



كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثانية

المادة : ترموديناميك

المحاضرة : الاولى / نظري / د. اصف يوسف

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z : Facebook Group

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

10

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

الفصل الثاني

الغاز الكامل (المثالي)

١ - معلومات عامة :

توجد المادة في الطبيعة في إحدى الحالات التالية : الصلبة ، السائلة ، الغازية ، والبلازما ، وذلك حسب الشروط الخارجية للضغط ودرجة الحرارة . لنفرض أننا أخذنا قطعة صغيرة من مادة صلبة ووضعناها داخل وعاء مغرغ من الهواء ، ولنفرض أن جدران هذا الوعاء سمكية وتحمل درجات عالية جدا من الحرارة . لنسخن هذه الكتلة من المادة فنجد أنها تنصهر بعد أن تصل درجة حرارتها إلى درجة معينة وتصبح المادة في الحالة السائلة ، لتتابع التسخين فتتحول المادة السائلة إلى غاز (أو بخار) يملأ حجم الوعاء بكامله مهما كانت كتلة الغاز صغيرة ، وتتحول بالتالي المادة إلى الحالة الغازية . لتتابع التسخين فتزداد الطاقة الحركية لجزيئات الغاز ، وإذا أصبحت درجة حرارة الغاز مساوية يضة آلاف درجة مطلقة ، فتفكك جزيئاته إذا كانت ثنائية الذرة كالهيدروجين مثلا وتتحول إلى ذرات منعزلة وتصطدم هذه الذرات مع بعضها بعضاً ويؤدي اصطدامها إلى تشتت قسم منها ، أي أن الذرة تخسر إلكترون أو أكثر من إلكتروناتها وتصبح عبارة عن شاردة موجبة ، كما تؤدي هذه الاصطدامات إلى تهيج قسم من الذرات ، يتشكل لدينا هكذا في الدرجات العالية من الحرارة مزيج غازي يحتوي على شوارد موجبة والإلكترونات وذرات متهيجة وذرات معتدلة كهربائيا ، يدعى هذا المزيج الغازي البلازما Plasma وهذه هي الحالة الرابعة للمادة .

تكون جزيئات المادة في الحالة الصلبة قريبة من بعضها ومتماسكة مع بعضها البعض وتعطي شكلا معيناً للمادة الصلبة . أما في الحالة السائلة ، فإن قوى الترابط بين الجزيئات تضعف وتتمكن بالتالي الجزيئات من الحركة ، أما في الحالة الغازية ، فتصبح المسافة بين جزيئات الغاز كيميائية نسبياً ، وتحرك بالتالي جزيئات الغاز في جميع الاتجاهات ، ويأخذ الغاز الشكل الهندسي للوعاء الموضوع فيه . ولا يمكننا بالتالي تحديد شكل معين للغاز ، كما أن ضغطه وحجمه تابعان لدرجة الحرارة ، والشيء الثابت للغاز هو كتلته فقط .

نعرف الغاز الكامل (أو الغاز المثالي) بأنه الغاز الذي نهمل فيه قوى التأثير المتبادل بين جزيئاته ، كما نهمل حجم هذه الجزيئات بالنسبة للحجم الذي تشغله ، ونفرض أن جزيئات الغاز المثالي عبارة عن نقط هندسية . ونشير إلى أن الغاز المثالي لا وجود له عملياً ، لكن يمكننا اعتبار أي غاز حقيقي كغاز مثالي إذا كان ضغطه غير مرتفع .

عندما نسخن غازاً ما ، يتغير حجمه وضغطه مع درجة الحرارة في الحالة العامة ، وقبل إيجاد العلاقة بين المتحولات الثلاثة للغاز أي : الضغط والحجم ودرجة الحرارة ، لندرس العلاقة بين كل متحولين منها بشيئين المتحول الثالث الآخر .

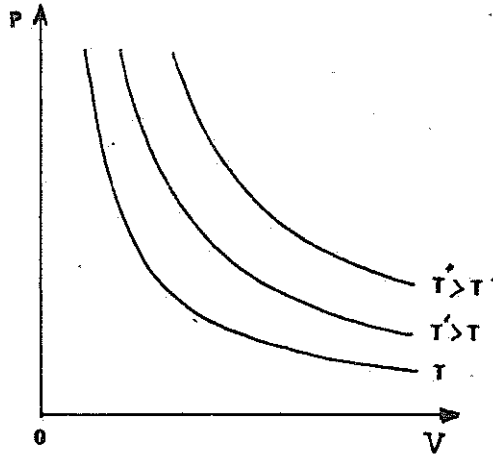
٢ - قانون بويل وماريوت Boyle and Mariotte

يصف هذا القانون على مايلي :

نجد أن ضغط الغاز P ، في حجمه V يساوي مقدارا ثابتا إذا بقيت درجة الحرارة T ثابتة ، ونكتب العلاقة التالية :

$$P \cdot V = C \text{ te} \quad (2.1)$$

من الواضح أن المنحني البياني الذي يمثل P بتابعة V عبارة عن
 احد فرعي قطع زائد كما في الشكل (1) .



الشكل (1)

يتبين من قانون بويل وماريوت أنه إذا أخذنا كمية معينة من الغاز
 المثالي وليكن الهواء مثلاً ، وثبتنا درجة حرارتها T وغيّرنا ضغطها
 من P_1 إلى القيمة P_2 فيتغير حجمها من القيمة V_1 إلى القيمة V_2
 بحيث تتحقق العلاقة التالية :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\text{أي أنه إذا جعلنا } P_2 = \frac{P_1}{2} \text{ فنجد أن : } V_2 = 2 V_1$$

من الواضح أيضاً أنه إذا غيرنا درجة حرارة الغاز ، فإن قيمة الثابتة
 الواردة في قانون بويل وماريوت تتغير . فإذا فرضنا مثلاً أننا غيرنا

T إلى القيمة $T' > T$ فنحصل على قطع زائد آخر للتابع (V) $\nu = \pm$ وكذلك الامر من اجل $T' > T$ نحصل على قطع زائد آخر . ونحصل هكذا على المنحنيات المتشعبة الدرجة للغاز المثالي المبينة في الشكل (1) .

٣ - قانون في لوساك : Gay - Lussac

يتم هذا القانون على مايلي :

إذا بقي ضغط الغاز ثابتا ، فإن حجمه يزداد خطيا مع درجة الحرارة ونكتب العلاقة التالية :

$$V = V_0 (1 + \alpha_p \cdot t) \quad (2.2)$$

V : حجم الغاز في الدرجة t مئوية .

V_0 : حجم الغاز في الدرجة صفر مئوية .

α_p : ثابت التناسب ويدعى عامل التمدد الحجمي تحت ضغط ثابت .

لقد حسبت قيمة α_p تجريبيا من اجل غازات مثالية مختلفة ، فوجد

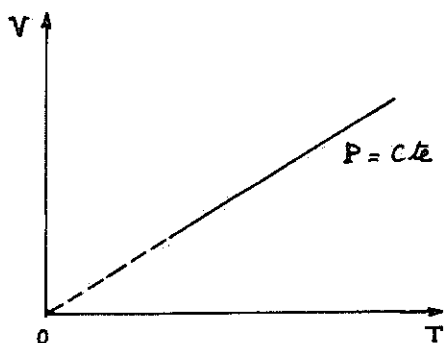
أنها ثابتة من اجل مختلف الغازات المثالية وقيمتها :

$$\alpha_p = \frac{1}{273,15} \simeq \frac{1}{273} \quad C^{-1}$$

نحصل بتبديل α_p بقيمتها في العلاقة (2.2) على :

$$V = V_0 \frac{273 + t}{273} = V_0 \frac{T}{T_0} \quad (2.3)$$

نلاحظ اذا رسمنا V بتابعة درجة الحرارة المطلقة T أننا نحصل على خط مستقيم كما هو مبين في الشكل (2) . نجد من اجل $T = 0^{\circ}K$ ان $V = 0$ أي أن حجم الغاز في درجة الصفر المطلق يصبح معدوما ، لكننا نعلم أن الغاز لا يتمتع في الدرجات المنخفضة جدا من الحرارة بصفات الغاز المثالي ، ولا يمكننا بالتالي تطبيق قوانين الغاز المثالي عليه في هذه الشروط .



الشكل (2)

٤ - قانون شارل : Charles

يمكننا أيضا دراسة تغير ضغط الغاز بتابعة درجة حرارته مع ابقاء حجمه ثابتا . ليكن P_0 ضغط الغاز في الدرجة صفر مئوية P ضغطه في الدرجة t مئوية . اذا بقي حجم الغاز ثابتا فان ضغطه يزداد خطيا مع درجة الحرارة ونكتب العلاقة التالية :

$$P = P_0 (1 + \alpha_V \cdot t) \quad (2.4)$$

٨٠ : α_v : عامل تغير ضغط الغاز مع درجة الحرارة تحت حجم ثابت .

ان قيمة α_v ثابتة ولا تتعلق بنوع الغاز وهي مستقلة عن الضغط البدائي الذي اجريت فيه التجربة وقيمته :

$$\alpha_v = \alpha_p = \frac{1}{273} \quad C^{-1}$$

للبهرمان على أن $\alpha_v = \alpha_p$. نأخذ كتلة ما من غاز في الدرجة صفر مئوية وليكن ضغطها P وحجمها V ، ونسخنها الى الدرجة t مئوية بالطريقتين التاليتين :

١ - تسخين تحت ضغط ثابت $P = Cte$ فيزداد حجمها ويعطى بقانون غي لوساك :

$$V = V_0 (1 + \alpha_p \cdot t)$$

٢ - تسخين تحت حجم ثابت $V = Cte$ فيزداد ضغطها ويعطى بقانون شارل :

$$P = P_0 (1 + \alpha_v \cdot t)$$

وبما أن درجة الحرارة t هي نفسها في نهايتي هذين التحويلين ، فيمكننا تطبيق قانون بويل وماريوت ونكتب :

$$P_0 V = P V_0 \quad \text{أي أن :}$$

$$P_0 V_0 (1 + \alpha_p \cdot t) = P_0 V_0 (1 + \alpha_v \cdot t)$$

وبالتالي فان :

$$\alpha_p = \alpha_v$$

لنبدل الآن α_v بقيمتها في العلاقة (2.4) فنحصل على

العلاقة التالية :

$$P = P_0 \frac{273 + t}{273} = P_0 \frac{T}{T_0} \quad (2.5)$$

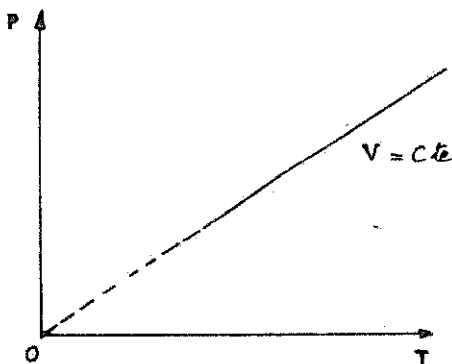
نحصل برسم المنحني البياني للتابع $P = f(T)$ من اجل $V = Cte$ على الخط المستقيم المبين في الشكل (3) .

يمكننا بتطبيق العلاقة (2.5) قياس درجات الحرارة المطلقة

T بواسطة الترمومتر الغازي ذي الحجم الثابت الذي رأيناه سابقا .

تنطبق القوانين التجريبية الثلاثة السابقة على الغازات الحقيقية

بشكل أفضل كلما كانت قريبة من شروط الغاز المثالي .



الشكل (3)

٥ - معادلة الغاز المثالي :

لتكن لدينا كتلة m من غاز مثالي ضغطها P وحجمها V ودرجة حرارتها T . نستخرج العلاقة بين أي من هذه المتحولات الثلاثة بتابعة المتحولين الآخرين وهذا مايعبر عنه بقانون الغاز المثالي .

لنجر الحساب لكتلة من الغاز تساوي كتلة مول Mole واحد
منه أي: 2 gr من الهيدروجن H_2 أو 28 gr من الازوت N_2 أو 32 gr من الاكسجين O_2 وهكذا ...

من المعلوم ان المول الواحد من الغاز يشغل في الشرطين النظاميين من الضغط ودرجة الحرارة (أي في الضغط الجوي النظامي والدرجة صفر مئوية)

حجما قدره $22,4 \text{ litres}$ ويحتوي المول الواحد من الغاز على عدد افوكادرو

$$\bullet N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ molecules/mole}$$

لنفرض أن كتلة مول واحد من الغاز موجودة في الشرطين البدائيين التاليين:

حجمها V_0 وضغطها P_0 في الدرجة صفر مئوية . لنضع هذه الكتلة من الغاز للتحويلين التاليين :

١ - تسخين تحت ضغط ثابت $P_0 = \text{cte}$ من الدرجة صفر مئوية الى

الدرجة t فيصبح حجمها :

$$V' = V_0 (1 + \alpha_p \cdot t)$$

٢ - نشبت درجة حرارتها في نهاية التحول السابق ، ثم نغير ضغطها

من القيمة P_0 الى القيمة P فيصبح حجمها V .

نحمل بتطبيق قانون بويل وماريوت على نهايتي المرحلتين السابقتين على

العلاقة التالية :

$$P V = P_0 V' = P_0 V_0 (1 + \alpha_p t)$$

أي أن :

$$P V = P_0 V_0 \propto_P \left(\frac{1}{\alpha_P} + t \right) = P_0 V_0 \propto_P T$$

ونحصل على العلاقة التالية التي تدعى معادلة الغاز المثالي من اجل مول واحد :

$$P V = R T \quad (2.6)$$

R : ثابتة الغاز المثالي .

نكتب المعادلة (2.6) من اجل n مولا من الغاز المثالي على الشكل التالي :

$$P V = n R T \quad (2.7)$$

حيث $n = \frac{m}{M}$ ، كتلة الغاز : m ، الكتلة : M ، المولية للغاز ، نحسب قيمة الثابتة R بعد دراسة وحدات الضغط .

٦ - وحدات الضغط :

ان واحدة الضغط هي واحدة مشتقة ، وتعرف من العلاقة التالية :

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

وكذلك فان واحدة القوة هي مشتقة ، وتعرف من القانون الأساسي في التحريك :

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

ان واحدة الضغط في الجملة السغشية C . G . S هي $\text{dyne} / \text{cm}^2$

وتدعى هذه الوحدة باري barye .

اما واحدة الضغط في الجملة العملية M . K . S فهي $\text{Newton} / \text{m}^2$

وتدعى هذه الوحدة باسكال Pascal . نستنتج بسهولة أن الباسكال يساوي 10 باري .

تستخدم أيضا وحدات للضغط لاستثمي لأحدى الجملتين السابقتين وهي :
الكيلو غرام على السنتيمتر المربع Kgr / cm^2 ونجد أن قيمته
 $\text{Kgr} / \text{cm}^2 \approx 10^5 \text{ Pascals}$

تدعى أيضا هذه الوحدة بالضغط الجوي النظامي ورمزه atm ويمثل هذا الضغط ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه 76 cm .
توجد أيضا وحدة للضغط تدعى بار bar وهو ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه 75 cm . توجد لهذه الوحدة اجزاء وهي المليلي بار وتستخدم هذه الوحدة في الارصاد الجوية .

تستخدم لقياس الضغوط المنخفضة وحدة تدعى Torr نسبة الى العالم ثوريشيلي Torrichelli ، وتساوي هذه الوحدة ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه يساوي 1 mm .

٧ - حساب قيمة R ثابتة الغاز المثالي:

لتعد الى العلاقة التي توصلنا اليها سابقا بين P و V و T للمول واحد من الغاز المثالي وهي :

$$P V = P_0 V_0 \propto P T$$

نلاحظ أن للجداء P V أبعاد طاقة أو عمل . لأن الضغط عبارة عن

قوة على سطح ، وبالتالي فان ابعاد جداء الضغط في الحجم عبارة عن قوة لي الانتقال ، أي ابعاد عمل .

لنحسب قيمة الثابتة R لمول واحد من الغاز المثالي .

... في الجملة السعوية :

$$R = P_0 V_0 \alpha_p = \frac{76 \times 13,6 \times 981 \times 22400}{273}$$

$$R = 8,32 \cdot 10^7 \text{ ergs / mole } ^\circ K \quad \text{أي أن :}$$

ويمكننا كتابة قيمة هذه الشاذة على الشكل التالي :

$$R = 8,32 \text{ joules / mole } ^\circ K$$

أما في الجملة العملية فإن واحدة الكتلة هي $K \text{ gr}$ ونأخذ بالتالي
ال $K \cdot \text{moles}$ عوضا عن ال mole ونكتب :

$$R = 8,32 \cdot 10^3 \text{ joules / K. moles } ^\circ K$$

لكننا سوف نستخدم المول في دراستنا عوضا عن الكيلو مول تسهيلا للحساب .

٨ - تطبيقات معادلة الغاز المثالي :

٨ - ١ - حساب حجم غاز في الشرطين النظاميين :

ليكن P : ضغط الغاز V : حجمه T : درج

حرارته . لنحسب حجم هذا الغاز في الشرطين النظاميين ، أي لنحسب V_0

تحت الضغط P_0 وفي درجة الحرارة T_0

لنطبق قانون الغاز المثالي على الحالتين البدائية والنهائية لهذا

الغاز :

$$P V = n R T \quad (2.8)$$

$$P_0 V_0 = n R T_0 \quad (2.9)$$

من (2.8) و (2.9)

n : عدد مولات الغاز .

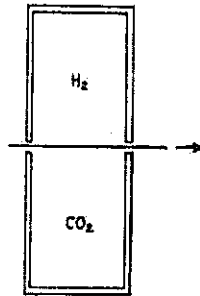
نحمل من العلاقتين (2.8) و (2.9) على العلاقة التالية التي نحسب بها حجم الغاز في الشرطين النظاميين :

$$V_0 = V \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \quad (2.10)$$

٨ - ٢ - مزيج من الغازات المثالية - قانون دالتون : Dalton

تدل التجربة على أنه عندما نضع غازين أو عدة غازات في وعاء واحد انهما يمتزجان مع بعضهما البعض ويشكلان بعد فترة من الزمن مزيجاً متجانساً بكثافة منتظمة ، وذلك بفرض أن الغازين غير قابلين لأي تفاعل كيميائي فيما بينهما .

لقد حقق هذه التجربة العالم برتوليه Berthollet حيث واصل وعاءً علوياً مملوءاً بغاز الهيدروجين مع وعاءٍ سفلي مملوءٍ بغاز الفحم وذلك بزلق الحاجز الفاصل بينهما ببطء ، فلاحظ أن الغازين يمتزجان مع بعضهما بفعل الانتشار على الرغم من اختلاف كثافتهما كما في الشكل (4) .



الشكل (4)

ليكن لدينا n_1, n_2, \dots, n_i مولا من الغازات المثالية موضوعة في شروط بدائية مختلفة من الضغط والحجم ودرجة الحرارة ، أي في الشروط البدائية التالية على الترتيب :

$$P_1, V_1, T_1) \text{ و } \dots (P_2, V_2, T_2) \text{ و } \dots (P_i, V_i, T_i)$$

لنضع هذه الغازات في وعاء حجمه V ، فتمتزج مع بعضها البعض ويصبح

لها بعد حمل التوازن الحراري الضغط الكلي P ودرجة الحرارة T .

لنبيين كيف يمكن تطبيق قانون الغاز المثالي على هذا المزيج الغازي .

نحصل بتطبيق قانون الغاز المثالي على كل غاز من الغازات السابقة

في شروطه البدائية على العلاقات التالية :

$$\left. \begin{array}{l} P_1 V_1 = n_1 R T_1 \\ P_2 V_2 = n_2 R T_2 \\ \dots\dots\dots \\ P_i V_i = n_i R T_i \end{array} \right\} \quad (2.11)$$

ولدينا في المزيج الغاري العلاقة التالية :

$$P V = n R T \quad (2.12)$$

حيث يمثل n عدد مولات المزيج الغازي :

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_i \quad (2.13)$$

أَيُّ أَنْ :

$$P V = (n_1 + n_2 + \dots + n_i) R T \quad (2.14)$$

نحصل من مجموعة المعادلات (2.11) و (2.14) على العلاقة

التالىة

$$\frac{P V}{T} = \frac{P_1 V_1}{T_1} + \frac{P_2 V_2}{T_2} + \dots + \frac{P_i V_i}{T_i} \quad (2.15)$$

نستنتج من العلاقة (2.15) أنه يمكننا حساب ضغط المزيج الغازي P إذا علمت الشروط البدائية لكل غاز من غازاته بالإضافة إلى الحجم V ودرجة الحرارة T لهذا المزيج الغازي .
 لنفرض أن غازات المزيج كانت في درجة واحدة من الحرارة قبل المزيج أي أن :

$$T_1 = T_2 = \dots = T_i = T$$

فتصبح المعادلة (2.15) على الشكل التالي :

$$P V = P_1 V_1 + P_2 V_2 + \dots + P_i V_i \quad (2.16)$$

أي أن :

$$P V = \sum_i P_i V_i$$

نحصل إذن على قانون دالتون التالي منه :

في درجة معينة من الحرارة T يكون الجداء $P V$ لمزيج من الغازات المثالية مساوياً لمجموع الجداءات $P V$ لغازات المزيج الموجودة في نفس الدرجة T قبل المزج .

إذا فرضنا أن كل غاز في المزيج يشغل الحجم V بكامله .
 فنحصل بقسمة طرفي المعادلة (2.16) على V على العلاقة التالية

$$P = P_1 \frac{V_1}{V} + P_2 \frac{V_2}{V} + \dots + P_i \frac{V_i}{V} \quad (2.17)$$

أي أن :

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_i \quad (2.18)$$

حيث تمثل المقادير P_1, P_2, \dots, P_i الضغوط الجزئية للغازات في المزيج أي أن ضغط مزيج من الغازات المثالية يساوي مجموع الضغوط الجزئية للغازات التي يتألف منها .

٨ - ٣ - حساب الكتلة النوعية للغاز المثالي:

نعرف الكتلة النوعية ρ للغاز بالعلاقة التالية :

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

أي أن الكتلة النوعية للغاز تساوي نسبة كتلته على حجمه . لكن هذه النسب تتعلق بالضغط ودرجة الحرارة ، ولذلك يجب تحديد الضغط ودرجة الحرارة عند إعطاء الكتلة النوعية للغاز . يعبر عن الكتلة النوعية في الجملة العملية بـ $K \text{ gr/m}^3$ كما يعبر عنها بوحدة غير عملية وهي gr/litre .

ليكن ρ_0 الكتلة النوعية للغاز في الشرطين النظاميين ، لنحسب

ρ في الدرجة T وتحت الضغط P .

نلاحظ أن :

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{V_0}{V}$$

نحصل بتطبيق قانون الغاز المثالي على هذه الكتلة m من الغاز

في الشرطين النظاميين على العلاقة التالية :

$$P_0 V_0 = n R T_0$$

وفي الضغط P ودرجة الحرارة T نكتب العلاقة التالية :

$$P V = n R T$$

أي إن :

$$\frac{V_0}{V} = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

وبالتالي فإن :

$$\rho = \rho_0 \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \quad (2.19)$$

نستنتج من ذلك أن الكتلة النوعية للغاز تتناسب طردياً مع الضغط وعكساً مع درجة الحرارة المطلقة .

أما كثافة الغاز density التي نرمز لها بـ d فتعريف بالعلاقة التالية :

$$d = \frac{\text{الكتلة النوعية للغاز}}{\text{الكتلة النوعية للهواء}}$$

لنحسب كثافة الغاز في الشرطين النظاميين :

نأخذ كتلة من الغاز تساوي كتلة مول واحد منه أي M فيكون حجمها في الشرطين النظاميين $V_0 = 22,4 \ell$. أما الكتلة النوعية للهواء في الشرطين النظاميين $\rho_0 = 1,293 \text{ gr}/\ell$ وبالتالي فإن كثافة الغاز في الشرطين النظاميين :

$$d = \frac{M}{29} \quad (2.20)$$

٤-٨ - تطبيق معادلة الغاز المثالي في حساب تغير الضغط الجوي مع الارتفاع:

الضغط الجوي عبارة عن ثقل عمود من الهواء . ارتفاعه يساوي ارتفاع الطبقة الهوائية وسطح مقطعه يساوي واحدة السطوح . لنأخذ محوراً

شاقوليا Oz موجها نحو الاعلى بحيث ينطبق مبدؤه على سطح البحر ،
ولنفرض طبقة رقيقة من الهواء سطح مقطعها يساوي واحدة السطوح وسماكتها dz فيكون ضغطها :

$$dP = - \rho \cdot g \cdot dz \quad (2.21)$$

وضعنا اشارة (-) في الطرف الثاني لهذه المعادلة لأن الضغط الجوي يتناقص عندما يزداد الارتفاع عن سطح البحر .

إذا فرضنا أن الهواء عبارة عن غاز مثالي، فنكتب من اجل مول واحد

منه :

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M \cdot P}{R \cdot T} \quad (2.22)$$

M : الكتلة المولية للهواء .

V : حجم مول واحد من الهواء .

نحل محل بعد تعويض ρ بقيمتها في المعادلة (2.21) على العلاقة التالية :

$$dP = - \frac{M \cdot P}{R \cdot T} \cdot g \cdot dz$$

اي أن :

$$\frac{dP}{P} = - \frac{M \cdot g}{R \cdot T} \cdot dz \quad (2.23)$$

فاذا فرضنا أن g و T ثابتان ومستقلان عن الارتفاع ، فنحصل
بمكاملة المعادلة (2.23) بعد أخذ الشروط البدائية بعين الاعتبار
على العلاقة التالية :

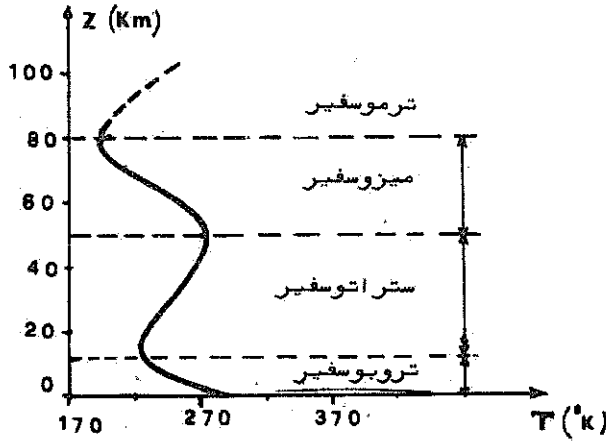
$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{M g}{R T} z} \quad (2.24)$$

P_0 : الضغط الجوي على سطح البحر .
 يمكننا كتابة العلاقة (2.24) بعد التعويض عن الشوايت بقيمها على
 الشكل التالي :

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{z}{8000}} \quad (2.25)$$

حيث تقدر z في هذه العلاقة بالمتر .
 نستنتج من العلاقة (2.25) أن الضغط الجوي يتناقص كلما ارتفعنا
 عن سطح البحر وفقا لقانون أسّي . تعتمد مقاييس الارتفاع **altimeter**
 على هذا القانون حيث تكون هذه المقاييس عبارة عن مقاييس ضغط مدرجة
 مباشرة بمقدار الارتفاع .
 في الحقيقة ، تتغير درجة حرارة الغلاف الجوي (الاتموسفير) بتابعة
 الارتفاع عن سطح البحر وفقا للشكل (5) .

تتناقص أولا درجة الحرارة تدريجيا في الطبقة المسماة تروپوسفير
 حتى ارتفاع 11 km بمعدل 6.5 درجة مئوية لكل كيلو متر .
 اما في الطبقة التي تليها والمسماة ستراتوسفير فتبقى درجة الحرارة ثابتة
 تقريبا في القسم السفلي منها ، حيث تتراوح ما بين 190°K و 220°K



(5) الشكل

في المجال 11 Km حتى 25 Km . ثم ترتفع درجة الحرارة في القسم العلوي من هذه الطبقة الى أن تصل الى القيمة 270°K تقريبا . تنخفض درجة الحرارة تدريجيا في المنطقة التي تليها والمسماة ميزوسفير والممتدة من 55 Km الى 80 Km حيث تصل درجة الحرارة الى القيمة 190°K تقريبا . اما في الطبقة الاخيرة والمسماة ترموسفير، فترتفع درجة الحرارة تدريجيا الى أن تصل الى أكثر من 1000°K .