# القوانين الاساسية للديناميكا الحرارية وتطبيقها في الغلاف الجوي

الديناميكا الحرارية هي إحدى فروع الكيمياء الفيزيائية التي تختص بدراسة التغيرات في الطاقة المصاحبة التفاعلات الكيميائية. أو هو الفرع الذي يختص بدراسة العلاقات الكمية بين الحرارة والاشكال المختلفة للطاقة (طاقة وضع - حركة - نووية - كيميائية...) وتهتم بوصف المادة بدلالة الخواص الفيزيائية P,T,V

تختص الديناميكا الحرارية 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.

اعداد : حنان محمد

مدير ادارة الامتحانات والتقييم

الادارة العامة للبرامج والتقييم


والديناميكا الحرارية تساعدنا فى فهم توزيعات الحرارة فى الغلاف الجوى، وكيفية تكون السحب والظواهر الجوية، والدورة العامة للرياح.

### l القانون الصفري للديناميكا الحرارية: The Zeroth law of thermodynamics

تعتبر درجة الحرارة خاصية اكثر دقة،من الضغط لتحديد خصائص النظام. فما هو تعريف درجة الحرارة؟ ببساطة هو مقياس السخونة او البرودة للمادة، وبمعنى اعمق،هو مقياس لطاقة الحركة التي تمتلكها جزيئات النظام. ومنشأها هو قانون الديناميكا الحرارية الصفري. وقد تم تعريف القانون الصفري بعد ان عرف القانون الاول للديناميكا الحرارية. ولهذا سمي بالقانون الصفري وهو يعني بخصائص الانظمة التي هي في حالة توازن حراري. وينص القانون على انه اذا وجد نظامين منفصلين، مثلا B،A كما بالشكل (١) كل منهما في حالة توازن حراري مع نظام ثالث C. فالنظامين B،A في حالة توازن مع بعضهما البعض،اي ان الاتزان الحراري يعني ان يكون هناك اتصال حراري بين جسمين من خلال جدار او فاصل يسمح بالتبادل الحراري بينهما ونقول انهما في حالة اتزان حراري اذا اصبحت صافي الانتقال الحراري بينهما يساوي صفر. هذا يعني ان الاجسام الثلاثة لهم نفس درجة الحرارة. ومن هنا تكمن اهمية القانون الصفري للديناميكا الحرارية في انها اعتبرت ان درجة الحرارة هي أحد الخواص الاساسية للمادة.

### نبذة تاريخية وسبب التسمية

عندما وضعت القوانين الثلاثة للديناميكا الحرارية في مطلع القرن الثامن عشر لاحظ العلماء في ذلك الوقت ان هناك قانون اخر يجب ان يضاف لقوانين الديناميكا الحرارية الثلاثة. الا ان القانون الجديد هذا الذي اعطى تعريف لدرجة الحرارة يجب ان يكون في مقدمة القوانين الثلاثة السابقة ويتصدر القائمة. ان هذا الامر سبب معضلة للعلماء لان القوانين الثلاثة الاولى كانت معروفة وتم التعامل معها بارقامها القانون الاول والثاني والثالث واعادة ترقيمها قد يتسبب في احداث بعض التضاربات في البحوث العلمية المنشورة

ويسبب مشكلة للقراء والباحثين. والتفكير في ان يكون هو القانون الرابع لم يكن مناسبا لانه قانون بديهي ويجب ان يتصدر القوانين الثلاثة السابقة. تقدم العالم رالف فويلر Ralph Fowler باقتراح لحل هذه المعضلة واطلق عليه القانون الصفري Zeroth Law.

ويوجد عدة أنظمة تستخدم لقياس درجة الحرارة شكل (٢) منها المقياس المئوي(C °) حيث C ترمز إلى مقياس سليزيوس الحراري. وهناك ايضا وحدة الكلفن على المقياس المطلق وهي K، والعلاقة بين المقياس المطلق والمقياس المئوي هي

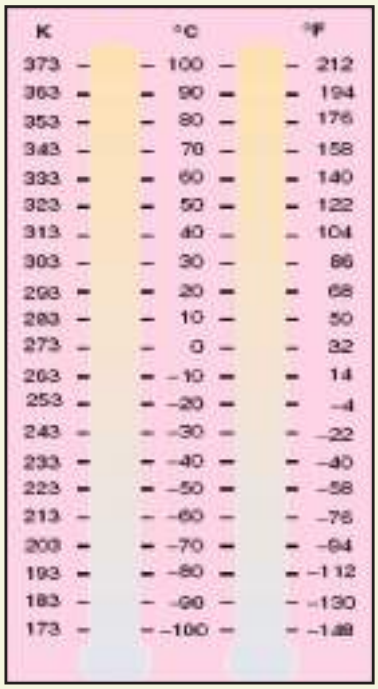
$$T(K) = T(°C) + 273.15$$

وهناك مقياس اخر هو المقياس الفهرنهيتي وعلى هذا المقياس نقطة تجمد الماء هي $(32°F)$ ونقطة الغليان $(212°F)$ والعلاقة بين المقياس المئوي والمقياس الفهرنهيتي هي

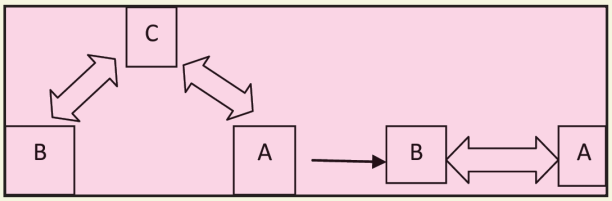
$$T(°F) = \frac{9}{5}T(°C) + 32$$

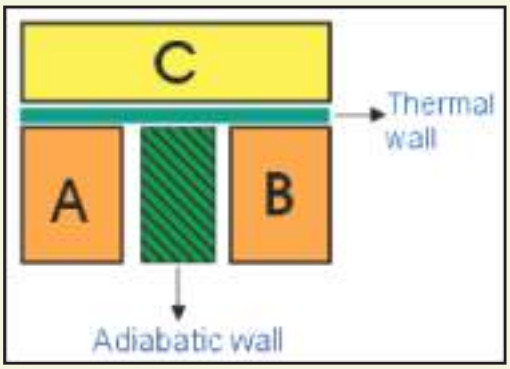
## 1 القانون الأول للديناميكا الحرارية The first law of thermodynamics.

هناك عدد من النصوص المختلفة تعبر جميعها عن نتيجة مهمة جدا وهي حصيلة تجارب لا يمكن حصرها




شكل (٢) مقاييس درجة الحرارة




شكل (١) حالة اتزان بين ثلاثة انظمة مختلفة

تتعلق بتغيرات الطاقة المرافقة لتغيرات الحالة

***نص هلمهولتز** (Helmholtz)

«عندما تختفي كمية من شكل معين من الطاقة فإنه لابد وأن تنتج كمية مكافئة لها بشكل آخر»

***نص كلاوسيوس** (Clausius)

«يبقى المقدار الكلي لطاقة النظام ومحيطه ثابتا على الرغم من أنه يمكن أن يتحول من شكل إلى آخر»

***نص قانون بقاء الطاقة** (Conservation of energy)

«الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم ولكنها تتحول من صورة الى أخرى مكافئة لها»

**ويمكن صياغة القانون الاول للديناميكا الحرارية كما يلي:**

«الطاقة الكلية لنظام معزول تبقى دائما ثابتة، اي ان التغير في الطاقة الداخلية للنظام =كمية الحرارة الممتصة بالنظام مطروحا منها الشغل الذي يبذله النظام» شكل (٣)

$$\Delta E = E_2 - E_1 = Q - W$$

حيث ان $\Delta E$ هو التغير في الطاقة الداخلية للنظام

$E_2$ الطاقة الداخلية الابتدائية

$E_1$ الطاقة الداخلية النهائية

$Q$ كمية الحرارة الممتصة

$W$ الشغل المبذول

اذا حدث تغير متناهي في الصغر (لوحدة الكتل) فان الصيغة التفاضلية للقانون الاول هي

$$dq = de + dw \text{ or } de = dq - dw$$

$$dq = C_p dT - \alpha dP \text{ or } dq = C_v dT + P d\alpha$$

حيث ان $C_v$ : الحرارة النوعية عند حجم ثابت

$C_p$ : الحرارة النوعية عند ضغط ثابت

$dT$ : التغير في درجة الحرارة

$d\alpha$ : التغير في الحجم

$dP$ : التغير في الضغط

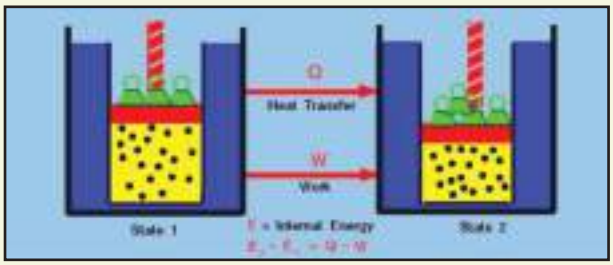
de : التغير في الطاقة الداخلية لوحدة الكتل

### l تطبيقات القانون الاول للديناميكا الحرارية

يعد القانون الاول للديناميكا من اكثر قوانين الديناميكا الحرارية شيوعا واستخداما فى مجال الارصاد الجوية، ومن تطبيقاته العمليات الاتية

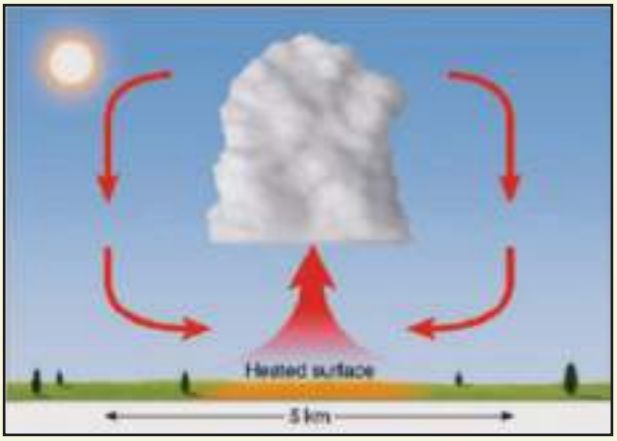
### l العملية الادياباتيكية :

العملية الاديباتيكية هي تلك العملية التي لا يحدث فيها تبادل حراري بين النظام والوسط المحيط. وكلمة اديباتيكى هى كلمة يونانية الاصل وهى تعنى « الغير قابل للعبور » اي انه لا تدخل حرارة إلى النظام ولا تخرج منه أي أن $\Delta q = 0$. العملية الاديباتيكية يمكن



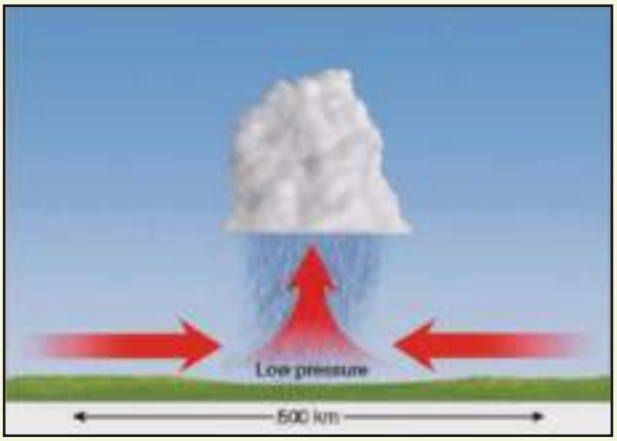

شكل (٣) القانون الاول للديناميكا الحرارية

ان تحدث إما من خلال العزل الحراري لجدار النظام أو من خلال إجراء عملية سريعة جدا في زمن قصير جدا لا يسمح للطاقة لان تتحول إلي حرارة وهذه العملية يسلكها الهواء اذا صعد الى اعلي نتجة تعرضه لاحد عوامل الرفع (التسخين - التضاريس- المنخفضات الجوية - الجبهات) كما هو موضح بالشكل (٤) وبناء على ذلك تصبح صورة القانون الاول للديناميكا الحرارية

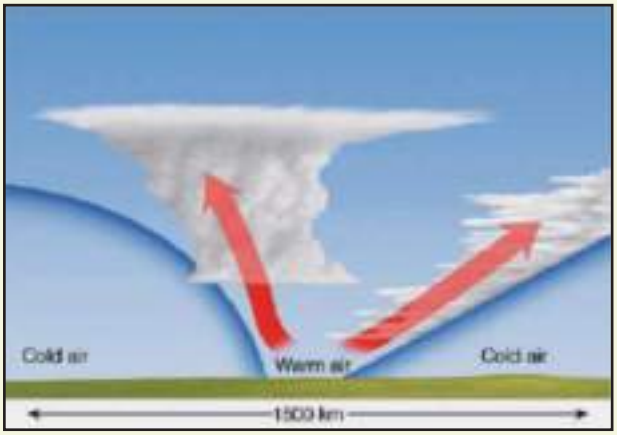



أ - التسخين

ب - التضاريس

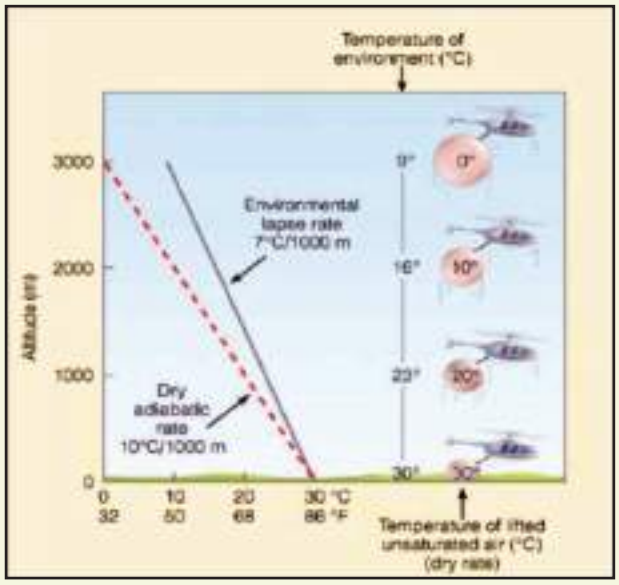



ج - تقارب الهواء (المنخفضات الجوية)

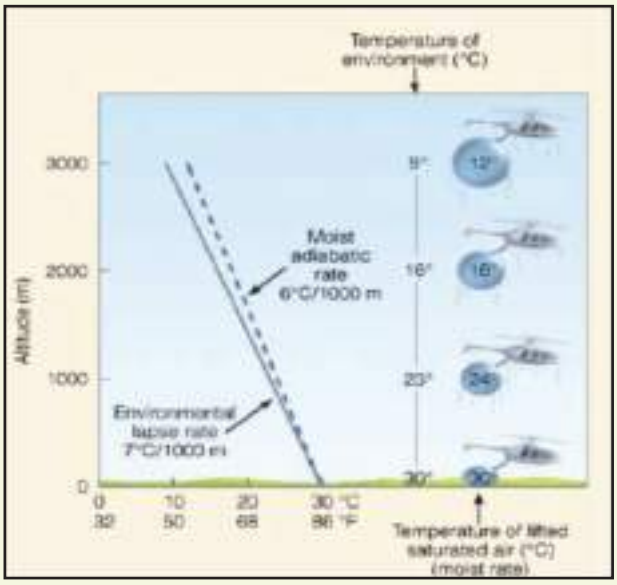



د - الجبهات

شكل (٤) العوامل التي تؤدي الى رفع الهواء




(a)




(b)

الشكل (٥) a معدل تناقص درجة الحرارة للهواء الجاف - b معدل تناقص درجة الحرارة للهواء المشبع

أثناء الصعود أدبياتيكيا

$0 = C_p dT - \alpha dP$ or $0 = C_v dT + Pd\alpha$

وهذا يعني انه اثناء صعود الهواء الى اعلي تتناقص درجة حرارته اديباتيكيا ومعدل التناقص يعتمد علي طبيعة الهواء من حيث درجة تشبعه ببخار الماء.

١- معدل التناقص الحراري للهواء الجاف = ١٠ درجة مئوية /كم

٢- معدل التناقص الحراري للهواء المشبع ببخار الماء =٦,٥ درجة مئوية /كم. الشكل (٥)

وكذلك يتناقص الضغط ويتزايد الحجم وهذا يحدث ذاتيا دون أن يتم تبادل حراري بين الهواء الصاعد والوسط المحيط.

**العملية الايزوباريك:**

هي العملية التي تحدث عند ثبوت الضغط أي أن $\Delta P = 0$ وهذا يعني أن كمية الطاقة الممتصة بواسطة النظام تتسبب في التغير في الطاقة الداخلية (تغير في درجة الحرارة والحجم).

**العملية الايزوفوليومترك:**

هي العملية التي تحدث عند ثبوت الحجم أي أن $\Delta V = 0$ وهذا يعني أن كمية الطاقة الممتصة بواسطة النظام تتسبب في التغير في الطاقة الداخلية (تغير في درجة الحرارة والضغط).

**العملية الايزوثيرمال:**

هي العملية التي تحدث عن ثبوت درجة الحرارة أي أن $\Delta T = 0$ وهذا يعني أن كمية الطاقة الممتصة بواسطة النظام تتسبب في شغل مبذول بواسطة النظام (تغير في قيمة الضغط والحجم) ولا يوجد تغير في الطاقة الداخلية.

**القانون الثاني للديناميكا الحرارية:** The Second law of thermodynamics

يرتبط القانون الثاني للديناميكا الحرارية بمفهومنا عن التغيرات في الانتروبي وينص علي «كل تغير تلقائي لابد وأن ترافقة زيادة في الانتروبي وتبقى ثابتة في حالة التوازن»

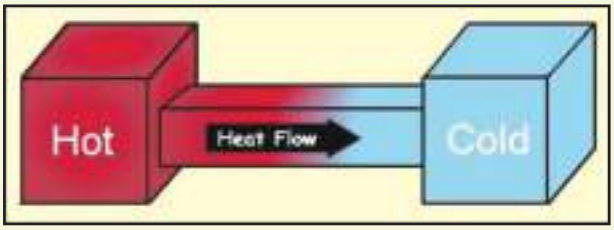
والعملية التلقائية :هي العملية (الفيزيائية أو الكيميائية) التي تحدث من تلقاء نفسها دون تأثير من أي عامل خارجي ومن أمثلة ذلك

١- انتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم بارد، ولكن عكس ذلك لا يحدث تلقائيا. شكل (٦)

٢- تتدحرج الاجسام من المواقع المرتفعة إلى المنخفضة ولكنها لا يمكن أن تصعد إلى المواقع المرتفعة تلقائيا.

٣- تحرك الهواء من المناطق ذات الضغط الجوي المرتفع إلي المناطق ذات الضغط الجوي المنخفض، والعملية العكسية لاتحدث تلقائيا. شكل (٧)

**الانتروبي :** هو مقياس مباشر لخاصية عدم الانتظام (درجة الفوضى – العشوائية) بين الجسيمات المكونة للنظام. وكلما كان الانتظام قليلا في النظام (العشوائية




شكل (٦) انتقال الحرارة من الجسم الساخن الى الجسم البارد

أكبر) كلما كانت قيمة الانتروبي كبيرة، وكلما كان النظام أكثر انتظاما (أقل عشوائية) كلما كانت قيمة الانتروبي صغيرة. (يرمز له بالرمز S أو Ø) وبناء علي ذلك نجد أن الحالة الغازية أقل انتظاما من الحالة السائلة (الانتروبي أكبر)،والحالة السائلة أقل انتظاما من الحالة الصلبة (الانتروبي أكبر). شكل (٨)

الصيغة الرياضية للقانون الثاني للديناميكا الحرارية هي

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

$\Delta S$ : التغير في الانتروبي

$\Delta Q$: كمية الحرارة الممتصة

T: درجة الحرارة

خلال العملية الاديباتيكية $\Delta Q = 0$ وبالتالي $\Delta S = 0$ أي أن حركة الهواء إلى أعلي وفقا للعملية الاديباتيكية لا يحدث خلالها تغير في الانتروبي.

### l القانون الثالث للديناميكا الحرارية: The Third law of thermodynamics

ينص القانون الثالث علي انه «لا يمكن الوصول بدرجة الحرارة الي الصفر المطلق »، «تساوي إنتروبية البلورة النقية الصفر عندما تساوي درجة حرارة البلورة الصفر المطلق (٠ كلفن)» ولكن يجب أن تكون البلورة نقية خالية من الشوائب وإلا سيكون هناك اضطراب متأصل.

هذا القانون يعني أنه لخفض درجة حرارة جسم لابد من بذل طاقة، وتتزايد الطاقة المبذولة لخفض درجة حرارة الجسم تزايدا كبيرا كلما اقتربنا من درجة الصفر المطلق. توصل العلماء للوصول الي درجة ٠,٠٠١

شكل (٨) الانتروبي للحالات الغازية والسائلة والصلبة

شكل (٧) حركة الهواء من منطقة الضغط الجوي المرتفع إلى منطقة الضغط الجوي المنخفض

من الصفر المطلق، ولكن من المستحيل طبقا للقانون الثالث الوصول الي الصفر المطلق لان ذلك يحتاج الي طاقة كبيرة جدا.

### l المخططات الاديباتيكية Adiabatic Charts:

تم تصميم المخططات الاديباتيكية وفقا للقوانين الاساسية للديناميكا الحرارية ومن أمثلة هذه المخططات

١- مخطط Emagram شكل (٩)

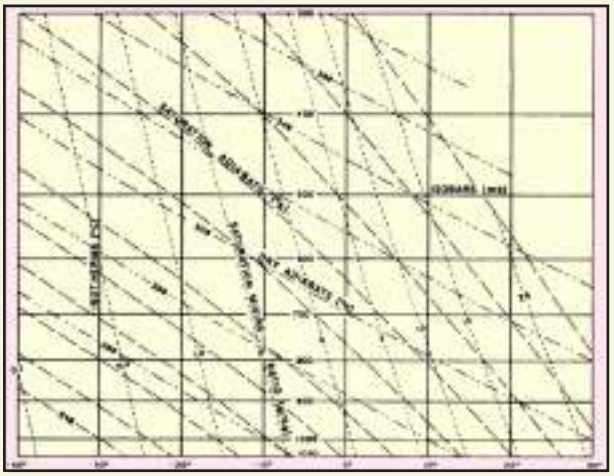
٢- مخطط Tephigram شكل (١٠)

٣- مخطط Suve Diagram شكل (١١)

٤- مخطط Skew T، Log P Diagram شكل (١٢)

جميعها تعبر عن نفس العلاقات الفيزيائية ويظهر بها خطوط تساوي الضغط- خطوط تساوي الحرارة- معدل التغير الذاتي للهواء الجاف- معدل التغير الذاتي للهواء المشبع- نسبة الخلط وهذه المخططات تختلف فقط في ترتيب هذه الإحداثيات.

المخطط نفسه هو رسم بياني يوضح مدى تغير عناصر الغلاف الجوي (درجة الحرارة – نقطة الندى) مع الارتفاع. للوهلة الأولى، يبدو الرسم البياني معقدًا بسبب خطوطه العديدة.

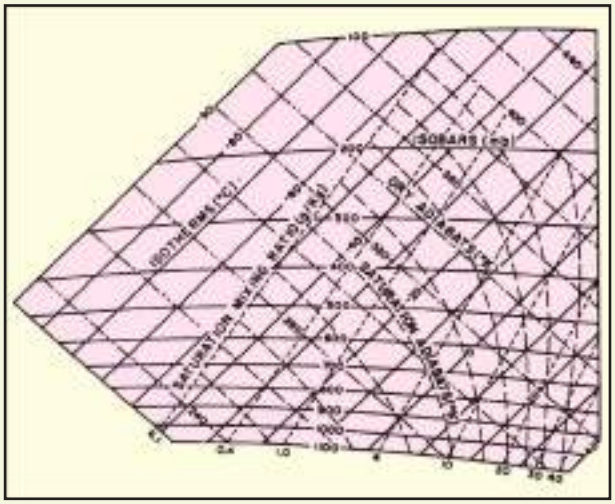


شكل (٩) مخطط Emagram

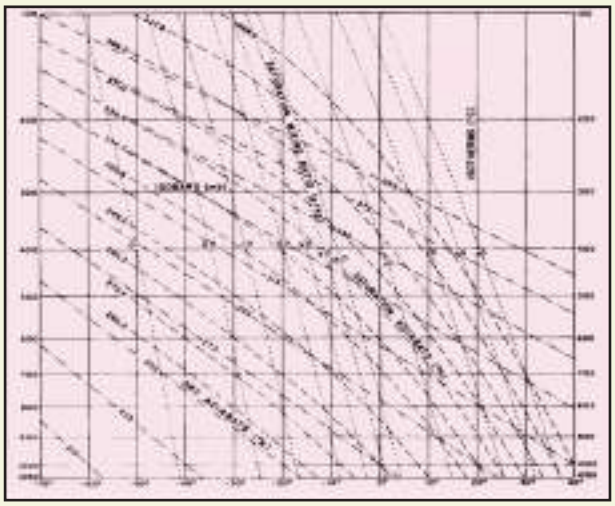
١- خطوط الضغط الأفقية تتناقص مع الارتفاع.
٢- الخطوط الرأسية هي درجة الحرارة بتدريج درجة مئوية تتزايد نحو اليمين.
٣- خطوط التغير الذاتى للهواء الجاف: الخطوط الحمراء المائلة وتوضح هذه الخطوط كيف تتغير درجة حرارة الهواء الجاف اثناء الصعود او الهبوط. يتم التعبير عن الأديباتات الجافة كدرجة حرارة محتملة وهي درجة الحرارة كتلة من الهواء إذا تم نقلها جافاً بدرجة حرارة ثابتة إلى ضغط ١٠٠٠ ميلليبار. ويدرج هذا الخط بتدريج الكلفن. وكما ذكرنا سابقا ان العملية الاديباتيكية ثابتة الانتروبي فإن هذه الخطوط تمثل الانتروبي Ø للهواء الجاف.
٤- خطوط التغير الذاتى للهواء المشبع: الخطوط المنحنية وتوضح هذه الخطوط كيف تتغير درجة حرارة الهواء المشبع اثناء الصعود او الهبوط وهي تمثل ايضا الانتروبي Ø للهواء المشبع ببخار الماء.
٥- الخطوط المائلة هي خطوط نسبة الخلط عند أي درجة حرارة معينة وضغط،و توضح كمية الماء بخار التي يحملها الهواء (جم/كجم) وهي ايضا تمثل كيف تتغير نقطة الندى مع الارتفاع. وبمعرفة درجة الحرارة ونقطة الندى عند مستوى ضغط معين يمكن معرفة نسبة الخلط المشبعة xs (كمية بخار الماء اللازمة لتشبع درجة الحرارة ببخار الماء) ونسبة الخلط x (كمية بخار الماء الفعلية) ومن ثم ايجاد الرطوبة النسبية.

$$R.H = \frac{X}{X_S} \times 100$$

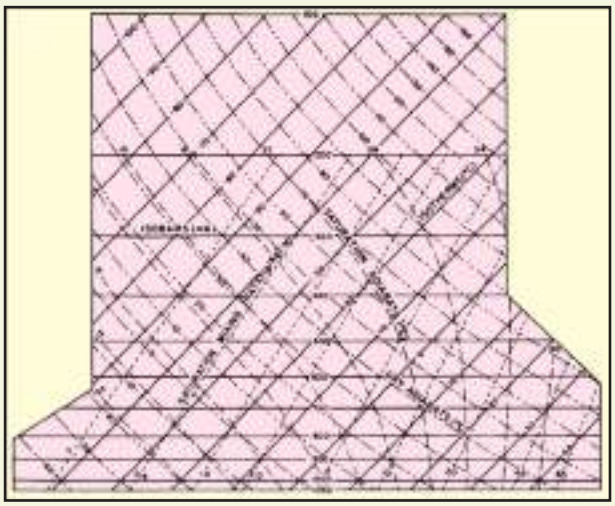
تستخدم الخرائط الثرموديناميكية لتحليل المعلومات التي يرسلها الراديوسوند من ضغط وحرارة ورطوبة الخاصة بطبقات الجو العليا وذلك لدراسة عمود الهواء حراريا لغرض دراسة استقرار الهواء والتنبؤ بالعواصف الرعدية وتحديد مستويات التكثف ومستوى التجمد ومستوي الانقلاب الحراري.



شكل (١٠) مخطط Tephigram



شكل (١١) مخطط Stuve



شكل (١٢) مخطط Skew T , log P

## المراجع


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- Meteorology Today, an introduction to weather, climate and environment, 12 edition.
5- https://images.app.googl