانات الوقود Fuel Storages
152	7.5 استهلاك الوقود عالميا:
154	الفصل السادس: الاحتراق Combustion
154	1.6 تمهيد Preface
155	2.6 تعريف الاحتراق Combustion Definition
156	3.6 المواد المتفاعلة والمواد الناتجة من تفاعل الاحتراق : Reactants and Products of Combustion Reaction
156	4.6 تصنيف الاحتراق
157	5.6 المعادلات الكيميائية لتفاعل الاحتراق: Chemical equations of Combustion
158	6.6 النسبة المولية والنسبة الكتلية: Mole and Mass Fraction
160	7.6 كمية الهواء النظرية اللازمة للاحتراق التام : Theoretical air Required for Complete Combustion
161	8.6 نسبة (الهواء/ الوقود) النظرية Theoretical (Air/Fuel) Ratio
163	9.6 القيمة الحرارية للوقود: Calorific value of the fuel
163	1.9.6 القيمة الحرارية العليا (HCV) High Calorific Value
164	2.9.6 القيمة الحرارية الدنيا (LCV) Low Calorific Value
165	10.6 احتراق الوقود Fuel Combustion
165	1.10.6 احتراق الوقود الصلب : Combustion of Solid Fuel
166	2.10.6 احتراق الوقود السائل : Combustion of Liquid Fuel
169	3.10.6 احتراق الوقود الغازي: Combustion of Gaseous Fuel
173	11.6 تأثير احتراق الوقود على تلوث البيئة
174	1.11.6 التلوث
175	2.11.6 أضرار تلوث الهواء
175	3.11.6 اهم ملوثات الهواء الجوي:
178	4.11.6 حلول لمشكلة تلوث الهواء
179	الفصل السابع: انتقال الحرارة Heat Transfer
179	1.7 تمهيد Preface
180	2.7 كمية الحرارة ودرجة الحرارة :
182	1.2.7 الاتزان الحراري :
184	3.7 تأثير الحرارة على المواد
184	1.3.7 تمدد المواد بالحرارة
185	2.3.7 الحرارة الكامنة للانصهار Latent heat of fusion
185	3.3.7 الحرارة الكامنة للتبخير Latent heat of vaporization
186	4.3.7 أجهزة قياس درجة الحرارة

189	..... طرق انتقال الحرارة	5.3.7
190	..... حسابات انتقال الحرارة	6.3.7
194	..... Heat Exchangers المبادلات الحرارية	7.3.7
194	..... فكرة التبادل الحراري خلال المبادلات الحرارية	8.3.7
195	..... حالات جريان الموائع في المبادلات الحرارية	9.3.7
197	..... العوامل المؤثرة علي الأداء الحراري للمبادلات الحرارية	10.3.7
197	..... استعمالات المبادلات الحرارية	11.3.7
197	..... تصنيف المبادلات الحرارية	12.3.7
203	..... اختيار المبادلات الحرارية	13.3.7

الفصل الاول

مفاهيم اساسية في الكيمياء

Basic Principles of Chemistry

الاهداف

يكون الطالب قادرا على أن:

- 1 – يفهم المحتوى العلمي لعدد من المصطلحات الكيمياوية والفيزيائية والعلاقة بينها .
- 2 – يفهم معنى التركيز وطرق التعبير عنه .
- 3 – يعرف المعادلة الكيمائية واهميتها .
- 4 – يميز الحوامض والقواعد والاملاح .
- 5 – يفهم معنى المول وقوانين الاتحاد الكيمياوي .
- 6 – يعرف التكافؤ والكتلة الذرية والكتلة المكافئة .

1.1 تمهيد Preface

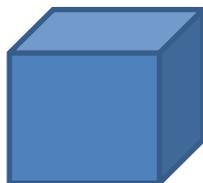
يُعدُّ هذا الفصل نقطة انطلاق في موضوع العلوم الصناعية لكونه يعطي تعريفا للمفاهيم المهمة في الكيمياء التي تبدأ بالوحدات التي تحسب فيها الكميات وتنتقل إلى مفاهيم تركيب ذرات العناصر الكيمائية وحالات المادة وكيفية التعبير عنها وكتابة معادلاتها وتنتهي بمعرفة طريقة الترابط بينها وكيفية تكوينها للمركبات المهمة في الحياة اليومية للانسان بالإضافة إلى تعريف بالحوامض والقواعد والاملاح.

2.1 الحجم – الكتلة - الضغط – الكثافة Volume, Mass, Pressure and Density

يمكن التعرف على صفات المادة بكل حالاتها الصلبة، السائلة والغازية عن طريق قياس مواصفاتها مثل الحجم والكتلة والضغط والكثافة.

الحجم : هو الحيز (المكان او الفراغ) الذي يشغله الجسم ويقاس بوحدات الطول مكعبة (m^3 , cm^3 , in^3 وغيرها). ويحسب بضرب مساحة وجه او قاعدة الجسم في الارتفاع العمودي عليها .

حجم المكعب = (طول الضلع)³



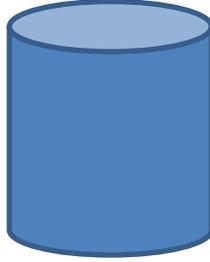
إنَّ تكون جميع اطوال اضلاعه متساوية

حجم متوازي الاضلاع = (مساحة القاعدة × الارتفاع) = (الطول × العرض × الارتفاع)



إذ يختلف اطوال اضلاعه ويمثل الارتفاع الطول للجانب العمودي على القاعدة او الوجه الذي تحسب مساحته من حاصل ضرب الطول في العرض لأنها مستطيل وقد تكون مربع.

$$\text{حجم الاسطوانة} = (\text{مساحة القاعدة} \times \text{الارتفاع}) = \pi \text{ نق}^2 \times \text{الارتفاع}$$



الاجسام غير المنتظمة الشكل يتم حساب حجمها بقياس كمية الماء الذي تزيحه عند وضعها داخل حجم معروف من الماء. إذ يوضع الجسم في اسطوانة مدرجة مملوءة بحجم معلوم من الماء وتحدد كمية الزيادة في الحجم . عندها نحسب الفرق بين الحجمين قبل وبعد وضع الجسم والذي يمثل حجم الجسم.

حجم الجسم غير المنتظم = حجم الماء بعد غمر الجسم فيه - حجم الماء قبل غمر الجسم فيه

مثال (1)

مكعب حجمه L 1000 جد طول ضلعه؟

الحل:-

$$\text{حجم المكعب} = (\text{طول الضلع})^3$$

$$\text{حجم المكعب} = \sqrt[3]{\text{طول الضلع}}$$

$$\text{طول الضلع} = \sqrt[3]{1000}$$

$$\text{طول الضلع} = 10 \text{ cm}$$

مثال (2)

خزان على شكل متوازي اضلاع حجمه 1000 m^3 ارتفاعه 5 m جد مساحة قاعدته؟
الحل:-

الارتفاع \times مساحة القاعدة = حجم متوازي الاضلاع

$$\text{مساحة القاعدة} = \frac{\text{حجم متوازي الاضلاع}}{\text{الارتفاع}}$$

$$\text{مساحة القاعدة} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ m}^2$$

مثال (3)

اسطوانة مدرجة فيها 450 ml من الماء وضع فيها جسم غير معلوم حجمة فاصبح حجم الماء في الاسطوانة 536 ml . ماهو حجم الجسم.
الحل:-

حجم الجسم غير المنتظم = حجم الماء بعد غمر الجسم فيه - حجم الماء قبل غمر الجسم فيه

$$\text{حجم الجسم غير المنتظم} = 536 - 450 = 86 \text{ ml}$$

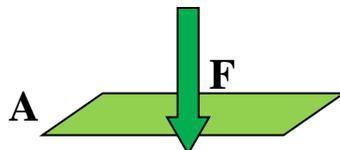
الكتلة Mass

هي كمية المادة في حجم معين من الجسم، ويمكن تحديدها بواسطة مقاييس الكتلة مثل الميزان وتقاس بوحدات الكيلوغرام Kg ، الغرام g ، الباوند lb والطن ton حسب قيمة الكمية حيث تستخدم الوحدات الصغيرة للتعبير عن الكميات الصغيرة في المختبرات مثلا وتستعمل وحدات الباوند والكيلوغرام للتعبير عن الوحدات المتوسطة بينما يستخدم الطن للتعبير عن الوحدات الضخمة مثلا حمولة الشاحنات.

الضغط Pressure

هو القوة المسلطة عموديا على وحدة المساحة، ويعرف رياضيا كما في المعادلة أدناه.

$$P = \frac{F}{A}$$



إذ
 F هي القوة وتقاس بوحدات نيوتن او دايين حيث يعرف النيوتن بالوحدات Kg.m/s^2 والداين بوحدات g.cm/s^2
 A هي المساحة بوحدات m^2 او cm^2
وتكون وحدات قياس الضغط بقسمة وحدات القوة على وحدات المساحة وهي (Kg/m.s^2) وتسمى باسكال Pa ، وهناك تعابير كثيرة عن وحدات الضغط منها ملم زئبق mmHg والجو .atm.

انواع الضغط

1- الضغط الجوي Atmospheric Pressure:

هو الضغط الناتج من وزن كتلة الهواء المحيط بالأرض وتختلف قيمته حسب ارتفاع المنطقة عن سطح البحر ودرجة الحرارة ومن قيمه الثابتة عند مستوى سطح البحر. $101.3\text{kpa} - 760\text{mmHg}$ إذ يُعدّ سطح البحر هو المستوى الثابت في جميع المناطق لذلك يُعدّ المستوى الذي تحدد نسبة له ارتفاعات المناطق في باقي انحاء الكرة الأرضية .

2- الضغط القياسي Measurable Pressure :

هو الضغط الذي ينتج من المادة الموجودة في الخزانات كسوائل الماء والمنتجات النفطية، أو المحصورة في حاويات كالقناني الخاصة بالغازات، ويمكن قراءته بواسطة أجهزة القياس المعروفة.

3- الضغط الفراغي Vacuum Pressure:

هو الضغط الناتج من تفريغ خزان باستعمال مضخة سحب مما يؤدي إلى انخفاض الضغط في داخله إلى اقل من قيمة الضغط الجوي ويطلق عليه بالضغط السالب.

4- الضغط المطلق Absolute Pressure :

هو الضغط الكلي المسلط من قبل المادة والمحيط ويحسب من مجموع الضغط الجوي مع الضغط القياسي فيكون اكبر من الضغط الجوي اما في حالة الضغط الفراغي فيكون اقل من الضغط الجوي لأنه ضغط قياسي سالب.

$$\text{الضغط المطلق} = \text{الضغط الجوي} + \text{الضغط القياسي}$$

$$\text{الضغط المطلق} = \text{الضغط الجوي} - \text{الضغط الفراغي}$$

مثال (4)

احسب الضغط القياسي داخل اطار سيارة اذا كان الضغط المطلق 200 Kpa ؟

الحل:-

$$\text{الضغط المطلق} = \text{الضغط الجوي} + \text{الضغط القياسي}$$

$$\text{الضغط القياسي} = \text{الضغط المطلق} - \text{الضغط الجوي}$$

الضغط القياسي = 101.3 – 200

الضغط القياسي = 98.7 Kpa ضغط الاطار

Density الكثافة

كتلة حجم واحد من الجسم ولا تتأثر بالجاذبية الأرضية وتبقى ثابتة مع ثبوت درجة الحرارة، وتقاس بوحدات الكتلة مقسومة على وحدات الحجم كما في المعادلة أدناه مثلاً كثافة الماء تكون 1000 Kg/m³ بدرجة حرارة الغرفة (25°C). ويرمز لها بالحرف اللاتيني ρ ويقرأ (رو).

$$\rho = \frac{M}{V}$$

إذ M هي كتلة المادة و الحجم V

مثال (5)

جد كثافة مكعب من الخشب طول ضلعه 10 cm اذا كانت كتلته 15 g .

الحل:-

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$V = (10)^3 = 1000 \text{ cm}^3$$

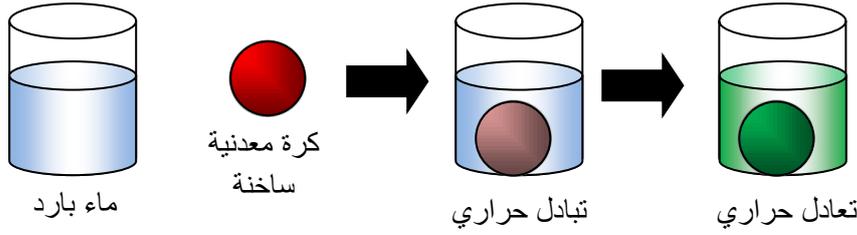
$$\rho = \frac{15}{1000} = 0.015 \text{ g/cm}^3$$

3.1 الحرارة ودرجة الحرارة Heat and temperature

1.3.1 الحرارة Heat

صورة من صور الطاقة (Energy) التي تنتقل من جسم إلى آخر نتيجة لوجود فرق، او اختلاف في درجات الحرارة بينهما. وهي خاصية من خواص المادة وان اي تغير فيها سيغير من خواص المادة الأخرى مثل المغناطيسية، أو اللون، أو حالة المادة (صلبة أو سائلة أو غازية). كما انها مظهر لمجموع الطاقة الحركية للجزيئات.

اذا افترضنا وجود كرة معدنية ساخنة وضعت في ماء بارد يحدث تبادل حراري بين الكرة و الماء بسبب الفرق في درجات الحرارة ويستمر هذا الانتقال لفترة زمنية حسب حجم الكرة و كمية الماء إلى إن يحدث تعادل حراري وتتساوى درجات الحرارة ويصبح الماء والكرة بنفس الدرجة الحرارية كما موضح في الشكل ادناه :



الشكل (1 - 1) التبادل الحراري بين كرة معدنية والماء

درجة الحرارة Temperature

مقياس شدة السخونة او البرودة لجسم ما. وهي معدل سرعة الجزيئات لمادة ما، ويمكن اعتبارها مقياس لنشاط حركة الجزيئات داخل الجسم.

2.3.1 مقاييس درجة الحرارة Scales of Temperature

يستعمل المحرار الزئبقي إذ تستغل خاصية الزئبق الذي يتمدد في انبوبة شعرية مدرجة دقيقة عند ارتفاع درجة الحرارة ويتقلص بانخفاضها. ويمكن وصف درجة الحرارة بعدة مقاييس منها المقياس السيليزي °C Celsius scale والمقياس الفهرنهايتي °F Fahrenheit scale والمقياس المطلق (كلفن) Kelvin scale K.

في المقياس السيليزي يتم اعتماد الصفر كدرجة انجماد الماء المقطر ويقابله (32°F) في المقياس الفهرنهايتي ويتم اعتماد درجة غليان الماء المقطر (100 °C) كأعلى مقياس فيه يقابله في المقياس الفهرنهايتي (212 °F) والعلاقة بين المقاييس يمكن تمثيلها رياضياً كما يلي:

$$K = ^\circ C + 273 \text{ ----- (1-1)}$$

$$^\circ F = 1.8^\circ C + 32 \text{ ----- (2-1)}$$

مثال (6)

احسب قيمة درجة الحرارة 373 k بالمقياس السيليزي والفهرنهايتي؟
الحل:

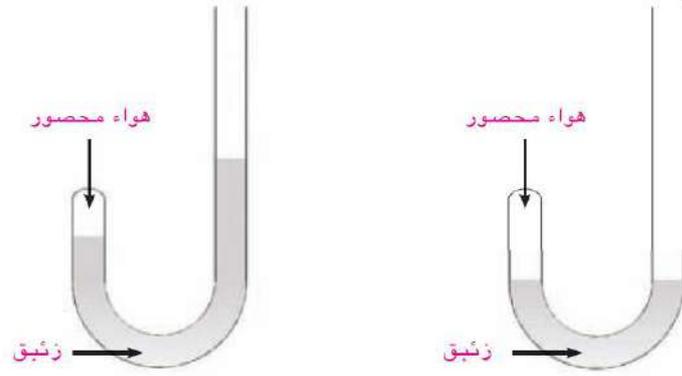
$$373 = ^\circ C + 273$$

$$^\circ C = 373 - 273 = 100$$

$$^\circ F = 1.8 \times 100 + 32 = 212$$

4.1 قوانين الغازات Gases Laws

لقد قام العالم البريطاني (روبرت بويل) بأول تجربة لاختبار علاقة الحجم والضغط للغازات وقد استعمل انبوب على شكل حرف (J) مسدود من جهة الساق القصيرة فيه بعض من الغاز المحصور وقام بإضافة الزئبق من الطرف الاطول فبدأ الزئبق بالضغط على الغاز ليصبح حجم الغاز ذا حجم معين وعندما ضاعف كمية الزئبق (اي ضاعف الضغط) قل حجم الهواء المحصور إلى النصف كما موضح في الشكل (2-1)



الشكل (2-1) تطبيق قانون بويل

لقد لاحظ بويل ان حجم الهواء يقل كلما زاد الضغط المسلط عليه، (عند تثبيت درجة الحرارة وكمية الغاز) ولهذا وضع بويل قانونه الشهير الذي ينص (يتناسب حجم الغاز عكسياً مع الضغط المسلط عليه عند ثبوت درجة الحرارة وكمية الغاز). وقد وضع بويل العلاقة بشكل رياضي إذ :

$$V \propto \frac{1}{P}$$

$$V = k \frac{1}{P}$$

$$PV = K \quad \text{-----} \quad (3-1)$$

إذ K هو ثابت التناسب

أي ان حاصل الضرب للضغط والحجم بأية حالة يساوي كمية ثابتة. وعند أخذ عينة من غاز ذات حجم V_1 تحت ضغط P_1 عند درجة حرارة ثابتة وتم تغيير ظروف هذا الغاز ليصبح حجمه V_2 وضغط P_2 مع الاحتفاظ بدرجة الحرارة ثابتة T_1 فانه طبقاً لقانون بويل يمكن التوصل إلى الصيغة الآتية :

$$(عند ثبوت الحرارة وكمية الغاز) \quad P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{-----} \quad (4-1)$$

مثال (7)

ضغط غاز في صفيحة معطر جو يساوي 3 atm وحجمه نصف لتر ما حجمه عندما يصبح الضغط المسلط عليها 4 atm .
الحل:-

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{3 \times 0.5}{4} = 0.375 L$$

كما يلحظ انه كلما سخن الغاز فانه يزداد بالحجم. ويُعدُّ عن ذلك بقانون شارل كما يلي (يتناسب حجم كمية محدودة من الغاز تناسباً طردياً مع درجة الحرارة المقاسة بالكلفن عند ثبوت الضغط وكمية الغاز) ويمكن التعبير رياضياً عن ذلك كما يلي.

$$V \propto T$$

$$V = KT$$

$$\frac{V}{T} = K \quad \text{-----} \quad (5 - 1)$$

إذ K هو ثابت التناسب

كذلك ضغط الغاز يتناسب طردياً مع درجة الحرارة بالكلفن ويعبر عنه بقانون غي لوساك كما يلي (يتغير ضغط كتلة معينة من الغاز تغيراً طردياً مع درجة حرارته المقاسة بالكلفن اذا كانت كميته وحجمه ثابتان) ويمكن التعبير عنه رياضياً كما يلي:

$$P \propto T$$

$$P = KT \quad (6 - 1)$$

$$\frac{P}{T} = K \quad (7 - 1)$$

إذ K ثابت التناسب

وجد العالم الايطالي افوكادرو انه عند ثبوت الضغط ودرجة الحرارة فان حجم الغاز يتناسب طردياً مع كميته التي تقاس بعدد مولاته (n). وعليه يمكن صياغة قانون افوكادرو كالاتي (تحتوي الحجم المتساوية من الغازات المختلفة على عدد متساوي من المولات عند ثبوت درجة الحرارة والضغط). ويعبر عنه رياضياً كما يلي :

$$V \propto n$$

$$V = Kn \quad (8 - 1)$$

يمكن ربط القوانين (بويل، شارل، غي لوساك ووافوكادروا) بقانون الغاز المثالي وكما في العلاقة التالية:-

$$PV = nRT \quad (9 - 1)$$

حيث R هو ثابت الغاز العام قيمته

$$R = 0.082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}}$$

في الظروف القياسية للغاز وهي :

مول واحد من اي غاز مثالي ($n = 1$)

درجة حرارة صفر سيليزي او ($T=273 K$)

ضغط جوي واحد ($P=1 atm$)

والذي يكون حجمه مساوي للقيمة ($V=22.414 L$)

مثال (8)

احسب عدد مولات غاز اول أكسيد النترجين NO في الظروف القياسية اذا كان حجمه 5.6 L ؟
الحل:

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1 atm \times 5.6 L}{0.082 \frac{atm L}{mol K} \times 273 K} = 0.25 mol$$

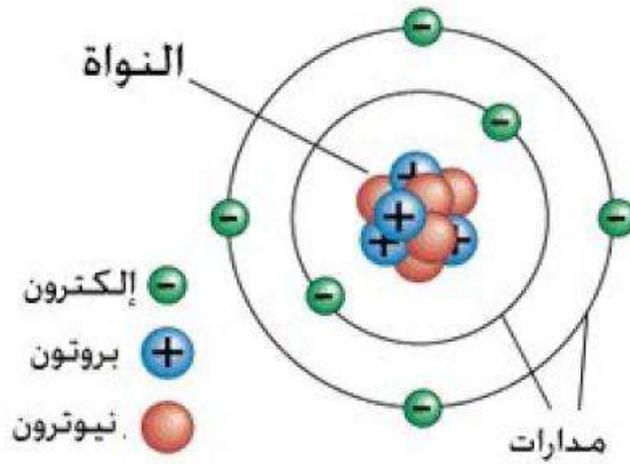
5.1 النظرية الحركية للغازات Kinetic Theory of Gaseous

تعتمد النظرية الحركية للغازات على الفرضيات الرئيسية التي يمكن اجمالها في النقاط التالية :

- 1- تتكون الغازات من جزيئات متناهية في الصغر (كتلة نقطية) أي انها تملك كتلة ولا تملك حجم.
- 2- اهمال القوى المؤثرة بين جزيئات الغاز، ماعدا لحظة التصادم.
- 3- تكون حركة الجزيئات عشوائية ومستمرة وبخطوط مستقيمة بين التصادمات
- 4- تكون جزيئات الغاز تامة المرونة، وكذلك التصادم بين الجزيئات يكون مرنا.
- 5- درجة حرارة الغاز هي المقياس لمتوسط الطاقة الحركية التي تمتلكها جزيئاته نتيجة لحركتها.

6.1 التركيب الذري Atomic Structure

تتألف العناصر الكيميائية من ذرات متعددة تتشابه في التركيب الذري مثل الهيدروجين والكربون وتتحد هذه العناصر فيما بينها لتكون المركبات الكيميائية كما في اتحاد الهيدروجين، والاكسجين ليكونا جزيئة الماء H_2O كذلك تتحد الذرات المتشابهة لنفس العنصر لتكوين المركبات وخاصة الغازات مثل الكلور Cl_2 و الاوكسجين O_2 وتتشكل ذرات العناصر من نواة محاطة بأغلفة ذات مستويات طاقة مختلفة يوجد في داخل النواة عدد من الجسيمات تسمى البروتونات P وعدد مساو له من النيوترونات N بينما يدور في الأغلفة شحنات الكترونية تسمى الالكترونات e وعادة تكون الذرة في حالة توازن في الحالة الاعتيادية.



الشكل (1-3) تركيب الذرة

7.1 التكافؤ Valence

إن صيغ المركبات الكيميائية، ليست وليدة الصدفة، وانما هي معتمدة على كيفية ارتباط الذرات مع بعضها في جزيئات تلك المركبات . وقد وجد انه هناك حد معين لقدرة ذرات عنصر معين للاتحاد مع ذرات عنصر اخر، وتسمى القدرة الاتحادية للعنصر في مركباته ، أو عدد ذرات الهيدروجين التي تتحد مباشرة مع ذرة واحدة من العنصر "التكافؤ" تتباين ذرات العناصر الكيميائية في قابليتها للارتباط بعدد محدد من الذرات الاخرى، لذلك ادخل مفهوم تكافؤ العنصر في علم الكيمياء لأول مرة في منتصف القرن التاسع عشر . يمكن تعريف التكافؤ لعنصر ما في الوقت الحالي بانه:

"عدد الالكترونات الموجودة في الغلاف الخارجي لذرة العنصر والتي تستطيع فقدها أو اكتسابها أو الاشتراك بها اثناء التفاعل الكيميائي"

فمثلاً : ان تكافؤ الهيدروجين يُعد واحداً لوجود الكترون واحد في غلافه الخارجي قابل للمشاركة، ويكون تكافؤ الاوكسجين في الماء H_2O يساوي 2 وذلك لوجود 6 الكترونات في غلافه الخارجي، فذرتة تميل لاكتساب الكترونين لإشباع غلافها الخارجي وكذلك يكون الصوديوم احادي التكافؤ لأنه يفقد الكترون واحد من غلافه الخارجي، ويكون تكافؤ المغنسيوم ثنائي لأنه يفقد الكترونين من غلافه الخارجي، ويكون تكافؤ الكلور احادي لأنه يكتسب الكترون واحد لغلافه الخارجي وهكذا.

8.1 الكتلة الذرية Atomic Mass

لقد امكن تعيين كتلة الذرة بدقة كبيرة، مثلاً كتلة ذرة الهيدروجين تبلغ 64×10^{-24} وتستعمل الكتلة الذرية للتعبير عن كتلة عنصر ما بالنسبة لكتلة ذرة عنصر اخر اتفق على استعماله في تحديد الكتل النسبية لكل عناصر الجدول الدوري وتم الاتفاق على تعريف الوحدة القياسية للكتل الذرية والتي سميت بوحدة الكتلة الذرية (وكذ) Atomic mass unit (amu) على انها

مساوية لواحد من اثنا عشر جزءاً من كتلة ذرة نظير الكربون 12

والذي اعتبرت كتلته الذرية مساوية 12 وحدة بالضبط وعلى هذا الأساس فان :

$$amu = \frac{\text{كتلة ذرة نظير (الكربون 12)}}{12} \quad (10 - 1)$$

اي ان $amu = 1/12$ من كتلة ذرة نظير الكربون 12

وبما ان كتلة ذرة نظير الكربون = $\frac{12}{\text{عدد افوكادرو}}$

$$= \frac{12}{6.023 \times 10^{23}}$$

$$1amu = \frac{1}{12} \times \frac{12}{6.023 \times 10^{23}}$$

$$= 1.66 \times 10^{-24}$$

ويمكن تحديد الكتلة الذرية لأي عنصر من العلاقة التالية :

$$amu = \frac{\text{الكتلة الغرامية للعنصر}}{\text{عدد افوكادرو}}$$

مثال (9)

احسب الكتلة الذرية للأوكسجين اذا كانت الكتلة الغرامية هي 16؟

الحل:

$$amu = \frac{16}{6.023 \times 10^{23}} = 2.656 \times 10^{-23}$$

9.1 الكتلة المكافئة Equivalent Mass

عند اتحاد العناصر الكيميائية لتكوين مركبات جديدة فإنها تتحد بكتل متكافئة يتم حسابها بالنسبة لكتلة الاوكسجين (8) والتي اعتبرت اساسا في ذلك وهكذا يكون تعريف الكتلة المكافئة لعنصر ما بأنها :

كتلة العنصر التي تتحد مع ثمانية اجزاء كتلية من الاوكسجين او تزيح هذه المقادير من مركباتها

وقد مكن مفهوم الكتلة المكافئة، من صياغة القانون الآتي المسمى بقانون الكتل المكافئة :

تتحد العناصر مع بعضها بعضاً بكميات تتناسب وكتلها المكافئة

وعندما تقدر الكتلة المكافئة بالغمات تسمى عندئذ بالمكافئ الغرامي مثلاً المكافئ الغرامي للأوكسجين 8 g ، وللكلور 35.5 g ، وللهيدروجين 1 g وللفضة 107.9 g وهكذا... ويمكن تحديد الكتل المكافئة بدءاً من المعطيات المتعلقة بتحليل المركبات المختلفة، او من استبدال عنصر بآخر، وانه ليس من الضروري لتعيين الكتل المكافئة ان ننطلق من المركبات التي تحوي اوكسجيناً او مع عنصر آخر ذي كتلة مكافئة معلومة اعتماداً على الآتي:

$$\frac{\text{كتلة العنصر الاول}}{\text{كتلته المكافئة}} = \frac{\text{كتلة العنصر الثاني}}{\text{كتلته المكافئة}} \quad (11 - 1)$$

10.1 مفهوم المول Mole Concept

المول هو كمية المادة التي تحتوي على نفس العدد من الجسيمات (جزيئات او ذرات او ايونات) الذي يحتويه 12g من نظير (الكاربون 12) إذ يستخدم هذا النظر ايضاً كمقياس لحساب الكتل الذرية كما تقدم وهذا العدد من الجسيمات يسمى بعدد افوكادرو ويساوي (6.023×10^{23}) ويجب التأكيد على ان المول هو الوحدة الفعلية لكمية المادة وهو غير الكتلة. من الضرورة دائماً تحديد نوع الجسيمات التي نتعامل معها مثلاً:

كتلة مول واحد من ذرات نظير الكاربون 12 هي 12 g

كتلة مول واحد من ذرات الفضة هي 107.868 g

كتلة مول واحد من جزيئات H_2 هي 2 g

كتلة مول واحد من ايونات SO_4^{2-} هي 96 g

11.1 قوانين الاتحاد الكيميائي Laws of chemical Combination

قانون حفظ الكتلة ينص على ما يأتي :

كتلة المادة لا تفنى ولا تخلق أثناء التفاعل الكيميائي

أي أن :

كتل المواد المتفاعلة = كتل المواد الناتجة من التفاعل

قانون التراكيب الثابتة ينص على ما يأتي :

جميع العينات لمركب معين تمتلك نفس النسب من العناصر المكونة له

12.1 الحالات الصلبة والسائلة والغازية Solid, Liquid and Gas states

المواد في الطبيعة تتواجد بحالات مختلفة حسب الظروف المسلطة عليها من درجة حرارة، وضغط، وبتغير الظروف تتغير حالة المادة نتيجة لتأثر قوى الترابط بين الجزيئات المكونة للمادة، وحالات المادة هي :

الحالة الصلبة :

تتميز المادة الصلبة بان لها حجما وشكلا محددًا، وتكون المسافات البينية بين جزيئاتها صغيرة جدا، كما تكون قوى التجاذب بينها كبيرة جدا، لذلك لا تتحرك جزيئات المادة الصلبة وانما تهتز حول موضع استقرارها. وهي على نوعين هما:

- بلورية : هي مواد تكون جزيئاتها مرتبة وفق نمط محدد ومنتظم، مثل الماس والجليد.
- غير بلورية: وهي مواد تكون جزيئاتها مرتبة وفق نمط غير محدد اي بشكل عشوائي، مثل الشمع والمطاط والزجاج .

الحالة السائلة :

تمتاز المادة السائلة بان لها حجما محددًا، وشكلا متغيرًا وتأخذ شكل الوعاء الذي يحتويها وتكون المسافات البينية بين جزيئاتها اكبر مما في الحالة الصلبة لذلك تتحرك بحرية حركة انتقالية تكفي للتغلب على قوى التجاذب بين الجزيئات وتنزلق على بعضها مما يؤدي إلى جريان المادة السائلة.

الحالة الغازية :

تمتاز المادة الغازية بان لها حجما وشكلا متغيرًا وتكون المسافات البينية بين جزيئاتها كبيرة جدا وتكون قوى التجاذب بينها أضعف مما في الحالتين الصلبة والسائلة لذلك تتحرك بسرعة كافية وتتباعد عن بعضها وفي جميع الاتجاهات.

13.1 الغليان ودرجة الغليان Boiling and Boiling Point

عند تسخين كمية من الماء في وعاء يبدأ باكتساب الحرارة وتتكون فقاعات في قعر الوعاء تتجمع ويزداد حجمها وترتفع إلى السطح وتنفجر مطلقة كمية من بخار الماء ويحصل ذلك عند وصول الماء درجة حرارة 100°C وتسمى هذه المرحلة **بالغليان** وهو عملية تحول السائل إلى بخار عند درجة حرارة معينة تدعى **درجة الغليان** وهي الدرجة الحرارية التي يتحول عندها السائل إلى بخار وتسمى الحرارة اللازمة للتبخر عند درجة الغليان الحرارة الكامنة للتبخر.

14.1 الانصهار ودرجة الانصهار Melting and Melting point

عند تسخين مادة صلبة ترتفع درجة حرارتها وتستمر في الارتفاع لحين تحولها إلى مادة لينة وباستمرار التسخين تصل إلى مرحلة اكتساب كمية من الحرارة تكفي لتحويلها إلى الحالة السائلة ويمكن ملاحظة ذلك في تحول الشمع إلى سائل وكذلك ذوبان الجليد وتسمى هذه المرحلة **بالانصهار** وهي عملية تحول المادة الصلبة إلى سائل عند درجة حرارة معينة تدعى **درجة الانصهار** وهي الدرجة الحرارية التي يتحول عندها الصلب إلى سائل وتسمى الحرارة اللازمة للانصهار **بالحرارة الكامنة للانصهار** وينصهر الجليد إلى ماء عند درجة الصفر السيليزي.

15.1 المحاليل Solutions

عند اضافة ملعقة من السكر إلى قذح ماء وتحريكه يختفي السكر ويتحول مذاق الماء حلوا بعملية اذابة السكر بالماء حصلنا على محلول متجانس يمثل السكر (الصلب) المادة المذابة والماء (السائل) المادة المذيبة وتتم عملية الاذابة بانتشار جزيئات المذاب بين جزيئات المذيب وعادة يكون المذيب بكمية اكبر ومن المذيبات فضلاً عن الماء ، البنزين والكحول وتختلف المواد الصلبة في تركيبها الكيميائي الذي يحدد نوع المذيب الذي يتجانس معه وهناك محاليل بين مادتين سائلة تكون احدهما مذاب.

16.1 التركيز وطرق التعبير عن التركيز Concentrations

نوعية المحلول تختلف باختلاف كمية المذاب (الصلب) فكلما قلت الكمية سمي محلول مخفف كما في حالة وضع ملعقة من القاصر في وعاء كبير من الماء عند التعقيم اما اذا زادت كمية المذاب فيسمى محلول مركز كما في حالة اذابة الدواء(الصلب) في كمية قليلة من الماء ليتحول إلى شراب مركز. يعبر عن تركيز المحلول بالصيغ التالية :

1- النسبة المئوية : اذا اخذنا محلول كتلته 100 g مؤلف من مادة مذابة 20 g ومادة مذيبة 80 g يمكن التعبير عن تركيز المحلول بقسمة كتلة المذاب على الكتلة الكلية للمحلول وكما يلي :

$$\text{النسبة المئوية} = \frac{\text{كتلة المذاب } g}{\text{كتلة المذاب } g + \text{كتلة المذيب } g} \times 100$$

$$\text{النسبة المئوية} = \frac{\text{كتلة المذاب } g}{\text{كتلة المحلول } g} \times 100 \quad (12 - 1)$$

وفي حالة المحلول السابق يكون التركيز كالتالي

$$= \frac{20}{80 + 20} \times 100 = \frac{20}{100} \times 100 = 20\%$$

مثال(10)

جد تركيز محلول مكون من 8 g من ملح الطعام في 42 g من الماء بالنسبة المئوية ؟
الحل:

$$\text{التركيز} = \frac{8}{42 + 8} \times 100 = \frac{8}{50} \times 100 = 16\%$$

2- المولالية: هي نسبة عدد مولات المذاب إلى كتلة المذيب يعبر عنها بوحدات او كيلو غرام (mol/kg ، mol/g) ويرمز لها بالرمز M .

$$\text{المولالية } M = \frac{\text{عدد مولات المذاب } mol}{\text{كتلة المذيب } kg} \quad (13 - 1)$$

علما ان عدد المولات n يمكن ايجاده من قسمة كتلة المادة إلى الوزن الجزيئي (الكتلة المولية)

$$n = \frac{\text{كتلة المادة } g}{\frac{g}{\text{mol}} \text{ الوزن الجزيئي}}$$

مثال (11)

جد تركيز محلول بالمولالية ناتج من اذابة 36 g من السكر كتلته المولية (الوزن الجزيئي) يساوي 180 g/mol في 360 g ماء؟
الحل: نحسب عدد مولات السكر

$$n = \frac{36}{180} = 0.2 \text{ mol}$$

نحسب كتلة المذيب بالكيلو غرام بقسمتها على 1000 (1 kg= 1000 g)

$$m = \frac{360}{1000} = 0.36 \text{ kg}$$

يكون التركيز بالمولالية كما يلي:

$$M = \frac{0.2}{0.36} = 0.556 \text{ mol/kg}$$

3- المولارية: هي نسبة عدد مولات المذاب إلى حجم المذيب يعبر عنها بوحدات مول لكل لتر (mol / L) ويرمز لها بالرمز M

$$(14 - 1) \quad \text{المولارية } M = \frac{\text{عدد مولات المذاب } mol}{\text{حجم المذيب } l}$$

مثال (12)

جد تركيز محلول من اذابة 2.3 g من الايثانول (الكتلة المولية 46 g/mol) في 3.5 لتر ماء؟

الحل:

نحسب عدد مولات الايثانول

$$n = \frac{2.3}{46} = 0.05 \text{ mol}$$

يكون التركيز المولاري كما يلي:

$$M = \frac{0.05}{3.5} = 0.015 \text{ mol/l}$$

17.1 الصيغة الكيميائية Chemical Formula

يمثل التركيب الكيميائي للمركبات بـ " صيغ " والتي هي مجموعة رموز العناصر المكونة لها مع عدد ذرات تلك العناصر في الجزيء الواحد ويمكن التعبير عن تركيب مادة كيميائية معلومة بصيغ مختلفة منها ما يأتي :

1- الصيغة الوضعية

وهي ايسط صيغة تعطي الحد الادنى من المعلومات المجردة عن المركب، اذا انها تقرر العدد النسبي لذرات العناصر المشتركة في تركيب المركب ويتم ايجادها بالخطوات التالية :

أ- بالتحليل الكيميائي يتم تحديد كتلة العناصر في المركب بالنسبة المئوية.

ب- تقسم كل نسبة مئوية لعنصر على كتلته الذرية.

ج- يقسم ناتج القسمة لكل العناصر على اصغر ناتج ويقرب لأقرب عدد صحيح.

د- تكتب الصيغة بوضع رمز العنصر وبعده العدد الصحيح الذي يمثله.

مثال (13)

تم تحليل غاز وتبين انه يتكون من 20% هيدروجين H_2 و 80% كاربون C. ماهي الصيغة الوضعية للغاز؟
الحل:

1- نقسم كل نسبة على الكتلة الذرية لكل عنصر

$$20 = \frac{20}{1} = \text{للهدروجين}$$

$$6.6 = \frac{80}{12} = \text{للكاربون}$$

2- نقسم الناتج لكل عنصر على اصغر ناتج مع التقريب لأقرب عدد صحيح

$$3 = \frac{20}{6.6} = \text{للهدروجين}$$

$$1 = \frac{6.6}{6.6} = \text{للكاربون}$$

3- الصيغة الوضعية ستكون CH_3

2- الصيغة الجزيئية

هي الصيغة الكيميائية التي تبين العدد الحقيقي لذرات العناصر المشتركة في تركيب جزيء واحد من المادة. يتم ايجادها من معرفة الصيغة الوضعية والكتلة المولية للمركب تحسب وحدات الصيغة الوضعية كالتالي :

$$\text{وحدات الصيغة الوضعية} = \frac{\text{الكتلة المولية للصيغة الجزيئية}}{\text{الكتلة المولية للصيغة الوضعية}} \quad (15 - 1)$$

ثم نضرب الوحدات بالصيغة الوضعية لنحصل على الصيغة الجزيئية.

مثال (14)

الكتلة المولية لمركب هي 60 g/mol وصيغته الوضعية هي CH₂O اوجد صيغته الجزيئية؟
الحل:-

نحسب الكتلة المولية للصيغة الوضعية

$$\text{CH}_2\text{O} = 12 \times 1 + 1 \times 2 + 16 \times 1 = 30$$

$$\text{وحدات الصيغة الوضعية} = \frac{\text{الكتلة المولية للصيغة الجزيئية}}{\text{الكتلة المولية للصيغة الوضعية}}$$

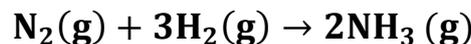
$$2 = \frac{60}{30} = \text{وحدات الصيغة الوضعية}$$

$$\text{الصيغة الجزيئية} = \text{CH}_2\text{O} \times (2) = \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$$

18.1 المعادلة الكيميائية Chemical Equation

هي طريق مختصر للتعبير عن تفاعل كيميائي بدلالة الرموز والصيغ الكيميائية. وتتكون من الاتي :

- 1- طرف المواد المتفاعلة وطرف للمواد الناتجة .
- 2- سهم يشير إلى اتجاه التفاعل وتحول المواد المتفاعلة إلى نواتج.
- 3- رقما قبل كل مركب يحدد عدد ذراته الداخلة في التفاعل .
- 4- رمز بعد كل مركب لتحديد طبيعة المادة الداخلة في التفاعل (غاز g، سائل l، صلب S) .
- 5- ظرف التفاعل يوضع رمز فوق السهم (Δ للتسخين، cat عامل مساعد) .
- 6- كما يمكن اجراء حسابات للنسب المولية للمواد المتفاعلة والناتجة.



19.1 المركب الكيميائي Chemical Compound

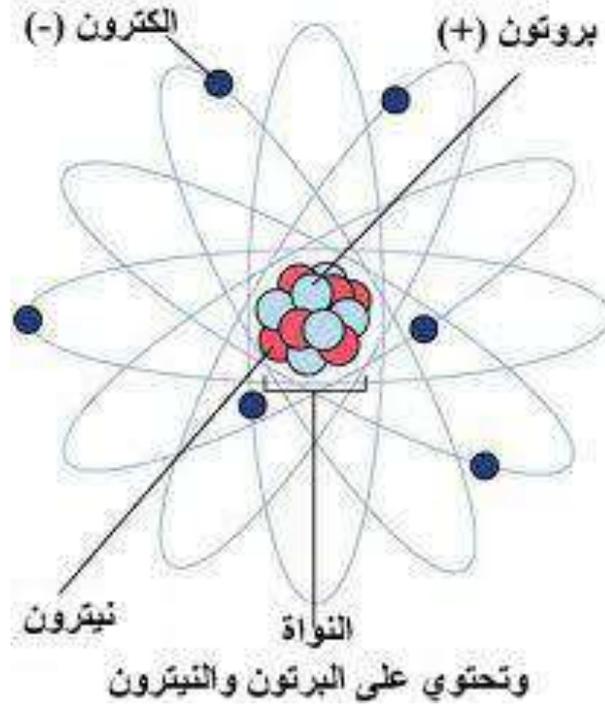
هو مادة كيميائية تكونت من عنصرين أو أكثر بنسبة ثابتة تحدد تركيبه، فمثلا الماء (H_2O) مركب يتكون من الهيدروجين والأكسجين بنسبة 2:1. ومن الخواص المميزة للمركب أن له بنية كيميائية مميزة يعبر عنها عن طريق الصيغة الجزيئية.

20.1 تعريف الذرة Definition of Atom

أن جميع المواد الموجودة في الكون تتكون من جسيمات صغيرة تشكل الوحدات الأساسية لبناء هذه المواد سميت بالذرات (Atoms). اقترح العلماء نماذج مختلفة لتركيب الذرة وكل نموذج كان الأفضل في وقته، ثم نتيجة الملاحظات والتجارب اخذ النموذج يتطور وصولا لأكثر نموذج قبولا من الناحية العلمية.

وتشير النظرية الحديثة لوصف الذرة كالتالي:

- 1- تتكون الذرة من نواة تحيط بها إلكترونات ذوات مستويات مختلفة من الطاقة .
- 2- تدور الإلكترونات حول النواة على مسافات بعيدة عنها (نسبة لحجم الذرة) في مستويات الطاقة ويعبر عن هذه المستويات بأعداد تدعى اعداد الكم الرئيسية وهي عبارة عن اعداد صحيحة موجبة يرمز لها بالحرف (n) .
- 3- توجد النواة في مركز الذرة وتتضمن البروتونات والنيوترونات.



الشكل (1-4) شكل الذرة يبين حركة الإلكترونات

1.20.1 الالكترون- البروتون- النيوترون Electron- Proton- Neutron

الالكترون

رمزه (e^-) وهو جسيم كروي الشكل تقريباً يدور حول نواة الذرة ويحمل شحنة كهربائية سالبة. يساهم في القوى الأساسية وهي الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة والعديد من الظواهر الفيزيائية، مثل الكهرباء والمغناطيسية والتوصيل الحراري . فعندما يتحرك الإلكترون فإنه يمتص أو ينتج طاقة على شكل فوتونات. تحيط الإلكترونات بالنواة المتكونة من بروتونات ونيوترونات، فيكونون جميعاً الذرة، وإن كان الإلكترون يسهم في أقل من 0.06 % من الكتلة الكلية للذرة. وبسبب الجاذبية بين الإلكترون والبروتون يجعل الإلكترونات مرتبطة بالذرات. ان الإلكترونات التي تدور بشكل مستمر في مدارات مختلفة تمتلك طاقات مختلفة إذ انها تدور على ابعاد مختلفة عن النواة وكلما كانت الطاقة التي يمتلكها الالكترون اكبر كلما اصبح مدار دورانه حول النواة ابعد .وللتعبير عن مستويات الطاقة المختلفة للإلكترونات استعمل العلماء اعداداً تسمى بأعداد كم ثانوية اخرى تصف بشكل تام جميع خواص الاوربيتال وخواص الالكترونات التي تحتويها. يعبر عن هذه المستويات بعدد الكم الرئيسي ويرمز له بالحرف (n) ويأخذ قيماً صحيحة موجبة تساوي 1 ، 2 ، 3 ، 4 ، 5 ، ، ويدل كل منها على مستوى طاقة معين يزيد بزيادة هذا العدد ، ويمكن تمثيل مستويات الطاقة الرئيسية واعداد الكم الرئيسية المقابلة لها بحروف وأرقام .

Q	P	O	N	M	L	K
7	6	5	4	3	2	1

← ازدياد مستوى الطاقة

تحتوي مستويات الطاقة الرئيسية (K و L و M و N و O و P و Q) على مستويات طاقة ثانوية يرمز لها بالحروف (s و p و d و f) وتختلف هذه المستويات من ناحية عدد الالكترونات التي تحتويها وكما يأتي :

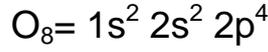
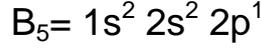
- يحتوي المستوى الرئيسي K ($n = 1$) على مستوى ثانوي من نوع s .
 - يحتوي المستوى الرئيسي L ($n = 2$) على مستويين ثانويين من نوع s و p .
 - يحتوي المستوى الرئيسي M ($n = 3$) على ثلاث مستويات ثانوية من نوع s و p و d .
 - يحتوي المستوى الرئيسي N ($n = 4$) على أربعة مستويات ثانوية من نوع s و p و d و f .
- المستوى الثانوي s يتشبع كحد اقصى 2 الكترون .
المستوى الثانوي p يتشبع كحد اقصى 6 الكترون .
المستوى الثانوي d يتشبع كحد اقصى 10 الكترون .
المستوى الثانوي f يتشبع كحد اقصى 14 الكترون .

عند كتابة الترتيب الالكتروني لاية ذرة يجب معرفة العدد الذري لتلك الذرة إذ أن عدد الالكترونات للذرة المتعادلة كهربائياً يكون مساو لعددها الذري ويكتب عادة في اسفل يسار رمز العنصر. وكما يأتي :

1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p

مثال (15)

اكتب الترتيب الالكتروني لعنصر البورون B₅ والاكسجين O₈
الحل:



البروتون

هو جسيم موجب الشحنة كتلته أكبر بكثير من كتلة الالكترونات. متمركزة في حجم صغير في وسط الذرة أطلق عليه اسم النواة وإنها تحتوي على معظم كتلة الذرة وإن الالكترونات تدور حولها لذا فان اغلب حجم الذرة فراغ وإن عدد الالكترونات السالبة التي تدور حول النواة تعادل الشحنات الموجبة للبروتونات.

النيوترون

جسيم متعادل الشحنة في نواة الذرة، كتلته تساوي تقريباً كتلة البروتون، يوجد في أنوية الذرات وبنفس عدد البروتونات.

21.1 الاواصر الكيميائية (الايونية – التساهمية - التناسقية) - Ionic- Covalent- Coordinate

المركبات الكيميائية تتألف من ارتباط ذرات عنصرين كيميائيين او اكثر وبعده ذرات مختلفة او ارتباط عنصر مع مجموعة مثل الكبريتات SO₄²⁻ او الكربونات CO₃²⁻ وغيرها. وهناك انواع مختلفة من الروابط التي تجمع العناصر في المركبات تسمى الاواصر Bonds وهي كالتالي :

الايونية:

تنتشأ من انتقال الكترون ذرة ضعيفة الشحنة الكهربائية مكونة ايونا موجبا إلى ذرة ذات شحنة كهربائية عالية مكونة ايونا سالبا ويتكون رابط قوي بين الايونين نتيجة لاختلاف الشحنات كما في كلوريد الصوديوم NaCl وكلوريد البوتاسيوم KCl. وتمتلك مركباتها الصفات الآتية :

1- درجة غليان وانصهار عالية.

2- غير موصلة للكهرباء في الحالة الصلبة لكن محاليلها موصل جيد.

3- تذوب في المذيبات القطبية مثل الماء.

التساهمية:

تتكون قوة ربط بين ذرات العناصر عن طريق تكون مزدوج الكتروني بمساهمة كل عنصر بالكترون من الغلاف الخارجي للذرة وعادة ما تحدث بين اللافلزات إذ يتبادل الالكترونين في الانتقال بين الذرتين وهناك نوعين من الأصرة التساهمية :

التساهمية النقية : وهي التي تحدث بين ذرات نفس العنصر كما في ذرتي الفلور F .

التساهمية القطبية: وهي التي تحدث بين عنصرين مختلفين لوجود فرق في الشحنة الكهربائية للذرة كما في ذرتي الكلور والهيدروجين في المركب HCl إذ يملك الكلور شحنة سالبة والهيدروجين شحنة موجبة.

ويمكن ان تكون الاصرة التساهمية أحادية عند تكون مزدوج الكتروني واحد او ثنائية إذا تكون مزدوجين الكترونيين بين الذرات او ثلاثية اذا تكون ثلاثة مزدوجات الكترونية الذرات.

وعادة ما تكون الاواصر التساهمية ضعيفة وتمتلك مركباتها الصفات التالية :

1- درجة الغليان والانصهار واطنة.

2- غير موصلة للكهرباء.

3- تذوب في المذيبات العضوية كالأثير والبنزين.

التناسقية:

تنشأ بين ذرات العناصر التي تقدم فيها احدهما زوج الكتروني إلى الاخرى قادرة على استقباله وهي أضعف من الأصرة التساهمية ويمكن اعتبارها نوعا خاصا منها. كما في ايون الامونيوم NH_4^+ المؤلف من ارتباط ذرة الامونيا NH_3 مع ايون الهيدروجين H^+ .

22.1 الحوامض والقواعد والاملاح Acids, Bases, and Salts

الحامض:

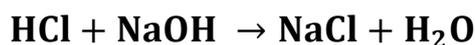
هو المادة التي تحتوي على الهيدروجين وتعطي ايون الهيدروجين H^+ في محلولها المائي. ومنها حامض الكبريتيك H_2SO_4 ، وحامض النتريك HNO_3 ، وحامض الهيدروكليك HCl وحامض الخليك CH_3COOH .

القاعدة:

هي المادة التي تحتوي الهيدروكسيد وتعطي ايون الهيدروكسيد OH^- في محلولها المائي. ومنها هيدروكسيد الصوديوم NaOH وهيدروكسيد البوتاسيوم KOH.

الاملاح:

تنتج من تفاعل الحوامض مع القواعد إذ ينشأ جزئ الماء من ايون الهيدروجين في الحامض وايون الهيدروكسيد في القاعدة وتكون الايونات الاخرى الملح. ومنها ملح الطعام NaCl الناتج من تفاعل حامض الهيدروكلوريك مع قاعدة هيدروكسيد الصوديوم.



ويوجد في الطبيعة العديد من الاملاح ولها استعمالات كثيرة في الحياة اليومية مثلا الصابون هو ملح لحامض عضوي وقاعدة غير عضوية كذلك املاح النتروجين المستخدمة كأسمدة.

اسئلة الفصل

1. جد حجم مكعب طول ضلعه 8.5 cm ؟
2. اكتب وحدات قياس الكثافة ؟ وما هو التعبير الرياضي لتعريفها ؟
3. اذا كانت درجة حرارة جسم 375 K ما قيمتها بالسيليزي؟
4. عدد نظريات الغاز؟ واكتب القانون العام للغازات؟
5. جد حجم غاز في قنينة تحت ضغط 2 جو ودرجة حرارة 25°C اذا كانت عدد مولاته 1.5؟
6. عرف الصيغة الكيميائية وعدد انواعها؟
7. ما الفائدة من المعادلة الكيميائية للتفاعل؟
8. عرف النيوترونات؟ واين توجد؟
9. عدد انواع الاواصر الكيميائية؟
10. عرف الاملاح؟

الفصل الثاني

الحسابات الكيميائية Chemical Calculations

الأهداف :

1. يرمي الفصل الثاني إلى فهم أساسيات الحسابات الكيميائية لمتابعة التشغيل الكفوء لوحدة الإنتاج في المصانع أو وحدات المصافي النفطية ووحدات معالجة الغاز، المحافظة على الطاقة وإدراك الأسباب الكامنة وراء مشاكل التصنيع . عند الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادراً على أن:
1. يعرف أنظمة وحدات القياس المختلفة ويستطيع تحويل الوحدات من نظام إلى آخر .
2. يفهم مبدأ موازنات المادة.
3. يطبق قواعد الموازنة بطريقة مرتبة وسهلة والحصول على خبرة واسعة لحل المسائل بطريقة عملية.
4. يفهم مبدأ موازنة الطاقة وكيف يطبق قوانين الديناميكا الحرارية .
5. يميز بين الغازات والأبخرة ويعرف ماهو الغاز المثالي .
6. يعرف مبدأ عمل أجهزة القياس وكيفية معايرتها.

1.2 تمهيد (Preface)

القياس هو تخصيص رقم لشيء أو ظاهرة معينة حتى يمكن مقارنتها بأشياء أو ظواهر أخرى ، ويختلف نطاق وتطبيق القياس باختلاف العلوم. قديماً لم يكن هناك تحديد دقيق جداً لكمية المقدار الفيزيائي، فالكيلوغرام في بلد ما، كان من الممكن أن يختلف عن الكيلو غرام في بلد آخر، فرغم أن الكميتين تحملان الاسم ذاته إلا أنهما تختلفان قليلاً.

في القرن السابع عشر ميلاديّ انطلقت سفينة حربية سويدية تدعى فاسا (vasa) تحديداً في عام 1628م ؛ في رحلتها الأولى لتغرق بسبب الرياح بعد حوالي 20 دقيقة من انطلاقها وذلك بسبب خطأ صغير في موضع مركز ثقل السفينة، هذا الخطأ ناتج عن استعمال عمال أحد الجانبين مسطرة هولندية، والجانب الآخر مسطرة سويدية والفرق بين المسطرتين إنج واحد فقط، أي حوالي 2.5 سنتيمتر فقط.

بعد عدد من المشاكل بسبب هذه النوعية من الاختلافات تقرّر في القرن الثامن عشر وضع نظام مؤد للقياسات الأساسية بحيث يتم التخلص بشكل كامل من هذه الأخطاء. ومن هنا وُلد النظام الدوليّ للوحدات (SI) وهو نظام وحدات القياس الأوسع انتشاراً في العالم.

الحسابات الكيميائية تعبر عن دراسة العلاقات الكمية (الكتلة ، الطاقة) بين المواد التي تدخل الوحدات الإنتاجية والمواد التي تنتج منها، وهذا يندرج تحت القانون الخاص بحفظ الكتلة أو الطاقة . تتميز الحسابات الكيميائية بأنها مفيدة في التنبؤ بكتل المواد اللازمة لإتمام تفاعل ما وكذلك كتل المواد التي تنتج عنه إضافة إلى كميات الطاقة المستهلكة أو المتحررة فتسهم في صناعات متعددة منها صناعة الأغذية وصناعة الأدوية والعقاقير الطبية.

2.2 وحدات القياس (Measurement Units)

يمكن تعريف وحدة القياس على أنها كمية محددة من مقدار فيزيائي ما مثل المسافة، أو الكتلة، أو درجة الحرارة، وتقاس كمية ما بوحدات مختلفة لذلك يعبر عن قيمة الكمية بقيمة عددية مضروبة بوحدة مناسبة مع ملاحظة ان القيمة العددية لكمية ما تتعلق بالوحدة المختارة.

مثال (1)

عندما نقوم بعملية الجمع على سبيل المثال (5+8) فسنعول بشكل مباشر أن الناتج بكل تأكيد هو 13، لكن في الحياة اليومية هذا الكلام خاطئ. من المهم قبل البدء بعملية الجمع أن نحدد ما هي القيم التي سنقوم بجمعها (أو طرحها) ، فمثلاً جمع (5m+8m = 13m) لكن جمع (5m+ 8kg) عملية مستحيلة في الحياة الواقعية.

لكن ماذا لو جمعنا 8m مع 5mm ؟

في هذه الحالة الجمع ممكن، لكن نلاحظ أن الميليمتر هو من أجزاء المتر (سنحدث عن الأجزاء والمضاعفات بعد قليل). لذلك يتوجب علينا أن نجعل القيمتين في نفس النوع من الوحدات وليكن فرضاً الميليمتر، عندئذٍ تصبح عملية الجمع على الشكل التالي:

$$8000 \text{ mm} + 5\text{mm} = 8005 \text{ mm}$$

مثال (2)

من أسماء وحدات قياس الكتلة : غرام، كيلوغرام، باوند، طن، فأذا اردنا ان نعبر عن كتلة التلفاز مثلا ، الأفضل ان نكتب:

$$\text{كتلة التلفاز : } 20 \text{ kg} = m \text{ بدلا من } 20000 \text{ g أو } 0.02 \text{ ton}$$

لعلك لاحظت اختلاف القيمة العددية في هذا المثال، وهذا بسبب تعدد وحدات القياس أي التحويل من وحدة قياس إلى أخرى. وهناك اربعة أنظمة معروفة لوحدات القياس هي :

أ- النظام البريطاني (FPS)

أعتمد في هذا النظام الوحدات الأساسية الآتية : القدم (Foot) لقياس الطول ، الباوند (Pound) لقياس الكتلة ، والثانية (Second) لقياس الزمن.

ب- النظام الفرنسي (CGS)

نظام متري اعتمد الوحدات الأساسية الآتية : السنتيمتر (Centimeter) لقياس الطول ، الغرام (Gram) لقياس الكتلة ، والثانية (Second) لقياس الزمن.

ج- النظام المتري (MKS)

اعتمد هذا النظام ، المتر (Meter) لقياس الطول ، الكيلوغرام (Kilogram) لقياس الكتلة ، والثانية (Second) لقياس الزمن.

د- النظام العالمي (الدولي) (SI) (International System of Units)

يُعد النظام الدولي لوحدات القياس والذي يرمز له بالرمز (SI) من أحدث الأنظمة وأكثرها انتشاراً في العالم وهو نظام مشتق ومطور من النظام المتري (MKS)، ويعتمد على سبع وحدات أساسية كما مبين في الجدول (1-2).

الجدول (1-2) الوحدات الأساسية للنظام العالمي (SI)			
		الوحدة الأساسية	المقدار الأساسي
الرمز الدولي	الرمز	الاسم	
m	م	متر	الطول
kg	كغم	كيلوغرام	الكتلة
s	ثا	ثانية	الزمن
A	أ	أمبير	التيار الكهربائي
K	ك	كلفن	درجة الحرارة
mol	مول	مول	كمية المادة
cd	كا	كانديلا	شدة الإضاءة

بناءً على التصنيف العالمي للوحدات فان الكميات الفيزيائية تنقسم إلى قسمين:

- 1- الكميات الفيزيائية الأساسية: وهي الكميات التي لا يمكن اشتقاقها من كميات أبسط منها. والجدول (1-2) يبين تلك الكميات الأساسية السبع.
- 2- الكميات الفيزيائية المشتقة: تعرّف الكميات التي يمكن اشتقاقها بدلالة الكميات السبعة الأساسية. ويحصل على الوحدات المشتقة لهذه الكميات المشتقة من المعادلات التي تعرّفها

بدلالة الوحدات الأساسية. ومن الأمثلة على الوحدات المشتقة تلك المذكورة في الجدول (2-2). تعرف وحدة القياس التي تقاس بها الكميات المشتقة بالوحدات المشتقة ويمكن اشتقاقها بالرجوع إلى المعادلة أو القانون الذي تعرف به تلك الكمية.

الجدول (2-2) أمثلة من الوحدات الدولية المشتقة			
الرمز الدولي	الرمز	الاسم	الكمية المشتقة
m ²	م ²	متر مربع	المساحة
m/s	م/ثا	متر في الثانية	السرعة
m/s ²	م/ثا ²	متر في الثانية المربعة	التعجيل
kg/m ³	كغم/م ³	كيلوغرام في المتر المكعب	الكثافة الكتلية
m ³ /kg	م ³ /كغم	متر مكعب في الكيلوغرام	الحجم النوعي
mol/m ³	مول/م ³	مول في المتر المكعب	تركيز مقدار المادة

مثال (3)

اشتق وحدة السرعة ؟

لكي نحسب السرعة يلزمنا قياس المسافة والزمن ثم نحسب السرعة بقسمة المسافة على الزمن على النحو التالي:

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} \quad \text{-----} \quad (1 - 2)$$

فان وحدة قياس السرعة هي $\frac{\text{وحدة المسافة}}{\text{وحدة الزمن}}$

∴ وحدة قياس السرعة هي $\frac{\text{متر}}{\text{ثانية}}$ وتكتب اختصاراً m/s

حيث m : رمز المتر ، s : رمز الثانية

كما أعطيت بغية السهولة بعض الوحدات الدولية المشتقة تسميات ورموزاً خاصة كما هو مبين في الجدول (3-2)

الجدول (3-2) وحدات SI مشتقة ذات تسميات ورموز خاصة				
المقدار المشتق	الاسم	الرمز	الوحدة بدلالة الوحدات	الوحدة بدلالة الوحدات الدولية الأساسية
القوة	نيوتن	N	-	m.kg.s ⁻²
الضغط	باسكال	Pa	N/m ²	m ⁻¹ .kg.s ⁻²
الطاقة، الشغل، كمية الحرارة	جول	J	N.m	m ² .kg.s ⁻²
القدرة	واط	W	J/s	m ² .kg.s ⁻³
درجة الحرارة السيليزية	درجة مئوية	°C	-	K

وغالباً ما تكون الكمية المقاسة صغيرة جداً أو كبيرة جداً إذ لا يكون من المناسب كتابة الوحدة الدولية وللتغلب على ذلك اشتقت مضاعفات للوحدة مشتقة جميعها من العدد عشرة وتضاف في مقدمة رمز الوحدة يرمز لها بالبادئات (Prefixes) وكما مبينة في الجدول (4-2).

مثلاً: بدل عن القيمة 1000000 m يكتب 1Mm ، وبدلاً عن 36,000,000,000 s يكتب 36 Gs .

الجدول (4-2) بادئات ال SI					
الرمز	الاسم	العامل	الرمز	البادئ	العامل
d	ديسي	10^{-1}	T	تيرا	10^{12}
c	سنتي	10^{-2}	G	جيجا	10^9
m	ملي	10^{-3}	M	ميكا	10^6
μ	ميكرو	10^{-6}	K	كيلو	10^3
n	نانو	10^{-9}	H	هكتو	10^2
p	بيكو	10^{-12}	Da	ديكا	10^1
f	فيمتو	10^{-13}			

والأهم ملحوظة أن الكيلوغرام هو الوحدة الدولية الوحيدة التي تشكل البادئة فيها جزءاً من اسمها ورمزها. لا يمكن إذاً استخدام البادئات مع الكيلوغرام لكنها يمكن أن تستخدم مع الوحدة «غرام» .

وما زالت الوحدات المشتقة من النظام المعروف بالاختصار CGS شائعة الاستعمال. والجدول (5-2) يعرض بعض الوحدات الشائعة خارج النظام الدولي.

الجدول (5-2) وحدات شائعة خارج النظام الدولي				
Unit	رمز الوحدة	الوحدة	Quantity	الكمية
Atmosphere	atm	جوي	Pressure	الضغط
Millimeter Hg	torr=mmHg	تور أو ملم زئبق		
Bar	bar	بار		
Liter	L	لتر	Volume	الحجم
Celecius	$^{\circ}\text{C}$	درجة مئوية	Temperature	درجة الحرارة
-	g/cm^3	غرام/سم ³	Density	الكثافة
Dyne	Dyne	داين	Force	القوة
Erg	Erg	ارك	Energy	الطاقة

وقد تنتج من قسمة الوحدات على بعضها اعداد مجردة من الوحدات، ومن أمثلة ذلك النسب المختلفة ، كنسبة طول إلى طول ، أو نسبة وزن إلى وزن الخ .

1.2.2 تحويل الوحدات (Units Conversion)

لتحويل وحدة كمية معينة إلى ما يساويها من الوحدات الأخرى فإنه يتم ضرب الكمية المعطاة برقم

يسمى معامل التحويل:

$$\text{معامل التحويل} = \frac{\text{الوحدة الجديدة}}{\text{الوحدة القديمة}}$$

(2 - 2) - - - - -

ومن التحويلات المفيدة بين النظام الدولي والنظم الأخرى

1 in = 2.54 cm 1ft = 0.304 m mi = 1.609 km	الطول :
1K = 1°C + 273.15	درجة الحرارة :
1L = 0.001 m ³	الحجم :
1 bar = 10 ⁵ Pa 1 atm = 101.325 kpa = 760 torr = 760 mmHg	الضغط :
1 J = 10 ⁷ erg	الطاقة :
1 Newton = 10 ⁵ dyne	القوة :

أمثلة على تحويل الوحدات

1. حول 3ft إلى m ، 8m إلى ft ، 17.2 yd (yard) إلى ft ؟

$$3\text{ft} \times \frac{0.304\text{m}}{\text{ft}} = 0.9144\text{m}$$

$$8\text{m} \times \frac{\text{ft}}{0.304\text{m}} = 26.2\text{ft}$$

$$17.2\text{ yd} \times \frac{3\text{ ft}}{1\text{ yd}} = 51.6\text{ ft}$$

2. إذا كان ارتفاع طائرة في الجو 35000 ft ، أحسب ارتفاعها بوحدة: m و km .

$$35000\text{ ft} \times \frac{\text{m}}{3.281\text{ ft}} = 10667.47\text{ m}$$

$$10667.47\text{ m} \times \frac{1\text{ km}}{10^3\text{m}} = 10.667\text{ km}$$

3. حول 10 miles/h إلى ft/min

$$\frac{10 \text{ miles}}{\text{h}} \times \frac{5280 \text{ ft}}{\text{mile}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 8800 \text{ ft/min}$$

4. حول 30 ft³ إلى m³

$$30 \text{ ft}^3 \times \frac{(0.3048^3) \text{ m}^3}{\text{ft}^3} = 0.85 \text{ m}^3$$

5. ما هو الفرق في الوزن بوحدات نيوتن لصاروخ كتلته 100 kg عندما يكون على ارتفاع 10 km فوق سطح الأرض حيث التعجيل (g) مساو إلى 9.76 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ مقارنة بموقعه على سطح الأرض حيث ان g مساو إلى 9.8 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

$$w = C \cdot m \cdot a \quad \text{--- (3 - 2)}$$

w الوزن

M الكتلة

A التعجيل

C ثابت الجاذبية

وتعتمد قيمة الثابت C العددية ووحداته على اختيارات قيم P, m, a

$$C = \frac{1 \text{ dyne}}{(g)(cm)} \frac{1}{s^2}, \text{ في نظام cgs}$$

$$C = \frac{1N}{(kg)(m)} \frac{1}{s^2}, \text{ في نظام ال (SI)}$$

$$C = \frac{1}{32.174} \frac{lb_f}{lb_m \left(\frac{ft}{s^2} \right)}, \text{ في النظام البريطاني}$$

فرق الوزن :

$$w = 100 \text{ kg} \times \frac{(9.80 - 9.76) \text{ m}}{s^2} \times \frac{1N}{(kg)(m)} \frac{1}{(s^2)} = 4.0 \text{ N}$$

6. حول 4 cal إلى J

$$4 \text{ cal} \times \frac{4.184 \text{ J}}{\text{cal}} = 16.736 \text{ J}$$

7. حول 3 ضغط جوي (atm) إلى وحدة الباسكال (Pa) ، ثم إلى وحدة البار (bar) .

$$1 \text{ Pa} = 1.0 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ dyne/cm}^2 = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr} = 14.7 \text{ psi}$$

$$3 \text{ atm} \times \frac{101,325 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} = 303,975 \text{ Pa}$$

$$303,975 \text{ Pa} \times \frac{10^{-5} \text{ bar}}{1 \text{ Pa}} = 3.03 \text{ bar}$$

8. حول 1 kcal إلى وحدات J و KJ؟

$$1 \text{ kcal} \times \frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ kcal}} \times \frac{4184}{\text{cal}} = 4184 \text{ J} \times \frac{\text{kJ}}{1000 \text{ J}} = 4.184$$

9. مادة كثافتها 19.3 g/cm³ كم ستكون الكثافة بوحدة kg/mL؟

$$19.3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \text{ mL}} = 0.0193 \text{ kg/mL}$$

10. حول 10 g/L إلى جزئ في المليون (ppm) و جزئ في البليون (ppb)؟

$$\text{ppm} = \text{mg/L} , \text{ppb} = \mu\text{g/L}$$

$$10 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{\text{g}} = 10^4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 10^4 \text{ ppm}$$

$$10 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times \frac{10^6 \mu\text{g}}{\text{g}} = 10^7 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}} = 10^7 \text{ ppb}$$

3.2 مفاهيم أساسية (Basic Concepts)

1.3.2 الكثافة والوزن النوعي Density and Specific Gravity

الكثافة (Density) : هي الصفة أو الخاصية الفيزيائية التي تُعبر عن العلاقة بين كتلة المادة وحجمها ، أن الكتلة تعرف فيزيائياً باعتبارها مقدار ما يحتوي عليه الجسم من مادة، ويُعرف الحجم باعتباره الحيز الذي تشغله المادة من الفراغ، لذلك تعرف الكثافة بأنها كتلة وحدة الحجم من المادة.

تساوي الكثافة لجسم كتلته مقسومة على حجمه الكلي ووحدها غم/سم³ (g/cm³) أو كغم/م³ (kg/m³)، يرمز لها بحرف ρ (تعرف الكثافة بالعلاقة (2-4)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{-----} \quad (2 - 4)$$

إد :

الكثافة: p ، الكتلة: m ، الحجم: V

كما دُكرَ سلفاً، تتناسب كثافة المادة تناسباً طردياً مع كتلتها؛ أي عند إحضار جسمين لهما نفس الحجم، وتزيد كتلة أحدهما عن الآخر، يُمكن ملاحظة أن كثافة الجسم ذو الكتلة الأكبر تكون أكبر. بينما

في حالة إحضار جسمين متساويين في الكتلة ويزيد حجم أحدهما عن الآخر، لاحظ أنه كلما زاد الحجم قلت الكثافة. فضلا عن الكتلة والحجم، هناك بعض العوامل الأخرى التي تؤثر على الكثافة، وهي:

- درجة الحرارة : إذ تقل كثافة الجسم عند تعرضه للحرارة، نظراً لما تقوم به الحرارة من تباعد لجزيئات المادة ينتج عنه زيادة طبيعية في الحجم، ومن ثم فإن العلاقة بين الكثافة والحرارة علاقة عكسية.
- الضغط : ان تعرض الجسم لضغط زائد يعمل على تقلص حجمه، مما يؤدي إلى زيادة كثافته، ومن ثم فإن العلاقة بين الضغط والكثافة علاقة طردية.

مثال (4)

مكعب مصنوع من مادة البلاستيك، كتلته 50g، وطول ضلعه 4.5cm ، ما هي كثافته؟

$$V = L^3 = (4.5)^3 = 91.125 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{50 \text{ gm}}{91.125 \text{ cm}^3} = 0.548 \text{ gm/cm}^3$$

الوزن النوعي (Specific Weight)

يمثل الوزن النوعي نسبة كثافة المادة إلى كثافة الماء النقي (ويستعمل الهواء بالنسبة للغازات) عند نفس درجة الحرارة، و نظراً لتغير حجم السوائل بتغيير درجة الحرارة و الضغط عليه يقاس وزن حجم معين من المادة المراد قياس وزنها النوعي عند ظروف قياسية وهي 16°C و ضغط جوي واحد الوزن النوعي رقم مجرد من الوحدات ، ويعبر عن الوزن النوعي رياضياً بالعلاقة (2-5):

$$SG = \frac{\rho_{\text{substance}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \quad \text{--- (5 - 2)}$$

إذ:

$$SG = \text{الوزن النوعي للمادة}$$

$$\rho_{\text{substance}} = \text{كثافة المادة}$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = \text{كثافة الماء} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

ومن الشائع استعمال كثافة الماء عند 4°C كأساس لان الماء في هذه الدرجة الحرارية يمتلك اقصى كثافة قيمتها 1000 kg/m³. يستخدم الماء ايضا كأساس عند احتساب الوزن النوعي للمواد الصلبة.

مثال (5)

احسب الوزن النوعي لسائل كثافته 19 gm/mL ؟

$$\text{Specific Gravity} = \frac{\text{density of material}}{\text{density of water}} = \frac{\rho_{\text{material}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{19 \frac{\text{g}}{\text{mL}}}{1 \frac{\text{g}}{\text{mL}}} = 19$$

ويمكن كتابة الوزن النوعي كما مبين في المعادلة (6-2) أو (7-2)

$$\text{Specific Gravity} = \frac{\text{mass of material}}{\text{mass of water}} = \frac{m_{\text{material}}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} \quad \text{--- (6-2)}$$

$$\text{Specific Gravity} = \frac{\text{weight of material}}{\text{weight of water}} = \frac{W_{\text{material}}}{W_{\text{H}_2\text{O}}} \quad \text{--- (7-2)}$$

مثال (6)

احسب الوزن النوعي للحديد اذا كانت كثافته 7850 kg/m³ ؟ علما ان كثافة الماء هي 1000 kg/m³

$$\text{SG (iron)} = \frac{\rho_{\text{substance}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\text{SG} = 7850 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) / 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 7.85$$

اما للغازات فتستخدم المعادلة التالية

$$\text{SG} = \frac{\rho_{\text{gas}}}{\rho_{\text{air}}} \quad \text{--- (8-2)}$$

$\text{SG} = \text{الوزن النوعي للغاز}$

$\rho_{\text{gas}} = \text{كثافة الغاز}$

$$\rho_{\text{air}} = \text{كثافة الهواء} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \text{ غالبا، عند } (20^\circ\text{C}, 1\text{atm}) = 1.204 \text{ kg/m}^3$$

ويمكن كتابة الوزن النوعي للغاز بصيغة المعادلة (9-2) ، (الكثافات يجب ان تقاس تحت نفس الظروف من ضغط ودرجة حرارة).

$$\text{SG} = \frac{M_{\text{gas}}}{M_{\text{air}}} \quad \text{--- (9-2)}$$

$M_{\text{gas}} = \text{الوزن الجزيئي للغاز}$

$M_{\text{air}} = \text{الوزن الجزيئي للهواء}$

مثال (7)

أحسب الوزن النوعي لغاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) على اعتبار الوزن الجزيئي للهواء يساوي 29 ؟

$$SG = \frac{M_{gas}}{M_{air}}$$

$$M_{CO_2} = 12 + 2 \times 16 = 44$$

$$SG = \frac{44}{29} = 1.517$$

يستعمل معهد البترول الأمريكي (American Petroleum Institute) مقياساً خاصاً به للتعبير عن الوزن النوعي وقد شاع استعمال هذا المقياس في العالم لسهولة التعامل به حيث يقابل الوزن النوعي للماء النقي البالغ 1.0 حسب هذا المقياس ب 10 حسب مقياس API (كلما قل الوزن النوعي زادت قيمة API).

المعادلات (10-2) و (11-2) تمثل الصيغة الرياضية لحساب الكثافة النوعية وفق API:

$$API = \frac{141.5}{SG} - 131.5 \quad (10 - 2)$$

$$SG = \frac{141.5}{(API + 131.5)} \quad (11 - 2)$$

API = Degrees API Gravity

SG = Specific Gravity at 60°F

بالتالي فإنه لنفط ثقيل وزنه النوعي 1.0، تحسب كثافته النوعية وفق مقياس API من المعادلة (10-2) بالشكل التالي:

$$API = \frac{141.5}{1.0} - 131.5 = 10$$

2.3.2 درجة الحرارة (Temperature)

درجة الحرارة هي مؤشر على كمية الطاقة الحرارية التي يخزنها الجسم كما أنها مؤشر على مدى حركية ذراته إذ يمكن رياضياً إيجاد معادلة تصل بين الطاقة الحركية لجزيئات أو ذرات جسم ما ودرجة حرارته. و درجة الحرارة هي مقياس مدى سخونة جسم ما أو برودته، وهي التي تحدد اتجاه انتقال الحرارة تلقائياً، إلا أنه ممكن استنفاد شغل لنقلها في الاتجاه المعاكس، هناك العديد من الوحدات لقياس درجة الحرارة مثل

• **الكلفن K** : وهو المقياس المعتمد من قبل المنظومة العالمية SI وهو مقياس كثير الاستعمال في الميادين العلمية. عرف الكلفن أيضاً باسم الصفر المطلق وذلك لأنها أقل درجة يمكن الوصول إليها في الطبيعة، وعندها تتوقف الجزيئات عن الحركة.

- **السييليزية °C** : وهو المقياس الرئيسي المعتمد في حياتنا اليومية في غالبية دول العالم. تساوي الدرجة الواحدة من وحدة سيليزية واحد على مئة من الفرق بين درجة الغليان ودرجة التجمد للماء، تحت ضغط قياسي . الصفر في هذا المقياس هو درجة تجمد الماء.
- **الفهرنهايت °F** : وهو المقياس المعتمد في الولايات المتحدة الأمريكية. الفرق بين السيليزية والفيهرنهايت هو 32، أي إنّ درجة تجمد الماء في مقياس الفهرنهايت هي 32°F ودرجة غليان الماء هي 212°F.
- **الرانكن (R)** : هو مقياس للحرارة المطلقة وهي تعادل درجة فيهرنهايتية واحدة . ونقطة تجمد الماء 492 درجة ونقطة غليانه 672 درجة .

يمكن التحويل من وحدة إلى أخرى باستخدام مجموعة من العلاقات الرياضية للتسهيل، وهذه العلاقات:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{(^{\circ}\text{F} - 32)}{1.8} \quad \text{--- -- (12 - 2)}$$

$$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1.8) + 32 \quad \text{--- -- (13 - 2)}$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273 \quad \text{--- -- (14 - 2)}$$

$$\text{K} = \frac{(^{\circ}\text{F} + 460)}{1.8} \quad \text{--- -- (15 - 2)}$$

$$\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460 \quad \text{--- -- (16 - 2)}$$

مثال (8)

حول -15°C إلى درجة حرارة بوحدات كلفن (K)

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$-15^{\circ}\text{C} = (-15) + 273 = 258 \text{ K}$$

3.3.2 الضغط (Pressure)

يعرّف الضغط بأنه القوة العمودية المؤثرة في وحدة المساحة، ويُعبّر عنها رياضياً:

$$\text{Pressure (P)} = \frac{\text{Force (F)}}{\text{Area (A)}}$$

وبما أنّ وحدة القوة هي نيوتن ووحدة المساحة م² حسب نظام الوحدات العالمي فإنّ وحدة الضغط ستكون N / m^2 أي باسكال (Pascal)، ويُعرف الباسكال بأنه "الضغط الناشئ عن قوة مقدارها

نيوتن واحد تؤثر عمودياً في مساحة مقدارها متر مربع واحد". هنالك وحدات أخرى لقياس الضغط منها البار أو ملم زئبق.

عرف الضَّغَط الجوي بأنه " وزن عمود الهواء الممتد من سطح الأرض حتى نهاية الغلاف الجوي "؛ لذا يختلف الضغط الجوي من منطقة لأخرى تبعاً لارتفاعها عن مستوى سطح البحر؛ فنجد أنّ الضغط الجوّي في الجبل أقل من الضغط الجوي في الوادي؛ لانخفاض وزن عمود الهواء في الجبل عنه في الوادي.

• ضغط الغازات

تكون جزيئات الغاز في حالة حركة دائمة، وعند وضعها في وعاء مغلق يتكون ما يعرف بضغط الغازات، إذ يعرف ضغط الغاز بأنه اصطدام جزيئات الغاز في جدران الوعاء. هناك عدة عوامل تؤثر في ضغط الغازات؛ ومنها ما يأتي:

- جزيئات الغاز: كلما زاد عدد جزيئات الغاز التي تصطدم بجدران الوعاء زاد الضغط.
- درجة الحرارة: إذ إن رفع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة حركة جزيئات الغاز وبالتالي زيادة الضغط.
- الحجم: كلما قل الحجم الذي توجد فيه الغازات زاد الضغط، حيث يزيد اصطدام جزيئات الغاز بجدران الوعاء.
- كثافة الغاز: كلما زادت كثافة الغاز زاد الضغط .

• ضغط السوائل

إنّ للسوائل وزناً ينشأ عنه ضغط للأسفل وفي جميع الاتجاهات، وهناك عاملان يؤثران في ضغط السوائل وهما:

- ارتفاع السائل : أي عمق النقطة؛ فكلما زاد ارتفاع السائل زاد ضغطه،
- كثافة السائل : كلما زادت كثافة السائل زاد ضغطه.

اي ان ضغط السائل ينتج من وزن عمود السائل المؤثر عمودياً على وحدة المساحة، ويمكن اشتقاق المعادلة عن طريق اتباع القوانين الآتية :

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{--- (17 - 2)} \quad \text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$$

$$F = w = mg \quad \text{--- (18 - 2)} \quad \text{القوة} = \text{الوزن} = \text{الكتلة} \times \text{التعجيل}$$

$$m = \rho V \quad \text{--- (19 - 2)} \quad \text{الكتلة} = \text{الكثافة} \times \text{الحجم}$$

$$h = V/A \quad \text{--- (20 - 2)} \quad \text{الارتفاع} = \frac{\text{الحجم}}{\text{المساحة}}$$

لذلك فإن ضغط السائل يعبر عنه بالعلاقة (21-2) :

$$P = \rho gh \quad \text{--- (21 - 2)}$$

بناءً على قانون ضغط السائل فإن الضغط لا يعتمد على الشكل، أو الكتلة، أو مساحة السطح للسائل.

مثال (9)

طاولة صغيرة وزنها 40 N تستند على أربع أرجل وكل واحدة من هذه الأرجل تأخذ مساحة 0.001 m² ، ما مقدار الضغط المؤثر من الطاولة على الأرض؟

$$P = \frac{F}{A}$$

$$0.004 \text{ m}^2 = 4 \times 0.001 = \text{مساحة الأربع أرجل}$$

$$40 \text{ N} = \text{القوة}$$

$$10000 \text{ N/m}^2 = \frac{40 \text{ N}}{0.004 \text{ m}^2} = \text{الضغط}$$

مثال (10)

حوض طول ضلعه من الداخل 20 cm وضع فيه ماء إلى ارتفاع 12 cm فإذا كانت كثافة الماء 1000 kg/m³ والضغط الجوي 10⁵ Pa وثابت الجاذبية 10 m/s² احسب :
أ- ضغط الماء على قاعدة الحوض
ب- الضغط الكلي المؤثر على قاعدة الحوض

$$P = \rho g h$$

$$= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 10 \times \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 12 \text{ cm} \times \frac{\text{m}}{100 \text{ cm}} = 1200 \text{ Pa(N/m}^2)$$

$$P_T = P_w + P_a = 1200 \text{ N/m}^2 + 10^5 \text{ (N/m}^2) = 101200 \text{ (N/m}^2) = 101.2 \text{ kPa}$$

4.3.2 المول (Mole)

هو وحدة أساسية في النظام الدولي للوحدات، تستعمل في الكيمياء بشكل كبير، للتعبير عن وحدة قياس كتلة المادة . المول في الكيمياء هو كتلة المادة، التي تحتوي على عدد أفوكادرو (6.022 × 10²³) من الذرات، أو الإلكترونات، أو الجزيئات، أو أي مادة بالغرام).

على سبيل المثال: بالنسبة لذرة الكربون (كتلتها الذرية 12g)، فإن واحد مول من الكربون يساوي 12g ، أما بالنسبة لغاز الأوكسجين، فيتكون جزيء الأوكسجين من ذرتين، وبالتالي الوزن الجزيئي هو (16+16=32)، إذاً واحد مول من الأوكسجين يساوي 32g ، وبالنسبة لغاز حامل مثل غاز الهيليوم، فهو يتكون من ذرات منفردة، وبالتالي الوزن الذري بالغرام هو واحد مول، أي أن واحد مول من الهيليوم يساوي 4g ، وبما أن عدد الذرات أو عدد الجزيئات الموجودة في واحد مول تساوي عدد أفوكادرو، فإن واحد مول من الحديد، فيه عدد ذرات مساوٍ لواحد مول من الكربون وبالعلاقة رياضية :

$$n = \frac{m}{M_w} \quad \text{--- (22 - 2)}$$

n : عدد مولات المادة ، m : كتلة المادة ، M_w : الكتلة المولية (الوزن الجزيئي).

مثال (11)

احسب كتلة المول من كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) ، علماً بأن الكتلة الذرية : $\text{Na}=23$ ، $\text{O}=16$ ، $\text{C}=12$.

الكتلة الجزيئية (المول) من (Na_2CO_3) = (مجموع كتل ذرات العناصر)

$$= 2 \times 23 + 1 \times 12 + 3 \times 16 = 124 \text{ g/mol}$$

مثال (12)

ما وزن نصف مول من الماء، علماً بأن الكتلة الذرية $\text{O}=16$ ، $\text{H}=1$

وزن الماء بالغرام = عدد المولات \times وزن مول واحد

$$= 0.5[(1 \times 16) + (1 \times 2)] = 9 \text{ g}$$

مثال (13)

احسب عدد مولات 168 غراماً من هيدروكسيد البوتاسيوم، علماً بأن الكتلة الذرية : $\text{H}=1$ ، $\text{O}=16$ ، $\text{K}=39$.

الكتلة المولية لهيدروكسيد البوتاسيوم = مجموع كتل ذرات العناصر

$$M = 39 \times 1 + 16 \times 1 + 1 \times 1 = 56 \text{ g/mol}$$

$$n = \frac{m}{M_w} = \frac{168 \text{ g}}{56 \text{ g/mol}} = 3 \text{ mol}$$

مثال (14)

احسب عدد جزيئات (0.02 مول) من ثاني أكسيد الكربون.

عدد الجزيئات = عدد المولات \times عدد أفوكادرو

$$= 0.02 \times 6.02 \times 10^{23} = 0.1204 \times 10^{23} \text{ molecule}$$

مثال (15): احسب كتلة 2 mol من كلورات البوتاسيوم، KClO_3 ، علماً بأن الكتلة الذرية للكلور 35.5.

$$m = n \times M_w$$

$$m = 2[(1 \times 39) + (1 \times 35.5) + (3 \times 16)] = 245 \text{ g}$$

5.3.2 التركيب (Composition)

أولاً : الصيغ الكيميائية (Chemical Formula) : هي طريقة رمزية للتعبير عن تركيب المواد الكيميائية بحيث يصبح الفهم والتعامل أفضل، مثل استعمال الأعداد عوضاً عن كتابتها لغوياً. وتصبح هذه الصيغ ضرورية عند كتابة المعادلات المعبرة عن التفاعلات الكيميائية. وبالطبع أفضل الصيغ هي التي تصف التركيب الفراغي للمادة وكيفية ترابط الذرات المكونة للمادة وتسمى هذه بالصيغة التركيبية أو البنائية (Structural Formula) ، وللوصول إلى هذه الصيغة لابد أولاً من معرفة نسب ذرات العناصر المكونة للمادة، ووزن الجزيء الغرامي mole من المادة، والخواص الكيميائية التي تساعد على ادراك المجموعات الفعالة (الذرات المكونة للروابط).

ثانياً : الصيغة الوضعية (Empirical Formula) : هي أول الصيغ وأبسطها للوصف الكمي للمادة بعد التعرف على العناصر المكونة للمادة، يتم تقدير النسب المئوية للمكونات بالقسمة على 100 يمكن الحصول على نسب الأوزان المكونة لجزيء واحد من المادة. وبالقسمة مرة ثانية الذرات لكل مكون على وزنه الذري يمكن الحصول على نسبة أعداد الذرات المكونة للجزيء. أخيراً نقسم النسب على أصغرها فنحصل على صورة مبسطة للصيغة الوضعية.

مثال (16)

حللت عينة من الماء النقي فوجدت النسب الآتية للمكونين ، الأوكسجين والهيدروجين:

$$\text{O}\% = 88.9\%, \text{H}\% = 11.1\%$$

أوجد الصيغة الوضعية للماء؟

نحول النسب المئوية إلى جزئ واحد بالقسمة على 100:

$$\text{ماء } 0.111 \text{ H} + 0.889 \text{ O} = 1.00$$

نقسم كل مكون على عدده الذري

$$\text{H} : 0.111/1 = 0.111$$

$$\text{O} : 0.889/16 = 0.05556$$

نقسم النسبتين على الأصغر منهما

$$0.111/0.05556 = 1.997$$

$$\underline{0.0556/0.0556 = 1}$$

$$0.05556/0.05556$$

أي ان الصيغة هي : $\frac{2 \text{ H}}{1 \text{ O}}$ ، ويمكن التعبير عن ذلك بالصيغة الوضعية H_2O .

ثالثاً : الصيغة الجزيئية (Molecular Formula)

يلي معرفة الصيغة الوضعية محاولة الوصول إلى العدد الحقيقي من كل ذرة عنصر مكون للجزيء. لاحظ ان الصيغة الوضعية ليست أكثر من نسب اعداد الذرات المكونة للجزيء. مثلاً قد يكون جزيء الماء H_2O أو H_4O_2 أو H_8O_4 وهكذا.

مثال (17)

قدر الوزن الجزيئي للماء H_2O بمقدار 18.003 g ، والصيغة الوضعية للماء H_2O . أكتب الصيغة الجزيئية للماء.

وزن الماء = وزن الذرات المكونة للماء

$$2H + O = 2 \times 1 + 1 \times 16 = 18$$

إذا الصيغة الوضعية للماء H_2O هي أيضا الصيغة الجزيئية (18 = 18.003)

نفرض ان الصيغة الوضعية للماء هي H_4O_2

وزن الماء حسب الصيغة الوضعية = $4H + 2O$

$$(4 \times 1) + (2 \times 16) = 36$$

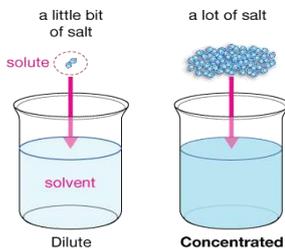
العدد الناتج هو ضعف الوزن الجزيئي وهكذا يجب ان يقسم عدد الذرات على 2 للحصول على الصيغة الجزيئية الصحيحة :

$$O: 2/2 \quad , \quad H: 4/2$$

إذا الصيغة الجزيئية الصحيحة H_2O .

6.3.2 التركيز (Concentration)

التركيز إحدى خصائص المحاليل بكافة أنواعها؛ وهي نسبة وجود المذاب إلى المذيب أو إلى المحلول الكلي (شكل 1-2)، ويتم قياس هذه النسبة بعدة طرق؛ وقبل ذلك لا بد من تعريف المذاب والمذيب.



الشكل (1-2) المحلول

• المذاب (solute): هي المادة التي تتم إذابتها وقد تكون جامدة أو سائلة أو غازية

• المذيب (solvent): هي المادة السائلة التي تستقبل المذاب

• المذيب والمذاب: معاً يطلق عليهما اسم المحلول (solution)

يوجد عدة طرق للتعبير عن التركيز كما في الجدول (6-2).

الجدول (6-2): وحدات التركيز الشائعة

Unit	Symbol	Concentration	التركيز
g/g	W%	Weight percent	النسبة المئوية للوزن
g/100 cm ³	W/V%	Weight volume percent	النسبة المئوية (وزن/حجم)
mol/L	M	Molarity	المولارية
mol/kg	m	Molality	المولالية
g-equivalent /L	N	Normality	العيارية
	X	Mole fraction	كسر الجزيء

1. النسبة المئوية الوزنية (Weight %)

هي عدد غرامات المادة المذابة منسوب إلى وزن مكونات المحلول كما في المعادلة (23-2).

$$\text{Concentration of solute (w/w \%)} = \frac{\text{mass of solute (g)}}{\text{mass of solution (g)}} \times 100 \quad \text{--- (23 - 2)}$$

مثال (18)

محلول يتكون من اذابة 10g من هيدروكسيد الصوديوم في 100g من الماء . أحسب النسبة المئوية الوزنية لهيدروكسيد الصوديوم ؟

نطبق المعادلة (23-2) :

$$(w/w \%) = \frac{w_{NaOH}(g)}{w_{NaOH}(g) + w_{H_2O}(g)} \times 100$$

$$(w/w \%) = \frac{10(g)}{10(g) + 100(g)} \times 100 = 9.1wt\%$$

2. النسبة المئوية (وزن/حجم) (W/V%)

وهي عبارة عن عدد غرامات المادة المذابة في 100cm³ من المذيب .

$$\text{Concentration of solute (w/v \%)} = \frac{\text{mass of solute (g)}}{\text{volume of solution (mL)}} \times 100 \quad \text{--- (24 - 2)}$$

مثال (19)

تم إذابة 1.2 g من كلوريد الصوديوم في كمية كافية من الماء بحيث أصبح حجم المحلول 160 mL ، احسب تركيز المحلول.

بتطبيق المعادلة (24-2) :

$$(W/V \%) = \frac{1.2 \text{ g}}{160 \text{ mL}} \times 100 = 0.75 \text{ w/v \% (NaCl)}$$

3. النسبة المئوية الحجمية (Volume%)

النسبة المئوية الحجمية عبارة عن حجم المذاب الموجود في 100 mL من المحلول.

فالمحلول البالغ تركيزه 2% vol يعني أن كل 2 mL (وحدة حجمية) من المذاب موجودة في 100mL (وحدة حجمية مماثلة) من المحلول ، كما معبر عنه بالصيغة (24-2).

Concentration of solute (v/v %)

$$= \frac{\text{volume of solute (mL)}}{\text{Total volume of solution (mL)}} \times 100 \text{ --- (25 - 2)}$$

مثال (20)

احسب تركيز محلول يتألف من 12 mL من الايثانول في 100 mL من المحلول؟

من المعادلة (25-2) يحسب التركيز (v/v %) :

$$\frac{12 \text{ mL alcohol}}{100 \text{ mL Solution}} \times 100 = 12 \text{ vol\% Ethanol}$$

4. المولارية (Molarity)

المولارية هي عدد مولات المذاب الموجودة في واحد لتر من المحلول ، يعبر عنه بالصيغة (26-2) :

$$\text{molarity of solute (M)} = \frac{\text{moles of solute}}{\text{Liter of solution}} \text{ --- (26 - 2)}$$

مثال (21)

تم إذابة 23 g من كلوريد الأمونيوم (NH₄Cl) في كمية كافية من الماء ليصبح حجم المحلول 145mL ، احسب مولارية المحلول. الوزن الجزيئي لكلوريد الأمونيوم هو 53.5 g/mol .

المولارية تساوي عدد مولات المذاب مقسوماً على حجم المحلول باللتر ، معادلة (26-2). إذا لا بد في البداية من حساب عدد مولات المذاب (كلوريد الأمونيوم) من معلومية وزنه.

$$n = \frac{m}{M_w}$$

$$1) 23 \text{ g NH}_4\text{Cl} \times \frac{1 \text{ mol NH}_4\text{Cl}}{53.5 \text{ g NH}_4\text{Cl}} = 0.43 \text{ mol NH}_4\text{Cl}$$

$$2) 145 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 0.145 \text{ L}$$

$$3) \frac{0.43 \text{ mol NH}_4\text{Cl}}{0.145 \text{ L}} = 2.97 \text{ M (NH}_4\text{Cl)}$$

5. المولالية (Molality)

المولالية عبارة عن عدد مولات المذاب المذابة في 1000g من المذيب.

$$\text{Molality} = \frac{\text{moles of solute}}{\text{kg of solution}} \text{ --- (27 - 2)}$$

مثال (22)

احسب مولالية محلول محضر من إذابة 5.85 g من كلوريد الصوديوم في 500 g من الماء؟

الوزن الجزيئي NaCl = 58.5 g/mol ، إذا عدد مولات NaCl :

$$n = \frac{m}{M_w}$$

$$\text{mol salt} = \frac{5.85 \text{ g}}{58.5 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$$

$$\text{molality} = \frac{0.1 \text{ mol}}{500 \text{ g} \times \frac{\text{kg}}{1000 \text{ g}}} = 0.2 \text{ mol/kg}$$

6. الجزء في المليون والجزء في البليون (ppm & ppb)

طريقة من طرق التركيز المعتمدة على كتلة المادة وتستخدم لتقدير التراكيز الصغيرة للغاية، فعندما نقول محلول تركيزه واحد في المليون فهذا معناه أن كل مليون غرام من المحلول مثلاً يحوي واحد غرام من المذاب.

$$\frac{\text{mass solute}}{\text{mass solution}} \times 10^6 = \text{concentration (ppm)} \text{ --- (28 - 2)}$$

$$\frac{\text{mass solute}}{\text{mass solution}} \times 10^9 = \text{concentration (ppb)} \text{ --- (29 - 2)}$$

مثال (23)

عينة لمحلول مائي تزن 155.3g وجد أنها تحوي $1.7 \times 10^{-4}g$ من الفوسفات ماهو تركيز الفوسفات بالجزء في المليون ؟

$$\frac{1.7 \times 10^{-4}g \text{ phosphate}}{1.553 \times 10^2g \text{ solution}} \times 10^6 = 1.1 \text{ ppm}$$

7. العيارية (Normality)

تعرف العيارية (N) بأنها عدد الأوزان المكافئة الغرامية من المادة المذابة الموجودة في لتر من المحلول.

$$N = \frac{\text{Gram Equivalent of Solute}}{\text{Volume of Solution in Litre}} \\ = \frac{\text{Weight}}{\text{Equivalent weight}} \times \frac{1000}{V_{\text{sol}}(\text{L})} \quad \text{--- (30 - 2)}$$

$$\text{Equivalent Weight} = \frac{\text{Molar mass}}{n_{(\text{H}^+, \text{OH}^-, \text{e}^-)}} \quad \text{--- (31 - 2)}$$

إذ إن n : تعبر عن عدد المولات من وحدات أيونات الهيدروجين (H^+) أو الهيدروكسيد (OH^-) أو عدد الألكترونات المشاركة في تفاعلات الأكسدة والأختزال .

المحلول الذي يبلغ تركيزه 1 N يعني أنّ كل واحد لتر من المحلول يحوي مكافئ غرامي واحد من المذاب

او قد تحسب العيارية من المولارية :

$$\text{Normality} = \text{Molarity} \times n_{(\text{H}^+, \text{OH}^-, \text{e}^-)} \quad \text{--- (32 - 2)}$$

أمثلة توضيحية :

مول واحد من حامض الكبريتيك H_2SO_4 يحتوي على مولين (2 moles) من أيونات الهيدروجين (H^+). مول واحد من قاعدة هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) يحتوي مولاً واحداً من أيونات الهيدروكسيد (OH^-)

مول واحد من قاعدة هيدروكسيد الكالسيوم ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) يحتوي مولين من أيونات الهيدروكسيد (OH^-)

مثال (24)

احسب عيارية محلول محضّر من إذابة 9.8 g من حامض الكبريتيك في كمية من الماء بحيث أصبح حجم المحلول 800 mL .

$$\text{molar mass}(\text{H}_2\text{SO}_4) = (2 \times 1) + 32 + (4 \times 16) = 98$$

بما أنّ حامض الكبريتيك ثنائي ، H_2SO_4 ، اذا $n_{(\text{H}^+)} = 2$

$$\text{Equivalent Weight} = \frac{\text{Molar mass}}{n_{(\text{H}^+, \text{OH}^-, \text{e}^-)}} = \frac{98}{2} = 49$$

$$N = \frac{\text{Weight}}{\text{Equivalent weight}} \times \frac{1000\text{ml/L}}{V_{\text{sol}}(\text{mL})}$$

$$\text{Normality} = \frac{9.8}{49} \times \frac{1000}{800} = 0.25 \text{ N}$$

Or:

$$\text{molarity} = \frac{\text{moles of solute}}{\text{Liter of solution}}$$

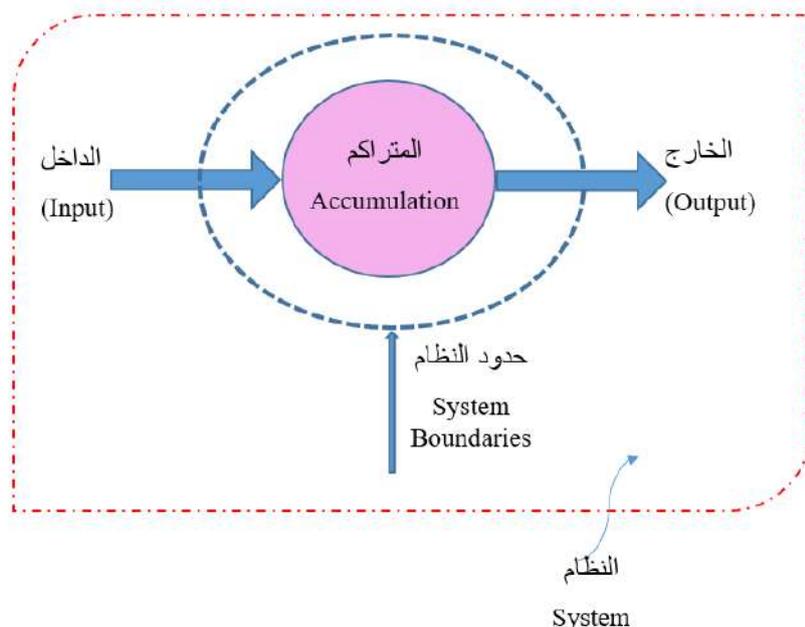
$$\text{Mol of solute} = \frac{m}{M} = \frac{9.8}{98} = 0.1$$

$$\text{Molarity} = \frac{0.1}{800/1000} = 0.125 \text{ Molar}$$

$$\text{Normality} = \text{Molarity} \times n_{(\text{H}^+, \text{OH}^-, \text{e}^-)} = 0.125 \times 2 = 0.25 \text{ N}$$

4.2 موازنة المادة (Material Balance):

تستند حسابات موازنة المادة على قانون حفظ المادة الذي ينص على أن الكتلة لا تستحدث ولا تفنى . ان موازنة المادة هي حساب انتقال الكتلة والتغيرات في خزين الكتلة داخل أي نظام (System) على اثر أي عملية فيزيائية أو كيميائية . ولكل نظام يوجد: داخل أو تغذية (Feed or Input)، خارج (Product or output)، متراكم داخل النظام (Accumulation) ، حدود النظام (System Boundaries) يعين حدود انتقال المادة من وإلى النظام كما موضح في الشكل (2-2) .



الشكل (2-2) : شكل توضيحي لمفهوم النظام

المعادلة (33-2) تشرح أساس موازنة الكتلة القابلة للتطبيق على العمليات بوجود أو عدم وجود تفاعل كيميائي:

$$(33-2) \quad \begin{array}{ccccccc} & \text{التجمع} & & & & & \\ & \text{داخل} & = & \text{الداخل} & - & \text{الخارج} & + & \text{الأستحداث} & - & \text{الأستهلاك} \\ & \text{النظام} & & \text{النظام} & & \text{النظام} & & \text{النظام} & & \text{النظام} \end{array}$$

المعادلة (33-2) تختزل إلى المعادلة (34-2) للحالات التي ينعدم فيها الأستهلاك (أو الأستهلاك) للكتلة داخل النظام:

$$\text{التجمع} = \text{الداخل} - \text{الخارج} - - - - - (34 - 2)$$

وتختزل المعادلة (34-2) إلى المعادلة (35-2) عندما لا يكون هنالك أي تجمع داخل النظام :

$$\text{الداخل} = \text{الخارج} - - - - - (35 - 2)$$

يتم التطرق في هذا الفصل لموازنات الكتلة اعتبار التجمع في المعادلة (33-2) مساويا للصفر (ألا إذا ذكر خلاف ذلك) ، وبذلك سوف تعامل المسائل بحالة استقرار (Steady state) ويمكن القول لعمليات الحالة المستقرة بان ما يدخل إليها مساوي فعلا إلى ما يخرج منها.

الخطوات المتبعة في إجراء موازنة المادة :

- 1) رسم مخطط انسيابي للعملية المراد إجراء موازنة المادة لها، يوضح عليه كمية الداخل والخارج من كل وحدة في العملية.
- 2) كتابة متغيرات العملية الفيزيائية والكيميائية والمعلومات المتوفرة (مثل درجة الحرارة، الضغط، التركيز....الخ) عن كل تيار (Stream) من تيارات الداخل (Input) أو الخارج (Output) .
- 3) يتم اختيار وحدة يستند عليها في إجراء الموازنة تدعى (الأساس) . فمثلا قد يكون هذا الأساس وحدة وزن (غم مثلا) أو وحدة حجم قياسي أو زمن عمل ، أي سرعة تدفق المواد في الساعة أو في اليوم الخ .
- 4) إيجاد معادلات تبين العلاقة بين الداخل والخارج من العملية.
- 5) في حالة وجود تفاعل تثبت معادلة التفاعل المتوازنة. ويثبت تحتها الأوزان الذرية أو الجزيئية للمواد الداخلة أو الناتجة من التفاعل .
- 6) توضع الأوزان المعطاة تحت الأوزان الذرية أو الجزيئية المناظرة لها في تلك المعادلات .

تصنيف العمليات الصناعية :

تصنف العمليات الصناعية لأغراض موازنة المواد ،

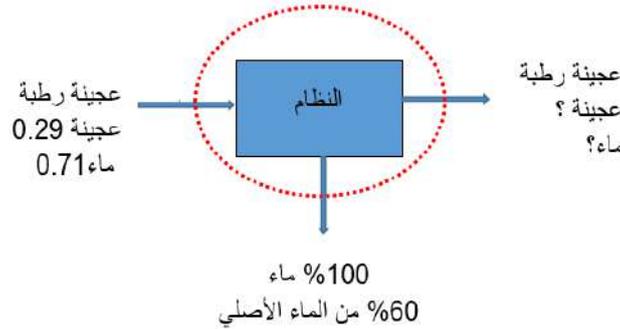
- **العمليات المستقرة (Steady-state processes)** وهي العمليات التي لا يحدث فيها أي تغيير بالظروف (ضغط ، درجة الحرارة ، تركيب) أو معدلات الجريان مع الوقت لأي نقطة معينة في النظام ، وماعدا ذلك تعتبر العمليات الأخرى غير مستقرة (Unsteady-state processes) .
- **عمليات الوجبات (Batch processes)** توضع كمية معينة من المواد المتفاعلة في خزان وتحدث التغييرات بتأثير طرق كيميائية أو فيزيائية . وفي نهاية العملية تنقل المواد الناتجة إلى خزان أو خزانات مجاورة للخزن ، ان جميع العمليات بالوجبات هي حالات غير مستقرة .
- **العمليات المستمرة (Continuous processes)** في هذا النوع من العمليات تغذى المواد المتفاعلة بصورة مستمرة إلى جزء من الجهاز أو إلى أجزاء عديدة متتالية وتزال النواتج بصورة مستمرة ايضا من نقطة أو نقاط عديدة . العمليات المستمرة ممكن أن تكون بحالة مستقرة أو غير مستقرة .

مثال (25)

تطبيق قانون حفظ الكتلة بدون تفاعل كيميائي

عجينة ورق رطبة تحتوي على 71% ماء وبعد تجفيفها وجد ان 60% من الماء الأصلي قد تمت ازالته، احسب :

- كتلة الماء المفصولة لكل كيلوغرام من عجينة الورق الرطبة.
- التركيب للعجينة الجافة.



أساس الحسابات : 1 كغم من العجينة الرطبة يحتوي على 0.29 kg عجينة و 0.71kg ماء

الداخل = الخارج

الكمية النهائية للعجينة الجافة = 0.29kg

كمية الماء المفصولة = $0.429 \text{ kg} = 0.6 \times 0.71$

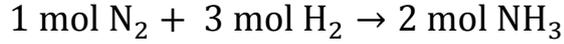
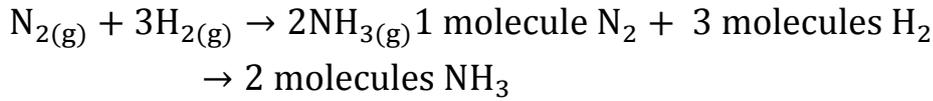
الماء المتبقي مع العجينة الجافة = الماء الداخل - الماء المفصول = $0.284 \text{ kg} = 0.71 - 0.429$

التركيب للعجينة الجافة :

%	كيلوغرام	
50.5	0.29	عجينة (جافة)
49.5	0.284	ماء
100.0	0.574	المجموع

مثال (26)

تطبيق قانون حفظ الكتلة بوجود تفاعل كيميائي



$$\text{mass N}_2(\text{reactant}) = 1 \text{ mol N}_2 \times \frac{28\text{gN}_2}{1 \text{ mol N}_2} = 28 \text{ g N}_2$$

$$\text{mass H}_2(\text{reactant}) = 3 \text{ mol H}_2 \times \frac{2\text{gH}_2}{1 \text{ mol H}_2} = 6 \text{ g H}_2$$

$$\text{mass NH}_3(\text{product}) = 2 \text{ mol NH}_3 \times \frac{17\text{gNH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} = 34 \text{ g NH}_3$$

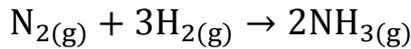
$$\text{mass in} = 28\text{g} + 6\text{g} = 34\text{g}$$

إذا كتلة المواد المتفاعلة = كتلة المواد الناتجة (قانون حفظ الكتلة) .

مثال (27)

حساب الكميات المجهولة في تفاعل كيميائي

عند تفاعل النيتروجين (N₂) مع الهيدروجين (H₂) لإنتاج الأمونيا NH₃، إذا كانت كتلة الهيدروجين المتفاعل 2.70 g ، احسب كتلة الأمونيا الناتجة من التفاعل ؟



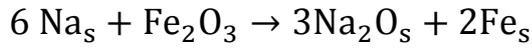
$$n = \frac{m}{Mw}$$

$$n_{\text{H}_2} = \frac{2.7 \text{ g}}{2 \text{ g/mol}} = 1.339 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NH}_3} = \frac{2 \text{ mol NH}_3}{3 \text{ mol H}_2} \times 1.339 \text{ mol H}_2 = 0.893 \text{ mol NH}_3$$

مثال (28)

تحديد المادة المحددة للتفاعل والمادة الفائضة



كتلة 1000 g = Na

كتلة 100 g = Fe₂O₃

$$n_{\text{Na}} = \frac{1000 \text{ g}}{23 \text{ g/mol}} = 43.478 \text{ mol}$$

$$n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{100 \text{ g}}{159.69 \text{ g/mol}} = 0.626 \text{ mol}$$

النسب المولية الفعلية = 69.484 = 43.478/0.626

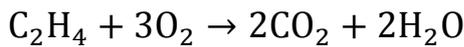
النسب المولية من المعادلة الموزونة = 6/1 = 6

بما ان المتوفر من Na = 69.484 بينما التفاعل يحتاج 6 mol من Na ليتفاعل مع 1 mol من Fe₂O₃، فالصوديوم هو المادة الفائضة بينما اوكسيد الحديد هو المادة المحددة للتفاعل.

مثال (29)

موازنة الكتلة لعمليات الاحتراق

تم حرق 9 kg من الأيثيلين مع 400 kg من الهواء إلى 20 kg من ثاني أوكسيد الكربون و 20 kg من أول أوكسيد الكربون . ماهي النسبة المئوية للهواء الزائد ؟



الوزن الجزيئي : الأيثيلين = 28 ، الهواء = 29 ، النسبة المئوية للأوكسجين في الهواء = 21 %

الأساس : 9 kg ايثيلين

الأوكسجين المتفاعل :

$$9 \text{ kg C}_2\text{H}_4 \times \frac{1 \text{ mol}}{28 \text{ kg}} \times \frac{3 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_4} = 0.964 \text{ mol O}_2$$

الأوكسجين الداخل

$$182 \text{ kg O}_2 \times \frac{1 \text{ mol}}{29 \text{ kg}} \times \frac{21}{100} = 1.318 \text{ mol}$$

$$\% \text{ excess} = \frac{O_2 \text{ in} - O_2 \text{ reacted}}{O_2 \text{ reacted}} \times 100 = \frac{1.318 - 0.964}{0.964} = 36.72\%$$

مثال (30)

موازنة المادة بالطريقة المستمرة (Continuous Process)

خلط زيت مهدرج مع زيت غير مهدرج بطريقة مستمرة في خبابة، وكانت معدل التدفق 100 kg/min للزيت المهدرج و 300 kg/min للزيت غير المهدرج وكان معدل التدفق للنتاج 380 kg/min . اكتب موازنة المادة بعد ساعة من العملية مع ملاحظاتك حول العملية .
الأساس = 1 ساعة



$$300 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 18000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ of A}$$

$$100 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 6000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ of B}$$

مجموع المواد الداخلة

$$18000 + 6000 = 24000 \text{ kg}$$

المواد الخارجة :

$$380 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 22800 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ of C}$$

$$1200 \text{ kg} = 22800 - 24000 = \text{المواد المتراكمة}$$

ملحوظة:

لا يمكن الاستمرار في هذه الحالة مدة طويلة ويجب زيادة سرعة مضخة المواد الناتجة أو تقليل سرعة مضخة المواد الداخلة.

5.2 موازنة الطاقة (Energy Balance)

للطاقة دور أساسي في مختلف العمليات الصناعية ، وتحدث جميع العمليات الفيزيائية والكيميائية اما بامتصاص طاقة أو بإشعاع طاقة ، وتتحول الطاقة من نوع إلى آخر بصورة متكافئة وهذا ما يستدعي اجراء موازنة للطاقة والذي يجري بطريقة مماثلة لموازنة المادة.

للطاقة أنواع مختلفة مثل الطاقة الحرارية والطاقة الداخلية (الكيميائية والكامنة) والطاقة الحركية الخ . ومن أهم هذه الأنواع من الطاقة ، الطاقة الحرارية والطاقة الحركية ، وقد نشأ عن ذلك علم خاص يسمى علم الديناميكا الحرارية أو الترموداينمك (Thermodynamics) .

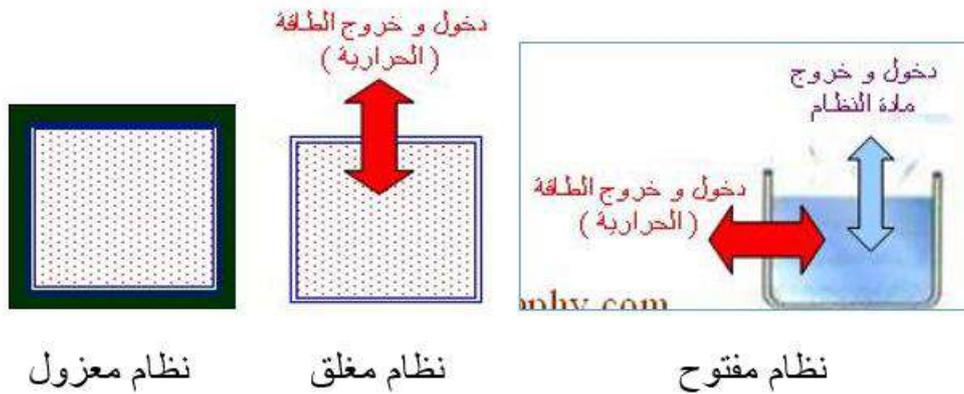
1.5.2 الديناميكا الحرارية (Thermodynamics)

علم الديناميكا الحرارية أو الترموداينمك هو علم تجريبي يهتم بدراسة كل ما هو متعلق بدرجة الحرارة والطاقة الحرارية أو التدفق الحراري المصاحب لتغيرات الأنظمة الكيميائية أو الفيزيائية .

تشمل تطبيقات علم الترموداينمك كلا من التطبيقات الهندسية (تصميم المحركات ومولدات الطاقة الكهربائية واجهزة التبريد والتكييف) والتطبيقات الكيميائية (مثل التغير في الطاقة بين النظام وما يحيط به ، دراسة امكانية حصول التفاعل تلقائيا ، اشتقاق الصيغ والقوانين المكتشفة وبنائها على اساس نظري) ، وغيرها .

أنواع الأنظمة الحرارية (Types of Thermal Systems)

تصنف الانظمة الترموديناميكية إلى الانواع الاتية وذلك بناءً على الطريقة التي يتبادل بها النظام الطاقة والمادة مع المحيط ، كما موضح في الشكل (2-3) :



الشكل (2-3) الأنظمة الحرارية

- النظام المفتوح (Open System) : هو النظام الذي يسمح بتبادل الكتلة والطاقة مع المحيط .
- النظام المغلق (Closed System) : هو النظام الذي لا تسمح حدوده بانتقال المادة داخل النظام .

- النظام المعزول (Isolated System) : هو النظام الذي لا تسمح حدوده بانتقال المادة او الطاقة فيبقى مجموع الطاقة فيه ثابتا لا يتأثر بالوسط المحيط .

2.5.2 قوانين الديناميكا الحرارية (Laws of Thermodynamics)

القانون الاول للديناميكا الحرارية (First Law of Thermodynamics)

هو تعبير لمبدأ حفظ الطاقة أي أن الطاقة تتغير من حالة إلى أخرى ومن طاقة كامنة إلى طاقة نشطة ،
وبتعبير آخر أن الطاقة لا تفنى ولا تُستحدث وإنما تتحول من صورة إلى أخرى .

وينص القانون الأول للديناميكا الحرارية : "ارتفاع الطاقة الداخلية لنظام ثرموديناميكي معين يساوي كمية الطاقة الحرارية المضافة للنظام ، مطروح منه الشغل الميكانيكي المبذول من النظام إلى الوسط المحيط " .

أي أن " الطاقة في نظام مغلق تبقى ثابتة "

والصيغة الرياضية للقانون :

$$\Delta E = Q - W \quad (2-36)$$

إذ إن

ΔE	التغير في الطاقة الداخلية
Q	كمية الحرارة الداخلة إلى النظام
W	الشغل المنجز على النظام

على سبيل المثال ، عندما ترفع رافعة جسما إلى أعلى تنتقل جزء من الطاقة من الرافعة إلى الجسم ،
ويكتسب الجسم تلك الطاقة في صورة طاقة الوضع (طاقة كامنة) . وعندما يسقط الجسم من علو ،
تتحول طاقة الوضع (المخزونة فيه) إلى طاقة حركية فيسقط على الأرض .

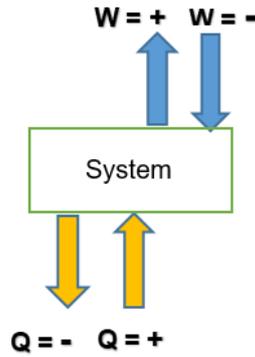
الجدول (2-7): العلاقات الرياضية للقانون الأول عند ظروف مختلفة

عملية دائرية	نظام معزول	عند درجة حرارة ثابتة	عند حجم ثابت	الصيغة الرياضية للقانون الأول في الثرموديناميك
$\Delta E=0$	$Q=0$	$\Delta T=0$ $\Delta E = 0$	$\Delta V=0$	
$Q = W = P\Delta V$	$\Delta E = W = -P\Delta V$	$Q = W = P\Delta V$	$\Delta E = Q$	$\Delta E = Q - W$

مثال (31)

إذا كان الشغل المبذول عندما ضغط غاز في اسطوانة يساوي 299J وخلال هذه العملية انتقلت كمية من الحرارة من الغاز إلى المحيط مقدارها 70.3 J فاحسب التغير في الطاقة الداخلية للغاز.

بما أن كمية الحرارة تنطلق من النظام إلى المحيط فالحرارة مفقودة ، (Q = -ve)، وبما ان الغاز ينكمش ، ينجز عليه شغل (W = -ve) .



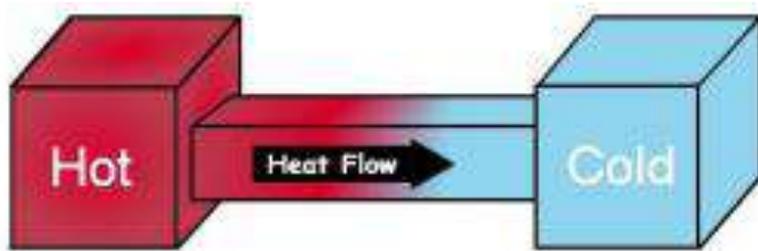
بتطبيق القانون الأول في الترموديناميك (معادلة 2-36) :

$$\Delta E = Q - W$$

$$\Delta E = (-70.3) - (-299) = +228.7J$$

ولأن قيمة الطاقة الداخلية بالموجب، فإن الطاقة الداخلية للغاز تزداد بمقدار (228.7 J) .

القانون الثاني للديناميكا الحرارية (Second Law of Thermodynamics)



الشكل (2-4) : القانون الثاني للثيرموداينمك

- بعض العمليات تحصل بشكل تلقائي وقسم منها بشكل غير تلقائي فمثلا :
- يبرد الجسم الساخن تلقائياً ولكن لايسخن الجسم البارد مطلقا .
 - الغاز يتمدد من المكان المملوء الى الفراغ ولا يحصل العكس .
 - التفاعلات الكيميائية تسير نحو التوازن ويحصل العكس كذلك .

وللقانون الثاني صيغ مختلفة تنص على ان:

- لا يمكن إن تنتقل كمية من الحرارة من جسم بارد الي جسم ساخن إلا عن طريق بذل شغل من الخارج، هذه الصيغه تهتم بانتقال الحرارة.
- تتزايد الإنتروبي لأي نظام معزول مع الوقت، وتميل الأنتروبي لكي تصل الي نهاية عظمى سواء في النظام المعزول أو في المحيط. وتتضمن هذه الصيغه إنتروبي النظام. سيتم توضيح الإنتروبي (طاقة حالة المادة) في فقرة لاحقة.
- من المستحيل تحويل الطاقة الحرارية بأكملها الى شغل بواسطة عملية دورية، تتضمن هذه الصيغة تحول الطاقة الحرارية الي شغل.

ينتج عن ذلك إن " أنتروبية نظام معزول لا يمكن أن تنخفض " ويوضح القانون الثاني أن العمليات الطبيعية التلقائية تزيد من إنتروبية النظام.

القانون الثالث للديناميكا الحرارية (Third Law of Thermodynamics)

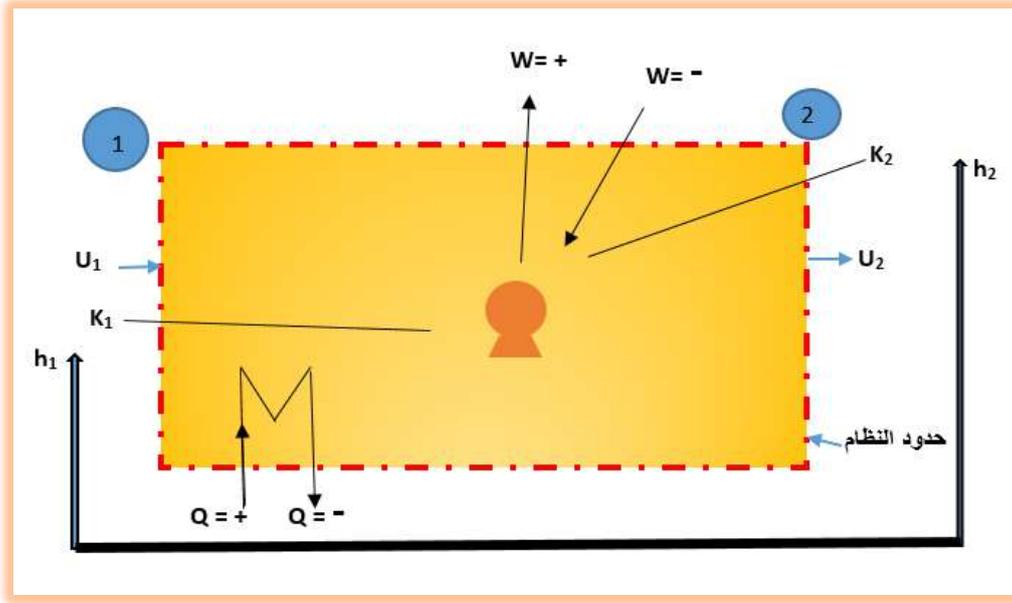
"لا يمكن الوصول بدرجة الحرارة إلى الصفر المطلق".

هذا القانون يعني أنه لخفض درجة حرارة جسم لا بد من بذل طاقة ، وتتزايد الطاقة المبذولة لخفض درجة حرارة الجسم تزييدا كبيرا كلما اقتربنا من درجة الصفر المطلق .

3.5.2 موازنة الطاقة للعمليات الفيزيائية (Energy Balance in Physical Processes)

في جميع العمليات فيزيائية كانت أم كيميائية هناك تجهيز أو تبدل لأشكال الطاقة حسبما تحتاجه العملية لجعلها تتحرك . إذاً الطاقة مهمة للعملية كأهمية المواد لها . قد تتضمن العملية جميع أنواع الطاقة ، مثل الميكانيكية ، الكهربائية ، الكيميائية ، الذرية والحرارية . ان مفهوم موازنة الطاقة مشابه إلى مفهوم موازنة المادة ، أي

$$\begin{array}{rcl} \text{تجمع} & = & \text{انتقال الطاقة الى داخل} \\ \text{الطاقة} & & \text{النظام عبر حدوده} \\ \text{ضمن} & & \text{(الطاقة المتولدة)} \\ \text{النظام} & + & \text{الطاقة المتولدة ضمن} \\ & & \text{النظام} \\ & - & \text{انتقال الطاقة الى خارج النظام عبر} \\ & & \text{حدوده} \\ & & \text{(الطاقة المستهلكة)} \\ \text{(37-2)} & & \text{الطاقة المستهلكة ضمن النظام} \end{array}$$



الشكل (5-2) عملية عامة تبين حدود النظام وانتقال الطاقة عبر الحدود

يمكن كتابة موازنة الطاقة العامة ، معادلة (37-2) كما يلي :

$$\Delta E = -\Delta(H^o + K^o + P^o)m + Q - W \quad (38 - 2)$$

Δ : عامل الفرق يدل على الفرق بين الخارج والداخل

P, E : الطاقة الكامنة

H : المحتوى الحراري ، (H^o) يجب ان يحسب عند درجة حرارة الأسناد $(25^\circ C)$

K : الطاقة الحركية

Q : الحرارة الممتصة بواسطة النظام من المحيط

في معظم المسائل ليست هنالك حاجة لأستعمال جميع الحدود في المعادلة (37-2) وذلك بسبب امكانية كون بعض الحدود مساوية إلى الصفر أو قد تكون صغيرة إذ يمكن اهمالها بالمقارنة مع الحدود الأخرى . لذا يمكن الأستنتاج بعد ادخال بعض الفرضيات البسيطة لأعتبارات صناعية مهمة ، عدداً من الحالات الخاصة لموازنة الطاقة العامة ، مثلاً :

- عدم وجود انتقال الكتلة (نظام مغلق أو نظام وجبات)

$$0 = m_2 - m_1 \quad (39 - 2)$$

$$\Delta E = Q - W \quad (40 - 2)$$

وتعرف هذه المعادلة بالقانون الأول للثرموداينمك لنظام مغلق .

- عندما تكون الطاقة الكامنة والطاقة الحركية ، صفر

$$Q = H_2 - H_1 \text{ or } Q = \Delta H \quad (41 - 2)$$

إذ أن

H_2 : المحتوى الحراري الكلي للخط الخارج من النظام

H_1 : المحتوى الحراري الكلي للخط الداخل إلى النظام

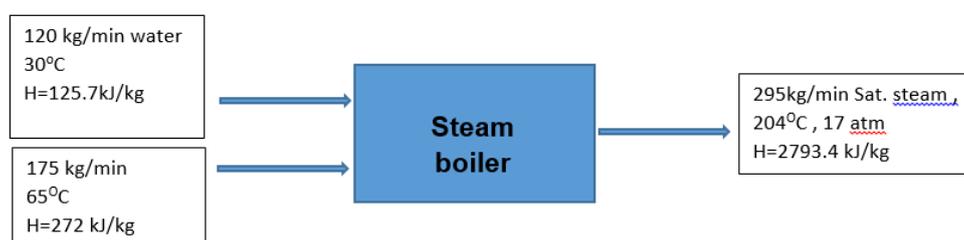
Q : الفرق في المحتوى الحراري أو مقدار الحرارة المنتقلة من أو إلى النظام .

$Q - ve$ ($H_1 > H_2$), heat removed from system

$Q + ve$ ($H_2 > H_1$), heat supplied to system.

مثال (32)

مرجل بخاري (Steam Boiler)



اهمل الطاقة الكامنة والطاقة الحركية مقارنة بالمحتوى الحراري للعملية ولا يوجد شغل منجز؛ العملية تتضمن تغير في الطور .

الأساس : 1 min

$$Q = \Delta H$$

$$Q = H_{out} - H_{in}$$

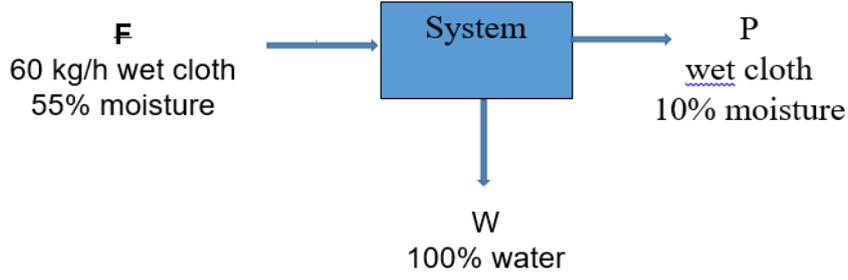
$$Q = [295 \times 2793.4] - [(120 \times 125.7) + (175 \times 272)]$$

$$Q = + 7.61 \times 10^5 \frac{\text{kJ}}{\text{min}}$$

مثال (33) :

موازنة الطاقة على المجفف (Energy Balance on Dryer)

مجفف يستهلك $4 \text{ m}^3/\text{h}$ من الغاز الطبيعي (القيمة الحرارية = 800 kJ/mol). الداخل إلى المجفف 60 kg/h من النسيج الرطب . لقد تم تجفيف النسيج الرطب خلال المجفف من 55% إلى 10% . أحسب الكفاءة الحرارية للمجفف أخذا بنظر الاعتبار فقط الحرارة الكامنة للتبخر (Latent heat of vaporization) .



الأساس : 1 ساعة ،
الداخل : 60 kg/h يحتوي
على

$$60 \times \frac{55}{100} = 33 \text{ kg water}$$

$$60 \times (1 - 0.55) = 27 \text{ kg dry cloth}$$

$$F = P + W$$

$$27 = \left(1 - \frac{10}{100}\right) P$$

$$P = \frac{27}{0.9} = 30 \text{ kg}$$

$$30 - 27 = 3 \text{ kg}$$

$$33 - 3 = 30 \text{ kg}$$

$$Q = m\lambda = 30 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 6.8 \times 10^4 \text{kJ/h}$$

$$4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ mol}}{22.4 \text{ L}} = 179 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

$$Q = n\Delta H_{\text{combustion}}$$

$$179 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \times 800 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 14.3 \times 10^4 \text{kJ/h}$$

$$\eta = \frac{6.8 \times 10^4 \text{kJ/h}}{14.3 \times 10^4 \text{kJ/h}} \times 100 = 48\%$$

موازنة مكونات على النسيج
الجاف

كمية الماء في الناتج (P)
الماء الذي تم تبخيره (W)
الطاقة اللازمة لتبخير هذا الماء

عند الظروف القياسية يشغل
المول الواحد من الغاز 22.4
L

الحرارة الناتجة من الأحتراق

الكفاءة = $\frac{\text{الطاقة المطلوبة}}{\text{الطاقة المستهلكة}}$

6.2 الغازات والأبخرة (Gases and Vapors)

تُوجد المواد على سطح الأرض في درجة الحرارة العادية (25°C) وضغط جوي اعتيادي (1 atm) في ثلاث حالاتٍ أو أشكالٍ هي الحالة الصلبة والحالة السائلة والحالة الغازية .

- الغازات (Gases)

الغازات جزءٌ من النظام الكوني، وتتمتع بعددٍ من الخصائص التي تميزها عن الحالتين الصلبة والسائلة ومنها:

- قابلة للانتشار
- تأخذ حجم وشكل الوعاء الذي توضع فيه
- غالبيتها ذات لونٍ شفافٍ
- ذات حركةٍ عشوائيةٍ في جميع الاتجاهات،
- تختلط مع بعضها البعض بنسبٍ مختلفةٍ،
- قوى التجاذب بينها ضعيفةٌ جداً .

1.6.2 قوانين الغاز (Gas Laws)

قوانين الغازات، هي علاقات رياضية، توضح تأثير الغاز بالموثرات الخارجية الواقعة عليه، كالضغط ودرجة الحرارة، والحجم المحصور فيه.

قانون شارل (Charles' Law)

عند رفع درجة حرارة الغاز، عند ضغط ثابت، فإنّ حجمه يزداد، وعند خفض درجة الحرارة مع ثبات الضغط أيضاً يقل حجم الغاز، إذاً فالعلاقة طردية بين درجة حرارة الغاز وحجمه، وينصّ قانون شارل على: "إنّ حجم كمية معينة من الغاز تحت ضغط ثابت تتغير طردياً مع درجة الحرارة". والذي معادلته :

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{--- (42 - 2)}$$

إذ :

V_1 حجم الغاز عند درجة الحرارة T_1 و V_2 حجم الغاز عند درجة الحرارة T_2

قانون بويل (Boyle's Law)

عند تثبيت درجة حرارة الغاز، وزيادة الضغط الواقع عليه، فإنّ حجمه سيقلّ، وعند تخفيف الضغط الواقع عليه، فإنّ حجمه سيزداد، أما إذا تمّ حصر الغاز في مساحةٍ أصغر أي جعلنا حجمه يقلّ، سيزداد ضغط هذا الغاز، وعند تكبير المساحة المحصور فيها، سيزيد حجمه، وينصّ قانون بويل: "عند درجة حرارة معينة، فإنّ ضغط كمية معينة من غاز ما يتناسب عكسياً مع حجم الحيز"، يعبر عن القانون بالمعادلة (2-43):

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{--- (2-43)}$$

إذ: V_1 حجم الغاز عند ضغط الغاز P_1 ، V_2 حجم الغاز عند ضغط P_2

قانون غاي-لوساك (Gay-Lussac's Law)

عند رفع درجة حرارة الغاز، عند حجم ثابت، فإنّ ضغطه يزداد، وعند خفض درجة الحرارة مع ثبات الحجم أيضاً يقلّ ضغط الغاز، إذاً فالعلاقة طردية بين درجة حرارة الغاز وضغطه، وينص غاي لوساك على "إذا وضعت كمية من الغاز في وعاء مغلق ذي حجم ثابت فإنّ ضغط الغاز يتناسب طردياً مع درجة الحرارة". ويعبر عنه رياضياً بالمعادلة (2-44):

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \text{--- (2-44)}$$

القانون العام للغازات (General Gas Law)

يُعرف القانون العام للغازات بالقانون المُجمّع لأنه يجمع قوانين الغازات الثلاثة في قانون واحدٍ ويستخدم في حل المسائل الفيزيائية المتعلقة بالقوانين السابقة كافة من خلال تطبيق القانون (2-45):

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{--- (2-45)}$$

مثال (34)

وضع غاز النيتروجين في حاوية حجمها 45.0 L تحت ضغط 125 bar. ما الحجم الذي يشغله النيتروجين في ضغط 5.0 bar بثبوت درجة الحرارة.

بما ان :

$$T_1 = T_2$$

$$\ast P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{(125 \text{ bar})(45 \text{ L})}{(5 \text{ bar})} = 1125 \text{ L}$$

قانون أفوكادرو (Avogadro's Law)

"إن حجم الغاز عند درجة حرارة وضغط ثابتين يتناسب طردياً مع عدد المولات للغازات"

$$V \propto n$$

$$V = Kn$$

$$\frac{V}{n} = K \quad (\text{constant } P, T)$$

وهذا معناه أن مضاعفة عدد المولات يضاعف حجم الغاز عند نفس الظروف من الحرارة والضغط .

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{or} \quad \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \quad \text{--- (46 - 2)}$$

وبفرض وجود غازين مختلفين (A,B) تحت الضغط ودرجة الحرارة نفسها فإن المعادلة $V = Kn$ تكتب:

$$\frac{V_A}{V_B} = \frac{K \cdot n_A}{K \cdot n_B}$$

إذ أن (V_A, V_B) تمثل حجوم الغازين (A, B) على التوالي للكميات (n_A, n_B) ولو فرضنا أن عدد مولات الغازين متساوية فإن: $n_A = n_B$

وتحت نفس الضغط ودرجة الحرارة وجد أفوكادرو بأن حجوم الغازين (A, B) تتساوى أي أن:

$$\Rightarrow V_A = V_B \quad \text{--- (47 - 2)}$$

وقد أثبتت التجارب أن: 22.4 L من أي غاز عند درجة الصفر المئوي 0°C وضغط جوي واحد (1 atm) تحوي 6.023×10^{23} من جزيئات أو ذرات الغاز (وهذا العدد يعرف بعدد أفوكادرو N_A).

أي ان المول الواحد من اي غاز عند الظروف القياسية يشغل حجماً قدره 22.4 L ويعرف ذلك بالحجم المولاري للغاز .

قانون الغاز المثالي (Ideal Gas Law)

$$PV = nRT \quad \text{--- (48 - 2)}$$

P: الضغط، بوحدة ضغط جوي

V: حجم الغاز، بوحدة لتر

n: عدد المولات في الغاز

R: الثابت العام للغازات (0.082 L. atm/mol. K) ، درجة حرارة الغاز بالكلفن.

مثال (35)

(6.2 L) من غاز تم تخزينه تحت ضغط 3.0 atm و 37°C، ما عدد مولات الغاز؟

$$PV = nRT$$

$$K = ^\circ C + 273$$

$$T = 37 ^\circ C + 273$$

$$T = 310 K$$

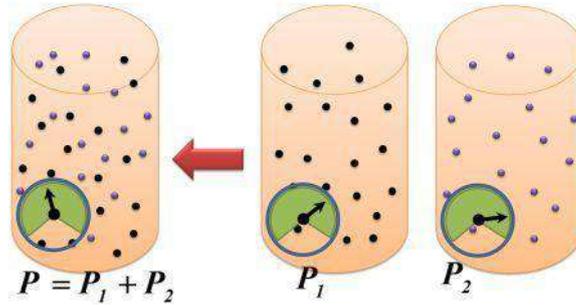
$$n = PV / RT$$

$$n = (3.0 \text{ atm} \times 6.2 \text{ L}) / (0.082 \text{ L atm /mol K} \times 310 \text{ K})$$

$$n = 0.75 \text{ mol}$$

قانون دالتون للضغوط الجزئية (Dalton's Law of Partial Pressures)

ينص قانون دالتون للضغوط الجزئية على أن " الضغط الكلي لخليط من الغازات لا يتفاعل مع بعضها يساوي مجموع الضغوط الجزئية لهذه الغازات إذا شغل كل غاز الحيز بمفرده" كما موضح في الشكل (6-2).



الشكل (6-2) : قانون دالتون للضغوط الجزئية

$$P_t = \sum P_i \text{ --- (49 - 2)}$$

$$P_i = X_i P_t \text{ --- (50 - 2)}$$

ان المسافات الكبيرة التي تفصل بين جزيئات الغاز كفيلة بأن تضمن لكل غاز استقلالاً عن غيره في الخليط ، وحرية في حركة جزيئاته .

مثال (36)

احسب الضغط لخليط من (7.5 g) نيتروجين (N₂) و (6 g) هيليوم (He) في وعاء حجمه (2.5 L) ودرجة حرارته (15 C°). (علماً بأن الكتل الذرية: N = 14, He = 4).

1- نحسب عدد مولات كل غاز ثم نوجد عدد المولات الكلي كما يلي :

$$n_{N_2} = \frac{m}{Mw} = \frac{7.5 \text{ g}}{28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0.27 \text{ mol}$$

$$n_{H_2} = \frac{m}{Mw} = \frac{6 \text{ g}}{4 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1.5 \text{ mol}$$

$$n_t = n_{N_2} + n_{H_2} = 0.27 + 1.5 = 1.77 \text{ mol}$$

2- باستعمال القانون العام للغازات المثالية:

$$P_t V = n_t RT$$

$$P_t = \frac{n_t RT}{V}$$

$$P_t = \frac{1.77 \times 0.082 \times (15 + 273)}{2.5} = 16.74 \text{ atm}$$

مثال (37)

خليط من غازين (A) وكتلته (0.495 g) ووزنه الجزيئي (66) ، وغاز (B) وكتلته (0.182 g) ووزنه الجزيئي (45.5) وكان الضغط الكلي للخليط (76.2 cmHg) احسب الضغط الجزئي لكل غاز.

$$n_A = \frac{m_A}{Mw_A} = \frac{0.495 \text{ g}}{66 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0.0075 \text{ mol}$$

$$n_B = \frac{m_B}{Mw_B} = \frac{0.182 \text{ g}}{45.5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0.004 \text{ mol}$$

$$n_t = n_A + n_B = 0.0075 + 0.004 = 0.0115 \text{ mol}$$

$$X_A = \frac{n_A}{n_t} = \frac{0.0075}{0.0115} = 0.6522$$

$$X_B = \frac{n_B}{n_t} = \frac{0.004}{0.0115} = 0.34783$$

$$P_A = X_A P_t = 0.6522 \times 76.2 \text{ cmHg} = 49.7 \text{ cmHg}$$

$$P_B = X_B P_t = 0.34783 \times 76.2 \text{ cmHg} = 26.5 \text{ cmHg}$$

2.6.2 الأبخرة (Vapors)

البخار يشير إلى الحالة الغازية لمادة توجد بشكل سائل أو صلب في درجات الحرارة الاعتيادية ، فبخار الماء يسمى بخار لان الماء يوجد بشكل سائل في درجات الحرارة العادية. تختلف الأبخرة عن الغازات في العديد من الخواص الفيزيائية :

- يتميز الغاز بسهولة ضغطه، وقدرته على شغل حيز أكبر بكثير من المواد الصلبة أو السائلة، لأن جزيئاته تستطيع التحرك بشكل حر وعشوائي،
- الغازات غير مرئية، ولا يمكن رؤيتها إلا تحت ظروف معينة، وفي المقابل تكون الأبخرة مرئية دائماً، مثل الغيوم،
- عند النظر إلى جزيئات الغاز تحت المجهر، فإنها لا تظهر بشكل محدد وتبدو على شكل ذرات، أو أيونات، أو جزيئات تتحرك بشكل حر وعشوائي، بينما تظهر جزيئات البخار بشكل محدد عند النظر إليها تحت المجهر.
- الغاز هو أخف حالة يمكن أن تكون المادة بها، بينما البخار هو حالة وسطية بين الغاز والسائل.
- الغاز لا يمر بتغيير من حالة إلى أخرى، بينما البخار يمر بتغيير من حالة إلى أخرى.

الضغط البخاري (Vapor Pressure)

عندما يتم تسخين سائل حتى الغليان فإنه يبدأ في التبخر وتبدأ الجزيئات في ترك سطح السائل إلى الفراغ الموجود فوقه . وفي حالة ما تتم عملية التبخر هذه في اناء مغلق فإن عدد الجزيئات في الفراغ فوق سطح السائل سوف تصل إلى اقصى حد لها عند درجة حرارة معينة ويكون الضغط على جدران الأناء هو مجموع الضغط الجوي + الضغط الحادث بواسطة جزيئات البخار . ويسمى الضغط الحادث بواسطة البخار بالضغط البخاري للسائل عند درجة الحرارة المعينة .

الضغط البخاري للمحاليل غير المتطايرة

ينص قانون راؤول للمحاليل النقية التي تحتوي على مذاب غير متطاير على أن الضغط البخاري للمحلول عند درجة حرارة معينة يساوي الكسر المولي للمذيب (X_A) في الطور السائل مضروباً بالضغط البخاري للمذيب النقي (P^0_A) عند نفس درجة الحرارة.

$$P_{\text{Solution}} = X_{\text{Solvent}} P^0_{\text{Solvent}} \quad \text{--- (51 - 2)}$$

الضغط البخاري للمحاليل المتطايرة

عندما يحتوي المحلول على مذاب متطاير، هذا يعني إنّ المذاب يدخل في حساب الضغط البخاري، ويتمّ استخدام قانون راؤول في هذه الحالة، حيث يكون الضغط الكلي مساوياً للضغط البخاري لكل مكون من مكونات المحلول كل على حدة، كما في المعادلة (52-2):

$$P = P^0_A X_A + P^0_B X_B + \dots \quad \text{--- (52 - 2)}$$

مثال (38)

مامقدار التغير في الضغط البخاري عندما يضاف 164g من الكليسيرين ($C_3H_8O_3$) إلى 338mL من الماء عند درجة حرارة $39.8^\circ C$. اذا علمت ان الضغط البخاري للماء النقي عند $39.8^\circ C$ يساوي 54.74 torr ، كثافة الماء عند $39.8^\circ C$ تساوي 0.992g/mL .

$$P_{\text{Solution}} = X_{\text{Solvent}} P^{\circ}_{\text{Solvent}}$$

$$Mw_{\text{glycerin}} (C_3H_8O_3) = 3(12)+8(1)+3(16) \text{ g/mol} = 92 \text{ g/mol}$$

$$\text{moles}_{\text{glycerin}} = 164 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{92 \text{ g}} = 1.78 \text{ mol}$$

$$Mw_{\text{water}} = 2(1)+16 \text{ g/mol} = 18 \text{ g/mol}$$

$$\text{density}_{\text{water}} = \frac{\text{mass}_{\text{water}}}{\text{volume}_{\text{water}}}$$

$$\text{mass}_{\text{water}} = \text{density}_{\text{water}} \times \text{volume}_{\text{water}}$$

$$\text{mass}_{\text{water}} = 0.992 \text{ g/mL} \times 338 \text{ mL} = 335.296 \text{ g}$$

$$\text{moles}_{\text{water}} = 335.296 \text{ g} \times 1 \text{ mol}/18 \text{ g} = 18.63 \text{ mol}$$

$$X_{\text{solution}} = \frac{n_{\text{water}}}{n_{\text{water}}+n_{\text{glycerine}}} = \frac{18.63}{18.63+1.78} = 0.91$$

$$P_A = 0.91 \times 54.74 \text{ torr} = 49.8 \text{ torr}$$

التغير في الضغط البخاري = الضغط النهائي للمحلول - الضغط الابتدائي

$$\text{Change} = 49.8 \text{ torr} - 54.74 \text{ torr}$$

$$\text{change} = -4.94 \text{ torr}$$

7.2 اشكال الطاقة (Forms of Energy)

كمية الطاقة الموجودة في العالم ثابتة على الدوام، فالطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم (قانون حفظ الطاقة)، وإنما تتحول من شكل إلى آخر. يمكن للطاقة أن تأخذ أشكالاً متنوعة منها الحرارية ، الكيميائية، الكهربائية، الأشعاعية، النووية، الكهرومغناطيسية أو الحركية.

جميع أنواع الطاقة يمكن تحويلها من شكل لآخر بمساعدة أدوات بسيطة، أو أحياناً تستلزم تقنيات معقدة مثلاً من الطاقة الكيميائية إلى الكهربائية عن طريق الأداة الشائعة البطاريات ، أو تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية وهذا نجده في محرك احتراق داخلي، أو تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، وهكذا.

1.7.2 الطاقة الحركية (Kinetic Energy)

هي طاقة الكتلة أثناء حركتها؛ أي أن الطاقة الحركية لجسم ما هي الطاقة التي يمتلكها نتيجة حركته ، يمكن حساب الطاقة الحركية (E) لجسم متحرك عن طريق ضرب نصف كتلة هذا الجسم (m) بمربع سرعته (v)، ويعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \text{ --- (53 - 2)}$$

يلحظ أنّ الطاقة كميةً قياسية، أي أنها لا تعتمد على الاتجاه كما أنها دائماً موجبة . فعندما تتضاعف الكتلة تتضاعف الطاقة، ولكن عند تضاعف السرعة تتضاعف الطاقة أربع مرات.

مثال (39)

مامقدار الطاقة الحركية لسيارة كتلتها 1500 kg تسير بسرعة 14m/s ؟

$$KE = \frac{1}{2} m v^2$$

$$KE = \frac{1}{2} \times 1500 \text{ kg} \times (14 \text{ m/s})^2$$

$$KE = 147,000 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$$

$$KE = 147,000\text{J} = 147 \text{ kJ}$$

مثال (40)

مذنب كتلته 1 kg اصطدم بالقمر بسرعة 11 km/s. أحسب الطاقة الحركية؟

$$KE = \frac{1}{2} m v^2$$

$$KE = \frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times (11,000 \text{ m/s})^2$$

$$KE = 60,500,000 \text{ J} = 60.5 \text{ MJ}$$

2.7.2 الطاقة الكامنة (Potential Energy)

هي الطاقة الموجودة في الجسم بسبب وضعه أو حالته. وهي تمثل الشغل الذي بُذل فعلاً، وتسمّى أحياناً الطاقة المختزنة. فإذا رفعنا صندوقاً من الأرض إلى منضدة، فإن طاقة وضع الجسم سوف تزداد بمقدار كمية الشغل اللازمة لرفعه إلى منضدة.

ويمكن تحويل الطاقة الكامنة إلى أشكال أخرى من الطاقة. فإذا ما دفعنا الصندوق من فوق المنضدة فسوف يبدأ في السقوط وتتحوّل طاقته الكامنة إلى طاقة حركية. وعندما يصطدم الصندوق بالأرض يحدث اهتزازات على الأرض والهواء المحيط بها. وتسخن هذه الاهتزازات الأرض والهواء، وبهذا تكون الطاقة الحركية للجسم قد تحوّلت إلى طاقة حرارية.

يمكن حساب الطاقة الكامنة الناتجة عن الجاذبية من

$$PE = mgh \text{ --- (54 - 2)}$$

إذ m تمثل الكتلة بالغم أو الكغم ، g هو التعجيل الناتج عن الجاذبية ويساوي 9.8 m/s^2 على سطح الأرض، h يمثل الارتفاع بوحدات المتر.

مثال (41)

جسم كتلته 2 kg على ارتفاع 0.4 m ، ما مقدار طاقته الكامنة؟

$$PE = mgh$$

$$PE = 2 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.4 \text{ m} = 7.84 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 7.84 \text{ J}$$

مثال (42)

أسقطت تفاحة كتلتها 0.1 kg مسافة 1 m . أحسب السرعة التي ارتطمت بها بالأرض؟

$$PE = mgh$$

$$PE = 0.1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m}$$

$$PE = 0.98 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$$

بإهمال مقاومة الهواء، تتحول الطاقة الكامنة إلى طاقة حركية

$$KE = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v^2 = \frac{2 KE}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 KE}{m}}$$

$$PE = KE$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 0.98}{0.1}} = 4.427 \text{ m/s}$$

3.7.2 الطاقة الداخلية الكامنة (Enthalpy)

الطاقة الداخلية الكامنة (الأنثاليبي) هي "الطاقة المخترنة في مول من المادة"، ورمزه (H) وهو خاصية مميزة للمادة (تماماً كالكتلة والحجم)، فكل مادة لها كمية محددة من الإنثاليبي. ويعتمد مقدار الإنثاليبي للمادة على كمية المادة، فمولان من المادة يحتوي كمية من الإنثاليبي ضعف ما يحتويه مول واحد من المادة.

ويكون التغير في الإنثاليبي (ΔH) عند ضغط ثابت يساوي الفرق بين الإنثاليبي في نهاية العملية (انثاليبي النواتج) والإنثاليبي عند البداية (انثاليبي المتفاعلات) أي أن:

$$\Delta H = H_2 - H_1 \quad \text{--- (55 - 2)}$$

إذ H_2 قيمة الإنثالبي النهائية ، H_1 قيمة الإنثالبي الابتدائية.

والتغير في الإنثالبي يساوي الحرارة المنطلقة أو الممتصة خلال العملية عند ضغط ثابت أي أن:

$$Q_p = \Delta H \quad \text{--- (56 - 2)}$$

إذ Q_p : كمية الحرارة عند ضغط ثابت

يمكن حساب التغير في الإنثالبي (ΔH_{rxn}) للتفاعل بطرح انثالبي المواد المتفاعلة من انثالبي المواد الناتجة.

إذ :

$$\Delta H_{rxn} = \sum n_P(\Delta H)_P - \sum n_R(\Delta H)_R \quad \text{--- (57 - 2)}$$

Products : P (النواتج) ، Reactants : R (المتفاعلات).

n_p = عدد مولات المواد الناتجة ، n_R = عدد مولات المواد المتفاعلة.

$(\Delta H)_p$ = انثالبي النواتج ، $(\Delta H)_R$ = انثالبي المتفاعلات

وعند كتابة قيمة الإنثالبي في المعادلة فإنها تعرف بالمعادلة الكيميائية الحرارية (Thermochemical Equation) كما في المثالين التاليين :

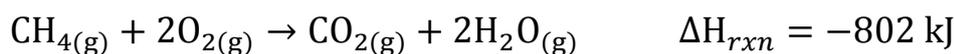


في التفاعل الأول قيمة التغير في الإنثالبي (حرارة التفاعل) سالبة ($\Delta H_{rxn} = - 890 \text{ kJ}$) وبالتالي فإن التفاعل طارد للحرارة، وفيه يكون انثالبي المواد الناتجة أقل من انثالبي المواد المتفاعلة وفقاً للعلاقة (1-58-2)

وفي التفاعل الثاني فإن قيمة التغير في الإنثالبي موجبة ($\Delta H_{rxn} = + 181.6 \text{ kJ}$) وبالتالي فإن التفاعل يكون ماصاً للحرارة، وحينها فإن انثالبي المواد الناتجة أكبر من انثالبي المواد المتفاعلة وفقاً للعلاقة (2-58-2).

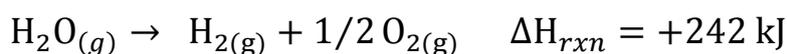
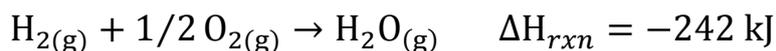
تتغير قيم ΔH_{rxn} مع تغير حالة أي مادة من المواد المتفاعلة أو الناتجة (صلبة (S) ، سائلة (L) ، غازية (g) ، محلول (aq) كما هو موضح في التفاعل التالي :





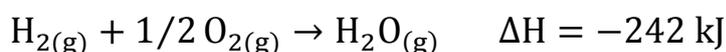
نلاحظ إن الإنثالبي (كمية الحرارة) انخفضت بمقدار (88kJ) في الحالة الثانية عنها في الحالة الأولى ، بسبب أن الماء في المعادلة الثانية غازاً ، بينما في المعادلة الأولى سائلاً.

- إذا عكست معادلة التفاعل فإن إشارة ΔH تنعكس مع بقاء نفس القيمة:

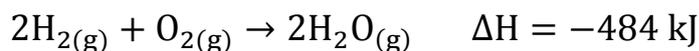


- تعتمد قيمة ΔH_{rxn} في التفاعل الكيميائي على كمية المواد المتفاعلة، فمثلاً :

تفاعل (1 mol) من الهيدروجين ينتج طاقة قدرها 242kJ



بينما تفاعل (2 mol) من الهيدروجين ينتج طاقة قدرها (2 x 242 kJ = 484 kJ)



تغيرات الإنثالبي القياسية (Standard Enthalpy Changes)

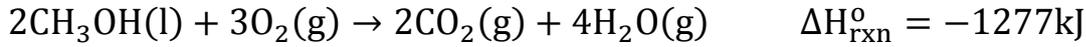
تعرف الحالة القياسية للمادة بأنها الحالة الفيزيائية (صلبة، سائلة، غازية) التي توجد عندها المادة بشكل تكون فيه أكثر استقراراً عند ضغط جوي واحد (1 atm) ودرجة حرارة (25 C°) والتي تكافئ (298K) وهي تمثل درجة حرارة الغرفة تقريباً.

ويرمز لتغير الإنثالبي القياسي بالرمز ΔH°_{298} أو اختصاراً ΔH°

وعادة ما تعطى قيم ΔH° عند درجة حرارة (298K) ما لم ينص على خلاف ذلك .

مثال (43)

أحسب حرارة التكوين القياسية للميثانول (CH_3OH) ، علماً أن :



Compound	$\Delta H_f^{\circ} (\text{kJ/mol})$
$\text{CO}_2(\text{g})$	-393.5
$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-241.8

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = \sum n_{\text{P}}(\Delta H_f^{\circ})_{\text{P}} - \sum n_{\text{R}}(\Delta H_f^{\circ})_{\text{R}}$$

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = [2\Delta H_f^{\circ}(\text{CO}_2) + 4\Delta H_f^{\circ}(\text{H}_2\text{O})] - [2\Delta H_f^{\circ}(\text{CH}_3\text{OH}) + 3\Delta H_f^{\circ}(\text{O}_2)]$$

$$-1277 = [2(-393.5) + 4(-241.8)] - [2\Delta H_f^{\circ}(\text{CH}_3\text{OH}) + 3(0)]$$

$$-1277 = -1754.2 - 2\Delta H_f^{\circ}(\text{CH}_3\text{OH})$$

$$\Delta H_f^{\circ}(\text{CH}_3\text{OH}) = -238.6 \text{ kJ/mol}$$

4.7.2 طاقة حالة المادة (Entropy)

ينص القانون الثاني للثيرموداينمك على أنه في نظام مغلق ومعزول وخلال أي عملية حقيقية قابلة للتطبيق فعلاً يجب أن يكون تغير الإنتروبي أكثر من الصفر ($\Delta S > 0$)، وفي حال العمليات العكسية "المثالية" (Ideal reversible process) يمكن لتغير الإنتروبي أن يساوي الصفر خلال العملية. ولكن ما هو تغير الإنتروبي وماذا يعني؟

يعطى الأنتروبي الرمز S وهي تمثل مقدار الطاقة في النظام الفيزيائي التي لا يمكن استخدامها لأنجاز شغل.

تخيل مثلاً أن لديك خزانين للهواء، أحدهما ذو ضغط مرتفع والآخر ذو ضغط منخفض، فإذا فتحنا الخزانين على بعضهما، سوف ينتقل الهواء من الضغط العالي للمنخفض. يمكن وضع مروحة بين الخزانين وإنتاج عمل من انتقال الهواء، ولكن سوف يقل هذا الانتقال تدريجياً ويتوقف عند تساوي الضغوط. نلاحظ أن كمية الطاقة في الخزانين بقيت نفسها، ولكن لم يعد بالإمكان الاستفادة منها بتحويلها إلى عمل.

يمكن أن نفترض أيضاً وجود نظام مغلق ذي درجة حرارة أكبر من درجة حرارة الوسط المحيط، عندئذ سوف تنتقل الحرارة من هذا النظام إلى الوسط المحيط ويمكن استغلالها لأداء عمل، ثم ستتوقف عند الوصول لحالة التوازن ولن تتمكن من استخراج أي عمل منه حينها، وجميع العمليات تسير بنفس هذه الطريقة.

الانتروبي دالة للحالة (State variable) أي تعتمد على الحالة الابتدائية والحالة النهائية ولا تعتمد على المسار الذي يسلكه النظام . وبما أن الأنتروبي دالة حالة إذاً يقاس التغير فيه (ΔS) لأي عملية يتم فيها تغير النظام من حالته الابتدائية إلى حالته النهائية :

$$\Delta S = S_2 - S_1 \quad \text{--- (59 - 2)}$$

S_1 : انتروبي النظام في الحالة الابتدائية

S_2 : انتروبي النظام في الحالة النهائية

ويعبر عنها رياضياً بالقانون :

$$\Delta S = \frac{Q_{rev}}{T} \quad \text{--- (60 - 2)}$$

وحدة الانتروبي هي جول/كلفن ، أي يعادل التغير في مقدار حرارة النظام (Q) مقسوماً على درجة الحرارة (T) وذلك عندما تكون عملية التحول عكسية (Reversible) .

يشير تغير الإنتروبي إلى الاتجاه الطبيعي الذي تسير به العمليات، فتسير العمليات بطريقة واحد فقط غير قابل للعكس. كما اشرنا سابقاً تنتقل الحرارة بشكل تلقائي من المصدر المرتفع إلى المصدر المنخفض، ولا يحدث العكس بشكل تلقائي.

تزداد الانتروبي في العملية اللاعكسية (Irreversible process)

$$\Delta S_{irrev} = +$$

ولا يمكن للأنتروبي أن تقل اي

$$\Delta S \neq -$$

ومن خلال هذه الدالة نستطيع التعرف على ان التفاعل يحصل تلقائياً أو لا يحصل :

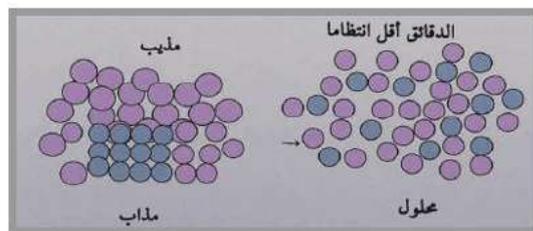
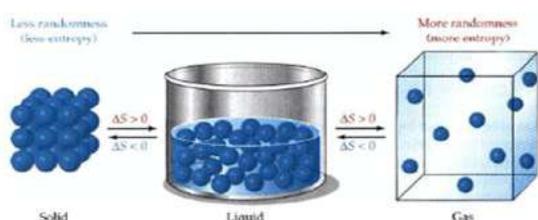
$$\Delta S = + \quad \text{(تلقائي) غير عكسي}$$

$$\Delta S = 0 \quad \text{(في حالة توازن) عكسي}$$

$$\Delta S = - \quad \text{لا يحصل التفاعل}$$

الانتروبي ممكن ان تصف إلى أي مدى تصل درجة الفوضى وعدم انتظام جسيمات النظام، وتشتت الطاقة المصاحبة لهذه الجسيمات. وكلما كان الانتظام قليلاً في النظام (العشوائية أكبر) كلما كانت قيمة الانتروبي كبيرة، وكلما كان النظام أكثر انتظاماً (أقل عشوائية) كلما كانت قيمة الانتروبي صغيرة.

الشكل (8-2) يوضح بأن دقائق المادة تصبح أقل انتظاماً في المحلول وهذا يعني حصول زيادة في الانتروبي عند إذابة المذاب في المذيب .



الشكل (8-2) زيادة العشوائية في المحاليل

الشكل (9-2) تغير الأنتروبي لحالات المادة الثلاثة

جزيئات الماء في الحالة البخارية أقل انتظاماً من جزيئات الماء في الحالة السائلة، وجزيئات الماء المتجمدة في الحالة الصلبة، وبشكل عام فإن الحالة الغازية أقل انتظاماً من الحالة السائلة، والحالة السائلة أقل انتظاماً من الحالة الصلبة.

$$S_{(s)} < S_{(l)} < S_{(g)}$$

يوضح الشكل (9-2) زيادة الأنتروبي (خاصية عدم الانتظام) عند التحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة ثم إلى الحالة الغازية.

من الواضح مما تقدم أن كلا عمليتي الإنصهار والتبخير تقودان لتغير في الأنتروبي أكبر من الصفر ($\Delta S > 0$)، عندما تذوب المادة الصلبة الأيونية في الماء فإن البناء البلوري عالي التنظيم للمادة الصلبة والبنية المنتظمة للماء يتحطمان. كنتيجة لذلك فإن المحلول يمتلك عدم تنظيم أكبر من المذاب النقي أو المذيب النقي.

كذلك فإن التسخين يزيد من أنتروبي المنظومة إذ تزيد طاقة الحركات الجزيئية المختلفة بزيادة درجة الحرارة. وهذا يعني أن الزيادة في التبعر على المستوى الجزيئي تزيد من الأنتروبي

8.2 القياس (Measurements)

1.8.2 مفاهيم علم القياس (Concepts of Metrology)

علم القياس أو المترولوجيا (Metrology) هو علم إجراء عملية القياس مع تحديد نسبة الخطأ المترتبة على عملية القياس. ويشمل هذا العلم جميع النواحي النظرية والعملية في القياس. أن هدف كل عملية إنتاجية هو الحصول على منتج بكمية معينة وبجودة معينة ووظيفة القياس هو تهيئة المعلومات لقيادة تلك العمليات والوصول إلى الهدف المطلوب.

تعرف مرجعية عملية القياس (traceability)، بأنها خاصية لنتيجة عملية القياس، أو لقيمة المعيار والتي يمكن وفقاً لها ربطها بمرجع محدد، تكون عادة هي المعايير الوطنية، أو الدولية. نحصل على المرجعية غالباً بالمعايرة، وهي إنشاء علاقة بين إشارة أداة القياس وقيمة معيار القياس. وتنسق المخابر الوطنية هذه المعايير، مثل المعهد الوطني للقياس والتقنية في أمريكا، ومخبر الفيزياء الوطني في إنكلترا، إلخ.

إن المرجعية، والدقة والضبط، والانحراف النظامي (systematic bias) ، وتقدير نسبة الخطأ في القياس هي أجزاء أساسية في نظام إدارة الجودة.

9.2 مقاييس الضغط (Pressure Measurements)

1. مقياس الضغط الجوي: الباروميتر (Barometer)

الباروميتر الزئبقي عبارة عن أداة تحتوي على أنبوب زجاجي طويل مفتوح من أحد الطرفين يحتوي على الزئبق، وعند وضع الجهاز عند مستوى سطح البحر فإن مستوى الزئبق في الأنبوب ينخفض حتى يصل ارتفاعه إلى 76سم، بسبب الكثافة العالية للزئبق، فيما سيترك القليل من الفراغ في الأعلى نتيجة وجود بخار الزئبق، ويتميز هذا الجهاز بدقته، لأن قوى التماسك بين ذرات الزئبق أعلى من قوى التلاصق بينه وبين الزجاج، كما أنّ لونه مميز، ويسهل بذلك تمييزه ورؤيته، وتعتمد قيمة الضغط فيه على مدى الارتفاع، أو الانخفاض عن سطح البحر.

وتقيس البارومترات الحديثة الضغط الجوي بالمليمتر الزئبقي أو بوحدة تسمى البار تنقسم إلى ألف مليبار والبار وحدة ضغط في النظام المتري، ويسجل العلماء معظم قياسات الضغط بالمليبار. فمتوسط الضغط الجوي عند مستوى سطح الأرض 1,013 ملي بار، وهو يساوي 760 ملم زئبق .

2. مانومترات السوائل (Liquid Manometers)

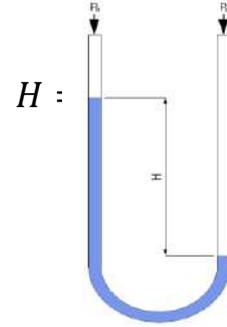
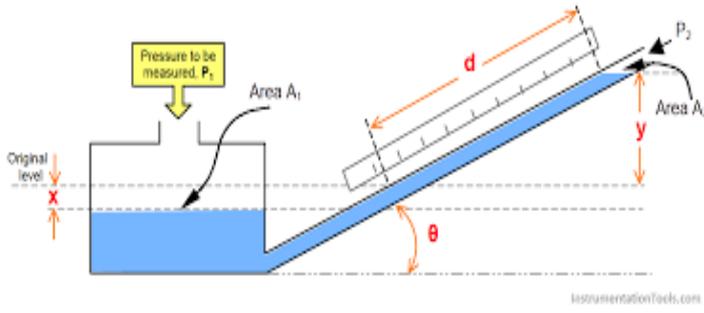
تعمل مانومترات السوائل حسب مبدأ الأواني المستطرقة. أبسط أنواعها ال U مانومتر المتكون من أنبوب زجاجي له شكل (U) أو أنابيب مستقيمة متصلة من الأسفل بأنبوب مطاطي أو معدني كما مبين في الشكل (a 10-2). فكرة عمل مانومتر السائل ان الفرق بين الضغط P_1 والضغط P_2 يمكن تأشيرته على شكل فرق في ارتفاع السائل H .

تقسم مانومترات السوائل إلى :

1- مانومترات الضغط العالي وتقيس ضغوطاً أعلى من 2.5×10^5 Pa ويستعمل فيها الزئبق لأن كثافته عالية.

2- مانومترات الضغط المتوسط ومجال قياسها يقع بين 300 Pa و 2.5×10^5 Pa ويستعمل فيها الزئبق أو الماء أو الكحول بعد إضافة صبغة لهما.

3- مانومترات الضغط الواطئ وتستعمل لقياس ضغوط أقل من 300 Pa. تقل حساسية الأجهزة البسيطة للضغوط القليلة ولذلك يجب استعمال أجهزة خاصة مثل المانومتر المائل ، شكل (b 10-2) أو المانومتر الدقيق والمانومتر ذو السائلين.



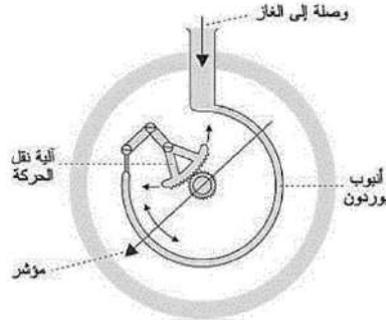
$$P_1 - P_2 = \Delta P = \rho g d \sin \theta$$

الشكل (10-2) a: المانومتر السائلي ، b - المانوميتر المائل

3.

4. مانومتر الأنبوب النابضي (مقياس بوردون Bourdon) :

يتكون المقياس من انبوب منحن مقطعه بيضوي مغلق من جهة واحدة والجهة الثانية مثبتة. عند زيادة الضغط داخل الأنبوب يبدأ الأنبوب بالانحناء حتى حالة التوازن بين قوة الضغط مع قوة الأنبوب المعتادة والمحددة حسب مرونة الأنبوب. يستعمل لقياس الضغط حتى 1000Pa وتخلخل في الضغط حتى -0.1MPa . الشكل (11-2) يمثل التصميم الأساسي للمانومتر.

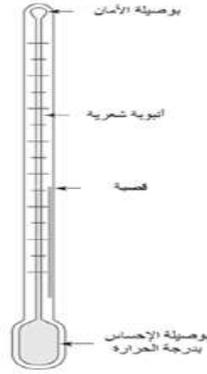
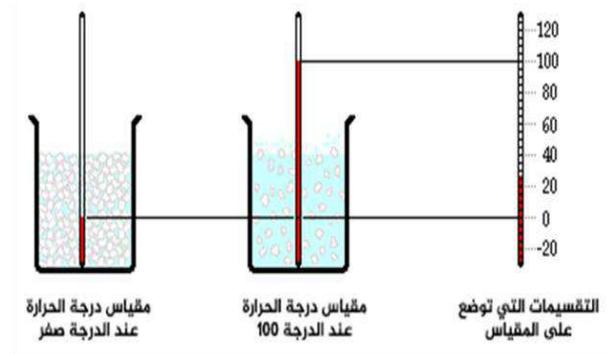


الشكل (11-2) : مقياس بوردون

10.2 مقاييس الحرارة (Heat)

هنالك انواع مختلفة من المحارير تستند على خواص فيزيائية مختلفة:

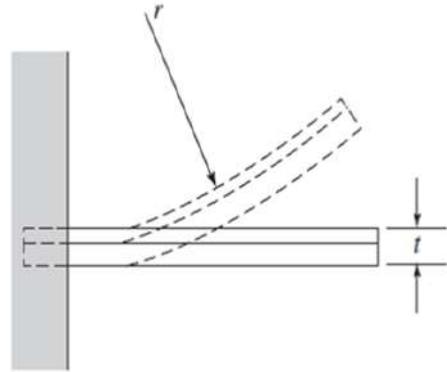
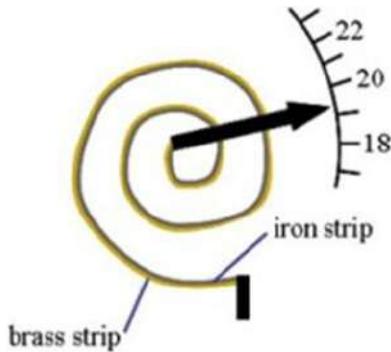
1- محارير تمدد السوائل: تعتمد هذه المحارير على تغير حجم السائل مع تغير درجة الحرارة ويوضح الشكل (12-2 a,b) المحرار الزئبقي.



الشكل (12-2 b): معايرة المحرار المنوي

الشكل (12-2 a) المحرار الزئبقي

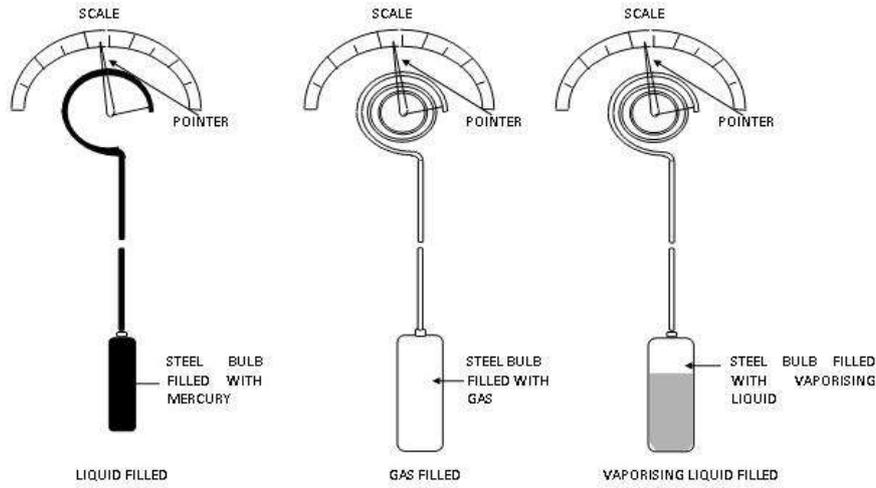
2- محارير المزدوج المعدني : وهي المحارير التي تعتمد على مبدأ اختلاف تمدد الأجسام الصلبة المختلفة ويتركب هذا المحرار من شريطين من معدنين مختلفين ملتصقين تماما ويختلف معامل تمددها اختلافا كبيرا وعند تسخين المزدوج المعدني ينحني إلى جهة المادة ذات التمدد الأصغر كما مبين في الشكل (13-2 a) . ويكون المزدوج المعدني على شكل لولبي أحد طرفيه مثبت والأخر ملحق بمؤشر طويل والمؤشر يتحرك على مسطرة مدرجة كما موضح في الشكل (13-2 b).. تستعمل سبائك النيكل والبراص لعمل المزدوجات المعدنية ويستعمل عادة الأنفار كمادة قليلة التمدد حيث معامل تمددها بحدود 5% من معامل تمدد المعادن العادية. تستعمل في الصناعة لمديات درجات حرارة من -40°C إلى $+600^{\circ}\text{C}$ تقريبا وله خطأ مقداره $\pm 3\%$.



الشكل (13-2 b): محرار المزدوج المعدني

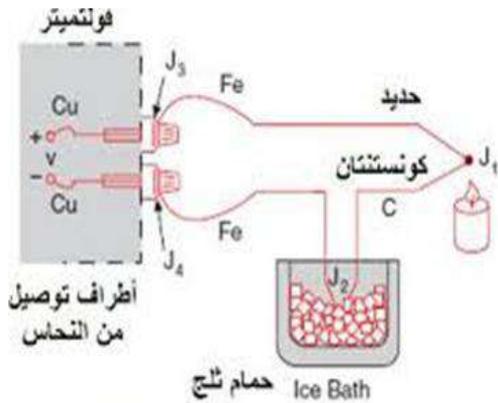
الشكل (13-2 a) مبدأ عمل محارير المزدوج المعدني

3- المحارير النابضية أو المانومترية : يتكون المحرار من بصلة مملوءة بسائل أو غاز أو بخار وأنبوبة شعيرية ومانومتر نابضي كما مبين في الشكل (14-2) . عند تسخين البصلة يزداد حجم المائع الموجود فيها أو ضغطه مما يغير شكل المانومتر النابضي وتنتقل حركته عن طريق أذرع أو مسننات إلى المؤشر . تستعمل هذه المحارير لمديات درجات حرارة من -50°C إلى $+600^{\circ}\text{C}$ وتستخدم لأغراض السيطرة والتحذير ويمكن ربطها بدائرة كهربائية لغرض نقل الإشارة لمسافات بعيدة .

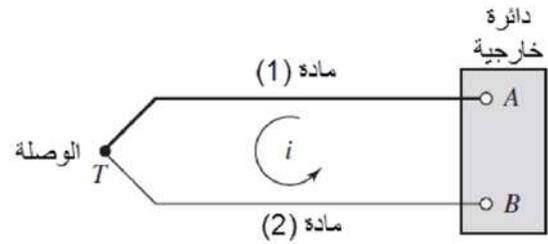


الشكل (14-2) : المحرار النابض المملوء بالسائل أو الغاز أو البخار

5. محارير المزدوج الحراري : وهي المحارير التي تستند على مبدأ تغير القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في دائرة المزدوج الحراري عندما يتغير الفرق بين درجتي حرارتي نقطتي الأتصال. كما موضح في الشكل (15-2 a,b).



الشكل (15-2 b) معايرة المزدوج الحراري



الشكل (15-2 a) المزدوج الحراري

11.2 قياس ومعايرة المستوى في الخزانات (Measurement and Calibration of Level in Tanks)

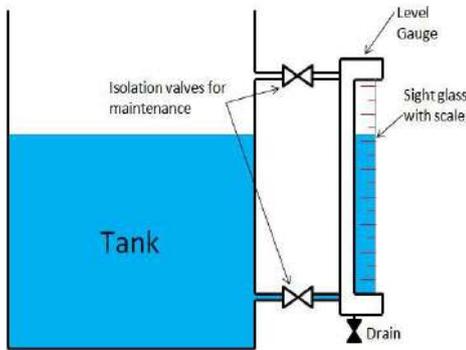
يُعد ارتفاع المادة داخل الوعاء أو الخزان مقياساً للحجم والكتلة . يقاس مستوى سطح السائل إما مباشرة بواسطة العوامات أو أنابيب بيان مستوى سطح السائل الزجاجية أو يقاس بطريقة غير مباشرة عن طريق علو ضغط السائل الهيدروستاتيكي في الخزان.

أ- **جهاز الخطاف** : يبين الشكل (16-2 a) الخطاف المتحرك والمزود بمؤشر حيث يحرك الخطاف حتى تلامس نهايته المدببة سطح السائل ويمكن قراءة الأرتفاع على التدريجات.

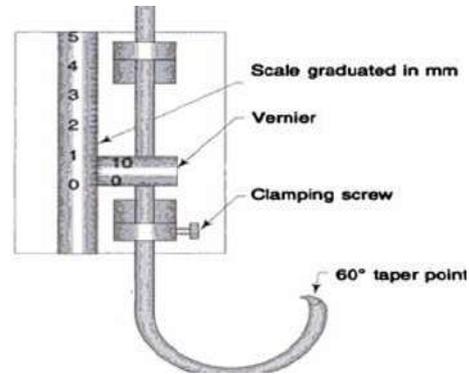
ب- **زجاج المعاينة** : يربط أنبوب زجاجي مع الوعاء ويعمل حسب مبدأ الأواني المستطرقة إذ يكون ارتفاع السائل في الأنبوب الزجاجي مساويا لارتفاع السائل في الوعاء كما موضح في الشكل (16-2 b).

ج- **الأجهزة الأستاتيكية** : يرتبط ضغط السائل مع ارتفاع السائل h بالمعادلة $P = \rho gh$ وعند اعتبار الكثافة ثابتة يكون الضغط متعلقا بالارتفاع فقط . تستعمل طريقة الهواء المضغوط وذلك بضخ هواء تحت ضغط ثابت P_i كما مبين بالشكل (16-2 c) يكون أكبر من ضغط السائل عند نهاية الأنبوب الغاطس في الوعاء مما يجعل الهواء يخرج على شكل فقاعات ويكون الضغط داخل الأنبوب الأفقي متناسبا مع ارتفاع السائل في الوعاء .

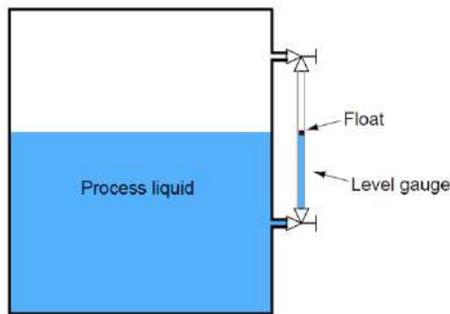
د- **أجهزة الطوافات** : يفضل استعمال الطوافات في الأوعية المفتوحة، أو التي لا يؤثر الضغط على السائل الموجود فيها . تتبع الطوافة تغيرات ارتفاع السائل وتنقلها بواسطة اذرع، أو سلاسل خارج الوعاء إلى المؤشر ، الشكل (16-2 d) .



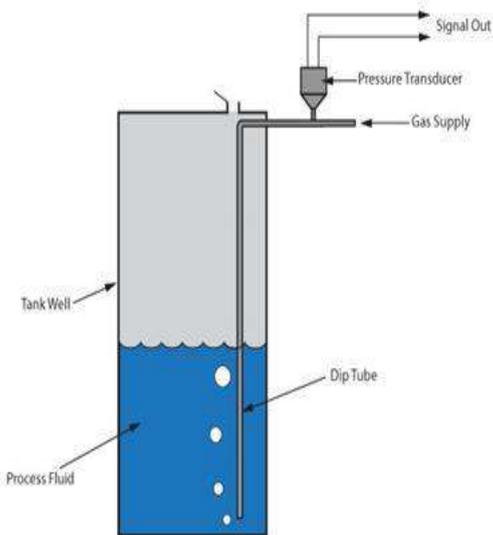
ب - زجاج المعاينة



ا - الخطاف



د - الطوافة



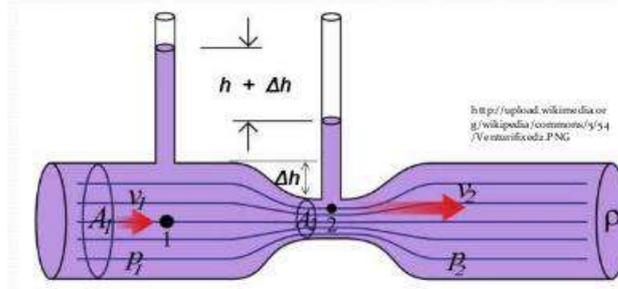
ج - الهواء المضغوط

الشكل (16-2) طرق قياس مستوى السوائل في الخزانات

12.2 قياس التدفق ومعايرة العدادات (Flow Measurement and Calibration of Counters)

1- أجهزة فرق الضغط لقياس الجريان Differential Pressure Flow Meters

الضغط لقياس التدفق
الضغط علي جانبي
يتناسب معدل التدفق
التربيعي لفرق



أجهزة فرق
تقوم بقياس فرق
ثقب، أو فوهة إذ
طردياً مع الجذر
الضغط الناتج .

علي عناصر أولية
و Elements

ويحتوي الجهاز
Primary

أخري ثانوية Secondary Elements . ومهمة العنصر الأولي هو تكوين فرق ضغط علي جانبيه وقد يكون عبارة عن جهاز فينجوري Venturi meter أو قرص مثقوب Orifice plate أو أنبوب بيتوت Pitot tube بينما تكون مهمة العنصر الثانوي قياس فرق الضغط هذا وتحويله إلي إشارة Signal .

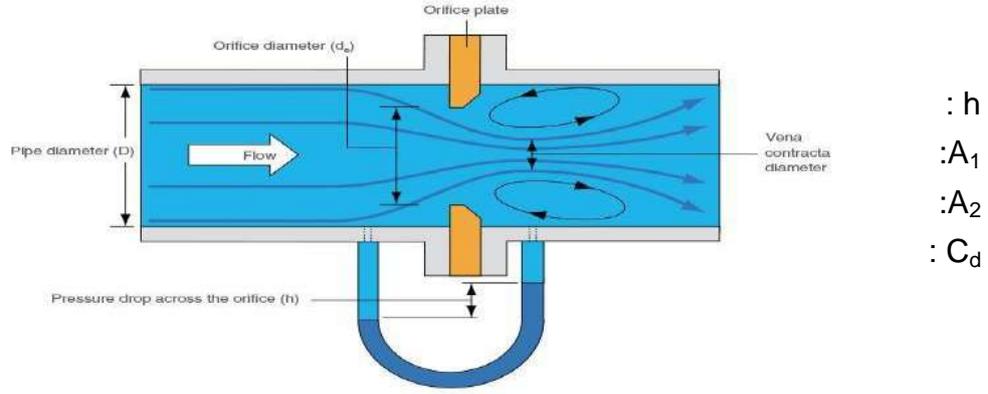
أ- جهاز فنجوري Venturi meter: يتألف هذا الجهاز من أنبوب يتغير مقطعه تدريجياً مع اتجاه الجريان إلى أن يصل إلى قيمة صغيرة، ثم يتوسع بالتدرج حتى يأخذ من جديد قيمته الأولى، الشكل (17-2).

الشكل (17-2) مقياس فنجوري

ويستعمل لقياس التدفق المار في أنبوب ما ، إذ يؤدي مرور السائل في الأنبوب المتضيق إلى تسارعه في اتجاه الجريان، مما يؤدي إلى حصول هبوط في الضغط. وحسب معادلة الطاقة. فإن هناك علاقة بين معدل الجريان وبين هبوط الضغط ومن ثم يمكن تحديد مقدار التدفق المار في الأنبوب. ويمكن قياس فرق الضغط المتشكل عند المقطع المتضيق وقبله باستعمال مانومتر يوضع في داخله سائل ذو كثافة نوعية معروفة. ويحسب التدفق المار في جهاز فنجوري من العلاقة :

$$Q = C_d \sqrt{2gh \left\{ \frac{A_1 A_2}{\sqrt{A_1^2 A_2^2}} \right\}} \text{----- (61 - 2)}$$

التدفق الحجمي : Q



ب - فتحات الأنابيب Orifice plate :

يعتمد مبدأ عمل فنجوري المبين في الفقرة السابقة على تغير مقطع الأنبوب المتضيق، بحيث يكون مقطع الجريان عند العنق أصغر منه عند مدخل الأنبوب المتضيق. يمكن الحصول على نتيجة مشابهة بتركيب صفيحة تحتوي على فتحة قطرها أصغر من القطر الداخلي للأنبوب كما موضح في الشكل (18-2). تعد هذه الطريقة أبسط وأقل كلفة من أنبوب فنجوري، وتؤدي الغرض نفسه، إلا أن ذلك يكون على حساب فقدان بسبب الاحتكاك. ويمكن حساب التصريف النظري من العلاقة السابقة نفسها، غير إن التصريف الفعلي يكون أقل من ذلك بكثير، لأن الاحتكاك هنا يكون كبيراً .

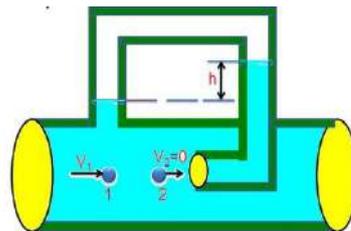
الشكل (18-2) مقياس فتحات الأنابيب

$$Q = C_d A_{orifice} \sqrt{2gh} \quad \text{--- (62 - 2)}$$

ج- أنبوبة بيتوت Pitot tube :

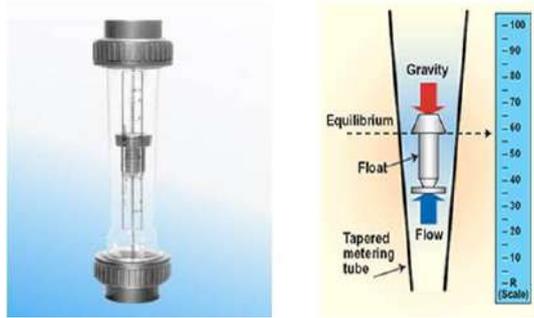
تستعمل أنبوبة بيتوت لقياس سرعة الغاز الذي يمر في أنبوبة كما يستعمل لقياس سرعة الرياح وقياس سرعة الطائرات بالنسبة للهواء. يتكون هذا الجهاز من أنبوبتين أحدهما واسعة المقطع يجري فيها الغاز بسرعة v والأنبوبة الأخرى ذات مقطع صغير في نهايتها، وتتصل الأنبوبتان بمانومتر سائلي كما في الشكل (19-2). فعندما يصطدم الغاز بالنهاية المدببة للأنبوبة الرقيقة فإن سرعته تصبح صفراً.

$$v = \sqrt{2gh \frac{\rho_l}{\rho_f}} \quad \text{--- (63 - 2)}$$



الشكل (19-2) أنبوبة بيتوت

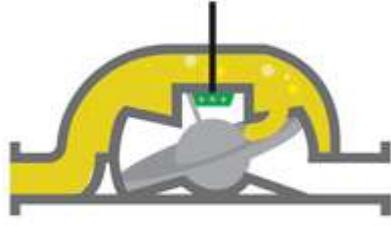
د- يُعد الروتاميتز (Rotameter) أحد أجهزة القياس التي تُعتمد علي تغير مساحة مقطع الأنبوب أي أنه أحد أنواع أجهزة المساحة المتغيرة , Variable Area Meters وهو عبارة عن أنبوب مخروطي الشكل يوجد به عوامة (الشكل (20-2)). يصنع الأنبوب عادة من الزجاج ، وطريقة عمله ان تيار المائع المار من أسفل يرفع العوامة Float إلى أعلى حتى يبلغ الجزء الحلقي المتزايد بين جسم العوامة والأنبوب الزجاجي المخروطي قيمة تتوازن عندها القوى المؤثرة في العوامة. وعند اتزان القوى تستقر العوامة عند الأرتفاع المناظر لمقدار معدل التدفق .



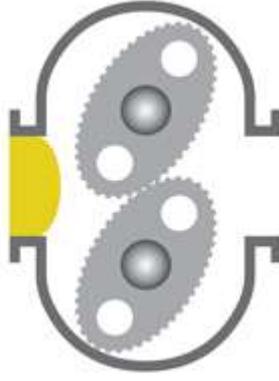
الشكل (20-2) الروتاميتز

أجهزة الإزاحة الموجبة لقياس الجريان Positive displacement flow meters

أجهزة الإزاحة الموجبة لقياس الجريان Positive displacement تقيس حجم فراغ ممتلئ بالسائل ، ثم تفريغه وتعيد ملئه من جديد ، وبالتالي يتم حساب كمية السائل الذي تم نقله عبر الجهاز . وهذا النوع من الأجهزة يقيس قيمة التدفق الفعلي عكس الأجهزة الأخرى والتي تقيس بعض المتغيرات الفيزيائية وتحولها إلى معدل جريان Flow rate ، فنتاج جهاز الإزاحة الموجبة يعبر مباشرة عن قيمة حجم المائع الذي مر عبر الجهاز . ومن أجهزة الإزاحة الموجبة ، الأجهزة المكبسية (Piston meters) وأجهزة التروس البيضاوية Oval-Gear meters وجهاز القرص المغزلي (Nutating disk meters) وجهاز الريشة الدوارة (Rotary Vane Type Meters) وغيرها من الأجهزة ، يوضح الشكل (21-2) بعض هذه الأنواع.



جهاز القرص المغزلي



جهاز الترس البيضوي



جهاز مكبسي

الشكل (21-2) أجهزة قياس السرعة

أسئلة الفصل

- س 1 : حول 4 ضغط جوي (atm) إلى وحدة الباسكال ثم إلى وحدة بار (bar) .
- س 2 : a - عرف الكثافة والوزن النوعي
b - احسب الوزن النوعي لسائل كثافته 15 g / ml .
- س 3 : حول 12°C إلى درجة حرارة بوحدات فهرنهايت ($^\circ\text{F}$) ، بوحدات كلفن (K) بوحدات رانكن (R) .
- س 4 : a - عرف الضغط واذكر العوامل التي تؤثر عليه .
b- ما وزن 2 مول من الماء ، علما بان الكتلة الذرية : $\text{H} = 1$ ، $\text{O} = 16$
- س 5 : احسب عدد مولات 102 غراما من هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) علما بان الكتلة الذرية : $\text{H} = 1$ ، $\text{O} = 16$ ، $\text{K} = 39$
- س 6 : اذكر الخطوات المتبعة في اجراء موازنة المادة .
- س 7 : تم حرق 10 kg من الاثيلين مع 500 kg من الهواء الى 20 kg من ثاني أوكسيد الكربون و 20 kg من اول أوكسيد الكربون . احسب النسبة المئوية للهواء الزائد .
- س 8 : عدد أنواع الأنظمة الحرارية مع تعريف كل منها .
- س 9 : a – عرف كلا من الطاقة الداخلية الكامنة (الانثاليبي) وطاقة حالة المادة (الانتروبي) مع ذكر القوانين الرياضية لكل منهما .
- b- ما مقدار التغير في الضغط البخاري عندما يضاف 82 gm من الكليسيرين ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) إلى 169 ml من الماء عند درجة حرارة 38.8°C . اذا علمت ان الضغط البخاري للماء النقي عند 38.8°C يساوي 54.74 torr وكثافة الماء عند 38.8°C يساوي 0.992 gm/ml .
- س 10 : a – عدد كلا من مقاييس الضغط ومقاييس الحرارة ، ثم اشرح مانوميترات السوائل والمزدوج الحراري .
b- اذكر القوانين الثلاث للديناميكا الحرارية .

الفصل الثالث

Principles of Organic Chemistry مبادئ الكيمياء العضوية

الاهداف

يكون الطالب قادرا على ان :

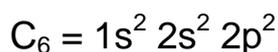
- 1 - يفهم الهيدروكربونات وانواعها وخواصها .
- 2 - يعرف الخواص الكيميائية والفيزيائية للالكانات .
- 3 - يعرف الخواص الكيميائية والفيزيائية للاوليفينات .
- 4 - يعرف الخواص الكيميائية والفيزيائية للاستيلينات .
- 5 - يعرف تركيب البنزين وخواصه الكيميائية والفيزيائية .
- 6 - يصنف الكحولات .
- 7 - يعرف تسمية الكحولات والفينولات .

1.3 تمهيد Preface

يوجد في الطبيعة كم هائل من المواد العضوية تدخل في تركيب اجسام الاحياء على اختلافها النباتية والحيوانية واغلب انواع الوقود الذي يستخدمه الانسان هو وقود عضوي وعادة يكون تركيب المركبات العضوية من الكربون والهيدروجين في الاساس. يتطرق هذا الفصل إلى التعريف بالمواد العضوية وتصنيفها وتسميتها وبيان خواصها.

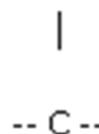
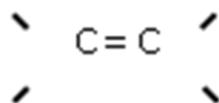
2.3 الترتيب الذري لذرة الكربون Electronic Arrangement of Carbon Atom

ان العدد الذري لذرة الكربون هو (6) وتمتلك الترتيب الالكتروني التالي :

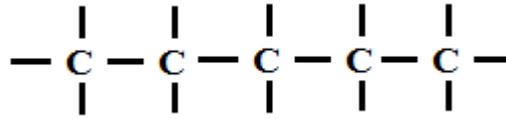


تتقصها اربعة الكترونات في غلافها الخارجي اي انه نصف مشبع وبعبارة اخرى تستطيع ذرة الكربون فقدان او اكتساب الكترونات لإشباع غلافها الخارجي الا انها تميل إلى تكوين ايونات رباعية موجبة كانت او سالبة الا ان ذلك يتطلب طاقة كبيرة وعليه فان ذرة الكربون تساهم بالإلكترونات الاربعة لإشباع غلافها الخارجي عن طريق تكوين اربعة اواصر تساهمية وبهذه الصفة الفريدة لذرة الكربون تصبح لها القدرة على تكوين عدد هائل من المركبات مع ذرة الهيدروجين H_2 تسمى المواد الهيدروكربونية او العضوية تنتشر في الطبيعة منها منتجات النفط ويزداد تنوعها بارتباط عناصر كيميائية اخرى في تركيبها. ويعود سبب وفرة المركبات العضوية لقدرة ذرات الكربون للارتباط مع نفسها أو غيرها بطرق عديدة :

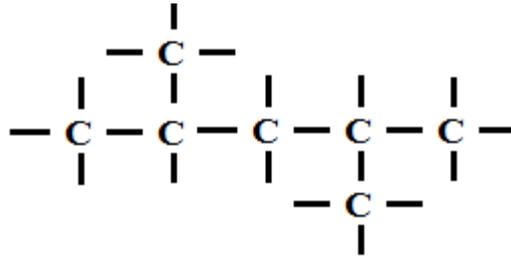
روابط ثلاثية	روابط ثنائية	روابط أحادية
--------------	--------------	--------------



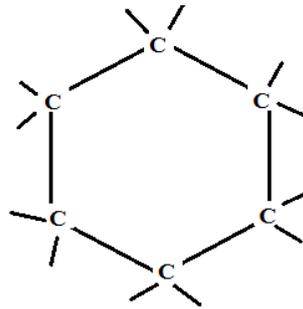
وكذلك ترتبط ذرات الكربون على هيئة سلاسل أو حلقات متجانسة وغير متجانسة :



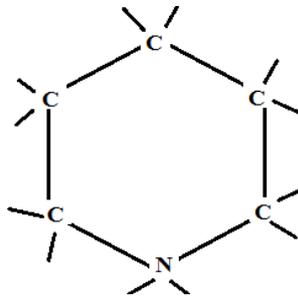
سلسلة مستمرة



سلسلة متفرعة



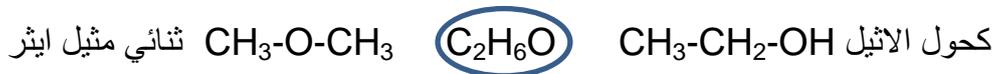
حلقة متجانسة



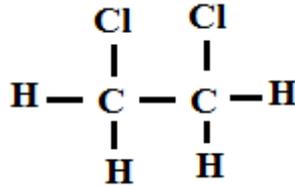
حلقة غير متجانسة

3.3 الصيغة التركيبية Structural Formula

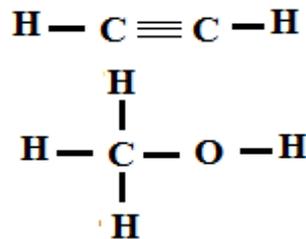
عادة يوصف المركب الكيميائي بصيغته الجزيئية مثلا الماء هو H_2O والتي تدل على انه مؤلف من ارتباط جزيئة اوكسجين مع جزيئتي هيدروجين. الا ان المركبات العضوية نظرا لكبر حجم جزيئاتها وتركيبها من سلاسل من الكربون ترتبط بها ذرات العناصر الاخرى لا تعبر الصيغة الجزيئية بصورة كافية عن نوع المادة لذلك يتم اعتماد الصيغة التركيبية والتي هي **الصيغة التي تبين ترتيب الجزيئات وكيفية ارتباط الذرات** لوجود اكثر من مركب يشترك في نفس الصيغة الجزيئية مثال الصيغة الجزيئية C_2H_6O يمكن ان تكون لمركبين مختلفين هما كحول الاثيل وثنائي مثيل ايثر وهذا الاختلاف جاء نتيجة الاختلاف في كيفية ترابط الذرات المكونة لجزيء المادة مع بعضها.



الصيغة البنائية : هي صيغة تبين نوع وعدد الذرات لكل عنصر في المركب وطريقة ارتباطها مع بعضها بالروابط التساهمية مثل:



1,2-Dichloroethane



Acetone

اسيتون

4.3 الهيدروكربونات Hydrocarbons

هي مركبات عضوية تتكون من الكربون، والهيدروجين فقط تختلف في خواصها الكيمائية، والفيزيائية باختلاف ترابط ذرات الكربون التي تكون على شكل سلاسل، او حلقات ومن مميزاتاها :

- (1) تحتوى على الكربون كعنصر أساسي.
- (2) لا تذوب غالباً في الماء وتذوب في المذيبات العضوية كالبنزين.
- (3) درجة انصهارها وغلبيتها منخفضة.
- (4) روابطها تساهمية ومحاليلها لا توصل التيار الكهربائي.
- (5) تتميز بقدرتها على تكوين بوليمرات.
- (6) تتميز بوجود المشابهة الجزيئية لكثير من المركبات.
- (7) لها روائح مميزة.
- (8) تحترق (تشتعل) وينتج H_2O , CO_2 .

وتنقسم إلى الانواع التالية :

1.4.3 الالكانات او البارافينات Alkane or Paraffin

الالكانات أو البارافينات هي مركبات مشبعة ترتبط ذرات الكربون فيها بأصرة مفردة وتوصف مركباتها بالقانون C_nH_{2n+2} إذ يمثل n عدد ذرات الكربون التي تبدأ بالتسمية كما في الجدول رقم (1-3).

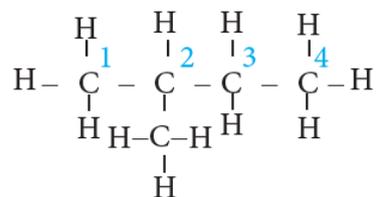
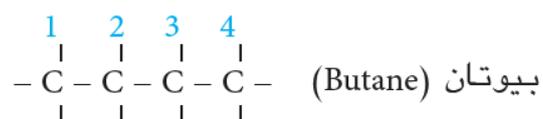
جدول رقم (1-3) سلاسل الالكانات

n	الاسم	السلسلة
1	ميثان	CH_4
2	ايثان	CH_3-CH_3
3	برويان	$CH_3-CH_2-CH_3$
4	بيوتان	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$
5	بنتان	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
6	هكسان	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
7	هبتان	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

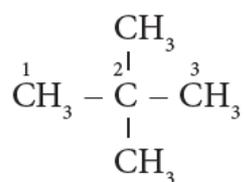
تسمية الالكانات:

المركبات البرافينية (الالكانات) التي تكون بشكل سلاسل كربونية كما في الجدول رقم (1) أو تمتلك تفرعات جانبية يتم تسميتها بالطريقة التالية :

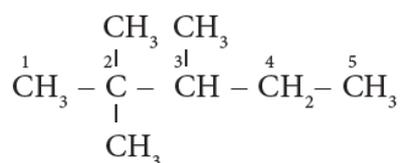
- 1- ترقم ذرات الكربون في السلسلة من أقرب تفرع ولاطول سلسلة في المركب (يكون الاسم) .
- 2- يحدد رقم ذرة الكربون التي فيها التفرع .
- 3- يذكر نوع التفرع (مثيل CH_3 ، اثيل CH_3CH_2 ، كلورو Cl ، برومو Br) مع عدد التفرعات (احادي mono، ثنائي Di، ثلاثي Tri ...)
- 4- يذكر حرف n قبل الاسم إذا لم يوجد تفرع ليبدل على سلسلة كربونية اعتيادية.



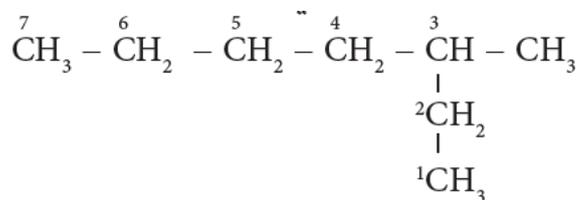
2-Methyl butane
(2 - ميثيل بيوتان)



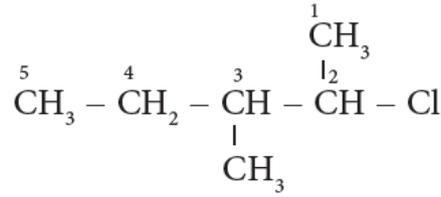
2,2-Dimethyl propane
2,2 - ثنائي ميثيل بروبان



2,2,3-Tri methyl pentane
3,2,2 - ثلاثي ميثيل بنتان



3-Methyl heptane
3 - ميثيل هبتان



2-Chloro-3-methyl pentane

2-كلورو-3-مثيل بنتان

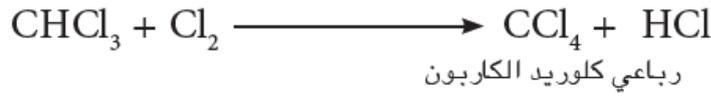
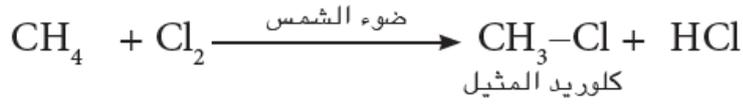
وهناك تسمية قديمة لبعض المركبات تستعمل كلمة ايزو ISO للتفرعات مثلا ايزوبيوتان .

الخواص الفيزيائية للالكانات:

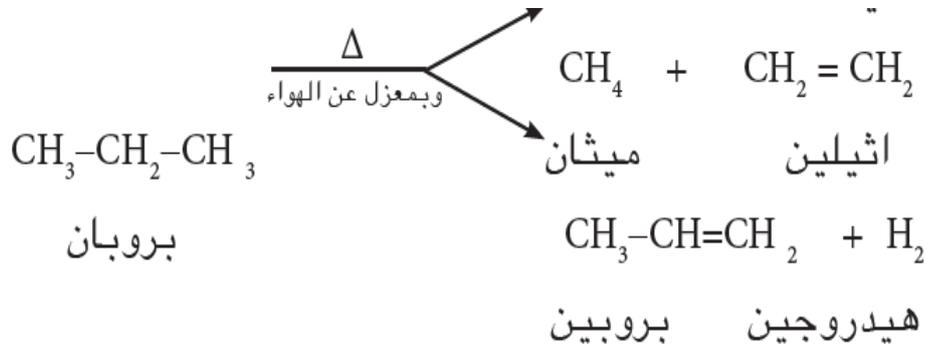
- 1- قابلية الذوبان : تذوب في المذيبات العضوية كالبنزين ورباعي كلوريد الكربون ولا تذوب في المذيبات القطبية مثل الماء .
- 2- درجة الغليان: تزداد درجة الغليان بازدياد عدد ذرات الكربون في المركب والمركبات الاولية (الميثان، الايثان، البروبان)غازات في الظروف الاعتيادية والمتفرعة درجة غليانها اوطأ من غير المتفرعة.

الخواص الكيميائية للالكانات:

- 1- قابلية التفاعل : لكونها مركبات مشبعة لاتميل إلى التفاعل وتحتاج إلى طاقة كبيرة لكسر الاواصر وتحفيزها على التفاعل.
- 2- الاحتراق : تحترق في الهواء بلهب ازرق وتحرر طاقة حرارية كبيرة لذلك تستخدم كوقود كما في غاز الطبخ.
- 3- التفاعل مع الهالوجينات : يتم استبدال ذرة الهيدروجين في الألكان بذرة اخرى كالهالوجين (Br₂, Cl₂) فمثلا عند تفاعل الميثان مع الكلور بوجود ضوء الشمس وبالتحديد الاشعة فوق البنفسجية يتم استبدال جميع ذرات الهيدروجين في الميثان بذرات كلور.



4- **التفكك الحراري:** أو التكسير الحراري تنكسر السلاسل الهيدروكربونية الطويلة بالحرارة العالية وبوجود عامل مساعد إلى مركبات ذات سلاسل أقصر وبمركبات جديدة وتستخدم هذه الطريقة في تحسين البنزين. مثلا يتكسر البروبان كما في المعادلة التالية:



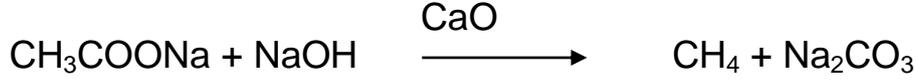
الميثان:

1. هو أول الألكانات وأبسط المركبات العضوية.
2. يكون 90% من الغاز الطبيعي يوجد في المستنقعات ويسمى (غاز المستنقعات).
3. يعتقد أنه كان المكون الرئيسي للغلاف الجوي للأرض (الميثان – النشادر – الهيدروجين – بخار الماء) عند بداية تكوينها وهي غازات لمعظمها خاصية اختزالية وبفعل الأشعة فوق البنفسجية تكون غازي النيتروجين والأكسجين وبذلك انقلب الغلاف الجوي من مختزل إلى مؤكسد.

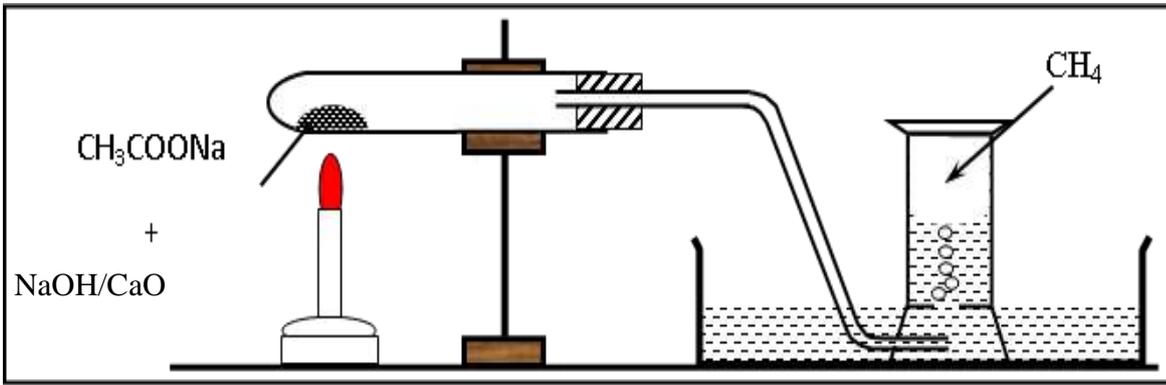
التحضير في المختبر:

التقطير الجاف لملاح خلات الصوديوم اللامائية (CH_3COONa) مع جير الصودا (خليط من NaOH/CaO)

معادلة التفاعل:



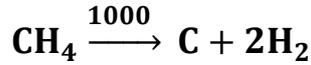
دور جير الصودا: مادة مساعدة تعمل على خفض درجة انصهار الخليط.



الشكل (3-1) مخطط لتجربة تحضير الميثان مختبريا

الأهمية الاقتصادية للألكانات:

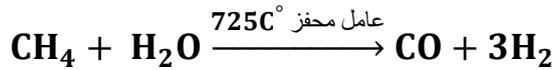
1 - الحصول على الكربون المجزأ (أسود الكربون):



يستعمل في صناعة إطارات السيارات والحبر الأسود والبويات.

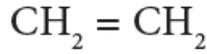
2- الحصول على الغاز المائي:

الغاز المائي هو خليط من غازي الهيدروجين وأول أكسيد الكربون، ويستخدم كمادة مختزلة، أو وقود قابل للاشتعال.



2.4.3 الألكينات الأوليفينات Alkenes or Olefin

مركبات هيدروكربونية (تتركب من الكربون والهيدروجين) تحتوي اصرة مزدوجة بين ذرتي كربون في سلسلتها قانونها هو C_nH_{2n} إذ يمثل n عدد ذرات الكربون وتبدأ برقم 2 الاثيلين وصيغته التركيبية هي:-



تسمية الألكينات:

- 1- نختار اطول سلسلة كربونية تحتوي الاصرة المزدوجة ونرقم ذرات الكربون بدأ من أقرب ذرة للأصرة المزدوجة.
- 2- تعطى اسم السلسلة منتهياً بمقطع (ين) .
- 3- يذكر رقم ذرة الكربون الذي يسبق الاصرة المزدوجة، ورقم ذرات الكربون التي تتصل بها مجاميع فرعية كما ورد في تسمية الالكانات.
أمثلة: كما في الجدول رقم (2-3) التالي

الجدول رقم (2-3) تسمية الألكينات

الصيغة التركيبية	الاسم النظامي	الاسم الشائع
$CH_2 = CH_2$	ايثين	ايثيلين
$CH_3 - CH = CH_2$	بروبين	بروبلين
$CH_3 - CH_2 - CH = CH_2$	1 - بيوتين	بيوتلين
$CH_3 - CH = CH - CH_3$	2 - بيوتين	
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH = CH_3$	1 - بنتين	بنتلين
$CH_3 - CH_2 - CH = CH - CH_3$	2 - بنتين	
$CH_3 - CH - CH = CH_2$ | CH_3	3 - مثيل - 1 - بيوتين	
$CH_3 - CH_2 - C = CH_2$ | CH_3	2 - مثيل - 1 - بيوتين	

2- الاحتراق :

تحترق الالكينات في الهواء بلهب داخن وتنتج كمية من الطاقة مع ثاني اوكسيد الكربون والماء حسب المعادلة:-



3- البلمرة:

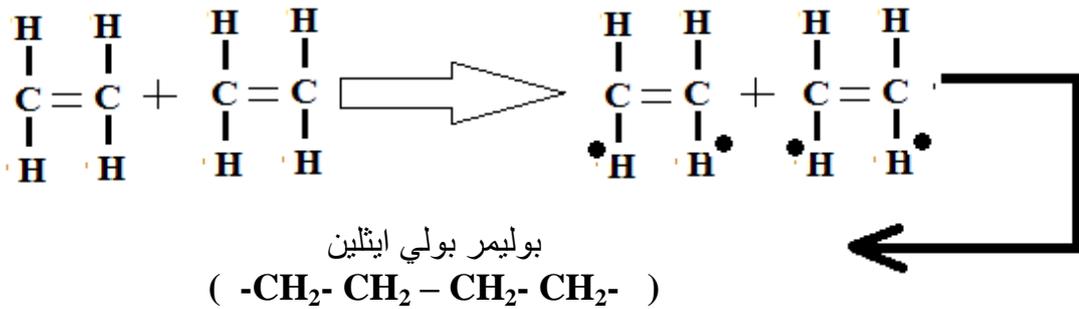
هي تجميع عدد كبير من جزيئات بسيطة غير مشبعة لتكوين جزئ كبير له نفس الصيغة الأولية .

المونومر: الجزيء الأولى الصغير.

البوليمر: جزئ كبير عملاق .

البلمرة بالإضافة:

تجمع عدد كبير من الجزيئات الصغيرة غير المشبعة مثل الإيثيلين لتكوين جزئ كبير جداً مثل البولي إيثيلين.



امثلة لبعض البوليمرات

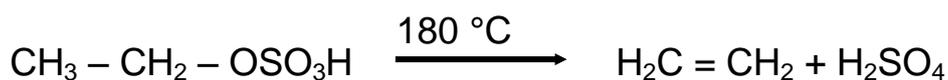
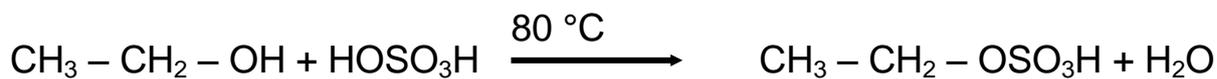
المونومر	البوليمر	الاسم التجاري	الخواص	الاستخدامات
$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ إيثيلين	بولي إيثيلين	بولي إيثيلين	لين ويتحمل	أكياس البلاستيك – الخرائط
بروبين	بولي بروبيلين	بولي بروبيلين P.P	قوى ويتحمل	السجاد والمفارش – المعبات – الأكياس البلاستيك
كلورو إيثين	عديد كلورو إيثين	بولي فينيل كلوريد P.V.C	قوى وصلب	انابيب المياه الحاويات الخرائط الأرضيات
رابع فلورو إيثين	عديد رابع فلورو إيثين	تفلون	يتحمل الحرارة ولا يلتصق عازل للكهرباء خامل	تبطين أواني الطهي الخيوط الجراحية

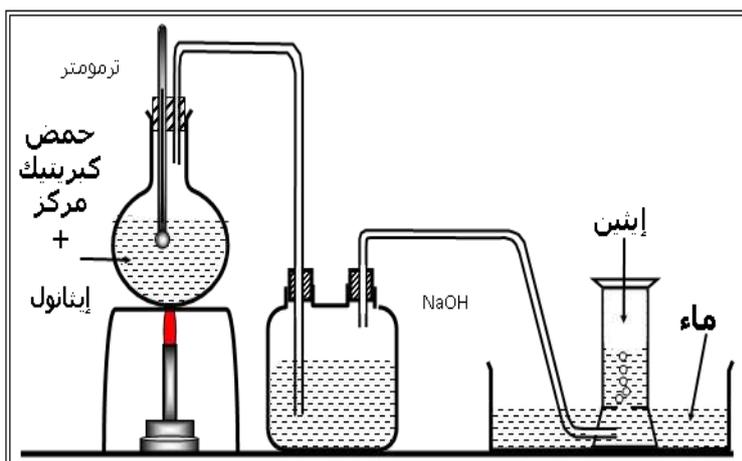
الإيثيلين C_2H_4 :

الإيثيلين غاز في الحالة الطبيعية، قليل السمية، ويمكن أن يتفاعل مع الماء لينتج الإيثانول، ولكن معدل هذا التفاعل يكون بطيئاً للغاية ما لم يستعمل عامل مساعد مناسب مثل حمض الفوسفوريك، أو حمض الكبريتيك.

التحضير في المختبر

يتم تحضيره بانتزاع الماء من الكحول بواسطة حمض الكبريتيك المركز الساخن عند درجة 180°C .





الشكل (2-3) مخطط تحضير الاثيلين مختبريا

3.4.3 الالكينات الاستيلينات Alkynes or Acetylenes

هي مركبات هيدروكربونية (تتركب من الكربون والهيدروجين) تحتوي اصرة ثلاثية بين ذرتي كربون في سلسلتها قانونها هو C_nH_n إذ يمثل n عدد ذرات الكربون وتبدأ برقم 2 الايثاين (الاستيلين) ومنه اخذ اسم الاستيلينات وصيغته التركيبية هي:



تسمية الالكينات

- 1- نختار اطول سلسلة كربونية تحتوي الاصرة الثلاثية ونرقم ذرات الكربون بدأ من اقرب ذرة لها.
- 2- تعطى اسم السلسلة منتهيا بمقطع (اين)
- 3- يذكر رقم ذرة الكربون الذي يسبق الاصرة الثلاثية ورقم ذرات الكربون التي تتصل بها مجاميع فرعية كما ورد في تسمية الالكانات والالكينات.

ومن مركبات الالكينات:

ايثاين	$H - C \equiv C - H$
بروباين	$CH_3 - C \equiv C - H$
1- بيوتاين	$CH_3 - CH_2 - C \equiv C - H$
2- بيوتاين	$CH_3 - C \equiv C - CH_3$
3، 3- ثنائي مثيل - 1 - بيوتاين	$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3 - C - C \equiv C - H \\ | \\ CH_3 \end{array}$

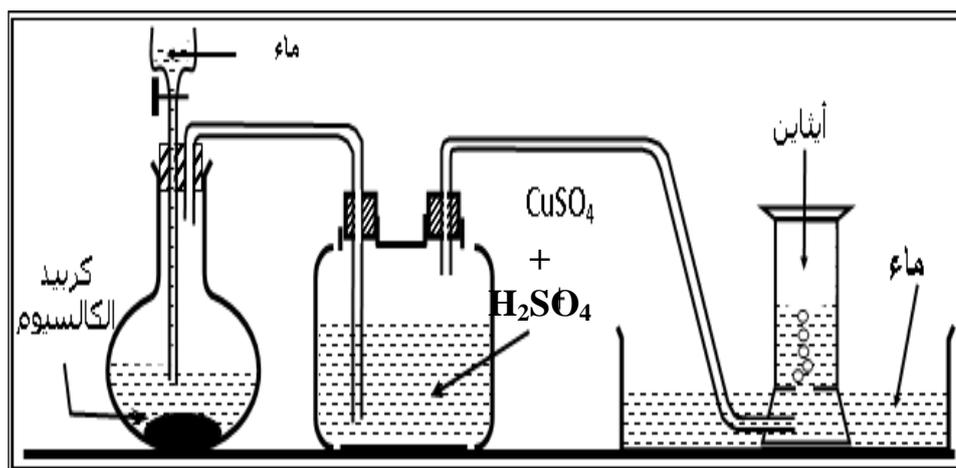
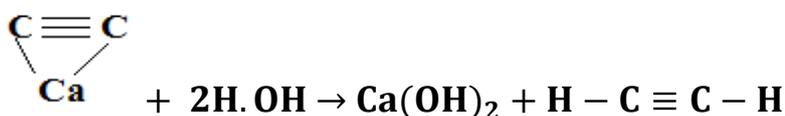
الايثاين (الاستلين C₂H₂)

الاستيلين هيدروكربون يتبع مجموعة الألكينات، ويعتبر أبسط مركبات الألكينات حيث يتكون من ذرتي هيدروجين وذرتي كربون مرتبطين باصرة ثلاثية.

الاستيلين غاز لا لون له، قابل للاشتعال يستعمل في اللحام وفي تحضير مركبات كيميائية أخرى، وغاز الأستيلين سام عند استنشاقه، كما أنه يكوّن مع الهواء مزيجًا متفجرًا.

التحضير في المختبر:

1. تنقيط الماء على كربيد الكالسيوم CaC₂
2. يمرر الغاز قبل جمعه على محلول كبريتات نحاس في حمض الكبريتيك المخفف لإزالة غاز الفوسجين (PH₃) وغاز كبريتيد الهيدروجين (H₂S) الناتجين من الشوائب في كربيد الكالسيوم.



الشكل (3-3) مخطط لتحضير الاستلين مختبريا

5.3 المركبات الأروماتية Aromatic Compounds

هي مجموعة من المركبات الهيدروكربونية (تتألف من الكربون والهيدروجين) غير مشبعة تمتاز مشتقاتها بانها ذات روائح عطرية تبدأ بالبنزين C₆H₆ وتكون جزيئاتها بشكل حلقات. فيما ادناه امثلة لبعض المركبات الأروماتية :



الانثراسين



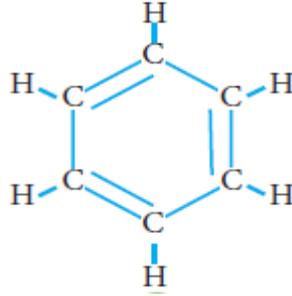
النفثالين



البنزين

1.5.3 تركيب البنزين Benzene Composition

يتكون البنزين من ست (6) ذرات كاربون مرتبطة مع بعضها بشكل حلقة سداسية، وكل ذرة كاربون يرتبط بها ذرة هيدروجين فهو يملك ست (6) ذرات هيدروجين، وهناك ثلاث اواصر مزدوجة في الحلقة بين ذرات الكاربون كما في الصيغة التالية:

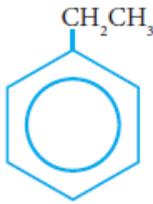


2.5.3 الخواص الفيزيائية للبنزين Physical Properties of Benzene

البنزين هو أحد المكونات الطبيعية من النفط الخام، وهو سائل عديم اللون ، قابل للأشتعال، وله رائحة عطرية و يستعمل في العديد من الصناعات أهمها أنه يعتبر أحد المكونات للكازولين (وقود السيارات). درجة غليانه 80°C ودرجة انجماده 5°C ولا يذوب في الماء وأقل كثافة منه وهو مذيب جيد للمواد العضوية.

3.5.3 تسمية مشتقات البنزين Nomenclature of Benzene Derivatives

1- مركبات احادية التعويض



أثيل بنزين



بروموبنزين

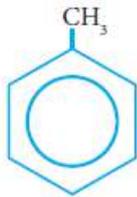


كلوروبنزين



نايتروبنزين

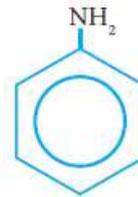
ومنها مركبات مشهورة باسماء مثل:



مثيل بنزين
(تولوين)

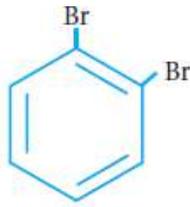


هيدروكسي بنزين
(فينول)



أمين بنزين
(أنيلين)

2- مركبات ثنائية التعويض : عند وجود مجموعتين على ذرة البنزين يتم ترقيم ذرات الكربون وتكون المجموعات في اصغر الارقام ويذكر رقم الذرة المرتبط بها في الاسم .



2,1 - ثنائي برومو بنزين

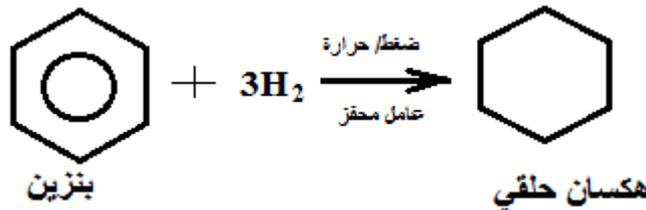
التفاعلات الكيميائية للبنزين:

يتفاعل البنزين بنوعين من التفاعلات هما الإضافة والإحلال .

أ : تفاعلات الإضافة:

بالرغم من احتواء جزئ البنزين على اواصر مزدوجة إلا أن تفاعلات الإضافة في البنزين صعبة وتحتاج إلى ظروف خاصة ، وهي كالاتي :

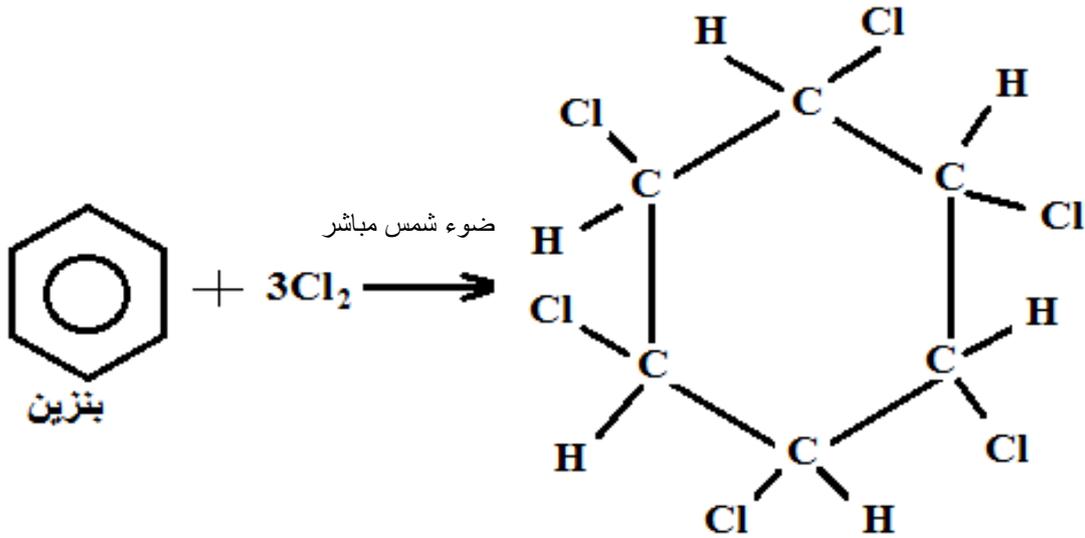
1 - إضافة الهيدروجين:



2 - الهلجنة:

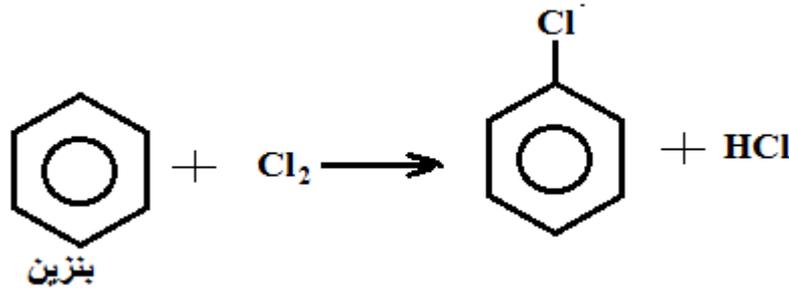
يتفاعل البنزين مع الهالوجينات في ضوء الشمس المباشر ويتكون سداسي هاليد الهكسان الحلقي

مع الكلور يتكون المبيد الحشري الذي يعرف باسم الجامكسان $C_6H_6Cl_6$.



[ب] تفاعلات الإحلال:

يتم فيها استبدال ذرة هيدروجين أو أكثر بذرات أو مجموعات أخرى.
أولا - الهلجنة



استعمالات المشتقات الهالوجينية للبنزين:

(1) هاليدات الأريل تستخدم كمبيدات حشرية مثل:

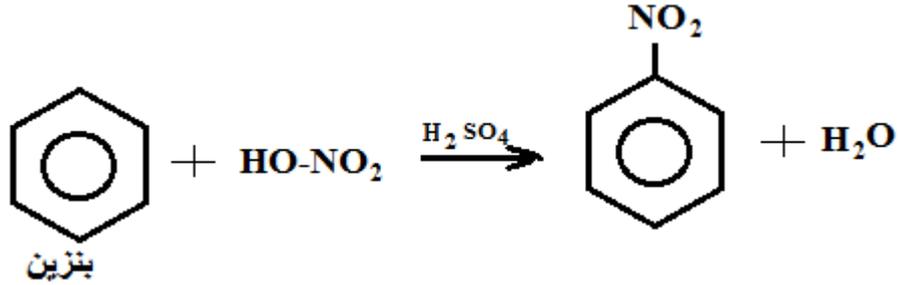
(د.د.ت) مركب ثنائي كلورو ثنائي فينيل ثلاثي كلورو إيثان ترجع سميته إلى الجزء CH-CCl_3 من الجزيء يذوب في النسيج الدهني للحشرة فيقتلها وقد حرم استخدام هذا المركب لثباته فيبقى في البيئة دون تحلل وقد أدى ذلك إلى قتل الحشرات النافعة والأسماك وقد تسرب إلى السلسلة الغذائية حتى وصل إلى الإنسان .

(2) مركبات عديدة كلورو ثنائي الفينيل:

تحضر بتفاعل الكلور مع مركب ثنائي الفينيل. تتميز بثباتها الشديد حتى 800°C وخمولها الكيميائي ولذلك تستعمل كمواد عازلة للحريق ولإصقة، وتدخل في الدهانات، والبلاستيك، والأحبار. تبين خطورة هذه المركبات على صحة الإنسان: (تورم المفاصل - اختلال وظائف الكبد - آلام العيون والسمع - تشوه المواليد)

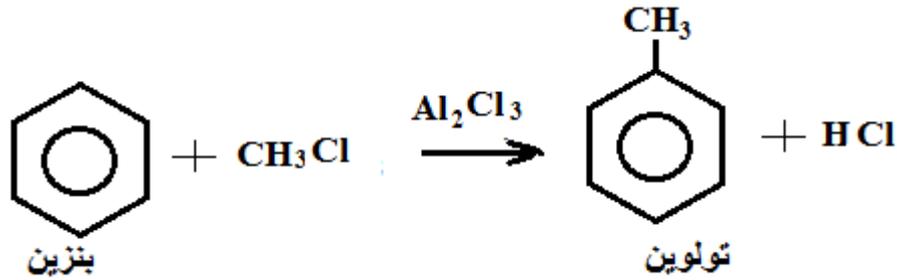
ثانيا - النترنة

يتفاعل البنزين مع حمض النتريك في وجود حمض الكبريتيك المركز فتحل مجموعة النيترو - NO₂ محل ذرة هيدروجين في حلقة البنزين .



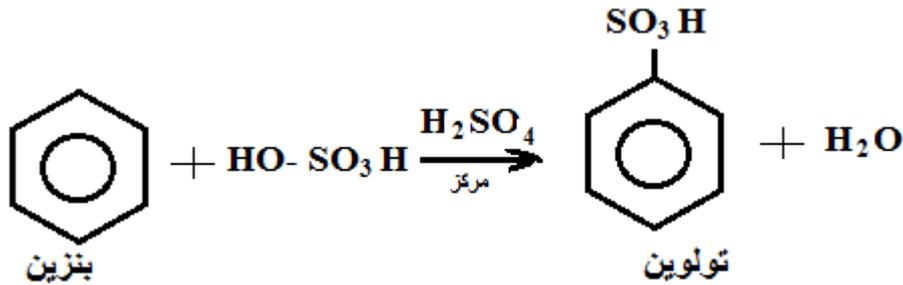
ثالثا - الألكلة: تفاعل فريدل كرافت:

التفاعل مع هاليد الاكيل RX في وجود كلوريد ألومنيوم لامائي والتسخين فتحل مجموعة ألكيل محل ذرة هيدروجين ويتكون ألكيل بنزين.



رابعا - السلفنة

هي تفاعل حامض الكبريتيك لتحل مجموع سلفونيك (-SO₃H) محل ذرة هيدروجين ويتكون بنزين حمض السلفونيك .



تقوم صناعة المنظفات الصناعية أساساً على مركبات حمض السلفونيك بعد معالجتها بالصودا الكاوية للحصول على الملح الصوديومي القابل للذوبان في الماء وجزء المنظف يتكون من جزأين:

- 1 - الذيل: وهو عبارة عن السلسلة الكربونية الطويلة؛ وهي كارهة للماء.
- 2 - الرأس: مجموعة متأينة وهي محبة للماء.

كيفية عمل المنظفات

- عندما تذوب المنظفات في الماء فإن الذيل الكاره للماء يتجه نحو القاذورات ويلتف حولها والرأس المحب للماء يتجه نحو الماء .
- وعند الاحتكاك الميكانيكي تبدأ عملية التنظيف إذ إن الشحنات المتشابهة تتنافر (رؤوس الجزيئات التي تغطي النسيج والقاذورات تحمل شحنة موجبة) .

4.5.3 مصدر المركبات الأروماتية Sources of Aromatic Compounds

المصدر الأساسي للبنزين هو النفط الخام ويعتبر البنزين المؤلف الرئيسي للمركبات الأروماتية (العطرية) وكذلك يوجد العديد من المركبات الأروماتية في تركيب النفط الخام وخاصة في النفط الأسود كما تتواجد المركبات الأروماتية في العديد من الزيوت طيبة الرائحة المستخلصة من النباتات بجميع أجزائها ومنها ثمار الفواكه وعادة ما تستخلص من النباتات زيوت عطرية (أروماتية) مختلفة لها عطور مختلفة.

6.3 الكحولات والفينولات Alcohols and Phenols

الكحولات: هي مركبات تحتوي مجموعة (OH) مرتبطة بذرة كربون لمركب عضوي



الفينولات: هي مركبات تحتوي مجموعة (OH) مرتبطة بذرة كربون لمركب أروماتي



1.6.3 تصنيف الكحولات Alcohol Classification

تصنف الكحولات إلى ثلاثة أنواع حسب عدد مجموعة الألكيل المرتبطة بذرة الكربون المتصلة مباشرة بمجموعة الهيدروكسيل (OH) وهي:

أولاً - كحول أولي RCH_2OH (كحول إيثيلي $(CH_3)_2CHOH$)

ثانياً - كحول ثانوي RCH_2OH (كحول إيزوبروبيلي (2- بروبانول) $((CH_3)_2CH_2OH$)

ثالثاً - كحول ثالثي R_3COH (2- ميثيل-2- بروبانول $((CH_3)_3COH$)

كما تصنف حسب عدد مجموعة الهيدروكسيل (OH) المرتبطة بالمركب العضوي إلى أحادية وثنائية وثلاثية الهيدروكسيل. وهناك تصنيف آخر إلى كحولات أروماتية وهي التي تحتوي حلقة بنزين وكحولات اليفاتية التي لا تحتوي حلقة بنزين.

2.6.3 تسمية الكحولات Alcohols Nomenclatures

1- التسمية النظامية العالمية (الايوباك IUPAC) يضاف المقطع (ول) إلى اسم الالكان المقابل على أن تأخذ ذرة الكربون المرتبط بها مجموعة الهيدروكسيل (OH) اقل رقم مثلا الميثان تصبح الميثانول.

2- التسمية الشائعة ويتم تسمية مجموعة الألكيل أولاً ثم تتبع بكلمة alcohol ويطلق اسم (ايزو) على الكحولات الثانوية.

المركب	التسمية الشائعة (كحول + الكيلي)	تسمية الأيوباك (الكان + ول = الكانول)
CH ₃ -OH	كحول ميثيلي	ميثانول
CH ₃ -CH ₂ -OH	كحول إيثيلي	إيثانول
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -OH	كحول بروبيلي	بروبانول
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{OH} \end{array}$	كحول أيزو بروبيلي	٢ - بروبانول
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{OH} \end{array}$	كحول أيزو بيوتيلي	٢ - بيوتانول

الخواص الفيزيائية:-

- [1] الكحولات مواد متعادلة عديمة اللون.
- [2] المركبات الأولى منها خفيفة تمتزج بالماء امتزاجاً تاماً أما المركبات المتوسطة سوائل زيتية والمركبات العالية مواد جامدة ذات قوام شمعي.
- [3] وتختلف الكحولات عن الألكانات في أنها تنوب في الماء ودرجة غليانها مرتفعة وسبب ذلك وجود مجموعات الهيدروكسيل التي تكون روابط هيدروجينية. بزيادة عدد مجموعات الهيدروكسيل في الجزيء يزيد ذوبانه في الماء وترتفع درجة غليانه

الخواص الكيميائية:-

تنقسم تفاعلات الكحولات إلى:

1 - تفاعلات خاصة بذرة هيدروجين مجموعة الهيدروكسيل:

(أ) حامضية الكحولات:

تفاعلات الكحولات مع العناصر الفلزية النشطة لتكوين الكوكسيد الفلز:

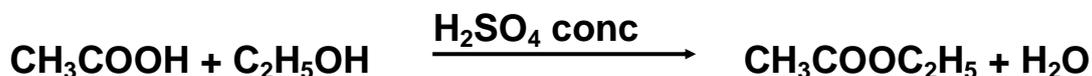
تفسير حامضية الكحول:

الأكسجين أكثر سالبية من الهيدروجين في مجموعة الهيدروكسيل وبذلك تتراح إلكترونات الاصرة ناحية الأكسجين وبالتالي يسهل كسر هذه الاصرة فيحل الفلز محل الهيدروجين.



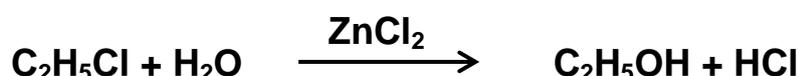
(ب) تكوين الأستر:

تتفاعل الكحولات مع الأحماض العضوية لتكوين الأسترات ويستعمل حامض الكبريتيك المركز لمنع التفاعل العكسي.



2 - تفاعلات خاصة بمجموعة الهيدروكسيل (OH):

تتفاعل الكحولات مع الأحماض الهالوجينية وحامض الكبريتيك في وجود عامل مساعد مثل كلوريد الزنك ZnCl_2



[3] تفاعلات خاصة بمجموعة الكاربينول (C-OH):

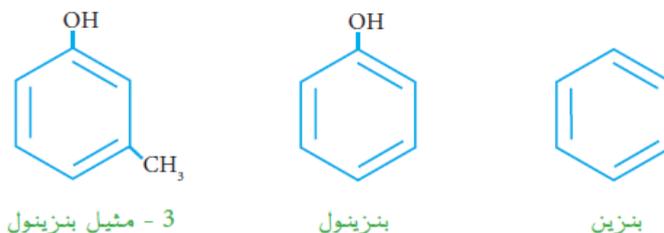
تتأكسد الكحولات بالعوامل المؤكسدة مثل ثاني كرومات البوتاسيوم أو برمنكانات البوتاسيوم المحمضتين بحامض الكبريتيك المركز حيث يقوم العامل المؤكسد بأكسدة ذرة الهيدروجين المتصلة بمجموعة الكاربينول وتتحول إلى مجموعة هيدروكسيل وبذلك يتكون مركب يحتوي على مجموعتين على نفس ذرة الكربون ولذلك يكون غير ثابت يفقد جزيء ماء ويتحول إلى مركب ثابت.

الاهمية الاقتصادية للكحولات:

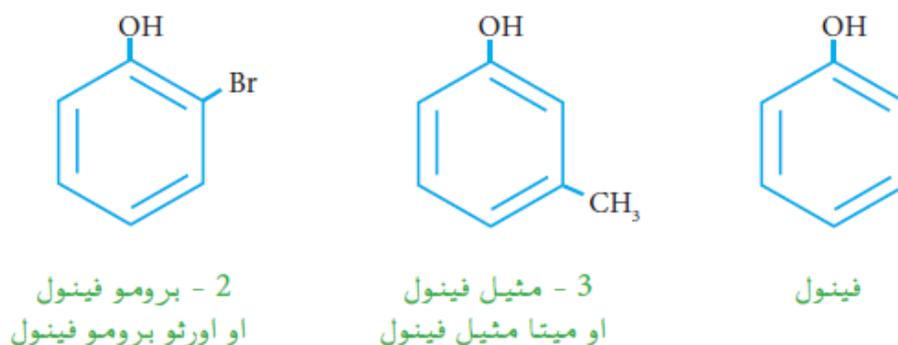
- (1) مذيبات عضوية للزيوت والدهون.
- (2) تدخل في الصناعات الكيميائية مثل الأدوية والطلاء والورنيش.
- (3) تدخل في محاليل تعقيم الفم والأسنان.
- (4) يستعمل الإيثانول في صناعة العطور.
- (5) يخلط مع الكازولين ويستخدم كوقود للسيارات في بعض البلدان مثل البرازيل.
- (6) في المحارير الكحولية التي تستعمل في قياس درجات الحرارة المنخفضة حتى (-50°C) م⁵ لأن درجة تجمده (-110°C) .

3.6.3 تسمية الفينولات Phenols Nomenclatures

1- تسمية النظامية العالمية (الايوباك IUPAC) يضاف المقطع (ول) إلى اسم الهيدروكربون المقابل.



2- التسمية الشائعة بتسمية حلقة البنزين المرتبط بها مجموعة الهيدروكسيل (OH) بالفينول (Phenol) وتسمى بقية المركبات كمشتقات للفينول.



4.6.3 الخواص الفيزيائية للفينولات Physical Properties of Phenols

1. تكون درجة غليان الفينولات اعلى من درجة غليان الكحولات.
2. شحيح الذوبان في الماء ويزداد الذوبان في الماء برفع درجة الحرارة حتى يمتزج به تماماً عند درجة 65°C .
3. تمتاز الفينولات بدرجة انصهار عالية.
4. الفينول مادة صلبة كاوية للجلد.
5. لها رائحة مميزة تنصهر عند 43°C .

الخواص الكيميائية:

1. يتفاعل الكحول والفينول مع الفلزات القوية مثل الصوديوم ويطرد الهيدروجين. تزداد هذه الخاصية في الفينولات والدليل على ذلك أنها تتفاعل مع NaOH القلوية والسبب في ذلك هو أن حلقة البنزين في الفينولات تزيد من طول الاصرة O - H وبذلك تكون أسهل في الكسر ولذلك يسمى الفينول حامض الكربوليك.

2. يتفاعل مع خليط النترات ويتكون 2 ، 4 ، 6 ثلاثي نيترو فينول ويعرف تجارياً باسم (حامض البكريك) وهو مادة متفجرة ويستعمل كمطهر لعلاج الحروق وهو يصبغ الجلد باللون الأصفر ولا تسهل إزالته حتى تتغير طبقة الجلد.

7.3 الحوامض الكربوكسيلية Carboxylic acids

هي مركبات عضوية تمتاز باحتوائها على مجموعة كربوكسيل COOH وصيغتها العامة RCOOH وتمثل R مجموعة الهيدروكربون.

تصنف من إذ عدد مجموعات الكربوكسيل في المركب إلى ما يأتي :

أولاً - أحماض أحادية الكربوكسيل مثل حامض الخليك CH_3COOH .

ثانياً - أحماض ثنائية الكربوكسيل مثل حامض الاوكزاليك $COOHCOOH$.

ثالثاً - أحماض متعددة الكربوكسيل مثل حامض الستريك .



كما تقسم إلى أحماض كربوكسيلية اروماتية $ArCOOH$ إذ Ar تمثل المجموعة الاروماتية مثل حامض البنزويك وأحماض كربوكسيلية اليفاتية $RCOOH$ كما سبق ذكرها.

تسمى الأحماض الكربوكسيلية عادة بالتسمية الشائعة وحسب المصدر الذي تحضر منه نباتي، أو حيواني مثلاً حامض الخليك هو المكون الرئيسي للخل وجميع الاسماء الشائعة تنتهي بالمقطع (يك).

تتميز الحوامض الكربوكسيلية بالخاصية الحامضية وبدرجة الغليان العالية مقارنة بالكحولات المقابلة لها.

الخواص الفيزيائية:

تتدرج الخواص الفيزيائية للأحماض العضوية بزيادة الكتلة الذرية:

1. الأربعة الأولى منها سوائل كاوية للجلد ذو رائحة نفاذة وتامة الذوبان في الماء.
2. أما التي تليها سوائل زيتية القوام كريهة الرائحة شحيحة الذوبان في الماء.
3. أما الأعلى صلابة عديمة الرائحة وغير قابلة للذوبان في الماء.

الخواص الكيميائية:

- 1 - خواص ترجع إلى أيون الهيدروجين: الخاصية الحامضية: إذ تتفاعل مع الفلزات التي تسبق الهيدروجين والأكاسيد والهيدروكسيدات والكربونات والبيكاربونات.
- 2 - خواص ترجع إلى مجموعة الهيدروكسيل: تكوين الاسترات: تتفاعل الأحماض العضوية مع الكحولات لتكوين الأستر والماء
- 3 - خواص ترجع إلى مجموعة الكربوكسيل: تختزل الأحماض الكربوكسيلية بواسطة الهيدروجين في وجود عامل مساعد مثل كرومات النحاس. مثال تحضير الإيثانول من حامض الخليك .

اسئلة الفصل

1. اذكر الصيغة العامة للالكانات والالكينات والالكينات؟
2. اذكر الخواص الفيزيائية للالكانات؟
3. ماهي تفاعلات الالكانات الكيميائية؟
4. ماهي الخواص الفيزيائية للايثيلين؟
5. اذكر طريقة تحضير الاستيلين؟
6. ماهو المركب الاساسي للمركبات العطرية؟
7. اذكر تفاعلات البنزين الكيميائية؟
8. اذكر الاهمية الاقتصادية للكحولات؟
9. ماهي خواص الفينولات الفيزيائية؟
10. ما انواع الحوامض الكاربوكسيلية؟ اعط نموذج عنها؟

الفصل الرابع

النفط والغاز Oil and Gas

الأهداف

يكون الطالب قادراً على ان :

- 1 - يعرف النفط الخام .
- 2 - يفهم اصل تكون النفط ونظريات نشوؤه .
- 3 - يعرف التركيب الكيماوي للنفط الخام .
- 4 - يصنف النفط الخام .
- 5 - يدرك الأهمية الاقتصادية للنفط والغاز .
- 6 - يفهم تركيب الغاز الطبيعي ومصادره .

1.4 تمهيد

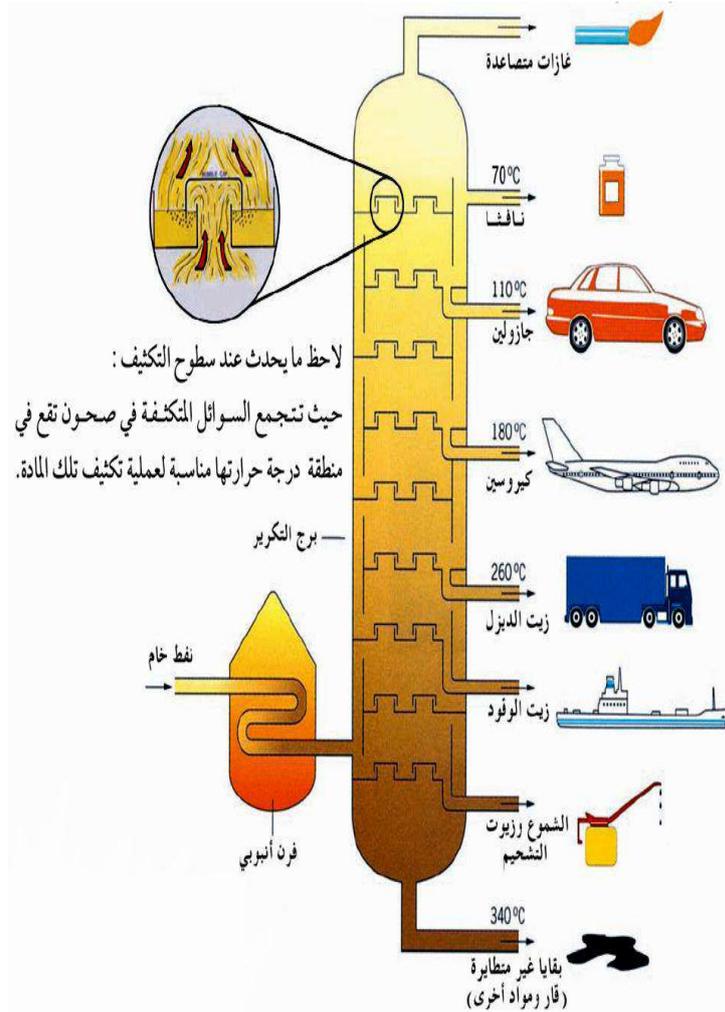
يتطرق هذا الفصل عن النفط والغاز الطبيعي من ناحية التركيب والنشأة والاستعمال كمدخل لفهم مفاصل الصناعة النفطية وفائدتها الاقتصادية في حياة البشرية إذ يمثل النفط والغاز المصدر المهم للطاقة التي تحرك عجلة الحياة في جميع البلدان عن طريق توفير الكهرباء وحركة وسائط النقل المختلفة وصناعات البلاستيك وغيرها.

2.4 تعريف النفط الخام

يُعدّ النفط الخام واحد من اهم المواد التي تعتمد عليها الحياة في العصر الراهن إذ يعد احد اهم مصادر الطاقة والذي بدونه يتسبب بشل الكثير من العمليات الصناعية فضلا عن حركة السير البرية والبحرية والجوية ، فضلا عن ذلك فهو مصدر اساس للصناعات البتروكيماوية التي اصبحت تدخل في اغلب مرافق الحياة كما موضح في الشكل رقم (1-4).

النفط الخام ويعرف بالبتروول Petroleum كلمة لاتينية وتعني زيت الحجر ويعود تاريخ وجود النفط الخام في الأرض إلى الاف السنين وتشير بعض النظريات إلى بدء تكونه منذ ملايين السنين ويعرف على انه سائل لزج يتدرج لونه من الأصفر إلى الأسود اعتماداً على طبيعة المواد الداخلة في تركيبه ويتكون من مزيج معقد من المركبات الهيدروكربونية يدخل في تركيبها بالدرجة الأساس عنصري الكربون والهيدروجين فضلا عن الأوكسجين والكبريت و النتروجين وتتراوح كثافته من 0.73 إلى 101GM/CM3 -0.7 ما يعادل من 10- 62 بدرجة معهد البترول الأمريكي (API).

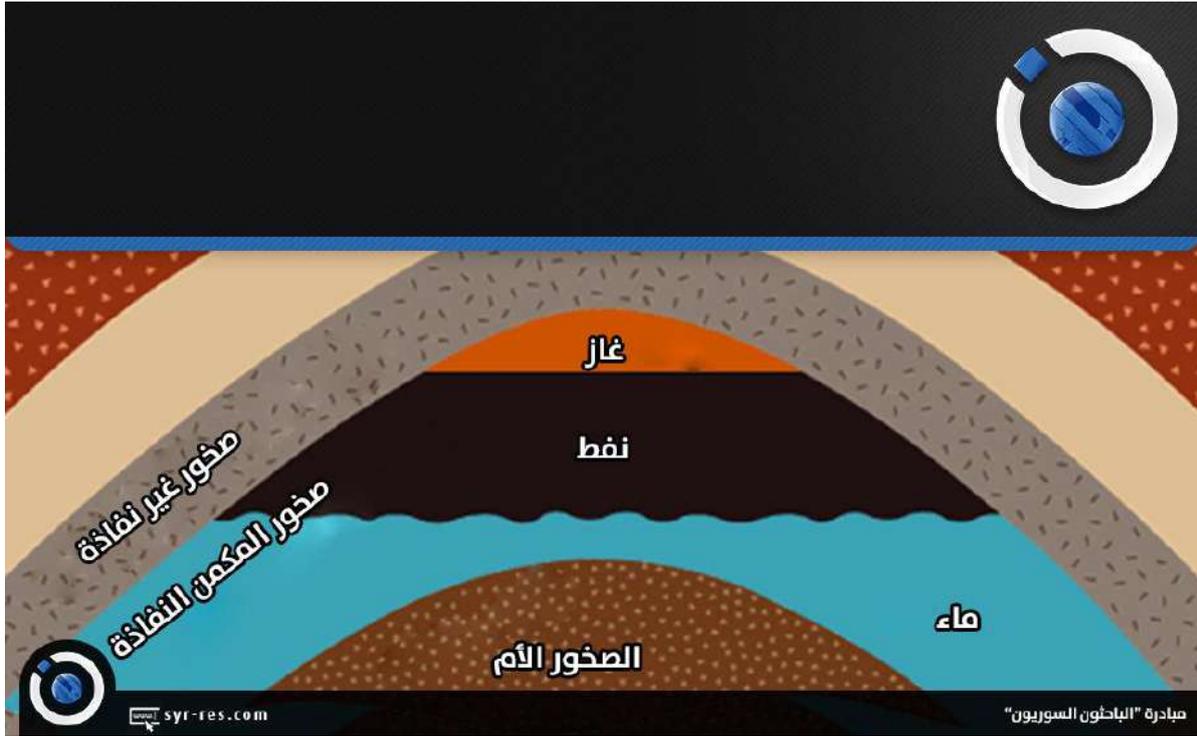
$$API = \frac{141.5}{SG} - 131.5 \quad (1 - 4)$$



الشكل (1-4) منتجات النفط الخام

1.2.4 اصل النفط ونظريات نشوؤه

تُعد مسألة معرفة أصل، وكيفية تكون النفط الخام لحد الان داخل اطار النظرية التي تجد من يؤيدها او من يقف ضدها بسبب تعدد وتنوع البراهين التي تدعم تلك النظرية وتفند النظرية الأخرى. إن عدم معرفة أصل وكيفية تكون النفط الخام يعود إلى عدة أسباب من أهمها ، هو ان النفط بطبيعته سائل حر الجريان في باطن الأرض مما يجعله ينتقل من موطنه الأصلي إلى مناطق أخرى تدعى بالمصادر البترولية والتي يتجمع فيها النفط الخام في أماكن نهائية تدعى المكامن كما في الشكل (2-4).

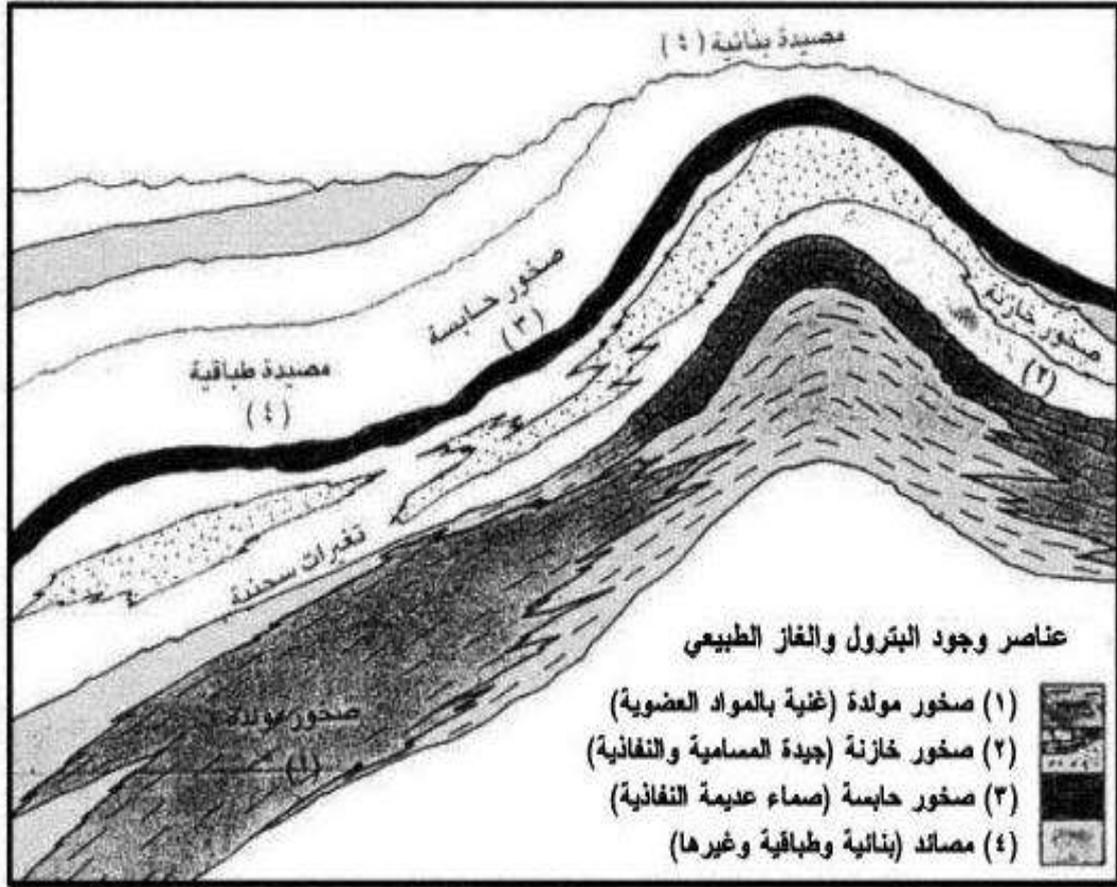


الشكل (4- 2) مكمن نفطي

كما ان وجود النفط على الاغلب في أعماق كبيرة تصل إلى عدة آلاف من الامتار تعطي صعوبة لدى الجيولوجيين في التعرف على البيئة الحقيقية التي تحيط بالنفط الخام فضلا عن ان اختلاف مكونات النفط الخام من حقل إلى اخر ومن بئر إلى بئر اخر في نفس الحقل احيانا يعطي صعوبة في معرفة أصل النفط الخام. ولهذا فقد نشأت العديد من النظريات التي تبين كيفية تكون النفط الخام ومن أهمها ما يأتي:

2.2.4 النظرية العضوية

تنص النظرية على أن البترول قد تكون من بقايا الكائنات الحية، الحيوانية والنباتية، وبخاصة الأحياء البحرية الدقيقة (الطحالب) ، التي تجمعت مع بقايا كائنات أخرى بعد موتها في قيعان البحار والمحيطات، واختلطت برمالها، وبرواسب معدنية أخرى، وتحولت تدريجيا إلى صخور رسوبية، وتزايد سمكها، ثم تعرضت لضغوط هائلة، وارتفعت حرارتها إلى درجات مرتفعة نسبياً بفعل تحركات القشرة الأرضية، وتأثيرات حرارة باطن الأرض، فتكونت طبقات الصخور الرسوبية التي تسمى بصخور المصدر، وفي ثناياها تحولت البقايا العضوية الغنية بالكربون والهيدروجين إلى مواد هيدروكربونية، تكون منها النفط الخام والغاز الطبيعي لاحظ الشكل (4-3) ، نتيجة عوامل الضغط والحرارة والتفاعلات الكيميائية، والنشاط البكتيري الذي قام بدور مهم في انتزاع الأوكسجين والكبريت والنيتروجين من المركبات العضوية بخلايا الكائنات الحية، وتنتج الصخور المولدة الغنية بالنفط الخام كميات كبيرة منه، إلا أن ما يتحرك إلى الطبقات المجاورة قليل نسبياً ، أما أغلب النفط الخام فيبقى في الصخور المولدة ولا يمكن إنتاجه ، لاحظ الشكل(4-3).



الشكل (3-4) اصل النفط الخام

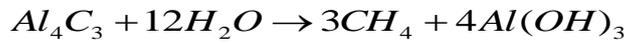
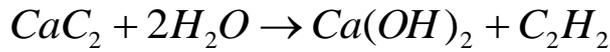
ومن ناحية أخرى تتحكم بيئات ترسيب المواد العضوية، وخصائصها الجيولوجية، وظروفها المناخية في خصائص النفط الخام الكيميائية من حيث مكوناته الطبيعية مثل الكثافة واللون.

وتلاقي هذه النظرية قبولاً لدى الكثير بسبب وجود عدد من الأدلة التي تؤيدها ومن أهمها ما يلي :

1. ان العناصر الرئيسية المكونة للنباتات والحيوانات هي نفسها العناصر الرئيسية المكونة للنفط الخام مثل (S,N,O,H,C) .
2. توجد في النفط الخام مركبات تتأثر بالضوء ذات أصل نباتي ولا يمكن ان تتكون في الطبيعة الا من عناصر حية مثل الصبغة الخضراء (الكلوروفيل) .
3. توجد في النفط الخام حوامض نفتينية والتي يكون مصدرها حوامض شحمية ذات اصل عضوي حي .
4. تنبعث من النفط الخام غازات كبريتية ونيروجينية مشابهة لما ينبعث من النباتات والحيوانات الميتة عند التحلل والتفسخ مثل غاز كبريتيد الهيدروجين والامونيا .
5. وجود عدد من المتحجرات البحرية في مناطق وجود النفط الخام .
6. تتواجد اغلب حقول النفط المكتشفة قرب سواحل البحار كما في خليج السويس ودول الخليج العربي وبحر الشمال .

3.2.4 النظرية اللاعضوية

تشير النظرية إلى ان نشأة النفط الخام غير عضوية، وأنه ذو أصل معدني ، تكون نتيجة لتعرض بعض رواسب كاربيدات الفلزات الموجودة في باطن الأرض مثل كاربيد الكالسيوم لبخار الماء، ذلك لأن كاربيد الكالسيوم يتفاعل مع الماء مكوناً الهيدروكربون غير المشبع (الأستيلين) ولكن الندرة الشديدة لرواسب الكاربيدات يصعب معها تصور أنها كانت موجودة بكميات هائلة وكافية لتكوين ما استخرج فعلا من النفط الخام وما لا يزال موجوداً في باطن الأرض ، وجيولوجيا فان مثل هذه الكاربيدات إن وجدت فلا بد أن تكون في ثنايا الصخور البركانية بدليل خروج غازات هيدروكربونية من فوهات البراكين ، بينما لا يوجد النفط الخام إلا في طبقات الصخور الرسوبية.



ويوجد هناك من يؤيد هذه النظرية استناداً إلى عدد من الأدلة التي لا تتسجم مع النظرية العضوية مثل تكون حقول نفطية حديثاً في بعض المناطق من العالم وامتلاء آبار نفطية من جديد بعد وجود مؤشرات على نضوبها من النفط .

وهناك نظريات اخرى لم تحضى باهتمام كالنظريتين السابقتين وذلك لضعف الادلة منها النظرية البركانية والتي تشير إلى ان تأثير الماء على الكاربيدات تحت الارض ادى إلى تكون الانفجارات البركانية والدليل على ذلك وجود كميات ضئيلة من النفط في الصخور البركانية.

4.2.4 النظرية الكونية :Astronomical Theory

وتشير إلى أن النفط ناتج من تفاعل الكربون والهيدروجين في الكتلة الكونية أثناء تصلب الأرض ويستدل على ذلك عن طريق وجود مواد هيدروكربونية في الأحجار النيزكية.

3.4 أهم الحقول النفطية العراقية :

تمتاز الحقول النفطية في العراق بوجودها على اعماق قليلة نسبياً مقارنة بحقول نفط المنطقة والعالم مما يجعلها قليلة الكلفة الانتاجية .

ومن اهم الحقول النفطية العراقية :

1. حقل الرميلة الشمالي : وهو اكبر حقل نفطي عراقي ويُعد تاسع اكبر حقل في العالم يمتد من غرب البصرة متجهاً إلى الجنوب إذ يدخل جزء من قسمه الجنوبي في دولة الكويت واكثر اباره في العراق . تم استغلاله عام 1970 من قبل الشركة الوطنية العراقية ويصل عدد اباره حالياً بحدود 663 بئر منتجة .
2. حقل مجنون : يُعد من الحقول الكبيرة في البصرة قد تصل طاقته الانتاجية إلى 600 الف برميل يوميا .

3. حقل الزبير : يقع في مدينة البصرة ويمتاز بكون نفطه حلوا وذو محتوى غازي ذائب يصل إلى (660 – 900) قدم مكعب لكل برميل .
4. حقل نهر عمر : وهو من الحقول النفطية في البصرة ويمكن ان يصل انتاجه إلى 500 الف برميل باليوم .
5. حقل غرب القرنة : ويقع في البصرة ايضا ويمثل الامتداد الشمالي لحقل الرميلة الشمالي .
6. حقل كركوك : وهو من اقدم الحقول النفطية العراقية تم اكتشافه عام 1927 م يقع في مدينة كركوك يمتاز بنسبة كبريت 1.85% وزنا وتركيز غاز كبريتيد الهيدروجين 10 جزء بالمليون ودرجة API 36 .
7. حقل باي حسن : ويقع في مدينة كركوك ، تم اكتشافه عام 1953 م في منطقة الزاب الصغير ويمتاز بكونه حامضي اكثر من باقي الحقول في مدينة كركوك إذ ان نسبة الكبريت فيه 2.6% وزنا وتركيز كبريتيد الهيدروجين فيه 20 ppm .
8. حقل جمبور : ويقع شمال كركوك تم اكتشافه عام 1954 ويمتاز بكونه نطف حلو خالي من كبريتيد الهيدروجين ونسبة الكبريت فيه وزناً 1.2% .
9. حقل عين زالة : هو حقل ناضب ، يقع في مدينة الموصل ، تم اكتشافه عام 1939 ، ذو محتوى كبريتي عالي ونسبة رطوبة عالية ، يصل تركيز كبريتيد الهيدروجين H₂S فيه (50-150) ppm .
10. حقل بطمة : ويقع في مدينة الموصل ، تم اكتشافه عام 1952 ويمتاز بمحتوى مائي عالي يصل إلى 20% .
11. حقل نفط خانة : ويقع في مدينة ديالى محاذيا للحدود مع ايران ويمتاز بكون نفط خفيف درجة API 43 ومحتوى غازي يصل 400 قدم مكعب لكل برميل ، كما ان محتواه الكبريتي منخفض .
12. حقل شرقي بغداد: وهو حقل يقع شرق بغداد وله امتدادات شمالية في محافظة صلاح الدين وجنوبية في محافظة واسط . ويقدر اجمالي انتاجه عند التطوير إلى 120 الف برميل في اليوم .
13. حقل القيارة : هذا الحقل يقع في مدينة الموصل في منطقة القيارة يمتاز بكونه نطف ثقيل جداً وذو محتوى كبريتي عالي، يتراوح درجة API (11.4 – 18.6) اما نسبة الكبريت (6 – 8) وزنا وتركيز H₂S 2000 ppm .
14. وهناك حقول نفطية عراقية اخرى منها حقل خباز في مدينة كركوك وحقل صفية في الموصل مع الحدود السورية وحقل تكريت وحقل عجيل وحقل بلد في محافظة صلاح الدين وكذلك حقل البزركان وحقل ابو غراب وحقل فكة وحقل العمارة في محافظة ميسان. كما في الجدول رقم (1-4) .

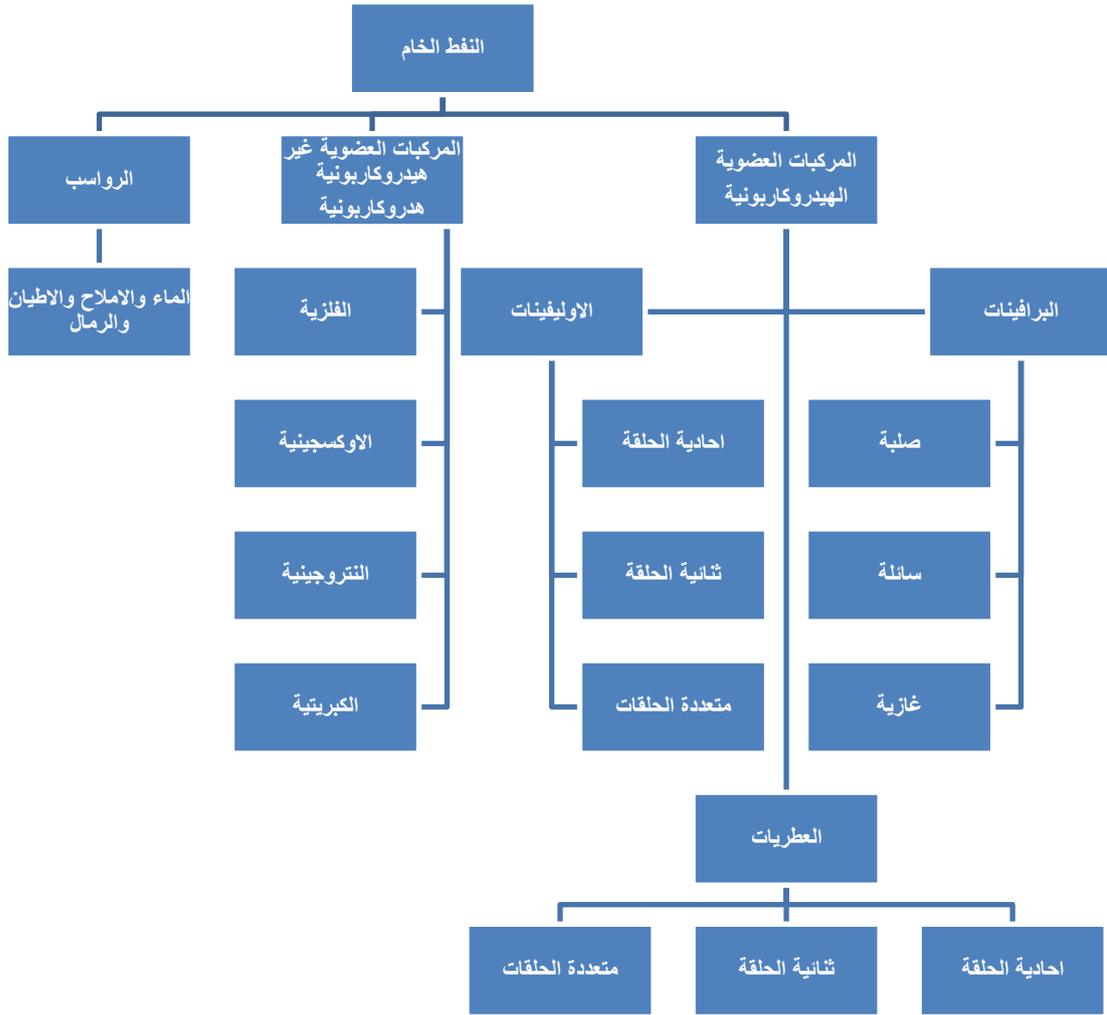
الجدول (1-4) الحقول النفطية العراقية

العدد	الحقل	المحافظة
10	الرميلة الشمالية، الرميلة الجنوبية، مجنون، الزبير، نهر عمر، غرب القرنة، اللحيس، الطوبة، الصبة، الحلفاية.	البصرة
4	البرزكان، أبو غرب، فكة، العمارة.	ميسان
1	شرق بغداد	بغداد
1	نفطخانة	ديالى
3	تكريت، عجيل، بلد.	صلاح الدين
4	كركوك، جمبور، باي حسن، خباز.	كركوك
4	عين زالة، القيارة، صفية، بطمة.	نينوى

4.4 التركيب الكيماوي للنفط الخام

يتكون النفط الخام من خليط معقد من المركبات الهيدروكاربونية والتي تشكل البرافينات والنفثينات والعطريات حوالي % 90 منه اما الباقي فيمثل مركبات اخرى يدخل في تركيبها الكبريت والنتروجين والاكسجين وبعض الفلزات . وتقسم المركبات الداخلة في تركيب النفط إلى ثلاثة اقسام . لاحظ الشكل (4-4) .

1. المركبات العضوية الهيدروكاربونية .
2. المكبات العضوية غير هيدروكاربونية (الشوائب الذائبة) .
3. الشوائب غير الذائبة (الماء والاملاح والرواسب) .



الشكل (4-4) مكونات النفط الخام

1.4.4 المركبات الهيدروكربونية :

تتكون هذه المركبات من عنصري الهيدروجين والكربون فقط ، وتقسم من حيث التركيب إلى :

أولا - البرافينات Paraffins :

وهي مركبات هيدروكربونية قانونها العام (C_nH_{2n+2}) ترتبط ذراتها باصرة احادية ، وهي ذات ثباتية عالية ، وتنتهي تسميتها بالمقطع (آن ، ane) ، وسلاسلها اما ان تكون مستقيمة، او متفرعة .

وتتواجد في النفط الخام بثلاثة حالات عند الظروف القياسية من ضغط ودرجة حرارة وكما يأتي :

1- الحالة الغازية Gas Phase : وهي البرافينات التي يتراوح عدد ذرات الكربون فيها من (1- 4) ذرة وعادةً ما تكون ذائبة في النفط الخام .

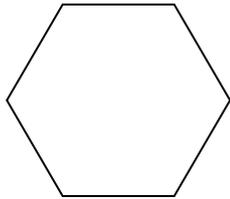
الجدول (2-4) البرافينات الغازية

METHANE	CH ₄	ميثان
ETHANE	C ₂ H ₆	ايثان
PROBANE	C ₃ H ₈	بروبان
BUTAN	C ₄ H ₁₀	بيوتان

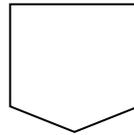
2- الحالة السائلة **Liquid Phase**: وهي البرافينات التي يتراوح عدد ذرات الكربون فيها من (5- 17) ذرة وتشكل البرافينات السائلة والتي عدد ذرات الكربون لها (5- 12) ذرة النسبة العظمى للمقاطع الخفيفة والوسطية اما من (13 - 17) ذرة فتمثل النسبة العظمى لزبوت التزيت .

3- البرافينات الصلبة **Solid Phase**: وهي البرافينات التي عدد ذرات الكربون فيها من (17-40) ذرة مثل الشمع والاسفلت وشحوم التزيب.

ثانيا - **النفتينات Naphthans** : وتدعى بالبرافينات المغلقة السلسلة (حلقة) قانونها العام C_nH_{2n} تتحد ذراتها باصرة احادية وهي اقل استقراراً من البرافينات ، وتوجد بشكل مركبات احادية وثنائية وثلاثية الحلقة ، وتشكل النفتينات احادية الحلقة النسبة الأعلى في النفط الخام . إذ توجد في المقطعات الخفيفة نفثينات خماسية وسداسية الحلقة مثل الهكسان والبنتان ، اما في المقطعات التي تغلي بدرجة اعلى من 400 سيليزية فأنها يمكن ان تشكل نسبة 70 - 80 % وتكون من النوع المتعدد الحلقات أو حلقة واحدة مرتبطة بسلسلة طويلة من البرافينات .

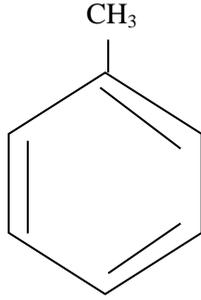


هكسان حلقي

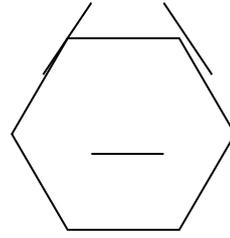


بنتان حلقي

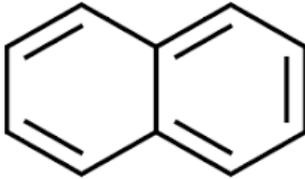
ثالثا - **العطريات Aromatic** : وهي مركبات هيدروكربونية مغلقة السلسلة غير مشبعة قانونها العام C_nH_{2n-6} توجد بشكل مركبات احادية، وثنائية، وثلاثية الحلقة، وتشكل احادية الحلقة النسبة العظمى للعطريات في النفط الخام، وتكثر نسبتها في المقاطع الخفيفة، اما المركبات العطرية ثنائية الحلقة فتركز نسبتها في المقاطع الوسطية مثل الكيروسين، اما ثلاثية الحلقة فهي ذات درجة غليان مرتفعة تتركز في المقاطع الثقيلة. ان العطريات مركبات بطيئة التأكسد لذا فأن وجودها في الكازولين يرفع من كفاءته اما في زيت الغاز فأنها تقلل من كفاءته .



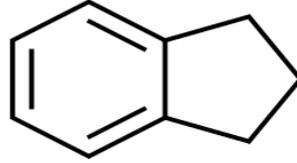
التلوين TOLUENE



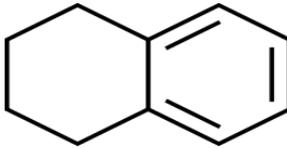
البنزين BENZENE



نفتالين $C_{10}H_8$



اندان C_9H_{10}



ترالين $C_{10}H_{12}$



انثراسين $C_{14}H_{10}$

2.4.4 المركبات العضوية غير هيدروكارونية (الشوائب الذائبة):

وهي مركبات عضوية يدخل في تركيبها عنصر غير الكربون والهيدروجين تمتاز اغلبها بكونها ذات وزن جزيئي عالي ودرجة غليان مرتفعة لذا تتركز في المقاطع الثقيلة من النفط الخام ، واهم هذه المركبات :

1- المركبات الكبريتية Sulphur Compounds :

وهي مركبات غير هيدروكارونية تحتوي على عنصر الكبريت في تركيبها تمتاز بكونها ذات وزن جزيئي عالي ودرجة غليان مرتفعة ورائحة كريهة وذات طابع حامضي .

تتوزع هذه المركبات بشكل غير متجانس في النفط الخام وتزداد نسبتها في المقاطع الثقيلة (أي مع ارتفاع درجة الغليان) كما ويوجد الكبريت بشكل حر ذائب في النفط الخام . وتوجد بشكل مركبات مختلفة منها كبريتيد الهيدروجين H_2S ، والمركبتانات RSH ، والكبريتيدات RSR و الكبريتيدات الثنائية $RSSR$ والكبريتيدات الحلقية.

ان هذه المركبات لها اثار ضارة كبيرة في الصناعة النفطية بسبب خواصها الحامضية التي تؤدي إلى تآكل وتلف الاجهزة والمعدات النفطية كما وتعمل على تسمم العامل المساعد في

الوحدات التي تحتوي مفاعل يعمل بالعامل المساعد كما في وحدة تحسين البنزين ، فضلا عن ذلك فهي مركبات ملوثة للبيئة ولهذا فإن النفط الحاوي على نسبة عالية من هذه المركبات يكون ذو سعر اقل من النفوط الخالية منها .

2 - المركبات الاوكسجينية Oxygen Compounds :

هي مركبات عضوية تحتوي في تركيبها على عنصر الأوكسجين وذات درجة غليان مرتفعة ووزن جزيئي وتوجد بشكل حوامض عضوية (الحوامض النفطية) وبشكل مركبات متعادلة بنسبة اقل مثل الراتنجات ، ولا تزيد نسبتها عادةً على 1% .

تتواجد المركبات الاوكسجينية الحامضية في المنتجات الوسطية بنسبة عالية ولهذا فان الفحص المختبري للحوامض العضوية حل محل فحص تعيين المركبات الاوكسجينية الكلية ، وتشكل الحوامض العضوية التي تحتوي على عدد ذرات (1 - 6) ذرة كربون معظم الحوامض العضوية في النفط الخام .

تسبب هذه المركبات التآكل للمعدات والوحدات النفطية بسبب الطبيعة الحامضية لها ويزداد تأثيرها مع ارتفاع درجات الحرارة ، كما وتسبب تسمم العامل المساعد بسبب الترسبات الفحمية التي تولدها نتيجة تفاعلات البلمرة . وهي بذلك تسبب انخفاض اسعار النفط الخام مقارنة بأنواع النفط الخالية من هذه المركبات .

ان هذه المركبات توجد في جميع انواع النفط الخام وبنسب متفاوتة ، إذ ترتبط مجموعة الكربوكسيل مع حلقة، او حلقتين من مركب نفثيني .

3 - المركبات النتروجينية Nitrogen Compounds :

وهي مركبات عضوية غير هايدروكربونية يدخل في تركيبها عنصر الهيدروجين وتتواجد بنسبة عالية في المقاطع الثقيلة بسبب وزنها الجزيئي العالي ودرجة الغليان المرتفعة ، ومعظم المركبات النتروجينية في النفط الخام ذات سلوك قاعدي مثل الكيونيولين Quinoline والبيريدين Pyridine والقليل منها متعادل مثل البايرول Pyrrol و الاندول Indole . وتتواجد على الاغلب بنسب صغيرة تتراوح بين 0.03 - 0.3 % وتتركز في المتبقي من التقطير الجوي .

المركبات النتروجينية مواد اساسية لتكوين الراتنجات والاصماغ في النفط الخام والذي يسبب انسداد المرشحات و حاقنات الوقود في المحركات (Nozzle) كما انها مركبات تتأثر بالضوء وهي بذلك تغير لون المنتج عند تعرضه للضوء . وتعمل هذه المركبات على زيادة الترسبات الفحمية على العامل المساعد في المفاعلات كما في وحدة هدرجة الكيروسين .

4 - المركبات الفلزية العضوية Organometallic Compound :

وهي مركبات عضوية غير هيدروكربونية يدخل في تركيبها عنصر فلزي تتواجد بنسبة عالية في المقاطع الثقيلة بسبب وزنها الجزيئي العالي ودرجة الغليان المرتفع ، يمكن تقسيمها إلى مجموعتين من حيث التأثير وكما يلي :

المجموعة الاولى: مجموعة عناصر (الزنك، التيتانيوم، الكالسيوم، المغنسيوم) وهي تساعد على ثبات المستحلب المائي في النفط الخام .

المجموعة الثانية: مجموعة عناصر (النيكل ، الفانديوم ، الكوبلت ، الصوديوم) والتي تعمل على تأكل الحجر الناري في بطانة الافران والمراجل البخارية .

3.4.4 الشوائب غير الذائبة (الماء والاملاح والرواسب) Insoluble Impurities

يتواجد الماء ذو التركيز الملحي العالي في النفط الخام بتركيز مختلفة اعتمادا على نوع النفط الخام ومناطق استخراجة والالية المتبعة للاستخراج، ويُعد الماء المستحلب الذي لا يمكن فصله بالطرق التقليدية مادة غير مرغوب بها في الوحدات الصناعية لما يسببه من مضار كبيرة على المعدات والمنتجات وخاصة الافران والمراجل البخارية .

ويجب ان لا تزيد نسبة الماء في النفط الخام عن 0.5%، اما مصدر الماء في النفط الخام فهو الماء الموجود في المكنم النفطي والذي يندفع مع النفط بفعل ضغط المكنم وكذلك طرق الانتاج بالحقن المائي للبتنر.

اما الاملاح فهي املاح البيكاربونات والكاربونات والكبريتيدات والكلوريدات متحدة مع عناصر الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والتي تسبب مشاكل كثيرة في الصناعة النفطية وخاصة في الافران والمبادلات والمراجل البخارية إذ تترسب على بطانة الانابيب مؤدية إلى فقدان كفاءة التبادل الحراري اضافة إلى تأكل الانابيب والمعدات .

اما الرواسب **Sediments** فهي مواد صلبة عالقة في النفط الخام ومنتشرة فيه مثل الرمل والبلورات الملحية او قشور صدأ الحديد التي تؤدي إلى انسداد الانابيب والصمامات والمرشحات كما انها تساعد على تأكل الانابيب والمعدات الاخرى .

5.4 تصنيف النفط الخام والفحوصات المختبرية Crude Oil Classification and Laboratory Tests

يوجد العديد من طرق تصنيف النفط الخام اعتمادا على مواصفاته الفيزيائية او الكيميائية الا ان اغلب هذه الطرق ذات استعمال محدود والقليل منها ذات استعمال عام يدخل في كثير من مجالات التعاملات النفطية الصناعية والتجارية ، ومن اهم طرق تصنيف النفط الخام ما يأتي :

1- تصنيف حسب طبيعة مكونات النفط الخام الاساسية ويصنف إلى :

أ- نפט ذو اساس برفيني Paraffin Base Petroleum: وتشكل البرافينات فيه النسبة العظمى لمكوناته والمتبقي بعد التقطير يكون غنياً بمادة الشمع (Wax) ، وقد يحتوي على نسبة ضئيلة من الاسفلت .

ب- نפט خام ذو اساس اسفلتي Asphalt Base Petroleum: ويحتوي على نسبة عالية من المركبات الاسفلتية ونسب ضئيلة من الشمع البرافيني وتشكل المركبات النفثينية الحلقية نسبة جداً عالية من مكوناته .

ج- نפט خام ذو اساس مختلط Mixed Base Petroleum ويحتوي على نسبة متقاربة من المركبات البرافينية والنفثينية بحيث ان المشتقات الخفيفة تكون غنية بالبرافينات والثقيلة غنية بالنفثينات وتحتوي على نسبة من المركبات الاروماتية ونسب هذه المواد تختلف حسب مصدر النفط الخام .

2- تصنيف حسب درجة معهد البترول الامريكي API . ويصنف النفط الخام حسب هذه الدرجة إلى :

أ- نפט خفيف ذو درجة API اعلى من 35.

ب - نפט متوسط ذو درجة API اكبر من 28 و اقل من 35 .

ج - نפט ثقيل ذو درجة API اقل من 28 .

علماً ان معظم انواع النفط الخام تنحصر قيمة API بين 20 -40 درجة .

3- تصنيف حسب المحتوى الكبريتي ويصنف إلى :

أ- نפט ذو محتوى كبريتي عالي عندما تكون نسبة الكبريت اكبر من 3% وزنا .

ب- نפט ذو محتوى كبريتي متوسط عندما تكون نسبة الكبريت اقل من 3% و اكبر من 1% وزنا .

ج- نפט ذو محتوى كبريتي واطى عندما تكون نسبة الكبريت اقل من 1% وزنا .

وهناك تصنيفات اخرى مثل:

أ- تصنيف حسب محتوى الشمع.

ب- تصنيف حسب اللزوجة .

ج- تصنيف حسب محتوى المواد الراتنجية .

د- تصنيف حسب المحتوى النتروجيني .

6.4 خامات النفط القياسية

يختلف النفط في طبيعته من مكان إلى آخر، نظراً لاختلاف نسبة الهيدروكربونات الداخلة في تركيبه، وكذلك تفاوت نسبة بعض المواد الكيميائية الأخرى الموجودة فيه كالكبريت والنيتروجين والأملاح وغيرها من العناصر والمركبات، وقد استخدمت لتصنيف أنواع النفط المختلفة ولتسهيل تسعيرها بعض خامات النفط القياسية، كخام برنت وخام وسيط غرب تكساس، حيث يتم تسعير النفط الخام، بناءً على مدى اختلافها عن تلك الخامات القياسية سواء من ناحية الكثافة أو الحموضة أو غيرها من المؤشرات الفيزيائية المختلفة.

ويُعد خام برنت Brent من أشهر خامات النفط القياسية، ويستعمل لتسعير ثلثي إنتاج النفط في العالم، ويتكون هذا الخام من مزيج نفطي من 15 حقلاً نفطياً مختلفة في منطقتي برنت ونيبيان في بحر الشمال، وهاتان المنطقتان تنتجان نحو 500 ألف برميل من النفط يومياً، ويتميز خام برنت بأنه من أنواع النفط الخفيفة ووزنه النوعي يبلغ 0.835 درجة، كما أن نسبة الكبريت فيه منخفضة وتبلغ نحو 0.37%، أما درجة API له فحوالي 38.06، ويباع هذا الخام في الأسواق العالمية بسعر أعلى قليلاً (نحو دولار أمريكي) عن نפט أوبك وبسعر أقل (نحو دولار أمريكي) عن خام وسيط غرب تكساس.

أما خام وسيط غرب تكساس (West Texas Intermediate WTI) ، فيبلغ وزنه النوعي 0.827 درجة وهو نـفـط خـفـيف ونسبة الكبريت فيه قليلة وتبلغ نحو 0.24%، ودرجة API له بحدود 39.6، ويستعمل هذا الخام بشكل أساسي لإنتاج الكازولين في الولايات المتحدة الأمريكية، وهو من أحد خامات النفط القياسية التي تستعمل لتسعير الخامات الأخرى خصوصاً في أمريكا الشمالية.

أما منظمة الدول المصدرة للنفـط أوبك (OPEC) فقد وضعت نظاماً مرجعياً خاصاً بها، عرف بسلة أوبك (The OPEC Reference Basket ORB) ، والتي تضم مجموعة من خامات النفط، وهذه الخامات هي، الخام العربي السعودي الخفيف، وخام مـرـبـان الإماراتي، وخام صحاري الجزائر، وخام التصدير الكويتي، وخام البصرة الخفيف العراقي، والخام البحري القطري، وخام السدر الليبي، والخام الإيراني الثقيل، وخام بوني الخفيف النيجيري، وخام جيراسول الأنجولي، وخام ميري الفنزويلي، وخام أورينت من الأكوادور .

ويلحظ أن سلة أوبك، هي مزيج من عدد من أنواع النفط الخفيفة والثقيلة، وبالتالي فإن سعرها في العادة يكون أقل من سعر خام برنت وخام وسيط غرب تكساس.

7.4 الأهمية الاقتصادية للنفـط والغاز الطبيعي

يعتبر النفط والغاز الطبيعي مصادر الوقود الأكثر استعمالاً، ويعود هذا لخصائص الاحتراق، إذ يُمكن إنتاج 10 آلاف سعرة حرارية عند احتراق كيلوغرام من النفط فقط، ممّا يسهم في توفير كمّيات النفط وعدم الحاجة إلى استعمال كمّيات هائلة منه لإنتاج الوقود، وتشغيل المكين التي تعتمد عليه بشكل رئيسي في عملها. وتعدّ الكيمياء والنفطية أساساً في صناعة البلاستيك، والشموع، والسماد، وغيرها من المنتجات الأخرى، ونظراً لعمليات تنقية البترول وفصل أجزائه يُمكن استخدام كل عنصر من المواد الناتجة من العزل على حدة في الصناعات المختلفة، ومن هذه المواد؛ القطران، والإسفلت، والهيدروكربونات الثقيلة، ويمكن استعمالها كلها في تعبيد الطرق، ومعالجة الأسقف، كما يُمكن استعمال النواتج الشمعية التي تُعرف باسم البارافين في صناعة الشموع وما شابه، كذلك يتم استعمال الهيدروكربونات السائلة ذات الكثافة والنقل الأقل كوقود توجد عدّة فوائد أخرى لمشتقات النفط ومنها النفط الخام والغاز الطبيعي، ومن هذه الفوائد ما يأتي:

- 1- يرفع النفط والغاز من قيمة الإنتاج المحلي لعدد من الدول.
- 2- تزداد إيرادات الدول المالكة لحقوق النفط والغاز، وهذا يرتبط طردياً مع القوة الاقتصادية لها، عندما تكون الكمية المستخرجة كافية.
- 3- توفّر قطاعات العمل بالنفـط والغاز الوظائف للكثير من الأيدي العاملة.
- 4- ساعد النفط الخام الدول المصدرة على تنمية التقنيات والأساليب في علم استخراج النفط الخام، واستغلال للخبرات والمهارات جيّداً في هذا المجال.
- 5- شجّع وجود النفط على الكثير من الصناعات الجديدة كالصناعات الكيمياءوية.
- 6- تكون مشتقات النفط والغاز مصدر لإنتاج الكهرباء وذلك نتيجة إلى كونها مصادر طاقة معتمدة وقوية.

التحميض : تُستعمل عملية التحميض في استخراج الغاز الطبيعي عن طريق إذابة المكونات الحامضية، وضخها في البئر بهدف إذابة الصخور التي من المُمكن أن تعيق تدفقه.

9.4 تركيب الغاز الطبيعي ومصادره

يُعد غاز الميثان إحدى أهم مكونات الغاز الطبيعي بعد عملية المعالجة (الغاز الطبيعي المعالج)، ويستعمل هذا النوع من الغاز في الاستهلاك التجاري، والصناعي، والسكاني، أما الغاز الطبيعي الخام فهو يحتوي على مجموعة لا بأس بها من المركبات المختلفة ومن هذه المركبات ما يأتي:

1- هيدروكربونات غازية مثل الإيثان، والبنتان، فبعد معالجة الغاز الخام وتنقيته يتم تجميع هذه المركبات إذ يُطلق عليها مسمى الغاز الطبيعي المسال.

2- غازات حامضية مثل ثاني أكسيد الكربون، وكبريتيد الهيدروجين، وبعض المركبات الأخرى كالميثان ثيول، والإيثان ثيول.

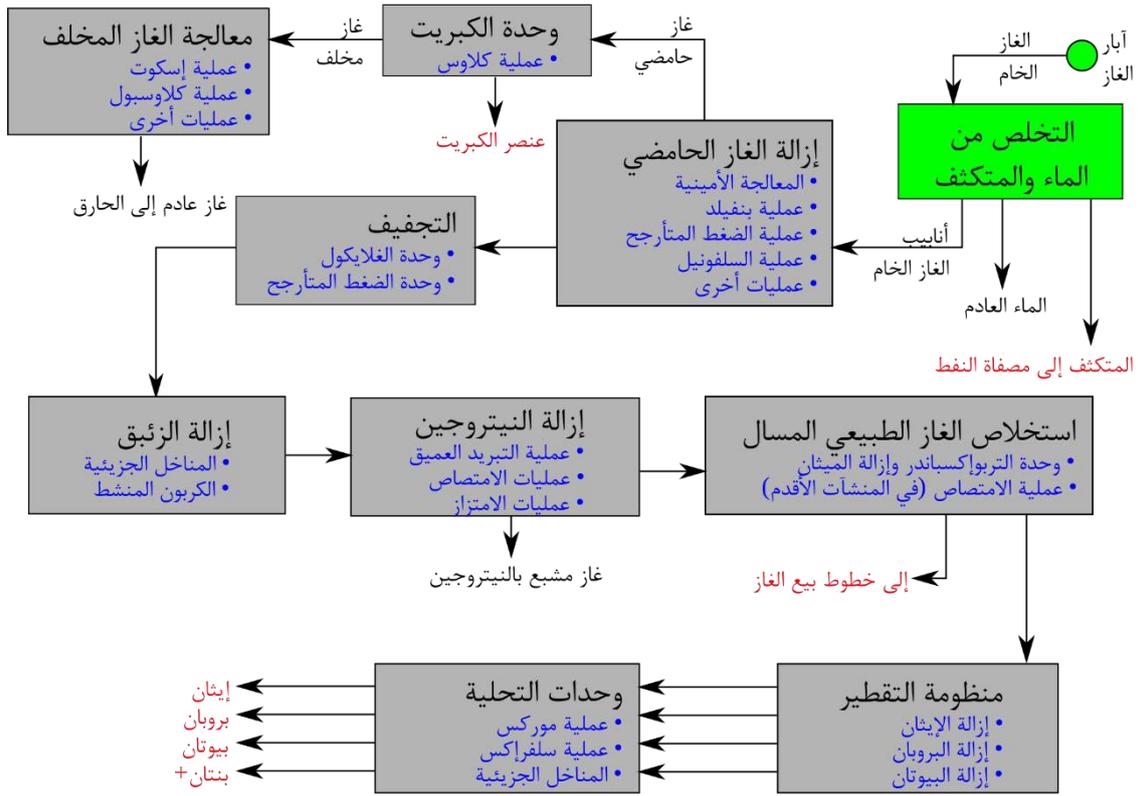
3- غازات أخرى مثل غاز الهيليوم، والنيتروجين والماء، إذ يكون موجوداً في الغاز الطبيعي على شكل ماء سائل وبخار ماء.

4- هيدروكربونات مسالة: وهو عبارة عن البنزين الطبيعي.

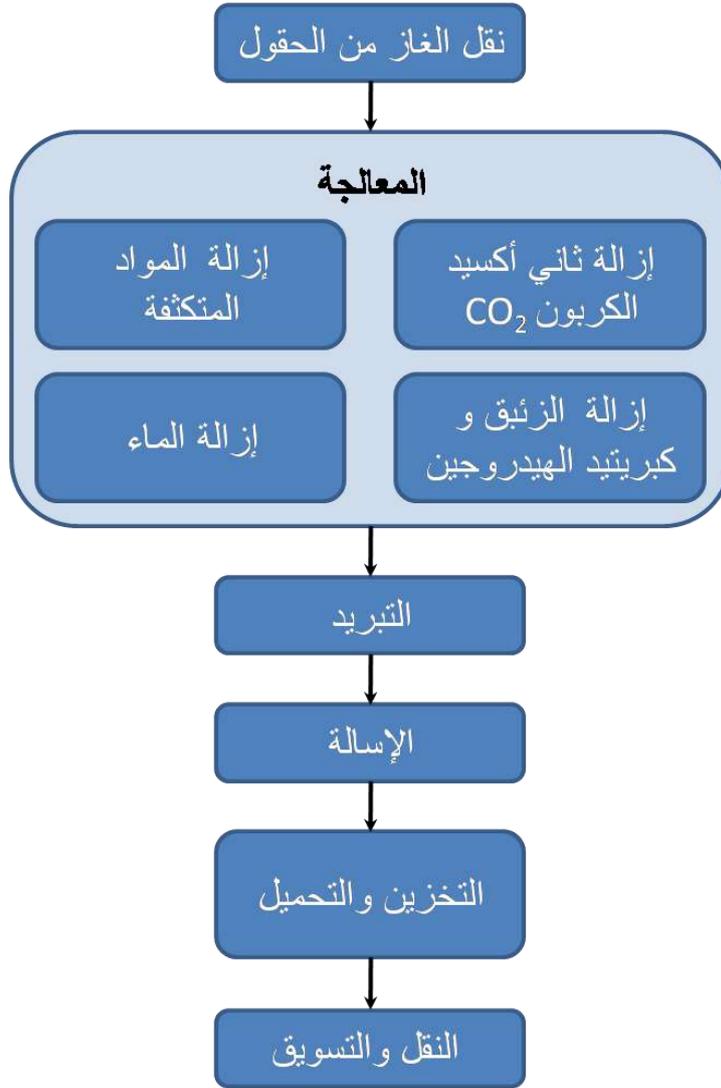
5- الزئبق: وهو موجود بنسب ضئيلة فإما أن يكون على شكل خام، أو إن يكون متحداً مع مركبات أخرى كالكلور.

يستخرج الغاز الطبيعي من ابار شبيهة بأبار النفط ويتم نقل الغاز بالأنابيب من منصات الإنتاج إلى نقطة تجميع ومنها إلى معمل تكرير إذ ينقى. في مرحلة التنقية الأولى ، يزال الماء واي سوائل أخرى من الغاز بفعل الجاذبية ثم يمرر الغاز الجاف عبر مبرد إذ يتسيل البروبان ويجمعان. ويسوق الغاز المسال كمواد اولية لتصنيع الكيمياويات أو يعبأ في قناني كوقود للطبخ في المنازل .

ما يتبقى من الغاز الطبيعي يمكن ضخه عبر شبكة امداد او يمكن تسويله بالتبريد والضغط وتسويقه كغاز طبيعي مسال. الشكل (4-6) يبين خطوات معالجة الغاز الطبيعي ابتداء من الابار ، ويبين الشكل (4-7) خطوات نقل الغاز الطبيعي .



الشكل (6-4) مخطط معالجة الغاز



الشكل (7-4) مخطط نقل الغاز

10.4 نقل وتوزيع الغاز الطبيعي

عادة يتم نقل الغاز من حقول الانتاج إلى محطات الفصل والتنقية عن طريق انابيب معدنية مرورا بمحطات تجميع وضخ تحت ضغط معين ويتم توزيع الغاز إلى مناطق الاستهلاك كمحطات توليد الكهرباء والمصانع والمنشآت والمنازل بواسطة انابيب اصغر قطرا. ويعبأ الغاز في قناني محدودة الحجم تحت ضغط معين لتوزيعه على المستهلكين.

اسئلة الفصل

1. عرف النفط الخام؟
2. عدد نظريات تكوين النفط الخام؟
3. مم يتركب النفط الخام؟
4. ما هي المركبات الغير هيدروكاربونية في النفط الخام؟
5. كيف يتم استخراج النفط الخام؟
6. ماهي الفوائد الاقتصادية للنفط؟
7. مم يتركب الغاز الطبيعي؟
8. كيف يستخرج الغاز الطبيعي؟
9. كيف ينقل الغاز؟
10. عدد استعمالات الغاز؟

الفصل الخامس

Fuel Technology الوقود

الاهداف

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على ان :

- 1 - يعرف الوقود .
- 2 - يفهم الاطار العام لعملية الاحتراق .
- 3 - يصنف الوقود .
- 4 - يعرف مصادر انتاج الوقود .
- 5 - يصنف خزانات الوقود .

1.5 تمهيد Preface

منذ وجود الانسان على وجه الارض برزت حاجته إلى ما يطهو به طعامه ويحميه من البرد في ايام الشتاء، فكانت النار هي اول وسيلة لذلك، ولأجل الحصول عليها لابد من حرق اغصان واوراق الاشجار لتكون اول وقود تعرف اليه الانسان. ومع تطور المجتمعات البشرية اتجه الانسان إلى استعمال الفحم كوسيلة لتوليد طاقة عالية وأصبح يستخرج من مناجم تحت الارض والى يومنا هذا. فكان هو الوقود اللازم لإنتاج بخار الماء الذي تسير به محركات السفن والقطارات في بداياتها وحتى السيارة تم تشغيلها في بادئ الامر على بخار الماء.

تقدمت الدول بشكل كبير بعد اكتشاف النفط بدايات القرن الماضي لكونه يوفر مصدر طاقة متعدد الاستعمالات لكثرة مشتقاته وينتج بكميات كبيرة فأصبح المصدر الاول للوقود في العالم وتم الاعتماد على الوقود النفطي بدرجة كبيرة جرى من خلالها تطوير جميع مجالات الصناعة لوسائل النقل المختلفة كالطائرات والسيارات والبواخر توليد الطاقة الكهربائية وتشغيل المكائن الضخمة مما أحدث تغييرات كبيرة في حياة الانسان.

وبقي سعي الانسان على ايجاد انواع من الوقود تعطي كمية كبيرة من الطاقة مستمرا إلى ان تم التوصل إلى الوقود النووي الذي يولد كميات كبيرة من الحرارة نتيجة لتفاعل كميات صغيرة من الوقود وأصبح الان استعمال الطاقة النووية معروفا في الكثير من دول العالم بتحويلها إلى طاقة كهربائية او لتشغيل الغواصات تحت مياه البحر.

وتوجد انواع اخرى من الوقود التي اتجه إلى استعمالها في إطلاق إلى الفضاء مثل الاوكسجين المضغوط او الوقود الصلب لكونها تتطلب الطاقة العالية والاستمرار لوقت اطول مما يحافظ على وجود الوقود كافيا للرحلات الفضائية.

نتعرف في هذا الفصل على الوقود وانواعه وطرق خزنه ونقله وكذلك الاضافات التي تستعمل لتحسين مواصفات الوقود النفطي لتتمكن من معرفة موضوع الوقود من جميع جوانبه.

2.5 تعريف الوقود Fuel Definition

الوقود هو المادة التي تعمل على إمدادنا بالطاقة الحرارية النافعة، وتستعمل هذه الطاقة في العديد من المجالات الحياتية، فهي تستعمل في توليد الكهرباء، وطهي الطعام، وفي تشغيل المحركات المختلفة مثل محرك السيارة والقطار، وفي التدفئة والتبريد أيضاً، ويقسم الوقود إلى قسمين الوقود الطبيعي والوقود الصناعي، ومن المهم معرفة أن أغلب أنواع الوقود يولدان الحرارة عن طريق تفاعلها مع الأوكسجين، كما أن الوقود النووي يولد الحرارة نتيجة انقسام ذراته أو اندماجها مع ذرات أخرى.



الشكل (1-5) تزويد السيارة بالوقود



الشكل (2-5) تزويد الطائرة بالوقود



الشكل (3-5) تزويد الباخرة بالوقود



الشكل (4-5) مفاعل نووي وتظهر كمية كبيرة من البخار الخارج من ابراج تبريد المفاعل نتيجة لتبخر الماء في كمية الحرارة العالية التي يولدها الوقود النووي

1.2.5 تفاعلات الاحتراق Combustion reactions

هي تفاعل أي مادة قابلة للاشتعال مع مادة تعمل على التأكسد، لتكوين مُنتج مُؤكسد، إذ تحصل عادةً عندما يتفاعل الأوكسجين (O_2) مع الهيدروجين (H) والكربون (C) لإنتاج بخار الماء (H_2O) وثاني أكسيد الكربون (CO_2)، كما وأنها فئة رئيسية من التفاعلات الكيميائية، وهي تفاعلات طاردة للحرارة، أي أنها تقوم بإنتاج الطاقة، كما ويُعتبر اللهب في تفاعلات الاحتراق مؤشراً مُميّزاً للتفاعل، إذ تُوفّر الحرارة القادمة من اللهب طاقة كافية لجعل التفاعل مُستداماً ذاتياً، ولكنّ تفاعلات الاحتراق لا تُؤدّي دائماً إلى نشوب حريق، كما أنها في بعض الأحيان تكون بطيئة، ويكون التغيّر في درجات الحرارة غير ملحوظ. ويحترق البنزين مثله مثل جميع المركبات العضوية في وجود الهواء الجوي ويعطى ثاني أوكسيد الكربون وبخار الماء، و يشتعل بلهب مدخن في كمية محددة من الأوكسجين نظراً لارتفاع نسبة الكربون فيه (6 ذرات كربون) كما في المعادلة الآتية :



كما يحترق غاز الميثان بتفاعله مع اوكسجين الهواء بوجود لهب كما في المعادلة الآتية :



3.5 تصنيف الوقود Fuel Classification

أولاً - حسب المصدر

1 - الوقود الطبيعي:

هو الوقود المتوفر في الطبيعة ولم يتدخل الإنسان في ايجاده ولكن يتم استخراجة مثل الفحم الحجري والنفط والغازات الطبيعية، وهذا الوقود تكون في باطن الأرض قبل ملايين السنين، بفعل تعرض الحيوانات والنباتات المطمورة إلى الضغط والحرارة، ويقوم الإنسان باستخراجها من باطن الأرض بطرق مختلفة حسب نوع الوقود كالمناجم وحفر الابار النفطية والغازية ومن المهم معرفة أن هذا الوقود يسمى بالوقود الأحفوري، وتصل نسبة استخدامه من قبل الإنسان إلى 90 %.



الشكل (5-5) منجم فحم



الشكل (6-5) حفر بئر نفطي

2 - الوقود الصناعي

يتمثل بالوقود الناتج عن صنع الإنسان، ويُعد من أنواع الوقود الأقل انتشاراً، ويتم استخراجها في الغالب من الوقود الطبيعي. ينتج الوقود الصناعي في وحدات صناعية كبيرة وينتج من الفحم الحجري والغاز الطبيعي والصخر الزيتي ، كما يتم تصنيعه من الخشب. عادة يتم تصنيع الوقود الصناعي في المناطق التي يتواجد بها نوع واحد من الوقود بكثرة وتندر الأنواع الأخرى. على سبيل المثال ، يستعمل الوقود الصناعي في جنوب أفريقيا، إذ يتم تصنيع النفط من الفحم الحجري وفي البرازيل يستعمل الكحول الصناعي كوقود لوجود كميات كبيرة من السكر التي يصنع منها الكحول.

وهذا الوقود يعتمد على حرق المواد العضوية القابلة للاشتعال، مثل الخشب والنفايات، كما أن بعض الأنواع تصنع من المواد الكيميائية.



الشكل (5-7) صنع الفحم من الخشب

ثانياً - حسب الحالة

1 - **الوقود الصلب** : وهو الفحم الحجري ويستعمل بصورة كبيرة في إنتاج الكهرباء، كما أنه يستعمل في تدفئة المباني والمنازل، ويستعمل أيضاً في توليد الطاقة لتشغيل محركات الآلات. والكتلة الحيوية (Biomass) وهذا النوع من الوقود استعمل لمدة طويلة، ويعد الأقدم في الاستعمال، كما أن استعماله لا زال قائماً في الدول النامية، ومن الأمثلة عليه الأخشاب، الأوراق وقشر البذور وغيرها.



الشكل (8-5) الفحم الحجري

2 - **الوقود السائل:** وهو النفط الخام ويطلق عليه الزيت الخام، ويتوفر هذا الوقود بشكل متدرج من القار السميك الأسود إلى الزيت البني المصفر، وغالباً ما يتم تكرير النفط الخام لإنتاج بعض أنواع الوقود مثل زيت الديزل، والنفثا، والبنزين، فزيت الغاز يستعمل بصورة رئيسة في توليد الطاقة للمحركات، والزيت المقطرة الخفيفة تستعمل في تدفئة المباني الصغيرة والمنازل. ويتم بيع النفط بوحدة البرميل ويحدد سعره عالمياً ضمن اتفاقيات دولية كما يحدد سعره بالاعتماد على مواصفاته وكلما كانت نوعية النفط الخام خفيفة ازداد السعر وذلك لاحتوائه على منتجات مفيدة كوقود للسيارات والطائرات بشكل أكبر ولكونها الأنواع التي يزداد الطلب عليها ضمن أنواع الوقود.



الشكل (9-5) النفط الخام

3 **الوقود الغازي:** الغاز الطبيعي ، ويتكون هذا الغاز من الميثان ويمتاز بانعدام لونه ورائحته، وهذا الغاز يستعمل في تدفئة المنازل، ويزود المحركات الصناعية بالطاقة، كما أنه يستعمل في الطبخ بالمنزل لذلك يسمى غاز الطهي وهناك انواع متعددة منه:

a. **الغاز الطبيعي** (الغاز الطبيعي المسال Liquefied Natural Gas LNG) الذي يتواجد في باطن الارض ويستخرج من الحقول الغازية بواسطة حفر الابار كما في استخراج النفط الخام. ويتم تصديره بين الدول اسوة بالنفط الخام بواسطة الانابيب او بواخر خاصة تحتوي على خزانات كروية الشكل .



الشكل(5-10) نقل الغاز الطبيعي

b. **الغاز المصاحب** (الغاز المصاحب المسال Liquefied Petroleum Gas LPG) وهو الذي يخرج عند انتاج النفط الخام في الحقول والذي يتم فصله وتنقيته ويجمع في قناني تحت الضغط بشكل سائل لاستعماله كوقود. وفي بعض الحقول يتم حرق الغاز المحتوي على شوائب نفطية او كبريتية التي لا يمكن فصلها .



الشكل (11-5) الغاز المصاحب

c. **الغاز الناتج من عمليات التكرير:** حيث يكون مخلوطا في المشتقات النفطية ويتم عزله اثناء عمليات التكرير ويجمع في مصافي النفط ليكون وقود. علما ان جميع انواع الوقود الغازي يتم تخزينه ونقله تحت ضغط عالي بالحالة السائلة كما في قناني الغاز المستعملة في المنازل.



الشكل (12-5) الغاز المسال

4 - الوقود النووي الوقود النووي ينتج الطاقة من انشطار وانقسام واندماج ذراته، ومن أكثر العناصر النووية المستعملة في إنتاج الطاقة اليورانيوم، وكذلك البلوتونيوم، وعادة ما يتم استعمال هذا الوقود لإنتاج الكهرباء، وتزويد كل من السفن والغواصات بالطاقة.



الشكل (5-13) خام اليورانيوم



الشكل (5-14) خام البلوتونيوم



الشكل (5-15) الوقود النووي

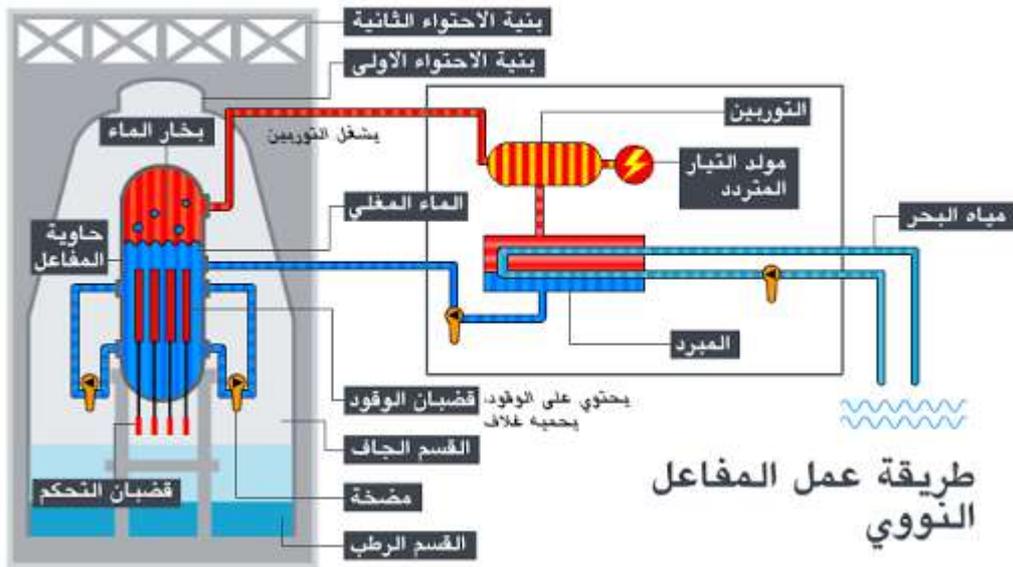
1.3.5 مجالات استخدام الطاقة النووية السلمية

المجال الطبي: إذ تستعمل النظائر النووية الناتجة عن عملية الانشطار النووي في تشخيص الأمراض الكثيرة مثل السرطان والتهابات الغدد الدرقية.

مجال الصناعات: إذ تستعمل في تطوير الزراعة وإيجاد نظائر مشعة تستعمل في إنتاج الأدوية، والعقاقير، والمبيدات. تستعمل في تسيير السفن والغوّاصات والمحركات الكهربائية لتوليد الكهرباء. **المجال العلمي:** إذ انشأت مفاعلات بحثية خاصة تستعمل للدراسة العلمية والمقارنة بين العناصر النووية وأثرها على البيئة، فضلا عن دراسة خصائص النواة وكمية الطاقة الناتجة عن تكسير الروابط أو دمجها مع بعض، مما يفتح آفاقاً كبيرة في مستقبل الطاقة التي تحتاجها البشرية.

2.3.5 المفاعلات النووية

هي المراكز التي تدير من خلالها عملية إنتاج الطاقة النووية، وفيها تتم عملية الانشطار أو الاندماج النووي والتي تنتج عنها طاقة حرارية هائلة تستعمل لتسخين الماء لإنتاج بخار الماء والذي بدوره يتم إطلاقه على محركات وتوربينات خاصة لتحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية تستعمل لتشغيل الكثير من المدن والمصانع، ومن أهم مكونات المفاعل النووي قلب المفاعل الذي يحوي الوقود النووي والذي تتم فيه العمليات على النواة، فضلا عن مقل السرعة والذي يهدئ من سرعة النيوترونات ليتم استغلال أكبر طاقة ممكنة من حركتها، كما يحتوي المفاعل النووي على المبرد والذي يتكون من الماء أو غاز الهيدروجين، والذي يعمل على سحب حرارة التفاعل النووي من جهة، واستعمال البخار الناتج في عمليات أخرى من جهة ثانية .



الشكل (5-16) مخطط المفاعل النووي

3.3.5 انواع التفاعلات النووية

يمكن تقسيم التفاعلات النووية إلى أربعة أقسام وهي :

- 1- التحلل النووي التلقائي .
- 2- التفاعل النووي غير التلقائي .
- 3- الانشطار النووي .
- 4- الاندماج النووي .

التحلل النووي التلقائي :

تتحلل أنوية العناصر الثقيلة غير المستقرة تلقائياً وتصدر عنها اشعاعات تعرف بالإشعاعات النووية . ومن العناصر التي تجري هذا النوع من التفاعلات عنصر اليورانيوم (يورانيوم - 238) ، فقد تبين أنه يشع جسيمات الفا ، ونتيجة لذلك يتحول إلى عنصر آخر مشع هو عنصر الثوريوم (ثوريوم - 234) ، الذي بدوره يطلق جسيمات بيتا مع اشعاع غاما ويتحول إلى عنصر البروتاكتينيوم (بروتاكتينيوم - 234) ، وتستمر التحولات إلى أن ينتج عنصر الرصاص غير المشع ، فأنوية ذراته مستقرة .

التفاعل النووي غير التلقائي :

في هذا النوع من التفاعلات تستعمل الجسيمات النووية كقذائف تسلط على أنوية ذرات مستقرة فتحولها إلى أنوية غير مستقرة ، وتتكون بفعل ذلك ذرات جديدة . ومن أمثلة هذا النوع من التفاعلات قذف ذرات البريليوم بجسيمات الفا وينتج بفعل ذلك عنصر الكربون .

الانشطار النووي :

نظراً لقدرة النيوترونات على الاختراق ، فهي أجسام غير مشحونة فقد استعملت كقذائف يمكن أن تصل إلى النواة بسهولة فتندمج معها أو تشطرها . وقد قام العلماء بتسليط النيوترونات على ذرات عنصر اليورانيوم (يورانيوم - 235) واكتشفوا أن ذرة اليورانيوم تنشط إلى جزئين ، وينتج عن ذلك أيضاً ثلاثة نيوترونات وكمية هائلة من الطاقة .

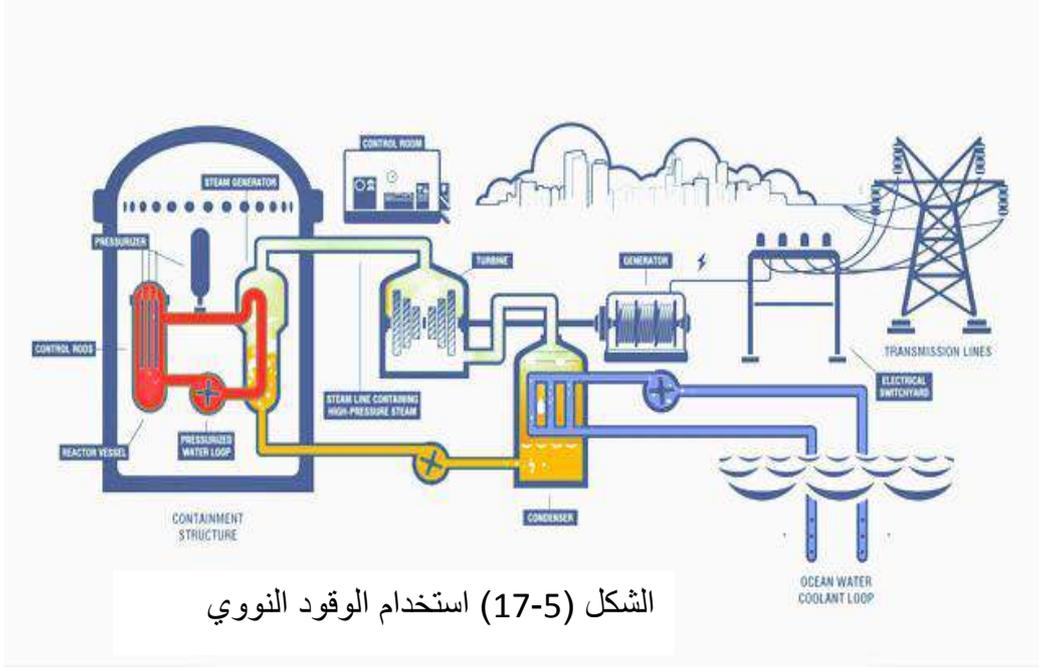
وكل نيوترون له القدرة على أن يكرر التفاعل السابق مع ذرة يورانيوم أخرى ، وهذا ما يعرف بالتفاعل النووي المتسلسل الذي يؤدي إلى أعداد هائلة من الانشطارات ، وينتج عن ذلك كميات هائلة من الطاقة .

الاندماج النووي :

يشتمل هذا التفاعل على اندماج نواتين خفيفتين لإنتاج نواة أكبر . ومثال ذلك اندماج ذرات نظائر الهيدروجين لإعطاء ذرات هيليوم وكمية هائلة من الطاقة . ورغم إعطاء هذا التفاعل كمية هائلة من الطاقة ، إلا أنه لا يبدأ إلا إذا زود بطاقة عالية للتغلب على التنافر الشديد بين أنوية الذرات التي ستندمج ، ومثل هذه الطاقة لا يتم توفيرها إلا عن طريق تفاعل انشطار نووي .

4.3.5 كيف تعمل محطات الطاقة النووية؟

تولّد محطات الطاقة النووية الكهرباء بطريقةٍ مماثلةٍ للمحطات التقليدية، إلا أن الاختلاف يكمن في نوع الوقود المستعمل. فجميع المحطات تولد الكهرباء عن طريق إنتاج الحرارة التي تحوّل الماء إلى بخار، ثم يعمل البخار على تدوير المحركات أو التوربينات الموصولة بالمولدات لإنتاج الكهرباء.



استعمل اليورانيوم وقودًا لمفاعلات الطاقة النووية، واليورانيوم هو عنصر طبيعي مشع يتواجد بوفرة في معظم الصخور. وفي المفاعل النووي، تجري عملية الانشطار التي تؤدي إلى انقسام ذرات اليورانيوم إلى أجزاء صغيرة عن طريق تغيير هيكلها الجزيئي؛ وتولد كمية من الطاقة أثناء هذا الانقسام، الأمر الذي يؤدي إلى إنتاج حرارة كافية لإنتاج البخار الذي يستعمل بواسطة التوربين لتوليد الكهرباء.

وتُعد عملية الانشطار وسيلة فعالة جدًا لتوليد الطاقة، فالطاقة المتولدة من قطعة يورانيوم بحجم أنملة الإصبع تعادل الطاقة الناتجة عن 480 لتر من النفط، أو طن واحد من الفحم.

وتُعد الطاقة النووية من أكثر الوسائل الصديقة للبيئة المستعملة لتوليد الطاقة، نظرًا لأن المحطات النووية لا تحرق الوقود الأحفوري، وبالتالي لا تنتج انبعاثات ضارة بالبيئة.

5.3.5 مميزات الطاقة النووية

تتميز الطاقة النووية بعدة مميزات منها سهولة توفير المواد المستعملة في المفاعلات النووية وهي عنصر اليورانيوم المشع وسهولة نقلها بخلاف مواد النفط الخام والفحم التي تحتاج إلى صعوبة في استخراجها من باطن الأرض وتكريرها ونقلها، كما أنّ المفاعلات النووية لا تحتاج إلى مساحة كبيرة كحال مشاريع توليد الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح، كما أنّ الطاقة النووية التي يتم إنتاجها من طن واحد من اليورانيوم تعادل ملايين الأضعاف من الطاقة التي تنتج من قبل النفط أو الفحم، كما لا تسبب الطاقة النووية انبعاث المواد المضرّة بالبيئة مثل ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت التي تنتج عن احتراق النفط والفحم وما يسببه ذلك من مشاكل الاحتباس الحراري والمطر الحامضي وغير ذلك.

6.3.5 مساوئ استخدام الطاقة النووية

ان مساوئ الطاقة النووية معروفة، وأهمها المخاوف من تسرب الإشعاعات النووية من المفاعلات النووية، كما أنّ هناك صعوبة في التخلص من النفايات النووية لذلك تلجأ الدول المتقدمة إلى دفنها في طبقات جيولوجية حتى لا يصل تأثيرها إلى الإنسان .

4.5 انتاج الوقود Fuel Production

كما مر في تعريف الوقود هو المادة التي تحترق لإنتاج الطاقة لذلك يتم انتاج مواد الوقود الذي يستعمل في محركات السيارات المكائن وفي محطات انتاج الطاقة الكهربائية من عدة مصادر أهمها :

1- مصافي النفط : إذ تنتج انواع مختلفة من الوقود بتكرير النفط الخام إلى المشتقات المكونة من مقاطع تحتوي عدد من المركبات الهيدروكربونية لتركيبات الغاز والكازولين (وقود محركات السيارات) و الكيروسين (وقود محركات الطائرات و التدفئة) و زيت الغاز (وقود محركات الديزل).



الشكل (5-18) انتاج الوقود في المصافي النفطية

2- حقول انتاج الغاز الطبيعي: إذ يوجد الغاز بشكل حقول في باطن الارض اسوة بالنفط الخام ويتم انتاج الغاز الطبيعي من هذه الحقول وهو من المصادر المهمة لتزويد العالم بالوقود .



الشكل (5-19) استخراج الغاز

3- الوقود الحيوي : وينتج هذا النوع من الوقود بعمليات صناعية تجري على انواع من الزيوت النباتية لتحويلها إلى وقود يستعمل في المحركات.

4- مصادر أخرى : في الوقت الحالي تمكنت بعض الدول من انتاج الوقود من مصادر غير النفط الخام مثل النفط الصخري أو تصنيع غاز الميثان من النفايات او اللجوء إلى انتاج الطاقة من الطبيعة كالطاقة الشمسية أو الرياح أو امواج البحر.



الشكل (5-20) استخراج النفط

5- الوقود النووي: وينتج من العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم ذات عمر النصف الطويل بعد معالجته في المفاعلات النووية ليولد الاشعاعات المنتجة للحرارة المرتفعة التي تستعمل بدلا من حرق الوقود النفطي.

5.5 مضافات الوقود Fuel Additives

من اهم المنتجات التي تستعمل لها المضافات بشكل واسع الكازولين وزيت الغاز .

اولاً :- الكازولين Gasoline :

وتستعمل له العديد من المضافات ومن اهمها :

1 - محسنات العدد الاوكتاني :

ظهر مفهوم العدد الاوكتاني مع ظهور محركات الاحتراق الداخلي بالشرارة وخاصة في الفترة بين عام 1910 - 1930 بعد ملاحظة ظاهرة الفرقعة او القرقة والنتيجة عن احتراق مزيج الوقود والهواء ذاتيا قبل انطلاق الشرارة . ولهذا اصبح التوجه لمنع هذه الظاهرة لما تسببه من اضرار في محرك السيارة وذلك عن طريق تحسين خصائص الوقود الاحتراقية ومنعه من الاشتعال الذاتي بسبب الضغط الشديد باستعمال مركبات تعمل على رفع العدد الاوكتاني ومن اهم هذه المركبات :

أ - رابع اثيلات الرصاص TEL

وهي مركبات لها تأثيراً كبيراً لمنع القرقة لما لها من خاصية الاكسدة البطيئة. ان هذه المواد ذات تأثير سيئ على البيئة وصحة الانسان بشكل خاص مسببة العديد من الامراض ومنها السرطانية لذلك توقف العمل بها الا بنسب ضئيلة وتم ايجاد بدائل لها.

ب - المركبات الاوكسجينية (الكحولات والايثرات) .

وهي من المضافات التي ترفع العدد الاوكتاني وتقلل من ظاهرة القرقة في محرك السيارة ، ومن هذه المواد الميثانول والايثانول وغيرها.

هناك طرق صناعية متقدمة تسعى إلى انتاج كازولين عالي الاوكتان دون اللجوء إلى مضافات ومن هذه الطرق :-

1 - عمليات الازمرة: يتم تحويل السلاسل الهيدروكاربونية الطويلة إلى متفرعة مما يحسن من نوعية الوقود.

2 - عمليات الالكلية: يتم اضافة جزئ هيدروكاربوني بتفاعلات كيميائية لإنتاج مركبات متفرعة تزيد من العدد الاوكتاني للوقود.

3 - تكسير الجزيئات بوجود الهيدروجين: ضمن عمليات كيميائية تحت ظروف خاصة يتم تكسير الجزيئات الهيدروكاربونية ذات السلاسل الطويلة ويتم اشباعها بوجود الهيدروجين لتحسين نوعية الوقود.

2 - مانع الانجماد Anti-freezing

ترتبط ظاهرة الانجماد بشكل رئيسي مع السيارات ذات المحركات القديمة ويحدث الانجماد من تكثف الرطوبة في الهواء في منظومة ضخ الوقود اثناء الجو البارد وتسبب عدم عمل المحرك ولمنع هذه الظاهرة تضاف مواد مخفضات درجة الانجماد ومواد فعالة السطح.

أ - مخفضات درجة الانجماد :

هي مركبات قطبية ذات وزن جزيئي واطئ مثل الكحولات والكلايكولات لها القابلية للذوبان في الماء وبالتالي تخفض درجة انجماده ، ويعتبر الكحول الايزوبروبيلي وثنائي بروبيلين كلايكل من المواد المميزة للاستخدام.

ب - مواد فعالة السطح :

وهي مواد تشابه في عملها مانعات التآكل إذ تشكل طبقة على سطح المعدن تمنع وصول الماء اليه وبذلك عندما يتجمد الماء لا تلتصق بلوراته على سطح المعدن وبذلك لا يتجمع الثلج في منظومة ضخ الوقود .

وتوجد هناك مضافات اخرى مثل مانعات التآكل ، منظفات الكاربوريتر ، مانع تلف الحاقن .

ثانياً : مضافات زيت الغاز

يتم الاحتراق في مكائن الديزل وفق مبدأ الاشتعال الانضغاطي والذي يؤدي فيه انضغاط الهواء السريع داخل الاسطوانة تولد الحرارة المطلوبة لاشتعال الوقود (زيت الغاز) . ويُعد العدد السيتاني المقياس العالمي المقبول لمواصفات الاشتعال لزيت الغاز .

تُعد القطعة النفطية التي تغلي ما بين 180 – 370 سيليزية كوقود زيت الغاز المقطر الذي يتميز بمواصفات اشتعال جيدة في محركات الديزل ، وهناك مضافات لتحسين نوعية الوقود منها:

1 - محسنات العدد السيتاني

هي مركبات تتفكك بسهولة لتعزيز سرعة ابتداء الاحتراق ومن هذه المركبات نترات الالكيل، نترات الايثر ، وهي مواد ذات كلفة واطئة وسهلة التداول وذات اهمية تجارية كبيرة .

2 - منظفات الديزل

من الأمور المهمة لاحتراق الوقود هو تبخره ومزجه مع الهواء بشكل جيد للحصول على اداء جيد وللوصول إلى هذا الاداء الجيد يجب ان تكون منظومة حقن الوقود خالية من الترسبات ، وتنتج الترسبات الفحمية من نشوء الصمغ او منتجات التفكك الراتنجية في منظومة الحقن. ومن اهم هذه المواد المستخدمة الامينات مثل امين البولي الكاينيل. وتنظف هذه المواد عن طريق تشكل غشاء على السطوح يمنع التصاق الفحم او تشتيت الفحم بواسطة مواد بوليمرية تمنع تكثف الدقائق وابقائها منتشرة او اذابة الترسبات.

3 - مخمدات دخان الديزل :

من الاسباب الرئيسية في انبعاث الدخان من العادم هو الصيانة الرديئة لمرشحات الهواء أو حاقنات الوقود ، وينتج عن ذلك بصورة رئيسة دخان يتكون من دقائق الكربون لذلك تستعمل المواد المخمدة للدخان هي مركبات عضوية فلزية تحتوي على المنغنيز، أو الحديد، أو الباريوم .

وتوجد هناك مضافات اخرى مثل محسنات الجريان ، مانع الرغوة ، المضادات للكهربائية الساكنة .

6.5 خزانات الوقود Fuel Storages

تختلف خزانات الوقود من إذ الحجم والنوع باختلاف الغرض ونوع الوقود إذ تكون ذات احجام صغيرة مثل خزان السيارة، او قنينة الغاز المنزلية، أو تكون ذات احجام كبيرة كما هي في خزانات المنتجات في المصافي ومعامل الغاز.

يراعى في اختيار نوع الخزان الضغط البخاري للوقود وطبيعة الوقود ومن الانواع المستعملة في الصناعة النفطية:

1- **الخزان ذو السقف الثابت:** يستعمل للمنتجات المستقرة كالكيروسين والديزل والتي لا تتبخر بدرجات الحرارة الاعتيادية في الصيف بشكل كبير.



الشكل (5-21) خزان ذو سقف ثابت

2- **الخزان ذو السقف العائم او المتحرك** تستعمل للمنتجات الخفيفة كالكازولين التي تتبخر بشكل كبير للمحافظة على ضغط المواد داخل الخزان.



الشكل (5-22) خزان متحرك

3- **الخرانات الكروية** : تستعمل لخزن الغازات لكون شكلها الكروي يتحمل الضغوط العالية التي تسلط على الغاز اثناء الخزن.



الشكل (5-23) الخزان الكروي

7.5 استهلاك الوقود عالمياً:

ان الغاية الاساسية من انتاج الوقود بأنواعه المختلفة هي انتاج الطاقة اللازمة لحركة وسائل النقل المتمثلة بالسيارات والطائرات والبواخر كذلك لإنتاج الكهرباء وتشغيل المصانع. ويختلف استهلاك الوقود من دولة إلى اخرى بحسب حجم السكان ومستوى المعيشة وعادة يزداد استهلاك الوقود في الدول المتقدمة ويمكن معرفة مؤشر الاستهلاك من حاجة الدول إلى النفط الذي يُعد من اهم مصادر الوقود إذ نجد في المركز الأول تأتي الولايات المتحدة بأكثر من 20 مليون برميل يومياً – أكثر من ضعف إنتاجها ، وتليها الصين بحوالي 10 ملايين برميل يومياً"، بينما تأتي اليابان في المركز الثالث ثم الهند في المرتبة الرابعة طبقاً لإحصاءات عام 2012. وفي العراق يصل الاستهلاك اليومي بحدود 850 ألف برميل يومياً بحسب احصائيات عام 2011.

اسئلة الفصل

1. عرف الوقود وعدد انواعه؟
2. ماهي مصادر الوقود؟
3. ماهي فوائد الوقود؟
4. عدد انواع الوقود الغازي؟
5. كيف يتم تصدير الغاز؟
6. ماهي مساوئ استخدام الطاقة النووية؟
7. لماذا تستخدم المضافات لوقود الكازولين؟
8. ماهي المضافات لوقود الديزل؟
9. ماهي عملية الازمرة؟
10. عدد انواع خزانات الوقود؟
11. لماذا يخزن الغاز في الخزان الكروي؟
12. كيف يستدل على استهلاك الوقود؟
13. ماهي الظواهر البيئية الناتجة من احتراق الوقود؟

الفصل السادس

الاحتراق Combustion

اهداف الفصل

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على ان:

- 1- يفهم عملية الاحتراق .
- 2- يتعرف على المواد المتفاعلة والمواد الناتجة من تفاعل الاحتراق .
- 3- يصنف الاحتراق .
- 4- يتعرف على المعادلات الكيميائية لتفاعلات الاحتراق .
- 5- يفهم النسبة المولية والنسبة الكتلية .
- 6- يعرف كمية الهواء النظرية اللازمة للاحتراق التام وطرق حسابها .
- 7- يفهم نسبة (الهواء/ الوقود) النظرية وطرق حسابها .
- 8- يفهم القيمة الحرارية للوقود وكيفية حسابها.
- 9- يتعرف على احتراق الوقود الصلب ، السائل ، الغازي

1.6 تمهيد Preface

الاحتراق تفاعل كيميائي طارد للحرارة وخصوصا عند اكسدة الوقود (تفاعل الوقود مع الاوكسجين) .ان من اهم استعمالات تفاعل الاحتراق هي توليد الطاقة للنقل البري والبحري، والجوي ودفع المركبات الفضائية إلى اعماق الفضاء فضلاً عن التدفئة، وتقنيات اخرى تصب في خدمة الانسان. ينبعث عن تفاعل الاحتراق الحرارة والضوء وهما من ابرز السمات التي تدل على حدوثه وقد يكون الاحتراق مرغوباً فيه او غير مرغوباً فيه ويحدث هذا التفاعل (الاحتراق) بسرعات مختلفة وان عملية بدء الاحتراق قد تتحقق عن طريق الاشتعال الذاتي او الاشتعال بمؤثر خارجي.

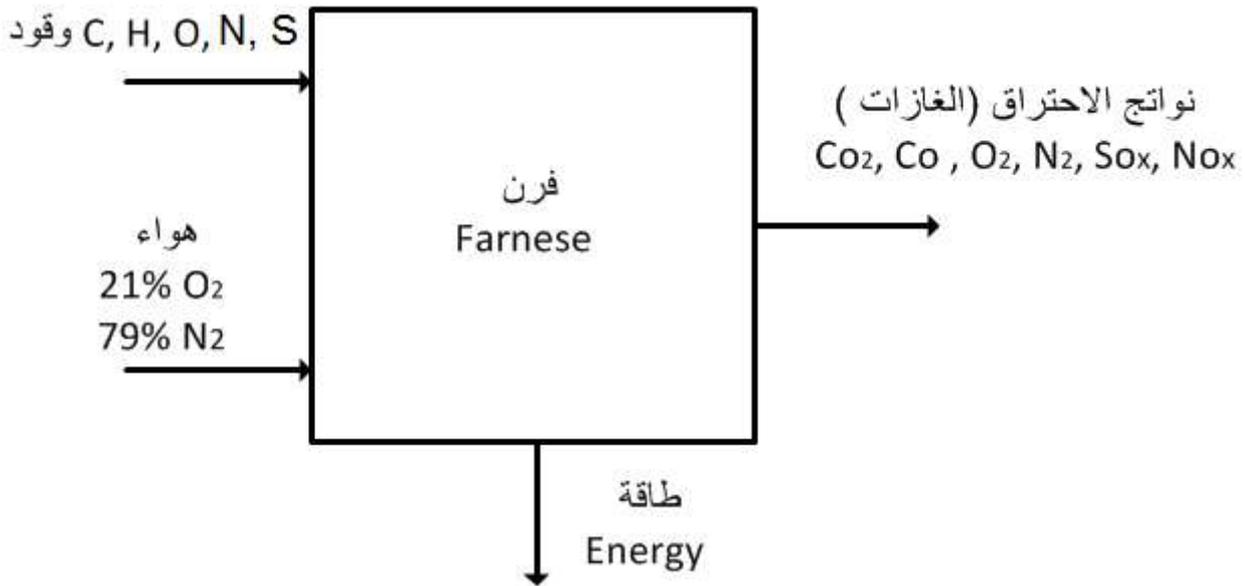
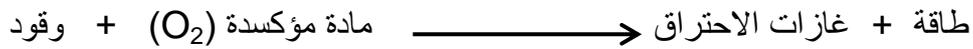
الوقود المستهلك في تفاعل الاحتراق يمكن ان يكون وقود صلب كالفحم والخشب، ووقود سائل كالنفط ومشتقاته او وقود غازي كالغاز الطبيعي و الهيدروجين وغالباً ما تكون المادة المؤكسدة المستعملة في تفاعل الاحتراق هي الاوكسجين الذي يشكل نسبة 21% من الهواء الجوي. غالباً ما يتكون الوقود من الكربون و الهيدروجين بصورة رئيسية اضافة إلى عناصر اخرى مثل الاوكسجين و النيتروجين والكبريت و مواد اخرى غير قابلة للاحتراق كالرماد (Ash) الذي يتواجد في الوقود الصلب بنسب مختلفة، وكلما انخفضت نسبته في الوقود كان الوقود اجود.

يرافق تفاعل الاحتراق انبعاث مواد عده تختلف باختلاف الوقود المستعمل وكمية الاوكسجين، لكن غالباً ما تكون ثاني اوكسيد الكربون (CO_2)، اول اوكسيد الكربون (CO)، اكاسيد النيتروجين (NO_x)، اكاسيد الكبريت (SO_x)، الهيدروكربونات غير المحترقة، الكربون الاسود وملوثات اخرى كالأوزون (O_3). ان لهذه المواد المنبعثة عن تفاعل الاحتراق اضرار سلبية من ابرزها هي الامطار الحامضية، تغير المناخ والاحتباس الحراري فضلا عن الاضرار بالبيئة وصحة الانسان.

لحد من انبعاث الملوثات الضارة في الهواء يجب القيام بعدة تدابير قبل عملية الاحتراق مثل اختيار الوقود الجيد الذي يكون فيه محتوى الكبريت منخفض وتحسين عملية الاحتراق باستخدام تقنيات أكثر كفاءة تؤدي إلى اتمام عملية الاحتراق كما ويمكن القيام بتدابير أخرى بعد عملية الاحتراق كمعالجة نواتج الاحتراق قبل طرحها إلى البيئة كما في غاز المداخن وعوادم السيارات.

2.6 تعريف الاحتراق Combustion Definition

الاحتراق تفاعل كيميائي بين مادة تسمى (الوقود) ومادة مؤكسدة غالباً ما تكون الاوكسجين O_2 و مصدره الهواء الجوي ويكون هذا التفاعل طارد للحرارة يحرر الطاقة فضلاً عن غازات الاحتراق. يبين الشكل (1-6) المواد المتفاعلة ونواتج الاحتراق :



الشكل (1-6) مخطط يبين المواد المتفاعلة ونواتج تفاعل الاحتراق

ان الطاقة المتحررة من الوقود تنتقل إلى محيط التفاعل بصورة مباشرة او قد تبقى مخزونة في نواتج الاحتراق بصيغة طاقة داخلية وقد تكون مزيج من كلتا الحالتين. تقيم كفاءة الوقود اعتماداً على كمية الحرارة، او الطاقة التي يحررها لكل وحدة كتلة، أو لكل مول من الوقود عن طريق عملية الاحتراق، وتعرف كفاءة الوقود بـ (حرارة التفاعل) او (القيمة الحرارية للوقود).

تقاس حرارة التفاعل بجهاز يسمى (المسعر الحراري Calorimeter) وهو عبارة عن جهاز يستعمل في المختبرات الكيميائية لقياس كمية الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية فضلاً عن قياس الحرارة النوعية للمواد وذلك عن طريق التبادل الحراري .

3.6 المواد المتفاعلة والمواد الناتجة من تفاعل الاحتراق : Reactants and Products of Combustion Reaction

تفاعل الاحتراق مثل اي تفاعل كيميائي يبدأ بمواد متفاعلة ثم يحدث التفاعل بوجود مصدر لهب ويكون سريعاً جداً مؤدياً إلى تكون نواتج تختلف باختلاف الوقود المستعمل.

في تفاعل الاحتراق تكون المواد المتفاعلة عبارة عن:

1- الوقود : وهو المادة المشتعلة التي تحرر الطاقة وهو اما ان يكون صلب كالفحم، والخشب او سائل كوقود الديزل، والكيروسين او غازي كغاز الميثان والغاز الطبيعي .

2- المادة المؤكسدة : غالباً ما تكون الاوكسجين الجوي (O_2) والذي يشكل (21%) من الهواء الجوي، اما النسبة المتبقية من الهواء (79%) فهي غاز النتروجين (N_2) اي ان لكل جزء واحد من الاوكسجين يقابله (3.76) من النتروجين.

اما المواد الناتجة من تفاعل الاحتراق فهي تختلف باختلاف نوع الوقود وكمية الاوكسجين المتوفرة للتفاعل فاذا كان التفاعل تام (وجود كمية كافية من الاوكسجين) تكون النواتج بخار الماء (H_2O) وغاز ثاني اوكسيد الكربون (CO_2) اما اذا كان التفاعل غير تام (لا توجد كمية كافية من الاوكسجين) فان نواتج التفاعل تكون بخار الماء (H_2O) وغاز ثاني اوكسيد الكربون (CO_2) والوقود غير المتفاعل وغاز اول اوكسيد الكربون (CO) وهو غاز سام مضر بالبيئة فضلاً عن غاز الهيدروجين (H) وعنصر الكربون (C) .

اذا كان الوقود حاويًا على الكبريت (S) والنتروجين (N) فان نواتج التفاعل ستحتوي على اوكسيد الكبريت (SO_x) واكاسيد النتروجين (NO_x) فضلاً إلى غاز النتروجين (N_2) إذ يشكل النسبة الكبرى من الهواء الجوي المستعمل في التفاعل وهو غاز خامل لا يدخل في التفاعل.

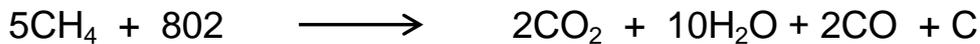
4.6 تصنيف الاحتراق

اعتماداً على كمية الاوكسجين المتوفرة للتفاعل يصنف الاحتراق إلى نوعين هما :

1- الاحتراق التام : وهو الاحتراق الذي يكون فيه الاوكسجين كافياً للاندماج مع كل ذرات الكربون والهيدروجين ليكون الناتج بخار الماء (H_2O) وثاني اوكسيد الكربون (CO_2) فقط ويكون لون اللهب أزرق غير متوهج كما في المعادلات التالية:



2- الاحتراق غير التام : هو الاحتراق الذي لا يكون فيه الاوكسجين كافياً للاندماج مع كل ذرات الكربون والهيدروجين لتكون النواتج بخار الماء (H_2O) وثاني اوكسيد الكربون (CO_2) و هباب الفحم او الكربون (C) و احادي اوكسيد الكربون (CO) وهو غاز خطير جداً إضافة إلى الوقود الغير متفاعل ويكون لون اللهب اصفر متوهج كما في المعادلات التالية:

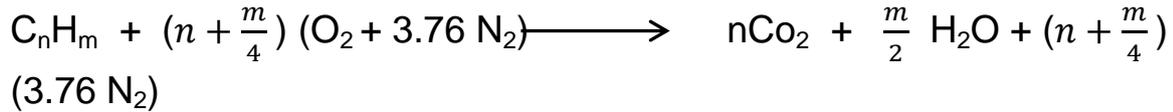


5.6 المعادلات الكيميائية لتفاعل الاحتراق: Chemical equations of Combustion

ان الاحتراق التام لوقود هيدروكربوني بسيط ينتج بخار ماء وثاني اوكسيد الكربون كما في المعادلة العامة التالية لوقود صيغته (C_nH_m) اذا كان الاحتراق بوجود الاوكسجين فقط ، تكون معادلة التفاعل كما يأتي :



اما اذا كان الاحتراق في الهواء الجوي فتكون معادلة التفاعل كما يأتي :

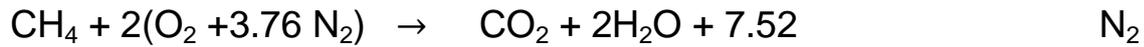


إذ (n) هو عدد ذرات الكربون في الوقود و (m) هو عدد ذرات الهيدروجين في الوقود

مثال :



احتراق الميثان بوجود الاوكسجين
اما اذا كان الاحتراق في الهواء الجوي



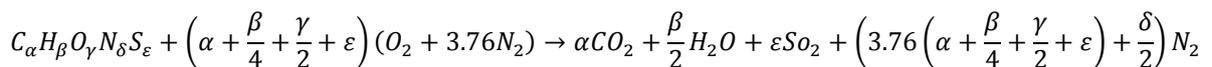
لكن حتى في الحالات المثالية للاحتراق التام تكون نواتج عملية الاحتراق حاوية على عناصر ومركبات غير بخار الماء وثاني اوكسيد الكربون ويعزى ذلك إلى عدة اسباب :

1- يكون الاحتراق عادة في الهواء الجوي وليس في الاوكسجين النقي وهذا يعني اشتراك النتروجين في التفاعل ما يؤدي إلى ظهور اوكاسيد النتروجين (NO_x) كنواتج عرضية لعملية الاحتراق خاصة عندما يحدث الاحتراق في درجات حرارة عالية.

2- الوقود عادة لا يحتوي على الكربون و الهيدروجين فقط بل يحتوي على عناصر اخرى مثل الكبريت ما يؤدي إلى ظهور اوكاسيد الكبريت (SO_x) كنواتج عرضية لعملية الاحتراق.

3- عملية الاحتراق لا تكون تامة دائما لذا تحتوي نواتج الاحتراق على وقود غير محترق او محترق جزئيا وكربون وهيدروجين غير متفاعلين.

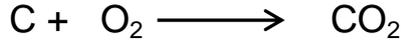
يمكن صياغة معادلة عامة لاحتراق وقود يحتوي على الكربون والهيدروجين والاكسجين والنيتروجين والكبريت عندما يكون الاحتراق في الهواء الجوي بالصيغة التالية:



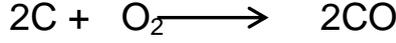
إذ α : عدد ذرات الكربون ، β : عدد ذرات الهيدروجين ، γ : عدد ذرات الاوكسجين ، δ : عدد ذرات النتروجين و ϵ : عدد ذرات الكبريت في الوقود

اما معادلات احتراق العناصر بوجود الاوكسجين فهي:

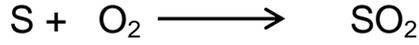
1- احتراق الكربون ليكون ثاني اوكسيد الكربون



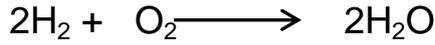
2- احتراق الكربون ليكون اول اوكسيد الكربون



3- احتراق الكبريت ليكون ثاني اوكسيد الكبريت



4- احتراق الهيدروجين ليكون بخار الماء



6.6 النسبة المولية والنسبة الكتلية: Mole and Mass Fraction

ان كمية المواد المتفاعلة والنتيجة لأي تفاعل يتم تمثيلها بالكتلة (m) او عدد المولات (n) . ويعرف المول على انه كتلة المادة المكافئة لوزنها الجزيئي ، وفي الجدول ادناه الوزن الجزيئي لعدد من المواد

المادة	الوزن الجزيئي M_{wt} (Kg/Kmole)	المادة	الوزن الجزيئي M_{wt} (Kg/Kmole)
C	12	S	32
N ₂	28	H ₂	2
O ₂	32		

ويتم غالباً وصف مكونات اي خليط من المواد اما بواسطة النسبة المولية (mole fraction) او النسبة الكتلية (mass fraction) ويمكن حسابهما كما يلي:

$$m_{fi} = \frac{m_i}{m} \quad (1 - 6)$$

إذ ، m_{fi} هي النسبة الكتلية للمادة و m_i هي كتلة المادة و m هي مجموع كتل المواد المكونة للخليط

$$X_i = \frac{n_i}{n} \quad (2 - 6)$$

إذ X_i هي النسبة المولية للمادة و n_i هي عدد مولات المادة و n هي مجموع عدد مولات المواد المكونة للخليط

ويمكن حساب النسبة الكتلية لأي مادة بالاعتماد على النسبة المولية والوزن الجزيئي لمواد الخليط كما في المعادلة التالية

$$m_{fi} = \frac{X_i M_{wti}}{X_1 M_{wt1} + X_2 M_{wt2} + \dots} \quad (3 - 6)$$

إذ m_{fi} هي النسبة الكتلية و X_i هي النسبة المولية و M_{wti} هو الوزن الجزيئي

ان مجموع النسب المولية لمواد اي خليط يساوي (1) وكذلك فان مجموع النسب الكتلية لمواد اي خليط يساوي (1) .

مثال(1):

احسب النسبة الكتلية لنواتج غازات الاحتراق اذا علمت ان كتلة كل مادة هي $\text{Co}_2 = 5 \text{ kg}$ و $\text{N}_2 = 27 \text{ kg}$ و $\text{H}_2\text{O} = 39 \text{ kg}$
الحل:

$$m_{fi} = \frac{m_i}{m}$$

$$m_{f\text{co}_2} = \frac{5}{5 + 27 + 39} = 0.07$$

$$m_{f\text{N}_2} = \frac{27}{5 + 27 + 39} = 0.38$$

$$m_{f\text{H}_2\text{O}} = \frac{39}{5 + 27 + 39} = 0.55$$

وللتحقق ($0.07+0.38+0.55=1$)

مثال (2):

احسب النسبة المولية لنواتج غازات الاحتراق اذا علمت ان عدد مولات كل مادة هي:

$$\text{H}_2\text{O} = 85 \text{ و } \text{N}_2 = 55 \text{ و } \text{CO}_2 = 10$$

الحل:

$$X_i = \frac{n_i}{n}$$

$$X_{\text{co}_2} = \frac{10}{10 + 55 + 85} = 0.066$$

$$X_{\text{N}_2} = \frac{55}{10 + 55 + 85} = 0.367$$

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{85}{10 + 55 + 85} = 0.567$$

للتحقق ($0.066 + 0.367 + 0.567 = 1$)

مثال (3):

احسب النسبة الكتلية لمكونات غازات الاحتراق اذا علمت ان النسب المولية للمواد هي:

$$\text{H}_2\text{O} = 0.55 \quad \text{و} \quad \text{N}_2 = 0.38 \quad \text{و} \quad \text{CO}_2 = 0.07$$

$$m_{fi} = \frac{X_i M_{wti}}{X_1 M_{wt1} + X_2 M_{wt2} + \dots}$$

$$m_{f\text{CO}_2} = \frac{0.07 (44)}{0.07 (44) + 0.38 (28) + 0.55 (18)} = 0.1304$$

$$m_{f\text{N}_2} = \frac{0.38 (28)}{0.07 (44) + 0.38 (28) + 0.55 (18)} = 0.4505$$

$$m_{f\text{H}_2\text{O}} = \frac{0.55 (18)}{0.07 (44) + 0.38 (28) + 0.55 (18)} = 0.4191$$

$$(0.1304 + 0.4504 + 0.4191 = 1) \text{ للتحقق}$$

7.6 كمية الهواء النظرية اللازمة للاحتراق التام : Theoretical air Required for Complete Combustion

تبين لنا مما سبق بان الاحتراق عملية حرق لأي مادة قابلة للاحتراق بوجود الاوكسجين لتحرير طاقة ولتحقيق احتراق تام ذو كفاءة عالية من الضروري ان تكون كمية الاوكسجين كافية لإتمام التفاعل . ان المواد القابلة للاحتراق التي يحتويها الوقود بصورة رئيسية هي الكربون C والهيدروجين H والكبريت S والاكسجين O ، ويحتوي الوقود كذلك على مواد اخرى غير قابلة للاحتراق مثل النتروجين N₂ وثاني اوكسيد الكربون CO₂ والرماد Ash وهذه المواد لا تستهلك الاوكسجين في تفاعل الاحتراق لذا يتم اخذ المواد القابلة للاحتراق فقط بنظر الاعتبار عند حساب كمية الهواء اللازمة لتحقيق تفاعل تام . يمكن حساب كمية الهواء النظرية (Air)_{theo} اللازمة لاحتراق كيلوغرام واحد من الوقود من المعادلة الاتية :

$$(Air)_{theo} = \frac{100}{21} \left[\frac{32}{12 C} + 8 \left(H - \frac{O}{8} \right) + S \right] Kg \quad (4 - 6)$$

في هذه المعادلة تم اعتبار ان النسبة المئوية للأوكسجين في الهواء الجوي (21%)

ويمكن حساب كمية الاوكسجين النظرية (O₂)_{theo} اللازمة للتفاعل من المعادلة التالية :

$$(O_2)_{theo} = \frac{32}{12 C} + 8 \left(H - \frac{O}{8} \right) + S \quad Kg \quad (5 - 6)$$

إذ أن (C,H,O and S) هي النسبة المئوية لكل من الكربون والهيدروجين والاكسجين والكبريت في الوقود على التوالي.

مثال (4)

احسب كمية الهواء النظرية وكمية الاوكسجين النظرية اللازمة لحرق كيلوغرام واحد من الوقود اذا علمت انه يحتوي على (C= 85% , H=8% , O= 5% , S= 2%)
الحل:

$$(Air)_{theo} = \frac{100}{21} \left[\frac{32}{12 C} + 8 \left(H - \frac{O}{8} \right) + S \right] Kg$$

$$(Air)_{theo} = \frac{100}{21} \left[\frac{32}{12 (0.85)} + 8 \left(0.08 - \frac{0.05}{8} \right) + 0.02 \right] Kg$$

$$(Air)_{theo} = 17.84 Kg$$

$$(O_2)_{theo} = \frac{32}{12 C} + 8 \left(H - \frac{O}{8} \right) + S \quad Kg$$

$$(O_2)_{theo} = \left[\frac{32}{12 (0.85)} + 8 \left(0.08 - \frac{0.05}{8} \right) + 0.02 \right] Kg$$

$$(O_2)_{theo} = 3.75 Kg$$

اذا لحرق (1 Kg) من هذا الوقود نحتاج إلى (17.84 Kg) من الهواء الجوي او (3.75 Kg) من الاوكسجين النقي.

8.6 نسبة (الهواء/ الوقود) النظرية Theoretical (Air/Fuel) Ratio

من العوامل المهمة الواجب معرفتها في تفاعل الاحتراق هي كم من الاوكسجين يجب ان يتم تزويده إلى التفاعل لضمان احتراق تام لكمية معينة من الوقود. كما ان هذه المعلومة مهمة في تصميم اجهزة ضخ الهواء والقنوات التي تنقله إلى معدات الاحتراق.

ان نسبة (الهواء/ الوقود) النظرية $(A/F)_{theo}$ او نسبة (الاوكسجين/ الوقود) النظرية $(O/F)_{theo}$ اللازمة لتحقيق احتراق تام يمكن حسابها عن طريق الوزن الجزيئي لكل من المادة المحترقة (الوقود) والمادة المؤكسدة (الاوكسجين) اعتماده على معادلة التفاعل الكيميائي.

مثال (5)

احسب نسبة (الهواء/ الوقود) ونسبة (الايوكسجين / الوقود) لتفاعل احتراق الميثان.

الحل:



$$(A/F)_{theo} = \frac{[2(32) + 2(3.76)(28)]}{12 + 4} = 17.16$$

$$(O/F)_{theo} = \frac{2(32)}{12 + 4} = 4$$

من المعادلتين أعلاه يتبين انه يجب توفير (4 Kg) من الاوكسجين او (17.16 Kg) من الهواء الجوي لضمان احتراق (1 Kg) من الميثان احتراقا تاما. اي انه اذا تم تجهيز التفاعل بهذه الكمية من الهواء او الاوكسجين ستكون نواتج الاحتراق هي (بخار الماء وثاني اوكسيد الكربون)، لكن اذا كانت كمية الاوكسجين او الهواء المجهزة للتفاعل اقل من ذلك ستكون نواتج الاحتراق هي (الكاربون و احادي اوكسيد الكربون و الهيدروجين) فضلاً عن البخار الماء وثنائي اوكسيد الكربون وبهذا يكون الاحتراق غير تام.

بما ان الهواء يكون مجاني عادةً وقيمة الوقود عالية لذا من الضروري حرق الوقود احتراقا تاما للاستفادة من طاقته الكلية وكذلك لضمان عدم تلوث المحيط بالغازات ذات التأثير السلبي على البيئة ويتحقق ذلك بتجهيز التفاعل بكمية اكبر (من الهواء او الاوكسجين) من القيمة النظرية التي تم حسابها اعتماداً على معادلة التفاعل وهذا ما يسمى (التشغيل بوجود زيادة من الهواء) (Excess Air) ويمكن حساب نسبة (الهواء / الوقود) الحقيقية $(A/F)_{actual}$ من المعادلة التالية:

$$\% \text{ Excess Air} = 100 \left[\frac{(A/F)_{actual} - (A/F)_{theo}}{(A/F)_{theo}} \right] \quad (6 - 6)$$

فلتفاعل احتراق الميثان السابق اذا تم تشغيل التفاعل بنسبة زيادة للهواء (%excess air) مقدارها 20% يمكن من المعادلة اعلاه حساب $(A/F)_{actua}$ الواجب تجهيزها للتفاعل

$$20 = 100 \left[\frac{(A/F)_{actual} - 17.16}{17.16} \right]$$

$$(A/F)_{actual} = 20.59$$

ادناه جدول يبين نسبة الهواء الزائد (% excess air) الواجب اعتمادها لتفاعل الاحتراق لبعض انواع الوقود

الجدول (1-6) نسبة الهواء الزائد لانواع من الوقود

الوقود	نسبة الهواء الزائد (%excess air) كنسبة وزنية
Pulvrised coal الفحم المسحوق	15 - 40 %
Crushed coal الفحم المجروش	10 - 15 %
Coal الفحم	30 - 60 %
Fuel oil الوقود السائل	5 - 10 %
Refinery gas غاز المصافي	5 - 10 %
Wood الخشب	20 - 25 %

9.6 القيمة الحرارية للوقود: Calorific value of the fuel

ان الهدف الاساسي من عملية الاحتراق هو الحصول على الطاقة الحرارية من المادة القابلة للاحتراق (الوقود) وتختلف الطاقة المتولدة اعتمادا على نوع الوقود وهذا ما يعرف بالقيمة الحرارية للوقود وهي الكمية الحرارية المنبعثة عند احتراق وحدة كتلية (او وحدة حجم) من الوقود احتراقا تاما تحت ظروف معلومة. ويمكن قياس القيمة الحرارية للوقود بعدة وحدات هي:

- 1- (Calorie) (سعرة): وهي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة ويرمز لها بالرمز (Cal.)
- 2- (Kilo Calorie) (كيلوسعرة) : وتعرف على انها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلوغرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة ويرمز لها بالرمز (Kcal.) اي ان (1Kcal = 1000 Cal)
- 3- B.T.U (وحدة حرارية بريطانية) : وهي وحد قياس في النظام الانكليزي وتعرف على انها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل واحد (ما يعادل 450 gm) من الماء درجة مئوية واحدة

$$1 \text{ B.T.U} = 252 \text{ Cal} = 0.252 \text{ Kcal}$$

$$1 \text{ Kcal} = 3.986 \text{ B.T.U}$$

ويمكن حساب نوعين من القيمة الحرارية للوقود هما:

- 1- القيمة الحرارية العليا (الاجمالية) ويرمز لها بالرمز (HCV)
- 2- القيمة الحرارية الدنيا ويرمز لها بالرمز (LCV)

1.9.6 القيمة الحرارية العليا (HCV) High Calorific Value :

ان جميع انواع الوقود تحتوي على الهيدروجين وعند عملية الاحتراق يتحول الهيدروجين إلى بخار ماء، فاذا ما تم تكثيف نواتج الاحتراق وتبريدها إلى درجة حرارة الغرفة فان الحرارة الكامنة لتكثيف بخار الماء سيتم حسابها وازادتها إلى كمية الطاقة المتحررة من الوقود لذا تعرف القيمة الحرارية العليا للوقود على انها "اجمالي كمية الحرارة الكلية المتولدة عن احتراق وحدة كتلية (او وحدة حجم) من الوقود احتراقا تاما عند تكثيف نواتج الاحتراق وتبريدها إلى درجة حرارة الغرفة"

يمكن حساب القيمة الحرارية العليا (HCV) للوقود من معادلة دولونك (Doulong's Formula)

$$HCV = \frac{1}{100} \left[8080 C + 34500 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2240 S \right] Kcal/Kg \quad (7 - 6)$$

إذ (C, H, O, S) هي النسبة المئوية لكل من الكربون والهيدروجين والاكسجين والكبريت في الوقود وفي هذه المعادلة تم اعتبار الاوكسجين على انه جزء من مركب يشكل مع الهيدروجين جزيئة ماء.

2.9.6 القيمة الحرارية الدنيا (LCV) Low Calorific Value :

عند استعمال الوقود لإنتاج الطاقة في الظروف الحقيقية لا يتم تكثيف وتبريد نواتج الاحتراق وبضمنها بخار الماء بل يسمح عادة لهذه الغازات بالتححرر إلى الجو ، ففي هذه الحالة لا يتم حساب الحرارة الكامنة لتبخر الماء مع كميات الطاقة الاخرى المتولدة عند احتراق الوقود لذلك يمكن تعريف القيمة الحرارية الدنيا(LCV) للوقود على انها "كمية الحرارة التي يتم انتاجها عند احتراق وحدة كتلية (او وحدة حجم) من الوقود احتراقا تاما دون تكثيف نواتج الاحتراق وتبريدها إلى درجة حرارة الغرفة"

ويمكن حساب القيمة الحرارية الواطئة (LCV) للوقود من معادلة دولونك (Doulong's Formula)

$$LCV = HCV - [0.09 H (587)] Kcal/Kg \quad (8 - 6)$$

إذ HCV هي القيمة الحرارية العليا للوقود نفسه و H هي نسبة الهيدروجين في الوقود

مثال (6):

احسب القيمة الحرارية العليا (HCV) والقيمة الحرارية الدنيا (LCV) لعينة من الفحم اذا علمت انها تحتوي على (C= 80% , H=7% , O= 3% , S=3.5 % , Ash = 6.5 %)
الحل

حساب القيمة الحرارية العليا (HCV)

$$HCV = \frac{1}{100} \left[8080 C + 34500 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2240 S \right] Kcal/Kg$$

$$HCV = \frac{1}{100} \left[8080 (80) + 34500 \left(7 - \frac{3}{8} \right) + 2240 (3.5) \right]$$

$$HCV = 8828 Kcal/Kg$$

ولحساب القيمة الحرارية الدنيا (LCV)

$$LCV = HCV - [0.09 H (587)] Kcal/Kg$$

$$LCV = 8828 - [0.09 (7) (587)]$$

$$LCV = 8458.2 Kcal/Kg$$

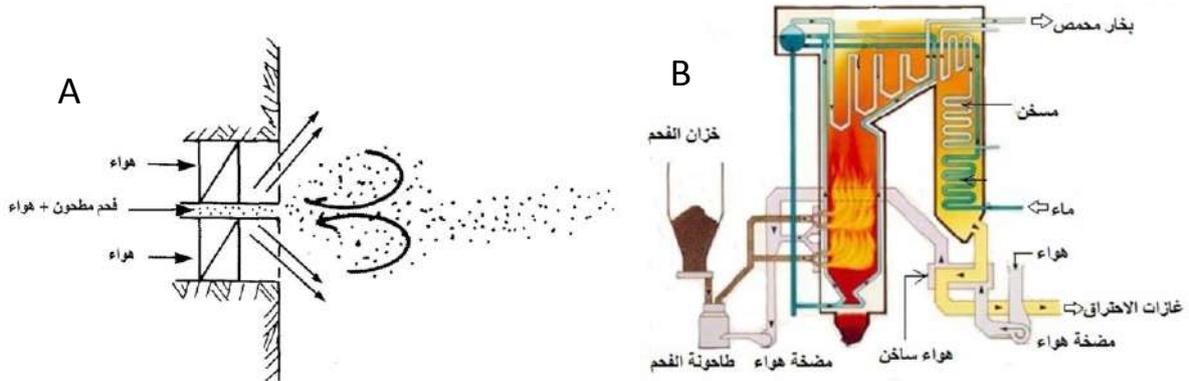
لا يتم ادخال نسبة الرماد (Ash) في حسابات الطاقة لأنها مادة غير قابلة للاحتراق وكلما كانت قيمتها اقل في الوقود كان الوقود افضل.

10.6 احتراق الوقود Fuel Combustion

1.10.6 احتراق الوقود الصلب : Combustion of Solid Fuel

الوقود الصلب هو مصطلح يطلق على مختلف الأنواع من المواد الصلبة المستعملة كوقود لإنتاج الطاقة و تستخرج هذه الطاقة عن طريق الاحتراق. تشمل أنواع الوقود الصلب الخشب والفحم بأنواعه و مخلفات الذرة و القمح والحبوب الأخرى. يتم حرق الوقود الصلب بواسطة العديد من أنظمة الاحتراق كما في المراحل المستعملة لتوليد الطاقة الكهربائية إذ يتم طحن الفحم إلى مسحوق ناعم يتراوح قطر حبيباته (50-200 μm) وهذا ما يسمى بالفحم المطحون (pulverized coal) ومن ثم يضح إلى غرفة الاحتراق على شكل رذاذ ثم يحرق بواسطة شرارة الاحتراق (ignition spark) كما موضح بالشكل (2-6)

اما في أنظمة الاحتراق للأغراض الصغيرة يمكن استعمال الابراج ذات الطبقة الثابتة (Fixed Bed) او الابراج ذات الطبقة المميعة (Fluidized Bed) وهذه الابراج لها القدرة على حرق حبيبات الفحم ذات الحجم الكبيرة ومؤخرا تم تطبيق تقنيات الاحتراق في هذه الابراج على الخشب والنفايات وانواع اخرى من الوقود الصلب.

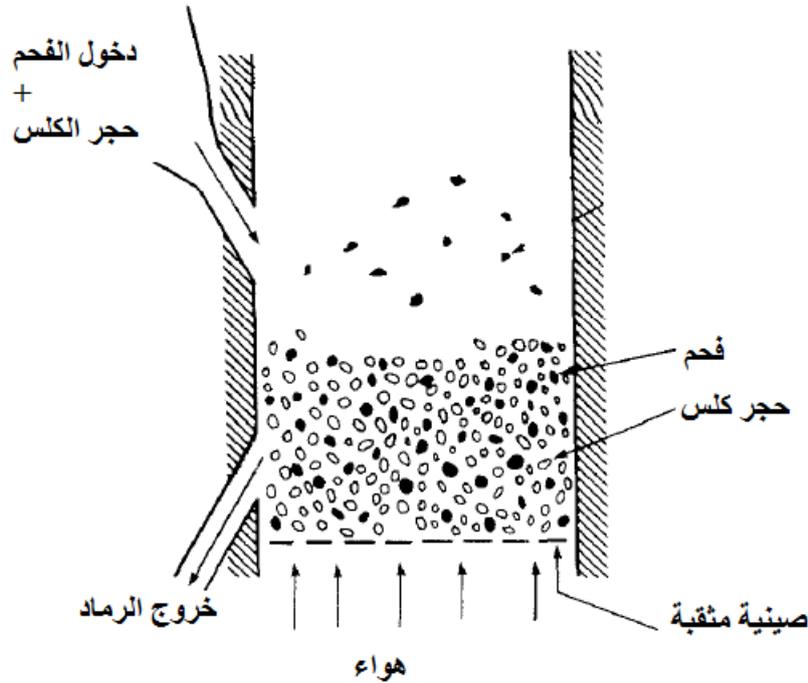


الشكل (2-6) (A) مخطط يوضح عملية ضخ الفحم المطحون إلى غرفة الاحتراق

(B) مخطط لمرجل بخاري في محطة توليد كهرباء يعمل بالفحم المطحون

في الابراج ذات الطبقة المميعة يتم تغذية البرج بكمية كافية من الهواء عبر صواني مثقبة اسفل البرج لتساعد على تطاير دقائق الوقود الصلب لتكون على شكل معلق (suspension) تبدو وكأنها سائل ومن ثم تتم عملية الاحتراق بواسطة شرارة الاشتعال كما موضح في الشكل (3-6). يتكون في هذه الابراج الرماد (Ash) كمخلفات لتفاعل الاحتراق وغالباً ما يتكثف ويتراكم ليشكل كتل قاسية

ولتفادي حصول كتل الرماد القاسية يتم خلط دقائق الوقود مع مواد غير قابلة للاحتراق مثل حجر الكلس (limestone) والتي تساعد على خفض درجة الحرارة داخل البرج وبالتالي عدم تشكل كتل الرماد القاسية.



الشكل (3-6) برج ذو الطبقة المميعة يستعمل في تفاعل احتراق الفحم

من المهم جدا تجهيز الابراج ذات الطبقة المميعة والابراج ذات الطبقة الثابتة بنسبة هواء زائدة (excess air) لضمان حصول احتراق تام ، ولكن يلاحظ وجود كل من الكربون والهيدروجين واول اوكسيد الكربون في نواتج الاحتراق عند استخدام الابراج ذات الطبقة الثابتة وذلك لان عملية الخلط بين الهواء وجزئيات الوقود في اعلى البرج لا تكون جيدة كما ان تجهيز كميات هواء اكثر من المسموح به تؤدي إلى تقليل كفاءة البرج الثابت لذلك يفضل استعمال الابراج ذات الطبقة المميعة التي تكون فيها عمليات الخلط جيدة في كل اجزاء البرج او استعمال انظمة احتراق الفحم المطحون (pulverized coal).

2.10.6 احتراق الوقود السائل : Combustion of Liquid Fuel

ان الوقود السائل عادة ما يتم ضخه إلى غرفة الاحتراق على شكل رذاذ مكون من قطرات صغيرة الحجم وبالنسبة للوقود الطيار (volatile fuel) مثل الكيروسين (kerosene) فإنه يتبخر بصورة كاملة قبل الاحتراق بينما الوقود الثقيل مثل الزيوت فإنه يتبخر بصورة جزئية قبل الاحتراق والجزء الباقي منه يتأكسد فيما بعد.

يعتمد احتراق رذاذ الوقود السائل على حجم قطرات الرذاذ وتطايرية الوقود (volatility). ان قطرات رذاذ الوقود تأخذ وقت محدد لكي تتبخر لذا فانه ليست كل كمية الوقود ستكون جاهزة لبدء تفاعل الاحتراق ولضمان حصول عملية التبخر لكل كمية الوقود يتم رفع درجة حرارة الوقود (T_i) لإيصاله إلى حرارة التبخر (T_s) كذلك تزويده بكمية من الحرارة تساوي الحرارة الكامنة للتبخير (L^-) وبذلك تكون الطاقة اللازمة للتبخير (q) لوحدة كتلة من الوقود :

$$q = Cp_f (T_s - T_i) + L^- \quad (9 - 6)$$

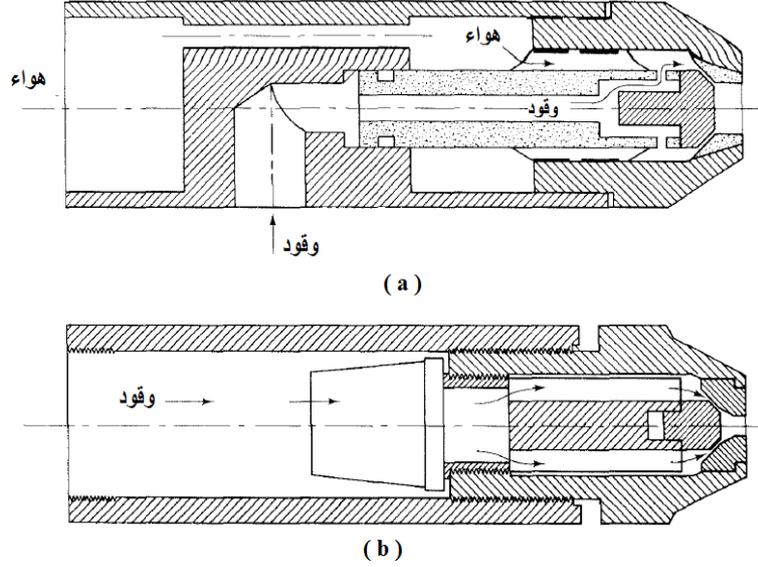
إذ Cp_f : الحرارة النوعية للوقود (specific Heat)

يتم تحول الوقود السائل إلى رذاذ بواسطة بخاخات خاصة (liquid fuel atomizer) وتعرف على انها "اداة لتحويل الوقود السائل إلى رذاذ وذلك بضخه عبر فتحة ذات قطر صغير بضغط عالي كما في بخاخ الضغط (pressure atomizer) او بسرعة عالية كما في بخاخ السرعة (air-assist atomizer) . وان هذين النوعين من البخاخات هما الاكثر استعمالا لكن هنالك بعض المحددات لاستعمالهما كالسرعة والضغط وكذلك انسداد الفتحة ذات القطر الصغير التي يمر عن طريقها الوقود بسبب وجود بعض المواد الصلبة التي تتراكم في هذه الفتحات مع مرور الزمن.

في بخاخ الضغط (pressure atomizer) الموضح في الشكل (4-6 b) يكون الضغط عالي يصل إلى اكثر من (50 atm) وهذا الضغط العالي يؤدي إلى زيادة في السرعة تصل إلى (100m/s) مما يؤدي إلى تكون قطرات رذاذ يبلغ قطرها (40µm) وفي بعض انظمة احتراق الوقود السائل تكون الحاجة إلى رذاذ ذو قطرات اصغر حجما (كما في محركات الديزل) فيمكن الحصول عليها بزيادة الضغط.

اما في بخاخ السرعة (air-assist) الموضح في الشكل (4-6 a) فتكون سرعة الهواء عالية لتحويل الوقود السائل إلى رذاذ ذو قطرات صغيرة الحجم يبلغ قطرها (4 µm) وفي هذا النوع من البخاخات تكون سرعة الهواء مقاربة لسرعة الصوت (330 m/s).

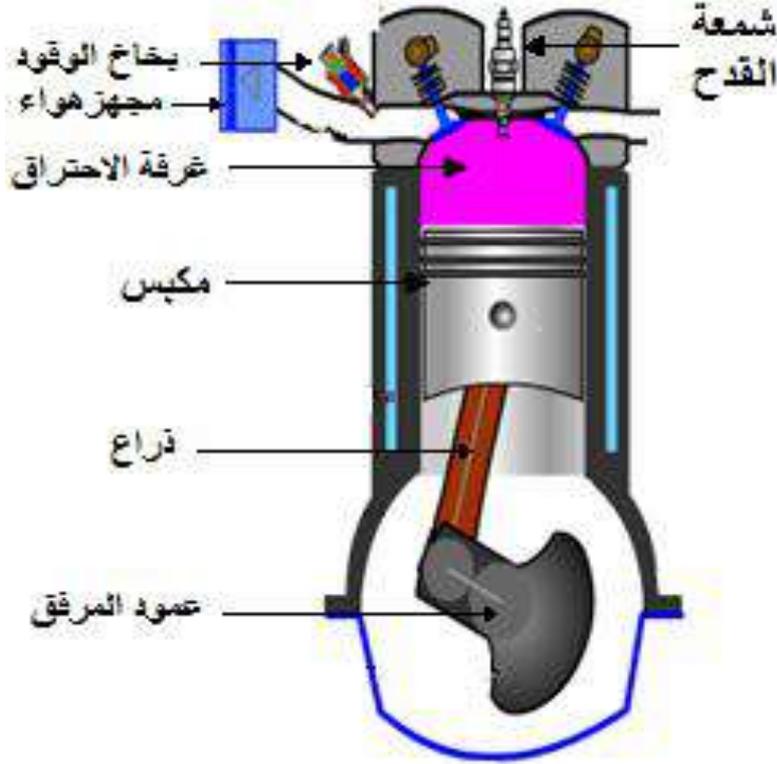
بعد ان يصبح الوقود السائل على شكل رذاذ يتم حقه إلى غرفة الاحتراق combustion chamber) وبوجود شرارة قدح (ignition spark) يحدث تفاعل الاحتراق.



الشكل (4-6) a - بخاخ السرعة (air-assist atomizer)

b - بخاخ الضغط (pressure atomizer)

من اكثر الامثلة شيوعا على نظام احتراق الوقود السائل هو محرك الاحتراق الداخلي المستعمل على نطاق واسع لتحويل الطاقة الكيميائية للوقود إلى الطاقة حرارية ثم إلى طاقة ميكانيكية دورانية لتشغيل السيارات والدراجات النارية ووسائل النقل الاخرى إذ يتم في هذا النوع من المحركات خلط الوقود مع نسبة معينة من الهواء وضخه إلى اسطوانة محكمة وهي غرفة الاحتراق وبوجود شمعة القح التي تولد الشرارة اللازمة للاشتعال يحدث تفاعل الاحتراق مؤديا إلى حدوث انفجار وبسبب تمدد الغازات يدفع المكبس الذراع المرتبط به إلى الاسفل مسببا حركة ترددية ثم يحولها عمود المرفق إلى حركة دورانية تستخدم لتدوير عجلات السيارة كما موضح في الشكل (5-6) الذي يبين جزء من محرك الاحتراق الداخلي.



الشكل (5-6) جزء من محرك احتراق داخلي

3.10.6 احتراق الوقود الغازي: Combustion of Gaseous Fuel

الوقود الغازي له عدة مصادر كالغاز الطبيعي الذي يتواجد على شكل مكامن تحت سطح الارض والغاز المصاحب للنفط الخام وغاز الفحم والغاز النفطي المسال (LPG) وغازات التكرير والغاز الحيوي وغازات مكبات النفايات . تتكون هذه الغازات عادة من الهيدروكربونات المشبعة كالميثان والايثان والبروبان والبيوتان وهيدروكربونات غير مشبعة كالاثيلين والبروبلين ونسبة عالية من الهيدروجين وكميات ضئيلة من النتروجين وكبريتيد الهيدروجين وثاني اوكسيد الكربون واول اوكسيد الكربون.

يتميز الوقود الغازي بانه لا يخلف مواد صلبة بعد الاحتراق كما يحدث عند استعمال الوقود الصلب اذ يتكون الرماد.

تخضع غازات الوقود إلى مراحل عدة من المعالجة قبل الاستعمال، كالتصفية، والامتزاز، والانضغاط، والتجفيف والتنقية من الشوائب الميكانيكية مثل الغبار والرمال والمعلقات الصلبة. وتعالج غازات الوقود لنزع الكبريت ومركباته ولامتصاص الغازات الحامضية، أو وكذلك تتم المعالجة بالتنقية الفيزيائية لامتصاص الشوائب مثل غاز أول وثاني أوكسيد الكربون، وذلك في درجات الحرارة المنخفضة.

يستعمل الوقود الغازي كوقود للاستعمال المنزلي للطبخ او التدفئة وكذلك يستخدم للاغراض الصناعية لتوليد الطاقة الحرارية كما في محطات توليد الطاقة الكهربائية باستعمال توربينات خاصة ويستعمل ايضا كوقود للصواريخ ومركبات الفضاء.

يُعد المحرك الغازي افضل مثال على انظمة احتراق الوقود الغازي و المحرك الغازي (Gas engine) هو محرك احتراق داخلي يعمل بالوقود الغازي، مثل الغاز المصاحب للنفط ، الغاز المخلوق، الغاز الحيوي، غاز دفن النفايات أو الغاز الطبيعي. وهذه الأنواع من المحركات قد يطلق عليها أيضاً محركات الوقود الغازي أو محركات الغاز الطبيعي . يتميز هذا المحرك بإمكانية الاستمرار بالعمل لفترات طويلة (اكثر من 8000 ساعة/ سنة) وبالقدرة العالية التي تبلغ (10 – 4000 KW) وعادة ما تكون هذه المحركات ذات سرعة ليست بالعالية. استعملت هذه الانواع من المحركات منذ القرن الثامن عشر لتوليد الطاقة لأغراض مختلفة ومازالت هذه المحركات تصنع من قبل الشركات الرائدة في صناعة المحركات كشركة هونداي للصناعات الثقيلة و شركة بيركنز وشركة كاوسكي للصناعات الثقيلة وشركات اخرى.

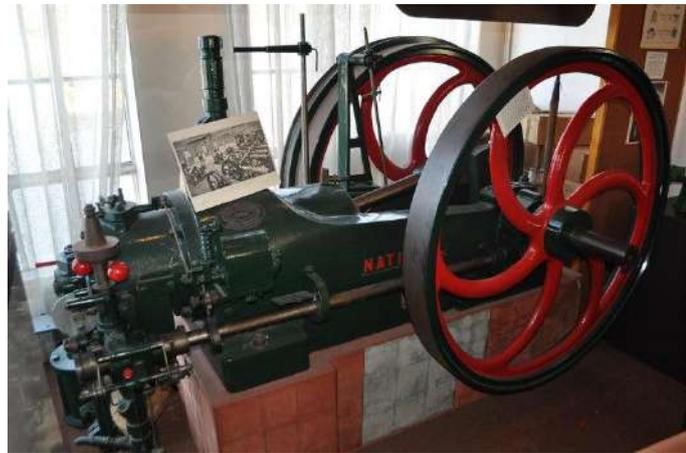
ويمكن حساب كمية الغاز اللازمة لهذه المحركات من المعادلة التالية :

$$Q = \frac{P}{\eta} \left(\frac{1}{LHV_{gas}} \right) \quad (10 - 6)$$

إذ أن :

Q: مقدار تدفق الغاز في حال الحمولة الكاملة، P: قدرة المحرك، η : كفاءة المحرك (تقرأ **ايتا**)

LHV_{gas} : القيمة الحرارية الدنيا للوقود الغازي



الشكل (6-6) بعض انواع المحركات الغازية

تشبه هذه المحركات محركات الاحتراق الداخلي التي تعمل بالوقود السائل مع اختلافات في طريقة ضخ الوقود ففي محرك الغاز لا نحتاج إلى بخاخات الوقود بل يجهز الوقود الغازي مباشرة عبر فتحات ضيقة وفي المحركات الحديثة تحتوي على نظام ثلاثي الصمام مزود بفتحات لتجهيز الوقود الغازي والهواء كل على حدة. اما بالنسبة لنظام الاشعال (ignition) فيستعمل العديد من الانواع مثل الانبوب الساخن (hot tube ignition) او شرارة القدح (spark ignition).

في الوقت الحاضر يتم تصنيع محركات الاحتراق الداخلي التي تعمل بنوعين من الوقود ، الوقود الغازي والوقود السائل.

من التطبيقات العملية الاخرى لاحتراق الوقود الغازي هو التوربين الغازي ويسمى ايضا (العنفة) وهو محرك احتراق داخلي دوار يدخل فيه الغاز بصورة مستمرة ويمر بثلاثة مراحل اساسية هي مرحلة الضغط ومرحلة التسخين ومرحلة التمدد لإنتاج الطاقة اللازمة لتشغيل الحمل. وتستعمل توربينات الغاز لتشغيل المولدات الكهربائية الضخمة و السفن و سيارات السباق ومحركات الطائرات النفاثة، والصناعات النفطية، و الصناعات الكيماوية . تصل قدرة التوربينات الضخمة إلى (70000 KW) . يوضح الشكل (6-7) مقطع توضيحي لتوربين غازي. يتكون التوربين الغازي من ثلاثة اجزاء رئيسية هي :

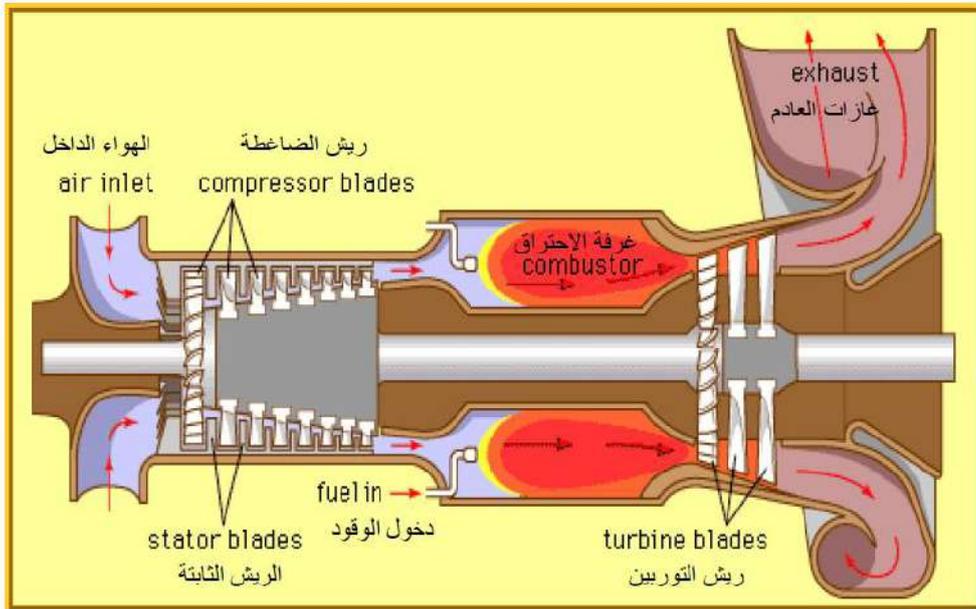
1- ضاغط الهواء (Air Compressor) يقوم بأخذ الهواء من الجو المحيط ويرفع ضغطه إلى عشرات الضغوط الجوية ويضخه إلى غرفة الاحتراق.

2- غرفة الاحتراق (Combustion Chamber) : فيها يختلط الهواء المضغوط الآتي من ضاغطة الهواء مع الوقود ويحترقان معا بواسطة وسائل خاصة بالاشتعال ونتيجة لتمدد الغازات ومرورها على ريش التوربين تتولد حركة دورانية سريعة، وتتكون نواتج الاحتراق وهي عبارة عن غازات مختلفة بدرجة حرارة عالية وضغط مرتفع. يوضح الشكل (6-8) مكونات غرفة الاحتراق.

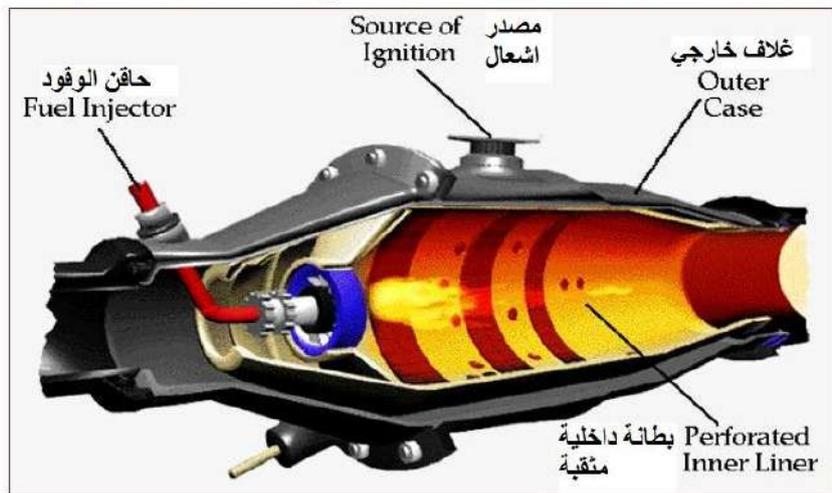
3- التوربين (Turbine) ويكون محوره أفقي مربوط مع محور ضاغطة الهواء مباشرة من ناحية ومن الأخرى مع الحمل الميكانيكي المراد تدويره (كأن يكون مولد كهربائي مثلا) وعن طريق صندوق تروس (Gear Box) لخفض السرعة لأن سرعة دوران التوربين تكون عالية جدا.

تتميز وحدات التوربينات الغازية بصغر حجمها وقلة تكاليف انتاجها وقصر المدة اللازمة لإنتاجها ويكون الوقت اللازم لتشغيلها قصيراً ويحتاج تشغيلها إلى عدد قليل من الافراد. لكن من ابرز

عيوبها هي انخفاض كثافتها التي لا تتجاوز 25% والحاجة إلى تغيير اجزائها الداخلية بسبب ارتفاع درجة الحرارة وارتفاع الضجيج الصادر عن دخول الهواء وخروج غازات العادم



الشكل (7-6) مقطع توضيحي لتوربين غازي



الشكل (8-6) مكونات غرفة الاحتراق

11.6 تأثير احتراق الوقود على تلوث البيئة

إن إنتاج الطاقة يتم عن طريق احتراق أنواع الوقود المختلفة ومخلفات عملية الاحتراق تطرح إلى البيئة المحيطة في الاغلب للهواء مما يتسبب بعملية تلوث تنتج عنها عدة ظواهر بيئية تتطلب السيطرة عليها ومن هذه الظواهر ما يأتي :

ظاهرة الاحتباس الحراري Global Warming

إن العلماء والمختصين يتفقون على أنّ كوكب الأرض يشهد ارتفاعات تدريجية في متوسط درجة حرارته، وقد وُجد أنه على مدار المئة عام الماضية كانت الزيادة في درجة حرارة الأرض تتراوح ما بين 0.4 إلى 0.8 درجة مئوية، ويُتوقع حدوث ارتفاعات أعلى في الخمسين سنة القادمة مما ينبئ بارتفاع منسوب مستوى سطح البحر وحدث اضطرابات مناخية عنيفة.

الضباب الدخاني Smog

ينتج الضباب الدخاني من تلوث الهواء بأكاسيد النيتروجين والمواد العضوية المتطايرة، والتي تتفاعل بدورها مع أشعة الشمس مكونة غاز الأوزون، ويُشكّل تواجد هذا الغاز بالقرب من سطح الأرض تهديداً بيئياً خطيراً؛ فهو المسؤول عن التقلبات المناخية وما تخلفه من أضرار على الصحة البشرية كمشاكل الجهاز التنفسي وتهيج العينين. وتعاني العديد من المدن الكبيرة من مشكلة الضباب الدخاني، نظراً لكمية الملوثات الضخمة المنبعثة من مصانعها وعوادم مركباتها، مع توفر الظروف المناخية المناسبة المتمثلة بدرجة الحرارة المرتفعة وسرعة الرياح المنخفضة، وقد تُغطّي هذه المدن بالضباب لمدة طويلة تصل لعدة أيام.

المطر الحامضي Acidic Rain

الأمطار الحامضية تلك الأمطار المحتوية على حوامض الكبريتيك والنتريك الناتجة من تفاعل كل من ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين مع مكّونات الغلاف الجوي، لتصل درجة حامضيتها في بعض الأحيان إلى الرقم الهيدروجيني 4 على مقياس درجة الحموضة. يُشار إلى أنّ مقياس درجة الحموضة يعتمد الأس الهيدروجيني (pH) للتعبير عن حامضية المواد، وتقع حامضية كلّ المواد بين أرقام هيدروجينية تتفاوت من الرقم 0 إلى الرقم 14، وينتصف المقياس الرقم 7 الذي يُشكّل الدرجة المتعادلة، أمّا الأرقام الواقعة أسفل هذا الرقم تُعبّر عن مواد حامضية، كالحلّ ذي الرقم الهيدروجيني 2، بينما الأرقام الأكبر من الرقم 7 تُعبّر عن المواد القلوية. يخلف المطر الحامضي مجموعة من المشاكل البيئية، فعند وصوله سطح الأرض يرفع من درجة حموضة التربة والمسطّحات المائية، الأمر الذي عزي إليه العلماء التسبب بنفوق الأسماك في البحيرات وتدمير الغابات أيضاً، ويمكن القول أنّ كلّ

من ألمانيا، والدول الإسكندنافية، والولايات المتحدة الأمريكية على وجه التحديد تُعاني من أضرار المطر الحامضي، وما يتمخض عنه من خسائر اقتصادية فادحة.



الشكل (6-9) تلوث الهواء

1.11.6 التلوث

هو اختلال في الاتزان القائم بين مكونات النظام البيئي نتيجة تغيرات مستحدثة تسبب للإنسان المرض أو الضرر أو الوفاة.

تعريف الملوثات

هو كل ما يسبب الضرر للإنسان مثل الميكروبات، أو المواد الصلبة، أو السائلة، أو الغازية، أو الإشعاعات.

مصادر التلوث :

أولاً : مصادر تلوث طبيعية مثل :

- 1- نشاط البراكين التي تطلق الغازات والحمم والأترربة .
- 2- عمليات التحلل العضوي الذي ينتج عنها غاز النشادر وغاز كبريتيد الهيدروجين .
- 3- البرق الذي ينتج عنه شرر كهربائي الذي يعمل على اتحاد الأوكسجين مع النيتروجين فتتكون الأكاسيد النيتروجينية .

ثانياً : مصادر تلوث صناعية:

- 1- مخلفات النشاط البشري والقمامة .
- 2- عوادم السيارات وما يخرج من مداخن المصانع .
- 3- بقايا الحيوانات والمبيدات الحشرية .
- 4- البقايا المتخلفة عن احتراق الوقود العضوي .

5- التلوث الناتج عن ثاني أكسيد الكربون ومن الجدير بالذكر انه لوحظ أن نسبة ثاني أكسيد الكربون زادت بمقدار 15% خلال المائة عام الأخيرة. والسبب الرئيسي لزيادة هذه النسبة هو احتراق الوقود اضافة إلى انحسار الرقعة الجغرافية للأراضي الخضراء.

2.11.6 أضرار تلوث الهواء

أضرار تلوث الهواء على صحة الإنسان

1. الإصابة بسرطان الجلد، ويظهر ذلك جلياً عن طريق النسب التي أثبتت أن الدول التي تعاني من تلوث الهواء ينتشر بين مواطنيها هذا المرض.
2. الإصابة بأمراض الجهاز التنفسي.
3. التأثير سلباً على جهاز المناعة.
4. الإصابة بأمراض القلب.
5. انتشار مرض تسمم الدم.
6. إصابة العيون بالمياه البيضاء.

أضرار تلوث الهواء على البيئة

1. ثقب طبقة الأوزون والذي أتاح وصول الأشعة الضارة إلى كوكب الأرض.
2. القضاء على الثروة السمكية في البحار.
3. تغيرات في المناخ، فقد تتساقط الأمطار في فصل الصيف نتيجة تلوث الهواء.
4. الإضرار بالمحاصيل الزراعيّة.
5. يحدث تلوث الهواء نتيجة اختلاط الهواء بالعديد من المواد والغازات السامة، مثل أول أكسيد الكربون، وأكسيد النيتروجين، والرصاص وغيرها، ومن أشهر أسباب تلوث الهواء هي التلوث الحاصل بسبب عوادم السيارات وكذلك الغازات السامة الناجمة عن البراكين، والعواصف التي تحمل كميات كبيرة من الرمال ممّا يضر بالمحاصيل الزراعيّة، وهذه الأسباب قد تكون مستحدثة أي بفعل نشاطات الإنسان أو قد تكون بفعل عوامل طبيعيّة.

3.11.6 اهم ملوثات الهواء الجوي:

1- أول أكسيد الكربون CO

مصدره:

يخرج أول أكسيد الكربون من عوادم السيارات نتيجة احتراق الوقود احتراق غير كامل بالخصوص عندما تسير السيارات ببطيء أو عند إشارات المرور

نسبة أول أكسيد الكربون:

تصل نسبة أول أكسيد الكربون إلى أقصاها مرتين في اليوم هما :

أ - في الصباح عند ذهاب العاملين لأعمالهم .

ب- بعد الظهر عند عودة العاملين من أعمالهم .

في المدن تصل نسبته إلى 15 جزء من المليون و في المناطق الزراعية تصل نسبته إلى 0.2 جزء من المليون .

الأضرار الناتجة عن أول أكسيد الكربون:

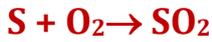
يرتبط الحديد المكون لهيموكلوبين الدم بأول أكسيد الكربون 210 مرة ضعف الأوكسجين . بذلك تقل قدرة الدم على القيام بوظائفه وهى نقل الغذاء المهضوم والأوكسجين إلى الخلايا ينتج عن ذلك شعور الفرد بالصداع – الإغماء – وان تنفس كمية كبيرة من CO أول أكسيد الكربون تسبب آلام حادة فى المعدة – ارتخاء العضلات – فقدان الوعي ثم الموت

2-أكاسيد الكبريت

تنشأ أكاسيد الكبريت من وجود الكبريت فى الأماكن الآتية:

- 1- الأماكن البركانية .
- 2- البلاد المصدرة للبتروول . يكون الكبريت أحد نواتج تكرير النفط الخام .
- 3- يوجد فى الفحم بنسبة 6% وهى أكبر من وجوده فى النفط الخام .
- 4- احتراق الوقود الذى يحتوى على الكبريت .

عند احتراق الوقود الذى يحتوى على الكبريت يتأكسد الكبريت إلى ثاني أكسيد الكبريت و تتأكسد كمية من SO₂ بنسبة 3 % فى وجود المعادن العالقة فى الجو التى تعمل كعامل مساعد إلى ثالث أكسيد الكبريت (SO₃)، يذوب SO₃ فى بخار الماء الموجود فى الجو ويتكون حامض الكبريتيك



الأضرار الناتجة عن أكاسيد الكبريت:

- 1- على الإنسان
أ - إصابة الإنسان بالربو. ج- التهاب حاد فى العين.
ب-التهاب الجهاز التنفسي. د - تؤثر على الصحة العامة للإنسان.
- 2- يذوب ثالث أكسيد الكبريت فى بخار الماء ويكون الأمطار الحامضية ذات التأثير السلبي على البيئة.
أضرار الأمطار الحامضية:
أ - تؤثر على حياة الكائنات المائية وقد تؤدى إلى موتها .
ب- تعمل على صدأ المعادن.
ج- تآكل واجهات المباني حيث يعمل حامض الكبريتيك على تحويل كاربونات الكالسيوم الداخلة فى تكوين مواد البناء وهى عديمة الذوبان فى الماء إلى كبريتات كالسيوم تذوب بدرجة قليلة فى الماء.



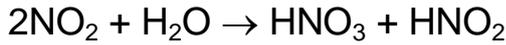
3- أكاسيد النيتروجين

أسباب وجودها:

- 1- انفجار البراكين.
- 2- البرق والرعد .
- 3- النشاط البكتيري .
- 4- احتراق الوقود مثل الفحم الذي يساهم بحوالي 51% من هذه النواتج والبتروال الذي يساهم بحوالي 14 % .

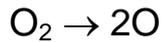
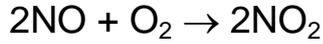
الأضرار الناتجة عن أكاسيد النيتروجين:

- 1- تهيج الجهاز العصبي:
حيث يتفاعل ثاني أكسيد النيتروجين مع بخار الماء ويتكون خليط من حامض نيتريك وحامض نيتروز هذه الأحماض تسبب تهيج الجهاز العصبي :



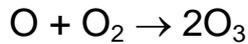
2- تكوين الأوكسجين الذري النشط:

نظر لأن ثاني أكسيد النيتروجين لونه بني فإنه يمتص الطاقة الضوئية للشمس وينحل إلى أوكسجين نترريك وأوكسجين ذري :



أثر الأوكسجين الذري على الكائنات الحية:

تكوين غاز الأوزون بالقرب من سطح الأرض حيث يتحد الأوكسجين الذري مع جزيء أوكسجين ويتكون غاز الأوزون :



أضرار الأوزون بالقرب من سطح الأرض:

- 1- صدأ المعادن
- 2- يؤثر على الجهاز التنفسي
- 3- تلف المطاط والأنسجة
- 4- يؤثر على العين
- 5- تكوين الهيدروكربونات غير المحترقة و تتحد الهيدروكربونات مع الأوكسجين الذري الناتج من تحلل NO_2 مكونة مواد سامة ومواد تسبب تهيج للعين. كما وان الهيدروكربونات تشترك في تكوين الضباب الدخاني.

4- مادة البنزوبيرين:

مصدرها :

- 1- احتراق الألياف والأوراق الجافة .
- 2- توجد في الفحم بنسبة أكبر من النفط الخام حوالي عشرة مرات .

الأضرار الناتجة عنها:

- تسبب الإصابة بمرض السرطان .

5- مركبات الرصاص

مصادر الرصاص في الجو:

- 1- استخدام الرصاص في الصناعة
- 2- تنتج من عوادم السيارات نتيجة إضافة مادة رابع ايثيل الرصاص على الكازولين لتحسين رقم الأوكتان.

الأضرار الناتجة عن مركبات الرصاص :

- 1- ترجع سمية مركبات الرصاص والمركبات الثقيلة مثل مركبات (Cd , Ni , Cu) إلا أنها تتراكم في جسم الإنسان ولا تخرج منه إلا بكميات ضئيلة.
- 2- تسبب للإنسان الإصابة بالأنيميا - سرعة التعب - فقدان الشهية - نقص هيموكلوبين الدم - تصلب الشرايين - آلام المفاصل - فقدان البصر .

4.11.6 حلول لمشكلة تلوث الهواء

للحد من تلوث الهواء فإنّ هناك عدداً من الاجراءات التي طبقتها بعض الدول وقد ساعدت هذه الحلول على التقليل من تلوث الهواء إلى أدنى حد، ومن هذه الحلول:

1. عمل منطقة خاصّة لبناء المصانع بعيداً عن المناطق السكنيّة.
2. التقليل أو حتى منع استخدام المبيدات.
3. تطبيق قوانين من قبل الحكومات تعمل على الحد من تلوث الهواء ومن أمثلة ذلك استخدام البنزين الخالي من الرصاص.
4. وضع رقابة على المصانع وخاصّة تلك التي تُعنى بإنتاج المواد الزراعيّة لأنّها من أكثر مصادر تلوث الهواء انتشاراً.
5. مراقبة استخدام المواد التي تضرّ بطبقة الأوزون.
6. التخلص من النفايات بطرق صحيحة ومنع دفنها أو حرقها.
7. الاهتمام بزراعة الأماكن العامّة والحدائق لأنّ الأشجار لها دور كبير في تنقية الهواء.
8. عمل حملات توعويّة بأهميّة الحفاظ على البيئة وحماية الهواء من التلوث.

اسئلة الفصل

- س1: ما هو تعريف الاحتراق؟
- س2: ما هي اصناف الاحتراق؟ وضحاها مع ذكر مثال لكل منها .
- س3: ماهي المعادلة العامة لاحتراق الوقود الهيدروكاربوني بوجود الاوكسجين و ماهي المعادلة العامة لاحتراق الوقود الهيدروكاربوني بوجود الهواء الجوي؟
- س4: غالبا ما تكون نواتج عملية الاحتراق حاوية على عناصر ومركبات غير بخار الماء وثنائي اوكسيد الكربون . بين اسباب ذلك؟
- س5: احسب النسبة الكتلية لنواتج غازات الاحتراق اذا علمت ان كتلة كل مادة هي $Co_2 = 8 \text{ kg}$ و $N_2 = 29 \text{ kg}$ و $H_2O = 42 \text{ kg}$
- س6: احسب النسبة المولية لنواتج غازات الاحتراق اذا علمت ان عدد مولات كل مادة هي: $CO_2 = 13$ و $N_2 = 53$ و $H_2O = 80$
- س7: احسب كمية الهواء النظرية وكمية الاوكسجين النظرية اللازمة لحرق كيلو غرام واحد من الوقود اذا علمت انه يحتوي على ($C = 80\%$, $H = 10\%$, $O = 7\%$, $S = 3\%$)
- س8: احسب القيمة الحرارية العليا (HCV) والقيمة الحرارية الدنيا (LCV) لعينة من الفحم اذا علمت انها تحتوي على ($C = 82\%$, $H = 6\%$, $O = 4\%$, $S = 3.5\%$, $Ash = 4.5\%$)
- س9: يتكون التوربين الغازي من ثلاثة اجزاء رئيسية عددها مع التوضيح.
- س10: ما هي اهم ملوثات الهواء الجوي؟
- س 11: ما هي اهم الاجراءات الواجب اتخاذها للتقليل من تلوث الهواء الجوي؟
- س12: ما هي اهم أضرار تلوث الهواء على صحة الإنسان؟

الفصل السابع

انتقال الحرارة Heat Transfer

الأهداف

- بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادراً على ان :
- 1 – يعرف الحرارة ودرجة الحرارة .
 - 2 – يتمكن من تحويل درجات الحرارة من نظام إلى اخر .
 - 3 – يفهم تأثير الحرارة على المواد .
 - 4 – يعرف أجهزة قياس درجة الحرارة وطرق استخدامها .
 - 5 – يعرف طرق انتقال الحرارة .
 - 6 – يفهم نظرية التبادل الحراري .
 - 7 – يعرف أنواع المبادلات الحرارية .

1.7 تمهيد

حين يتماس جسمان مختلفان في درجة الحرارة يلحظ إن الفرق بين درجتي الحرارة فيهما يتناقص مع مرور الزمن حتى ينعدم، فيقال إن الحرارة قد انتقلت من الجسم الأعلى حرارة إلى الجسم الأقل حرارة. ويحدث مثل ذلك في الجسم الواحد إذا كان جزآن منه في درجتين من الحرارة مختلفتين فتنقل الحرارة من الجزء الساخن إلى الجزء البارد.

إن انتقال الحرارة هي صورة من صور انتقال الطاقة ، إذ تنتقل من المستوى الأعلى إلى المستوى الأدنى حتى يتساوى الاثنان في ذلك ، وتعتبر درجة حرارة الأجسام عن مستوى الطاقة . إن انتقال الحرارة يحدث من الجسم ذي الدرجة الأعلى من الحرارة (مئوية أو فهرنهايتية) إلى الجسم ذي الدرجة الأقل، وتستمر حتى يتساوى الاثنان في درجة الحرارة أو بمعنى آخر حتى يصير معدل الانتقال صفراً.

كما ان انتقال الحرارة يتم من جزيئات المادة الاعلى طاقة إلى الجزيئات الاقل طاقة نتيجة لحركة الجزيئات ، في الغازات و السوائل يتم انتقال الحرارة نتيجة تصادم الجزيئات اما في المواد الصلبة فيتم انتقال الحرارة نتيجة اهتزازات الجزيئات و الالكترونات الحرة .

التطبيقات على طرق انتقال الحرارة كثيرة وشاملة في الحياة العملية إذ يطبق انتقال الحرارة بالتوصيل والحمل بشكل أوسع من غيره وخاصة في مصافي النفط ، والمبادل الحراري الذي يعمل بانتقال الحرارة عبر الأنابيب المليئة بالسائل هو من أشهر التطبيقات على انتقال الحرارة والذي بدوره يستعمل في التبريد أو التسخين حسب حاجته في المصانع للطاقة الكهربائية والتسخين الأولي للهواء في أفران الاحتراق، يمكن القول أنّ المبادل الحراري يوجد في كثير من المصانع .

2.7 كمية الحرارة ودرجة الحرارة

بناءً على النظرية الذرية الجزيئية فإن حركة جزيئات الجسم تزداد عندما يكتسب كمية من الحرارة، وبالتالي تزداد طاقته الداخلية، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته نتيجة لهذا التغير في كمية الحرارة المكتسبة، ويحدث العكس في حالة فقدان الجسم كمية من الحرارة، بحيث تقل حركة جزيئاته، وبالتالي تقل طاقته الداخلية، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارته. ويمكن الاستنتاج مما سبق أن:

كمية الحرارة : هي مقياس الطاقة الداخلية الكلية للجسم، أي أنها تقيس الطاقة الحركية الناشئة من حركة الجزيئات، فضلاً عن طاقة الوضع المخزونة في الروابط بين الجزيئات. إن كمية الحرارة اللازمة لتسخين جسم تعتمد على ما يأتي :

1 - كتلة الجسم 2 - التغير في درجة الحرارة 3 - نوع المادة المصنوع منها

درجة الحرارة : هي مقياس الطاقة الحركية الناتجة عن حركة الجزيئات فقط.

وحدتي قياس درجة وكمية الحرارة : تقاس الحرارة بالجول، إذ يُمثل الجول كمية الطاقة التي تنقلها الحرارة، أما الواط فيساوي (جول/ثانية) ويُمثل مُعدّل انتقال الطاقة الحرارية. تقاس درجة الحرارة بوحدات قياس مُختلفة، وتُعد وحدات القياس الكلفن (K) واعتمدت من قبل منظمة القياس العالمية (SI) ، والسيلسيوس أو المقياس المئوي (°C) الذي يستعمل في النظام البريطاني للوحدات ، والفهرنهايت (°F) أكثرها استعمالاً، إذ أنّ الكلفن يستند إلى مفهوم الصفر المطلق، ويُستعمل لقياس درجات الحرارة العلمية، أما السيلسيوس فيقيس درجات الحرارة العلمية والاستهلاكية، ويُستعمل في جميع أنحاء العالم، بينما يقتصر استعمال الفهرنهايت على الولايات المتحدة الأمريكية وبعض الدول الأخرى.

كما ان هناك **درجة الحرارة المطلقة** وهي درجة الحرارة المقاسة على أساس الصفر المطلق ، ووحدتها **كلفن (K)** والعلاقة بين الصفر المطلق والصفر المئوي إن الصفر المطلق 273.15 يعادل درجة تحت الصفر المئوي . مثلاً، إذا كانت درجة حرارة الغرفة 20 درجة مئوية ، تكون بالكلفن = $273 + 20 = 293$ كلفن (K) .

أما مقياس رانكن فهو مقياس للحرارة المطلقة. وحدة القياس فيه تعادل درجة فهرنهايتية واحدة، ونقطة تجمد الماء بموجب هذا المقياس هي 491,69 درجة، ونقطة غليانه 671,69 درجة ويرمز لها (R) .

الجدول (1-7) يبين تحويلات درجة الحرارة

من	إلى	المعادلة
Fahrenheit	Celsius	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$
Fahrenheit	Kelvin	$\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459.67) / 1.8$
Fahrenheit	Rankine	$\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$
Celsius	Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$
Celsius	kelvin	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$
Celsius	Rankine	$\text{R} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32 + 459.67$
kelvin	Celsius	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$
kelvin	Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = \text{K} \times 1.8 - 459.67$
kelvin	Rankine	$\text{R} = \text{K} \times 1.8$
Rankine	Celsius	$^{\circ}\text{C} = (\text{R} - 32 - 459.67) / 1.8$
Rankine	Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = \text{R} - 459.67$
Rankine	Kelvin	$\text{K} = \text{R} / 1.8$

يمكن حساب كمية الحرارة (Q) اللازمة لرفع درجة حرارة جسم كتلته m من درجة حرارة معينة T₁ إلى درجة حرارة T₂ من خلال العلاقة الآتية :

كمية الحرارة = كتلة الجسم x الحرارة النوعية x التغير في درجات الحرارة

$$Q = m C_p (T_2 - T_1) \quad (1-7)$$

حيث ان C_p هي الحرارة النوعية للمادة المقاسة عند ضغط ثابت (P) وتعرف : بانها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كتلة كيلوغرام من المادة درجة سيليزية واحدة وتقاس بوحدات J/kg.°C السعة الحرارية : هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم بكامله درجة سيليزية واحدة ، وتحسب بتطبيق العلاقة الآتية :

كمية الحرارة = كتلة الجسم x الحرارة النوعية x التغير في درجات الحرارة

كمية الحرارة = السعة الحرارية x التغير في درجات الحرارة

أي ان :

السعة الحرارية = كتلة الجسم x الحرارة النوعية

$$C = m C_p \quad (2-7)$$

إذ أن :

$C =$ السعة الحرارية ووحدها $J/^\circ C$.

$m =$ كتلة الجسم . Kg

$C_p =$ الحرارة النوعية $J/kg.^\circ C$.

مثال (1)

ما مقدار الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة 3 kg من الالمنيوم من $15^\circ C$ إلى $25^\circ C$ علما بان الحرارة النوعية للألمنيوم $900 J/kg.^\circ C$.

الحل:

كتلة الالمنيوم 3 kg

درجة الحرارة الابتدائية (قبل التسخين) للألمنيوم $T_1 = 15^\circ C$

درجة الحرارة النهائية (بعد التسخين) $T_2 = 25^\circ C$

الحرارة النوعية $C_p = 900 J/kg.^\circ C$

وطبقا للمعادلة :

$$Q = m C_p (T_2 - T_1)$$

$$Q = 3 \times 900 \times (25 - 15)$$

$$= 27000 J$$

1.2.7 الاتزان الحراري :

الحرارة نوع من أنواع الطاقة فهي لا تفنى ولا تستحدث بل تنتقل من جسم إلى اخر، وعلى فرض ان الجسمين معزولين حراريا عن الوسط الذي حولهما (أي لا يوجد تبادل مع الوسط المحيط) عندها تحدث حالة اتزان حراري بين الجسمين . كذلك عند مزج سائلين معا تنتقل الحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد ويستمر التدفق الحراري حتى تتساوى درجة حرارة السائلين ويحدث اتزان حراري في النظام المعزول أي ان :

كمية الحرارة المكتسبة = كمية الحرارة المفقودة

مثال (2)

احسب السعة الحرارية لمسعر من النحاس فيه ماء كتلته 100 g بدرجة حرارة 10 °C، اضيف اليه كمية ماء أخرى كتلتها 100 g بدرجة حرارة 80 °C فأصبحت درجة حرارة الخليط النهائية 38 °C.

الحل

نفرض ان السعة الحرارية للمسعر هي C

كمية الحرارة المكتسبة

كمية الحرارة التي اكتسبها الماء = الكتلة x الحرارة النوعية للماء x التغير في درجات الحرارة

$$Q_1 = m C_p (T_2 - T_1)$$

$$Q_1 = 0.1 \times 4200 \times (38 - 10) = 11760 \text{ J}$$

كمية الحرارة التي اكتسبها المسعر = السعة الحرارية للمسعر x التغير في درجات الحرارة

$$Q_2 = C \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_2 = C \times (38 - 10)$$

$$Q_2 = 28 C$$

كمية الحرارة المفقودة

كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن = الكتلة x الحرارة النوعية x التغير في درجات الحرارة

$$Q_3 = m C_p (T_2 - T_1)$$

$$= 0.1 \times 4200 \times (38 - 80)$$

$$= - 17640 \text{ J}$$

كمية الحرارة المكتسبة ($Q_1 + Q_2$) = كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن (Q_3)

كمية الحرارة التي اكتسبها الماء والمسعر = كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$

$$17640 = 11760 + 28 C$$

$$C = 5880 / 28 = 210 \text{ J / } ^\circ\text{C}$$

3.7 تأثير الحرارة على المواد

1.3.7 تمدد المواد بالحرارة

عند رفع درجة حرارة المادة الصلبة أو السائلة أو الغازية يزداد معدل الطاقة الحركية للجزيئات فيزداد التباعد فيما بينهما فيحصل التمدد ولكن هذا التمدد يختلف باختلاف حالة المادة فتمدد الغازات يكون اكبر مما هو عليه في السوائل وتمدد السوائل اكبر مما هو عليه في الصلب اذا كانت الحرارة المكتسبة متساوية للحالات الثلاث .

- تمدد المواد الصلبة

التمدد يعني زيادة في أبعاد المادة وهو على الصور الآتية :

1 – تمدد طولي أي زيادة في الطول (التمدد في بعد واحد) .

2 – تمدد سطحي أي زيادة في مساحة السطح (التمدد في بعدين) .

3 – تمدد حجمي أي زيادة في حجم الجسم (تمدد في ثلاث أبعاد) .

وفيما أدناه القانون الخاص بكل حالة من الحالات الثلاث :

التغير في الطول = معامل التمدد الطولي \times الطول الأصلي \times مقدار التغير في درجات الحرارة

التغير في المساحة = معامل التمدد السطحي \times المساحة الأصلية \times مقدار التغير في درجات الحرارة

التغير في الحجم = معامل التمدد الحجمي \times الحجم الأصلي \times مقدار التغير في درجة الحرارة

2.3.7 الحرارة الكامنة للانصهار Latent heat of fusion

هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل وحدة الكتلة من حالة الصلابة إلى حالة السيولة وبدرجة الحرارة نفسها (مثلا درجة حرارة انصهار الجليد 0°C) وبثبوت الضغط وتقاس بوحدات Kg . وتحسب بتطبيق العلاقة الآتية :

كمية الحرارة اللازمة لانصهار المادة = الكتلة \times الحرارة الكامنة للانصهار

$$Q = m \times L_f \quad (3-7)$$

إذ ان :

Q = كمية الحرارة اللازمة لانصهار المادة ل

m = كتلة المادة Kg

L_f = الحرارة الكامنة للانصهار Kg

3.3.7 الحرارة الكامنة للتبخر Latent heat of vaporization

هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل وحدة الكتل من المادة من حالة السيولة إلى الحالة الغازية عند درجة الغليان . وتعرف درجة الغليان بانها درجة الحرارة التي تبدأ عندها المادة بالتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية . وتحسب بتطبيق العلاقة الآتية :

كمية الحرارة اللازمة لتحويل كمية من السائل إلى بخار بالدرجة نفسها = الكتلة x الحرارة الكامنة للتبخر

$$Q = m \times L_v \quad (4-7)$$

إذ إن :

Q = كمية الحرارة اللازمة لتحويل كمية من السائل إلى بخار Joule

m = كتلة المادة Kg

L_v = الحرار الكامنة للتبخر Kg

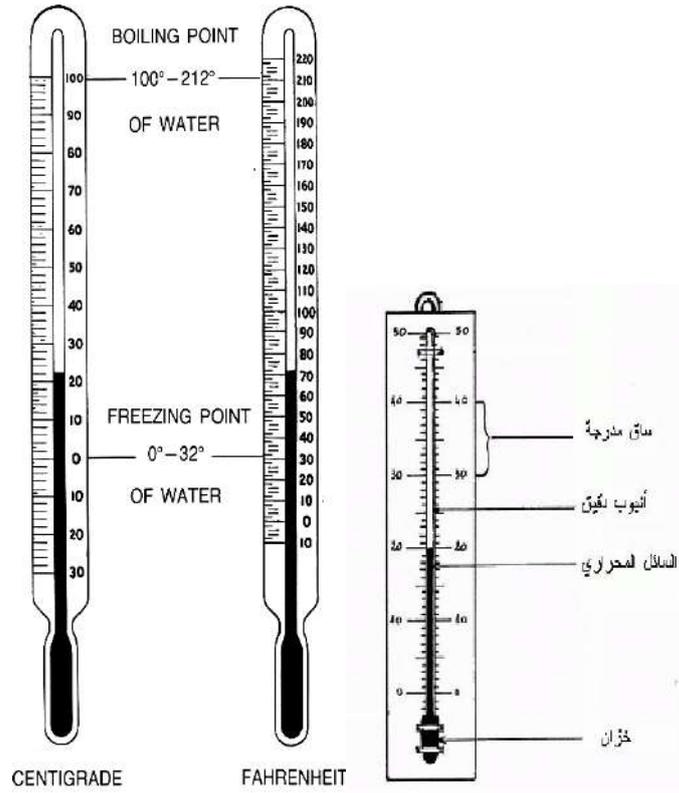
4.3.7 أجهزة قياس درجة الحرارة

إن قياس درجة الحرارة مهم جدا في جميع التطبيقات الصناعية وذلك لاستمرار الحاجة له للسيطرة على العمليات الصناعية . ان المبدأ العام لجميع أجهزة قياس درجة الحرارة هو تغيير خاصية فيزيائية للمادة نتيجة تغير درجة الحرارة . وادناه هنا إلى اهم هذه الأجهزة :

1 - المحرار الزئبقي :

يتألف من مستودع زجاجي (بصلة) مملوء بالزئبق ويتصل بأنبوبة شعرية دقيقة، ومنتظمة المقطع ومغلقة من الطرف العلوي فعند تعرض بصلة المحرار المحتوية على الزئبق إلى درجات حرارية مختلفة يحصل تمدد، أو تقلص ملحوظ في الزئبق تبعا لارتفاع، أو انخفاض درجة الحرارة . في هذه الحالة فإن الخاصية الفيزيائية التي تتغير هي حجم السائل أي ان أي تغيير في درجة الحرارة يتناسب مع ارتفاع الزئبق في الأنبوبة الزجاجية .

وتتم معايرة المحرار بغمر بصلة المحرار في ماء ثلج نقي ويؤشر صفر مؤوي (32°F) عند الارتفاع الذي يستقر عنده الزئبق ثم توضع البصلة داخل ماء نقي في حالة الغليان تحت الضغط الجوي ويؤشر 100°C (212°F) عند الارتفاع الذي يستقر عنده الزئبق في الأنبوبة الزجاجية. وتقسّم المسافة بين هاتين النقطتين (0 - 100) إلى مائة قسم متساو يمثل كل قسم منها درجة مئوية واحدة، ويمكن تمديد هذا التقسيم إلى فوق المائة، وإلى تحت درجة الصفر .



الشكل (7 - 1) المحرار الزئبقي

2 - محارير الأنظمة المملوءة :

عبارة عن مستودع يحتوي على غاز، او سائل يتغير حجمه، أو ضغطه البخاري بتغير درجة الحرارة، وينقل هذا التغيير إلى أنبوب بوردن (أو أي مقياس اخر) عبر أنبوبة شعرية تتحرك بمقدار يتناسب مع درجة حرارة المستودع . وقد صممت هذه الأجهزة لتعطي قراءة لدرجة الحرارة بعيد عن موضع القياس .

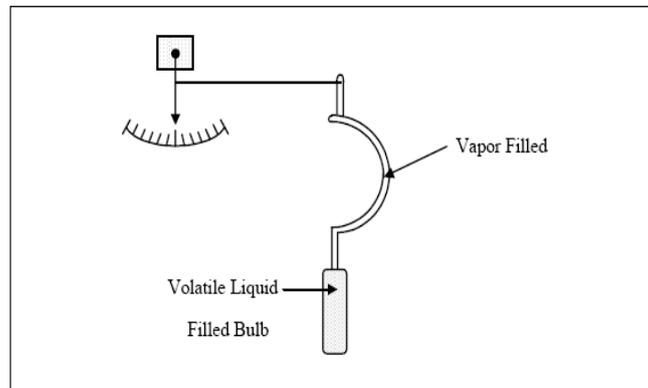


Figure 7-1. Filled bulb thermometer



الشكل (7 - 2) محارير الأنظمة المملوءة

3 - المزدوج الحراري

إذا وصل طرفا سلكين لمعدنين مختلفين، وكانت نقطتا اتصال السلكين في درجات حرارة مختلفة T_1 ; T_2 ينتج تيارا كهربائيا وهذا أساس عمل المزدوج الحراري .

يتكون المزدوج الحراري من قضيبين من معدنين مختلفين معامل التوصيل الكهربائي لكل منهما مختلف وموضوعين في غلاف وهما معزولان عن بعضهما ماعدا احدى نهايتهما متصلة (ملحومة) وتسمى الوصلة الحارة والتي توضع في المكان الذي يراد قياس درجة حرارته . أما النهاية الأخرى فتكون طليقة وتدعى الوصلة الباردة التي توصل بجهاز القياس (فولتميتر) الموضوع في درجة حرارة ثابتة (مثل درجة حرارة الغرفة) .

جهاز الفولتميتر يقيس القوة الدافعة الكهربائية وهي تتناسب مع الفرق بين درجتني حرارة الوصلتين .
الشكل (3-7) .



الشكل (7 - 3) المزدوج الحراري

مميزات المزدوج الحراري :

- 1 - يقيس مدى واسع من درجات الحرارة فيمكن القياس بمدى (150°C - 300°C) في بعض الأنواع وفي أنواع أخرى (700°C - 2100°C) حسب اختيار نوعية معدني المزدوج .
- 2 - يتميز بقراءة دقيقة نسبياً .
- 3 - لا يتأثر المزدوج الحراري اذا ربط سلك ثالث للتوصيل .
- 4 - باستعمال أسلاك توصيل بين نقطة القياس وجهاز القياس يمكن قراءة درجات الحرارة من مسافات بعيدة .

4 - البايروميتر

جهاز يستعمل لقياس درجات الحرارة العالية جداً التي تتجاوز حدود الثرموميترات وتعتمد على تحويل الطاقة الحرارية المشعة المنبعثة من الجسم الحار إلى ما يقابلها من درجة حرارة.



الشكل (7 - 4) البايروميتر

5.3.7 طرق انتقال الحرارة

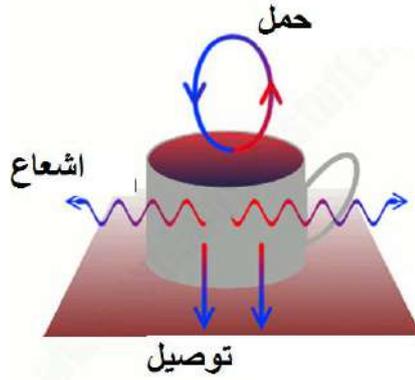
أولاً - التوصيل : يُعدّ مفهوم انتقال الحرارة بالتوصيل عن عملية انتقال الطاقة عبر المادة من جسيم إلى آخر، كما تُعدّ هذه الطريقة عن انتقال وتوزيع الطاقة الحرارية من ذرّة إلى أخرى ضمن المادة الواحدة، وتُعدّ طريقة التوصيل فعّالة بشكلٍ كبيرٍ في المواد الصلبة، ولكن يمكن أن تحدث بالسوائل أيضاً، ومن الأمثلة العملية على طريقة التوصيل تسخين ملعقة عند وضعها في وعاء يحتوي على ماء ساخن؛ إذ إنّ الحرارة ستنتقل من الماء إلى الملعقة.

من التطبيقات الشائعة على التوصيل الحراري :

- 1 - استعمال المعادن لصناعة أواني الطبخ .
- 2 - العزل الحراري عند بناء البيوت والمخازن باستعمال مواد عازلة مثل الهواء والزجاج والبولي ستايرين .

3 - **الحمل الحراري** : يُعد مفهوم طريقة انتقال الحرارة بالحمل الحراري عن انتقال الطاقة الداخلية من وإلى الجسم عن طريق الحركة الفيزيائية الناتجة من المائع المحيط بالجسم والذي ينقل الطاقة الداخلية عبر كتلته، وعلى الرغم من أنّ عملية انتقال الحرارة تبدأ بطريقة التوصيل بين الجسم والسائل؛ إلا أنّ الكمية الأكبر لانتقال الطاقة يحدث نتيجةً لحركة المائع، ويمكن إن تحدث طريقة الحمل الحراري تلقائياً، أو طبيعياً، أو بشكلٍ حرٍ عن طريق تكوين خلايا الحمل، أو تُحث للنشوء عن طريق دفع المائع عبر الجسم، أو عن طريق دفع الجسم عبر المائع.

4 - **الإشعاع** : إنّ طريقة انتقال الحرارة بالإشعاع لا تحتاج لوجود أي رابط بين مصدر الحرارة، والجسم الذي تُنقل إليه الحرارة على عكس طرق الحمل والتوصيل التي تتطلب وجود مادة لنقل الحرارة، ففي هذه الطريقة يمكن نقل الحرارة عبر الفراغ عن طريق الإشعاع الحراري، فعلى سبيل المثال انتقال الحرارة من الشمس إلى الإنسان دون الحاجة للمسها مباشرةً. غالباً ما يسمّى الإشعاع الحراري بالأشعة تحت الحمراء؛ وهي أحد أشكال الأشعة الكهرومغناطيسية أو الضوء، أمّا الإشعاع فهو أحد أشكال الطاقة المنتقلة، ويتكوّن من الموجات الكهرومغناطيسية المنتقلة بسرعة الضوء، ولا تحتاج عملية انتقال الإشعاع إلى تبادل بين الكتل، أو وسط بين الأجسام.



الشكل (7 - 5) طرق انتقال الحرارة

6.3.7 حسابات انتقال الحرارة

كما موضح في الشكل (1) فإن هنالك ثلاث طرق رئيسية في انتقال الحرارة:

1- **التوصيل (Conduction)** : يتم هذا النوع من انتقال الحرارة في المواد الصلبة والأغشية

الرقيقة من المائعات بفعل انتقال ذبذبة الجزيئات ومن غير تغيير في مواقعها . مثل انتقال الحرارة

في سلك معدني عند تسخين احد طرفيه.

القانون الرياضي :

$$Q = \frac{K A dT}{S} \quad (5 - 7)$$

إذ إن :

$$\begin{aligned} Q &= \text{الطاقة الحرارية (J)}. \\ A &= \text{مساحة مقطع الجسم الموصل عموديا على مسار الحرارة (cm}^2\text{)}. \\ dT &= \text{فرق درجات الحرارة (}^\circ\text{C)}. \\ S &= \text{طول الجسم الموصل للحرارة (cm)}. \\ K &= \text{عدد ثابت يعتمد على الجسم الموصل ويسمى "معامل التوصيل الحراري"} \\ &= \text{(W/m }^\circ\text{K)}. \end{aligned}$$

ان معامل

التوصيل الحراري : هو عدد السرعات الحرارية التي تنتقل خلال ثانية واحدة خلال جسم موصل، مساحة مقطعه 1cm^2 وطوله 1cm عندما يكون الفرق في درجات الحرارة 1°C .

2- الحمل (Convection) : تنتقل الحرارة بهذه الطريقة بواسطة تغيير موقع جزيئات المائعات ونقل طاقتها إلى جزيئات دونها في الطاقة ، مثل تسخين الماء وغليانه . يتم هذا النوع من انتقال الحرارة في المائعات اي الغازات والسوائل فقط .

العلاقة الرياضية :

$$Q = h A dT \quad (6 - 7)$$

إذ إن :

$$\begin{aligned} Q &= \text{الطاقة الحرارية (J)}. \\ A &= \text{مساحة مقطع الجسم الموصل عموديا على مسار الحرارة (cm}^2\text{)}. \\ dT &= \text{فرق درجات الحرارة (}^\circ\text{C)}. \\ H &= \text{معامل انتقال الحرارة W/m}^2\text{ K}. \end{aligned}$$

3- الإشعاع (Radiation) : قد تنتقل الطاقة من جسم إلى آخر بدون وجود وسط مادي بين الجسمين ، وذلك عن طريق إصدار أشعة الكترومغناطيسية من الجسم الحار، وعند اصطدام تلك الأشعة بالجسم البارد ، تتحول إلى طاقة حرارية.

العلاقة الرياضية :

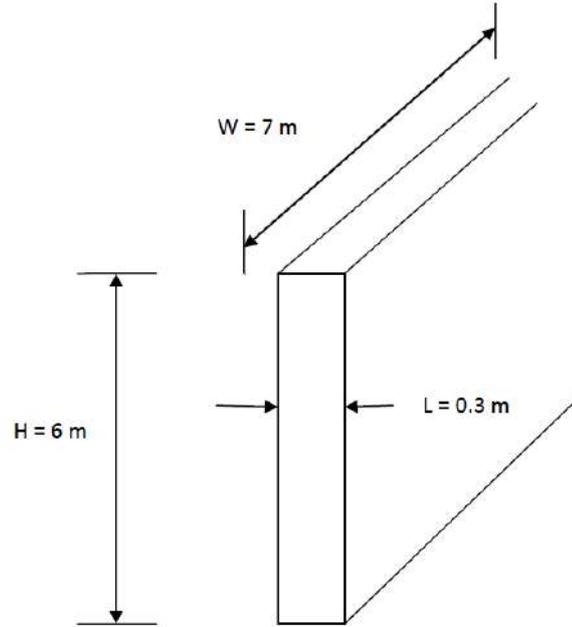
$$Q = \sigma AT^4 \quad (7 - 7)$$

إذ إن :

$$\begin{aligned} Q &= \text{الطاقة الحرارية (W)}. \\ A &= \text{مساحة الجسم الباعث للحرارة cm}^2. \\ T &= \text{درجة الحرارة المطلقة K}. \\ \sigma &= \text{ثابت يعتمد على درجة الامتصاص (W/(m}^2\text{K}^4\text{))}. \end{aligned}$$

مثال (3)

احسب كمية الحرارة التي تنتقل خلال ساعة في جدار سمكه 0.3 m وقد وجد بالتجربة ان معامل التوصيل الحراري للجدار يساوي 0.6 W/m K وان ارتفاع الجدار 6 m وعرضه 7 m وكانت درجة الحرارة على احد أوجهه 16 °C وعلى الوجه الاخر 6 °C.



الحل :

$$Q = \frac{K A dT}{S}$$

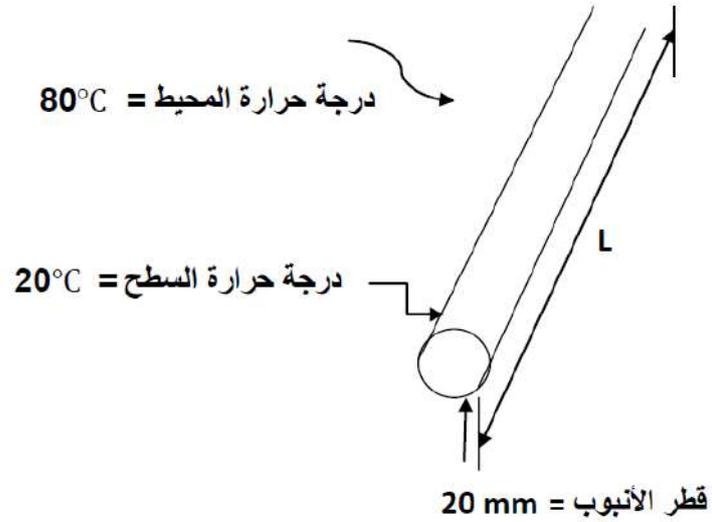
$$Q = - \frac{0.6}{0.3} \times (6 \times 7)(16 - 6) = - 840 \text{ W} = - 840 \text{ J/s}$$

$$Q = 840 \frac{\text{J}}{\text{s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \times \frac{\text{kJ}}{1000 \text{ J}} = 30240 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

مثال (4)

انبوب من النحاس قطره 20 mm استعمل لنقل ماء ساخن . السطح الخارجي للانبوب معرض إلى محيط درجة حرارته 20°C . اذا كانت درجة حرارة السطح الخارجي للانبوب 80°C وكان معامل انتقال الحرارة يساوي 6 W/m² K احسب:

1. كمية الطاقة المفقودة من السطح إلى المحيط بطريقة الحمل لكل متر من طول الأنبوب.
2. بافتراض حالة الإشعاع للسطح الأسود ماهي كمية الطاقة المفقودة بطريقة الإشعاع ، $\sigma \approx 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$



الحل :

1. مساحة مقطع الأنبوب (A) تساوي :

$$A = 2\pi r$$

$$A = 2\pi(0.01) = 0.06 \text{ m}^2$$

∴ لمتري طول من الأنبوب

$$Q = h A dT$$

$$Q = 6 \times 0.06 (80 - 20) = 21.6 \text{ W/m}$$

2.

$$Q = \sigma AT^4$$

∴ لمتري طول من الأنبوب

$$Q = 6.57 \times 0.06 \{ (80 + 273)^4 - (20 + 273)^4 \} = 29.1 \text{ W/m}$$

7.3.7 المبادلات الحرارية Heat Exchangers

تُعدّ المبادلات الحرارية من اهم المعدات الصناعية المستعملة في الصناعة ، إذ أنها إحدى تطبيقات الفيزياء الحرارية و تطبيقات علم انتقال الحرارة . المبادلات الحرارية هي عبارة عن أجهزة صممت لغرض توصيل الحرارة من وسط إلى آخر بأكبر كفاءة ممكنه ، سواء كان الوسط مفصول بجدار صلب وحتى لو كان الوسطان لا يلامسان بعضهما بشكل مباشر ، تستعمل المبادلات الحرارية بشكل واسع في التدفئة والتبريد، وتكييف الهواء وفي محطات الطاقة والمصانع الكيميائية والبتروكيميائية فضلاً عن مصافي النفط ومعامل معالجة الغاز.

تستعمل المبادلات الحرارية على نطاق واسع في الصناعة لغرض التبريد، أو التسخين. نوع وحجم المبادلات الحرارية المستعملة يمكن تكييفها لتلائم عملية ما تبعاً لنوع السوائل ، وحالتها، درجة الحرارة ، الكثافة ، اللزوجة ، والضغط ، والتركييب الكيميائي ومختلف الخصائص الحرارية الأخرى.

المبادلات الحرارية تستعمل في العديد من الصناعات ، منها ما يلي :

- 1 - معالجة المياه المستعملة .
- 2 - نظم التبريد .
- 3 - الصناعات النفطية ومنها المصافي .

8.3.7 فكرة التبادل الحراري خلال المبادلات الحرارية

تنتقل الحرارة عادةً من المواد الحارة إلى المواد الباردة ويؤدي ذلك إلى انخفاض درجة حرارة المواد الحارة وارتفاع درجة حرارة المواد الباردة ويكون مقدار الحرارة المفقودة مساوياً للحرارة المكتسبة مضافاً إليه الحرارة المتسربة إلى الجو وكالاتي :

$$\text{الحرارة المفقودة} = \text{الحرارة المكتسبة} + \text{الحرارة المتسربة إلى الجو}$$

يتم انتقال الحرارة في المبادل الحراري بصورة رئيسية بطريقتي التوصيل والحمل إذ إن حرارة المادة تنتقل إلى جدران حزمة الأنابيب بواسطة الحمل وخلال جدران حزمة الأنابيب إلى الجهة الثانية بواسطة التوصيل وعن طريق جزيئات المعدن ومن ثم من الجدار الخارجي لحزمة الأنابيب إلى المادة التي تجري خلال القشرة الخارجية للمبادل الحراري بواسطة الحمل مرة ثانية .

أن الغرض الأساسي من استعمال المبادلات الحرارية هو الاقتصاد في النفقات ، فمثلاً أن تكاليف تسخين النفط الخام يحتاج إلى الكثير من الوقود والطاقة ، في حين تجد في نفس الوحدة منتجات نفطية بحاجة إلى تبريد قبل إرساله إلى الخزانات لذا يمكن أداء الوظيفتين في مبادل حراري واحد أو مجموعة من المبادلات الحرارية .

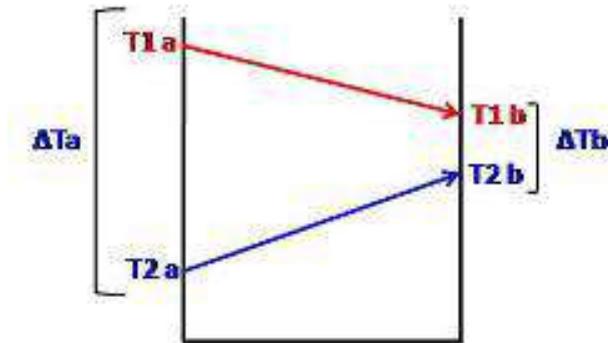
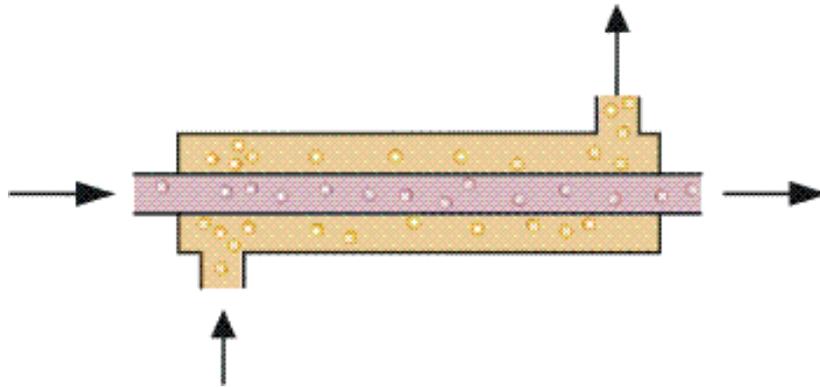
أن بخار الماء يُعدّ من أوساط التسخين الشائعة في الصناعة النفطية ، وخاصة المراجل البخارية إذ

إنه يعطي حرارته إلى المنتج النفطي ويتحول بدوره إلى ماء. إن البخار المتكثف من عمليات التسخين هذه يتم إعادته إلى (منظومة مغلقة) ليعاد استعماله كماء مغذي للمرجل لإنتاج البخار. علماً أن البخار ليس مسخناً رئيساً في تكرير النفط الخام إذ إن النفط الخام يُسخن بشكل أساسي في الأفران .

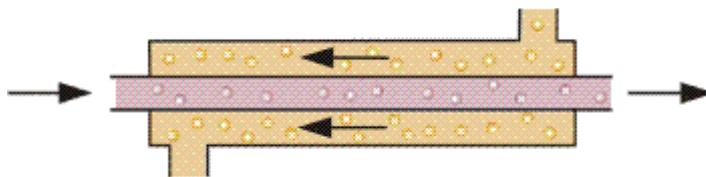
9.3.7 حالات جريان الموائع في المبادلات الحرارية

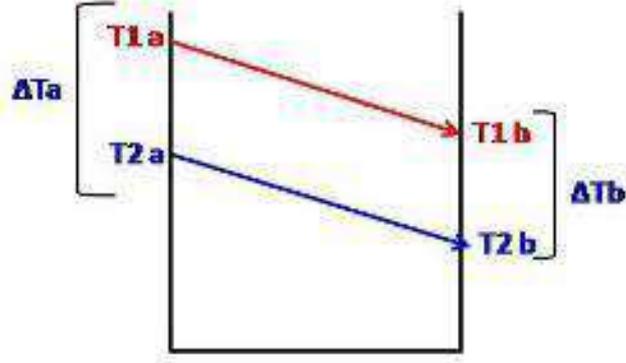
هناك حالتان لاتجاه جريان الموائع في المبادلات الحرارية وهي:

1 - الجريان الموازي Parallel Flow يكون اتجاه جريان الموائع في هذه الحالة متشابهاً ، أي أن المائعين يسيران بنفس الاتجاه. كما في الشكل:



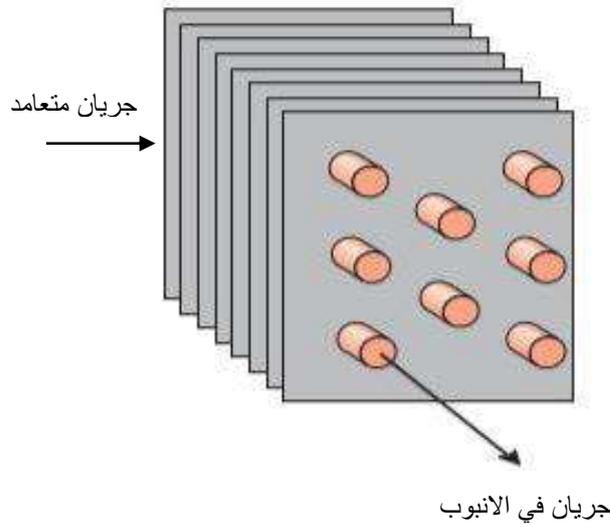
2 - الجريان المتعاكس Counter-Current Flow يكون اتجاه جريان المائعين متعاكساً أي أن المادتين تسيران باتجاهين متعاكسين وكما في الشكل:





أن المحور الأفقي X-Axis في الشكلين أعلاه يمثلان طول المبادل ويلاحظ في الجريان المتعاكس ثبوت فرق درجات الحرارة تقريباً على طول المبادل الحراري بينما في الجريان المتوازي يلاحظ أن الفرق كبير جداً في دخول المبادل ويقل على امتداد طوله. وأثبتت التطبيقات العملية إن الجريان المتعاكس كفاءته أكثر من الجريان المتوازي .

3 – الجريان المتعامد Cross - Flow إذ يكون احد المائعين عمودياً على الآخر .



الشكل (6 – 7) الجريان المتعامد

10.3.7 العوامل المؤثرة علي الأداء الحراري للمبادلات الحرارية

يوجد العديد من العوامل التي تؤثر تأثيراً كبيراً ومباشراً على الأداء الحراري للمبادلات الحرارية والتي يجب أن توضع في الاعتبار عند تصميم وتشغيل هذه المبادلات نذكر منها ما يلي:-

- (1) كتلة معدل سريان المائع
- (2) مساحة سطح التبادل الحراري
- (3) معامل التوصيل الحراري
- (4) معامل انتقال الحرارة بالحمل
- (5) درجات حرارة دخول وخروج المائع الساخن والبارد
- (6) الحرارة النوعية للمائع

11.3.7 استعمالات المبادلات الحرارية

تستعمل المبادلات الحرارية بصورة عامة للأغراض الآتية :

- 1 - تسخين سائل أو غاز .
- 2 - تبريد سائل أو غاز .
- 3 - تكثيف بخار .
- 4 - تبخير سائل .

12.3.7 تصنيف المبادلات الحرارية

تسمى المبادلات الحرارية حسب عملها ووظيفتها كما يأتي :

- 1- المسخنات (Heaters) : وهي المبادلات التي تستعمل سائلاً ساخناً لتسخين مائع.
- 2- المبردات (Coolers) : وهي المبادلات الحرارية التي تستعمل لتبريد الموائع بواسطة سائل آخر ويستعمل الماء عادةً لهذا الغرض ويسمى ماء التبريد ، وفي حالة استعمال الهواء تسمى المبردات الهوائية .
- 3 - المكثفات (Condensers) : وهي المبادلات الحرارية التي تستخدم لتكثيف البخار أو مزيج أبخرة أو بوجود غازات قابلة للتكثيف (كوجود الهواء مع بخار الماء) وعملها الرئيس هو إزالة أو امتصاص الحرارة الكامنة للتبخير Latent Heat ويستعمل الماء لهذا الغرض عادةً .
- 4 - المبخرات (Evaporators) : تستخدم لتبخير سائل مذيّب من محلول معين وتستخدم عادة لتكريز المحاليل بواسطة تبخير الماء من هذه المحاليل المائية.
- 5 - المراحل (Reboilers) : وهي المبادلات الحرارية التي تستعمل عادة لتسخين نهايات أبراج التقطير لفصل المشتقات عن بعضها أو لأبراج التجزئة (لفصل بعض الغازات عن السوائل) ويستعمل بخار الماء بشكل واسع في الصناعة النفطية.

كما يمكن تصنيف المبادلات الحرارية تبعاً لعدد الأطوار وكالاتي:

1 - مبادلات أحادية الطور : وهي المبادلات الحرارية التي يتم فيها التبادل الحراري بين مائعين (بنفس الطور) ولا يحدث تغير في حالة (طور) أحد هذين المائعين.
2 - مبادلات متعددة الأطوار: وهي المبادلات الحرارية التي يتم فيها التبادل الحراري مع حدوث تغير في حالة (طور) أحد هذين المائعين ، فمثلاً يتبخر أحدهما أو يتكثف أثناء التبادل الحراري.
كما يمكن تصنيف المبادلات الحرارية تبعاً لتصميمها وكالاتي:

1 - المبادلات ذات الرأس الثابت: ويكون هناك فرق كبير في درجات حرارتها وفيها يكون طرفي الحزمة ثابتين ولا توجد حماية أو احتياطات للتمدد الحراري الكبير وتستعمل للضغوط الواطئة . ويستعمل للموائع بحيث لا تتجاوز أقصى حرارة لها 150°C .

2 - المبادلات ذات الرأس السائب :في هذا النوع من المبادلات تثبت إحدى صفيحتي الأنابيب من طرف وتترك سائبة من الطرف الآخر وذلك لكي تسمح بتمدد حزمة الأنابيب نتيجة التمدد الحراري وخاصة إذا كانت الفروق الحرارية كبيرة بين المائعين ويستعمل هذا النوع على نطاق واسع جداً في الصناعة النفطية ويكون سهل التنظيف عند إجراء أعمال الصيانة.

3 - المبادل الحراري ذو شكل حرف U : في هذا النوع من المبادلات تكون حزمة الأنابيب على شكل حرف U ومثبتة على صفيحة واحدة للأنابيب وفي هذا النوع تتمدد الأنابيب بحرية تامة. كذلك يكون عدد نقاط الاتصال أو الربط للأنابيب مع صفيحة الأنابيب أقل منه في المبادلات الأخرى (لوجود صفيحة أنابيب واحدة) ويستعمل عادة في المراجل البخارية وخاصة التي تسخن البخار ويستعمل لدرجات الحرارة والضغط العالية إلا أنه صعب التنظيف بالوسائل العادية مقارنة بالأنواع الأخرى. وتستعمل لتنظيفه وسائل ميكانيكية حديثة كاستعمال الماء ذو الضغط العالي أو فرش دقيقة وخرطوم مرنة. وهذا النوع شائع الاستعمال في الصناعة النفطية.

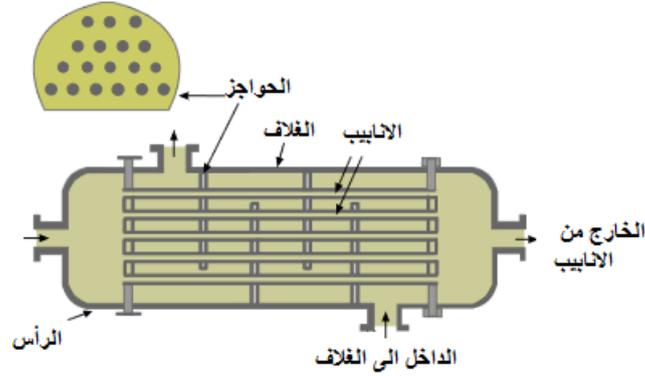
4 - المبادل الحراري ذو الأنبوب المزدوج : هو عبارة عن أنبوب خارجي وأنبوب داخلي آخر أقصر وتمر المادة خلال الأنبوب الخارجي والمادة الأخرى المراد تبريدها أو تسخينها خلال الأنبوب الداخلي.

الملاحظات الواجب أتباعها أثناء تشغيل المبادلات الحرارية :

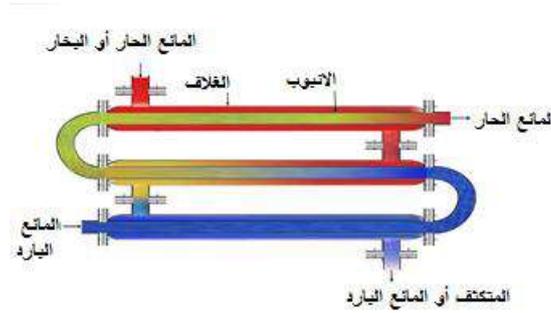
1 - عند تبريد المنتجات النفطية ذات درجة الحرارة المرتفعة جداً يجب أن يكون مرورها خلال أنابيب المبادل الحراري بحيث تكون سرعتها بطيئة جداً في البداية ومن ثم تزداد سرعتها تدريجياً ، لأن السرعة العالية في البداية قد تؤدي إلى تدمير حزمة الأنابيب والمبادل ككل.

2 - الترسبات : أن المياه المستعملة في التبريد تحتوي على كمية لا بأس بها من الشوائب والأملاح التي تترسب على جدران الأنابيب الداخلية لحزمة الأنابيب وهيكل المبادل (الغلاف) إذا كان يمر خلاله مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة للماء لاكتسابه كمية من الحرارة من المادة المراد تبريدها ، لذا يتوجب تنظيف المبادل لإزالة الترسبات وبالتالي زيادة كفاءة التبادل الحراري.

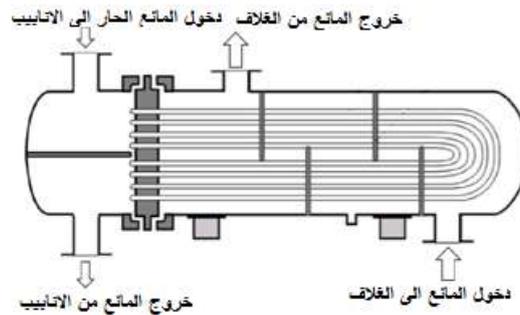
3 - مراعاة أن تدخل الموائع الحارة التي يراد تبريدها من الجهة العليا وذلك بسبب زيادة الكثافة بانخفاض الحرارة مما يولد ميلاً نحو الجريان للأسفل وسوف يؤدي ذلك إلى عدم وجود مقاومة أكبر للجريان (أو لفقدان الضغط) ، وعليه يلاحظ في جميع المبردات الهوائية دخول المائع (الحار) من الأعلى وخروجه من الأسفل.



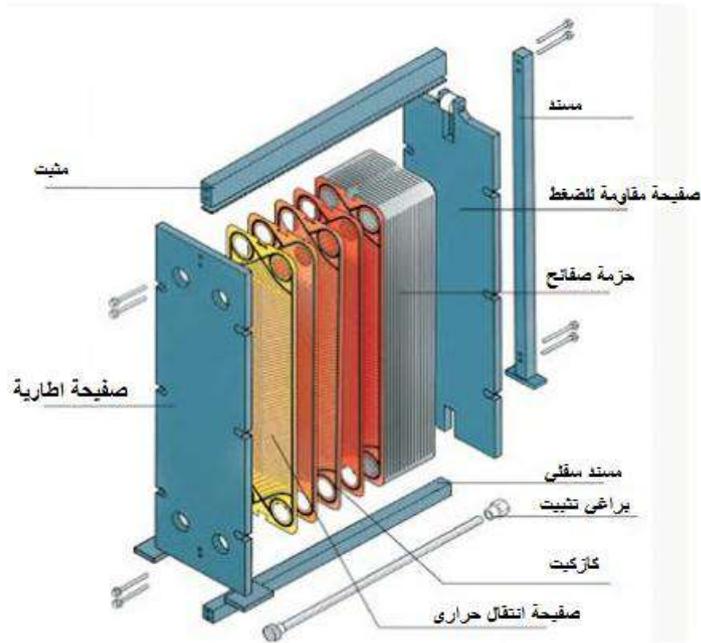
الشكل (7 - 7) مبادل حراري نوع الغلاف والأنابيب



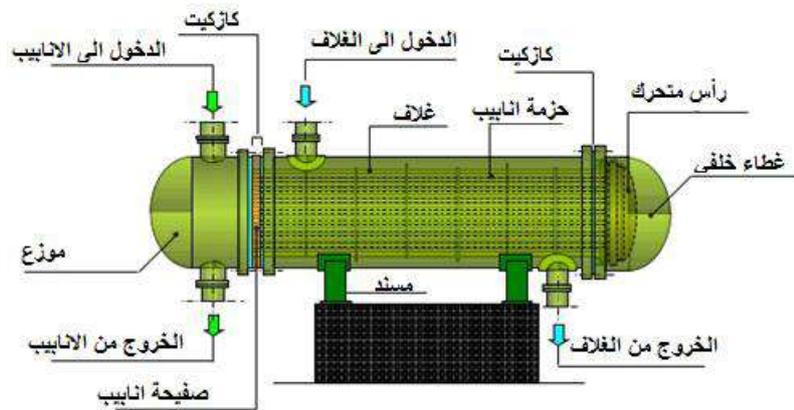
الشكل (7 - 8) المبادل الحراري ذو الانبوب المزدوج



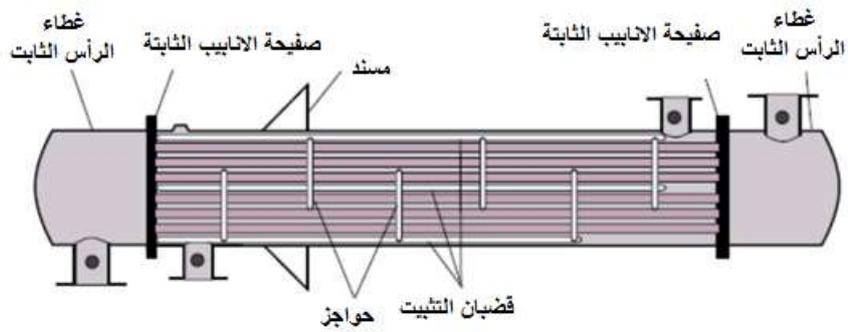
الشكل (7 - 9) المبادل الحراري ذو الانابيب على شكل حرف U



الشكل (7 - 10) المبادل الحراري ذو الصفائح



الشكل (7 - 11) المبادل الحراري ذو الراس المتحرك



الشكل (7 - 12) المبادل الحراري ذو الراس الثابت

تتكون المبادلات الحرارية الغلافية الأنبوبية من عدة أنابيب ، ومجموعة واحدة من هذه الأنابيب تحوي المائع الذي إما يبرد أو يسخن، بينما، المائع الآخر يجري خارج الأنابيب التي إما تسخن أو تبرد لكي تعطي الحرارة أو تمتص الحرارة من المائع. مجموعة الأنابيب كلها تسمى "حزمة" أنابيب.

هناك سؤال دائماً ما يتبادر إلى الذهن : أي من السائلين يتم وضعه في الغلاف (Shell) ، وأي منهما يتم وضعه في الأنابيب (Tubes) ..الجواب هو كالآتي:
يجب وضع سائل ما في الأنابيب Tubes ، في الحالات الآتية :

1 - عند الحاجة إلى أنابيب مصنوعة من نوع خاص من السبائك المعدنية تقاوم التآكل ودرجات الحرارة العالية. إذ إن هذه المواد تكون مطلوبة في الأنابيب فقط ، فإذا كان السائل الذي يمر في الغلاف (Shell) يسبب التآكل فأن كلاً من الغلاف والأنبوب يجب إن يكون محمياً بسبيكة خاصة.

2 - في حالة الضغوط العالية للسائل فيجب وضعه في الأنابيب لأن ذلك أقل كلفةً إذ أنها تكون ذات قطر أقل من الغلاف والتي ستحتوي السائل الأقل ضغطاً.

3 - احتواء السائل على البخار والغازات غير المتكثفة. فان هذا السائل سيحدث تبادلاً حرارياً أكبر إذا كان في الأنابيب .

4 - إذا كان السائل مسبباً للصدأ لذا يجب أن يكون في الأنابيب ، إذ يمكن معالجته.
يجب وضع السائل في الغلاف (Shell) في الحالات الآتية :

- 1- إذا كان المطلوب فرق ضغط قليل .
- 2 - إذا كان السائل لزجاً إذ إن هذا سيؤدي إلى فرق ضغط قليل وسيكون التبادل الحراري أكبر.
- 3- عند الحاجة إلى الغليان، إذ يجب تصميمها على نمط الغلاية .

المبادل الحراري ذو الصفيحة والاطار

- 1- قليل الكلفة (وخاصةً للسوائل التي تسبب التآكل).
- 2- أصغر وأخف مقارنة بالمبادل الحراري نوع الغلاف والأنبوب بنفس الكفاءة الحرارية.
- 3- قلة عمليات الصيانة بكل أنواعها فضلاً عن سهولة زيادة سعته من خلال إضافة المزيد من الصفائح .
- 4 - بعض المصممين لا يفضلون استعماله في الصناعة النفطية إلا في ظروف معينة (درجة حرارة أقل من 300 °F وضغط يتراوح بين (150-300 psi)
- 5 - لا يمكن استعمال هذا النوع من المبادلات الحرارية لسوائل عالية اللزوجة.
- 6 - يجب اختيار الصفائح من مواد مقاومة للتآكل.

المبادلات الحرارية التي تستخدم الهواء

وهي المبادلات التي تستعمل الهواء في تبريد الغازات إلى درجة حرارة مقاربة لدرجة حرارة الجو ، ومبدأ عمل هذا النوع من المبادلات هو سحب الهواء عمودياً من الأعلى، أو الأسفل ليتلامس مع أنابيب الغاز الأفقية التي تتفرع من أنبوب واحد للدخول ومن ثم تتحد إلى أنبوب واحد للخروج ويتم التحكم بدرجة الحرارة بأربع طرق:

- 1 - زاوية ميل ريش المروحة.
- 2 - سرعة دوران محرك المراوح الذي يؤدي إلى زيادة كمية الهواء المستعمل في التبريد.
- 3 - كما يمكن التحكم بزاوية ميل شقوق التهوية والتي يمكن التحكم بها أوتوماتيكياً أو يدوياً.
- 4 - تدوير قسم من الغاز المراد تبريده عند تغيير درجات الحرارة.

مبادلات التسخين المباشر ومبادلات التسخين غير المباشر

يستعمل النوع الأول التسخين المباشر عن طريق الشعلة و أو نواتج الاحتراق عن طريق الإشعاع، والحمل ، ولكن الدور الأكبر هو للإشعاع إذ يجري السائل المطلوب في أنابيب حول الشعلة وتتلقى هذه الأنابيب القدر الأكبر من الحرارة مباشرةً عن طريق الإشعاع في حين تكون هناك كمية قليلة من الحرارة عن طريق تيارات الحمل من الهواء الساخن بين الشعلة والأنابيب أما النوع الثاني فلا يحصل تلامس بين المادة المطلوبة ونواتج الاحتراق ويتم تسخين وسط آخر مثل (الماء – البخار – أو أي سائل آخر) لتسخين النفط أو الغاز . ويفضل إن تكون المسخنات بعيدة نسبياً عن بقية الوحدات في الصناعة النفطية ، إذ يمكن التعامل معه في حالات الحريق، أو الحالات الطارئة.

هنالك عدة اعتبارات لتصميم الأنابيب والتي يجب أن تأخذ بعين الاعتبار عند تصميم المبادل الحراري. تشمل هذه الاعتبارات ما يأتي :

- 1 - قطر الأنبوب: استخدام أنبوب صغير القطر يجعل التبادل الحراري اقتصادي. ومع ذلك ، فمن المرجح للتبادل الحراري إن يتعطل بشكل أسرع وصغر حجم الأنابيب يجعل التنظيف الميكانيكي صعب جداً بسبب الترسبات. لكي نتغلب على مسألة الترسبات ومشاكل التنظيف، يمكننا استعمال أنابيب بأقطار أكبر. وهكذا، يجب الأخذ بعين الاعتبار كل من تحديد قطر الأنبوب ، والمساحة المتوفرة ، التكلفة وطبيعة المواد المترسبة .
- 2 - سمك جدار الأنابيب مأخوذاً بنظر الاعتبار المساحات لمواجهة مشكلة التآكل .
- 3 - القدرة على تغيير قطع الغيار بأقل التكاليف وبأبسط الطرق .

أحياناً سمك الجدار يحدد عن طريق الحد الأقصى لفارق الضغط عبر الجدار ، لا بد من التذكير بأنه من الصعب استبدال وتغيير الأنابيب الطويلة الرقيقة

13.3.7 اختيار المبادلات الحرارية

من أجل اختيار مبادلة حرارية مناسبة، يقوم مصممو نظام البرامج (أو بائعي المعدات) بالنظر في مواصفات وتصميم كل نوع من أنواع المعدات الحرارية. هناك عدة معايير أخرى هامة تشمل ما يأتي :

- 1 - قيود الضغوط العالية / المنخفضة .
- 2 - الأداء الحراري .
- 3 - مدى درجات الحرارة.
- 4 - نوع المواد -الموائع- المراد معالجتها (السائلة / السائلة ، وجود أو عدم وجود الجسيمات الصلبة، غاز / سائل ، غاز / غاز) .
- 5 - انخفاض الضغط عبر المبادل .
- 6 - سعة ومقدرة تدفق السوائل .
- 7 - سهولة التنظيف ، والصيانة والإصلاح .
- 8 - المواد المطلوبة للبناء .
- 9 - قدرة وسهولة التوسع في المستقبل .

متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريتمي

يستعمل متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريتمي لتحديد القوة الدافعة لدرجة الحرارة لنقل الحرارة في نظام الجريان : تستعمل المعادلة الآتية لحساب متوسط فرق درجة الحرارة في حالة الجريان اللوغاريتمي (LMTD) المتعاكس :

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} \right)} \quad (8-7)$$

أما في حالة الجريان المتوازي للمائع، فتستخدم المعادلة الآتية :

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2} \right)} \quad (9-7)$$

إذ إن :

T_1 = درجة حرارة المائع الداخل الساخن.

T_2 = درجة حرارة المائع الخارج الساخن.

t_1 = درجة حرارة المائع الداخل البارد.

t_2 = درجة حرارة المائع الخارج البارد.

وكلما زادت قيمة الـ LMTD ، كلما زاد التوصيل الحراري.

مثال (5)

مبادل حراري يدخل اليه مائعين ، احدهما حار والأخر بارد . المطلوب حساب كمية الحرارة المنتقلة في حالتي الجريان المتعاكس والجريان المتوازي ، وفيما ادناه المعلومات :

درجة حرارة المائع الحار الداخل = 200 °C

درجة حرارة المائع الحار الخارج = 145 °C

درجة حرارة المائع البارد الداخل = 80 °C

درجة حرارة المائع البارد الخارج = 120 °C

$$A = 75 \text{ m}^2$$

$$U = 70 \text{ KJ/s.m}^2 \cdot \text{K}$$

الحل :

1 - في حالة الجريان المتعاكس :

المائع الحار الخارج ← المائع الحار الداخل

المائع البارد الداخل ← المائع البارد الخارج

$$\Delta T_m = \frac{(200-120)-(145-80)}{\ln \frac{200-120}{145-80}} = 72.45 \text{ °C}$$

$$Q = UA \Delta T_m = 70 \times 75 \times 72.46 = 3.804 \times 10^5 \text{ W}$$

المائع الحار الخارج ← المائع الحار الداخل

المائع البارد الخارج ← المائع البارد الداخل

$$\Delta T_m = \frac{(200-80)-(145-120)}{\ln \frac{120}{25}} = 60.56 \text{ }^\circ\text{C}$$

5

$$Q = UA \Delta T_m = 70 \times 75 \times 60.56 = 3.179 \times 10^6$$

من النتائج أعلاه يلاحظ انه عند نفس الظروف التشغيلية ونفس المبادل الحراري ، تكون كمية الحرارة المنقلة في حالة الجريان المتعاكس اكبر منها في حالة الجريان المتوازي .

معامل توصيل الحرارة

يستعمل معامل توصيل الحرارة في حساب انتقال الحرارة ، وتعتمد العلاقة الآتية :

$$h = \frac{\Delta Q}{A \cdot \Delta T \cdot \Delta t} \quad (10-7)$$

إذ ان :

ΔQ = حرارة المدخلات أو الحرارة المفقودة ، (J)

h = معامل انتقال الحرارة ، (w / m² . K)

A = منطقة انتقال الحرارة السطحية ، m²

ΔT = الفرق في درجة الحرارة بين سطح صلب والمنطقة المحيطة بها السائل ، (K)

Δt = الفترة الزمنية ، (S)

وهناك العديد من أساليب لحساب معامل انتقال الحرارة في مختلف وسائط نقل الحرارة ، السوائل المختلفة ، نظم التدفق ، وتحت مختلف الظروف . وعادةً ما تستعمل هذه المعادلة في حالة تصميم أو صيانة المبادل الحراري .

يقوم أخصائيو الصيانة برصد حالة أنابيب المبادل الحراري واختبارها من خلال الفحوصات الدورية. الشوائب المتعلقة بالمائع مشكلة خطيرة في الكثير من المبادلات الحرارية. مياه الأنهار كثيراً ما تستعمل كمياه تبريد ، الأمر الذي يؤدي إلى دخول أنقاض بيولوجية للمبادل الحراري ويؤدي ذلك إلى بناء طبقات شبة عازلة ، هذا بالتأكيد يحد من معامل انتقال الحرارة. مشكلة أخرى أيضاً تكمن عند تواجد الطبقات المترسبة على الجدران الداخلية للأنابيب والمتكونة من مواد كيميائية مثل كاربونات الكالسيوم أو كاربونات المغنيسيوم.

اسئلة الفصل

- س 1 : عرف كلا من الحرارة ، وبين العوامل التي تعتمد عليها الحرارة اللازمة لتسخين جسم .
- س 2 : عدد أنواع تمدد المواد الصلبة مع ذكر القوانين .
- س 3 : اذكر أنواع أجهزة قياس درجة الحرارة ، ثم اشرح المزدوج الحراري .
- س 4 : اذكر مع الشرح والقوانين طرق انتقال الحرارة .
- س 5 : اشرح حالات جريان الموائع في المبادلات الحرارية مع ذكر المخططات الخاصة بذلك .
- س 6 : ما هي العوامل المؤثرة على تصميم وتشغيل المبادلات الحرارية .
- س 7 : اذكر أصناف المبادلات الحرارية ، ثم اشرح المبادل الحراري ذو الانبوب المزدوج .
- س 8 : في المبادل الحراري ذو الغلاف والانبوب ، أي من السائلين يتم وضعه في الغلاف ، وأي منهما يتم وضعه في الانبوب ، ولماذا .
- س 9 : اذكر القوانين الرياضية لحساب متوسط درجة الحرارة اللوغاريتمي .
- س 10 : احسب كمية الحرارة اللازمة لتحويل 3 kg من الماء درجة حرارته 20°C إلى بخار درجة حرارته 110°C ، علما بان الحرارة النوعية للماء تساوي 4200 J/kg والحرارة الكامنة لتبخير الماء 2260 KJ/kg والحرارة النوعية لبخار الماء $2010\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$.