الكيمياء وعلم المواد
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 31 أكتوبر 2025
doi: 10.3389/frym.2023.1275644-ar

تحريك أصغر سيارة في العالم بمساعدة الآلات الجزيئية

Ben L. Feringa *
معهد ستراتينغ للكيمياء، مركز البحوث المتقدمة التابع لاتحاد الكتل البنائية، جامعة خرونينغن، خرونينغن، هولندا

تذهلنا الطبيعة ببراعتها الفريدة في ابتكار آلات دقيقة للغاية، وهذه الآلات هي التي تقف وراء العديد من العمليات الحيوية الأساسية في علم الأحياء. فتحتوي أعيننا -مثلًا- على ملايين المفاتيح الصغيرة التي تُمكننا من رؤية بعضنا البعض، كما توجد في خلايانا محركات دقيقة تضخ المواد داخل الخلية وخارجها، وتنتج الطاقة اللازمة لاستمرار الحياة. وفي مسعانا لاستكشاف هذه الآلات الدقيقة، أعمل أنا وطلابي بشغف في مختبري بهولندا على تصميم آلات جزيئية مستوحاة من براعة الطبيعة، حيث نصمم مفاتيح ومحركات جزيئية، ونجحنا مؤخرًا في تصميم أصغر سيارة في العالم! فهذه الآلات الجزيئية تفتح آفاقًا جديدة لتحسين صحة الإنسان، ودفع عجلة التكنولوجيا، وابتكار منتجات لم يسبق لها مثيل. وفي هذا المقال، سأصطحبكم في جولة داخل عالمنا المدهش، لأشرح لكم كيف نصمم هذه الآلات الجزيئية، وسأمنحكم لمحة عن الإمكانات التي نأمل أن تسهم في تحسين حياة البشر.

المراجعون الصغار

CARLA
العمر: 15

SANKEETH
العمر: 15

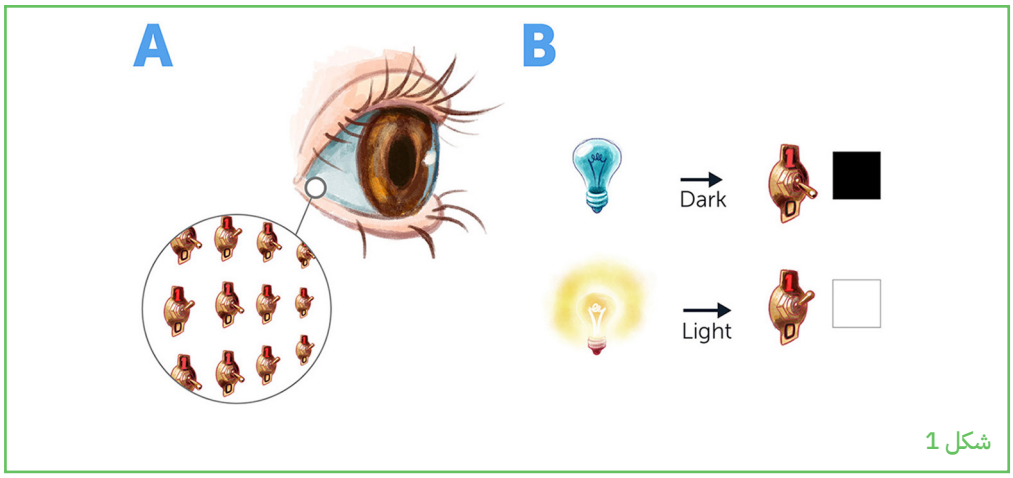
فاز البروفيسور Ben L. Feringa بجائزة نوبل في الكيمياء عام 2016، مناصفةً مع البروفيسورين جان-بيير سوفاج وج. فريزر ستودارت، وذلك تقديرًا لإسهامهم في تصميم الآلات الجزيئية وتصنيعها.

آلات دقيقة نراها في الطبيعة وفي المختبر

هل تعلم أن هناك عددًا لا يُحصى من الآلات الجزيئية تعمل في جسمك في كل لحظة؟ هذه الآلات هي سر قدرتك على الحركة والرؤية وإنتاج الطاقة التي تحتاجها خلاياك لتؤدي وظائفها. فعلى سبيل المثال، تحتوي عيناك على ملايين المفاتيح الجزيئية الدقيقة التي تستجيب للضوء (الشكل 1)، وعندما يصطدم الضوء بهذه المفاتيح الدقيقة، فإنها تنتقل إلى وضع «التشغيل» وترسل إشارة كهربائية إلى الدماغ، مما يُمكّننا من رؤية بعضنا البعض والعالم من حولنا.

المفاتيح الجزيئية (MOLECULAR SWITCHES)

هي جزيئات دقيقة قادرة على الانتقال بين حالات مختلفة استجابةً لحفز، وأبسطها يمتلك حالتين فقط: "تشغيل" و"إيقاف"، تمامًا كمفاتيح الإضاءة في منزلك.



شكل 1

شكل 1

المفاتيح الجزيئية في العين. **(A)** في مؤخرة العين توجد منطقة مليئة بمفاتيح جزيئية دقيقة تستجيب للضوء. **(B)** في غياب الضوء تبقى هذه المفاتيح في وضع "الإيقاف" ولا ترسل أي إشارات إلى الدماغ ولهذا لا نرى شيئًا. أما عندما يصطدم الضوء بهذه المفاتيح فإنها تنتقل إلى وضع "التشغيل" وترسل إشارات إلى الدماغ مما يُمكّننا من رؤية بعضنا البعض والعالم من حولنا.

منذ أن كنت طفلًا صغيرًا، كنت دائمًا مبهورًا بجمال الطبيعة الأم، فكنت أستمتع بمراقبة الطبيعة، والتعلّم منها، وتوظيف ما أكتشفه في ابتكار أشياء جديدة ومفيدة. وأثناء دراستي في الجامعة، كنت محظوظًا بما يكفي لأصنع أول جزيء لي في المختبر! وانتابني حينها شعورًا مذهلًا لمعرفتي أنني صنعت جزيئًا لم يكن موجودًا من قبل في هذا العالم. ومن هنا بدأت رحلتي في تسخير معرفتي بالكيمياء لتصميم جزيئات اصطناعية تُحاكي الآلات الحيوية التي أبدعتها الطبيعة. وقد أخذتني هذه الرحلة في مسار طويل من الاستكشاف، وانتهت بي إلى تجميع أصغر سيارة صُنعَت على الإطلاق.

اصطناعي (SYNTHETIC)

من صنع الإنسان (وليس الطبيعة)، وغالبًا ما يكون ذلك في المختبر.

بناء الجزيئات في المختبر

أعمل أنا وطلابي في مختبري بهولندا على تصميم جزيئات دقيقة ودراسة خصائصها، وهي جزيئات صغيرة لدرجة يصعُب تخيلها؛ فإذا قربت إصبعيك من بعضهما قدر الإمكان أمام عينيك حتى لا ترى بينهما إلا خيطًا رفيعًا من الضوء، فإن ذلك يعادل تقريبًا ميليمترًا واحدًا. أما الجزيئات التي نصنعها، فهي بحجم *النانومتر* (nm)،

والنانومتر الواحد أصغر من تلك الفجوة بمليون مرة! ومن ثمّ، فإن بناء الجزيئات يشبه إلى حد كبير تشييد قلعة أنيقة باستخدام مكعبات الليغو®، إذ نبدأ بأصغر الجزيئات، ونُجري تفاعلات كيميائية لإزالة أجزاء معينة إليها أو إضافتها، ثم نستخدم تفاعلات أخرى لربط هذه الجزيئات معًا وبناء جزيئات أكبر.

فنحن في الأساس نفكّك الروابط بين الذرات التي تُكوِّن الجزيئات، أو ننشئ روابط جديدة بينها، ومن خلال "اللعب" بهذه اللبنات الجزيئية الأساسية، يمكننا ابتكار جزيئات جديدة لم تكن موجودة من قبل في الطبيعة.

غالبًا ما نصمم الجزيئات لأغراض محددة، مثل إنتاج ألوان جذابة لطلاء السيارات، أو ابتكار أدوية فعّالة لعلاج الأمراض، ونستخدم أجهزة الحاسوب عادةً لمساعدتنا في تحديد الذرات والتفاعلات التي ينبغي استخدامها لتصميم الجزيئات الجديدة. لكن، وحتى مع الاستعانة بهذه الأجهزة، يظل التنبؤ بدقة بخصائص الجزيئات التي نصنعها لغزًا معقدًا، وغالبًا ما تفتقر هذه الجزيئات إلى الخصائص الدقيقة التي نرغب فيها. ولكن أحيانًا يكون هذا "الخطأ" في الواقع أمرًا مفيدًا، لأنه يقودنا لاكتشاف خصائص لم تكن في الحسبان، وفي أحيان أخرى، نضطر إلى الاستمرار في تعديل المكونات الجزيئية حتى نصل في النهاية إلى الخصائص المطلوبة.

بعد أن نصنع جزيئات جديدة، نبدأ في قياسها ودراسة جميع الجوانب ذات الصلة بسلوكها — سواء كجزيئات فردية أو كمجموعة كاملة (تخيّل الأمر كما لو كنت تدرس ملعقة من جزيئات السكر، ثم تركز على جزيء سكر واحد فقط). ولدينا في المختبر أجهزة متقدمة تساعدنا على فهم بنية الجزيئات وسلوكها، من بينها مجهر قوي جدًا يُعرف باسم المجهر النفقي الماسح (STM)، يحتوي على إبرة دقيقة للغاية، يبلغ حجم طرفها حوالي ذرّة واحدة فقط! هل يمكنك تخيّل ذلك؟ وباستخدام المجهر النفقي الماسح وغيره من الأجهزة المتطورة، يمكننا معرفة ما إذا كانت الجزيئات التي صنعناها تمتلك الأشكال ثلاثية الأبعاد التي كنا نأملها، بالإضافة إلى الخصائص المطلوبة (مثل اللون المناسب، أو الصلابة، أو القدرة على الالتصاق). ورغم أن الأمر قد يتطلب منا العديد من المحاولات، فإننا ننجح في النهاية في ابتكار الجزيئات المناسبة بالخصائص الدقيقة التي نبحث عنها.

المجهر النفقي الماسح (SCANNING TUNNELING MICROSCOPE (STM))

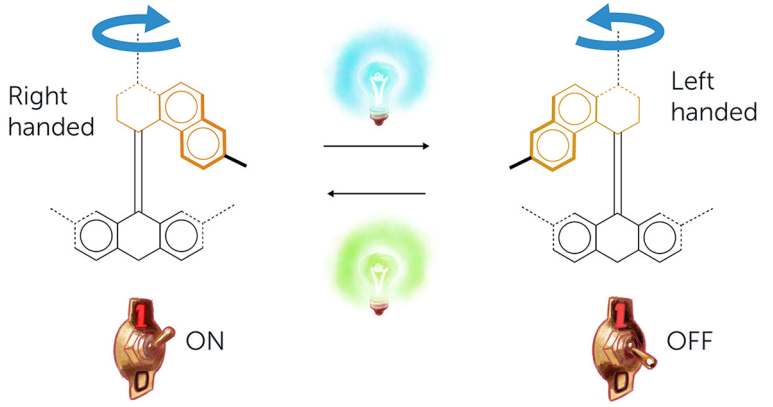
هو مجهر يحتوي على رأس دقيقة للغاية تمسح الجزيئات، مما يساعدنا على دراسة بنيتها وسلوكها.

جزيئات متحرّكة — من المفاتيح إلى المحركات وصولًا إلى السيارات

في مختبري، نركز اهتمامنا على الجزيئات القادرة على الحركة، تمامًا كتلك الآلات الجزيئية الموجودة في أجسامنا، فنحن نحب الحركة إلى درجة أننا نحاول تصميم نسخ "متحركة" من مواد عادةً ما تكون ساكنة، مثل البلاستيك والزجاج. تخيّل كم سيكون الأمر رائعًا لو أن زجاج نافذة غرفتك أو سيارة عائلتك استطاع تنظيف نفسه بنفسه! إن أبسط أشكال الحركة الجزيئية يتضمن الانتقال بين حالتين، كما تفعل المفاتيح الجزيئية في العين. ولابتكار هذا النوع من الحركة، صممنا جزيئات تحتوي على جزء علوي يمكن "قلبه" باستخدام الضوء [1]. تخيّل الأمر كما لو أن الجزيء ينتقل بين حالة «يمنى»

وحالة «يسرى» (الشكل 2)؛ بأن يحوّل لون معين من الضوء الجزيء من الحالة "اليمنى" إلى "اليسرى"، ولون آخر يعيده من "اليسرى" إلى "اليمنى". يمكن استخدام هذا النوع من الجزيئات -مثلًا- في تخزين المعلومات الرقمية في أجهزة الحاسوب (فكما تعلم، تُخزّن المعلومات في أجهزة الحاسوب باستخدام وحدات أساسية تمثَّل بالأرقام "1" و"0").

وغالبًا ما تُمثّل هذه القيم بمستويات جهد مختلفة في مُكوِّن مصنوع من السيليكون يُعرف باسم الترانزستور. ويمكن تطبيق الفكرة ذاتها القائمة على وجود حالتين مميزتين تمثلان "1" و"0" باستخدام مفاتيح جزيئية تمتلك حالتين قابلتين للتبديل.



شكل 2

شكل 2

المفاتيح الجزيئية الاصطناعية. نجحنا في مختبرنا في تصميم جزيئات تؤدي وظيفة المفاتيح، وباستخدام الضوء، يمكننا تبديل هذه الجزيئات بين حالتين: "يمنى" و"يسرى"، ثم إعادتها إلى حالتها الأصلية. تُعد هذه الجزيئات مفيدة في تقنيات مختلفة، من أبرزها تخزين المعلومات الرقمية في أجهزة الحاسوب.

فبمجرد أن نجحنا في تصميم مفاتيح جزيئية قادرة على الانتقال بين حالتين، طمحنا إلى الانتقال نحو حركة أكثر تعقيدًا؛ هي حركة المحرّك الدوّار. وهو عبارة عن آلة تستقبل نوعًا من الوقود وتدور في اتجاه واحد لتنتج ناتجًا مرغوبًا. وتحتوي خلايانا على محرّكات دوّارة دقيقة تنتج جزيء الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) – وهو جزيء الطاقة الذي يُزوّد الخلايا بالوقود اللازم للقيام بوظائفها الحيوية. واستلهامًا من هذا المحرّك الدوّار الطبيعي، حاولنا تطوير محرّك دوّار اصطناعي يعمل بالضوء – سواء من مصباح أو من أشعة الشمس – ويدور باستمرار في اتجاه واحد، تمامًا كعجلة سيارة تتحرّك. لكن هذه المهمة لم تكن بالمهمة اليسيرة؛ فتحكُّمنا في اتجاه حركة الجزيئات يُعدّ من أكبر التحديات، إذ أنها تميل بطبيعتها إلى التحرك بعشوائية في جميع الاتجاهات. لذلك، كان من التحديات الكبرى أن نجعل هذه الحركة مستمرة وسلسة.

المحرّك الدوّار (ROTARY MOTOR)

هو آلةٌ دوّارة تولِّد حركةً ميكانيكية. تُستخدم المحرّكات الدوّارة على نطاق واسع في وسائل النقل، بما في ذلك السيارات والطائرات.

وللوصول إلى هذا النوع من الحركة، كان علينا بناء البنية ثلاثية الأبعاد للجزيئات بدقّة متناهية. تمامًا كما هو الحال في محرّك السيارة، كان لا بدّ أن يحتوي المحرّك الجزيئي الذي نصمّمه على محور دوران وجزء دوّار يدور حول هذا المحور، وبعد الكثير من المحاولات والتجارب، نجحنا في تصميم جزيء يدور دورة كاملة بمقدار 360° مقسّمة إلى أربع خطوات كل منها 90°، [2] (شاهِد هذا الفيديو). تحتاج الخطوتان الأولى والثالثة إلى ضوء، إذ يعمل الضوء على كسر رابطة معينة داخل الجزيء، مما يسمح للجزء الدوّار بأن يدور حول المحور. أما الخطوتان الثانية والرابعة فهما تحدثان تلقائيًا

دون الحاجة إلى ضوء، عندما "يسترخي" الجزيء من حالة طاقة عالية إلى حالة طاقة أقل.

كان حجم أول جزيء من المحرّك الدوّار الذي صمّمناه أقلّ بقليل من نانومتر واحد، وكان يُتمّ دورة واحدة كل ساعة، لكننا عدّلنا شكله وخصائص الروابط داخله بطرق متعددة، حتى تمكّنا في النهاية من الوصول إلى سرعات تصل إلى 10 ملايين دورة في الثانية! وأثناء تجاربنا واستكشافاتنا باستخدام هذه المحرّكات الجزيئية، طرح طلابي سؤالًا مثيرًا للتحدّي: هل يمكننا تحويل هذه الحركة الدورانية إلى حركة انتقالية إلى الأمام، كما تفعل السيارات؟

تحمّستُ كثيرًا لهذه الفكرة، وأخبرتُ طلابي أن علينا تصميم سيارة رباعية الدفع [3]، ستكون المحرّكات الجزيئية الأربعة بمثابة العجلات، وكان علينا أن نكتشف كيف نربطها بهيكل السيارة – أي ما يُعرف بالشاسيه. بدأنا أولًا ببناء نصف الشاسيه وربطنا به عجلتين، ثم بنينا النصف الثاني وربطنا به العجلتين الأخريين، وأخيرًا، ربطنا النصفين معًا لنُكوّن السيارة بالكامل. وكان من الضروري التأكد من أن "العجلات" تدور في الاتجاه الصحيح، وبعد كل هذا الجهد، تمكّنا في النهاية من ابتكار أصغر سيارة نانوية في العالم! (شاهِد هذا الفيديو)!

بعد أن نجحنا في تجاوز هذا التحدي، أنشأنا "خط تجميع" للسيارات النانوية، يمكننا من خلاله تصنيع سيارات نانوية بأحجام مختلفة وبسرعات متفاوتة.

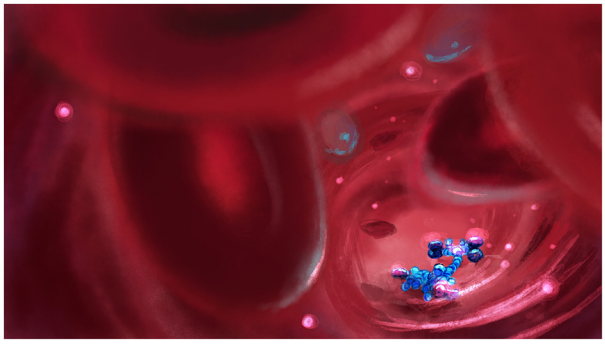
سيارات ذاتية التنظيف وأدوية ذكية

والآن بعد أن أصبح لدينا مجموعة من المفاتيح والمحركات والسيارات الجزيئية، — ماذا يمكننا أن نفعل بها؟ والإجابة على هذا السؤال هي أن الآلات الجزيئية تُمكّننا من تصميم مواد تستطيع تغيير بنيتها ووظيفتها استجابةً لمحفّزات معيّنة [4]، فعلى سبيل المثال، يمكن للمواد ذاتية التنظيف أو ذاتية الإصلاح أن تستخدم حركاتها الداخلية لإزالة الغبار عن سطحها، أو لإصلاح التشققات والأضرار. فلك أن تخيّل ما سيحدث إذا استخدمنا هذه المواد في صناعة سيارة لا تحتاج أبدًا إلى الغسيل، بل وتستطيع أيضًا -من تلقاء نفسها- إصلاح الخدوش والانبعاجات التي قد تصيب أبوابها! ويمكن توظيف هذه القدرات في مجالات أخرى عديدة — مثل ألواح الطاقة الشمسية ذاتية التنظيف أو شاشات الهواتف الذكية ذاتية الإصلاح مثلًا.

ويمكننا أيضًا استخدام المواد المستجيبة لتحسين الأدوية وتطوير ما يُعرف باسم "الأدوية الذكية" [5]. فعلى عكس الأدوية التقليدية التي تنتشر في جميع أنحاء الجسم وتؤثر في كل مكان، فإن الأدوية الذكية يمكن تفعيلها في الوقت والموضع المحددين فقط؛ وذلك بربط مفاتيح جزيئية بالأدوية، بحيث لا يتم تفعيلها إلا عند تسليط الضوء عليها. وباتباع هذه الطريقة، يمكننا منع الآثار غير المرغوب فيها للأدوية داخل الجسم وفي البيئة المحيطة، على سبيل المثال، يمكن للمضادات الحيوية التي تتمتع بهذه الخاصية

أن تساعد في منع مقاومة المضادات الحيوية، وهي مشكلة خطيرة. ويمكننا أيضًا تخيل سيارات جزيئية دقيقة تتجول داخل الجسم وتساعد في الحفاظ على صحته، من خلال توصيل أدوية معينة -مثلًا- إلى مناطق محددة تحتاج إليها (الشكل 3).

عندما حلَّق الأخوان رايت للمرة الأولى في التاريخ عام 1903، ما كان يخطر ببال أحد أنه بعد مئة عام فقط، سيطير ملايين الأشخاص حول العالم.



شكل 3

شكل 3

هل يمكننا استخدام سيارات جزيئية دقيقة لتحسين صحتنا؟ في المستقبل، قد تتجول سيارات جزيئية دقيقة في أجسامنا لتساعدنا في الحفاظ على صحتنا؛ فقد تطلق هذه السيارات -مثلًا- الأدوية في الأماكن المحددة داخل الجسم التي تحتاج إليها.

تتسم الطائرات التي نستخدمها اليوم بأنها أكثر تطورًا بمراحل عن أول طائرة اخترعها الأخوان رايت، إلا أنها لا تزال تعتمد على المبادئ نفسها في تصميمها، وأتخيل أن الأمر سيكون مماثلًا في مجال الآلات الجزيئية—ففي المستقبل، ستتطور أفكارنا الأولى وتُستخدم في العديد من التقنيات التي لا يمكننا حتى أن نحلم بها اليوم. يتطلب جزء من رسالتنا كعلماء كيمياء أن نطلق العنان لإبداعنا، فنشيد عوالم جزيئية من صنعنا، ونبتكر ما لم تشهده الطبيعة من قبل، غير أن عملية الاكتشاف غالبًا ما تكون محفوفة بالصعوبات لأننا نشق طريقنا عبر المجهول. وبمرور الوقت، تعلمت أن أحافظ على ثقتي، رغم تعثر خطواتي العلمية، مدركًا أن وراء هذه المشقة قد يكمن إنجاز عظيم. وأؤمن كذلك أن لكل واحد منكم مواهب مدهشة، وآمل أن تستمتعوا بها، فاتبعوا أحلامكم وثقوا بقدرتكم على تحقيقها.

مواد إضافية

- Ben Feringa: Nano-motors that open giga-opportunities (YouTube).
- فريق أبحاث Ben Feringa (جامعة خرونينغن).

شكر وتقدير

أود شكر أور رافاييل على إجراء المقابلة التي استند إليها هذا المقال وعلى مشاركتي في تأليفه، كما أتوجه بالشكر إلى أليكس بيرنشتاين على توفير الأشكال. أُجريت

المقابلة بمساعدة أكاديمية إسرائيل للعلوم والإنسانيات، التي دعت Ben Feringa إلى إسرائيل، وبمساعدة الدكتورة يائيل بن حاييم، مديرة قسم العلوم في الأكاديمية.

إفصاح أدوات الذكاء الاصطناعي

تم إنشاء النص البديل (alt text) المرفق بالأشكال في هذه المقالة بواسطة "فرونتيرز" (Frontiers) وبدعم من الذكاء الاصطناعي، مع بذل جهود معقولة لضمان دقته، بما يشمل مراجعته من قبل المؤلفين حيثما كان ذلك ممكناً. في حال تحديدكم لأي خطأ، نرجو منكم التواصل معنا.

المراجع

1. Feringa, B. L., Van Delden, R. A., Koumura, N., and Geertsema, E. M. 2000. Chiroptical molecular switches. *Chem. Rev.* 100:1789–816. doi: 10.1021/cr9900228
2. Koumura, N., Zijlstra, R. W., van Delden, R. A., Harada, N., and Feringa, B. L. 1999. Light-driven monodirectional molecular rotor. *Nature* 401:152–5. doi: 10.1038/43646
3. Kudernac, T., Ruangsupapichat, N., Parschau, M., Maciá, B., Katsonis, N., Harutyunyan, S. R., et al. 2011. Electrically driven directional motion of a four-wheeled molecule on a metal surface. *Nature* 479:208–11. doi: 10.1038/nature10587
4. Feringa, B. L. 2020. Vision statement: materials in motion. *Adv. Mater.* 32:1906416. doi: 10.1002/adma.201906416
5. Wegener, M., Hansen, M. J., Driessen, A. J., Szymanski, W., and Feringa, B. L. 2017. Photocontrol of antibacterial activity: shifting from UV to red light activation. *J. Am. Chem. Soc.* 139:17979–86. doi: 10.1021/jacs.7b09281

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 31 أكتوبر 2025

المحرر: Idan Segev

مرشدو العلوم: Suma Elumalai و Daniela De Luca

الاقتباس: Feringa BL (2025) تحريك أصغر سيارة في العالم بمساعدة الآلات الجزيئية. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2023.1275644-ar

مُترجَم ومقتبس من: Feringa BL (2024) Moving the World's Tiniest Car With Molecular Machines. Front. Young Minds 11:1275644. doi: 10.3389/frym.2023.1275644

إقرار تضارب المصالح: ويعلن المؤلف المتبقي أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

حقوق الطبع والنشر © 2023 © 2025 Feringa. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

CARLA، العمر: 15

مرحبًا، اسمي Carla، وهوايتي المفضلة هي القراءة، لا سيما كتب الجريمة. كما أستمتع بالكتابة، والاستماع إلى الموسيقى، والعزف على البيانو. وأستطيع حل مكعب روبيك في أقل من دقيقة، وأعلم أن هذا ليس رقمًا قياسيًا عالميًا، لكنني فخورة به. ومادتي المفضلة في المدرسة هي العلوم الإنسانية، لكنني أحب الكيمياء أيضًا. وأخيرًا وليس آخرًا، أنا من عشّاق كرة القدم المتحمسين للغاية!

SANKEETH، العمر: 15

مرحبًا اسمي Sankeeth، وأبلغ من العمر 15 عامًا. ورغم أنني طالب في الصف الثاني الثانوي، فإنني أستمتع بالعديد من الأشياء. وأعتبر نفسي إنسانًا متعدد الاهتمامات، إذ أمارس كتابة المقالات العلمية، والرياضة، والتصوير الفوتوغرافي، وبعينٍ تلتقط اللحظات الجميلة بعفويتها، أستمتع بتصوير المشاهد الطبيعية في أوقات فراغي. وإليك هذه المعلومة الطريفة: لقد استخدمتُ ذات مرة صندوق أدوات صيد السمك كمقلمة لمدة عام دراسي كامل!

المؤلفون

BEN L. FERINGA

أكمل Ben L. Feringa دراساته الجامعية والعليا في الكيمياء في جامعة خرونينغن بهولندا، ثم حصل على درجة الدكتوراه من الجامعة نفسها تحت إشراف البروفيسور هانس وينبيرغ. وبعد أن عمل عالمًا باحثًا في شركة شل في هولندا، وفي مركز شل لعلوم الحياة في المملكة المتحدة بين عامي 1978 و1984، انضم إلى جامعة خرونينغن كعضو هيئة تدريس، حيث يقود حاليًا فريقًا بحثيًا يركز على الأنظمة الجزيئية الديناميكية، بما في ذلك المفاتيح والمحركات الجزيئية والسيارات النانوية الجزيئية. وخلال مسيرته المهنية، فاز Feringa بالعديد من الجوائز، منها جائزة كوربر الأوروبية للعلوم (2003)، وجائزة سبينوزا (2004)، وميدالية بريلوغ الذهبية (2005)، وجائزة نورّيش من الجمعية الكيميائية الأمريكية (2007)، وميدالية باراسيلسوس (2008)، وجائزة الجمعية الملكية للكيمياء في فرع الكيمياء العضوية الفراغية (2011)، وجائزة هومبولت (2012)، وميدالية ماري كوري (2013)، والميدالية الذهبية من ناغويا (2013)، وجائزة نوبل في الكيمياء (2016). ولدى Feringa ثلاث بنات من زوجته بيتي فيرينغا، ويعيش في قرية صغيرة بالقرب من مدينة خرونينغن في هولندا. b.l.feringa@rug.nl*

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology