

سفر به ریزها

آشنایی سیستمی با علم نانو و فن آوری نانو¹

فصل بیست و یک و فایل صوتی بیست و یکم

فتوسنتز مصنوعی - ره آورد عصرساز فن آوری نانو²

با درود، من ریموند رخشانی هستم. در این سلسله از مقالات³ و فایل‌های صوتی⁴، کوشش می‌کنم که علم نانو⁵ و فن آوری نانو⁶ را (به زبان فارسی) از پایه، بنحوی سیستماتیک⁷ به دوستانی که علاقمند هستند، در حد توان، ارائه کنم⁸. در واقع این مقالات، فصل‌های کتاب جدیدی با همین نام (سفر به ریزها) هستند که سال‌هاست بر روی آن پژوهش کرده و کار می‌کنم و در دست تهیه است، و تصمیم گرفته‌ام که پیشاپیش آن را، فصل به فصل، بطوری مجازی منتشر کنم. از پژوهشگران و اندیشمندان عزیز خواشمنم که لینک‌ها را به دوستان و بویژه به جوانان دانش پژوه ما (که اغلب دسترسی نظاممند برای آشنایی با علم و فن آوری نانو⁹ - به زبان فارسی - ندارند) ارسال فرمایند. با احترام، ر. رخشانی

1

Rakhshani, Raymond. Systemic Introduction into Nanoscience and Nanotechnology. To Be Published in 2023, Createspace, Columbia, South Carolina.

2

Artificial Photosynthesis as an Epoch-making Gift of Nanotechnology

3

برای دسترسی به مقاله بشکل پی دی اف و همچنین به فایل صوتی، از "کیو آر کد" زیر با موبایل عکس گرفته و مستقیم به کانال تلگرام بروید



<https://t.me/natureofscience>

همچنین می‌توانید به کانال لینکدین زیر مراجعه فرمائید

<https://www.linkedin.com/in/raymond-rakhshani-16628a5/detail/recent-activity/shares/>

4

با سپاس از دوست گرامی، جناب اسفندیار منفردزاده، که با مهر و دوستی آهنگ آغازین و پایانی "سفر به ریزها" را برای فایل‌های صوتی من ساختند.

5

"The Handbook of Nano Technology, Policy and Intellectual Property Law", John C. Miller, et al, Hoboken New Jersey: John Wiley and Sons, 2005.

6

چاپ و انتشار این مقالات و فایل‌های صوتی بدون ذکر نام نویسنده (ر. رخشانی) و مرجع، و هرگونه استفاده برای مقاصد خصوصی و اهداف انتفاعی بدون گرفتن مجوز از نویسنده اکیدا غیرقانونی است.

7

Sanders, Wesley, C. Basic Principles of Nanotechnology. CRC Press, 2018.

8

Sattler, Klaus, D. 21st Century Nanoscience – A Handbook: Industrial Applications. CRC Press, 2020.

9

Ed Regis (Author), Dean Sluyter (Narrator), Audible Studios (Publisher.) Nano: The Science of Nanotechnology. Audible Studios, 2013.

ره آورد¹¹ عصرساز¹² فن آوری نانو¹³ - فتوسنتز مصنوعی¹⁰

تا اینجا در مورد برداشت انرژی وافر خورشیدی¹⁴ و تبدیل آن به نیروی برق (الکتریسته) نوشتیم¹⁵. در بخشی دیگر نیز به چگونگی نگهداشت نیروی برق اشاره داشتیم¹⁶. آیا ما می‌بایست به این دو مساله بنحوی جدا از هم بپایانیشیم؟ آیا در طبیعت چیزهایی هستند که ما از آنها بیاموزیم؟ البته که هست. درختان چه می‌کنند؟ گیاهان چه؟



آنها انرژی خورشیدی را گرفته، به شکلی ویژه انباشت می‌کنند. سپس آنها آن را به سوخت¹⁷ تبدیل می‌کنند. ممکن است که ما به غذایی که می‌خوریم به مثابه منبع سوخت نیاندیشیم، اما در حقیقت، دقیقا چنین است.



¹⁰

Sattler, Klaus, D. 21st Century Nanoscience – A Handbook: Industrial Applications. CRC Press, 2020.

¹¹

Bertino, Massimo, F. Introduction to Nanotechnology. WSPC, 2022.

¹²

Duskin, Bob. Extreme Fundamentals of Technology: Second Edition. Amazon Kindle, 2020.

¹³

Frankel, Felice, C. and Whitesides, George, M. No Small Matter: Science on the Nanoscale. Belknap Press of Harvard University, 2009

¹⁴

Sun's abundant energy

¹⁵

Kyung, Chong-Min. Nano Devices and Circuit Techniques for Low-Energy Applications and Energy Harvesting. Springer, 2016.

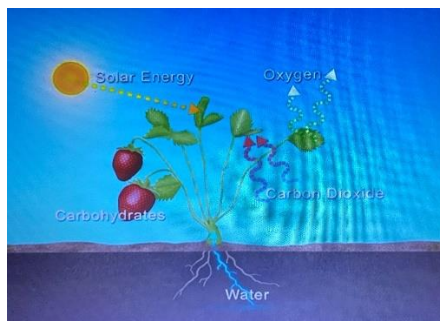
¹⁶

Lacaze, Pierre-Camille, and LaCroix, Jean-Christophe. Nanotechnology and Nanomaterials for Energy. Wiley, 2021.

¹⁷

Convert to fuel

دانشمندان علم نانو همواره آرزویی داشته‌اند که در سال‌های اخیر، آن آرزو پیشرفت‌هایی بزرگ داشته است. این آرزو متکی بر فن آوری نانو¹⁸ و بکارگیری موادی نانویی بوده، تا بتوان کیفیات خوب فتوسنتز¹⁹ را از طبیعت تقلید²⁰ کرد. بهمین دلیل آن را فتوسنتز مصنوعی²¹ خوانده‌اند و ایده‌ی اصلی آن بوده²² که ما می‌توانیم مستقیماً با استفاده از نور خورشید، سوخت فرآوری²³ کنیم، مانند تولید سوختی هیدروژنی²⁴. شاید بهتر باشد تا کمی با خود فرآیند فتوسنتز و چگونگی کارکرد آن آغاز کنیم. به مفهومی دیگر، طبیعت خود فن‌آوری‌ای نانویی است که مواد را برای مقاصدی ویژه مهندسی²⁵ می‌کند، و ما می‌توانیم از طبیعت بیاموزیم²⁶. فتوسنتز تبدیل دی‌اکسید کربن، با گرفتن آن از هوا، به کربن ارگانیک است. واکنش فتوسنتزی²⁷، کربن را به عنوان منبعی گرفته، با آن شکر تولید می‌کند که در واقع نوعی سوخت محسوب می‌شود²⁸.



گیاهان از این فرآیند استفاده می‌کنند²⁹. البته در بسیاری گونه‌های باکتریایی

¹⁸

Bertino, Massimo, F. Introduction to Nanotechnology. WSPC, 2022.

¹⁹

The good qualities of photosynthesis

²⁰

Mimmicking nature

²¹

Artificial photosynthesis

²²

Fukuzumi, Shunichi. Principles and Applications of Artificial Photosynthesis. Royal Society of Chemistry, 2023.

²³

Direct generation of fuel

²⁴

U.S. Department of Energy. Basic Research Needs for Solar Energy Utilization: Report on Basic Energy Sciences Workshop. 2018

²⁵

Engineers materials to a particular purpose

²⁶

Farrukh, Sarah, and Fan, Xianfeng, and Mustafa, Kiranand Hussain, Arshad, et al. Nanotechnology and the Generation of Sustainable Hydrogen. Springer, 2020.

²⁷

Baker, Stephen. Artificial Photosynthesis. Delve Publishing, LLC. 2015.

²⁸

Faungnawakij, Kajornsak, and Lau, Woei Jye, et al. Handbook of Nanotechnology Applications: Environment, Energy, Agriculture and Medicine. Elsevier, 2020.

²⁹

Regalado, A. Reinventing the Leaf: Artificial Photosynthesis to Create Clean Fuel. Scientific American, 303. 2010.



و همچنین در جلبک‌ها و خزها³⁰ هم چنین فرآیندی داریم.



واژه‌ای علمی برای چنین ارگانیسم‌هایی هست که خودنوربردار³¹ خوانده می‌شوند. ارگانیسم‌های خودنوربردار³² آنهایی هستند که انرژی نوری را برداشت کرده و کربن غیرارگانیک را به موادی ارگانیک تبدیل می‌کنند³³. خودنوربردارهای هوسته‌ای³⁴، انرژی را³⁵ از طریق ملکول‌های کلروفیل در کلروپلاست‌ها³⁶ جذب می‌کنند³⁷. پیش‌هسته‌ای‌ها³⁸، از کلروفیل‌های موجود در باکتری‌های کلروفیلی درون سیتوپلاسم³⁹ خود استفاده می‌کنند⁴⁰. خودنوربردارها، خودکفا⁴¹ هستند. به دیگر سخن آنها توانایی ساخت غذای خود

³⁰

Algae

³¹

Photoautotroph

³²

Photoautotroph organisms

³³

Li, Quan. Nanomaterials for Sustainable Energy. Springer, 2016.

³⁴

Eukaryotic photoautotrophs

³⁵

لطفاً برای آشنایی با ارگانیسم‌های هوسته‌ای و پیش‌هسته‌ای، از "کیو آر کد" زیر با موبایل عکس گرفته و مستقیماً به سلسله مقالات سرشت علم من در کانال تلگرام مراجعه فرمائید:



³⁶

Chlorophyll molecules in their chloroplasts

³⁷

Wilson, Agatha. Essentials of Artificial Photosynthesis. Callisto Reference, 2015.

³⁸

Prokaryotic photoautotrophs

³⁹

Use chlorophylls and bacteriochlorophylls present in their cytoplasm

⁴⁰

را دارند و به دیگر ارگانسیم‌ها (مانند ما انسان‌ها) وابسته نیستند. برخی دانشمندان به شوخی می‌گویند که ارگانسیم‌های خودنوربردار فوتون می‌خورند⁴².

جالب‌تر اینکه آنها دی‌اکسید کربن موجود در آب را نیز مصرف می‌کنند و اکسیژن را به عنوان مزاد⁴³ رها می‌کنند، که مازادی بسیار پاکیزه در فرآیند فتوسنتز می‌باشد⁴⁴. در فصل‌های پیشین اشاره داشتیم که انرژی خورشیدی در دسترس که به زمین می‌رسد کافی است تا ۱۰,۰۰۰ برابر نیازهای برقی کل کره‌ی زمین را فراهم کند. البته گیاه‌ها، خزها و باکتری‌ها⁴⁵ که فتوسنتز را بکار می‌گیرند، هم امروز بخش قابل‌توجهی از انرژی خورشیدی را برداشت می‌کنند⁴⁶. در واقع محاسبات اخیر دانشمندان علمی مبین برداشتی حدود ۱۰۰ تراوات⁴⁷ انرژی بوسیله‌ی گیاهان است، که تقریباً ۶ برابر نیازهای انرژی مصرفی تمدن انسانی می‌باشد.



این واقعیتی‌ست که ما منبع بسیار بزرگی از انرژی داریم و مسأله‌ی کلیدی، یافتن بهترین و مقرون به صرفه‌ترین شیوه‌های برداشت چنین میزان بزرگی از انرژی است.



حالا، مقرون به صرفه‌ترین شیوه چیست؟

Lin, Zhiquan. Artificial Photosynthesis. Nova Science Publications, Inc. 2020.

⁴¹

Self sufficient

⁴²

Yatsui, Takashi. Progress in Nanophotonics. Springer, 2021.

⁴³

Release oxygen as a waste product

⁴⁴

Inamuddin, and Asiri, Abdullah. Sustainable Green Chemical Processes and their Allied Applications. Springer, 2020.

⁴⁵

Plants, algae and bacteria

⁴⁶

U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook; 2020.

⁴⁷

100 terrawatts



شیوهی تکاملی گیاهان بسیار متفاوت از سلول‌هایی خورشیدی است که ما مهندسی کرده‌ایم و من در مورد آنها بسیار نوشته‌ام (که ما برای آنها نیاز به سرمایه‌گذاری و همچنین تخلیص مواد داریم).



البته، در نهایت اینکه گیاهان انرژی خورشیدی را برای بازسازی خود بکار می‌گیرند



و بنابراین آنها خود پایدار، خودساز





با توجه به آنچه آنها می‌کنند، بسیار جالب است که ما به مقوله‌ی فتوسنتز مصنوعی⁴⁹ از دیدگاه مهندسی ابزاری فتوسنتزی⁵⁰ بیاندیشیم که با آن پنجوی خودکار⁵¹ سوختی ساخته شود، نه اینکه ما آن سوخت را مهندسی کنیم. در پایان این فصل به پیشرفت‌های اخیر در این زمینه اشاره خواهم داشت. حالا، بد نیست که ببینیم، در حین پروسه‌ی فتوسنتز، در قلب ارگانیسم چه اتفاقی می‌افتد.



در واقع، کلروفیل‌هایی که در جذب نور و برداشت انرژی از فوتون‌ها شرکت دارند، آنها را تبدیل به الکترون‌هایی پرانرژی می‌کنند⁵² که برای شرکت در واکنش‌های شیمیایی در دسترس هستند. در واقع، آنها بخشی از پوسته‌ای⁵³ می‌شوند که لایه‌ای از صفحات استوانه‌ای فشرده⁵⁴ می‌سازد، که تایلاکوید⁵⁵ خوانده می‌شود.

⁴⁸

Self sustaining, self building and self-assembled

⁴⁹

Fukuzumi, Shunichi. Principles and Applications of Artificial Photosynthesis. Royal Society of Chemistry, 2023.

⁵⁰

Photosynthetic instrument

⁵¹

Automatically

⁵²

Rozhkova, Elena, A. and Ariga, Katsuhiko. From Molecules to Materials: Pathways to Artificial Photosynthesis. Springer, 2015.

⁵³

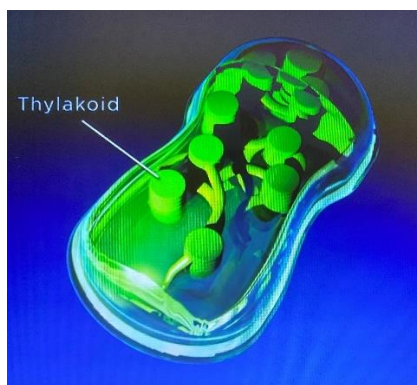
Part of a membrane

⁵⁴

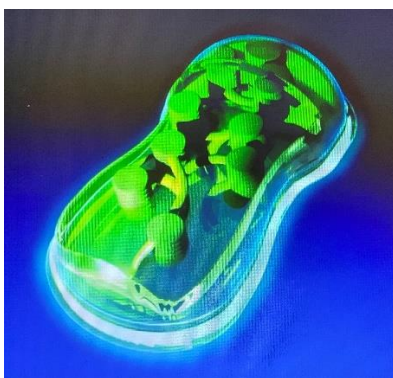
Tightly folded cylindrical sheets

⁵⁵

Thylakoid



آنها با یکدیگر در پیوند هستند و ساختارهای لایه‌ی درونی سلول⁵⁶ را تشکیل می‌دهند⁵⁷ که در نهایت در همان پوسته، سطحی بزرگ بوجود می‌آورند⁵⁸.



من مایلم که در اینجا بر همین نکته تاکید کنم، زیرا که در همه‌ی پیرنگ‌ها⁵⁹ و تم‌های "سفر به ریزها" من به مسالهی صفحه‌ها یا جلوه‌های سطح بزرگ⁶⁰ که در مقیاس نانو مهندسی می‌کنیم، پرداخته‌ام⁶¹ و اشاره کرده‌ام که همه‌ی واکنش‌های شیمیایی، در نهایت، در سطوح تماس⁶² اتفاق می‌افتند⁶³. ما اغلب فکر می‌کنیم (که بدلیل پیشرفت‌های تکنولوژیک) بسیار هوشمند هستیم، اما باکتری‌ها میلیون‌ها سال است که چنین می‌کنند. چنین استراتژی‌ای در طبیعت همواره موجود بوده است⁶⁴.

⁵⁶

Structures filling up the interior of a cell

⁵⁷

Baker, Stephen. Artificial Photosynthesis. Delve Publishing, LLC. 2015.

⁵⁸

Giving the membrane a very large surface area

⁵⁹

Themes

⁶⁰

Large facets

⁶¹

Sanders, Wesley, C. Basic Principles of Nanotechnology. CRC Press, 2018.

⁶²

Interfaces

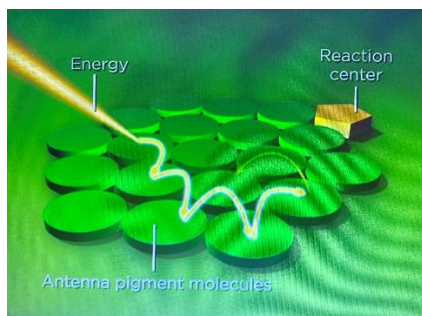
⁶³

Camley, Robert, E. and Celinski, Zbigniew, and Stamps, Robert, L. Magnetism of Surfaces, Interfaces and Nanoscale Materials. Elsevier Science, 2015.

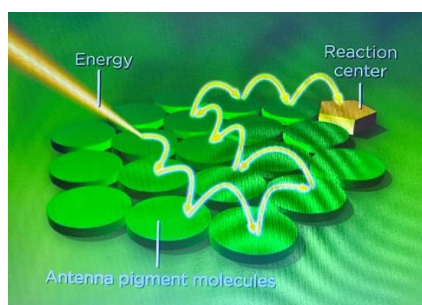
⁶⁴

Royal Society of Chemistry. Faraday's Discussion on Artificial Photosynthesis. RSC, 2019.

هنگامیکه جذبی نوری در پروتئین‌ها اتفاق می‌افتد⁶⁵، آنها مرکزهای واکنش فتوسنتزی⁶⁶ هستند⁶⁷، یعنی فتوسنتز در آنها در حال وقوع می‌باشد.



نور وارد می‌شود و سپس واکنش‌های مرتبط با هم‌نهشتی شیمیایی⁶⁸ شکل گرفته⁶⁹



و درون برگ‌ها، سوختی ساخته می‌شود⁷⁰.



واکنش‌های مرتبط با هم‌نهشتی شیمیایی درست در کلروفیل‌ها، یعنی در قلب آنها (که رنگ سبز برگ‌ها را می‌سازند) اتفاق می‌افتند⁷¹.

⁶⁵

Bendall, Dr. Derek. Protein Electron Transfer. Garland Sciences, 2020.

⁶⁶

Photosynthetic reaction centers

⁶⁷

Deisenhofer, Johann, and Norris, James, R. Photosynthetic Reaction Center. Academic Press, 2013.

⁶⁸

Reactions related to chemical synthesis

⁶⁹

Fukuzumi, Shunichi. Principles and Applications of Artificial Photosynthesis. Royal Society of Chemistry, 2023.

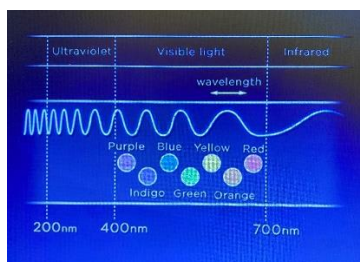
⁷⁰

Croce, Roberta, and van Grondelle, Rienk, and van Amerongen, Herbert, and van Stokkum, Ivo. Light Harvesting in Photosynthesis. CRC Press, 2021.

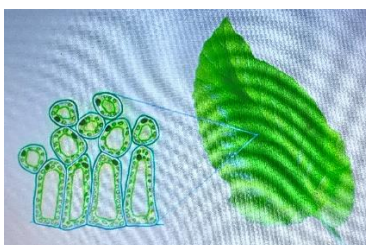
⁷¹



اگر بخاطر داشته باشید، در فصل‌های پیشین (در مورد انرژی خورشیدی) نوشتیم که اوج برون‌فرستی خورشید در طیف نور قابل رویت⁷² است.



رنگ سبز درست در میانه‌ی آن طیف طول‌موجی⁷³ است.⁷⁴



این منبع بسیار بزرگی از انرژی خورشیدی است که به زمین می‌رسد. این بخش از طیف و این میزان انرژی کاملاً هم‌راستا⁷⁵ با واقعیتی است که واکنش فتوسنتزی بدان نیازمند است، و البته بسیار کوچک‌تر از کل انرژی‌ای است که همه‌ی فوتون‌ها با خود دارند. در نتیجه، در درون هریک از فوتون‌ها، یعنی درون همین ذره‌های کوانتومی، ما انرژی کافی برای انجام هم‌نهشتی شیمیایی⁷⁶ لازم را داریم⁷⁷ تا دی‌اکسید کربن را به ترکیباتی ارگانیکی تبدیل⁷⁸ کند. در عین حال، همین کلروفیل است که موجب رنگی سبز در گیاهان می‌شود،

Olson, John, M. Chlorophyll- Proteins Reaction Centers and Photosynthetic Membranes. Generic, 2018.

⁷²

Peak of the Sun's emission is in the visible light spectrum

⁷³

The green is right in the center of the visible wavelength spectrum

⁷⁴

Baby Professor. The Electromagnetic Spectrum, Properties of Light. Baby Professor, 2021.

⁷⁵

Completely aligned



که همانند رنگ (که مثلا برای رنگرزی قماش و پارچه استفاده می‌شود) عمل می‌کند و در تماس با پوشاک هم لکه‌هایی سبز بر لباس باقی می‌گذارد. بسیار هم پایدار است



و در گیاهان و جلبک یا خزه⁷⁹ (اغلب) در آنچه پروتئین‌های آنتنی⁸⁰ خوانده شده، درون نهشته⁸¹ هست⁸².



⁷⁶

Chemical synthesis

⁷⁷

Stewart, Philip, and Globig, Sabine. Photosynthesis: Genetic, Environmental and Evolutionary Aspects. Apple Academic Press, 2016.

⁷⁸

Converting carbon dioxide into organic compounds

⁷⁹

In plants and algae

⁸⁰

Antenna proteins

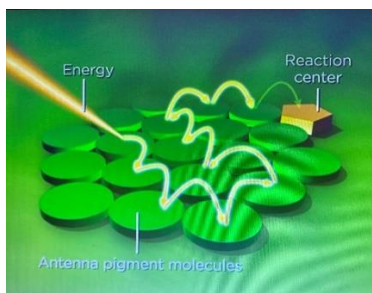
⁸¹

Embedded

⁸²

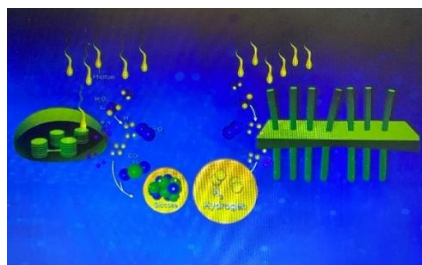
Bendall, Dr. Derek. Protein Electron Transfer. Garland Sciences, 2020.

فرآیندی که در همان مراکز واکنشی⁸³ صورت می‌پذیرد بسیار شگفت‌انگیز است و مسلماً قوانین شیمی و فیزیک را دنبال می‌کند و انتقال انرژی نامیده می‌شود⁸⁴.



هنگامیکه ما به انتقال انرژی با استفاده از نور می‌اندیشیم، اغلب چنین فکر می‌کنیم که نوری (از چیزی) برون فرستاده‌شده، جایی دیگر جذب می‌شود. برای نمونه، اگر ما بخواهیم انرژی‌ای را از این طرف اتاق بدیگر سو منتقل کنیم، می‌توانیم لیزری ساخته و انرژی الکتریکی را تبدیل به پرتوی نوری⁸⁵ کرده و آن اشعه را بر سلولی فتوولتاییک (در دیگر سوی اتاق) متمرکز⁸⁶ کنیم. این نوعی انتقال انرژی در حوزه‌ی نور شمرده می‌شود. در پروتئین‌های آنتنی، در درون مراکز واکنشی که در گیاهان موجودند، ما آنچه واقع‌ه برون‌فرستی فوتونی مجازی⁸⁷ نامیده شده‌است⁸⁸، داریم.

حالا و دیگر بار، ما به سلول‌های سوختی به مثابه وسیله‌ی مناسبی برای بکارگیری همان انرژی انباشت‌شده بیانیدیشیم. البته نکته‌ی زیبا و قابل‌توجه پیرامون این واکنش‌ها این است که موجب فرگشت گازها⁸⁹ می‌شوند، و مسئولیت ما به سادگی جمع‌آوری گاز هیدروژن از سلول سوختی برای نگهداری آن و یا برای کاربرد مستقیم آن است.



در واقع ما با این ابزارهای فتوسنتز مصنوعی، هیدروژن را وارد می‌کنیم، آب را دچار فرگشت می‌کنیم، و برق تولید می‌کنیم، یعنی با سلولی خورشیدی فوتون‌ها را از نور خورشید گرفته، با ورود آب و شکافتن آن⁹⁰، سوختی انباشت‌شده به شکل هیدروژن، فرآوری⁹¹ می‌کنیم.

⁸³

Reaction centers

⁸⁴

Pessarakli, Mohammad. Handbook of Photosynthesis. CRC Press, 2016.

⁸⁵

Beam of light

⁸⁶

Focus the beam on a photovoltaic cell

⁸⁷

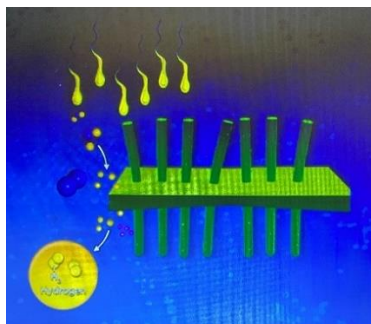
Virtual photon emission event

⁸⁸

Sabu Thomas, and Kalarikkal, Nandakumar, and Abraham, Ann Rose. Fundamentals and Properties of Multifunctional Nanomaterials. Elsevier, 2021.

⁸⁹

Evolution of gases



حالا، ایده‌ی وفور سطحی بزرگ⁹² که در زمینه‌ی فتوسنتز بدان پرداختم، پیرنگ یا تمی⁹³ است که می‌بایست بر آن تاکید بورزم و در حوزه‌ی فتوسنتز مصنوعی هم پراهمیت است⁹⁴. در زمینه‌ی فتوسنتز، نقش نانوسیم‌ها بی‌نهایت مهم‌اند⁹⁵ و، بدلیل خواصی که دارند، موجب پیشرفت‌هایی بسیار در فتوسنتز مصنوعی شده‌اند. آنها قادرند تا جریان برق را بنحوی سویمند هدایت⁹⁶ کنند، وفور سطحی بزرگ⁹⁷ دارند و ارتباط برقی⁹⁸ آنها هم عالی است. ما حتی می‌توانیم بر روی سطحشان کاتالیزور جا دهیم⁹⁹ تا واکنش‌ها در مسیری مناسب عملی شده، کارآیی بالا نیز داشته باشند.

یکی از پیشتازان این حوزه‌ی علمی، دکتر پی‌دانگ یانگ¹⁰⁰ می‌باشد که در آزمایشگاه ملی لارنس در برکلی¹⁰¹ فن‌آور نانو¹⁰² می‌باشد. در آمریکا، دانشجویان ارشد که دوره‌ی کارآموزی خود را می‌گذرانند، یا دانشجویانی که در مرحله‌ی پسادکتر هستند تا با دانش پژوهی عمیق‌تر و بیشتر، و یادگیری آخرین و تازه‌ترین روش‌های پژوهشی¹⁰³، خود را برای مقام استادی آماده کنند، می‌توانند در

90

Inputing water and splitting it

91

Generate storeable fuel in the form of hydrogen

92

The idea of the abundance of surface area

93

A theme

94

Pessarakli, Mohammad. Handbook of Photosynthesis. CRC Press, 2016.

95

Zhang, Anqi, and Zheng, Gengfeng, and Lieber, Charles, M. Nanowires: Building Blocks for Nanoscience and Nanotechnology. Springer, 2016.

96

Conveying electricity in a directional fashion

97

Abundance of large surface area

98

Their electrical connectivity is superb

99

Bonrath, Werner, and Medlock, Jonathan, and Mueller, Marc-Andre', and Schueltz, Jan. Catalysis for Fine Chemicals. De Gruyter, 2021.

100

Dr. Peidong Yang

101

Lawrence Berkeley National Laboratory

102

Nanotechnologist

103

The latest and most up to date research methods

از آزمایشگاه‌های ملی کار بگیرند. دکتر پی‌دانگ در یکی از گروه‌های دانشجویی در آزمایشگاه برکلی بود، و بسیار پیشتر از آنکه نانوسیم‌ها در زمینه‌ی فتوسنتز مصنوعی¹⁰⁴ مطرح شوند¹⁰⁵، بر روی خواص آنها تحقیقاتی هیجان‌انگیز می‌کرد¹⁰⁶. سپس او در آنجا به گروه دیگری پیوست که در زمینه‌ی بکارگیری این مواد نانوساختاری برای خود انرژی، نگهداشت آن، کاتالیز و تبدیل انرژی پژوهش می‌کرد¹⁰⁷. سابقه‌ی کار و کسب مهارت‌هایی چند رشته‌ای در مهندسی نانومواد بدان مفهوم بود که با گذشت زمان وی مهارت‌هایی کسب کرد تا گروه پژوهشی خود را در آن آزمایشگاه تشکیل دهد تا پیرامون استفاده از نانوسیم‌ها در کاتالیز¹⁰⁸، حوزه‌ی انرژی و در الکتروشیمی (بناحوی که هیچ فردی تا آن زمان در دنیا انجام نداده بود)، تحقیق کند. داستان او، روایت یادگیری چندین مهارت در حوزه‌های مختلف علمی و فن‌آوری بود که در بیشتر موارد به خلاقیت می‌انجامد و سرمشقی برای دیگر پژوهشگران علم نانو و فن‌آوری نانو شد¹⁰⁹. نکته‌ی اصلی اینکه در هم‌تنیدگی مهارت‌ها در رشته‌های گوناگون بنیادین علمی¹¹⁰ موجب نوآوری و خلاقیت در فن‌آوری نانو بوده است. در دنیای مدرن، اگرچه دانش فردی شخصی نابغه (در تکرش‌های) کم‌کم اهمیت دارد، اما در بیشتر موارد، برخورد مهارت‌ها و کارشناسی‌ها در حوزه‌هایی گوناگون است که موجب اکثر تحول‌های علمی و پیشرفت‌هایی فنی شده‌است¹¹¹. اغلب، داشتن دانشمندان نخبه (در این فن‌آوری) لزوماً به خلاقیت و نوآوری نیانجامیده، بلکه برعکس، در هم‌شدگی مهارت‌ها از حوزه‌های مختلف علمی و آشنایی با فنون گوناگون¹¹² (حتی در حد مهندسی یا مهندسی ارشد) کافی بوده است تا، در بیشتر موارد، کشفیاتی عظیم¹¹³ داشته باشیم. در برخوردهایی چند رشته‌ای و در مرزهای دانش‌هاست که خلاقیت آفریده شده و می‌شود. دکتر پی‌دانگ آغازگر چنین رویکردی¹¹⁴ در فن‌آوری نانو بود¹¹⁵. برخی از هیجان‌انگیزترین پیشرفت‌های سال‌های اخیر در علم نانو از گروه او در برکلی آمده است¹¹⁶ که پیرامون بکارگیری نانوکریستال‌ها در فرآیند کاتالیز¹¹⁷ بوده تا مسیر فتوسنتز مصنوعی را هموار سازد¹¹⁸.

¹⁰⁴

Artificial photosynthesis

¹⁰⁵

Gupta, Ram, K. Nanowires: Applications, Chemistry, Materials and Technologies. CRC Press, 2023.

¹⁰⁶

Yang, Peidong. Chemistry of Nanostructured Materials. World Scientific Press, 2013.

¹⁰⁷

Ahmad, Awais, and Verpoort, Francis, Ahmad, Ikram, and Tabassum, Sobia. Nanomaterial-Based Metal Organic Frameworks for Single Atom Catalysis. Elsevier, 2023.

¹⁰⁸

Bertino, Massimo, F. Introduction to Nanotechnology. WSPC, 2022.

¹⁰⁹

Maxwell, Claire, and Aggleton, Peter. Elite Education: International Perspective. Routeledge, 2015.

¹¹⁰

Fudamental scientific disciplines

¹¹¹

Mosher, Michael, and Trantham, Kenneth. Brewing Science: A Multidisciplinary Approach. Springer, 2017.

¹¹²

Different technical skills

¹¹³

Huge discoveries

¹¹⁴

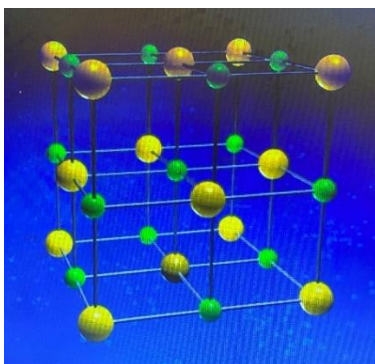
Peidong was a trailblazer in this approach

¹¹⁵

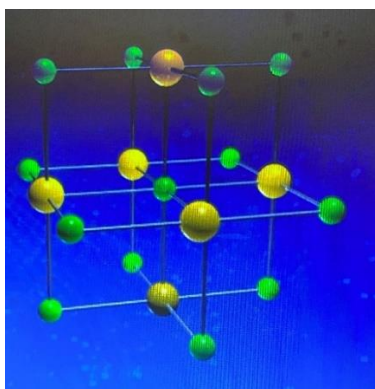
Challoner, Jack. The Atom: The Building Block of Everything. The Ivy Press, 2018.

¹¹⁶

یکی از جنبه‌های عالی نانوذرات آن است که آنها لزوماً و همیشه (مانند نقطه‌های کوانتومی) کروی نیستند.



پژوهشگران می‌توانند آنها را به شکل نانومکعب‌ها طراحی کنند، که هر سطح یا جلوه‌ی آنها¹¹⁹ متفاوت باشد. مثلاً ذره‌ی مکعب نمکی را تصور کنید که اگر ما هر گوشه‌ی آن را جدا کرده و زیر میکروسکوپ نگاه کنیم، چیدمان متفاوتی از اتم‌های سدیم و کلر داشته باشد.



در مورد نانومکعب‌هایی که در هم‌نهشتی سوخت‌های مصنوعی¹²⁰ و همچنین در فتوسنتز مصنوعی¹²¹ مورد استفاده هستند نیز چنین است. یعنی ما با کنترل آنکه چه سطوح، صفحه‌ها یا جلوه‌ها را بکار بگیریم، قادر هستیم تا اکسیدهایی فلزی، که هم اندازه آنها کنترل شده و هم شکل آنها کنترل¹²² شده‌است، و برای ساخت ابزارهایی جالب نویدبخش هستند، بسازیم. در واقع، یکی از کشفیات هیجان‌انگیز اخیری که از آزمایشگاه دکتر یانگ معرفی شده‌است¹²³ اینکه ما قادریم نانومواد چندلایه¹²⁴ طراحی کنیم، که هر لایه مستقلاً

Sabu Thomas, and Kalarikkal, Nandakumar, and Abraham, Ann Rose. Fundamentals and Properties of Multifunctional Nanomaterials. Elsevier, 2021.

¹¹⁷

Use of nanocrystals in catalytic process

¹¹⁸

Brinkert, Katharina. Energy Conversion in Natural and Artificial Photosynthesis. Springer, 2018.

¹¹⁹

Each and every facet

¹²⁰

Chowdhury, Shamik, and Naushad, Mu. Nanostructured Carbon Nitrides for Sustainable Energy and Environmental Applications. Elsevier, 2022.

¹²¹

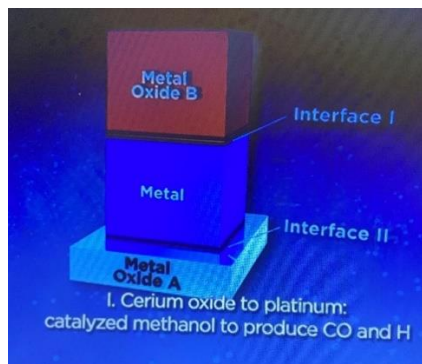
Synthesis of artificial fuels and in the artificial photosynthesis

¹²²

Shape-controlled and size-controlled metal oxides

¹²³

می‌تواند واکنش شیمیایی متفاوتی¹²⁵ به ترتیبی درست¹²⁶ داشته باشد. این دقیقاً شبیه به واکنش فتوسنتزی آبشارگونه‌ای¹²⁷ (که پیشتر اشاره کردم) است که هرگام واکنشی در آن، به ترتیبی درست¹²⁸ اتفاق می‌افتد¹²⁹. آن پژوهشگران نیز توانستند که نخست اکسید سربوم¹³⁰ را به جلوه (یا سطحی) پلاتینی¹³¹ پیوند بزنند، یعنی اکسید فلزی را به سطحی فلزی پیوند زدند تا نخستین واکنش صورت بپذیرد.



این واکنش هم، بنوبه خود، توانست متانل¹³² را آنچنان کاتالیز کند¹³³ تا منواکسید کربنی¹³⁴ در هیدروژن تولید نماید¹³⁵.

Bachmeier, Andreas. S. J. L. Metalloenzymes as Inspirational Electrocatalysts for Artificial Photosynthesis: From Mechanisms to Model Devices. Springer, 2016.

¹²⁴

Stack of nanomaterials

¹²⁵

Each layer independently and sequentially can carry out a different reaction

¹²⁶

Sequential

¹²⁷

Cascaded photosynthetic reaction

¹²⁸

Olson, John, M. Chlorophyll- Proteins Reaction Centers and Photosynthetic Membranes. Generic, 2018.

¹²⁹

Occurs sequentially

¹³⁰

Cerium oxide

¹³¹

Platinum interface

¹³²

Methanol

¹³³

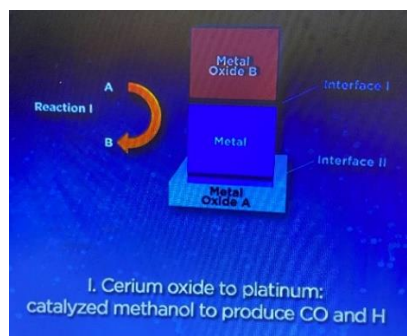
Iglic, Ales, and Rappolt, Michael, and Garcia-Saez, Ana. Advances in Biomembranes and Lipid Self-Assembly. Academic Press, 2021.

¹³⁴

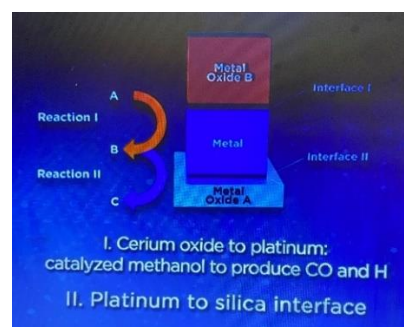
Carbon monoxide

¹³⁵

Sabu Thomas, and Kalarikkal, Nandakumar, and Abraham, Ann Rose. Fundamentals and Properties of Multifunctional Nanomaterials. Elsevier, 2021.



سپس واکنش دومی با استفاده از کاتالیز بر سطح لایه‌ی دوم (که سطح تماس پلاتین با سیلیکن¹³⁶ است) به طریقی انجام می‌شود که محصول واکنش نخستین به عنوان ورودی¹³⁷ در واکنش دوم بکار گرفته می‌شود.



دقیقا ما امروزه می‌توانیم همین ترتیب آبخارگونه واکنش‌ها را برای نانوموادى چندلایه مهندسى کنیم. این روزها روش‌های متداولی برای ساخت همین ساختارهای چندپشته‌ای با نانوموادى¹³⁸ گوناگون مورد استفاده هستند¹³⁹. یکی از این روش‌ها، گردآوری **لنگمیر-بلاجت**¹⁴⁰ خوانده می‌شود که با استفاده از تانکی از ملکول‌های محلولی مایع، لایه‌ی نازکی فیلم-مانند بر روی لایه‌ای دیگر روشن¹⁴¹ می‌شود. ملکول‌ها اغلب گرایشی سویه‌مند¹⁴² دارند و از سویی به سطح‌تماس پیوند می‌زنند و پایانه‌ی آنها از سویی دیگر رو به بالاست. بنابر این آنها سر و ته دارند. سر آنها به سطح‌تماس یا زیرلایه¹⁴³ گرایش دارد و ته آنها بدیگر سو.

¹³⁶

Platinum-Silicon interface

¹³⁷

Input into the second reaction

¹³⁸

Different multi-nanomaterial stacks

¹³⁹

Datta, Alokmay, and Mukherjee, Smita. Structural and Morphological Evolution in Metal-Organic Films and Multilayers. CRC Press, 2019.

¹⁴⁰

Langmuir-Blodgett Assembly

¹⁴¹

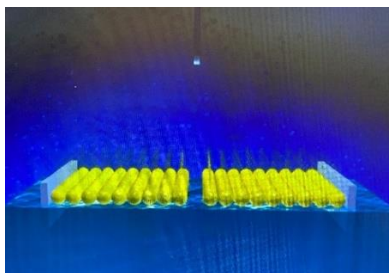
Film-like layer is adsorbed on top of another layer

¹⁴²

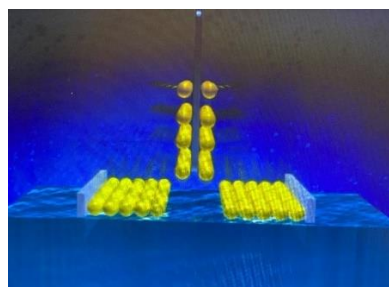
Orientated affinity

¹⁴³

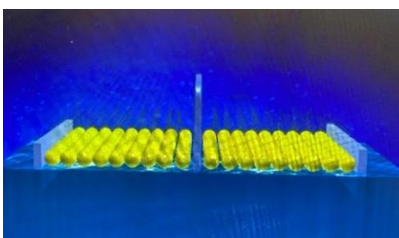
Substrate



در نتیجه می‌توان آنها را به آرامی و با آهنگ و زاویه‌ای مناسب در محلول فروبرد و بیرون آورد و لایه‌ی بسیار، بسیار نازکی از ملکول‌ها را بر آن سطح روشن‌ش¹⁴⁴ کرد.



دانشمندان با نانوسکوپ‌ها (همان میکروسکوپ‌های تونلی اسکنی یا اتمی¹⁴⁵) عکس‌هایی حیرت‌انگیز از جنگل انبوه تک‌ملکول‌هایی سویه‌مند¹⁴⁶ گرفته‌اند. آنها مانند کریستال‌ها هستند، البته بلورهای دو بعدی (و نه متکی بر تصویر سه‌بعدی کریستال‌هایی غیرارگانیک) بلکه متکی بر بلورهای ارگانیک که بر مناطق مشخصی از آن سطح تماس¹⁴⁷، گردآوری¹⁴⁸ شده‌اند¹⁴⁹.



در متون علم نانو¹⁵⁰، این لایه‌ی نازک روشن‌شده را فیلم **لنگمیوئر-بلاجت**¹⁵¹ نیز نامیده‌اند¹⁵². گروه پژوهشی **دکتر یانگ** موفق شد تا از همین روش، البته این بار برای روشن‌کردن لایه‌هایی از نانومکعب‌های پلاتین و اکسید سربوم بر روی زیرلایه‌ای از دی‌اکسید سیلیکن¹⁵³ استفاده کند.

¹⁴⁴

Adsorb

¹⁴⁵

Tunneling scanning microscopes or atomic force microscopes

¹⁴⁶

Dense forest of orientated single molecules

¹⁴⁷

Interface

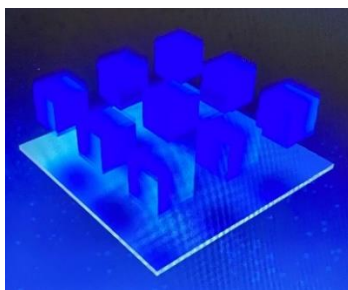
¹⁴⁸

Packed and assembled into certain regions of the interface

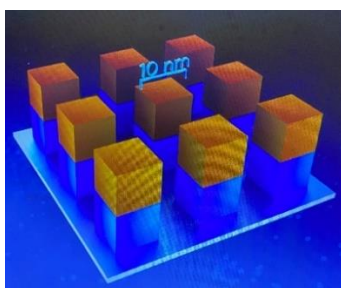
¹⁴⁹

Iglic, Ales, and Rappolt, Michael, and Garcia-Saez, Ana. *Advances in Biomembranes and Lipid Self-Assembly*. Academic Press, 2021.

¹⁵⁰



آنها با استفاده از نانومکعب‌هایی در مقیاس ۱۰ نانومتر¹⁵⁴، دو سطح تماس مشخص و مجزا¹⁵⁵ ساختند (که همانگونه که اشاره کردم) هریک با بکارگیری کاتالیزور می‌توانستند واکنش‌هایی مرتب¹⁵⁶ ایجاد کنند¹⁵⁷.



سپس گروه دکتر یانگ توانست در محور عمودی¹⁵⁸ نیز لایه‌های نانومواد پیچیده‌تر طراحی کرده، بسازد. دکتر یانگ این طراحی را ساختار دولایه‌ای¹⁵⁹ نامید. اینجا چنین طراحی‌ای کمی شبیه به سلول‌های خورشیدی دویشته‌ای¹⁶⁰ است که در زمینه‌ی برداشت انرژی خورشیدی بدانها پرداختم¹⁶¹.

Bertino, Massimo, F. Introduction to Nanotechnology. WSPC, 2022.

¹⁵¹

Langmuir-Blodgett film

¹⁵²

دو دانشمند مهندس آمریکایی شیمیدان (ایروینگ لنگمیوئر) و فیزیکدان (کاترین بلاجت) این روش را اختراع کردند.

¹⁵³

Silicon dioxide substrate

¹⁵⁴

Pike, John. Oriented inorganic Particles Prepared in a Langmuir-Blodgett Film

¹⁵⁵

Two distinct interfaces

¹⁵⁶

Sequential reactions

¹⁵⁷

Das, Nayan Mani, and Gupta, Sarathi Partha. Structural Dynamic Study of Ultrathin Langmuir-Blodgett Films. LAP Lambert Academic Publishing, 2017.

¹⁵⁸

In the vertical dimension

¹⁵⁹

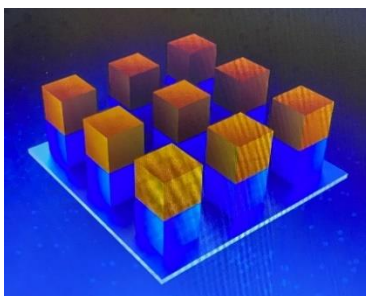
Bilayer Structure

¹⁶⁰

Tandem solar cells

¹⁶¹

برای دسترسی به مقاله بشکل پی دی اف و همچنین به فایل صوتی، از "کیو آر کد" زیر با موبایل عکس گرفته و مستقیم به کانال تلگرام بروید



در آنجا اشاره کردم که هدف نخست ما چگونگی برداشت موثر فوتون‌های پرنرژی‌تر (فوتون‌های نور قابل‌رویت¹⁶²) و سپس برداشت فوتون‌های فرسرخ¹⁶³ بود. خروجی چنان طراحی سلول خورشیدی دوپشته¹⁶⁴، میزانی از انرژی بود که برابر با مجموع دو میزان انرژی فوتون‌های ورودی بود¹⁶⁵. در این مورد مشخص، گروه پژوهشی دانشگاه پرکلی توانست آن دو سیستم واکنشی را بر روی هم آنچنان طراحی کند که فرآیندی ترتیبی (نوبتی¹⁶⁶) برای کاتالیز بسازد¹⁶⁷، که کمی متفاوت از سلول‌های دوپشته‌ای¹⁶⁸ بود که بدان‌ها پرداختم.

نانولوله‌های کربنی هم نقش مهمی در برخی پیشرفت‌ها در زمینه‌ی فتوسنتز مصنوعی داشته‌اند¹⁶⁹. یکی از بخش‌های کلیدی برای کارکرد موثر این ابزارها، آنچه آند اکسیژن فرگشتی¹⁷⁰ خوانده می‌شود، است¹⁷¹. از آنجا که اکسیژن محصول سیستم است، تمرکز



¹⁶²

Visible light photons

¹⁶³

Infrared photons

¹⁶⁴

Karim, Nusrat, and Meme, Farha Islam, and Islam, Rafiqul. Organic Tandem Solar Cells: Approach to High Efficiency. LAP Lambert Academic Publishing, 2017.

¹⁶⁵

The energy output was the sum of the two energy inputs

¹⁶⁶

A series process for catalysis

¹⁶⁷

Abraham, Jiji, and Thomas, Sabu, and Kalarikkal, Nandakumar. Handbook of Carbon Nanotubes. Springer, 2022.

¹⁶⁸

Tandem photon cells

¹⁶⁹

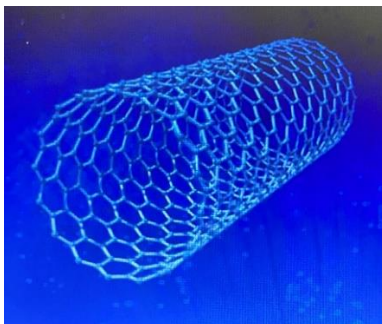
Sattler, Klaus, D. 21st Century Nanoscience – A Handbook: Industrial Applications. CRC Press, 2020.

¹⁷⁰

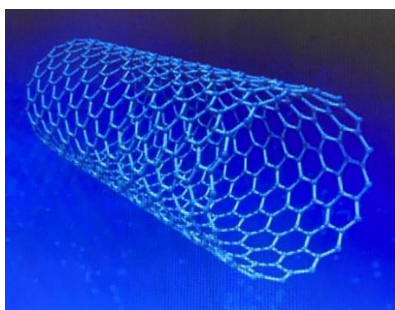
Oxygen evolving anode

¹⁷¹

بالای دانشمندان بر روی ساخت الکترودهایی است که مولد اکسیژن باشند، که یکی از خروجی‌هاست. این واقعیت، بخشی از رویاهای علمی ماست؛ یعنی طراحی ابزاری که با شکافت کاتالیزی آب، در نهایت موجب تولید اکسیژن و همچنین تولید سوختی هیدروژنی شود. اکسیژن، البته، محصول جانبی سیستم می‌باشد، و هیدروژن آن سوخت ارزشمندی است که هدف فراوری¹⁷² ماست.



پژوهشگرانی در ایتالیا، در همکاری علمی با دانشمندانی اتریشی، با بکارگیری نانولوله‌های کربنی چندجداره، بستری رسانشی از نانولوله‌ها¹⁷³ طراحی کرده‌اند که با آن، نوع ویژه‌ای آند اکسیژن‌فرگشتی، ساخته‌اند¹⁷⁴.



طراحی آنها نیز چندپشته و چندجداره بوده است و بدینوسیله آنها توانسته‌اند که سطح نانولوله‌های کربنی را کارکردی¹⁷⁵ کرده¹⁷⁶، ملکول‌های ارگانیک گوناگونی¹⁷⁷ بدور آنها بپیچند. این ملکول‌های ارگانیک هم، شاخک‌ها (یا انگشتانی) دارند که به درون محلول رفته¹⁷⁸، بخش‌های سازنده‌ی مورد نیاز برای شرکت در واکنش¹⁷⁹ را از آن محلول می‌گیرند¹⁸⁰.

Ma, Jianmin. Photo- and Electro-Catalytic Processes: Water Splitting, N2 Fixing, CO2 Reduction. Wiley-VCH, 2022.

¹⁷²

The desired fuel that we are trying to generate

¹⁷³

A conductive bed of nanotubes

¹⁷⁴

Ma, Jianmin. Photo- and Electro-Catalytic Processes: Water Splitting, N2 Fixing, CO2 Reduction. Wiley-VCH, 2022.

¹⁷⁵

Functionalize the surface of nanotubes

¹⁷⁶

Abraham, Jiji, and Thomas, Sabu, and Kalarikkal, Nandakumar. Handbook of Carbon Nanotubes. Springer, 2022.

¹⁷⁷

Wrap a variety of organic molecules

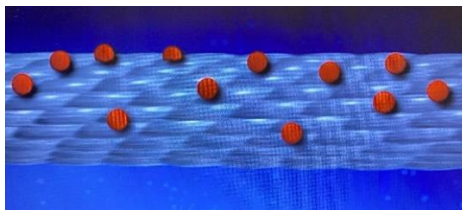
¹⁷⁸

They had fingers that reached out into the solution

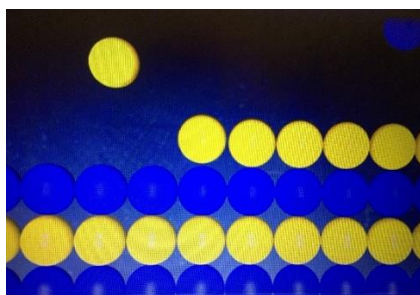
¹⁷⁹

Grab the needed constituents to participate in the reaction

با چنین طراحی‌ای، آنها توانستند که بجای نوعی ابزار چندپشته (ساندویچ‌مانند)¹⁸¹، ابزاری استوانه‌ای شکل¹⁸² طراحی کنند. خوب شما می‌بایست متوجه باشید که با چنین طراحی‌ای، ما سطحی بزرگتر و در نتیجه فرصتی بیشتر برای در هم‌کنش فراهم می‌آوریم. برخی از تصاویر دانشمندان از آن مواد، خیره‌کننده‌اند و نشان می‌دهند که ما تا چه میزانی در مقیاس نانو پیشرفت کرده‌ایم¹⁸³.



در فصل‌های گذشته تصاویر زیادی، که با استفاده از میکروسکوپ‌های الکترون انتقالی¹⁸⁴ گرفته شده‌اند، داشتیم که در آنها حتی ردیف تک‌اتم‌ها را در نقطه‌های کوانتومی¹⁸⁵ دیدیم و توانستیم به ساختارهای اتمی بنگریم تا شکل کریستالی‌شان را مشخص کنیم.



این پیشرفت‌ها موجب شده‌اند که نه تنها با دیدن تصاویر بپرسیم یا پاسخ دهیم که آیا اتمی آنجا هست، بلکه مشخصا بدانیم که کدام یا چه اتمی می‌باشد¹⁸⁶. با استفاده از بهترین روش‌های میکروسکوپ‌های الکترون انتقالی¹⁸⁷ در دسترس، ما حتی امروزه می‌توانیم طیف نمایی از بخش‌های سازنده‌ی¹⁸⁸ آنچه بدان می‌نگریم، داشته باشیم¹⁸⁹. ما در واقع، می‌توانیم آنچه متکی بر مدارهایی الکترونی، یعنی آنچه جدول مندلیف بر آن متکی هست، را ببینیم¹⁹⁰.

¹⁸⁰

Sisnandy, Vincentius. Modified Z-Scheme Photo-Catalytic Water Splitting: Synthesis of Solar Light Driven Photocatalyst Bi₂OTiO₃2 through Sol-Gel Process & its Application Toward Water Oxidation. LAP Lambert Academic Publishing, 2011.

¹⁸¹

Tandem (sandwich like) device

¹⁸²

Radial device

¹⁸³

Bertino, Massimo, F. Introduction to Nanotechnology. WSPC, 2022.

¹⁸⁴

Transmission electron microscopes

¹⁸⁵

A row of individual atoms in quantum dots

¹⁸⁶

Sharma, Renu. In Situ Experiments in Transmission Electron Microscopy: Design and Practice. Wiley-VCH, 2023.

¹⁸⁷

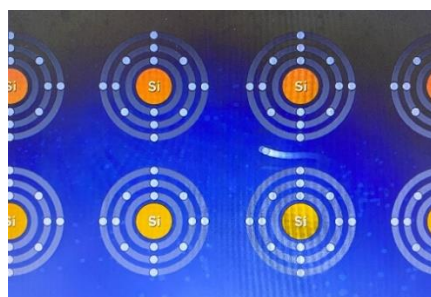
Transmission electron techniques

¹⁸⁸

Spectroscopy on the constituents

¹⁸⁹

ما با چنین سیستمی پیچیده، ردپای طیفی از دسترفتن الکترونی¹⁹¹ از مداری اتمی را می‌توانیم مشاهده کنیم، یعنی ردپایی طیفی که در نتیجه‌ی از دستدادن انرژی¹⁹² بجای می‌ماند. ما امروزه، هم می‌توانیم وفور اتم‌ها را ببینیم و هم چگالش پایین‌تر اتم‌های موجود¹⁹³ را مشاهده کنیم¹⁹⁴.



در زمینه‌ی مباحث پیشین‌مان در مورد نیمه‌هادی‌ها، به موادی اشاره داشتیم که در چگالشی بسیار پایین در دسترس هستند¹⁹⁵، اما برای تأثیرگذاری بر خواص الکترونیک نیمه‌هادی‌ها بکار گرفته می‌شوند¹⁹⁶. آنها اغلب الکترونی را به شبکه فرستاده و موجب بوجود آمدن نیمه‌هادی‌ای می‌شوند که چگال الکترونی آنها خالی‌ست. با چنین پیشرفت‌هایی در فن‌آوری میکروسکوپی¹⁹⁷، ما می‌توانیم عناصر سازنده‌ای¹⁹⁸ را که بر سطح نانولوله‌های کربنی چندجداره جمع می‌شوند، ببینیم¹⁹⁹.

Zuo, Jian Min, and Spence, John, C. H. Advanced Transmission Electron Microscopy: Imaging and Diffraction in Nanoscience. Springer, 2017.

¹⁹⁰

Ball, Philip. The Elements: A Visual History of Their Discovery. University of Chicago Press, 2021.

¹⁹¹

Spectral signature of the loss of electrons

¹⁹²

Spectral signature through loss of energy

¹⁹³

Low concentration of existing atoms

¹⁹⁴

Sattler, Klaus, D. 21st Century Nanoscience – A Handbook: Industrial Applications. CRC Press, 2020.

¹⁹⁵

Nanoscientists call these materials Dopants

دانشمندان اغلب چنین ماده‌ای را **Dopant** یا ناخالص ساز می‌نامند. چنین ماده‌ای اغلب عمداً به ماده‌ی خالص زده می‌شود تا دگرگونی خواص مورد نظر در آن انجام شود.

¹⁹⁶

Goodnick, S.M. and Korkin, Anatoli, and Nemanich, Robert. Semiconductor Nanotechnology: Advances in Information and Energy Processing and Storage. Springer, 2018.

¹⁹⁷

Microscopic technology

¹⁹⁸

Elemental constituents building up on the surface of a semiconductor

نانولوله‌های کربنی دو نقش متفاوت در ساخت آندهای اکسیژن‌ساز²⁰⁰ بازی کردند. یکی از نقش‌ها ایجاد بنیان کنترل بر مورفولوژی مواد یا سازه‌شناسی مواد²⁰¹ بود. پژوهشگران توانستند تا با کنترل بر سطح‌تماس، پیوندها بر سطوح مواد را نیز کنترل کنند و در نتیجه ساختار مطلوب خود را طراحی کرده، بسازند. همانگونه که بارها اشاره داشتیم، استراتژی اصلی افزایش موفقیت‌آمیز سطح تماس مواد²⁰² بود، که به آنها فرصت‌های بیشتری، در هر واحد حجم، می‌داد تا بتوانند واکنشی مشخص و مطلوب را بوجود آورند²⁰³.

دیگر اینکه بدلیل خواص رسانشی نانولوله‌ها، آنها می‌توانستند الکترون‌ها را با ترتیبی مشخص به الکتروود منتقل²⁰⁴ کنند. بدیگر سخن، آنها سوبیه‌مندان عمل می‌کردند، یعنی تنها نانوذراتی نبودند که در هر سوبعد یگانه باشند، بلکه لوله‌هایی مهندسی‌شده بودند تا انرژی را به مسیری مشخص رانده، تا واکنش‌ها را در مسیری عمودی، و یا استوانه‌ای هدایت کنند²⁰⁵. همانگونه که در ابتدای این مبحث به الهام‌گیری دانشمندان از واکنش‌های فتوسنتزی که در طبیعت اتفاق می‌افتد، اشاره کردم، در اینجا پژوهشگران می‌خواستند که ابزارهایی یا موادی خودگردآورانه طراحی کنند تا توان شکافت ملکول آب²⁰⁶ را داشته باشد. اینجا بنظر منطقی می‌رسد که اگر کوشش ما ساخت سیستمی الهام‌گرفته از ارگانسمی زنده²⁰⁷ باشد، که واکنش‌هایی فتوسنتزی داشته، اما سوختی متفاوت، برای نمونه مانند سوخت هیدروژنی فرآوری کند، شاید بهتر و جذاب‌تر است که دیگر بار به مهندسی ویروس‌ها و یاری‌گیری از آنها برای چنین عملکردی ببیندیشیم. خوب اگر به خاطر داشته باشید، در فصل‌های پیشین "سفر به ریزها" به پژوهش‌های دکتر بلچر²⁰⁸ در مهندسی ویروس‌ها اشاره داشتیم.

حالا، گروه پروفیسور بلچر در ام. آی. تی²⁰⁹ دقیقاً بر چنین چیزی کار کرده‌اند. آن گروه که سالها بر روی مهندسی ویروس‌ها پژوهش کرده‌اند، کلکسیونی از ویروس‌ها را بوجود آورده‌اند، و در میان آنها چندی را شناسایی کرده‌اند که قادرند به برخی سطوح پیوند بزنند، و بنحوی بسیار مشخص واکنش فتوسنتزی مطلوبی²¹⁰ کسب کنند، آنچنان که فتوسنتزی مصنوعی بوجود آورند. آنها

199

Abraham, Jiji, and Thomas, Sabu, and Kalarikkal, Nandakumar. Handbook of Carbon Nanotubes. Springer, 2022.

200

Oxygen making anodes

201

Material morphology

202

A strategy to increase the surface area

203

Camley, Robert, E. and Celinski, Zbigniew, and Stamps, Robert, L. Magnetism of Surfaces, Interfaces and Nanoscale Materials. Elsevier Science, 2015.

204

Funnel a sequential electron transport to the electrode

205

Abraham, Jiji, and Thomas, Sabu, and Kalarikkal, Nandakumar. Handbook of Carbon Nanotubes. Springer, 2022.

206

Water-molecule splitting capability

207

Inspired by a living organism

208

Dr. Angela Belcher

209

M.I.T (Massachusetts Institute of Technology)

210

A desired specific photosynthetic reaction

روش‌های فنی مدرنی را بکارگرفتند تا چارچوبی ویروسی²¹¹ طراحی کنند که برای گروه شرایطی فراهم آورد تا ویروسی را با دو مشخصه‌ی کلیدی، گردآوری²¹² کنند²¹³. یکی از شاخصه‌ها نورحسی²¹⁴ بود، یعنی ماده‌ای که مسئولیت جذب نور داشته تا الکترونی برانگیخته²¹⁵ تولید کند. بدین مفهوم که حالا ماده توانایی تبدیل انرژی، از حوزه‌ی فوتونی، یعنی از حوزه‌ی نور (خورشید)، به شکل الکترونی برانگیخته داشت، که حالا آن الکترون برانگیخته هم برای شرکت در واکنش حضور داشت²¹⁶.

پژوهشگران همچنین توانستند ویروس‌ها را آنچنان مهندسی کنند که اکسید فلزی مشخص، یعنی خوشه‌ای از اکسید ایریدیوم²¹⁷ را که نقشی کاتالیزوری داشت، جذب کنند. آنها توانستند ابزارهایی کامل و یکپارچه²¹⁸ طراحی کرده، بسازند. اینجا هم، از نظر تمثیلی، به آنتن‌هایی که در مراکز واکنشی فتوسنتزی²¹⁹ آنچنان پر اهمیت هستند، اشاره دارم²²⁰. دانشمندان هم ویروس‌هایی دراز²²¹ مهندسی کردند که از دیدگاه ساختاری مشابهت به نانولوله‌های کربنی و شاخصه‌ی تک بعدی و خطی²²² آنها داشتند²²³. سپس آنها با بکارگیری پپتیدها و پروتئین‌ها²²⁴ که بر روی سطح آن ویروس‌های دراز گذاشتند، نانوذراتی رشد دادند که سپس با استفاده از آنها توانستند ماده‌ی پرفیرین²²⁵ قرار دهند²²⁶. پرفیرین رنگ یا ماده‌ای اساسی است که جاذب نور می‌باشد و برای برداشت اولیه‌ی نور بسیار کلیدی است، و همچنین برای قراردادی کاتالیزور بر سطحی، بی‌اندازه لازم می‌باشد.

211

Virus scaffold

212

Assemble a virus that had two key components

213

Sattler, Klaus, D. 21st Century Nanoscience – A Handbook: Industrial Applications. CRC Press, 2020.

214

Photosensitizer

215

Excited electron

216

Converting the energy from the photonic domain, from the optical domain (from the sun) into the form of an excited electron ready to participate in a reaction.

217

An iridium oxide cluster

218

Integrated devices

219

Antennas that are so important in the photosynthetic reaction centers

220

Sattler, Klaus, D. 21st Century Nanoscience – A Handbook: Industrial Applications. CRC Press, 2020.

221

Elongated viruses

222

Commonality with carbon nanotubes in their 1-dimensional linear character

223

Bertino, Massimo, F. Introduction to Nanotechnology. WSPC, 2022.

224

Bendall, Dr. Derek. Protein Electron Transfer. Garland Sciences, 2020.

225

Porphyrin

226

Zhang, Anqi, and Zheng, GengFeng, and Lieber, Charles, M. Nanowires: Building Blocks of Nanoscience and Nanotechnology. Springer, 2016.

خوب اینجا در پایان این بخش، لازم می‌بینم که اشاره کنم که در مباحث خود تا اینجا به فرصت‌هایی که فن‌آوری نانو برای برداشت موثر انرژی²²⁷ و انباشت و نگهداشت کارآی آن انرژی، و همچنین سپس برداشت و نگهداشت یکپارچه‌ی آن بود²²⁸، پرداختم. در این نوشته‌ها به پیرنگ‌ها و مفاهیم و ابزارها و روش‌های²²⁹ گوناگونی که فن‌آوری نانو در اختیار پژوهشگران برای پیشرفت‌های علمی گذاشته، اشاره داشتیم.

در واقع یکی از خصیصه‌های تلاش‌های نانویی²³⁰، سرشت چندرشته‌ای بودن²³¹ آنها در علم و فن‌آوری است. در مورد همین فصل کتاب، برای ساختن سیستم فتوسنتز مصنوعی، ما نیاز به تیمی متشکل از پژوهشگران، اساتید، کارشناسان، دانشجویان مهندسی ارشد یا دانشجویان مقطع دکترا در رشته‌های زیست‌شناسی، شیمی، فیزیک، رشته‌های گوناگون مهندسی، بویژه مهندسی سیستم‌ها و مهندسی مواد و، و، داریم که درکی بنیادین از کارکرد فتوسنتز داشته باشند. با چنین رویکردی چندرشته‌ای و اجرایی-کارشناسانه²³² است که موفقیت پروژه‌ای نانویی در پیاده‌سازی سیستمی نوین²³³ تضمین می‌شود²³⁴.

مثلا برای همین پروژه‌ی فتوسنتز مصنوعی، ما نیاز به مهندسان و دانشمندان مواد داریم که توانایی طراحی و ساخت موادی تجدیدپذیر، قابل اتکا و مقاوم²³⁵ دارند، افرادی که قادرند تا مواد را تحلیل کنند و با استفاده از میکروسکوپ‌های الکترون انتقالی²³⁶، تصاویر دقیق مقیاس نانو²³⁷ گرفته برای بهینه‌سازی آن مواد تلاش کنند²³⁸. چنین تلاشی، مستلزم داشتن کارشناسی و تخصصی چندرشته‌ای است²³⁹. اغلب هم با عمیق‌تر شدن پژوهش‌ها و گسترش تلاش‌های نانویی، تعداد افراد گروه پژوهشی افزایش می‌یابد. هنگامیکه به تلاش برای تقلید از کارکرد فتوسنتزی طبیعت می‌اندیشیم، برای نمونه به ساخت ابزاری که کارکردی مشابه با گیاهان یا درختان را انجام دهد، بخاطر داشته باشیم که چنین کارکردی در طبیعت میلیون‌ها سال در تکامل بوده است. از این دیدگاه، می‌بایست

227

Effective harvesting and efficient storage of energy

228

Integrated harvesting and storage

229

Themes, concepts, methods and devices

230

Sattler, Klaus, D. 21st Century Nanoscience – A Handbook: Industrial Applications. CRC Press, 2020.

231

Intrinsically multidisciplinary

232

Execution expertise

233

Implementation of a new system

234

Fukuzumi, Shunichi. Principles and Applications of Artificial Photosynthesis. Royal Society of Chemistry, 2023.

235

Reproducible and reliable materials

236

Transmission electron microscopes

237

Capture nanoscale precise images for analysis

238

Zuo, Jian Min, and Spence, John, C. H. Advanced Transmission Electron Microscopy: Imaging and Diffraction in Nanoscience. Springer, 2017.

239

Williams, David, B. and Carter, Barry, C. Transmission Electron Microscopy. A Textbook for Materials Science. Springer, 2022.

بلندپروازانه بودن پروژه‌ها و تلاش‌های نانویی را بسنجیم²⁴⁰. بدلیل چالش‌های امروزی بشر در حوزه‌ی انرژی²⁴¹، ما یک میلیون سال نداریم. شاید یکی، دو دهه‌ای بیشتر فرصت برای پاسخ‌یابی به چالش‌های حوزه‌ی انرژی نداشته باشیم. گروه‌های دانشمندان نخبه و کارشناسی که امروز در همکاری و تعامل با یکدیگر، بنحوی چندرشته‌ای در پژوهش برای فتوسنتز مصنوعی هستند، به چنین چالشی واقف‌اند. امروز، دانشمندان علمی آگاه‌اند که بدلیل گازهای گلخانه‌ای و دی‌اکسید کربنی که (بخش انرژی مستمرا در افزایش آن گازها سهم بوده‌است²⁴²)، اغلب از سوخت‌های فسیلی متصاعد می‌شود، و تغییر و تحولات آب‌وهوایی را، هر ساله، به نقطه‌ای بی‌بازگشت نزدیکتر می‌کند.

دانشمندان علمی می‌دانند که انرژی مهم‌ترین چالش پیش روی ماست²⁴³ و در عین حال واقف‌اند که تنها آنها هستند که همچنان انگیزترین فرصت‌ها را برای پاسخ‌یابی به این چالش (یکی دو دهه‌ای،) در دنیای نانو²⁴⁴، یعنی در علم نانو و در فن‌آوری نانو بنحوی چندرشته‌ای در اختیار دارند، که فتوسنتز مصنوعی تنها یکی از آن فرصت‌هاست²⁴⁵.
وقت و روزگار خوش. دانا و توانا باشید.

ر. رخشانی

زن، زندگی، آزادی

240

Jain, Faquir, C. and Broadbridge, C. and Gherasimova, M. and Tang, Hong. Nanotechnology for Electronics, Biosensors, Additive Manufacturing and Emerging Systems Applications. World Scientific, 2021.

241

U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook; 2020.

242

Speight, James, G. Handbook of Petrochemical Processes. CRC Press, 2021.

243

U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook; 2020.

244

Lewis, N.S. and Nocera, D. G. Powering the Planet: Chemical Challenges in Solar Energy Utilization. National Academy of Sciences, 2006.

245

برای دسترسی به مقاله بشکل پی دی اف و همچنین به فایل صوتی، از "کیو آر کد" زیر با موبایل عکس گرفته و مستقیم به کانال تلگرام بروید



<https://t.me/natureofscience>

همچنین می‌توانید به کانال لینکدین زیر مراجعه فرمائید

<https://www.linkedin.com/in/raymond-rakhshani-16628a5/detail/recent-activity/shares/>