نامه علوم پایه، شماره‌های ۲ و ۳ (تابستان و پائیز ۱۴۰۰)، صفحات ۲۶۱ - ۲۵۶

دنیای شیمی

مروری بر پژوهش‌های علمی و فناوری‌های حال و آینده

مسعود میرزائی[۱] و محمد کوتی[۲]

پیشنهاد می‌شود که خوانندگان برای اطلاع از آخرین تحقیقات لبه مرزی در حال انجام در پیشرفته‌ترین آزمایشگاه‌ها ده رفرنس مهم و عنوان‌های پُرتکرار انتهای این نوشتار را با دقت و حوصله مطالعه فرمایند. در کشورمان ایران که در حال طی کردن درجات رشد و تعالی است اگر از پژوهش‌هایی که در حال اجرا است و تحقیقات آزمایشگاهی در جهان غافل شویم بسیار عقب می‌افتیم و امکان جبران وجود نخواهد داشت. این موضوع اهمیت ویژه مطالعه در زمینه‌های علمی را نشان می‌دهد. امید است معرفی این رویدادها و پژوهش علمی برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی و پژوهشگران جوان مفید بوده، راهنمایی برای پیشنهاد طرح‌ها و اجرای پژوهش‌های مهم در کشور باشد.

رویدادها و مسائل مهم سال گذشته شیمی

- پیشرفت در زمینهٔ شیمی محاسباتی
- به‌کارگیری هوش مصنوعی در شیمی (پیش‌بینی انجام پذیری واکنش، پیشرفت واکنش)
- به‌کارگیری ربات‌ها در آزمایشگاه‌ها برای انجام واکنش‌های شیمیایی و همچنین در سایر زمینه‌های مختلف مانند پاک کردن آب، خاک و مواد رادیواکتیو.
- پیشرفت در زمینه باتری‌های یون لیتیم و همچنین در زمینه سلول‌های خورشیدی با به‌کارگیری مواد نانو.
- کاربردی شدن مواد مفید و مهم MOF..

از کاربردهای مهم این مواد ارزشمند می‌توان به تولید آب از اتمسفر اشاره کرد که این MOFهای خاص قادر هستند از هوایی با رطوبت ۲۰ درصد آب شیرین استخراج کنند و همین طور استفاده از MOF ها در جذب کربن دی اکسید با قدرت بالا.

- پیشرفت در زمینه‌های مکانو شیمی این توانایی را فراهم می‌سازد که واکنش‌هایی که به روش سنتی قابل انجام نبودند امکان پذیر شود.
- تولید هیدروژن با استفاده از کاتالیزهای ارزان قیمت مثل MgO که به راحتی و با هزینه کم از دریا و لیزر نور خورشید می‌توان آنها را تولید کرد.
- تبدیل کربن دی اکسید به مواد قابل استفاده مثل اتانول با روش‌های خاص که عملکرد آن مشابه الکترولیز است.
- به‌کارگیری مولکول‌های آلی نه چندان پیچیده به عنوان کاتالیزگر به جای کاتالیزهای فلزی.
- رشد و گسترش آموزش از راه دور که تمام جهان را زیر سلطهٔ خودش قرار داده و نقش بسیار مهمی در دنیای علم امروزی ایفا می‌کند.

مطالب یاد شده دستاوردهایی هستند که در چارچوب بحث‌های زیر قرار می‌گیرند:

- ـ نرم افزارهای محاسباتی، هوش مصنوعی، ربات‌ها ...
- ـ روش‌های تولید انرژی پاک مانند تولید هیدروژن، سلول‌های خورشیدی و باتری‌های یون لیتیم
- ـ واکنش‌های ارزشمند پاک کنندهٔ محیط زیست، مثل

۱. دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد. mirzaeesh@um.ac.ir
۲. دانشگاه شهید چمران اهواز. mahmkooti@yahoo.com

تولید آب با روش مناسب، استفاده از کربن دی اکسید برای تولید مواد ارزشمند و سایر موارد.

موارد ذکر شده از مواردی بودند که طی سال‌های گذشته آزمایشگاه‌های پیشرفتهٔ شیمی در دانشگاه‌های معتبر روی آنها سرمایه‌گذاری کرده‌اند.

- نسل بعدی فتوولتائیک‌ها مانند سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ، سلول‌های خورشیدی پروسکایت و سلول‌های خورشیدی آلی به طور کلی به عنوان "فناوری نسل سوم فتوولتائیک" نامیده می‌شود که تأثیر زیادی بر جهان خواهد داشت. به‌کارگیری فناوری فتوولتائیک به طور کلی؛ سلول‌های فتوولتائیک اجسام لایه‌ای متشکل از لایه‌های نانوساختار با قابلیت‌های متعدد شامل ذخیره سازی بار، استخراج و تبدیل نوری هستند. (۳)
- پژوهشگران عزیز کشور توجه داشته باشند که سنتز و بررسی کاربردهای مربوط به نانوذرات ناهمسانگرد که با ابعاد دقیق تعریف شده‌اند اهمیت بسزائی دارند. به منظور کاربرد دقیق و مهندسی شده نانوذرات، باید از نحوهٔ بسترنشانی آنها اطلاعات کافی داشت. اینکه چه قسمتی از نانوذره چارچوب فلز-آلی روی بستر می‌نشیند، طبق قضیه ناهمسانگردی یا همان آنیزوتروپی، تأثیر بسزائی در کاربرد فیزیکی و شیمیایی آن نانوذره دارد. (۴)
- در یکی از جدیدترین مقالات ژورنال Chemical Science گزارشِ یک جامد یونی با حجم سلول واحد بسیار بزرگ سنتز شده دیده می‌شود که عملکرد بسیار جالب و منحصر به فردی در جذب و انتخاب آنیون‌ها از خود نشان می‌دهد و از نظر ساختمانی بسیار شبیه چارچوب فلز آلی MIL-101 است اما با این تفاوت که حفره‌های به مراتب بزرگتری از خانواده چارچوب فلزآلی دارد. (۵)
- علاوه بر این موضوعات پژوهشی روز جهان، نمی‌توان گرافن، ماده‌ای شگفت با خواص منحصر به فرد، را نادیده گرفت. گرافن که یکی از آلوتروپ‌های جدید کربن است با ساختار دو بعدی استحکامی ۱۰۰ برابر فولاد دارد! پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد گرافن و مشتقات آن در حال انجام است، زیرا با توجه به خواص جالب و جذاب آن کاربردهای بالقوه‌ای در زمینه‌های مختلف می‌تواند داشته باشد. گرافن در الکترونیک، سلول‌های خورشیدی، تصفیه آب، ذخیره انرژی، ساخت کامپوزیت‌های با استحکام بالا، مهندسی پزشکی و موارد متعدد دیگر کاربرد پیدا خواهد کرد. خیلی از شرکت‌های عظیم جهانی در پژوهش‌های مربوط به گرافن و کاربرد آن در های-تک سرمایه‌گذاری هنگفتی کرده‌اند و در این مورد رقابت شدیدی وجود دارد. (۶،۷)
- زمینهٔ مطالعاتی جدید دیگری که قویاً به پژوهشگران و دانشجوهای عزیز کشور معرفی می‌شود، مکسین‌ها هستند. مکسین‌ها ساختارهای دوبُعدی لایه‌ای با فرمول شیمیایی $Mn+1XnTx$ هستند که در آن M فلز واسطه مانند تیتانیم، آنتیموان، وانادیم و... و X کربن/نیتروژن است و T نشانگر تعداد لایه در این دسته مواد است. ساختار ویژهٔ این خانواده از مواد شیمیایی منجر به بروز خواص شیمیایی و فیزیکی چشمگیر و منحصر به فرد آنها شده است. نخستین مکسین در سال ۲۰۱۱ نامگذاری شد. از خواص بارز این مواد می‌توان به رسانایی بالا و خواص مغناطیسی آنها اشاره کرد. ساختار ویژه مکسین‌ها باعث شده تا کاربرد متنوعی از شیمی تجزیه تا پزشکی، از رفع آلودگی آب تا جذب دی اکسید کربن داشته باشند. این کارایی بالا توجه دانشمندان زیادی را به خود جلب کرده به اندازه‌ای که تا امروز حدود ۳۰ مکسین به صورت تئوری و شیمیایی معرفی شده‌اند و در مقالاتِ سطح بالا در ژورنال‌های معتبر به چاپ رسیده‌اند. (۸،۹)

چارچوب‌های فلزی- آلی

امروزه تهیه ابزارها و ادوات حقیقی با تکیه بر خواص مواد از اهمیت بالایی در صنایع پیشرفته با تکنولوژی بالا برخوردار است. توانایی تهیهٔ فیلم‌های نازک از مواد گوناگون پیش شرط ورود به این حوزه است. در این نوشته سعی شده است که قدم فراتر نهاده شود و اثرهای کنترل دقیق شرایط بر خواص فیزیکی - شیمیایی فیلم‌های نازک مبتنی بر چارچوب‌های فلز-آلی بررسی و مرور شود. در دنیای مدرن مبتنی بر کوانتوم، جایگاه هر اتم در مولکول از تعریف دقیقی برخوردار است و در نتیجه این نظم، خواص و ویژگی‌های منحصر به فردی برای هر سیستم قابل دستیابی است. با در نظر گرفتن این مطلب در جدیدترین کار گروه تحقیقاتی دکتر میرزائی، اثرات نحوه چینش

دقیق اتم‌ها در شبکه مواد متخلخل موسوم به چارچوب‌های فلز-آلی یا به اختصار "ماف" حین تشکیل لایه‌های نازک و اثر آن بر برخی خواص و ویژگی‌های فیزیکی فیلم تهیه شده بررسی شد. این اثر که به نام آنیزوتروپی شناخته می‌شود به ویژگی‌هایی اشاره دارد که در ارتباط با نحوهٔ چینش اتم‌ها در جهات خاصی در فضا است. نتایج آخرین بررسی‌ها در این حوزه نشان می‌دهند که فیلم‌هایی که در تهیهٔ آنها به اثر آنیزوتروپی توجه شده است از خواص (به طور عمده فیزیکی) برتری نسبت به فیلم‌های معمولی برخوردار هستند. (۲)

https://www.sciencealert.com/2d-supersolid-has-been-produced-for-the-first-time-and-it-s-incredibly-weird

ساخت یک ماده ابرجامد برای اولین بار

فیزیکدانان برای اولین بار موفق شدند یک ماده دوبعدی ابر جامد یا super solid یک دستاورد بسیار مهم در آزمایشگاه تولید کنند. شاید خیلی دور از ذهن به نظر برسد اما این شاهکاری است که بیش از ۵۰ سال برای پژوهشگران زمان برده است. ابرجامدها مواد عجیبی هستند که اتم‌های آنها در یک ساختار منظم جامد قرار گرفته‌اند اما می‌توانند بدون اصطکاک و چسبندگی و از دست دادن هیچگونه انرژی، مانند یک ابرسیال جریان پیدا کنند! با اینکه خاصیت ابرمایعی برای هر دو ایزوتوپ He-4 و (۲۷۰°C-) He-3 در سال ۱۹۳۷ کشف شده بود اما کشف (۲۷۰°C-) اولین ماده ابرجامد تنها ۲ روز پیش در مجله معتبر Nature (Nature 596, 357-361,2021) گزارش شده است.

دانشمندان با آنالیز ایزوتوپ‌های برخی از عناصر، مثل استرانسیم و اکسیژن موجود در عاج یک فیل ماموت مربوط به ۱۷۰۰۰ سال پیش پی برده‌اند که این فیل در طول حیات ۲۸ ساله‌اش دو برابر محیط زمین جابجا شده و در چه جاهایی بوده است! هر منطقه‌ای از کره زمین دارای نسبت خاصی از Sr-87 به Sr-86 است و این نسبت در دوره‌های مختلف زمین‌شناسی تغییر می‌کند. بنابراین، از روی اندازه‌گیری مقدار این ایزوتوپ‌ها در استخوان یا موی حیوانات می‌توان پی برد که آنها در چه مناطقی به سر برده‌اند.

https://www.rnz.co.nz/news/world/449261/mammoth-journey-tusk-isotope-study-reveals-kik-s-roaming-lifestyle

چرا عنصر تکنسیم در طبیعت وجود ندارد؟

با اینکه مندلیف در سال ۱۸۶۹ در جدول تناوبی خود، متشکل از تنها ۶۰ عنصر، عنصر با عدد اتمی ۴۳ را پیش‌بینی کرده و جای آن را خالی گذاشته بود، اما ۷۰ سال طول کشید تا این عنصر کشف شود. این عنصر برخلاف بقیه عناصر در زمین یافت نشده بلکه به صورت مصنوعی و با یک واکنش هسته‌ای توسط دو دانشمند ایتالیایی ساخته شد و به همین دلیل نام تکنسیم برای آن انتخاب شد. تمام ایزوتوپ‌های این عنصر ناپایدار و پرتوزا هستند و نیمه عمر پایدارترین ایزوتوپ آن، یعنی Tc-98، یک هزارم نیمه عمر اورانیم- ۲۳۸ یا ۲/۴ میلیون سال است. بنابراین، حتی اگر این عنصر در زمین وجود می‌داشت، با توجه به سن زمین که ۵/۴ بیلیون سال برآورد شده چیزی از آن تا به حال باقی نمی‌ماند مگر اینکه بر اثر فروپاشی برخی از عناصر سنگین، مثل اورانیم، مقدار ناچیزی از آن به وجود آید. گرچه این عنصر در زمین یافت نشده اما در طیف‌های برخی ستاره‌ها تشخیص داده شده است و این نظریه را که عناصر بر اثر واکنش‌های هسته‌ای درون ستاره‌ها ساخته می‌شوند تأیید می‌کند. ضمناً تکنسیم از معدود عناصری است که بعد از عنصر سنگین‌تر زیر خود در جدول تناوبی، یعنی رنیم با عدد اتمی ۷۵، کشف شده است. عنصر رنیم، Re، در سال ۱۹۲۵، یعنی ۱۲ سال قبل از تکنسیم، توسط یک زوج شیمیدان آلمانی کشف شده است و براساس نام رودخانه راین آلمان نام آن را رنیم نهاده‌اند. البته رنیم در شیمی خیلی اهمیت دارد چون اولین ترکیبات با پیوند چهارگانه فلز-فلز توسط گروه تحقیقاتی آلبرت کاتن در سال ۱۹۶۵ از آن ساخته شده‌اند و این تابو که حداکثر پیوندهای شیمیایی بین دواتم سه است، و پاولینگ بر آن تأکید می‌کرد، شکسته شد.

پرسش اصلی و چالشی در مورد تکنسیم این است که: چرا این عنصر ناپایدار است؟ یکی از دلایل این امر فرد بودن عدد اتمی آن بیان شده است، اما چندین عنصر هم تناوب با آن نیز اعداد اتمی فرد دارند و پایدارند؛ مانند Nb و Rh و Ag به ترتیب با اعداد اتمی ۴۱، ۴۵ و ۴۷. عامل دیگر ناپایداری تکنسیم را به تعداد نوترون‌های آن نسبت داده‌اند، اما با مقایسه‌ای که بین تعداد نوترون‌های آن با تعداد نوترون‌های عناصر یاد شده باز این عامل نمی‌تواند تأثیرگذار باشد. تعداد نوترون‌های تکنسیم ۵۵ و از تعداد پروتون‌های آن ۱۲ عدد بیشتر هستند و برای سه

عنصر بالا اختلاف بین تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها در همین حدود است. تکنسیم سبک‌ترین عنصری است در جدول تناوبی که همه ایزوتوپ‌های آن رادیواکتیو هستند و اولین عنصری است که به دست انسان ساخته شده است. تا آنجا که می‌دانیم دلیل قانع کننده‌ای برای ناپایداری آن نیافته‌ایم.

ثابت شده است که ناپایداری یک عنصر به هسته آن مربوط می‌شود و اگر اطلاعات ما در مورد آرایش هسته‌ای به اندازه آرایش الکترونی اتم‌ها می‌بود شاید بهتر می‌شد علت ناپایداری عنصر تکنسیم را توضیح داد. اینکه دور تا دور تکنسیم در جدول تناوبی، عناصر پایداری قرار گرفته‌اند و در بین آنها این عنصر ناپایدار است تا حدی غیر عادی و عجیب است. البته از این شگفتی‌ها در جدول تناوبی موارد زیادی هست؛ مثلاً عنصر جیوه را در نظر بگیرید که مایع است، در صورتی که عناصر مجاور آن همه جامد هستند و دمای ذوب بالاتر از ۱۵۰ درجه سلسیوس دارند! ناگفته نماند گرچه تکنسیم قدری دیر (۱۹۳۷) وارد جدول تناوبی شده است، اما این مانع کاربردهای آن نشده، و ایزوتوپ ^{99m}Tc آن بیشترین کاربردها را در پزشکی هسته‌ای و تشخیص طبی دارد. ضمناً خواص شیمیایی و فیزیکی تکنسیم به خوبی مورد شناسایی قرار گرفته‌اند.

نوکلیدهای پایدار

فقط پنج نوکلید پایدار (2H, 6Li, 10B, 14N, 180Ta) در طبیعت می‌توان یافت که "تعداد پروتون و تعداد نوترون آنها هر دو فرد" است، البته تانتالیم ناپایدار است اما نیمه عمر طولانی دارد؛ اعداد ذکر شده اعداد جرمی یعنی مجموع پروتون و نوترون است. توجه فرمائید که عناصر مربوط به این نوکلیدها ممکن است نوکلیدهای پایدار دیگری نیز داشته باشند. در رابطه با علت ناپایداری این دسته از نوکلیدها مهم‌ترین مدلی که می‌توان به کار برد مدل لایه‌ای هسته است. طبق این مدل همانند آرایش الکترونی، نوترون‌ها در لایه‌های نوترونی و پروتون‌ها در لایه‌های پروتونی قرار می‌گیرند. لایه‌ها با تعداد مشخصی از پروتون‌ها و نوترون‌ها می‌توانند پایدار شوند که بحث مفصلی در این مورد وجود دارد. می‌توانید این بحث را به مبحث آرایش هشتایی عناصر تشبیه نمائید.

چنانچه در آرایش لایه‌ای هسته مورد نظر (مانند نوکلید تکنسیم مورد سؤال) تبدیل پروتون به نوترون (یا بالعکس) منجر به تولید آرایش پایدارتری شود آن نوکلید ناپایدار خواهد بود و با یک تباهی نگاترونی یا پوزیترونی به نوکلید پایدارتر تبدیل خواهد شد. این اتفاقی است که در اکثر نوکلیدهای فرد (پروتون)- فرد (نوترون) رخ می‌دهد. به نظر می‌رسد علت اصلی ناپایداری تکنسیم مذکور چنین باشد. چون یک نوکلید فرد-فرد است.

روش تشخیص سریع ویروس کرونای جدید؛ در یک مقاله جدید از مجله PNAS (2021, 118, No. 30, e2106724118)

راجع به کووید-۱۹ آزمایش‌های تشخیصی خیلی سریع برای جلوگیری از گسترش و شیوع ویروس را ضروری دانسته است. در این تحقیق معتبر به شکلی خلاقانه روشی با عنوان: تشخیص پیشرفته الکتروشیمیایی با هزینه پائین (LEAD) معرفی شده که در مدت زمان کوتاه ۵/۶ دقیقه و با هزینه ۱/۵ دلار به ازای هر تست ویروس مولد کرونا شناسایی می‌شود. در این روش از موادی که به آسانی قابل مونتاژ هستند، از جمله آنزیم مبدل آنژیوتانسین انسانی ۲، سرپوش گرافیت اصلاح شده و یک ویال پلاستیکی استفاده شده است. روش LEAD حساسیت قابل مقایسه با روش‌های استاندارد طلا (از نظر حد تشخیص پروتئین اسپایک ویروس) داشته و هنگامی که با استفاده از بزاق بالینی آزمایش می‌شود، عملکرد عالی نشان داده است. همچنین در این روش هیچ واکنش متقابلی با ویروس‌های دیگر مشاهده نشده و عمر مفید کیت تست در صورتی که در دمای oC4 نگهداری شود ۵ روز است.

برای شناسایی یک رشته از نشانگرهای زیستی، از حسگر یا حسگرهای زیستی می‌توان استفاده کرد که یک رشته آنالیت‌ها را با آنها اندازه‌گیری می‌کنند و بر مبنای آن می‌توانند نسبت به بیمار بودن یا نبودن یک فرد تصمیم‌گیری کنند. از آنجا که بازدم فرد بیمار زیست حسگرهای متفاوتی نسبت به بازدم فرد سالم دارد به کمک الگوریتم‌ها و الگوهای به دست آمده از این نتایج می‌توان نسبت به تشخیص بیماری بازدم فرد مجهول استفاده کرد. نکته قابل اهمیت این حسگرهای زیستی این است که تکرارپذیر بوده، قیمت پایین داشته باشند و بتوانند با پاسخ سریع جواب را زودتر در اختیارمان قرار بدهند.

شیمی اورانیم

پیشرفت در زمینه شیمی اورانیم از مسائل بسیار مهم است. چرخه سوخت هسته‌ای شامل چندین فرایند شیمیایی و فیزیکی است که برای به دست آوردن و آماده سازی اورانیم برای استفاده در یک راکتور هسته‌ای استفاده می‌شود. این فرایندها همچنین در زمینه سلاح‌های هسته‌ای و یا اهداف زیان‌آور نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. طی دهه گذشته یک تلاش تحقیقاتی قابل توجه مرتبط با ترکیبات اورانیم و چرخه سوخت هسته‌ای، از جمله ترکیبات UF_6, UF_4, UOC_S و UO_2F_2 را بررسی کرده است.

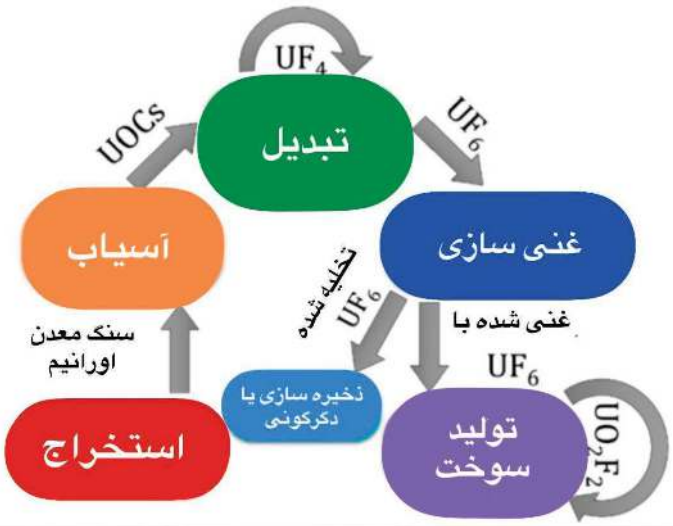
در شکل زیر ترکیبات اصلی این چرخه مشاهده می‌شود:

سنگ معدن اورانیم پس از استخراج با استفاده از فرایند شیمیایی و فیزیکی آسیاب می‌شود تا اورانیم از سایر مواد تشکیل دهنده جدا شود. به این محصول UOCS گفته می‌شود که آن را کیک زرد نیز می‌نامند و واژه UOCS به چندین ترکیب اصلی اورانیم از قبیل U_3O_8, UO_2UO_3 و... اشاره می‌کند. بعد از تولید UOC_S فرایند تبدیل آن به UF_6 مطرح است؛ به دلیل فشار بخار بالا، سهولت تصعید و اینکه فلورین فقط یک ایزوتوپ طبیعی دارد پس در فرایند غنی سازی مساعد است. در این مراحل مواد واسطه‌ای UF_4 تولید می‌شود و بسته به فرایند مورد استفاده ممکن است یکی از چندین ترکیبات حدواسط از جمله UO_2F_2 ADU و AUC تولید شود.

آخرین روش‌های تجزیه‌ای از جمله LIBS, MRS و تکنیک‌های پیشرفته طیف سنجی اشعه ایکس و نوترون از قابلیت‌های ارزشمند برای دستیابی به خصوصیات شیمیایی و فیزیکی نمونه اورانیم مربوط به قوانین حقوقی هسته‌ای بوده است. با وجود اینکه تحقیقات اخیر نتایج قابل توجهی داشته اما فرصت را برای کار بیشتر نیز باقی گذاشته است. در نتیجه با توجه به اهمیت قوانین حقوقی هسته‌ای و منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای تلاش‌های تحقیقاتی درباره اورانیم ادامه خواهد داشت. (۱)

نگاه ویژه به تحقیقات کاربردی بودجه ۲۰۲۲ دولت آمریکا

در بودجه سال ۲۰۲۲ دولت آمریکا هزینه‌های توسعه و تحقیق ۹٪ یا ۱۳/۵ میلیارد دلار افزایش نشان می‌دهد. این طرح، تأکید بر اکتشافات با بهره‌گیری از ابزارهای علمی برای مبارزه با تغییرات آب و هوایی، تقویت اقتصاد، تقویت بخش‌هایی برای مقابله با بیماری و... را ضروری می‌داند. هرچند کنگره ممکن است بخش‌هایی از آن را رد کند یا تغییر دهد، اما حمایت از طرح رئیس جمهور می‌تواند به ایجاد تعداد زیادی نهاد مالی منجر شود و نحوه سرمایه‌گذاری دولت را در تحقیقات دانشگاهی تغییر می‌دهد. درخواست بودجه رئیس جمهور معادل ۱۷۱ میلیارد دلار برای تحقیقات کاربردی است که نشان می‌دهد دولت بیشتر به فکر علم به عنوان زمینه‌ای برای حل مسائل است. طرفداران پروژه‌های تحقیقاتی، از حمایت رئیس جمهور از تحقیقات و توسعه استقبال کرده‌اند. اما بسیاری از موافقین این طرح در مورد چگونگی علمکرد این طرح نقدها و نگرانی‌هایی دارند.



ردیف	نام سازمان	درصد تغییر	بودجه پیشنهادی سال ۲۰۲۲ (میلیارد دلار)
۱	NIH	٪۲۱	۵۲
۲	NSF	٪۲۰/۲	۱۰/۲
۳	NSASA science	٪۹/۸	۷/۹
۴	DOE science	٪۵/۳	۷
۵	Agricultural research	٪۱۹	۴
۶	USGS	٪۲۴/۸	۱/۶
۷	NIST research	٪۱۶/۵	۰/۹
۸	EPA science	٪۱۳/۹	۰/۸
۹	NOAA research	٪۲۶	۰/۷
۱۰	Defense basic science	٪-۱۰/۹	۲/۴

در جدول بالا درصدهای نرخ بودجه رئیس جمهور در سال ۲۰۲۲ و تغییرات آن نسبت به قبل را می‌بینید.

هرچند مقایسهٔ کشورها، با توجه به مقتضیات اقتصادی، سیاسی و اجتماعی متفاوت آنها، در تخصیص بودجه کار آسانی نیست ولی افزایش بودجهٔ مراکز پژوهشی آمریکا نشان می‌دهد که چقدر توسعهٔ علمی از نظر دولت اهمیت دارد. امید است دولتمردان و سیاست‌گذاران کشورمان نیز به نقش بی‌بدیل توسعه علمی در آینده کشور توجه بیشتر و جدی‌تری نشان دهند.

منابع:

1. Inorg. Chem. 2021, 60, 8347-8367. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.0c03390
2. Inorg. Chem. Front., 2021, 8, 3581-3586. DOI: 10.1039/d1qi00300c
3. Nano Energy, 2020, 70, 104480
4. Nature Reviews, 2021, 5, 21-45
5. Chem. Sci., 2021, Advance Article
6. Appl. Sci. 2021, 11, 3028.
7. Appl. Sci. 2021, 11, 614.
8. Nano Today, 2020, 30, 100803
9. ACS Nano, 2018, 12, 10, 10518-10528