وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة القادسية

كلية العلوم/ قسم الكيمياء

الكـــاربـــون

في التطبيقات الحيوية والصناعية

بحث مقدم من قبل الطالبة (هند فاضل والي) إلى كلية العلوم/ قسم الكيمياء
كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علم الكيمياء

بإشراف

م. م. حيدر محمد حسون

2018 م 1439 هـ

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿بَلْ هُوَ آيَاتٌ بَيِّنَاتٌ فِي صُدُورِ الَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ وَمَا يَجْحَدُ بِآيَاتِنَا إِلَّا الظَّالِمُونَ﴾

صدق الله العلي العظيم

(سورة العنكبوت : الآية49)

الاهـــداء

****

الى من علمني النجاح والصبر ...

... أبي ...

إلى من تتسابق الكلمات لتخرج معبرة عن مكنون ذاتها ... إلى من علمتني وعانت الصعاب لأصل إلى ما أنا عليه وعندما تكسوني الهموم أسبح في بحر حنانها ليخفف من ألمي

... أمي ...

... إلى أخي وأخواتي

... إلى أساتذتي وزملائي وزميلاتي

... إلى الشموع التي تحترق لتضيء للآخرين

إلى كل من علمني حرفاً

أهدي هذا البحث المتواضع راجيةً من المولى عز وجل أن يجد القبول والنجاح

الشكر والتقدير

****

الحمد الله الذي لا يبلغ مدحه القائلون ولا يحصي نعماءه العادون, ولا يؤدي حقه المجتهدون, حمداً كثيراً, والصلاة والسلام على سيد الانبياء والمرسلين ابي القاسم محمد, وال بيته الطيبين الطاهرين .....

أتقدم بجزيل الشكر والامتنان العظيموالتقدير العميق إلى الاستاذ المشرف (حيدر محمد حسون) لما منحه لي من وقت وجهد وتوجيه وإرشاد وتشجيع، كذلك اتقدم بجزيل الشكر إلى اساتذتي الكرام وكل من ساهم في تعليمي.

وكذلك اتقدم بجزيل الشكر إلى موظف مكتبة المركزية/ جامعة القادسية لتقديمه المساعدة في الحصول على المصادر واتقدم بجزيل الشكر إلى كل من ساعد في إظهار هذا البحث بصورته النهائية. واتقدم بالشكر الجزيل إلى كل من ساعدنا من قريب أو بعيد ولو بكلمة أو دعوة صالحة.

هند فاضل والي

المقدمة

العنصر الكيميائي chemical element:

هو أي مادة كيميائية خالصة متكونة من ذرة وحيدة فريدة من نوعها، يميزها العدد الذري وهو عدد بروتوناتنواة الذرة. يندرج كل عنصر تحت تصنيف: فلز أو شبه فلز أو لافلز. وتنظم العناصر في الجدول الدوري.وسواء كانت تلك المادة قليلة أو كثيرة، وأطلق على كل عنصراسم (ورمز) يعرف به ويتميزبخاصية خاصة به. وتم اكتشاف معظم العناصر ، فمنها يتكون كل مافي الوجود من نجومومجراتوكواكبوأرضوجبال، ونبات، حيوان، وإنسان. ومنها ماهو مستقر ثابت لا يتغير ومنها ماهو غير مستقر، بل يتحول من عنصر إلى آخر بسبب طبقا لنظرية الانفجار العظيم بدأ الكون بغازي

ت	العنوان	صفحة
1	المقدمة_العنصر الكيميائي	**2**
2	اصل تسميه عنصر الكاربون	**3**
3	الوفره الطبيعيه في الكون	**4**
4	غلاف الارض الحيوي	**5**
5	الكرافيت	**6-5**
6	انتاج الكرافيت	**7**
7	الالماس	**8-9**
8	النظائر	**9**
9	الخواص الفيزيائيه	**10**
10	التأصل_وبعض متأصلات الكاربون	**12**
11	الخواص الكيميائيه	**16**
12	المركبات الكيميائيه _العضويه_الاعضويه _العضويه الفلزيه	**17-18**
13	دوره الكاربون	**19**
14	الاستخدامات	**20-21**
15	احتياطات الامان	**22**
16	المصادر	**23-31**

الهيدروجينوالهيليوم، وتجمعت تلك الغازات في تجمعات كثيرة فشكلت نجوما وتجمعات نجوم في مجرات. ارتفعت درجة حرارة النجوم الابتدائية منذ نحو 13 مليار سنة فيجري في باطنها تفاعلات نوويةواندماجات نووية.نشاطه الإشعاعي.يؤدي الاندماج النووي إلى التحام نوايا عنصري الهيدروجينوالهيليوم الخفيفين، فتكون منهما عناصرا أخرى كتلتها أكبر. فبينما تبلغ كتلة الهيدروجين 1 وحدة ذرية والهيليوم 4 وحدات ذرية، تنشأ بتلاحمها المتتالي في النجوم والشمس العناصر الأخرى "وتطبخ" ، فيتكوّن الكاربون (12 وحدة ذرية) والأكسجين (16 وحدة ذرية)، والصوديوم (23 وحدة ذرية)،وهكذاحتى اليورانيوم (238 وحدة نووية).

اصل تسميه عنصر الكاربون the origin of the carbon element:

قامه أنطوان لافوازييه في شبابهاشتقّ لفظ الكاربون carbon من اللفظ اللاتينيcarbo والذي يعني الفحم،[1] في حين أنّ اللفظ الفرنسي charbon يعني الفحم النباتي. بالمقابل فإنّه في اللغة الألمانية يسمّى Kohlenstoff، والتي تعني مادّة الفحم.يعدّ الكاربون أحد أقدم العناصر اكتشافاً،[2] وكان معروفاً على شكل سناج أو على شكل فحم نباتي بالنسبة للحضارات الأولى للبشريّة، ويعتقد أنّ الصينيّون كانوا أوّل من عرف الكاربون على شكل ألماس، وذلك حوالي2500 سنة قبل الميلاد(3)كارل فلهلم شيلهفي سنة 1722، أظهر رينيه أنطوان فيرشو دي ريومور أنّه يمكن تحويل الحديد إلى فولاذ من خلال امتصاص مادّة، لم يعرف حينها أنّها الكربون،[4] وفي سنة 1772، بيّن أنطوان لافوازييه أنّ الألماس هو شكل من أشكال الكاربون؛ وذلك عندما قام بحرق عيّنات من الفحم النباتي والألماس،

وأظهر أنّها لا تنتج بذلك أيّ ماء، وأنّ المادّتينتطلقان نفس الكميّة من ثنائي أكسيد الكربون لكلّ غرام.[5] وفي سنة 1779، أظهر كارل فلهلم شيله أنّ الكرافيت،والذي كان يُظنّ أنّه شكل من أشكال الرصاص، ما هو إلّا أحد أشكال الكربون، وأنّه مماثل للفحم النباتي.[15] في سنة 1786، أكّد كلّ من العلماء كلود لوي برتوليهوغاسبار مونج، بالإضافة إلى فاندرمون، أنّ غالبيّة الكرافيت هي عبارة عن كاربون، وذلك عن طريق إجراء عمليّة أكسدة له في وسط من الأكسجين، وذلك بأسلوب مماثل لما قام به لافوازييه على الألماس.[6] وبنشرهم للتجربة قاموا باقتراح اسم الكاربون (الاسم اللاتيني carbonum) وذلك للعنصر المكوّن للكرافيت، والذي قام لافوازييه لاحقاً بإدراجه ضمن العناصر الكيميائيّة في نصٍّ نشره سنة 1789.[5]في القرن العشرين، أضيف متآصل جديد للكاربون في سنة 1985 باكتشاف الفوليرين،[7] وذلك على عدّة أشكال من ضمنها بنى نانويّة مثل بوكمينستر فوليرينوالأنابيب النانويّة الكاربونيّة.[8] حصل المكتشفون روبرت كيرلوهارولد كروتووريتشارد سمولي على جائزة نوبل في الكيمياء سنة 1996 نتيجة ذلك الاكتشاف.[9] أدّى تطوّر الأبحاث في الفترة الأخيرة إلى ظهور أشكال جديدة من الكربون مثل الكاربون الزجاجي، وإلى اكتشاف حقيقة أن الكاربون اللابلّوري، ليس لابلّورياً بالشكل التام.[10]

الوفرة الطبيعيّ في الكون Natural abundancein the universe:

يكون الكاربون في المرتبة الرابعة من حيث وفرة العناصر الكيميائيّة في الكون بعد الهيدروجينوالهيليوموالأكسجين. يدخل عنصر الكربون في تركيب الشمسوالنجوموالمذنّبات، وفي تركيب الغلاف الجوّي لأغلب الكواكب.[11] تحوي بعض الأحجار النيزكيّة على كمّيّات مكروئيّة من الألماس، والتي تشكّلت عندما كانت المجموعة الشمسيّة لا تزال في مرحلة القرص الكوكبي؛ كما تتشكّل هذه الألماسات المكروئيّة نتيجة الضغط الهائل ودرجات الحرارة المرتفعة عند مواقع ضربات الأحجار النيزكيّة.[12]

يعتقد العلماء أنّ حوالي 20% من الكاربون الموجود في الكون هو على شكل هيدروكربون عطري متعدّد الحلقات، حيث يظنّ أنّ لهذه المركّبات دوراً في عملية التولّد التلقائي أثناء تخليق الكون،

وتشكّلت بعد عدّة بلايين من السنين من حدوث الانفجار العظيم، ثم انتشرت في الكون، وأنّ لها دوراً في ولادة النجوموالكواكب خارج المجموعة الشمسيّةالتشكّل في النجوميتطلّب تشكّل نوى ذرّية من الكاربون في النجوم حدوث تصادمات ثلاثيّة متزامنة لجسيمات ألفا داخل لبّ النجوم العملاقة أو العماليق الضخمة،[13] وفي لبّ النجوم الموجودة في الفرع الأفقي،[14] وذلك في عملية تدعى تخليق العناصر (أو عملية ألفا الثلاثيّة). بالتالي فإنّ الكاربون لم يتشكّل أثناء الانفجار العظيم، ولكنّه انتشر في الكون على شكل رماد نتيجة انفجار ، وذلك كجزء من المادة التي شكّلت الجيل الثاني والثالث من المجموعات النجميّة الحاوية على الكواكب المتشكّلة من أمثال هذا الرماد.[11][15] إنّ المجموعة الشمسيّة هي واحدة من أنظمة الجيل الثالث تلك.بالإضافة إلى عمليّة ألفا الثلاثية، فإنّ آلية دورة كاربون-نيتروجين-أكسجين (دورة CNO) هي من آليات الاندماج النووي، والتي تولّد الطاقة في النجوم، ويقوم الكاربون فيها بدور الحفّاز من أجل استمراريّة التفاعل. يمكن قياس الانتقالات الدورانيّة لأشكال النظائر المختلفة من أحادي أكسيد الكاربون (مثل CO^{12} و CO^{1}وCO^{18}) وذلك في مجال أطوال موجة دون الميليمتر، ويستخدم ذلك من أجل دراسة النجوم المتشكّلة حديثاً في السحب الجزيئيّة.[16]

غلاف الأرض الحيوي Dynamic earth cover:

يعدّ الكاربون عنصراً أساسياً من أجل استمرار الحياة في غلاف الأرض الحيوي. يقدّر أن الغلاف الصخري للأرض يحوي حوالي2000 جزء في المليونppm من الكربون في نواة الأرض، وحوالي 120 ppm من الكاربون في الغلاف الخارجي وفي القشرة الأرضيّة.[17] ممّا يعني أنّ هناك حوالي 4360 مليون غيغاطن من الكاربون في غلاف الأرض الصخري، وذلك يتضمّن وجود الكاربون على صيغة الهيدروكاربونات، والتي تعدّ الأساس الكيميائي في الفحموالنفطوالغاز الطبيعي. تقدّر احتياطات الفحم بحوالي 900 غيغاطن،[18] في حين أنّ احتياطيات النفط هي حوالي 150 غيغاطن. هناك مصادر غيرتقليدية مثل غاز الأردواز، والتي تقدّر احتياطاته عالميّاً بحوالي 540 غيغاطن من

الكـاربون.[19] بالإضـافة إلـى مـا ذكـر، فـإنّ الكـاربون يوجـد بكمّيّـات كبيـرة علـى شـكل صـخور الكربونـات مثل الحجر الجيريوالدولوميتوالرخام وغيرها.

الكرافيتGraphite:

عنـد الشـروط الطبيعيّـة مـن قـيم الضـغط، فـإنّ الكـاربون يأخـذ شـكل الكرافيـت، حيـث تـرتبط كـلّ ذرة كـاربون بشـكل ثلاثـي مـع ثـلاث ذرات كـاربون أخـرى ضـمن نفـس المسـتوي الفراغـي، بحيـث نحصـل فـي النهايـة علـى حلقـات مدمجـة سداسـية الأضـلاع، كمـا هـو الشـكل الهندسـي فـي مركّبـات الهيـدروكربون العطريّـة.[57] تكـون الشـكبة الناتجـة عـن هـذا التـرابط ثنائيـة الأبعـاد، بحيـث أن الصـفائح المسـتوية تتكـدّس علـى بعضـها، وتـرتبط فيمـا بينهـا بواسـطة قـوى فـان ديـر فـالس. هـذا الشـكل مـن التـرابط يعطـي الكرافيـت خاصـيّة الطـراوة والنعومـة، بالإضـافة إلـى انفصـام البلّـورات عـن بعضـها الـبعض، ممّـا يجعلـه سـهل التفتـت. إنّ طبقـات الكرافيـت لـديها ناقليـة كهربائيـة جيّـدة علـى نفـس المسـتوي، وذلـك بسـبب خاصّـيّة عـدم التموضـع (أو عـدم التمركـز) لواحـد مـن الإلكترونـات الخارجيّـة لكـلّ ذرّة مـن ذرّات الكـاربون فـي الشـبكة البلوريّـة، ممّـا يـؤدّي إلـى تشـكيل سـحابة بـاي مـن الإلكترونـات غيـر المتمركـزة، والتـي تفيـد فـي الخـواص الموصـلة للكهربـاء بالنسـبة للكرافيـت. يكـون الكرافيـت متبـاين الخـواص، إذ أنّـه علـى نفـس مسـتوي الارتبـاط الـذري يكـون ذو خـواص كهربائيّـة وحراريّـة مميّـزة، بالمقابـل، فـإنّ هـذه الخـواص لا تكـون ذاتهـا من المستوي البلّوري إلى المستوي البلّوري المجاور

الشكل(1)الكرافيت

أنتاج الكرافيت Production of graphiite:

تتوجد هناك ترسّبات طبيعيّة حيويّة من الكرافيت في عدّة مناطق من العالم، ولكنّ أهمّها من +الناحية الاقتصاديّة هي الخامات الموجودة في الصينوالهندوالبرازيلوكوريا الشماليّة. إنّ ترسّبات الكرافيت هي ذات أصل متحوّل وتوجد بشكل مترافق مع معادن الكوارتزوالميكاوالفلدسبار في صخور الشيستوالنايس بالإضافة إلى الحجر الرملي المتحوّل والحجر الجيري، وذلك على شكل عدسات أو عروق قد تصل سماكتها أحياناً إلى متر واحد أو أكثر. من السهل تعدين الكمّيّات الكبيرة الواضحة من الكرافيت، في حين أنّ الكمّيّات الأصغر من ترسّبات الكرافيت يستحصل عليها من سحق الصخر الأمّ الحاوي على الترسّبات، ومن ثمّ بإجراء عمليّة تعويم للكرافيت، والذي يتميّز بخفّته فيطفو على السطح.[22]هناك ثلاثة أنواع من الكرافيت الطبيعي، إمّا أن يكون لابلّورياً، أو على شكل قطع قشريّة متبلورة، أو على شكل كتل أو عروق متجمّعة. إنّ الكرافيت اللابلّوري هو أقلّها من حيث السعر والجودة، وهو ينتشر في الصين وأغلب أوروبا وفي المكسيكوالولايات المتحدة الأمريكية. أمّا قطع الكرافيت القشريّة المتبلورة فهي أقلّ انتشاراً، ولكنّها ذات جودة أعلى من الكرافيت اللابلّوري، وبالتالي فإنّ سعرها يصل إلى حوالي أربعة أضعاف سعر الكرافيت اللابلّوري. تنتشر القطع القشريّة من الكرافيت في النمساوألمانياوالبرازيلوكنداومدغشقر. بالمقابل، فإنّ أفضل أنواع الكرافيت هو الذي يأتي على شكل كتل أو عروق متجمّعة، وهو يتوفر تجارياً في سريلانكا.[22]حسب بيانات الماسح الجيولوجي الأمريكي، كان الإنتاج العالمي من الكرافيت الطبيعي سنة 2010حوالي 1.1 مليون طن، وكانت حصّة الصين من هذا الإنتاج حوالي 800 ألف طن، مقابل 130 ألف طن للهند، و 76 ألف طن للبرازيل، و 30 ألف لكوريا الشماليّة، و 25 ألف طن لكندا.[22]

الألماس Dimond:

يكون الكاربون على شكل الألماس عند ضغوط مرتفعة جدّاً، وهو مدمج بشكل أكبر من صفائح الكرافيت المستويةإنّ تعدين الألماس من خامته يقوم على استخدام جزء صغير من الخامة الفعليّة، حيث أنّ الخامة تسحق بشكل يتمّ فيه الانتباه إلى عدم تحطيم الألماسات الكبيرة، بحيث أن الجسيمات تفصل في النهاية وتصنّف حسب الكثافة. في الوقت الراهن، تجري عمليّة تحديد مكان وجود الألماسات في القسم الغنيّ من الخامة باستخدام تقنيّة فلورية الأشعة السينية، وبعد ذلك تتمّ خطوات الفصل النهاية بأسلوب يدوي. في الماضي، وقبل استخدام تقنيّة الأشعة السينيّة، كانت عملية الفصل تتمّ باستخدام أحزمة مدهونة

،

الشكل (2)بلّورة خام من الألماس

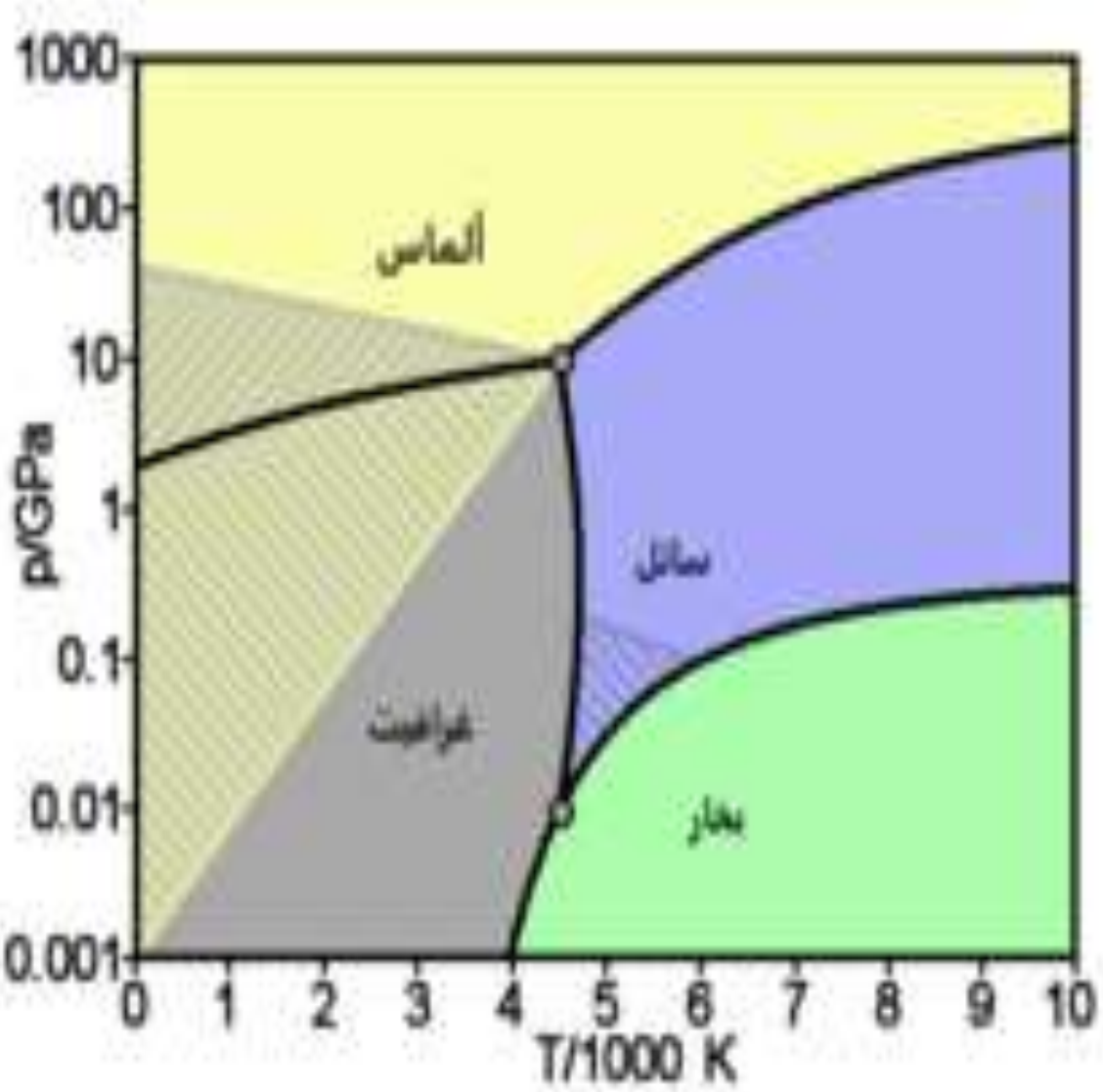
إنّ تعدين الألماس من خامته يقوم على استخدام جزء صغير من الخامة الفعليّة، حيث أنّ الخامة تسحق بشكل يتمّ فيه الانتباه إلى عدم تحطيم الألماسات الكبيرة، بحيث أن الجسيمات تفصل في النهاية وتصنّف حسب الكثافة. في الوقت الراهن، تجري عمليّة تحديد مكان وجود الألماسات في القسم الغنيّ من الخامة باستخدام تقنيّة فلورية الأشعة السينية، وبعد ذلك تتمّ خطوات الفصل النهاية بأسلوب يدوي. في الماضي، وقبل استخدام تقنيّة الأشعة السينيّة، كانت عملية الفصل تتمّ باستخدام أحزمة مدهونة بالشحم، حيث أنّ للألماس قابليّة للالتصاق بالشحم أكبر من غيره من المعادن الأخرى الموجودة في الخامة.[23]تاريخيّاً كان يعتقد بوجود الألماس في ترسبات الطمي في جنوب الهند فقط.[24] على أساس ذلك، كانت الهند إحدى الدول الرائدة في إنتاج الألماس، وذلك من وقت اكتشافه حوالي القرن التاسع قبل الميلاد،[25] وحتّى أواسط القرن التاسع عشر. بعد ذلك انخفض الإنتاج، وظهرت دول أخرى منتجة مثل البرازيل، والتي كانت أول منتج للألماس غير الهند، وذلك سنة 1725.[26]بدأ إنتاج الألماس من المعادن الأساسيّة مثل الكمبرليتواللامبرويت لأول مرة في سنوات عقد 1870، وذلك بعد اكتشاف حقول الألماس في جنوب أفريقيا. زاد الإنتاج مع مرور الوقت، حيث يقدّر أنّه منذ ذلك الحين فقد استخرج بشكل تراكمي إجمالي حوالي 4.5 بليون قيراط.[27] إنّ حوالي 20% من تلك الكمّيّة المستخرجة كانت في السنوات الخمسة بين (2002 - 2007)، وبين سنتي 1997 و 2007 بدأت

تسعة منتاجم جديدة عملها في إنتاج الألماس وذلك في كل من كنداوزيمبابويوأنغولاوروسيا.[27]يستحصل على الألماس في الولايات المتحدة الأمريكيّة في ولايات أركنساسوكولورادوومونتانا،[28][29] بالمقابل، فإنّ أكثر مكامن الألماس أهميّة من الناحية الاقتصاديّة هي في روسياوأستراليا وبوتسواناوجمهورية الكونغو الديموقراطية.[30]

النظائر Isotopes:

يكون للكاربون نظيرينمستقرّين ومتوفّرين طبيعيّاً، وهما كاربون-12C^{12}وكربون-13C^{13}.[31] يشكّل الكاربون-12 ما مقداره 98.93% من الوفرة الطبيعيّة للكاربون على الأرض، في حين أنّ الكاربون-13 يشكّل نسبة 1.07% المتبقيّة.[31] يزداد تركيز C^{12} في المواد الحيويّة لأنّ التفاعلات الكيميائيّة الحيويّة لها تمييز للكاربون-12 على حساب الكاربون-13.[32] قام الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC) سنة 1961 باعتماد النظير كاربون-12 كأساس للكتلة الذريّة،[33] بالتالي فإنّ وحدة الكتل الذريّة تعادل 12/1 من كتلة النظير C^{12}. يستخدم النظير C^{13} في تجارب الرنين المغناطيسي النووي (NMR) من أجل تعيين الارتباط في ذرات الكاربون في المركّبات العضويّة.هناك نظير مشع متوفّر طبيعياً للكاربون، وهو كاربون-14C^{14}، والذي يوجد في كمّيّات نزرة على سطح الأرض بتراكيز تصل إلى جزء في التريليون (10^12)، أي ما يعادل (0.0000000001%)، وذلك في الغلاف الجوي للأرض أو في الترسّبات السطحيّة، خاصة في الخثّ والمواد العضويّة الأخرى.[34] يبلغ عمر النصف لهذا النظير المشع 5730 سنة،[31] وهو يضمحلّ على النمط بيتّا−β بطاقة مقدارها 0.158 ميغا إلكترون فولت. بسبب قصر العمر النسبي للاضمحلال الإشعاعي للكاربون-14، فهو من حيث الافتراض غير موجود في الصخور ذات العمر السحيق، ولكنّه في المقابل يتشكّل في طبقات الجوّ العليا (التي هي دون الستراتوسفير وفوق التروبوسفير)، وذلك من التأثير المتبادل (التآثر) بين النتروجينوالأشعّة الكونيّة.[35] إنّ نسبة الكاربون-14 في الجوّ والكائنات الحيّة هي تقريباً ثابتة، ولكنّها تتناقص بعد وفاتها وطمرها في التراب. في هذه الحالة، يستفاد من معرفة الفرق في نسبة الكربون-14 في مجال تقدير عمر الأجسام الكربونيّة التي لها أعمار حوالي 40 ألف سنة، باستخدام تقنية التأريخ بالكاربون المشعّ.[36][37]هناك 15 نظيراً معروفاً للكاربون، أقصرها عمراً هو للنظير كاربون-8، والذي يضمحلّ من خلال إصدار بروتونيواضمحلال ألفا، حيث أنّ عمر النصف له يبلغ 101.98739x^{-21} ثانية.[38] يكون للنظير الغريب كاربون-19 C^{19} نواة من النمط هالو.[39]

الخواص الفيزيائيّة Physicalproperties:



الشكل(3) مخطط الاطوار

للكـاربون أعلـى نقطـة تسـامي بـين العناصـر الكيميائيّـة، والتـي تبلـغ حـوالي 3900 كلفـن.[40][41] لـيس للكـاربون نقطـة انصـهار عنـد الضـغط النظـامي، حيـث أن النقطـة الثلاثيّـة لـه هـي عنـد ضـغط مقـداره 10.8 ± 0.2 ميغاباسـكال، ودرجـة حـرارة مقـدارها 4600 ± 300 كلفـن (~4330 °س). يتسـامى الكربـون فـي المصـباح القوسـي الكـاربوني، والـذي تصـل درجـات الحـرارة فيـه إلـى حـوالي 5800 كلفـن (5530 °س). بالتـالي، فإنّـه وبغـضّ النظـر عـن شـكل المتآصـل فـإنّ الكـاربون يبقـى صـلباً عنـد درجـات حـرارة أعلـى مـن درجـات انصـهار فلـزات مثـل التنغسـتن أو الرينيوم.للكـاربون خـواص مغناطيسـية معاكسـة، وتختلـف قيمـة القابليّـة المغناطيسـيّة فـي الكرافيـت حسـب المسـتوي الفراغـي، فيكـون بـذلك متبـاين الخـواص، إذ أنّ

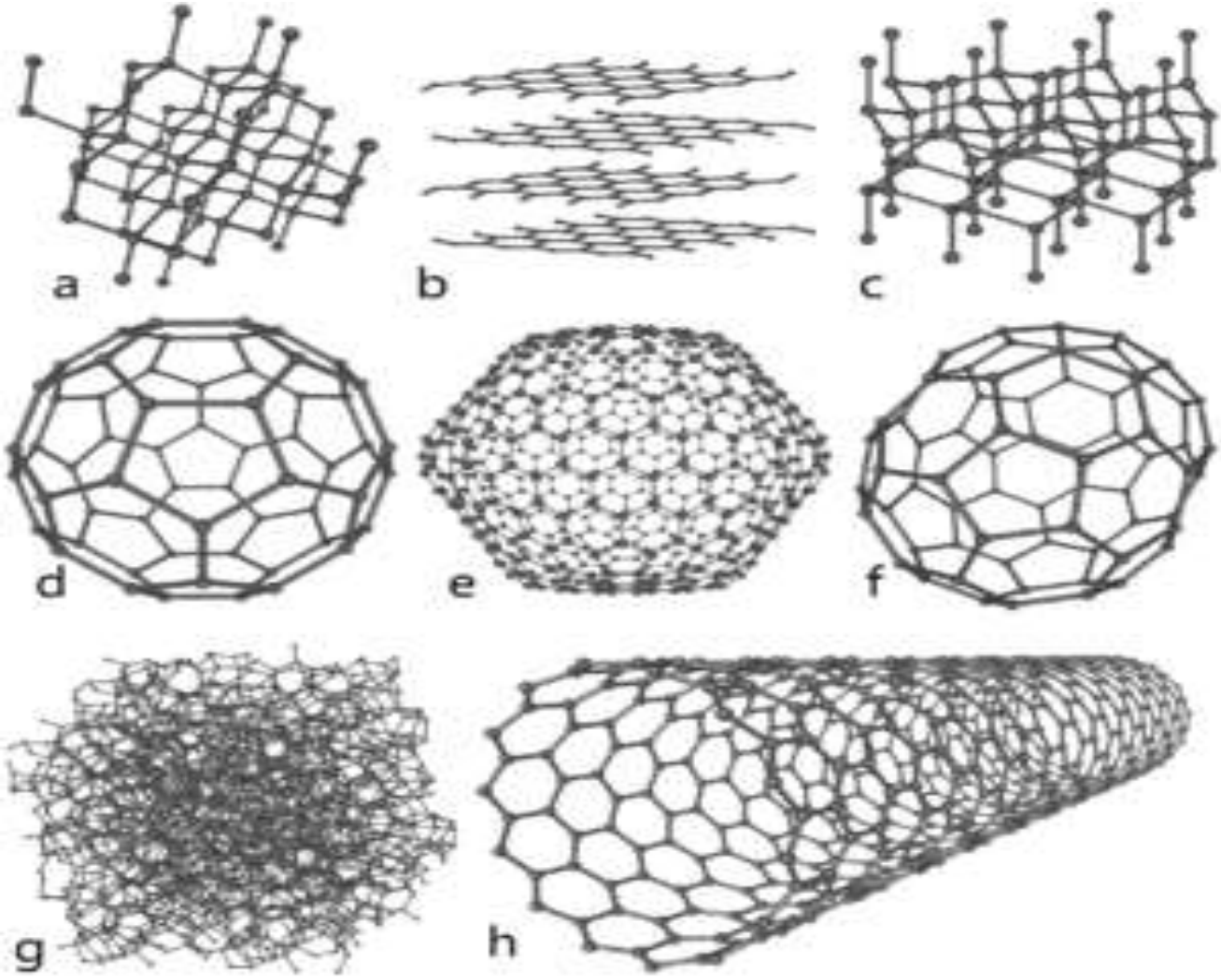
القيمةفي المستوي الموازي تبلغ = −85 · 10−6،وفي المستوي العمودي للطبقات = −450 · 10−6.[42] بالمقابل فإنّ للألماس في هذه الناحية متوحّد الخواص، حيث أنّ القيمة لديهثابتة ومقدارها

= −22 · 10−6.على العموم، تختلف الخواص الفيزيائيّة التفصيليّة للكاربون حسب شكل ارتباط الذرات في الأشكال المختلفة من المتآصلات، والتي تشمل مثلاً أقسى مادة موجودة في الطبيعة وهي الألماس، مقابل واحدة من أكثر المواد نعومة وهي الكرافيت

. في الجدول التالي مقارنة بين الخواص الفيزيائيّة لكل من الألماس والكرافيت:

الماس	الكرافيت
• يعدالألماس الاصطناعي على شكل قضبان نانوية بلوريةمن أقسى المواد المعروفة.[43]	• الكرافيت هو واحد من أكثر المواد طراوة ونعومة، حيث أنه سهل التفتت بالضغط عليه.
• يستخدم الألماس كمادةساحجة.	• يستخدم الكرافيت كمادةمزلّقة.[44]
• الألماس مادّة ذات قدرة جيّدة علىالعزل الكهربائي.[45]	• الكرافيت من الموادالموصلة للكهرباء.[46]
• للألماسناقليّة حراريّةجيّدة جداً.	• بعض أشكال الكرافيت تكون ذاتعزل حراري، ولكن هناك أنواع أخرىمعالجة حرارياًتكون ذات ناقليّة حراريّة جيّدة.
• يتميّز الألماس بالشفافيّة العالية.	• الكرافيت مادّةمعتمة.
• يتبلور الألماس حسبالنظام البلّوري المكعّب.	• يتبلور الكرافيت حسبالنظام البلّوري السداسي.[47]

التآصل



بعض متآصلات الكاربون:

a) ألمـاس؛ b) كرافيـت؛ c) لونسـداليت؛ d–f) فوليرينـات؛ g) كـاربون لا بلـوري; h) أنبـوب نـانوي كاربوني.يقصـد بالتآصـل الأشـكال المتعـدّدة التـي يوجـد فيهـا العنصـر فـي الطبيعـة، والتـي تختلـف عـن بعضـها فـي التركيـب البلّـوري، أو بالترتيـب الـداخلي للـذرّات. لا يوجـد الكـاربون فـي الأحـوال العاديـة علـى الصـورة الذرّيـة، والتـي هـي غيرمسـتقرّة، والتـي تتثبـت عـن طريـق الارتبـاط مـع ذرّات الكـاربون الأخـرى

فـي بنـى متعـدّدة الـذرّات ذات ترتيبـات هندسـيّة متنوّعـة. أشـهر متآصـلات الكربـون هـي الألماسـوالكرافيت، بالإضـافة إلـى الكـاربون اللابلّـوري. تعـدّ الفوليرينـات إحـدى المتآصـلات المكتشـفة حـديثاً للكـاربون، والتـي كانـت غريبـةً أوّل مـا ظهـرت، إلا أنّهـا حاليـاً تسـتخدم بشـكل متكـرّر فـي الأبحـاث العلميّـة. تشـمل الفوليرينـات كـل مـن بوكمينسـتر فـوليرين (تعـرف أيضـاً باسـم كـرات بـوكي)،[18]والأنابيـب النانويّـة الكاربونيّـة[48][49] وغيرهـا مـن التشـكيلات الغريبـة المكتشـفة حـديثاً مثـل البـراعم النانويّـة،[50][51] والألياف النانويّـة.[52] مـن المتآصـلات الجديـدة أيضـاً للكـاربون كـل مـن اللونسـداليت،[53]والكـاربون الزجاجي،[10]والرغوة النانويّة الكاربونيّة،[54]والكربابنات (كاربون أسيتيليني خطّي)،[55]والكرافين.

الكاربون اللابلّوريCrystalline carbon:

إنّ الشـكل اللابلّـوري مـن الكـاربون يكـون علـى هيئـة ذرّات متجمّعـة بشـكل غيـر منـتظم وغيـر موجـودة فـي نظـام بلـوري محـدّد، وذلـك علـى شـكل مسـحوق يوجـد كمكـوّن رئيسـي فـي مـواد مثـل الفحـم النباتيوأسـود الكـاربون (السـناج) والكـاربون المنشّـط. يمكـن إيجـاد نسـبة معيّنـة مـن الانتظـام الـداخلي للتـرابط بـين ذرّات الكـاربون، وذلـك عـن طريـق إنتـاج الكـاربون اللابلّـوري صـناعيّاً، حيـث توجـد علـى سـبيل المثـال، مـادّة كـاربون لابلّـوري ربـاعي، تكـون فيـه نسـبة 70% مـن الانتظـام البلّـوري علـى شـكل ربـاعي، ويرمـز لهـا (ta-C)، ولهـا خـواص مميّـزة، حيـث أنّهـا مـادّة ذات صـلادة كبيـرة جـداً ولهـا شـفافيّة عاليـة كمـا أنهـا عازلـة جيّدة للكهرباء

الفوليرينات The fullerenes:

الشكل(4)بلّورات من الفوليرين C60.

يكون للفوليرينات بنية شبيهة بالكرافيت من حيث الارتباط الثلاثي على شكل حلقات سداسيّة، مع وجود فرق وهو احتواؤها على خماسيّات أضلاع، والتي تسهم في انحناء الصفائح على شكل كرات، أو قطوع ناقصة فراغية أو أسطوانات. تقسم الفوليرينات من حيث الشكل إلى كرات بوكي وأنابيب وبراعم كاربونيّة نانويّة، ولا يزال البحث العلمي جارياً في مجال المواد النانويّة للتعرّف بشكل أكبر على خواصها. تعرف هذه المتآصلات باسم فوليرينات على اسم ريتشارد بوكمينستر فولر، وهو مهندس مطوّر لتصاميم القبب الجيوديسيّة، والتي تشبه الفوليرينات في شكلها. إنّ كرات بوكي هي جزيئات ضخمة تتشكل بالكامل من الكربون على هيئة سطوح كروية أشهرها بوكمينستر فوليرين، والذي له الصيغة C_{60}، ويكون على شكل كرة.[8]

الأنابيب النانويّة الكربونيّة Carbon nanotubes:

إنّ الأنابيب النانويّة الكربونيّة شبيهة بنيوياً لكرات بوكي، إلّا أنّ كلّ ذرّة كاربون في الأنابيب النانويّة الكاربونيّة ترتبط بشكل ثلاثي ومنحني، بحيث يتشكّل تجويف يشبه الأسطوانة.[58][59] في حين أنّ البراعم النانويّة، والتي اكتشفت لأوّل مرة سنة 2007، هي عبارة عن شكل هجين بين الأنابيب

والكرات، تكون فيه كرة بوكي مرتبطة على الجدار الخارجي لأنبوب نانوي كاربوني، وذلك بشكل يجمع بين خواص الاثنين في بنية واحدة.[58] تتألّف بنية هذه الرغوة من ذرّات كاربون مرتبطة مع بعضها بشكل ثلاثي وذلك في حلقات سداسيّة وسباعيّة، وهي تعدّ واحدة من أكثر المواد خفّة، حيث أنّ كثافتها تكون حوالي 2 كغ/م^3.

الكربون الزجاجchyrysan the emum Carbon of:

يكون للكاربون الزجاجي نسبة مسامية مرتفعة مثل الكرافيت، ولكن على العكس منه فإنّ ترتيب الصفائح في الكاربون الزجاجي لا يكون منتظماً، إنما بشكل عشوائي.[10]

للونسداليتLonsdaleit:

عند شروط معينة، يتبلور الكاربون على شكل لونسداليت، وهو أحد المتآصلات الذي يكون فيه الكاربون مرتبطاً على شكل شبكة بلورية سداسية الأضلاع، تكون فيها كل الذرات مرتبطة بروابط تساهميّة، لذلك فإنّ اللونسداليت يشبه الألماس في الكثير من الخواص،[53] وهو يعرف باسم الألماس سداسي الأضلاع. يعدّ اللونسداليت من المتآصلات نادرة الحدوث، ويتشكّل عند تطبيق درجات حرارة وضغوط عالية جدّاً على الكرافيت، الأمر الذي يمكن أن يقع عند حدوث اصطدام نيازك بسطح الأرض، فيتحوّل الكرافيت إلى ألماس وتبقى هناك البنيّة البلّوريّة السداسيّة.

الكربابنات Carbines:

إنّ الكربابنات (أو كربون الأسيتيلين الخطي) عبارة عن شكل من أشكال الكاربون، والذي ترتبط فيه ذرّات الكربون بشكل خطي -(C:::C)$_n$-، بحيث يكون التهجين المداري فيه من النمط sp، وذلك على شكل بوليمر تتناوب فيه الروابط الأحاديّة والثلاثيّة. هذا النمط من الكاربابنات له خواص مميّزة في مجال تقنية النانو، إذ أن معامل يونغ لهذه المواد أكبر بأربعين مرة من قيمته لدى الألماس.[59]

الكرافين Caravin:

يعدّ الكرافين من المتآصلات الجديدة نسبياً للكاربون، وهو يحوي البنية البلّوريّة ذات النمط السداسي الموجودة في الكرافيت، حيث يشكل شبكة ثنائيّة الأبعاد. وجد أنّ للكرافين صفات مميّزة من القوّة

والصلابة.[56] ولا تزال الأبحاث العلميّة جارية من أجل تطوير تقنيّات تمكّن من التطبيق الصناعي لهذه المادّة على مستوى اقتصادي.[60]

الخواص الكيميائه Chemical properties:

إنّ الكربون ثابت كيميائيّاً ومقاوم للتفاعلات الكيميائيّة عند الشروط العاديّة من الضغط ودرجة الحرارة، فهو يقاوم تأثير الأحماض الممدّدة مثل حمض الكبريتيكوحمض الهيدروكلوريك وتأثير المؤكسداتوالقلويّات. ويتطلّب الأمر وجود درجة حرارة مرتفعة من أجل التفاعل مع الأكسجين، ولكي يتفاعل الكربون مع الكبريت لتشكيل ثنائي كبريتيد الكربون.يتمتّع الكربون بصفات اختزاليّة جيّدة، حيث أنّه يمكن له أن يختزل أكاسيد الفلزات عند درجات حرارة مرتفعة، كما هو الحال في اختزال أكاسيد الحديد إلى الحديد الفلزّي، ويستخدم هذا التفاعل الناشر للحرارة في إنتاج الفولاذ.كما يتفاعل الكربون مع البخار، حيث يحدث عملية اختزال للماء ويتشكّل الهيدروجين مع أحادي أكسيد الكربون.يتفاعل الكربون مع بعض الفلزّات عند درجات حرارة مرتفعة حيث يشكل الكربيدات مثل السمنتيت، والذي هو كربيد للحديد في الفولاذ، وكربيد التنغستن، المستخدم كمادة ساحجة.

المركّبات الكيميائيّةChemicals:

تعدّ مركّبات الكاربون إحدى الدعامات الأساسيّة لوجود الحياة على سطح الأرض. يمكن للكاربون في مركّباته الكيميائيّة أن يأخذ حالات الأكسدة التي تتدرج من -4 حتى +4، وذلك حسب الصفة الكهرسلبيّة للعنصر الآخر في الرابطة. مثلاً يوجد الكاربون غالباً في حالة الأكسدة +4 وذلك في المركّبات اللاعضويّة مثل الكاربونات المختلفة، في حين أنّ حالة الأكسدة +2 توجد في حالة أحادي أكسيد الكاربون وفي العديد من معقّدات الكربونيل التناسقيّة للفلزّات الانتقاليّة، في حين أنّها -4 في الميثان على سبيل المثال.

المركّبات العضويّةOrganic compounds:

يتمتّع الكاربون بخاصّيّة تدعى الخاصّيّة السلسليّة، والتي تمكّنه من تشكيل سلاسل طويلة من الروابط بين الكاربونيّة والتي تتمتّع بالقوّة والثباتيّة، كما تسمح هذه الخاصّيّة للكاربون أن يشكّل عدداً كبيراً جدّاً من المركّبات. يعدّ الكاربون ثاني أكثر العناصر وجوداً في المركّبات الكيميائيّة وذلك بعد الهيدروجين.يوجد الكاربون في جميع المواد العضويّة وهو يعدّ أساس الكيمياء العضويّة. عند ارتباط الكاربون مع الهيدروجين تتشكّل أبسط أنواع المركبات العضويّة، وهي الهيدروكربونات، وهي عائلة ضخمة جداً من المركّبات العضويّة، تكون على شكل سلاسل متفاوتة الأطوال، ويمكن لها أن تكون متفرّعة، كما يمكن لها أن تحوي على مجموعات وظيفيّة لها تأثير كبير على خواص تلك المركّبات. تعدّ الهيدروكربونات الأساس الكيميائي في الوقود الأحفوري.يدخل الكاربون مع الأكسجين في تركيب العديد من المواد العضويّة الحيويّة مثل السكّريّات ومركّبات الليكنانوالكيتينوالكحولاتوالدهونوالإستراتوالكاروتيناتوالتربينات. أمّا مع النتروجين فيشكّل مركّبات أشباه القلويات، ومع وجود الكبريت يشكّل الأحماض الأمينية، ومع وجود الفوسفور يشكّل سلاسل DNAوRNA، بالإضافة إلى جزيء أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)، والذي يعدّ أهمّ حامل للطاقة في الكائنات الحيّة.

المركّبات اللاعضويّةInorganci compounds:

جميع المركّبات التي تكون حاوية على الكاربون دون وجود الهيدروجين أو أحد الهالوجينات هي مركّبات لاعضويّة. أشهر مركبات الكاربون اللاعضويّة هو ثنائي أكسيد الكاربون (CO_2)، والذي كان في وقت من الأوقات مكوّناً أساسياً في الغلاف الجوّي القديم، وهو حالياً أحد المكوّنات الثانويّة لغلاف الأرض الجوي الحالي.[61] يمكن لثنائي أكسيد الكاربون عند انحلاله في الماء أن يشكّل حمض الكاربونيكCO_2H_3، وهو مركّب غير مستقر، كما هو الحال مع المركّبات التي تكون حاوية على ذرّة كاربون مفردة مرتبطة بأكثر من ذرّة أكسجين على شكل رابطة أحاديّة.[62] لكنّه بالمقابل، يشكّل أيون الكاربونات المستقرّ، والذي يوجد فيه الكاربون مرتبطاً مع الفلزّات في العديد من المعادن مثل الكالسيت.يتشكّل أحادي أكسيد الكاربون (CO) عند الاحتراق غير التام للكاربون، وهو غاز عديم اللون والرائحة، وهو شديد السمّيّة. تأتي سمّيّة هذا الغاز من نوعيّة الارتباط، حيث أنّ الكاربون يرتبط برابطة ثلاثيّة تكون ذات قطبية كيميائية، ممّا يؤدّي إلى وجود قابلية للارتباط بشكل دائم مع جزيئات الهيموغلوبين (خضاب الدم) بحيث يحلّ محلّ الأكسجين، الذي له إلفة ارتباط أقل من CO.[63][64]

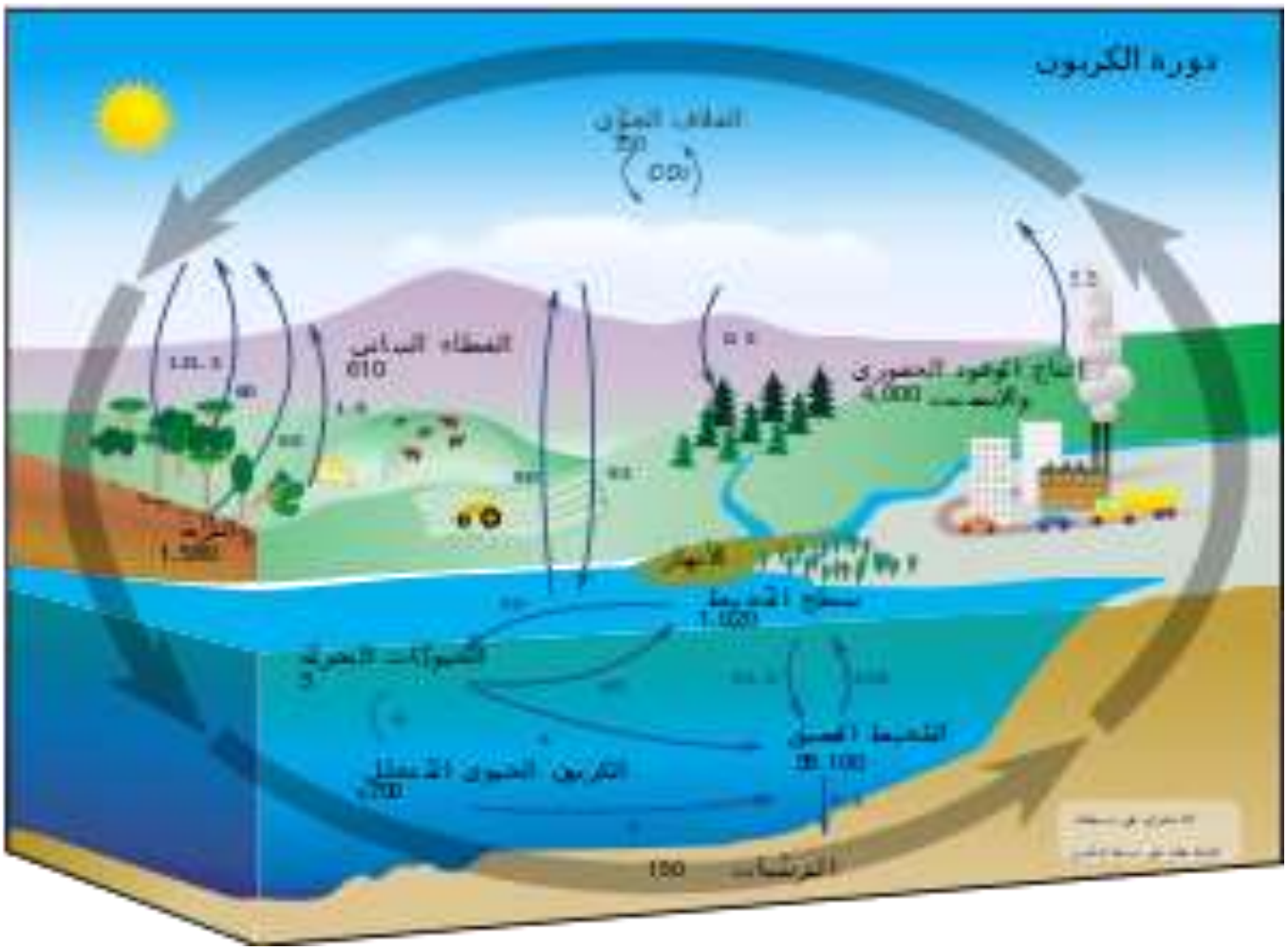
مـن الأكاسـيد الأخـرى غيـر الشـائعة للكـاربون دون أكسـيد الكـاربون (C_2O_3)،[65] والأكسـيد غيـر المسـتقر أحـادي أكسـيد ثنـائي الكـاربون ($_CO_2$)،[66][67]وثلاثـي أكسـيد الكـاربون (CO_3).[68][69]يشـكّل الكـاربون مـع الكبريـت مركـب ثنـائي كبريتيـد الكـاربونCS_2، والـذي يشـبه ثنـائي أكسـيد الكـاربون $_2CO$ فـي شـكل الرابطـة الكيميائيّـة. بالمقابـل، فـإنّ الكـاربون يشـكّل مـع النتـروجين مركّبـات السـيانيدات ($C{\equiv}N^-$)، والتـي تشـبه أحـادي أكسـيد الكـاربون CO فـي شـكل الرابطـة الكيميائيّـة. أمّـا مـع الفلـزّات النشـيطة، فـإنّ الكـاربون يشكّل الكربيدات (C^{-4}) أو الأسيتيليدات (C_2^{-2}).

المركّبات العضويّة الفلزّيةMineral compounds:

المركّبـات العضـويّة الفلزّيـة بـالتعريف هـي مركّبـات تحـوي علـى الأقـل علـى رابطـة واحـدة مـن ذرّة كربـون فـي مركّـب عضـوي مـع فلـزّ.[70][71] قـد تكـون هـذه المركّبـات بسـيطة مثـل ربـاعي إيثيـل الرصـاص أو علـى شكل معقّدات تناسقيّة مثل الميتالوسيناتوكربونيلات الفلزّات

دورة الكربون Carbon cycle:

.مخطّط دورة الكربون. تشير الأرقام باللون الأسود إلى كمّيّة الكربون المحتزنة في الخزانات المختلفة معبّراً عنها بوحدة غيغاطن (يرمز لها "GtC"، والتقديرات تعود إلى عام 2004 تقريباً). تشير الأرقام باللون القرمزي إلى كمّيّة الكربون المنتقلة بين الخزانات كلّ سنة.



الشكل(5) دورة الكاربون

إنّ كمّيّة الكاربون الموجودة على سطح الأرض هي كمّيّة ثابتة، إذ أنّه في الشروط الأرضية الطبيعيّة يكون من النادر حدوث عمليّة تحوّل عنصر كيميائي إلى آخر. بالتالي، فإنّ العمليّات التي تستهلك الكاربون تقوم بالحصول على هذا العنصر من مصدر، ثم تقوم بطرحه إلى مصدر آخر، وهذا ما يعرف باسم دورة الكاربون. على سبيل المثال، تقوم النباتات بسحب الكاربون على شكل ثنائي أكسيد الكاربون من الغلاف الجوّي المحيط بها، وتقوم بعملية تثبيت الكاربون على شكل كتلة حيوية. في مرحلة لاحقة تقوم الحيوانات بالتغذّي على تلك الكتلة الحيويّة، بحيث أنّ بعض الكاربون يخرج مرة

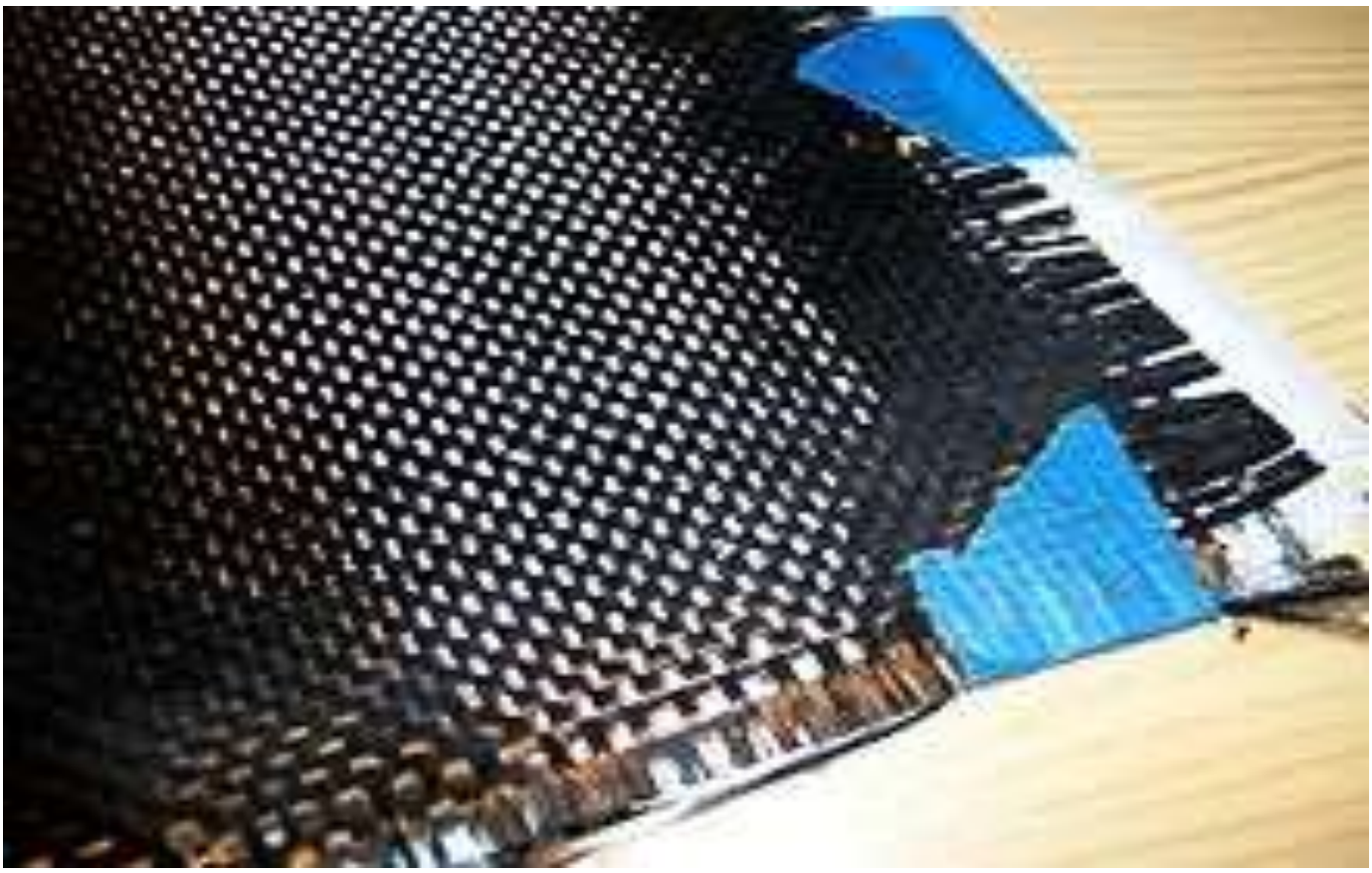
أخـرى إلـى الغـلاف الجـوّي علـى شـكل CO_2 فـي هـواء الزفيـر فـي دورة كـاربون قصـيرة، فـي حـين أنّ الـبعض الآخـر يطـرح مـن الجسـم وقـد يمتـزج مـع المخلّفـات الباقيّـة مـن الكتلـة الحيويّـة ويتحـول إلـى فحـم أو نفط في دورة كاربون طويلة.[72][73]

الاستخداماتUses:

استخدامات الكربون متنوّعة وذلك على اختلاف الأشكال المتوفّرة

1. تصنع الماده المستخدمه للكتابه في اقلام الرصاص الميكانيكه من الكرافيت(73)
2. يستخدم الكرافيت مع الغضار في التراكيب لب الاقلام الرصاص في الكتابه والرسم(74)(75)
3. يستخدم كمزلق وكخضاب (76)
4. يستخدم في الصناعه الزجاج
5. يستخدم في التركيب الاقطاب الكهربائيه المستخدمه في البطاريات الجافه
6. يستخدم كمهدى للنيوترونات في المفاعلات النوويه
7. في التطبيقات الكهربائيه في مجال الطبي الكهربائي [76]
8. يستخدم الفحم النباتي كماده للرسم في بعض الاعمال الفنيه
9. يستخدم من اجل تحضير المأكولات المشويه
10. يستخدم الماس كماده للزينه كأحدالمجوهرات
11. يستخدم الماس الصناعي في التراكيب مواد القطع في التجهيزات الهندسيه(77)
12. يستخدم الياف الكاربون من اجل تدعيم اللدائين كما في البوليمرات
13. يستخدم في الصناعه المواد الؤلفه لانها تكون ذات خواص نوعيه افضل من الفؤلاذ
14. يستخدم الكاربون الاسواد كخضاب اسود في التركيب احبار الطباعه والالوان الزيتيه والمائيه وفي التركيب ورق الكاربون والحبر الهندي
15. يستخدم كماده في الطباعه الليزريه
16. كما يستخدم كماده ملونه للمنتجات البلاستيكيه واللمطاط الصناعي المستخدم في الصناعه +الاطارات(78)
17. الهياكل والأجزاء المصنوعة من ألياف الكاربون أقوى وأمتن من نظيرتها المعدنية
18. يرى مطورون أن مستقبل السيارات سيطغى عليه اللون الأسود، إذ من المتوقع أن تزداد في الفترة المقبلة وبشكل كبير الطرز التي ستعتمد ألياف الكاربون في صناعة أجزائها ومكوناتها الداخلية.

19. استعمال ألياف الكاربون في يومنا هذا على نطاق السيارات السوبر رياضية بصفة خاصة، إلا أن الحاجة الملحة ستدفع الكثير من صناع عالم السيارات إلى اللجوء إلى طرق تصنيع جديدة ترتكز على تقنيات ألياف الكاربون، التي سيتم إنتاجها بأعداد كبيرة شيئاً فشيئاً.
20. مادة الكربون أيضاً في طرزها المستقبلية الموفرة في استهلاك الوقود، لذلك لن يستهلك الطراز أكثر من 0.9 لتر/100 كلم من الوقود، وهو ما يعادل 22 غرام/كلم من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون؛ لأن وزن السيارة لن يتعدى 795 كيلوغراماً.



الشكل(6)قطعة قماش منسوجة من ألياف الكاربون

احتياطات الأمان Safety precautions:

ليس للكاربون النقي أيّ تأثير سلبي على جسم الإنسان على الإطلاق، إذ أنّ له تأثير سمي منخفض جدّاً ويمكن اعتباره آمناً حيث يمكن على سبيل المثال تناول أقراص الفحم أو الكرافيت من أجل العلاج الطبّي في حالات سوء الهضم.

على الرغم من ذلك، فإنّ استنشاق أسود الكاربون على شكل سناج بكمّيّات كبيرة يمكن أن يكون خطراً، بحيث يقوم بتهييج أنسجة الرئتين، ويسبب سحار عمال الفحم. وبشكل مشابه فإنّ غبار الألماس الناتج من العدد الصناعيّة يمكن أن يسبّب الأذى في حال الابتلاع أو الاستنشاق. بالإضافة إلى ذلك، فإنّ الجسيمات المكروئيّة من الكاربون والناتجة عن عوادم السيارات والآليّات العاملة على الديزل، يمكن لها أن تتجمّع في الرئتين، وينتج عن ذلك أمراض رئويّة مختلفة.[81]

بالنسبة للكائنات الأخرى، فإنّ الكاربون له المقدار نفسه من السمّيّة المنخفضة، ولكن بالنسبة لبعض الكائنات يمكن أن يكون ساماً. على سبيل المثال، وجد أن الجسيمات النانويّة من الكاربون يمكن أن تكون مميتة لنوع من ذباب الفاكهة Drosophila.[82]يمكن للكاربون أن يشتعل ويتوهّج بوجود أكسجين الهواء عند درجات حرارة مرتفعة. إنّ التجمّعات الكبيرة من الفحم، والتي بقيت خاملة لسنوات طويلة بسبب عدم وجود الأكسجين، يمكن أن يحصل لها احتراق ذاتي عند التعرّض للهواء فجأة، كما يحدث في أكوام نفايات مناجم الفحم.

المصـــــادر

1. "History of Carbon"
2. ^"Chinese made first use of diamond" .BBC News. 17 May 2005..
3. ^Ferchault de Réaumur ،R-A (1722 .(L'art de convertir le fer forgé en acier, et l'art d'adoucir le fer fondu, ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que le fer forgé (English translation from 1956 .(Paris, Chicago.
4. ^Senese, Fred" .Who discovered carbon"? .Frostburg State University . .24-11-2007 اطلع عليه بتاريخ
5. ^Giolitti, Federico (1914 .(The Cementation of Iron and Steel . McGraw-Hill Book Company, inc.
6. ^Kroto ،H. W ؛.Heath ،J. R ؛.O'Brien ،S. C ؛.Curl ،R. F ؛.Smalley ،R. E. (1985). "C :$_{60}$Buckminsterfullerene ."Nature .163–162 :(6042) **318** . Bibcode1985:Natur.318..162K .doi318162/10.1038:a0.
7. ^Unwin, Peter" .Fullerenes(An Overview"(.08-12-2007 اطلع عليه بتاريخ .
8. ^"The Nobel Prize in Chemistry 1996 "for their discovery of fullerenes"".21-12-2007 اطلع عليه بتاريخ .

   Harris, PJF (2004" .(Fullerene-related structure of commercial glassy carbons") PDF .(Philosophical Magazine .3167–3159 :(29) **84** . Bibcode2004:PMag...84.3159H .doi.14786430410001720363/10.1080:
9. ^Hoover ،Rachel (21 February 2014" .(Need to Track Organic Nano-Particles Across the Universe? NASA's Got an App for That" .NASA . .22-02-2014 اطلع عليه بتاريخ
10. ^Mark, Kathleen (1987 .(Meteorite Craters .University of Arizona Press .ISBN.6-0902-8165-0
11. ^Audi ،G ؛Bersillon ،O ؛.Blachot ،J ؛.Wapstra ،A.H. (1997" .(The Nubase evaluation of nuclear and decay properties") PDF .(Nuclear Physics A .1 :**624** .Bibcode1997:NuPhA.624....1A .doi/10.1016:S0375-9474(97)00482-X.

12. ^Ostlie, D.A. and Carroll, B.W. (2007 .(An Introduction to Modern Stellar Astrophysics .Addison Wesley, San Francisco .ISBN-8053-0 .0-0348
13. ^Whittet ،D. C. B. (2003 .(Dust in the Galactic Environment .CRC Press .46–45 صفحات .ISBN.6-0624-7503-0
14. ^Pikel′ner, Solomon Borisovich (1977 .(Star formation .Springer . .–38صفحات ISBN.06-06-2011 .اطلع عليه بتاريخ 3-0796-277-90-978
15. ^William F McDonoughThe composition of the EarthinEarthquake Thermodynamics and Phase Transformation in the Earth's Interior . .2000ISBN.0126851854-978
16. ^Fred Pearce (2014-02-15" .(Fire in the hole: After fracking comes coal" .New Scientist.41–36 :
17. ^"Wonderfuel: Welcome to the age of unconventional gas"by Helen Knight ,New Scientist 12 ,June 2010, pp. 44–7.
18. ^Ocean methane stocks 'overstated' ,BBC, 17 Feb. 2004.
19. ^"Ice on fire: The next fossil fuel"by Fred Pearce ,New Scientist 27 , June 2009, pp. 30-33.
20. USGS Minerals Yearbook: Graphite,ئ 09and Graphite: Mineral Commodity Summaries 2011
21. ^Harlow, G. E. (1998 .(The nature of diamonds .Cambridge University Press .223 صفحة .ISBN.7-62935-521-0
22. ^Catelle ،W.R. (1911 .(The Diamond .John Lane Company.Page 159 discussion on Alluvial diamonds in India and elsewhere as well as earliest finds
23. ^Ball ،V. (1881 .(Diamonds, Gold and Coal of India .London, Truebner&Co.Ball was a Geologist in British service. Chapter I, Page 1
24. ^Hershey ،J. W. (1940 .(The Book Of Diamonds: Their Curious Lore, Properties, Tests And Synthetic Manufacture .Kessinger Pub Co . .28صفحة ISBN.9-7715-4179-1

25. ^Janse ،A. J. A. (2007). "Global Rough Diamond Production Since 1870 ."Gems and Gemology .GIA. XLIII (Summer 2007): 98–119 . doi/10.5741:GEMS.43.2.98.
26. ^Lorenz ،V. (2007). "Argyle in Western Australia: The world's richest diamantiferous pipe; its past and future ."Gemmologie, Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft .DGemG.40–35 :(2/1) **56** .
27. ^"Microscopic diamond found in Montana" .The Montana Standard. 2004-10-17.10-10-2008 اطلع عليه بتاريخ .
28. ^Marshall ،Stephen ؛Shore ،Josh (2004-10-22" .(The Diamond Life" . Guerrilla News Network اطلـع عليـه 09-06-2008. تمـت أرشـفته مـن الأصـل فـي . بتاريخ 10-10-2008.
29. ^WebElements Periodic Table.09-10-2008 اطلع عليه بتاريخ .
30. ^Gannes ،Leonard Z ؛.Del Rio ،Carlos Martínez ؛Koch ،Paul (1998). "Natural Abundance Variations in Stable Isotopes and their Potential Uses in Animal Physiological Ecology ."Comparative Biochemistry and Physiology – Part A: Molecular&Integrative Physiology–725 :(3) **119** . .737doi/10.1016:S1095-6433(98)01016-2.
31. ^"Official SI Unit definitions".21-12-2007 اطلع عليه بتاريخ .
32. ^Brown ،Tom (March 1, 2006" .(Carbon Goes Full Circle in the Amazon" .Lawrence Livermore National Laboratory اطلـع عليـه بتـاريخ . .25-11-2007
33. ^Bowman ،S. (1990 .(Interpreting the past: Radiocarbon dating .British Museum Press .ISBN.2-2047-7141-0
34. ^Libby ،W. F. (1952 .(Radiocarbon dating .Chicago University Press and references therein.
35. ^Westgren ،A. (1960" .(The Nobel Prize in Chemistry 1960" .Nobel Foundation.25-11-2007 اطلع عليه بتاريخ .
36. ^"Use query for carbon-8" .barwinski.net.21-12-2007 اطلع عليه بتاريخ .

37. ^Watson ،A. (1999" .(Beaming Into the Dark Corners of the Nuclear Kitchen" .Science .31–28 :(5437) **286** .
doi/10.1126:science.286.5437.28.
38. ^Greenville Whittaker ،A. (1978). "The controversial carbon solid−liquid−vapour triple point ."Nature .696–695 :(5689) **276** .
Bibcode1978:Natur.276..695W .doi276695/10.1038:a0.
39. ^Zazula ،J. M. (1997" .(On Graphite Transformations at High Temperature and Pressure Induced by Absorption of the LHC Beam"
)PDF .(CERN.06-06-2009 اطلع عليه بتاريخ .
40. ^Simon MD, Geim AK (2000 :(Diamagnetic levitation: Flying frogs and floating magnets .Journal of Applied Physics 87, S. 6200–6204
)doi.(1.372654/10.1063:
41. ^Irifune ،Tetsuo ؛Kurio ،Ayako ؛Sakamoto ،Shizue ؛Inoue ،Toru ؛
Sumiya ،Hitoshi (2003). "Materials: Ultrahard polycrystalline diamond from graphite ."Nature .600–599 :(6923) **421** .
Bibcode2003:Natur.421..599I .PMID .12571587 doi421599/10.1038:b.
42. ^Dienwiebel ،Martin ؛Verhoeven ،Gertjan ؛Pradeep ،Namboodiri ؛
Frenken ،Joost ؛Heimberg ،Jennifer ؛Zandbergen ،Henny (2004 .(
"Superlubricity of Graphite") PDF .(Physical Review Letters .(12) **92** .
Bibcode2004:PhRvL..92l6101D .doi/10.1103:PhysRevLett.92.126101.
43. ^Collins ،A.T. (1993). "The Optical and Electronic Properties of Semiconducting Diamond ."Philosophical Transactions of the Royal Society A .244–233 :(1664) **342** .Bibcode1993:RSPTA.342..233C .
doi/10.1098:rsta.1993.0017.
44. ^Deprez ،N ؛.McLachan ،D. S. (1988). "The analysis of the electrical conductivity of graphite conductivity of graphite powders during compaction ."Journal of Physics D: Applied Physics .Institute of Physics .101 :(1) **21** .Bibcode1988:JPhD...21..101D .doi-0022/10.1088:
.015/1/21/3727

45.^Delhaes, P. (2001 .(Graphite and Precursors .CRC Press .ISBN-90 .7-228-5699

46.^ أب: ل الأعلـى إلـى تعـدى^Ebbesen, T. W .(1997) المحـرر ,.Carbon nanotubes— preparation and properties .Boca Raton, Florida: CRC Press .ISBN-0 .6-9602-8493

47.^ أب: ل الأعلـى إلـى تعـدى^Dresselhaus, M. S.; Dresselhaus, G.; Avouris, Ph ,. " .(2001) المحـررCarbon nanotubes: synthesis, structures, properties and applications ."Topics in Applied Physics .Berlin: Springer .**80** .ISBN-3 .4-41086-540

48.^Nasibulin ،Albert G ؛.Pikhitsa ،P.V ؛.Jiang ،H ؛.Brown ،D. P ؛. Krasheninnikov ،A.V ؛.Anisimov ،A. S ؛.Queipo ،P ؛.Moisala ،A ؛. " .(2007) .وآخـــرونA novel hybrid carbon material ."Nature Nanotechnology .161–156 :(3) **2** .Bibcode2007:NatNa...2..156N . PMID .18654245 doi/10.1038:nnano.2007.37.

49.^Nasibulin ،A ؛Anisimov ،Anton S ؛.Pikhitsa ،Peter V ؛.Jiang ،Hua ؛ Brown ،David P ؛.Choi ،Mansoo ؛Kauppinen ،Esko I. (2007). "Investigations of NanoBud formation ."Chemical Physics Letters :**446** . .114–109Bibcode2007:CPL...446..109N . doi/10.1016:j.cplett.2007.08.050.

50.^Vieira, R ؛Ledoux ،Marc-Jacques ؛Pham-Huu ،Cuong (2004). "Synthesis and characterisation of carbon nanofibers with macroscopic shaping formed by catalytic decomposition of $C_2H/_6H_2$over nickel catalyst ."Applied Catalysis A .8–1 :**274** . doi/10.1016:j.apcata.2004.04.008.

51.Clifford ،Frondel ؛Marvin ،Ursula B. (1967). "Lonsdaleite, a new hexagonal polymorph of diamond ."Nature .589–587 :(5088) **214** . Bibcode1967:Natur.214..587F .doi214587/10.1038:a0.

52.^Rode, A. V ؛.Hyde ،S. T ؛.Gamaly ،E. G ؛.Elliman ،R. G ؛.McKenzie ، D. R ؛.Bulcock ،S. (1999). "Structural analysis of a carbon foam formed

by high pulse-rate laser ablation ."Applied Physics A-Materials Science&Processing :(7) **69** .S755–S758 .doi/10.1007:s003390051522.

53. ^Heimann, Robert Bertram; Evsyukov, Sergey E. and Kavan, Ladislav (28 February 1999 .(Carbyne and carbynoid structures .Springer . .–1صفحات ISBN.06-06-2011 اطلع عليه بتاريخ 2-5323-7923-0-978.

54. Lee ،C ؛.Wei ،X ؛.Kysar ،J. W ؛.Hone ،J. (2008). "Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene ." Science .8–385 :(5887) **321** .Bibcode2008:Sci...321..385L . PMID .18635798 doi/10.1126:science.1157996.ضع ملخصا .

55. ^Jenkins ،Edgar (1973 .(The polymorphism of elements and compounds .Taylor&Francis .30 صـــــفحة .ISBN اطلـــــع عليـــــه .0-87500-423-0 بتاريخ 2011-05-01.

56. ^Schewe, Phil and Stein, Ben (March 26, 2004" .(Carbon Nanofoam is the World's First Pure Carbon Magnet" .Physics News Update.(1) **678** .

57. ^Itzhaki, Lior ؛Altus ،Eli ؛Basch ،Harold ؛Hoz ،Shmaryahu (2005). "Harder than Diamond: Determining the Cross-Sectional Area and Young's Modulus of Molecular Rods ."Angew. Chem. Int. Ed :(45) **44** . .5–7432PMID .16240306 doi/10.1002:anie.200502448.

58. ^Sanderson ،Bill (2008-08-25" .(Toughest Stuff Known to Man : Discovery Opens Door to Space Elevator" .nypost.com اطلـع عليـه بتـاريخ . .09-10-2008

59. ^Levine ،Joel S ؛.Augustsson ،Tommy R ؛.Natarajan ،Murali (1982). "The prebiological paleoatmosphere: stability and composition ." Origins of Life and Evolution of Biospheres .259–245 :(3) **12** . Bibcode1982:OrLi...12..245L .doi/10.1007:BF00926894.

60. ^Loerting, T" .(2001) .وآخـرون ؛.On the Surprising Kinetic Stability of Carbonic Acid ."Angew. Chem. Int. Ed .895–891 :(5) **39** . PMID .10760883 doi)/10.1002:SICI)1521-3773(20000303)39:5::891>AID-ANIE891.3.0<CO;2-E.

61. ^Haldane J. (1895" .(The action of carbonic oxide on man" .Journal of Physiology .462–430 :(6–5) **18** .PMC1514663 .PMID.16992272
62. ^Gorman ،D ؛.Drewry ،A ؛.Huang ،Y. L ؛.Sames ،C. (2003). "The clinical toxicology of carbon monoxide ."Toxicology .38–25 :(1) **187** . PMID .12679050 doi/10.1016:S0300-483X(03)00005-2.
63. ^"Compounds of carbon: carbon suboxide".03-12-2007 اطلع عليه بتاريخ .
64. ^Bayes ،K. (1961). "Photolysis of Carbon Suboxide ."Journal of the American Chemical Society .3713–3712 :(17) **83** . doi/10.1021:ja01478a033.
65. ^Anderson D. J ؛.Rosenfeld ،R. N. (1991). "Photodissociation of Carbon Suboxide ."Journal of Chemical Physics .7867–7852 :(12) **94** . Bibcode1991:JChPh..94.7857A .doi.1.460121/10.1063:
66. ^Sabin ،J. R ؛.Kim ،H. (1971). "A theoretical study of the structure and properties of carbon trioxide ."Chemical Physics Letters–593 :(5) **11** . .597Bibcode1971:CPL....11..593S .doi-87010(71)2614-0009/10.1016: .0
67. ^Moll N. G., Clutter D. R., Thompson W. E. (1966). "Carbon Trioxide: Its Production, Infrared Spectrum, and Structure Studied in a Matrix of Solid CO ."$_2$Journal of Chemical Physics .4481–4469 :(12) **45** . Bibcode1966:JChPh..45.4469M .doi.1.1727526/10.1063:
68. ^Robert H. Crabtree (2005 .(The Organometallic Chemistry of the Transition Metals .Wiley .560 صفحة .ISBN.3-66256-471-0-978
69. ^Toreki, R. (2003-11-20" .(Organometallics Defined" .Interactive Learning Paradigms Incorporated.
70. ^Falkowski ،P ؛Scholes ،RJ ؛Boyle ،E ؛Canadell ،J ؛Canfield ،D ؛Elser ، J ؛Gruber ،N ؛Hibbard ،K" .(2000) .وآخـرون ؛The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System ."Science :(5490) **290** . .296–291Bibcode2000:Sci...290..291F .PMID .11030643 doi/10.1126:science.290.5490.291.

71. ^Smith ،T. M ؛.Cramer ،W. P ؛.Dixon ،R. K ؛.Leemans ،R ؛.Neilson ،R. P ؛.Solomon ،A. M. (1993). "The global terrestrial carbon cycle ." Water, Air& ,Soil Pollution .37–19 :**70** .doi/10.1007:BF01104986.
72. ^Ritter, Steve (October 15, 2001" .(Pencils&Pencil Lead" .American Chemical Society.
73. ^"The History of the Pencil" .University of Illinois at Urbana–Champaign.
74. ^"Graphite Statistics and Information" .USGS-09-2009 اطلـع عليـه بتـاريخ .09.
75. ^Holtzapffel ،Ch. (1856 .(Turning And Mechanical Manipulation . Charles Holtzapffel.Internet Archive
76. ^Cantwell ،W. J ؛.Morton ،J. (1991). "The impact resistance of composite materials – a review ."Composites .62–347 :(5) **22** . doi-90549(91)4361-0010/10.1016:V.
77. ^"Application Examples of Carbon Black" .Mitsubishi Chemical اطلـع عليه بتاريخ 14-01-2013.
78. ^"Charcoal, Activated" .The American Society of Health-System Pharmacists 23 اطلع عليه بتاريخ .April.2014
79. ^Donaldson ،K ؛Stone ،V ؛Clouter ،A ؛Renwick ،L ؛MacNee ،W (2001" .(Ultrafine particles" .Occupational and Environmental Medicine .216–211 :(3) **58** .PMC1740105 .PMID .11171936 doi/10.1136:oem.58.3.211.
80. ^Carbon Nanoparticles Toxic To Adult Fruit Flies But Benign To YoungScienceDaily (Aug. 17, 2009(