الهواء والتلوث
Air and Pollution

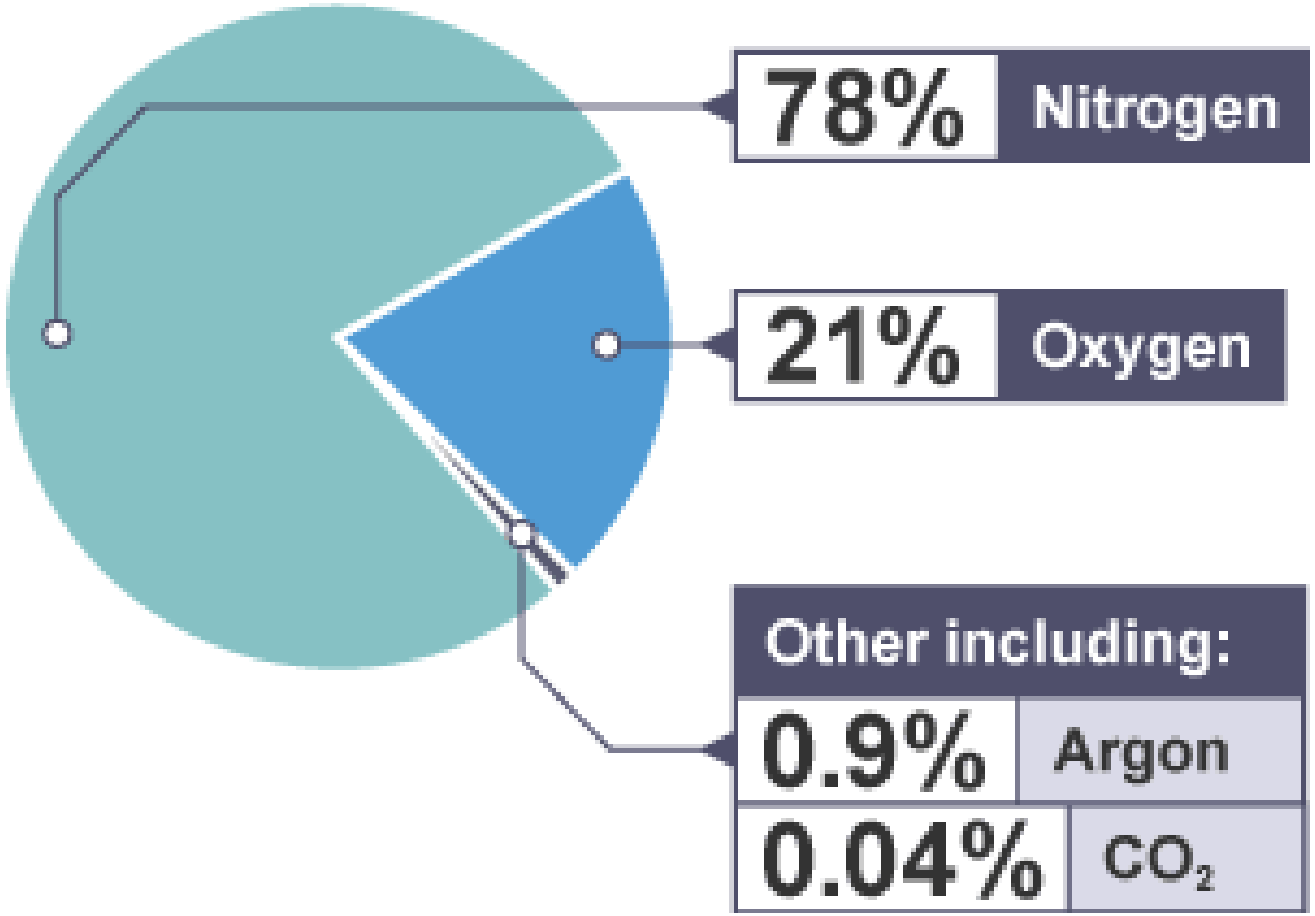
211

الغلاف الجوي

يحيط بالكرة الأرضية غلاف غازي سميك يشاركها في دورانها الدائم، وتظهر في طبقته السفلى جميع الظواهر والتقلبات المناخية التي لها علاقة مباشرة بالحياة على سطح الكرة الأرضية.

ويتكون الغلاف الجوي من عدة أغلفة متحدة تتميز عن بعضها البعض بنظامها الحراري ومكوناتها.

(1) طبقة التروبوسفير أو طبقة الغلاف السفلي Troposhere
(2) طبقة الستراتوسفير أو الطبقة الهادئة Stratosphere
(3) طبقة الميزوسفير أو طبقة الغلاف المتوسط Mesosphere
(4) طبقة الثرموسفير أو طبقة الغلاف الحراري Thermosphere
(5) طبقة الاكسوسفير أو طبقة الغلاف الخارجي Exosphere


78%
Nitrogen
21%
Oxygen
Other including:
0.9%
Argon
0.04%
CO_2

أهم ملوثات الهواء (Air Pollutants)

- أكاسيد الكربون وخاصة أول أكسيد الكربون
- أكاسيد الكبريت وخاصة ثاني أكسيد الكبريت
- أكاسيد النتروجين وخاصة ثاني أكسيد النتروجين
- الهيدروكربونات مثل الميثان والايثان

المصادر الطبيعية لملوثات الهواء

- العواصف وحركة الهواء.
- البراكين، حيث تنبعث كميات كبيرة من الغازات والغبار والرماد.
- حرائق الغابات، تلوث الهواء بالجسيمات الدقيقة وأكاسيد الكربون وغيرها.
- الإشعاعات الطبيعية، الأشعة الكونية القادمة من الفضاء الخارجي، والعناصر المشعة الموجودة في الصخور والتربة مثل اليورانيوم والثوريوم ونواتج تحللهما (غاز الرادون المشع)

المصادر الاصطناعية لملوثات الهواء

- السيارات ووسائل النقل المختلفة
  - المصدر الرئيس لتلوث هواء المدن.
  - الملوثات الناتجة من احتراق الجازولين (البنزين) والديزل.
- محطات توليد الطاقة الكهربائية
  - حرق الديزل أو الزيت الخام لتوليد الكهرباء.
- الأنشطة الصناعية
  - ملوثات من حرق الوقود المستخدم في الصناعة.
  - ملوثات كنواتج من العمليات الصناعية.
- الأنشطة المنزلية
  - الطهو و التنظيف والتدفئة واستخدام المبيدات والمنظفات المنزلية.
- التنمية الزراعية والحيوانية
  - استخدام مبيدات الحشرات والقوارض.
  - عمليات حرث التربة وحصد المحاصيل.
  - مزارع الدواجن والأبقار والأغنام.

تصنيف ملوثات الهواء

- تصنيف حسب المصدر
  - ملوثات أولية: هي الملوثات التي توجد في الهواء المحيط على نفس الحالة الفيزيائية والكيميائية التي انبعثت بها مثل أول أكسيد الكربون وأول أكسيد النتروجين.
  - ملوثات ثانوية: وهي الملوثات التي تتكون في الهواء نتيجة لتفاعلات كيموضوئية أو كيميائية أو نتيجة لأكسدة أو تميؤ ملوثات أخرى، مثل تكون الأوزون وغيره من المؤكسدات الكيموضوئية نتيجة تفاعل أكاسيد النتروجين مع الهيدروكربونات في وجود أشعة الشمس.

- تصنيف حسب التركيب الكيميائي

تصنف الملوثات سواءً كانت أولية أو ثانوية حسب تركيبها الكيميائي إلى:

- ملوثات عضوية: مثل الميثان والبنزين والاثيلين والفورمالداهايد والأسيتون.
- ملوثات غير عضوية: مثل الأوزون وأكاسيد الكربون والنتروجين والكبريت.

- تصنيف حسب الحالة الفيزيائية

تصنف الملوثات سواءً كانت عضوية أو غير عضوية أو أولية أو ثانوية إلى:

- ملوثات جسيميه (الجسيمات) وتشمل المواد الصلبة والسائلة المنتثرة الهواء والتي يتراوح قطرها بين 0,002 إلى 500 ميكرون، مثل الغبار والرماد المتطاير والرذاذ.
- ملوثات غازية وتشمل الملوثات التي تكون على هيئة غازات عند درجة الحرارة العادية والضغط العادي مثل أبخرة المواد وأكاسيد الكربون والنتروجين والكبريت والأوزون.

وحدات قياس ملوثات الهواء

(1) الملوثات الجسيمية

الجسيمات العالقة: وتقاس بـ ملجرام/م^3 أو عدد الجسيمات /م^3

الجسيمات القابلة للترسب أو الغبار الساقط (يزيد مقاسها عن 10 ميكرون):

وتقاس بـ كجم/كلم^2/شهر

(2) الملوثات الغازية

أ- نسبة حجوم (حجم الغاز إلى وحدة حجم واحدة من الهواء)

فمثلا إذا كان حجم ثاني أكسيد الكربون في واحد متر مكعب من الهواء يساوي 300 سم^3 فان ذلك يعني أن التركيز يساوي 300 جزء في المليون (ppm)

يلاحظ أن نسبة الحجوم لا تتأثر بتغير درجة الحرارة والضغط.

كما يمكن التعبير عن التركيز كنسبة مئوية في الحجم:

$$\text{النسبة المئوية للغاز (\%)} = \frac{\text{التركيز (جزء في المليون)}}{1000{,}000} \times 100$$

(ب) نسبة كتلة الغاز إلى حجم الهواء

- فمثلا يقال أن تركيز ثاني أكسيد الكبريت يبلغ 80 ميكروجرام/م^3 أو 0.08 مليجرام/م^3.
- نسبة الكتلة إلى الحجم تتأثر بتغير درجة الحرارة والضغط:

$$\text{التركيز (ملجرام/م}^3\text{)} = \frac{\text{التركيز (جزء في المليون)} \times \text{الوزن الجزيئي للغاز (جرام/مول)} \times 273 \times \text{الضغط (وحدة ضغط جوي)}}{22.4 \times \text{درجة الحرارة (درجة الحرارة المطلقة (كلفن))}}$$

درجة الحرارة المطلقة (كلفن) = درجة الحرارة (درجة مئوية) + 273

معايير ومقاييس جودة الهواء المحيط

- تحدد المعايير التراكيز المسموح بها لملوثات الهواء بدون حدوث تأثير سلبي على الإنسان وغيره من الكائنات الحية والمواد والممتلكات وحالة الهواء المحيط.

- ونظرا لأن درجة التأثير المتوقعة تعتمد على تركيز الملوث وفترة التعرض له فإن التركيز المسموح به يكون مصحوب بفترة زمنية تحدد المدة التي يمكن التعرض خلالها للملوث بالتركيز المذكور بدون حدوث ضرر.

مقاييس الانبعاث

- تحدد المواصفات أو المقاييس الخاصة بانبعاث الملوثات من المصادر المختلفة كمية أو تركيز الملوثات المسموح بانبعاثها من المصدر وذلك للمحافظة على هواء نقي صحي ومنعه من التدهور أو لتحسين جودة الهواء وجعلها مطابقة لمقاييس جودة الهواء المحيط.

ملوثات الهواء

(1) الجسيمات أو الجزيئات

(2) أول أكسيد الكربون (CO)

(3) أكاسيد النتروجين (NOx)

(4) أكاسيد الكبريت (SOx)

(5) كبريتيد الهيدروجين (H_2S)

(6) الهيدروكربونات

(7) الفلور وفلوريد الهيدروجين

(8) الأمونيا (NH_3)

ملوثات الهواء

(1) الجسيمات أو الجزيئات

- الجسيمات هي أي مادة منتشرة في الهواء سواءً كانت صلبة مثل الغبار والدخان والرماد المتطاير، أو سائلة كالرذاذ والضباب، ويتراوح قطرها من 0,002 إلى 500 ميكرون.

- مصادر الجسيمات إما أن تكون طبيعية أو اصطناعية
  - الجسيمات الطبيعية تشمل حبوب اللقاح والبكتريا والفيروسات وألياف النباتات وذرات التربة والصداء وذرات الأملاح التي تتكون بالقرب من الشواطئ والغبار البركاني والغبار الكوني والضباب وغير ذلك من الجسيمات التي تنتج بفعل عوامل وظروف طبيعية.
  - الجسيمات الاصطناعية وهي التي تنتج بفعل نشاطات الإنسان المختلفة فتشمل الجزيئات الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري والنفايات والجسيمات الناتجة من الصناعات الكيميائية والغذائية وصناعات التعدين وصناعة مواد البناء وإنشاء الطرق وحركة وسائل النقل المختلفة وغيرها.

- تأثيرات الملوثات الجسيمية
  - انخفاض مدى الرؤية
  - خفض معدل سقوط الأشعة الشمسية
  - التأثير على معدل سقوط الأمطار
  - التأثير على الإنسان من خلال ملامستها للجلد والعين ودخولها إلى الجسم عن طريق الجهاز التنفسي:
    - الجسيمات التي يقل مقاسها عن 10 ميكرون لها قدرة على دخول الرئتين.
    - تسبب الكثير من المشاكل والأمراض التنفسية المختلفة مثل الربو والتهاب الشعب الهوائية والانتفاخ الرئوي والحساسية.
    - بعض الجسيمات قد تكون مواد سامة كجزيئات الرصاص والاسبستوس والزئبق، أو قد تكون مدمصة لبعض الغازات والملوثات الضارة:

- الرصاص معدن سام يتراكم في الأنسجة ويحل محل الكالسيوم في العظام ويؤثر على تركيب الدم وعلى الجهاز العصبي والكبدي والهضمي ووظائف الغدد الصماء.

- الاسبستوس أو الحرير الصخري عبارة عن ألياف معدنية من السيليكات تستخرج من الأرض لتستخدم في صناعة فرامل السيارات والملابس المضادة للحريق والعوازل الحرارية وألواح التسقيف والبلاط الإسمنتي الاسبستوسي والأنابيب.
  يؤدي استنشاق ألياف الاسبستوس لفترة طويلة إلى الإصابة بالالتهاب الاسبستوسي نتيجة التجريح الشديد لألياف الرئتين مما يؤدي إلى إجهاد القلب.

- الزئبق: تستخدم مركبات الزئبق العضوية في صناعة مبيدات الفطريات والحشرات والورق، ويؤدي إلى التسمم.
  وتستخدم مركبات الزئبق اللاعضوية في صناعة بعض الأدوات الكهربائية وصناعة الكلور وهيدروكسيد الصوديوم، ويؤدي استنشاق أبخرة الزئبق غير العضوية إلى تلف الجهاز العصبي وحدوث اضطرابات نفسية مثل الانفعال والشعور بالإحباط والخجل.

(2) أول أكسيد الكربون (CO)

- أول أكسيد الكربون (CO) غاز عديم اللون والرائحة شحيح الذوبان في الماء ويشتعل بلهب أزرق فاتح متحولا إلى غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2). ويبلغ تركيزه في الهواء المحيط حوالي 0,1 جزء في المليون.

- المصادر الطبيعية لأول أكسيد الكربون: يتكون أول أكسيد الكربون في الطبيعة نتيجة تأكسد غاز الميثان (CH_4):

$$CH_4 + O_2 \rightarrow CO + H_2O + H_2$$

- المصادر الاصطناعية لأول أكسيد الكربون: ينتج أول أكسيد الكربون عن الاحتراق غير الكامل لمختلف أنواع الوقود العضوي المحتوي على الكربون كالفحم والنفط والمنتجات البترولية الأخرى وذلك بسبب عدم توفر الأكسجين الكافي للاحتراق الكامل

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$

أو عدم الخلط الجيد للوقود بالأكسجين أو انخفاض درجة حرارة لهب الاحتراق. وتعتبر وسائل النقل المختلفة ومحطات توليد الكهرباء ووسائل التدفئة والعمليات الصناعية من المصادر الاصطناعية للغاز. وتعد السيارات أكبر مصدر لتلوث الهواء بهذا الغاز حيث أن حوالي 70% من أول أكسيد الكربون الناتج من المصادر الاصطناعية المختلفة مصدره السيارات.

تأثيرات أول أكسيد الكربون

- ترجع سمية أول أكسيد الكربون إلى قوة اتحاده مع هيموقلوبين الدم (خضاب الدم) (Hemoglobin, Hb) مكونا الكاربوكسي هيموقلوبين (Carboxyhemoglobin,COHb) بدلا من أن يتحد الأكسجين مع الهيموقلوبين. ويتميز مركب الكاربوكسي هيموقلوبين بحد قدرة الدم على الاتحاد مع الأكسجين مما ينتج عنه نقص أكسجين الدم وعدم وصول الأكسجين اللازم إلى خلايا وأنسجة الجسم.

التأثيرات الصحية لأول أكسيد الكربون طبقا لتركيز الكاربوكسي هيموقلوبين في الدم

تركيز الكاربوكسي هيموقلوبين في الدم (%)	التأثيرات
أقل من 1.0	لا يلاحظ أي تأثير
2.0-1.0	تغير في الأداء والتصرفات
5.0-2.0	يتأثر الجهاز العصبي المركزي وتضعف الرؤية والقدرة على الشعور بالوقت والتمييز بين الأشياء
10.0-5.0	تتأثر بعض وظائف القلب والجهاز التنفسي
80.0-10.0	الآم في الرأس وشعور شديد بالتعب والنعاس وحدوث غيبوبة وفشل الجهاز التنفسي والوفاة

(3) أكاسيد النتروجين (NOx)

- يعتبر أول أكسيد النتروجين (أكسيد النتريك) (NO) وثاني أكسيد النتروجين (NO_2) من أهم أكاسيد النتروجين الملوثة للهواء.

- أكسيد النتريك غاز عديم اللون والرائحة ويتأكسد بسرعة في الهواء إلى ثاني أكسيد النتروجين :

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

- وثاني أكسيد النتروجين غاز ذو رائحة حادة و لونه بني محمر من الممكن مشاهدته عندما يصل تركيزه في الهواء 1.0 جزء في المليون.

وهو غاز سريع الذوبان في الماء مكونا حمض النتريك (HNO_3) وحمض النتروز (HNO_2) أو أكسيد النتريك (NO) :

$$2NO + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2$$

$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO$$

- المصادر الطبيعية لأكاسيد النتروجين: تنتج أكاسيد النتروجين في الطبيعة عن طريق تحلل المواد العضوية وحرائق الغابات والتفريغ الكهربائي في السحب الرعدية (البرق) وأيضا بواسطة الأشعة الشمسية.

- المصادر الاصطناعية لأكاسيد النتروجين: تنتج أكاسيد النتروجين اصطناعيا أثناء عملية احتراق الوقود الأحفوري، وكمخلفات عن بعض الصناعات الكيميائية مثل صناعة الأسمدة والمتفجرات .

وتعتبر السيارات ومحطات توليد الطاقة الكهربائية من أهم المصادر الاصطناعية لأكاسيد النتروجين حيث تشكل كمية أكاسيد النتروجين المنبعثة من هذه المصادر حوالي 75% من مجموع أكاسيد النتروجين المنبعثة من المصادر الاصطناعية.

- تأثيرات أكاسيد النتروجين
  - التأثير على الإنسان
    - أول أكسيد النتروجين NO غاز متوسط السمية، ولا يشكل خطرا على الصحة حيث أنه يتحول بسرعة إلى ثاني أكسيد النتروجين الأكثر خطورة.
    - ثاني اكسيد النتروجين NO_2 يسبب إثارة وتهيج مسالك الجهاز التنفسي نتيجة لذوبان الأكسيد في الأغشية المخاطية للجهاز التنفسي وتكون حمض النتريك وحمض النتروز.

ويؤدي التعرض الطويل لهذا الأكسيد إلى تجمع السوائل في الرئتين.

- التأثير على النبات والمواد
  - تؤثر أكاسيد النتروجين و خاصة ثاني أكسيد النتروجين على نمو وإنتاجية النبات، وتؤدي إلى ظهور بقع على أسطح الأوراق.
  - تعرض المواد إلى تراكيز عالية من ثاني أكسيد النتروجين يسبب تلاشي أصبغة الأقمشة واصفرار الملابس البيضاء وتآكل المعادن نتيجة تفاعل هذا الأكسيد مع الرطوبة الموجودة في الهواء وتكون حمض النتريك.

- تكون الضباب الدخاني أو الضباب الكيموضوئي (smog or photochemical smog)
  - عندما تجتمع أكاسيد النتروجين مع الهيدروكربونات بوجود أشعة الشمس و يكون الهواء هادئاً تبدأ سلسلة من التفاعلات ينتج عنها مركبات ضارة تُعرف باسم المُؤكسدات الكيموضوئية (photochemical oxidants) ، ويشكل هذا الخليط من الملوثات الضارة ضباب أو سحاب أسود يُعرف بالضباب الدخاني (smog).

NOx + هيدروكربونات + أشعة الشمس ← ضباب دخاني

تشمل المؤكسدات الكيموضوئية

- الأوزون (O_3)
- ثاني أكسيد النتروجين (NO_2)
- مركبات البيروكسي استيل نيتريت (Peroxyacetyl nitrate, PAN)
- البيروكسي بروبيونويل نيتريت (Peroxypropionyl nitrate, PPN)
- البيروكسي بنزويل نيتريت (Peroxybenzoyl nitrate, PBN)
- الهيدروجين بيروكسايد (Hydrogen peroxide, H_2O_2)
- الفورمالدهايد (Hormaldehyde, HCHO)
- الالدهيدات (Aldehydes) وغيرها.

تشمل المؤكسدات الكيموضوئية

- الأوزون (O_3)
- ثاني أكسيد النتروجين (NO_2)
- مركبات البيروكسي استيل نيتريت (Peroxyacetyl nitrate, PAN)
- البيروكسي بروبيونويل نيتريت (Peroxypropionyl nitrate, PPN)
- البيروكسي بنزويل نيتريت (Peroxybenzoyl nitrate, PBN)
- الهيدروجين بيروكسايد (Hydrogen peroxide, H_2O_2)
- الفورمالدهايد (Hormaldehyde, HCHO)
- الالدهيدات (Aldehydes) وغيرها.

ونظراً لأن الأوزون يشكل نسبة كبيرة من هذه المؤكسدات قد تصل إلى 90% فإنه عادة يستخدم كمؤشر للتعبير عن تركيز المؤكسدات الكيموضوئية في الهواء.

- يؤدي تكون الضباب الدخاني إلى انخفاض مدى الرؤية بالإضافة إلى خطورة المؤكسدات الكيموضوئية على الإنسان.
- يعتبر الأوزون من أخطر الملوثات المؤكسدة حيث أنه يؤدي ولو وُجد بتركيزات منخفضة (0.1-0.3 جزء في المليون) إلى إثارة الجهاز التنفسي.
- يؤثر الأوزون في بعض المواد المرنة مثل المطاط ويعمل على تشققه وتلفه، ويُتلف المنسوجات والأصبغة والطلاء. كما يؤثر الأوزون في النباتات فيسبب تبقع أو تبرقش الأوراق.

(4) أكاسيد الكبريت (SOx)

- أهم أكاسيد الكبريت: ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وثالث أكسيد الكبريت (SO_3).

- ثاني أكسيد الكبريت غاز سام لا لون له وذو رائحة خانقة إذا كان تركيزه في الهواء أكثر من 3 أجزاء في المليون، ويذوب بسرعة في الماء ولكنه غير قابل للاشتعال ولا يساعد على الاشتعال.

- من الممكن أن يظل يسبح في الهواء لمدة تتراوح ما بين 2 إلى 4 أيام ينتقل خلالها بواسطة الهواء لمسافات طويلة قد تصل إلى 1000 كيلومتر.

يتفاعل ثاني أكسيد الكبريت مع بخار الماء الموجود في الهواء مكونا حمض الكبريتوز (H_2SO_3) الذي يتأكسد بسهولة إلى حمض الكبريتيك (H_2SO_4) .

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3 \rightarrow H_2SO_4$$

وسرعان ما يتكثف حمض الكبريتيك على الجزيئات والجسيمات الموجودة في الهواء أو يختلط مع بخار الماء مكونا ضباب حمضي أو يسقط مع الأمطار مسببا الأمطار الحمضية.

كما يتحول ثاني أكسيد الكبريت جزيئا إلى ثالث أكسيد الكبريت أو حمض الكبريتيك وأملاحه خلال سلسة من التفاعلات الكيموضوئية وغيرها في الهواء.

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

ثالث أكسيد الكبريت هو سائل سهل التطاير حيث أن درجة غليانه تبلغ 45 ^{o}م ويُسمى حمض الكبريتيك اللامائي، وحين توفر الرطوبة في الهواء فانه يتحول إلى حمض الكبريتيك.

- المصادر الطبيعية لأكاسيد الكبريت: البراكين وينابيع الكبريت وعمليات التحلل الحيوي للمواد العضوية.

- المصادر الاصطناعية لأكاسيد الكبريت

o عمليات احتراق الوقود الأحفوري خاصة الفحم الحجري حيث يوجد الكبريت في الفحم والبترول بنسب متفاوتة (من 0.5% إلى 6%) على شكل مركبات عضوية وغير عضوية. وعند الاحتراق ينطلق الكبريت إلى الهواء على شكل ثاني أكسيد الكبريت بنسبة كبيرة بالإضافة إلى كميات قليلة من ثالث أكسيد الكبريت.

وتشكل أكاسيد الكبريت المنبعثة من محطات توليد الطاقة الكهربائية أكثر من 85% من كمية أكاسيد الكبريت المنبعثة نتيجة احتراق الوقود الأحفوري، بينما تمثل كمية أكاسيد الكبريت المنبعثة من وسائل النقل المختلفة حوالي 2% وذلك لأن الوقود المستخدم في السيارات كالبنزين والديزل يحتوي على نسبة ضئيلة من الكبريت (حوالي 0.03% بالحجم).

o بعض العمليات الصناعية مثل تكرير البترول وتكرير خام الكبريت والإسمنت والورق وحمض الكبريتيك والأسمدة

- تأثيرات أكاسيد الكبريت
  - التأثير على مدى الرؤية (الضباب الحمضي).
  - التأثير على المواد
    - سرعة تآكل المعادن مثل الحديد والصلب والزنك والنحاس والنيكل نتيجة تكون حمض الكبريتيك في الهواء أو على أسطح هذه المعادن.
    - تتأثر مواد البناء مثل الحجر الجيري والرخام والمونة بأحماض الكبريتيك حيث تحل الكبريتات السريعة الذوبان في الماء محل الكربونات المكونة لهذه المواد مما يؤدي إلى سرعة تآكل وتفتت هذه المواد.
    - يؤدي تعرض بعض المواد الأخرى مثل القطن والنايلون والجلود لرذاذ حمض الكبريتيك إلى سرعة تفككها وتلفها. كما أن الورق يمتص غاز ثاني أكسيد الكبريت الذي يتأكسد إلى حمض الكبريتيك مما يجعل الورق مصفراً وهشاً.

- التأثير على الإنسان والحيوان
  - تؤثر أكاسيد الكبريت على الجهاز التنفسي للإنسان والحيوان مسببة السعال وضيق التنفس والحساسية، وتؤدي إلى حدوث بعض الأمراض المزمنة للرئتين مثل التهاب القصبات أو الشعب الهوائية وانتفاخ الرئة.
  - تُهيج الغشاء المخاطي للعين وتعيق عمليات تنظيف الرئتين.

- التأثير على النباتات
  - تحول اللون الأخضر للأوراق إلى اللون البني أو الأصفر مما يحد من نمو النبات.

(5) كبريتيد الهيدروجين (H_2S)

- غاز عديم اللون له رائحة كريهة شبيه برائحة البيض الفاسد.
- يتحول إلى ثاني أكسيد الكبريت وماء عندما يحترق احتراقا كاملاً، بينما يتحول إلى كبريت وماء في حالة الاحتراق غير الكامل.
- يتأكسد في الهواء خلال ساعات متحولا إلى ثاني أكسيد الكبريت وكبريتات.

- المصادر الطبيعية لكبريتيد الهيدروجين
  - التحلل اللاهوائي للمواد العضوية المحتوية على الكبريت مثل مياه الصرف الصحي (مياه المجاري) وغيرها من المخلفات البشرية.
  - يتصاعد من فوهات البراكين وينابيع المياه الكبريتية.
- المصادر الاصطناعية لكبريتيد الهيدروجين
  - مصانع الورق ومحطات معالجة الغاز الطبيعي ومصانع تكرير البترول والمطاط وبعض المصانع المُنتجة للألياف الاصطناعية مثل الرايون (rayon).

- تأثيرات غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S
  - أكثر سمية من غاز أول أكسيد الكربون فهو يؤثر على الجهاز العصبي المركزي والأغشية المخاطية للجهاز التنفسي والعين.
  - يؤثر بشكل كبير في القدرة على التفكير وحاسة الشم. يمكن الإحساس برائحة الغاز عندما يكون تركيزه في الهواء منخفضا ولكن مع زيادة تركيزه فإن أعصاب الشم تصاب بالشلل مما يؤدي إلى تلف حاسة الشم، وعند تركيزات عالية تصل إلى 1000 جزء في المليون فإنه يؤدي إلى الوفاة نتيجة للاختناق بسبب شلل الجهاز التنفسي.
  - يتفاعل مع أكسيد الرصاص الموجود في بعض الدهانات مكونا كبريتيد الرصاص الأسود اللون مما يُسبب تلون الدهانات باللون الأسود أو الرمادي . كما تتكون طبقة سوداء من الكبريتيدات على أسطح بعض المعادن مثل النحاس والفضة عند تعرضها لهذا الغاز وتتحول هذه الطبقة السوداء إلى طبقة خضراء من كبريتات النحاس الشديدة المقاومة للتآكل ولكنها تقلل من فعالية النحاس كموصل كهربائي في الأجهزة الكهربائية.
  - يؤثر على النباتات التي لم يكتمل نموها فيعمل على تدمير أنسجتها, ويعمل على هلاك مزروعات الطماطم والخيار.

(6) الهيدروكربونات

- الهيدروكربونات هي مواد عضوية مكونة من الكربون والهيدروجين فقط. وهي تشكل المركبات الأساسية للمنتجات البترولية مثل وقود السيارات: الديزل، والجازولين أو ما يُسمى بالبنزين في الدول العربية، والغاز الطبيعي وغير ذلك من المواد البترولية.

- المصادر الطبيعية للهيدروكربونات:
  - التحلل اللاهوائي للمواد العضوية (الميثان).
  - اشجار الصنوبر تنتج التربينات (Terpenes).
  - تنتج الهيدروكربونات طبيعيا بكميات ضئيلة من حقول البترول والغاز الطبيعي ومناجم الفحم والحرائق الطبيعية.
  - كميات الهيدروكربونات الناتجة من المصادر الطبيعية أكبر بكثير من تلك الناتجة من المصادر الاصطناعية.

- المصادر الاصطناعية للهيدروكربونات
  - الاحتراق غير الكامل للديزل والجازولين المستخدم في وسائل النقل والصناعات.
  - تبخر أو تطاير الوقود من خزان الوقود أو عند تعبئة خزان الوقود أو من بعض أجزاء محرك السيارة.
  - الصناعات البترولية ومصافي البترول وصناعة الغاز الطبيعي، حيث أن الهيدروكربونات هي المكون الرئيسي للبترول.
  - عمليات حرق النفايات الصلبة ومصانع البلاستيك والمطاط والمواد البترولية المُستخدمة في الإنشاء كالعوازل الحرارية والمائية المُصنعة من القطران والإسفلت المستخدم في رصف الطرق.

الهيدروكربونات الملوثة للهواء تكون على هيئة غاز أو بخار أو جزيئات قطران كما في حالة تعبيد الشوارع بالإسفلت.

- تأثيرات الهيدروكربونات
  - بعض الهيدروكربونات مثل البنزوبيرين تسبب العديد من الأمراض السرطانية للإنسان مثل سرطان الدم والرئة.
  - تساهم في تكوين الضباب الدخاني والمؤكسدات الكيموضوئية ذات الآثار الضارة على الإنسان والمواد والنبات كما ورد ذكره من قبل.
  - بعض الهيدروكربونات مثل الايثلين الذي ينتج من عوادم السيارات لها تأثير ضار على بعض النباتات (الفلفل والطماطم).

(7) الفلور وفلوريد الهيدروجين

- الفلور (F_2) غاز سام مؤكسد ذو لون أصفر ضارب إلى الخضرة.

- فلوريد الهيدروجين (HF) غاز عديم اللون ذو رائحة نفاذة يذوب في الماء مكونا حمض الهيدروفلوريك (hydrofluoric acid) وسميتة أقل من سمية الفلور. وهذه الغازات آكلة (corrosive) تسبب تآكل المواد.

مصادر غاز الفلور وغاز فلوريد الهيدروجين

- صناعة الألومنيوم وصناعة حمض الفوسفوريك وغير ذلك من المنتجات الفوسفاتية.
- بعض عمليات سبك الفولاذ والمعادن التي تستخدم مركبات الفلوريد.

- تأثيرات الفلور وفلوريد الهيدروجين
  - تسبب تهيجا للجلد والأغشية المخاطية للأنف والعينين وزيادة تراكيزها تؤدي إلى الوفاة.
  - النباتات شديدة التأثر بمركبات الفلور الغازية. ويعتبر زوال لون الأوراق الأخضر واحتراق حوافها من أبرز أعراض تسمم النباتات بالفلور.
  - تصاب الحيوانات التي تتغذى على الحشائش والنباتات الملوثة بالفلور بمرض الفلوروزس (fluorosis)، وهو مرض يسبب تكلس والتهاب العظام وتآكل الأسنان نتيجة تراكم الفلوريدات في العظام والأسنان مما يؤدي إلى إصابة الحيوانات بالهزال والضعف والموت أحيانا.
  - تتفاعل هذه الغازات بشدة مع المواد لدرجة أنها تعمل على تآكل الزجاج الذي يقاوم الكثير من المركبات الكيميائية.

(8) الأمونيا (NH_3)

- غاز عديم اللون ذو رائحة لاذعة حادة يمكن الإحساس بها عندما يبلغ تركيز الأمونيا في الهواء حوالي 46 جزء في المليون.

- يذوب غاز الأمونيا في الماء جزئيا مكونا أيونات الأمونيوم (NH_4) :

$$NH_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

- يتفاعل غاز الأمونيا مع رذاذ حمض الكبريتيك وحمض النتريك مكونا أملاح الأمونيوم (كبريتات الأمونيوم ونترات الأمونيوم) التي تساعد على تآكل المواد:

$$NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow NH_4HSO_4$$

المصادر الطبيعية لغاز الأمونيا

- عمليات التحلل الحيوي للمخلفات العضوية النتروجينية.
- عمليات تثبيت النتروجين الجوي بواسطة البرق والأشعة الكونية.

المصادر الاصطناعية لغاز الأمونيا

- صناعات الأسمدة والأمونيا وحمض النتريك وكربونات الصودا.
- صناعة المنظفات المنزلية المحتوية على الأمونيا.
- صناعة تكرير النفط.

تأثيرات غاز الأمونيا

- تهيج العينين والجهاز التنفسي.
- تلف أنسجة النباتات.

ملوثات الهواء الصادرة عن وسائل النقل

- أكثر من 60% من الملوثات الموجودة في هواء المدن مصدره وسائل النقل المختلفة وخاصة السيارات.
- أهم الملوثات
  - أول أكسيد الكربون: نتيجة الاحتراق غير الكامل للوقود.
  - أكاسيد النتروجين: نتيجة لاحتراق المركبات النتروجينية.
  - المواد الهيدروكربونية: نتيجة الاحتراق الكامل وغير الكامل للوقود.
  - أكاسيد الكبريت: نتيجة احتراق الوقود المحتوي على الكبريت.
  - مركبات الرصاص (في حالة استخدام الوقود المضاف إليه الرصاص).
  - الدخان الأسود: جسيمات دقيقة كربونية محترقة جزئيا.

- وسائل التحكم في ملوثات وسائل النقل
  - تحسين نوعية الوقود: استخدام مركبات MTBE (ميثيل ثالثي بيوتيل ايثر) لرفع كفاء ة حرق الوقود.
  - استخدام وقود أقل تلويثا للبيئة: مثل غاز البروبان والإيثانول.
  - إدخال تحسينات وتعديلات في تصميم المحركات لضمان أكسدة المواد المختلفة بشكل تام ليعطي الاحتراق بخار ماء وثاني أكسيد الكربون.
  - استخدام المحولات الحافزة (catalytic converters): والعامل الحافز قد يكون مؤكسد أو مختزل أومؤكسد/مختزل مثل معادن البلاتنيوم (Pt) والرثينيوم (Ru).

المحولات الحافزة المؤكسدة تؤكسد أول اكسيد الكربون والهيدروكربونات إلى ماء وثاني أكسيد الكربون، وتفصل الأكسجين عن أكاسيد النتروجين فيتكون النتروجين العديم الضرر.