الغلاف الجوي
Atmosphere

إعداد

د. حيدر الحسن

16/4/2025

تعريف الغلاف الجوي

- هو **غلاف غازي رقيق جداً** بالنسبة لقطر الأرض يحيط بالكرة الأرضية. وسمْك هذا الغلاف أرق من طبقة الزغب الذي يحيط بثمرة الدرَّاق إذا تصورنا أن الأرض بحجم هذه الثمرة.

نهاية الغلاف الجوي

- **نهاية الغلاف الجوي تبدأ عندما:**
- **تنعدم الجاذبية الأرضية** على مكونات هذا الغلاف من جهة.
- **وتقل آثار الحقل المغناطيسي الأرضي** على مكونات الجو المشحونة كهربائياً من جهة أخرى.
- وبالتالي يمتد الغلاف الجوي حتى مسافة **تقرب (100) ألف كم عن سطح الأرض** على الرغم من تخلخل الهواء بصورة كبيرة جداً ما بين(10-100) ألف كم مما جعل بعضهم يدمج الغلاف الجوي عند تلك المسافات بالفراغ الكوني نظراً لقرب كثافتيهما.

الحدّ العلمي للغلاف الجوي

- **الحدّ العلمي للغلاف الجوي** الذي تتمثّل فيه العديد من الظواهر الجوية المرئية من على سطح الأرض هو **(1000)كم**
- حيث تبدو ظواهر الشفق والشهب والنيازك وظاهرة الفجر القطبي التي تبدو بصورة ستائر متدلية مضيئة نحو سطح الأرض على ارتفاعات تتراوح بين (100-1000)كم.
- ولكن ما يهمنا في دراستنا لظواهر الطقس **هو على ارتفاع (10) كم** وهي الظواهر الملامسة **لسطح الأرض** من الغلاف الجوي.

تتوقّف جميع العمليات الحياتية على سطح الأرض على هذا الغلاف الهوائي الرقيق فهو:

- **ينظّم حرارة الجو ويحول دون حدوث أو ظهور الحرارة العالية جداً أو المنخفضة** (كما هو الحال على سطح القمر حيث لا يوجد غلاف جوي).
- **ينظم الحياة بطرق عديدة** وذلك باستعمال مكوناته في العمليات البيولوجية:
- **أ- يعمل كحجاب واقٍ وذلك بفلترة الأنواع المختلفة من الإشعاعات الكهرومغناطيسية، وذرات الطاقة العالية من الشمس والفضاء الكوني.**
- ب- تقوم الرياح بنقل الحرارة والرطوبة وخلط الهواء بوساطته وبالتالي تجعل **الكرة الأرضية** أكثر انتظاماً مع مرور الزمن. ومن ناحية أخرى تقود الرياح تيارات المحيطات وتسبب الأمواج وتؤدي إلى تعرية الترب **وتنقل غبار الطلع والحشرات.**

المنشأ والتركيب

- نشأ الغلاف الجوي الحالي وتطور بصورة بطيئة أي خلال فترة تزيد على مليون سنة تقريباً بعد تشكّل الكرة الأرضية. وتدلّ الدراسات أنَّ الغلاف الجوي تشكّل منذ 4.5 بليون سنة تقريباً.
- انطلاق غازات الأرض المبردة التي ذابت ببطء في الصخر المنصهر شكلت الغلاف الجوي الأولي.
- وقد أسهمت البراكين أيضاً في تشكيل هذا الخليط من الغازات التي تختلف إلى حد بعيد عن خليط الغازات التي تشكل الغلاف الجوي الحالي.

جدول (1) النسبة المئوية لحجم الغازات المكوّنة للغلاف الجوي

المكوِّن	الرمز	النسبة المئوية بالحجم
١- مكونات رئيسة:		
النتروجين	N_2	٧٨٪
الأكسجين	O_2	٢١٪
الآرجون	Ar	٩,٠٠٪
ثاني أكسيد الكربون	CO_2	٠,٠٣٪
٢- مكوِّنات ثانوية: النيون، والهيليوم، والميثان، وأول أكسيد الكربون، وبخار الماء (بنسبة غير ثابتة) ، ودقائق كالغبار والأملاح وغيرها.		٠,٠٧٪

- أدَّى تكاثف معظم بخار الماء Water vapor إلى ملء أحواض **المحيطات** عند ثوران البراكين المبكرة.
- وكذلك تفاعل **ثاني أوكسيد الكربون مع المعادن** أدّى إلى تشكيل الكربونات، بينما نجد كثيراً **من الهيدروجين** قد أفلت من حقل الجاذبية الأرضية إلى الفضاء الكوني.
- ويعتقد أنَّ **الأوكسجين الحرّ** تشكّل على الأرجح بعد الربع الأول من حياة الكرة الأرضية، وبعد تشكُّل الحياة الأولى التي تتألف من البكتريا اللاهوائية البسيطة، والتي تستمر بالوجود حتى يومنا وتعيش بدون أوكسجين.
- وقد قُدّر أنَّ **95% من المجموع الكلي للأوكسجين الموجود** في الجو ينتج بهذه الطريقة أي بوساطة **النباتات الخضراء** من خلال عملية **التمثيل الضوئي**.

- تكون الغازات مختلطة بصورة جيدة نسبياً **حتى مسافة 80 كم** من الغلاف الجوي الأدنى، وتعرف هذه الطبقة باسم **هوموسفير(طبقة الغلاف الجوي المتجانس) Homosphere**، حيث تركيز الغازات الأساسية ثابت ومستقر بوضوح في كل مكان مع قليل من الشذوذ. ويعد **الآزوت والأوكسجين الغازين الرئيسيين** المكونين لهذه الطبقة وزناً وحجماً.
- ونلاحظ التمركز الكثافي للغازات فوق ارتفاع 80 كم حيث تميل الغازات المختلطة إلى التطبق وفقاً لأوزانها، وتسمى هذه الطبقة **بالهتروسفير Heterosphere (الغلاف الجوي غير المتجانس).** وتتركز **طبقة النتروجين** في هذه الطبقة أي فوق ارتفاع 80 كم أولاً ثم الأوكسجين الذري ومن ثم الهليوم وأخيراً طبقة الهيدروجين حتى ارتفاع 10000 كم تقريباً.

الغلاف الجوي الأدنى

- يوجد إلى جانب أغلبية العناصر المدرجة في الجدول رقم (1) غازات أخرى مثل: النيون والهليوم والميتان والكربتون والكسينون وأكاسيد النتروجين وتشكل هذه الغازات جزءاً من مئة جزء في 1%.
- يساهم CO_2 وبخار الماء وغازات أخرى في التوازن الحراري بتركيزات صغيرة.
- ويؤدّي **غاز الميتان وأكاسيد النتروجين التي تدعى بغازات البيت الزجاجي Greenhouse gases إلى زيادة حرارة سطح الأرض في حال وجودها بسبب تأثيرها على الإشعاع الحراري والصادر عن الأرض.** وبسبب تأثير البيت الزجاجي تكون الأرض **Earth أسخن بحوالي 35 درجة مئوية، وبغياب غازات البيت الزجاجي تصبح الأرض كوكباً مغطىً بالجليد.**

الماء

- يحتوي الهواء عادة بعض **الماء في الحالة الغازية(بخار الماء)**، ويشغل أحياناً قدراً من الحجم حوالي **4%**، وتختلف هذه النسبة بصورة كبيرة حسب الوقت والمكان. فنجد أخفض نسبة من بخار الماء في المنطقة القطبية والمناطق الصحراوية (0.02%) في حين ترتفع هذه النسبة إلى 3% وسطياً عند خط الاستواء.
- يؤدّي الماء دوراً مهماً في الحفاظ على الحياة .
- نقل الحرارة فوق مساحات ضخمة .
- امتصاص الجزء الأكبر من **الأشعة ذات الموجات الطويلة (تحت الحمراء)** حيث يمنع هذه الأشعة من التسرب إلى الجو الأعلى معيداً إياها إلى سطح الأرض حيث يحميها من التبرد الليلي الشديد، كما أن **الغيوم المتشكلة من تكاثف بخار الماء تتصف بقدرتها على عكس جزء من الأشعة الشمسية الساقطة عليها وتمتص جزءاً من الأشعة الواردة عليها مشعة بعضها نحو الأرض وبعضها الآخر نحو الجو الأعلى.** وكذلك يترافق **تكاثف بخار الماء وهطول الأمطار** بإطلاق حرارة كانت كامنة في جزيئات بخار الماء ولذلك نشعر **بالدفء النسبي** أثناء هطول الأمطار.

الأوزون

- يوجد الأوزون بكميات قليلة جداً قرب سطح الأرض تشكّل **أقل من أجزاء قليلة في مئة مليون.**
- ولو جمع كل الأوزون في الغلاف الجوي وطبق عليه ضغط مستوى البحر مع الحرارة لشكّل طبقة ثخانتها حوالي **3مم فقط.**
- وتركيز الأوزون في جميع مستويات الغلاف الجوي منخفض **ويوجد أعلى تركيز له على ارتفاع (25) كم حيث يبلغ جزءاً واحداً في مئة ألف.**
- يمتص **بشدة الأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن الشمس** وبالتالي تصل إلينا نسبة قليلة جداً من هذه الأشعة التي لها آثار ضارة أو مميتة على سطح الأرض.

- لوحظ في الأعوام الأخيرة نقصان كبير في الأوزون Ozone فوق القارة المتجمّدة الجنوبية Antarctica في نصف الكرة الجنوبي في فصل الربيع. وسبب هذا النقصان هو **التفاعلات الكيميائية التي تستخدم في الصناعة كلوروفلوروكربون Chloroflorocarbon (CFCs).**
- ويوجد الأوزون أحياناً بصورة واضحة **وبتركيز عالي في الغلاف الجوي الأدنى على ارتفاع عدة مئات من الأمتار وخاصة فوق المدن.**
- **فالأوزون غاز سام وأكَّال وكذلك عنصر مهم في الضبخان(ضباب ودخان) الكيميائي الضوئي (Photochemical smog) الذي يمرض بعض المدن الكبيرة.**
- وخلال تأثير الإشعاع الشمسي على ثاني أوكسيد الآزوت ينتج عن الاحتراق الأوكسجين الذري وهو شكل في الضبخان بالدرجة الأولى.

الجسيمات الصلبة في الهواء

- تشمل دقائق الغبار الناعم المكنوس من الترب المكشوفة بوساطة الرياح
- والسخام الناتج عن حرائق الغابات والحرائق الصناعية ونباتات المحاصيل الصناعية والبراكين،
- وغبار الطلع والكائنات الدقيقة المنقولة أيضاً بالرياح
- وغبار النيازك
- والأملاح التي تدخل الغلاف الجوي من بخار المحيطات.
- **تعرف هذه الجسيمات جميعها بالايروسول Aerosol.**

- تبقى الجسيمات الكبيرة زمناً طويلاً في الهواء، وهي توجد بأعداد كبيرة جداً لا نستطيع رؤيتها بالعين المجردة، **حيث تبقى ساكنة لشهور عدة أو أعوام كاملة .**
- تعمل كثير من دقائق الغبار الصغيرة في الهواء الجوي كمراكز أو **نويات تكاثف Nuclei** التي يتشكّل حولها حبيبات الماء الناعمة أو الكريستال الجليدي .
- تؤثّر **دقائق الغبار في الهواء** بالإضافة إلى قطرات الماء والكريستال الجليدي على شفافية الهواء حيث تؤدي إلى خفض الرؤية وإعاقة نفوذ بعض **الأشعة الشمسية** إلى سطح الأرض أيضاً.

الغلاف الجوي الأعلى

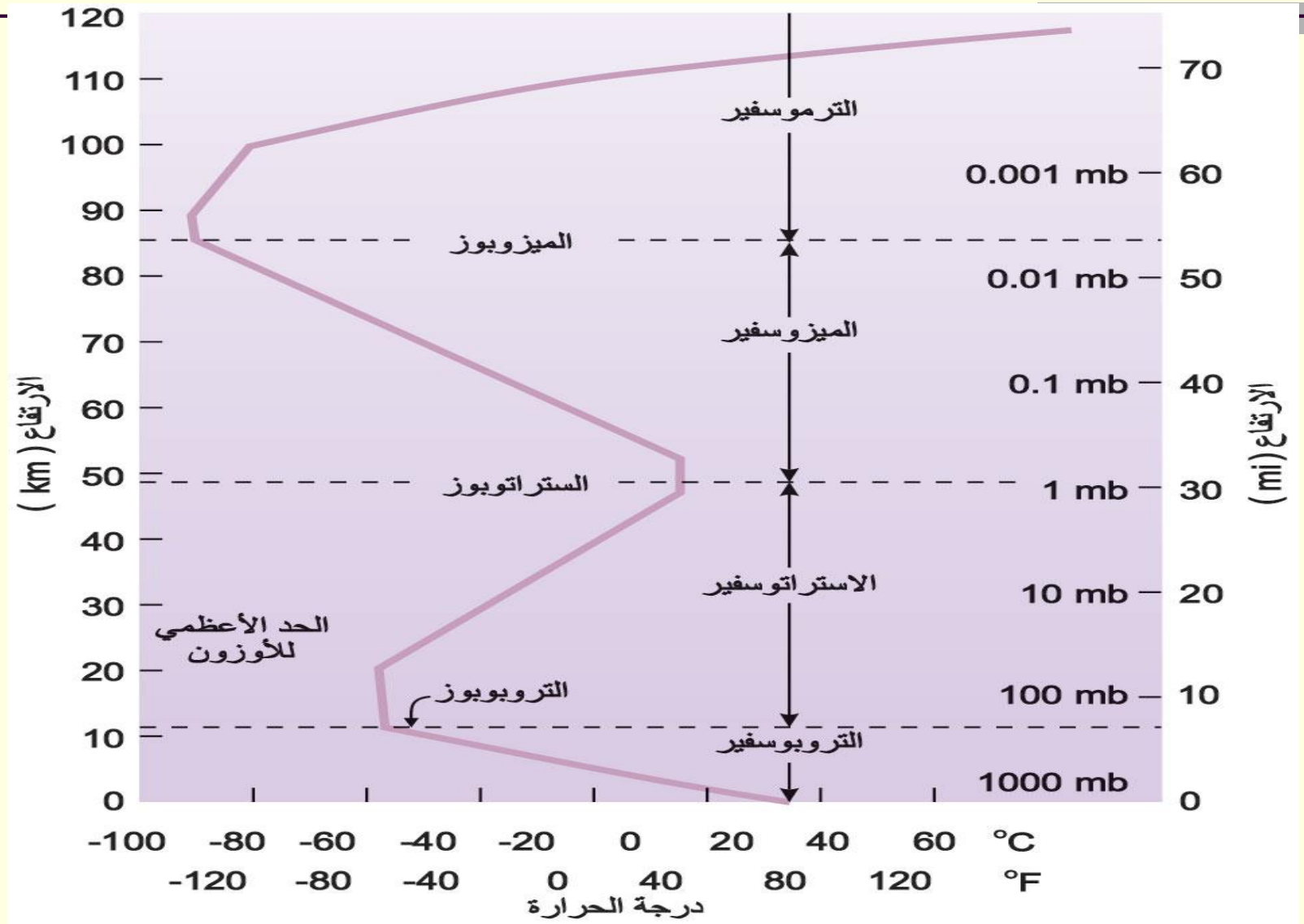
- تبقى معظم عناصر الغلاف الجوي ثابتة لا تتغَّير فعلياً حتى ارتفاع 80-90 كم عن سطح الكرة الأرضية، و **توجد بعض التغيرات الهامة في العناصر الثانوية جداً كالأوزون وبخار الماء والغبار.**
- **وتتغير المقادير النسبية لهذه العناصر فوق مستوى 80-90 كم،** وكذلك تتغير أنواع الغازات.
- وتخضع غازات الهواء الجوي المتفرقة في **الهتروسفير** لتأثيرات كيميائية ضوئية مختلفة التي تحدث بوساطة الأشعة فوق البنفسجية ذات الأمواج القصيرة جداً وأشعة X الصادرة عن الشمس.
- ونتيجة التفاعلات الكيمياضوئية هذه تشطر جزيئات الأوكسجين إلى ذرتين وكثير من هذه الجزيئات والذرات تتأين (أي تتحول إلى أيونات)، وبذلك تُقذف الالكترونات من ذراتها وتغادرها مع الشحنة الموجبة الكلية.

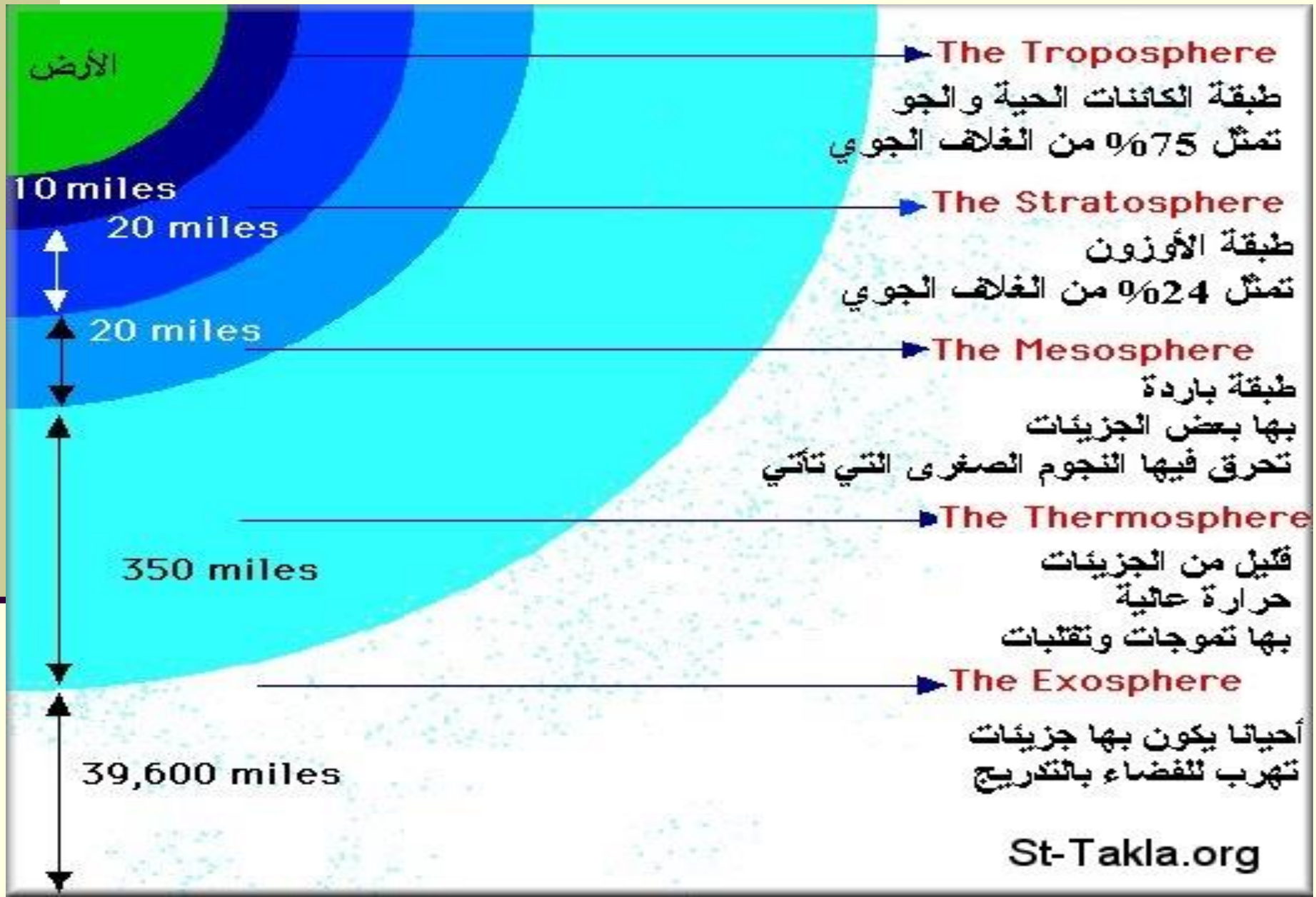
- تحوي كامل الطبقة من حوالي ارتفاع 80 كم فما فوق عدداً كبيراً من الأيونات المشحونة إيجابياً والكترونات حرّة وهذا يعود إلى طبقة **الأيونوسفير Ionosphere**.
- وهذا الجزء المشحون الالكتروني يكون مفيداً جداً في وسائل **الاتصال اللاسلكي**، عن طريق عكس الموجات الإشعاعية أو اللاسلكية.
- **حيث يصل الإرسال العالمي وينتقل بخطوط مباشرة بين طبقة الأيونوسفير وسطح الأرض بواسطة الموجات الإشعاعية النشيطة.**

التوزع الشاقولي للحرارة

- إن توزع متوسطات الحرارة العمودي موضح في الشكل (2-2) الذي يزودنا أساساً بتقسيم الغلاف الجوي إلى أغلفة وطبقات:
- **طبقة التروبوسفير Troposphere**
- **طبقة الستراتوسفير Stratosphere**
- **طبقة الميزوسفير Mesosphere**
- **طبقة الترموسفير Thermosphere**
- **طبقة الاكسوسفير Exosphere**

التوزع الشاقولي لدرجات الحرارة في الغلاف الجوي والظواهر الجوية


120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
الارتفاع (km)
70
60
50
40
30
20
10
0
الارتفاع (mi)
الترموسفير
0.001 mb
الميزوبوز
0.01 mb
الميزوسفير
0.1 mb
الستراتوبوز
1 mb
الاستراتوسفير
10 mb
الحد الأعظمي
للأوزون
100 mb
التروبوبوز
التروبوسفير
1000 mb
-100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 °C
-120 -80 -40 0 40 80 120 °F
درجة الحرارة


الأرض
10 miles
20 miles
20 miles
350 miles
39,600 miles
The Troposphere
طبقة الكائنات الحية والجو
تمثل 75% من الغلاف الجوي
The Stratosphere
طبقة الأوزون
تمثل 24% من الغلاف الجوي
The Mesosphere
طبقة باردة
بها بعض الجزيئات
تحرق فيها النجوم الصغرى التي تأتي
The Thermosphere
قليل من الجزيئات
حرارة عالية
بها تموجات وتقلبات
The Exosphere
أحيانا يكون بها جزيئات
تهرب للفضاء بالتدريج
St-Takla.org

1-طبقة التروبوسفير

وهي الطبقة الدنيا من الغلاف الجوي وتتصف بما يلي:

- **انخفاض درجة الحرارة مع الارتفاع بمقدار 6.5 درجة مئوية/كم** تقريباً. وبالتالي تقلّ كثافة الهواء وينخفض الضغط الجوي مع الارتفاع.
- تدفّق **الحمل الحراري العامودي بوساطة التسخين غير المنتظم عن طريق سطح الأرض** حيث يحافظ على حركة الهواء بشكل واضح. وتزداد سرعة الرياح مع الارتفاع حتى تصل إلى 144 كم/ساعة عند ارتفاع 12 كم وسطياً.
- يسمى الجزء القريب من سطح الأرض/0-3/كم **بالطبقة الجغرافية المضطربة حيث يوجد فيها السحب ومعظم الغبار وبخار الماء في الغلاف الجوي.** وإنّ التغيّرات التي تجري في الظواهر الجوية لا تخضع لقاعدة ثابتة بسبب تأثير سطح الأرض أولاً وكثرة الاضطرابات الجوية وتيارات الهواء الحملانية ثانياً.
- يعرف الحدّ الأعلى لطبقة التربوسفير **بالتروبوبوز Tropopause** ويبلغ ارتفاعها وسطياً حوالي 10 كم، ويصل ارتفاع التروبوبوز بصورة نموذجية حتى 15 أو 16 كم فوق خط الاستواء وينخفض إلى 5-6 كم فوق المنطقة القطبية. وهو يميل إلى الارتفاع في الصيف عنه في الشتاء. **وتتصف طبقة التروبوبوز بثبات درجة حرارتها دون زيادة أو نقصان وهي طبقة انقلاب حراري.**

2-طبقة الستراتوسفير

تتميّز بما يلي:

- الحدّ الأعلى لهذه الطبقة حوالي 50 كم، ودرجة الحرارة في الجزء الأدنى تكون ثابتة نسبياً ثمَّ تزداد في الجزء الأعلى مع الارتفاع حتى تصل في **الستراتوبوز Stratopause** (سقف هذه الطبقة) إلى مستوى الحرارة عند سطح البحر أو أقل من ذلك.
- **وتنشأ الحرارة في هذه الطبقة عن امتصاص الأوزون مباشرة لأشعة الشمس فوق البنفسجية.**
- تعمل طبقة الستراتوسفير كغطاء للاضطرابات والحركات العمودية في التربوسفير.
- الهواء في هذه الطبقة **جاف تماماً** حيث تكون معزولة عن مصادر الرطوبة في سطح الأرض.
- يوجد معظم الأوزون في هذه الطبقة والذي تكون كثافته القصوى عند ارتفاع 22 كم.

3- طبقة الميزوسفير

- تتراوح بين ارتفاع 50 و85 كم، وتنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع بسرعة حتى تصل إلى **حوالي (-95)** درجة مئوية في **الميزوبوز mesopause** وهي **عبارة عن أبرد نقطة في الغلاف الجوي.**
- تتميز هذه الطبقة بالحركة العمودية النشطة للهواء، **وبوجود الغيوم الفضية خلال الصيف في العروض العليا.**

4-طبقة الترموسفير

- تصل حتى ارتفاع 500 كم، حيث تزداد درجة الحرارة بسرعة مع الارتفاع في هذه الطبقة ومن ثم تبطؤ (**تصل إلى 1200 درجة مطلقة**(والصفر المطلق هو 273 كلفن) عند ارتفاع 350 كم).
- **تنشأ الزيادة في درجة الحرارة عن امتصاص الأشعة فوق البنفسجية بوساطة ذرات الأوكسجين والنتروجين.**
- ويتأثَّر الجو على ارتفاع 100 كم وحتى 300 كم بأشعة إكس والأشعة فوق البنفسجية بصورة كبيرة وهذا يؤدّي إلى حدوث عملية التأين وذلك عن طريق فصل لبعض الجزيئات الكهربائية مما يؤدي إلى تغيّر الخصائص الكهربائية للغاز.
- هذا ما يحدث لغازي الأوكسجين والآزوت حيث يفقد كل منهما عدداً من الكتروناته ويصبح الغاز ذا شحنة موجبة معطياً الكتروناته إلى ذرات أخرى حتى تصبح شحنة هذا الغاز سلبية.
- **وإنَّ الطبقة المتأينة (الأيونوسفير)** ذات خصائص كهربائية تجعل لها القدرة على عكس الموجات اللاسلكية القصيرة نحو الأرض. وفيها تنتقل أيضاً بعض الإشعاعات المغناطيسية والكهربائية في أعلى الجو حيث **يمكن أن تخترق الجزيئات المتأينة الجو مسببة ظهور الوهج القطبي (اورورا).**

5-طبقة الأكسوسفير

- تنخفض كثافة الجزيئات فوق ارتفاع 500-600 كم، وتتصادم مع بعضها بصورة غير نظامية، وبعض هذه الجزيئات يفلت من الجاذبية الأرضية.
- **تتميز طبقة الأكسوسفير بالتحوّل من الغلاف الجوي الأرضي إلى غازات متفرقة جداً بين الكواكب وما بعدها.**
- ولابد من الإشارة هنا إلى أنَّه عند ارتفاع يتجاوز 2000 كم توجد الكترونات سالبة وبروتونات موجبة فقط. وتتركز هذه الجزيئات المشحونة في حزمتين عند ارتفاع 4000 كم و20000 كم **وتعرف هذه الجزيئات المشحونة بحزم فان آلين Van Allen.**

تلوّث الهواء Air pollution

- **ملوّثات الهواء عديدة وتأثيرها على الإنسان والحيوان والنبات مختلف:**
- **1- ثاني أوكسيد الكبريت SO_2** يؤثّر على العيون والأنف والحلق والرئتين، ويزيد من تفاقم داء الربو asthma والالتهاب الشُعبي. ويشكّل SO_2 عند انحلاله بالترسب أو التكاثف حمض الكبريت الذي يمكن أن يسبب انخفاض pH بمقدار 3 **وهذه الحموضة تكفي لإذابة تماثيل رخامية وبعض المباني.**
- **الدقائق:** مثل الغبار الذي يحد من الرؤيا وينقص من انتشار ضوء الشمس إلى الأرض.
- **المؤكسدات:** كثاني أوكسيد الآزوت والأوزون التي تثير العيون وتفاقم أمراض الرئة، وربما تسرع طور العمليات، وتسبب تفسخ مواد عديدة.
- **أول أوكسيد الكربون:** يضعف نقل الأوكسجين في الجسم بتركيزات قليلة ويزيد نسب الوفيات العام. ويمكن أن يكون مميتاً (fatal) بتركيزات كبيرة.
- **الرصاص:** ينتج عن عوادم السيارات ويتراكم في الجسم ويؤثر على الدماغ والكلى والجملة العصبية بصورة سيئة.

يقسم تلوث الهواء إلى قسمين:

- **التلوث غير الفعال: هو تلك الملوّثات التي تتفاعل بصورة بطيئة جداً أو لا تتفاعل مطلقاً مع المواد الكيميائية أو الغازات في الغلاف الجوي.**

ويعتبر التلوث غير الفعال كمواد خاملة غالباً، لأنَّها تنتقل عن طريق الرياح وتنتشر بوساطة الدوامات المضطربة دون أن يتغير تركيبها.

- **2- التلوّث الرجعي:** تخضع الملوّثات هنا إلى تحوّلات كيميائية عند مصادفتها مواد أخرى أو تتغيّر بوساطة الإشعاع الشمسي.

- ويمكن أن تصنّف الملوّثات أيضاً كغازات وايروسول Aerosols (جزيئات صلبة أو سائلة تنتشر في الغلاف الجوي).
- **الملوثات الغازية**: تشمل الأوزون وSO_2 وCO وأكاسيد النتروجين.
- **ايروسول: يتضمن جزيئات الدخان (الكربون) والبكتريا وغبار الطلع وجسيمات الملح وأنواع كثيرة من الغبار**. وعندما يبلغ معدل هذه الجزيئات في الهواء حوالي 90% من المجموع الكلي للدقائق فوق كامل الكرة الأرضية يتوقف مفعولها.

تأثير الأرصاد الجوية في تلوّث الهواء

- توجد ظاهرتان هامتان في علم الأرصاد الجوية تؤثران في تركيز ملوثات الهواء هما سرعة الرياح **Wind speed** والاستقرار **Stability.**
- فبالنسبة للمصدر الأول– سرعة الرياح – يزداد حجم الهواء المتأثر بالمصدر بصورة **خطية** مع سرعة الرياح، وتختلف التركيزات من المصدر الأول **عكساً** مع سرعة الرياح.
- **والاستقرار في الغلاف الجوي** يؤدي دوراً هاماً عن طريق التحكم في شدة الاضطراب الذي يمزج ملوثات الهواء بصورة عمودية. ويظهر الخلط العمودي بسهولة في **الحالات غير المستقرة Unstable في الهواء الدافئ قرب سطح الأرض** ويكون الهواء البارد في **الأعلى** (ويظهر ذلك عادة خلال الأيام المشمسة)، ويختلط الهواء النقي نزولاً إلى الأسفل والهواء الجاف يحمل إلى الأعلى.
- وعندما تنخفض درجة الحرارة ببطء مع الارتفاع أو تزداد مع الارتفاع (الانقلاب الحراري) يكبح الخلط العمودي وتتجه الملوثات إلى المكوث عند ارتفاع ثابت في الغلاف الجوي.

إلى اللقاء في المحاضرة القادمة