# من الفحم إلى الهواتف الذكية: رحلة الكربون والنيوديميوم

مسعود خيــط
أستاذ متقاعد، قسم العلوم الفيزيائية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
messaoud.kheit@g.ens-kouba.dz

نعيش عصرًا تتسارع فيه الاكتشافات وتتداخل فيه المعارف في مشهدٍ علميّ مُبهِر، غير أنّ تعليم الكيمياء على ما له من مكانةٍ مركزية في فهم المادة وأسرارها لا يزال، في بعض السياقات، أسيرَ مقارباتٍ تقليدية تُعلي من شأن الحفظ على حساب الفهم، وتُضيّق آفاق التجريب والاكتشاف. فتتشكّل بذلك علاقةٌ فاترة مع هذا العلم، حيث تُختزل القوانين في صيغٍ جامدة، وتُختصر المعادلات في رموزٍ صامتة، بدل أن تكون مفاتيح لقراءة العالم وتحليل ظواهره.

ورغم ما بشّرت به الإصلاحات التربوية من إمكاناتٍ للتجديد، يظلّ أثر هذا الإرث قائمًا، متجلّيًا في تهميشٍ نسبي للكيمياء، لا ينسجم مع دورها الجوهري في تفسير بنية المادة وتحولاتها، ولا مع إسهامها العميق في مجالات الحياة المعاصرة. ومن منظورٍ أرحب، لا تُختزل الكيمياء في بعدها التطبيقي فحسب، بل ترتقي إلى أن تكون مدخلًا لفهمٍ أكثر تركيبًا للعالم، حيث تتكامل دقّة التجربة مع عمق التأمل، ويتأسّس الوعي العلمي على التساؤل الرصين والمعرفة المتجددة.

ومن بين عناصر الجدول الدوري، يتجلّى الكربون في صورةٍ لافتة بوصفه نموذجًا مثاليًا يكشف هذا الثراء؛ إذ يجمع في بساطة تركيبه قدرةً استثنائية على التنوع البنيوي، تجعله مدخلًا سلسًا لفهم عالمٍ واسع من الظواهر والتطبيقات.

## 1. الكربون: عنصر الوحدة والتنوّع البنيوي

يُعدّ الكربون (C، العدد الذري=6) من أكثر العناصر قدرةً على تشكيل تراكيب متنوعة بفضل قابليته لتكوين روابط تساهمية متعددة، مما يجعله أساسًا للكيمياء العضوية وللبنى الجزيئية المعقدة.

### 1.1 الفحم (الكربون غير المتبلور)

الصورة 1. الفحم

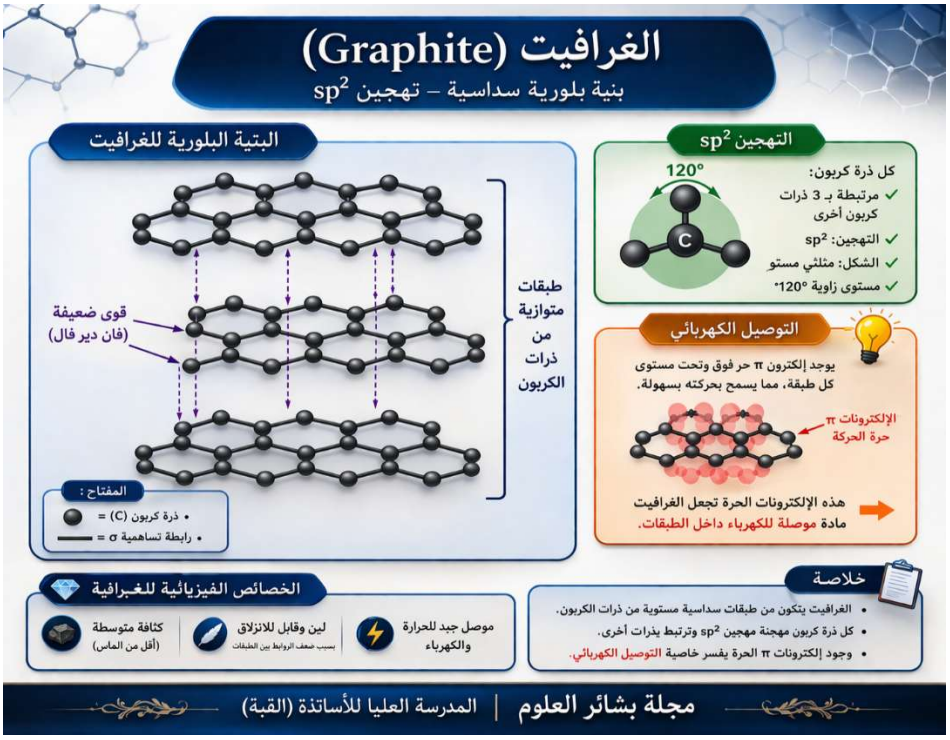
يُمثّل الفحم شكلًا غير بلوري للكربون، تتخلله شوائب وبنية ذرية غير منتظمة. يختلف تركيب الفحم تبعًا لظروف التكوّن وطرق المعالجة، ويشمل الفحم النباتي المستخدم في الطهي وإنتاج الطاقة، والفحم الحجري المتكوّن عبر العصور الجيولوجية والمستعمل في إنتاج الطاقة والصناعات المختلفة، إلى الفحم النشط عالي المسامية المستخدم في عمليات التنقية. تعكس هذه البنية غير المنتظمة خصائص فيزيائية مميزة، مثل الهشاشة وضعف التوصيل الكهربائي.

بينما يظل الفحم ذا أهمية تطبيقية كبيرة في مجالات الطاقة والصناعات الكيميائية، مما يبرز العلاقة الجوهرية بين البنية الدقيقة ووظائف المادة.

### 2.1 الغرافيت (Graphite): بنية طبقية وخواص فيزيائية مميّزة

يُعدّ الغرافيت أحد الأشكال المتآصلة للكربون، ويتميّز ببنية بلورية فريدة تقوم على ترتيب طبقي سداسي، حيث تنتظم ذرات الكربون في صفائح مستوية وفق تهجين $sp^2$. في كل طبقة، ترتبط كل ذرة كربون بثلاث ذرات أخرى بروابط تساهمية قوية، مشكلة شبكة سداسية منتظمة، بينما تبقى إلكترونات $\pi$ حرة الحركة داخل الطبقة، وهو ما يمنحه خصائص كهربائية مميزة.

تتراص هذه الطبقات فوق بعضها البعض بروابط ضعيفة من نوع قوى فان دير فال، مما يسمح بانزلاقها بسهولة، وهو ما يفسّر الطبيعة اللينة للغرافيت مقارنةً بالماس.




الصورة 2. الغرافيت

#### أ. الخصائص البلورية والبنيوية للغرافيت

- **النظام البلوري**: سداسي (Hexagonal).

$a = b = 2.46$ Å, $c = 6.70$ Å, $\gamma = 120°$.

- **طول الرابطة C–C داخل الطبقة**: حوالي 1.42 Å.
- **المسافة بين الطبقات**: نحو 3.35 Å، التهجين $sp^2$.
- **عدد الذرات في الخلية البلورية**: 4 ذرات.

#### ب. الخواص الفيزيائية

- **الصلابة**: ضعيفة نسبيًا من 1 إلى 2 على سلم موهس (Mohs).
- **الكثافة**: حوالي 2.26 g/cm³ أقل من الماس.

- **الناقلية الحرارية**: مرتفعة خصوصًا على مستوى الطبقات.
- **الناقلية الكهربائية**: موصل جيّد داخل الطبقات بسبب الإلكترونات الحرة.
- **الانفصام**: سهل جدًا على طول المستويات الطبقية.

### ج. الأهمية العلمية والتطبيقية

تعكس بنية الغرافيت مبدأً أساسيًا في الكيمياء الصلبة، حيث تؤدي الروابط القوية داخل الطبقات، والضعيفة بينها، إلى تباين واضح في الخواص الميكانيكية والكهربائية. فهذه البنية تمنحه مزيجًا فريدًا من الليونة والتوصيل، مما يجعله مادة أساسية في مجالات متعددة، مثل الأقطاب الكهربائية، ومواد التشحيم، وأقلام الرصاص، إلخ.

وهكذا، يبرز الغرافيت كنقيضٍ بنيوي للماس، رغم كونهما مكوّنين من العنصر نفسه وهو الكربون، مما يؤكد مرة أخرى أن اختلاف بنية المادة يؤدي إلى اختلاف جذري في الخصائص الفيزيائية.

## 3.1 الماس (Diamond): بنية بلورية فائقة وخواص استثنائية

يُعدّ الماس أحد أروع تجليات الكربون من حيث التنظيم البنيوي والدقة البلورية، إذ يتبلور في نظام بلوري مكعّب متمركز الوجوه (C.F.C)، مع ترتيب ذري مميّز يُعرف ببنية الماس (Diamond cubic structure).

في هذه البنية، ترتبط كل ذرة كربون بأربع ذرات أخرى بروابط تساهمية قوية وفق تهجين $sp^3$، مكوّنة شبكة ثلاثية الأبعاد من رباعيات الوجوه، حيث تبلغ زاوية الروابط حوالي $109°28'$، وهي الزاوية المثالية لتهجين $sp^3$، مما يضمن أقصى درجات الاستقرار البنيوي.

الصورة 3. الماس

### أ. الخصائص البلورية والفيزيائية الأساسية

- **ثابت الشبكة (طول ضلع الخلية)**: حوالي $a = 3.57$ Å.

- **طول الرابطة C–C**: يقارب 1.54 Å **والكثافة**: نحو $3.51\ g/cm^3$.
- **عدد الذرات في الخلية البلورية**: 8 ذرات كربون.
- **البنية**: شبكة ثلاثية الأبعاد متراصة وقوية جدًا.

### ب. الخواص الفيزيائية المميّزة للماس

- **الناقلية الكهربائية**: عازل كهربائي بسبب غياب الإلكترونات الحرة.
- **الناقلية الحرارية**: مرتفعة جدًا، تُعد من الأعلى بين المواد الصلبة.
- **درجة الانصهار**: مرتفعة جدًا أكثر من $3500\ C°$ تحت ضغط عالٍ.
- **الشفافية**: شفاف بصريًا مع قدرة عالية على كسر الضوء، ما يمنحه بريقًا استثنائيًا.
- **الصلابة**: يُعدّ أصلب مادة طبيعية معروفة، حيث يحتل المرتبة 10 على سلم موهس (Mohs).

### ج. البعد الجمالي والعلمي

ما يجعل الماس فريدًا ليس فقط صلابته، بل أيضًا ذلك التناسق الهندسي الدقيق الذي يحكم بنيته، حيث تتحول ذرات الكربون البسيطة إلى شبكة بلورية تُجسّد أقصى درجات الانتظام والقوة. ومن هذا التنظيم تنبثق خصائصه الاستثنائية، في مثال بليغ على القاعدة الذهبية في الكيمياء: "البنية تحدّد الخاصية".

وهكذا، لا يكون الماس مجرد حجر كريم، بل شاهدًا علميًا على قدرة الطبيعة على تحويل عنصر بسيط إلى مادة تُجسّد الكمال البنيوي والتفوّق الفيزيائي.

## 2. الأشكال النانوية المتقدمة للكربون

### 1.2 الجرافين (Graphene): بنية بلورة ثنائية الأبعاد وخواص استثنائية

الصورة 4. الجرافين

يُعدّ الغرافين أحد أكثر أشكال الكربون تميّزًا من الناحية البنيوية والفيزيائية، إذ يتكوّن من طبقة واحدة فقط من ذرات الكربون، مرتبة في شبكة سداسية ثنائية الأبعاد، وفق تهجين $sp^2$. تمثّل هذه البنية أبسط شكل ممكن للغرافيت، لكنها في الوقت ذاته أصلٌ لعدد كبير من البنى النانوية المتقدمة.

في هذه الشبكة، ترتبط كل ذرة كربون بثلاث ذرات مجاورة بروابط تساهمية قوية داخل المستوى، بينما تُسهم إلكترونات π الحرة في تكوين نظام إلكتروني ممتد، يمنح الغرافين خصائص كهربائية فريدة.

### أ. الخصائص البلورية (Paramètres cristallins)

- **النظام البلوري**: سداسي ثنائي الأبعاد (2 D Hexagonal lattice).
- **ثابت الشبكة (a)**: حوالي 2.46 Å.
- **طول الرابطة C–C**: نحو 1.42 Å.
- **عدد الذرات في الخلية الأولية**: 2 ذرتان.
- **التهجين**: $sp^2$.
- **البنية**: شبكة مستوية ذات تناظر عالٍ.

### ب. الخواص الفيزيائية المميّزة

- **السُّمك**: طبقة ذرية واحدة ≈ 3.4 A° أرق مادة معروفة.
- **الكثافة السطحية**: منخفضة جدًا.
- **الصلابة**: قوية جدًا (معامل يونغ ≈ 1.TPa = 10 $^{12}$ Pascals).
- **المتانة**: تفوق الفولاذ بمئات المرات بالنسبة للوزن.
- **الناقلية الكهربائية**: عالية جدًا (إلكترونات ذات حركة شبه حرة).
- **الناقلية الحرارية**: مرتفعة للغاية قد تتجاوز $3000 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.
- **الشفافية**: يمتص فقط ~2.3% من الضوء لأنه شبه شفاف.
- **المرونة**: قابل للانحناء دون فقدان خصائصه.

الصورة 5. الأنبوب النووي و C60

### ج. البعد العلمي

تكمن فرادة الغرافين في كونه نظامًا ثنائي الأبعاد حقيقيًا، حيث تتحرك الإلكترونات داخله كما لو كانت جسيمات عديمة الكتلة (Dirac fermions)، ما يفتح آفاقًا في فيزياء الحالة الصلبة والإلكترونيات الكمّية.

يمثّل الغرافين انتقالًا نوعيًا في فهم المادة، حيث تتحول طبقة ذرية واحدة إلى نظام فيزيائي متكامل بخصائص غير مسبوقة. ومن خلاله يتأكد مرة أخرى أن: التحكم في البنية على المستوى الذري هو مفتاح ابتكار مواد المستقبل.

## 3. الأنابيب النانوية الكربونية (Carbon Nanotubes)

هي تراكيب أسطوانية ناتجة عن لفّ صفائح الجرافين. تتميز بنسبة قوة إلى وزن عالية جدًا، وخصائص كهربائية فريدة، مما يجعلها مثالية في تطبيقات النانو والتقنيات المتقدمة.

### 1.3 الفوليرين ($C_{60}$)

الفوليرين هو جزيء كروي مكوّن من 60 ذرة كربون، يتألف من:

- 12 حلقة خماسية (كل حلقة تضم 5 ذرات كربون).
- 20 حلقة سداسية (كل حلقة تضم 6 ذرات كربون).

تمنحه هذه البنية المغلقة استقرارًا عاليًا وخصائص مميزة، مع تطبيقات واعدة في الطب وعلوم المواد.

بعد هذا الاستعراض لثراء الكربون وتنوّع صوره البنيوية (فحم، غرافيت، ماس، غرافين، إلخ)، يتجلّى كيف يمكن لعنصر واحد أن يفتح آفاقًا واسعة ومتعدّدة للفهم. غير أنّ مسار المعرفة لا يتوقّف عند حدود الوصف والتحليل، بل يتدرّج بهدوء نحو مجالات تتجسّد فيها هذه الخصائص في تطبيقات تكنولوجية ملموسة. ومن هذا الامتداد الطبيعي، نصل إلى عنصر النيوديميوم، حيث تكتسب المعرفة بُعدًا عمليًا، وتتحوّل إلى قوة فاعلة في صميم تقنيات العصر.

وفي هذا السياق، يتّسع الأفق ليشمل الأثر الاستراتيجي للعناصر في تشكيل ملامح العالم الحديث، حيث تتجاوز تطبيقاتها حدود الصناعة إلى مجالات تعكس عمق القوة العلمية والتكنولوجية.

### 2.3 النيوديميوم: سرّ القوة الخفية، عنصرٌ صغير... و أثرٌ تكنولوجيٌّ واسع.

يُعدّ النيوديميوم (Nd، العدد الذري 60) أحد عناصر اللانثانيدات، ويتميّز بخصائص فيزيائية ومغناطيسية لافتة جعلته يحتلّ مكانةً محورية في التكنولوجيا الحديثة. فرغم بساطة مظهره كفلزٍّ فضيٍّ لين، تتجلّى قيمته الحقيقية في قدرته على تكوين مغناطيسات فائقة القوّة عند اتحاده مع الحديد والبورون (Nd–Fe–B)، وهي من أقوى المغناطيسات المعروفة اليوم.

وقد أتاح هذا التميّز حضورًا واسعًا للنيوديميوم في تطبيقات متعدّدة؛ إذ يدخل في صناعة المحركات الكهربائية عالية الكفاءة، وتوربينات الرياح، والهواتف الذكية، وسماعات الأذن، والأقراص الصلبة، فضلًا عن بعض التقنيات الطبية والليزر. وبذلك يغدو هذا العنصر مثالًا حيًّا على كيف يمكن لمكوّن دقيق أن يكون في صلب التحوّلات التكنولوجية الكبرى.

ومن الناحية الكيميائية، ينتمي النيوديميوم إلى العناصر الأرضية النادرة التي تتشابه في خصائصها وتتواجد غالبًا معًا في الطبيعة، مما يجعل فصلها واستخلاصها عملية دقيقة ومكلفة. ومع تزايد الطلب العالمي عليه، تبرز قضايا مرتبطة بالموارد والاستدامة، فتتجاوز أهميته حدود المختبر إلى أبعاد اقتصادية واستراتيجية.

وهكذا، يقدّم النيوديميوم صورةً واضحة لقدرة الكيمياء على وصل المعرفة بالتطبيق، حيث تتحوّل خصائص المادة إلى أدواتٍ للابتكار، ويصبح الفهم العلمي أساسًا لصناعة المستقبل. غير أنّ هذا الحضور الحيوي لا ينعكس دائمًا في بعض مؤسسات التعليم العالي، حيث تُهمَّش الكيمياء أحيانًا بفعل تصوّراتٍ تختزل أهميتها مقارنةً بغيرها، وهو ما لا ينسجم مع مكانتها الحقيقية ودورها الجوهري في بناء المعرفة العلمية وتكاملها.

### أ. الخصائص الفيزيائية

- **اللون**: فلز فضي لامع، **الكثافة**: نحو 7.01 غ/سم³ و**درجة الانصهار**: حوالي 1024 درجة مئوية.
- **البنية البلورية**: سداسية مضغوطة (HCP).
- طول الضلعين الأفقيين متساوي، يختلف عن طول العمود الرأسي.
- **الزوايا البلورية**: 90 و120 درجة و**نسبة c/a المثالية**: حوالي 1.633.
- **طول الرابطة**: أقرب مسافة بين الذرات تساوي تقريبًا طول الضلع الأفقي، مما يضمن انتظامًا ذريًا واستقرارًا وصلابة نسبية.
- **الخواص الكهربائية**: ناقلية جيدة بوصفه فلزًا.

### ب. الخصائص المغناطيسية

أهميته الحقيقية تكمن عند دخوله في السبائك مع الحديد والبورون (Nd–Fe–B).

- المغانط الدائمة Nd–Fe–B، التي تحتوي على النيوديميوم، تُستخدم في المحركات الكهربائية عالية الأداء وفي أنظمة التوجيه والتحكم في الصواريخ والطائرات المسيرة، وتساعد على تقليل الحجم مع الحفاظ على القوة والكفاءة.

### ج. التطبيقات التكنولوجية

- المحركات الكهربائية، خاصة السيارات الكهربائية وتوربينات الرياح.
- الأجهزة الإلكترونية الدقيقة وتقنيات الطاقة المتجددة.

الصورة 6. النيوديميوم

### د. الأهمية الاستراتيجية

- النيوديميوم عنصر استراتيجي عالميًا بسبب ارتباطه بسلاسل إمداد معقّدة.
- يلعب دورًا رئيسيًا في التوازنات الصناعية والتكنولوجية الحديثة.

## 4. نحو رؤية متكاملة للكيمياء

المقارنة بين الكربون والنيوديميوم تكشف عن بعدين متكاملين في الكيمياء الحديثة:

- الكربون: نموذج للتنوع البنيوي وثراء الخصائص.
- النيوديميوم: تجسيد للتطبيق التكنولوجي والتأثير الصناعي.

الكيمياء هنا تتجلّى كعلم جامع يربط بين الفهم النظري والتوظيف العملي، واستكشاف بنية المادة وصياغة آفاق المستقبل.

## خاتمة

إن إعادة الاعتبار للكيمياء بوصفها علمًا حيًّا لا تتحقق بالتلقين، بل بالفهم العميق الذي يحوّل المفاهيم إلى أدوات تحليل، والمعرفة إلى منطلق للإبداع. فعندما يدرك المتعلّم أن الكربون يختزل قصة التنوّع في المادة، وأن عناصر مثل النيوديميوم تجسّد حضور الكيمياء في قلب التكنولوجيا الحديثة (من الإلكترونيات إلى الطاقات المتجددة)، تغدو الكيمياء تجربة فكرية وتطبيقية متكاملة، تمتد من قاعة الدرس إلى واقع الحياة اليومية وآفاق الابتكار.

وخلاصة القول، فإن ما تعيشه الكيمياء في بعض المؤسسات يعكس أحيانًا اختلافًا في الرؤى التربوية، قد نتج عنه تقليص مضامينها دون مبرر بيداغوجي كافٍ. غير أن ذلك لا يغيّر من حقيقتها: فالكيمياء ليست علمًا هامشيًا، بل ركيزة أساسية لفهم العالم المادي وتطويره. إنها علم للحياة، يتجلى أثره في الطب والصناعة والبيئة، ويكشف أسرار المادة، ويفتح آفاق المستقبل أمام عقل ناقد ومبدع.

## المراجع

[1] خيط، مسعود، محاضرات علم البلورات (2001-2022) الماس والغرافيت، قسم الكيمياء سابقا المدرسة العليا للأساتذة، القبة.

[2] Aoki, Hideo and Dresselhaus, Mildred S. (Ed.), *Physics of Graphene*, Springer, 2014.

[3] Greenwood, N.N. and Earnshaw, A. (Ed.), *Chemistry of the Elements*, Butterworth-Heinemann, 1997.

[4] Gschneidner, Karl A. Jr. and Eyring, LeRoy (Ed.), *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, North-Holland Publishing Company, 1978.

[5] Torres, Luis E. F. Foa, *Introduction to Graphene-Based Nanomaterials : From Electronic Structure to Quantum Transport*, Cambridge University Press, 2014.

[6] Warner, Jamie H., *Graphene : Fundamentals and emergent applications*, 2013.

[7] Rare Earth Elements : A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use, Ernest J. Hoffman, 2016.