

این فایل ویراستاری نشده و جهت مشاهده متن کامل مقاله است. جهت
استناد استفاده نشود، فایل ویراستاری شده در نوبت انتشار مقاله در دسترس
قرار خواهد گرفت

ساده، غیر فایلی انتشار

مروری بر مأموریت ها و دستاوردهای مهم آزمایشگاههای ملی ایالات
متحده آمریکا

پایه نهم
فناوری و علم
پایه نهم
فناوری و علم
پایه نهم
فناوری و علم

دشواری مطالعات، امکانات و تخصص های پراکنده در سطح دانشگاهها و مراکز صنعتی جهت پاسخگویی به نیازهای جدی و یا جهت غلبه بر چالش های بزرگ سرآغاز پیدایش آزمایشگاههای ملی بوده است. اگر چه آزمایشگاههای ملی در سراسر دنیا و به ویژه در کشور های پیشرفته ایجاد شده است ولی ایالات متحده آمریکا از حدود ۷۵ سال پیش اقدام به تشکیل ۱۷ آزمایشگاه ملی در سراسر کشور نموده است که نقش مهمی در تحولات علمی و فناوری آن کشور داشته اند. هدف از این نوشتار بررسی نقش آزمایشگاههای ملی هفده گانه آمریکا در توسعه علم و فناوری □ ماموریت ها و دستاوردهای مهم آنها می باشد. آزمایشگاههای ملی هفده گانه آمریکا محل فعالیت دانشمندان برجسته □ مهندسان نخبه □ کادر فنی ماهر و محل استقرار تجهیزات و امکانات پیشرفته و گرانبهائی است که تهیه و تکرار آنها نیز از توان دانشگاههای آن کشور خارج می باشد. دانشمندان آزمایشگاه ملی آمریکا نه تنها تاکنون مفتخر به دریافت بیش از ۸۰ جایزه نوبل شده اند بلکه در مواردی دستاوردهای آنها نیز سرنوشت برخی جنگ ها را تغییر داده است و سبک زندگی و نحوه تعامل جدیدی را برای جامعه بشری به ارمغان آورده است. آزمایشگاههای ملی آن کشور علاوه بر پرداختن به ماموریت های مهمی که در حوزه های علم و فناوری بر عهده دارند پروژه های دانشگاهی و صنعتی را پشتیبانی می نمایند □ در پرورش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان برجسته مشارکت دارند □ به دولت و آژانس های مختلف در شرایط اضطراری کمک می کنند □ در انتقال فناوری به بخش های صنعتی و بازار فعالند □ به پیشرفت علوم بنیادی و تلفیق آن با حوزه های فناوری متعهدند و منابع و راه حل های مهمی برای مقابله با چالش های ملی و بین المللی را فراهم می نمایند.

واژگان کلیدی: آزمایشگاه ملی ماموریت گرا. علم و فناوری. دانشمندان برجسته. تجهیزات و امکانات پیشرفته. تسهیلات کاربر ملی.

An overview of the missions and important achievements of the US national laboratories

The difficulty of scattered studies, facilities and specializations at the level of universities and industrial centers to meet serious needs or to overcome great challenges has been the beginning of the emergence of the national laboratories. Although national laboratories have been established around the world, especially in developed countries, the United States of America has established ۱۷ national laboratories throughout the country for about ۷۵ years, which have played an important role in the scientific and technological developments of that country. The purpose of this article is to review the role of ۱۷ US National Laboratories in the development of science and technology, their missions and their important achievements. The US Seventeen National Laboratories is home to leading scientists, elite engineers, skilled technical staff, and the location of advanced and expensive equipment and facilities that are beyond the capacity of American universities. Scientists at the American National Laboratories have not only been honored to receive more than ۸۰ Nobel Prizes, but in some cases their achievements have changed the fate of some wars and brought a new way of life and interaction to human society. In addition to addressing important missions in science and technology, US National Laboratories support academic and industrial projects, train the next generation of leading scientists and engineers, and assist the government and various agencies in emergencies, assist in the transfer of technology to industrial sectors and active markets, commit to the advancement of basic science and its integration with the fields of technology, and provide strategic resources and solutions to meet national and international challenges. However, the point that should not be overlooked is that the creation and operation of such a large infrastructure requires the overcoming of major obstacles, challenges and constraints.

Keywords: National laboratories, Science and technology, Outstanding scientists, Advanced equipment and facilities, National user facilities.

سراغزپیدایش آزمایشگاه های ملی که حاصل یک سرمایه گذاری عظیم در تحقیقات علمی و فناوری است به بحبوحه جنگ جهانی دوم برمی گردد. در سال ۱۹۴۳ و چهار سال پس از آغاز جنگ جهانی دوم فعالیت آزمایشگاه لوس آلاموس با هدف پاسخگویی به نیازهای نظامی و انجام پروژه منهن^۱ آغاز شد [۱]. در واقع دشواری مطالعات مقدماتی پراکنده در دانشگاههای سراسر آن کشور به تصمیم گیرنده گان آمریکایی نشان داد که برای رسیدن به چنین هدفی نیاز به ایجاد تشکیلات مستقلی است که تجهیزات و فعالیت های آن در خدمت این هدف مهم بکار گرفته شود. برای نیل به چنین هدفی دانشمندان برجسته و از جمله تعداد زیادی از برنده گان جایزه نوبل جهت کار به سرپرستی دانشمند آلمانی تبار آمریکایی، رابرت اوپنهايم^۲ که فیزیکدان نظری و استاد دانشگاه برکلی بود دعوت شدند. دانشمندان و مهندسان پروژه مذکور طی ۲۷ ماه به دستاورد و محصول نهایی دست یافتند. این آزمایشگاه که در اول ژانویه سال ۱۹۴۷ رسماً آزمایشگاه علمی لوس آلاموس نامیده شده بود در سال ۱۹۸۱ به آزمایشگاه ملی لوس آلاموس^۳ تغییر نام داد [۲]. از اینرو آرگون که یک آزمایشگاه چند منظوره در حوزه علوم و انرژی است و تحت مدیریت دانشگاه شیکاگو اداره می شود اولین آزمایشگاه ملی ایالات متحده امریکا است که در سال ۱۹۴۶ تاسیس شده است [۳]. در سال ۱۹۵۲، آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور^۴ نیز تاسیس گردید تا به عنوان "رفیب" لوس آلاموس عمل نماید. با این امید که رقابت تنگاتنگ این دو آزمایشگاه باعث خلق نوآوری های مهمی گردد. با پایان جنگ سرد و با تغییر شرایط سیاسی و بین المللی، هر دو آزمایشگاه تمرکز خود را عمدتاً به سمت مأموریت های غیرنظامی معطوف داشتند [۴]. در دهه ۱۹۵۰ لوس آلاموس با توسعه تجهیزات فلوسیتومتری که در مطالعات پزشکی مهم می باشد دستاوردهای مهمی را به جهان عرضه داشت. در سال ۲۰۰۸ نیز دانشمندان آزمایشگاه ملی لوس آلاموس از امواج صوتی برای تشخیص دقیق تومورهای کوچک سرطان پستان که ماموگرافی سنتی نمی توانست آنها را تشخیص دهد به خوبی استفاده کرده اند. همچنین در سال ۲۰۱۰ دانشمندان بیوفیزیک این آزمایشگاه سه واکنش مهم بر علیه ویروس نقص ایمنی انسانی ساختند که جامعه علمی را برای مقابله موثر با ویروس ایدز امیدوار ساخت. در سال ۲۰۱۷ نیز محققان آزمایشگاه ملی لوس آلاموس دستاورد مهمی در توسعه سوخت های زیستی ارزان تر و تمیزتر و تولید انرژی تجدید پذیر داشته اند. همچنین دانشمندان این آزمایشگاه در تولید نوع خاصی از هواپیما که تهدید های زیستی را از آسمان تشخیص می دهد نقش مهمی داشته اند. امروزه آزمایشگاه ملی لوس آلاموس که در یک گستره حدود ۵۵۰۰ هکتاری بنا شده است به یکی از مراکز علمی و فناوری بزرگ جهان تبدیل گردیده که در حوزه های مختلفی همچون امنیت ملی، اکتشافات فضایی، همجوشی هسته ای، انرژی های تجدید پذیر، پزشکی، فناوری نانو و ابر رایانه فعالیت های چشمگیری دارد. همچنین در شرایط حاضر آزمایشگاه ملی لوس آلاموس بزرگترین مرکز علمی و فناوری در شمال نیومکزیکو و یکی از کارفرمایانی مهمی است که تقریباً ۸۷۶۲ عضو ثابت تمام وقت، ۱۶۱۳ دانشجو، ۴۵۲ محقق پسا دکتری، ۵۰۵ پیمانکار، ۱۱۴۳ کارگر و ۲۷۷ نیروی نگیهان دارد. علاوه بر این، حدود ۱۲۰ کارمند وزارت نیرو نیز در این آزمایشگاه مستقر هستند تا وظیفه نظارتی دولت فدرال را بر فعالیت های آن اعمال نمایند [۵]. تقریباً یک سوم اعضای کادر متخصص آزمایشگاه ملی لوس آلاموس را فیزیکدان، یک چهارم آن را مهندس، یک ششم شیمیدان و دانشمند علم مواد و بقیه را دانشمندان و متخصصین حوزه های ریاضی و علوم محاسباتی، زیست شناسی، علوم زمین و سایر رشته ها تشکیل می دهند. همچنین آزمایشگاه ملی لوس آلاموس سالانه میزبان دانشمندان و دانشجویان زیادی است که به عنوان بازدید کننده و یا با هدف مشارکت در پروژه های علمی به آنجا سفر می کنند. در تاریخ ۱ ژوئن ۲۰۰۶ نیز دانشگاه کالیفرنیا پس شصت سال مشارکت مستقیم و روابط پر فراز و نشیب در سرپرستی آزمایشگاه ملی لوس آلاموس مدیریت آن را به یک شرکت خصوصی واگذار نمود و در سال ۲۰۱۶ بودجه سالانه این آزمایشگاه حدود ۲.۲ میلیارد دلار بوده است [۵].

هدف از تشکیل آزمایشگاه های ملی

آزمایشگاه های ملی هفده گانه ایالات متحده آمریکا در ابتدا با هدف تامین یک نیاز فوری و یا بلند مدت در حوزه امنیت ملی، صنعتی و یا علمی ایجاد شده اند که انجام آن از توان دانشگاهها و یا صنعت به تنهایی خارج بوده است. به مرور حوزه فعالیت آنها گسترش یافته است و اینک تجهیزات مهم و سرمایه های انسانی ارزشمندی را فراهم کرده اند که به نیاز های

^۱ پروژه تولید اولین بمب های اتمی در بحبوحه جنگ جهانی دوم

^۲ Robert Oppenheimer

^۳ Los Alamos National Laboratory (LANL)

^۴ Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)

اساسی در حوزه های مختلف علم و فناوری پاسخ می دهند. این آزمایشگاه ها که با آینده نگری و در نظر گرفتن ملاحظات جدی در گستره های جغرافیایی وسیع بنا شده اند محل فعالیت دانشمندان و مهندسان بخش های دولتی و صنعتی و کادر فنی ماهر و محل استقرار تجهیزات تخصصی و امکانات تحقیقاتی پیشرفته ای هستند که نظیر برخی از آنها در جای دیگری یافت نمی شود. در آزمایشگاه های ملی، دانشمندان و مهندسان در حال توسعه فن آوری های جدید انرژی، پیشبرد مرزهای دانش، محافظت از امنیت ملی، ایجاد صنایع جدید و پرورش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان هستند که استمرار مرجعیت جهانی آن کشور در علم و نوآوری را تضمین می کند. امکانات کم نظیر و پیشرفته ای که در این آزمایشگاهها وجود دارد پروژه های هم دانشگاهی و هم صنعتی را پشتیبانی می نماید [۶، ۷، ۸]. همچنین دولت آمریکا و آژانس های مختلف آن کشور در شرایط اضطراری برای حل مشکلات به آزمایشگاههای ملی رجوع می کنند و این آزمایشگاه ها محل خلق فناوری های مهم □ نافذ و تاثیرگذار و تولیدات علمی فاخری هستند که به علم بزرگ معروف^۶ می باشد [۹]. در این آزمایشگاهها دانشمندان نخبه و پیشرو و آنچه که مغزهای طلایی^۷ خوانده می شود از سراسر جهان جلب و جذب می شوند و به مهمترین تجهیزات با فناوری بالا دسترسی دارند. اغلب آزمایشگاههای ملی آمریکا علاوه بر خلق فناوری و انتقال آن به بخش های صنعتی و بازار در حوزه علوم و به ویژه علوم پایه به شدت فعال و پیشرو می باشند زیرا سیاستگذاران علمی آن کشور معتقدند که بدون تقویت جایگاه علوم پایه امکان پرورش دانشمندان و مهندسان برجسته در حوزه فناوری وجود ندارد. در همین راستا در کنار اکتشافات بزرگ علمی، نوآوری در عرصه فناوری های مهم و ارائه خدمات پژوهشی به دانشگاهها و بخش های صنعتی □ از دیگر تعهدات اساسی آزمایشگاههای ملی آمریکا آموزش و پرورش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان پیشرو است [۱۰].

دستاوردهای برجسته آزمایشگاههای ملی طی هفت دهه گذشته

بیش از هفتاد سال است که آزمایشگاههای ملی آمریکا به عنوان نهاد برجسته نوآوری در علم و فناوری به این کشور خدمت کرده اند. آزمایشگاههایی که در آغاز با اهداف امنیت ملی تشکیل شدند اینک به گل سرسبد تحقیق و توسعه در حوزه ها مختلف تبدیل شده اند. هفده آزمایشگاه ملی وزارت نیروی آمریکا با چالش های مهمی که اغلب حل آنها به تنهایی از توان بخش های صنعتی و دانشگاهها خارج است مقابله می کنند و در این راستا تاکنون حل معضلات اساسی را در کارنامه خود دارند. از مبارزه با تغییرات آب و هوایی گرفته تا توضیح علمی منشا پیدایش جهان و تولید تجهیزات و امکانات منحصر به فرد □ همگی از دستاوردهای آزمایشگاههای ملی آن کشور بوده است. این آزمایشگاهها اغلب با رویکردی چند منظوره^۸ که بر ترجمه علوم پایه به نوآوری تأکید دارد قدرت علمی و فناوری آمریکا هستند که با برخی از چالش های بزرگ جهانی مقابله می کنند. طی هفتاد و پنج سال گذشته آزمایشگاه ملی وزارت نیروی آمریکا در خلق اکوسیستم نوآوری و انجام تحقیقات پیشرو سهم زیادی داشته اند [۱۱]. دانشمندان آزمایشگاه ملی نه تنها مخترعانه دریافت بیش از ۸۰ جایزه نوبل شده اند بلکه دستاوردهای شان سرنوشت برخی جنگ ها را تغییر داده است و سبک زندگی و نحوه تعامل جدیدی را برای جامعه بشری به ارمغان آورده است. در کنار تلاش های تاثیرگذار در حوزه علم و فناوری □ دانشمندان آزمایشگاه ملی همچنین هر ساله بیش از ۱۴۰۰۰ مقاله علمی نیز منتشر می کنند که بر اساس گزارش^۹ WOS در سال ۲۰۱۹ تعداد ۴۵۶ مورد آنها از نوع پر استناد بوده است. تعداد اکتشافات و نوآوری های آزمایشگاههای ملی در حوزه علم و فناوری لیست طولانی است که برخی از آنها در ادامه معرفی می شوند. کشف ۲۲ عنصر جدول تناوبی □ تعیین ساختار بیش از ۱۰۰ هزار پروتئین به روش کریستالوگرافی □ تحول اساسی در کامپیوترها و اینترنت □ مشارکت در قرار دادن اولین ماهواره ها در آسمان □ تهیه نقشه سه بعدی آسمان و ۴۰۰ میلیون جرم آسمانی □ ایجاد تحول بزرگ در سیستم های راداری □ تایید فرضیه انفجار بزرگ و کشف انرژی تاریک □ طراحی فناوری های تصویربرداری برای تشخیص سرطان □ رمز گشایی از DNA و انجام پروژه ژنوم انسانی □ ایجاد اولین میدان مغناطیسی ۱۰۰ تسلا □ ابداع خطوط کارآمد انتقال برق □ تولید آلیاژهای مناسب برای ساخت موتور های با دوام و کارآمد □ توسعه فناوری تهیه آب آشامیدنی سالم □ کشف دهها راز باستانی با فناوری پرتوهای ایکس □ تولید فولاد سبک □ تولید باتری های مدرن □ کشف نوترینو^۹ و ایجاد تحول بزرگ در اختر فیزیک □ کشف

^۸Big Science

^۷Golden Brain

^۶Multiprogram Laboratory

^۵Web of Science

^۴ Neutrino

کلسترویل خوب و بد □ کشف فتوسنتز در گیاهان □ تولید سوخت های زیستی □ تولید رادیوایزوتوپ برای تشخیص و درمان بیماری □ کشف اجزای تشکیل دهنده پروتون و نوترون □ تولید آلیاژهایی مستحکم و انعطاف پذیر برای صنایع خودروسازی و دهها دستاورد علمی و فناوری مهم دیگر همگی در کارنامه هفتاد و پنج ساله آزمایشگاههای ملی آن کشور می درخشند [۱۱].

مدیریت و پشتیبانی آزمایشگاههای ملی

دولت ایالات متحده سرمایه های انسانی ارزشمند و استعدادهای بزرگ علمی و مهندسی را در کنار تجهیزات و امکانات بی نظیر جهانی و با مأموریت های مشخص در غالب هفده آزمایشگاهی ملی گرد آورده است و سرپرستی آنها را به وزرات نیرو^{۱۰} واگذار نموده است. آزمایشگاه های ملی در مجموع یک نیروی کار متخصص توانمند در رده جهانی متشکل از تقریباً ۷۰۰۰۰ نفر را به کار می گیرند که حدود نیمی از آنها دانشمند و مهندس و تعداد زیادی نیز محققان دکتری و پسادکتری هستند. این نیروی کار با استعداد های منحصر به فرد با جهت گیری های علمی و مأموریت های مشخص دارای های فکری بزرگی را تشکیل می دهند که به طور مداوم راه حل های ابتکاری را برای رفع برخی از پیچیده ترین مشکلات ارائه می دهند. بودجه آزمایشگاههای ملی آمریکا که بوسیله دولت فدرال تامین می شود در سال ۲۰۱۴ حدود ۱۴,۳ میلیارد دلار بوده است. اگر چه وزرات نیرو وظیفه نظارت و سرپرستی این آزمایشگاهها را بر عهده دارد ولی استخدام نیرو و اداره آنها به دانشگاهها، پیمانکاران بخش خصوصی و گاه بوسیله آنچه که به مثلث آهن^{۱۱} (شامل صنعت، دانشگاه و حوزه نظامی) معروف است واگذار شده است. به واسطه مشارکت دانشگاهها در اداره آزمایشگاههای ملی آنها با تاسیسات و امکانات پژوهشی بی نظیر در چندین مکان، برخی در نزدیکی دانشگاه ها و برخی به دلایل امنیتی در جاهای دور ایجاد شده اند. آزمایشگاههای ملی آمریکا در مالکیت دولت هستند ولی بوسیله پیمانکار اداره می شوند. این مدل مدیریتی دولتی-پیمانکار (GOCO)^{۱۲} دارای انعطاف پذیری و بهره برداری بالایی است و تحقیقات زیادی نشان می دهد که کیفیت بسیار تحسین شده علوم و فناوری آزمایشگاه های ملی آن کشور به واسطه بکارگیری موثر مدل مذکور نیز بوده است [۱۲]. پیش بینی می شود پیمانکار بخش خصوصی بهترین روش ها را به ویژه برای مدیریت پرسنل و تحقیقات به آزمایشگاه های ملی ارائه دهد. شیوه های مدیریت کارکنان بخش خصوصی، از جمله حقوق و مزایای رقابتی، به پیمانکاران اجازه می دهد تا بهترین استعدادها را از سراسر جهان جذب و حفظ کنند. همچنین وزارت نیرو مأموریت و اهداف سطح بالای آزمایشگاههای ملی را مشخص می کند و به پیمانکار آزادی عمل می دهد تا بهترین روش ها را برای دستیابی به آنها تعیین کند. در آخر نیز وزارت نیرو عملکرد پیمانکار را به طور سالانه رصد می کند و عملکرد های برتر را از طریق سازوکارهایی همچون تمدید مدت قرارداد مداوم می بخشد. روسای آزمایشگاههای ملی هفده گانه نیز شورای مدیرانی ایجاد کرده اند که به عنوان یک نهاد مستقل اقدامات را هماهنگ می کند و به بخش انرژی و سهامداران آزمایشگاههای ملی مشورت می دهد.

مأموریت های مهم آزمایشگاهی ملی

مأموریت های مهم آزمایشگاهی ملی هفده گانه آمریکا کشف علوم و گسترش مرز های دانش، تامین امنیت و استقلال انرژی، بالا بردن توان اقتصادی و رقابت پذیری جهانی و کمک به ارتقای امنیت ملی آن کشور است. به طور مستمر محققان آزمایشگاه های ملی به یافته های مهمی در علوم پایه دست می یابند که مرزهای دانش را توسعه می دهد و پایه و اساس نوآوری آن کشور را فراهم می کند. از باز کردن قفل اتمی انرژی تا نقشه برداری از ژنوم انسان و گسترش مرزهای فناوری نانو، دانشمندان آزمایشگاههای ملی راهگشای دستیابی به موفقیت های مهم بوده اند و توسط همتایان خود به عنوان مرجع علم جهانی شناخته می شوند. با تحقیق در مورد تعداد زیادی از فناوری های جدید نسل بعدی، آزمایشگاه های ملی کلید استراتژی انرژی و فناوری های حساس و پیشرو را در دست دارند و باعث پیشرفت و استقلال انرژی و توانمندی های نظامی آن کشور

نوترینو یک ذره بنیادی از نظر الکتریکی خنثی است که تحت تأثیر نیروهای الکترومغناطیس قرار نمی گیرد و با سرعتی نزدیک به سرعت نور حرکت می کند. این ذره بنیادی از درون مواد تقریباً بدون هیچ برهمکنشی عبور نماید.

^{۱۰} Department of Energy (DOE)

^{۱۱} Iron Triangles

^{۱۲} GOCO (Government Owned/Contractor Operated)

می شوند. از توسعه فن آوری حفاری افقی و مته که به جرعه رونق نفت و گاز داخلی کمک کرده است تا توسعه فناوری های حیاتی مرتبط با وسایل نقلیه الکتریکی، صفحات خورشیدی و توربین های بادی همگی مرزهای فناوری انرژی آن کشور را گسترش داده اند. با شروع پروژه منهن، ماموریت ماندگار آزمایشگاه های ملی آمریکا آن بوده است که با اطمینان از ایمنی، قابلیت بازدارندگی و امنیت ملی آن کشور را افزایش دهد و از گسترش سلاح های کشتار جمعی جلوگیری کنند. آزمایشگاههایی ملی در امنیت مرزها و در تامین امنیت داخلی آن کشور نقشی اساسی داشته اند و فن آوری های پیشرفته برای مقابله با تروریسم، شناسایی سلاح های هسته ای و بیولوژیکی و امنیت سایبری را توسعه داده اند. از طریق کشف علمی و نوآوری در فناوری ها، آزمایشگاه های ملی توانایی رقابت اقتصادی ایالات متحده را توسعه می دهند و توانایی منحصر به فرد آزمایشگاه های ملی برای همکاری با صنعت و دانشگاه از طریق موافقت نامه های تحقیقاتی، امکانات کاربری ملی و برنامه های انتقال فناوری راه حل های فن آوری را به بازار هدایت می کنند، اشتغال ایجاد می کنند و رشد اقتصادی را بالا می برند. دانشمندان بر این باورند که توسعه فناوری های جدید عامل اصلی رشد اقتصادی است و بیش از نیمی از رشد اقتصادی ایالات متحده در چند دهه گذشته را می توان به پیشرفت فن آوری و دارایی های نامشهود نسبت داد. حتی بدون تأثیر مثبت عوامل دیگر همچون کاهش تغییرات آب و هوایی و بهبود امنیت انرژی، ایجاد فناوری های جدید می تواند رفاه عمومی را از طریق رشد اقتصادی افزایش دهد. در ادامه ماموریت ها و وظایف مهم آزمایشگاه های ملی ایالات متحده آمریکا به عنوان یک مدل پیشرو و موفق تشریح می گردد.

تولید علم بزرگ و فناوری های نافذ و یافتن راه حل برای چالش های مهم ملی و بین المللی

همانطور که در فوق تشریح گردید آزمایشگاه های ملی ماموریت گرا با سرمایه های انسانی و مادی بی نظیری که در اختیار دارند محل تولید علم بزرگ و فناوری های جدی و تأثیرگذاری بوده اند که آثار آنها از مرزهای آن کشور فراتر رفته است و دایره نفوذ گسترده ای در عرصه جهانی یافته اند. همچنین این آزمایشگاهها هنگام بروز چالش های ملی و بین المللی در رفع آنها اهتمام جدی داشته اند و به عنوان مشاور بی طرف برای عبور از بحران ها و غلبه بر مشکلات به کشور آمریکا به خوبی خدمت کرده اند.

آموزش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان برجسته

امکانات و تخصص آزمایشگاه های ملی در خدمت گسترش سرمایه های انسانی و آموزش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان می باشد. تقریباً به خوبی نشان داده شده است که ساخت یک مسیر کشف و شکوفایی استعدادها سرمایه گذاری بسیار ارزشمندی است که آزمایشگاه های ملی را از سایر مراکز تحقیق و توسعه با بودجه فدرال جدا می کند [۱۳]. آزمایشگاه های ملی با در دسترس قرار دادن امکانات و توانایی های منحصر به فرد خود به همه دانشجویان و اعضای هیات علمی در همه سطوح، از توسعه توانایی نیروی کار آینده به طور جدی پشتیبانی می کنند. آنها سالانه برنامه هایی را برای بیش از ۲۵۰۰۰۰ دانشجوی، ۲۲۰۰۰ مری، ۲۹۵۰ کارآموز مقطع کارشناسی، ۲۰۱۰ دانشجوی تحصیلات تکمیلی و ۲۳۰۰ محقق پسداکتری ارائه می دهند. این برنامه ها از کارگاه های یک روزه تا همکاری در طول یک ترم تحصیلی و تا اشتغال طولانی مدت را شامل می شود. همکاری بین محققان دانشگاه و آزمایشگاه ملی از طریق تبادل پرسنل، همکاری های تحقیقاتی در سطح محقق، برنامه های تحقیقاتی مشترک و استفاده از امکانات مهم آنها انجام می شود. همکاری با آزمایشگاه های ملی این توانایی را برای دانشگاه ها فراهم می کند که به تاسیسات پیشرفته و پر هزینه ای که ایجاد و نگهداری آنها برای آنها غیر ممکن است و اغلب برای اهداف خاص ایجاد شده اند دسترسی داشته باشند. این همکاری ها فرصت هایی را برای تحقیقات بین رشته ای، توسعه حرفه ای و آموزش نیز فراهم می کند که در جای دیگری کمتر یافت نمی شود. آزمایشگاه های ملی با مویسات آموزش قرار داد پیمانکاری فرعی نیز دارند که نه تنها مسیر جدیدی برای آموزش در اختیار آنها قرار می دهد، بلکه نمایانگر جریان انتقال قابل توجهی از منابع وزارت نیرو به جامعه تحقیقات دانشگاهی است. در سال مالی ۲۰۱۴، دانشگاه ها ۹۷,۲ میلیون دلار سرمایه گذاری جهت شراکت مستقیم به آزمایشگاه های ملی اختصاص داده اند. در مجموع آزمایشگاه های ملی بیش از ۵۰۰ میلیون دلار با دانشگاه ها قرارداد می بندند و بیش از ۸۵۰۰ دانشجوی، محقق پسداکتری و هیئت علمی را به کار می گیرند. از طرف دیگر وزارت نیرو نیز بیش از ۹۰۰ میلیون دلار به طور مستقیم از طریق کمک های مالی در اختیار دانشگاه ها قرار می دهد. همه این موارد نشان می دهد که آزمایشگاه ها و دانشگاه ها در اکوسیستم تحقیقاتی ملی و ایجاد نسل بعدی نیروی کار با پشتیبانی وزارت نیرو به هم گره خورده اند. آزمایشگاه های ملی متعهد هستند تا به آموزش علوم، فناوری،

مهندسی و ریاضیات که به اختصار STEM^{۱۳} خوانده می شود به مدارس نیز کمک کنند [۱۴]. آزمایشگاههای ملی علاوه بر افزایش دانش علمی دانش آموزان آنها را برای رقابت در نیروی کار قرن ۲۱ آماده می نمایند. در همین راستا آزمایشگاه های ملی منابعی را برای دانش آموزان ابتدایی، راهنمایی و دبیرستان ایجاد کرده اند که نه تنها حوزه های علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات را برای آنها سرگرم کننده کرده است بلکه آنها را با مشاغل این حوزه ها نیز به خوبی آشنا می کند. همچنین آزمایشگاههای ملی آمریکا از طریق برگزاری تورها، سفرهای میدانی و مسابقات علمی الهام بخش نسل بعدی دانشمندان و مهندسان برای مقابله با برخی از چالش های مهم علمی جهان هستند. تعهد آزمایشگاههای ملی در آموزش و پرورش دانشمندان و مهندسان آینده از روی حضور پر تعداد و پر رنگ دانشجویان مقاطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی در آنها و بازدید تیم های دانش آموزی از این مکان های مهم به خوبی قابل دریافت است [۱۶-۱۴].

پشتیبانی از مأموریت های علمی و پژوهشی دانشگاهها و بخش های صنعتی

آزمایشگاههای ملی آمریکا محل استقرار امکانات پیشرفته و گرانقیمتی هستند که نظیر برخی از آنها در هیچ جای دنیا وجود ندارد و تهیه و تکرار آنها نیز از توان دانشگاهها و بخش های صنعتی خارج است. برای مثال آزمایشگاه های ملی دارای یک شبکه متشکل از ۳۰ ابزار و امکانات علمی مهم را ایجاد کرده اند که شاید نتوان شرکت یا دانشگاهی در ایالات متحده یا خارج از آن را مثال زد که توانایی طراحی، ساخت و بهره برداری از امکاناتی در این مقیاس و یا سرمایه های انسانی بهره برداری کننده از آنها را در اختیار داشته باشد. در بخش مرکزی امکانات آزمایشگاههای ملی چشمه های نور پیشرفته، چشمه های نوترونی، شتاب دهنده های ذرات، ابر رایانه ها، سیستم های لیزری با قدرت بالا، راکتورهای اتمی، ابزارهای پیشرفته مطالعه ساختارهای زیستی، میکروسکوپ الکترونی با وضوح بالا و برخی تاسیسات پیچیده و گرانقیمت دیگر قرار دارد. امکانات علمی در آزمایشگاه های ملی به عنوان منبعی برای جامعه تحقیقاتی آن کشور عمل می کند و بسیاری از آنها به عنوان "تسهیلات کاربر ملی"^{۱۴} تعیین شده اند که بدون دریافت هزینه در اختیار محققان دانشگاهی و صنعتی قرار داده می شوند. در کل آزمایشگاه های ملی به بیش از ۴۵۰ موسسه دانشگاهی در ایالات متحده و حتی کانادا خدمات می دهند [۱۷]. در سال ۲۰۱۹، این امکانات به حدود ۴۰۰۰۰ کاربر از دانشگاه ها و بخش های صنعتی خدمات رسانی کرده اند. همچنین در همین سال ۳۶۰۰۰ محقق صنعتی از سراسر کشور و جهان از امکانات آزمایشگاههای ملی استفاده کرده اند. این قابلیت ها در تاسیسات کاملاً تخصصی قرار دارند و توسط کادر فنی بسیار آموزش دیده اداره می شوند و از تحقیقات علمی باز و کارهای سری و طبقه بندی شده نیز پشتیبانی می نمایند. آزمایشگاه های ملی همچنین منابع خود را برای مشکلات دیگر با اهمیت ملی بکار می برند. برای مثال توانایی ها و زیرساخت های هسته ای آنها از مأموریت های فضایی سازمان ملی هوانوردی و فضایی (ناسا) پشتیبانی می کند. تخصص آنها در توسعه و بهره برداری از منابع محاسباتی پیشرفته به سایر آژانس های فدرال، نظیر بنیاد ملی علوم، اداره ملی اقیانوسی و جو و سایر آژانس ها کمک کرده است. همچنین آژانس های فدرال به جای آنکه آنها را با هزینه های زیاد تکرار کند از تخصص و توانایی های منحصر به فرد آزمایشگاه های ملی استفاده می نماید. سرانجام اینکه آزمایشگاه های ملی توانایی های فنی مهمی در اختیار دارد که آن کشور در شرایط اضطراری ملی و بین المللی از خدمات آنها استفاده می کنند. در سال ۲۰۲۰ نیز ۱۷ آزمایشگاه ملی گرد هم آمدند تا آزمایشگاه ملی مجازی زیستی^{۱۵} را تشکیل دهند و از تخصص ها و امکانات مهم خود برای حل چالش همه گیری بیماری کووید-۱۹ استفاده کنند [۱۸]. همچنین در هر رویداد مشابهی، هنگامی که دولت ایالات متحده به مشاوره فنی فوری و بی طرفانه نیاز دارد به آزمایشگاه های ملی مراجعه می کند.

انتقال نوآوری های فناوری به بازار و تقویت رقابت پذیری کشور

در هسته آزمایشگاه های ملی دانشمندان تحقیقاتی برجسته و مهندسان و کارکنان کاملاً آموزش دیده وجود دارد که نقش مهمی در ارتقای نوآوری علمی و فناوری دارند و باعث پیشرفت و رقابت اقتصادی ایالات متحده می شود و به رونق آن کشور کمک می کنند. روح نوآورانه و اشتیاق کارآفرینی در آزمایشگاه های ملی با تعداد زیادی اختراعات ثبت شده و توافق

^{۱۳} Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM)

^{۱۴} National User Facility

^{۱۵} National Virtual Biotechnology Laboratory (NVBL)

نامه های صدور مجوز که هر ساله اجرا می کنند، بیشتر اثبات می شود. آزمایشگاه های ملی با مأموریت انتقال فناوری، توانایی های فنی و دارایی های فکری را به شرکت ها، کارآفرینان و سازمان های دیگر منتقل می کنند و به آنها کمک می کنند تا بر مشکلات دشوار فنی غلبه کنند و محصولات و خدمات پیشرفته ای را بوجود آورند. آزمایشگاه های ملی همچنین زمینه های توسعه اقتصادی در سطح محلی، ایالتی و منطقه ای را تقویت می کنند و از طریق برنامه ها و سازوکارهای مختلف برای تقویت رقابت اقتصادی و رونق آینده ایالات متحده با صنعت آن کشور همکاری می کنند [۱۹]. آزمایشگاه های ملی آمریکا مدت هاست که به عنوان بستر آزمون نوآوری، توسعه و استقرار فناوری خدمت می کنند. این واقعیت با تعداد زیادی جوایز تحقیق و توسعه سالانه و تجلیل از ۱۰۰ پیشرفت نوآورانه و انتقال فناوری و تجاری سازی قابل اثبات است. در حقیقت، در پاسخ به افزایش نگرانی در مورد ظرفیت نوآورانه ایالات متحده، آزمایشگاه های ملی فعالیت های خود را افزایش داده اند تا نتایج تحقیقات را از آزمایشگاه با سرعت بیشتری به بازار منتقل کنند. در سال های اخیر شرکت های زیادی با بهرگیری از تاسیسات و تجهیزات کم نظیر آزمایشگاههای ملی در ایجاد محصولات جدید شامل دارو ها، مواد پیشرفته برای نیمه هادی ها و باتری های وسایل نقلیه، ماهواره های مخابراتی و کالاهای مصرفی استفاده کرده اند. برای مثال کمپانی جنرال الکتریک برای تولید باتری های پیشرفته سنگین از چشمه نور آزمایشگاه ملی بروکاون^{۱۶} و چشمه نور پیشرفته آزمایشگاه ملی آرگون^{۱۷} استفاده کرده است. به طور کلی آزمایشگاه ملی آن کشور با دستیابی به یافته های مهم علمی، نشان دادن سودمندی این اکتشافات در نمونه های اولیه و کار با صنعت برای انتقال سریع این فناوری ها به بازار و در نتیجه ایجاد مشاغل پردرآمد، به رونق اقتصادی ایالات متحده کمک می کنند. قدرت آزمایشگاه های ملی با سابقه اثبات شده آنها در انتقال فناوری و تجاری سازی یافته های شان قابل فهم است و این آزمایشگاه ها در بسیاری از بخش های صنعت ایالات متحده به شرکای اصلی تبدیل شده اند.

ادغام تحقیقات بنیادی و کاربردی

جاهای کمی در جهان یافت می شود که محل جمع آوری امکانات بی نظیر و سرمایه انسانی کم نظیر با تخصص های متنوع باشد که برای غلبه بر بحران ها و شرایط اضطراری توانایی بالایی در تشکیل سریع تیم های بزرگ و میان رشته ای داشته باشند. هفده آزمایشگاه ملی وزارت نیروی آمریکا برخی از این مکان های ویژه در جهان می باشند [۱۳]. امکانات بزرگ آزمایشگاههای ملی محققان را قادر می سازد تا به یافته های بنیادی علمی دست یابند، از آینده انرژی حمایت کرده و امنیت ملی را تضمین نمایند. سرمایه گذاری فعلی وزارت نیرو در علوم پایه از طریق دفتر علوم و بودجه ۷ میلیارد دلاری آن فواید قابل توجهی را به همراه دارد. پیشرفت در علوم بنیادی به رونق اقتصادی، امنیت ملی و رقابت بین المللی دامن می زند و کسانی که جامعه علم و فناوری آمریکا را هدایت می کنند باور دارند که نوآوری مفید اغلب به طور غیر قابل پیش بینی از یک اکوسیستم قوی تحقیقات علمی ناشی می شود که برای کاوش افق های جدید ضروری است. به همین منظور علوم بنیادی بوسیله آزمایشگاههای ملی تقویت و در میان رشته های مختلف حفظ و هدایت می گردد. همچنین تحقیقات در مرز رشته های علوم بنیادی به ابتکارات بزرگتر منجر می شود و در چنین شرایطی است که برای حل چالش های آب و هوایی، انرژی و امنیتی □ فناوری های کاملاً جدید خلق می گردد. پژوهش های بنیادی آزمایشگاههای ملی باعث بوجود آمدن حوزه های جدید همچون هوش مصنوعی، علوم اطلاعات کوانتومی، فناوری زیستی، علوم میکروالکترونیک و همچنین سایر زمینه ها نظیر علوم فیزیک بنیادی و محاسباتی می شود که توانایی مقابله با چالش های انرژی و نیازهای مستمر امنیت ملی و اقتصادی را بالا می برند. دستیابی به موفقیت در علوم بنیادی پیش نیاز توسعه فن آوری های تحول آفرین در مقیاسی به اندازه کافی بزرگ برای پاسخگویی به چالش های مهم است. وزارت نیرو به عنوان یکی از سرمایه گذاران مهم علوم فیزیکی ایالات متحده از طریق سرپرستی بر ۱۷ آزمایشگاه ملی، نقشی منحصر به فردی در ادغام تحقیقات بنیادی و کاربردی دارد و با نگاهی به مأموریت های مهم آزمایشگاههای ملی آمریکا می توان دریافت که این آزمایشگاهها وظیفه ادغام تحقیقات بنیادی و کاربردی را به خوبی و شایستگی انجام می دهند [۱۴، ۱۵].

مبارزه با بحران ها، ارتقای امنیت ملی و تضمین مرجعیت علمی

^{۱۶} Brookhaven National Laboratory (BNL)

^{۱۷} Argonne National Laboratory (ANL)

اگرچه دولت آمریکا بعد از پایان جنگ جهانی دوم قصد داشت امکانات پروژه منهن و آزمایشگاه لوس الاموس را از بین ببرد اما سیاستگذاران آمریکایی خیلی زود به ارزش بالا و اهمیت بی نظیر سرمایه های مادی و انسانی که در طول اجرای این پروژه جمع آوری شده بود پی بردند. از اینرو تصمیم گرفته شد که تجهیزات و سرمایه های انسانی در غالب آزمایشگاه ملی لوس الاموس حفظ شود که همین موضوع سر آغازی بر پیدایش تدریجی ۱۶ مرکز پیشرو مشابه دیگر در حوزه های مختلف علم و فناوری در آمریکا شد. این هفده آزمایشگاه ملی در طی بیش از هفت دهه گذشته سرمایه های انسانی و امکانات مهمی را فراهم ساخته اند که ضمن مواجهه با بحران های امنیتی و انرژی توانایی بالایی در یافتن راه حل های فوری و ایجاد دانش جدید علمی برای تضمین آینده پایدار داشته اند. وزارت نیرو، از طریق ایجاد همکاری بین آزمایشگاه های ملی، دانشگاه ها و بخش صنعت در یافتن فناوری های مرتبط با حوزه انرژی های حیاتی و تجدید پذیر و یافتن راه حل های جهت کاهش تغییرات آب و هوایی نقش بزرگی ایفا کرده است. با وجود آزمایشگاه های ملی حتی با تشدید بحران های آب و هوایی، ایالات متحده تخصص، منابع و راه حل های استراتژیک برای حل آنها را در اختیار دارد. آمریکایی ها به خوبی دریافته اند که در جهانی که دانش پیشرفته به آسانی در دسترس همگان قرار می گیرد و نیروی کار کم هزینه نیز به راحتی در دسترس است، بدون اقدام جدی مزایای آن کشور در بازار علم و فناوری رو به زوال خواهد رفت. آنها به خوبی دریافته اند که بدون سرمایه گذاری در حوزه علم، رهبری این توانایی های فنی را به رقبای بین المللی خود واگذار خواهند کرد و ممکن است شرایطی ایجاد شود که جامعه تحقیق و صنعت به سمت امکانات بهتر و در دسترس تر در جاهای دیگری برود و ظرفیت نوآوری های علمی و فناوری را نیز با خود از آمریکا ببرد. از طرف دیگر افزایش سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه بوسیله دیگر کشور ها ممکن است شرایطی را ایجاد کند که دیگر ایالات متحده به عنوان کشور پیشرو در علم و فناوری مطرح نباشد. از اینرو با افزایش سرمایه گذاری در این حوزه ها و توجه مضاعف به جایگاه ویژه آزمایشگاه های ملی سعی در رفع این نگرانی ها دارند. در ادامه این نوشتار هفده آزمایشگاه ملی آمریکا از نظر حوزه فعالیت، میزان بودجه، امکانات تخصصی منحصر به فرد و سرمایه های انسانی به اجمال معرفی می شوند [۱۹، ۶] و سپس به ضرورت و چالش های مهم پیشرو برای ایجاد چنین زیر ساخت های بزرگ علمی در کشور مان پرداخته می شود.

معرفی آزمایشگاه های ملی آمریکا

آزمایشگاه ملی ایمز

آزمایشگاه ملی ایمز^{۱۸} یک آزمایشگاه تک منظوره است که با هدف تولید دانش بنیادی مواد و استفاده از این دانش برای حل چالش های برجسته فناوری و صنعتی ایجاد شده است. این آزمایشگاه ملی به داشتن تجهیزات طیف سنجی رزونانس مغناطیسی هسته ای پیشرفته (NMR)^{۱۹} جهت مطالعه حالات جامد مواد نیز معروف است. تجهیزات طیف سنج رزونانس مغناطیسی هسته ای در تعیین ساختار اتمی ترکیبات طبیعی و مصنوعی کاربرد مهمی دارد و زمره تجهیزات فوق پیشرفته بشمار می روند. سرمایه هایی انسانی این آزمایشگاه شامل ۳۰۳ عضو پیوسته، ۸۲ عضو وابسته، ۴۳ محقق پسادکتری، ۸۳ دانشجوی کارشناسی، ۱۰۲ دانشجوی تحصیلات تکمیلی و ۲۶۸ دانشمند بازدید کننده در سال ۲۰۱۶ بوده است. وسعت این آزمایشگاه حدود ۴ هکتار و بودجه آن در همین سال حدود ۱۰۸ میلیون دلار گزارش شده است [۲۰، ۷].

آزمایشگاه ملی آرگون

آزمایشگاه ملی آرگون به عنوان یک آزمایشگاه شیمی، مواد و مهندسی هسته ای در سال ۱۹۴۶ تاسیس شد و از آن زمان تا کنون بوسیله دانشگاه شیکاگو اداره می شود. این آزمایشگاه در برنامه علمی خود حوزه های جدیدی نه تنها در شیمی و مواد، بلکه در فیزیک هسته ای و ذرات، ریاضیات و علوم زمین نیز ارائه می دهد. تحقیق و توسعه در مراحل اولیه در آزمایشگاه آرگون شامل انرژی هسته ای، شیمی، مواد، فرایندهای بیولوژیکی و مهندسی سیستم ها است. نتایج تحقیقات این آزمایشگاه باعث پیشرفت در راکتورها، تولید و ذخیره انرژی، توزیع برق و سیستم های حمل و نقل می شود. چشمه نور پیشرفته آرگون به عنوان یکی از مهمترین منابع نوری سنکروترونی^{۲۰} در کشور آمریکا عمل می کند و تقریباً در همه رشته های علمی برای

^{۱۸} Ames National Laboratory

^{۱۹} Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

^{۲۰} Synchrotron

مطالعات مختلف استفاده می شود. سالانه بیش از ۵۵۰۰ پژوهشگر از خدمات چشمه نور پیشرفته آزمایشگاه ملی آرگون استفاده می کنند. حتی برندگان جایزه نوبل شیمی سال های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ نیز در پژوهش های خود از خدمات چشمه نور پیشرفته آرگون استفاده کرده بودند. اخیراً نیز محصولات دارویی نظیر داروی ضد سرطان خون ونکلسنا^{۲۱} حاصل کار پروژه پژوهشی بوده است که در آن از خدمات این چشمه نور استفاده شده است. در حال حاضر برنامه ای برای ارتقای این چشمه نور نیز وجود دارد که چهارصد برابر آن را روشن تر می کند و فرصت های تحقیقاتی موجود را بسیار گسترش می دهد. این آزمایشگاه همچنین دارای یک شتاب دهنده خطی^{۲۲} است و ابر کامپیوتر های پیشرفته آن با همکاری جامعه علوم محاسباتی، امکانات محاسباتی پیشرو در جهان را طراحی و فراهم کرده است. بر اساس آمار سال ۲۰۱۶ در این آزمایشگاه ۳۲۰۶ عضو پیوسته، ۲۵۶ عضو وابسته، ۲۶۸ محقق پسادکتری، ۲۶۰ دانشجوی کارشناسی، ۳۲۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، ۷۴۲۲ کاربر تسهیلات و ۱۰۰۵ دانشمند مهمان فعالیت کرده اند. بودجه سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه حدود یک میلیارد و ۵۵۱ میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۶۱۴ هکتار می باشد [۷، ۲۱].

آزمایشگاه ملی بروکاون

آزمایشگاه ملی بروکاون نیز نظیر آزمایشگاه آرگون از نوع چند منظوره است. این آزمایشگاه ملی یکی از پیشرفته ترین منابع نور سینکروترونی جهان را دارد که پرتوهای ایکس بسیار درخشانی را تولید می کند و توسط محققان برای بررسی خصوصیات و عملکردهای یک ماده با وضوح نانو و حساسیت بی نظیر استفاده می شود. درب این آزمایشگاه ملی بر روی دانشمندان دانشگاهی، صنعتی و محققان سایر آزمایشگاه ها باز است و ابزار پژوهشی مورد نیاز برای تحقیقات اساسی و کاربردی آنها را فراهم می کند و از این طریق باعث اکتشافات کلیدی در زیست شناسی و پزشکی، علوم مواد و شیمی، علوم زمین، علوم محیطی و علوم نانو می شود. این اکتشافات باعث پیشرفت فن آوری های جدید و ایجاد موفقیت در امنیت انرژی، سلامت انسان و موارد دیگر خواهد شد. بر اساس آمار سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه دارای ۲۶۱۸ عضو پیوسته، ۱۲۱ عضو وابسته، ۱۲۲ محقق پسادکتری، ۲۰۳ دانشجوی کارشناسی، ۱۴۰ دانشجوی تحصیلات تکمیلی دارد و ۲۵۹۴ عضو هیات علمی دانشگاه های مختلف نیز در سال ۲۰۱۶ از خدمات دستگاهی آن استفاده کرده اند و ۲۱۳۴ دانشمند بازدید کننده نیز داشته است. بودجه این آزمایشگاه در سال ۲۰۱۶ یک میلیارد و صد و شصت و دو میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۲۱۵۰ هکتار می باشد [۷، ۲۲].

آزمایشگاه ملی فرمی

آزمایشگاه ملی شتاب دهنده فرمی^{۲۳} یک مرکز بین المللی فیزیک ذرات است که در ۴۰ مایلی غرب شیکاگو واقع شده است. تجهیزات آزمایشگاه فرمی مجموعه وسیعی از شتاب دهنده های ذرات است که امکان تحقیقات در مورد ذرات نوترینو و ماهیت بنیادی جهان را فراهم می کند. ذرات نوترینو شباهت زیادی به الکترون دارند اما فاقد بار الکتریکی و دارای جرم بسیار کمی نزدیک به صفر هستند و به فراوانی در جهان هستی یافت می شوند. این ذرات که از واکنش های هسته ای درون خورشید یا درون راکتورهای هسته ای و یا به کمک شتاب دهنده ها تولید می شوند بر همکنش ناچیزی نیز با مواد دارند و از اینرو شناسایی آنها بسیار دشوار است. از امواج نوترینو می توان برای کاوش در محیط هایی استفاده کرد که سایر پرتوها (مانند نور یا امواج رادیویی) نمی توانند در آنها نفوذ کنند. برای مثال از هسته خورشیدی نمی توان مستقیماً تصویربرداری کرد زیرا تابش الکترومغناطیسی (مانند نور) بوسیله چگالی زیاد ماده اطراف هسته آن پراکنده می شود ولی امواج نوترینو با موفقیت از خورشید عبور داده می شود و برای مطالعه اعماق زمین نیز قابل استفاده است. بودجه آزمایشگاه فرمی در سال ۲۰۱۶ حدود ۸۳۵ میلیون دلار بوده است و این آزمایشگاه قدرتمندترین تاسیسات نوترینو مبتنی بر شتاب دهنده^{۲۴} را در ایالات متحده دارد. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه ۱۷۹۳ نیروی پیوسته^{۲۵}، عضو وابسته^{۲۶} ۵۹، محقق پسادکتری^{۲۷} ۳۲۴۵ کاربر تجهیزات و ۱۲ دانشمند بازدید کننده داشته است و وسعت آن حدود ۲۷۵۰ هکتار می باشد [۷، ۲۳].

^{۲۱} Venclexta

^{۲۲} Linear Accelerator (LINAC)

^{۲۳} Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab)

^{۲۴} Accelerator-Based Neutrino Facilities

آزمایشگاه ملی آیداهو

آزمایشگاه ملی چند منظوره آیداهو^{۲۵} عمدتاً در زمینه انرژی هسته ای پیشرفته فعالیت می کند و مجموعه وسیعی از مراکز تحقیقاتی هسته ای در اطراف راکتور پیشرفته آن که هسته ماریپیچی منحصربه فردی دارد و از مهمترین راکتورهای تحقیقاتی جهان است ایجاد شده اند. ادعا شده است که این راکتور تنها راکتور تحقیقاتی آمریکا است که قادر است تابش نوترون با حجم زیاد و با شار بالا را در محیط نمونه فراهم کند. بودجه آزمایشگاه ملی آیداهو در ۲۰۱۶ حدود دو میلیارد و صد و سه میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۲۳۰ هکتار می باشد. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه ۲۷۲ نیروی پیوسته ۲۰ عضو وابسته ۴۱ محقق پسا دکتری ۱۹۸ دانشجوی کارشناسی ۱۰۵ دانشجوی تحصیلات تکمیلی ۷۲ کاربر تسهیلات و ۴۷۰ دانشمند بازدید کننده داشته است [۷، ۲۴].

آزمایشگاه ملی لورنس برکلی

آزمایشگاه ملی چند منظوره برکلی^{۲۶} خانه پنج مورد از پیشرفته ترین امکانات و تجهیزات پژوهشی است که سالانه ۱۱۰۰۰ دانشمند نیز از سراسر آمریکا برای انجام تحقیقات پیشرفته به آنجا رجوع می کنند. این آزمایشگاه محل استقرار میکروسکوپ های قدرتمند، چشمه های نور اشعه ایکس خیلی درخشان و رایانه های پرسرعت است و دانشمندان آن تاکنون موفق به دریافت ۱۴ جایزه نوبل شده اند. این آزمایشگاه ملی دارای یکی از قدرتمندترین شتاب دهنده های خطی کشور آمریکا است که علاوه بر تحقیقات امنیت ملی، دارای یک برنامه تحقیقاتی پرتحرک در علوم بنیادی می باشد که منابع گسترده ای از نوترون ها و پروتون ها را برای جامعه علمی آن کشور فراهم می کند. بودجه سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه ملی حدود یک میلیارد و ششصد میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۸۰ هکتار می باشد. سرمایه های انسانی این آزمایشگاه ملی بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ شامل ۳۰۲ عضو پیوسته ۲۳۲ عضو وابسته ۴۸۶ محقق پسا دکتری ۲۶۳ دانشجوی تحصیلات تکمیلی ۱۴۸ دانشجوی کارشناسی ۱۱۴۰۳ کاربر تسهیلات و ۲۲۴۱ دانشمند و مهندس بازدید کننده بوده است [۷، ۲۵].

آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور

آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور که با مشارکت آزمایشگاه ملی لوس آلاموس در خلق زرادخانه هسته ای آمریکا نقش مهمی داشته است اینک مسوولیت نگهداری و سرپرستی تسلیحات هسته ای آن کشور را بر عهده دارد. همچنین این آزمایشگاه با در پیش گرفتن یک رویکرد چند رشته ای که شامل همه رشته های علمی و مهندسی است از امکانات بی نظیری بهره می برد تا مرزهای دانش را برای دستیابی به موفقیت در زمینه مقابله با تروریسم و منع گسترش سلاح های هسته ای، دفاع، اطلاعات، انرژی و امنیت زیست - محیطی گسترش دهد. مرکز احتراق ملی با داشتن یکی از بزرگترین و پراورزی ترین لیزرهای جهان در این آزمایشگاه قرار دارد. تجهیزات مرکز احتراق ملی برای بررسی خصوصیات اساسی ماده در انرژی و چگالی بالا مانند پلاسمای اخترفیزیکی و هسته های سیاره ای استفاده می شود. این آزمایشگاه ملی جایگاه مهمی نیز در جدول تناوبی پیدا کرده است. عناصر فوق سنگین ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶ و ۱۱۸ جدول تناوبی طی همکاری علمی مشترک این آزمایشگاه ملی با دانشمندان روسی کشف شده است. دانشمندان این آزمایشگاه آشکار ساز قابل حمل تابش های رادیواکتیوی را ساخته اند که اینک برای شناسایی مواد رادیو اکتیو و ایزوتوپ های خطرناک در چمدان ها و کانتینرهای حمل و نقل و در گذرگاه های مرزی، اسکله کشتی های باری و پایانه های حمل و نقل استفاده می شود. بودجه سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه امنیت ملی حدود ۳ میلیارد و چهارصد و شانزده میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۳۱۰۰ هکتار می باشد. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ سرمایه های انسانی این آزمایشگاه ملی شامل ۶۰۰ عضو پیوسته ۲۰ عضو وابسته ۲۰۰ محقق پسا دکتری ۵۰۰ دانشجوی کارشناسی ۵۰ دانشجوی کارشناسی ارشد ۴۳۰۰ کاربر تسهیلات و ۱۵۰۰ دانشمند بازدید کننده بوده است [۴، ۷].

^{۲۵} Idaho National Laboratory (INL)

^{۲۶} Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)

در زمان حاضر آزمایشگاه ملی لوس آلاموس به عنوان آزمایشگاه پیشرو امنیت ملی، علوم، فن آوری و مهندسی برای کمک به حل چالش‌های بزرگ و منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای، امنیت انرژی و توسعه زیرساخت فناوری مقابله با تهدیدات مواد منفجره شیمیایی، بیولوژیکی و رادیولوژی فعالیت می‌کند. آزمایشگاه ملی لوس آلاموس محل سریعترین ابر رایانه جهان (ابرایانه ترینیتی^{۲۷}) □ و شتاب دهنده خطی و یکی از قدرتمندترین دستگاه مولد اشعه ایکس است. میزان بودجه سالانه و سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه در فوق توضیح داده شد [۲،۷].

آزمایشگاه ملی فناوری انرژی

ماموریت آزمایشگاه ملی فناوری انرژی^{۲۸} در کشف، توسعه و استقرار راه حل‌های فناوری برای تقویت بنیان انرژی و محافظت از محیط زیست برای نسل‌های آینده است. این آزمایشگاه ملی محل استقرار توربین‌های احتراقی فوق پیشرفته با بهره‌وری بسیار بالا است. دانشمندان این آزمایشگاه فناوری جدیدی ابداع کرده‌اند که به کمک آن کارایی هسته‌های آبروفیل توربین‌های گازی را بهبود بخشیده‌اند. بودجه سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه تک منظوره حدود دو میلیارد دلار بوده است و وسعت آن حدود ۹۶ هکتار می‌باشد. بر اساس گزارش ۲۰۱۶ سرمایه‌هایی انسانی این آزمایشگاه شامل ۱۴۹۷ عضو پیوسته^{۲۹} □ عضو وابسته^{۳۰} □ محقق پسا دکتری^{۳۱} □ دانشجوی کارشناسی و ۵۲ دانشجوی کارشناسی ارشد است [۷، ۲۶].

آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدید پذیر

ماموریت آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدید پذیر^{۳۲} توسعه علوم بنیادی مرتبط با صنعت پیشرفته انرژی، ایجاد فرصت‌های اقتصادی و اشتغال و افزایش امنیت کشور است. این آزمایشگاه محل کوره خورشیدی با شار بالا^{۳۳} و مرکز تحقیقات انرژی خورشیدی است. این آزمایشگاه از سال ۲۰۱۳ با بیش از ۱۰۰ شریک صنعتی و دانشگاهی با چالش‌های مهم انرژی مقابله کرده است. حاصل کار دانشمندان این آزمایشگاه ورود سلول‌های خورشیدی پروسکایت^{۳۴} به بازار است که کارایی بالا و هزینه کمی دارند. بودجه این آزمایشگاه ملی در سال ۲۰۱۶ حدود ۷۷۲ میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۲۵۵ هکتار می‌باشد. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ سرمایه‌های انسانی این آزمایشگاه شامل ۱۷۱۰ عضو پیوسته^{۳۵} □ عضو وابسته^{۳۶} □ ۸۴ محقق پسا دکتری^{۳۷} □ دانشجوی کارشناسی^{۳۸} □ دانشجوی تحصیلات تکمیلی و ۴ دانشمند بازدید کننده بوده است [۷، ۲۷].

آزمایشگاه ملی اوک ریج

ماموریت آزمایشگاه ملی اوک ریج^{۳۹} ارائه اکتشافات علمی و موفقیت‌های فنی است که به توسعه و استقرار راه حل‌های انرژی پاک و امنیت جهانی سرعت بخشیده و فرصت اقتصادی را برای آن کشور ایجاد می‌کند. اوک ریج بزرگترین آزمایشگاه علوم و انرژی وزارت نیروی آمریکا است که به عنوان بخشی از پروژه منهن تاسیس شده بود. این آزمایشگاه که در تولید و جداسازی پلوتونیوم پیشگام بوده است سپس حوزه فعالیتش را بر روی انرژی هسته‌ای و بعداً به سایر منابع انرژی و اثرات آنها گسترش داده است. دو مورد از قدرتمندترین امکانات علوم نوترونی جهان شامل چشمه نوترون اسپالاسیون^{۴۰} که

^{۲۷} Trinity Supercomputer

^{۲۸} National Energy Technology Laboratory (NETL)

^{۲۹} National Renewable Energy Laboratory (NREL)

^{۳۰} High-Flux Solar Furnace

^{۳۱} Perovskite Solar Cell (PSC)

^{۳۲} Oak Ridge National Laboratory (ORNL)

^{۳۳} Spallation Neutron Source (SNS)

بزرگترین چشمه ذرات نوترونی جهان است و راکتور ایزوتوپ با شار بالا^{۳۴} بعنوان امکانات منحصر به فرد برای علوم و فنون هسته ای در آزمایشگاه ملی اوک ریج دیده می شوند. چشمه نوترون اسپالاسیون به عنوان یک منبع نوترونی نسل سوم می تواند یکی از درخشان ترین پرتوهای نوترون پالسی جهان را برای تحقیقات علمی و توسعه صنعتی ایجاد می کند. همچنین در این آزمایشگاه ملی دو مورد از سریعترین رایانه های امریکا نظیر تیتان^{۳۵} و سامیت^{۳۶} وجود دارد. بودجه این آزمایشگاه ملی در سال ۲۰۱۶ حدود دو میلیارد و ششصد و نود میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۱۷۹۰ هکتار می باشد. سرمایه های انسانی این آزمایشگاه ملی بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ شامل ۴۹۸۳ عضو پیوسته^{۳۷} ۱۹۲ عضو وابسته^{۳۸} ۳۰۵ محقق^{۳۹} پسا دکتری^{۴۰} ۲۹۴ دانشجوی کارشناسی^{۴۱} ۳۱۷ دانشجوی تحصیلات تکمیلی^{۴۲} ۳۱۳ کاربر تسهیلات و ۱۷۶۳ دانشمند مهمان بازدید کننده بوده است [۷،۲۸].

آزمایشگاه ملی شمال غربی اقیانوس آرام

آزمایشگاه ملی شمال غربی اقیانوس آرام^{۳۷} به عنوان آزمایشگاه برتر و پیشرو جهانی در علم شیمی، علوم زمین، تحلیل داده ها و تحقیق و توسعه می باشد. این آزمایشگاه دارای مرجعیت ملی و بین المللی در حوزهای ذخیره انرژی، نوسازی شبکه، منع گسترش سلاح های هسته ای و امنیت سایبری است. آزمایشگاه علوم مولکولی محیط زیست^{۳۸} که بخشی از این آزمایشگاه ملی است امکانات منحصر به فردی در شیمی مواد معدنی، نرم افزارهای محاسباتی، شیمی محاسباتی با عملکرد بالا، طیف سنجی جرمی و تشدید مغناطیس هسته ای با میدان بالا را به محققان در سراسر جهان عرضه می کند. تولید باتری های لیتیومی مقرون به صرفه برای خودروهای برقی از دستاوردهای مهم و اخیر این آزمایشگاه ملی است. همچنین این آزمایشگاه با استفاده از تجزیه و تحلیل داده ها و قابلیت های مدل سازی محاسباتی، نرم افزاری تحلیلی برای محافظت از مصرف کنندگان و شرکت های کوچک در برابر حملات سایبری ایجاد کرده است. بودجه سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه چند منظوره یک میلیارد و سیصد و بیست و هشت میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۳۱۶ هکتار می باشد. بر اساس گزارش ۲۰۱۶ سرمایه های انسانی این آزمایشگاه شامل ۴۱۸۳ عضو پیوسته^{۳۹} ۵۵ عضو وابسته^{۴۰} ۴۶۹ محقق پسا دکتری^{۴۱} دانشجوی کارشناسی^{۴۲} ۴۳۳ دانشجوی تحصیلات تکمیلی^{۴۳} ۱۸۱۴ کاربر تسهیلات و ۱۰۰ دانشمند بازدید کننده بوده است [۷،۲۹].

آزمایشگاه ملی فیزیک پلاسما پرنیستون

مأموریت این آزمایشگاه ملی^{۴۴} در کشف علوم^{۴۵} مهندسی پلاسما و همجوشی است. پلاسما یکی از چهار حالت ماده است به طوریکه که اگر ماده جامد را گرم کنیم به مایع و اگر دوباره گرم کنیم به گاز و اگر به گرم کردن حالت گازی ادامه دهیم در حدود ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد به پلاسما تبدیل می شود که در آن همه یا بخش قابل توجهی از اتمها یک یا چند الکترون از دست داده و به کاتیون تبدیل می شوند. گفته می شود ۹۹ درصد ماده موجود در طبیعت در حالت پلاسما است. همچنین برآورد شده است که فضای بین ستارگان و حتی درون ستارگان اغلب به صورت ابرهای گازی پلاسما می باشد. همچنین طوفان های خورشیدی قدرتمند باعث فوران های گسترده پلاسما از خورشید می شود که در ادامه شفق های درخشان و طوفان های ژئومغناطیسی بوجود می آید که می تواند خدمات تلفن همراه و برق را مختل کند.

همجوشی (گداخت) هسته ای^{۴۴} نیز منبع امن، تمیز و فراوانی از انرژی برای تولید برق می باشد. آزمایشگاه فیزیک پلاسما پرنیستون در حوزهای نظیر توسعه دانش علمی و مهندسی پیشرفته برای همجوشی هسته ای و درک بیشتر علمی پلاسما از مقیاس های نانو تا اختر فیزیک فعال است. این آزمایشگاه با مشارکت دانشگاه پرنیستون هر ساله برنامه آموزش علوم پلاسما

^{۳۴} High Flux Isotope Reactor (HFIR)

^{۳۵} Titan or OLCF-3

^{۳۶} Summit or OLCF-4

^{۳۷} Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)

^{۳۸} Environmental Molecular Sciences Laboratory (EMSL)

^{۳۹} Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL)

^{۴۰} Nuclear Fusion

و اختر فیزیک از دبستان تا کالج برای صدها دانش آموز و دانشجوی داخلی و خارجی و هزاران بازدید کننده اجرا می کند. در این آزمایشگاه ملی تأسیسات گداخت هسته ای^۱ با یکی از انواع پیشرفته ترین راکتورهای آزمایشی گداخت هسته ای وجود دارد که بر مبنای محصورسازی مغناطیسی طراحی شده است. این راکتور همجوشی مغناطیسی تأسیسات ابتکاری است که بوسیله آزمایشگاه فیزیک پلاسمای پرینستون و با همکاری آزمایشگاه ملی اوک ریج، دانشگاه کلمبیا و دانشگاه واشنگتن در سیاتل ساخته شده است. این آزمایشگاه مدت هاست که از امواج رادیویی برای گرم کردن پلاسمای که به واکنش های همجوشی دامن می زند استفاده می کند. اخیراً نیز این آزمایشگاه ضمن همکاری با وزارت کشاورزی از امواج رادیویی برای پاستوریزه کردن تخم مرغ استفاده کرده است و پیش بینی می شود در صورت استفاده از این فناوری بیماری سالمونلا ناشی از مصرف تخم مرغ تا ۸۵ درصد کاهش یابد. بودجه این آزمایشگاه تک منظوره در سال ۲۰۱۶ حدود ۱۸۵ میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۳۷ هکتار می باشد. بر اساس گزارش ۲۰۱۶ سرمایه های انسانی این آزمایشگاه شامل ۵۰۰ عضو پیوسته □ عضو وابسته ۲۲ □ محقق پسا دکتری ۴۰ □ دانشجوی تحصیلات تکمیلی و ۳۵۰ دانشمندان بازدید کننده بوده است [۷،۳۰].

آزمایشگاه ملی سانديا

آزمایشگاه ملی سانديا^۲ از تلاش برای تولید اولین بمب های اتمی بوجود آمد. در شرایط کنونی یکی از مأموریت های مهم این آزمایشگاه همچون آزمایشگاههای لوس آلاموس و لارنس لیورمور حفاظت از زرادخانه هسته ای ایالات متحده آمریکا است. در کنار حفاظت از دارایی های هسته ای □ دانشمندان این آزمایشگاه ملی در خط مقدم نوآوری های بین رشته ای علوم و مهندسی قرار دارند و ضمن همکاری های گسترده با دانشگاهها و بخش صنعت نقش مهمی در توانمندی نظامی و امنیتی آن کشور داشته اند. امکانات منحصر به فرد این آزمایشگاه ملی تأسیسات قدرت پالسی Z^۳ یا ماشین Z است که بزرگترین مولد امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالا در جهان می باشد و برای آزمایش مواد در شرایط دما و فشار شدید طراحی شده است. این تأسیسات داده ها را برای کمک به مدل سازی رایانه ای سلاح های هسته ای و در نهایت نیروگاه های پالسی همجوشی یا گداخت هسته ای جمع آوری می کند. ماشین Z قدرتمندترین مرکز پالس زمین و مولد اشعه های گاما و ایکس، سریعترین و دقیق ترین روش را برای تعیین نحوه واکنش مواد در فشار و درجه حرارت شدید و بررسی پلاسمای متراکم تشکیل دهنده فراهم می کند. این تأسیسات درک بشر را از میانی فیزیک بالا برده است و بینش مهمی در مورد نحوه رفتار مواد، چگونگی رشد سیاهچاله ها، گرمای خورشید و قدمت سیارات منظومه شمسی ایجاد کرده است. همچنین ماشین Z یک منبع مهم برای بررسی اثرات سلاح هسته ای و روش های بهینه برای افزایش خروجی نوترون برای تولید انرژی همجوشی است. این آزمایشگاه دستاوردهای مهمی نیز در فناوری ضد عفونی برای از بین بردن باکتری ها، ویروس ها و قارچ های و حذف سموم دفع آفات از گیاهان در بسته بندی های کشاورزی و مبارزه با ویروس ابولا داشته است. بودجه سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه ملی شش میلیارد و صد و سی و نه میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۸۰۰۰۰ هکتار می باشد. سرمایه های انسانی این آزمایشگاه بر اساس گزارش ۲۰۱۶ شامل ۱۰۶۵۰ عضو پیوسته، ۲ عضو وابسته، ۲۲۳ محقق پسادکتری و ۷۳۸ دانشجوی کارشناسی و کارشناسی ارشد بوده است [۷،۳۱].

آزمایشگاه ملی رودخانه ساوانا

آزمایشگاه ملی رودخانه ساوانا^۴ از نوع چند منظوره است و مأموریت اصلی آن ارائه راه حل های عملی و مقرون به صرفه برای پاکسازی محیط زیست، امنیت هسته ای و انرژی های پاک است. از امکانات مهم این آزمایشگاه ملی می توان به آزمایشگاه های مطالعه ایمن مواد رادیواکتیو، مرکز نمایش میدانی آزمایش و ارزیابی فن آوری های پاکسازی محیط زیست، آزمایشگاه های اندازه گیری فوق حساس و تجزیه و تحلیل مواد رادیواکتیو و تنها آزمایشگاه تحقیقات جرم رادیولوژیک در جهان اشاره کرد. بودجه سال ۲۰۱۶ این آزمایشگاه ۴۴۳ میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۱۶ هکتار می باشد.

^۱ National Spherical Torus Experiment Upgrade (NSTX-U)

^۲ Sandia National Laboratories (SNL)

^۳ Z Pulsed Power Facility (Z Machine)

^۴ Savannah River National Laboratory (SRNL)

سرمایه های انسانی این آزمایشگاه بر اساس گزارش ۲۰۱۶ شامل ۹۷۲ عضو پیوسته، ۱۲ محقق پسادکتری، ۶۰ دانشجوی کارشناسی و ۲ دانشمند مهمان بوده است [۷،۳۲].

آزمایشگاه ملی شتاب دهنده SLAC

ماموریت اصلی آزمایشگاه ملی شتاب دهنده SLAC^{۴۵} کمک به مرجعیت جهانی آمریکا در فیزیک شتاب دهندها و کاربرد پرتوهای ایکس در مواد و حوزه مطالعات شیمی و بیولوژی است. در همین راستا این آزمایشگاه از پیشرفته ترین تاسیسات مولد اشعه ایکس استفاده می کند. با تجهیزات منحصر به فرد جهانی که در اختیار دارد این آزمایشگاه ملی هر ساله میزبان بیش از ۴۰۰۰ محقق است. یکی از عوامل موفقیت این آزمایشگاه ملی همکاری آن با دانشگاه استنفورد است که بوسیله آن مدیریت می شود. بهترین و خلاق ترین دانشمندان جهان علاوه بر این آزمایشگاه ملی به طور مشترک سه موسسه مهم دیگر این دانشگاه را رهبری می کنند. چشمه نور منسجم LINAK^{۴۶} که از داشته های مهم این آزمایشگاه ملی است پالس های اشعه ایکس را یک میلیارد بار روشن تر از سنکروترون های قدیمی تر تولید می کند. طول پالس های پرتوی ایکس این چشمه نور از ۰٫۲ تا ۲۰۰ فمتوثانیه^{۴۷} (چهار میلیاردم ثانیه) متغیر است. در این بازه زمانی حرکت اتم ها قابل ردیابی و مشاهده است و این روشنایی زمینه های کاملاً جدید علمی را ایجاد می کند و فرآیندهای اساسی در مواد کوانتومی، پویایی شیمیایی، فناوری انرژی و مواد زنده را آشکار می کند. این چشمه نور با اشعه ایکس فوق سریع یکی از عمده ترین تسهیلات در پژوهش های علوم و کیهان شناسی است. دانشمندان این آزمایشگاه برای اولین بار تغییرات ساختاری فوق سریع را که در گام های چهار میلیاردیم ثانیه ثبت شده بود، ردیابی کردند. بودجه این آزمایشگاه ملی چند منظوره در سال ۲۰۱۶ حدود ۹۴۰ میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۱۷۲ هکتار می باشد. سرمایه های انسانی این آزمایشگاه بر اساس گزارش ۲۰۱۶ شامل ۱۵۲۴ عضو پیوسته، ۵۲۴ کارمند، ۵۶ عضو وابسته، ۲۰۵ محقق پسادکتری، ۲۰۸ دانشجوی تحصیلات تکمیلی، ۲۷۸۹ کاربر تسهیلات و ۳۵ دانشمند مهمان بوده است [۷،۳۳].

مرکز شتاب دهنده ملی توماس جفرسون

مرکز شتاب دهنده ملی توماس جفرسون^{۴۸} واقع در نیویورک نیوی ویرجینیا، آزمایشگاهی است که ماموریت اصلی آن کاوش ماهیت اساسی حالت های محدود کوارک^{۴۹} و گلوئون^{۵۰} از جمله نوکلئون های تشکیل دهنده جرم جهان مرئی است. کوارک ها ذرات بنیادی و یکی از اجزای پایه ای تشکیل دهنده ماده است که با هم ترکیب می شوند تا ذرات مرکبی به نام هادرون^{۵۱} را پدیدآورند که پایدارترین آن ها پروتون و نوترون می باشد و اجزای تشکیل دهنده هسته اتم هستند. همچنین گلوئون ذره ای است که بین کوارک ها مبادله می شود تا آنها را به هم پیوند دهد و به این ترتیب گلوئون ها به طور غیرمستقیم مسئول جاذبه بین پروتون ها و نوترون ها در هسته اتم می باشند. این آزمایشگاه امکانات مهمی در زمینه علم شتاب دهنده و تحقیقات فیزیک هسته ای را فراهم کرده است که آن را در جهان به عنوان مرکز پیشرو معرفی می کند. بودجه این آزمایشگاه چند منظوره در سال ۲۰۱۶ حدود ۳۷۳ میلیون دلار بوده است و وسعت آن حدود ۶۸ هکتار می باشد. سرمایه های انسانی این آزمایشگاه بر اساس گزارش ۲۰۱۶ شامل ۶۹۹ عضو پیوسته، ۲۶ عضو وابسته، ۲۸ محقق پسادکتری، ۹ دانشجوی کارشناسی، ۳۹ دانشجوی کارشناسی ارشد، ۱۵۳۰ کاربر تسهیلات و ۱۳۶۸ دانشمند بازدید کننده بوده است. [۷،۳۴]

ضرورت ایجاد آزمایشگاه های ملی ماموریت گرا در ایران

^{۴۵} SLAC National Accelerator Laboratory

^{۴۶} Linac Coherent Light Source (LCLS)

^{۴۷} Femtosecond

^{۴۸} Thomas Jefferson National Accelerator Center (TJNAF)

^{۴۹} Quark

^{۵۰} Gluon

^{۵۱} Hadron

برای انجام پروژهای بزرگ لازم است تخصص های متنوع و تجهیزات تخصصی در مقیاس بزرگ در مکان های مشخصی گردآوری شود. هر کشوری که بخواهد کلید فناوری های مهم و پیشرو آینده را در دست داشته باشد علاوه بر ایجاد مسیر کشف و شکوفایی استعدادها و حفظ و نگهداری سرمایه های ارزشمند انسانی ضروری است تجهیزات و زیر ساخت های مهم مورد استفاده در پژوهش های بنیادی و کاربردی نظیر چشمه های نوری پیشرفته، شتاب دهنده های ذرات، تاسیسات مولد نوترینو، سیستم های لیزری با قدرت بالا، راکتورهای اتمی تحقیقاتی پیشرفته، میکروسکوپ الکترونی با وضوح بالا، تجهیزات فوق پیشرفته و پیچیده ضروری برای مطالعه سیستم های زنده و برخی دیگر از تاسیسات و تجهیزات پیچیده و گرانقیمت را فراهم نماید. راه اندازی و استفاده بهینه و کارآمد از چنین تسهیلات و تجهیزاتی نیازمند داشتن نیروهای متخصص توانمند در حوزه های مختلف و صرف هزینه های هنگفت جهت ایجاد، نگهداری، استفاده طولانی مدت و توسعه آنها می باشد. از اینرو عملاً ایجاد و تکرار چنین تشکیلاتی در دانشگاههای متعدد کشور امکان پذیر نیست و می توان آنها را در مکان های مشخصی و در غالب آزمایشگاههای ملی ایجاد کرد. آزمایشگاههای ملی تحقیقات پیشرفته دانشگاهها و مراکز صنعتی را حمایت خواهند کرد و در انتقال فناوری ها به صنعت و بازار نقش مهمی خواهند داشت. این آزمایشگاهها با امکانات پیشرفته کم نظیر و سرمایه های انسانی که در اختیار خواهند داشت در پرورش نسل های آینده مهندسان و دانشمندان برجسته کشور نیز نقش مهمی ایفا خواهند کرد و با امکانات و تخصص های متمرکزی که در اختیار خواهند داشت نیازهای فوری و یا بلند مدت حوزه های مختلف انرژی، صنعتی و علمی را پاسخگو خواهند بود. همچنین با پیوندهایی محکمی که با بخش های صنعتی ایجاد خواهند کرد و با نقشی که در تجاری سازی یافته های علمی و فناوری خواهند داشت به مکان های پیشرو و الهام بخشی در کشور تبدیل خواهند شد و فرایند دگرذیسی دانشگاهها از نسل دومی (دانشگاههای آموزشی و پژوهشی) به نسل سومی (دانشگاههای آموزشی و پژوهشی، مولد ثروت و کارآفرین) را سرعت خواهند بخشید. سنگ بنای برخی از این کانون های تلفیق علم و فناوری قبلاً در کشور گذاشته شده است و نیازمند جهت دهی هوشمندانه برای بهره وری حداکثری از منافع حال و آینده آنها است. برای مثال چشمه نور ایران که یکی از بزرگترین طرح علمی تاریخ کشور است و هم اینک در نزدیکی شهر قزوین در دست طراحی و ساخت می باشد و در قلب آن یک شتابگر سنکروترونی نسل چهارم وجود دارد می تواند با اضافه شدن تجهیزات و آزمایشگاههای جانبی به یک آزمایشگاهی ملی با ماموریت های مشابه آزمایشگاه ملی آرگون و یا آزمایشگاه ملی بروکاون تبدیل شود [۳۵]. همچنین راکتور آب سنگین ۴۰ مگاواتی (حرارتی) اراک و تاسیسات آب سنگین آن که ایزوتوپ های پزشکی و صنعتی تولید می کند می تواند بخش اصلی یک آزمایشگاه ملی شبیه آزمایشگاه ملی اوک ریج گردد و فعالیت هایش را به سایر حوزه های علوم و انرژی گسترش دهد [۳۶].

چالش ها و موانع مهم ایجاد آزمایشگاههای ملی به عنوان زیرساخت های بزرگ علمی در کشور

امروزه چالش های علم و فناوری به طور فزاینده ای پیچیده اند و به راه حل های چند رشته ای و اغلب منحصر به فرد نیاز دارند که زیر ساخت های بزرگ پژوهشی^{۵۲} نظیر تجهیزات آزمایشگاه های ملی می توانند به حل آنها کمک کند. همچنین زیرساخت های علمی و پژوهشی بزرگ نظیر چشمه های نور زیربنای شهرت علمی یک کشور محسوب می شوند و شرایط رقابت پذیری را در سطح جهانی فراهم می کنند. طی سال های اخیر کشورهای دیگر و از جمله برخی کشورها در همسایگی مادر حال ایجاد زیرساخت های علمی بلندپروازانه هستند. از اینرو هیچ تضمینی وجود ندارد که موقعیت و مزیت نسبی فعلی کشور در حوزه های علم و فناوری در قیاس با همسایگان و رقبای دور و نزدیک در بلندمدت نیز محفوظ بماند. از اینرو در کنار همه اقدامات مهمی که انجام می گیرد ایجاد زیرساخت های بزرگ پژوهشی و یا پیوستن به کنسرسیوم های بین المللی که دسترسی جامعه علمی و بخش صنعت به تاسیسات علمی راهبردی و پیشرفته دنیا را تسهیل می کند و کشور را در خط مقدم علمی قرار می دهد ضروری است. ایجاد چنین تشکیلاتی در کشور ما با چالش ها و محدودیت های جدی نیز همراه است و از اینرو لازم است پیشاپیش سیاست گذاران علمی کشور به یافتن راهکارهایی برای آنها اهتمام ورزند. در همین راستا یکی از پرسش های اساسی آن است که چه نهادی در کشور مسوول سیاستگذاری های کلان و راهبردی علمی □ شناسایی و اولویت بندی مزیت های علمی نسبی کشور و معرفی کمبود ها و نیازمندی های اساسی در حوزه های علم و فناوری است؟ مسوولیت چنین نهادی می تواند فراتر از ارایه پیشنهاد و مشورت در تصمیم سازی های بزرگ علمی باشد. به نظر می رسد بدون ایجاد چنین ساختار و تشکیلات مهمی شناسایی دقیق و برنامه ریزی ایجاد زیرساخت های بزرگ علمی در کشور ناممکن باشد. در سال های اخیر توجه به ایجاد و توسعه زیر ساخت های تحقیقاتی از اولویت های مهم سیاست علمی اتحادیه اروپا نیز بوده است و در همین راستا در سال ۲۰۰۲ نیز یک نهاد ویژه به نام انجمن استراتژی اروپا برای زیرساخت های تحقیقاتی^{۵۳} (ESFRI) ایجاد شده است که نقش کلیدی در سیاست گذاری در مورد زیرساخت های تحقیقاتی در آن اتحادیه ایفا می کند [37]. سرمایه گذاری کارآمد در زیرساخت های بزرگ علمی مستلزم برنامه ریزی بلندمدت و تصمیم گیری

^{۵۲} Research Infrastructures

^{۵۳} European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI)

روشن و شفاف است. با توجه به توضیحات فوق لازم است نهادی در سطح عالی متشکل از دانشمندان و نمایندگان بخش صنعت مسئولیت ایجاد یک استراتژی بلندمدت و برنامه ریزی جهت سرمایه گذاری در زیرساخت های علمی کشور را بر عهده بگیرد. چنین نهادی لازم است دیدی جامع از نیازمندی های مهم زیرساخت علمی در سراسر کشور داشته باشد که بخش صنعت را نیز شامل شود و اولویت های سرمایه گذاری مشخصی را برای حداقل یک یا دو دهه آینده پیشنهاد نماید. همچنین نهاد عالی فوق الذکر می تواند یک برنامه شاخص برای یک بازه زمانی پیشنهاد نماید که در فواصل زمانی مشخص مجددا بررسی و به روز رسانی گردد.

ایجاد آزمایشگاههای ملی مأموریت گرای جامع مستلزم صرف هزینه های هنگفتی نیز است و چنین کانون های مهم علم و فناوری در ایالات متحده آمریکا نیز با سرمایه گذاری تدریجی و طی هفت دهه گذشته ایجاد و سپس توسعه یافته اند. چشمه نور دیاموند (الماس) در انگلستان ممکن است برآورد تقریبی هزینه لازم برای ایجاد یک زیرساخت مهم علمی در کشور را بدست دهد که در قیاس با آزمایشگاههای ملی آمریکا به مراتب کوچکتر است. این چشمه نور تاسیسات سنکروترون ملی انگلستان است که در سال ۲۰۰۷ افتتاح شده است و بزرگترین مرکز علمی است که در ۴۰ سال گذشته در آن کشور و طی سه مرحله با سرمایه گذاری ۵۰۰ میلیون پوندی ساخته شده است و اکنون ۴۰۰ نفر عمدتاً دانشمند و مهندس در آن فعالیت می کنند [38]. اهمیت و چالش های مهم ایجاد و بهره برداری زیر ساخت های بزرگ علمی در دومین گزارش تهیه شده برای مجلس اعیان انگلستان نیز بررسی شده است [38]. علاوه بر هزینه کلان ایجاد نگهداری و بهره برداری طولانی مدت و بروز رسانی تجهیزات گرانبه آزمایشگاههای ملی و پرداخت حقوق و مزایای کارکنان نیز مستلزم صرف هزینه های اضافی است که به بودجه سالانه چنین مراکزی می افزاید. همچنین عدم تامین به موقع بودجه لازم برای بهره برداری تعمیرات و ارتقای تجهیزات طی سال های آتی ممکن است شرایطی را ایجاد کند که از امکانات بزرگ علمی با حداکثر ظرفیت استفاده نشود و چنین شرایطی سرمایه گذاری های کلان کشور در حوزه های علم و فناوری را با چالش های جدی مواجه می سازد.

استمرار تحریم های فراقانونی و غیر منصفانه بر علیه کشور ما نیز چالش مهم دیگری است که هم ایجاد چنین تشکیلات بزرگی را در مواردی ناممکن می سازد و هم حفظ و نگهداری و ارتقای تجهیزات پیچیده و گرانبه آنها را با مشکل و صرف هزینه های به مراتب بیشتر مواجه می سازد. علاوه بر هزینه های بزرگ ایجاد و نگهداری آزمایشگاههای ملی جامع و مأموریت گرا داشتن نیروی کار ماهر مناسب در بهره برداری از سرمایه گذاری های بزرگ در حوزه زیر ساخت های علمی به میزان زیادی وابسته به فراهم آوردن تخصص و نیروی انسانی توانمند در رده جهانی است. بدون داشتن نیروی انسانی ماهر و کارآمد سرمایه گذاری در این حوزه چندان توجیه پذیر نخواهد بود. جمع آوری تخصص و برنامه ریزی ساخت تاسیسات بزرگ علمی قبل از آنکه عملیاتی شود ممکن است چندین دهه طول بکشد. بنابراین مهم است که در این حوزه یک استراتژی بلندمدت از قبل در کشور وجود داشته باشد. همچنین شواهد زیادی وجود دارند که نشان می دهد زیرساخت های علمی کوچک و بزرگ اغلب برای بخش صنعت نیز بسیار مهم و مفید است. دسترسی به زیرساخت های علمی با بودجه عمومی به ویژه برای شرکت های کوچک و متوسط که قادر به تامین مالی سرمایه گذاری در چنین تجهیزاتی نیستند، بسیار راهگشا و مهم می باشد. شرکت های کوچک و متوسطی که از دانشگاه ها خارج می شوند ممکن است همچنان به تجهیزات مؤسسات تحقیقاتی و دانشگاهی متکی باشند. از اینرو چنین زیرساخت هایی یک شروع ارزشمند برای شرکت های به خصوص نوپا را فراهم می کند و به طور مستقیم محرک اقتصاد و تسریع کننده توسعه صنعتی کشور است. از اینرو لازم است استراتژی و برنامه سرمایه گذاری زیربنایی برای زیرساخت های علمی شامل بررسی اقداماتی با هدف تسهیل دسترسی بیشتر برای بخش صنعت نیز باشد. بعد از تاسیس و عملیاتی شدن آزمایشگاههای ملی یکی دیگر از ملاحظات جدی ایجاد سازوکار های نظارتی ارزیابی و پایش مداوم است که تأثیر و بازگشت سرمایه را رصد نماید و با ارائه مستندات و شواهد به تصمیم گیری های آتی در مورد آنها کمک نماید.

سخن آخر

یکی از دلایل مهم تاسیس مراکز علمی مأموریت گرا در قالب آزمایشگاههای ملی در ایالات متحده آمریکا و دیگر کشورها مشکل سازماندهی مطالعات پراکنده در مراکز علمی مختلف برای غلبه بر چالش های اساسی بوده است. این آزمایشگاهها که در آمریکا به موازات دانشگاهها و دیگر مراکز علمی و پژوهشی فعالیت می کنند توانایی و چابکی بهتری در حل مشکلات و دستیابی به فناوری های مهم از خود نشان داده اند. تاسیس چنین مراکز مأموریت گرای در کشور ما نیز می تواند منشا تحولات مهم در حوزه های مختلف علم و فناوری شود. از اینرو ضروری است حوزه های مهم علمی و فناوری بر اساس نیازمندی های اساسی کشور ظرفیت های بالقوه و نیروی های انسانی متخصص در دسترس مشخص شود. سپس همزمان با تاسیس آزمایشگاههای ملی در این حوزه ها تجهیزات با فناوری بالای آنها نیز به عنوان کاربر ملی در نظر گرفته شود. همچنین با هدف ایجاد مراکز پیشرو در حوزه های علم و فناوری و تأثیر ژرف بر کیفیت فعالیت های علمی دانشگاهها و توانمندی بخش صنعت ضروری است تا دانشمندان برجسته در این آزمایشگاهها به خدمت گرفته شوند.

همچنین ایجاد و بهره برداری از چنین زیرساخت های بزرگی مستلزم غلبه بر موانع و چالش های بزرگی است و ضروری پیشاپیش ضمن برنامه ریزی اقدامات مهمی در این خصوص انجام شود.

منابع مورد استناد

۱. H.Goldwhite, The Manhattan Project, Journal of Fluorine Chemistry, Volume ۳۳, Issues ۱-۴, October ۱۹۸۶, Pages ۱۰۹-۱۳۲
۲. Los Alamos National Laboratory: <https://www.lanl.gov/>
۳. Our history: Argonne National Laboratory: <https://www.anl.gov/our-history>
۴. Lawrence Livermore National Laboratory: <https://www.llnl.gov/>
۵. America's National Laboratory System A Powerhouse of Science, Engineering, and Technology: <https://nationallabs.org/site/wp-content/uploads/۲۰۱۷/۰۵/National-Labs-all-r.pdf>
۶. The State of the DOE National Laboratories: ۲۰۲۰ Edition, pp: ۱-۳۴. <https://www.energy.gov/sites/default/files/۲۰۲۱/۰۱/f۸۲/DOE%۲۰National%۲۰Labs%۲۰Report%۲۰FINAL.pdf>
۷. Amitai Y. Bin-Nun, Gabriel Chan, Laura Diaz Anadon, Venkatesh Narayanamurti, Sarah Jane Maxted, The Department of Energy National Laboratories: Organizational design and management strategies to improve federal energy innovation and technology transfer to the private sector, Report ۲۰۱۷.
۸. Linda R. Cohen and Roger G.Noll, The future of the national laboratories, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, ۱۹۹۶, (۹۳): ۱۲۶۷۸-۱۲۶۸۵.
۹. Deepa Scarrà and Andrea Piccaluga, The impact of technology transfer and knowledge spillover from Big Science: a literature review, Technovation, ۲۰۲۰, ۱۰۲۱۶۵
۱۰. Fundamental science: critical to meeting U.S. energy and climate mitigation goals, national laboratory director's council, January ۲۰۲۱
۱۱. ۷۵ Breakthroughs by America's National Laboratories: <https://www.energy.gov/downloads/۷۵-breakthroughs-americas-national-laboratories>
۱۲. Dimitri Kusnezov, The Department of Energy's National Laboratory Complex: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/۲۰۱۴/۰۸/f۱۸/July%۲۰۱۸%۲۰Kusnezov%۲۰FINAL.pdf>
۱۳. America's National Laboratory System, A Powerhouse of Science, Engineering, and Technology: <https://nationallabs.org/site/wp-content/uploads/۲۰۱۷/۰۵/National-Labs-all-r.pdf>
۱۴. Science, Technology, Engineering, and Math, including Computer Science: <https://www.ed.gov/stem>



۱۵. Basic Science Investment Improves U.S. Global Competitiveness:
https://www.pewtrusts.org/-/media/assets/۲۰۱۵/۰۲/basic_science_and_innovation_final.pdf
۱۶. Jose A.Guridia, Julio A.Pertuze, Sebastian M.P fotenhauer, Natural laboratories as policy instruments for technological learning and institutional capacity building: The case of Chile's astronomy cluster, Research Policy, ۲۰۲۰, ۴۹ (۲): ۱۰۳۸۹۹.
۱۷. (DOE) Office of Science user facilities - Department of Energy:
<https://www.energy.gov/science/science-innovation/office-science-user-facilities>
۱۸. National Virtual Biotechnology Laboratory (NVBL): <https://science.osti.gov/nvbl>
۱۹. Robert W. Seidel, Science Policy and the Role of the National Laboratories, Los Alamos Science Number ۲۱ ۱۹۹۳
۲۰. Ames National Laboratory: <https://www.ameslab.gov/>
۲۱. Argonne National Laboratory: <https://www.anl.gov/>
۲۲. Brookhaven National Laboratory: <https://www.bnl.gov/world/>
۲۳. Fermi National Laboratory: <https://www.fnal.gov/>
۲۴. Idaho National Laboratory: <https://inl.gov/>
۲۵. Lawrence Berkeley National Laboratory: <https://www.lbl.gov/>
۲۶. National Energy Technology Laboratory: <https://netl.doe.gov/>
۲۷. National Renewable Energy Laboratory: <https://www.nrel.gov/>
۲۸. Oak Ridge National Laboratory: <https://www.ornl.gov/>
۲۹. Pacific Northwest National Laboratory: <https://www.pnnl.gov/>
۳۰. Princeton Plasma Physics Laboratory: <https://www.pppl.gov/>
۳۱. Sandia National Laboratories: <https://www.sandia.gov/>
۳۲. Savannah River National Laboratory: <https://srnl.doe.gov/>
۳۳. SLAC National Accelerator Laboratory: <https://www.slac.stanford.edu/about/slac-overview>
۳۴. Thomas Jefferson National Accelerator Center: <https://www.jlab.org/>
۳۵. Iranian Light Source: <http://ilsf.ipm.ac.ir/>
۳۶. Arak Nuclear Complex: <https://www.nti.org/learn/facilities/۱۷۷/>
۳۷. Hallonsten O., Research infrastructures in Europe: the hype and the field, European Review, ۲۰۲۰, ۲۸ (۴): ۶۱۷-۶۳۵
۳۸. Scientific Infrastructure, House of Lords, Select Committee on Science and Technology, ۲nd Report of Session ۲۰۱۳-۱۴.