الديناميكا الحرارية للغلاف الجوى

اعداد: حنان محمد عبدالرحمن
مدير ادارة الامتحانات والتقييم
الادارة العامة للبرامج والتقييم

تلعب الديناميكا الحرارية دورًا مهمًا في فهمنا الكمي لظواهر الغلاف الجوي التي تتراوح من أصغر العمليات الفيزيائية الدقيقة للسحب إلى الدوران العام للغلاف الجوي.

ثرموديناميكا الغلاف الجوي: (Atmospheric thermodynamics)

دراسة تأثير الحرارة في عمليات الطقس وتغيرات نظام جو الأرض، وذلك بتطبيق القوانين الأساسية للثرمودنياميكا الكلاسيكية. وتتعلق ثرموديناميكا الغلاف الجوي للأرض بدراسة خواص الهواء المحمل بالرطوبة، وتكوّن السحب، و الحمل الحراري الجوي ، والاستقرار الرأسي للغلاف الجوي . ويشكل الثرموديناميكا للغلاف الجوي للأرض أساسيات نشأة السحب والحمل الحراري باستخدام نماذج حسابية، و يختص بدراسة خواص الاتزان (Equilibrium properties) لنظام معين بحيث تكون درجة الحرارة هي المتغير الأساسي والمهم . وتختص الديناميكا الحرارية ايضا بدراسة التغيرات التى تحدث للحرارة الى صور مختلفة للطاقة و العكس بالعكس و بالنسبة للأرصاد الجوية تكون هذه العلاقة هامة جدا لعمل توقعات جوية ذات دقة مرتفعة لما سيحدث فى الغلاف الجوى.

و الديناميكا الحرارية تساعدنا فى فهم توزيعات الحرارة فى الغلاف الجوى ، و كيفية تكون السحب والظواهر الجوية ، و الدورة العامة للرياح.

والنظام فى علم الديناميكا الحرارية هو الشئ الذى نتحدث عنه دائما.فمن الممكن ان يكون النظام خزان من الهواء، أو قطعة معدنية وهكذا . ويجب ألا يتفاعل النظام كيميائيا مع الوعاء الذى يحتوية وإلا أصبح الوعاء من النظام ايضا . وبامكان النظام ان يتبادل الطاقة مع أنظمة اخرى والتى تكون الوسط المحيط (Surrounding, Environment) للنظام المعين.

وتصنف الانظمة إلى:-

١- نظام مفتوح: (Open system)

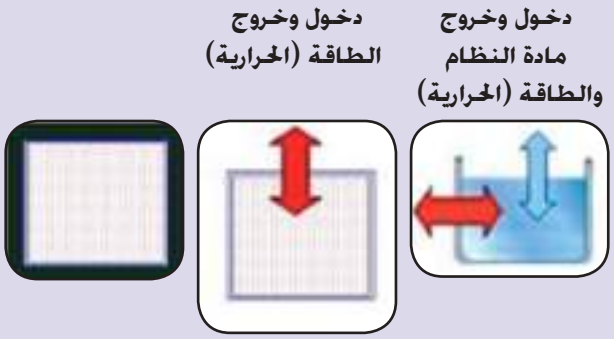
هو النظام الذى يسمح بتبادل الطاقة والمادة مع الوسط المحيط شكل (١)أ. حيث يسمح الدورق بتبادل الطاقة مع الوسط المحيط به.

٢- نظام مغلق: (Closed system)

هو النظام الذى لا يسمح بتبادل المادة ولكنه يتبادل الطاقة مع الوسط المحيط به. شكل (١) ب. حيث يسمح الدورق المغلق تماماً بتبادل الطاقة (بالتسخين أو التبريد) مع الوسط المحيط به، ولا يسمح بهروب أو دخول الغاز.

٣- نظام معزول: (Isolated system)

هو النظام الذي لا يسمح بتبادل الطاقة أو الكتلة مع الوسط المحيط به وهو معزول تماماً عن أي أنظمة أخرى. شكل (١) ج. حيث لا يسمح الدورق بتبادل الطاقة مع الوسط المحيط مثال على ذلك الترمس فهو تقريباً يحتفظ بالمادة والطاقة (الحرارة) لفترة طويلة.



شكل (١) تصنيف الانظمة

وبين النظام والوسط المحيط والذي يتم من خلاله تبادل الطاقة أو المادة يوجد حد فاصل يسمى بحاجز (إطار) النظام (System wall) وهناك أنواع عدة من الحواجز نذكر منها التالي:

١- الحاجز الأديباتيكى (Adiabatic wall):

هو الحاجز الذي لا يسمح بأي تبادل حرارى بين النظام والوسط المحيط به والكلمة أديباتيك مشتقه من الكلمة اليونانية (Adiabatos) وتعني عدم المرور.

٢- الحاجز الثنائي الحرارى: (Diathermal wall)

هو الحاجز الذي يسمح بتبادل الحرارة بحرية تامة، والكلمة مشتقه من الكلمة اليونانية (Diathermos) وتعني المرور الحرارى.

وبالنسبة للغلاف الجوى يكون النظام عبارة عن حزمة من الهواء والوسط المحيط هو الغلاف الجوى .

فمثلا اذا تم تسخين كمية معينة من الهواء، فسوف تصبح اسخن من الوسط المحيط بها ، و تصبح كثافتها اقل و بالتالي سوف يحدث لها طفو لأعلى

هذا المثال هو من ابسط انواع تطبيقات الديناميكا الحرارية فى الغلاف الجوى.

المتغيرا ت الديناميكية الحرارية

يوجد بعض الكميات الفيزيائية التي تستخدم لوصف السلوك الملاحظ للمادة وتسمى خواص وهى خواص ملحوظة للنظام وبالإمكان حسابها، وهي:

١- درجة الحرارة (T):

تعبر عن الجهد الحراري (Thermal potential) وهي تستخدم كمقياس للسخونة والبرودة للمادة. وبمعنى أعمق، هو مقياس لمتوسط طاقة الحركة التي تمتلكها جزيئات النظام.

٢- الضغط (P):

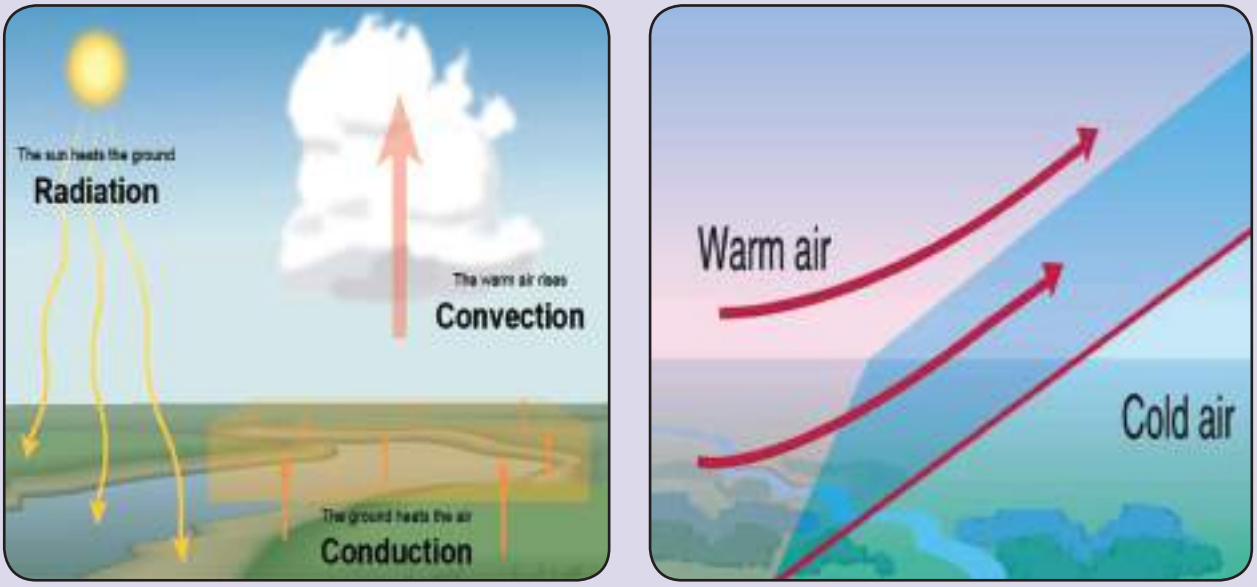
يعبر عن الجهد الميكانيكي (Mechanical potential) وهي القوة العمودية لوحدة المساحات.

٣- الحجم (V):

يعبر عن الازاحة الميكانيكية (Mechanical displacement) وهي كمية الفراغ التي تشغلها المادة.

٤- الإنتروبي (S):

تعبر على الإزاحة الحرارية ((Thermal displacement وهي مقياس لعشوائية النظام (Disorder of the system)



شكل (٢) إرتفاع الهواء الساخن

٥- الطاقة الداخلية (U):
هي مجموع طاقتي الحركة والجهد لمكونات النظام .

٦- المحتوى الحراري (H):
هي مجموع الطاقة الداخلية وحاصل ضرب الحجم والضغط

$$H = U + PV$$

٧- الحرارة النوعية (C):
وهي الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة واحد جرام من المادة درجة واحدة

والحرارة النوعية اساسية لتحديد مدى الحساسية الحرارية لمادة عند اضافة الطاقة لها. فكلما زادت الحرارية النوعية للمادة فان طاقة اكثر يجب ان تضاف لكتلة محددة من المادة لتحدث تغير معين في درجة الحرارة.

من هذا التعريف فانه يمكن ان نربط الطاقة المنتقلة Q بين عينة كتلتها m من المادة والوسط المحيط بها إلى تغير في درجة الحرارة ΔT على النحوالتالي

$$Q = mc\Delta T$$

حيث ان c هى الحرارة النوعية للمادة

لاحظ انه عندما تزداد درجة الحرارة، فان كلا من Q وΔT تكون موجبة وفي هذه الحالة تنتقل الطاقة إلى النظام. وعندما تنقص درجة الحرارة، فإن كلا من Q وΔT تكون سالبة والطاقة تنتقل من النظام.

ونلاحظ من الجدول التالي ان الماء يمتلك أعلى قيمة حرارة نوعية من بين باقي المواد. هذه الحرارة النوعية العالية هي أحد الاسباب المسؤولة عن استقرار الطقس بجوار المناطق التي تمتلك كمية كبيرة من الماء.

ولهذا السبب تكون درجة حرارة السطح اليابس أثناء النهار أعلى من درجة حرارة السطح المائى المجاور و تكون درجة حرارة السطح اليابس ليلا اقل من السطح المائى المجاور.

حالة النظام:
تعرف بأنها شرط محدد بمجموعة من الخواص مثل الضغط والحجم ودرجة الحرارة

١- حالة الاتزان:(Equilibrium state)
هي الحالة التي تكون فيها خواص النظام متناسقة ولا تتغير مع الزمن . والنظام يمكن أن يتكون من مركبين أو أكثر.

٢- حالة عدم الاتزان: (non Equilibrium state)
تخص النظام الذى به تدرج فى الخواص وصفاته تتغير مع الزمن (مثال ذلك الغلاف الجوى والمحيطات).

قوانين الغازات
١- قانون شارل:
عند ثبوت الضغط يتناسب الحجم مع درجة الحرارة تناسبا طرديا .أى انه بزيادة درجة حرارة الغاز يزداد حجمه .

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = constant$$

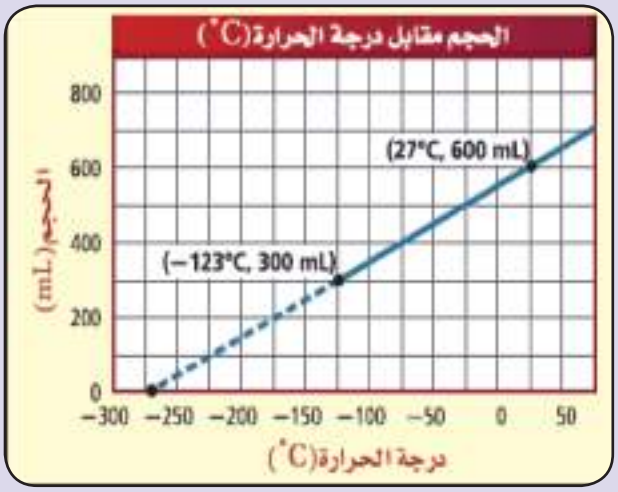
حيث ان:

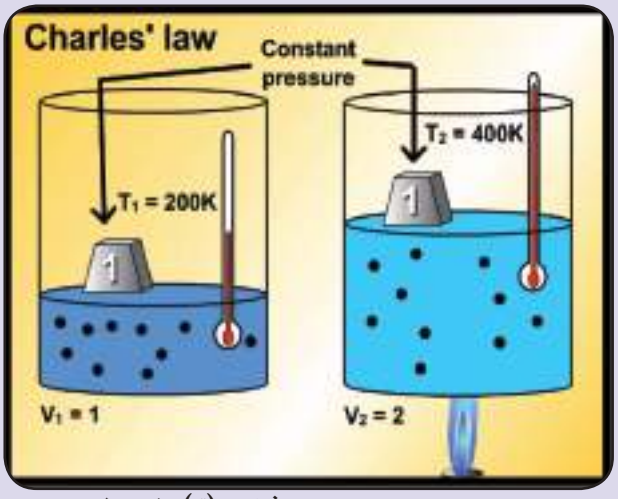
V_1 هو الحجم قبل التسخين والمقابل لدرجة الحرارة T_1

V_2 هو الحجم بعد التسخين والمقابل لدرجة الحرارة T_2

المادة	الحرارة النوعية (جول/كجم.س°)	المادة	الحرارة النوعية (جول/كجم.س°)
الماء	4186	الزجاج	837
الكحول الايثيلى	2508	الرمل	836
الجليسرين	2424	الحديد	448
الجليد	2090	النحاس	387
الزيت	1756	الفضة	234
الخشب	1700	الزئبق	138
الالومنيوم	900	الذهب	129

جدول (١): الحرارة النوعية لبعض المواد





شكل (٣) تغير الحجم مع درجة الحرارة عند ثبوت الضغط

٢- قانون بويل:

عند ثبوت درجة الحرارة يتناسب حجم كمية معينة من الغاز تناسبا عكسيا مع الضغط الواقع عليه. أى انه بزيادة الضغط على كمية من الغاز يقل حجمها

$$P_1V_1 = P_2V_2 = constant$$

حيث ان V_1 هو الحجم المقابل للضغط P_1

V_2 هو الحجم المقابل للضغط P_2

٣- قانون جاى- لوساك:

عند ثبوت الحجم يتناسب الضغط مع درجة الحرارة تناسبا طرديا. أى انه بزيادة درجة الحرارة يزداد الضغط.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = constant$$

حيث ان P_1 هو الضغط المقابل لدرجة الحرارة T_1

P_2 هو الضغط المقابل لدرجة الحرارة T_2

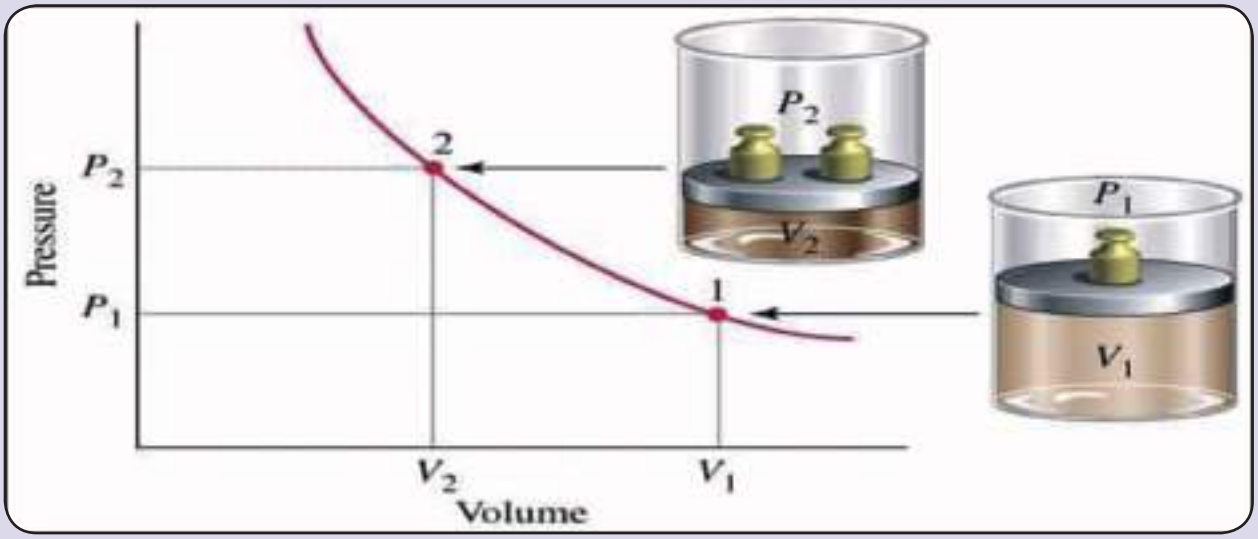
٤- قانون افوجادرو:

يتناسب حجم غاز عند درجة حرارة وضغط ثابتين طرديا مع عدد المولات

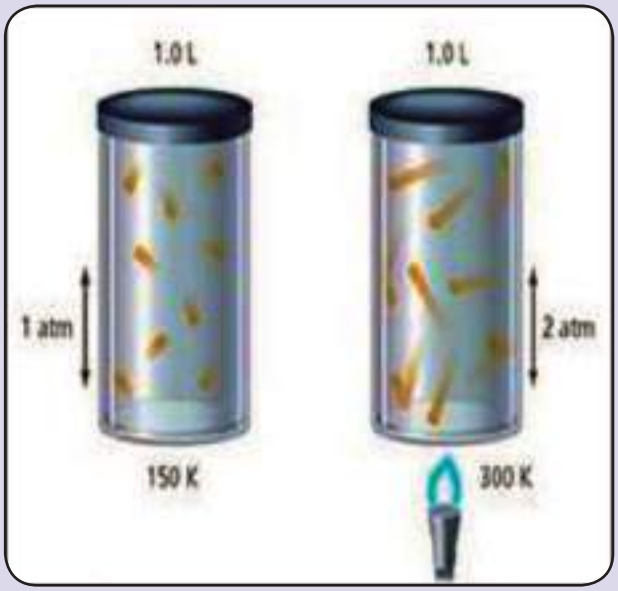
$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

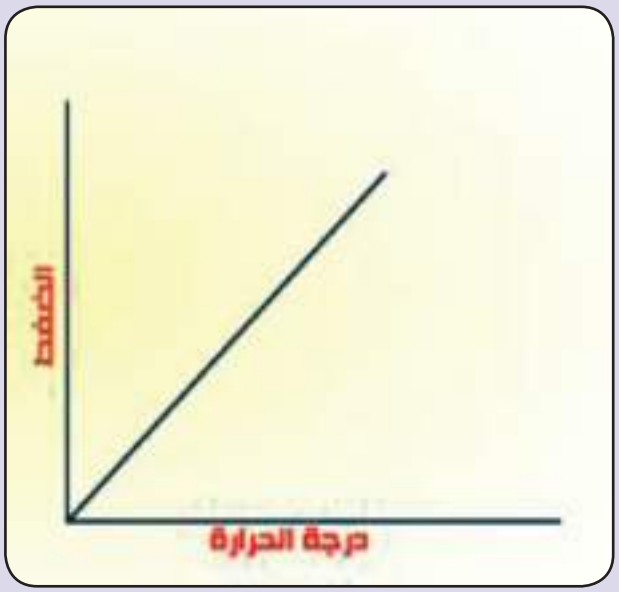
حيث ان n_1 هو عدد المولات المقابل للحجم V_1

n_2 هو عدد المولات المقابل للحجم V_2



شكل (٤) تغير الحجم مع الضغط عند ثبوت درجة الحرارة





شكل (٥) تغير الضغط مع درجة الحرارة عند ثبوت الحجم

٥- القانون العام للغازات:

حاصل ضرب الضغط فى الحجم مقسوما على درجة الحرارة يساوى مقدارا ثابتا(هو دمج بين القوانين الاربعة السابقة).

$$\frac{P_1V_1}{T_1n_1} = \frac{P_2V_2}{T_2n_2} = R$$

حيث ان R هو الثابت العام للغازات

٦- قانون دالتون للضغوط الجزئية:

الضغط الكلى الناشئ عن عدد من الغازات المخلوطة يساوى مجموع الضغوط الجزئية لكل غاز على حده.

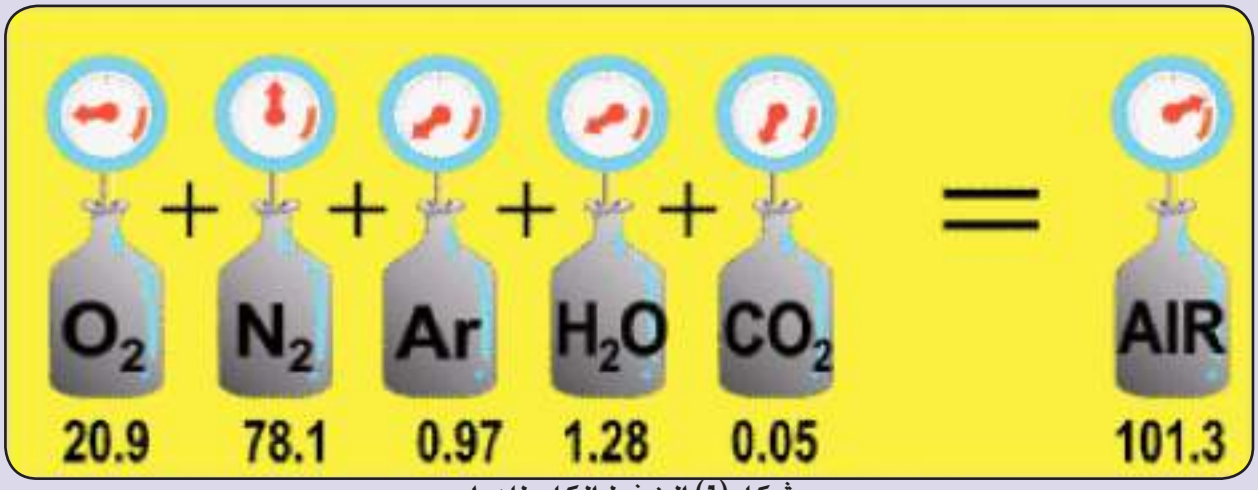
اى ان الضغط الكلى للهواء يساوى الضغط الناشى عن الغازات المكونة للهواء الجوى (الاكسجين - النيتروجين- الارجون - بخار الماء - ثانى اكسيد الكربون -.....)

وبتطبيق القانون العام للغازات على الغلاف الجوى نجد ان

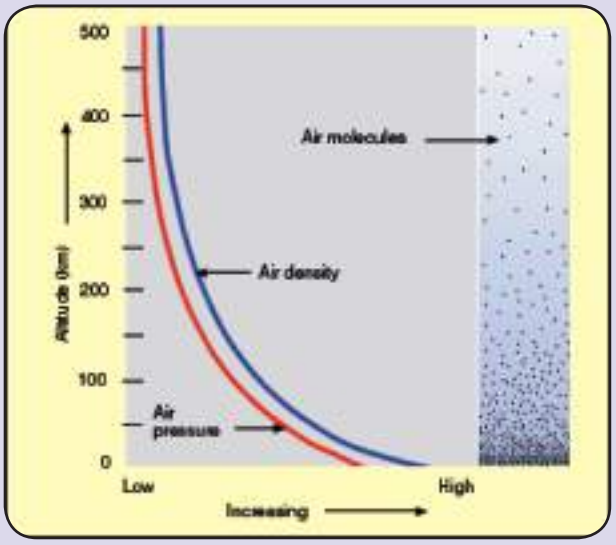
$$P = \rho RT$$

حيث ان P: الضغط الجوى وهو وزن عمود من الهواء على وحدة المساحات

ρ: تمثل كثافة الهواء وتعرف على انها كتلة وحدة الحجوم (٧)



شكل (٦) الضغط الكلى للهواء



شكل (٧) العلاقة بين الضغط الجوى والارتفاع

T: درجة الحرارة

R: ثابت يعتمد على نوعية الهواء (جاف - مشبع)

و يعتبر الضغط الجوي من العناصر المناخية المهمة وله اثر كبير في حركة الرياح على سطح الارض ويتأثر الضغط الجوي بعوامل منها:

١- الارتفاع والانخفاض عن مستوى سطح البحر

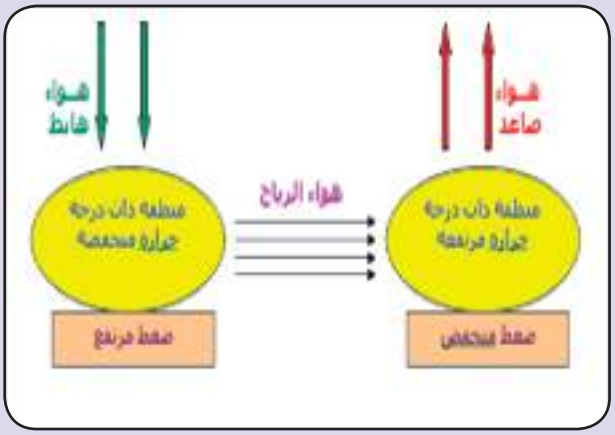
نلاحظ انه كلما انخفضنا الى اسفل يزداد طول عمود الهواء وبالتالي يزداد وزنه وبالتالي يزداد ضغطه والعكس صحيح

٢- درجة الحرارة

 عندما ترتفع درجة الحرارة في اي مكان فان الهواء يتمدد وتقل كثافته ويرتفع الى اعلى فيقل وزنه وضغطه فتصبح المنطقة ذات ضغط جوي منخفض.

 اما المنطقة التي تنخفض فيها درجة الحراة فان الهواء يتقلص وبالتالي يتحرك نحو الاسفل فيزداد وزنه وضغطه فتصبح منطقة ضغط جوي مرتفع.

اختلاف الضغط الجوي بين منطقتين يؤدي الى حركة الهواء من منطقة الضغط الجوي المرتفع الى منطقة الضغط الجوي المنخفض



شكل (٨) حركة الهواء من الضغط الجوى المرتفع الى الضغط الجوى المنخفض

المراجـــع

1- An introduction to atmospheric physics, second edition,Rober G .Fleagle , Joost A , Businger .

2- An Introduction to Atmospheric Thermodynamics Anastasios A.Tsonis.

3- Atmospheric Thermodynamics Elementary Physics and Chemistry.

4- https://ar.wikipedia.org/wiki

5- https://www.arabiaweather.com

6- https://sites.google.com/site/themechanicsscience/mechanic