سفر به ریزها

آشنایی سیستمی با علم نانو و فن‌آوری نانو[1]

فصل بیست و فایل صوتی بیستم

کاتالیز و زئولیت‌ها - فن آوری نانو برای رهایی و آزادسازی انرژی[2]

با درود، من ریموند رخشانی هستم. در این سلسله از مقالات[3] و فایل‌های صوتی[4]، کوشش می‌کنم که علم نانو[5] و فن‌آوری نانو[6] را (به زبان فارسی) از پایه، بنحوی سیستماتیک[7] به دوستانی که علاقمند هستند، در حد توان، ارائه کنم[8].

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 خواهشمندم که لینک‌ها را به دوستان و بویژه به جوانان دانش پژوه ما (که اغلب دسترسی نظام‌مند برای آشنایی با علم و فن‌آوری نانو[9] - 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 Catalysis and Zeolites - Nanotechnology for Releasing Energy

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 می توانید 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 فایل های 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 فایل های 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.

فن آوری نانو[10] برای رهایی[11] و آزادسازی انرژی[12] - کاتالیز و زئولیت‌ها

در پایان فصل پیشین[13] پیرامون روش دیگری برای نگهداشت و آزادسازی انرژی نوشتم که سلول‌های سوختی[14] نامیده شده‌اند[15]. در این فصل مبحث خود را، با سلول‌های سوختی[16]، ادامه می‌دهیم. همچنین مایل هستم تا، در این مسیر، به جهان شگفت‌انگیز **کاتالیز[17]** نیز بپردازم. کاتالیزور واژه‌ای است که بسیار شنیده‌ایم و کمی هم با آن آشنا هستیم[18]. در زبان فارسی این واژه را خارج از دنیای علم هم بکار گرفته‌ایم. حالا، منظور ما از آن واژه چیست؟ برای مثال در گردهم‌آیی دوستانه‌ای شنیده‌ایم که "فلانی کاتالیزور مناسبی برای ایجاد گفت و شنود جمع ماست[19]. " همین جمله، تمثیل خوبی است تا کمی به تعریف علمی واژه هم بپردازم، که اغلب به مفهوم تزریق چیزی به فرآیندی[20] است که می‌تواند موجب ایجاد نوعی واکنش شود، که حالا آن چیز می‌تواند سطحی[21] باشد[22]، یا شکلی

---

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

11 Holmes, Paul, and Bhadra, Sitav. Off Grid Solar Power: How to Design and Install a Mobile Solar System for RVs, Vans, Boats and Tiny Homes. Independently Published, 2021.

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

13 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

14 Fuel cells

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

16 Larminie, James, and Dicks, Andrew. Fuel Cells Explained, 2nd Edition. Wiley, 2003.

17 Catalysis

18 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.

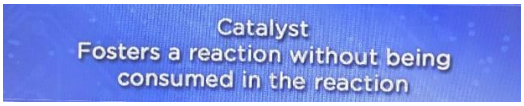
19 Sels, Bert, F. and Van de Voorde. Nanotechnology in Catalysis: Applications in Chemical Industry, Energy Development, and Environmental Protection. Wiley – VCH, 2017.

20 Injection of something into a process

21 A surface

22

مشخص، یا زاویه‌ای ویژه[23]، یا حتی وفور الکترون‌هایی که شاید موجب نوعی کنش شیمیایی شود[24]، و نهایتا در همه‌ی موارد علمی، کاتالیزور چیزی است[25] که موجب ایجاد واکنشی می‌شود[26] بدون اینکه خود در آن واکنش مصرف شود[27].



در نتیجه کاتالیزور می‌تواند نفوذ و قدرتی بسیار، و تاثیری مهم در فرآیند واکنش داشته‌باشد[28]. اما در سلول‌های سوختی قواعد کاتالیز[29] چگونه است[30]؟ در سلول‌ها همانگونه که در نام‌شان هست سوختی داریم، برای نمونه هیدروژن. چنین چیزی بسیار برای کارکرد سلول سوختی جذاب است، زیرا که بسادگی با استفاده از اکسیژن موجود در هوا، و انبار هیدروژن‌مان در سلول، ما قادریم ملکولی با انرژی‌ای پایین‌تر، یعنی آب، تولید کنیم. تفاوت انرژی‌ای را که، از هیدروژنی با انرژی بالاتر در واکنش با اکسیژن برای برون‌فرستی آبی پاکیزه[31]، در چنین واکنشی هست[32]، می‌توان برداشت کرد[33] و آن را به نیرویی برقی تبدیل کرد[34]. سپس، ما می توانیم چنین نیرویی را برای خودرویی بکار بگیریم و یا حتی برای گرمایش منزلی استفاده کنیم. چنین واکنشی اما، نیاز به کاتالیزور دارد.

پلاتین نمونه‌ی فلز بی‌نهایت موثری به عنوان کاتالیزور می‌باشد که به کرات برای کاربرد سلول‌های سوختی بکار گرفته شده‌است. اگرچه، بدلیل گران‌بها بودن، نگرانی اصلی استفاده از پلاتین، هزینه‌ی آن می‌باشد. پدیده‌ی دیگری نیز بنام مسمومیت کاتالیزی[35] هست که از استفاده چندباره‌ی پلاتین جلوگیری می‌کند. پژوهشگران و فن‌آوران نانو سال‌هاست که بدنبال روش‌هایی هستند تا پلاتین را

یادمان باشد که واکنش‌ها در اکثر موارد در سطوح اتفاق می افتند.

23
A specific shape or a particular angle

24
Particular availability of electrons leading to a rush of chemical activity

25
Ahmad, Awais, and Verpoort, Francis, Ahmad, Ikram, and Tabassum, Sobia. Nanomaterial-Based Metal Organic Frameworks for Single Atom Catalysis. Elsevier, 2023.

26
Chorkendorff, I, and Niemant, Sverdriet. Concepts of Modern Catalysis and Kinetics. Wiley-VCH, 2017.

27
Fosters a reaction without being consumed

28
Hanefeld, Ulf, and Lefferts, Leon. Catalysis: An Integrated Textbook. Wiley-VCH, 2018.

29
Catalysis

30
Franklin, Feng, and Tao. Metal Nanoparticles for Catalysis: Advances and Applications. Royal Society of Chemistry, 2014.

31
Emission of clean water

32
Asthagiri, Aravind, and Janik, Michael. Computational Catalysis. Royal Society of Chemistry, 2023.

33
Can be harvested

34
U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook; 2020.

35
Catalyc poisoning

موثرتر بکار گیرند و همین‌جاست که سطوح نسبی وسیع نانومواد برای پژوهشگران سودمند و جذاب هستند. البته کوشش‌هایی نیز برای یافتن کاتالیزورهایی دیگر هم بوده‌اند تا براساس فلزهای گران‌بها مانند پلاتین نباشند تا هزینه‌ها کاهش دادەشوند.

پیرنگ یا تم دیگری که در این فصل کتاب بدان می‌پردازم بکارگیری نانومواد برای نگهداشت موثر چیزهایی از قبیل هیدروژن، یا سوخت هیدروژنی است[36]. البته ما می‌توانیم هیدروژن را درون بشکه‌ای نگهداری کنیم که مسلما تحت فشار خواهد بود و نگرانی‌هایی پیرامون خطرات آن هم هست، باری بسیاری بر آن باورند که می‌توان آن خطرات را مدیریت نمود. معهذا، ما می‌توانیم چگالش بالاتری از هیدروژن در فضایی محدود داشته باشیم، اگر قادر باشیم فضای اضافه را تقلیل دهیم، و زمانی که ماده‌ای با سطحی بزرگ مانند زئولیت داشته باشیم، که بدان خواهم پرداخت، چارچوبی ارگانیک از فلزی داریم که مشخصا طراحی و مهندسی می‌کنیم[37] تا ملکول‌های هیدروژن بر آن رونشین شوند[38]. این روش مهندسی نانو، روچگال کردن یا رونشین کردن[39] نامیده می‌شود که از آن طریق، ملکول‌ها به صورت لایه‌ی نازکی بر روی سطح جمع می‌شوند، بدان مفهوم که آن ملکول‌ها خود را به سطح وسیع آن نانومواد متصل می‌کنند، تا سپس برداشت و مورد استفادەباشند.

هیجان علمی زیادی که در مورد سلول‌های سوختی مشاهده می‌کنیم، بدلیل سادگی استفادەکردن آنهاست. هنگامیکه ما انرژی باد یا انرژی خورشیدی را استفاده می‌کنیم تا نیرو تولید کنیم، اغلب آنها را بصورتی شیمیایی نگه‌می‌داریم تا سپس مورد استفاده قرار دهیم. هنگامیکه به سلول‌های سوختی هیدروژن‌بنیان می‌اندیشیم، آنچه بسیار جذاب است بکارگیری ملکول‌هایی پاکیزه و در دسترس است که در هوا موجودند، و برون‌فرستی آن سلول‌ها آب است. امتیاز دیگر آنها بر فن‌آوری باطری (که البته این دو تکمیل‌کننده یکدیگرند، و مساله استفاده این یا آن یکی نیست، بلکه استفاده‌ی موردی موثرتر یکی یا دیگری مطرح است،) و امتیاز در آنجاست که در سلول‌های سوختی، خود سوخت از وسیله‌ی برداشتی سوخت مجزاست، در حالیکه در باطری‌ها آن دو درهم‌تنیده و ادغام‌شده‌اند[40]. در نتیجه در سلول سوختی، ما می‌توانیم هریک از بخش‌ها را بنحوی مساعد و مجزا بهینه‌سازی کنیم.

قبلا به واژه‌ی کاتالیز کمی پرداختم، و به اینکه بنحوی روزمره چگونه استفاده شده‌است. حالا پرسش آنجاست که چرا سطوح تا این اندازه در فرآیند کاتالیز مهم هستند؟ کاتالیزور یعنی چیزی که واکنشی شیمیایی را تسهیل می‌کند. گاهی نیز منظور آن است که کاتالیزور احتمال یا کارآیی بازده در واکنش را افزایش می‌دهد. در برخی دیگر موارد، کاتالیزور امکان واکنش را فراهم می‌کند و بدون آن، واکنشی نخواهیم داشت. یکی از مفاهیم که در فرآیند کاتالیز مورد استفاده است، بوته‌ی آزمایشی[41] می‌باشد. این مفهوم بدان اشاره دارد که برخی ملکول‌ها (مثلا در فاز گازی) می‌توانند با یکدیگر درهم‌کنش داشته باشند. آنها می‌توانند، برخی وقت‌ها، باهم برخورد کنند، اما دو مشکل وجود دارد.

36

Banerjee, and Bubun, and Chakraborti, and Asit, K. Aqueous Mediated Heterogeneous Catalysis. De Gruyter, 2022.

37

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

38

Gawande, Manoj, B. and Chaudhery, Mustansar Hussain, and Yamauchi, Yusuke. Surface Modified Nanomaterials for Applications in Catalysis: Fundamentals, Methods and Applications. Elsevier, 2022.

39

Adsorption

40

They are integrated together

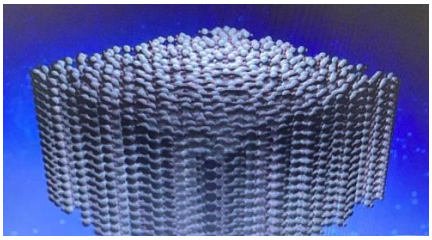
41

The crucible

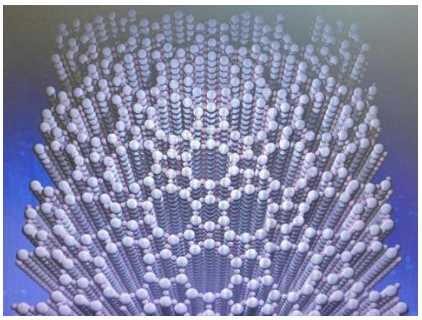
حالا، اگر ما در واکنشی شیمیایی، نیاز به درهم‌کنش‌هایی بسیار ویژه داشته باشیم، اما بدون هرگونه مداخله‌ی فنی و یا بدون معرفی نوعی کاتالیزور (مانند معرفی سطحی یا مانعی[42]) اجازه دهیم تا واکنش بنحوی طبیعی اتفاق بیفتد، یکی اینکه تواتر برخوردهای[43] طبقه‌ی نخست ملکول‌ها با طبقه‌ی دوم ملکول‌ها می‌تواند بدون هرگونه ترتیبی صورت پذیرد[44]، یا اینکه برخی اوقات اتفاق نیفتد.
چالش دیگر اینکه، برخورد آنها با یکدیگر با زاویه‌ای درست انجام نشود. یعنی اگر برای شکل‌گیری خود واکنش، به نوعی هم راستایی[45] بین ملکول‌ها نیاز داشته باشیم[46]، مثلا به نوعی درهم‌کنش قفل و کلیدی[47]، که کلید می‌بایست بدرستی و با زاویه‌ای درست وارد قفل شود، در آن صورت محتملا چنین چیزی با دو ملکولی که، در دمایی معمولی، به این سوی و آن سوی در حرکت و در برخورد با هم هستند، امکانپذیر نخواهد بود، و آنها تنها مانند مهره‌های بیلیارد بهم برخورد کرده و تغییر مسیر می‌دهند[48].
در فرآیند کاتالیز، ایده‌ی بوته‌ی آزمایشی[49] آنجا مطرح است که ما سطحی را بوجود می‌آوریم که یکی از ملکول‌هایی را که در واکنش دخیل است بخود جذب می‌کند. از آن گذشته موجب آن می‌شود که ملکول نخست آنچنان سویه‌مند شود که ملکول دوم، محل پیوند با آن را "ببیند." یعنی برای نمونه در ملکول نخست الکترونی آزاد را که آماده رهایی است "مشاهده" کند. این بدین مفهوم است که شرایطی مناسب را برای ملکول نخست فراهم می‌کنیم، تا با زاویه‌ای مناسب آنچنان همراستا باشد، تا واکنش بدرستی انجام پذیرد.
در نتیجه مفهوم بوته‌ی آزمایشی، فراهم کردن شرایطی مناسب برای شکل‌گیری واکنشی شیمیایی در مقیاس طولی ملکولی است، و همانگونه که آگاه هستید، مقیاس طولی نانومتری[50] نیز می‌باشد.
خوب، پرسش اینجاست که نقش فن‌آوری نانو در اینجا چیست زیرا که برخی از چنین واکنش‌ها بخودی خود نیز عملی هستند[51]؟ برای نمونه، ممکن است که ما جلوه‌ها یا سطوحی از پلاتین[52] داشته باشیم که فاصله‌های اتمی و سویه‌مندی لازم[53] را داشته باشند تا ملکول‌ها بهم نزدیک‌شده، درهم‌کنش و برخورد داشته و واکنشی شیمیایی پدید آورند[54]. یکی از زمینه‌هایی که فن‌آوری نانو نقشی مهم

42
Without some kind of surface or a tether
43
Frequency of collisions
44
Kobayashi, Shu. Nanoparticles in Catalysis. Springer, 2020.
45
Kind of an alignment
46
Van Leeuwen, W. N. M. and Claver, Carmen. Recent Advances in Nanoparticle Catalysis. Springer, 2020.
47
Lock and Key interaction
48
Inamuddin, and Asiri, Abdullah. Sustainable Green Chemical Processes and their Allied Applications. Springer, 2020.
49
The crucible
50
Molecular or Nano length scale
51
Palmisano, Giovanni, and Al Jitan, Samar, and Garlisi, Corrado. Heterogeneous Catalysis: Fundamentals, Engineering and Characterizations. Elsevier, 2022.
52
Platinum facets
53
The necessary orientation and the spacing between atoms
54

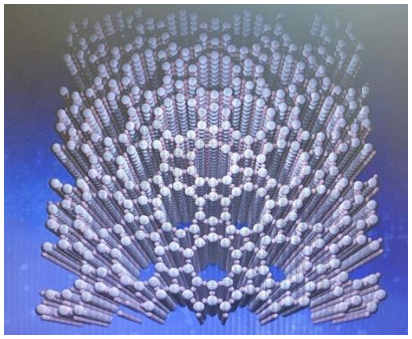
دارد و در سال‌های اخیر پژوهش‌ها و پیشرفت‌های هیجان‌انگیزی داشته‌است در حوزه‌ی آنچه زئولیت‌ها[55] خوانده شده می‌باشد. زئولیت‌ها، سیلیکات‌های آلومینیومی سدیم یا کلسیم یا پتاسیم می‌باشند که همگی ساختارهایی سه‌بعدی دارند.



آنها نوعی ساختار پیچیده را شبیه به کریستال‌ها، برای نمونه مانند بلور سیلیکن، فراهم می‌کنند، منتهی اساسا برساخته‌ی چیزهایی‌اند که ملکول‌مانند هستند. این شابلون‌ها[56]، همین ساختارها، اغلب در مقیاس‌های طولی بزرگتری هستند. آنها می‌توانند حفره‌هایی[57] به قطر ۰.۵ یا ۱ یا ۱.۵ نانومتر داشته باشند، اما حفره‌ها[58] می‌توانند بسیار طولانی بوده و درازایی بسیار در آن مواد داشته باشند.



اغلب حلقه‌هایی[59] هستند که چنین حفره‌هایی را می‌سازند و می‌توانیم قطر حلقه‌ها را از طریق گزینش عناصری که زئولیت‌ها را می سازند، کنترل کنیم.



Poli, Rinaldo. Effects of Nanoconfinement on Catalysis. Springer, 2017.

55 Zeolites

56 Templates

57 Pores

58 Poate, John, and Illangasekare, Tissa, and Kazemi, Hossein. Pore Scale Phenomena: Frontiers in Energy and Environment. World Scientific Publishing Company, 2015.

59 Rings

در واقع نوع پیوند بین عناصر گوناگون است که شکل‌دهنده‌ی چنین حفره‌هایی لوله‌مانند[60] می‌شود[61]. این یعنی گوناگونی پیوند عناصر[62] است که ارجحیت ساختاری[63] را شکل می‌دهد[64]. بهمین دلیل، همنهشتی زئولیت‌ها بسیار هوشمندانه و مشکل است[65] و نیازمند درکی عمیق از گرایش اتم‌ها به یکدیگر[66] است[67]. همچنین اغلب کنترل دما برای رشد چنین موادی حیاتی[68] قلمداد می‌شود، زیرا آن عناصر نیاز به انرژی‌ای کافی دارند تا با یکدیگر درهم‌کنش داشته، واکنش نشان دهند و موادی با ساختارهایی بسیار باثبات بسازند[69].

حالا پرسش اینجاست که ما چگونه می‌توانیم بنحوی خلاقانه از چنین مواد نانوساختاری سه‌بعدی بهره ببریم؟ چگونه می‌توانیم از آنها برای آفرینش موادی نوین یا خلق فرآورده‌هایی نو استفاده کنیم؟ یکی اینکه (برخلاف آنچه تاکنون در مورد حوزه‌ی انرژی تجدیدپذیر نوشته‌ام) آنها برای شکستن و شکافتن هیدروکربن‌ها[70] بکار گرفته می‌شوند تا نفت خام را تبدیل به سوختی قابل‌مصرف کنند[71]. خوب ممکن است بگویید که این مسلما کمکی به محیط زیست نمی‌کند و نیاز ما انرژی تجدیدپذیر است، که درست می‌گویید. اما گذار به فن آوری‌های پایدار[72] مثل کلید برق نیست که در لحظه بتوان خاموش و روشن کرد. زمان می‌برد تا چنین گذاری بواقع عملی شود، زیرا هنوز حتی در سطح جهانی زیرساخت لازم و کافی گذار به فن‌آوری‌های پایدار فراهم نیست. در نتیجه، اگر ما قادر باشیم، تا حدودی هم، سوخت‌های فسیلی را کم‌خطرتر، کم‌آلاینده‌تر کرده، و بازده فرآیند تولید آنها را از طریق چنین موادی نانوساختاری بهینه کنیم، به آن گذار خدمت کرده‌ایم. زمان می‌برد تا سوخت‌های فسیلی جایگزین شوند، و هر پیشرفتی در مقرون‌به‌صرفه‌تر کردن، کم‌خطرتر کردن، و از دیدگاه انرژی، کارآتر کردن هیدروکربن‌ها برای صنعت و جامعه مثبت می‌باشد.

---

60 Tubules

61 Haghi, A. K. and Thomas, Sabu, and MehdiPour MirMahaleh, Moein. Foundations of Nanotechnology: Pore Size in Carbon-based Nano-Adsorbents. CRC Press, 2014.

62 Various bondings of elements

63 Preferred structure

64 Lowell, S. and Shields, Joan, E. and Thomas, Martin, A. and Thomas, Matthias. Characterization of Porous Solids and Powders: Surface Area, Pore Size and Density. Springer, 2006.

65 Synthesis of Zeolites is very smart and tricky

66 Deep understanding of the affinities of atoms to each other

67 Ejka, Jiri, and Morris, Russell, E. and Nachtigall, Petr, and Millini, Roberto. Zeolites in Catalysis: Properties and Applications. Royal Society of Chemistry, 2017.

68 Crucial

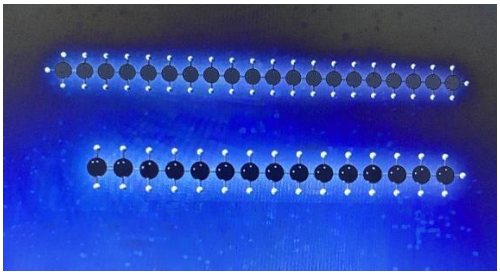
69 Martin, Andreas. Zeolite Catalysis. MDPI, 2016.

70 Cracking the hydrocarbons

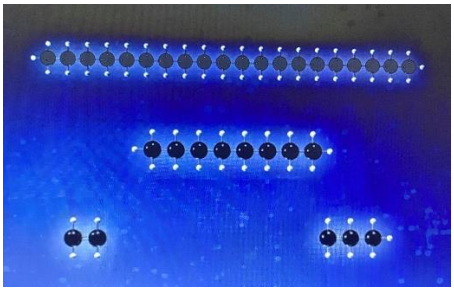
71 Speight, James, G. Handbook of Petrochemical Processes. CRC Press, 2021.

72 Sustainable technologies

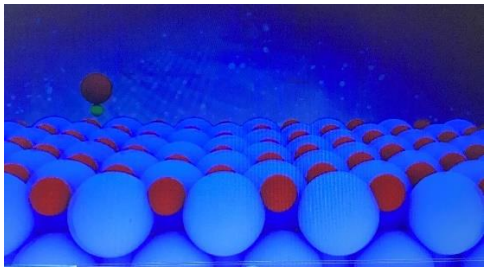
زئولیت‌ها، در واقع، نقشی دوگانه بازی می‌کنند[73]. کوشش ما، در این مورد مشخص شکستن هیدروکربن‌ها، آن است که آنها معمولاً مانند سوخت دیزل، بسیار طویل هستند، البته با درازایی بیشتر و هم حتی سنگین‌تر، و ما می‌خواهیم آنها را به هیدروکربن‌هایی کوتاه تر و سبک‌تر تبدیل کنیم.



با بکارگیری فن‌آوری نانو، ما زئولیت‌ها را هم از نظر شکلی و هم اندازه‌ای چنان طراحی و مهندسی می‌کنیم تا با بوجود آوردن نوعی واکنش شیمیایی، چنین ملکول‌های طویل و سنگین را به ۵ تا ۱۰ واحد تکراری هیدروکربن‌هایی سبک و ناپایدار و فرار تبدیل کنیم.



شیوه‌ای که زئولیت‌ها عمل می‌کنند چنین است که نخست سطحی را برای واکنش شیمیایی فراهم می‌کنند، و سپس آنچه در شیمی **ممانعت فضایی**[74] خوانده شده، بوجود می‌آورند[75]. واژه‌ی فضا[76] در اینجا بمفهوم چیدمان اتم‌ها و چگونگی مقیاسی (اندازه‌ای) آنها در فضای اتمی می‌باشد.



---

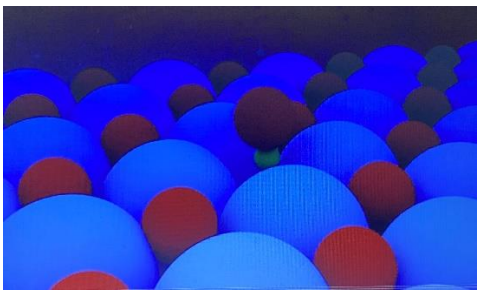
73 Corma, Avelino, and Zones, Stacey, and Cejka, Jiri. Zeolites and Catalysis: Synthesis, Reactions and Applications. Wiley-VCH, 2010.

74 Steric hindrance

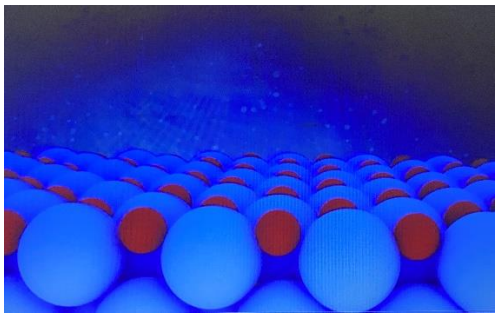
75 Weitkamp, Jens, and Puppe, Lothar. Catalysis and Zeolites: Fundamentals and Applications. Springer, 2013.

76 Steric

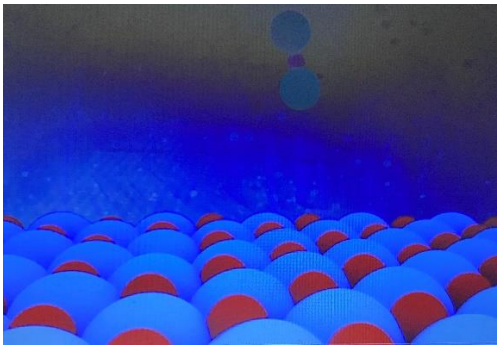
هنگامیکه ما، در شیمی و یا در مورد نانومواد، واژه‌ی **تاثیرات فضایی**[77] را بکار می‌گیریم، ما اغلب به تاثیرات مقیاسی (اندازه‌ای) اشاره داریم[78]. در حقیقت، استناد ما به آن است که بعضی ملکول‌ها، بنحوی ترجیحی، قادرند خود را در درون این حفره‌های لوله‌مانند (که برسازنده زئولیت‌ها هستند) رونشین (یا روچگال[79]) کنند، یعنی به صورت لایه‌ی نازکی ملکولی بر روی‌شان جمع شوند،



یا اینکه برخی دیگر کاملا بلوکه شوند،



و باز بعضی دیگر ملکول‌ها می‌توانند به سرعت از درون حفره‌ها رد شوند، و باز ملکول‌هایی دیگر هستند که (بدلیل درهم‌کنش و واکنش‌هایی با سطوح درونی زئولیت‌ها) بسیار کند از درون حفره‌ها عبور می‌کنند.



نمونه‌ی مشخص زئولیت‌هایی که برای شکستن نفت خام[80] مورد استفاده است، سیلیکات‌هایی آلومینیومی (با ترکیب‌هایی از اتم‌های آلومینیوم، سیلیکن و اکسیژن) هستند که آن ساختارها، حلقه‌ها با اندازه‌هایی بسیار دقیق مهندسی‌شده دارند.

77

Steric effects or steric bulk

78

Vajapara, Shailesh, and Pathan, Amanullakhan, and Vaghela, Hiral. Synthesis of Zeolites, and Zeolite-Lanthanum Oxide Nanocomposites: Adsorption and Photocatalytic Studies. Scholars' Press, 2019.

79

Adsorb

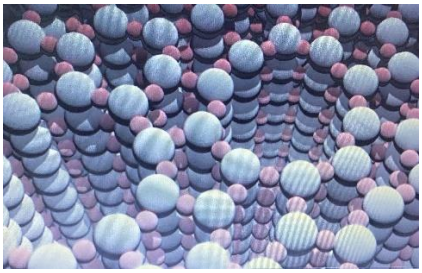
80

For crude oil cracking

در این مورد مشخص، هیدروکربن‌های سنگین معرفی شده و با کاتالیزور در تماس قرار می‌گیرند[81]. با ازدیاد دما، انرژی لازم برای تحقق واکنش فراهم شده تا، آنچه شکستن کاتالیزی[82] نامیده شده، به وقوع بپیوندد.

خود واژه کاتالیز، همانگونه که آگاه هستید، در تبدیل‌گرهای کاتالیزی[83]، که نوعی فیلتر شیمیایی است که درون اگزوز قرار می‌گیرد، درون خودروها بکار گرفته می‌شود.

برون فرستی آلاینده‌هایی که از اگزوز اصلی خودرو بیرون می‌آید از طریق چنین تبدیل‌گرهایی، پردازشی بیشتر می‌شود[84] تا به موادی با زیان‌های زیست‌محیطی کمتری تبدیل شوند[85]. این ایده‌ی پالایش یا تخلیص یا گزینش ملکول‌ها[86] می‌تواند با بکارگیری زئولیت‌ها نیز پیاده‌سازی و اجرا[87] شود.



اغلب پژوهشگران نانو از مقوله یا عبارت جذاب غربال یا سرند ملکولی[88] استفاده می‌کنند[89]. تمثیل درست آبکش آشپزخانه، برای نمونه، که سوراخ‌های تعریف‌شده‌ی مثلا یک یا دو میلیمتری دارد، که آب براحتی از آنها عبور می‌کند، اما پاستا یا نخود یا دیگر

---

81 Yadav, Veejendra, K. Steric and Stereoelectronic Effects in Organic Chemistry. Springer, 2021.

82 Catalytic cracking

83 Catalytic converter

84 Gets processed more

85 Xu, Jun, and Wang, Qiang, and Li, Shenhui, and Deng, Feng. Solid-State NMR in Zeolite Catalysis. Springer, 2019.

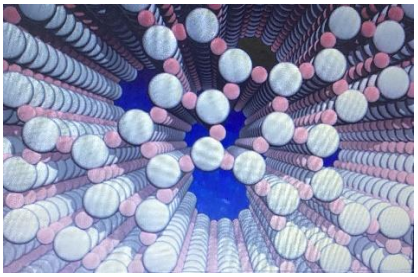
86 This idea of purification or selection of molecules

87 Can be implemented

88 Molecular sieve

89 Parker, Philip, M. The 2021-2026 Outlook for Zeolite Molecular Sieves. ICON Group International, Inc. 2020.

چیزها درون آن می‌مانند، به درک ما از غربال ملکولی یاری می‌دهد، زیرا که ما در آبکش آشپزخانه، گزینش اندازه‌ای[90] در مقیاس میلیمتری داریم. زئولیت‌ها نیز می‌توانند در مقیاس ملکولی (بر اساس ساختار موادی شیمیایی) اندازه‌گزین[91] باشند.



در واقع همان اندازه و همچنین شکل حفره‌هاست[92] که دستیابی به ملکول‌ها را درون زئولیت‌ها کنترل می‌کند[93]، که می‌توان آنها را بدرستی سرند[94] ملکولی نامید.

نوع دیگر کاربرد غربال که کمی ظریف‌تر است، پیرامون سرعت حرکت ملکول‌هاست، که به این بازمی‌گردد که ملکول‌ها چگونه از غربال گذر کنند. برای نمونه ما قادریم تا اندازه را کنترل و مدیریت کنیم، اما درهم‌کنش‌های شیمیایی با سطوح درونی حفره‌هایی لوله مانند[95]، بما توانایی می‌دهد تا ترتیب غربال‌گری یا سرند ملکول‌ها را نیز کنترل کنیم[96]. برای نمونه موادی که کوچک‌تر هستند یا درهم‌کنشی کمتر با سطوح درونی دارند، می‌توانند به سرعت از حفره‌ها عبور کنند.

---

90 Size selection in millimeter scale

91 Size selective

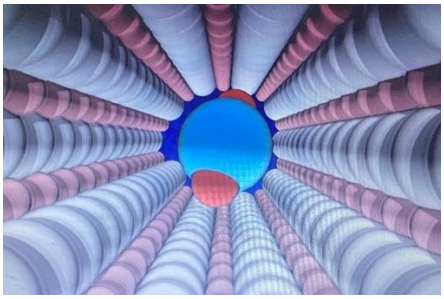
92 The size and also the shape of the pores

93 Karge, Hellmut, G. and Weitkamp, Jens, and Anderson, P. and Beyer, H. K. et al. Molecular Sieves. Post Synthesis Modification I. Springer, 2002.

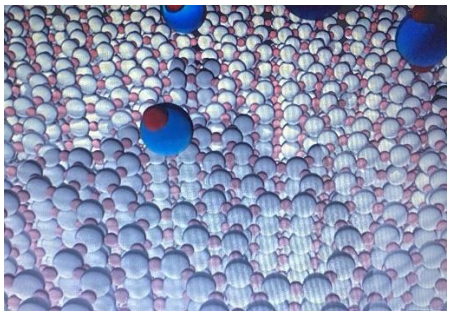
94 A sieve

95 Interactions with inner surfaces of tubules

96 Karge, Hellmut, G. and Weitkamp, Jens. Molecular Sieves, Adsorption and Diffusion. Springer, 2008.



اما برخی دیگر ملکول‌ها، آهسته‌تر حرکت می‌کنند، یا حتی در حفره‌ها گیر می‌افتند.

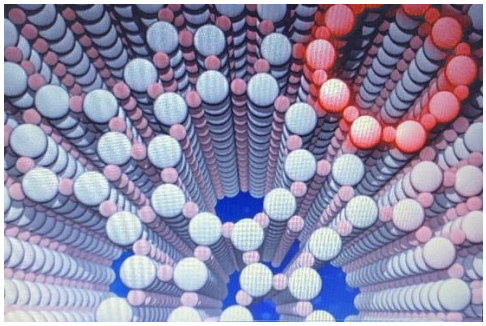


در چنین مواردی، پالایش یا تخلیص تنها پیرامون آن نیست که ماده‌ای از غربال ما گذر می‌کند یا خیر، یا اینکه ماده‌ای جمع‌آوری شده یا به سوی دیگر غربال منتقل شده است. بلکه ما قادریم تا فرآیند پالایش یا تخلیص را آنچنان طراحی کنیم تا غربال ملکولی ما نخست موادی با کم‌ترین درهم‌کنش یا با کوچک‌ترین ملکول‌ها را پالایش کند، و در پایان ملکول‌هایی بزرگ‌تر را، که چنین توانمندی نانویی بسیار ارزشمند است.

در مواردی ممکن است که ما کاربردی متفاوت[97] یا استفاده‌ای دیگر برای بخش‌های سازنده‌ی[98] ماده‌ای ناخالص[99] داشته باشیم. برای نمونه، فرض کنیم که ما واکنش شیمیایی مقیاس بزرگی داریم که از طریق آن مقدار زیادی از چیزی را می‌سازیم. ممکن است که ما به همه‌ی فرآورده‌های جنبی و چیزهایی که در فرآیندمان تولید می‌شود، نیازی نداشته باشیم، اما امکان دارد که افرادی یا مشتری‌های دیگری علاقمند به ملکول‌های کوچک، متوسط یا بزرگ همین فرآیند باشند. در این موارد، این نوع تخلیص[100] یا پالایش که از

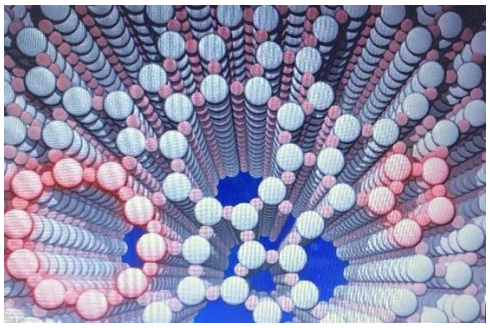
97
Different applications
98
Constituents
99
Impure substance
100
Purification

سرعت به زمان و سپس به ترکیب می‌انجامد[101]، می‌تواند بسیار موثر باشد[102]. در بسیاری آزمایشگاه‌های تجربی[103] نیز، همین ایده‌ی غربال ملکولی[104] مورد استفاده است.



همانگونه که آگاه هستید، آب همواره در پروسه‌ها (چه شیمیایی و چه زیست‌شناختی) مورد استفاده است. گاهی ممکن است که مایل به انجام واکنشی کاملا در محیطی آبی داشته باشیم، یا برعکس زمان‌هایی دیگر بخواهیم واکنش شیمیایی خود را در فقدان آب انجام دهیم[105].

برای نمونه آب با فلزات درهمکنش‌هایی بسیار دارد. گاهی ما می‌خواهیم که چنین درهمکنش‌هایی را کنترل کرده تنها مثلا محلولی ارگانیک را بکار بگیریم که شامل آب نیست، تا کنترلی بالا و خالص بر واکنش داشته‌باشیم. بدلیل درهمکنش بسیار بالای آب با فلزات (همچنین با کاتیون‌ها[106]، که یون‌هایی با شارژ مثبت هستند[107]،) ما می‌توانیم زئولیت‌هایی طراحی کنیم که وفور کاتیونی فلزی بالا در خود دارند، و در نتیجه با فرستادن محلول از درون‌شان، همه‌ی ملکول‌های آب جذب سطح وسیع و واکنشی آنها شده، آنچه از زئولیت گذر خواهد کرد تنها همان محلولی است که خواهان‌اش بوده‌ایم. چنین واکنشی بسادگی در آزمایشگاه‌های شیمی انجام‌پذیر است.



حتی اگر می‌خواهیم محلولی را که نسبتا خشک است، خشک‌تر کنیم، مقداری زئولیت به آن اضافه‌کرده، اجازه می‌دهیم تا واکنش مسیر طبیعی خود را طی کند، و زئولیت (همانند اسفنجی) همه‌ی ملکول‌های آب را از محلول می‌زداید.

---

101 Speed translates into time translates into composition

102 Szostak, Rosemarie. Molecular Sieves: Principles of Synthesis and Identification. Springer, 1998.

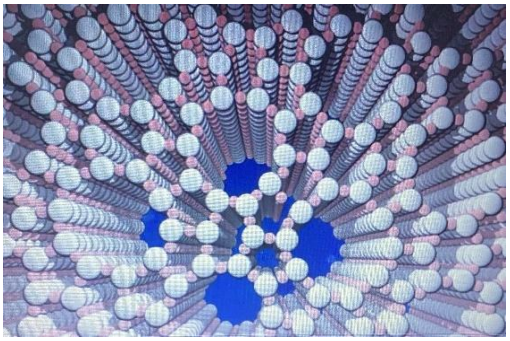
103 Experimental laboratories

104 Molecular sieve

105 Jornitz, Malik, W. Sterile Filtration: A practical Approach. CRC Press, 2000.

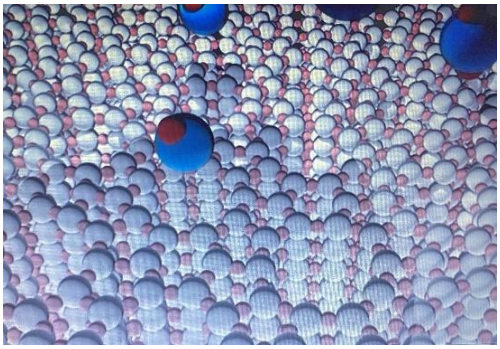
106 Cations

107 در فصل پیشین به آنیون‌ها که یون هایی با شارژ منفی هستند، پرداختم.



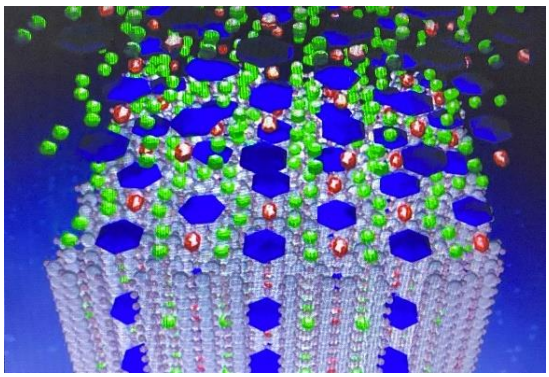
حتی می‌توانیم فرآیندی معکوس انجام دهیم[108]، یعنی می‌توانیم با محلول‌هایی ارگانیک (که اغلب شامل ملکول‌های ارگانیکی ناخالص[109] هستند) کار کنیم که اندازه‌های ملکولی متفاوت با پلاریته یا قطبیدگی[110] گوناگون دارند. قطبیدگی یا پلاریته اشاره به گرایش سویه‌مندشدن به طرف یکی از دو قطب دارد، اگرچه اکثر ملکول‌های ارگانیک غیرقطبی[111] هستند، یعنی بدلیل وجود حوزه‌ای الکتریکی[112]، تمایلی به گردش و سویه‌مند شدن نشان نمی‌دهند و شارژ برقی بر آنها بی‌اثر است[113].

ما می‌توانیم زئولیت‌هایی مشخصا آب‌گریز[114] طراحی کنیم، که بسیار هم با ملکول‌های ارگانیک درهم‌کنش داشته باشند. سپس می توانیم ملکول‌های ارگانیک مورد نظر خود را در اندازه‌های متفاوت رده‌بندی یا تفکیک[115] کنیم[116].

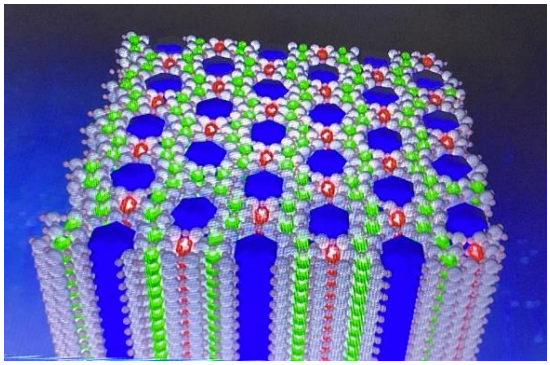


108
We can do the converse
109
Impure organic molecules
110
Molecules of different sizes and different polarities
111
Nonpolar
112
An electric field
113
Parker, Philip, M. The 2023-2028 Outlook for Zeolite Molecular Sieves. ICON Group International, Inc. 2022.
114
Specifically hydrophobic zeolites
115
Rank, sort and classify in different sizes
116
Molecular sorting

در نهایت اینکه دانشمندان نانو قادرند با استفاده از واکنش‌های شیمیایی شناخته‌شده[117] بین آلومینیوم، سیلیکن و اکسیژن، ساختارهایی بسیار منظم[118] بسازند، تا حفره‌هایی قرینه[119] داشته، و شکل‌هایی بسیار مشخص[120] باشند که به حلقه‌هایی با اندازه‌هایی تعریف‌شده شکل دهند[121]، یعنی ما را توانمند سازند تا بدرستی از همان واکنش‌های شیمیایی بهره بگیریم[122].



ما می‌توانیم به حفره‌ها[123]، همچون تله‌هایی بیاندیشیم که شکل‌هایی مشخص را گیر می‌اندازند، یعنی قفس‌ها یا غارهایی که بدقت ملکول‌ها را دستگیر می‌کنند[124]. اینها همان سرندها یا غربال‌های ملکولی‌اند.



117

Parker, Philip, M. The 2023-2028 Outlook for Zeolite Molecular Sieve Catalysts. ICON Group International, Inc. 2022.

118

Very regular structures

119

Symmetrical pores

120

Very specific shapes

121

Forming rings with defined sizes

122

Parker, Philip, M. The 2023-2028 Outlook for Zeolite Molecular Sieve Catalysts: World Market Segmentation. ICON Group International, Inc. 2022.

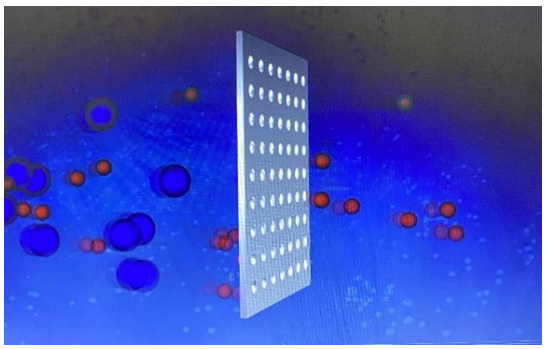
123

Pores

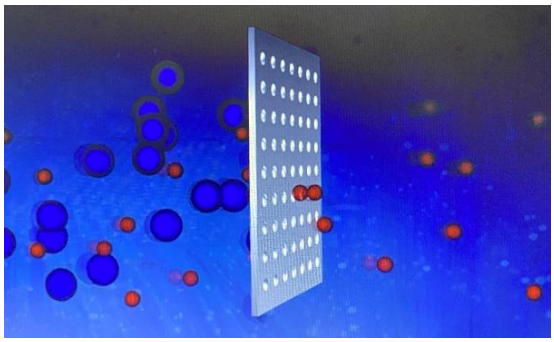
124

Cages, or caves that precisely trap the molecules

در واقع، ما هیچ محدودیتی هم در مورد استفاده از غربال یا سرند ملکولی‌مان برای تنها مایعات نداریم، که سرند معمولاً برای جدا کردن مایع از جامد بکار گرفته می‌شود. سرند ملکولی ما تنها برای اندازه‌گزینی[125] نیست، بلکه می‌توانیم آن را برای ملکول‌هایی بسیار کوچک، دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید سولفور و اینگونه گازها نیز استفاده کنیم.



بر اساس میزان واکنش‌گری آنها، ما قادریم ورودی گازی طبیعی به سرند خود داشته، برخی بخش‌های سازنده آن را جداکرده، و ترکیب مناسبی از گازی قابل‌فروش به مشتری را غربال‌گری کنیم[126].



در سال‌های اخیر پیشرفت‌های بی‌شماری در زمینه‌ی طراحی و توسعه‌ی زئولیت‌ها داشته‌ایم و امروزه قادریم خواص آنها را آنچنان مهندسی کنیم تا مثلا برای سولفورزدایی سوخت‌های ترابری استفاده کنیم. ما اغلب سولفور را که اغلب موجب بویی ناخوشایند در سوخت می‌باشد حتی در حرارت معمولی بدینوسیله جدا می‌کنیم.

یکی از جنبه‌های بسیار جذاب کاتالیز، کارآتر کردن واکنش‌های شیمیایی است. چنین چیزی موجب می‌شود که میزان انرژی (که اغلب برای شروع واکنش لازم است) بی‌اندازه تقلیل یابد. بدینوسیله ما قادریم پردازش ملکول‌ها و پالایش سوخت‌ها[127] را بسیار کاراتر کنیم.

یکی از کارهای واقعا هیجان‌آور که ما می‌توانیم با بکارگیری این مواد، همین زئولیت‌ها، انجام دهیم انتقال هدفمند و گزینشی انرژی به واکنش‌هاست. برای نمونه اگر ما بخواهیم که میزان کمی گرما بدرون ظرفی برای شروع واکنشی بفرستیم، ما در واقع انرژی را به همه‌ی مواد داخل ظرف منتقل می‌کنیم. این یعنی اینکه ما آن انرژی را به داخل شبکه (که می‌تواند زئولیت هم باشد) می‌فرستیم و

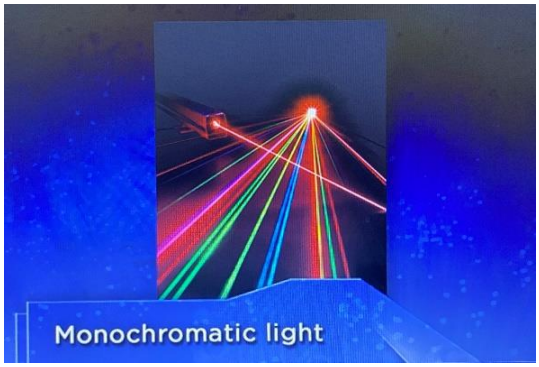
---

125 Size selection

126 Cejka, Jiri, and van Bekkum, Herman, and Corma, A. and Schueth, F. Introduction to Zeolite Molecular Sieves. Elsevier Science, 2007.

127 Processing of molecules and purification of fuels

همه‌ی ملکول‌هایی که در واکنش شیمیایی هستند نیز، مقداری از آن را دریافت می‌کنند. حالا، ما می‌توانیم ملکول‌های جاذب نور[128] و حتی رنگ ویژه‌ای از طیف نوری را برگزینیم. در ابتدای کتاب "سفر به ریزها" پیرامون نور تک‌فام[129]، که دارای یک طول موج واحد است، نوشتم و توضیح دادم که شامل انرژی تک‌فوتونی[130] است. حالا، ما قادریم تا از نور لیزر استفاده کنیم تا تنها یک طبقه‌ی واحد و مشخص از ملکول‌های درون واکنش را برانگیزاند[131].



این بما توانایی شروع واکنش مورد نظر را آنچنان می‌دهد که الکترون‌هایی برانگیخته را در درون زئولیت (یعنی کاتالیزور خود) جای دهیم تا تنها انرژی را به طبقه‌ای مشخص از ملکول‌های شرکت‌کننده در واکنش منتقل کنند[132]. خوب حالا، ما بوته‌ی آزمایشی ای[133] طراحی‌شده داریم که در آن قادریم، هم اینکه انرژی را هدفمند به کجا بفرستیم و هم اینکه چه ملکول‌هایی در کجا باشند، کنترل کنیم و بدین ترتیب ما کنترلی را بر وضعیت[134]، اندازه‌ی ملکول‌ها، شکل ملکول‌ها و همچنین مقدار انرژی لازم برای واکنش، کسب کرده‌ایم[135]. این توانمندی ما را، هم به آفرینش ملکول‌هایی نوین که قبلا عملی نبود، و هم با احتمالی بیشتر[136] به پیشبرد بازدهی بالاتر در واکنش شیمیایی رهنمون می‌کند. چنین توانایی‌ای، امتیازاتی بی‌شمار دارد. در درجه‌ی نخست اینکه موادی کمتر استفاده می شود. انرژی بسیار کمتری نیز برای تحقق ملکول‌ها بکار گرفته‌می‌شود. بدلیل فرآیند بسیار کارآ، اتلاف کمتری نیز داریم، و حتی گام‌های تخلیص و پالایش[137] نیز در نتیجه‌ی بازدهی روبه‌افزایش[138] نهایتا ساده‌تر می‌شوند.

128

Light absorbing molecules

129

Monochromatic light

130

A single color consistent with single photon energy

131

Selectively excite only a certain class of molecules inside the reaction

132

Brunner, Eike, and Pfeiffer, Harry, and Auroux, Aline, and Lercher, Johannes, et al. Molecular Sieves: Acidity and Basicity. Springer, 2008.

133

A crucible

134

Position, size of molecules, shape of molecules, and also the amount of energy that we put in

135

Valencia, Susana, and Rey, Fernando. New Developments in Adsorption/ Separation of Small Molecules by Zeolites. Springer, 2020.

136

Enhanced yield in the chemical reaction with higher probability

137

Purification steps

138

کمی قبل‌تر در مورد سلول‌های سوختی[139] نوشتم[140] و اشاره کردم که در آنها اغلب کاتالیزوری پلاتینی[141] بکار گرفته‌شده، تا سوخت انباشت‌شده را به انرژی الکتریکی[142] تبدیل کند[143]. البته به خود مبحث انباشت سوخت، تنها کمی پرداخته شد. اینجا بهتر است کمی به خواص مناسب و لازم برای مثلا انباشت هیدروژن بیاندیشیم. برای نمونه، جهت کاربرد در خودروها، ایده‌آل برای ما، انباشت سوخت در کمترین حجم ممکن[144] است. این یعنی ما مایلیم چگالش سوخت در حجم را افزایش دهیم[145]، و البته در کاربردهای ترابری[146]، ما همچنین مایلیم میزان سوخت برای هر واحد جرم را نیز به حداکثر برسانیم[147]. زیرا که هر جرم اضافه برای مکانیسم انباشتی ما[148]، در واقع نوعی جریمه است که برای راندمان یا کارآیی خودرو می‌پردازیم[149]. البته کاربردهایی دیگر هستند که مکانیسم انباشت ما (مثلا تانک یا بشکه‌ی سوخت) ثابت[150] است[151]. در آن حوزه‌ی مشخص، تمرکز ما می‌تواند کاهش هزینه‌ی انباشت باشد و چگالش انرژی برای هر واحد جرم[152] (بدلیل ثابت‌بودن انبار) چندان مهم نیست[153].

Increasing yield
139

Fuel cells
140

Khedekar, K.; Rezaei Talarposhti, M.; Besli, M. M.; Kuppan, S.; Perego, A.; Chen, Y.; Metzger, M.; Stewart, S.; Atanassov, P.; Tamura, N.; Craig, N.; Cheng, L.; Johnston, C. M.; Zenyuk, I. V. Probing Heterogeneous Degradation of Catalyst in PEM Fuel Cells under Realistic Automotive Conditions with Multi-Modal Techniques. Adv. Energy Mater. 2021.
141

Platinum catalysts
142

Translate the stored fuel into electrical energy
143

Douhal, Abdelrazzak, and Anpo, Masakazu. Chemistry of Silica and Zeolite-Based Materials: Synthesis, Characterization and Applications. Elsevier, 2019.
144

Putting the fuel into the smallest possible volume
145

Increase the density of fuel per volume (for an automotive application)
146

Cullen, D. A.; Neyerlin, K. C.; Ahluwalia, R. K.; Mukundan, R.; More, K. L.; Borup, R. L.; Weber, A. Z.; Myers, D. J.; Kusoglu, A. New Roads and Challenges for Fuel Cells in Heavy-Duty Transportation. Nat. Energy 2021, 6.
147

Maximize the ratio of the amount of the stored fuel to the mass
148

Our storage mechanism
149

Kind of a penalty that we pay for our car’s efficiency
150

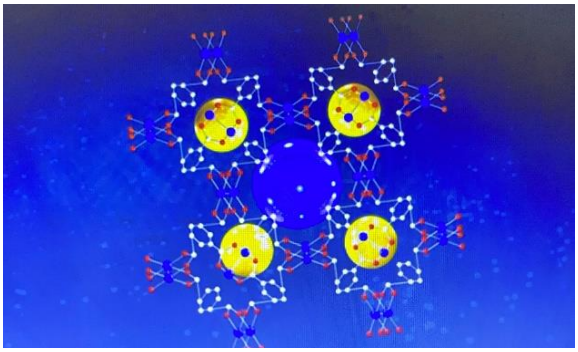
Stationary
151

Serrano-Ruiz, Juan Carlos. Advanced Biofuels: Using Catalytic Routes for the Conversion of Biomass Platform Molecules. CRC Press, 2015.
152

Energy density per unit mass
153

Ferreira-Aparicio, Paloma, and Chaparro, Antonio, M. Portable Hydrogen Energy Systems: Fuel Cells and Storage Fundamentals and Applications. Academic Press, 2018.

در همین زمینه‌های کاربردی است که آنچه چارچوب‌های ارگانیک فلزی[154] خوانده‌شده، مشخصا جذاب هستند[155]. در چارچوب‌های ارگانیک فلزی، اتم‌های فلز با بکارگیری ملکول‌های ارگانیک بهم پیوند داده می‌شوند[156]. من در اینجا به ملکول‌هایی ارگانیک اشاره و استناد دارم، که بنحوی ویژه و همچون لیگاندها، گرایش به پیوند اتم‌ها دارند. فیزیکدان‌ها می‌نویسند که آنها اتم‌های فلز را بهم می بندند[157] تا شبکه یا چارچوبی بسازند[158].



در آن چارچوب، اتم‌های فلز در راس‌ها یا فرازگاه‌هایی گوناگون[159] آنچنان قرار می‌گیرند تا اتصال عملی شود[160]. این یعنی تاثیر شبکه‌ای از طریق ملکول‌هایی ارگانیک که مشخصا گرایش به پیوند گزینشی با فلزات دارند، بدست می‌آید[161]. در نتیجه‌ی چنین پدیده ای، ما می‌توانیم سطح درونی بی‌نهایت بزرگی[162] را کسب کنیم[163]، و بخاطر داشته باشیم که کنترل بر واکنش شیمیایی بر همین سطح درونی امکانپذیر است.

بدیگر سخن، ما توانسته‌ایم تا با ترکیبی از فلزگزینی[164] و ماده‌ی ارگانیک گزینی[165]، ساختارهای شیمیایی‌ای تنظیم‌شونده[166] مهندسی کنیم[167]. طرح آرشیتکتی ساختارها نیز با درنظرگرفتن فواصل اتمی و تناوب عناصر در سویه‌هایی گوناگون[168]، بما تنظیم‌شوندگی

154

Metal organic frameworks

155

Singh, Lakhveer, and Ghosh, Pooja, and Kumar, Smita, S. Metal Organic Frameworks for Environmental Sensing. American Chemical Society, 2022.

156

Metal atoms are bound together using organic molecules

157

They ligate the metal atoms to create a network or a framework

158

Wang, Bo. Hybrid Metal Organic Frameworks and Covalent Organic Framework Polymers. Royal Society of Chemistry, 2021.

159

Atoms occur at various apices or vertices

160

That achieves connectivity

161

Network affect is achieved through these organic molecules that are particularly inclined to want to bind selectively to the metals

162

Kaskel, Stefan. The Chemistry of Metal Organic Frameworks: Synthesis, Characterization and applications. Wiley – VCH, 2016.

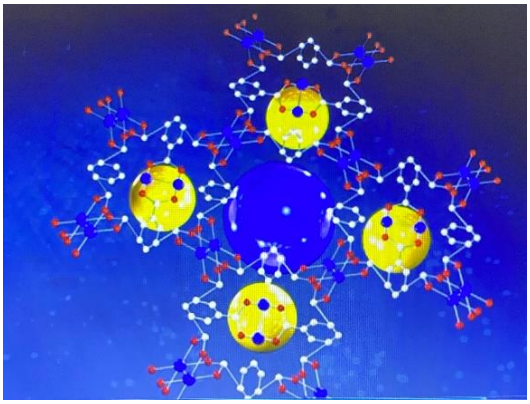
163

Achieve an exceptionally high inner surface

164

Metal selection

بسیار قدرتمند شیمیایی‌ای[169] می‌دهد تا قادر باشیم ملکول‌های هیدروژن را بر روی سطوح درونی آن ساختارها انباشت کنیم. این انبارها هیچگونه حجم مرده‌ای ندارند، بدین مفهوم که اگر ما بخواهیم گازی مانند هیدروژن را در کپسولی انباشت کنیم، بیشتر حجم آن کپسول (میان ملکول‌ها) بقول قدیمی‌ها "پر از خالی" است. در حالیکه در این چارچوب‌های ارگانیک فلزی[170]، حجم مرده‌ای وجود ندارد، و چگالش و فشردگی مواد در بالاترین حد ممکن است[171].



اینجا پرسش این است که هنگامیکه ما تاثیرات شیمیایی را برای پیوند ملکول‌های هیدروژن به سطوح درونی چنین چارچوب‌های ارگانیک فلزی بکار می‌گیریم، آیا آنها، در آنجا، بنحوی بازگشت‌ناپذیر گیر کرده‌اند؟ در واقع در این حوزه‌ی مشخص، دانشمندان نانو جذب شیمیایی[172] را از جذب فیزیکی[173] متمایز می‌کنند[174]. اغلب و عموما، در علم شیمی و در علم فیزیک، جذب شیمیایی[175] بمفهوم آن است که نوعی بست (پالهنگ یا افسار[176]) بین دو ملکول و یا بین تک‌ملکولی با سطحی وجود دارد. اما جذب فیزیکی[177]

165

Organic material selection

166

Tunable chemical structures

167

Singh, Lakhveer, and Ghosh, Pooja, and Kumar, Smita, S. Metal Organic Frameworks for Carbon Capture and Energy. American Chemical Society, 2022.

168

Atomic spacing and periodicity in all directions

169

Very powerful chemical tunability

170

Metal organic frameworks

171

Gulati, Shikha. Metal Organic Frameworks as Catalysts. Springer, 2022.

172

Chemisorption

173

Physisorption

174

Steric Effect in the Chemisorption of Vibrationally Excited Methane on Nickel. Springer, 2012.

175

Kaskel, Stefan. The Chemistry of Metal Organic Frameworks: Synthesis, Characterization and applications. Wiley – VCH, 2016.

176

A tether

177

اغلب استناد و اشاره به نشستن ملکولی بر سطحی دارد. میزان انرژی جذب فیزیکی بسیار ناچیز است، و بر روی آن سطح، فضایی یا مکانی موجود است تا ملکول بر آن بنشیند، و چنین جذبی در واقع پیوندی با میزان بالایی از انرژی نیست و در نتیجه، در این مورد مشخص، برداشت سوخت هیدروژنی[178] از آن سطح، بسیار ساده است. بدیگر سخن اینکه مانع انرژی بالایی[179]، برای رهایی هیدروژن موجود نیست.

پرسش دیگر این است که محدودیت ما چیست؟ یا میزان پیشروی ما چقدر است؟ تا چه میزانی هیدروژن می‌توانیم انباشت کنیم؟ آیا می توانیم ملکول هیدروژن را بر اتم‌هایی که نیم‌نانومتر از هم فاصله دارند، انباشت کنیم؟ پاسخ اینکه چارچوب‌های ارگانیک فلزی[180] بسیار نویدبخش هستند، اما خواص بنیادین[181] خود هیدروژن را نمی‌توان نادیده گرفت[182]. گذار بسیار مشخصی برای این گاز به فاز مایع موجود است که محدودیتی چگالشی[183] ایجاد می‌کند. ما قادر نیستیم که از محدودیت‌های طبیعی چگالی[184] این طبقه از ملکول‌ها عبور کنیم[185]. در عوض کوشش و تلاش ما، رویکردی برای هرچه نزدیک‌ترشدن به محدودیت‌ها از طریق بکارگیری همان ساختارها، همان گزینه‌ها، و واکنشگری شیمیایی همان پهنه‌ی مرزی سطوح[186] و حدفاصل‌هاست[187].

خوب، آنچه را در دو فصل گذشته‌ی "سفر به ریزها" نوشتم در مورد انباشت و آزادسازی انرژی بود، و اشاره داشتم که مهارت‌های مقیاس نانویی، بما درجاتی از آزادی می‌دهد تا گزینه‌های‌مان را بی‌نهایت افزایش دهیم. با چنان توانایی‌ها، ما می‌توانیم سطوح مواد، یا ساختارها را کنترل‌کرده به حداکثر برسانیم تا میزان چگال انرژی را افزایش دهیم[188]. بدیگر سخن، مانند کاتالیز، ما قادریم برخی ملکول‌هایی مشخص را نسبت به دیگر ملکول‌ها سویه‌مند سازیم[189]. بدینوسیله ما اطمینان حاصل می‌کنیم که هنگام برخورد ملکول‌ها با یکدیگر، آنها با زاویه‌ای مشخص که بیشترین بازده دلخواه و مناسب برای ما را می‌دهند، اتفاق بیفتد. ما با روش‌های فن‌آوری نانو، گزینه‌مندی بدست آورده‌ایم. با توانایی‌هایی نانویی، ما قادریم ساختارهایی برای مواد مهندسی کنیم تا تاثیر و ممانعت فضایی[190] داشته

Condon, James, B. Surface Area and Porosity Determinations by Physisorption: Measurement, Classical Theory and Quantum Theory. Elsevier Science, 2006.

178 Hydrogen fuel

179 A large energy barrier

180 Metal organic frameworks

181 Fundamental properties

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

183 Density limit

184 Intrinsic limits on the densification of this class of molecules

185 Withers, N. Fuel Cells: Catalysis in the Cheap. Nature Chemistry, 2009.

186 Gawande, Manoj, B. and Mustansar, Chaudhery, and Yaumachi, Yusuke. Surface Modified Nanomaterials for Applications in Catalysis. Elsevier, 2022.

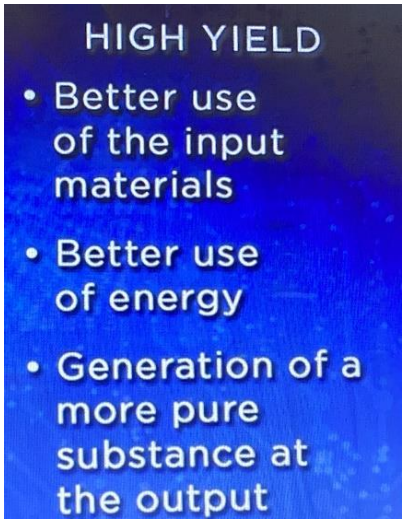
187 Utilizing the structuring, the selectivity, and the chemical reactivity of the interfaces

188 Gulati, Shikha. Metal Organic Frameworks as Catalysts. Springer, 2022.

189 Gulati, Shikha. Metal Organic Frameworks as Catalysts. Springer, 2022.

190

باشیم، یعنی اندازه‌ی فضایی ملکول‌ها را طراحی و کنترل کنیم[191]. در نتیجه، با کنترل اندازه‌ی حفره‌ها، ما ورودی و خروجی واکنش‌های شیمیایی را مهندسی می‌کنیم[192]. بنابراین در نهایت، ما قادر هستیم میزان بازده[193] خود واکنش شیمیایی را مهندسی کنیم تا مناسب‌ترین باشد. بازدهی بالا[194] می‌تواند به مفهوم بهترین استفاده از مواد ورودی[195]، مقرون به صرفه‌ترین استفاده از انرژی[196]، و مرغوب‌ترین و خالص‌ترین موادی خروجی[197]، باشد[198].



یکی از فرصت‌های هیجان‌آور در تلاش‌های کاتالیزی، که البته موضوع کندوکاو و پژوهش نیز بوده‌است و کماکان نیز ادامه دارد، بهره‌گیری از کنترل نوری[199] می‌باشد. این یعنی انتقال انرژی به واکنش‌هایی شیمیایی با بکارگیری نور، که اغلب نور بسیار خالص لیزر بوده‌است. چنین تلاشی در واقعیت کندوکاوی در بخش‌های سازنده‌ی دنیای نانو[200] می‌باشد[201]. توانمندی دانشمندان علم نانو[202]

Steric effect and steric hindrance
191

Yadav, Veejendra, K. Steric and Stereoelectronic Effects in Organic Chemistry. Springer, 2021.
192

Engineer the inputs and outputs of chemical reactions
193

Yield
194

High yield
195

Best use of the input materials
196

Cost effective use of energy
197

Purest substance at the output
198

Ahmad, Awais, and Verpoort, Francis, Ahmad, Ikram, and Tabassum, Sobia. Nanomaterial-Based Metal Organic Frameworks for Single Atom Catalysis. Elsevier, 2023.
199

Optical control
200

An exploration into the building blocks of the nanoworld
201

Larmine, J. and Dicks, A. Fuel Cell Systems Explained. Wiley, 2003.

در بکارگیری الکترون‌ها، اتم‌ها و ملکول‌ها، و بهره‌گیری از درهم‌کنش‌های آنها با فوتون‌ها، و سپس استفاده‌ی گزینشی[203] از نور لیزر (همچون چاقوی جراحی) برای شکستن پیوندها[204]، دنیای علم امروزی را هر روزه گسترش می‌دهد[205]. چنین تلاش‌هایی نمونه ی نوعی کنترل و توانمندی در مهندسی مقیاس نانوست[206]، و نتیجه‌ی آن کوشش‌ها، استفاده‌ای بهینه‌تر از مواد و مقرون به صرفه‌تر از انرژی برای مقاصد علمی[207] می‌باشد.

وقت و روزگار خوش. دانا و توانا باشید.

ر. رخشانی[208]

202

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

203

Selective use of laser light

204

To sever the bonds

205

Gates, Bruce, C. Catalysis: Individual Nanoparticles in Action. Nature Nanotechnology 3, 2008.

206

Engineering control at nanoscale

207

Improved use of materials and energy for scientific purposes

208

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