۴

رصد فناوری‌های نوظهور

فناوری‌های اپتیک و کوانتوم

سلسله گزارش‌های برنامه ملی آینده‌نگاری علم و فناوری ایران

ریاست جمهوری
معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان

آینده‌نگاری ملی

دانشگاه شهید بهشتی

بسم اللہ الرحمن الرحیم

رصد فناوری‌های نوظهور؛ فناوری‌های اپتیک و کوانتوم

ترجمه و تخلیص گزارش‌های بین‌المللی: زینب شریعتی

تحلیل مقالات و پتنت‌های بین‌المللی: راحله فتح‌الهی

ناشر: دانش‌بنیان فناور

شمارگان: ۱۰۰ نسخه

سال نشر: ۱۴۰۲

شابک: ۸-۸۴-۶۹۰۵-۶۲۲-۹۷۸

کلیه حقوق محفوظ و متعلق به دبیرخانه برنامه ملی آینده‌نگاری علم و فناوری ایران است

فهرست

گزارش‌های حوزه اپتیک (فوتونیک)	صفحه
۱- گزارش صنعت فوتونیک و اپتیک ۲۰۲۲	۱۰
۲- گزارش روند بازار فوتونیک ۲۰۲۲/۲۰۲۱؛ روند صنعت و پتانسیل بازار	۲۶
۳- افق آینده پژوهش در فوتونیک ۲۰۳۰ و فراتر	۴۰
۴- عصر نور اروپا؛ چگونه فوتونیک، نوآوری و پیشرفت را در اروپا تقویت میکند؟	۶۲
۵- وضعیت فوتونیک؛ چگونه فناوری‌های مبتنی بر نور چالش‌های صنعت را حل می‌کنند و چگونه در راستای رشد اقتصادی در آینده مهار می‌شوند؟	۷۶
۶- داده بازار و گزارش صنعت فوتونیک ۲۰۲۰	۹۰
گزارش‌های حوزه کوانتوم	
۷- پایش فناوری کوانتوم	۱۲۴
۸- فناوری‌های کوانتوم؛ چگونه سازمان خود را برای ایجاد مزیت کوانتومی آماده کنیم؟	۱۶۶
۹- چالش‌های فناوری‌های کوانتوم	۱۸۸
۱۰- فناوری‌های کوانتوم با فوتون	۲۱۰
۱۱- نقشه راه فوتونیک کوانتومی	۲۳۱
۱۲- جمع‌بندی فناوری‌های اپتیک و کوانتوم	۲۴۸
۱۳- تحلیل پتنت و مقالات حوزه اپتیک و کوانتوم	۳۱۲
۱۴- فرآیند اجرایی گزارش	۳۵۷
۱۴- منابع	۳۶۷

معرفی برنامه ملی آینده نگاری علم و فناوری ایران

لزوم تفکر آینده‌نگر و حرکت به سوی جامعه دانشی، موضوعی است که مورد توجه سیاست‌گذاران حوزه علم، فناوری و نوآوری در کشورهای مختلف قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، تجربه کشورهای توسعه‌یافته نشان داده است که برنامه‌هایی مانند برنامه آینده‌نگاری در حوزه علم و فناوری، با ارائه اطلاعات و خلق هوشمندی در میان ذینفعان مختلف، سعی در حرکت به این مقصد مهم که همان ساختن جامعه مطالبه‌گر و آگاه، جامعه هوشمند و آشنا به فرصت‌ها و تهدیدهای آینده و جامعه دارای اطلاع از پاسخ‌هایی که حوزه علم و فناوری می‌تواند به چالش پیش‌رو پاسخ دهد، داشته‌اند. از این‌رو «برنامه ملی آینده‌نگاری علم و فناوری» با تدوین مدل اجرایی در معاونت سیاست‌گذاری و توسعه معاونت علمی، فناوری و اقتصاد انش‌بنیان ریاست جمهوری آغاز شد و بعد از آن با تصویب هیات محترم وزیران در تاریخ ۱۳۹۳/۱۲/۱۷ جهت اجرا به این معاونت و کلیه دستگاه‌های اجرایی کشور ابلاغ شد. براساس این مصوبه، معاونت علمی، فناوری و اقتصاد انش‌بنیان ریاست جمهوری متولی اجرای برنامه ملی آینده‌نگاری علم و فناوری است که این مهم را از طریق معاونت سیاست‌گذاری و توسعه به عنوان «دبیرخانه» برنامه ملی آینده‌نگاری، و با همکاری دستگاه‌های اجرایی به انجام رساند.

دبیرخانه برنامه ملی آینده‌نگاری علم و فناوری

معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست جمهوری

مقدمه فناوری‌های اپتیک و کوانتوم

فناوری‌های اپتیک و کوانتوم دو حوزه‌ی به سرعت در حال رشد هستند که پتانسیل ایجاد انقلاب در بسیاری از جنبه‌های زندگی روزمره ما، از محاسبات گرفته تا ارتباطات و مراقبت‌های بهداشتی را دارند. اپتیک با رفتار و خواص نور سروکار دارد، در حالی که فناوری‌های کوانتوم از مکانیک کوانتومی برای توسعه فناوری‌های جدید استفاده می‌کند. یکی از حوزه‌های تلاقی این دو فناوری توسعه محاسبات کوانتومی است. کامپیوترهای کوانتومی به جای بیت‌های کلاسیک از بیت‌های کوانتومی (کیوبیت) استفاده می‌کنند که امکان پردازش سریع‌تر را فراهم می‌کند.

اپتیک برای ایجاد کیوبیت با دستکاری خواص نور، مانند قطبش و فاز، برای رمزگذاری اطلاعات استفاده می‌شود که به آن فوتونیک گفته می‌شود.حوزه دیگر تلاقی، ارتباطات کوانتومی است. ارتباطات کوانتومی از اصول مکانیک کوانتومی برای ایجاد کانال‌های ارتباطی ایمن استفاده می کند که از شنود مصون هستند. از اپتیک برای ایجاد و دستکاری حالت‌های کوانتومی فوتون‌ها و انتقال اطلاعات در فواصل طولانی استفاده می‌شود. حسگرهای کوانتومی مبتنی بر اپتیک، از خواص نور برای اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی مانند دما، فشار و میدان‌های مغناطیسی با دقت بالا استفاده می‌کنند و در زمینه‌هایی نظیر مراقبت‌های بهداشتی، محیط زیست و ناوبری کاربرد دارند.

به طور کلی، تلاقی فناوری‌های اپتیک و کوانتوم منجر به پیشرفت‌های جدید در زمینه‌های مختلف می‌شود. از آنجایی که این فناوری‌ها به تکامل خود ادامه می‌دهند در آینده شاهد کاربردهای نوآورانه‌تری از آن‌ها خواهیم بود.

فناوری‌های اپتیک
(فوتونیک)

PHOTONICS 21

PHOTONICS LEADERSHIP GROUP

FUTURE PHOTONICSHUB

PHOTONICS in the German Industry Association SPECTARIS

IOP Institute of Physics

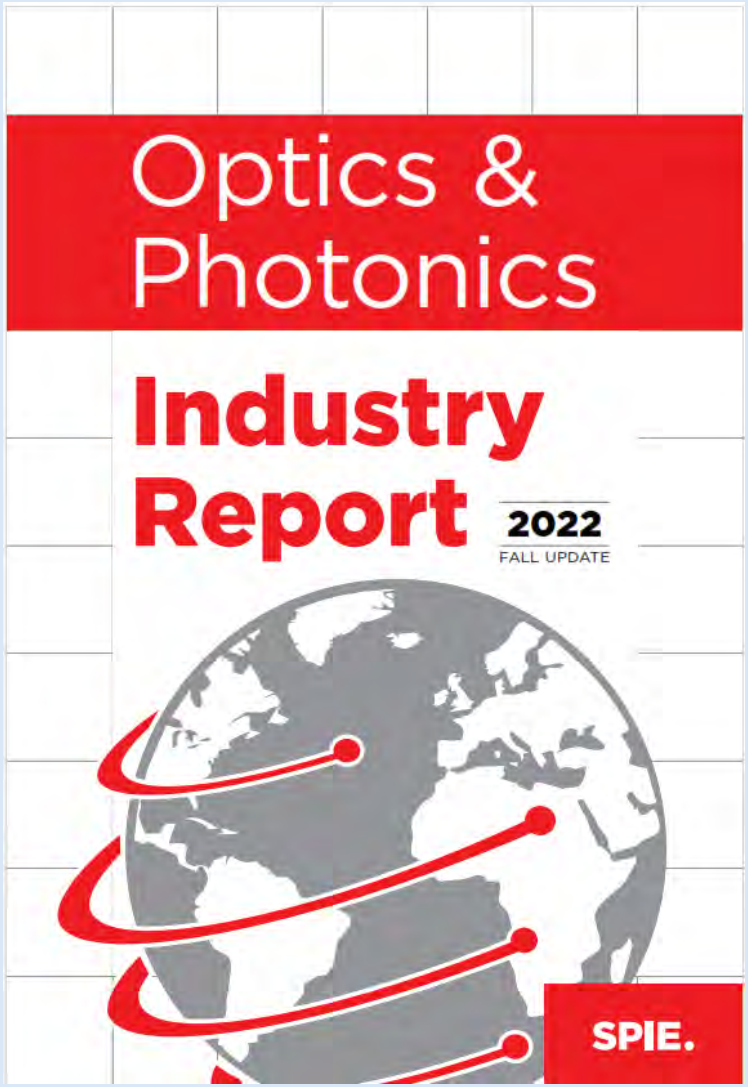
SPIE.

۱– گزارش صنعت فوتونیک و اپتیک ۲۰۲۲

SPIE.

The international society
for optics and photonics

گزارش صنعت اپتیک و فوتونیک ۲۰۲۲



☑ **عنوان گزارش:**

گزارش صنعت اپنیک و فوتونیک ۲۰۲۲

☑ **ناشر:**

مجمع بین المللی اپتیک و فوتونیک

☑ **سال نشر:** ۲۰۲۲

☑ **افق زمانی:** –

☑ **هدف و مخاطبین:**

ارزیابی وضعیت زیرساخت‌های جهانی برای تولید محصولات فوتونیک و تبیین روندهای اصلی صنعت اپتیک و فوتونیک

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

ساختار گزارش صنعت اپتیک و فوتونیک ۲۰۲۲

۰۱ تعریف فوتونیک و زنجیره ارزش آن

۰۲ وضعیت تولیدکنندگان و نیروی کار فوتونیک در جهان

۰۳ وضعیت بازار و درآمد فوتونیک در جهان

۰۴ کاربرد فوتونیک در حوزه‌های مختلف در آینده

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

تعریف فوتونیک و کاربردهای آن

تعریف فوتونیک

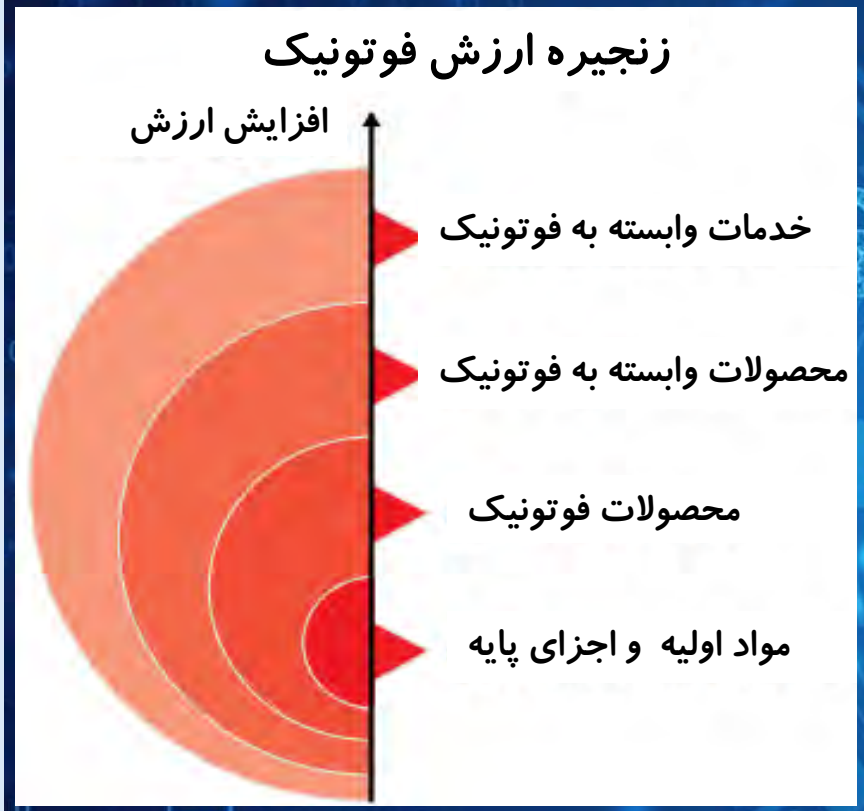
فوتونیک علم نـور و کاربردهـای آن اسـت؛ فناوری تولیـد، کنتـرل و آشکارسـازی نـور. فوتونیک، طیف کامل الکترومغنـاطیس را از امـواج گامـا تـا امـواج رادیـویی را پوشـش می‌دهد؛ شامل اشعه ایکس، ماورابنفش، نور مادون قرمز.

کاربردهای فوتونیک:

- ☑ لوازم الکترونیک مصرفی: اسکنر بارکد، دی‌وی‌دی خوان، کنترل تلویزیون
- ☑ مخابرات: فیبر نوری، لیزرها، سوئیچ‌ها
- ☑ سلامت: جراحی چشم، تجهیزات پزشکی
- ☑ تولید: برش و ماشین‌کاری لیزری
- ☑ امنیت و دفاع: دوبین‌های مادون قرمز، سنجش از راه دور
- ☑ سرگرمی: هولوگرافی، نورافکن سینما

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

زنجیره ارزش فوتونیک

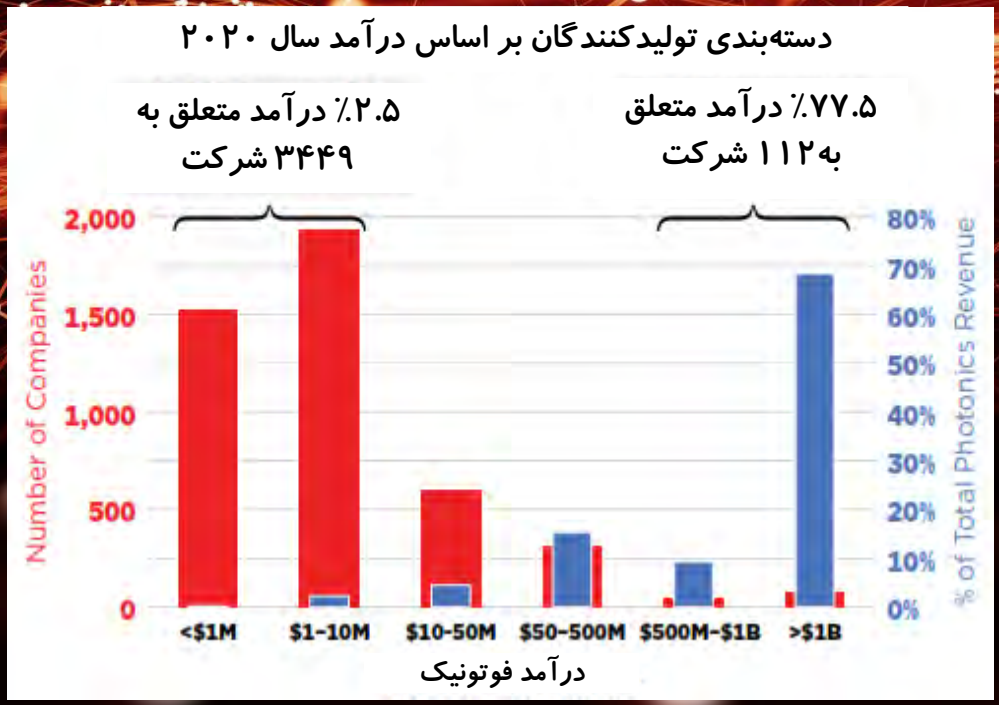


- ☑ زنجیره ارزش فوتونیک با مواد اولیه نظیر شیشه و مواد نیمه هادی شروع می‌شود و تا زیرسیستم‌ها و قطعات نوری و محصولات وابسته به فوتونیک نظیر سیستم‌های روشنایی، پایگاه داده و تلفن‌های هوشمند ادامه می‌یابد.
- ☑ فناوری فوتونیک زیربنای طیف وسیعی از خدمات اینترنت-محور نظیر پردازش ابری، پخش آنلاین فیلم و تجارت الکترونیک است که برای انتقال داده به فیبر نوری وابسته هستند.

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at: https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

دسته‌بندی درآمدی تولیدکنندگان فوتونیک

اغلب تولیدکنندگان در حوزه فوتونیک شرکت‌های کوچک و متوسط هستند اما بیشترین سهم درآمد متعلق به شرکت‌های بزرگ نظیر Corning، Nikon، Carl Zeiss است (سه چهارم درآمد متعلق به ۲ درصد تولید کنندگان).

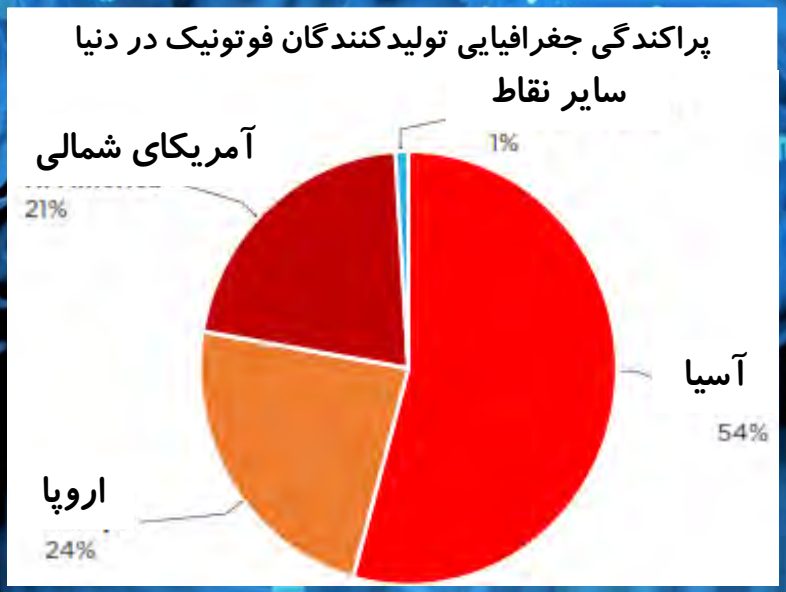


SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

پراکندگی جغرافیایی تولیدکنندگان فوتونیک

در سال ۲۰۲۰، ۴۸۴۰ تولیدکننده محصولات فوتونیک در ۵۰ کشور دنیا فعال بوده‌اند که بیش از ۵۰ درصد آن‌ها در آسیا مستقرند.

در این صنعت سرانه درآمد شرکت‌ها به ازای هر نیروی کار به طور متوسط ۲۳۸ هزار دلار است.



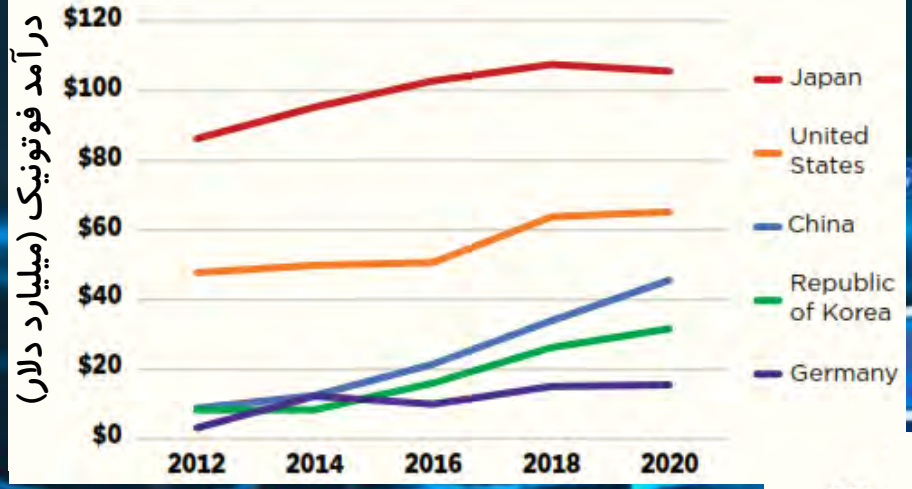
SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

توزیع جغرافیایی درآمد ونیروی کار در حوزه فوتونیک

☑ ژاپن با بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار بیشترین درآمد حاصل از فروش محصولات فوتونیک را به خود اختصاص داده است.

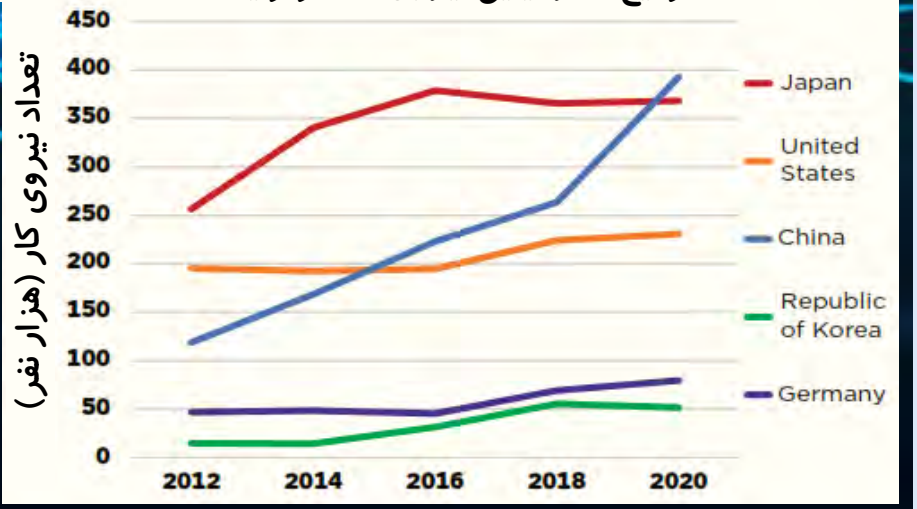
☑ چین نیز با نرخ رشد سالانه ۲۳درصد بیشترین رشد درآمد را در حوزه فوتونیک و در بازه زمانی ۲۰۱۲ تا۲۰۲۰ تجربه نموده است.

توزیع جغرافیایی درآمد فوتونیک



☑ از نظر تعداد نیروی کار در سال ۲۰۲۰ کشور چین با رشد ۴ برابری نسبت به سال ۲۰۱۲ ، مقام اول را کسب نموده در حالی که همچنان درآمد ژاپن نزدیک به ۳ برابر بیشتر از چین است.

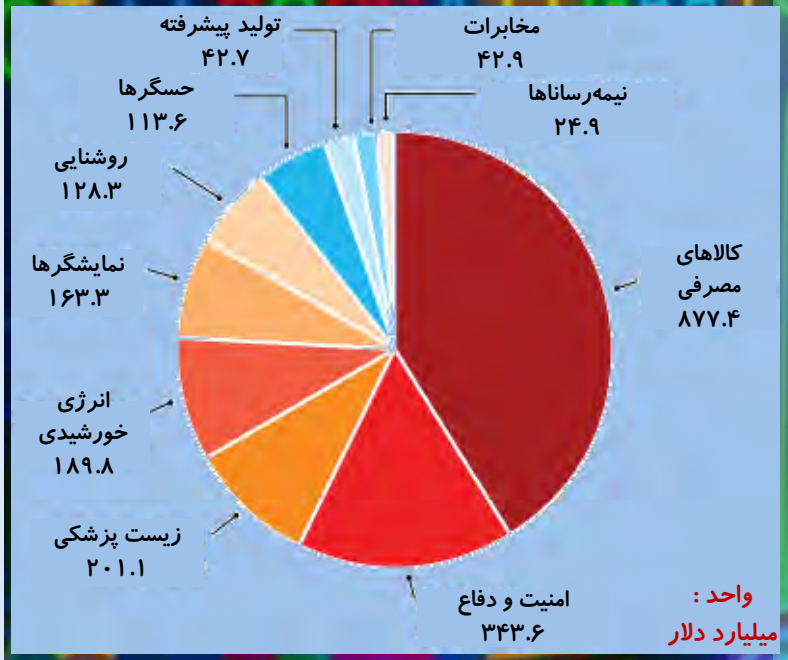
توزیع جغرافیایی نیروی کار فوتونیک



SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

حجم بازارهای اصلی قطعات فوتونیک در سال ۲۰۲۱

در سال ۲۰۲۱ ارزش کل بازار صنعت تولید قطعات فوتونیک ۲.۱۲ تریلیون دلار بوده است که ۱۰ بازار اصلی را پشتیبانی می‌کند.



۱. کالاهای مصرفی (۴۱٪): تلفن هوشمند، تلویزیون

۲. امنیت و دفاع (۱۶٪): دید در شب، سلاح لیزری

۳. زیست پزشکی (۹.۵٪): تصویربرداری پزشکی، توالی‌یابی DNA

۴. انرژی خورشیدی (۹٪): فوتوولتائیک

۵. نمایشگرها(۷٪): تابلوهای‌تبلیغات دیجیتال، نمایشگر شفاف

۶. سیستم‌های روشنایی (۶٪): LED، کشاورزی دقیق، استریلیزه‌سازی

۷. حسگرها، پایش و کنترل (۵٪): سیستم‌های خودکار، اینترنت اشیاء، پهپاد

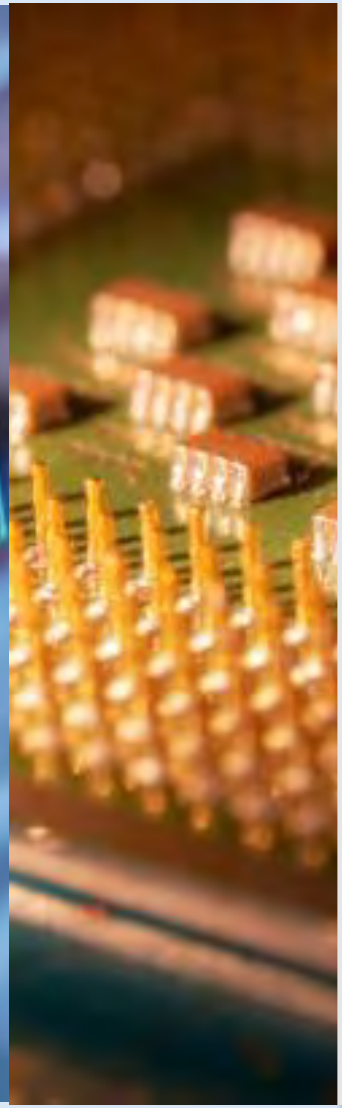
۸. تولید پیشرفته (۲٪): برش، جوش و..توسط لیزر، اندازه‌گیری دقیق، دید ماشینی، نمونه‌سازی سریع، پرینتر۳بعدی

۹. مخابرات (۲٪): فیبر نوری، اینترنت نسل۵

۱۰. نیمه‌رساناها (۱٪): تراشه‌ها، ترانزیستورها و قطعات الکترونیک مبتنی بر فوتون

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

پررونق‌ترین بازارهای محصولات فوتونیک

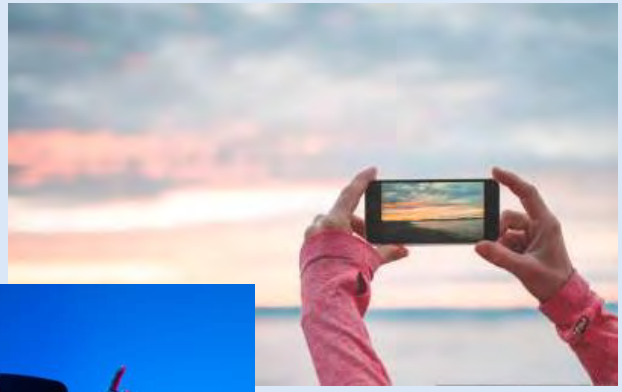


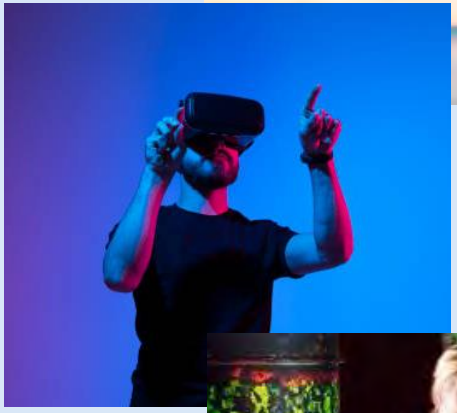
چهار بازار محصولات فوتونیک با بیشترین رشد درآمد بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱

- ☑ نیمه‌رساناها(۲۴٪): اینترنت اشیاء، اتوماسیون و هوشمندسازی همه‌چیز، همگی استفاده از تراشه‌های نیمه‌رسانا را افزایش داده است. انتظار می‌رود تقاضا برای تجهیزات پردازش در فناوری‌های قدیمی و پیشرفته‌با قانونگذاری در آمریکاو اروپا در مورد تراشه‌ها برای رفع اختلالات زنجیره تامین، افزایش‌یابد.
- ☑ انرژی خورشید(۲۱٪): تمایل شرکت‌ها به استفاده از انرژی پاک و عدم وابستگی در تامین انرژی و ارائه مشوق‌های مالیاتی توسط دولت‌ها سبب تقاضای بیش از عرضه برای نصب صفحات خورشیدی شده است.
- ☑ سنجش، پایش‌و کنترل(۱۴٪): سیستم‌های خودکار و اینترنت اشیاء تقاضا برای حسگرهای متنوع فوتونیکی را افزایش داده، هر چند رشد آن به دلیل کمبود تراشه محدود شده است.
- ☑ نمایشگر(۸٪): بکارگیری‌تابلوها، دستگاه‌های فروشگاهی و نمایشگرهای سرگرمی و سیستم‌های دورکاری و نمایشگرهای شفاف رشد بالایی(در طول مدت پاندمی) داشته است.

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

کاربرد فوتونیک در آینده





نمایش: تولید نمایشگر با رزولوشن و کارآیی بالا و متحول شدن فناوری نمایش نظیر OLED، میکروLED، و وسایل مبتنی بر لیزر، تاشو و چرخشی

واقعیت مجازی/افزوده و مرکب: تثبیت کاربرد این واقعیت‌ها در پزشکی و صنایع مربوط به آموزش، بازاریابی و تجارت الکترونیک، بازی و سرگرمی

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

کاربرد فوتونیک در آینده (۱)

پزشکی: نفوذ تجهیزات پزشکی درمانی و تشخیصی مبتنی بر فوتونیک و کم‌هزینه در بازار.
توسعه ابزارهای پوشیدنی بسیار سریع برای سنجش شاخص‌های فیزیولوژیکی برای پایش سلامت و بیماری افراد در لحظه

انرژی خورشیدی: فراگیر شدن استفاده از سلول‌های خورشیدی در دنیا با کاهش هزینه و افزایش گزینه‌های ذخیره اقتصادی انرژی(باتری‌ها) در آن‌ها، تولید نسل جدید فوتوولتائیک‌ها

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

کاربرد فوتونیک در آینده (۲)

امنیت و دفاع : بکارگیری سیستم‌های مادون قرمز، تصویربرداری فراطیفی و اقدامات پدافندی مبتنی بر لیزر و ظهور سلاح‌های لیزری در صنعت دفاعی

روشنایی: کاربرد LEDهای جدید با هزینه‌بروات کمتر و ارزش افزوده بالاتردر سیستم‌های نوری هوشمند انسان-محور. کاهش هزینه و هوشمندسازی فرآیند استریلیزه کردن، کشاورزی دقیق(تشخیص بیماری یا کمبود آب گیاهان) و تصفیه آب

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

کاربرد فوتونیک در آینده (۳)

سیستم‌های خودکار: بکارگیری حسگرهای فوتونیک و سیستم‌های تصویربرداری در خودروهای خودران، پهپادها و سیستم‌های رباتی منتفع از هوش مصنوعی

تولید پیشرفته: ایجاد تحولات بزرگ در فرآیند تولید صنایعی نظیر هوافضا و خودروسازی با بکارگیری ابزارهای تولید مبتنی بر فوتونیک نظیر لیزر، سنجش نوری، بینایی ماشین در ترکیب با نمونه‌سازی سریع و نسل چهارم صنعت

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

کاربرد فوتونیک در آینده (۴)

مخابرات و فناوری اطلاعات: توسعه ارتباطات برای تامین نیاز نسل جدید فناوری 5G ، کاربرد فوتون به جای الکترون در پایگاه داده برای رفع محدودیت‌های الکترونیک و افزایش سرعت و حجم ذخیره‌سازی

فناوری کوانتوم: توسعه فناوری‌های نوظهور کوانتوم و ایجاد فرصت برای پیشرفت چشمگیر فناوری فوتونیک در سنجه‌شناسی، سنجش، مخابرات و پردازش

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

جمع‌بندی اولویت‌های فناوری در گزارش

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

۲– گزارش روند بازار فوتونیک ۲۰۲۱/۲۰۲۲

روند صنعت و پتانسیل بازار

PHOTONICS in the German Industry Association SPECTARIS

LASER World of PHOTONICS

گزارش روند فوتونیک ۲۰۲۱/۲۰۲۲

☑ **عنوان گزارش:**

گزارش روند فوتونیک ۲۰۲۱/۲۰۲۲

☑ **ناشر:**

انجمن فوتونیک در آلمان

☑ **سال نشر:** ۲۰۲۲

☑ **افق زمانی:** –

☑ **هدف و مخاطبین:**

معرفی فرصت‌های آینده بازار فوتونیک به شرکت‌ها و موسسات پژوهشی آلمانی فعال در این حوزه

SPECTARIS (2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

ساختار محتوای ارائه شده در گزارش

روندهای اصلی فوتونیک

۰۱

نیاز به نیروی انسانی متخصص، افزایش امنیت اطلاعات با فناوری کوانتوم، ضد عفونی سطوح با نورفرابنفش، بکارگیری حسگر در تولید

کاربردهای لیزر و نور

۰۲

بکاگیری این ابزار قدرتمند در تشخیص ساختارهای میکرو، تشخیص پزشکی و درمانی و چاپ ۳بعدی و...

وضعیت بازار فوتونیک در جهان و اروپا

۰۳

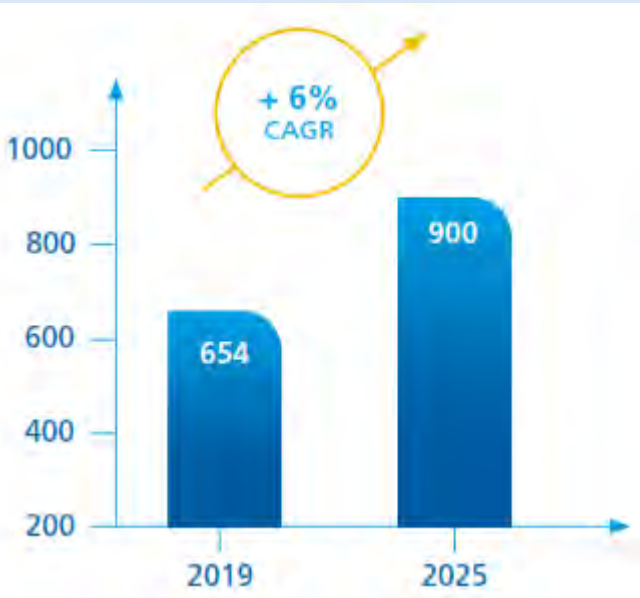
پیشگامی چین در تولید محصولات فوتونیک و رشد ۶ درصدی سالانه این بازار

وضعیت بازار جهانی لیزر

۰۴

SPECTARIS(2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

وضعیت بازار جهانی فوتونیک



پیش‌بینی رشد سالانه ۶٪ در بازار جهانی فوتونیک

- ☑ رشد ۴۲٪ی بازار جهانی فوتونیک از ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰
- ☑ چین عرضه کننده یک سوم محصولات فوتونیک در جهان
- ☑ پیش‌بینی رشد ۶٪ سالانه در بازار فوتونیک و دستیابی به حجم ۹۰۰ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۵

SPECTARIS(2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

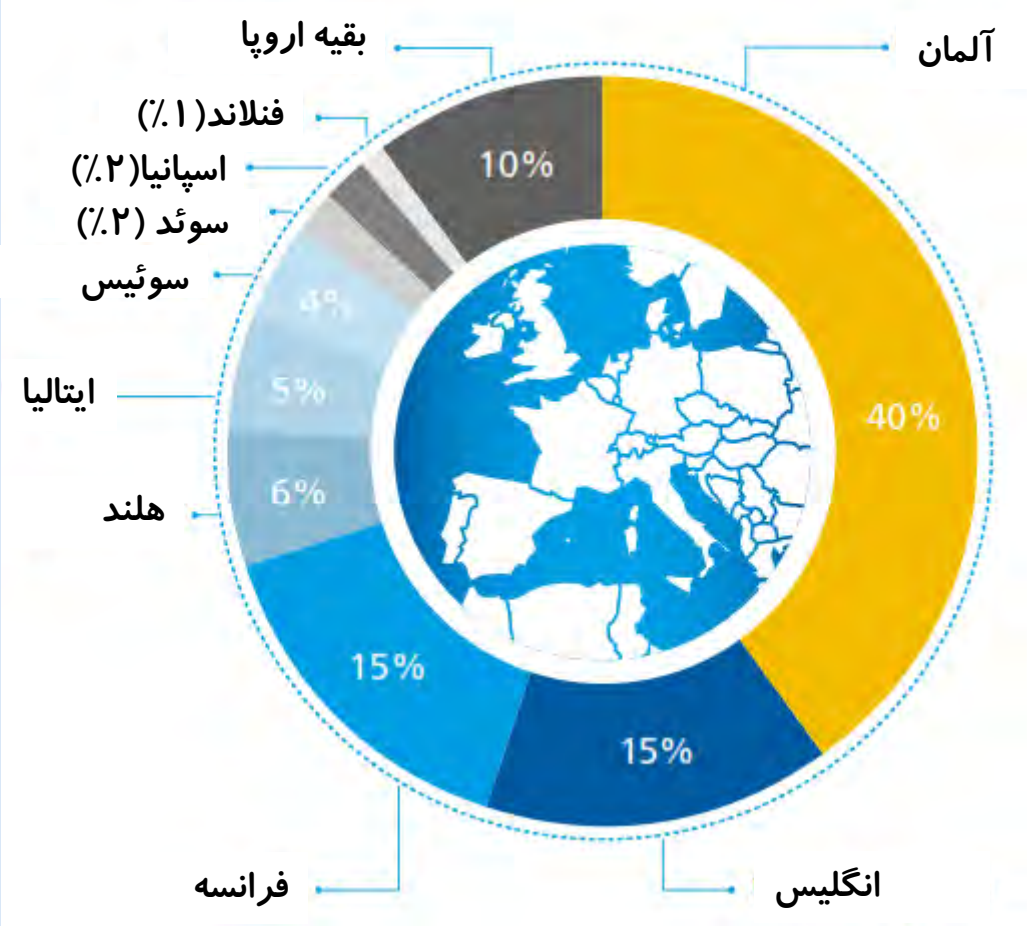
وضعیت بازار فوتونیک در اروپا

وضعیت بازار فوتونیک در اروپا (سال ۲۰۱۹)

- ☑ حجم بازار فوتونیک در اروپا در سال ۲۰۱۹ حدود ۱۰۳ میلیارد دلار بوده و ۳۹۰ هزار نفر در آن فعال هستند و از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ بطور متوسط سالانه ۷٪ رشد داشته است.

- ☑ آلمان سهم ۴۰ درصدی از بازار فوتونیک در اروپا را در اختیار دارد و پس از آن انگلیس و فرانسه با سهم ۱۵ درصد قرار گرفته‌اند.

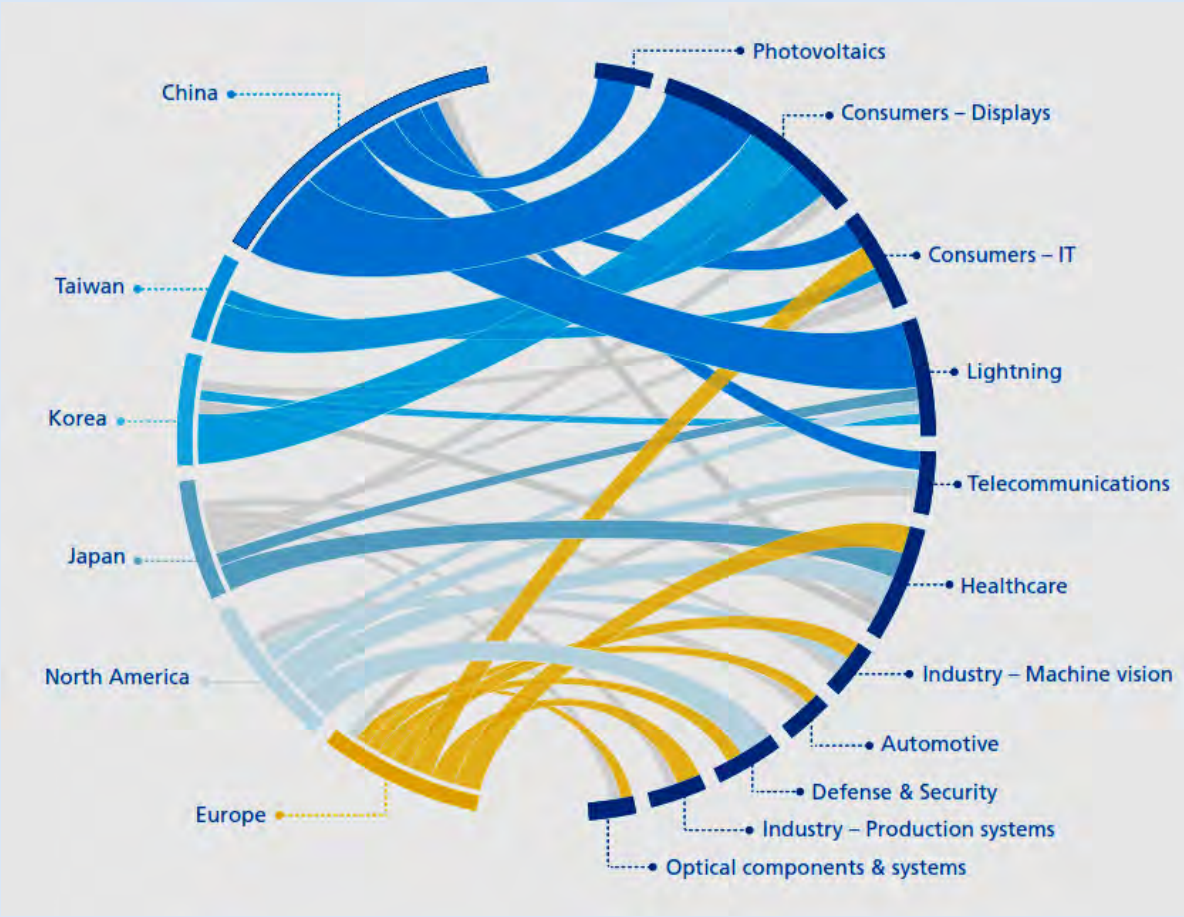
سهم کشورها از بازار فوتونیک اروپا (سال ۲۰۱۹)



SPECTARIS(2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

تقسیم‌بندی منطقه‌ای بازار جهانی فوتونیک

سهم بازار مناطق جغرافیایی پیشتاز در بخش‌های اصلی فوتونیک



*اندازه روبان‌ها متناسب با ارزش تولید در هر بخش است.

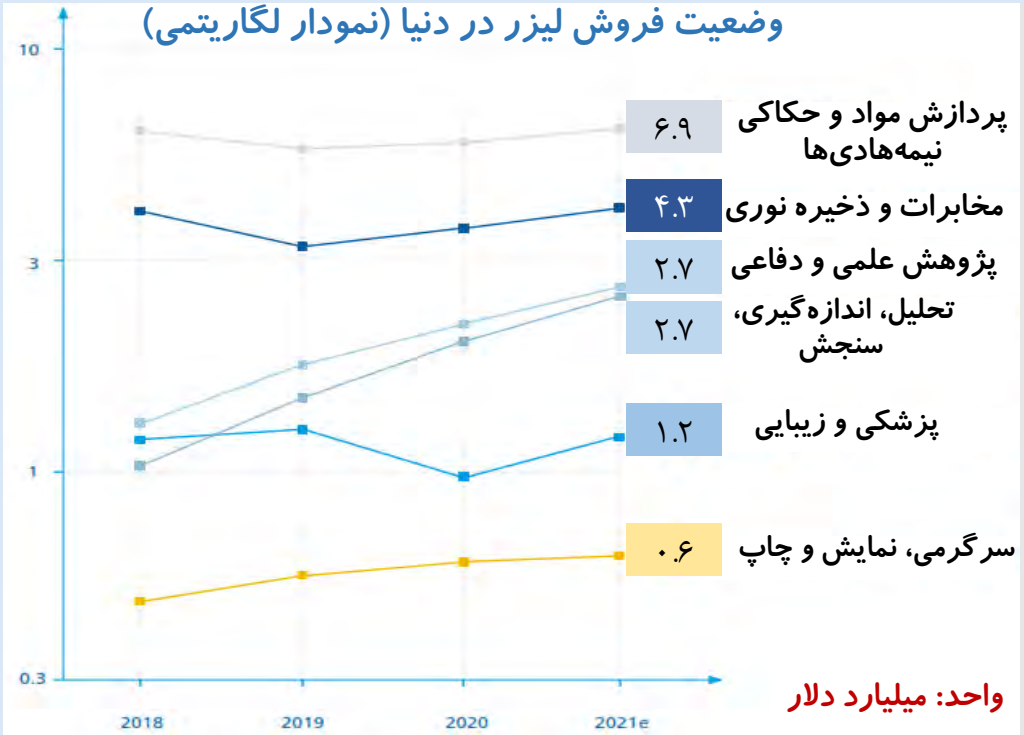
بیشترین سهم بازارهای منطقه‌ای از لحاظ ارزش تولید	
چین	نمایشگرهای مصرفی سیستم‌های روشنایی فوتوولتائیک
تایوان	نمایشگر مصرفی
کره جنوبی	نمایشگر مصرفی فناری اطلاعات مصرفی
ژاپن	سلامت و پزشکی
آمریکای شمالی	امنیت و دفاع سلامت و پزشکی مخابرات
اتحادیه اروپا	سلامت و پزشکی تولید صنعتی فناوری اطلاعات‌مصرفی

SPECTARIS(2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

وضعیت بازار جهانی لیزر در حوزه‌های مختلف

وضعیت بازار جهانی لیزر در حوزه‌های مختلف

- ☑ حوزه‌های کاربرد لیزر بسیار متنوع بوده و میزان استفاده از آن اغلب رو به رشد است:
- ☑ پردازش مواد، حکاکی نیمه‌هادی (۶.۹میلیارد دلار)
- ☑ مخابرات و ذخیره نوری (۴.۳میلیارد دلار)
- ☑ پژوهش علمی و دفاعی (۲.۷ میلیارد دلار)
- ☑ تحلیل، اندازه‌گیری و حسگرها (۲.۷ میلیارد دلار)
- ☑ کاربرد پزشکی و زیبایی (۱.۲ میلیارد دلار)
- ☑ سرگرمی، نمایش و چاپ (۰.۶ میلیارد دلار)



SPECTARIS(2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

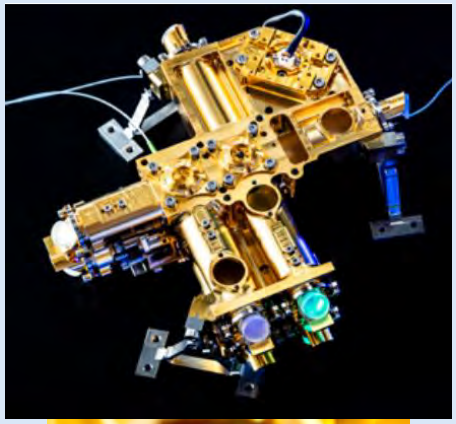
چالش توسعه فوتونیک: کمبود منابع انسانی متخصص

نیاز به جذب نیروهای با استعداد در صنعت فوتونیک

- ☑ رشد سالانه ۶ درصدی بازار جهانی فوتونیک
- ☑ گسترش بازار فروش در فناوری اطلاعات، پزشکی، فناوری تولید
- ☑ نیروی انسانی با مهارت عامل کلیدی موفقیت در شرکت‌های کوچک و متوسط

SPECTARIS (2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

کاربرد فوتونیک در فناوری اطلاعات



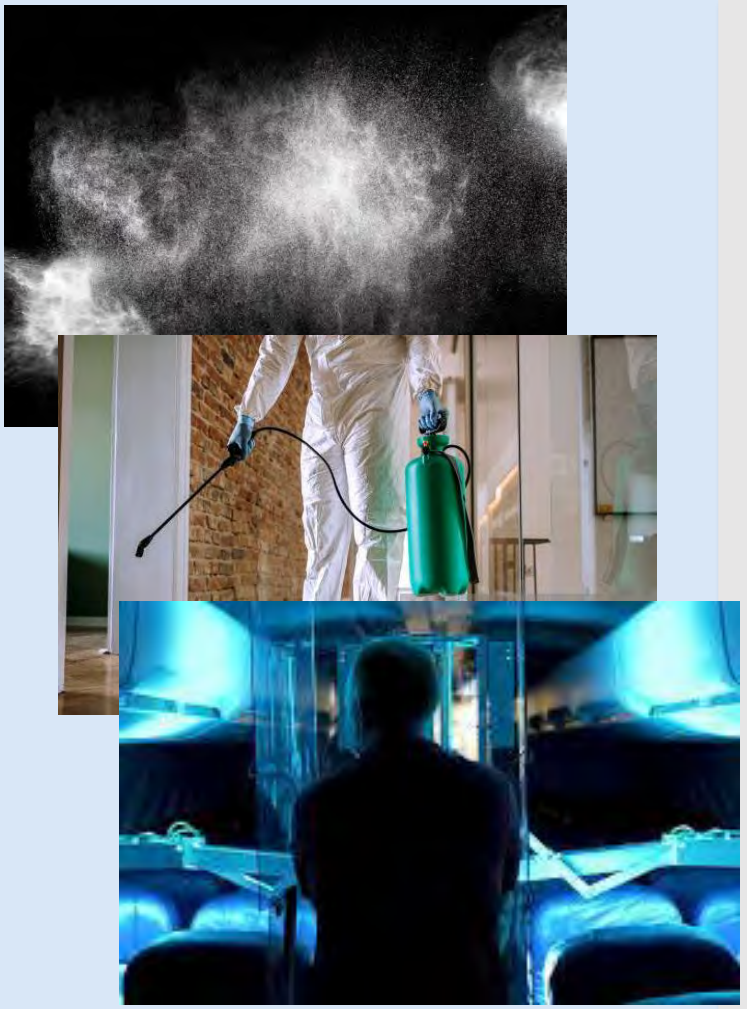
ارتقاء امنیت فناوری اطلاعات با توسعه مخابرات کوانتومی مبتنی بر فوتونیک

- ☑ بکارگیری قوانین فیزیک کوانتوم برای تامین امنیت شبکه انتقال داده با فناوری توزیع کلید کوانتومی
- ☑ ارائه خدمات تراکنش مالی امن توسط سیستم بانکداری و تامین امنیت داده‌های حساس شهروندی در مقابل حملات سایبری توسط دولت‌ها با استفاده از اینترنت و پردازش کوانتومی
- ☑ ایجاد پروتکل‌های تجارت الکترونیک کوانتومی برای سازگاری تلفن‌های هوشمند و بانکداری تلفنی با مخابرات کوانتومی

(فناوری اساسی مخابرات کوانتومی : منابع تولید فوتون‌های درهم‌تنیده و توزیع کلید کوانتومی)

SPECTARIS(2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

کاربرد فوتونیک در ضدعفونی سازی



نابودی ویروس‌ها با نور فرابنفش

- ☑ استفاده از نور فرابنفش برای ضدعفونی کردن، تصفیه آب، نابودسازی باکتری، مخمر یا کپک و حتی ویروس کووید-۱۹
- ☑ بکارگیری نور فرابنفش با طول موج ۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر برای از بین بردن باکتری، ویروس و قارچ
- ☑ ضدعفونی کردن راحت سطوح در مکان‌های عمومی با استفاده از اشعه فرابنفش بجای مواد شیمیایی یا گرما در دوران کرونا
- ☑ ضدعفونی کردن هوای مدرسه، مهدکودک، رستوران، هتل و مراکز درمانی با استفاده از نور فرابنفش

(فناوری اساسی: نور فرابنفش با طول موج ۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر (لامپ/LED/قلم یاعصای نوری))

SPECTARIS(2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

کاربرد فوتونیک در سیستم‌های خودکار و تولید صنعتی

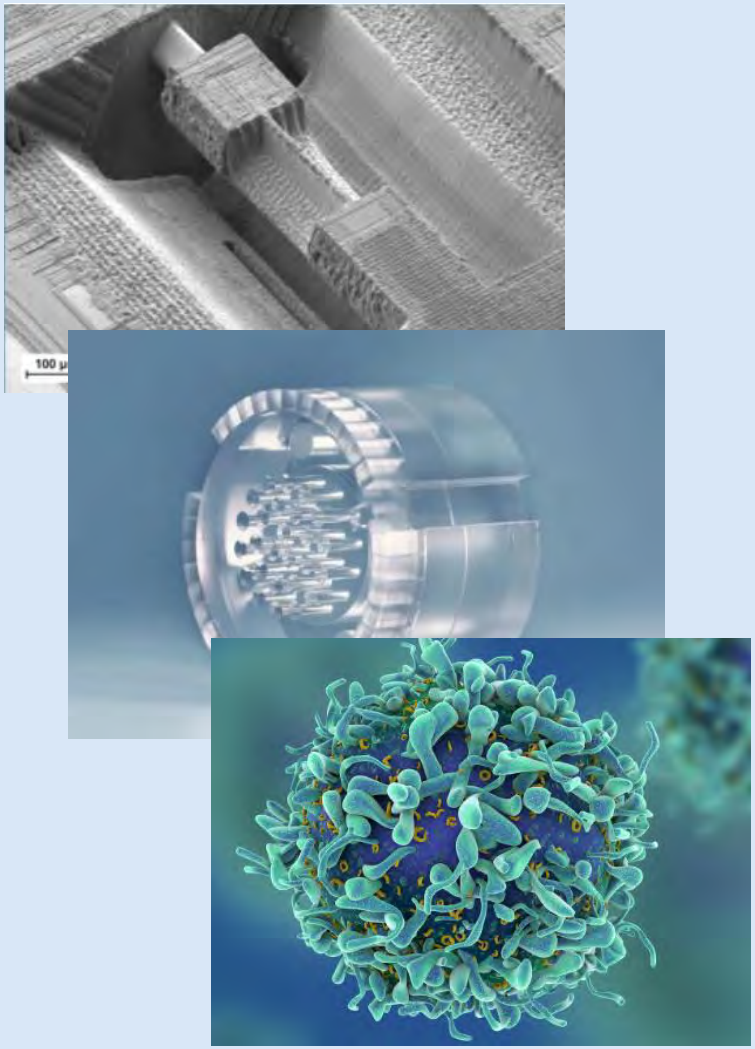
کنترل خودکار با فناوری حسگرهای فوتونیک

- ☑ بکارگیری حسگرهای نوری در فرآیند تولید صنعتی با امکان خودکارسازی و پایش مستمر کیفیت محصول در لحظه
- ☑ بکارگیری حسگرهای سریع در فرآوری دارویی برای سنجش دقیق مواد فعال در قرص‌ها
- ☑ تشخیص میزان رطوبت در محصولات نانوایی صنعتی توسط حسگر نوری
- ☑ حسگرهای فوتونیک توانمندساز در اتوماسیون تولید صنعتی و وقوع انقلاب صنعتی چهارم

(فناوری اساسی: حسگر نوری سریع و بسیار ریز برای سنجش متغیرها (رطوبت، فاصله‌و..) و پردازشگر داده‌ها)

SPECTARIS(2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

کاربردهای نوآورانه فوتونیک



- ☑ تشخیص ساختارهای میکرو با حساسیت بسیار بالا و دقت در مقیاس اتم در ابزارهایی نظیر میکروسکوپ لیزری و برش‌نگار اتمی

(فناوری اساسی: تولید پرتو لیزر با توان بالا، بسیار متمرکز و با مکان‌یابی دقیق بدون آلودگی و با کمترین هزینه)

- ☑ ساخت قطعات بزرگ پیچیده شیشه‌ای ۳بعدی با ساختار میکروسکوپی

(فناوری اساسی: دستگاه حکاکی با لیزر برای تولید قطعات با قطر بیش از ۵س.م، با سرعت بالا و هزینه کم و ترکیب آن با میکرواسکنر)

- ☑ تصویربرداری آزمایشگاهی از کشت سلولی ۳بعدی و بافت‌های بدن

(فناوری اساسی: دستگاه برش‌نگار نوری؛ اندازه‌گیری بازتاب نور توسط بافت‌ها و ایجاد تصویری دقیق از سطح مقطع بافت)

SPECTARIS (2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

کاربردهای نوآورانه فوتونیک (۱)

- ☑ تشخیص و پایش عیوب انکساری چشم

(فناوری اساسی: تابش پرتو لیزر به چشم و پردازش کامپیوتری بازتابش‌نور مبتنی‌برالگوی‌لکه)

- ☑ بکارگیری فناوری‌های مبتنی بر نور برای محافظت از آب و هوا با کاهش گازهای گلخانه‌ای و گاز دی‌اکسیدکربن و کاهش مصرف برق

(فناوری‌های اساسی: طیف‌سنجی نزدیک مادون قرمزبرای‌تشخیص‌وجداسازی پلاستیک از زباله‌ها، ضدعفونی‌کردن آب، هوا، سطوح با با نور فرابنفش، تبخیرویونیزه کردن مواد با پالس لیزر با توان بالا و طیف‌سنجی برای تعیین ترکیب شیمیایی آن‌ها)

- ☑ بکارگیری سیستم‌های نوری در تشخیص دقیق پزشکی و درمان موثر

(فناوری اساسی: تصویربرداری و طیف‌سنجی بازتابش نور از بافت، ربات جراحی)

SPECTARIS (2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

۳- افق آینده پژوهش در فوتونیک ۲۰۳۰ و فراتر

افق آینده پژوهش در فوتونیک ۲۰۳۰ و فراتر از آن

☑ **عنوان گزارش:**

افق آینده پژوهش در فوتونیک ۲۰۳۰ و فراتر از آن

☑ **ناشر:**

انجمن راهبری فوتونیک در انگلیس

☑ **سال نشر: ۲۰۲۰**

☑ **افق زمانی: ۲۰۳۰ و فراتر**

☑ **هدف و مخاطبین:**

شناسایی فرصت‌های حوزه فوتونیک و معرفی به مدیران کسب و کارها، سیاستگذاران و پژوهشگران انگلیس

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

مراحل تبیین موضوعات پژوهش و فناوری در حوزه فوتونیک

گام اول:کسب نظرات و دیدگاه ۲۶ متخصص تحصیلکرده از موسسات راهبر انگلیس

۰۱

انتخاب متخصصان از ۲۰ موسسه پژوهشی در انگلیس

گام دوم؛ شناسایی ۴ حوزه اصلی برای آینده پژوهش

۰۲

گام سوم؛ شناسایی ۹ چالش بزرگ برای فوتونیک در قرن ۲۱

۰۳

این چالش‌ها محرک‌های کلیدی و تاثیرگذار برای شکل‌دهی به پژوهش در حوزه فوتونیک است.

گام چهارم؛ معرفی ۷۰ موضوع ذیل ۴ حوزه اصلی

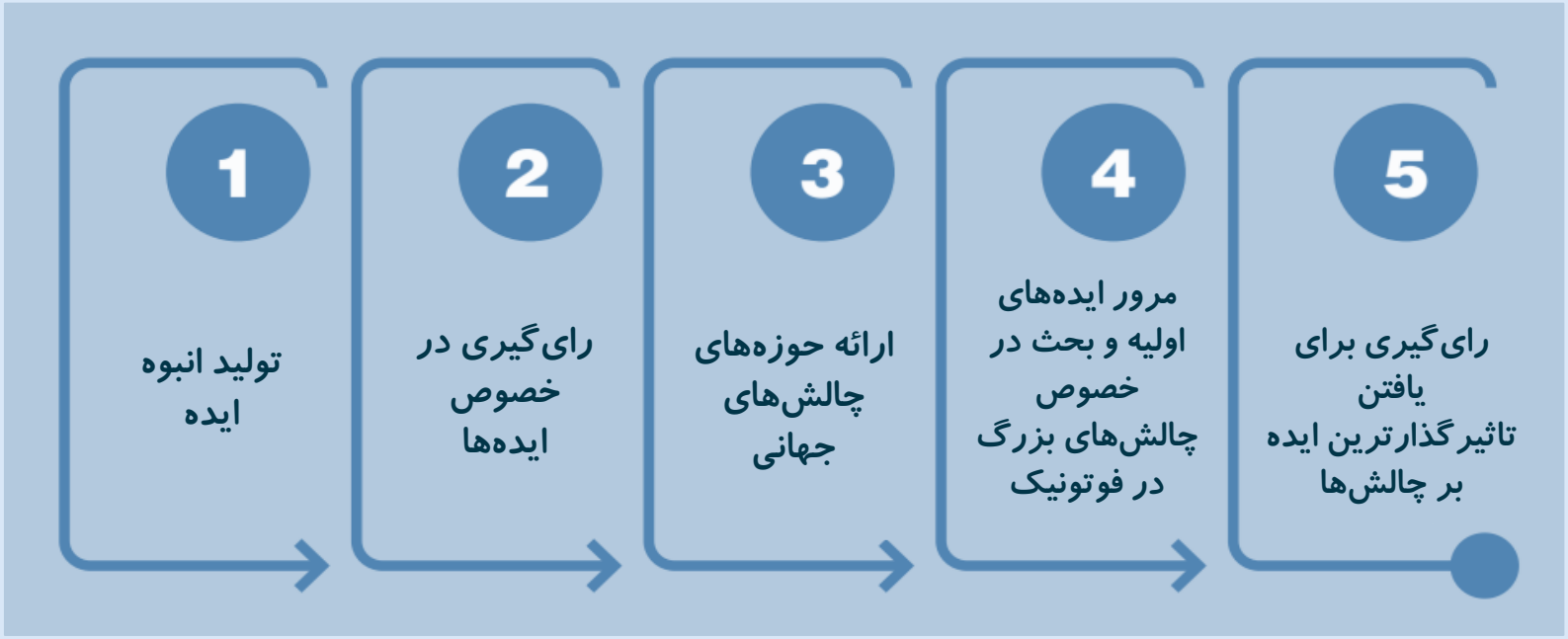
۰۴

بررسی تاثیرات کلان‌روندها بر نظم جهانی، جامعه و اقتصاد، بنگاه‌ها و بازار، افراد و خانواده

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

مراحل گردآوری داده و تبیین موضوعات پژوهشی

☑ گردآوری ایده‌های آینده‌نگرانه از جامعه پژوهشی فوتونیک در یک کارگاه آنلاین با حضور ۲۶ متخصص و پژوهشگر، در ۵ فاز انجام گرفته است. این افراد از ۲۰ مرکز پژوهشی استراتژیک در حوزه فوتونیک انتخاب شده‌اند.



Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

۴ حوزه اصلی پژوهش و فناوری آینده در حوزه فوتونیک

- ❑ مواد (اولیه)
- ❑ پدیده‌های فیزیکی و نوری
- ❑ فرآیندهای تولید
- ❑ ابزارها و سیستم‌ها

نقاط تاثیر فوتونیک در جامعه

وابستگی کامل جامعه به فوتونیک و محصولات مرتبط با آن

- اینترنت: فیبر نوری و لیزرهای مخابراتی
- تولید صنعتی: لیزر با توان بالا برای تولید انبوه محصولات با فناوری بالا
- درمان و سلامت: تصویربرداری و حسگرهای نوری برای تشخیص سریع بیماری (چشم‌پزشکی، سرطان، آزمایش تشخیص سریع)
- سرگرمی و کارهای روزمره: نمایشگرهای کریستال مایع و نمایشگرهای الکترونیکی ارگانیک

جامعه بطور کامل به فوتونیک وابسته شده و تصور زندگی مدرن بدون نوآوری‌های ۲۵ سال اخیر در حوزه فوتونیک غیرممکن است.

بکارگیری لیزرهای با توان بالا برای افزایش ایمنی و کارآیی فرآیند تولید نظیر جوشکاری و برش

بکارگیری فیبر نوری و لیزرهای مخابراتی برای افزایش قدرت اینترنت جهانی

تحول در چشم‌پزشکی، سرطان و آزمایش تشخیص سریع با استفاده از تصویربرداری و حسگرهای نوری

ایجاد امکان تولید انبوه دوربین‌های پیشرفته در مقیاس میلیون

تحول در حوزه سرگرمی و روش‌های انجام کار با ساخت نمایشگرهای کریستالی و موادآلی با خاصیت الکترونیک

منافع فوتونیک برای جامعه در آینده

بکارگیری لیزر با توان بالا برای بازیابی شرایط جهان در زمان تولد

بکارگیری لیزر برای تولید خودروها و کارخانه‌های خودکار (لیدارها)

بکارگیری فیبر نوری برای توسعه کارخانه دیجیتال، کار از راه دور و سرگرمی تعاملی

پردازش تصویر درلحظه و تصمیم‌گیری برپایه هوش مصنوعی با استفاده از رایانه‌های نوری کلاسیک فوق سریع و کوانتومی

کربن‌زدایی یا استفاده از فوتوولتائیک‌ها، گسترش نیروگاه بادی، ذخیره و پردازش داده با بهره‌وری بالا

افزایش بهره‌وری با دیجیتالی کردن تولید و استفاده از پرینتر سه بعدی برای افزایش مقیاس تولید و دقیق شدن فرآیند کنترل

عکسبرداری از بافت‌های نرم و عمیق بدن برای تشخیص دقیق و سریع بیماری

تشخیص سریع آلودگی و بیماری در لحظه در محیط و کمک به ایجاد اعتماد به محیط و اطراف

نیاز به امنیت و قدرت دفاعی بسیار سریع و چابک با استفاده از سرعت نور

انتقال و ذخیره امن کوانتومی داده‌های دنیا

اکنون در ابتدای عصر نور هستیم و در آینده جامعه ما به فوتونیک و نوآوری در آن بسیار بیشتر وابسته خواهد شد.

چالش‌های قرن ۲۱

تحرک و حمل و نقل
- اثربخشی
- در دسترس بودن
- امنیت

سلامت و سالخوردگی
- بهره‌وری
- ظرفیت
- سهولت پذیرش
- هزینه و مقیاس

مقیاس
- حجم
- شیب تولید
- زمان‌بندی
- تقاضای متغیر

تغییرات آب و هوا
- پایداری
- اثربخشی، تولید و استفاده از انرژی
- اندازه‌گیری

داده‌ها
- سرعت و ظرفیت
- زمان‌بندی و تاخیر
- امنیت و درستی

تولید مواد غذایی
- کیفیت
- اثربخشی
- امنیت تامین

آلودگی فیزیکی
- هوا، زمین و دریا
- بازیافت و بازاستفاده
- بسته‌بندی و زباله‌های تولیدی

میهن‌پرستی اقتصادی
- جهانی‌سازی زدایی
- ظرفیت‌های ملی
- عدم قطعیت

امنیت و دفاع
- چابک و در دسترس
- مقرون به صرفه

فناوری فوتونیک و کاربردهای آن حدود ۱۱٪ از اقتصاد جهان را تشکیل می‌دهد.
(SPIE, 2022)

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at: https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

۱۴ اولویت پژوهش و فناوری در حوزه مواد

تولید مواد فوتونیک پایدار و قابل تجزیه در محیط زیست	تولید مواد نیمه رسانا با کارآیی بالا در تغییر فاز[۶]	تولید مواد فوتونیک سازگار با محیط زیست	طراحی بهینه نسل جدید مواد فوتونیک با استفاده از هوش مصنوعی	تولید مواد دوبعدی و ساختارهای ناهمگن برای توسعه فوتونیک[۱]
منابع تولید تک فوتون پربازده و قابلیت یکپارچگی بسیار بالا	توسعه قابلیت طیفی مواد در UV و IR	مواد با خواص پایدار الکتروشیمیایی برای تبدیل‌انرژی خورشیدی به سوخت هیدروژنی[۵]	مواد فوتونیک سیلیکونی جدید با شکاف باند مستقیم[۲]	مواد فوتونیک قابل برنامه‌ریزی و قابل بازطراحی و انعطاف‌پذیر
تاثیر زیاد و گسترده بر چالش‌های ۹ گانه تاثیر زیاد و متمرکز بر چالش‌ها	مواد n2 منفی[۷]	مواد ارگانیک با سرعت عملیاتی بالا	مواد اولیه مدولاتور نوری با فرکانس بالای ۱۰۰ گیگاهرتز و سرعت سوئیچینگ بالا[۳]	مواد غیرخطی با قدرت آستانه پایین[۴]

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

تعریف اولویت‌های پژوهش و فناوری در حوزه مواد

۱. مواد دوبعدی و ساختارهای ناهمگون در فوتونیک

مواد دو بعدی ضخامتی در مقیاس اتم دارند با قابلیت انعطاف‌پذیری و تنظیم‌پذیری بسیار بالا، ساختارهای ناهمگون چینش لایه‌های مختلف مواد دوبعدی روی هم با ویژگی‌ها و کارکردهای جدیدهستند.

۲. سیلیکون با شکاف‌باند مستقیم و موادفوتونیکی جدید از سیلیکون

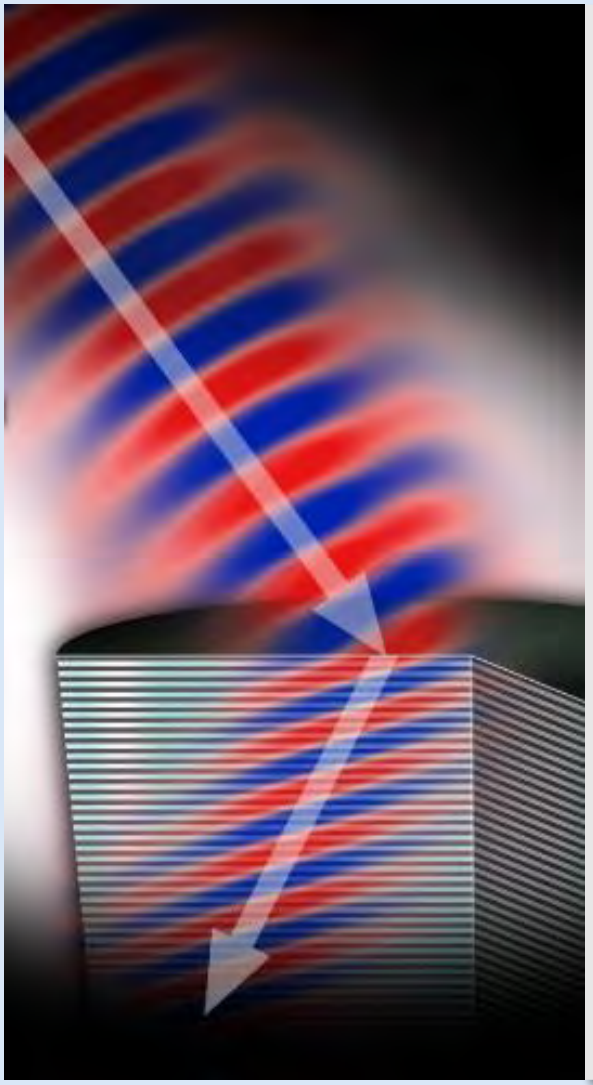
تغییرسطح انرژی الکترون در جابجایی از بالاترین باند به پایین‌ترین باند در اتم، به اندازه انرژی یک فوتون، ویژگی ایده‌آل مواد با شکاف‌باند مستقیم برای استفاده در الکترونیک نوری است که در سیلیکون معمولی وجود ندارد.(شکاف باند سیلیکون طبیعی غیرمستقیم است)

۳. مواد اولیه مدولاتورهای نوری با فرکانس بالای ۱۰۰GHz و سرعت سوئیچینگ بالا

مدولاتور نوری خواص نور نظیر دامنه، فاز و قطبش را در پاسخ به سیگنال نوری تغییر می‌دهد و در رمزگذاری انتقال اطلاعات توسط فیبر نوری کاربرد دارد. مدولاتور و سوئیچینگ در زمان کمتر از پیکوثانیه اجزای مهم مخابرات نوری، بخصوص در فرکانس بالاتر از ۱۰۰گیگاهرتز است. این اجزا نیاز به مواد با ضریب الکترواپتیک بالا و زمان پاسخگویی سریع دارد.

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

تعریف اولویت‌های پژوهش و فناوری در حوزه مواد (۱)



۴. مواد غیرخطی با قدرت آستانه پایین

موادی که پاسخ آن‌ها در توان پایین نسبت به نور متناسب با شدت نور نیست و یک رابطه غیرخطی بین نورتابشی و ویژگی‌های نوری ماده وجود دارد و در مخابرات، پردازش نوری، پردازش سیگنال نوری کاربرد دارند.

۵. مواد با خواص پایدار الکتروشیمیایی برای تبدیل‌انرژی خورشیدی به سوخت هیدروژن

فرآیند تبدیل انرژی خورشیدی به سوخت هیدروژنی از طریق الکترولیز آب انجام می‌شود. عملکرد پربازده و ایمن این سیستم‌های مبدل نیازمند موادی با خواص الکتروشیمیایی پایدار است.

۶. مواد فوتونیک پربازده در تغییر فاز

موادی که با کارآیی بالا بین حالت جامد و مایع (به صورت برگشت‌پذیر) تغییر فاز می‌دهند. این مواد در ذخیره داده، ذخیره انرژی گرمایی و دستگاه‌های الکترونیکی کاربرد دارند.

۷. مواد منفی n2

مواد با ضریب شکست منفی که امواج نور بعد از برخورد با آن‌ها در جهت مخالف می‌شکنند.

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

۱۴ اولویت پژوهش و فناوری در حوزه پدیده‌های فیزیکی و نوری

تغییر شکل و حجم کانون لیزر (مدولاتور، موادغیرخطی، تله‌گذاری نوری) [۱۲]	پالس‌های متمرکز با انرژی بالا نظیر لیزر برای شکستن خلا [۱۰]	پدیده‌های فیزیکی در مقیاس زمانی آتوثانیه (10^{-18} در زمان)	شروع و کنترل واکنش شیمیایی با استفاده از نور [۹]	پدیده‌های کوانتومی جدید در مقیاس ماکرو [۸]
کاربرد اپتومکانیک در ایجاد ارتباط بین فرکانس‌های مختلف (مایکروویو، رادیویی، تتراهرتز) [۱۵]	تصویربرداری نوری از دستگاه عصبی	برهم کنش نور و ماده، کنترل و مداخله در این برهم‌کنش در مقیاس مولکولی [۱۱]	کنترل حرکت ذرات با کمک نور در مقیاس نانومتر (کنترل حرکت نورون در مغز)	ابزارهای با کارکرد فوتونیک و الکترونیک در دمای اتاق (ترانزیستور، لیزر)
	ایجاد پالس لیزری موقت فوق کوتاه توسط نور (با مدت زمان 10^{-15})	تشخیص محدود کوانتومی در فرکانس میانی مادون قرمز [۱۴]	اندازه‌گیری دقیق با استفاده از نور برای انجام آزمایش‌های فیزیک بنیادین	ذخیره انرژی و تولید سوخت مصنوعی مبتنی بر فوتونیک [۱۳]

تاثیر زیاد و گسترده بر چالش‌ها

تاثیر زیاد و متمرکز بر چالش‌ها

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

تعریف اولویت‌ها در حوزه پدیده‌های فیزیکی و نوری

۸. پدیده‌های کوانتومی جدید در مقیاس ماکرو

پدیده‌های کوانتومی ماکرو، تاثیرات کوانتومی بزرگ قابل مشاهده با چشم غیرمسلح نظیر: ابررسانایی، کوانتوم تونلینگ، درهم‌تنیدگی کوانتومی و...

۹. شروع و کنترل واکنش شیمیایی با کمک نور

در فرآیند فوتوشیمی انرژی مولکول‌ها با کمک نور افزایش یافته و منجر به ایجاد پیوندهای جدید شیمیایی و شکستن پیوندهای فعلی می‌شود.

۱۰. شکست خلا

در نظریه‌های فیزیک، خلا خالی نیست و پر از ذرات مجازی است که بطور مستمر ظاهر و محو می‌شوند و از طریق پدیده‌های بسیار پرانرژی نظیر لیزر می‌توان حبابی در خلا ایجاد کرد که متفاوت از خلا اطراف آن باشد.

۱۱. برهم‌کنش نور و ماده در مقیاس مولکولی

برهم کنش نور و ماده در مقیاس مولکولی تابع قوانین مکانیک کوانتومی است. در این فرآیند مولکول تحت گذار الکرونیکی قرار گرفته و خواص و رفتار آن تغییر می‌کند. مثلا مولکول با جذب نور برانگیخته شده و واکنش‌پذیر می‌شود.

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

تعریف اولویت‌ها در حوزه پدیده‌های فیزیکی و نوری(۱)

۱۲. تغییر شکل و سایز حجم کانونی لیزر

حجم کانونی لیزر ناحیه‌ای است که شدت لیزر در آن حداکثر بوده و نقش مهمی در کاربردهای فناوری لیزر نظیر طیف‌سنجی و پردازش لیزری دارد.

۱۳. ذخیره انرژی و تولید سوخت مصنوعی مبتنی بر فوتونیک

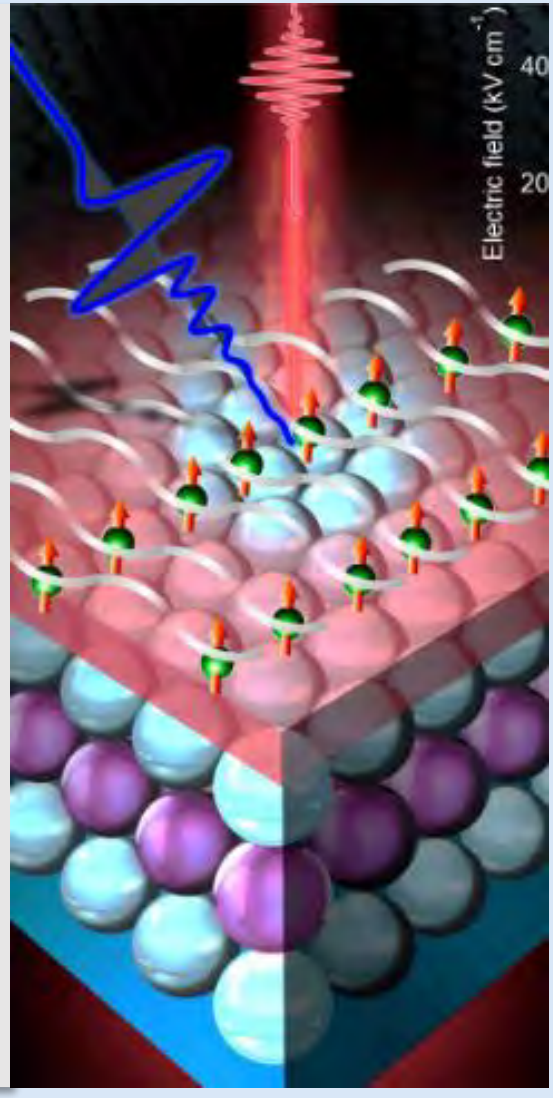
ذخیره انرژی در پیوندهای شیمیایی، تبدیل نور خورشید به انرژی شیمیایی با فتوسنتز مصنوعی و واکنش آب و دی‌اکسیدکربن در اثر نور و تولید سوخت هیدروژن یا متان

۱۴. تشخیص محدود کوانتومی در فرکانس میانی مادون قرمز

این عبارت به معنای آشکارسازی تشعشعات الکترومغناطیسی با حساسیتی در حد نویز کوانتومی است. تشخیص محدود کوانتومی در ناحیه مادون قرمز میانی، به دلیل انرژی کم تابش و وجود نویز حرارتی در آشکارساز چالش برانگیز است.

۱۵. کاربرد اپتومکانیک در ایجاد ارتباط بین فرکانس‌های مختلف (مایکروویو، رادیویی، تتراهرتز)

اپتومکانیک برهمکنش بین نور و سیستم های مکانیکی را بررسی می کند. سیستم‌های اپتومکانیکی پتانسیل ایجاد ارتباط بین حوزه‌های فرکانسی مختلف (RF، مایکروویو، تراهرتز، فرکانس نور) را دارند.



Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

۱۵ اولویت پژوهش و فناوری در حوزه فرآیند تولید

یکپارچه‌سازی مواد دو بعدی در ساختار مواد فوتونیک	تجمیع کارکردهای پلاسمونیک‌ها[۱۹]	فرآیندهای با حجم بالا برای تشخیص پزشکی سریع[۱۶]	کاربرد ابزارهای نانوفوتونیک در تجمیع قطعات اپتوالکترونیک روی تراشه‌ها	انجام فرآیند یکپارچه‌سازی در مقیاس(بیش از ۱۰۰۰ قطعه)
تولید قطعات فوتونیک با مصرف انرژی کم	تصویربرداری نوری در مقیاس نانومتر برای کنترل فرآیند	کاربرد نور برای دسترسی به اجزاء بسیارکوچک در یک حجم بزرگ[۱۸]	تجمیع قابلیت های جدید با فوتونیک	سنجش، تصویربرداری، پردازش‌وارتباطات کوانتومی یکپارچه
آزمون سیستم‌های بسیار پیچیده در مقیاس ویفر[۲۱]	پردازش شیمیایی با استفاده از انرژی خورشیدی[۲۰]	یکپارچه‌سازی مواد فوتونیک در مقیاس نانو	پردازش مواد برای بازیافت و استفاده مجدد	تغییر در سلول با کمک نور برای ترمیم بافت بدن[۱۷]

تعریف اولویت‌ها در حوزه فرآیند تولید

۱۶. فرآیندهای با حجم بالا برای تشخیص پزشکی سریع

آزمایشات تشخیص پزشکی بر بالین بیمار که شامل فرآیندهای متعددی از جمله نمونه‌گیری، آماده‌سازی نمونه، آزمون نمونه، تحلیل داده‌ها، گزارش‌دهی است که برای دقت و توان عملیاتی بالا نیازمند استانداردسازی و اتوماتیک‌سازی است.

۱۷. تغییر در سلول با کمک نور برای ترمیم بافت‌های بدن

کنترل رفتار سلول‌ها در تکثیر، مهاجرت یا تمایز از طریق دستکاری دقیق و غیرتهاجمی سلولی با لیزر با هدف ترمیم بافت‌ها؛ استفاده ازانبرک نوری(پرتو لیزر متمرکز) برای به دام انداختن و تغییر موقعیت سلول‌ها.

۱۸. کاربرد نور دردسترسی به اجزاء بسیارکوچک در حجم بزرگ

استفاده از نور در فضاهای محدود و کانال‌های کوچک برای جابجایی و دسته‌بندی و جداسازی ذرات و اشیاء بسیار کوچک در حجم‌های بزرگ در مقیاس نانو و میکرو؛ برای نمونه استفاده از انبرک نوری (پرتو متمرکز لیزر) برای دستکاری سلول‌ها و مولکول‌ها

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

تعریف اولویت‌ها در حوزه فرآیند تولید (۱)

۱۹. تجمیع کارکردهای پلاسمونیک‌ها

به نوسان الکترون‌های همدوس در سطح فلز پلاسمون گفته می‌شود که در کنترل و تنظیم نور(با مقیاس نانو) در حسگرها، تصویربرداری و ذخیره داده کاربرد دارد. ادغام قابلیت‌های پلاسمونیک در ابزارهای کاربردی بخاطر تلفات زیاد، تنظیم‌پذیری محدود و دشواری در ساخت چالش برانگیز است.

۲۰. پردازش شیمیایی با استفاده از انرژی خورشیدی

تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی شیمیایی از طریق واکنش‌های فوتوشیمیایی صورت می‌گیرد. مثال: تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی در فوتوولتائیک، جذب نور توسط نیمه‌رساناهاو تولید الکترون در کاتالیزورهای نوری و تجزیه فوتوالکتروشیمیایی آب برای تولید هیدروژن.

۲۱. آزمون سیستم‌های بسیار پیچیده در مقیاس ویفر

آزمون مدارهای مجتمع روی بستر مواد نیمه‌رسانا (در مقیاس ویفر با میلیاردها ترانزیستور و لایه‌های متعدد) برای یافتن خطاها و ایرادات قبل از بسته‌بندی و تحویل به مشتری

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

۲۷ اولویت پژوهش و فناوری حوزه ابزارها و سیستم‌ها (ادامه دارد)

توزیع تکرار کننده‌های کوانتومی و درهم تنیدگی[۲۴]	نسل جدید لیدارهای غیرمکانیکی[۲۳]	تشخیص سریع بیماری بر بالین بیمار	اینترنت کاملا مبتنی بر نور و همه عناصر مورد نیاز آن	مدارهای فوتونیک و الکترونیکی پیشرفته‌تر از فناوری CMOS
تصویربرداری نوری با دقت کمتر از نانومتر	آشکارساز تک فوتون در طیف مادون قرمز کوتاه و متوسط	تصویربرداری نوری از بافت‌های عمیق بدن	ارتباطات منسجم در طیف نوری RF و فرکانس تراهرتز	فوتونیک مشابه/مبتنی بر دستگاه عصبی[۲۲]
لیزرهای با بازده بیش از ۹۵ درصد	بکارگیری سیستم‌های ترکیبی کوانتومی-سنتی	مدارهای نوری انعطاف پذیر، قابل تنظیم مجدد و قابل برنامه‌ریزی	سیستم های لیزری با قدرت / انرژی بسیار بالا	ارتباطات کوانتومی در فضا و با طول موج بلند تا تتراهرتز

تعریف اولویت‌ها در حوزه ابزارها و سیستم‌ها

۲۲. فوتونیک مشابه/مبتنی بر دستگاه عصبی

انتقال و تحلیل اطلاعات با سرعت بالاتر و هزینه کمتر از (برق) با استفاده از سیستم‌های نوری که رفتار اعصاب بیولوژیک و سیناپس‌ها را تقلید می‌کنند.

۲۳. نسل جدید لیدارهای غیرمکانیکی

لیدارهایی‌که شامل بخش‌های متحرک(مانند آینه چرخان) نیستند و از روش‌های جایگزین برای اسکن ۳بعدی محیط و دریافت داده آن استفاده می‌کنند. مثال: کاربرد آرایه‌ای از لیزرها و آشکارسازهای ثابت و بدون تحرک فیزیکی که تصویری فوری همزمان از همه زوایای محدوده را می‌گیرد.

۲۴. توزیع تکرار کننده‌های کوانتومی و درهم تنیدگی

تکرارکننده‌های کوانتومی ابزارهایی برای گسترش محدوده مخابرات کوانتومی با استفاده از درهم‌تنیدگی کوانتومی(با غلبه بر میرایی و ناپیوستگی کانال‌های کوانتومی)هستند. در مخابرات کوانتوم، از وضعیت کوانتومی ذره(فوتون) برای انتقال اطلاعات استفاده می‌شود و با حرکت ذره در کانال انتقال(فیبر نوری)، اطلاعات از بین می‌رود. با ایجاد در هم‌تنیدگی یا وابستگی وضعیت دو ذره، اطلاعات حفظ شده و منتقل می‌شود.

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

۲۷ اولویت پژوهش و فناوری حوزه ابزارها و سیستم‌ها (۱)

سلول های خورشیدی کارآمد و با پهنای باند بالا	منابع مینیاتوری تراهرتز در دمای اتاق[۲۵]	آرایه های آشکارساز بزرگ در طول موج های متعدد	سوئیچ‌های نوری با مقیاس بزرگ	شبکه‌ها، تقویت‌کننده‌ها، تعدیل کننده‌ها و فیبرهای نوری با پهنای باند بسیار بزرگ
توسعه حافظه نوری از رم سریع تا رام	تجمیع داده حسگرهای فوتونیک وهوش مصنوعی (بینی مصنوعی)	تولید حافظه پر سرعت، امن و با حجم زیاد وبا مصرف پایین انرژی	آشکارسازهای با سرعت بالا و حساسیت فوق العاده بالا در طیف مرئی	سیستم‌های تولیدی و پردازش مواد لیزری منعطف با لیزر با مشخصات متنوع
			سیستم‌های الکترونیکی در سطح تراشه در محدوده طیف ماوراء بنفش[۲۷]	محاسبات کوانتومی در مقیاس ۱۰۰۰ کیوبیت[۲۶]

تاثیر بسیار زیاد و گسترده بر چالش‌ها

تاثیر چشمگیر و محدود بر چالش‌ها

تعریف برخی اولویت‌ها در حوزه ابزارها و سیستم‌ها (۱)

۲۵. منابع مینیاتوری تراهرتز در دمای اتاق

توسعه منابع مینیاتوری تابش نور در فرکانس تراهرتز(بین مایکرویو و مادون قرمز) در دمای اتاق که در سنجش و طیف‌سنجی کاربرد دارد، به دلیل انرژی پایین فوتون در این فرکانس و نیاز به مواد اولیه و فناوری خاص چالش‌انگیز است. مثال: نیمه‌رساناهایی (لیزرهای کوانتومی آبشاری)که با لیزر یا جریان برق برانگیخته می‌شوند.

۲۶. محاسبات کوانتومی در مقیاس ۱۰۰۰ کیوبیت

کیوبیت واحد اصلی اطلاعات کوانتومی و مشابه بیت کلاسیک است. کیوبیت میتواند برهم‌نهی حالت‌های ۰ و ۱ را داشته باشد (۳حالت). این ویژگی، سرعت بسیار بالای محاسبات را سبب می‌شود.

۲۷. سیستم‌های الکترونیکی در سطح تراشه در محدوده طیف ماوراء بنفش

تراشه‌های تشخیص تابش ماورابنفش برای آشکارسازی و تغییر در این طیف نور کاربرد دارند وساخت آن‌ها بخاطر محدودیت پهنای باند مواد نیمه رسانای رایج، پرچالش است. گالیوم نیترید و آلومینیوم نیترید نسبت به نیمه‌رساناهای رایج نظیر سیلیکون پهنای باند بزرگتری دارند و درساخت این تراشه‌ها کاربرد دارند.

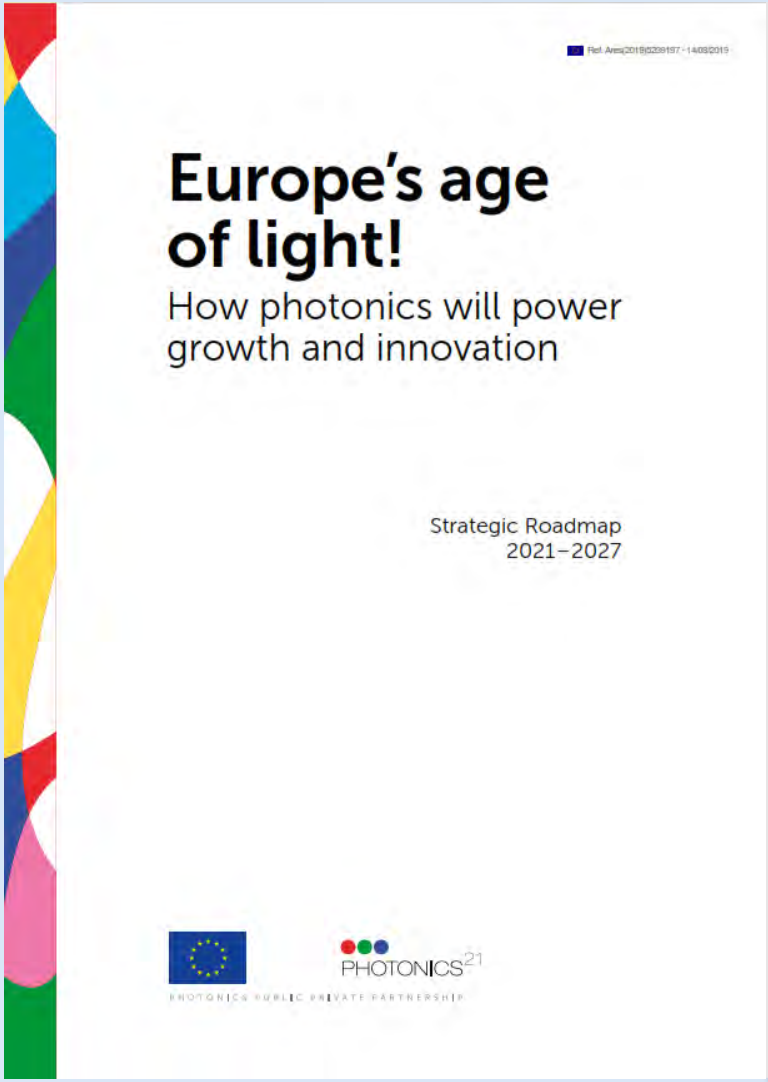
IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

اولویت‌های پژوهش و فناوری در حوزه فوتونیک

۴– عصر نور اروپا

چگونه فوتونیک، نوآوری و پیشرفت را در اروپا تقویت میکند.

گزارش صنعت اپتیک و فوتونیک ۲۰۲۲



☑ **عنوان گزارش:**

عصر نور اروپا

چگونه فوتونیک، نوآوری و پیشرفت را در اروپا تقویت میکند؟

☑ **ناشر:**

پلتفرم فناوری فوتونیک اروپا ۲۰۲۱ با حمایت اتحادیه اروپا

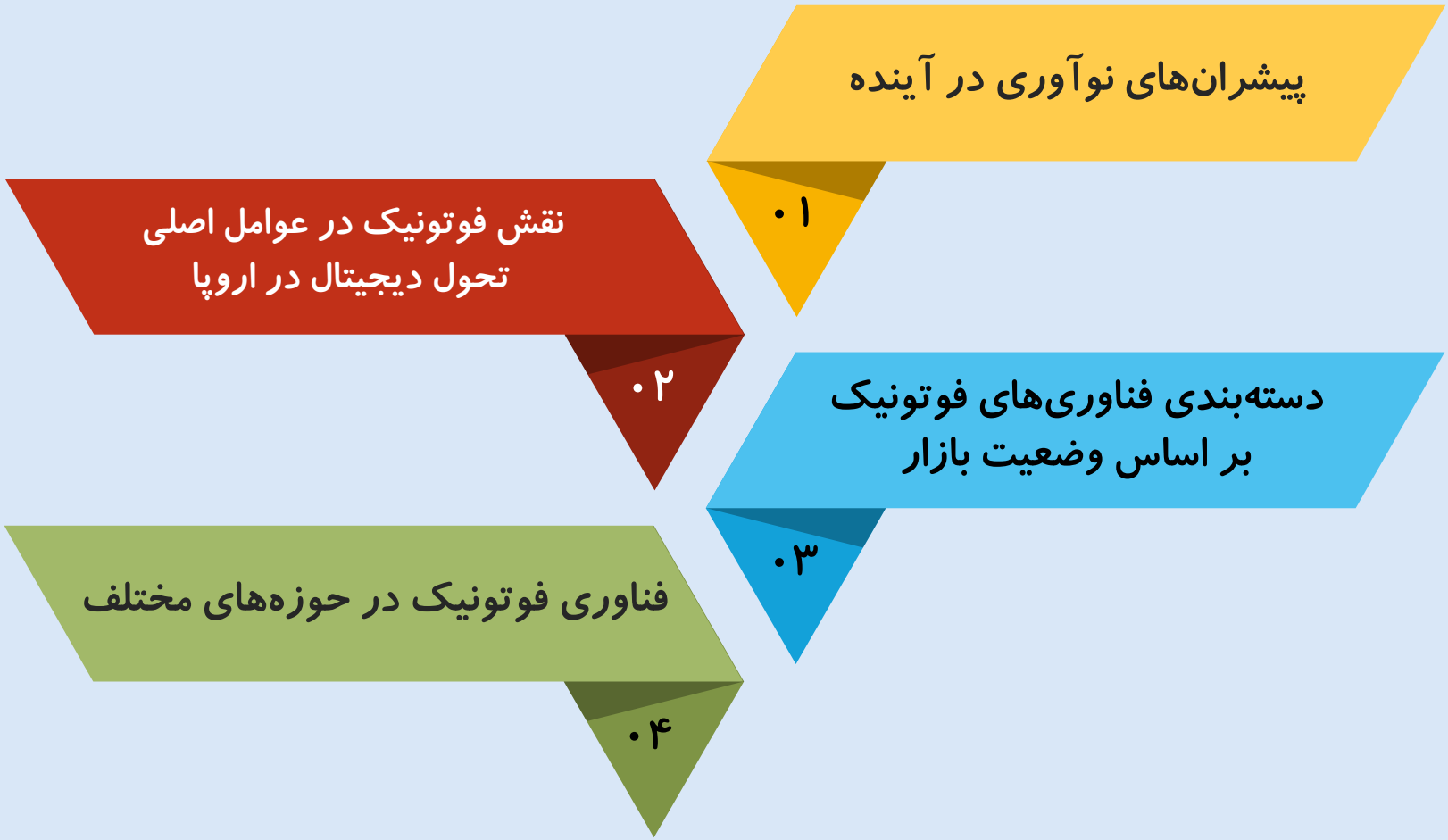
☑ **سافق زمانی: ۲۰۲۷**

☑ **ال نشر: ۲۰۱۹**

☑ **هدف و مخاطبین:**

معرفی فرصت‌های پژوهش و نوآوری در حوزه فوتونیک به شرکت‌های فعال در اتحادیه اروپا و شناسایی چالش‌های آینده و راهکارهای فوتونیک برای حل آن‌ها

ساختار گزارش صنعت اپنیک و فوتونیک ۲۰۲۲



Photonics21(2019). Europe's age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

پیشران‌های نوآوری در آینده

- ☑ تشخیص فوری اغلب بیماری‌های مهم
- ☑ غذای با کیفیت از مزرعه تا سفره
- ☑ حمل ونقل جاده‌ای بدون تصادف و ترافیک
- ☑ اقتصاد واقعا گردشی
- ☑ ایجاد یک میلیون شغل جدید
- ☑ ۱۰ درصد بهره‌وری بیشتر
- ☑ توقف صفر در اقتصاد ترابیتی
- ☑ فوتونیک یک علم شاخص برای نوآوری

عوامل اصلی تحول دیجیتال در اروپا

۱. هوش مصنوعی

۲. امنیت سایبری

۳. اینترنت اشیاء

۴. فناوری کوانتوم

Photonics21(2019). Europe’s age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

۱. توسعه هوش مصنوعی بر پایه فوتونیک

- ☑ مدیریت شهرهای هوشمند با بکارگیری حسگرهای فوتونیکی نظیر دوربین‌ها و لیدارها برای گردآوری کم‌هزینه و امن اطلاعات جزئی مورد نیاز برای سیستم حمل‌ونقل
- ☑ افزایش پهنای باند ارتباطی برای اجرای الگوریتم هوش مصنوعی با توسعه اتصالات نوری فضای آزاد (free-space)
- ☑ توسعه سخت‌افزارهای پردازش فراتر از CMOS مبتنی بر فوتونیک و فناوری کوانتوم، افزایش سرعت پردازش با جایگزینی فوتون با الکترون و تولید مدارهای مجتمع مبتنی بر فوتونیک

Photonics21(2019). Europe’s age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

۲. توسعه اینترنت اشیاء مبتنی بر فوتونیک

توسعه اینترنت اشیاء بدون فوتونیک امکان‌پذیر نیست :

- ☑ انتقال اطلاعات مبتنی بر فیبر نوری و فوتون و دریافت اطلاعات از طریق حسگرها نظیر دوربین، حسگر مادون قرمز، تصویرسازهای فراطیفی
- ☑ افزایش ظرفیت، سرعت و امنیت داده با استفاده از سیستم ارتباطات نوری
- ☑ الزامات انقلاب صنعتی چهارم و کنترل مستمر کیفیت و حفظ یکنواختی آن توسط حسگرهای لیزری و بکارگیری اینترنت اشیاء
- ☑ بکارگیری فناوری Li-Fi یا سیستم ارتباطی نوری به عنوان یک مرکز ارتباطی بین ابزارهای توانمند شده با اینترنت اشیاء

Photonics21(2019). Europe’s age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

۳. توسعه امنیت سایبری مبتنی بر فوتونیک

فراگیر شدن ابزارهـای هوشـمند و اینترنـت اشیاء و مقاومت در برابر حملات سایبری :

- ☑ استفاده از Li-Fi به جای Wi-Fi و محدود کردن داده به فضای اتاق و و افزایش امنیت ارتباطات با قطع دسترسی افراد بیرون از ساختمان به شبکه انتقال
- ☑ استفاده از مخابرات کوانتومی امن با استفاده از پردازشگرهای کوانتومی مبتنی بر فوتونیک با ابزارهایی نظیر منبع تولید و آشکارساز فوتون درهم‌تنیده قطعی/احتمالی

Photonics21(2019). Europe’s age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

۴. توسعه فناوری کوانتوم مبتنی بر فوتونیک

وابستگی شدید توسعه فناوری نوظهور کوانتوم به پیشرفت فناوری فوتونیک

- ☑ **کاربرد فوتونیک در دستگاه‌های کوانتومی نظیر ساعت کوانتومی، اسکنر مغز و پردازشگرهای کوانتومی (نظیر لیزر و آشکارساز)**
- ☑ **بکارگیری مستقیم فوتون در مخابرات کوانتومی در ابزارهایی نظیر منبع و آشکارساز تک-فوتون و تقویت‌کننده**

Photonics21(2019). Europe’s age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

دسته‌بندی فناوری‌های فوتونیک بر اساس وضعیت بازار

Photonics21(2019). Europe's age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

اولویت‌های فناوری فوتونیک در حوزه اطلاعات و ارتباطات

Photonics21(2019). Europe's age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

اولویت‌های فناوری فوتونیک در تولید صنعتی و کنترل کیفیت

لیزر و قطعات با بهره‌وری بالا	• دیودهای لیزری پرتوان(پیوسته/پالسی) فراطول موج • لیزرهای تولید کننده اشعه ایکس منسجم • لیزرهای پرقدرت مادون قرمز میانی با طول موج بیشتر از ۱ میکرومتر • لیزرهای چندپرتوی
سیستم‌های انتقال	• فیبرهای نوری جدید برای طول موج بالاتر ۲میکرومتر • سیستم‌های تولید پرتو قابل برنامه‌ریزی و پیکربندی مجدد • فناوری هدایت و سوئیچینگ چندپرتو بطور همزمان(SLM)
انقلاب صنعتی چهارم	• اتصال‌پذیری سیستم‌های لیزری برای تجمیع در پلتفرم تولید • رابط‌های فیبری هوشمند با عملکرد یکپارچه برای سنجش گرما و بازتاب نور • تجمیع حسگرها در سیستم‌های پردازش لیزری • پردازش موازی برای توان عملیاتی بالا
کنترل کیفیت و آزمون غیرمخرب	• کنترل فرآیند بی وقفه • آزمون غیرمخرب قطعات ساخته شده با لیزر در لحظه • بهبود فرآیند مبتنی بر سنجش فوتونیکی برخط

Photonics21(2019). Europe's age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

اولویت‌های فناوری فوتونیک در حوزه سلامت و علوم زندگی

تصویربرداری برای تشخیص	• تصویربرداری ۳بعدی از بافت بدن با میکروسکوپ چند فوتونی (برانگیخته‌سازی فوتون توسط مولکول فلوئورسنت روی سطح) و برش نگار نوری (سنجش زمان پژواک نور)/مبتنی بر واقعیت افزوده در جراحی و رادیودرمانی(دستگاه و قطعات فوتونیک) • تصویربرداری از میزان اکسیژن‌رسانی به سلول/مغز با طیف‌سنجی نزدیک‌فروسرخ • تجمیع قطعات نوری، الکترونیکی و میکروشاری برای تحلیل پیشرفته مایعات بدن دردستگاه آزمایش نزد بیمار(POC) در اندازه یک جعبه کفش
حسگرهای زیستی نوری	• بهبود تماس نوری برای حسگرهای زیستی روی/داخل بدن • یافتن نشانگرهای زیستی مناسب سنجش و پایش بیماری‌ها
پایش و تشخیص بیماری	• آشکارسازهای حساس‌تر و فراطیف/ با پهنای باند فرابنفش-نور مرئی-میانه فروسرخ • منابع لیزر پالسی پهن باند(با پهنای باند فرابنفش-نور مرئی-میانه فروسرخ) • توسعه قطعات نوری جدید سبز و کم هزینه با شکل دلخواه و تجمیع آن‌ها • توسعه و استانداردسازی فانتوم‌ها (مدل و اجسام فیزیکی برای شبیه‌سازی ویژگی‌های بافت و ارگان بدن که در عکسبرداری پزشکی کاربرد دارد)

Photonics21(2019). Europe's age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

اولویت‌های فناوری فوتونیک در حوزه روشنایی، الکترونیک و نمایشگرها

قطعات الکترونیکی

- قطعات نوری الکترونیکی مجتمع، فعال در فرکانس ۳۰ تا ۳۰۰ مگاهرتز
- مواد اولیه جدید برای تولید ساطع‌کننده نور، آشکارساز توسعه قطعات با فرکانس بالا VHF(توان بالاتر، محدوده خروجی گسترده‌تر، ولتاژ ایمن بسیار پایین SELV)
- توسعه مواد دوبعدی و تجمیع در ابزارهای الکترونیک نوری
- فسفر سریع برای جذب و انتشار نور در لای‌فای
- کاربرد گالیوم‌نیترید هوشمند در قطعات الکترونیک فرکانس بالا و بسیار بالا

نمایشگر

- نمایشگر شفاف(HeadUp)
- تاس چند رنگ با تراکم پیکسل بالا(کاربرد در نمایشگر و بیلبورد دیجیتال)

روشنایی

- توسعه نورافکن‌ها
- نوپردازی برای پرورش گل و گیاه
- توسعه LED، OLED و لیزر در روشنایی خودرو
- روشنایی برای اینترنت اشیا
- توسعه روشنایی انسان محور

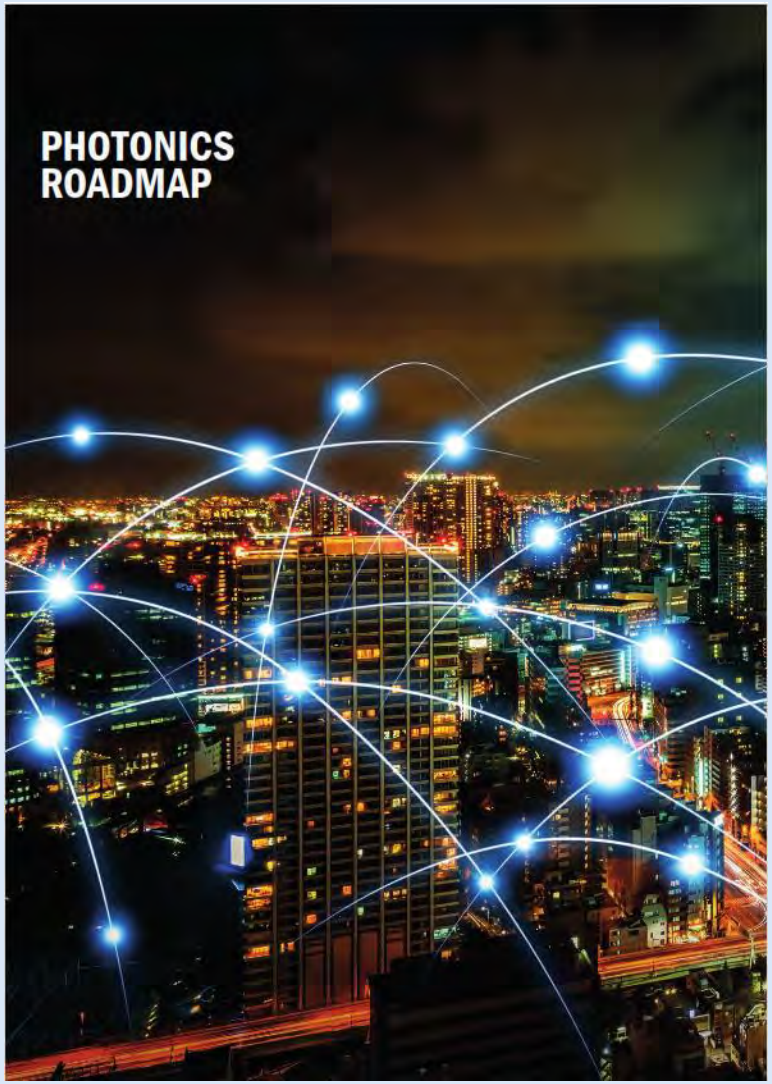
Photonics21(2019). Europe's age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

۵- وضعیت فوتونیک

چگونه فناوری‌های مبتنی بر نور چالش‌های صنعت را حل می‌کنند و چگونه در راستای رشد اقتصادی در آینده مهار می‌شوند؟

IOP
Institute of Physics

گزارش وضعیت(نقشه راه) فوتونیک



☑ **عنوان گزارش:**

وضعیت(نقشه راه) فوتونیک

چگونه فناوری‌های مبتنی بر نور چالش‌های صنعت را حل می‌کنند و چگونه در راستای رشد اقتصادی در آینده مهار می‌شوند؟

☑ **ناشر:**

موسسه فیزیک (انگلیس و ایرلند)

☑ **سال نشر:** ۲۰۱۸

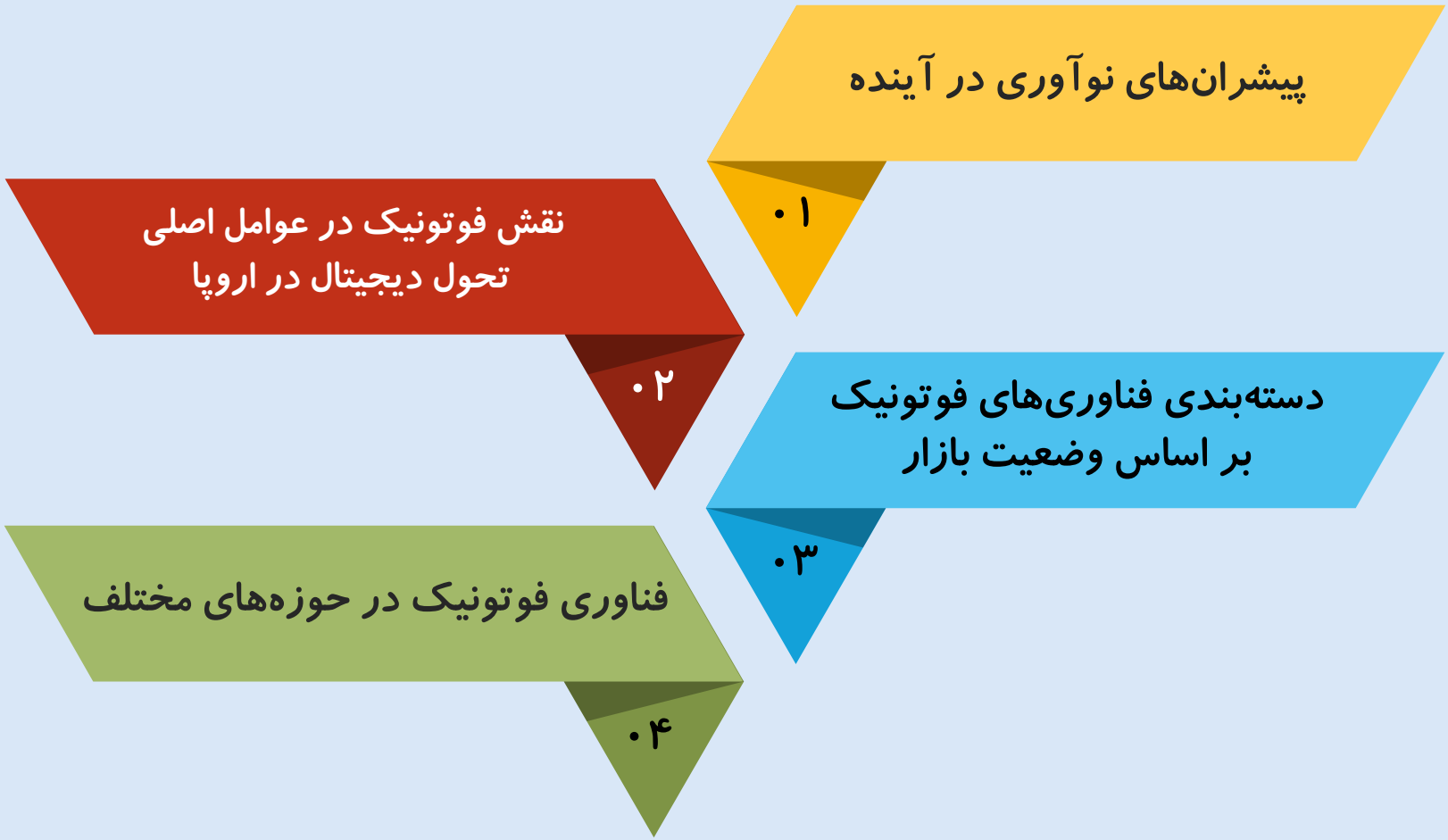
☑ **افق زمانی:** –

☑ **هدف و مخاطبین:**

ارائه پیشنهاد برای پژوهش و سرمایه‌گذاری در حوزه فوتونیک برای سیاستگذاران و فعالان کسب‌وکار

IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

ساختار گزارش صنعت اپنیک و فوتونیک ۲۰۲۲



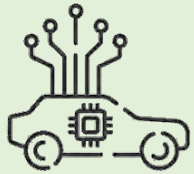
IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

راهکارهای فوتونیک برای چالش‌های بزرگ آینده

پیرشدن جمعیت: فوتونیک ابزاری بنیادین برای تشخیص پیش-بالینی غیرتهاجمی برای ارائه مراقبت‌های پزشکی موثر پیشرفت مستمرجراحی لیزری به عنوان روشی برای کاهش دوره نقاهت

هوش‌مصنوعی و اقتصادداده‌محور: بکارگیری مخابرات مبتنی بر نوری جدید برای انتقال حجم بالای داده در لحظه

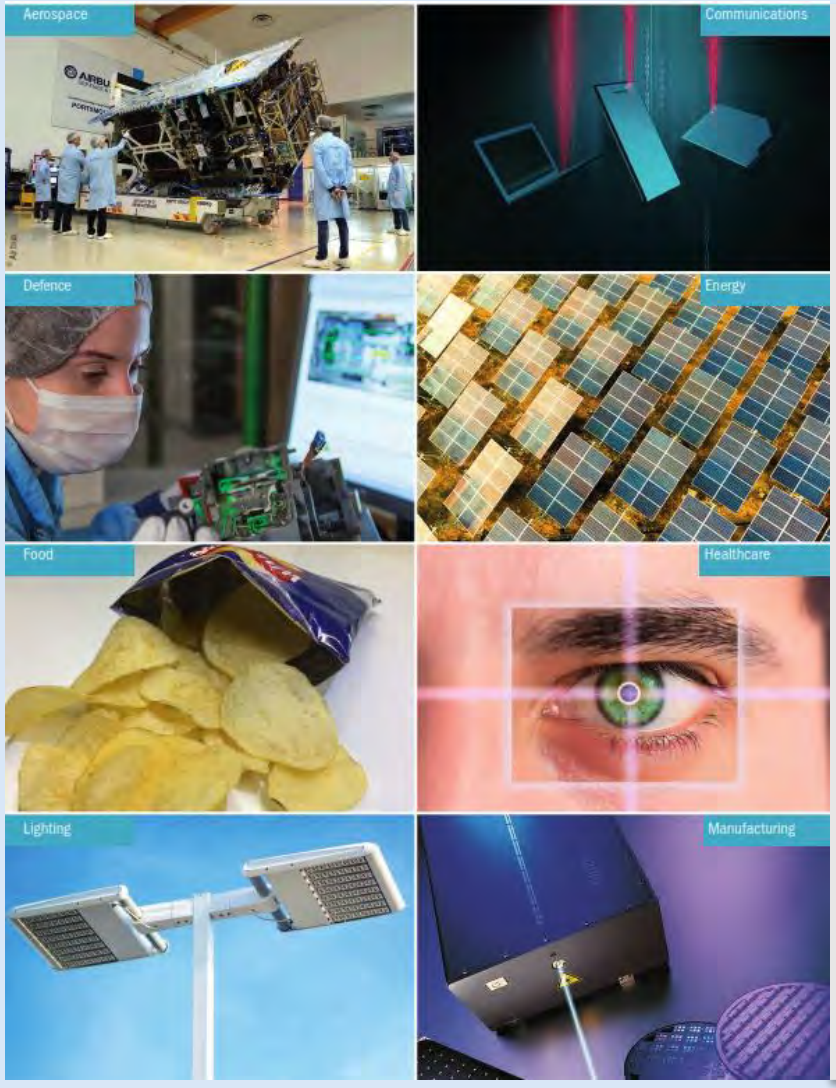
رشد پایدار: ادغام نسل جدید صفحات خورشیدی و سیستم‌های روشنایی برپایه LED در ساختمان‌سازی، کاربرد گسترده سیستم‌های پربازده لیزری برای برش، علامت‌گذاری و جوشکاری در فرآیند تولید



جابجایی پذیری: نیاز وسایل نقلیه خودران با قابلیت اطمینان بالا به دوربین‌ها و حسگرهای لیزری خودایمن، قابل استفاده در هر شرایط آب‌وهوایی و مکانی و در تمام طول روز و به صورت مجتمع، با هزینه کم و حجم بالا

IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

تعریف فوتونیک



- ☑ فوتونیک فیزیک و فناوری نور است. کاربرد این حوزه از دانش بسیار متنوع و گسترده است. از نمایشگر و سیستم‌های روشنایی تا انواع حسگر و لیزر.
- ☑ ارائه راهکارهای جدید فناوری نور برای مقابله با محدودیت‌های سرعت، ظرفیت و دقت در دنیای امروز
- ☑ کاربرد فراگیر فوتونیک در همه عرصه‌های زندگی امروزی؛ بکارگیری فیبر نوری در اینترنت، بکارگیری جوشکاری لیزری بی خطر برای تولید خودروهای پربازده، بکارگیری میکروسکوپ و ابزارهای مبتنی بر فوتونیک برای روش‌های جدید درمان

IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

تعداد کسب‌وکارهای فعال در حوزه‌های مختلف فوتونیک در انگلیس

IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

راهکارهای فوتونیک برای چالش‌های آینده

ادغام سیستمی

ادغام فناوری‌های مبتنی بر نور با سیستم‌های الکترونیکی و استانداردها و پروتکل‌های سنتی
افزایش بازدهی و ادغام سیستم‌های دارای المان‌های فوتونیک با استاندارد و بهینه‌سازی با هدف بکارگیری در بخش‌های مختلف بازار و چالش‌های جامعه: نظیر لیدار

بهبود LEDها

بهبود ویژگی‌های LEDها : توان، شدت نور، قابلیت تنظیم طول موج، کاهش سایز، هزینه و افزایش استحکام و بازدهی
روشنایی با صرف کمترین انرژی و افزایش پهنای باند در اینترنت اشیاء با استفاده از LEDها، بخصوص با استفاده از لای فای

توسعه سیستم‌های مخابرات نوری

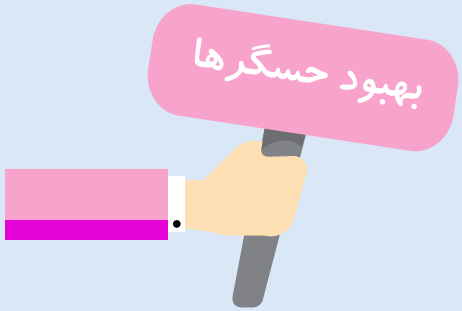
افزایش ظرفیت و کارآیی سیستم‌های مخابراتی نوری و کاهش تاخیر آن نظیر فیبر نوری و فناوری‌های بیسیم
توسعه مخابرات نوری نظیر لای‌فای چند کاناله، لیزرهای نیمه‌رسانا با عملکرد بالا و ارتباطات امن کوانتومی

یافتن مواد جدید نوری و فوتونیکی

مواد فوتونیک برای ارتباطات مبتنی‌برفیبر نوری، مواد بهتربرای انتشار نور با کارآیی بالا، پلیمرهای نوری با کیفیت و انواع شیشه جدید
مواد فوتوولتائیک جدید برای تولید انرژی نظیر مواد هایبرید، ارگانیک و مواد با ساختار مصنوعی

IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

راهکارهای فوتونیک برای چالش‌های آینده(۱)



بهبود حسگرها

آشکارسازهای تک-فوتون با کارآیی بالا برای استفاده در مدارهای نوری
مواد فوتونیکی بهتر برای استفاده در آشکارسازهای با کارآیی بالاتر و کارکردهای بیشتر

توسعه لیزر و تصویربرداری

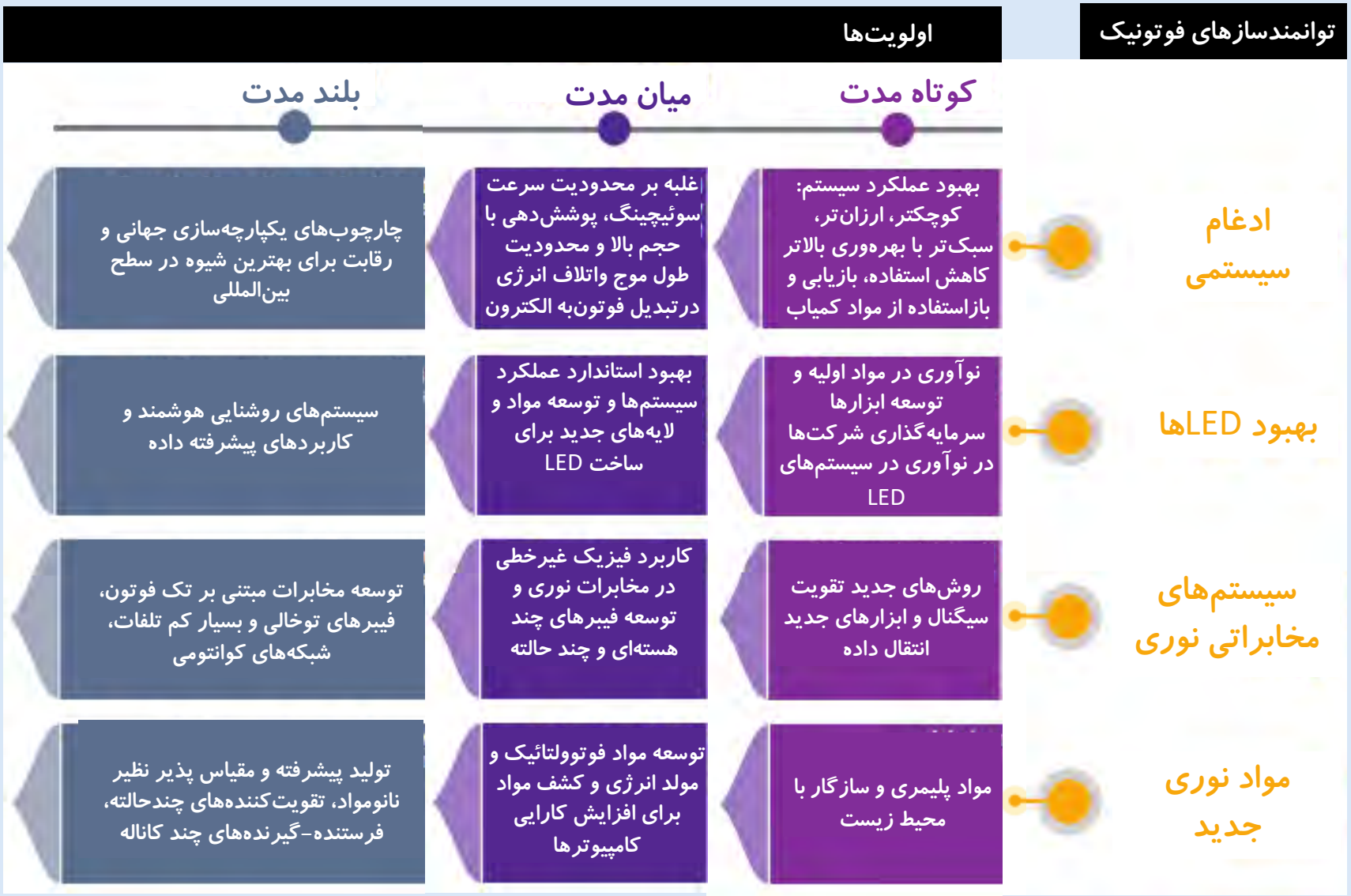
تشخیص سرطان، تمیزکردن پوست، تشخیص بیماری‌های استخوان، انجام برش‌های دقیق در جراحی
درمان فوتودینامیکی با داروهای فعال شده با نور و تخریب کننده سلول‌های سرطانی

بکارگیری فوتونیک برای تولید پیشرفته و با بازده بیشتر

افزایش ظرفیت و کارآیی سیستم‌های مخابرات نوری و کاهش تاخیر در آن‌ها نظیر فیبر نوری و فناوری‌های بیسیم
توسعه مخابرات نوری نظیر لای‌فای چند کاناله، لیزرهای نیمه‌رسانا با عملکرد بالا و ارتباطات امن کوانتومی

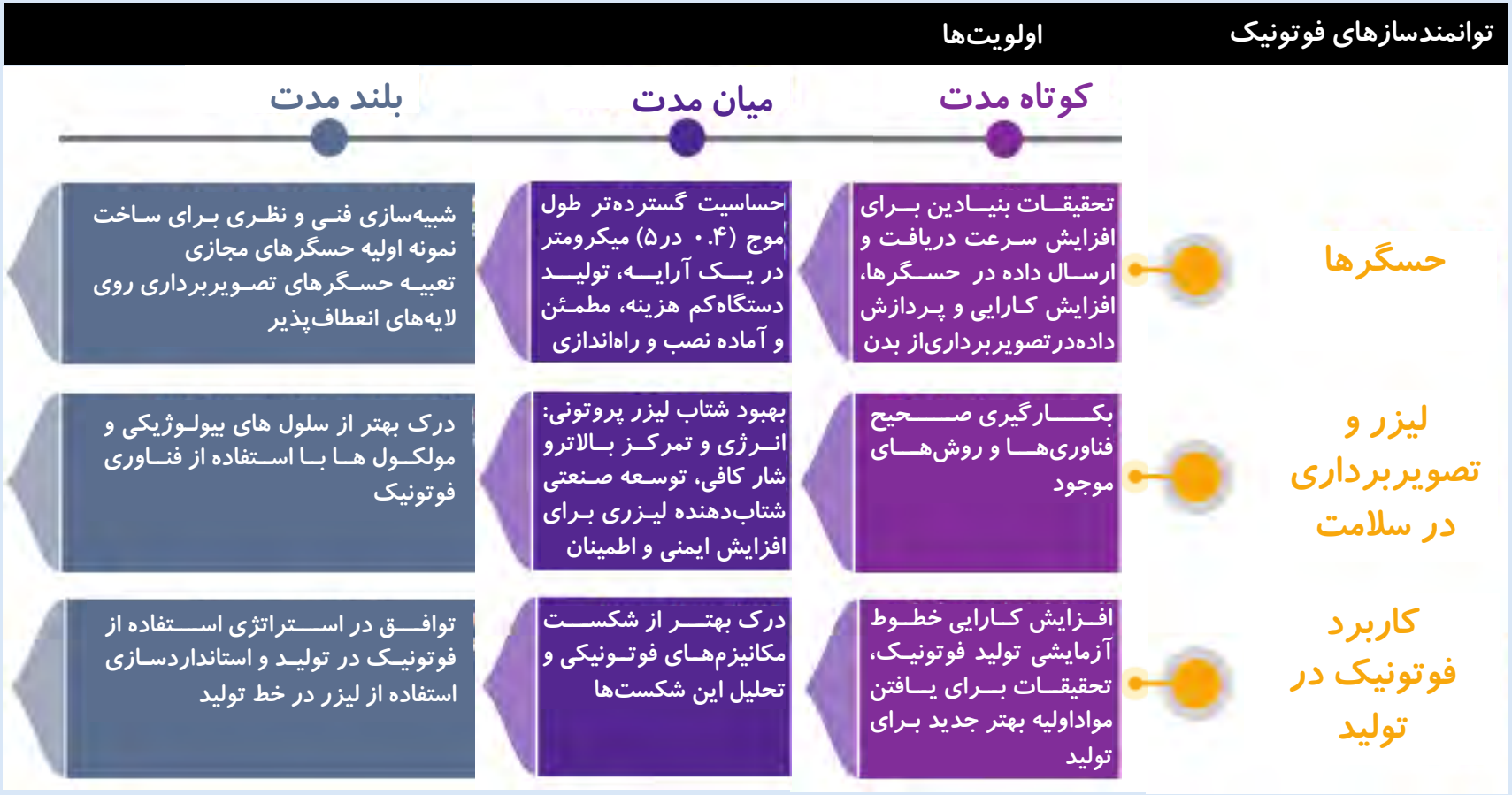
IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

اولویت‌های توسعه درحوزه‌های مختلف فوتونیک



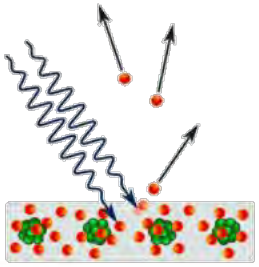
IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

اولویت‌های توسعه درحوزه‌های مختلف فوتونیک (۱)



IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

نگاشت راهکارهای فوتونیک بر چالش‌های جامعه

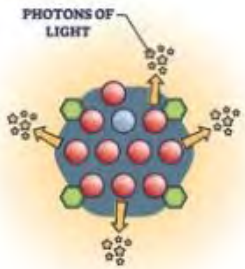


توانمندسازهای فوتونیکی

چالش‌های جامعه	چالش‌های فوتونیک	راهکارهای فوتونیک	فوتونیک در تولید	لیزر در سلامت	حسگرها	مواد نوری جدید	سیستم‌های مخابراتی نوری	بهبود LED ها	ادغام سیستم‌ها
سالخوردگی جمعیت	توسعه درمان‌های جدید مبتنی بر فوتونیک	کاربرد حسگر نوری برای سنجش انقباضات ماهیچه در پروتز، پلیمرو مواد زیست‌سازگارنوری، شبکیه مصنوعی. انتشار دارو با تحریک نور.		■	■			■	
	تشخیص‌بیولوژیکی شیمیایی‌سریع‌و سیار	تعبیه حسگر ریز روی فیبر نوری برای تشخیص فوری بیولوژیکی و شیمیایی، داروشناسی و داروجنبش‌شناسی با کمک نانوذرات فوتونیکی	■	■	■			■	
	تشخیص‌سلامت، درمان و جراحی	تشخیص ودرمان سریع و بدون برش و بدون نمونه‌برداری با کمک طیف سنجی وحداقل نقاهت، جراحی با لیزر، درمان سرطان با پرتودرمانی	■	■					
هوش مصنوعی و اقتصاد داده	انتقال پیوسته داده در هر زمان و هر مکان	توسعه مخابرات نوری در خلا با استفاده از طیف مادون قرمز و ارتباطات سریع و کم خطا با کمک لای‌فای(انتقال داده با نور)				■	■	■	■
	اینترنت اشیاء: جهان ارتباطات و پیچیدگی	افزایش پهنای باند اینترنت اشیاء با توسعه فیبر نوری، مخابرات نوری در خلا، لای‌فای و حسگرهای فوتونیک	■	■	■	■	■	■	
	پردازش با کارآیی بالا (کوانتومی و کلاسیک)	ارتقای هوش مصنوعی و قدرت پردازش با کمک تراشه‌های نوری و افزایش سرعت محاسبات با استفاده از رفتار کوانتومی فوتون‌ها	■			■	■		
رشد پایدار (سبز)	بازده بالای انرژی در زیرساخت جامعه دیجیتال	توسعه فیبر نوری برای افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش اتلاف انرژی در مخابرات				■	■	■	■
	پیشران‌های پایداری محیط زیست	ارتقاء مواد فوتوولتائیک نظیر نیمه‌هادی‌های گروه۵و۳، توسعه فناوری متمرکزساز نور نظیر لنزهای نوری				■			

IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

نگاشت راهکارهای فوتونیک بر چالش‌های جامعه(۱)



توانمندسازهای فوتونیکی

ادغام سیستم‌ها | بهبود LEDها | سیستم‌های مخابراتی نوری | مواد نوری جدید | سنسورها | لیزر در سلامت | فوتونیک در تولید

چالش‌های جامعه	چالش‌های فوتونیک	راهکارهای فوتونیک
جابجایی در آینده	واکنش به عوامل محیطی	کاربرد حسگرهای چندوجهی و تصویربرداری فراطیفی و رادارهای لیزری در ماشین‌های خودران برای ایجاد تصویر دقیق و جامع از محیط
	وسایل نقلیه به هم متصل	ممانعت از ترافیک و ارتقاء ناوبری وسایل نقلیه متصل با تبادل فوری حجم بالای داده، جای پارک‌یابی با کمک سیگنال‌های وای‌فای محیطی
امنیت غذایی	تولید غذا، بازرسی و بسته‌بندی	ارتقاء تولید و چاپ با LEDها و جوهرهای مادون قرمز، استفاده از تصویربرداری نوری و تحلیل طیف نور برای تضمین کیفیت زنجیره غذایی
	تصفیه آب	تصفیه آب با استفاده از LEDهای با طول موج کوتاه(۲۵۰-۲۸۰م) برای نابودی میکروارگانیسم‌های آب
افزایش بهره‌وری	افزایش مقیاس در تولید	افزایش بهره‌وری و کاهش خطا با شبیه‌سازی روشنایی ۲۴ساعته در محیط سرپوشیده، ساخت مواد شیمیایی مصنوعی جدید برای ارتقاء فوتوشیمی لیزر
	توسعه ساخت دقیق	کاهش زباله و آلودگی محیط با کمک ساعت اتمی و نوری، طیف‌سنجی و اندازه‌گیری نوری بسیار دقیق با استفاده از شانه فرکانسی

IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

اولویت‌های فناوری فوتونیک در گزارش

۱. تشخیص و درمان

- حسگر نوری برای سنجش انقباضات ماهیچه در پروتزهای بدن
- شبکیه مصنوعی، انتشار دارو در بدن با تحریک نور
- تعبیه حسگرریز برای تحلیل بیولوژیکی و شیمیایی فوری روی‌فیبر نوری تخصصی
- جراحی با لیزر، نمونه‌برداری،تشخیص(طیف سنجی) و درمان غیرتهاجمی سریع

۲. اطلاعات و ارتباطات

- مخابرات نوری در فضای آزاد (هوا، خلا) با استفاده از طیف مادون قرمز
- ارتباطات سریع و کم خطا و با امنیت بالاتر با لای‌فای
- توسعه فیبر نوری برای افزایش پهنای باند اینترنت اشیاء و حسگر نور، دما، سنجه‌زیستی خودرو خودران و شهر هوشمند (اینترنت اشیاء)
- پردازش و محاسبات سریع و حجیم با تراشه‌های نوری مبتنی بر رفتار کوانتومی فوتون

۳. رشد پایدار و انرژی

- کاهش تلفات در ارتباطات مبتنی بر فیبر نوری
- کاهش انتشارCO_2 با مواد فوتوولتائیک پیشرفته(نیمه رسانای گروه۳ و۵)
- فناوری متمرکزساز نظیر لنز برای کاهش مساحت پنل خورشیدی

اولویت‌های فناوری فوتونیک در گزارش (۱)

۴. جابجایی پذیری

- حسگرهای چند وجهی وتصویربرداری فراطیفی در خودرو خودران
- فوتودیودها برای تشخیص باران ، خورشید، رطوبت در پیش‌بینی آب و هوا
- سیستم‌های‌لیدار(اسکن‌لیزری)برای تولید تصویردقیق‌وکامل از محیط در خودرو خودران، ارسال اطلاعات با حجم بالا برای مدیریت‌ناوبری، ترافیک و یافتن جای پارک

۵. بهداشت و تغذیه

- تولید LED فرابنفش برای ارتقاء تولید و چاپ؛ پخت فوری مواد غذایی استفاده از جوهر فرابنفش حاوی مواد شیمیایی‌واکنش دهنده به نور
- تصویربرداری پیشرفته وپردازش‌طیفی مواد غذایی درتضمین کیفیت و امنیت زنجیره تامین غذا
- تصفیه آب ونابودی میکروارگانیسم‌ها با LED فرابنفش‌با نور با طول موج ۲۵۰-۲۸۰ نانومتر

۶. تولید پیشرفته

- کاهش‌خطاو افزایش بهره‌وری با شبیه‌سازی‌روشنایی‌شبانه‌روز با LEDدرمحیط سرپوشیده
- فوتوشیمی لیزر برای ساخت مواد شیمیایی مصنوعی جدید با ضایعات کمتر
- توسعه ماشینکاری دقیق و گرمایش با لیزر در چاپ سه بعدی
- ساعت نوری و اتمی، سنجه شناس نوری، طیف سنج بسیار دقیق
- شانه فرکانس فیبر کریستالی در توسعه ساعت اتمی و اندازه‌گیری دقیق

۶– داده بازار و گزارش صنعت فوتونیک ۲۰۲۰

PHOTONICS 21

Tematys

Exploration of photonics markets

تحلیل بازار و گزارش صنعت فوتونیک۲۰۲۰

☑ **عنوان گزارش:**

داده بازار و گزارش صنعت ۲۰۲۰

☑ **ناشر:**

فوتونیک ۲۱

☑ **سال نشر: ۲۰۲۰**

☑ **افق زمانی: ۲۰۵۰**

☑ **هدف و مخاطبین:**

☑ **توصیف و تحلیل بخش‌های مختلف بازار فوتونیک در جهان و اروپا، معرفی حوزه‌های کاربردی و محصولات مرتبط با آن‌ها**

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

ساختار گزارش تحلیل بازار و صنعت فوتونیک۲۰۲۰

۰۱ تصویر کلی صنعت و بازار فوتونیک

۰۲ تعریف فوتونیک و ویژگی‌های آن و کاربردهای فوتون

۰۳ وضعیت بازار فوتونیک در اروپا و جهان در حوزه‌های مختلف

۰۴ کاربرد فناوری فوتونیک در بخش‌های مختلف

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

تصویر کلی صنعت و بازار فوتونیک

رشد سالانه ۷٪ بازار جهانی فوتونیک از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹

اندازه بازار جهانی فوتونیک ۹۷۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۹ و از سال ۲۰۱۵ رشد سالانه آن حدود ۷٪ بوده که بالاتر از متوسط رشد GDP جهانی و اتحادیه اروپا است. فوتونیک در مقایسه با دیگر صنایع هایتک نظیر میکروالکترونیک سرعت رشد بالایی دارد.

فوتونیک راه حل چالش‌ها و دغدغه‌های مهم آینده

علاوه بر قطعات و مواد، کاربردهای اصلی فوتونیک در بخش فناوری اطلاعات مصرفی، پزشکی و زیست‌شناسی، محیط زیست، روشنایی و انرژی و صنعت(۴.۰) است. حل چالش‌های آینده نظیر دیجیتال‌سازی تولید و جامعه، سلامت و رفاه، توسعه پایدار از دیگر کاربردهای فوتونیک است.

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

تصویر کلی صنعت و بازار فوتونیک (۱)

جایگاه دوم اروپا در بازار جهانی فوتونیک

در سال ۲۰۱۹ بیش از ۵۰۰۰ شرکت در صنعت فوتونیک اروپا به ارزش ۱۰۳ میلیاردیورو فعال بوده‌اند (۳٪ کل تولید اروپا) که جایگاه دوم را با سهم ۱۶٪ از کل بازار جهانی در اختیار دارد. اندازه صنعت فوتونیک در اروپا حتی از میکروالکترونیک (۷۵میلیون یورو) نیز بزرگ‌تر است.

رشد فوتونیک ۳ برابر رشد GDP در اتحادیه اروپا

در بازه ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹، رشد سالانه صنعت فوتونیک ۳ برابر رشد GDP (۲.۳٪) و تقریبا ۵ برابر رشد تولید صنعتی(۱.۲٪) در اروپا بوده است و بیشتر از بسیاری صنایع هایتک نظیر فناوری اطلاعات(۴.۵٪)، فناوری پزشکی (۴.۹٪)، میکروالترونیک (۴٪) است که نشان از پویایی بالای این صنعت دارد.

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

تصویر کلی صنعت و بازار فوتونیک (۲)

رشد اشتغال فوتونیک دو برابر کل صنعت در اروپا

در بازه ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ نیروی کار در صنعت فوتونیک با رشد سالانه ۲.۱٪ به ۳۹هزار نفر رسید که بیش از دو برابر رشد اشتغال کل تولید(۱٪) است و نشان از بهره‌وری بالای این صنعت دارد. هر چند دگرگونی در فرآیندهای تولید تاثیر قابل توجهی‌بر نوع شغل و مهارت این حوزه دارد.

صنعت فوتونیک پژوهش و نوآوری محور

علیرغم عقب‌ماندگی در دو بازار بزرگ نمایشگر و صفحه‌خورشیدی، نوآوری مستمر در اروپا عامل حفظ سهم بازار جهانی در صنعت فوتونیک است. فوتونیک عنصر کلیدی و مهم در حوزه‌های مختلف است. ظرفیت بالای پژوهش در شرکت‌های اروپایی موجب افزایش سهم بازار آن‌ها از این بازار پویاست.

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

فوتونیک عامل کلیدی در زنجیره ارزش راهبردی اروپا

پیمان سبز اروپا

پایش ماهواره‌ای تغییر اقلیم و محیط زیست، تشخیص آلودگی و نقص سیستم‌ها با نورسنج‌ها، مطالعه و پایش موجودات و اندام‌های ریز با میکروسکوپ‌های اتمی لیزری، کاهش تولید CO_2 با فوتوولتائیک، روشنای مصنوعی برای کشاورزی، کاهش مصرف انرژی با LED

دیجیتال‌سازی تولید و جامعه

انتقال سریع داده و کاهش مصرف انرژی با لیزرهای تراشه‌ای و فیبرهای نوری، تشخیص حرکت و نمایش سه‌بعدی با ماسک و عینک واقعیت مجازی، تولید و ذوب اجسام با لیزر، کاربرد ربات پیشرفته در تولید با لیدار و حسگر 3D، امنیت سایبری و رمزنگاری با مخابرات فوتونیک کوانتومی، توسعه پردازشگرهای کوانتومی

سلامت و رفاه

استفاده ۵۰٪ از مردم از عینک‌درسال ۲۰۵۰،تشخیص بیماری با میکروسکوپ، پرتوایکس و رادیوگرافی، آندوسکوپی، تست PCR با فن رنگ‌سنجی فوتونیک، شناخت عملکرد مغز با اپتوژنتیک، تشخیص فوری دیابت و سرطان با طیف سنج‌های تراشه‌ای، ضدعفونی با نورفرابنفش، درمان بیماری و جراحی با لیزر

حق حاکمیت

تامین امنیت نظامی با ابزارهای فوتونیک نظیردوربین‌ها و حسگرهای مادون‌قرمز، لیدار، مسافت‌یاب، تامین امنیت شهری با پایش سیل، زلزله، خرابی لوله‌ها و ترافیک شهری با حسگرها و تصویربرداری ماهواره‌ای، مبارزه با جعل مدارک با طیف‌سنج‌ها

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

تعریف فوتونیک

- دانش نور (اپتیک) با بیش از هزار سال سابقه به فوتونیک (دانش استفاده از فوتون) تغییر نام داده است.
- فوتونیک، دانش مهار نور به نفع بشر است که شامل فناوری‌هایی است که تولید، تشخیص و اندازه‌گیری، انتقال و مدیریت نور (مادون قرمز از طیف مرئی گرفته تا اشعه ایکس) را انجام می‌دهند.
- سیستم‌های روشنایی ساختمان، عینک‌های چشم‌پزشکی، نمایشگرها، دوربین‌ها، فیبرهای نوری، اسکنر تصویربرداری، دستگاه جراحی لیزری، اسکنر بارکد، تلسکوپ، تصویربرداری ماهواره‌ای، مخابرات کوانتومی و پردازش کوانتومی همگی ابزارها و سیستم‌های مبتنی بر نور و فوتونیک هستند.

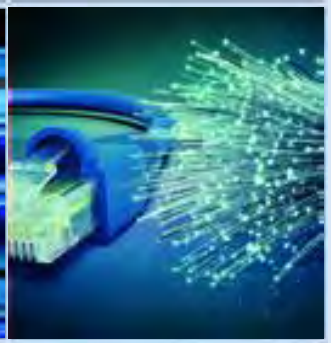
Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/ Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

ویژگی‌های صنعت فوتونیک

- فوتونیک یکی از قدیمی‌ترین صنایع جهان و بسط یافته از اپتیک
- فوتونیک دانش انتقال انرژی و اطلاعات از طریق فوتون بین فرستنده و گیرنده
- نوآوری مستمر و کارکردهای بی‌شمار و بین‌رشته‌ای فوتون؛ بلوغ بازار فوتونیک با سرعتی بسیار کم
- تولید انبوه کالای سفارشی با استفاده از ۳ فاکتور شبیه‌سازی، هوش مصنوعی، کوچک‌سازی اجزای فوتونیک فرصتی بسیار خوب برای اروپا
- صنعت فوتونیک قوی نیازمند پژوهش قوی در حوزه فوتونیک

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

کاربردهای فوتون در حوزه‌های مختلف

انواع سیستم‌های فوتونیک	حسگرها و ادوات	دوربین و سیستم‌های تصویربرداری	سیستم‌های مخابراتی	صفحه سینما، نمایشگر، پروژکتور
کارکردهای فوتونیک	اندازه‌گیری و پایش	کسب اطلاعات	ارسال اطلاعات	دریافت اطلاعات
کارکردهای فوتونیک				

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

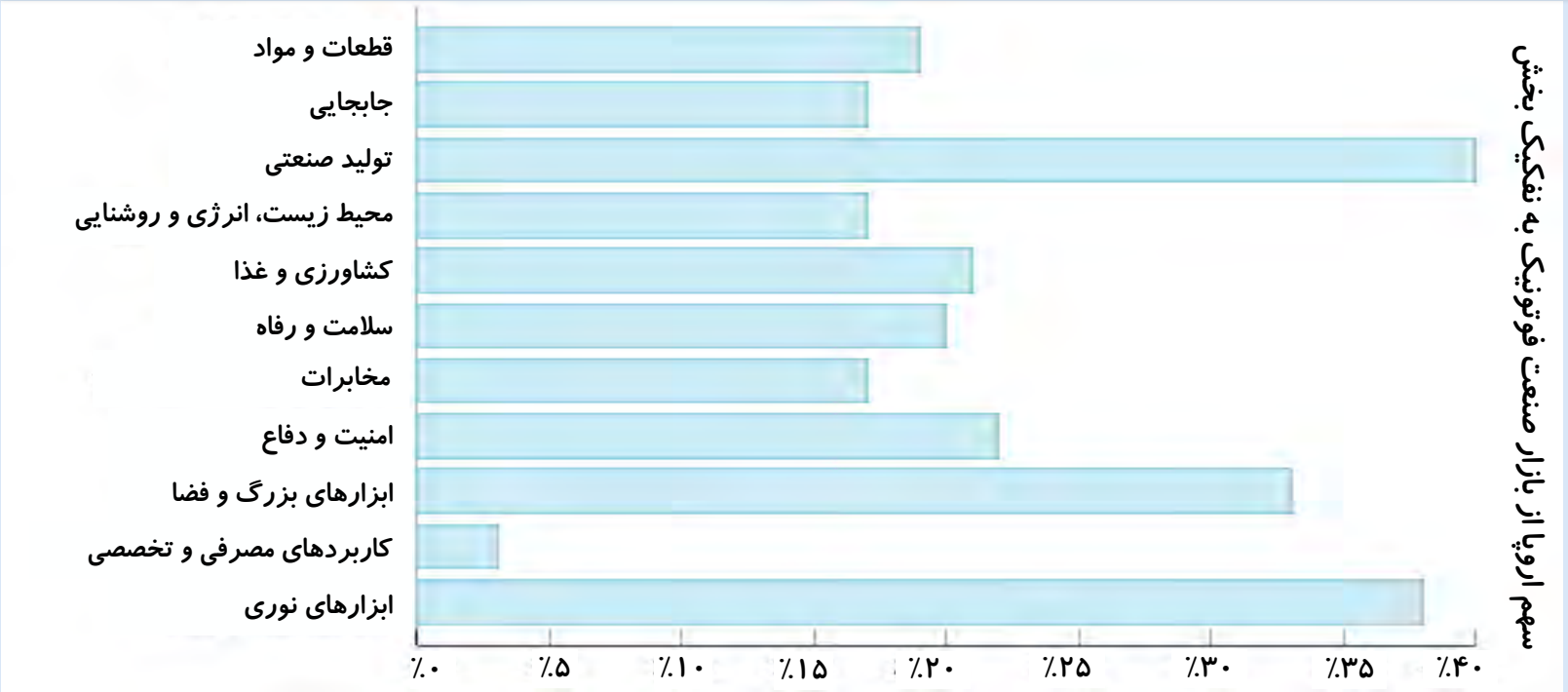
کاربردهای فوتون در حوزه‌های مختلف– ادامه

انواع سیستم‌های فوتونیک	LED، OLED و سیستم‌های هوشمند روشنایی	سیستم‌های فوتوولتائیک	لیزر و سیستم‌های تولیدی
کارکردهای فوتونیک	تامین روشنایی	فراهم کردن انرژی	تولید
کارکردهای فوتونیک			

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

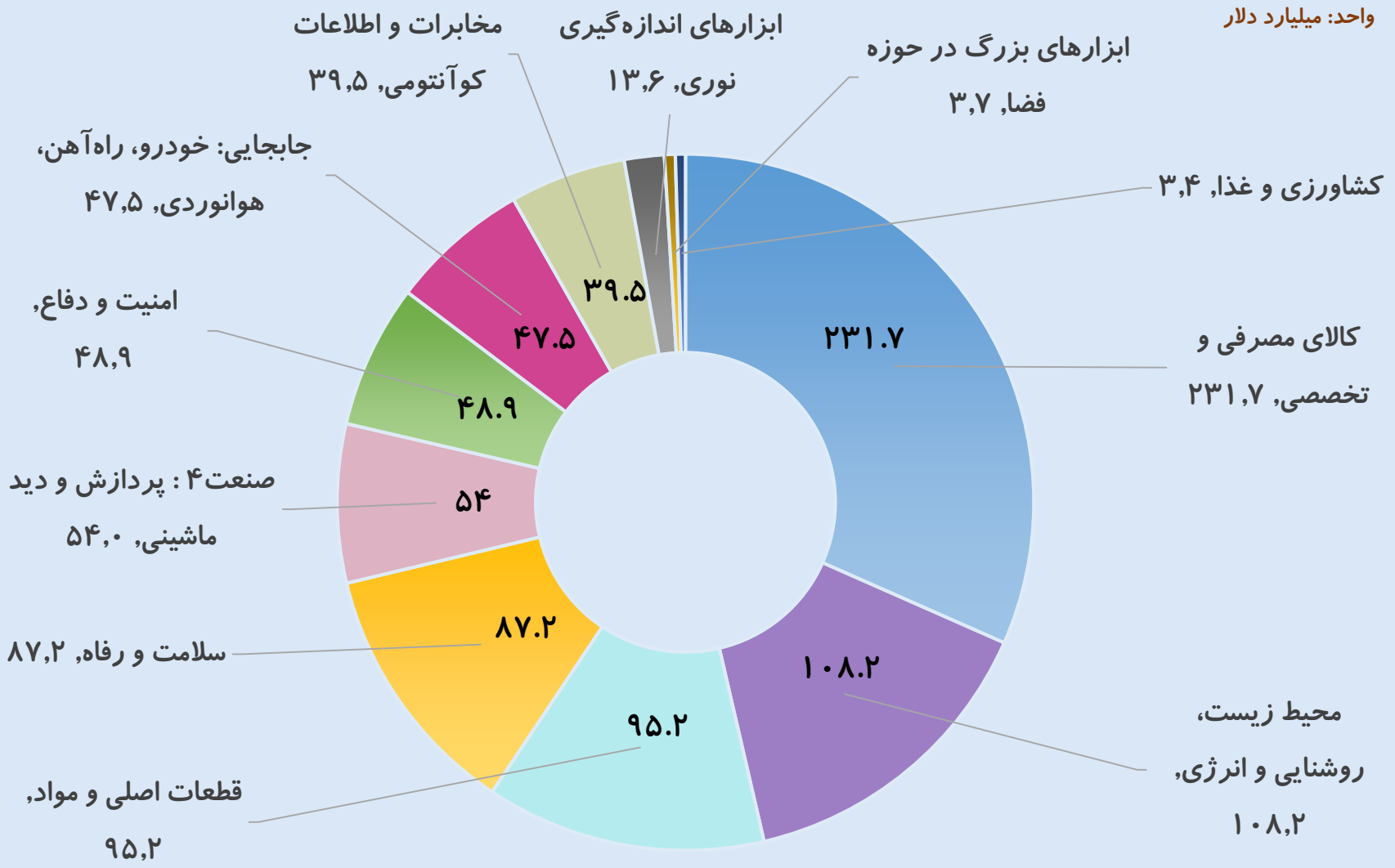
سهم بازار اروپا در بخش‌های مختلف فوتونیک

اروپا راهبر یا بازیگر اصلی در اغلب بخش‌های بازار فوتونیک است. اندازه این بخش‌ها متوسط بوده و سالانه بین ۲هزار تا ۱۰هزار واحد تولید دارند. به دلیل حجم بالای سفارشی‌سازی در صنعت فوتونیک و با هدف کاهش هزینه و افزایش ارزش افزوده برای مشتری، از ابزارهایی نظیر شبیه‌سازی دیجیتال، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده استفاده می‌شود.(سال ۲۰۱۹)



Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

حجم بازار فوتونیک در بخش‌های مختلف در سال ۲۰۱۹



Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در بخش قطعات اصلی و مواد

۱. قطعات غیرفعال و مواد

- عدسی‌های نوری، فیلترهای نوری
- منشورها، لنزها

۲. پوشش اپتیکی و منابع نور

- فیلم‌ها و پوشش‌های نوری
- تراشه‌های LED، تراشه لیزری کنارگسیل (لیزر کوانتومی آبشاری، VCSEL)، منبع لیزر حالت جامد و فیبری

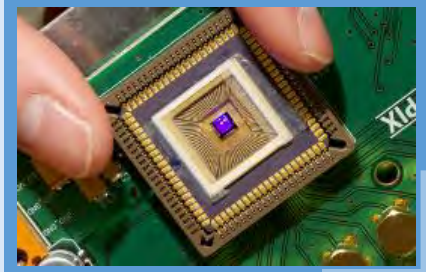
۳. آشکارساز و حسگر

- حسگر تصویری CCD، CMOS و مادون قرمز غیرسیلیکونی
- تابش سنج، پیل گرماسنج، دیودهای گرمایی، آشکارساز اشعه ایکس
- حسگر مادون قرمز غیرفعال، حسگر تخلیه جزئی شارژ

۴. انواع فیبر

- فیبر نوری
- فیبر پیش‌ساخته

قطعات اصلی و مواد	
حجم بازارجهانی (b$)	۹۵.۲
رشد متوسط سالانه	٪۵.۵
تولید اروپا (b$)	۱۸.۵
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۲۰



Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در بخش مخابرات و اطلاعات کوانتومی

۱. تجهیزات مخابراتی باسیم

- سوئیچ، روتر، فوتولتائیک و فوتونیک آلی، ارتباط داخلی پایگاه داده(شبکه نوری)
- فرستنده/گیرنده نوری برای انتقال داده، فرستنده/گیرنده نوری برای مخابرات
- کابل فیبر نوری

۲. ارتباط نوری بی‌سیم

- تجهیزات نوری در فضای آزاد
- مخابرات با نور مرئی
- لای فای

۳. ابزار دقیق مخابراتی

- ابزارهای مبتنی بر لیزر
- مالتی پلکسی تقسیم طول موج متراکم(DWDM)،
- بازتاب‌سنج نوری دامنه و زمان(OTDR)، تحلیلگر طیف نوری

۴. اپتیک کوانتومی

- ساعت کوانتومی، کلید توزیع کوانتومی
- تله‌های نوری-مغناطیسی

مخابرات و اطلاعات کوانتومی	
حجم بازارجهانی (b$)	۳۹.۵
رشد متوسط سالانه	٪۷.۵
تولید اروپا (b$)	۶.۶
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۱۷

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در بخش ابزارهای بزرگ در تجهیزات فضایی

۱. تجهیزات بزرگ زمینی

- لیزر فوق قوی
- لیرز الکترون آزاد

۲. محموله‌های فضایی مبتنی بر الکترونیک نوری

- شبکه نوری انتقال داده ماهواره‌ای
- ماهواره تجاری

ابزارهای بزرگ در تجهیزات فضایی	
حجم بازارجهانی (b$)	۳.۷
رشد متوسط سالانه	٪۵
تولید اروپا (b$)	۱.۲
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۳۳

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در بخش امنیت و دفاع

۱. اندازه‌گیری و دید در شب

- اندازه‌گیری از راه دور، ارتعاش‌سنج لیزری
- تجهیزات اقدامات متقابل
- سنجش خطرات هسته‌ای، شیمیایی، زیستی، رادیولوژیک

۲. نمایشگرها

- دوربین‌ها و سیستم‌های نظارتی نمایشگر تجهیزات هوایی
- نمایشگر سربالابرای کاربردهای دفاعی و امنیتی

۳. تصویربرداری مادون‌قرمز

- دستگاه تشخیص با اشعه ایکس
- دوربین های امنیتی و نظارت تصویری در روز و شب (زمینی، دریایی، هوایی)
- دوربین مادون قرمز برای نظارت و آتشنشانی

۴. سیستم‌های زیست سنجی

- زیست سنجی با ابزارهای شناسایی با عنبیه، سه‌بعدی، وریدی(غیر از اثرانگشت)
- زیست سنجی با ابزارهای شناسایی با اثر انگشت

امنیت و دفاع	
حجم بازارجهانی (b$)	۴۸.۸
رشد متوسط سالانه	٪۹.۵
تولید اروپا (b$)	۱۱
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۲۲

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در تولید صنعتی پیشرفته

۱. اندازه‌گیری و کنترل برخط

- طیف‌سنجی فرآیندی، سنجش گاز با استفاده از نور
- اسکنر بارکد
- سنجه‌شناسی برای نیمه‌رساناها، سنجه‌شناسی برخط(شکل، رنگ، اندازه، نقص)

۲. سیستم‌های دید ماشینی

- دوربین‌ها و سیستم‌های تصویربرداری با نور مرئی
- ماشین‌های اندازه‌گیری مختصات
- سیستم‌های تصویربرداری غیرسنتی(با طول نور مادون قرمز با طول موج کوتاه، متوسط و بلند)

۳. فرآیند تولید: سیستم‌های لیزری

- سیستم‌های لیزری برای پردازش کلان(برش، جوشکاری، مته‌زنی، تمیزکاری)
- سیستم‌های لیزری برای ریز پردازش
- پرینتر سه بعدی مبتنی بر لیزر/LED

۴. فرآیند تولید: تولید نیمه رسانا و نمایشگر

- سیستم‌های حکاکی(لیتوگرافی) با کاربرد در نیمه‌رساناها و نمایشگرها
- تابکاری، کنده‌کاری و برونپاشی با لیزر

صنعت نسل چهارم؛ دید ماشینی و پردازش

حجم بازارجهانی (b$)	۵۴
رشد متوسط سالانه	٪۶.۷
تولید اروپا (b$)	۲۱.۴
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۴۰

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در بخش محیط زیست، روشنایی و انرژی

۱. سنجش گرما و انتشاز گاز گلخانه‌ای

- حسگرهای فوتوالکتریک برای شار نوری، حسگر نوری محیطی و مجاورتی
- حسگر مادون قرمز ناپاشنده برای سنجش گاز و ذرات
- سنجش گرما با نور مادون قرمز

۲. سیستم‌ها و ماژول‌های روشنایی مبتنی بر لیزر

- روشنایی داخل و بیرون ساختمان با LED و OLED
- روشنایی خودرو و سایر وسایل نقلیه

۳. ماژول‌های فوتونولتائیک

- ماژول‌های فوتوولتائیک(به غیر از پنل‌ها)
- پنل‌های خورشیدی گرمایی

۴. اندازه‌گیری آلودگی و رفع آن

- ربات‌های ماورابنفش نوع C غالبا برای سطوح
- سیستم‌های ضدعفونی ماورابنفش نوع C (اغلب برای تصفیه آب)

محیط زیست، روشنایی و انرژی

حجم بازارجهانی (b$)	۱۰۸.۲
رشد متوسط سالانه	٪۹
تولید اروپا (b$)	۱۸.۷
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۱۹

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در بخش جابجایی؛ خودرو، دریایی، راه آهن، هوانوردی

۱. تصویربرداری و حسگرها

- دوربین برای خودروها
- تصویربرداری دید در شب
- لیدارها، حسگر نوری سرعت

۲. روشنایی

- روشنایی خودرو با LED و روشنایی وسایل نقلیه دریایی، هوایی و راه‌آهن
- چراغ‌های لیزری جلو

۳. نمایشگر

- سیستم‌ها و پنل‌های نمایشگر خودرو
- نمایشگر وسایل نقلیه دریایی، هوایی و راه‌آهن
- نمایشگر سربالا در خودرو و هوانوردی

۴. انتقال اطلاعات و فضای مجازی

- سیستم‌ها و قطعات انتقال داده
- کاربرد واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در وسایل نقلیه هوایی

جابجایی؛ خودرو، دریایی، راه‌آهن، هوانوردی

حجم بازارجهانی (b$)	۴۷.۵
رشد متوسط سالانه	٪۸
تولید اروپا (b$)	۸.۳
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۱۷

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در بخش سلامت و رفاه

۱. ابزارهای تشخیص پزشکی

- با اشعه**X**: ماموگرافی، سی‌تی اسکن
- با نور مرئی؛ دستگاه تشخیص بیماری پوستی، لامپ شکافی، انحراف سنج چشم
- میکروسکوپ جراحی، آندوسکوپی، اسکنر آسیب‌شناسی دیجیتال، برش نگاری

۲. درمان پزشکی

- درمان مبتنی بر لیزر؛ درمان پوست و چشم، زیبایی، تصحیح بینایی، دندانپزشکی، اورولوژی، زنان، قلبی عروقی و دامپزشکی
- درمان فوتودینامیک و درمان مبتنی بر ماورابنفش

۳. علم زندگی

- خون شناسی، اکسیژن‌سنجی
- ترتیب دهی، سلول شناسی
- حسگرهای زیستی، ریزبین شناسی

۴. تصحیح بینایی با لنز

- عینک و لنزهای تماسی

سلامت و رفاه	
حجم بازارجهانی ($b)	۸۷.۲
رشد متوسط سالانه	٪۴.۵
تولید اروپا ($b)	۱۷.۸
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۲۱

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در بخش کشاورزی و غذا

۱. تصویربرداری و اندازه‌گیری

- دوربین با طیف نور مرئی، طیف‌سنج، یاخته شناسی، ترکیب نور مرئی و طیف نزدیک مادون قرمز
- ابزارهای مبتنی بر اشعه ایکس و در فرکانس تراهرتز

۲. درمان مبتنی بر فوتونیک

- ابزارهای مبتنی بر ماورابنفش با کارکرد آنلاین و میدانی
- ضدعفونی با ماورابنفش

۳. روشنایی

- روشنایی مورد نیاز باغداری علمی

کشاورزی و غذا

حجم بازارجهانی (b$)	۳.۴
رشد متوسط سالانه	٪۱۸
تولید اروپا (b$)	۰.۷۱
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۲۱

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در بخش کالاهای مصرفی

۱. اداره و خانه

- اسکنر، درایور دیسک نوری، موس نوری، پرینتر و دستگاه کپی لیزری
- پرینتر ۳بعدی، شناسایی از طریق اثر انگشت
- نمایشگر سطح صاف برای تلویزیون و لپ تاپ

۲. تلفن همراه و ابزار

- دوربین، طیف سنج، نمایشگر برای تلفن همراه
- ماژول سه‌بعدی برای تلفن همراه
- ماژول های فرعی روشنایی (LED/VCSEL) برای سنجش سه بعدی

۳. آموزش و تخصص

- تجهیزات آموزشی مبتنی بر فوتونیک
- زوم برای دوربین حرفه‌ای، طراحی و تولید و خرید تجهیزات تلویزیون مداربسته
- ابزارهای ورزشی و تفریحی؛ تلسکوپ، دوربین دوچشمی، محدوده‌یاب، دوربین تفنگ

۴. سرگرمی و اوقات فراغت

- نورافکن و روشنایی، پروژکتور فسفری برای سینمای خانگی، اداره و دیجیتال
- هدست واقعیت مجازی/افزوده، پروژکتور سینما، دیوارویدئو
- نمایشگر بزرگ شهری، نورافکن شهری، نمایش تصاویر سه‌بعدی روی سطوح

مصرف‌کنندگان و متخصصین	
حجم بازارجهانی (b$)	۲۳۱.۷
رشد متوسط سالانه	٪۷.۷
تولید اروپا (b$)	۶.۳
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۳

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

بازار فوتونیک در بخش ابزار دقیق و اندازه‌گیری نوری

۱. اندازه‌گیری فاصله

- تصاویر سه بعدی استریو(قابل دیدن از ۳ جهت)
- لیدار پهپاد و هوابرد(نقشه‌برداری سه‌بعدی از راه‌ها، خط لوله، شبکه‌ها، زیرساخت‌ها و...)

۲. اندازه‌گیری طیفی

- رنگ‌سنجی، تصویربرداری با نورمرئی، تصویربرداری فراطیفی
- طیف‌سنجی انتشار نوری، تصویربرداری و طیف‌سنجی در فرکانس تراهرتز
- طیف‌سنجی ارتعاشی(نورمرئی، دور/میانه/نزدیک مادون قرمز)

۳. اندازه‌گیری توزیع‌شده

- لیزر باریک مورد استفاده در اندازه‌گیری، تداخل سنجی
- حسگر فیبری(کشش عضله(**Brag**)، گرما(Raman Scattering DTS)، امواج صوتی(Rayleigh scattering DAS))

۴. سایر انواع اندازه‌گیری

- ریزسنجی(غیر از علم زندگی)
- ابزارهای اندازه‌گیری دقیق نوری؛ بازتاب‌سنج، تداخل‌سنج، بیضی‌سنج

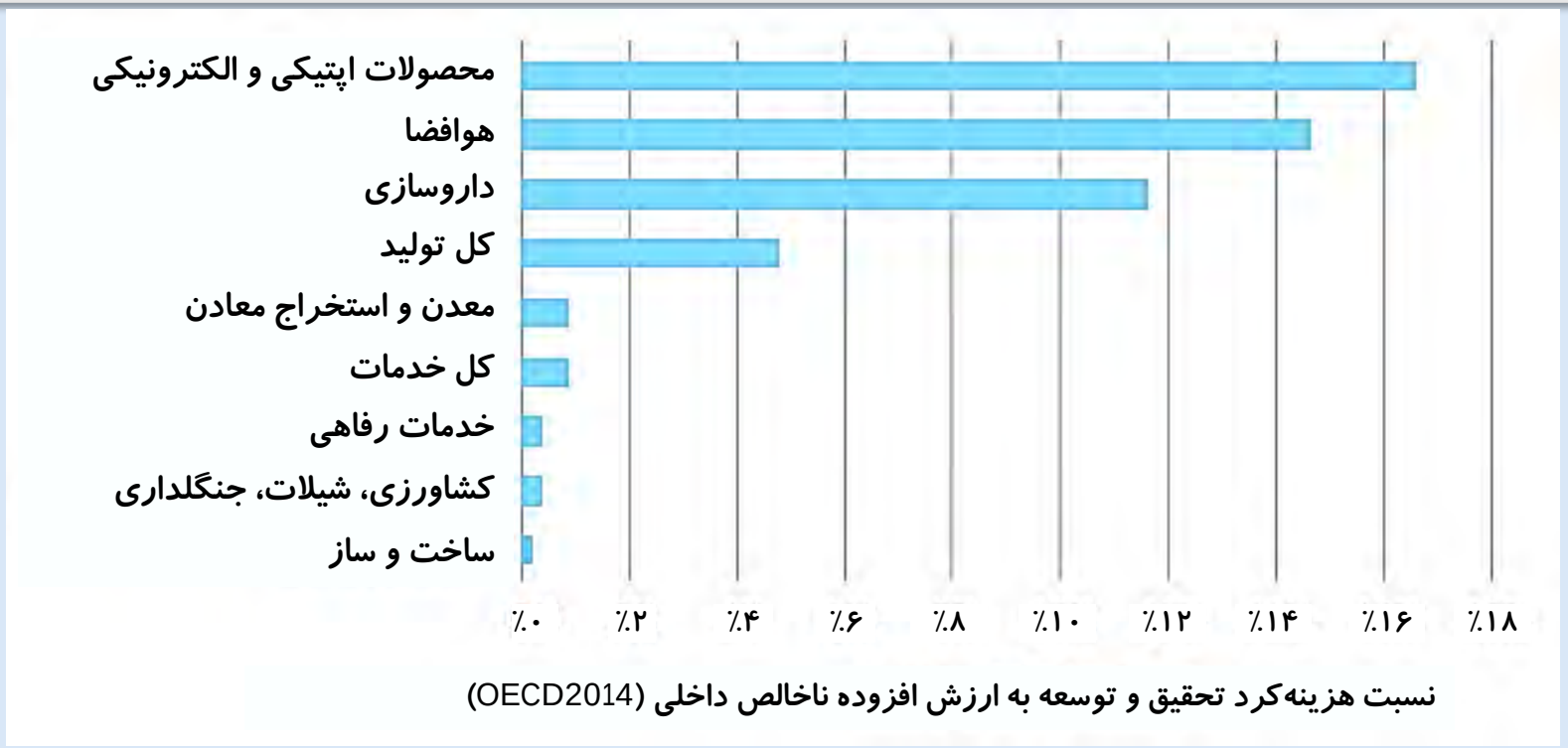
ابزار دقیق و اندازه‌گیری نوری

حجم بازارجهانی (b$)	۱۳.۶
رشد متوسط سالانه	٪۶
تولید اروپا (b$)	۵.۲
سهم اروپا از بازار جهانی	٪۳۸

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

وضعیت هزینه‌کرد صنعت فوتونیک در پژوهش

اغلب کارآفرینان صنعت فوتونیک، موسسان شرکت‌های زایشی از دانشگاه‌ها و آزمایشگاه‌های تحقیقاتی بوده‌اند. بر اساس آمار OECD از شدت پژوهش در شرکت‌ها، حوزه اپتیک و الکترونیک با بیش از ۱۶درصد، بیشترین سهم هزینه‌کرد تحقیق و توسعه را از فروش شرکت‌ها داشته است. سرمایه‌گذاری در پژوهش در بخش خصوصی و دولتی، مهمترین محرک رشد صنعت فوتونیک می‌باشد.



نسبت هزینه‌کرد تحقیق و توسعه به ارزش افزوده ناخالص داخلی (OECD2014)

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

سهم کشورها از بازار جهانی فوتونیک

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

پیمان سبز اروپا (محیط زیست) و فوتونیک

نیازها، الزامات و محدودیت‌ها

نیاز به پایش محیط زیست و اتمسفر

- پایش آب آشامینی، فاضلاب، هوا
- پایش رودخانه‌ها، اقیانوس‌ها، خاک و لایه‌های زیرخاک
- گیاهان و محصولات زراعی
- مناظر طبیعی و تنوع زیستی
- گازهای گلخانه‌ای، لایه ازن، لایه‌های مرزی اتمسفر
- پایش اقلیم و تحولات آن
- گردآوری داده برای سیاست‌ها و برنامه‌های محیط زیستی نظیر موافقتنامه پاریس، COP21 و IPCC

الزام به پردازش و رفع آلودگی‌ها

- تشخیص رفع و تصفیه کلیه آلودگی‌ها
- انرژی‌های بدون کربن
- دسته‌بندی و تصفیه زباله‌ها

محدودیت‌ها

- محدودیت‌های قانونی
- بازار کربن و هیدروکربن‌ها
- عوامل و مقاومت‌های اجتماعی
- پیچیدگی اکوسیستم ها و زنجیره موجودات زنده

فناوری‌ها و کارکردهای فنی فوتونیک

کارکردهای فنی مورد انتظار

- تحلیل مولکولی و شیمیایی (فلزات، دسترسی، اختلالات غدد درون ریز، آفت کش ها، داروها)
- تجزیه و تحلیل بیولوژیکی(باکتری، ویروس،...)
- شناسایی ذرات و گردوغبار
- سیستم‌ها و حسگرهای با مصرف کم انرژی
- تجزیه و تحلیل تحلیل رنگ‌ها

فناوری‌ها و راهکارهای فوتونیکی

- دوربین و تصویرسازی فراطیفی با هر طول موجی
- طیف‌سنج، یاخته‌سنج، دانه‌سنج
- لیزرها و دیودهای فراطول موج
- پردازش تصویر: آشکارسازی، تشخیص، بازسازی سه بعدی
- هوش مصنوعی و معناشناسی
- منابع پرتو گاما، اشعه ایکس، ماورا بنفش
- حسگرهای زیستی

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

پیمان سبز اروپا (کشاورزی) و فوتونیک

نیازها، الزامات و محدودیت‌ها

نیازها و الزامات

- کشاورزی پایدار، دقیق و با بهره‌وری بالا
- حفظ تنوع زیستی
- تامین غذای جمعیت زمین و افزایش کیفیت محصولات
- سازگاری با تغییرات آب و هوایی
- آبزی‌پروری پایدار
- حفاظت از حیوانات و کاهش استفاده از آفت‌کش‌ها
- کاهش فرسایش خاک
- پایش سلامت و ایجاد قابلیت پایش

محدودیت‌ها

- محدودیت قوانین و استانداردها
- اندازه زمین‌های کشاورزی
- کمبود مهارت‌های فناورانه کشاورزان
- قیمت تمام شده کالاها
- متغیر بودن خواص موجودات زنده
- خطرات اقلیمی
- نبود جذابیت سرمایه‌گذاری در بخش کشاوزی
- پراکندگی و منسجم نبودن نیازها

فناوری‌ها و کارکردهای فنی فوتونیک

کارکردهای فنی مورد انتظار

- تعیین موقعیت جغرافیایی
- اندازه‌گیری عملکرد
- گونه شناسی گیاهی
- شناخت ویژگی‌های بذر
- شناخت ویژگی‌های محصولات، تحلیل شیمیایی در مزرعه (رنگ، شیرینی، پروتئین...)
- پایش رفتار
- شناخت آفات و آسیب‌های گیاهی

فناوری‌ها و راهکارهای فوتونیکی

- دوربین و تصویرسازی فراطیفی با هر طول موجی
- طیف‌سنج‌های(مینی و میکرو)
- پایگاه داده کسب و کار
- لیزرها و دیودهای: لیدار پیوسته و پالسی
- پردازش تصویر: آشکارسازی، تشخیص، بازسازی سه بعدی
- هوش مصنوعی و معناشناسی
- ردیابی حیوانات
- روشنایی مصنوعی

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

سلامت و رفاه و فوتونیک

نیازها، الزامات و محدودیت‌ها

نیازها و الزامات

- امکان تشخیص، طب پیشگیری و درمان‌های جدید
- داروهای اختصاصی، داروهای خانگی
- انجام مراقبت و تشخیص فوری
- فناوری‌های جدید جراحی(ایمن‌تر، کمتر تهاجمی، بهبود سریع‌تر)، واکسن و آنتی‌بیوتیک جدید
- کاهش استفاده از حیوانات در پژوهش
- کسب دانش درباره بدن انسان و اثر محیط برآن (آلودگی، تغذیه، رفتارها و عادات)

نیازها و الزامات

- استراتژی و روش جدید برای امور معلولان و ناتوانان بخصوص سالمندان

محدودیت‌ها

- محدودیت قوانین و استانداردها
- آزمایشات بالینی
- سیاست‌های بازپرداخت کمک‌های مالی
- هزینه بالا
- کیفیت و ماندگاری

فناوری‌ها و کارکردهای فنی فوتونیک

کارکردهای فنی مورد انتظار

- تجزیه و تحلیل بیولوژیکی: هماتولوژی، باکتریولوژی، انکولوژی، بافت‌برداری، گلوکز
- تصویربرداری و ذره‌بینی: اشعه ایکس، NMR، اولتراسوند،آندوسکوپی، OCT، تصویربرداری‌کامل
- جراحی: برش، سوزاندن، انکسار
- درمان: تصحیح بینایی، شیمی درمانی، رادیوتراپی، پروتون درمانی
- رفاه: اپیلاسیون، پاک کردن تاتو...

فناوری‌ها و راهکارهای فوتونیکی

- لنز اصلاحی، ایمپلنت کریستال، شبکیه مصنوعی، OCT
- منبع ذرات(فوتون) و اشعه ایکس و لیزر
- سلول شناسی شارشی، درمان فوتودینامیک
- طیف‌سنجی: یووی مرئی، رامان،
- تکنیک‌های میکروسنجی و فلورسنس
- آندوسکوپی و تصویربرداری کامل، توالی‌یابی DNA
- تصویربرداری مادون‌قرمز و مرئی: تشخیص، تحلیل داده و سه بعدی

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

حاکمیت(مبارزه با جعل، قاچاق کالا و مواد مخدر) و فوتونیک

نیازها، الزامات و محدودیت‌ها

نیازها و الزامات

- تشخیص داروها و مواد
- تجزیه شیمیایی و ترکیب موادشیمیایی و بایومواد
- شناخت منشا مواد شیمیایی و زیستی
- شناسایی افزودنی‌ها و ترکیبات غیرمجاز
- شناسایی اشخاص و وسایل نقلیه
- شناسایی خطرات زیستی (انگل، آفت، باکتری،ویروس، قارچ،حیوانات و گیاهان مهاجم)
- مشاهده داخل بسته‌ها، کانتینرها و حجم زیاد کالا و یافتن کالا و مواد مخفی

محدودیت‌ها

- محدودیت قوانین و استانداردها
- حجم زیاد کالا برای کنترل
- فنون ذخیره و بسته‌بندی
- مدیریت مقررات
- مخفی کردن عمدی کالا و مواد

فناوری‌ها و کارکردهای فنی فوتونیک

کارکردهای فنی مورد انتظار

- تجزیه و تحلیل مولکولی و شیمیایی
- تجزیه و تحلیل بیولوژیکی (باکتری، ویروس، ...)
- تشخیص ذرات و گردوغبار
- بینی مصنوعی
- تصویربرداری، دید در شب و دید در روز
- اسکنر
- تشخیص شکل

فناوری‌ها و راهکارهای فوتونیکی

- دوربین و تصویرسازی فراطیفی با هر طول موجی
- طیف‌سنج‌های(مینی و میکرو)، رامان، SPR، SERS
- میکروسکوپ و فنون آشکارسازی فلوئورسنت
- منبع و آشکارساز انواع پرتوها؛ گاما، فراموج، Nir، SWIR
- بیوحسگرها

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

حاکمیت(دفاع و امنیت) و فوتونیک

نیازها، الزامات و محدودیت‌ها

نیازها و الزامات

- دید در هر شرایطی از جمله شب
- تشخیص تهدید در هر شرایطی
- تشخیص هدف و هدایت موشک و مهمات
- فریب دادن و انهدام موشک و مهمات تهدیدگر
- ارتباط امن و ناشناخته ماندن
- اندازه‌گیری فاصله و تنظیم شدت ضربه
- شناسایی و دفاع در برابر خطرات نظامی NRBC
- پایش ساختارها

محدودیت‌ها

- انجام عملیات در شرایط سخت
- محدودیت استانداردها
- کابرد دوگانه مقررات

فناوری‌ها و کارکردهای فنی فوتونیک

کارکردهای فنی مورد انتظار

- دید در شب، دید در هر شرایطی
- تشخیص تهدید در هر شرایطی
- سیستم‌های تعیین هدف
- هدایت موشک و مهمات
- اقدام متقابل و شلیک به موشک و مهمات تهدیدگر
- استتار و محدوده‌یابی
- ارتباطات رمزگذاری شده و مخابرات در فضای آزاد
- تشخیص تهدیدات هسته‌ای، بیولوژیک...

فناوری‌ها و راهکارهای فوتونیکی

- دوربین و تصویرسازی فراطیفی با هر طول موجی
- پردازش تصویر: آشکارسازی، تشخیص، بازسازی سه بعدی
- لیزرها و دیودهای فراطول موج، حسگرهای فیبری
- طیف‌سنج‌های(مینی و میکرو)
- لیدار و محدوده‌یاب
- متا مواد، قطعات پیشرفته اپتیکی
- سیستم‌های مخابرات فیبری یا در فضای آزاد و رمز نگار

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

اولویت‌های فناوری فوتونیک در گزارش

قطعات و مواد اصلی فوتونیک	• عدسی و فیلترهای نوری، منشورها و لنزها و فیبر نوری پیش‌ساخته • تراشه‌های مبتنی بر LED، تراشه لیزری کنارگسیل • منابع لیزر حالت جامد و مایع، لیزر کوانتومی آبشاری، VCSEL • حسگر تصویری CMOS، CCD و مادون قرمز غیر سیلیکونی • تابش سنج، پیل گرماسنج، دیودهای گرمایی، آشکارساز اشعه ایکس
مخابرات و اطلاعات کوانتومی	• سوئیچ، روتر، فرستنده، گیرنده (کلیه تجهیزات) شبکه نوری • مخابرات‌با نورمرئی، لای‌فای، • مالتی پلکسر تقسیم طول موج، بازتاب‌سنج نوری دامنه و زمان، تحلیلگر طیف ▪ ساعت کوانتومی، توزیه کلید کوانتومی، تله‌های نوری-مغناطیسی
تجهیزات فضایی	• لیزر فوق قوی، لیزر الکترون آزاد • شبکه نوری انتقال داده ماهواره‌ای و تجهیزات ماهواره تجاری
امنیت و دفاع	• ارتعاش‌سنج لیزری، حسگر سنجش خطرات هسته‌ای، شیمیایی، رادیولوژیک • نمایشگر شفاف(HeadUp) برای خلبان، دوربین و سیستم‌های نظارتی دید در شب • دوربین مادون قرمز نظارتی، دستگاه تشخیص با اشعه ایکس • دستگاه شناسایی افراد از طریق عنبیه، وریدی، اثر انگشت
ابزار دقیق و اندازه‌گیری	• نقشه‌برداری سه‌بعدی با لیداراز زیرساخت‌ها، تصویربرداری سه‌بعدی استریو • طیف‌سنجی‌وتصویربرداری فراطول‌موج،تداخل سنج و اندازه‌گیری بالیزرباریک • حسگر فیبری کشش عضله، حسگر گرما و امواج صوتی

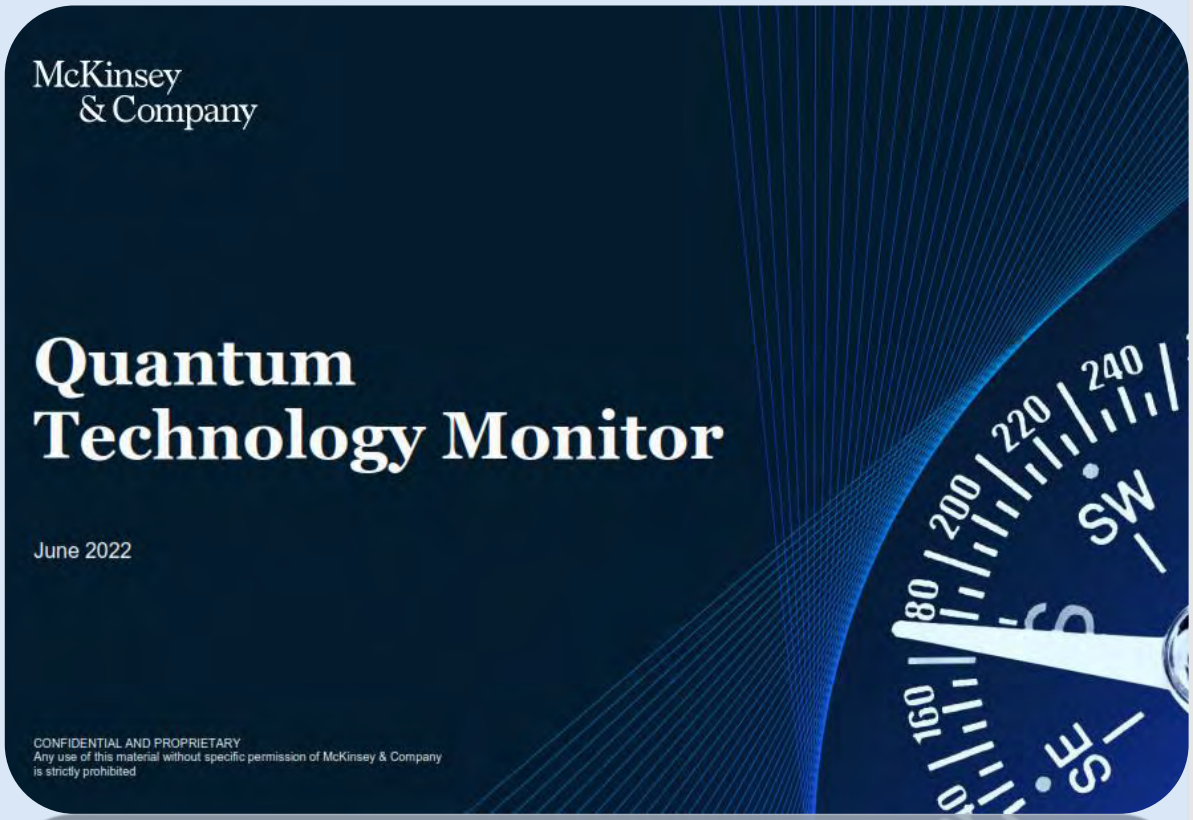
اولویت‌های فناوری فوتونیک در گزارش (۱)

صنعت نسل چهارم	• طیف‌سنج درون فرآیندی، سنجش گاز با حسگر نوری، ایکنر بارکد • دوربین‌ها و سیستم‌های تصویربرداری با نور مرئی • سیستم‌های لیزری برای پردازش ریز و کلان(برش، جوشکاری، مته‌زنی، تمیزکاری) • پرینتر سه بعدی مبتنی بر لیزر/LED • سیستم‌های‌حکاکی‌در نیمه‌رساناها و نمایشگرها/تابکاری، کنده‌کاری و برونپاشی با لیزر
محیط زیست، روشنایی و انرژی	• حسگر شارنوری و گرما، حسگرمادون قرمز ناپاشنده برای‌سنجش‌گاز و ذرات • روشنایی داخل و بیرون ساختمان و خودرو با LEDو OLED • پنل‌های خورشیدی و ماژول‌های فوتوولتائیک • ربات‌ها و سیستم‌های فرابنفش برای صدعفونی و تصفیه آب
سلامت و رفاه	• ماموگرافی، سی‌تی اسکن با اشعه ایکس • دستگاه تشخیص بیماری پوستی، لامپ‌شکافی، انحراف سنج چشم با نور مرئی • میکروسکوپ جراحی، آندوسکوپی، اسکنر آسیب‌شناسی دیجیتال،برش‌نگاری • دستگاه اکسیژن سنج خون و عینک‌ها و لنزهای تماسی
مصرف کنندگان و متخصصین	• اسکنر، درایور دیسک نوری، موس نوری، پرینتر و دستگاه کپی لیزری • نمایشگر سطح صاف برای تلویزیون و لپ تاپ • دوربین با رزولوشن بالا، طیف سنج، نمایشگر برای تلفن همراه • لنز پیشرفته برای زوم دوربین حرفه‌ای

فناوری‌های
کوانتوم
McKinsey
& Company
OPTICA
Formerly OSA
Capgemini
UK NATIONAL
QUANTUM
TECHNOLOGIES
PROGRAMME
UKRI
UK Research
and Innovation
HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

۷– پایش فناوری کوانتوم

گزارش پایش فناوری کوانتوم



☑ **عنوان گزارش:**

پایش فناوری کوانتوم

☑ **ناشر:**

مکنزی اند کمپانی

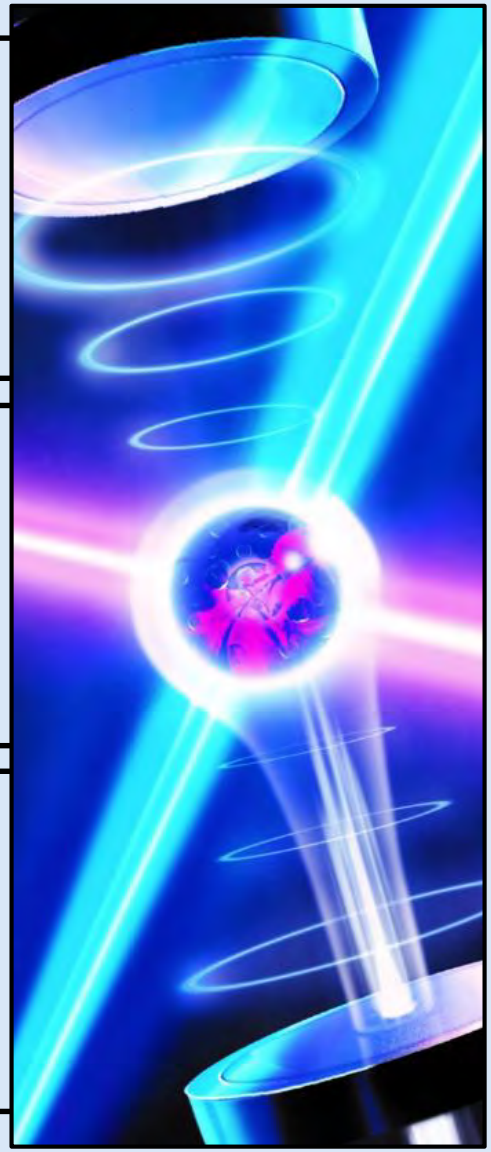
☑ **سال نشر:** ۲۰۲۲

☑ **افق زمانی:** –

☑ **هدف و مخاطبین:**

ارائه تحلیلی جامع از وضعیت بازار فناوری کوانتوم و عملکرد بازیگران و سرمایه‌گذاران در این حوزه

ساختار گزارش پایش فناوری کوانتوم



وضعیت بازیگران حوزه فناوری کوانتوم

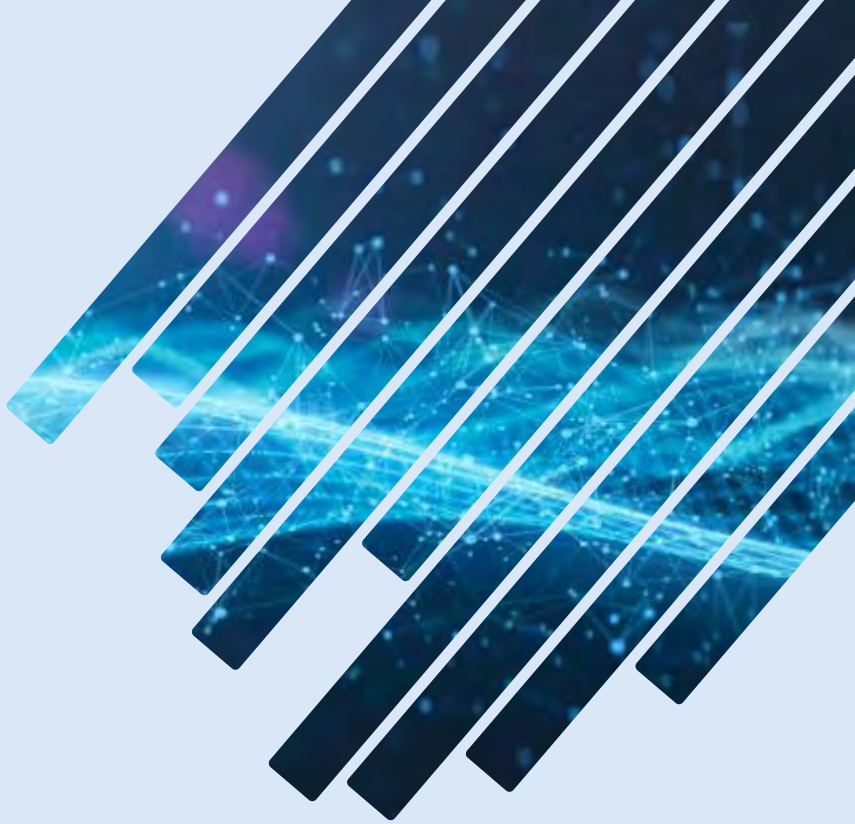
شمارش استارتاپ‌های تاسیس شده در۲۵ سال اخیر با درآمد کمتر از ۲۰۰ میلیون دلار و شرکت‌های بزرگ با درآمد بیش از ۲۰۰میلیون دلار

وضعیت سرمایه‌گذاری در حوزه کوانتوم

استخراج آمارسرمایه‌گذاری در استارتاپ‌ها از Pitch-Book و اصلاح آن توسط تحلیل‌گران شرکت مشاوره مکنزی

وضعیت بازار در حوزه کوانتوم

محاسبه اندازه بازار بر اساس ۳ سناریو(کم، مبنا، زیاد) با فرضیات متعدد برای استفاده از کوانتوم و میزان سرعت حل چالش‌های فناورانه



۳ حوزه اصلی فناوری کوانتومی

- ☑ پردازش کوانتومی
- ☑ مخابرات کوانتومی
- ☑ سنجش کوانتومی

دسته‌بندی فناوری‌های کوانتوم

سنجش کوانتومی:
نسل جدید حسگرها که با استفاده از سیستم‌های کوانتومی ساخته شده‌اند. اندازه‌گیری کمیت‌های مختلف(گرانش، زمان، الکترومغناطیس) با حساسیت بسیار بالاتر از حسگرهای کلاسیک

پردازش کوانتومی:
فناوری جدید پردازش، که قوانین مکانیک کوانتومی را برای بهبود نمایی عملکرد پردازش و ایجاد قلمروهای جدید محاسباتی بکار می‌گیرد. از محصولات سخت‌افزاری اولیه کوانتومی شبیه‌سازهای کوانتومی هستند که که برای اهداف خاص طراحی شده‌اند.

مخابرات کوانتومی:
انتقال امن اطلاعات کوانتومی به گونه‌ای که بتواند امنیت ارتباطات را با استفاده از رمزنگاری کوانتومی تضمین کند، حتی در مواجهه با قدرت بی پایان پردازش کوانتومی.

روند سرمایه‌گذاری در فناوری کوانتوم در سال ۲۰۲۱

منابع مالی و سرمایه‌گذاری

- بیشترین افزایش در منابع مالی سنجش کوانتومی و مخابرات کوانتومی در نیمه دوم ۲۰۲۱ مشاهده شده، تجمع بیشترین منابع مالی و بازیگران در حوزه پردازش کوانتومی از ۲۰۰۱ تاکنون
- تامین مالی و سرمایه‌گذاری بیش از ۱.۴ میلیارد دلار در استارتاپ‌های حوزه فناوری کوانتومی درسال ۲۰۲۱(بیش از ۲ برابر ۲۰۲۰)
- حرکت تامین مالی فناوری کوانتومی به سمت استارتاپ‌های سری‌های A، B، C و D. (استارتاپ‌هایی که ازمرحله بذر گذر کرده‌اند.)
- شتاب گرفتن رشد فناوری کوانتومی در چین به دلیل سرمایه‌گذاری دولتی(۱۵.۳ میلیارد دلار) که بیش از دو برابر سرمایه‌گذاری اروپا(۷.۲ میلیارد دلار) و بیش از ۸ برابر سرمایه‌گذاری آمریکا(۱.۹ میلیارد دلار) است.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

جهت‌گیری و چالش‌های اکوسیستم فناوری کوانتوم

اکوسیستم فناوری کوانتومی

- انتظار می‌رود بیشترین تاثیرگذاری فناوری کوانتوم در بلندمدت بر علوم زیستی و مالی و در کوتاه مدت بر شیمی، داروسازی، خودرو و صنایع مالی باشد.
- ثبت اختراع در حوزه فناوری کوانتوم توسط چین در مقایسه با سایر فناوری‌ها افزایش پیدا کرده است و بیش از نیمی از اختراعات در این حوزه توسط چینی‌ها ثبت شده است.
- اتحادیه اروپا از بیشترین تعداد نیروی انسانی در حوزه فناوری کوانتوم برخوردار است. در مجموع شکاف بزرگی میان نیروی انسانی موجود و مورد نیاز در فناوری کوانتوم وجود دارد به گونه‌ای که ظرفیت دانشگاه‌ها تنها یک سوم نیاز این حوزه است. آموزش و ارتقای مهارت کارکنان می‌تواند راه حلی برای این چالش باشد.

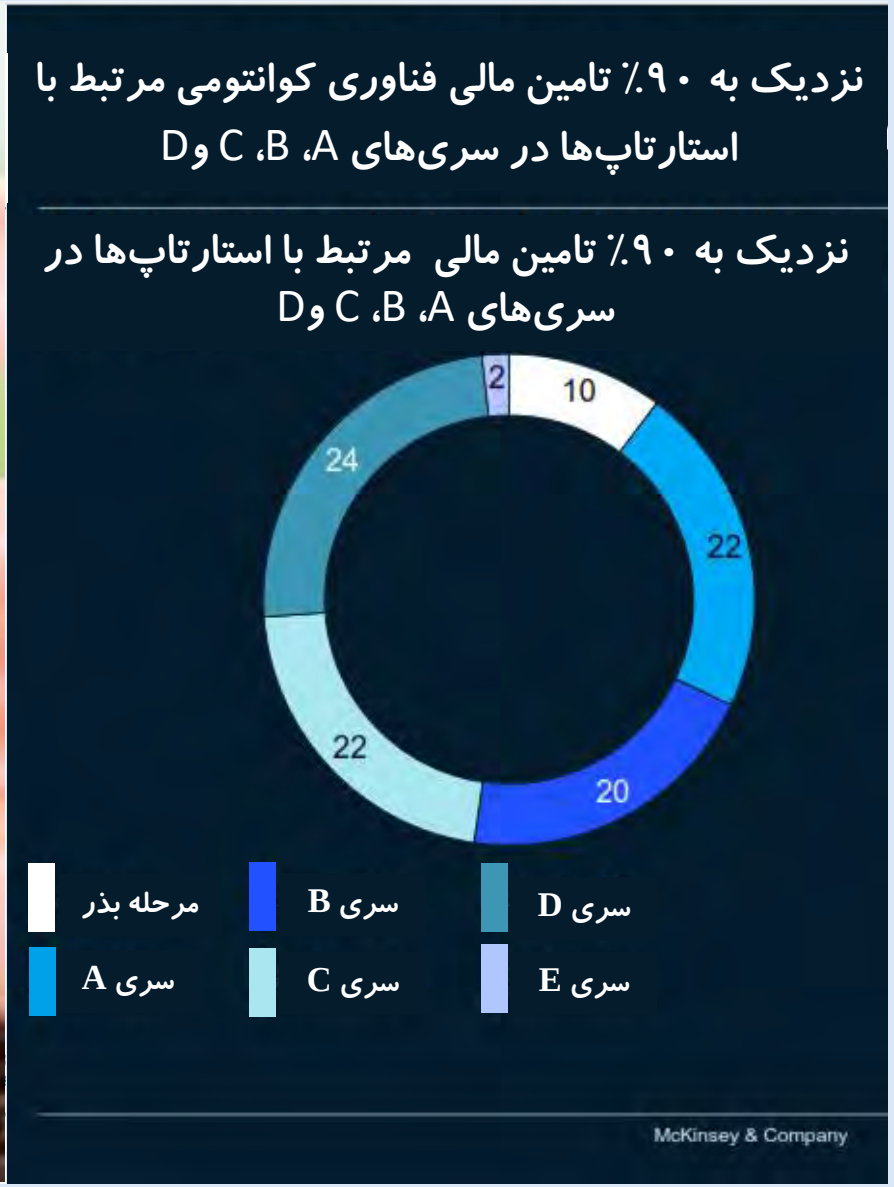
McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

وضعیت بازار و سرمایه‌گذاری در فناوری کوانتوم در دنیا

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

مراحل سرمایه‌گذاری خطرپذیر در فناوری کوانتوم در دنیا

نزدیک به ۹۰٪ تامین مالی فناوری کوانتومی مرتبط با استارتاپ‌ها در سری‌های A، B، C وD



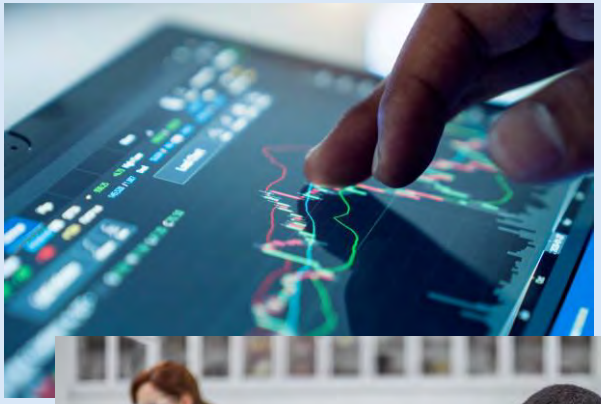
انواع روش‌های سرمایه‌گذاری در فناوری کوانتوم در دنیا

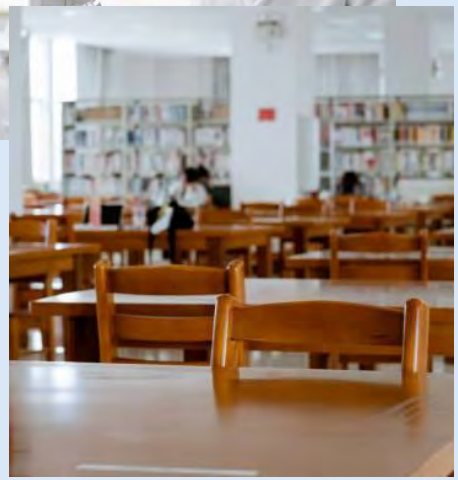
سرمایه‌گذاری خطرپذیر و خصوصی بیش از ۷۰درصد سرمایه‌گذاری در فناوری کوانتومی

پراکندگی سرمایه‌گذاری بر اساس نوع سرمایه‌گذار ۲۰۰۱-۲۰۲۱ (سهم از کل)

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor.

فناوری کوانتوم در چین





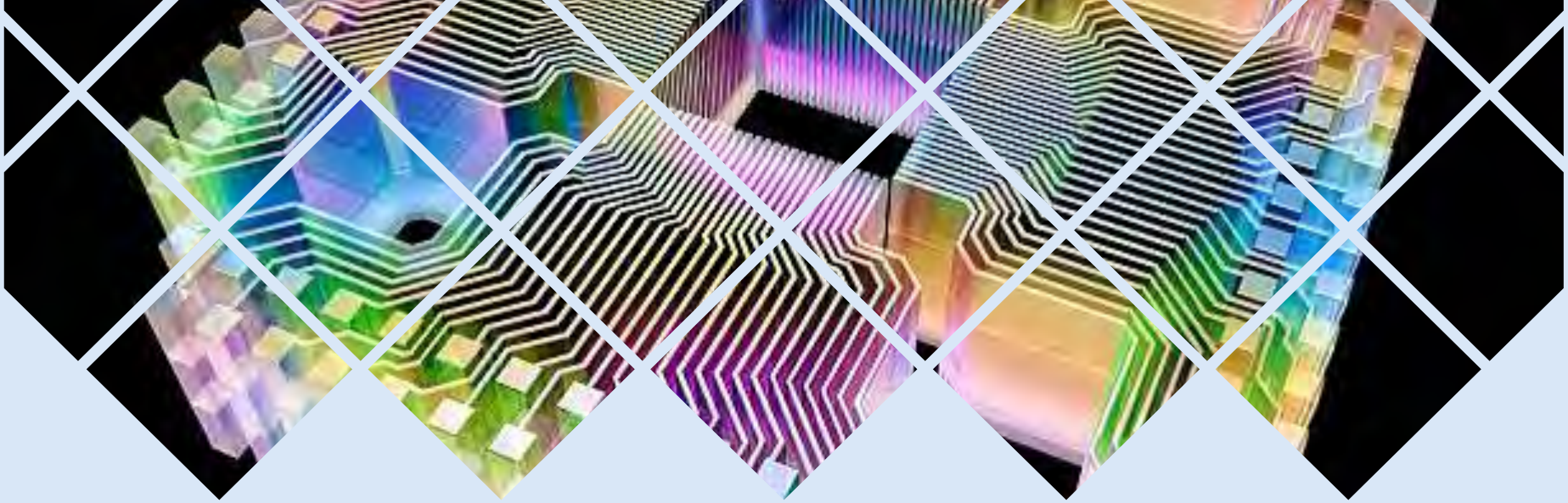
آمار و ارقام فناوری کوانتوم

- سرمایه‌گذاری دولتی ۱۵ میلیارد دلاری در فناوری کوانتوم (ذیل برنامه ۵ ساله توسعه چین ۱۴ام)
- سرمایه‌گذاری بخش خصوصی ۲۶۵ میلیارد دلاری در استارتاپ‌های حوزه فناوری کوانتوم
- ثبت ۵۳ درصد از پتنت‌ها در سطح بین‌المللی توسط محققان چینی
- فعالیت ۱۲ موسسه تحقیقاتی تخصصی در حوزه فناوری کوانتوم
- فعالیت ۳۲ شرکت بزرگ چینی در حوزه فناوری کوانتوم

سیاست‌های دولت چین

- دادن مجوز به دانشگاه علم و فناوری چین برای برگزاری اولین دوره دکترای علم و فناوری کوانتوم (۲۰۲۱)
- ارائه رشته جدید علم اطلاعات کوانتومی در فهرست رشته‌های کارشناسی کالج‌ها و دانشگاه‌ها (۲۰۲۱)
- تدوین برنامه نوسازی آموزش در چین با اختصاص ۴٪ تولید ناخالص داخلی به آموزش و تمرکز بر ۴ حوزه اصلی از جمله فناوری کوانتومی (۲۰۱۹)

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor.



پردازش کوانتومی (۲۰۲۱)

کانادا و آمریکا فعال‌ترین کشورها در حوزه پردازش کوانتومی در سال ۲۰۲۱

۶۰ استارتاپ

۹ شرکت بزرگ

۱۸ سازمان دولتی یا عمومی

۶۴ گروه علمی

تاسیس بیشترین تعداد استارتاپ در اروپا و کانادا تا سال ۲۰۲۱

۲۷ استارتاپ

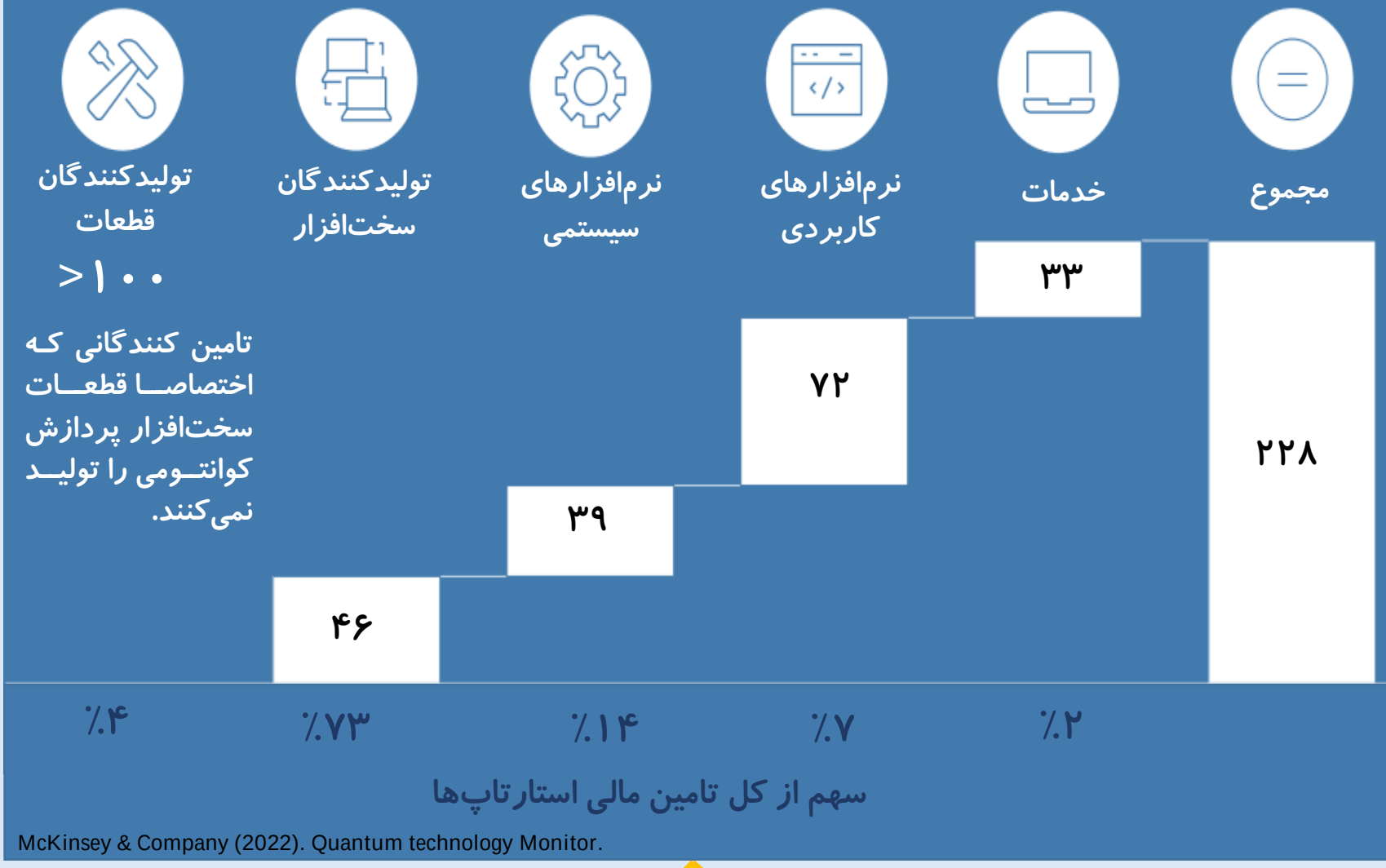
۲ سازمان دولتی یا عمومی

۹ گروه علمی

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor.

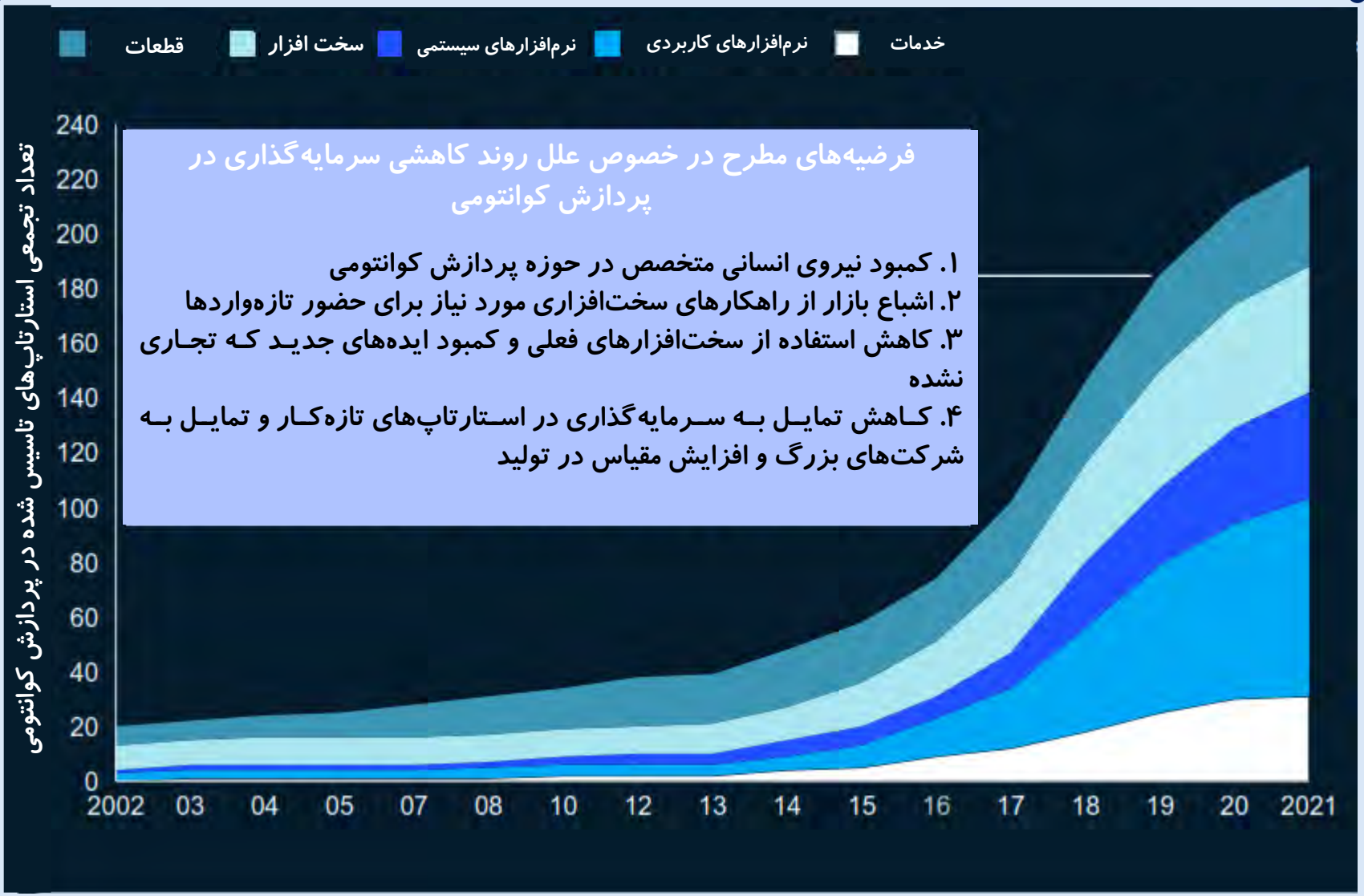
پراکندگی فعالان پردازش کوانتومی در زنجیره ارزش

اغلب فعالان، تولیدکنندگان قطعات و نرم‌افزارهای کاربردی هستند، هرچند بیشترین سرمایه‌گذاری در استارتاپ‌های سخت‌افزاری بوده است.



McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor.

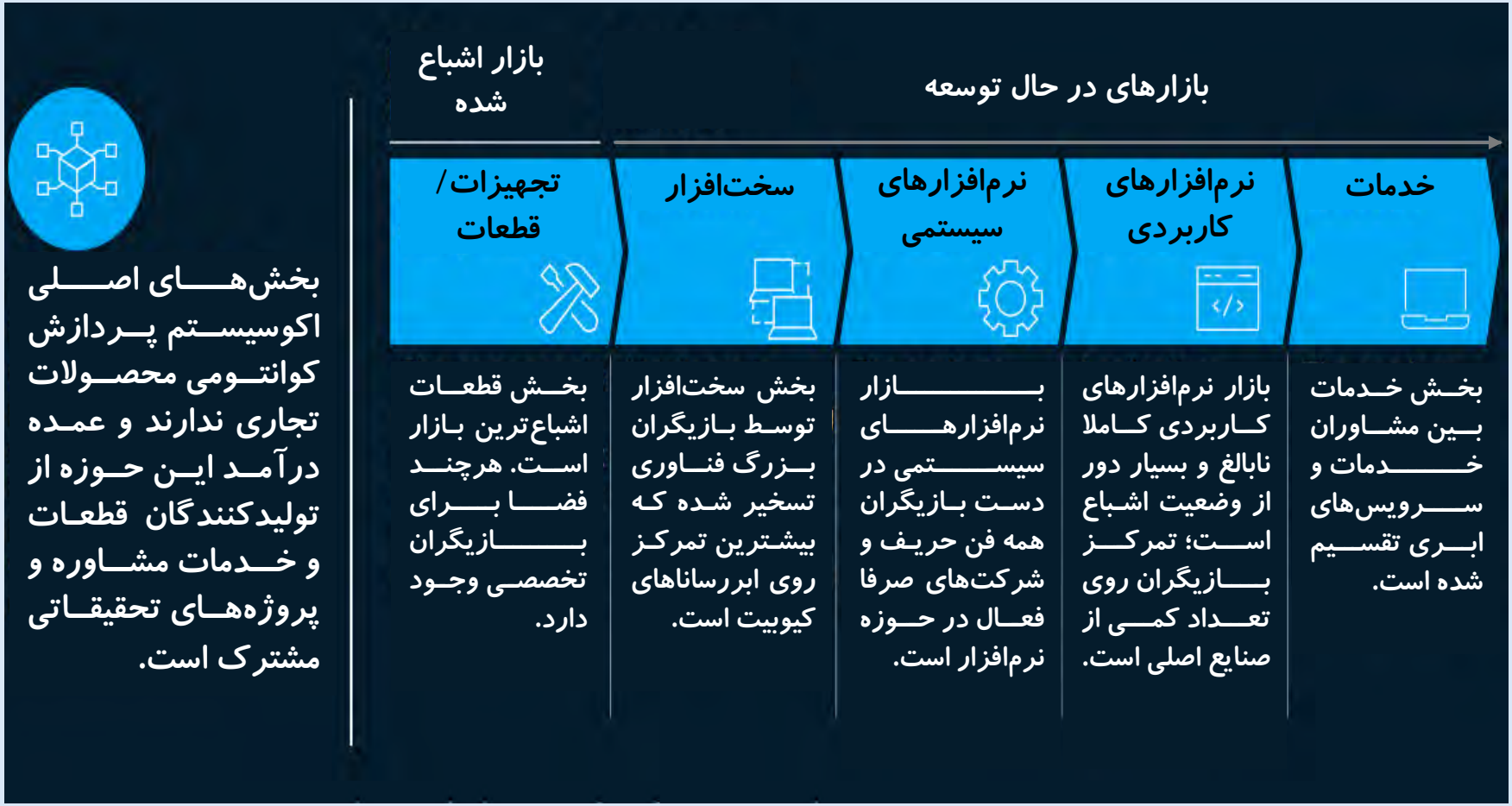
روند سرمایه‌گذاری در استارتاپ‌های پردازش کوانتومی



McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

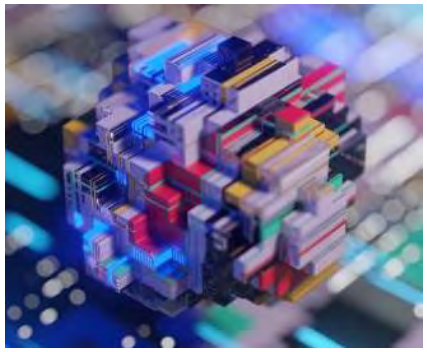
بازار کل زنجیره ارزش در پردازش کوانتومی

نرم‌افزار و سخت‌افزار دو بخش اصلی اکوسیستم پردازش کوانتومی

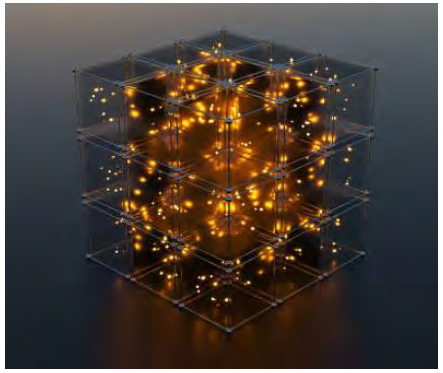


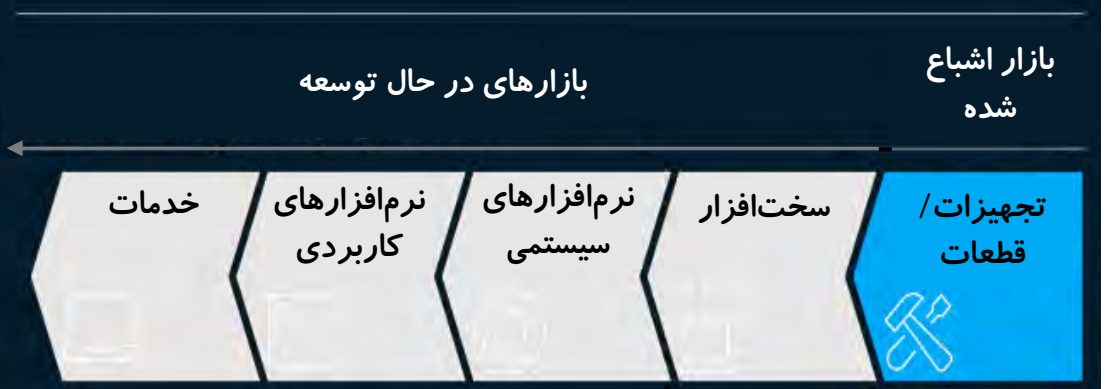
McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

بازار قطعات و تجهیزات در پردازش کوانتومی



بخش قطعات و تجهیزات بالغ‌ترین بازار است اما هنوز فضا برای بازیگران تخصصی وجود دارد.





بخش قطعات در حال درآمدزایی است؛

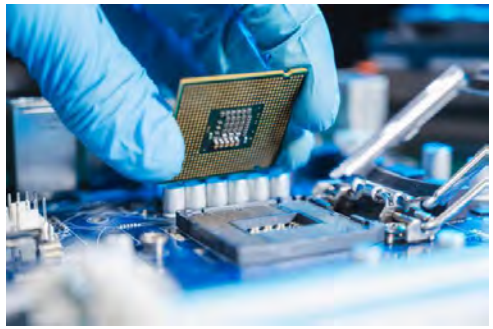
- بخش قطعات تنها بخش از زنجیره ارزش پردازش کوانتومی است که درآمد بالایی از فروش محصولات خود به دانشگاه‌ها، موسسات تحقیقاتی و شرکت‌های فناور کسب می‌کنند.
- فعالان این بخش از تولیدکنندگان تخصصی فناوری کوانتوم تا تولیدکنندگان فناوری‌های عمومی هستند.
- میزان اشباع بازار به ازای هر یک از محصولات متفاوت است، هر چند همه محصولات نیاز به سفارشی‌سازی توسط تولیدکنندگان حوزه کوانتوم دارند.

چالش‌های فناوری کوانتوم فرصتی برای ورود تازه‌واردهاست؛

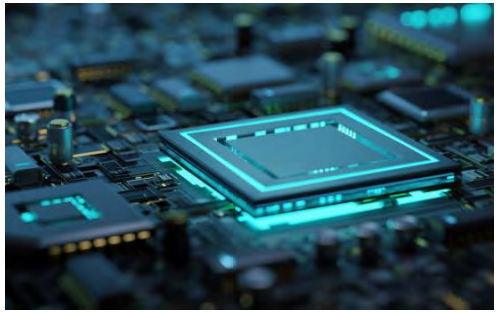
- نیاز به ارتقا فناوری برای انواع قطعات با هدف افزایش تحمل خطا در پردازش کوانتومی فضای مناسبی را برای ورود بازیگران تخصصی ایجاد می‌کند.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

بازار سخت افزار در پردازش کوانتومی



بخش سخت‌افزار توسط بازیگران بزرگ فناوری تسخیر شده و بیشترین تمرکز روی قطعات کیوبیت‌های ابررساناست.



وجود موانع بزرگ ورود به بازار سخت‌افزار امتیاز بزرگ فعالان این حوزه

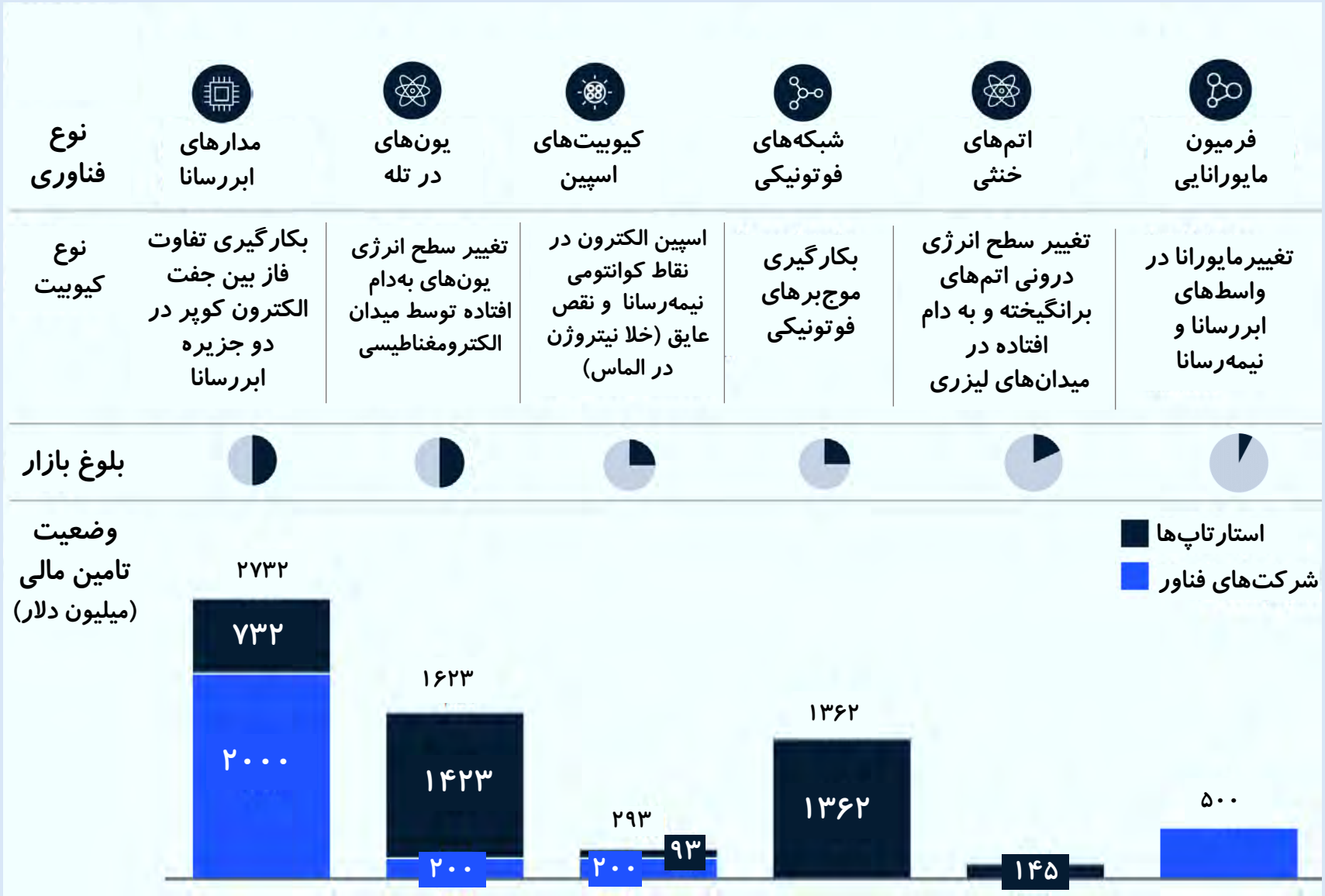
- با توجه به پیچیدگی بالای فناوری، بخش سخت‌افزار ریسک بالایی داشته و به مدت زمان زیادی برای توسعه نیاز دارد، در نتیجه، بازیگران جدید باید سرمایه زیاد و دانش بسیار تخصصی داشته باشند. بازار سخت‌افزار فعلی توسط غول‌های فناوری با بیش از ۱۰ سال سابقه احاطه شده که بیشتر بر کیوبیت‌های ابررسانا متمرکز هستند.

افزایش مقیاس استارتاپ‌های متمرکز بر فناوری‌های متنوع کیوبیت

- اخیرا تعدادی از استارتاپ‌های فعال در یون‌به‌دام‌افتاده و کیوبیت‌های فوتونیکی تامین مالی بسیار زیادی جذب نموده و در حال بزرگ شدن هستند.
- بر اساس اعلام عمومی، کیوبیت‌های ابررسانا توسعه یافته‌ترین سخت‌افزار هستند در حالیکه برخی متخصصین باور دارند کیوبیت‌های فوتونیکی از نظر فناوری جلوتر هستند.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

میزان بلوغ و جذب سرمایه انواع فناوری‌های کیوبیت



McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor.

بازار نرم‌افزارهای سیستمی در پردازش کوانتومی

بازار نرم‌افزارهای سیستمی در اختیار توسعه‌دهندگان همه جانبه(فول-استک) و بازیگران تخصصی نرم‌افزار؛

- بازیگران حوزه نرم‌افزارهای سیستمی، زبان‌های برنامه‌نویسی منطقی، کامپایلرها و نرم‌افزارهای تصحیح خطای خاصی را برای کامپیوترهای کوانتومی ارائه می‌کنند. همچنین، برخی از شرکت‌های نرم‌افزاری، نرم‌افزار کنترل انحصاری برای سخت‌افزارهای کوانتومی ارائه می‌نمایند.
- بازار نرم‌افزار سیستمی بین دو گروه تقسیم شده؛ بازیگران همه‌جانبه(فول-استک) که زبان برنامه‌نویسی جدیدی برای سخت‌افزار خود عرضه می‌کنند و شرکت‌های صرفا نرم‌افزاری که راهکارهای فراسخت‌افزاری ارائه می‌کنند.

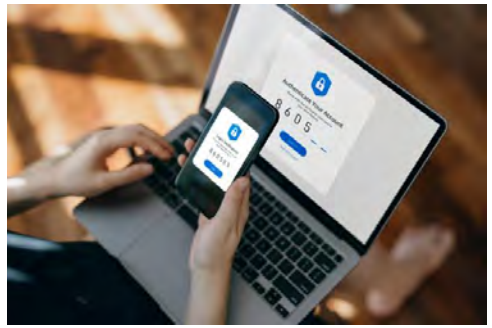
اغلب محصولات در فاز نمونه اولیه؛

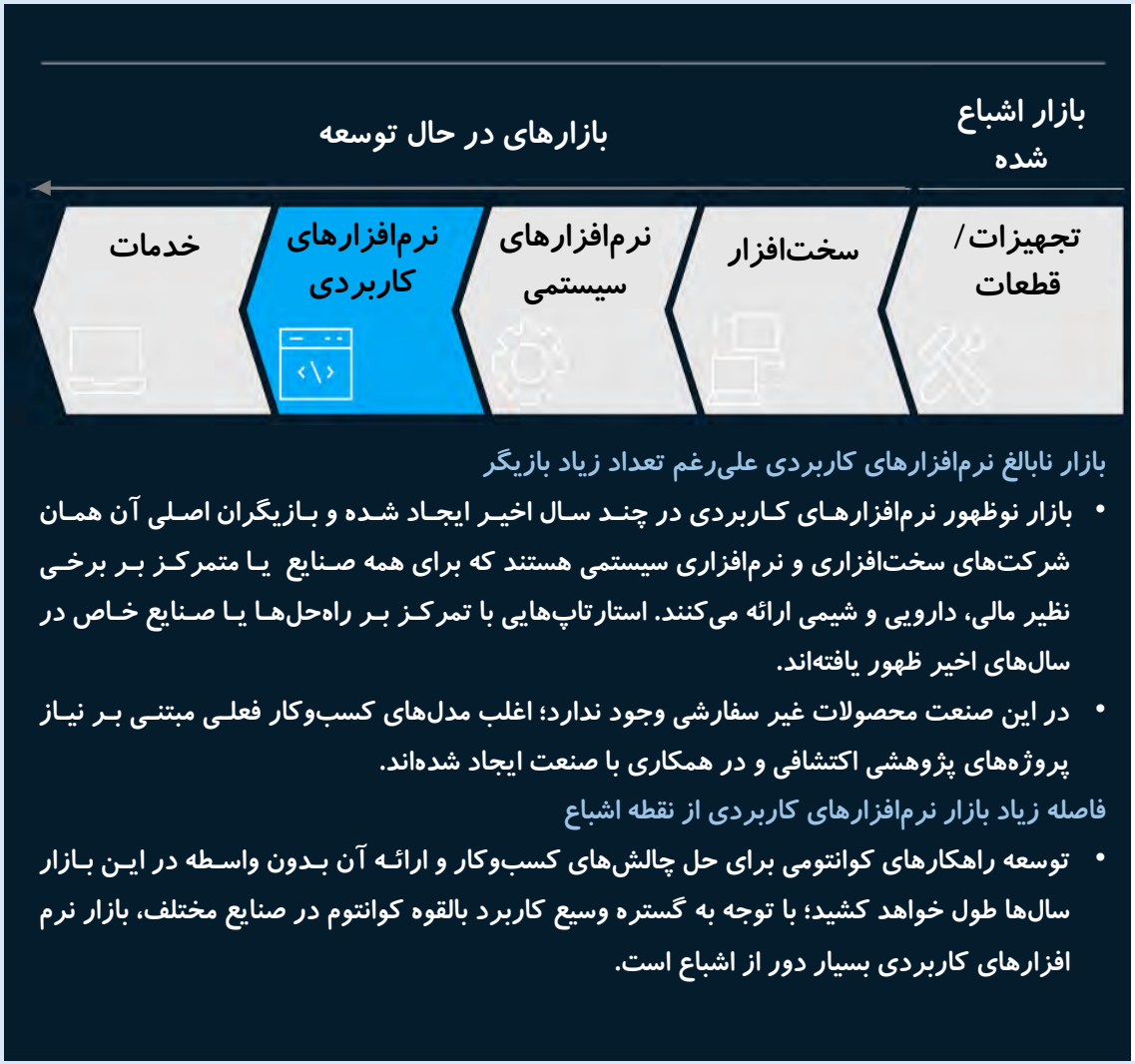
- اغلب نرم‌افزارهای سیستمی پیشرو به شکل نمونه اولیه و متن‌باز هستند که برای سخت‌افزارهای کوانتومی مقیاس کوچک کاربرد دارند. پشتیبانی کامپیوترهای کوانتومی مقیاس بزرگ و خطاپذیر نیاز به توسعه بیشتری دارند.

بازار نرم‌افزارهای سیستمی در دست توسعه‌دهندگان همه‌فن حریف(فول-استک) و شرکت‌های صرفا فعال در حوزه نرم‌افزار است.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

بازار نرم‌افزارهای کاربردی در پردازش کوانتومی





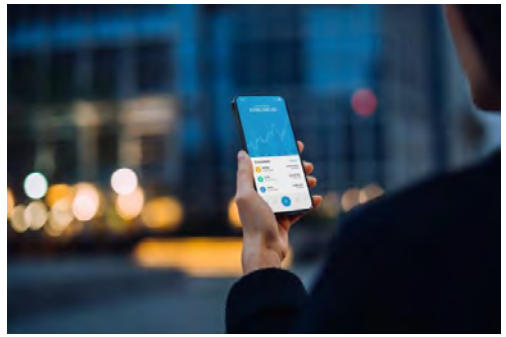
بازار نابالغ نرم‌افزارهای کاربردی علی‌رغم تعداد زیاد بازیگر

- بازار نوظهور نرم‌افزارهای کاربردی در چند سال اخیر ایجاد شده و بازیگران اصلی آن همان شرکت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سیستمی هستند که برای همه صنایع یا متمرکز بر برخی نظیر مالی، دارویی و شیمی ارائه می‌کنند. استارتاپ‌هایی با تمرکز بر راه‌حل‌ها یا صنایع خاص در سال‌های اخیر ظهور یافته‌اند.
- در این صنعت محصولات غیر سفارشی وجود ندارد؛ اغلب مدل‌های کسب‌وکار فعلی مبتنی بر نیاز پروژه‌های پژوهشی اکتشافی و در همکاری با صنعت ایجاد شده‌اند.

فاصله زیاد بازار نرم‌افزارهای کاربردی از نقطه اشباع

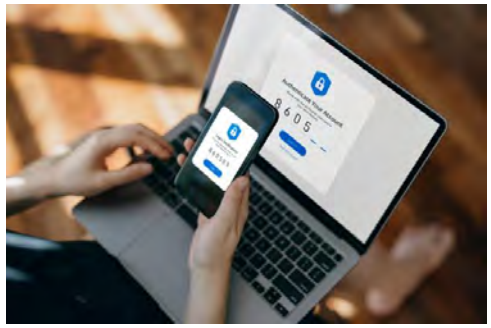
- توسعه راهکارهای کوانتومی برای حل چالش‌های کسب‌وکار و ارائه آن بدون واسطه در این بازار سال‌ها طول خواهد کشید؛ با توجه به گستره وسیع کاربرد بالقوه کوانتوم در صنایع مختلف، بازار نرم افزارهای کاربردی بسیار دور از اشباع است.

علی‌رغم تعداد زیاد بازیگران، بازار نرم‌افزارهای کاربردی نابالغ بوده و از نقطه اشباع بسیار دور است.

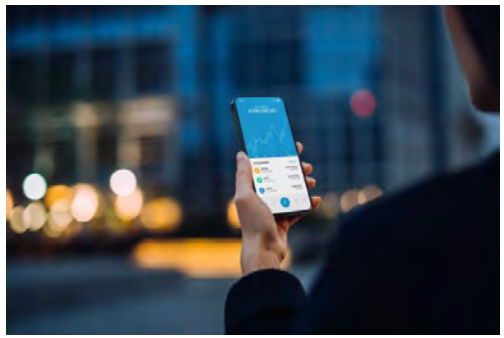


McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

بازار خدمات در پردازش کوانتومی



بازار بخش خدمات بین بین مشاورین خدمات و ارائه دهندگان سرویس‌های ابری تقسیم شده است.



خدمات ابری یکی از بخش‌های اصلی خدمات در پردازش کوانتومی

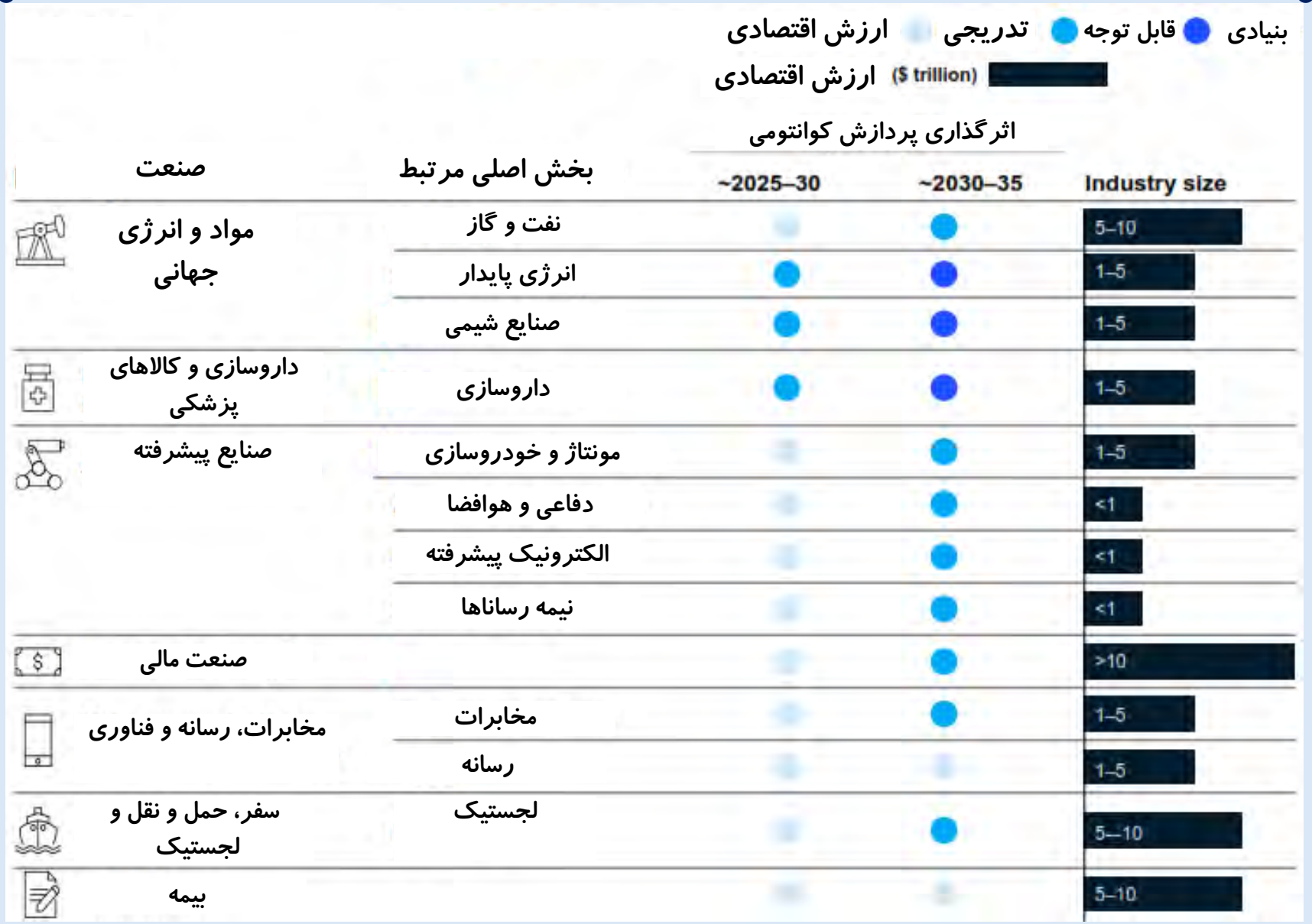
- بازار خدمات ابری در مراحل اولیه توسعه قرار دارد. بازیگران فعلی دسترسی عمومی و بهترین زمان اجرا را مبتنی بر سخت‌افزار فعلی ارائه می‌کنند. بخش خدمات ابری میان شرکت‌های سخت‌افزاری یکپارچه‌ساز و شرکت‌های صرفا ابری تقسیم شده است. با بلوغ سخت‌افزارهای کوانتومی، رشد قابل توجهی در این بخش انتظار می رود.

خدمات مشاوره و پژوهشی

- خدمات مشاوره و پروژه‌های مشترک پژوهشی منبع اصلی درآمد برای بازیگران حوزه سخت‌افزار و نرم‌افزار است. علاوه بر این، تعداد کمی شرکت مشاوره محض و شرکت‌های آموزشی و رسانه‌ای در حوزه پردازش کوانتومی فعال هستند.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

تاثیرگذاری پردازش کوانتومی بر صنایع مختلف در کوتاه مدت



چشم انداز تاثیر پردازش کوانتومی بر صنایع شیمی، داروسازی و مالی

کارکردهای اصلی پردازش کوانتومی

شبیه‌سازی، جبر خطی برای هوش مصنوعی، بهینه‌سازی وپژوهش، تجزیه و تحلیل(فاکتورسازی)

خودروسازی

توسعه فناوری جدید برای تولید باتری‌های جدید و سوخت جدید

پردازش حجم بالای داده به صورت موازی برای افزایش سرعت، بهینه‌سازی و ایمن‌سازی الگوریتم مسیریابی خودروهای خودران

ایجاد توانمندی در شبیه‌سازی مسائل پیچیده در صنعت در مقیاس اتمی برای تولید مواد اولیه با کیفیت در ساخت قطعات خودرو

شیمی و داروسازی

شبیه‌سازی فرآیندهای مولکولی توسط پردازشگر کوانتومی و عدم نیاز به آزمون‌های آزمایشگاهی.

ایجاد ساختارهای مولکولی برای درمان بیماری‌ها یکی از فعالیت‌های اصلی صنعت داروسازی است.پیش‌بینی و شبیه‌سازی ساختار، ویژگی‌ها و رفتارهای این مولکول‌ها با کمک پردازش کوانتومی با سرعت، دقت و صحت بسیار بالاتری انجام می‌شود.

مالی

تاثیر بر صنعت مالی به صورت تدریجی است اما ارزشی که ایجاد خواهد کرد بسیار بالاست به خصوص در حوزه مدیریت دارایی‌ها.

پردازش حجم وسیعی از اطلاعات و پارامترهای مختلف اقتصادی، اجتماعی و سیاسی است، با استفاده از پردازش کوانتومی و الگوریتم‌های آن با سرعت چندین برابر روش‌های سنتی مهمترین تاثیر پردازش کوانتومی بر صنایع مالی است.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor

مخابرات کوانتومی (۲۰۲۱)

بیشترین تعداد استارتاپ‌های مخابرات کوانتومی در آمریکا، اتحادیه اروپا و چین (۲۰۲۱)

۱۹ استارتاپ

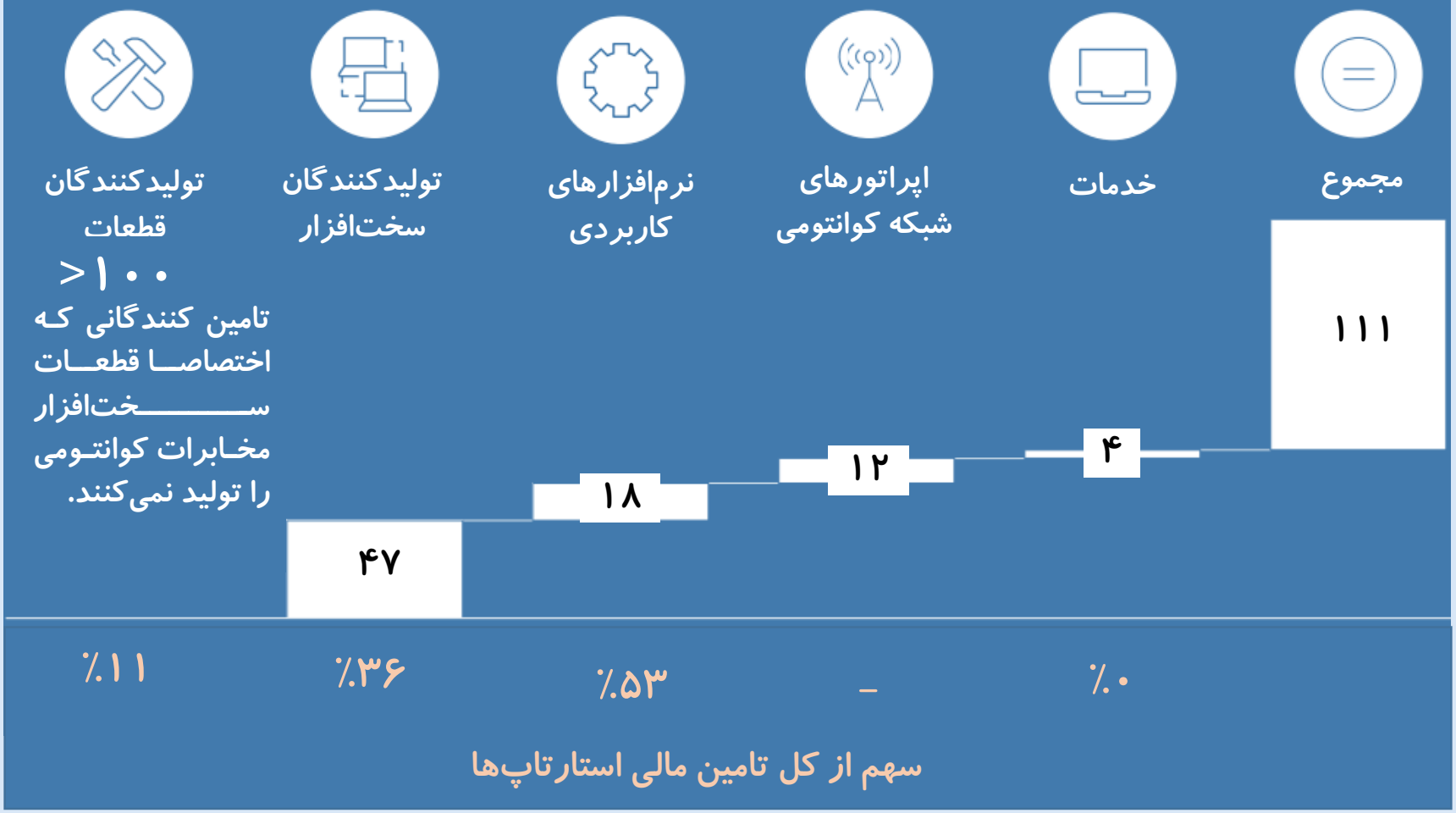
۱۵ استارتاپ

مجموع ۸۹ استارتاپ در این بخش در کل دنیا در سال ۲۰۲۱

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor

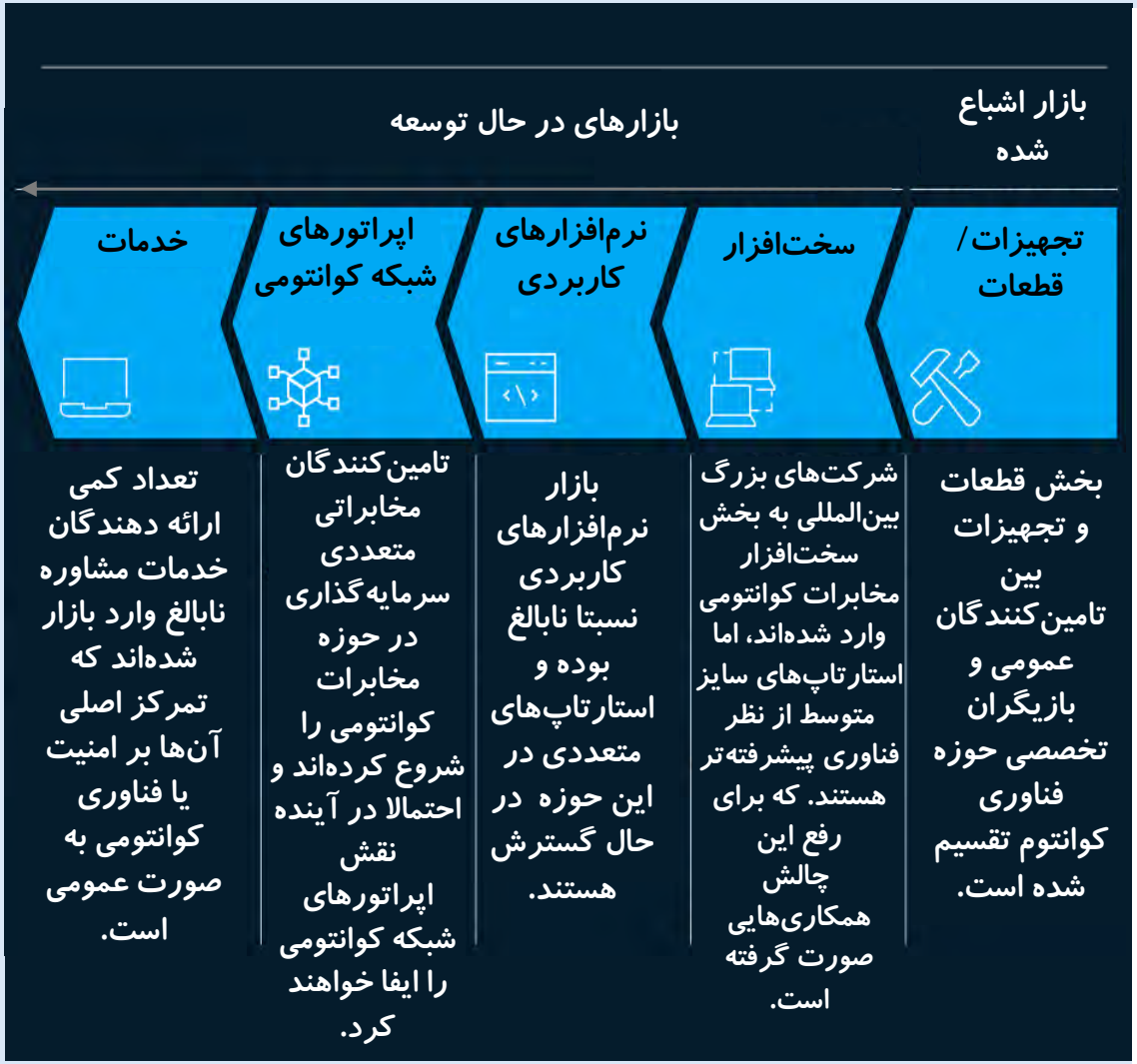
پراکندگی فعالان مخابرات کوانتومی در زنجیره ارزش

عمده تامین مالی در بخش نرم‌افزارهای کاربردی انجام شده، هر چند تعداد این استارتاپ‌ها کم است.
(قراردادی به ارزش ۴۰۰ میلیون دلار در این حوزه برای توسعه ماهواره مخابراتی کوانتومی)

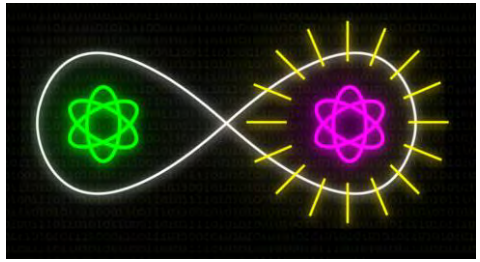


McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

بازار زنجیره ارزش مخابرات کوانتومی



بخش‌های اصلی اکوسیستم مخابرات کوانتومی(نرم‌افزار و سخت‌افزار) هنوز محصولات تجاری ندارند. عمده درآمد در این بخش حاصل از تولید قطعات، خدمات مشاوره و پروژه‌های تحقیقاتی مشترک است.



McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

سنجش کوانتومی (۲۰۲۱)

تعداد بازیگران فعال در حوزه سنجش کوانتومی در طول ۵ سال گذشته ۲ برابر شده

۵ استارتاپ

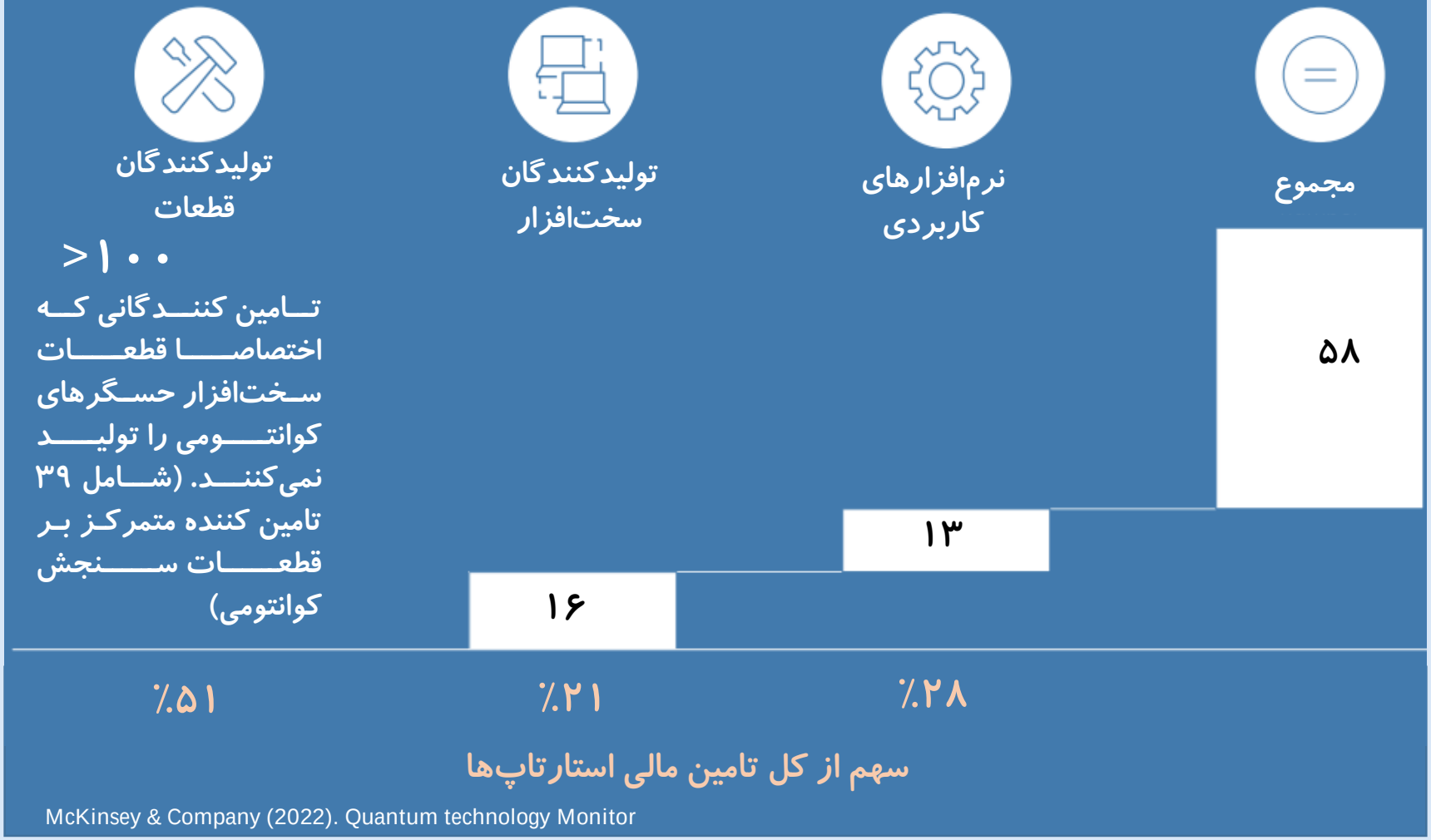
۱۳ استارتاپ

مجموع ۴۵ استارتاپ در این بخش در کل دنیا در سال ۲۰۲۱

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor

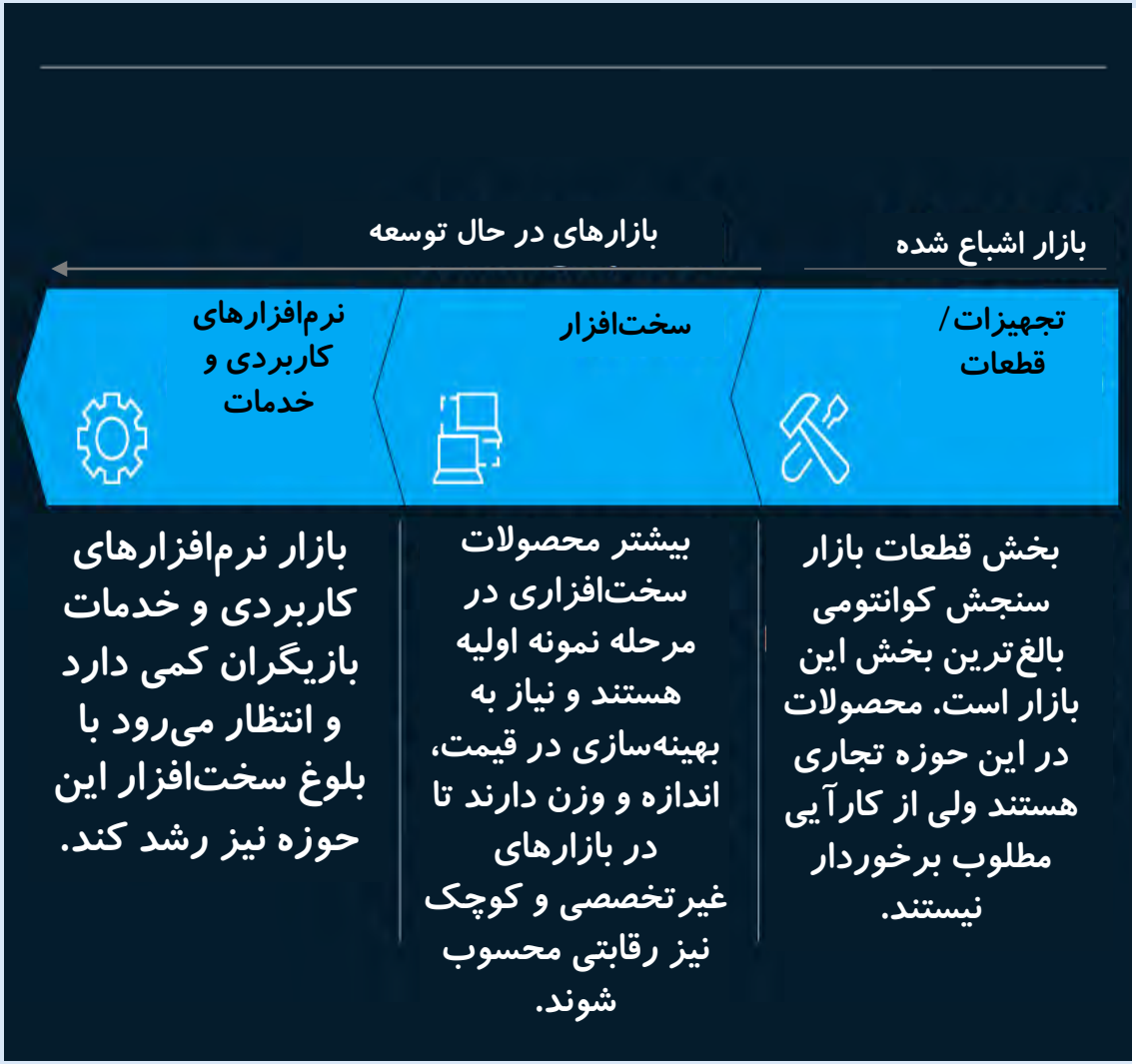
پراکندگی فعالان سنجش کوانتومی در زنجیره ارزش

اغلب بازیگران تولیدکنندگان قطعات و نرم‌افزار کاربردی هستند، هرچند بیشترین سرمایه‌گذاری در استارتاپ‌های سخت‌افزاری بوده است.



McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor

بازار زنجیره ارزش سنجش کوانتومی



بخش‌های اصلی اکوسیستم سنجش کوانتومی (نرم‌افزار و سخت‌افزار) هنوز محصولات تجاری ندارند. عمده درآمد در این بخش حاصل از تولید قطعات، خدمات مشاوره و پروژه‌های تحقیقاتی مشترک است.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

وضعیت فناوری کوانتوم در دنیا

- ☑ افزایش سهم پتنت‌های چینی در حوزه کوانتوم در دنیا
- ☑ انتشار بیشترین تعداد مقاله در حوزه کوانتوم توسط اتحادیه اروپا
- ☑ بیشترین مشارکت در انتشار مقالات حوزه کوانتوم توسط پژوهشگران چینی
- ☑ بیشترین تمرکز نیروی انسانی در حوزه کوانتوم در اتحادیه اروپا
- ☑ بیشترین تعداد دانشگاه ارائه دهنده مدرک در حوزه کوانتوم در آمریکا

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor

سهم کشورها از پتنت‌های فناوری کوانتوم

- افزایش چشمگیر سهم پتنت‌های ثبت شده توسط چین در سال‌های اخیر متاثر از سیاست‌های دولت چین
- حضور ژاپن در بین ۳ کشور اول توسعه پتنت در این حوزه از ابتدای سال ۲۰۰۰ نشانه کاربرد بسیار زیاد این فناوری در صنایع مختلف
- بیشترین تعداد پتنت تا سال ۲۰۰۵ متعلق به آمریکا و اتحادیه اروپا و روند کاهشی با تغییر فرهنگ پیرامون مالکیت فکری

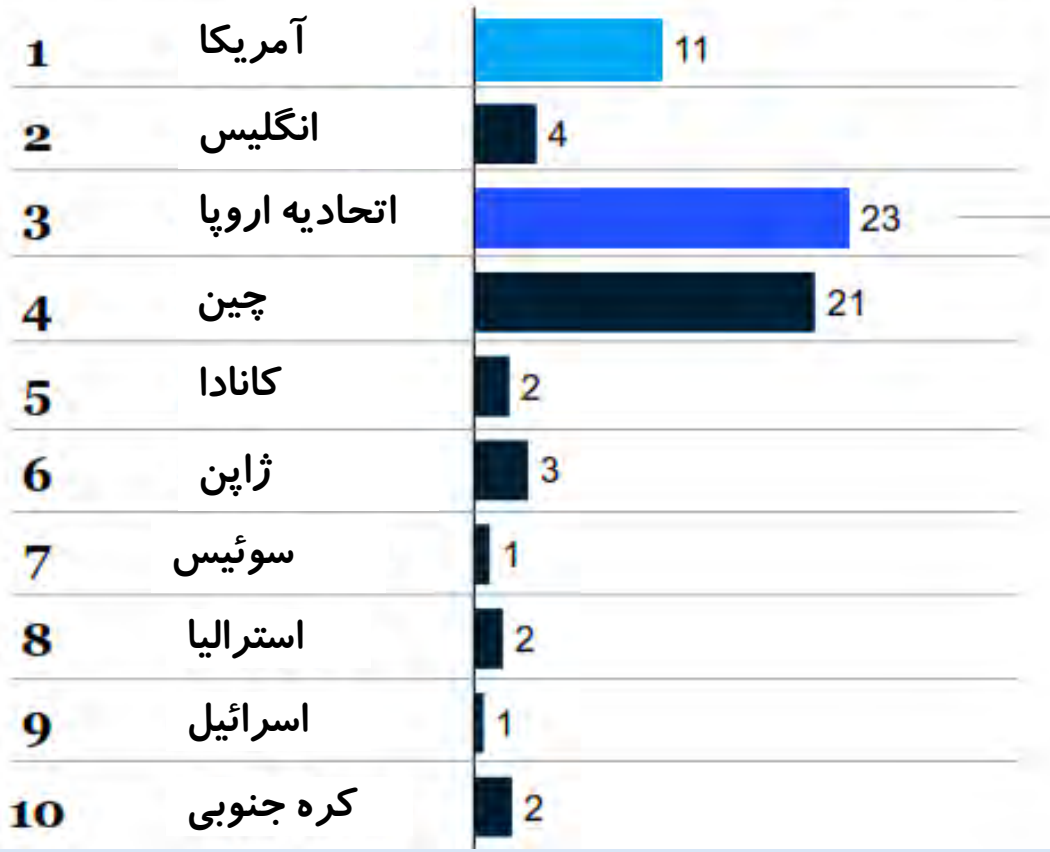
کشور	مجموع	پردازش کوانتومی	مخابرات کوانتومی	سنجش کوانتومی
چین	٪۵۳.۸	٪۵۴.۱	٪۴۶.۲	٪۵۹.۷
ژاپن	٪۱۵.۲	٪۱۵.۴	٪۱۸.۴	٪۱۴.۸
اتحادیه اروپا	٪۱۱.۲	٪۱۱.۵	٪۱۰	٪۱۴.۸
آمریکا	٪۱۰	٪۹.۶	٪۶.۵	٪۴.۵
کره جنوبی	٪۴	٪۳.۹	٪۶.۲	٪۳.۴
تایوان	٪۱.۸	٪۱.۸	٪۴.۵	٪۲.۳
انگلیس	٪۱.۲	٪۱	٪۳.۴	۰
کانادا	٪۰.۸	٪۰.۶	٪۱.۶	۰
سوئیس	٪۰.۶	٪۰.۶	٪۱	۰
روسیه	٪۰.۶	٪۰.۶	٪۰.۵	۰

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor

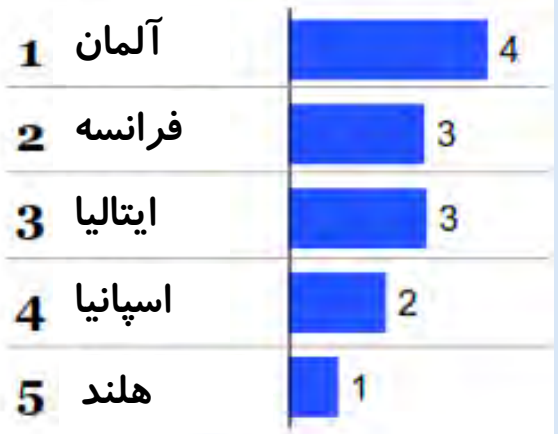
سهم کشورها از انتشار مقالات در حوزه فناوری کوانتوم

پیشگامی آمریکا در پژوهش‌های دانشگاهی با انتشار مقالات علمی با بالاترین شاخص اثرگذاری
پیشگامی اتحادیه اروپا در در انتشار مقالات علمی مرتبط با کوانتوم در سال ۲۰۲۰

۱۰ کشور برتر در دنیا در سال ۲۰۲۰ بر اساس H-Index
سهم مقالات حوزه کوانتوم٪ و رتبه‌بندی بر اساس شاخص اثرگذاری کشورها

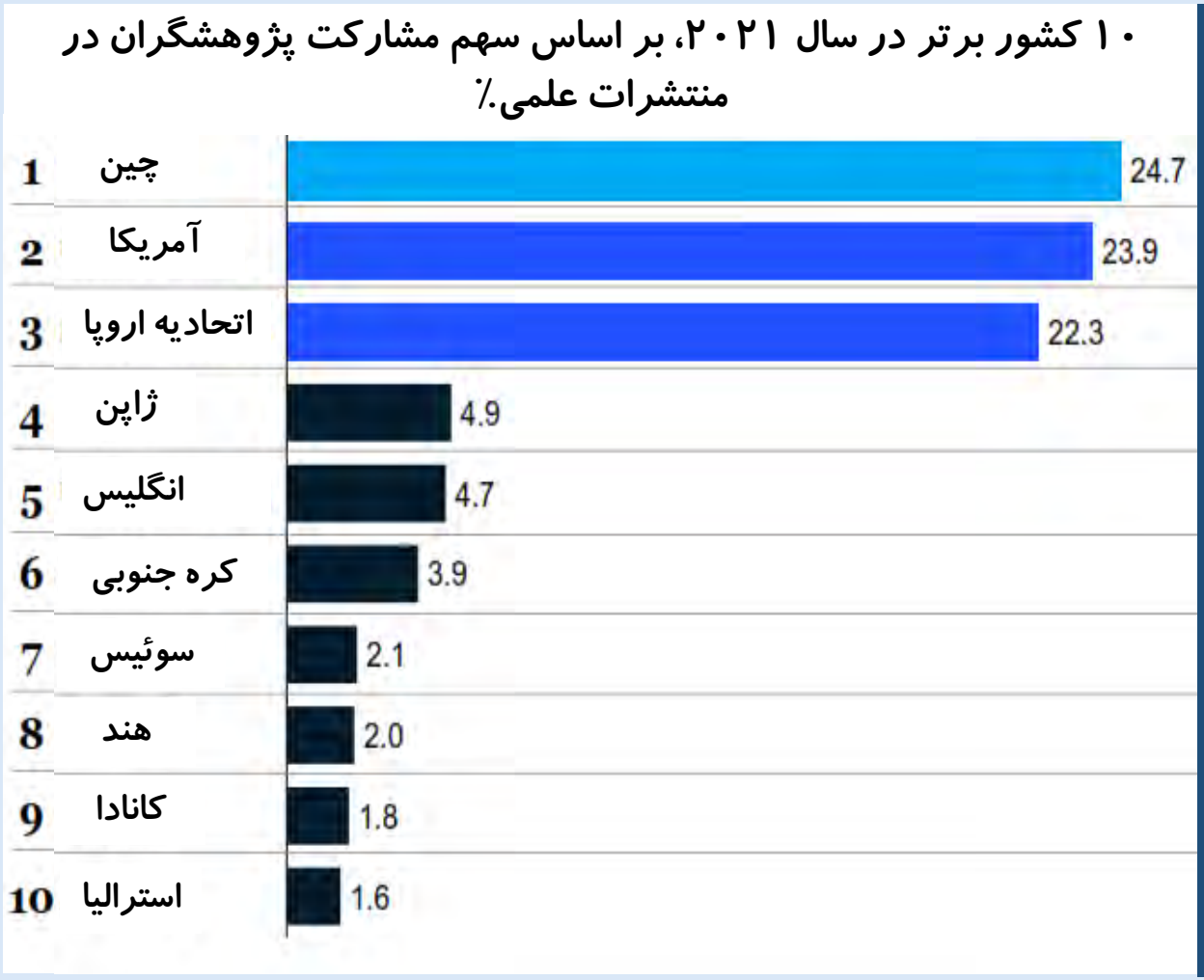


۵ کشور برتر اتحادیه اروپا
سهم مقالات حوزه کوانتوم و رتبه H-index



McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor

سهم پژوهشگران کشورها در انتشار مقالات حوزه فناوری کوانتوم

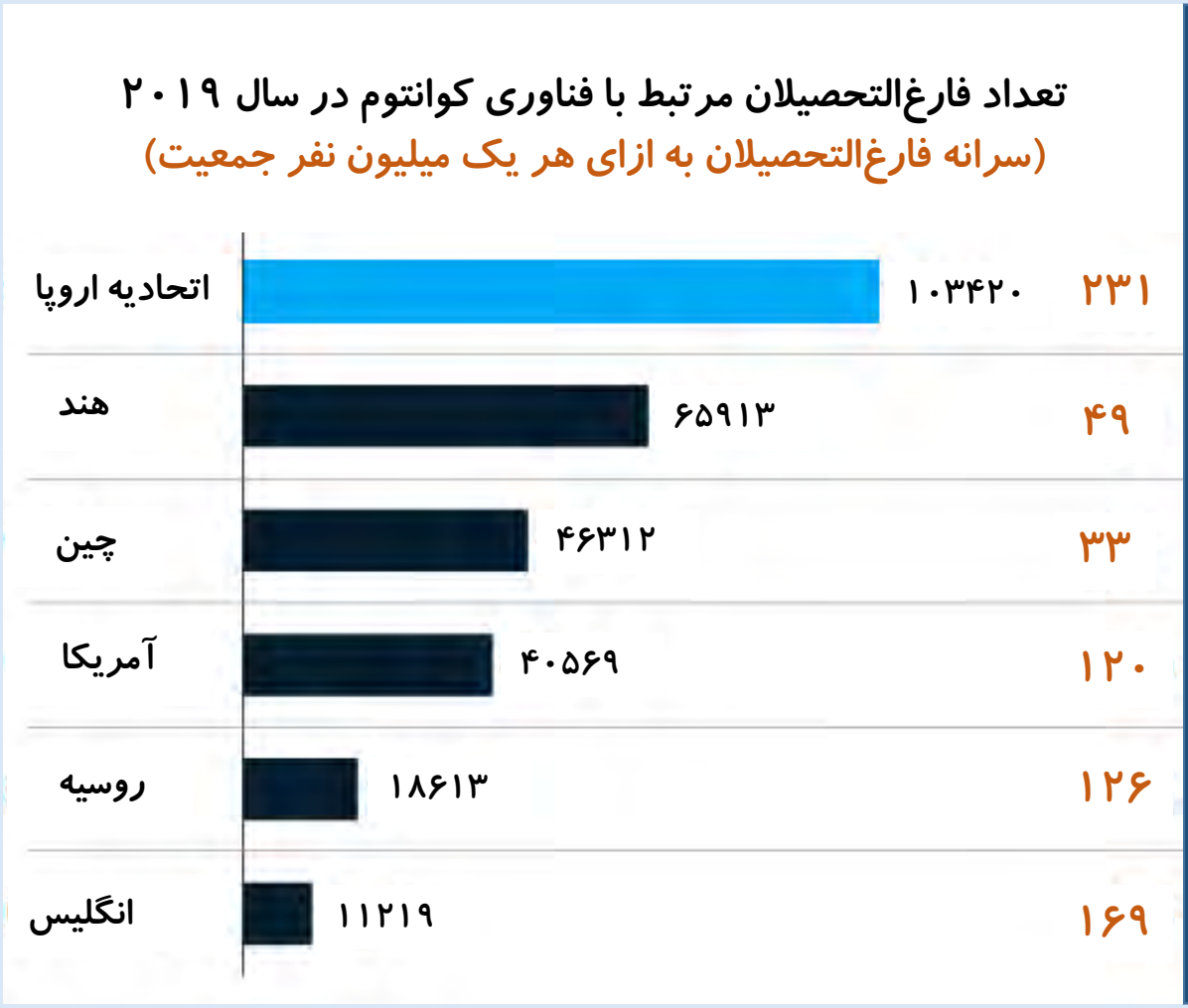


حدود یک چهارم (۲۴.۷٪) منتشرات علمی توسط محققان وابسته به موسسات چینی منتشر می‌شود.

محققان وابسته به موسسات آمریکایی و اتحادیه اروپا به ترتیب در انتشار ۲۴٪ و ۲۲٪ از کل منتشرات علمی مشارکت داشته‌اند.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

پراکندگی جغرافیایی فارغ‌التحصیلان حوزه فناوری کوانتوم

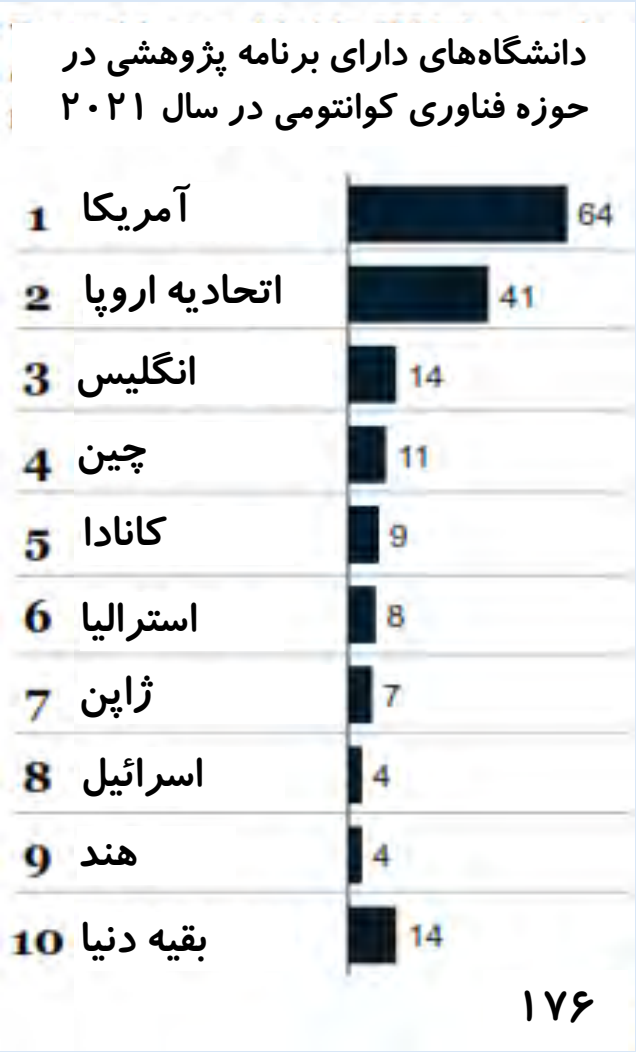


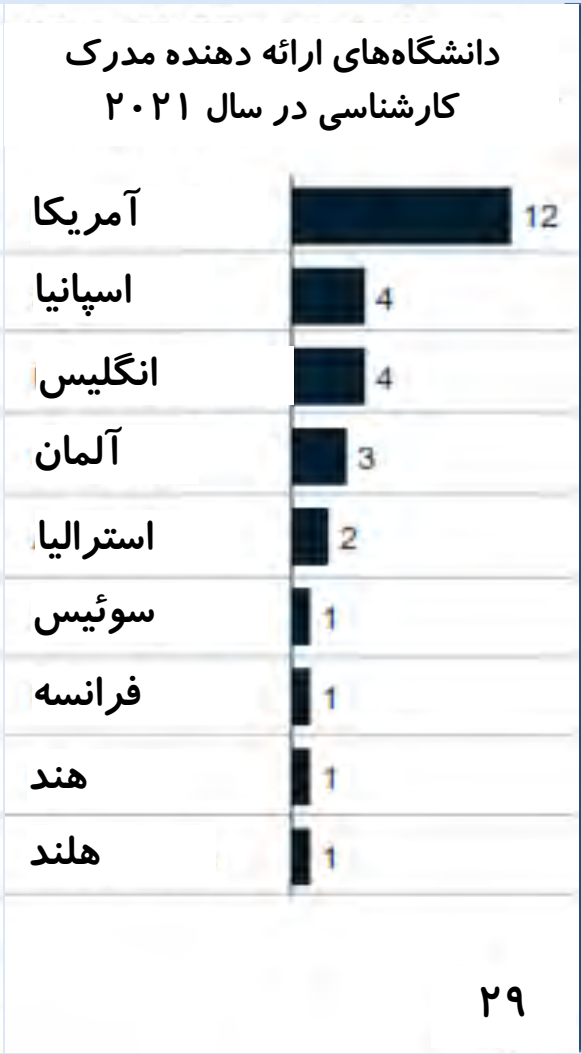
بیشترین تعداد فارغ‌التحصیلان رشته‌های مرتبط با فناوری کوانتوم در اتحادیه اروپا هستند، هند و چین در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

بیشترین سرانه فارغ‌التحصیلان به ازای هر یک میلیون نفر جمعیت متعلق به اتحادیه اروپا است و پس از آن انگلیس و روسیه قرار دارند.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

پراکندگی جغرافیایی دانشگاه‌های فعال در حوزه فناوری کوانتوم





- ۱۷۶ دانشگاه دارای برنامه پژوهشی در حوزه کوانتوم هستند اما تعداد کمی از آن‌ها (۲۹دانشگاه) مدرک کارشناسی ارائه می‌کنند.
- دانشگاه‌ها نیاز صنعت به فناوری کوانتوم را تشخیص داده‌اند اما در برنامه‌ریزی برای پاسخگویی به آن سرعت پایینی دارد.
- بیش از یک سوم دانشگاه‌هایی که برنامه پژوهشی در حوزه کوانتوم دارند آمریکایی هستند.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

فناوری کوانتوم به کجا می‌رود؟

- فناوری راهبردی در حوزه کوانتوم هنوز نامشخص است؛ سرمایه‌گذاری اغلب بازیگران در ابزارهای کیوبیت مبتنی بر فناوری فوتونیک، یون به دام افتاده، اسپین و ابررسانا است.
- شرکت‌های متعددی در تلاش برای بهبود سخت‌افزار فناوری و تولید کامپیوترهای کوانتومی در مقیاس بالا برای کاربرد تجاری تا سال ۲۰۳۰ هستند.
- در حالیکه آمریکا و کانادا پیشتازان بازار کوانتوم در دهه اخیر بوده‌اند، چین و اتحادیه اروپا با سرمایه‌گذاری دولتی زیاد در این حوزه مصمم به دستیابی به جایگاه آن‌ها هستند.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor

فناوری کوانتوم به کجا می‌رود؟– ادامه

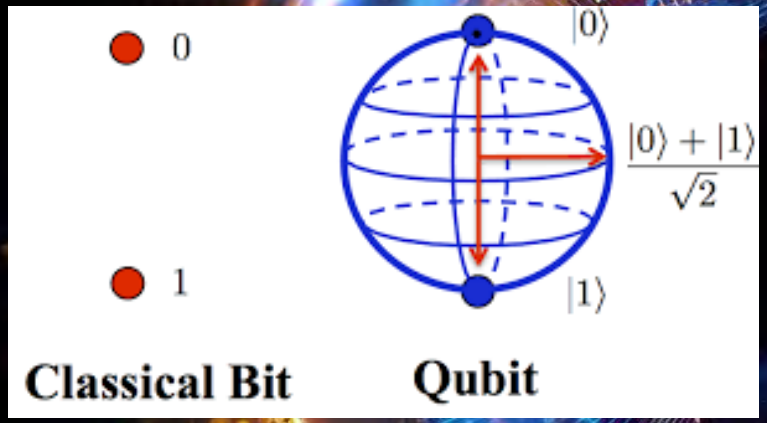
- بسیاری از محصولات در دو بخش سنجش کوانتومی و مخابرات کوانتومی از مرحله نمونه اولیه عبور کرده و تجاری‌سازی خواهند شد. به این ترتیب تعداد بازیگران بخش خدمات و برنامه‌های‌کاربردی بیشتر خواهد شد.
- با توجه به آمارهای موجود، سرمایه‌گذاری در حوزه پردازش کوانتومی روندی صعودی خواهد داشت.
- پژوهشگران چینی در سال ۲۰۲۰ در حوزه کوانتوم سرآمد بوده و انتظار می‌رود پژوهش‌های بومی با توجه به سرمایه‌گذاری دولت در پردازش کوانتومی منجر به نتایج قابل توجهی شود.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor

انواع فناوری کیوبیت

نوع فناوری	نوع کیوبیت	مزیت‌ها	معایب
اتم‌های خنثی	تغییر سطح انرژی و چرخش اتم‌های خنثی در یک شبکه فوتونیک	کیوبیت‌های تقریبا همگن، اتصال عالی، قابلیت کار در دمای اتاق	نیاز به فناوری کنترل پیچیده
فوتونیک	قطبی شدن، تغییر زمانی و مکانی فوتون‌ها در موج‌برهای نوری	عملکرد سریع، تولید مقیاس‌پذیر، قابلیت کار در دمای اتاق	کیوبیت‌های ناهمگن، اتصال محدود، کمبود اجزای اصلی منابع یا آشکارسازهای فوتون
نقاط کوانتومی (ذرات نانوکریستال در نیمه‌هادی با ویژگی‌های نوری و الکترونیکی)	تغییر سطح انرژی یا بار الکترون‌ها در ساختارهای نانویی حالت جامد	تولید مقیاس‌پذیر و کاملا تثبیت شده با استفاده از لیتوگرافی	کیوبیت‌های ناهمگن، اتصال محدود، فعالیت در دمای پایین
چرخش حالت جامد	تغییر انرژی یا چرخش نقص‌های موجود در مواد حالت جامد ناخالص شده	عدم حساسیت به محیط و قابلیت کار در دمای اتاق	کیوبیت‌های ناهمگن، تولید سخت در شرایط کنترل شده
ابررساناها	تغییر شار مغناطیسی در پیوند جوزفین در ابررساناها	تولید مقیاس‌پذیر و کاملا تثبیت شده با استفاده از لیتوگرافی	کیوبیت‌های ناهمگن، اتصال محدود، فعالیت در دمای پایین
یون‌های به دام افتاده	تغییر انرژی یا چرخش اتم‌های شارژ شده در یک میدان مغناطیسی	کیوبیت‌های همگن، اتصال عالی، قابلیت کار در دمای اتاق	نیاز به فناوری کنترل پیچیده

تعریف کیوبیت



کیوبیت، یکای اطلاعات کوانتومی و متناظر با بیت در سیستم‌های کلاسیک است.

برخلاف بیت کلاسیک که تنها دو حالت ۰ و ۱ دارد کیوبیت می‌تواند در برهم‌نهی این دو حالت نیز قرار گیرد یعنی بطور همزمان هر دو حالت را اختیا رکند. کیوبیت با استفاده از سیستم‌های مکانیکی کوانتومی نظیر اسپین الکترون، قطبش فوتون، سطح انرژی اتم قابل پیاده‌سازی است.

تعریف فناوری‌های کیوبیت

اتم‌های خنثی	پلتفرم اتم خنثی با استفاده از اتم‌های سردی که در داخل تله‌های اپتیکی به دام افتاده‌اند و یک آرایه اتمی دست‌ساز تشکیل داده‌اند، پیاده‌سازی می‌شود. در این نوع از پردازشگرهای کوانتومی کیوبیت‌ها با استفاده از وضعیت الکترونیکی اتم تعریف شده و آرایه‌ای ساختارپذیر از اتم‌های خنثی با فاصله چند میکرومتر ایجاد می‌شود. یک آرایه دوبعدی حاوی صدها اتم، می‌تواند کمتر از ۵۰ میکرومتر عرض داشته باشد. (آرایه اتمی جایگزین رجیستر کلاسیک)
شبکه فوتونیک	میدان الکتریکی فوتون‌های غیر قطبی، در صفحه‌ای عمود بر جهت حرکت فوتون به ارتعاش درمی‌آید. اما میدان‌های الکتریکی فوتون‌های قطبی، تنها در یکی از چهار جهت داخل صفحه (عمودی، افقی و در جهت دیاگونال) مرتعش می‌شود و این دو جفت قطبش به ترتیب نشان‌دهنده وضعیت‌های صفر و یک هستند. فوتون‌ها برهم‌کنش خوبی با یکدیگر ندارند، اما می‌توانند به آسانی از نقطه‌ای به نقطه دیگر جابه‌جا شوند.
نقاط کوانتومی	نانوکریستال‌های نیمه هادی با قطر ۲ تا ۱۰ نانومتر هستند که بعد از تحریک شدن، از خود نور ساطع می‌کنند و معمولا از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰۰ اتم تشکیل شده‌اند. نقاط کوانتومی به دلیل اندازه کوچکشان قابلیت تطبیق پذیری بالایی دارند و می توان خواص آن‌ها را مطابق با نیاز خود تنظیم کرد. رسانایی الکتریکی این مواد را می‌توان با محرک‌های خارجی مانند میدان الکتریکی یا تابش نور تغییر داد، تا حدی که از نارسانا به رسانا تبدیل شوند و مانند یک کلید عمل کنند.

تعریف فناوری‌های کیوبیت(۱)

چرخش حالت جامد	اسپین الکترون که در نقطه کوانتومی محبوس شده است، می تواند به عنوان بیت کوانتومی برای ذخیره و پردازش اطلاعات استفاده شود. یک رجیستر کوانتومی شامل آر ایه هایی از چنین اسپین‌هایی است که توسط گیت های کوانتومی بر روی تک اسپین‌ها و اسپین های مجاور اعمال می‌شود . به کمک یک میدان مغناطیسی ثابت و رزونانس اسپین الکترون، می‌توانیم حالت‌های بیت کوانتومی اسپین را تغییر دهیم.
ابررسانا	کیوبیت ابررسانا یک اتم مصنوعی روی یک تراشه سیلیکونی است که در اثر اعمال جریان الکتریکی در خازن‌ها و نقاط اتصال تونلی ایجاد می‌شود.
یون‌های در دام افتاده	در این روش، اطلاعات در حالت‌های اتمی-یونی ذخیره می‌شود. تعدادی از یون ها در میدان‌های الکترومغناطیسی به دام می‌افتند، این ذرات را می توان با اعمال باریکه های لیزر مناسب با آن ها درهم تنید. در نهایت نور لیزر تنظیم شده هر یون را به شکل خاصی تغییر می‌دهد، که به حالت آن بستگی دارد. در این روش، حرکت جمعی زنجیره ای از یون ها همانند گذرگاه داده ها عمل می کند که موجب می شود کیوبیت ها بتوانند با یکدیگر حرف بزنند.

فهرست فناوری‌های کیوبیت در گزارش

اتم‌های خنثی

تغییر سطح انرژی و چرخش اتم‌های خنثی در یک شبکه فوتونیک

یون‌های به دام افتاده

تغییر شار مغناطیسی در پیوند جوزفین در ابررساناها

فوتونیک

قطبی شدن، تغییر زمانی و مکانی فوتون‌ها در موج‌برهای نوری

ابررساناها

تغییر شارژ شار مغناطیسی در پیوند جوزفین در ابررساناها

نقاط کوانتومی

تغییر سطح انرژی یا شارژ چرخش تک الکترون‌ها در ساختارهای نانویی حالت جامد

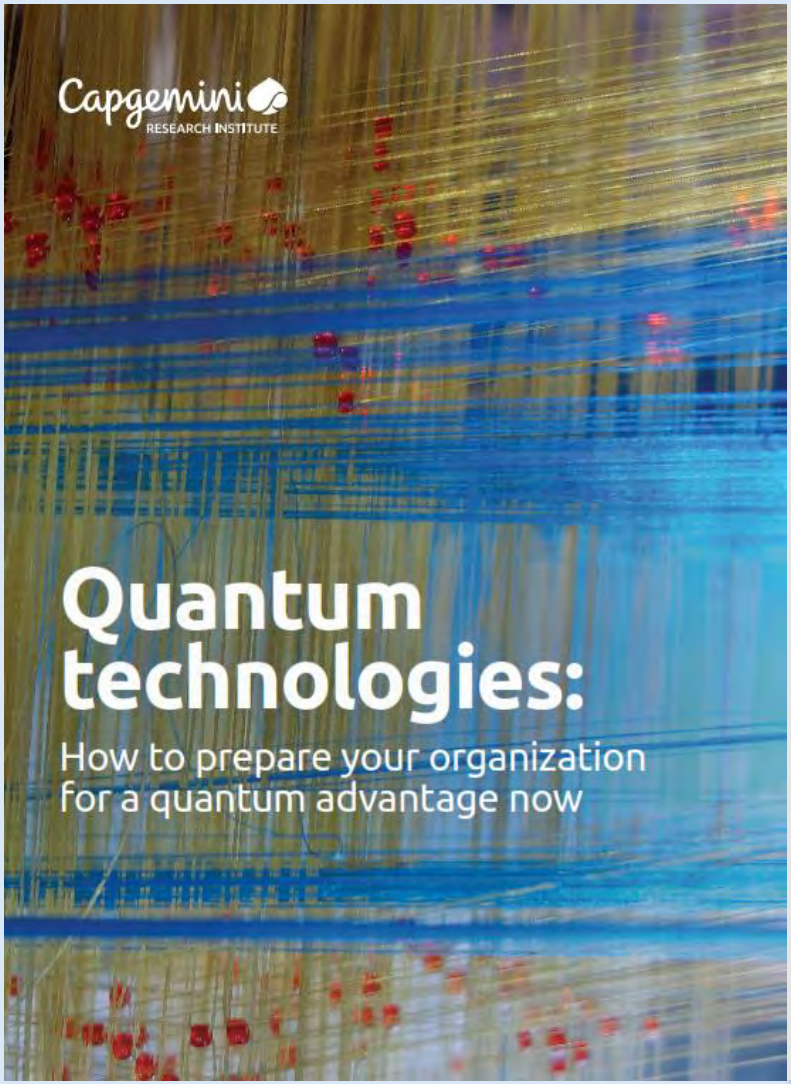
چرخش حالت جامد

تغییر انرژی یا چرخش نقص‌های موجود در مواد حالت جامد ناخالص شده

۸- فناوری‌های کوانتوم

چگونه سازمان خود را برای ایجاد مزیت کوانتومی آماده کنیم؟

گزارش فناوری‌های کوانتوم



☑ **عنوان گزارش:**

فناوری‌های کوانتوم

☑ **ناشر:**

موسسه پژوهشی Capgemini

(موسسه بین‌المللی مستقر در فرانسه)

☑ **سال نشر: ۲۰۲۲**

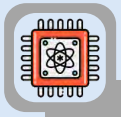
☑ **افق زمانی: –**

☑ **هدف و مخاطبین:**

معرفی فناوری کوانتوم و کاربردهای آن و توضیح نحوه آماده‌سازی سازمان‌ها برای ورود به عصر کوانتوم و ایجاد مزیت کوانتومی در سازمان

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

انواع فناوری‌های کوانتوم



۱.پردازش کوانتومی

استفاده از ویژگی‌های کوانتوم برای انجام محاسبات

اساسی‌ترین واحد محاسبات کوانتومی کیوبیت نام دارد که می‌تواند بطور همزمان هر مقدار بین ۰ و ۱ را بپذیرد. این فناوری سرعت محاسبات را بطور نمایی افزایش می‌دهد.

۲.مخابرات و امنیت کوانتومی

استفاده از قوانین مکانیک کوانتوم برای انتقال و کنترل اطلاعات مبتنی بر کیوبیت و استفاده از تئوری کوانتوم برای تامین امنیت اطلاعات

توزیع کلید کوانتومی پروتکلی برای تولید کلیدهای کوانتومی که با استفاده از قوانین مکانیک کوانتومی توزیع شده و اثر هر جاسوسی از اطلاعات را آشکار می‌کنند.

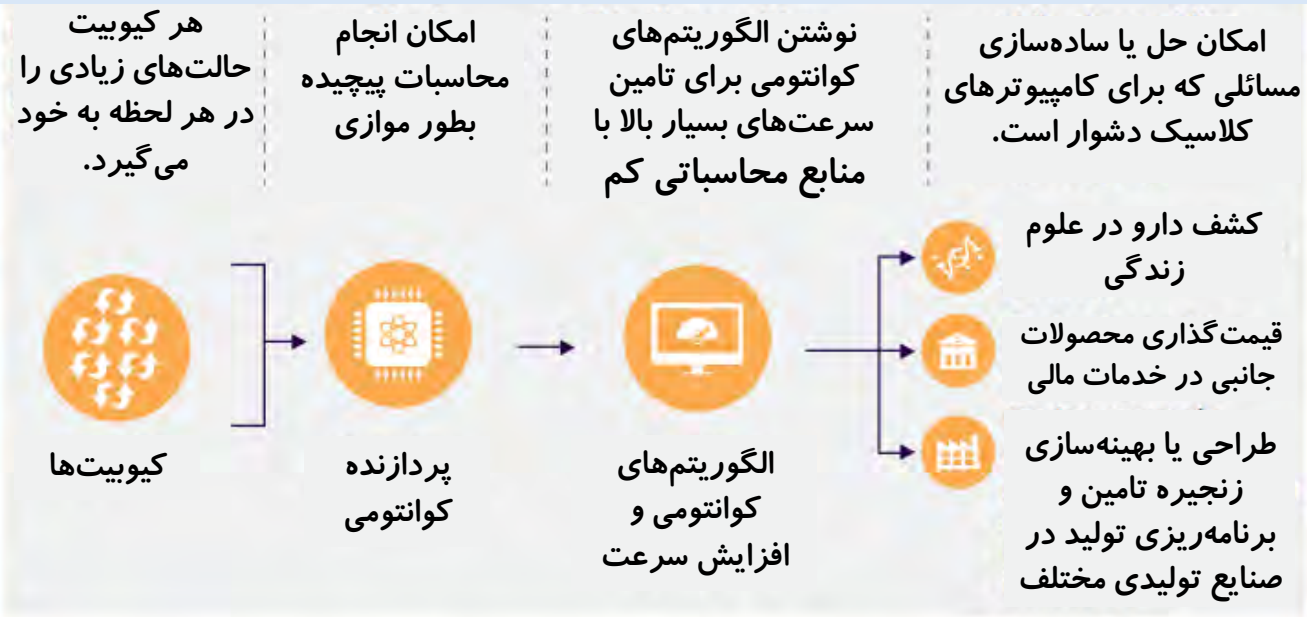
۳.سنجش کوانتومی

استفاده از ویژگی‌ها یا پدید کوانتوم برای اندازه‌گیری یک کمیت فیزیکی با دقت بالا

حسگرهای کوانتومی دقت اندازه‌گیری بی‌نظیری ارائه می‌کنند و در حوزه‌هایی نظیر تصویربرداری پزشکی، همگام‌سازی زمان ماهواره و تشخیص نشت گاز استفاده می‌شوند.

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

۱. فناوری پردازش کوانتومی

فناوری چیست و چگونه کار می‌کند؟	
وضعیت فعلی	• کامپیوترهای کوانتومی مسائل بازی(غیرواقعی) را حل می‌کنند که نمایانگر مسائل دنیای واقعی است. • سازمان‌ها در حال یافتن مسائل درست برای حل با کامپیوترهای کوانتومی و آزمودن موارد استفاده بالقوه هستند که می‌تواند در صورت وجود کامپیوترهای کوانتومی بدون خطا و دارای کیوبیت کافی ارتقاء یابد.
فرصت‌های اصلی	• حل مسائلی که نیاز به بهینه‌سازی، شبیه‌سازی و یادگیری ماشینی پیچیده دارد.
چالش‌های اصلی	• کامپیوترهای کوانتومی فعلی نرخ خطای(نویز) بالایی در خروجی دارند. • کارکرد موثر کیوبیت‌های ابررسانا در دمای بسیار سرد است که شرایط خاص نگهداری را می‌طلبد. • پردازش در مقیاس واقعی نیاز به هزاران کیوبیت دارد درحالیکه کامپیوترهای فعلی تنها بخشی از آن را فراهم می‌کنند.

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

۲. فناوری مخابرات و امنیت کوانتومی

فناوری چیست و چگونه کار می‌کند؟	۱. آلیس و باب کلیدهای کوانتومی را با استفاده از توزیع کلید کوانتومی تولید و به اشتراک می‌گذارند. ۲. آلیس پیام‌هایش را با این کلید کوانتومی و هر الگوریتم کدگذاری کلاسیک دیگری کدگذاری می‌کند. ۳. فقط باب که به کلیدهای کوانتومی دسترسی دارد می‌تواند به پیام دست پیدا کند. ۴. استفاده از کلید کوانتومی با روش‌های کدگذاری امن ثابت شده یکبارمصرف، امنیت و هک نشدن پیام را تضمین می‌کند.
وضعیت فعلی	• شبکه مخابرات کوانتومی، هر چند ساده(اغلب نقطه‌به‌نقطه یا نیازمند به واسط‌های کمترایمن و غیرکوانتومی مانند گره‌های قابل اعتماد) به واقعیت پیوسته است. • اخیرا در هلند سیستم توزیع کوانتومی پیاده‌سازی شده که در آن چندکاربر می‌توانند به یک گره مرکزی متصل شده و بطور ایمن تبادل اطلاعات کنند.
فرصت‌های اصلی	• شبکه‌سازی و ارتباطات امن • انتقال امن داده، عامل بسیار مهم در پردازش و ذخیره و اشتراک‌گذاری داده‌ها محرمانه
چالش‌های اصلی	• تبادل امن اطلاعات کوانتومی در مسیرهای طولانی

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

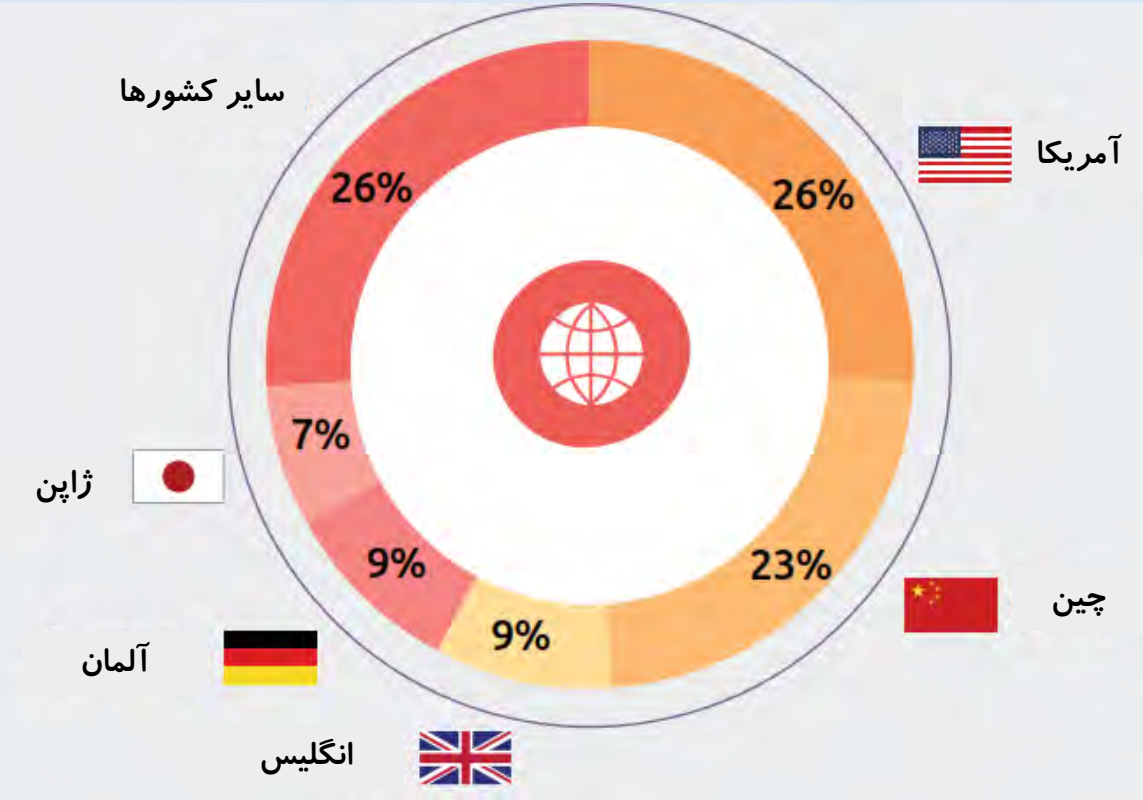
۳. فناوری سنجش کوانتومی

فناوری چیست و چگونه کار می‌کند؟	استفاده از اثرات کوانتومی برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف زمان سنجی شتاب سنجی و چرخش گرانش میدان الکتریکی و مغناطیسی
وضعیت فعلی	• روش‌های سنجش کوانتومی مختلفی وجود دارد که هر کدام سطوح فناوری و حوزه‌های کاربردی متفاوتی دارند. • اخیرا، تعداد زیادی حسگر کوانتومی در محیط آزمایشگاهی ساخته شده‌اند تا در صنعت بکار گرفته شوند.
فرصت‌های اصلی	• اندازه‌گیری دقیق میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی • اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی با استفاده از ویژگی‌های اتم • حوزه‌هایی که بکارگیری فناوری‌های موجود دشوار است، مانند ناوبری در نواحی پیچیده(زیرزمین، زیردریا) • در بلند مدت توسعه حسگر کوانتومی می‌تواند ناوبری بدونGPS را برای وسایل نقلیه خودران و ساخت سیستم‌های هشدار اولیه برای بلایای طبیعی و تشخیص بیماری‌های عصبی را ممکن سازد.
چالش‌های اصلی	• موازنه غیراقتصادی میان هزینه و بهبود عملکرد

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

سهم کشورها از پژوهش در حوزه فناوری کوانتوم

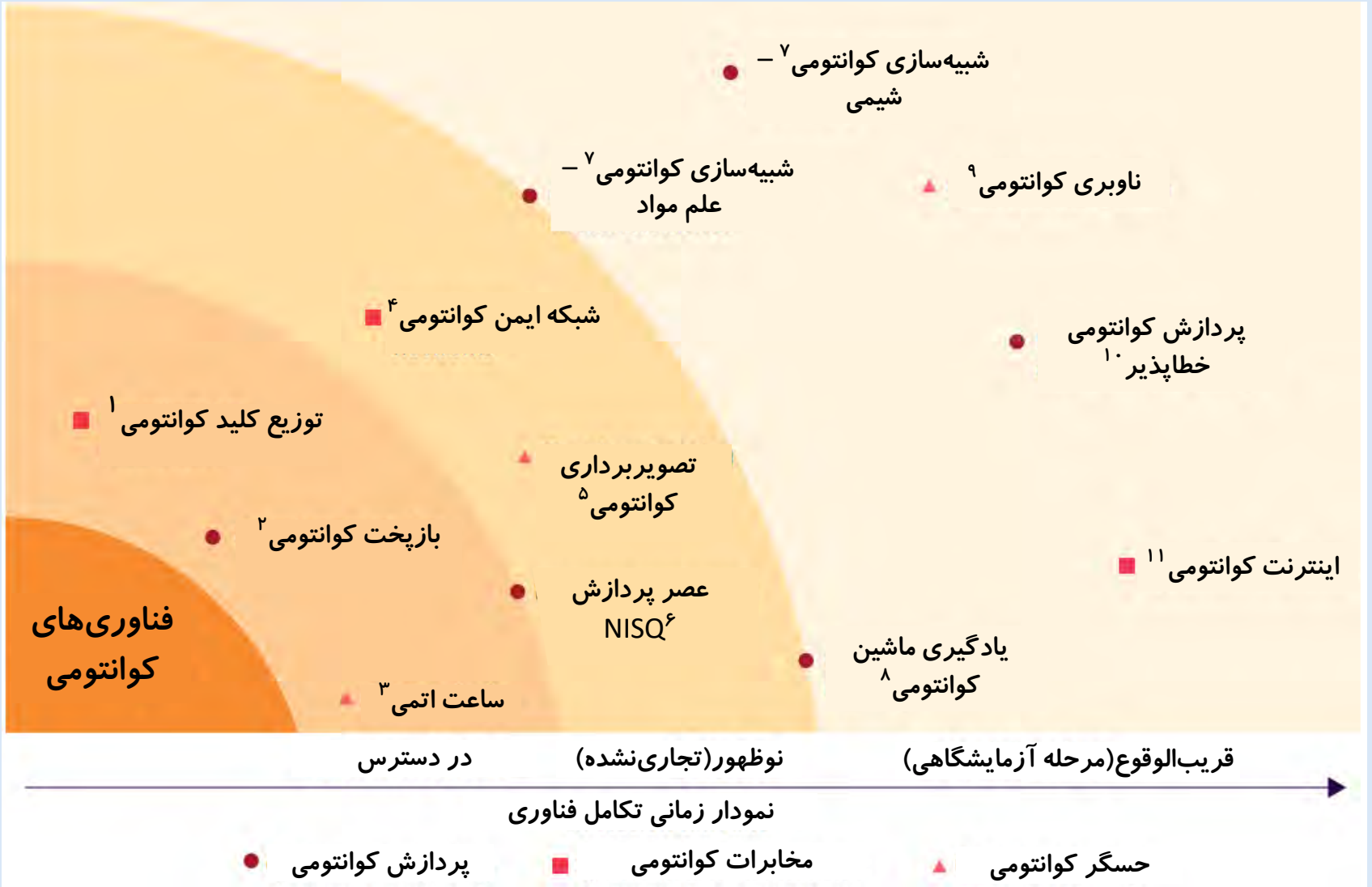
- در رقابت برای توسعه فناوری کوانتوم، آمریکا، چین و اتحادیه اروپا بودجه عمومی چشمگیری به این فناوری‌ها تخصیص داده‌اند و در تعداد انتشارات نیز پیشتاز هستند. پنج کشور برتر در انتشارات در خصوص فناوری‌های کوانتوم آمریکا، چین، انگلیس، آلمان و ژاپن هستند.



انتشارات در حوزه فناوری کوانتوم به تفکیک کشور (۲۰۲۰-۲۰۱۰)

Source: Harvard Kennedy School, Belfer Center for Science and International Affairs, " The Great Tech Rivalry: China vs the U.S" December 2021. Numbers have been rounded.

پیش‌بینی تکامل فناوری‌های کوانتوم



Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

تعریف فناوری‌های کوانتوم

۱. توزیع کلید کوانتومی

ک پروتکل رمزنگاری مبتنی بر اصول مکانیک کوانتومی وویژگی‌های تک فوتون یا فوتون درهم‌تنیده در حالت‌های مختلف کوانتومی است. دریافت اطلاعات از طریق سنجش فاز یا قطبش رشته‌ای تصادفی از فوتون‌ها در مقصد انجام می‌شود و هر نوع تلاش برای شنود اطلاعات باعث تغییر حالت فوتون‌ها و آگاهی فرستنده و گیرنده خواهد شد.

۲. بازپخت(گرم و سرد کردن کنترل شده) کوانتومی (Annealing)

یک روش پردازش کوانتومی برای حل مسائل بهینه‌سازی است که از حالت ساده و معلوم شروع و با تغییر پارامتر همیلتونی در سیستم تدریجا به حالت پیچیده تکامل می‌یابد و در نهایت در حالت کم‌انرژی قرار می‌گیرد که متناظر با راه حل بهینه مسئله بهینه‌سازی است.

۳. ساعت اتمی

ساعات اتمی با استفاده از لرزش اتم زمان را اندازه‌گیری می‌کند و رایج‌ترین نوع آن ساعت اتمی سزیمی است که در آن گذار بین دو سطح انرژی اتم سزیم زمان را اندازه‌گیری می‌کند. سنجش فرکانس تابش الکترومغناطیسی ساطع شده توسط اتم‌ها معیار تغییر سطح انرژی اتم است و واحد زمان را تعریف می‌شود.

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

تعریف فناوری‌های کوانتوم (۱)

۴. شبکه ایمن کوانتومی

به شبکه‌های مخابراتی و سیستم‌های رمزنگاری ایمن در برابر پردازشگر کوانتومی گفته می‌شود. توسعه الگوریتم‌های جدید رمزنگاری و پروتکل و زیرساخت جدید شبکه در حال انجام است.

۵. تصویربرداری کوانتومی

تصویربرداری با استفاده از ویژگی‌های کوانتومی نور نظیر درهم‌تنیدگی و انسجام که برای بهبود رزولوشن، حساسیت و سرعت انجام می‌شود. بکارگیری یک جفت فوتون در هم‌تنیده یکی از روش‌های این فناوری است.

۶. عصر پردازش NISQ (Quantum Noisy Intermediate Scale)

وضعیت فعلی پردازنده‌های کوانتومی که در آن کیوبیت‌ها «نویزی» هستند زیرا به محیط بسیار حساس بوده و به راحتی حالت کوانتومی خود را از دست می‌دهند. به همین دلیل، پردازنده کوانتومی تحت تأثیر ناهمدوسی قرار می گیرد و به «اصلاح خطا» در خروجی خود نیاز دارد.

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

تعریف فناوری‌های کوانتوم (۲)

۷. شبیه‌سازی کوآنتومی (علم مواد/شیمی)

شبیه‌سازی رفتار و ویژگی‌های مولکول‌ها و مواد مختلف که برای انجام امور تحقیقاتی و کشف مواد و داروهای جدید صورت می‌گیرد.

۸. یادگیری ماشینی کوانتومی

استفاده از پردازش کوانتومی برای ارتقاء الگوریتم یادگیری ماشین و کاربردهای آن مبتنی بر اصول کوانتوم نظیر درهم تنیدگی و برهم‌نهی است. یک نمونه از یادگیری ماشین کوانتومی، بهینه‌سازی کوانتومی پیشرفته است که بهینه‌سازی توابع پیچیده را سریع‌تر و کارآمدتر از الگوریتم‌های کلاسیک انجام می‌دهد که کاربردهای بالقوه‌ای در زمینه مالی، لجستیک و مدیریت زنجیره تامین دارد.

۹. ناوبری کوانتومی

استفاده از فناوری کوآنتوم در مکان‌یابی، ناوبری و زمان‌سنجی دقیق است. برای نمونه استفاده از ساعت اتمی درهم‌تنیده برای ایجاد سیگنال زمانی دقیق و پایدار جایگزین سیستم سنتی GPS است. مثال دیگر قطب‌نمای کوانتومی با استفاده از ویژگی درهم‌تنیدگی کوانتوم برای سنجش دقیق میدان مغناطیسی است.

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

تعریف فناوری‌های کوانتوم (۳)

۱۰. پردازش کوانتومی خطاپذیر

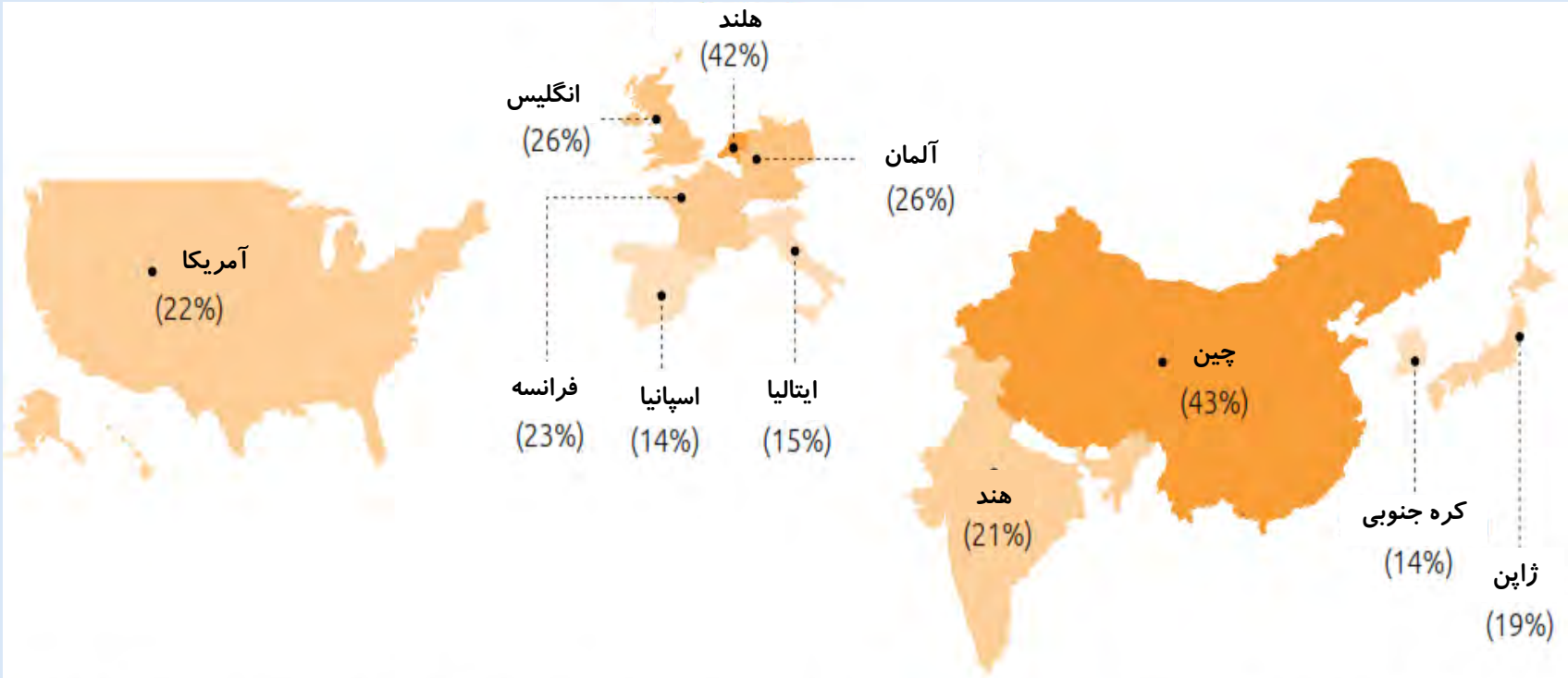
به توانایی سیستم پردازش کوانتومی در انجام محاسبات کوانتومی با قابلیت اطمینان بالا، حتی با وجود نویز و خطا، گفته می‌شود. این قابلیت برای ساخت کامپیوترهای کوانتومی بسیار بزرگ عملیاتی که مسائل دنیای واقعی را حل می‌کنند ضروری است. نویز و خطای حاصل از تعامل کیوبیت‌ها با محیط چالش مهم این فناوری است.

۱۱. اینترنت کوانتومی

شبکه‌ای از ابزارهای کوانتومی متصل که داده کوانتومی را انتقال می‌دهند. مخابرات امن و پربازده با رمزنگاری کوانتومی، ترابری کوانتومی و توزیع کلید کوانتومی، با سرعت بالا انجام می‌شود.

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

میزان بکارگیری فناوری کوانتوم در کشورها



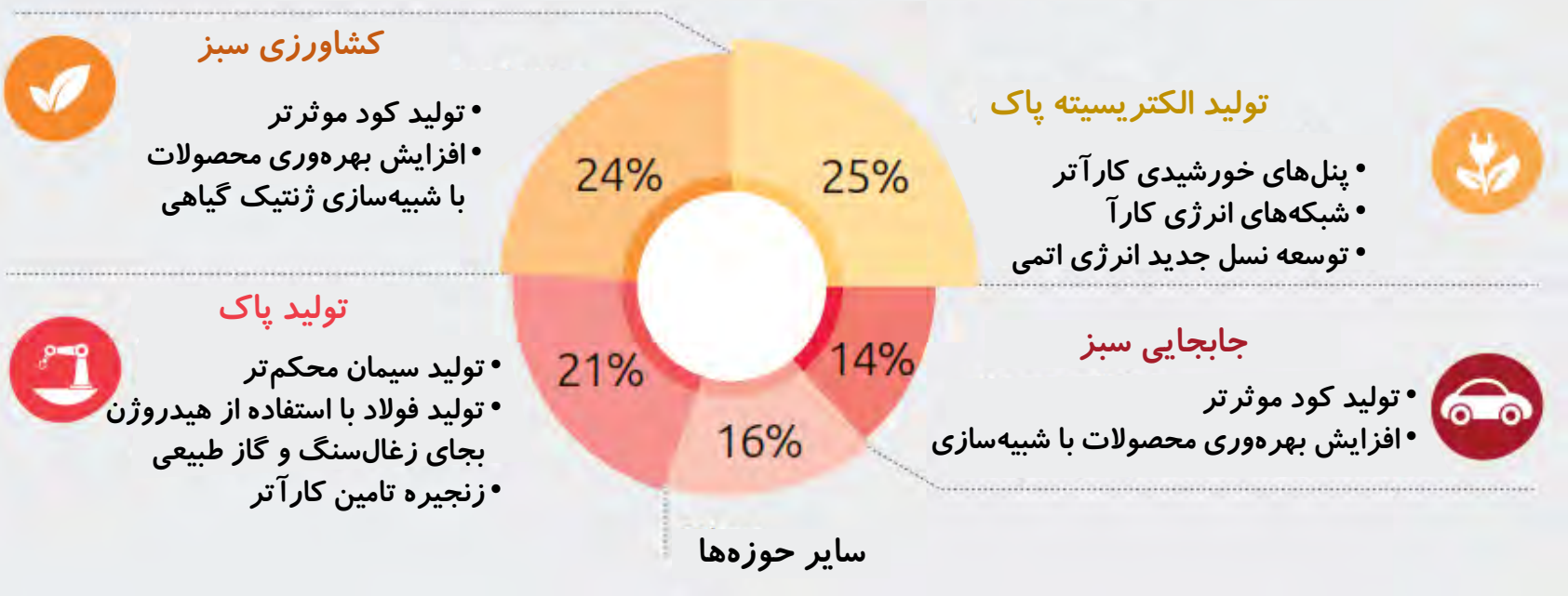
٪ سهم سازمان‌های که با فناوری کوانتوم کار می‌کنند یا برنامه‌ای برای کار با این فناوری دارند.
(نتیجه پیمایش از ۸۵۷ شرکت در دسامبر سال ۲۰۲۱ توسط موسسه پژوهشی)

کشورهای چین(۴۳٪)، هلند(۴۲٪)، انگلیس(۲۶٪) و آلمان(۲۶٪) بیشترین میزان استفاده از فناوری کوانتوم را دارند، به این معنا که سهم بیشتری از بنگاه‌های فعال در این کشورها با این فناوری کار می‌کنند یا برنامه‌ای برای استفاده از آن دارند.

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

کاربرد فناوری کوانتوم در کاهش انتشار کربن

سهم کربن منتشر شده در طبیعت توسط ۴ حوزه اصلی و کارکردهای فناوری کوانتوم در کاهش میزان انتشار کربن در این حوزه‌ها



برخی کاربردهای فناوری‌های کوانتوم در کاهش تولید کربن

- ❑ کاهش هزینه تولید پنل خورشیدی با شبیه‌سازی مواد فوتوولتائیک جدید با پردازش کوانتومی
- ❑ کاهش اثرات زیست محیطی تولید با شبیه‌سازی ترکیب درست پلیمرها برای تولید سیمان قوی‌تر
- ❑ کاهش مصرف انرژی در سازمان با بکارگیری پردازش کوانتومی در انجام فرآیندهای پیچیده (هرچند نیاز به سیستم‌های خنک کننده می‌تواند هزینه را بالا ببرد!)

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

پردازش کوانتومی ابزارحل چالش‌های صنعتی

مسائل مختلفی وجود دارد که به دلیل پیچیدگی زیاد، حتی کامپیوترهای با کارآیی بالای امروزی هم قادر به حل آن‌ها نیستند. این مسائل معادل ریاضی داشته و برای پردازش کوانتومی مناسب هستند زیرا می‌توانند چندین پردازش را بطور موازی انجام دهند.

کاربرد در صنعت/کسب‌وکار	نوع/دامنه مسئله
بهینه‌سازی زنجیره تامین، توزیع و مسیریابی، طراحی مدار، برنامه‌ریزی تولید، مدیریت ناوگان و بیمه آن، بهینه‌سازی شبکه الکتریکی و مخابراتی	مسئله فروشنده دوره گرد: با توجه به لیستی از شهرها و فاصله بین آنها، کوتاه ترین مسیر ممکن که یک بار از هر شهر بازدید می کند و به مبدأ باز می گردد کدام است؟
بهینه سازی بارگیری محموله برای کامیون ها یا کانتینرها، آخرین مرحله تحویل کالا، بهینه سازی سبد سهام،ظرفیت تولید، بهینه سازی طراحی	مسئله کوله پشتی یا مسئله بسته بندی: پر کردن یک کوله پشتی به روشی بهینه با مجموعه ای از وزن ها و مقادیر مرتبط، به طوری که وزن کل کمتر یا مساوی یک حد باشد و مقدار کل تا حد امکان بزرگ باشد.
کشف دارو، توسعه باتری الکتریکی خودرو، توسعه مواد جدید، جذب کربن، مطالعه واکنش‌های شیمیایی‌ورفتار موادابررسانابرای‌اسکنرهای پزشکی	شبیه سازی مولکولی و تاخوردگی پروتئین: چگونه رفتار و برهمکنش مولکول ها را در واکنش‌های شیمیایی شبیه سازی کنیم؟ چگونه توالی اسید آمینه یک پروتئین ساختار سه بعدی آن را تعیین می کند؟
رمزنگاری، امضای دیجیتال، محاسبات تبدیل فوریه سریع (FFT) قابل استفاده در MRI، موسیقی، نجوم و رباتیک	فاکتورگیری اعداد صحیح یا اول: چگونه یک عدد بزرگ را به حاصل ضرب اعداد صحیح/اول کوچکتر تجزیه کنیم؟

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

چالش‌های صنعت و کارکردهای پردازش کوانتومی

	علوم زندگی	خدمات مالی	شیمی	هوافضا	خودرو
موارد استفاده آزمایشی از پردازش کوانتومی در صنعت	•شناسایی اهداف بیولوژیک •شناخت و بهینه‌سازی ترکیبات دارویی •شناخت برهم‌کنش های دارویی •تشخیص بیماری‌ها •بهینه سازی کارآزمایی بالینی	•مدیریت ریسک •مدیریت سبد سهام پویا •قیمت‌گذاری محصولات جانبی •تشخیص تقلب	•مدلسازی و بهینه سازی واکنش‌های شیمیایی •تولید باتری •شبیه‌سازی و اکتشاف مولکولی	•کنترل ترافیک هوایی •بهینه‌سازی طراحی هواپیما •بهینه‌سازی ناوگان، خدمه، سوخت •بهینه‌سازی بارگیری محموله •بهینه‌سازی زنجیره تامین	•مدیریت ترافیک •بهینه‌سازی طراحی خودرو •شبیه‌سازی تصادف •تولید باتری •افزایش راندمان صنعتی •بهینه‌سازی زنجیره تامین
مزایای بالقوه	افزایش سرعت ساخت داروی جدید، بازده بهتر سرمایه، ورود به بازار جدید	ایجاد درک بهتر از مواجهه با ریسک، بازدهی عالی سبد سهام، کاهش ریسک تقلب	ورود به بازارهای جدید با مواد جدید و تولید پربازده	تولید و لجستیک پربازده هواپیما	تولید و فروش پربازده خودرو، طراحی مواد بهتر، ورود به بازارهای جابجایی جدید

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

بازیگران اکوسیستم در حال رشد مخابرات کوانتومی

تامین قطعات(تراشه فرستنده کوانتومی، لیزر، پرتوشکن، آشکارساز تک فوتون، رمزگذار پیوند)

تحقیق و توسعه برای پیشرفت فناوری، تامین نیروی متخصص و امکانات تست

تجاری سازی ارتباطات ایمن کوانتومی؛ تبلور ایده در دنیای واقعی

تامین مالی برنامه‌های شبکه بزرگ کوانتوم و دور هم جمع کردن ذینفعان

سرمایه‌گذاری، مهارت بازاریابی و کسب‌وکار، رویکرد برو-به -بازار

ارتقاء توسعه زیرساخت‌های توانمندساز نظیر فیبرنوری و ماهواره

تعیین استانداردها و عملکردهای پیشرو

الگوریتم رمزنگاری و توسعه نرم‌افزار

انواع فناوری مخابرات امن کوانتومی

❑ توزیع کلید کوانتومی:

روش غیرقابل هک مبتنی بر درهم تنیدگی کوانتومی است که با استفاده از آرایه‌ای از تک فوتون‌ها و اشتراک‌گذاری کلیدهای رمزگذاری بین دو مکان، اطلاعات را به صورت ایمن انتقال می‌دهد. این روش در مرحله راستی‌آزمایی بوده و در اتصالات نقطه به نقطه، ایمنی را تامین نموده است.

❑ رمزنگاری پسا کوانتومی:

استفاده از مکانیک کوانتومی در انتقال اطلاعات و تغییر استانداردهای رمزگذاری فعلی در شبکه‌های کلاسیک برای ایمن ساختن آنها از حمله پردازشگرهای کوانتومی را رمزنگاری پسا کوانتومی می‌گویند که استانداردهای آن در حال توسعه است.

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

مقایسه دو فناوری تامین امنیت در مخابرات کوانتومی

	توزیع کلید کوانتومی(QKD)	رمزنگاری پساکوانتومی(PQC)
فناوری	رمزنگاری مبتنی بر سخت‌افزار و با استفاده از کانال‌های کوانتومی است که نیاز به تجهیزات ویژه دارد.	یک لایه رمزنگاری نرم‌افزاری به شبکه و اپلیکیشن‌های فعلی اضافه می‌کند.
هزینه	نسبتا پرهزینه	نسبتا کم هزینه
پیچیدگی در اجرا	پیچیدگی بالا-پیوندهای نقطه-به-نقطه مورد نیاز	پیچیدگی پایین- پروتکل‌های مورد نیاز در دسترس
سطح امنیت	فوق‌العاده ایمن و غیرقابل نفوذ	امنیت ۱۰۰درصد تضمین نمی‌شود
میزان پوشش فاصله	تنها چند صد کیلومتر	فاصله نامحدود
شرایط استفاده	برای محافظت کامل از اطلاعات در مدت طولانی یا داده در حرکت	برای محافظت از اطلاعات در مدت کوتاه و یا داده در حال استراحت

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

انواع رایج حسگرهای کوانتومی

نوع حسگر کوانتومی		کاربرد
ساعت اتمی		مدیریت شبکه‌های برق و مخابرات، ناوبری، فناوری‌های فضایی
گرانش‌سنج/ شتاب‌سنج		اکتشاف، نقشه‌برداری زمین، ساخت و ساز، مهندسی عمران
مغناطیس‌سنج		ناوبری وسایل نقلیه تمام/نیمه اتوماتیک، فرآیند کنترل، تشخیص پزشکی

فناوری کوانتوم دقت اندازه‌گیری متغیرهایی نظیر زمان، گرانش، میدان مغناطیسی و دما را در مقایسه با شیوه‌های سنتی بسیار بالا برده است. برای مثال دقت یک ساعت استاندارد در حد یک ثانیه در شبانه‌روز است در حالیکه دقت ساعت اتمی یک ثانیه در یک میلیون سال است.

سنجش کوانتومی و کابردهای آن نسبت به محاسبات و مخابرات کوانتومی پیشرفته‌تر و بالغ‌تر است و پیش‌بینی می‌شود در تشخیص و درمان، امنیت و دفاع، خودرو، مهندسی عمران، ساخت‌وساز، نفت و گاز، اکتشافات فضایی و مخابرات مورد استفاده قرار گیرد.

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

کابرد بین بخشی نسل جدید حسگرهای کوانتومی

حسگرها و نوسان‌گرها برای ناوبری بدون GPS

- قابل استفاده در نواحی سخت نظیر کوهستان، زیرآب، زیرزمین، فضا که GPS در دسترس نیست
- رادارهای کوآنتومی برای تشخیص اجسام کوچک، دور و کندرو
- کاربرد در هوافضا، خودرو و دفاع
- ارتش استرالیا یک نوسانگر یاقوت کبود برودتی را آزمایش کرده که دقت شبکه رادار را ۱۰۰۰ برابر افزایش داده

گرانش سنج کوانتومی برای اکتشاف و نقشه‌برداری از زمین و آب

- کمک به یافتن عناصر زیرخاک یا زیرآب نظیر لوله، فیبر، معدن، حفره یا تونل
- دارای کاربرد در معدن، ساخت‌وساز، مخابرات و بخش دفاعی
- پایش بلایای طبیعی و تغذیه اطلاعاتی مدل‌های آب‌وهوایی برای کمک به بیمه و بخش دولتی

مغناطیس سنج برای تصویربرداری پزشکی

- هاب فناوری کوانتوم در انگلیس‌دستگاه (OPM) پرتاب مغناطیس‌سنج با لیزر را توسعه داده که حرکت آزادانه بیمار تحت اسکن و دقت بالاتر تصویربرداری را فراهم می‌کند.
- کمک به تحقیقات دقیق درباره بیماری‌های مغزی نظیر زوال عقل و پارکینسون

حسگرهای کوانتومی برای کنترل فرآیند و امنیت

- تشخیص‌نشت یا سرریز درطول فرآیند صنعتی
- حسگرگازی برای تشخیص نشت گاز متان
- جایگزین بالقوه تست‌های ردیابی دستی نشت گاز در خط لوله با هزینه ۱۵۰۰ دلار در هر واحد

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

جمع‌بندی فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

1 پردازش کوانتومی

- کامپیوتر کوانتومی
- پردازش کوانتومی خطاپذیر
- یادگیری ماشینی کوانتومی

- شبیه‌ساز کوانتومی رفتار و ویژگی‌های مولکول‌ها و اجسام
- تابکاری کوانتومی

2 مخابرات کوانتومی

- اینترنت کوانتومی
- رمزگذار در پیوندها
- تراشه فرستنده کوانتومی

- الگوریتم رمزگذاری توزیع کلید کوانتومی
- الگوریتم رمزگذاری پساکوانتومی
- شبکه ایمن کوانتومی

3 حسگر کوانتومی

- زمان‌سنج
- شتاب‌سنج و چرخش‌سنج
- مغناطیس‌سنج(لیزری)
- گرانش‌سنج

- نوسانگر کوانتومی
- رادار کوانتومی
- ناوبری کوانتومی
- تصویربرداری کوانتومی

- ساعت اتمی
- حسگر گازی
- میدان الکتریکی‌سنج
- آشکارساز تک فوتون
- پرتوشکن

۹- چالش‌های فناوری‌های کوانتوم

چالش‌های فناوری کوانتوم

☑ **عنوان گزارش:**

چالش‌های فناوری کوانتوم در انگلیس

☑ **ناشر:**

نهاد عمومی پژوهش و نوآوری انگلیس

برنامه ملی فناوری کوانتوم انگلیس

☑ **سال نشر: ۲۰۲۲**

☑ **افق زمانی: –**

☑ **هدف و مخاطبین:**

معرفی چالش‌های فناوری کوانتوم و پروژه‌های با تامین مالی دولت انگلیس

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

برنامه ملی چالش فناوری کوانتوم

وضعیت برنامه ملی فناوری کوآنتوم در انگلیس

راهبرد ۷ ساله : از ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۵ بر اساس همکاری دولت،دانشگاه و صنعت

دستاوردهای فعلی

سرمایه‌گذاری ۱۷۴ میلیون فرانک توسط دولت انگلیس در این برنامه

اجرای ۱۳۹ پروژه با هدایت بخش کسب و کار

همکاری ۱۴۱ شرکت انگلیسی در اجرای پروژه‌ها

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

وضعیت فناوری کوانتوم در انگلیس

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

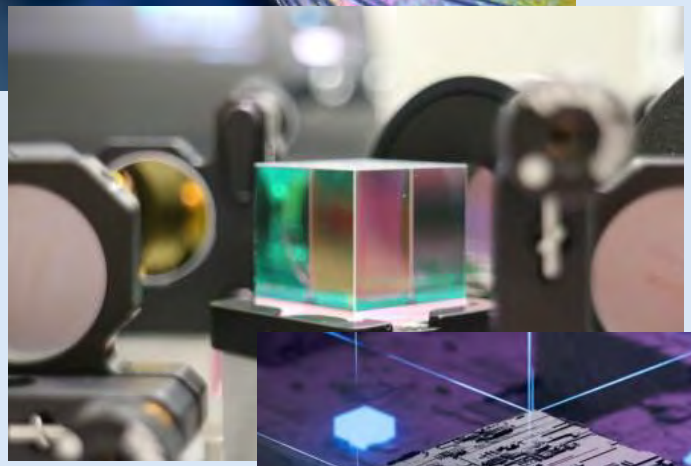
انواع روش‌های تامین مالی در برنامه

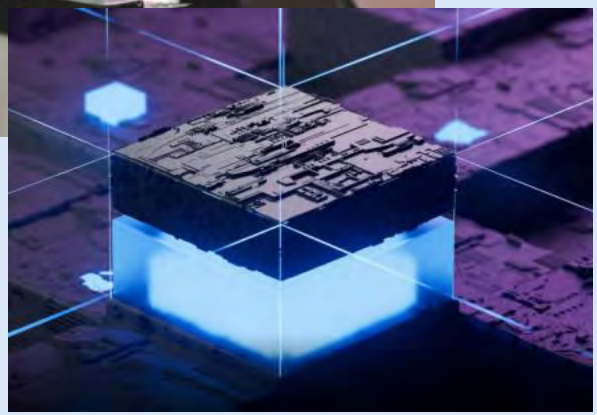
روش‌های تامین مالی مختلفی برای ارتقاء همکاری و تسریع در سرمایه‌گذاری خصوصی و زمینه‌سازی برای راهبری صنعتی انگلیس در برنامه ملی رفع چالش‌های فناوری کوانتوم این کشور طراحی شده است؛

- ☑ **پروژه تحقیق‌وتوسعه مشترک:** حداکثر مدت ۳ سال و کمک‌هزینه ۱۰ میلیون پوند با هدف تجاری‌سازی کالا و خدمات کوانتومی
- ☑ **پروژه فناوری:** حداکثر مدت ۳ سال و کمک‌هزینه ۱۰ میلیون پوند و با هدف رفع موانع فنی تجاری‌سازی در صنعت کوانتوم
- ☑ **مطالعه امکان‌سنجی:** حداکثر مدت ۱.۵ سال و کمک‌هزینه ۰.۵ میلیون پوند با هدف نوآوری
- ☑ **مشارکت سرمایه‌گذار:** کمک بلاعوض متناسب با حقوق صاحبان سهام و با هدف کاهش ریسک سرمایه‌گذاری خصوصی
- ☑ **پروژه بین‌المللی:** حداکثر مدت ۳ سال و کمک‌هزینه ۰.۵ میلیون پوند با هدف همکاری بین‌المللی صنعت و دانشگاه برای تجاری‌سازی نوآوری

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

دلایل توسعه فناوری کوانتوم



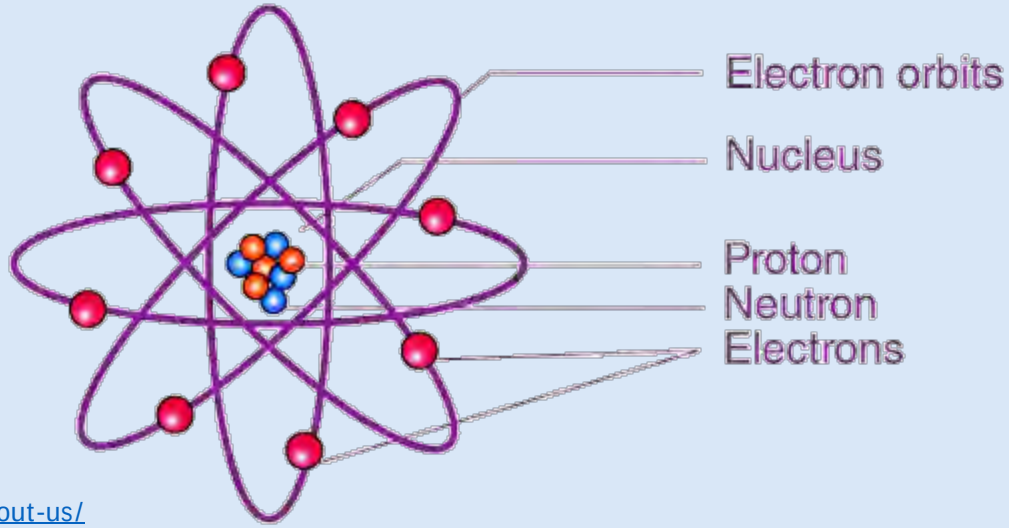


- ☑ فناوری‌کوانتوم عامل ایجاد تغییر چشمگیر در راستای افزایش سطح سلامت، رفاه و رقابت‌پذیری کشورها و یکی از اجزاء مهم تامین امنیت و انعطاف‌پذیری در برابر چالش‌های آینده
- ☑ برنامه‌ها و اقدامات گسترده دولت برای توسعه محصولات و خدمات مبتنی بر کوانتوم در اغلب اقتصادهای پیشرفته در فضایی کاملا رقابتی
- ☑ ضرورت آمادگی و انعطاف‌پذیری برای مواجهه با فناوری کوانتومی و چالش‌های آن با توجه به وسعت تاثیر آن بر امنیت، دفاع و در نهایت لزوم توسعه فناوری کوانتوم بومی در کشور

https://uknqt.ukri.org/about-us/

تعریف فناوری کوانتوم

- ☑ فناوری کوانتوم، پیشرفت‌هایی مبتنی بر کنترل طبیعت در سطح مولکولی نظیر اتم، فوتون، الکترون و مواد متراکم است. طبیعتی که دیگر بر اساس قوانین نیوتن، ترمودینامیک و معادلات ماکسول از الکترومغناطیس تعریف نمی‌شود.
- ☑ در عصر جدید کوانتوم، کنترل و بهره‌گیری از اثرات کوانتومی مبتنی بر اصول مکانیک کوانتومی برای ایجاد تحول در صنایعی نظیر داروسازی انجام می‌شود.
  - برهم نهی(Superposition): توانایی ذرات برای قرار گرفتن همزمان در دو یا چند حالت
  - درهم تنیدگی(Entanglement): برهم‌کنش ذرات با یکدیگر حتی در فواصل خیلی زیاد از هم
  - عدم قطعیت(Uncertainty): عدم امکان اندازه گیری موقعیت و گشتاور ذره بطورهمزمان



https://uknqt.ukri.org/about-us/

مهم‌ترین پروژه‌های فناوری کوانتوم در برنامه ملی انگلیس

- ☑ ساعت اتمی بسیار دقیق زمینی: کاهش وابستگی به ناوبری ماهواره‌ای، تامین زیرساخت زمان‌سنجی در خدمات تامین انرژی، حمل‌ونقل ایمن، 5G، شبکه داده، سلامت و مبادلات مالی الکترونیکی
- ☑ اسکنر مغز پوشیدنی: حرکت آزادانه افراد در زمان عکسبرداری، تشخیص بیماری‌های عصبی نظیر صرع، تشخیص زودهنگام اختلالات عصبی در نوزادان و کودکان
- ☑ حسگر گرانشی تحول‌آفرین: تشخیص ساختارهای پنهان مانند لوله‌ها، فروچاله‌ها و تهیه نقشه۳بعدی از چگالی مواد اطراف، کاهش هزینه و زمان در ساخت‌وساز، ساخت جاده و تعمیر راه‌آهن
- ☑ دوربین کوانتومی تصویربرداری از گاز: پایش گاز متان و حساسیت به طول موج نامرئی مادون قرمز و فرابنفش

https://uknqt.ukri.org/about-us/

فناوری‌های مخابرات کوانتومی(۱)

چالش فناوری و کارکرد آن

توزیع کلید کوانتومی، به عنوان یک فناوری رمزگذاری در مخابرات کوانتومی به دلیل جذب نور در فیبرهای نوری تنها به فواصل کوتاه محدود می‌شود. اما ارتباطات در فضای آزاد مبتنی بر تک فوتون توسط ماهواره‌های مخابراتی در چند صد کیلومتر انجام می‌شود. لذا ماهواره‌ها ابزاری ایده‌آل برای ارسال توزیع کلید کوانتومی در فواصل زیاد بین کاربران نهایی در کشورها و قاره‌های مختلف هستند.

در این پروژه متخصصین کوانتوم و اپتیک در انگلیس از ۳ دانشگاه و ۷ شرکت برای ساخت نسل جدید گیرنده نوری زمینی برای کار با ماهواره‌ها دور هم جمع شده‌اند که نقش مهمی در گسترش استفاده از شبکه امن مخابراتی فراگیر مبتنی بر توزیع کلید کوانتومی دارد. این گیرنده جدید کم هزینه و کم وزن انقلابی در حوزه مخابرات کوانتومی پیشرفته ایجاد خواهد کرد و به امنیت اینترنت بین‌المللی و ایمنی در مقابل کامپیوترهای کوانتومی کمک می‌کند.

گیرنده نوری زمینی
Optical Ground Receiver

نقش مهم در گسترش استفاده از شبکه مخابراتی فراگیر مبتنی بر توزیع کلید کوانتومی

هزینه پروژه: ۳.۳ میلیون پوند

۳ دانشگاه

۷ شرکت

HERIOT WATT UNIVERSITY

UNIVERSITY of York

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های مخابرات کوانتومی(۲)

چالش فناوری و کارکرد آن

توزیع کلید کوانتومی، امکان اشتراک‌گذاری امن کلیدهای رمزگذاری را با استفاده از فناوری کوانتومی فراهم می‌کند. کاربرد این روش در خطوط انتقال فیبر نوری تا حداکثر ۱۵۱ کیلومتر امکان‌پذیر بوده و برای بیشتر از آن به «گره‌های ایمن» نیاز است که آسیب‌پذیری امنیتی را بالا می‌برد. مخابرات در فضای آزاد و زیرساخت‌های ماهواره‌ای، استفاده از QKD را برای فواصل بسیار دور و در شبکه‌های بین‌المللی امکان‌پذیر می‌سازد.

به این ترتیب، تولید و تجاری‌سازی قطعات ماهواره‌ای QKD به عنوان جزء مهمی از مخابرات امن و مبتنی بر پروتکل QKD بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

HERIOT WATT UNIVERSITY

قطعات ماهواره‌ای QKD
QKD Satellite Components

نقش مهم در گسترش استفاده از شبکه مخابراتی فراگیر مبتنی بر توزیع کلید کوانتومی

هزینه پروژه: ۴.۵ میلیون پوند

۱ دانشگاه

۸ شرکت

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های مخابرات کوانتومی(۳)

چالش فناوری و کارکرد آن

مولد عدد تصادفی(RNG) یک قطعه اصلی مورد نیاز در سیستم‌های رمزگذاری است. در واقع، هر چه کلید تصادفی‌تر باشد رمزگذاری امن‌تر است. مولدهای موجود پیچیده و ارزان هستند، اما توسعه فناوری کوانتوم خطری برای پروتکل رمزنگاری آن‌ها محسوب می‌شود. برای حل این مشکل، نوع جدیدی از مولدهای مبتنی بر منبع کوانتومی در حال ظهور هستند. گروهی از آن‌ها از فوتون برای تولید عدد تصادفی استفاده می‌کنند و به همین دلیل بزرگ و پرهزینه هستند و گروهی دیگر از منبع کوانتومی نویز که در غیاب نور در دسترس است استفاده می‌کنند که هزینه و برق کمتر مصرف و حجم کمتری اشغال می‌نماید و بهره‌وری بالاتری دارند.

مولد عدد تصادفی نویز سیاه مبتنی بر CMOS طراحی شده است.

مولد عدد تصادفی کوانتومی نویز سیاه

Dark Noise QRNG

قطعه مهم در سیستم رمزنگاری

هزینه پروژه: ۰.۰۵ میلیون پوند

۱ شرکت

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های سنجش کوانتومی(۱)

چالش فناوری و کارکرد آن

جایابی لوله‌های قدیمی و فراموش‌شده و تعیین وسعت گودال در زیر زمین هنوز نیازمند حفر زمین است که هزینه‌های اقتصادی اجتماعی هنگفتی به دنبال دارد. فناوری‌های موجود برای انجام این کار از نظر حساسیت، میزان نفوذ و هزینه بسیار محدود هستند.

اندازه‌گیری گرانش با حساسیت بسیار بالا با استفاده از اثرات عجیب برهم‌نهی کوانتومی امکان‌پذیر شده است. در فرآیندی که تداخل‌سنجی اتم سرد نامیده می‌شود، دوگانگی موجی-ذره‌ای یک اتم روبیدیوم با فاز پرتو لیزر مقایسه می‌شود به گونه‌ای که می‌تواند تغییرات بسیار جزئی در نحوه سقوط آزادانه اتم‌ها در خلا را پایش کند. از تغییرات در سقوط آزاد اتم می‌توان برای تعیین قدرت گرانش محلی و تشخیص وجود حفره ها، لوله ها، تونل ها، ذخایر نفت و گاز در زیر زمین استفاده کرد.

حسگر کوانتومی اتم سرد
Quantum Cold-atom Sensor

نقش مهم در تشخیص و پایش اجسام موجود در محیط اطراف مانند زیر زمین، دریا، فضا

هزینه پروژه: ۶ میلیون پوند

۲دانشگاه

۱۰ شرکت

University of Southampton

UNIVERSITY OF BIRMINGHAM

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های سنجش کوانتومی(۲)

چالش فناوری و کارکرد آن

در بسیاری از خدمات اساسی نظیر تامین انرژی قابل اطمینان، پیوندهای ارتباطی امن، ارتباطات سیار، شبکه داده و تعاملات مالی الکترونیکی به زمان‌سنجی دقیق یک نیاز بنیادین محسوب می‌شود. این خدمات در حال حاضر به سیستم بین‌المللی ناوبری ماهواره‌ای(GNSS) وابسته هستند که بطور تصادفی و به راحتی مختل می‌شود و در صورت عدم استفاده بلندمدت از کار می‌افتد.

وابستگی زیرساختی به GNSS و آسیب‌پذیری ناشی از آن و این حقیقت که در صورت نبود این سیستم اقتصاد انگلیس در مدت ۵ روز دچار خسارت ۵.۲ میلیارد پوندی خواهد شد، انگیزه‌ای برای یافتن راه حل شده است. نسل جدید ساعت اتمی مینیاتوری کاربرد گسترده‌ای در ایستگاه‌های متحرک، سرورهای شبکه خدمات مالی، پایگاه داده، شبکه توزیع برق و سیستم‌های کنترل ترافیک هوایی کاربرد دارد.

ساعت اتمی مینیاتوری
Miniature Atomic Clock

کاربرد گسترده در زمان‌سنجی دقیق برای ایستگاه‌های متحرک، پایگاه داده، توزیع برق

هزینه پروژه: ۴.۴ میلیون پوند

۲دانشگاه

۸شرکت

UNIVERSITY of York

Cardiff Metropolitan University

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های سنجش کوانتومی(۳)

چالش فناوری و کارکرد آن

بسیاری از فناوری‌های مهم به ناوبری با استفاده سیگنال‌های ماهواره‌ای مستقر در فضا وابسته هستند. اغلب فناوری‌های ناوبری نیز برای دقیق ماندن در فواصل دور به شبکه‌ای با عنوان سیستم بین‌المللی ناوبری ماهواره‌ای(GNSS) وابسته هستند. از دست رفتن سیگنال این سیستم سبب ناوبری بی ثبات و تخمین مکان و جهت نادرست می‌شود که در شرایط فعالیت‌های مجرمانه و اقدامات نظامی بسیار محتمل است. با خودکار شدن سیستم‌ها خطر و هزینه از دست رفتن سیگنال GNSS بسیار بالا می‌رود.

سنسورهای کوانتومی ناوبری، به دلیل ترکیب منحصربه‌فرد حساسیت بالا به حرکت با ایزولاسیون عالی از محیط اطراف، پتانسیل بالایی برای تامین ثبات ناوبری در بلند مدت دارند. سنسور چرخش کوانتومی، می‌تواند موجب ثبات سیستم جهت‌گیری هدایت هواپیما در غیاب سیگنال GNSS شود.

سیستم ناوبری کوانتومی
Quantum Navigation System

کاهش وابستگی به GNSS و ایجاد امنیت در زمان از دست دادن سیگنال

هزینه پروژه: ۲.۸میلیون پوند

۷ شرکت

ColdQuanta
The Quantum Atomics Company

ALTER TECHNOLOGY

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های سنجش کوانتومی(۴)

چالش فناوری و کارکرد آن

مغناطیس‌سنج‌های کوانتومی، تعامل بین اتم‌های قلیایی فلزات و یک میدان مغناطیسی خارجی را پایش نموده و تغییرات چرخش الکترون‌ها ناشی از میدان مغناطیسی و بدینوسیله نواقص در مقیاس میکرو موجود در مواد و اجسام را تشخیص می‌دهد.

حسگر مغناطیس سنج اتمی مینیاتوری در فرکانس رادیویی نمونه‌ای از این فناوری کوانتومی است که می‌تواند در محیط‌های محافظ نشده کار کند که امکان استفاده عمومی و گسترده از آن را فراهم می‌کند.

مغناطیس‌سنج اتمی RF
RF Atomic Magnetometer

تشخیص نواقص در مقیاس میکرو در مواد و اجسام

هزینه پروژه: ۱.۹ میلیون پوند

۲ دانشگاه

۵ شرکت

The University of Nottingham
UNITED KINGDOM · CHINA · MALAYSIA

Cardiff Metropolitan University

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های سنجش کوانتومی(۵)

چالش فناوری و کارکرد آن

درمان اختلالات مغزی یکی از چالش‌های اساسی در قرن ۲۱ است. بخش اعظم ساختار مغز انسان در چند ماه اول زندگی شکل می‌گیرد و مطالعه این مسیر رشد عصبی و تشخیص و درمان اختلالات عصبی در دوره نوزادی و کودکی بسیار سودمند است. فناوری‌های موجود نظیر MRI ، الکترو/مگنتو آنسفالی(E/MEG) به دلایلی مانند ترسناکی محیط، دقت کم در زمان و مکان و حساسیت پایین برای نوزدان نامناسب هستند.

فناوری مغناطیس‌سنج اپتیکی پمپ شده به عنوان نسل جدید حسگرهای کوانتومی پتانسیل متحول کردن چشم‌انداز تصویربرداری را دارد. این حسگر کوچک و سبک می‌تواند به یک ابزار پوشیدنی(کلاه) بدل شود که عملکرد الکترو فیزیولوژیک مغز را با حساسیت و دقت بی‌نظیر سنجش می‌کند. طراحی این دستگاه به گونه‌ای که مغز نوزاد درآغوش والدین اسکن شود مورد نظر است.

مغناطیس‌سنج اپتیکی پمپ شده

Optically Pumped Magnetometers (OPMs)

تشخیص اختلالات مغزی در نوزادان

هزینه پروژه: ۰.۰۵میلیون پوند

۱ دانشگاه

۱ شرکت

The University of Nottingham

UNITED KINGDOM • CHINA • MALAYSIA

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های سنجش کوانتومی(۶)

چالش فناوری و کارکرد آن

پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ بیش از ۵۰٪ از خودروهای تولید بطور کامل یا جزئی الکتریکی باشند. فناوری کوانتوم برای حل چالش‌های شناخته شده در فرآیند تولید باتری و سلول‌های لیتیومی کاربرد دارد. اندازه‌گیری میدان مغناطیسی با حساسیت بالا توسط فناوری کوانتوم برای سنجش شار جاری در سلول لیتیومی و انجام آزمایش کهنگی(ageing) برای باتری‌های لیتیوم-یون و سدیم-یون بکار می‌رود. این فناوری می‌تواند برای کارخانه‌های تولید باتری خودروسازی تجاری‌سازی شود و کیفیت تولید باتری را بالا ببرد.

حسگر کوانتومی تست باتری انتهای خط
Quantum Sensors for end-of-line battery testing

تست دقیق و قابل اطمینان عملکرد باتری و تشخیص نقص در آن

هزینه پروژه: ۳.۸ میلیون پوند

۲ دانشگاه

۸ شرکت

UNIVERSITY OF SUSSEX

University of Strathclyde Glasgow

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های تصویربرداری کوانتومی(۱)

چالش فناوری و کارکرد آن

سیستم‌های تصویربرداری ۳بعدی و محدوده‌یاب، دوربین‌هایی هستند که بر پایه تشخیص تک فوتون در محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس کار می‌کنند. اطلاعات مورد نظر، با اندازه گیری دقیق زمان پرواز فوتون ها از لیزر سوزنی به جسم و بازگشت به آشکارساز فوتون در دوربین (با دقت زیر نانوثانیه) به دست می‌آید. این سیستم‌ها به عنوان کمک راننده و در خودروهای اتوماتیک کاربرد دارند.

سیستم محدوده یاب و تصویربرداری ۳بعدی

Range finding & 3D-imaging systems

به عنوان کمک راننده و بهبود عملکرد خودروهای اتوماتیک

هزینه پروژه: ۳.۷ میلیون پوند

۴ دانشگاه

۷ شرکت

HERIOT WATT UNIVERSITY

THE UNIVERSITY of EDINBURGH

University of Strathclyde Glasgow

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های تصویربرداری کوانتومی(۲)

چالش فناوری و کارکرد آن

استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت فسیلی در صنعت سبب شده نشت صنعتی این گاز منبع اصلی انتشار کربن و عامل تغییرات آب‌وهوایی شود. برای رفع این چالش، تصویربردار گاز متان بسیار حساس مبتنی بر شمارش زمان‌بندی شده تک فوتون‌ها با ابزارهایی نظیر «آشکارساز انبوه تک فوتون با طول موج مادون قرمز (SWIR SPAD)» و با هزینه کم ساخته می‌شود.

این فناوری عملکرد بسیار خوبی در تشخیص گاز متان دارد اما تنها برای تک گاز متان کاربرد دارد و می‌تواند برای تشخیص چند گاز بطور همزمان توسعه یابد.

فناوری دیگر، معماری مجموعه‌ای از حسگرهای گازی کوانتومی یکپارچه برای سنجش همه گازهای ممکن در یک پکیج و توسعه آن به عنوان یک محصول کامل تحت شبکه اینترنت اشیاء می‌باشد.

University of BRISTOL

Aston University BIRMINGHAM UK

University of Sheffield

حسگر تصویربرداری گاز متان

Gas (Methane) Imagers

کاهش انتشار کربن و تغییرات اقلیمی

هزینه پروژه: ۲.۴ میلیون پوند

۳ دانشگاه

۸ شرکت

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های تصویربرداری کوانتومی(۳)

چالش فناوری و کارکرد آن

تمایز بین بافت سالم و ناسالم در طول جراحی سرطان با کمک فناوری کوانتوم انجام می‌شود. زمانی که بافت سرطانی از بدن خارج می‌شود جراح باید مطمئن شود تمام بافت ناسالم و نواحی مجاور یا حاشیه آن برداشته شده است. لذا حساسیت بسیار بالا برای تمایز بین بافت سالم و ناسالم و بافت نرم و سخت (استخوان) بسیار حیاتی است و باید تصویری ۳بعدی و بسیار دقیق در طول جراحی ، باسرعت بسیار بالا و با اشغال فضایی کم ارائه شود.

این ابزار با استفاده از فناوری کوانتوم(منبع اشعه ایکس و آشکارساز) تصویربرداری ۳بعدی نموده و نرم‌افزاری برای تولید یک تصویر تمایزدهنده با رزولوشن بالا نیاز دارد.

توموسنتز دیجیتال کوانتومی

Quantum Digital Tomosynthesis

تشخیص و برداشت کامل بافت سرطانی در جراحی

هزینه پروژه: ۱.۴ میلیون پوند

۱ دانشگاه

۲ شرکت

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فناوری‌های تصویربرداری کوانتومی(۴)

چالش فناوری و کارکرد آن

نسل جدید از تصویربردار تراهرتزی که با سرعت، حساسیت، ایمنی بالا تصویربرداری نموده و بر اساس مفهوم تبدیل پرتو کم انرژی با طول موج تراهرتز به نور مرئی با استفاده از واکنش غیرخطی مواد نسبت به نور کار می‌کند. این نور مرئی به آسانی با کمک یک فناوری تصویربرداری برای عکسبرداری قابل استفاده است.

این پیشرفت تکنولوژیک مهیج دارای پتانسیل قابل توجهی در ارائه راه‌حل‌های جدید رادیکال برای چالش‌های واقعی و فعلی در صنعت است، به‌ویژه جایی که تکنیک‌های فعلی با تمایز مواد و توان عملیاتی محدود شده‌اند.

Durham University

تصویربردار تراهرتز

Terahertz (THz) imagers

رفع چالش‌های فعلی تصویربرداری در صنعت

هزینه پروژه: ۰.۳۹ میلیون پوند

۱ دانشگاه

۴ شرکت

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

فهرست فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

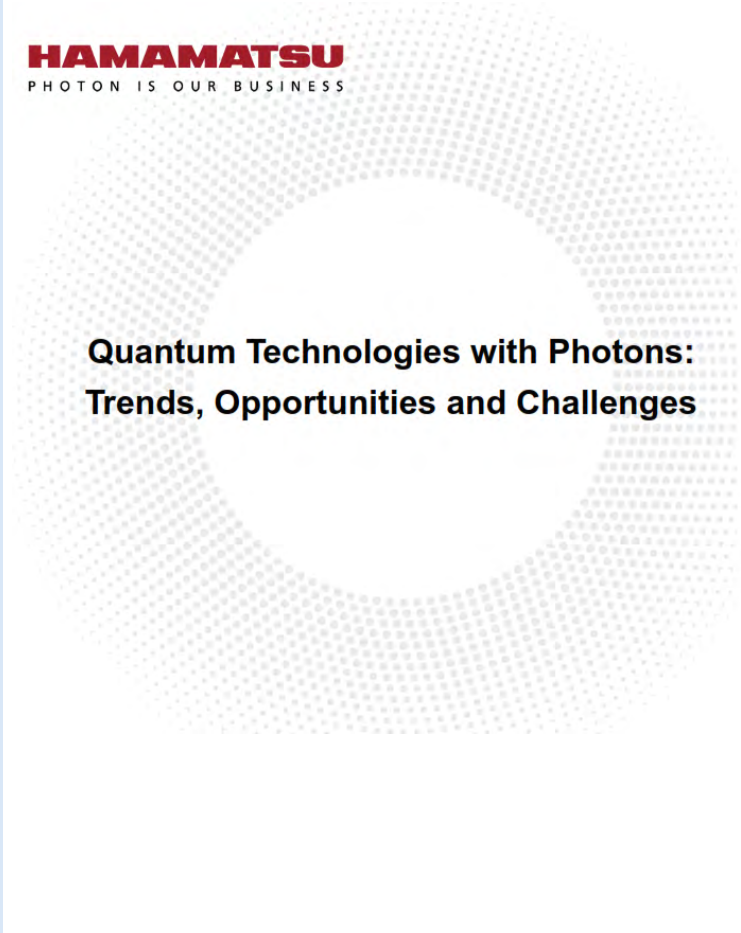
Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

۱۰– فناوری‌های کوانتوم با فوتون

HAMAMATSU

PHOTON IS OUR BUSINESS

چالش‌های فناوری کوانتوم



☑ **عنوان گزارش:**

فناوری‌های کوانتوم با فوتون

روندها، فرصت‌ها و چالش‌ها

☑ **ناشر:**

شرکت هاماماتسو

(شرکت ژاپنی در حوزه فوتونیک تاسیس شده در سال ۱۹۵۳ با بیش از ۵هزار نیروی کار و چندین شرکت تابعه در ۱۶ کشور)

☑ **سال نشر:** ۲۰۲۲

☑ **افق زمانی:** –

☑ **هدف و مخاطبین:**

معرفی فناوری‌های کوانتوم مبتنی بر فوتونیک

۴ دسته اصلی فناوری‌های کوانتوم

۱.پردازش و شبیه‌سازی کوانتومی

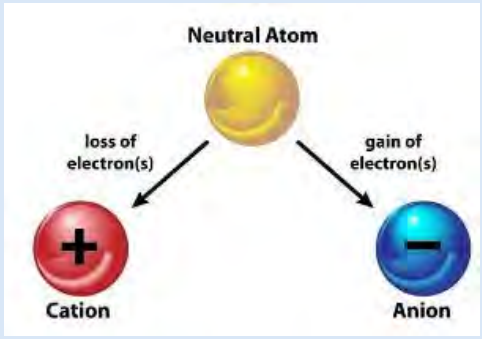
۲.مخابرات کوانتومی

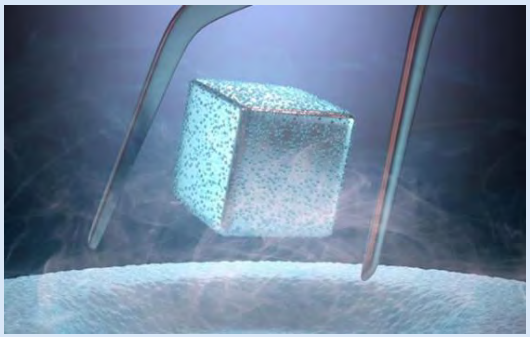
۳. سنجش کوانتومی

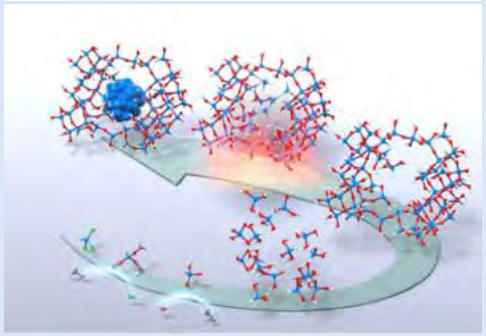
۴.پژوهش بنیادین

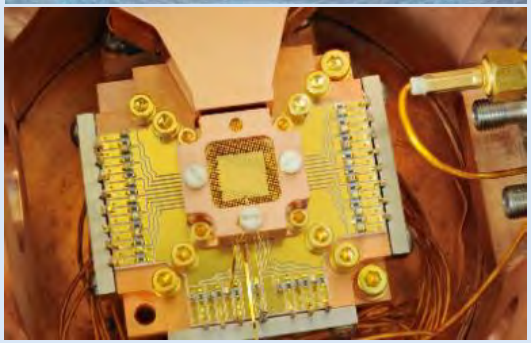
Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

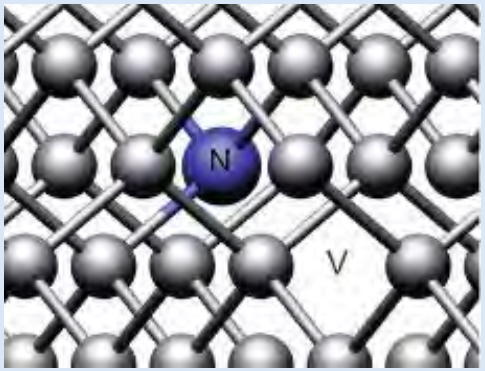
۱.انواع فناوری پردازش و شبیه‌سازی کوانتومی











پردازش و شبیه‌سازی کوانتومی

☑ پردازشگر کوانتومی[۱]

- گره‌کوانتومی‌سیلیکونی
- ابررسانایی
- یون به‌دام افتاده
- اتم خنثی
- فوتونیک
- خلا نیتروژن
- توپولوژیکی

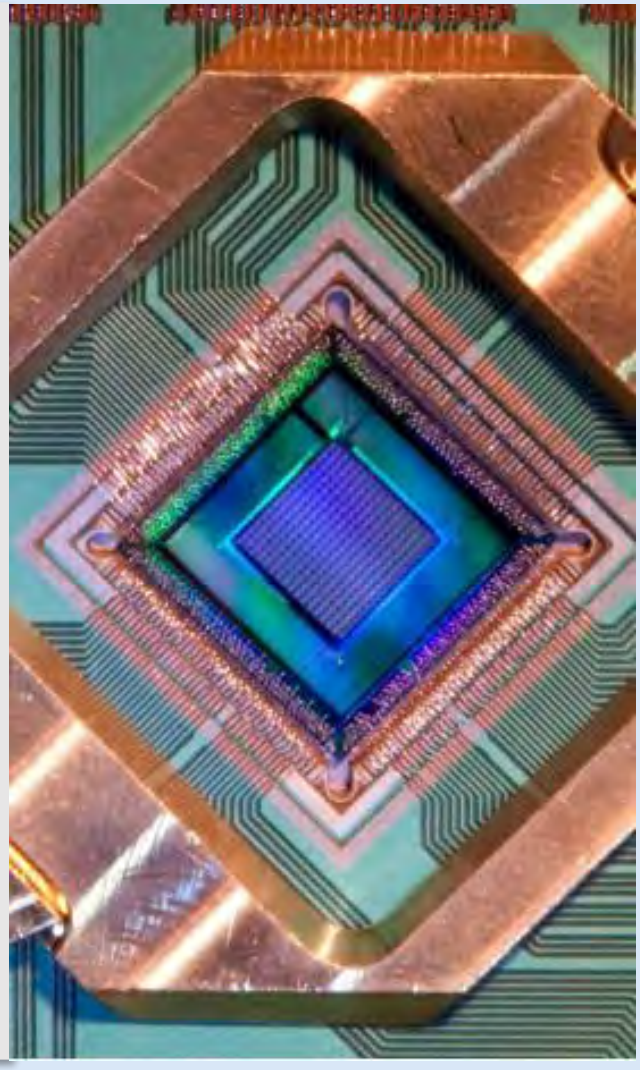
☑ بازپخت کوانتومی[۲](Annealing)

☑ شبیه‌ساز کوانتومی[۳]

- اتم خنثی

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

۱–۱.تعریف فناوری‌های کوانتوم در حوزه پردازش و شبیه‌سازی



۱. پردازشگر کوانتومی مبتنی بر گره‌کوانتومی سیلیکونی، ابررسانا، یون‌های در تله، خلانیتروژن، فوتون و توپولوژیکال

گره کوانتومی سیلیکونی: خوشه‌هایی کوچک از اتم‌های سیلیکونی در اندازه چند نانومتر هستند که با تحدید الکتروستاتیکی به دام افتاده و قابلیت کیوبیت را نشان می‌دهند. **مزیت:** قابلیت تجمیع با سیستم‌های الکترونیکی برپایه سیلیکون

ابررسانا: ابررساناها جریان الکتریسیته را بدون مقاومت و در دمای بسیار پایین هدایت می‌کنند و با ایجاد مدارهای مجتمع بسیار منسجم کوانتومی ابزار مناسبی برای استفاده به عنوان کیوبیت هستند. **مزیت:** روش استاندارد تولید و مقیاس‌پذیری

یون‌های در تله: یون‌ها اتم‌های بارداری هستند که با کمک میدان الکترومغناطیسی به دام افتاده و با پرتو لیزر دستکاری می‌شوند و به عنوان کیوبیت استفاده می‌شوند. **مزیت:** زمان طولانی نگهداشت حالت کوانتومی و دقت بالا

خلاءنیتروژن: نقص اتم‌ها در ساختار شبکه‌ای کریستال الماس و جایگزینی کربن با نیتروژن خلا نیتروژن نام دارد که با استفاده از پالس نوری و میکروموج دستکاری شده و بعنوان کیوبیت کاربرد دارند.مزیت: زمان طولانی نگهداشت حالت کوانتومی‌ودقت بالا

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

۱-۲.تعریف فناوری‌های کوانتوم در حوزه پردازش و شبیه‌سازی(۱)

فوتونیک: با برانگیخته سازی اتم با لیزر، فوتون آزاد شده و به عنوان کیوبیت استفاده می‌شود. **مزیت:** سرعت بسیار بالا وکارآیی

توپولوژیکال: نوعی‌پردازشگر کوانتومی نظری است که از حالت‌های ساختاری ماده برای ایجاد و دستکاری کیوبیت استفاده می‌شود. **مزیت:** تحمل خطای بالا و تصحیح خطا

۲. بازپخت (گرم و سرد کردن کنترل شده) کوانتومی (Annealing)

یک روش پردازش کوانتومی برای حل مسائل بهینه‌سازی است که از حالت ساده و معلوم شروع و با تغییر پارامتر همیلتونی در سیستم تدریجا به حالت پیچیده تکامل می‌یابد و در نهایت در حالت کم‌انرژی قرار می‌گیرد که متناظر با راه حل بهینه مسئله بهینه‌سازی است.

۳. شبیه‌ساز کوانتومی با اتم خنثی

ابزاری که با دستکاری ویژگی‌های اتم خنثی، به مطالعه رفتار سایر سیستم‌های کوانتومی می‌پردازد. تعدادی از اتم‌های خنثی با استفاده از لیزر در تله می‌اندازند و با کنترل وضعیت اتم‌ها به وسیله میدان مغناطیسی و پرتو لیزر، سیستم کوانتومی مطلوب را ایجاد می‌کنند.

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

۲.انواع فناوری مخابرات کوانتومی

مخابرات کوانتومی

- ☑ رمزنگاری پساکوانتومی[۴]
- ☑ مولدعددتصادفی کوانتومی[۵]
- ☑ توزیع کلید کوانتومی[۶]
  - متغیر پیوسته
  - متغیر گسسته/بدون‌درهم‌تنیدگی
  - متغیر گسسته/بادرهم‌تنیدگی
  - ابعاد بالا
- ☑ شبکه کوانتومی
  - تکرار کننده کوانتومی
  - بافر/حافظه کوانتومی

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

۲–۱.تعریف فناوری‌های کوانتوم در حوزه مخابرات

۴. رمزنگاری پساکوانتومی

الگوریتم‌های رمزنگاری برای مقابله با حملات کامپیوترهای کوانتومی نظیر کلید-متقارن، کلید-عمومی و رمزنگاری‌شبکه‌محور که مبتنی بر مسائل ریاضی هستند که حل آن‌ها برای کامپیوترهای کوانتومی مشکل است.

۵. مولد عدد تصادفی کوانتومی

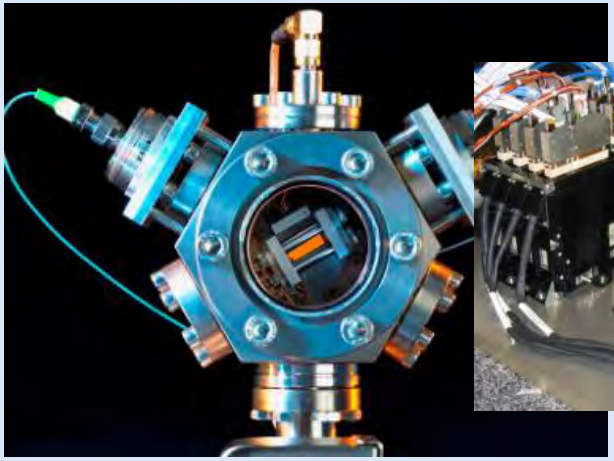
ابزار تولید عدد تصادفی بر اساس ماهیت غیرقابل پیش‌بینی پدیده‌های کوانتومی نظیر نوسانات تصادفی نور و چرخش ذره که در رمزنگاری، شبیه‌سازی و پژوهش‌های علمی کاربرد دارد.

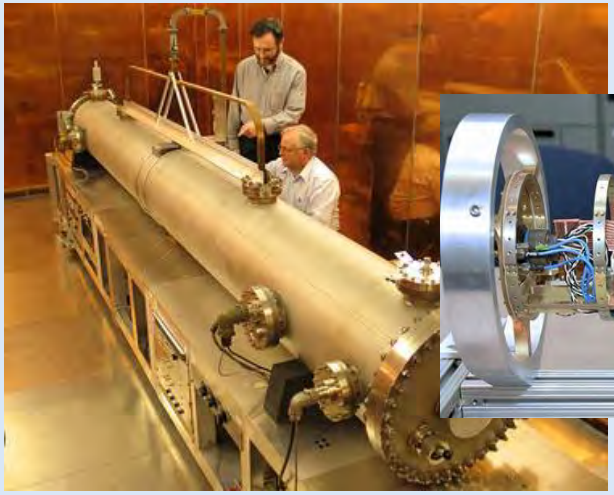
۶. توزیع کلید کوانتومی

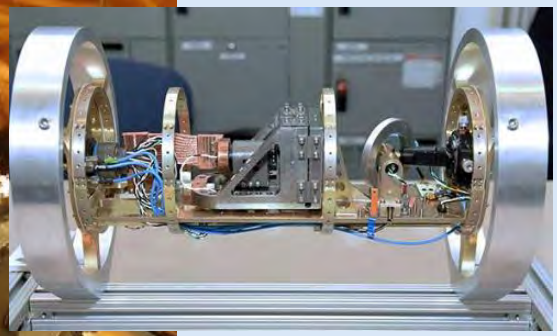
ک پروتکل رمزنگاری مبتنی بر اصول مکانیک کوانتومی وویژگی‌های تک فوتون یا فوتون درهم‌تنیده در حالت‌های مختلف کوانتومی است. دریافت اطلاعات از طریق سنجش فاز یا قطبش رشته‌ای تصادفی از فوتون‌ها در مقصد انجام می‌شود و هر نوع تلاش برای شنود اطلاعات باعث تغییر حالت فوتون‌ها و آگاهی فرستنده و گیرنده خواهد شد.

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

۳.انواع فناوری سنجش کوانتومی







سنجه‌شناسی و سنجش کوانتومی

☑ **متغیرفیزیکی**

فشار

میدان مغناطیسی

میدان الکتریکی

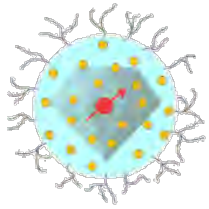
☑ **زمان‌سنج دقیق**

☑ **اینرسی**

چرخش‌سنج

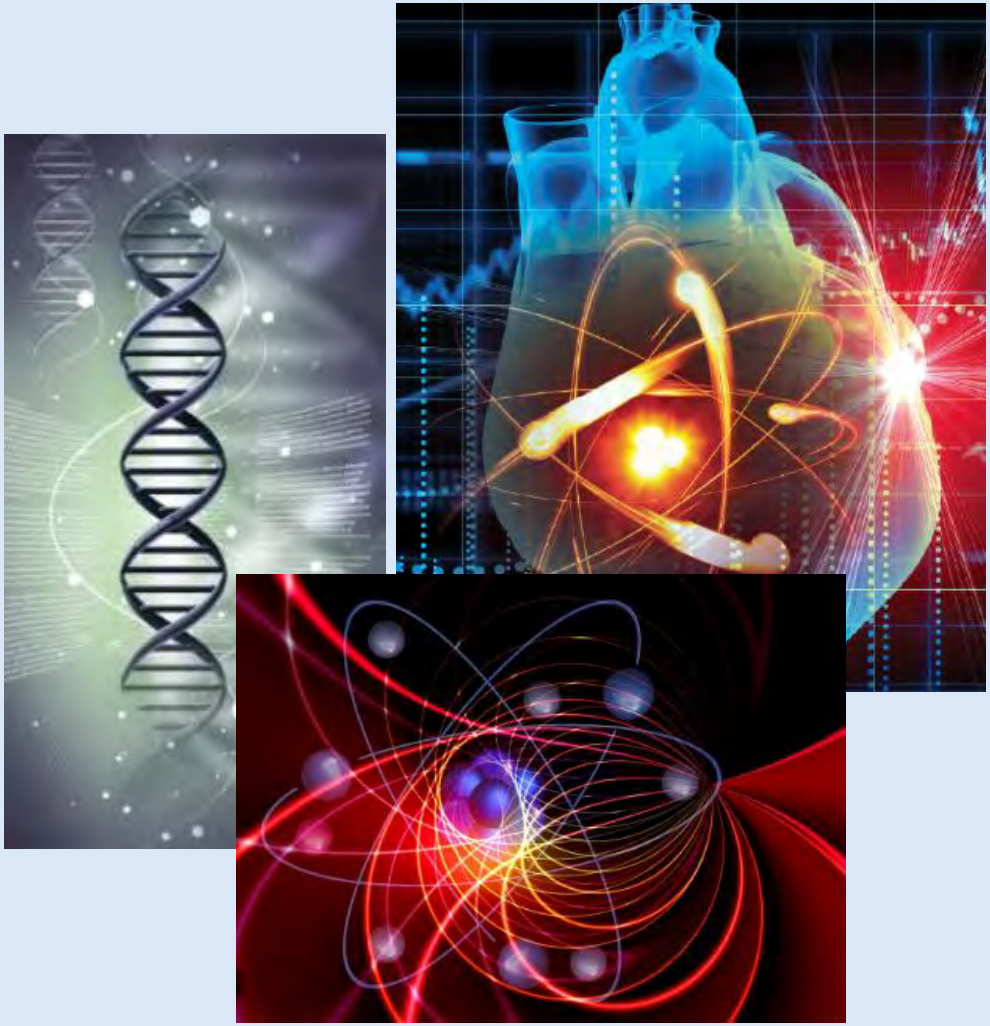
شتاب‌سنج

گرانش‌سنج



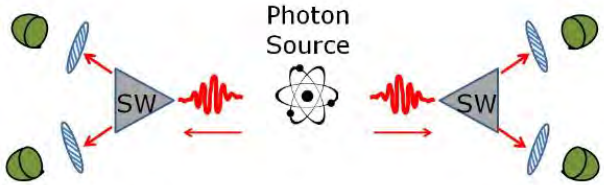
Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

۴.اهداف پژوهش بنیادین در کوانتوم



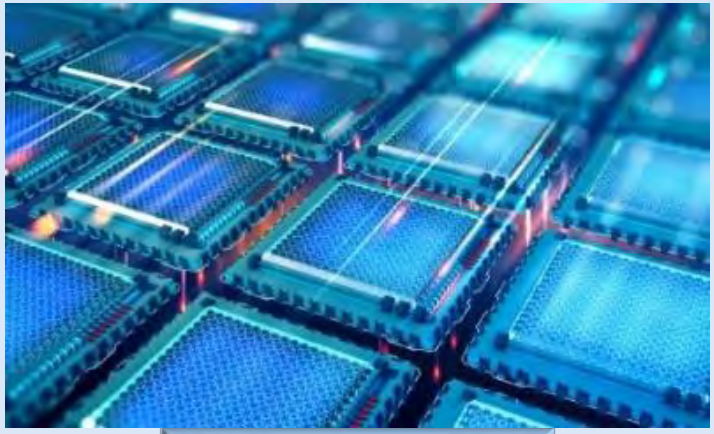
پژوهش بنیادین

- ☑ تصویربرداری و کوانتوم اپتیکی
- ☑ زیست‌شناسی کوانتومی
- ☑ منبع تک فوتون
- ☑ منبع فوتون درهم تنیده



Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

نقش فوتونیک در فناوری‌های کوانتومی



مخابرات کوانتومی

فوتون به عنوان یک حامل امن اطلاعات به ویژه در فواصل طولانی عمل می کند و این توانایی را دارد که استراق سمع را بلافاصله اطلاع دهد.

پردازش و شبیه‌سازی کوانتومی

فوتونیک امکان محدود کردن کیوبیت‌ها(مانند اتم‌ها) در آرایه‌ها و تشخیص حالت کیوبیت (۰ یا ۱) را با استفاده از فلورسانس کم نور از یون‌ها و اتم‌ها ایجاد می‌کند.

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

نقش فوتونیک در فناوری‌های کوانتومی(۱)

سنجش کوانتومی

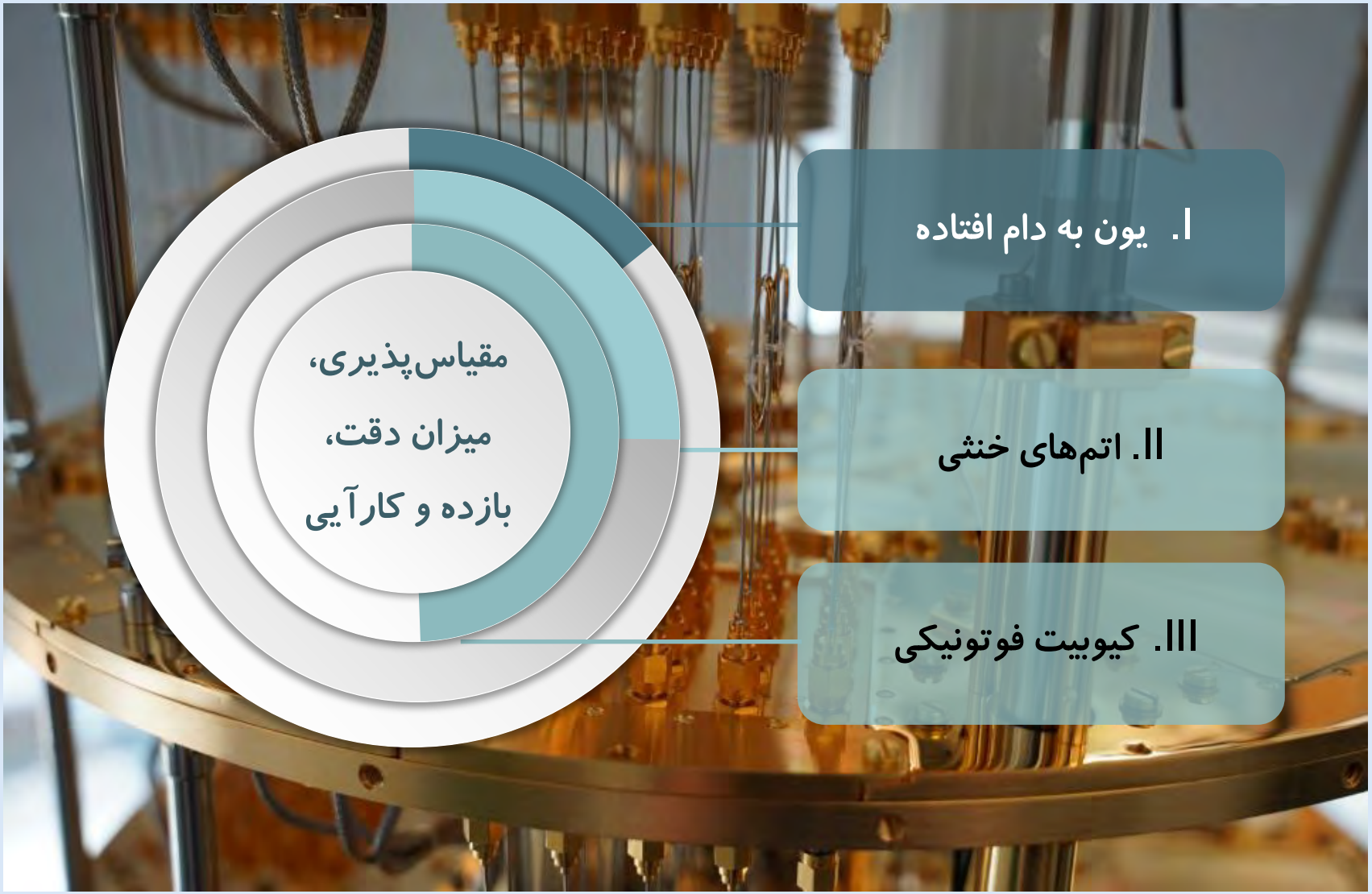
کاوش دقیق محیط با اندازه‌گیری (متغیرهای الکتریکی، مغناطیسی، و گرانشی)، زمان‌سنجی و مکان‌یابی و انتقال اطلاعات بدست آمده با کمک فلوئورسنس(خلانیتروژن، اتم یا یون)

پژوهش بنیادین

فوتون‌ها می‌توانند خواص پدیده‌های کوانتومی نظیر درهم‌تنیدگی را از طریق آشکارسازی و تصویربرداری توصیف کنند.

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

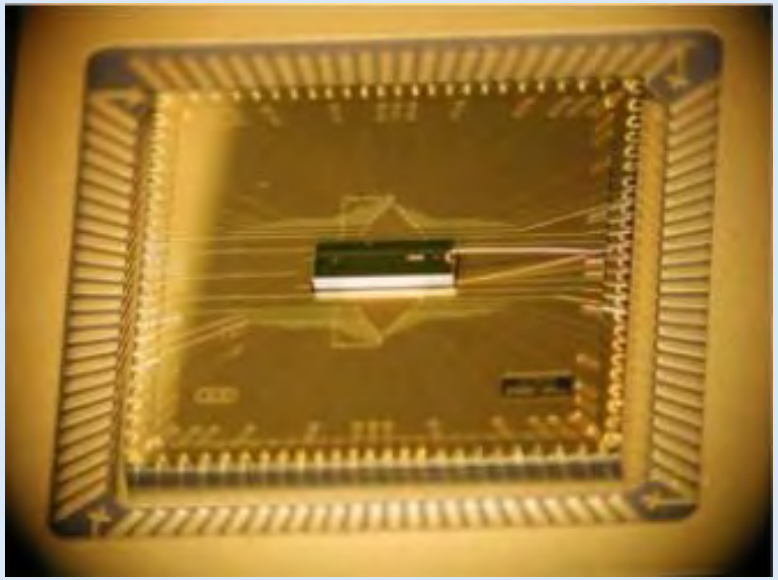
کاربرد فوتون در پردازش و شبیه‌سازی کوانتومی



Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

ا. اجزای پردازش کوانتومی با فناوری یون به دام افتاده

اجزای فوتونیکی مورد نیاز در پردازش کوانتومی مبتنی بر یون به دام افتاده



- ☑ **لیزر:** سرد کردن یون، راه‌اندازی و بازخوانی وضعیت یون
- ☑ **مدولاتور:** کنترل و جهت‌دهی یون‌ها با پرتو لیزر
- ☑ **ابزارهای اپتیکی:** بزرگ کردن یون‌ها
- ☑ **آشکارساز و دوربین شمارش تک فوتون:** تشخیص یون و تصویربرداری از وضعیت آن

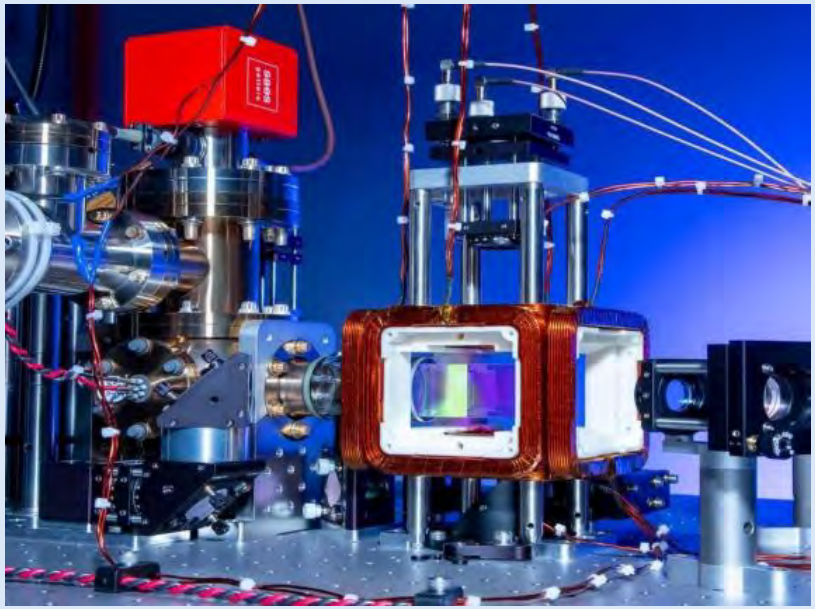
راه‌اندازی یون به‌دام‌افتاده:

یون‌ها در خلا فوق‌العاده بالا و در دمای بسیار پایین در تله‌ها (مانند تله پنینگ و تله پل) کار می‌کنند و توسط میدان الکتریکی محدود و کنترل می‌شوند.

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

II. اجزای پردازش کوانتومی با فناوری اتم خنثی

اجزای فوتونیکی مورد نیاز در پردازش کوانتومی مبتنی بر اتم خنثی



- ☑ لیزر: تله‌گذاری نوری، بازآرایی اتم‌ها، عملیات خنک‌سازی و پمپاژ نوری و عملیات گیت
- ☑ مدولاتور: ایجاد سایت های تله نوری، آدرس دهی کیوبیت، مرتب‌سازی اتم ها، تنظیم مدت زمان و شدت پالس لیزر
- ☑ دوربین: آشکارسازی و تصویربرداری از وضعیت یون

راه‌اندازی اتم خنثی:

اتم خنثی در تله نوری مغناطیسی(MOT) یا سلول خلا فوق‌العاده بالا کار می‌کند که در آن اتم‌ها با استفاده از انبرک‌های نوری در آرایه‌ها محدود می‌شوند.

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

III. اجزای پردازش کوانتومی با کیوبیت فوتونیکی

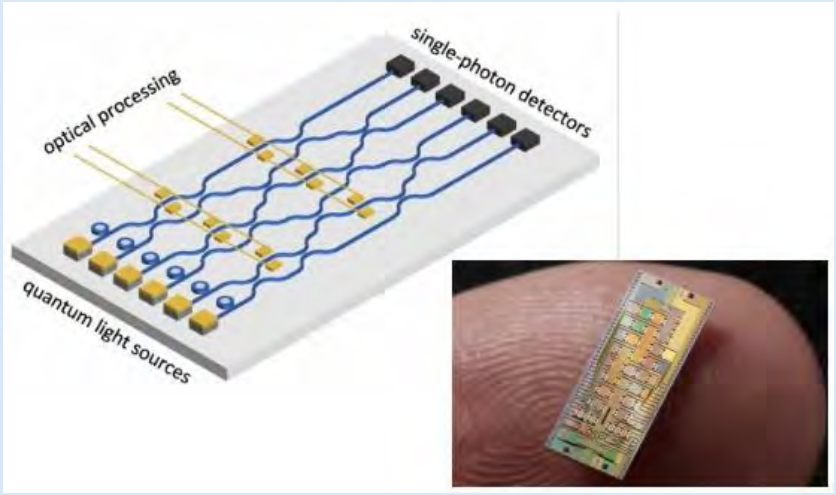
اجزای فوتونیکی مورد نیاز در پردازش کوانتومی مبتنی بر کیوبیت فوتونیکی

- ☑ **منابع فوتون:** تولید فوتون با حالت‌های مختلف

  لیز: منبع پمپاژ نور احتمالی، لیزر برانگیختگی در منبع قطعی فوتون

- ☑ **قطعات فوتونیکی اکتیو و پسیو:** موجبر، تجمیع‌کننده(کوپلر) و تغییرفازدهنده برای دستکاری فوتون‌ها

- ☑ **آشکارساز تک‌فوتون و آشکارساز شمارنده فوتون:** آشکارسازی حالت فوتون



پلتفرم فوتونیک کوانتومی یکپارچه (همه اجزاء روی تراشه)

راه‌اندازی کیوبیت فوتونیکی:

منبع، پرتوشکن، موجبر و آشکارساز همگی روی یک تراشه کوچک قرار می‌گیرند. کیوبیت با استفاده از خواص ویژه فوتون ساخته می‌شود(نظیر روش رمزگذاری دوخطی، بن‌های زمانی(time bins) و غیره)

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

اجزای مخابرات کوانتومی و کاربرد فوتونیک در آن

☑ مولد عدد تصادفی کوانتومی

- تولید عدد واقعا تصادفی با بهره‌گیری از بی‌نظمی موجود در سیستم کوانتومی که در پروتکل توزیع کلید کوانتومی کاربرد دارد.
- نمونه قطعات فوتونیکی: LED و حسگر تصویری

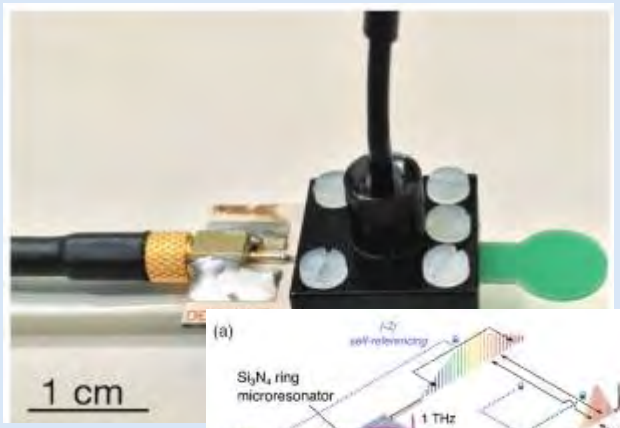
☑ توزیع کلید کوانتومی

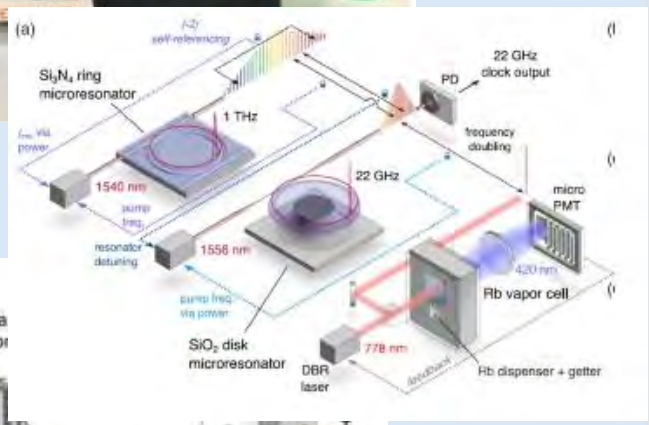
- شبکه کوانتومی زمینی: محدودیت فاصله به دلیل تلفات در فیبر نوری و کمبود تکرارکننده کوانتومی
- شبکه کوانتومی ماهواره‌ای/فضایی: محدودیت دریچه پرتاب نور و تلفات در فواصل انتقال
- نمونه قطعات فوتونیکی: لیزر، منبع فوتون، فوتودیود، آشکاساز تک فوتون

(معیار توسعه فوتونیک در مخابرات کوانتومی: حفظ فوتون و سطح انرژی آن در فواصل دور)

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

اجزای سنجش کوانتومی و کاربرد فوتونیک در آن





☑ مغناطیس‌سنج

- اندازه‌گیری دقیق میدان مغناطیسی مبتنی بر وابستگی شدت فلوئورسنس خلاءنیتروژن به قدرت میدان مغناطیسی موجود با استفاده از لیزر، فوتودیود، آشکارساز تک فوتون

☑ ساعت اتمی نوری

- استفاده از گذرها (تغییرحالت‌های)خاص در اتم به عنوان استاندارد سنجش زمان با بکارگیری ابزارهایی نظیر لیرز، فوتودیود، آشکارساز تک فوتون، شانه فرکانسی

☑ گرانش‌سنج

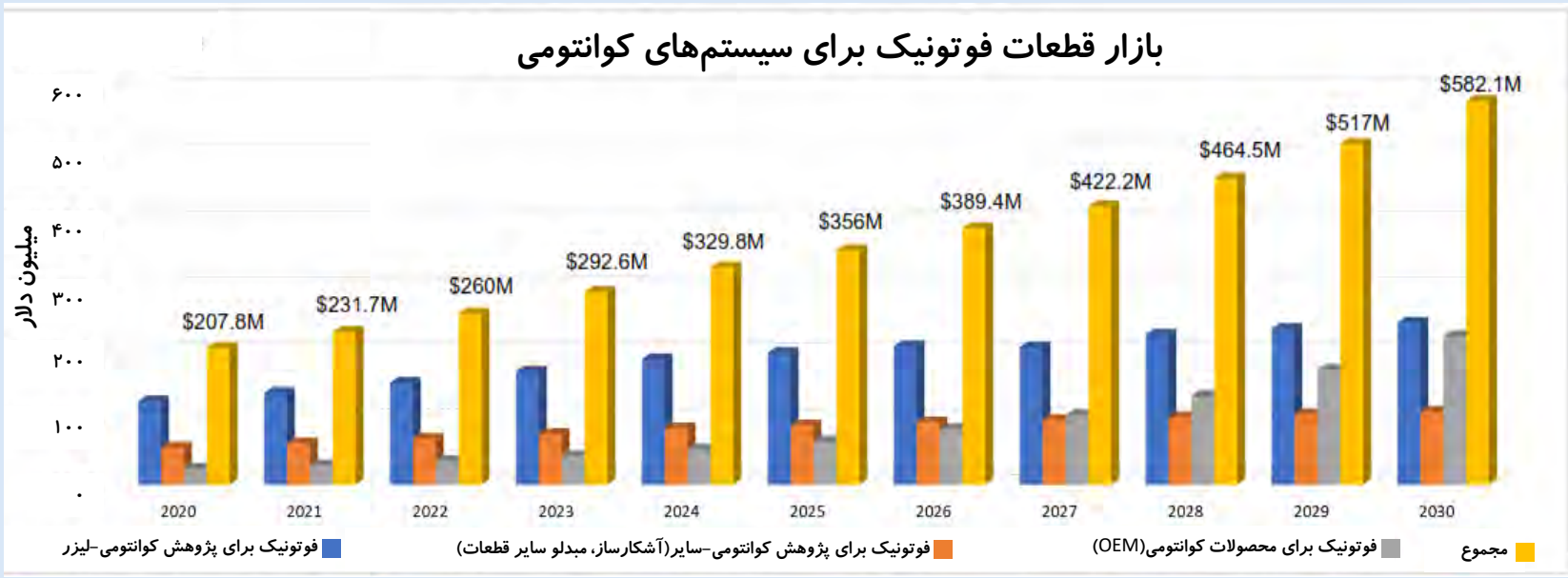
- اندازه‌گیری دقیق ضریب زاویه میدان گرانشی با بکارگیری ابری از اتم‌های سرد و فلوئورسانس آن‌ها با ابزارهایی نظیر لیزر و فوتودیودها

(معیار توسعه ابزارها: اندازه، وزن، قدرت،هزینه)

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

وضعیت بازار قطعات فوتونیک در سیستم های کوانتومی

- ☑ بازار سیستم‌های کوانتومی رونق چندانی ندارد ولی بازار قطعات فوتونیک در حال رشد و پررونق است.
- ☑ بیش از ½ از هزینه مواد سیستم های کوانتومی صرف لیزر می شود، بقیه بین آشکارسازها، مبدل‌ها و سایر اجزا تقسیم می شود.
- ☑ در حال حاضر بزرگترین بازار برای قطعات فوتونیک، پژوهش است اما پیش‌بینی می‌شود از سال ۲۰۲۵ بازار قطعات فوتونیک برای محصولات کوانتومی رشد بسیار خوبی داشته باشد.



Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

چالش‌های فوتونیک در فناوری کوانتوم

☑ ساخت تراشه یکپارچه شامل همه قطعات فوتونیکی

- تولید مقرون به صرفه مدارهای مجتمع فوتونیکی در مقیاس بالا(در صورت وجود تقاضای کافی) و تجمیع کلیه قطعات لازم در یک تراشه چالش مهمی محسوب می‌شود.

☑ ساخت یک منبع فوتون با چندین کاربرد

- منابع تک فوتون فعلی تنها برای توزیع کلید کوانتومی و برخی پردازش‌های کوانتومی فوتونیکی کاربرد دارند و همه ویژگی‌های لازم برای کاربردهای متنوع را ندارند.

☑ بهبود آشکارسازهای محدوده مادون قرمز مانند InGaAs برای کاربرد در مخابرات کوانتومی

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

فهرست فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

1	پردازش و شبیه‌سازی کوانتومی	• بازپخت کوانتومی • شبیه‌ساز کوانتومی با اتم خنثی • آشکارساز/شمارنده تک فوتون	• پردازشگر کوانتومی مبتنی بر گره کوانتومی سیلیکونی، ابررسانا، یون در تله، خلانیتروژن، فوتون و توپولوژیکال
2	مخابرات کوانتومی	• شبکه کوانتومی مبتنی بر تکرارکننده کوانتومی • بافرها/حافظه کوانتومی	• رمزنگاری پساکوانتومی • مولد عدد تصادفی کوانتومی • توزیع کلید کوانتومی
3	سنجش کوانتومی	• زمان‌سنج بسیار دقیق • شتاب‌سنج کوانتومی • گرانش/چرخش‌سنج کوانتومی	• فشار سنج کوانتومی • میدان مغناطیسی‌سنج کوانتومی • میدان الکتریکی‌سنج کوانتومی
4	پژوهش بنیادین	• تصویربرداری کوانتومی	• منبع تک فوتونن قطعی/احتمالی • منبع فوتون‌های درهم‌تنیده

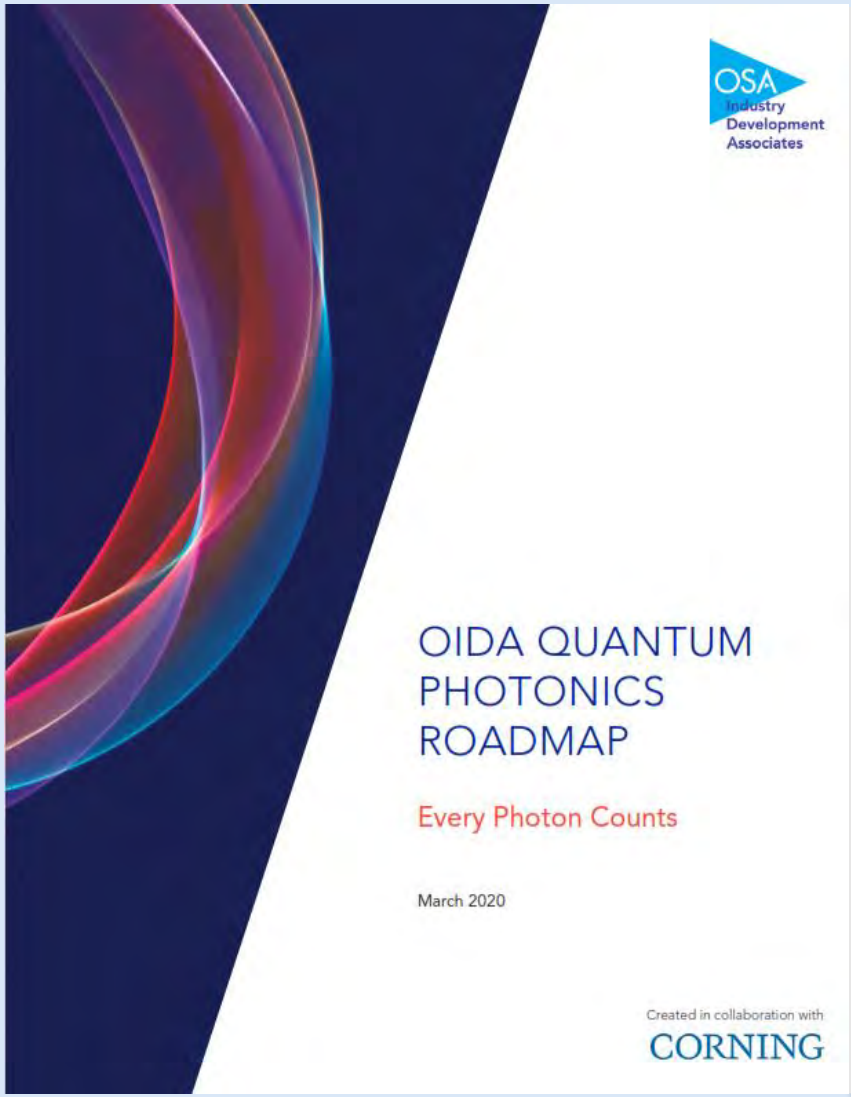
Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

۱۱– نقشه راه فوتونیک کوانتومی

OSA Industry Development Associates

OPTICA

چالش‌های فناوری کوانتوم



☑ **عنوان گزارش:**

نقشه راه فوتونیک کوانتومی

☑ **ناشر:**

انجمن توسعه صنعت

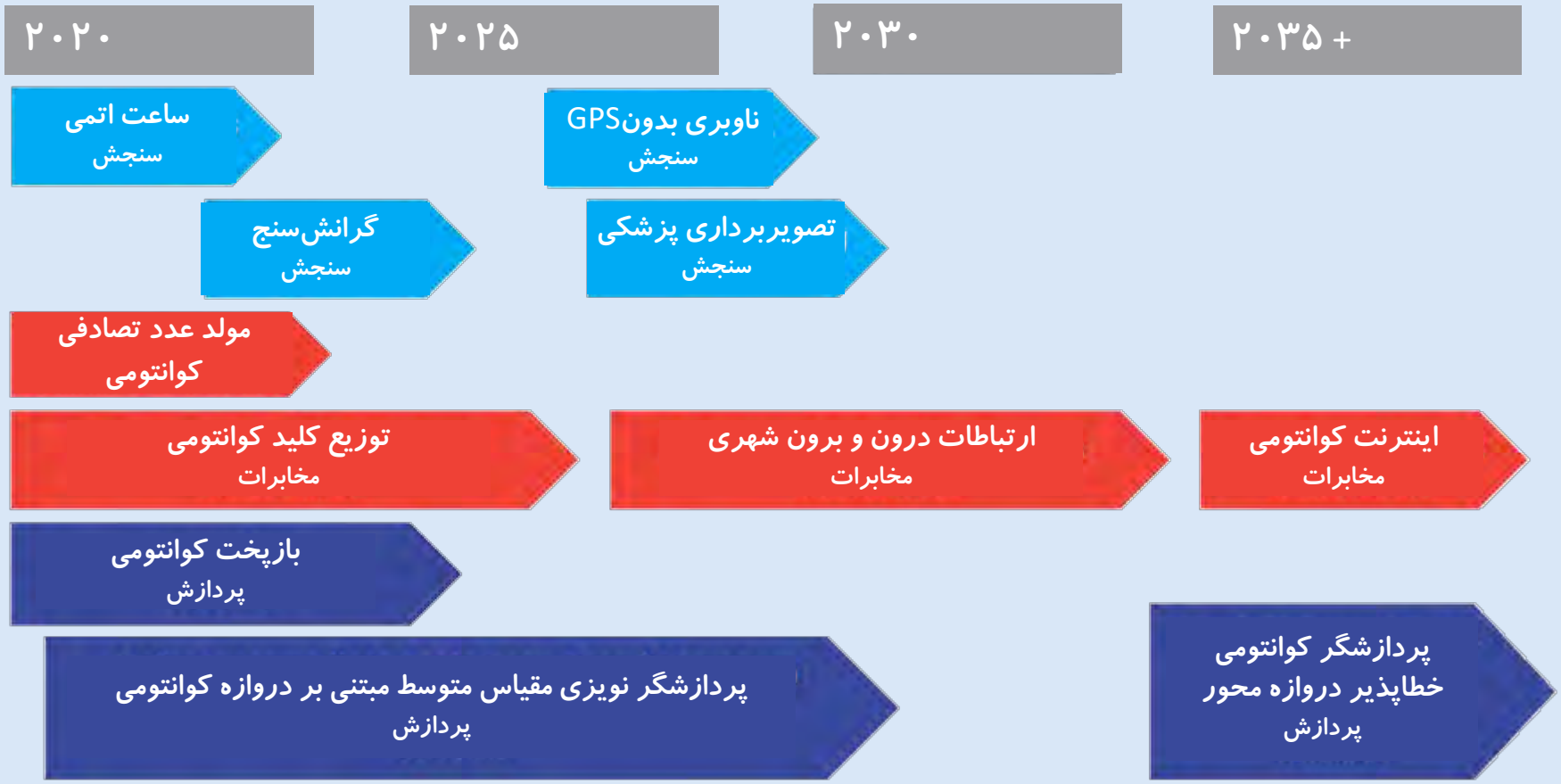
☑ **سال نشر: ۲۰۲۰**

☑ **افق زمانی: –**

☑ **هدف و مخاطبین:**

تبیین فرصت‌های بالقوه بازار فناوری‌های کوانتوم در ۳ حوزه پردازش، مخابرات و سنجش و پیشرفت‌های مورد نیاز در قطعات نوری و فوتونیکی برای توسعه فناوری کوانتوم

خط سیر زمانی فناوری‌های کوانتوم



OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

کاربردهای فناوری کوانتوم

پردازش	ارتباطات	سنجش	بازار مقصد
بهینه‌سازی شبکه	رمزنگاری	ساعت برای همگام‌سازی	مخابرات
اکتشاف دارو	نگهداشت بلندمدت اطلاعات بیمار	بهبود تصویربرداری مغز	پزشکی
تحلیل محل حفاری؛ لجستیک توزیع نفت	پشتیبانی از زیرساخت‌های حیاتی	تصویربرداری از درون زمین	نفت و گاز
مدیریت سبد سهام	معاملات ایمن	ثبت زمان دقیق تبادلات تجاری	امور مالی
شبیه‌سازی مواد در ساخت باتری؛ بهینه‌سازی ترافیک	رمزنگاری وسایل نقلیه متصل به هم	ناوبری با کمک GPS لیدار کوانتومی	حمل و نقل

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

معیارهای توسعه فناوری‌های کوانتوم

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

عوامل کلیدی توسعه فناوری کوانتوم

سرمایه‌گذاری

سرمایه‌گذاری دولتی و خصوصی مستمر در حمایت از تحقیق و توسعه

نیروی کار

آموزش افراد با استعداد و جبران کمبود نیروی کار کوانتومی در آینده

سخت‌افزار

بهبود عملکرد، کاهش هزینه، توسعه زنجیره تامین برای قطعات

نرم افزار

تصحیح خطا، توسعه الگوریتم، بسته‌های نرم‌افزاری و....

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

اقدامات کشورها برای توسعه فناوری کوانتوم

سند برنامه ملی توسعه کوانتوم در سال ۲۰۱۸
به مدت ۵ سال و بودجه ۱.۲ میلیارد دلار

سرمایه‌گذاری یک میلیارد دلاری کانادا در ۱۰
سال گذشته در حوزه کوانتوم

برنامه برتر کوانتوم اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۸ به
مدت ۱۰ سال و با بیش از ۱میلیارد یورو بودجه

سرمایه‌گذاری بیش از ۱میلیارد دلاری چین در
حوزه کوانتوم از سال ۲۰۱۷

سرمایه‌گذاری بیش از ۱میلیارد پوندی انگلیس
در حوزه کوانتوم از سال ۲۰۱۳

تخصیص بیش از ۳۰ میلیارد ین در ژاپن به
برنامه ۱۰ ساله توسعه کوانتوم از سال ۲۰۱۸

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

قطعات فوتونیکی مورد نیاز در فناوری سنجش کوانتومی

سنجش کوانتومی

مخابرات کوانتومی

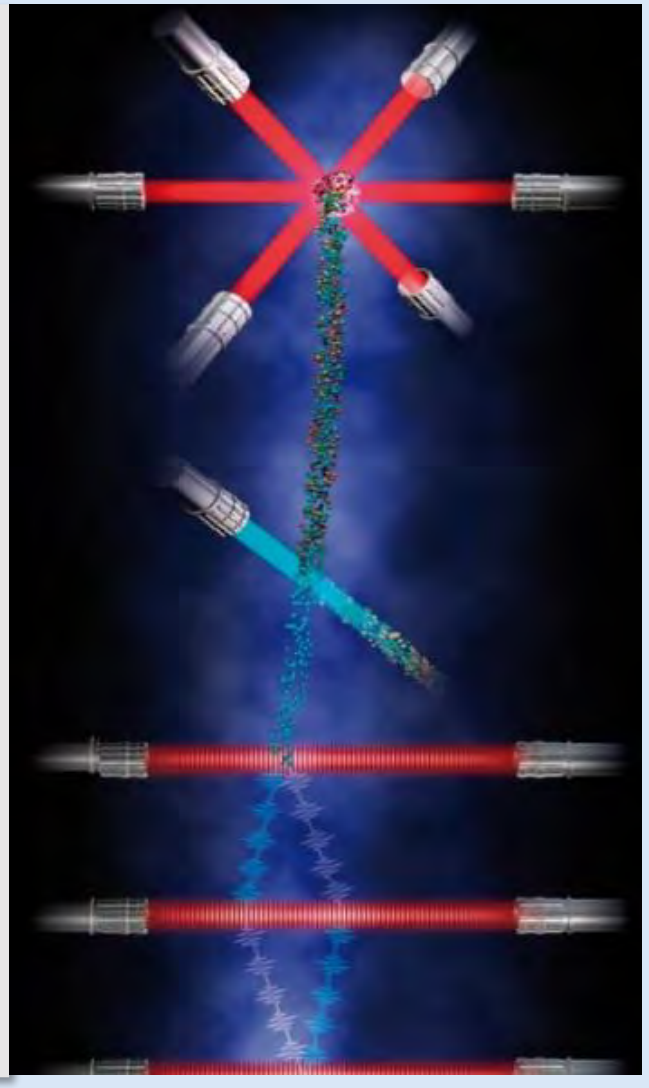
پردازش کوانتومی

نوع فناوری / قطعات مورد نیاز	ساعت اتمی	تداخل‌سنج اتمی	حسگر مرکز خلاء نیتروژن	لیدارکوانتومی
لیزر	■	■	■	
منبع تک‌فوتون یا فوتون درهم‌تنیده				■
آشکارساز تک فوتون				■
آشکارساز فوتون هترودین و هومودین	■	■	■	
موج‌بر فوتونیکی مجتمع و فیبری	□	□	□	□
مدولاتور	■	■	□	□
ترادیسنده و مبدل	در صورت استفاده در شبکه مورد نیاز است			
حافظه یا تکرارکننده				

■ قطعه حتما مورد نیاز است. □ ممکن است قطعه در شرایطی مورد نیاز باشد.

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

تعریف فناوری‌های سنجش کوانتومی



۱. ساعت اتمی

در ساعت اتمی از فرکانس تغییرات فوق ظریف حالت در اتم به عنوان مرجع استاندارد زمانی استفاده می‌شود. لیزر، آشکارساز فوتون هترودین و هومودین و مدولاتورها، قطعات نوری و فوتونیکی لازم برای ساخت ساعت اتمی هستند.

۲. تداخل‌سنج اتمی

از تداخل سنج اتم سرد برای ساخت ابزارهای سریع و دقیق اندازه‌گیری متغیرهایی نظیر گرانش، اینرسی و چرخش استفاده می‌شود. این با اندازه‌گیری الگوی تداخل امواج ماده اتمی که در مسیرهای مختلف حرکت می کنند، انجام می‌شود. لیزر و آشکارساز فوتون منسجم و مدولاتور اجزای اصلی این فناوری است.

۳. مراکز خلاء نیتروژن

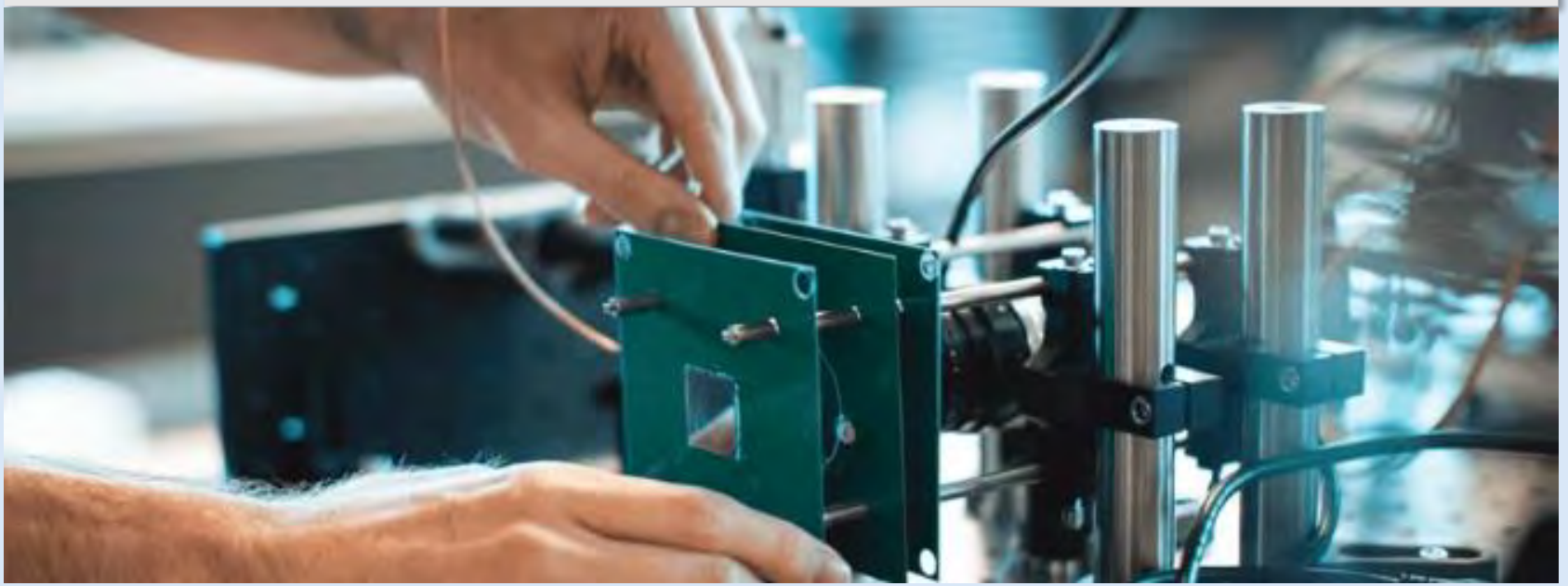
از رفتار نقاط خالی از نیتروژن در کریستال‌های مصنوعی الماس برای اندازه‌گیری متغیرهایی نظیر میدان مغناطیسی و الکتریکی، کشش و دما استفاده می‌شود. این کار با اندازه‌گیری تغییر شدت فلورسانس منتشر شده توسط مراکز خلا نیتروژن در شبکه الماس انجام می‌شود.

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

تعریف فناوری‌های سنجش کوانتومی(۱)

۴. لیدار کوانتومی (آشکارسازی و فاصله‌سنجی با نور)

در این ابزار از پرتاب فوتون‌های درهم‌تنیده به سمت اجسام و سنجش تغییرات آن‌ها پس از بازگشت استفاده می‌شود. هدایت خودروهای خودران، تهیه عکس‌های بسیار با کیفیت برای تشخیص نشتی گاز متان و دی‌اکسیدکربن و تهیه نقشه ۳بعدی از اشیاء و محیط، از کاربردهای شاخص این فناوری است. آشکارساز تک فوتون و منبع فوتون‌های درهم‌تنیده از قطعات مورد استفاده در لیدار کوانتومی است.



OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

قطعات فوتونیکی مورد نیاز در فناوری مخابرات کوانتومی

سنجش کوانتومی

مخابرات کوانتومی

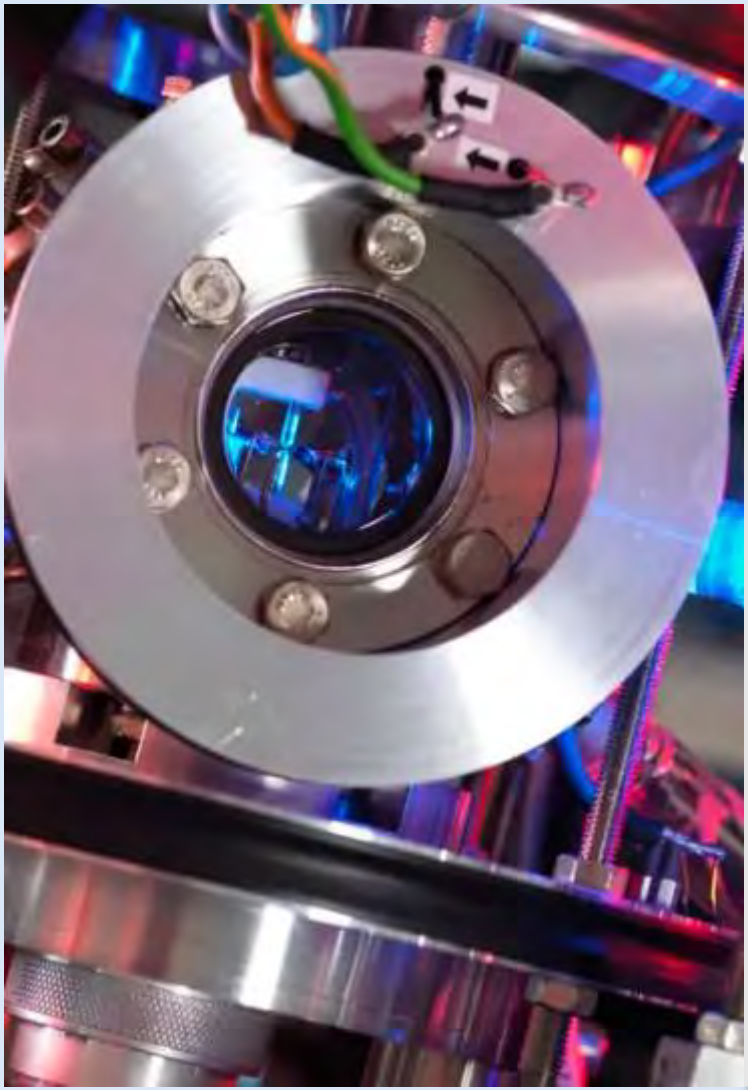
پردازش کوانتومی

نوع فناوری / قطعات مورد نیاز	QKD متغیر پیوسته	QKD متغیر گسسته	QKD مبتنی بر درهم‌تنیدگی
لیزر	■		
منبع تک‌فوتون یافوتون درهم‌تنیده		■	■
آشکارساز تک فوتون		■	■
آشکارساز فوتون هترودین و هومودین	■		
موج‌بر فوتونیکی مجتمع و فیبری	■	■	■
مدولاتور	■	■	
ترادیسنده (Tranducer) و مبدل			
حافظه یا تکرارکننده	■	■	■

■ قطعه مورد نیاز است.

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

تعریف فناوری‌های مخابرات کوانتومی



۱. توزیع کلید کوانتومی متغیر پیوسته

پروتکل رمزنگاری کوانتومی مبتنی بر دامنه و فاز میدان الکترومغناطیسی پرتو نور است که در آن گیرنده با استفاده از آشکارساز هومودین و مقایسه پرتو دریافتی با پرتو مرجع، دامنه و فاز پرتو را تشخیص می‌دهد.

۲. توزیع کلید کوانتومی متغیر گسسته

پروتکل رمزنگاری کوانتومی مبتنی بر وضعیت قطبش فوتون(دو حالت افقی و عمودی) است و در گیرنده از یک فیلتر قطبی کننده برای تشخیص حالت فوتون‌ها استفاده می‌شود.

۳. توزیع کلید کوانتومی مبتنی بر درهم‌تنیدگی

پروتکل رمزنگاری کوانتومی مبتنی بر وضعیت کوانتومی ذرات در هم‌تنیده(نظیر فوتون) است که توسط یک واسطه تولید و توزیع می‌شود. این روش فاصله بیشتری پوشش داده و نسبت به دو پروتکل گسسته و پیوسته ایمن‌تر است اما این فناوری هنوز تجاری‌سازی نشده است.

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

قطعات فوتونیکی مورد نیاز در فناوری پردازش کوانتومی

حسگرهای کوانتومی

مخابرات کوانتومی

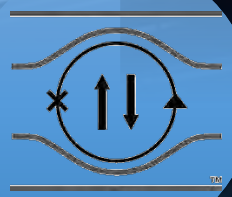
پردازش کوانتومی

فناوری کیوبیت / قطعات مورد نیاز	ابر رسانا	یون به دام افتاده	اتم خنثی	فوتونیک- متغیر گسسته	فوتونیک - متغیر پیوسته	مرکز خلاء نیتروژن	اسپین سیلیکون
لیزر							
منبع تک‌فوتون یافوتون درهم‌تنیده							
آشکارساز تک فوتون							
آشکارساز فوتون هترودین و هومودین							
موج‌بر فوتونیکی مجتمع و فیبری							
مدولاتور							
ترادیسنده(Trancducer) و مبدل	در صورت کاربرد در شبکه مورد نیاز است.					در صورت کاربرد در شبکه مورد نیاز است.	
حافظه یا تکرارکننده							

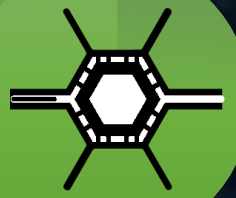
قطعه حتما مورد نیاز است. ممکن است قطعه در شرایطی مورد نیاز باشد. TBD: در دست انجام/تصمیم‌گیری

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

تعریف فناوری‌های پردازش کوانتومی



ابررسانا: بکارگیری مدارهای ابررسانا برای ساخت کیوبیت در مقیاس میکرو که از برهم نهی جریان‌هایی که همزمان در جهت مخالف در اطراف یک ابررسانا جریان دارند بهره می‌گیرد. ویژگی‌های ابررسانا نظیر مقاومت صفرو جریان‌های مداوم در این فناوری نقش اساسی دارد.



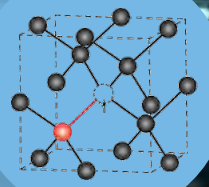
یون به دام افتاده: از یون‌های به‌دام افتاده برای ساخت کیوبیت بهره می‌گیرد. این یون‌ها با استفاده از یک میدان الکترومغناطیسی در اتاق خلا به دام افتاده و تا دما بسیار پایین سرد می‌شوند. حالت کوانتومی یون‌ها با تغییر شدت و زمان‌بندی پرتو لیزر تابیده شده به آن‌ها دستکاری شده و درهم‌تنیده می‌شود.

اتم خنثی: از حالت الکترونیکی و اسپین هسته اتم‌های خنثی برای که در یک شبکه نوری یا تله مغناطیسی به دام افتاده‌اند برای ساخت کیوبیت استفاده می‌شود. برای کاهش حرکات حرارتی و ناپیوستگی در دمای بسیار پایین نگه داشته می‌شوند و حالت آن‌ها با پرتو لیزر مدیریت می‌شود.

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

تعریف فناوری‌های پردازش کوانتومی–ادامه

فوتونیک: از فوتون برای ساخت کیوبیت استفاده می‌شود. قطبش فوتون(متغیر گسسته) یا مسیر فوتون(متغیر پیوسته) تعیین کننده حالت کیوبیت است. فوتون‌ها توسط منبع لیزر تولید شده و حالت آن با ابزارهای نوری خطی نظیر پرتوشکن و تغییرفازدهنده مدیریت می‌شود.



مرکزخلاء نیتروژن : از حالت اسپین الکترونیکی مرکز خلا نیتروژن در ساختار شبکه الماس برای ساخت کیوبیت استفاده می‌شود. الگوریتم‌های کوانتومی با استفاده از میکروویو و پالس لیزر در مراکز خلاء نیتروژن اعمال می‌شود.

اسپین سیلیکون: از حالت اسپین هسته‌ای اتم‌های فسفر در گره‌های سیلیکونی کوانتومی برای ساخت کیوبیت استفاده می‌شود. حالت اتم‌های فسفر با پالس مایکروویو و میدان مغناطیسی قابل مدیریت است.

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

4

قطعات فوتونیکی مورد نیاز در فناوری کوانتوم

- منبع تک فوتون قطعی/احتمالی
- موج‌بر فیبری یا مجتمع
- ترادیسنده (Transducer)
- لیزردیودی حفره خارجی (ECDL)
- لیزر حالت جامد با پمپاژ دیودی (DPSS)
- لیزرتوزیع‌شده فیدبکی(DFB)
- لیزرتابنده‌به سطح عمودیVCSEL
- لیزرشبکه‌ای سه‌بعدی حجمی(VHG)

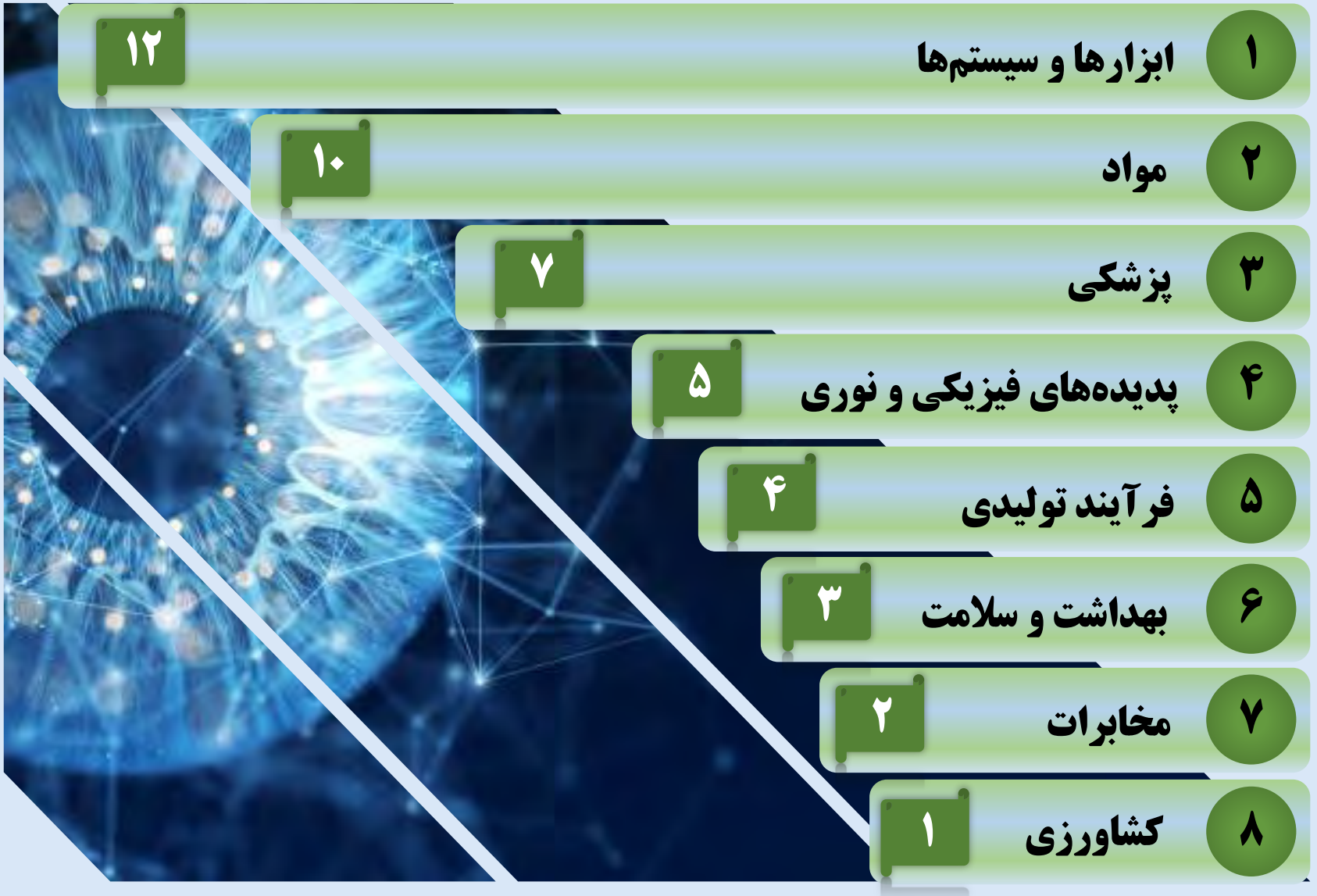
- آشکارساز تک فوتون نانوسیم ابررسانا(SSPD) /فوتودیودهای انبوه (APD) / لوله‌های فزون‌ساز نوری (PMT) / حسگر لبه گذار (TES) /سنسور تصویریCMOS
- آشکارساز فوتون هترودین و هومودین
- مدولاتورهای(فاز، دامنه، قطبش)

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

۱۲. جمع‌بندی فناوری‌های اولویت‌دار اپتیک و کوانتوم

فناوری‌های اولویت‌دار حوزه اپتیک

دسته‌بندی و تعداد فناوری‌های اپتیک



۱	ابزارها و سیستم‌ها	۱۲
۲	مواد	۱۰
۳	پزشکی	۷
۴	پدیده‌های فیزیکی و نوری	۵
۵	فرآیند تولیدی	۴
۶	بهداشت و سلامت	۳
۷	مخابرات	۲
۸	کشاورزی	۱

فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

۱	فوتونیک مشابه/مبتنی بر دستگاه عصبی	Neuromorphic photonics

انتقال و تحلیل اطلاعات با سرعت بالاتر و هزینه کمتر از (برق) با استفاده از سیستم‌های نوری که رفتار اعصاب بیولوژیک و سیناپس‌ها را تقلید می‌کنند.

۲	نسل جدید لیدارهای غیرمکانیکی	Next generation non-mechanical lidar

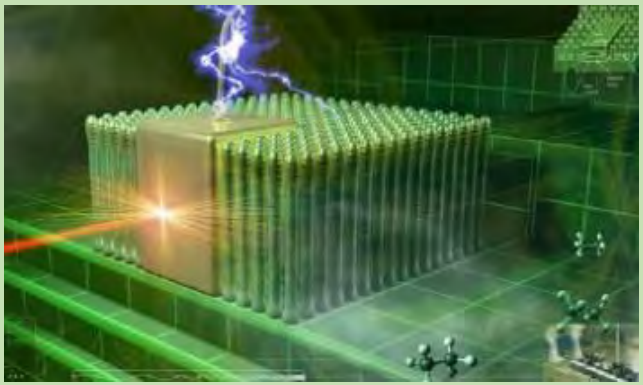
لیدارهایی‌که شامل بخش‌های متحرک(مانند آینه چرخان) نیستند و از روش‌های جایگزین برای اسکن ۳بعدی محیط و دریافت داده آن استفاده می‌کنند. مثال: کاربرد آرایه‌ای از لیزرها و آشکارسازهای ثابت و بدون تحرک فیزیکی که تصویری فوری همزمان از همه زوایای محدوده را می‌گیرد.

فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

۳	اینترنت کاملا مبتنی بر نور و همه عناصر مورد نیاز آن	Fully optical internet & required components

اینترنت فیبر نوری که معمولاً اینترنت فیبر یا به سادگی «فیبر» نامیده می‌شود، یک اتصال پهن باند است که می‌تواند به سرعت ۹۴۰ مگابیت در ثانیه (Mbpsبا) زمان تاخیر کم برسد. این فناوری از کابل فیبر نوری استفاده می کند که به طرز شگفت انگیزی می تواند داده ها را با سرعتی در حدود ۷۰ درصد سرعت نور ارسال کند.

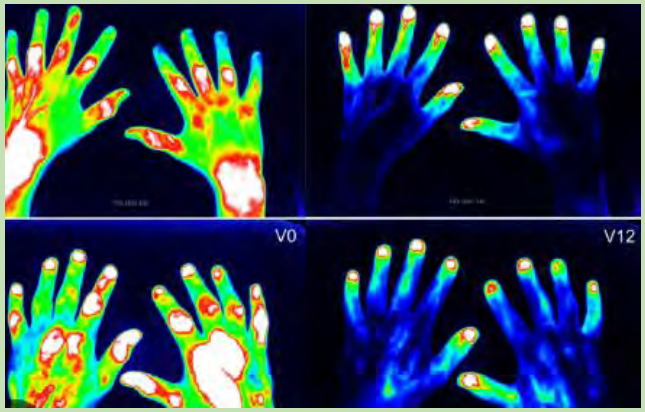
۴	لیزرهای با بازده بیش از ۹۵٪	Very high-efficiency lasers (>95%)



از طریق طراحی دقیق و بهینه‌سازی سیستم لیزربدست می‌آید و فاکتورهایی نظیر راندمان پمپاژ، ابزار تقویت پرتو لیزر، بهینه‌سازی حفره، پوشش نوری و مدیریت بهینه دما را مورد توجه قرار می‌دهد. انواع لیزرهای فیبری، لیزرهای پمپاژ دیودی حالت جامد، لیزرهای نیمه‌رسانا و لیزرهای آبشاری کوانتومی راندمان بالایی دارند.

فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

۵	تصویربرداری نوری از بافت‌های عمیق بدن	Deep tissue optical imaging



استفاده از تکنیک‌های نوری برای تصویربرداری از بافت‌های عمیق بدن نظیر میکروسکوپ دوفوتونی، توموگرافی منسجم نوری(OCT)، تصویربرداری نوری-صوتی و تصویربرداری فلوئورسنس مادون‌قرمز، با توجه به محدودیت روش‌های تصویربرداری نوری سنتی در حال توسعه است.

۶	مدارهای نوری انعطاف پذیر، قابل تنظیم مجدد و قابل برنامه‌ریزی	Flexible, reconfigurable & programmable optical circuits

توانایی کنترل و هدایت رفتار نور در مدارهای نوری با استفاده از قطعات انعطاف پذیر و قابل برنامه‌ریزی نظیر مالتی‌پلکسرهای نوری قابل تنظیم، فیلترهای نوری قابل برنامه‌ریزی، سوئیچ‌های نوری قابل برنامه‌ریزی و موج‌برهای انعطاف‌پذیر انجام می‌شود که منجر به تولید سیستم‌ها و شبکه‌های نوری پیشرفته می‌شود.

فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

۷	منابع مینیاتوری تراهرتزی فعال در دمای اتاق	Miniature THz sources at room temperature

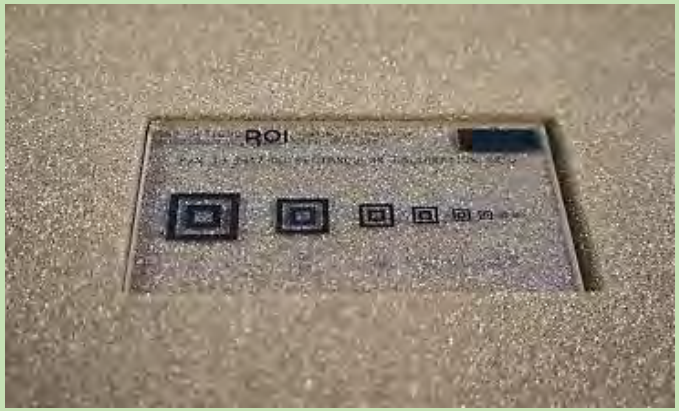
منابع تراهرتزی جدید نیاز به خنک کننده و تجهیزات بزرگ ندارند و کاربردهای گسترده‌ای در طیف‌سنجی، تصویربرداری و مخابرات دارند. لیزر نیمه‌رسانای آبشاری کوانتومی، مخلوط کننده نوری، تکثیرکننده فرکانس و آنتن تراهرتزی فناوری انواع منابعی هستند که پژوهش‌ها برای افزایش بازدهی آن‌ها ادامه دارد.

۸	مدارهای نوری انعطاف پذیر، قابل تنظیم مجدد و قابل برنامه‌ریزی	Flexible, reconfigurable & programmable optical circuits

توانایی کنترل و هدایت رفتار نور در مدارهای نوری با استفاده از قطعات انعطاف پذیر و قابل برنامه‌ریزی نظیر مالتی‌پلکسرهای نوری قابل تنظیم، فیلترهای نوری قابل برنامه‌ریزی، سوئیچ‌های نوری قابل برنامه‌ریزی و موج‌برهای انعطاف‌پذیر انجام می‌شود که منجر به تولید سیستم‌ها و شبکه‌های نوری پیشرفته می‌شود.

فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

۹	حافظه نوری از رم پرسرعت تا رام	Optical memory from fast RAM to ROM



ظرفیت بالا ودسترسی سریع از مزایای حافظه‌هایی است که برای خواندن، نوشتن و ذخیره اطلاعات از نور استفاده می‌کنند. رم هولوگرافیک و مواد فاز-متغیر مانند آلیاژ کالکوژنیک از فناوری‌های رم نوری هستند. حافظه‌های فقط‌خواندنی رایج مانند CD ، DVD، دیسک بلوری و فلش هم در فناوری خود وابسته به نور(لیزر) هستند.

۱۰	سلول‌های فوتوولتائیک با بهره‌وری بالا و پهنای باند زیاد	Efficient & high bandwidth PV cells

سلول‌های فوتوولتائیک نور خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند و پژوهش‌ها برای افزایش کارایی و فرکانس در حال انجام است. سلول‌های چند پیوندی، سلول‌های متوالی(Tandem)، سلول‌های پروسکایت و سلول‌های نانوساختار از انواع مختلف فوتوولتائیک‌ها هستند.

فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

۱۱	نمایشگر شفاف	HeadUp Display

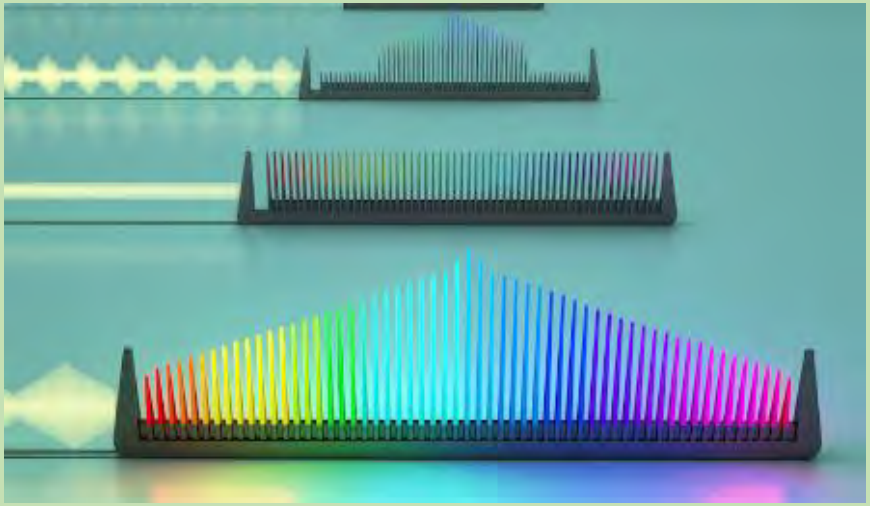
نمایشگرشفاف اطلاعات را مستقیماً در میدان دید کاربر، معمولاً روی شیشه جلوی خودرو یا یک صفحه شفاف ویژه ارائه می‌کند. HUDها در ابتدا برای کاربردهای هوانوردی نظامی توسعه یافتند اما از آن زمان در صنایع مختلف از جمله خودروسازی، هوانوردی و لوازم الکترونیکی مصرفی به کار گرفته شدند. عملکرد اصلی HUDاین است که اطلاعات مربوطه مانند سرعت، جهت ناوبری، تشخیص وسیله نقلیه یا داده های حیاتی پرواز را بر روی یک سطح شفاف در محدوده دید کاربر نشان دهد. این به کاربر این امکان را می دهد که بدون نیاز به دور کردن چشم از جاده یا کار در دست، به اطلاعات مهم دسترسی پیدا کند.

این نمایشگرها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که شفاف باشند و به کاربر این امکان را می‌دهند که از طریق صفحه نمایش ببینند و دید خود را از محیط دنیای واقعی حفظ کند. اطلاعات نمایش داده شده گویی در مقابل کاربر شناور است و یک صفحه نمایش مجازی ایجاد می کند که صحنه دنیای واقعی را پوشش می دهد. انواع مدرن آن تحرک و وضوح بالا، زوایای دید گسترده و عملکرد وسیع‌تررا ارائه می دهند.

فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

۱۲	شانه فرکانسی	Frequency Comb

شانه فرکانس ابزار دقیقی برای اندازه گیری و کنترل فرکانس نور است. از مجموعه ای از خطوط فرکانس گسسته و با فاصله مساوی تشکیل شده است که می توانند به عنوان فرکانس های مرجع بسیار دقیق عمل کنند. این خطوط توسط یک منبع لیزری تولید می شوند و می توان از آنها برای اندازه‌گیری فرکانس لیزرهای دیگر یا برای کنترل دقیق زمان پالس های نوری استفاده کرد. در سال‌های اخیر روش‌های جدیدی مبتنی بر میکرورزوناتورهای نوری و سایر تکنیک‌ها نیز توسعه یافته‌اند. شانه‌های فرکانس کاربردهای گسترده‌ای در علم و فناوری دارند. به عنوان مثال، آنها در ساعت‌های اتمی-نوری استفاده می‌شوند که دقیق‌ترین دستگاه‌های اندازه‌گیری زمان هستند که تا کنون ساخته شده اند.

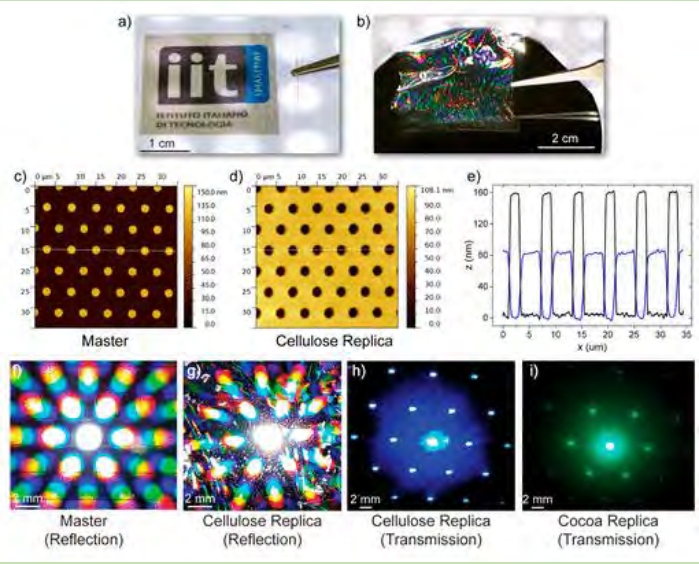


همچنین این فناوری در طیف‌سنجی دقیق استفاده می‌شود و دانشمندان را قادر می‌سازند تا خواص اتم‌ها و مولکول‌ها را با دقت بی‌سابقه‌ای اندازه‌گیری کنند. از دیگر کاربردها می توان به ارتباطات راه دور، پردازش اطلاعات کوانتومی و اندازه‌گیری امواج گرانشی اشاره کرد.

فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

۱۳	مواد فوتونیکی تجدیدپذیرو تجزیه‌پذیر	Sustainable/biodegradable photonic materials

یک زمینه تحقیقاتی نوظهور است که هدف از آن توسعه موادی است که می توانند در کاربردهای فوتونیک استفاده شوند و در عین حال تأثیر آنها را بر محیط زیست به حداقل باشد.



چند نمونه از مواد فوتونی تجدیدپذیرو تجزیه‌پذیر عبارتند از:

مواد برپایه سلولز: استفاده از سلولز در مواد فوتونیکی نظیر کاغذنانو که خواص نوری عالی دارند.

مواد بر پایه کیتوسان: استفاده از کیتوسان در تولید فیلم‌ها و نانومواد که خواص نوری خوبی دارند. این نوع مواد کاربردهای متنوعی در سنجش متغیرها و دارورسانی دارند.

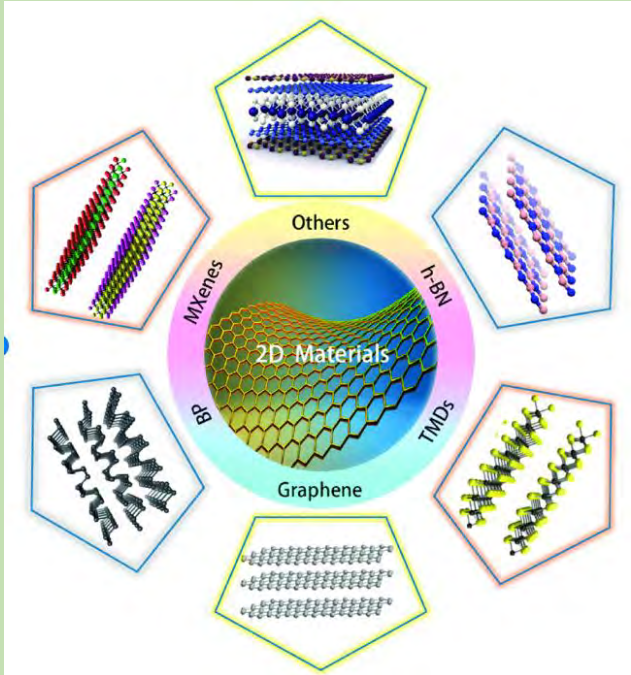
مواد بر پایه ابریشم: استفاده از ابریشم در تولید فیبر و فیلم نوری که خواص نوری عالی داشته و در ابزارهای فوتونیکی و حسگرها کاربرد دارند.

پلیمرهای تجزیه‌پذیر: استفاده از پلیمرهایی نظیر پلی‌لاکتیک اسید و پلی هیدروکسی آلکانوات برای تولید فیلم و نانوذرات که خواص نوری بسیار عالی دارند.

فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

۱۴	مواد دوبعدی و ساختارهای ناهمگین برای فوتونیک	2d materials & hetrostructures for photonics

پدیده نوظهور مواد دوبعدی و ساختارهای ناهمگن خواص منحصربه‌فرد الکتریکی، نوری و مکانیکی دارند که می‌توانند فناوری فوتونیک را با توسعه ابزارهای جدید و پربازده متحول کنند.



چند نمونه از مواد دوبعدی و ساختارهای ناهمگن:

گرافن: ماده‌ای دوبعدی با رسانایی الکتریکی عالی و شفافیت نوری بالا که در ساخت آشکارسازهای نوری فوق سریع، مدولاتورها و ساطع‌کننده نور تراهرتز کاربرد دارد.

دی کالکوژنیدهای فلزات واسط: مواد ۲بعدی که بخاطر شکاف باند مستقیم، برهم‌کنش‌های قوی با نور دارند و در الکترونیک نوری، فوتوولتائیک و حسگرها کاربرد دارند.

فسفرسیاه: ماده ۲بعدی با شکاف‌باند قابل تنظیم و قابلیت انتقال بار بالا که در ساخت لیزرهای فوق سریع، آشکارسازهای نوری و مدولاتور کاربرد دارند.

ساختارهای ناهمگن: از ترکیب چند ماده ۲بعدی بدست می‌آید و خواص منحصر به‌فردی در تعامل با نور دارند و در الکترونیک نوری و فوتوولتائیک کاربرد دارند.

فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

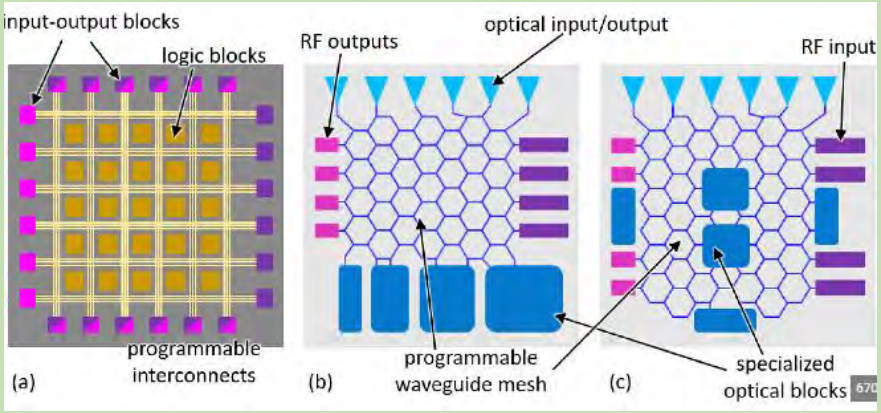
۱۵	مواد فوتونیک قابل برنامه‌ریزی و قابل بازطراحی و انعطاف‌پذیر	Reconfigurable adaptive & programmable photonic materials

حوزه پژوهشی نوظهور است که هدف از آن تغییر ویژگی‌های نوری مواد در پاسخ به محرک‌هایی نظیر نور، دما، و میدان الکتریکی است.

چند نمونه از مواد فوتونیک قابل برنامه‌ریزی و قابل بازطراحی و انعطاف‌پذیر:

الاستومرهای کریستال مایع: موادی که با ترکیب خواص کریستال مایع و الاستومر که قابل برنامه‌ریزی برای تغییر شکل و خواص نوری هستند که قابلیت استفاده در لنزهای قابل تنظیم و نمایشگرهای هولوگرافیک را دارند.

مواد تغییر فاز: موادی که در پاسخ به محرک‌ها مانند گرما و میدان الکترکی، بین دو یا چند فاز(بی‌شکل، کریستالی) قابلیت سوئیچ دارند که در ذخیره داده کاربرد دارند.



متامواد: مواد مهندسی شده که طبیعی نیستند و خواص نوری ویژه‌ای دارند قابل برنامه‌ریزی برای تغییر ساختار خود هستند و در پوشش‌دهی و حسگرها کاربرد دارند.

مواد الکتروکرومیک: قابلیت تغییر خواص نوری نظیر رنگ و شفافیت در پاسخ به میدان الکتریکی که در تولید فیلترها و نمایشگرهای نوری قابل برنامه‌ریزی کاربرد دارد.

فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

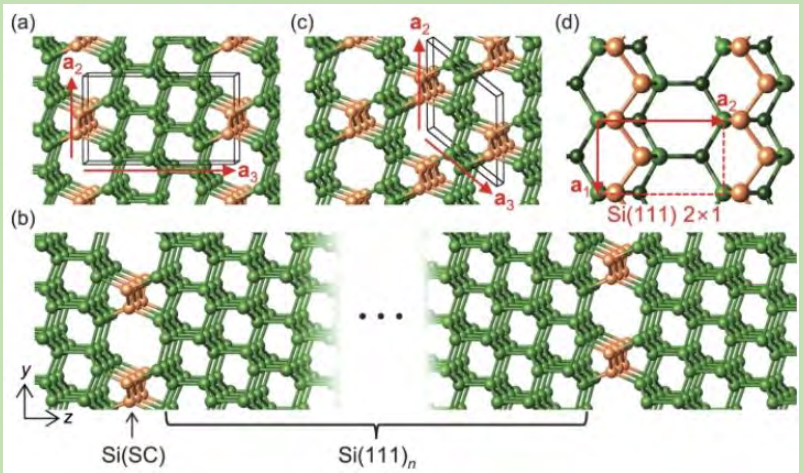
۱۶	سیلیکون با شکاف‌باند مستقیم و موادفوتونیکی جدید از سیلیکون	Direct bandgap silicon & new silicon photonic materials

حوزه پژوهشی نوظهور است که هدف از آن غلبه بر محدودیت فوتونیک سیلیکونی سنتی است که مبتنی بر شکاف باند غیرمستقیم سیلیکون بوده است.

تغییرسطح انرژی الکترون در جابجایی از بالاترین باند به پایین‌ترین باند در اتم، به اندازه انرژی یک فوتون، ویژگی ایده‌آل مواد با شکاف‌باند مستقیم برای استفاده در الکترونیک نوری است که در سیلیکون معمولی وجود ندارد زیرا شکاف باند سیلیکون طبیعی غیرمستقیم است.

فناوری پردازش سیلیکون در راستای افزایش بازدهی سیلیکون منجر به تولید آلیاژ سیلیکون-ژرمانیوم و قراردادن مواد III-V روی سیلیکون و قراردادن مواد ۲بعدی مانند گرافن روی سیلیکون شده است.

این تغییرات سبب می‌شود شکاف باند سیلیکون مستقیم شده و عملکرد آن بهبود یافته و برای استفاده در الکترونیک نوری مطلوب شود.



فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

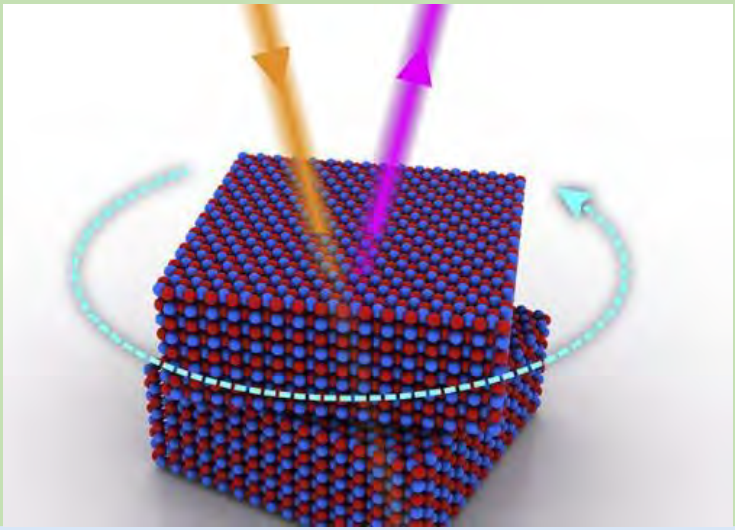
۱۷	مواد غیرخطی با قدرت آستانه پایین	Low threshold power non-linear materials

موادی هستند که خواص نوری غیرخطی قوی در توان ورودی پایین از خود نشان می‌دهند و در کاربردهای مختلف نظیر مخابرات نوری، حسگرها و تصویربرداری اهمیت دارند.

برخی مواد غیرخطی با آستانه در توان پایین:

مواد ارگانیک: پلیمرها و مولکول‌های کوچک خواص غیرخطی قوی در توان پایین نشان میدهند و برای سوئیچینگ نوری ومدولاسیون به دلیل هزینه کم و پردازش ساده کاربرد دارند.

نقاط کوانتومی نیمه‌رسانا: نانوکریستال‌ها به دلیل اندازه کوچک و اثرات محدودیت کوانتومی خواص غیرخطی قوی نشان می‌دهند و در سوئیچینگ نوری فوق سریع و پردازش کوانتومی کاربرد دارند.



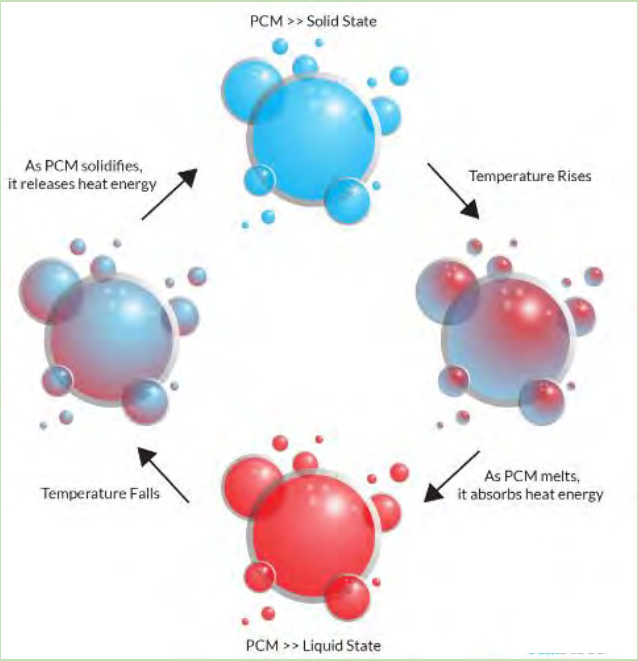
گرافن: این ماده خواص نوری غیرخطی مرتبه سوم از خود نشان می‌دهد که در مدولاسیون نوری و شکل دهی پالس لیزری فوق سریع کاربرد دارد.

مواد پلاسمونیک: موادی نظیر نانوذرات و نانومیله‌ها که قابلیت تقویت میدان الکتریکی نور وارده را داشته و در تصویربرداری و سنجش کاربرد دارند.

فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

۱۸	مواد با تغییر فاز پربازده	Efficient phase change materials (PCMs)

حوزه پژوهشی نوظهور است که هدف از آن توسعه موادی برای بهبود عملکرد در ذخیره داده، مواد نوری قابل تنظیم و محاسبات نورومورفیک دارند.
برخی از از مواد با قابلیت تغییر فاز پربازده؛



آلیاژ GST و آلیاژ AIST : این مواد انتقال فاز برگشت پذیر با سرعت بالا را بین حالت‌های بی‌شکل و کریستالی نشان می دهند که آن‌ها را برای کاربردهایی مانند حافظه نوری و عناصر نوری قابل تنظیم مجدد جذاب می کند.

آلیاژ کالکوژنید: این آلیاژ سرعت سوئیچینگ سریع، پایداری حرارتی خوب و مصرف انرژی کم را نشان می دهند که آنها را برای کاربردهایی مانند ذخیره سازی داده و سوئیچینگ نوری جذاب می کند.

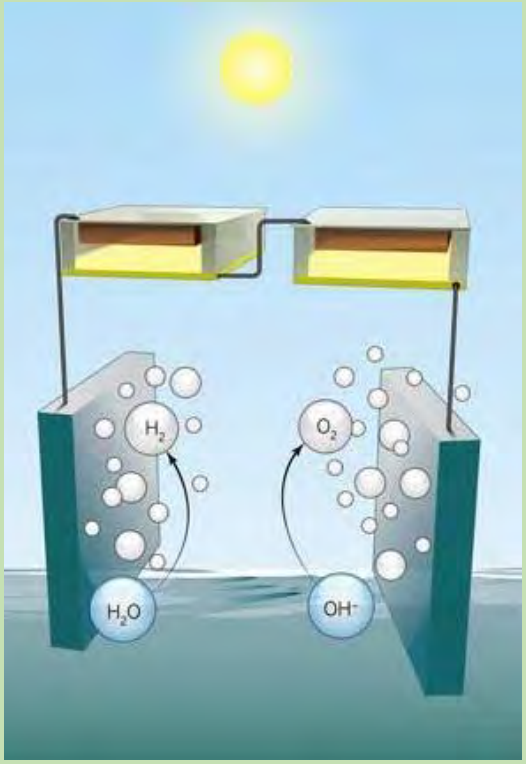
مواد PCM ارگانیک: موادی نظیر آزوبنزن و دی‌الیتن که در سوئیچینگ سریع کاربرد دارد و تغییرات برگشت پذیری را در خواص نوری خود در پاسخ به محرک های خارجی مانند نور یا دما نشان می دهند.

فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

۱۹	مواد با خواص پایدار الکتروشیمیایی برای تبدیل‌انرژی خورشیدی به سوخت هیدروژنی	Electrochemically stable materials for solar-hydrogen

مواد الکتروشیمیایی پایدار برای توسعه سلول های فوتوالکتروشیمیایی (PEC) کارآمد و بادوام که برای تولید هیدروژن خورشیدی ضروری هستند و یک فناوری امیدوارکننده برای ذخیره انرژی تجدید پذیر می‌باشد.

برخی مواد با خواص الکتروشیمیایی پایدار؛



نیمه‌هادی‌های III-V: این مواد نظیر گالیوم‌آرسناید و ایندیوم فسفاید هستند که در سلول‌های فوتوالکتروشیمیایی برای تولید هیدروژن از انرژی خورشیدی کاربرد دارند.

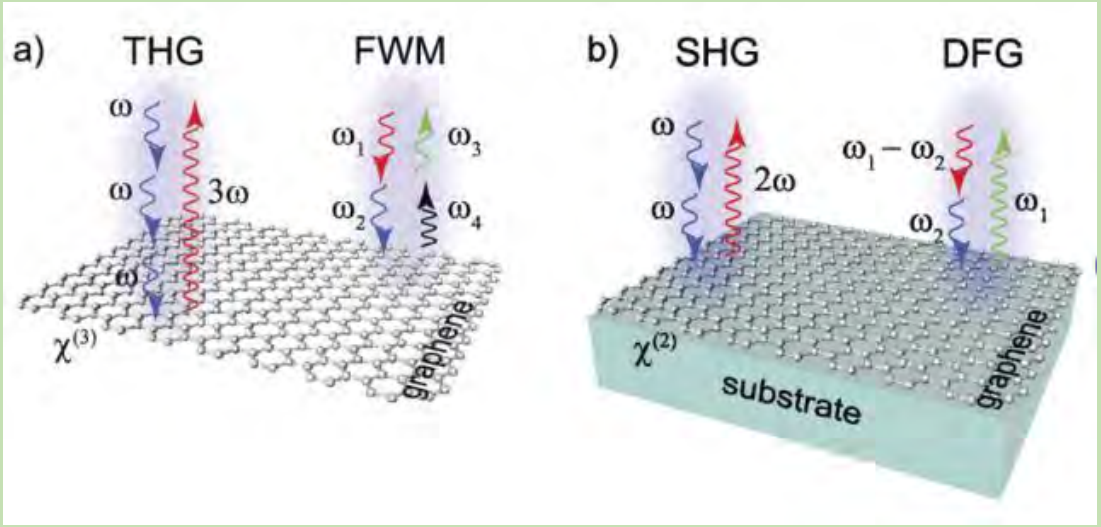
اکسید فلزات: موادی نظیر تیتانیوم اکساید و تنگستن اکساید کلاس دیگری از مواد مورد استفاده در سلول‌های فوتوالکتروشیمیایی هستند که پایداری خوبی از خود نشان می‌دهند.

مواد مبتنی بر سیلیکون: نانوسیم‌های سیلکیونی و کاربید سیلیکون از دیگر موادی هستند که تحت شرایط فوتوالکتروشیمیایی پایداری خوبی از خود نشان داده و براحتی در فناوری‌های فوتوولتائیک فعلی قابل ادغام هستند.

فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

۲۰	مواد n2 منفی	Negative n2 materials

موادی که پاسخ غیرخطی به نور دارند و با مقدار منفی ضریب شکست که متناسب با شدت نور تابشی به آن‌هاست متمایز می‌شوند. این مواد در سوئیچینگ نوری، پردازش سیگنال نوری و میکروسکوپ‌های غیرخطی کاربرد دارند. برخی مواد با خواص n2منفی شامل نانوتیوب‌های کربنی، گرافن و مواد پلاسمونیک می‌باشد.



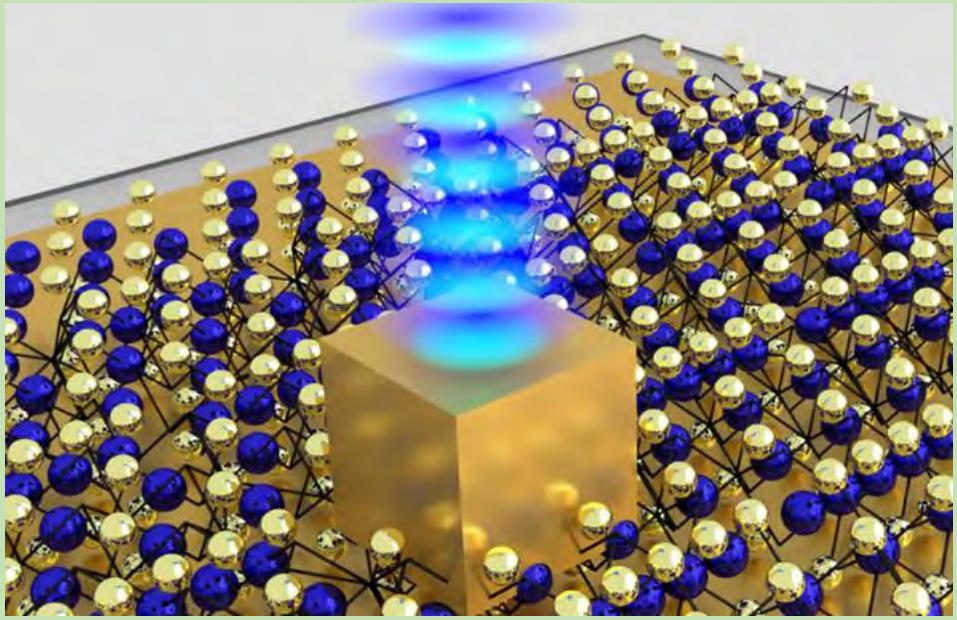
این مواد در توسعه ابزارهای نوری غیرخطی بسیار مهم هستند و در توان پایین کار می‌کنند. هر چند چالش‌هایی نظیر مقیاس‌پذیری، هزینه و ادغام در فناوری‌های موجود وجود دارد، تحقیقات در این حوزه ادامه دارد.

فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

۲۱	منبع تک فوتون با راندمان بالا و به راحتی قابل یکپارچه‌سازی	Very high efficiency, easily integrated single photon sources

حوزه مهمی از پژوهش در فوتونیک کوانتومی است و از اجزای سازنده اصلی فناوری کوانتوم در مخابرات کوانتومی، رمزنگاری کوانتومی و پردازش کوانتومی می‌باشد. برخی از منابع تک فوتون به شرح زیر است؛

نقطا کوانتومی: نقاط کوانتومی نانوکریستال‌هایی هستند که می‌توانند با فناوری نیمه‌رسانا ادغام شده و تا ۹۰٪ بهره‌وری دارند.



مراکز رنگی در الماس: مراکز خلا نیتروژن در الماس می‌توانند تک فوتون را با بهره‌وری ۸۰٪ ساطع کنند.

چالش‌های توسعه فناوری مقیاس‌پذیری، هزینه و قابلیت یکپارچه‌سازی در سیستم است.

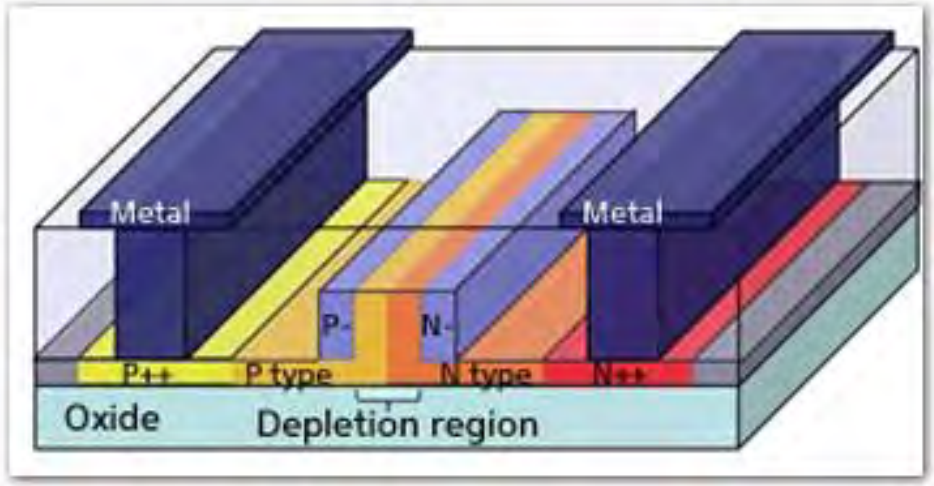
فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

۲۲	مواد اولیه مدولاتورهای نوری با فرکانس بالای ۱۰۰ GHzو سرعت سوئیچینگ بالا	Materials for >100 GHz optical modulators & sub ps switching

این مواد در مخابرات نوری فوق سریع و پردازش سیگنال پرسرعت و فوتونیک مایکروویو کاربرد دارند. برخی از موادی که در این حوزه کاربرددارند به شرح زیر است؛

نیمه‌رساناهای III-V: نیمه‌رسانایی نظیر ایندیوم فسفاید و گالیوم آرسناید بطور گسترده در ساخت مدولاتورهای نوری پرسرعت و سوئیچینگ در زمان کمتر از پیکوثانیه کاربرد دارند. جابجایی حامل بار در این مواد سریع بوده و سرعت عملیات را بالا می‌برد.

مواد بر پایه سیلیکون: موادی نظیر سیلیکون-ژرمانیوم و ترکیب سیلیکون-روی-عایق برای مدولاتورها کاربرد دارند و قابلیت اداغام آن‌ها با سیستم‌های سیلیکونی فعلی مزیت بسیار خوبی است.



گرافن: ماده دوبعدی با خواص غیرخطی که مدولاتورهای مبتنی بر آن در فرکانس بالای ۱۰۰ گیگاهرتز کار می‌کنند.

مواد ارگانیک: پلیمرهای مزدوج و رنگ‌های ارگانیک خاصیت غیرخطی قوی دارند و به راحتی در سیستم‌های فعلی قابل ادغام هستند.

فناوری‌های اپتیک در بخش پزشکی

۲۳	فناوری توالی یابی DNA با فوتونیک	DNA Sequencing

فوتونیک نقش مهمی در توسعه و پیشرفت توالی‌یابی DNA و ایجاد امکان تجزیه و تحلیل دقیق آن را دارد. روش‌های متنوعی در بکارگیری فوتونیک برای انجام توالی‌یابی DNA وجود داردکه یکی از آن‌ها آشکارسازی فلئورسنت نام دارد. در این روش رنگ‌های فلورسنت به اجزاء DNAیا نوکلئوتیدها می‌چسبند و هنگامی که توسط لیزر یا منبع نوری دیگر برانگیخته می‌شوند، سیگنال‌های فلورسنس را منتشر می‌کنند که قابل تشخیص و تجزیه و تحلیل است. فناوری‌های فوتونیک، مانند منابع تحریک لیزری و آشکارسازها، در تشخیص و اندازه‌گیری فلورسانس ساطع شده در طول واکنش‌های توالی‌یابی DNA کاربرد دارند.

فناوری‌های اپتیک در بخش پزشکی

۲۴	تغییر در سلول با کمک نور برای ترمیم بافت بدن	Optical cell manipulation for regenerative medicine

کنترل رفتار سلول‌ها در تکثیر، مهاجرت یا تمایز از طریق دستکاری دقیق و غیرتهاجمی سلولی با استفاده از لیزر که با هدف ترمیم بافت‌ها انجام می‌شود؛ انبرک نوری که یک پرتو لیزر متمرکز است برای به دام انداختن و تغییر موقعیت سلول‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲۵	فرآیندهای با حجم بالا برای تشخیص پزشکی سریع	High-volume processes for point-of-care testing

آزمایشات تشخیص پزشکی بر بالین بیمار که شامل فرآیندهای متعددی از جمله نمونه‌گیری، آماده‌سازی نمونه، آزمون نمونه، تحلیل داده‌ها، گزارش‌دهی است که برای دقت و توان عملیاتی بالا نیازمند استانداردسازی و اتوماتیک‌سازی است.

فناوری‌های اپتیک در بخش پزشکی

۲۶	تصویربرداری نوری از سیستم عصبی	Optical imaging of the nervous system

یک حوزه مهم پژوهشی است که تصویری از ساختار و عملکرد مغز و سایر اجزای سیستم عصبی را ارائه می‌دهد. برخی تکنیک‌های استفاده شده در تصویربرداری نوری سیستم عصبی به شرح زیر است؛

میکروسکوپ دوفوتونی: این ابزار با دقت بسیار بالا، تصاویری از بافت زنده، از جمله سیستم عصبی، ارائه می‌دهد و در آن از یک لیزر پالسی برای تحریک فلوروفورها در بافت استفاده می‌شود و از ساختارهایی مانند دندریت و آکسون‌ها در زمان واقعی تصویربرداری می‌کند.

میکروسکوپ هم‌کانون: این ابزار از لیزر برای تحریک فلوروفورها در بخش نازکی از بافت استفاده می‌کند و در تصویربرداری با دقت بالا از نورون‌ها و اتصالات عصبی و ساخت تصاویر سه بعدی از بافت عصبی استفاده می‌شود.

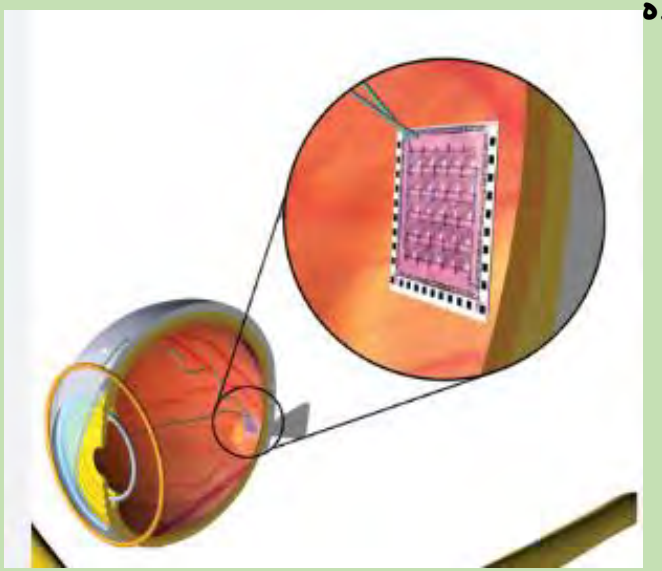
تصویربرداری توموگرافی نوری: روش غیرتهاجمی با استفاده از نور برای تصویربرداری از بافت، مانند سیستم عصبی و شبکیه است.

اپتوژنتیک: فعال یا مهار کردن نورون‌ها با ایجاد تغییر ژنتیکی درآن‌ها با استفاده از نور به گونه‌ای که خواص پروتئین‌های حساس به نور را نشان دهند.

فناوری‌های اپتیک در بخش پزشکی

۲۷	شبکیه مصنوعی	Artificial Retina

شبکیه مصنوعی که به عنوان پروتز شبکیه یا چشم بیونیک نیز شناخته می‌شود، وسیله‌ای است که برای بازگرداندن بینایی در افراد مبتلا به انواع خاصی از اختلالات بینایی، مانند رتینیت پیگمانتوزا یا دژنراسیون ماکولا وابسته به سن طراحی شده است. شبکیه مصنوعی با جراحی در چشم کاشته می شود، به ویژه در ناحیه شبکیه که سلول های گیرنده نوری آسیب دیده یا عملکردی ندارند. ایمپلنت شامل مجموعه ای از الکترودها است که سلول های سالم باقی مانده شبکیه یا عصب بینایی را تحریک می کند. الکترودهای کاشته شده اطلاعات بصری را به سیگنال های الکتریکی تبدیل می کنند. سپس این سیگنال ها به سلول های شبکیه باقی مانده یا عصب بینایی منتقل می شوند و سلول های گیرنده نوری آسیب دیده را دور می زنند و فرآیند طبیعی تبدیل نور به سیگنال های عصبی در شبکیه انجام می‌گیرد. شبکیه مصنوعی معمولاً به اجزای خارجی برای پردازش اطلاعات و انتقال آن به الکترودهای کاشته شده نیاز دارد که ممکن است شامل یک دوربین یا سایر دستگاه های ثبت تصویر، یک واحد پردازش سیگنال و یک فرستنده باشد.



فناوری‌های اپتیک در بخش پزشکی

۲۸	انتشار دارو با تحریک نور	Light-triggered drug release

رهاسازی دارو با تحریک نور به تکنیکی اطلاق می شود که در آن داروها یا عوامل درمانی از یک حامل پس از قرار گرفتن در معرض نور آزاد می شوند. این رویکرد امکان کنترل دقیق زمان، مکان و دوز انتشار دارو را فراهم می کند و مزایای بالقوه ای را در درمان هدفمند ارائه می دهد و عوارض جانبی را به حداقل می رساند. رهاسازی داروی محرک نور به استفاده از مواد حساس به نور متکی است که به عنوان مواد فعال کننده نور یا واکنش دهنده به نور نیز شناخته می شوند. این مواد با قرار گرفتن در معرض طول موج های خاص نور، تغییرات خاصی در ساختار یا خواص خود می کنند.

دارو یا عامل درمانی که قرار است تحویل داده شود معمولاً در یک سیستم حامل مانند نانوذرات، لیپوزوم ها، هیدروژل ها یا میسل ها کپسوله یا بارگذاری می شود. این حامل‌ها می‌توانند از دارو محافظت کنند، رهاسازی آن را کنترل کنند و در طول حمل و نقل پایداری آن را حفظ کنند.

رهاسازی دارو با تحریک، طیف وسیعی از کاربردهای بالقوه در پزشکی، از جمله درمان هدفمند سرطان، درمان موضعی بیماری های چشمی، ترمیم زخم و انتشار کنترل شده داروها در بافت ها یا اندام های خاص دارد.

فناوری‌های اپتیک در بخش پزشکی

۲۹	جراحی با لیزر	Laser Surgery

جراحی لیزری که به عنوان جراحی با کمک لیزر یا لیزر درمانی نیز شناخته می شود، به استفاده از فناوری لیزر در روش های پزشکی اشاره دارد. لیزر مخفف "تقویت نور توسط انتشار تحریک شده تابش" است. در جراحی لیزر، از یک پرتو نور بسیار متمرکز برای انجام اقدامات دقیق و هدفمند بر روی بافت های مختلف بدن استفاده می شود. بسته به بافت یا شرایط خاص تحت درمان، انواع مختلفی از لیزر در روش های جراحی استفاده می شود. لیزرهای رایج مورد استفاده شامل لیزرهای دی اکسید کربن CO_2، لیزرهای اربیوم، لیزرهای گارنت آلومینیوم ایتریوم دوپ شده با نئودیمیم (Nd:YAG) و لیزرهای آرگون هستند.

هر نوع لیزر دارای خواص خاصی مانند طول موج و انرژی است که تعیین کننده مناسب بودن آن برای روش های خاص است. جراحی لیزری دقت و قابلیت های هدف گیری بی نظیری را ارائه می دهد. پرتو لیزر متمرکز می تواند به طور انتخابی بافت ها را حذف یا اصلاح کند و آسیب به بافت‌های سالم اطراف را به حداقل برساند. این دقت به ویژه در نواحی ظریف یا دور از دسترس بدن مفید است.

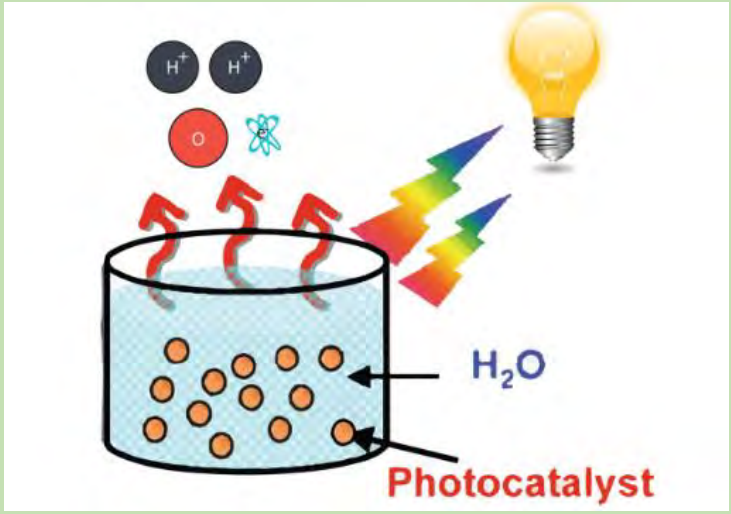
فناوری‌های اپتیک در بخش پدیده‌های فیزیکی و نوری

۳۰	کنترل واکنش‌های شیمیایی با نور	Chemistry & chemical reaction pathways controlled by light

کنترل واکنش‌های شیمیایی با نور، فوتوشیمی نامیده می‌شود که حوزه پژوهشی بسیار جذاب است که در علم مواد، سنتزارگانیک و اکتشاف دارو کاربرد دارد. برخی از واکنش‌های کنترل شده با نور به شرح زیر است؛

فوتوکاتالیست: فرآیندی که در آن واکنش‌های شیمیایی با نور تحریک می‌شود در فرآیندهایی نظیر تولید هیدروژن از آب و سنتز ارگانیک کاربرد دارد.

فوتوکرومیسم: فرآیندی است که در آن یک مولکول با قرار گرفتن در معرض نور دچار تغییر برگشت‌پذیری در رنگ یا خواص نوری می شود و در ذخیره سازی داده های نوری، لنزهای فتوکرومیک و حسگرها کاربرد دارد.

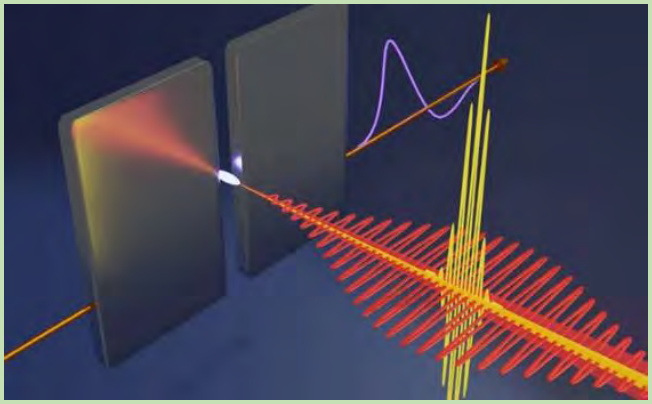


فتوپلیمریزاسیون: فرآیندی که در آن واکنش پلیمریزاسیون توسط نور آغاز می شود. و در چاپ سه بعدی و تولید در مقیاس میکرو کاربرد دارد.

فوتواکسیداسیون: فرآیند شیمیایی با انتقال الکترون‌ها از یک مولکول به حالت برانگیخته با نور انجام می‌شود و تولید دارو و مواد با ارزش افزوده بالا کاربرد دارد.

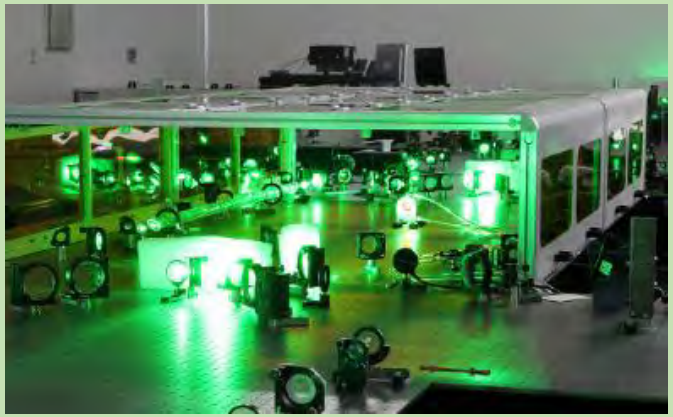
فناوری‌های اپتیک در بخش پدیده‌های فیزیکی و نوری

۳۱	شکل‌دهی پالس لحظه‌ای	Ultra-short temporal pulse-shaping



تکنیکی برای تغییر ویژگی‌های گذرای پالس نوری درمقیاس زمانی فمتوثانیه(10^{-15} ثانیه) است. این تکنیک کاربردهای گسترده‌ای در فوتونیک و طیف‌سنجی فوق سریع دارد. فشردن پالس، شکل‌دهی به پالس و تغییر ویژگی‌های پالس با استفاده از ابزارهایی نظیر مدولاتورهای نوری-صوتی و تداخل سنج طیفی و... قابل انجام است.

۳۲	پالس‌های متمرکز با انرژی بالا نظیر لیزر برای شکستن خلا	Extreme high energy pulsed phenomena for breaking vacuum



یک امکان تئوریک برای شکست خلا با استفاده از پالس‌های الکترومغناطیسی با انرژی بسیار بالا است که هنوز کاملا نظری دارد و بطور تجربی قابل مشاهده یا اثبات نیست. مفهوم شکست خلاء بر این ایده استوار است که انرژی میدان الکترومغناطیسی را می توان بخه جفت ماده-ضدماده با استفاده از فرآیند «تولید جفت» تبدیل کرد.

فناوری‌های اپتیک در بخش پدیده‌های فیزیکی و نوری

۳۳	طیف سنجی	Spectroscopy

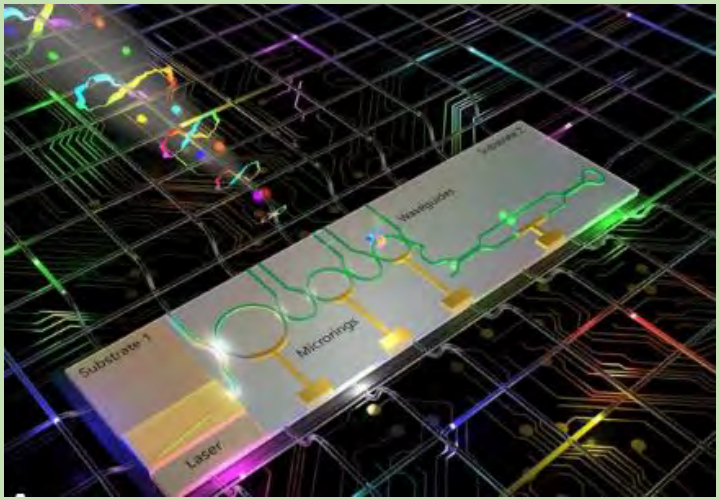
طیف سنجی یک تکنیک علمی است که شامل مطالعه برهمکنش بین ماده و تابش الکترومغناطیسی است و اطلاعات ارزشمندی در مورد خواص و رفتار مواد مختلف از جمله ترکیب، ساختار، غلظت و تغییرات فیزیکی یا شیمیایی آنها ارائه می دهد. طیف سنجی شامل برهمکنش ماده با تابش الکترومغناطیسی است که طیف وسیعی از طول موج ها یا فرکانس ها از امواج رادیویی گرفته تا پرتوهای گاما را شامل می شود. انواع مختلف طیف سنجی از مناطق خاصی از طیف الکترومغناطیسی مانند اشعه ماوراء بنفشUV، مرئیVIS، مادون قرمزIR یا اشعه ایکس بر اساس تجزیه و تحلیل مورد نظر استفاده می کنند.

طیف‌شناسی جذبی، انتشاری، فلورسانس و فسفرسانس، رامان، تشدید مغناطیسی هسته‌ای و جرمی از انواع مختلف این فناوری هستند که در زمینه های مختلف علمی از جمله شیمی، فیزیک، زیست شناسی، پزشکی، علوم محیطی و علم مواد کاربرد دارند. برای تجزیه و تحلیل کمی و کیفی، شناسایی مواد، نظارت بر واکنش های شیمیایی، مطالعه ساختارهای مولکولی، و بررسی سیستم های پیچیده بیولوژیکی استفاده می شود.

فناوری‌های اپتیک در بخش پدیده‌های فیزیکی و نوری

۳۴	منبع فوتون درهم‌تنیده	Entangled Photon Source

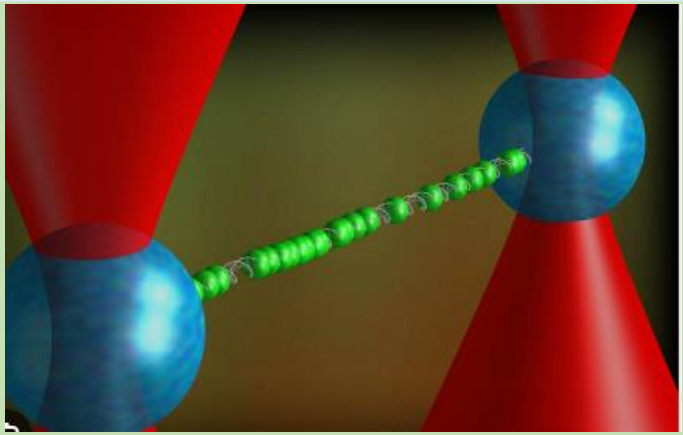
درهم تنیدگی پدیده‌ای در مکانیک کوانتومی است که در آن خواص دو یا چند ذره به‌گونه‌ای همبسته می‌شوند که نمی‌توان حالت یک ذره را مستقل از ذره‌های دیگر توصیف کرد. منابع فوتون درهم تنیده برای کاربردهای مختلف در پردازش اطلاعات کوانتومی، ارتباطات کوانتومی و رمزنگاری کوانتومی ضروری هستند. اگر دو فوتون نور با یکدیگر تعامل داشته باشند می‌توانند در هم تنیده شوند. به محض اینکه یکی از آنها با ذره سومی بطور تصادفی برهمکنش داشته باشد، فوتون دیگر بلافاصله حالت کوانتومی خود را تغییر می دهد.



بدین ترتیب در مخابرات کوانتومی اگر پیام ارسالی استراق سمع شود فرستنده و گیرنده سریعا متوجه می‌شوند. روش‌های مختلفی برای تولید فوتون‌های در هم تنیده نظیر SPDC ، تقویت پارامتریک با کریستال غیرخطی، نقاط کوانتومی با نیمه‌رسانای نانوکریستالی و ترکیب همزمان ۴موجی در فیبرها وجود دارد. این فناوری در توزیع کلید کوانتومی، پردازش کوانتومی و سنجش پیشرفته کوانتومی کاربرد دارد.

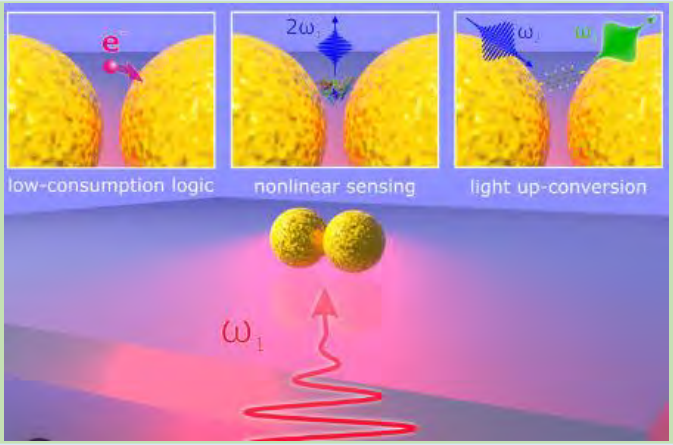
فناوری‌های اپتیک در بخش فرآیند تولید

۳۵	کاربرد نور دردسترسی به اجزاء بسیارکوچک در حجم بزرگ	Flexible optical manipulation for limited access volumes



استفاده از نور در فضاهای محدود و کانال‌های کوچک برای جابجایی و دسته‌بندی و جداسازی ذرات و اشیاء بسیار کوچک در حجم‌های بزرگ در مقیاس نانو و میکرو؛ برای نمونه استفاده از انبرک نوری (پرتو متمرکز لیزر) برای دستکاری سلول‌ها و مولکول‌ها

۳۶	تجمیع کارکردهای پلاسمونیک‌ها	High-volume processes for point-of-care testing

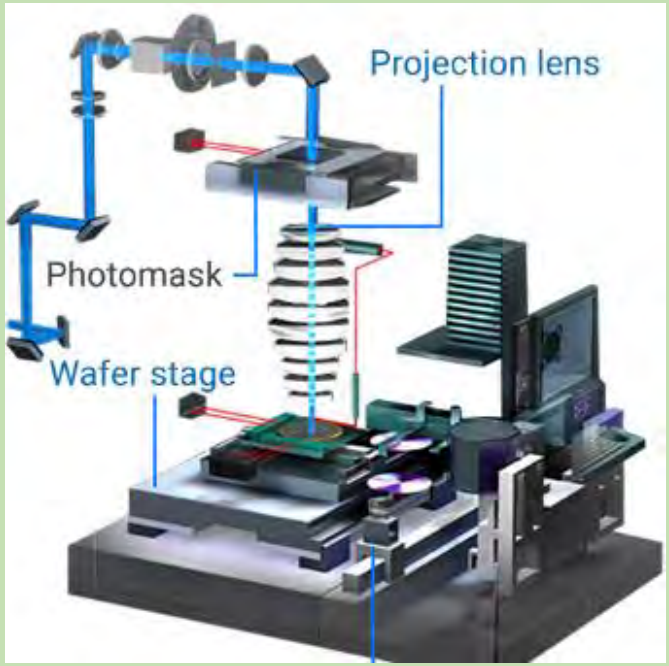


به نوسان الکترون‌های همدوس در سطح فلز پلاسمون گفته می‌شود که در کنترل و تنظیم نور(با مقیاس نانو) در حسگرها، تصویربرداری و ذخیره داده کاربرد دارد. ادغام قابلیت‌های پلاسمونیک در ابزارهای کاربردی بخاطر تلفات زیاد، تنظیم‌پذیری محدود و دشواری در ساخت چالش برانگیز است.

فناوری‌های اپتیک در بخش فرآیند تولید

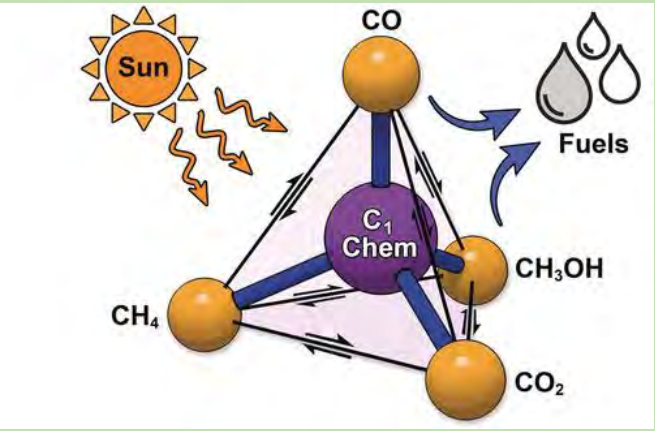
۳۷	حکاکی نیمه‌رسانا	Semiconductor Lithography

لیتوگرافی نیمه هادی که با عنوان فتولیتوگرافی یا میکروساخت نیز شناخته می شود، یک فرآیند کلیدی است که در ساخت مدارهای مجتمع (ICs) و سایر دستگاه‌های نیمه هادی استفاده می شود. این فناوری شامل انتقال یک الگو روی یک ویفر نیمه هادی برای تعریف مدار و ویژگی های یک دستگاه است. این فرآیند با اعمال یک لایه نازک از مواد مقاوم به نور بر روی سطح ویفر نیمه هادی آغاز می شود این ماده هنگام قرار گرفتن در معرض نور دچار تغییرات شیمیایی می شود. سپس یک صفحه شیشه‌ای که الگوی مدار نهایی روی آن نقش بسته بطور دقیق روی ویفر تنظیم می‌شود. ویفر در معرض طول موج خاصی از نور فرابنفش قرار می‌گیرد و نور از قسمت‌های شفاف ماسک عبور می‌کند و الگوی مورد نظر روی ویفر پیاده‌سازی می‌شود. لیتوگرافی نیمه هادی یک فرآیند بسیار دقیق و پیچیده است که به تجهیزات پیشرفته، تراز دقیق و کنترل پارامترهای نوردهی و توسعه نیاز داشته و امکان تولید دستگاه های الکترونیکی سریع تر، کوچکتر و قدرتمندتر را فراهم می کند.



فناوری‌های اپتیک در بخش فرآیند تولید

۳۸	پردازش شیمیایی با استفاده از انرژی خورشیدی	Solar driven chemical processing



تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی شیمیایی از طریق واکنش‌های فوتوشیمیایی صورت می‌گیرد. مثال: تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی در فوتوولتائیک، جذب نور توسط نیمه‌رساناها و تولید الکترون در کاتالیزورهای نوری و تجزیه فوتوالکتروشیمیایی آب برای تولید هیدروژن.

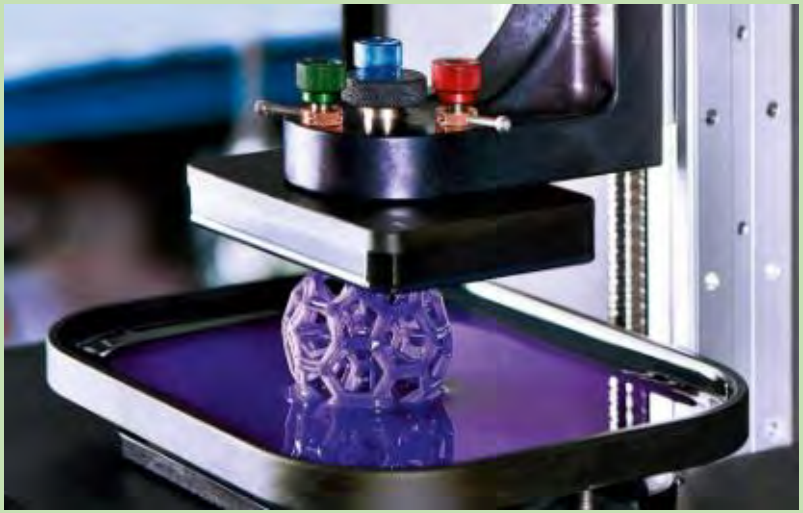
۳۹	آزمون سیستم‌های بسیار پیچیده در مقیاس ویفر	Testing of massively complex systems at wafer scale

آزمون مدارهای مجتمع روی بستر مواد نیمه‌رسانا (در مقیاس ویفر با میلیاردها ترانزیستور و لایه‌های متعدد) برای یافتن خطاها و ایرادات قبل از بسته‌بندی و تحویل به مشتری

فناوری‌های اپتیک در بخش فرآیند تولید

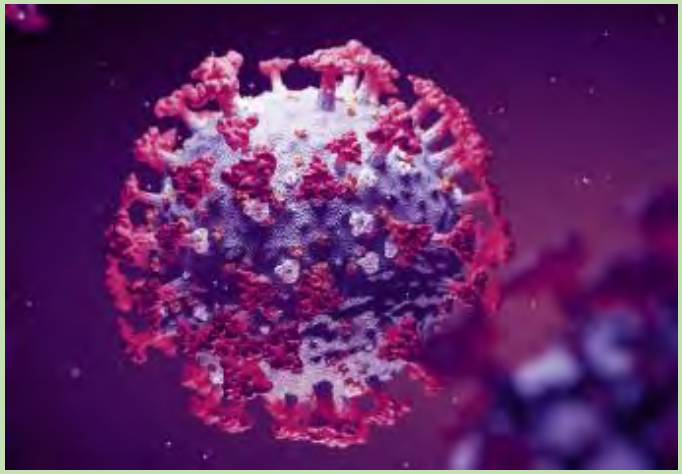
۴۰	چاپ سه بعدی با لیزر	Laser 3D printing

چاپ سه بعدی لیزری تکنیکی است که در آن از لیزر برای ایجاد اشیاء سه بعدی لایه به لایه استفاده می‌شود . نوع فرآیند تولید افزودنی است که در آن مواد به طور انتخابی با هم ترکیب می شوند تا شی مورد نظر را بسازند. چاپ سه بعدی لیزری معمولاً شامل ذوب یا تَفجوشی مواد با استفاده از پرتو لیزر پرقدرت است. لیزر به طور انتخابی مواد پودری مانند فلزات، پلاستیک، سرامیک یا کامپوزیت‌ها را بر اساس طراحی و مشخصات مورد نظر گرم و ذوب می‌کند. این فرآیند با یک طراحی یک مدل با کمک کامپیوتر شروع می‌شود و لیزر در سراسر هر لایه حرکت می کند و مواد پودری را مطابق طرح به طور انتخابی ذوب یا تف جوشی می کند. پس از تکمیل هر لایه، یک لایه جدید از مواد اضافه می شود و این روند تا زمانی که جسم به طور کامل تشکیل شود، تکرار می شود. این فناوری می‌تواند با طیف وسیعی از مواد، از جمله فلزات (مانند تیتانیوم، آلومینیوم و فولاد ضد زنگ)، پلیمرها (مانند ABSیا نایلون)، سرامیک ها و حتی مواد زیست سازگار کار کند. انتخاب مواد به کاربرد مورد نظر و خواص مورد نیاز برای شی نهایی بستگی دارد.



فناوری‌های اپتیک در بخش بهداشت و سلامت

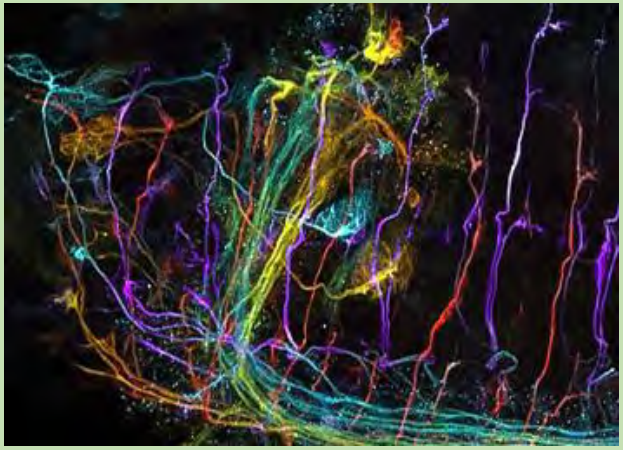
۴۱	نور فرابنفش ضدعفونی کننده	UV-C Light Disinfection

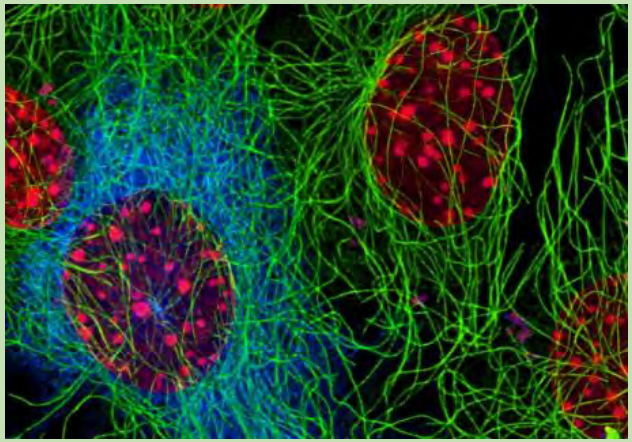


از نور فرابنفش برای ضدعفونی کردن سطوح و اشیاء، تصفیه آب، نابودسازی باکتری، مخمر یا کپک و حتی ویروس کووید-۱۹ استفاده می‌شود. این فناوری نور فرابنفش با طول موج ۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر را برای از بین بردن میکروارگانیسم‌ها نظیر باکتری، ویروس و قارچ بکار می‌گیرد. فوتون‌های پرانرژی توسط میکروب‌ها جذب شده و پیوند کووالانسی با ژن‌ها تشکیل می‌دهند به این ترتیب نور فرابنفش با آسیب زدن به ژنتیک مواد DNA و RNA این میکروارگانیسم‌ها را تغییر داده و از تکثیر آن‌ها جلوگیری و آن‌ها بی‌ضرر می‌کند. به این ترتیب بجای استفاده از مواد شیمیایی یا گرما به راحتی می‌توان مکان‌های عمومی را ضدعفونی نمود. ضدعفونی کردن هوای مدرسه و مهدکودک، رستوران، هتل و مراکز درمانی با استفاده از نور فرابنفش از دیگر کاربردهای این فناوری است.

فناوری‌های اپتیک در بخش بهداشت و سلامت

۴۲	میکروسکوپ لیزری	Laser Scanning Microscope/Confocal laser scanning microscope (CLSM)





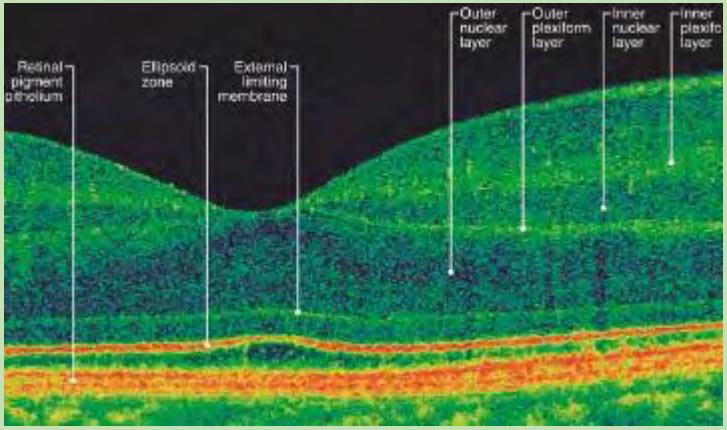
میکروسکوپ لیزری که به عنوان میکروسکوپ اسکن لیزری یا میکروسکوپ اسکن لیزری هم کانونی (CLSM نیز شناخته می‌شود، یک ابزار تصویربرداری پیشرفته است که از روش‌های روشنایی لیزری و اسکن کردن برای ارائه تصاویر سه‌بعدی با وضوح بالا استفاده می‌کند و مزیت‌های زیادی را نسبت به میکروسکوپ‌های نوری سنتی مانند وضوح بهتر، قابلیت برش نوری و توانایی گرفتن تصاویر از اعماق مختلف در یک نمونه ارائه می‌کند.

نور لیزر انسجام و تمرکز بالایی دارد و با طول موج‌های متفاوتی متناسب با نمونه در این نوع فناوری استفاده می‌شود. دیافراگم سوراخ سوزنی، آشکارساز نور و پردازشگر تصویر و تصویرسازی از دیگر بخش‌های میکروسکوپ لیزری هستند که در زیست‌شناسی، پزشکی، علم مواد و نانوفناوری کاربرد دارد.

فناوری‌های اپتیک در بخش بهداشت و سلامت

۴۳	برش‌نگاری منسجم نوری	Optical Coherence Tomography

توموگرافی انسجام نوری (OCT)یک تکنیک تصویربرداری غیر تهاجمی است که از امواج نور برای تولید تصاویر با وضوح بالا و مقطعی از بافت‌های بیولوژیکی در زمان واقعی استفاده می‌کند. به طور گسترده ای در زمینه های پزشکی و چشم پزشکی برای تشخیص و نظارت بر شرایط مختلف و همچنین در کاربردهای دیگر مانند علم مواد و کنترل صنعتی استفاده می شود. این فناوری بر تداخل‌سنجی مبتنی است که در آن یک پرتو به دو بازو تقسیم می‌شود؛ بازوی مرجع و نمونه. نور در بازوی نمونه به بافتی که تصویربرداری می شود هدایت می شود، در حالی که نور در بازوی مرجع از آینه مرجع منعکس می شود. نور پس پراکنده یا منعکس شده از نمونه با نور بازوی مرجع ترکیب می شود و یک الگوی تداخل ایجاد می کند.

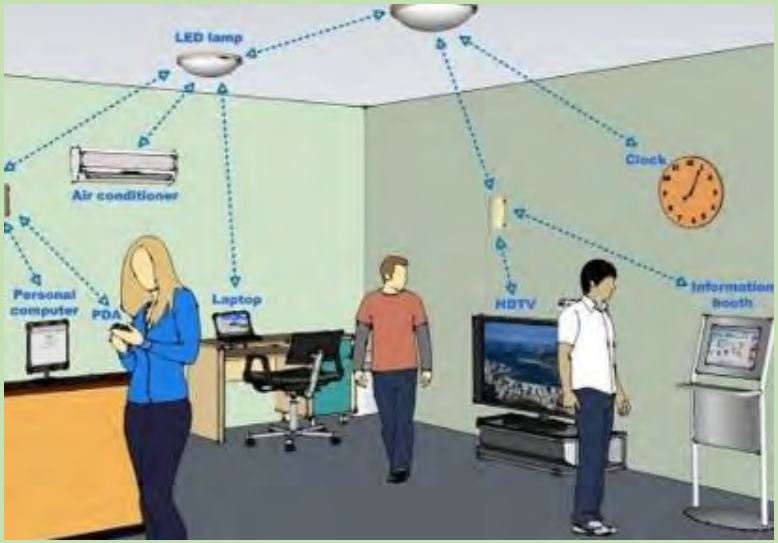


تکنیک تداخل سنجی بر استفاده از یک منبع نور با طول انسجام کوتاه متکی است که امکان تشخیص الگوی تداخل بین امواج نوری که از اعماق مختلف در نمونه منعکس می‌شوند را ایجاد می‌کند. الگوی تداخل حاوی اطلاعاتی در مورد عمق و ساختار بافت است. با اندازه‌گیری تأخیر زمانی نور بازتاب‌شده، می‌تواند عمق لایه‌های بازتابنده مختلف درون نمونه تعیین می‌شود.

فناوری‌های اپتیک در بخش مخابرات

۴۴	لای فای	Light Fidelity)Li-Fi(

لای-فای یک فناوری ارتباط بی سیم است که از نور مرئی یا اشعه مادون قرمز برای انتقال داده ها استفاده می‌کند. نوعی ارتباط بی‌سیم نوری است که از دیودهای ساطع نور(LED) برای انتقال سیگنال های داده استفاده می کند. لای‌فای مزایای متعددی نسبت به فناوری‌های ارتباطی فرکانس رادیویی سنتی مانند وای‌فای دارد که از جمله می‌توان به نرخ انتقال داده بالاتر، افزایش امنیت و کاهش تداخل اشاره کرد. این فناوری از مدولاسیون سریع شدت نور برای انتقال داده‌ها استفاده می کند.رمزگذاری اطلاعات با تغییر شدت سیگنال نور در سرعت‌های بسیار بالا انجام می‌شود که اغلب برای چشم انسان نامحسوس است.



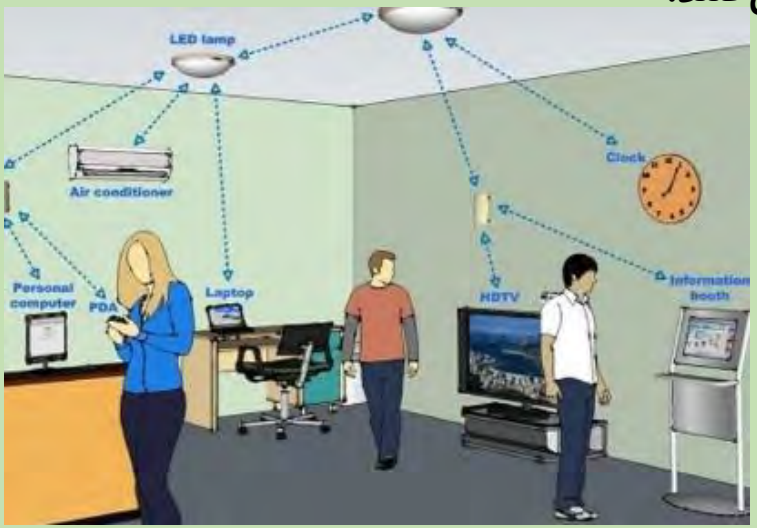
لای-فای به لامپ LEDیا دیگر منابع نوری متکی است که قادر به روشن و خاموش شدن سریع برای انتقال داده هستند. این LEDها در فرکانس بالا در محدوده چندمگاهرتز تا گیگاهرتز مدوله می شوند. برای دریافت و رمزگشایی داده از رديابهای نوری مانند فتودیودها استفاده می‌کند که در آن سیگنال نوری به سیگنال الکتریکی تبدیل شده و توسط دستگاه‌های الکترونیکی پردازش می‌شود.

فناوری‌های اپتیک در بخش مخابرات

۴۵	مخابرات نوری فضای آزاد	Free-space Optics Communication

ارتباطات نوری فضای آزاد یک فناوری ارتباط نوری است که از نور منتشر شده در فضای آزاد برای انتقال بی‌سیم داده‌ها برای مخابرات یا شبکه های کامپیوتری استفاده می کند. «فضای آزاد» به معنای هوا، فضای بیرونی، خلاء یا چیزی شبیه آن است که در تضاد با استفاده از مواد جامد مانند کابل فیبر نوری است. این فناوری در زمینه‌های مختلف از جمله مخابرات، ارتباطات نظامی و لینک‌های بین ماهواره‌ای کاربرد دارد.

این فناوری از پرتوهای لیزر برای انتقال داده‌ها از طریق جو استفاده می‌کند. پرتوهای لیزر اطلاعات رمزگذاری شده را به شکل پالس‌های نوری حمل می‌کنند.



بسته به کاربرد و شرایط جوی، نور می تواند در طیف مرئی، مادون قرمز یا فرابنفش باشد. این نوع ارتباط مستلزم یک خط دید مستقیم بین فرستنده و گیرنده است. پرتوهای لیزر باید بدون هیچ گونه مانعی مانند ساختمان ها، درختان یا تداخل جوی در هوا حرکت کنند تا یک اتصال قابل اعتماد حفظ شود و سرعت انتقال داده بالایی را ارائه می دهد، معمولاً در محدوده چندین گیگابیت در ثانیه و یا حتی بالاتر!

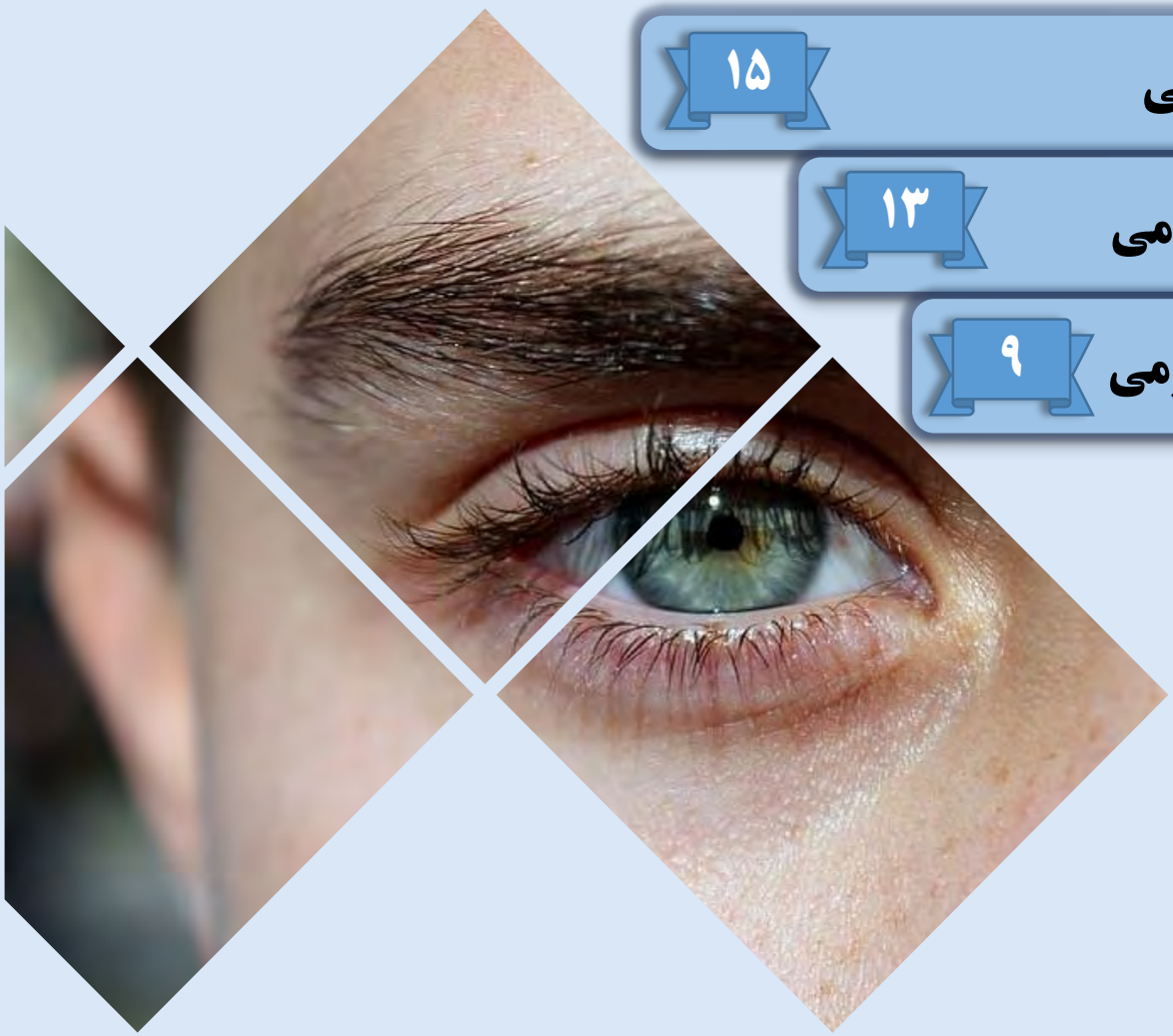
فناوری‌های اپتیک در بخش کشاورزی

۴۶	کشاورزی دقیق با فناوری فوتونیک	Precision farming

فناوری‌های نوری و فوتونیک برای اندازه‌گیری سلامت محصول و کیفیت محصولات کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور در باند نور مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی بکار گرفته می‌شوند. این فناوری‌ها در اندازه‌گیری و پایش آب و هوا، رشد گیاهان، کیفیت خاک، میزان نیاز به آب یا کود و تشخیص بیماری یا آفت گیاهان و سلامت حیوانات کاربرد دارند. سیستم‌های روشنایی پیشرفته سرعت رشد گیاهان گلخانه‌ای را افزایش داده‌اند. حسگرهای لیدار و سه بعدی در ترکیب با دوربین‌ها سبب توانمندسازی ماشین‌های خودکاری شده‌اند که با محصولات کشاورزی با دقت در حد سانتیمتر در تعامل هستند. تجهیزات UV ضدعفونی کننده آب، آب خروجی از گلخانه‌ها تصفیه نموده و برای آبیاری مجدد آماده می‌کنند.

فناوری‌های اولویت‌دار کوانتوم

دسته‌بندی و تعداد فناوری‌های اولویت‌دار کوانتوم

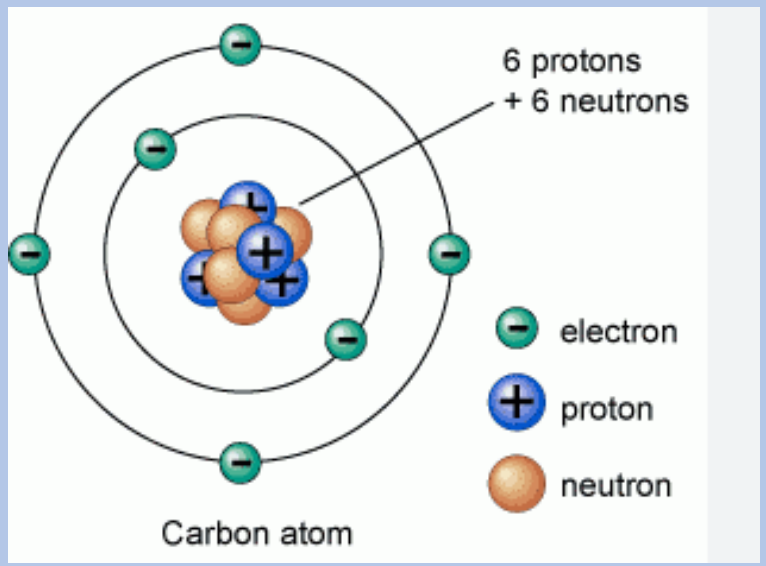


۱	سنجش کوانتومی	۱۵
۲	پردازش کوانتومی	۱۳
۳	مخابرات کوانتومی	۹

فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

۱	اتم‌های خنثی	Neutral Atoms

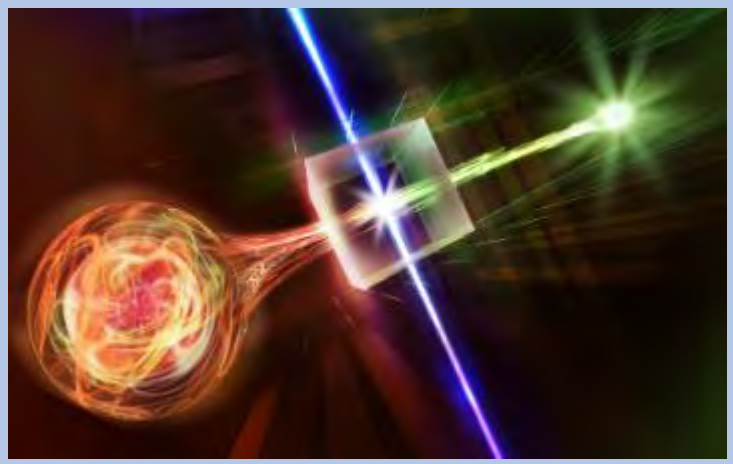
در این فناوری از حالت الکترونیکی و اسپین هسته اتم‌های خنثی که در یک شبکه نوری یا تله مغناطیسی به دام افتاده‌اند برای ساخت کیوبیت استفاده می‌شود. برای کاهش حرکات حرارتی و ناپیوستگی در دمای بسیار پایین نگه داشته می‌شوند و حالت آن‌ها با پرتو لیزر مدیریت می‌شود. پلتفرم اتم خنثی با استفاده از اتم‌های سردی که در داخل تله‌های اپتیکی به دام افتاده‌اند و یک آرایه اتمی دست‌ساز تشکیل داده‌اند، پیاده‌سازی می‌شود.



در این نوع از پردازشگرهای کوانتومی کیوبیت‌ها با استفاده از وضعیت الکترونیکی اتم تعریف شده و آرایه‌ای ساختارپذیر از اتم‌های خنثی با فاصله چند میکرومتر ایجاد می‌شود. یک آرایه دوبعدی حاوی صدها اتم، می‌تواند کمتر از ۵۰ میکرومتر عرض داشته باشد. (آرایه اتمی جایگزین رجیستر کلاسیک هستند)

فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

۲	حل چالش‌های صنعت با شبیه‌سازی کوانتومی	Resolving Industrial challenges by Quantum Simulation

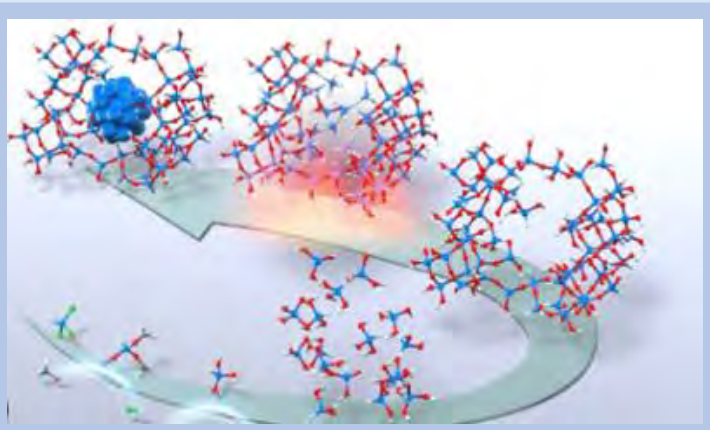


شبیه‌ساز کوانتومی رفتار یک سیستم مدل شده را در راستای بهینه‌سازی، افزایش بهره‌وری و کیفیت و یا کشف محصولات جدید شبیه‌سازی می‌کند و کاربردهای بسیار گسترده‌ای دارد.

مدلسازی و بهینه‌سازی واکنش‌های شیمیایی و ترکیبات داروی با هدف کشف مواد جدید در باتری‌سازی و کشف داروهای جدید، شبیه‌سازی تصادف و شناخت نحوه عملکرد خودرو و تجهیزات آن در تصادف و یافتن راه حل برای کاهش صدمات، مطالعه واکنش‌های شیمیایی‌ورفتار موادابررسانابرای‌اسکنرهای پزشکی، بهینه‌سازی زنجیره تامین، توزیع و مسیریابی، طراحی مدار، برنامه‌ریزی تولید، مدیریت ناوگان و بهینه‌سازی شبکه الکتریکی و مخابراتی، همگی از کاربردهای مهم این فناوری هستند.

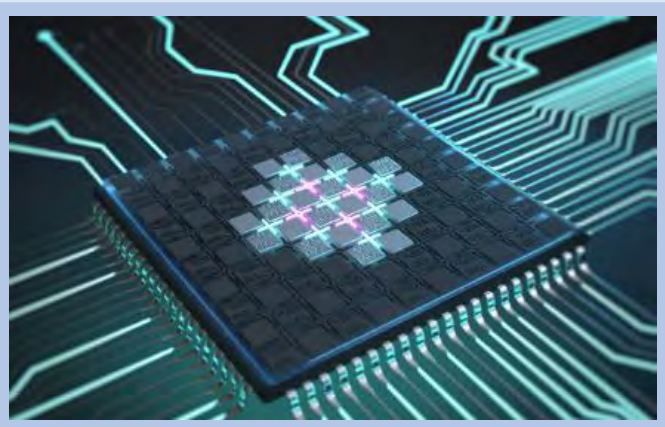
فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

۳	کیوبیت گره کوانتومی سیلیکونی	Silicon Quantum Dots Qubit



خوشه‌هایی کوچک از اتم‌های سیلیکونی در اندازه چند نانومتر هستند که با تحدید الکتروستاتیکی به دام افتاده و قابلیت کیوبیت را نشان می‌دهند. مزیت گره‌های کوانتومی سیلسکونی در قابلیت تجمیع با سیستم‌های الکترونیکی برپایه سیلیکون فعلی است.

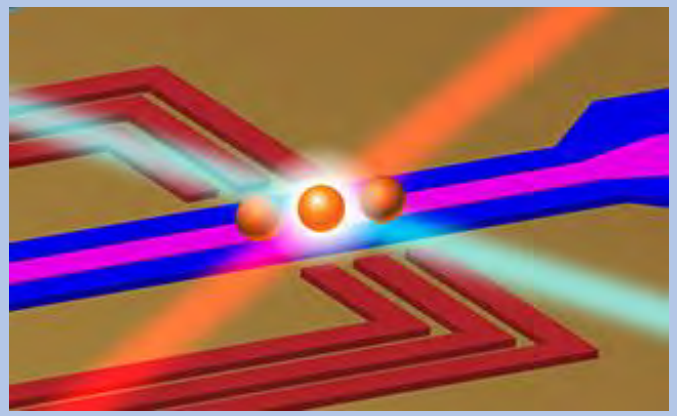
۴	کیوبیت ابررسانا	Superconductor Qubit



ابررساناها جریان الکتریسیته را بدون مقاومت و در دمای بسیار پایین هدایت می‌کنند و با ایجاد مدارهای مجتمع بسیار منسجم کوانتومی ابزار مناسبی برای استفاده به عنوان کیوبیت هستند. مزیت استفاده از ابرساناها در ساخت کیوبیت روش استاندارد تولید و مقیاس‌پذیری آنها می‌باشد.

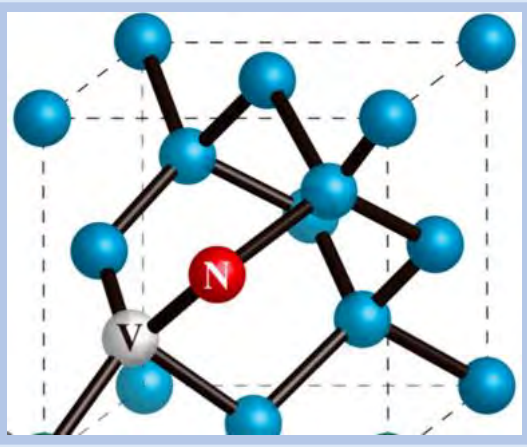
فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

۵	کیوبیت یون به دام افتاده	Trapped Ions Qubit



یون‌ها اتم‌های بارداری هستند که با کمک میدان الکترومغناطیسی به دام افتاده و با پرتو لیزر دستکاری می‌شوند و به عنوان کیوبیت استفاده می‌شوند. مزیت استفاده از یون‌های به دام افتاده به عنوان کیوبیت زمان طولانی نگهداشت حالت کوانتومی و دقت بالای آنهاست.

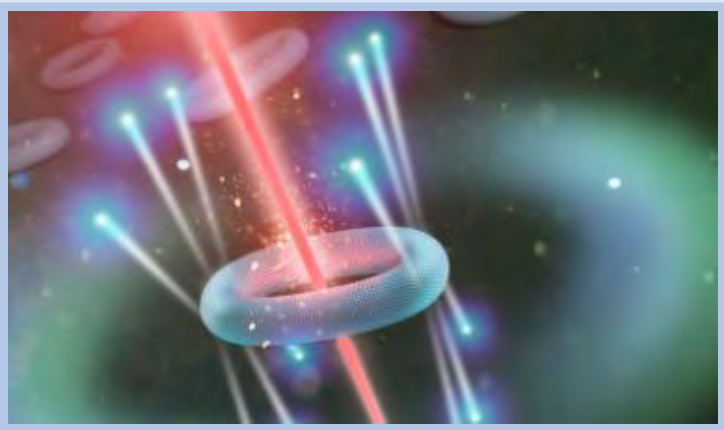
۶	کیوبیت خلاء نیتروژن	Nitrogen Vacancy Qubit



نقص اتم‌ها در ساختار شبکه‌ای کریستال الماس و جایگزینی کربن با نیتروژن خلا نیتروژن نام دارد که با استفاده از پالس نوری و میکروموج دستکاری شده و بعنوان کیوبیت کاربرد دارند.مزیت استفاده از خلاء نیتروژن به عنوان کیوبیت زمان طولانی نگهداشت حالت کوانتومی و دقت بالا می‌باشد.

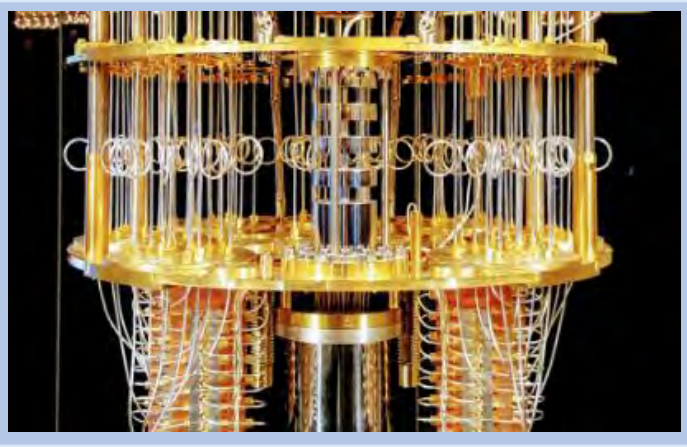
فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

۷	کیوبیت فوتونیکی	Photonics Qubit



از فوتون برای ساخت کیوبیت استفاده می‌شود. قطبش فوتون(متغیر گسسته) یا مسیر فوتون(متغیر پیوسته) تعیین کننده حالت کیوبیت است. فوتون‌ها توسط منبع لیزر تولید شده و حالت آن با ابزارهای نوری خطی نظیر پرتوشکن و تغییرفازدهنده مدیریت می‌شود. مزیت این روش سرعت بسیار بالا وکارآیی آن است.

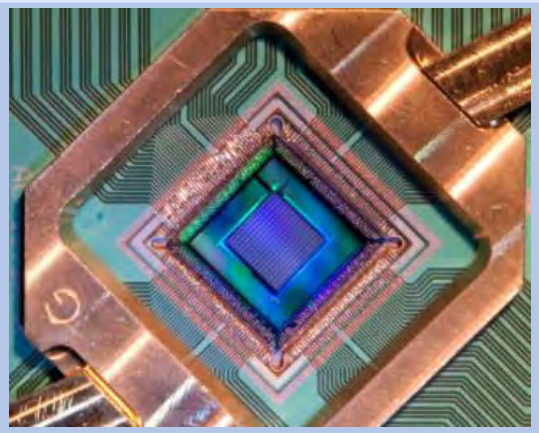
۸	عصر پردازش NISQ	Noisy Intermediate Scale Quantum



وضعیت فعلی پردازنده‌های کوانتومی که در آن کیوبیت‌ها «نویزی» هستند زیرا به محیط بسیار حساس بوده و به راحتی حالت کوانتومی خود را از دست می‌دهند. به همین دلیل، پردازنده کوانتومی تحت تأثیر ناهمدوسی قرار می گیرد و به «اصلاح خطا» در خروجی خود نیاز دارد.

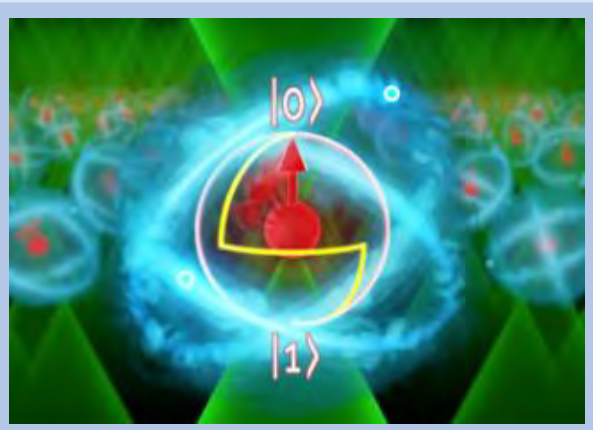
فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

۹	بازپخت (گرم و سرد کردن کنترل شده) کوانتومی	Quantum Annealing



یک روش پردازش کوانتومی برای حل مسائل بهینه‌سازی است که از حالت ساده و معلوم شروع و با تغییر پارامتر همیلتونی در سیستم تدریجا به حالت پیچیده تکامل می‌یابد و در نهایت در حالت کم‌انرژی قرار می‌گیرد که متناظر با راه حل بهینه مسئله بهینه‌سازی است.

۱۰	شبیه‌ساز کوانتومی با اتم خنثی	Neutral atom quantum Simulator



ابزاری که با دستکاری ویژگی‌های اتم خنثی، به مطالعه رفتار سایر سیستم‌های کوانتومی می‌پردازد. تعدادی از اتم‌های خنثی با استفاده از لیزر در تله می‌اندازند و با کنترل وضعیت اتم‌ها به وسیله میدان مغناطیسی و پرتو لیزر، سیستم کوانتومی مطلوب را ایجاد می‌کنند.

فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

۱۱	یادگیری ماشینی کوانتومی	Quantum Machine Learning

یادگیری ماشین کوانتومی یک زمینه در حال ظهور است که فصل مشترک محاسبات کوانتومی و یادگیری ماشین کلاسیک را بررسی می‌کند. ایده اصلی، استفاده از محاسبات کوانتومی برای افزایش عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین کلاسیک یا توسعه الگوریتم‌های جدیدی است که از ویژگی‌های کوانتومی مانند برهم‌نهی و درهم‌تنیدگی بهره می‌برند.

یکی از مزیت‌های اصلی یادگیری ماشین این است که می تواند حجم زیادی از داده‌ها را با کارایی بیشتری نسبت به کامپیوترهای کلاسیک پردازش کند. برای مثال، رایانه‌های کوانتومی می‌توانند وظایف خاصی مانند جستجو در پایگاه‌های داده بزرگ یا حل مسائل بهینه‌سازی خاص را به طور تصاعدی سریع‌تر از رایانه‌های کلاسیک انجام دهند که به ویژه در اموری مانند تشخیص تصویر، پردازش زبان طبیعی و کشف دارو کاربرد دارد. QML هنوز یک زمینه نسبتاً جدید است و چالش‌های مهمی در توسعه الگوریتم‌ها و سخت‌افزارهای عملی که می‌توانند برای برنامه‌های کاربردی در دنیای واقعی استفاده شوند، باقی‌مانده است. با این حال، پتانسیل QMLبرای متحول کردن یادگیری ماشینی و فعال کردن قابلیت‌های جدید در زمینه‌هایی مانند هوش مصنوعی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و رباتیک باعث علاقه و سرمایه‌گذاری قابل توجهی در این زمینه شده است.

فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

۱۲	پردازش کوانتومی خطاپذیر	Fault-tolerant Quantum Computing

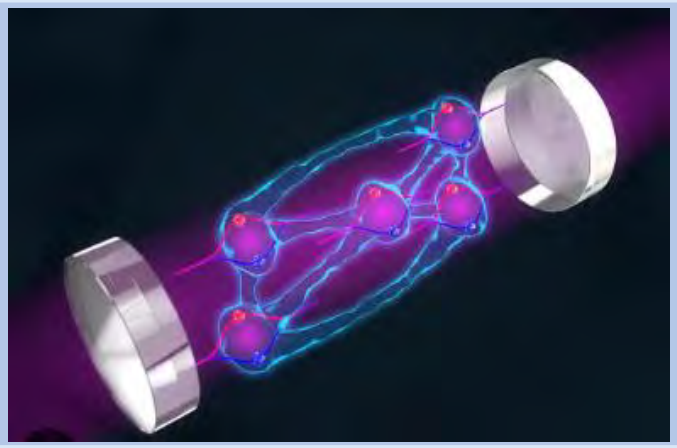
به توانایی سیستم پردازش کوانتومی در انجام محاسبات کوانتومی با قابلیت اطمینان بالا، حتی با وجود نویز و خطا، گفته می‌شود. این قابلیت برای ساخت کامپیوترهای کوانتومی بسیار بزرگ عملیاتی که مسائل دنیای واقعی را حل می‌کنند ضروری است. نویز و خطای حاصل از تعامل کیوبیت‌ها با محیط چالش مهم این فناوری است.

۱۳	اینترنت کوانتومی	Quantum Internet

شبکه‌ای از ابزارهای کوانتومی متصل که داده کوانتومی را انتقال می‌دهند. مخابرات امن و پربازده با رمزنگاری کوانتومی، ترابری کوانتومی و توزیع کلید کوانتومی، با سرعت بالا انجام می‌شود.

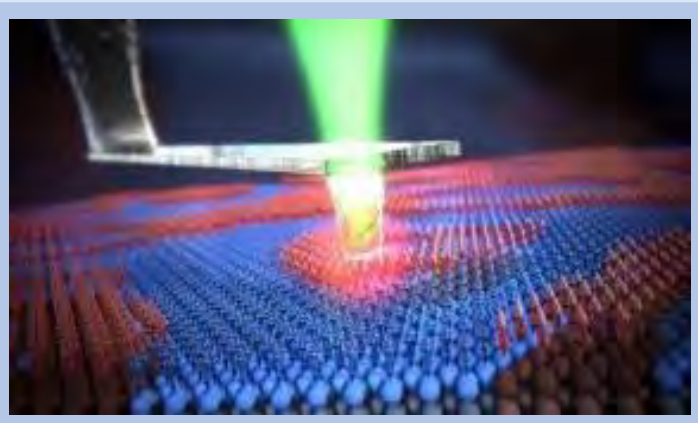
فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

۱۴	تداخل‌سنج اتمی	Quantum Interferometer



از تداخل سنج اتم سرد برای ساخت ابزارهای سریع و دقیق اندازه‌گیری متغیرهایی نظیر گرانش، اینرسی و چرخش استفاده می‌شود. این با اندازه‌گیری الگوی تداخل امواج ماده اتمی که در مسیرهای مختلف حرکت می کنند، انجام می‌شود. لیزر و آشکارساز فوتون منسجم و مدولاتور اجزای اصلی این فناوری است.

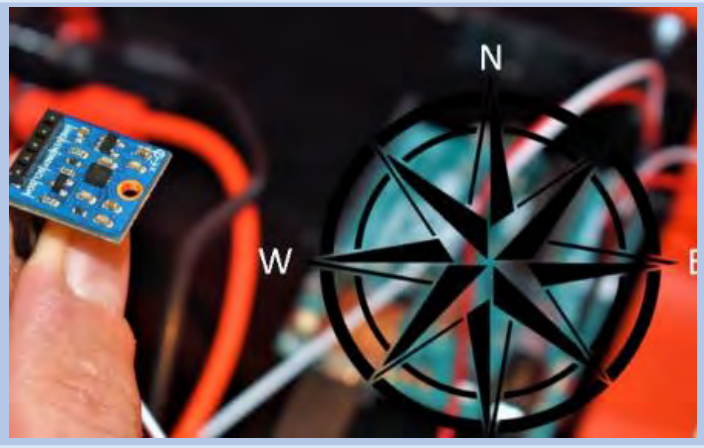
۱۵	سنجش کوانتومی با مراکز خلاء نیتروژن	Quantum Sensing by Nitrogen Vacancy centers



از رفتار نقاط خالی از نیتروژن در کریستال‌های مصنوعی الماس برای اندازه‌گیری متغیرهایی نظیر میدان مغناطیسی و الکتریکی، کشش و دما استفاده می‌شود. این کار با اندازه‌گیری تغییر شدت فلورسانس منتشر شده توسط مراکز خلا نیتروژن در شبکه الماس انجام می‌شود.

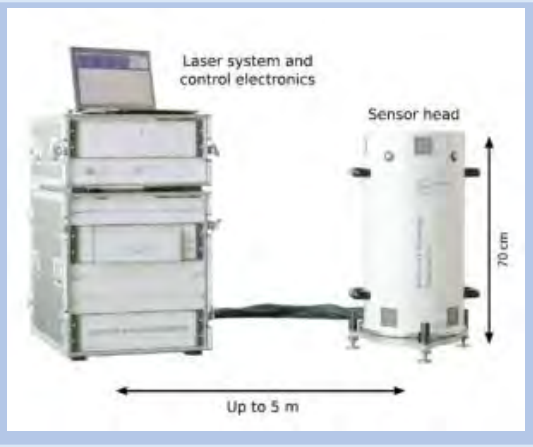
فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

۱۶	مغناطیس سنج کوانتومی	Quantum Magnetometer



اندازه‌گیری دقیق میدان مغناطیسی مبتنی بر وابستگی شدت فلوئورسنس خلاءنیتروژن به قدرت میدان مغناطیسی موجود با استفاده از تجهیزاتی نظیر لیزر، فوتودیود، آشکارساز تک فوتون که در پژوهش‌های پیش رو کاهش هزینه تولید و کوچک شدن اندازه و افزایش قدرت و دقت از معیارهای توسعه است.

۱۷	گرانش‌سنج کوانتومی	Quantum Gravimeter

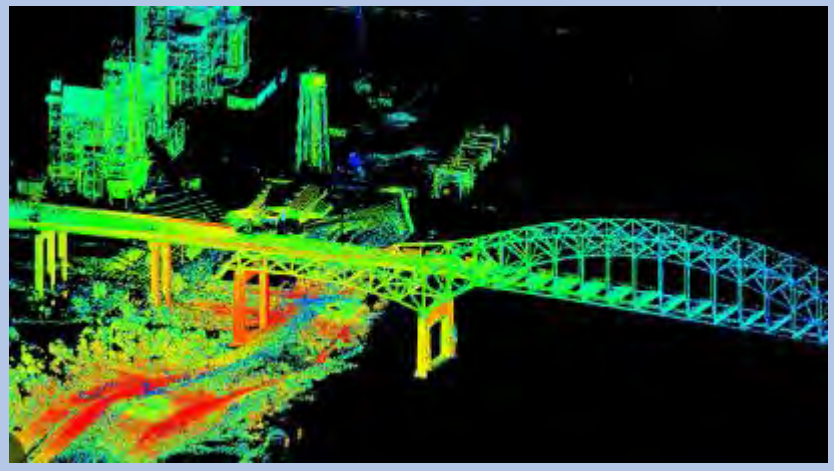


اندازه‌گیری دقیق ضریب زاویه میدان گرانشی با بکارگیری ابری از اتم‌های سرد و سنجش فلوئورسانس آن‌ها با تجهیزاتی نظیر لیزر و فوتودیودها در این فناوری انجام می‌گیرد. تشخیص ساختارهای پنهان مانند لوله‌ها، فروچاله‌ها و تهیه نقشه۳بعدی از چگالی مواد اطراف، کاهش هزینه و زمان در ساخت‌وساز، ساخت جاده و تعمیر راه‌آهن از کاربردهای این فناوری است.

فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

۱۸	لیدار کوانتومی	Quantum Lidar (Light Detection and Ranging)

با استفاده از لیدار کوانتومی آشکارسازی و فاصله‌سنجی با کمک نور انجام می‌گیرد. در این ابزار از پرتاب فوتون‌های درهم‌تنیده به سمت اجسام و سنجش تغییرات آن‌ها پس از بازگشت استفاده می‌شود. هدایت خودروهای خودران، تهیه عکس‌های بسیار با کیفیت برای تشخیص نشتی گاز متان و دی‌اکسیدکربن و تهیه نقشه ۳بعدی از اشیاء و محیط، از کاربردهای شاخص این فناوری است. آشکارساز تک فوتون و منبع فوتون‌های درهم‌تنیده از قطعات مورد استفاده در لیدار کوانتومی است.



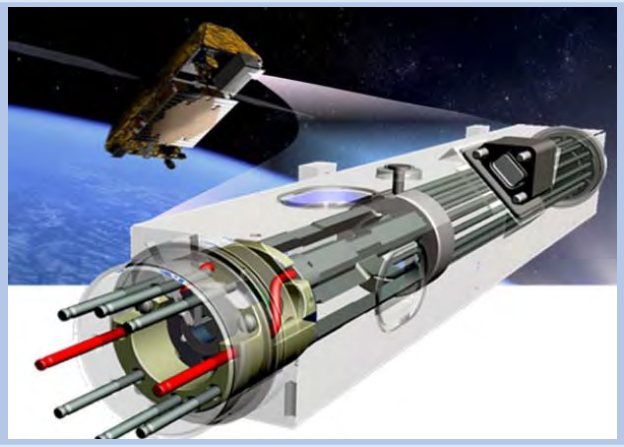
لیدار یک روش سنجش از دور است که از نور به شکل لیزر پالسی برای اندازه‌گیری برد (فاصله‌های متغیر) تا زمین استفاده می‌کند. این پالس های نوری – همراه با سایر داده های ثبت شده توسط سیستم هوابرد – اطلاعات دقیق و سه بعدی در مورد شکل زمین و ویژگی های سطح آن تولید می کنند.

فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

۱۹	ناوبری کوانتومی	Quantum Navigation

استفاده از فناوری کوآنتوم در مکان‌یابی، ناوبری و زمان‌سنجی دقیق است. برای نمونه استفاده از ساعت اتمی درهم‌تنیده برای ایجاد سیگنال زمانی دقیق و پایدار جایگزین سیستم سنتی GPSاست. مثال دیگر قطب‌نمای کوانتومی با استفاده از ویژگی درهم‌تنیدگی کوانتوم برای سنجش دقیق میدان مغناطیسی است.

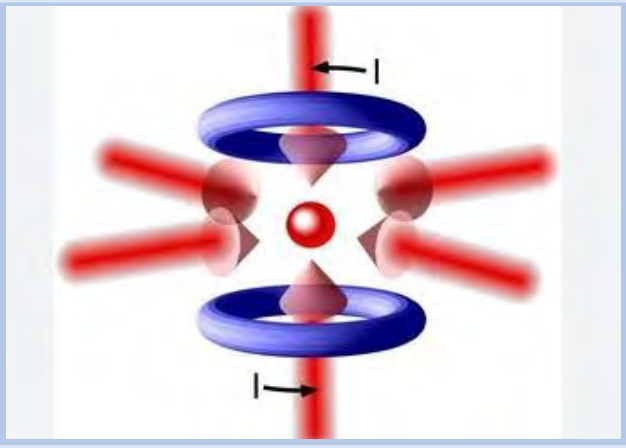
۲۰	ساعت اتمی	Atomic Clock



در ساعت اتمی از فرکانس تغییرات فوق ظریف حالت در اتم به عنوان مرجع استاندارد زمانی استفاده می‌شود. لیزر، آشکارساز فوتون هترودین و هومودین و مدولاتورها، قطعات نوری و فوتونیکی لازم برای ساخت ساعت اتمی هستند.

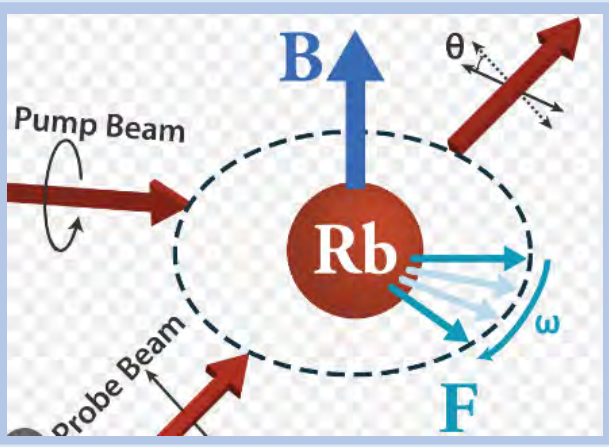
فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

۲۱	حسگر کوانتومی اتم سرد	Quantum Cold-atom Sensor



دوگانگی موجی-ذره‌ای یک اتم روبیدیوم با فاز پرتو لیزر مقایسه می‌شود به گونه‌ای که می‌تواند تغییرات بسیار جزئی در نحوه سقوط آزادانه اتم‌ها در خلا را پایش کند. از تغییرات در سقوط آزاد اتم برای تعیین قدرت گرانش محلی و تشخیص وجود حفره ها، لوله ها، تونل ها، ذخایر نفت و گاز در زیر زمین استفاده می‌شود.

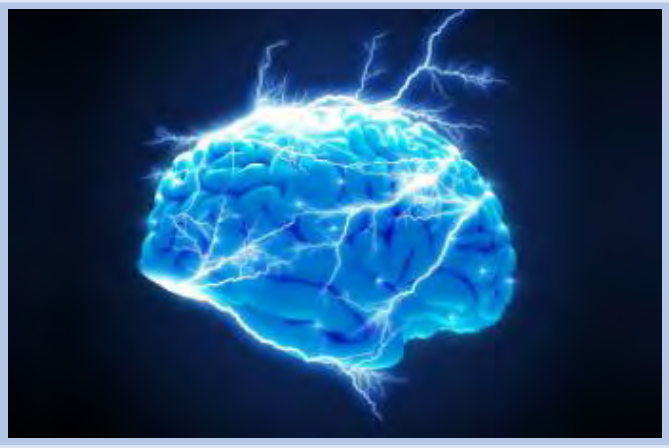
۲۲	مغناطیس‌سنج اتمی فرکانس رادیویی	RF Atomic Magnetometer



مغناطیس‌سنج‌های کوانتومی، تعامل بین اتم‌های قلیایی فلزات و یک میدان مغناطیسی خارجی را پایش نموده و تغییرات چرخش الکترون‌ها ناشی از میدان مغناطیسی و نواقص در مقیاس میکرو در مواد و اجسام را تشخیص می‌دهد. حسگر مغناطیس سنج اتمی مینیاتوری در فرکانس رادیویی نمونه‌ای از این فناوری کوانتومی است.

فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

۲۳	مغناطیس‌سنج اپتیکی پمپ شده	Optically Pumped Magnetometers (OPMs)



این فناوری نسل جدید حسگر کوانتومی برای تحول تصویربرداری از مغز است. این حسگر کوچک و سبک می‌تواند به یک ابزار پوشیدنی(کلاه) بدل شود و عملکرد الکترو فیزیولوژیک مغز را با حساسیت و دقت بی‌نظیر سنجش کند. طراحی این دستگاه به گونه‌ای که مغز نوزاد درآغوش والدین اسکن شود مورد نظر است.

۲۴	حسگر کوانتومی تست باتری انتهای خط تولید	Quantum Sensors for end-of-line battery testing

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی با حساسیت بالا توسط فناوری کوانتوم برای سنجش شار جاری در سلول لیتیومی و انجام آزمایش کهنگی برای باتری‌های لیتیوم-یون و سدیم-یون بکار می‌رود. این فناوری می‌تواند برای کارخانه‌های تولید باتری خودروسازی تجاری‌سازی شود و کیفیت تولید باتری را بالا ببرد.

فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

۲۵	حسگر تصویربرداری گاز متان	Gas (Methane) Imagers

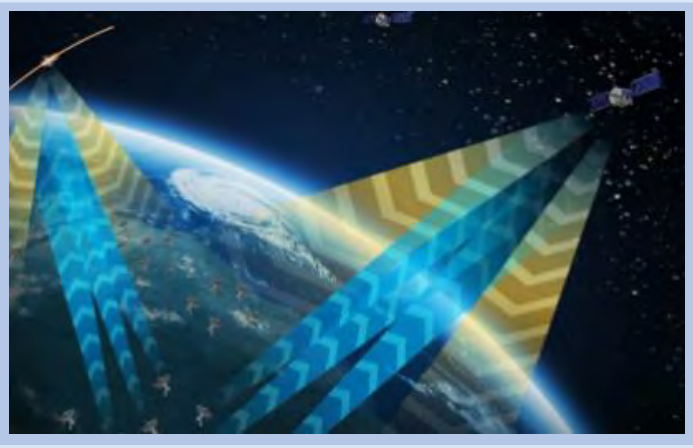
تصویربردار گاز متان مبتنی بر شمارش زمان‌بندی شده تک فوتون‌ها با ابزارهایی نظیر آشکارساز انبوه تک فوتون با طول موج مادون قرمز (SWIR SPAD) و با هزینه کم ساخته می‌شود.
این فناوری عملکرد بسیار خوبی در تشخیص گاز متان دارد اما تنها برای تک گاز متان کاربرد دارد و در آینده برای تشخیص همزمان چند گاز بطور توسعه خواهد یافت.

۲۶	توموسنتز دیجیتال کوانتومی	Quantum Digital Tomosynthesis

حساسیت بسیار بالا برای تمایز بین بافت سالم و ناسالم و بافت نرم و سخت (استخوان) بسیار حیاتی است و باید تصویری ۳بعدی و بسیار دقیق در طول جراحی ، باسرعت بسیار بالا و با اشغال فضایی کم ارائه شود.
این ابزار با استفاده از فناوری کوانتوم(منبع اشعه ایکس و آشکارساز) تصویربرداری ۳بعدی می‌نماید.

فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

۲۷	رادار کوانتومی	Quantum Radar



دستگاه راداری که به فوتون های درهم تنیده متکی است و از چنان توان پایینی استفاده می‌کند که پشت سر و صدای پس زمینه پنهان می‌شود و برای کاربردهای زیست پزشکی و امنیتی مفید است. این دستگاه از ویژگی‌های مکانیک کوانتومی برای سنجش محیط و ایجاد تصویر از آن در محدوده مایکروویو استفاده می‌کند و در مرحله آزمایشی است.

۲۸	توموسنتز دیجیتال کوانتومی	Quantum Digital Tomosynthesis

حساسیت بسیار بالا برای تمایز بین بافت سالم و ناسالم و بافت نرم و سخت (استخوان) بسیار حیاتی است و باید تصویری ۳بعدی و بسیار دقیق در طول جراحی، باسرعت بسیار بالا و با اشغال فضایی کم ارائه شود.

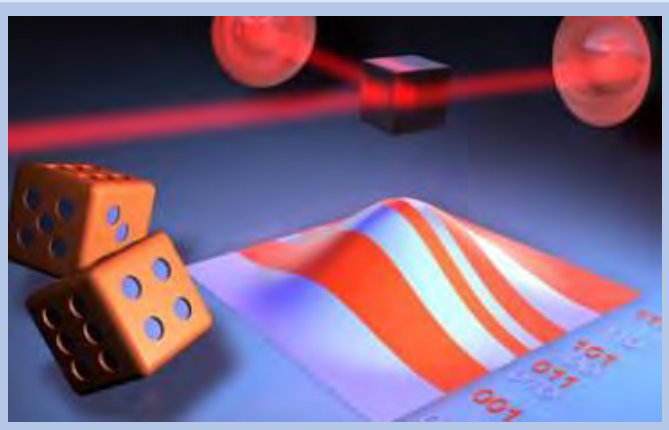
این ابزار با استفاده از فناوری کوانتوم (منبع اشعه ایکس و آشکارساز) تصویربری ۳بعدی از بافت ارائه می‌کند.

فناوری‌های کوانتوم در بخش مخابرات کوانتومی

۲۹	رمزنگاری پساکوانتومی	Post Quantum Cryptography

الگوریتم‌های رمزنگاری برای مقابله با حملات کامپیوترهای کوانتومی نظیر کلید-متقارن، کلید-عمومی و رمزنگاری‌شبکه‌محور که مبتنی بر مسائل ریاضی هستند که حل آن‌ها برای کامپیوترهای کوانتومی مشکل است.

۳۰	مولد عدد تصادفی کوانتومی	Quantum Random Number Generator



ابزار تولید عدد تصادفی بر اساس ماهیت غیرقابل پیش‌بینی پدیده‌های کوانتومی نظیر نوسانات تصادفی نور و چرخش ذره که در رمزنگاری، شبیه‌سازی و پژوهش‌های علمی کاربرد دارد.

فناوری‌های کوانتوم در بخش مخابرات کوانتومی

۳۱	توزیع کلید کوانتومی متغیر پیوسته	Quantum Key Distribution Continuous Variable

پروتکل رمزنگاری کوانتومی مبتنی بر دامنه و فاز میدان الکترومغناطیسی پرتو نور است که در آن گیرنده با استفاده از آشکارساز هومودین و مقایسه پرتو دریافتی با پرتو مرجع، دامنه و فاز پرتو را تشخیص می‌دهد.

۳۱	توزیع کلید کوانتومی متغیر گسسته	Quantum Key Distribution Discrete Variable

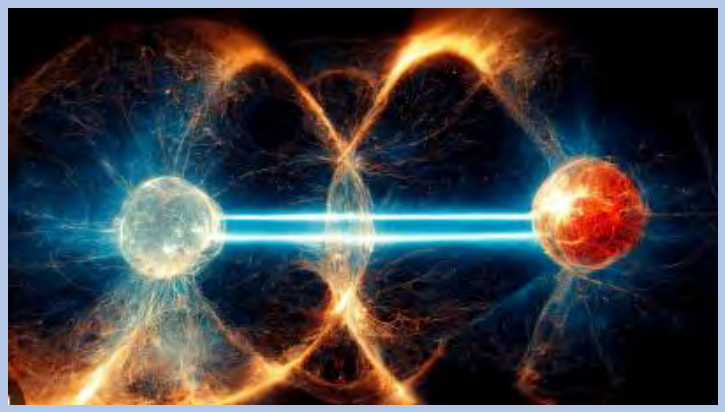
پروتکل رمزنگاری کوانتومی مبتنی بر وضعیت قطبش فوتون(دو حالت افقی و عمودی) است و در گیرنده از یک فیلتر قطبی کننده برای تشخیص حالت فوتون‌ها استفاده می‌شود.

فناوری‌های کوانتوم در بخش مخابرات کوانتومی

۳۲	توزیع کلید کوانتومی مبتنی بر درهم‌تنیدگی	Entanglement quantum key distribution

توزیع کلید کوانتومی مبتنی بر درهم‌تنیدگی روشی برای برقراری ارتباط امن است که از اصول مکانیک کوانتومی برای انتقال اطلاعات بین دو طرف استفاده می‌کند به گونه‌ای که قابلیت استراق سمع نداشته باشد و توسط نفر سوم رمزگشایی نشود.

ایده اصلی پشت این روش، ایجاد یک جفت ذره درهم تنیده، مانند فوتون‌ها، و ارسال یکی از ذرات به فرستنده (آلیس) و دیگری به گیرنده (باب) است. هنگامی که آلیس ذره خود را اندازه می گیرد، وضعیت ذره باب به دلیل درهم تنیدگی با ذره او مرتبط می شود. از این همبستگی می توان برای ایجاد یک کلید مخفی مشترک بین آلیس و باب استفاده کرد که می تواند برای ارتباط امن استفاده شود. امنیت QKDمبتنی بر درهم تنیدگی بر این واقعیت استوار است که هر گونه تلاش برای رهگیری یا اندازه گیری ذرات برای استراق سمع، به ناچار درهم تنیدگی را مختل می کند و باعث ایجاد خطاهایی می شود که توسط آلیس و باب قابل تشخیص است. چندین پیاده‌سازی آزمایشی از QKD مبتنی بر درهم تنیدگی انجام گرفته است و این فناوری برای کاربردهای عملی در زمینه هایی مانند ارتباطات امن و رمزنگاری در حال توسعه است.



فناوری‌های کوانتوم در بخش مخابرات کوانتومی

۳۳	گیرنده نوری زمینی	Optical Ground Receiver

نسل جدید گیرنده نوری زمینی برای کار با ماهواره‌ها نقش مهمی در گسترش استفاده از شبکه امن مخابراتی فراگیر مبتنی بر توزیع کلید کوانتومی دارد. این گیرنده جدید کم هزینه و کم وزن انقلابی در حوزه مخابرات کوانتومی پیشرفته ایجاد خواهد کرد و به امنیت اینترنت بین‌المللی و ایمنی در مقابل کامپیوترهای کوانتومی کمک می‌کند.

۳۴	قطعات ماهواره‌ای QKD	QKD Satellite Components

مخابرات در فضای آزاد و زیرساخت‌های ماهواره‌ای، استفاده از QKDرا برای فواصل بسیار دور و در شبکه‌های بین‌المللی امکان‌پذیر می‌سازد. به این ترتیب، تولید و تجاری‌سازی قطعات ماهواره‌ای QKDبه عنوان جزء مهمی از مخابرات امن و مبتنی بر پروتکل QKDبسیار مورد توجه قرار گرفته است.

فناوری‌های کوانتوم در بخش مخابرات کوانتومی

۳۵	مولد عدد تصادفی کوانتومی نویز سیاه	Dark Noise QRNG

مولد عدد تصادفی (RNG) یک قطعه اصلی مورد نیاز در سیستم‌های رمزگذاری است. در واقع، هر چه کلید تصادفی‌تر باشد رمزگذاری امن‌تر است. مولدهای موجود پیچیده و ارزان هستند، اما توسعه فناوری کوانتوم خطری برای پروتکل رمزنگاری آن‌ها محسوب می‌شود. برای حل این مشکل، نوع جدیدی از مولدهای مبتنی بر منبع کوانتومی در حال ظهور هستند. گروهی از آن‌ها از فوتون برای تولید عدد تصادفی استفاده می‌کنند و به همین دلیل بزرگ و پرهزینه هستند.

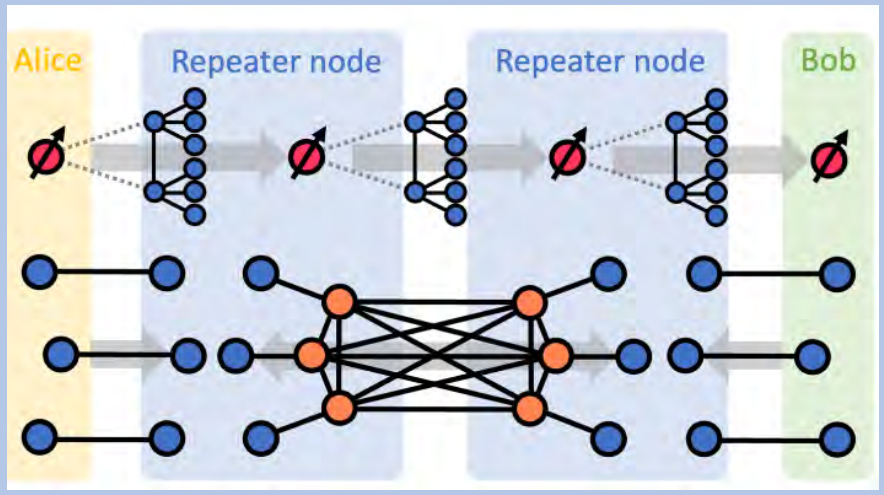
گروهی دیگر از منبع کوانتومی نویز که در غیاب نور در دسترس است استفاده می‌کنند که هزینه و برق کمتر مصرف و حجم کمتری اشغال می‌نماید و بهره‌وری بالاتری دارند. مولد عدد تصادفی نویز سیاه مبتنی بر CMOS طراحی شده است.

فناوری‌های کوانتوم در بخش مخابرات کوانتومی

۳۶	تکرارکننده کوانتومی	Quantum Repeater

تکرار کننده کوانتومی دستگاهی است که در ارتباطات کوانتومی برای گسترش فاصله ای که اطلاعات کوانتومی می تواند به طور قابل اعتماد منتقل شود، استفاده می شود. ارتباطات کوانتومی مبتنی بر اصول مکانیک کوانتومی است و امکان انتقال امن و کارآمد اطلاعات کوانتومی مانند بیت‌های کوانتومی (کیوبیت) را بین طرف‌های دور فراهم می‌کند.

در ارتباطات نوری سنتی، تخریب سیگنال در فواصل طولانی به دلیل تلفات در رسانه انتقال رخ می دهد. به طور مشابه، در ارتباطات کوانتومی، سیگنال‌های کوانتومی، مانند کیوبیت‌های درهم‌تنیده، می‌توانند از عدم پیوستگی و نویز رنج ببرند، که انتقال از راه دور را به چالش می‌کشد. تکرار کننده های کوانتومی برای غلبه بر این محدودیت ها و گسترش دامنه ارتباطات کوانتومی طراحی شده اند. تکرار کننده های کوانتومی بر توزیع کیوبیت های درهم تنیده بین گره های میانی در طول مسیر ارتباطی متکی هستند.

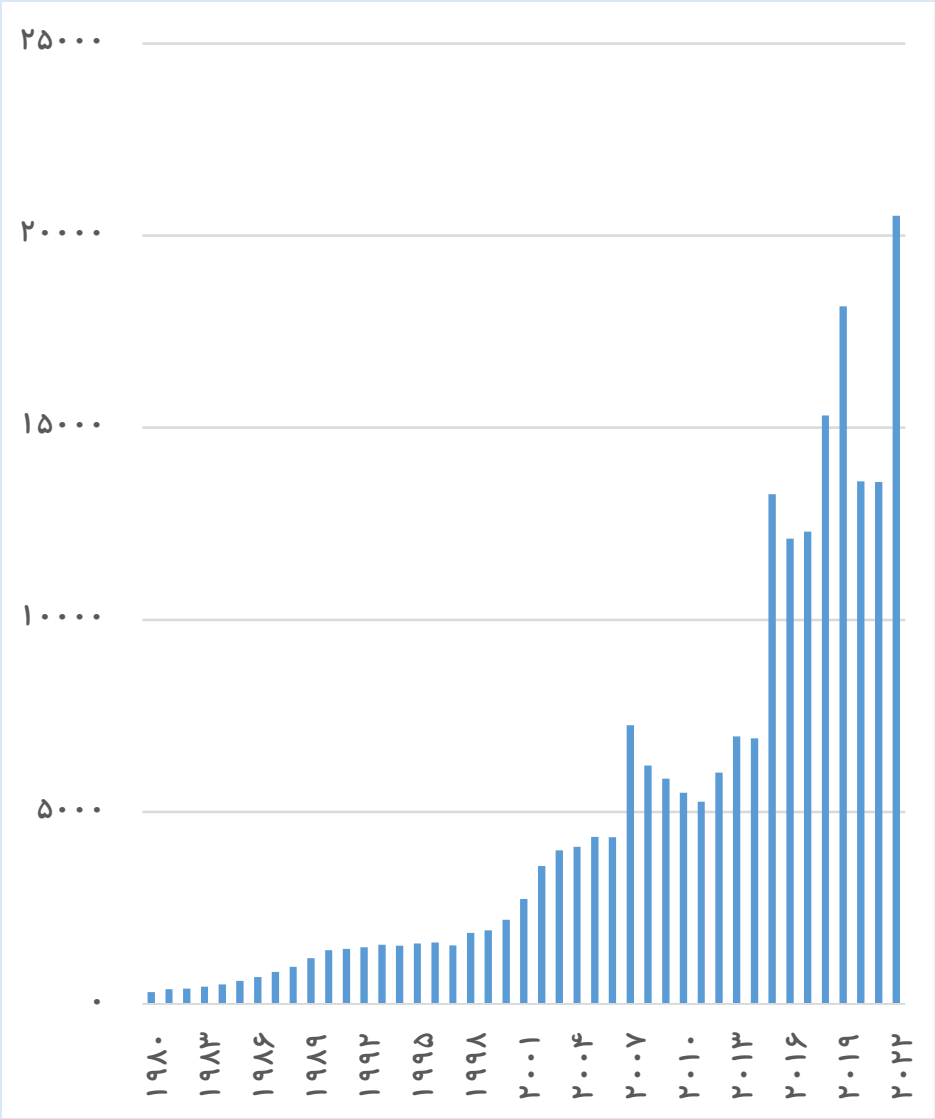


۱۳. تحلیل پتنت و مقالات حوزه اپتیک و کوانتوم

ساختار گزارش تحلیل پتنت و مقالات حوزه اپتیک و کوانتوم

۱	روند ثبت پتنت در حوزه اپتیک و کوانتوم (۲۰۲۲-۱۹۸۰)
۲	پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع
۳	پتنت‌های روز اپتیک و کوانتوم (۲۰۲۳-۲۰۲۰)
۴	سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت
۵	مخترعین دارای بیشترین تعداد پتنت
۶	فناوری‌های الویت‌دار اپتیک و کوانتوم با رویکرد تحلیل پتنت
۷	روند چاپ مقاله درحوزه اپتیک و کوانتوم (۲۰۲۲-۱۹۸۰)
۸	فناوری‌های الویت‌دار اپتیک و کوانتوم با رویکرد تحلیل مقاله
۹	نویسندگان دارای بیشترین تعداد انتشار مقاله
۱۰	دانشگاه‌های دارای بیشترین تعداد انتشار مقاله
۱۱	نهادهای تامین‌کننده مالی مقالات

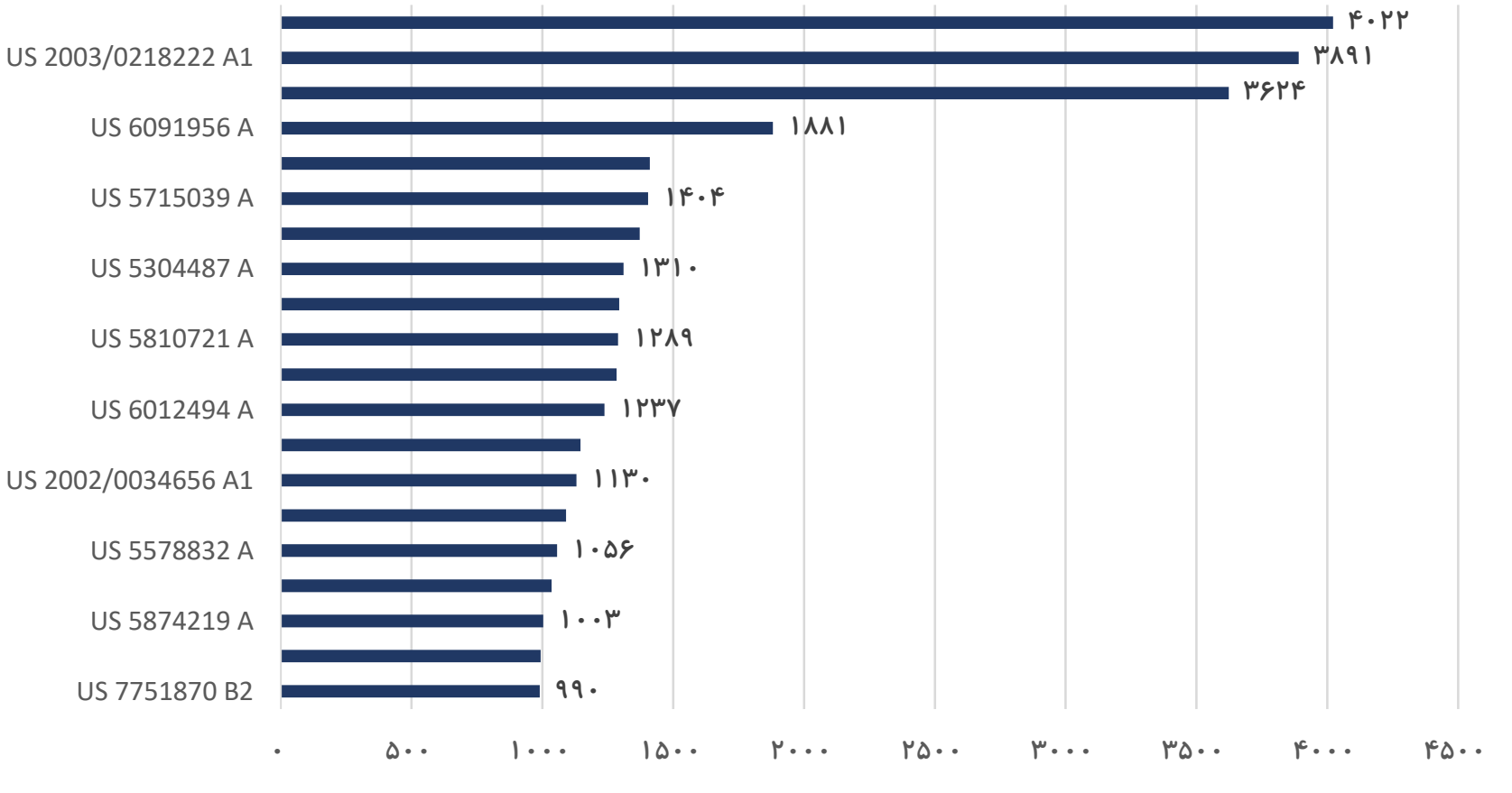
۱. روند ثبت پتنت در حوزه اپتیک و کوانتوم(۲۰۲۲–۱۹۸۰)



نمودار روند ثبت پتنت در حوزه اپتیک و کوانتوم نشان می‌دهد که تعداد ثبت پتنت‌ها در این حوزه در طول سال‌ها افزایش یافته است. از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲، تعداد ثبت پتنت‌ها روند رو به بالا را دارا بوده است. در سال‌های ابتدایی (۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰) تعداد ثبت پتنت‌ها افزایش آهسته‌ای داشته است، اما از سال ۱۹۹۰ به بعد، افزایش تعداد ثبت پتنت‌ها به صورت نسبتاً سریع صورت گرفته است. در سال ۲۰۱۹ بیش از ۱۸ هزار پتنت در این حوزه ثبت شده است، اما در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ این آمار کاهش یافته است و در سال ۲۰۲۲ به بیش از ۲۰ هزار پتنت رسیده است.

۲. پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع

در نمودار زیر پتنت‌های با بیشترین ارجاع ارائه شده است. بیشترین ارجاع مربوط به ترانزیستور فیلم نازک است که بیش از ۴۰۰۰ بار به آن ارجاع شده است. در ادامه به شرح بیشتر پتنت‌های برتر می‌پردازیم.



فهرست پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع (۱)

ردیف	شناسه پتنت	سال	عنوان
۱	US 7402506 B2	۲۰۰۸	Methods of making thin film transistors comprising zinc-oxide-based semiconductor materials and transistors made thereby روش های ساخت ترانزیستورهای فیلم نازک شامل مواد نیمه هادی مبتنی بر اکسید روی و ترانزیستورهای ساخته شده از آن
۲	US 2003/0218222 A1	۲۰۰۳	Transistor structures and methods for making the same ساختار ترانزیستور و روش های ساخت آن
۳	US 6091956 A	۲۰۰۰	Situation information system سیستم اطلاعات موقعیت
۴	US 6338737 B1	۲۰۰۲	Flexible annular stapler for closed surgery of hollow organs منگنه حلقوی انعطاف پذیر برای جراحی بسته اندام های توخالی
۵	US 2004/0174116 A1	۲۰۰۴	Transparent electrodes الکترودهای شفاف
۶	US 2010/0149073 A1	۲۰۱۰	Near to Eye Display System and Appliance سیستم و دستگاه نمایش نزدیک به چشم
۷	US 2013/0127980 A1	۲۰۱۳	Video display modification based on sensor input for a see-through near-to-eye display اصلاح صفحه نمایش ویدیو بر اساس ورودی سنسور برای نمایش نزدیک به چشم
۸	US 6012494 A	۲۰۰۰	Flexible structure ساختار انعطاف پذیر

فهرست پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع (۲)

ردیف	شناسه پتنت	سال	عنوان
۹	US 2013/0201316 A1	۲۰۱۳	System and method for server based control سیستم و روش‌ها برای کنترل مبتنی بر سرور
۱۰	US 2002/0034656 A1	۲۰۰۲	Organometallic complexes as phosphorescent emitters in organic LEDs فلزهای آلی به عنوان ساطع کننده فسفری در ال‌ای‌دی
۱۱	US 2004/0000627 A1	۲۰۰۴	Method for focus detection and an imaging system with a focus-detection system سیستم تصویربرداری با روش تشخیص تمرکز
۱۲	US 5578832 A	۱۹۹۶	Method and apparatus for imaging a sample on a device روش و دستگاه برای تصویربرداری از نمونه بر روی دستگاه
۱۳	US 2005/0182298 A1	۲۰۰۵	Cardiac tissue ablation instrument with flexible wrist ابزار تخریب بافت قلبی با مفصل مرن
۱۴	US 5874219 A	۱۹۹۹	Methods for concurrently processing multiple biological chip assays روش‌هایی برای پردازش همزمان چندین سنجش تراشه‌های بیولوژیکی
۱۵	US 7265374 B2	۲۰۰۷	Light emitting semiconductor device دستگاه نیمه هادی ساطع کننده نور
۱۶	US 7751870 B2	۲۰۱۰	Surgical imaging device دستگاه تصویربرداری جراحی

فهرست پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع (۳)

ردیف	شناسه پتنت	سال	عنوان
۱۷	US 6778257 B2	۲۰۰۴	Imaging apparatus دستگاه تصویربرداری
۱۸	US 6128214 A	۲۰۰۰	Molecular wire crossbar memory حافظه متقاطع سیم مولکولی
۱۹	US 7006881 B1	۲۰۰۶	Media recording device with remote graphic user interface دستگاه ضبط رسانه با رابط کاربری گرافیکی از راه دور
۲۰	US 6396397 B1	۲۰۰۲	Vehicle imaging system with stereo imaging سیستم تصویربرداری خودرو با تصویربرداری استریو

نمونه پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع(۱)

۱ روش‌های ساخت ترانزیستورهای فیلم نازک شامل مواد نیمه هادی

Methods of making thin film transistors comprising zinc-oxide-based semiconductor materials and transistors made thereby

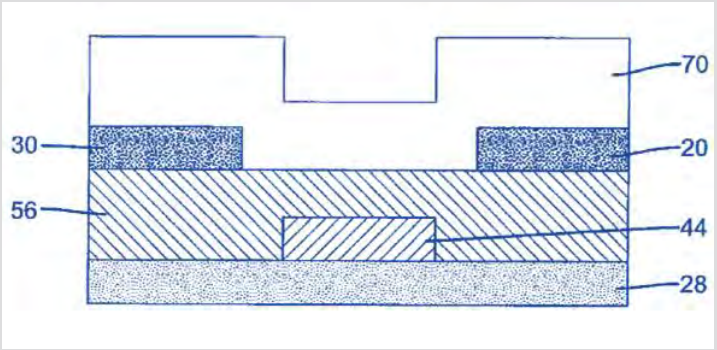
US 7402506 B2 **Granted Patent** Family: 5s / 5ex Family Jurisdictions: US, JP, WO, EP Legal Status: Active

Application No: 15614305 Filed: Jun 16, 2005 Published: Jul 22, 2008 Earliest Priority: Jun 16, 2005 Granted: Jul 22, 2008

Owners: Eastman Kodak Company

Applicants: Eastman Kodak Co

Inventors: Levy David H , Scuderi Andrea C , Irving Lyn M



این پتنت در خصوص یک ترانزیستور فیلم نازک است که شامل مواد نیمه هادی دارای اکسید روی است. این ترانزیستورها می‌توانند همچنین شامل اولین و دومین ابزار یا الکترودهای با فاصله از هم واقع در تماس با این ماده باشند. علاوه بر این، یک فرآیند برای ساخت یک تراشه ترانزیستور فیلم نازک نیز افشا شده است، که در طول ساخت دمای زیرساخت به بیش از ۳۰۰ درجه سانتیگراد نمی‌رسد.

نمونه پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع(۲)

۲	ساختار ترانزیستور و روش های ساخت آن

Transistor structures and methods for making the same

US 2003/0218222 A1 **Patent Application** Family: 12s / 18ex Family Jurisdictions: US, WO, AU, TW, CN, JP, EP Legal Status: Expired

Application No: 35081903 Filed: Jan 24, 2003 Published: Nov 27, 2003 Earliest Priority: May 21, 2002 Granted: Mar 4, 2008

Owners: State of Oregon Acting by and Through the Oregon State Board of Higher Education on Behalf of Oregon State University The

Applicants: State of Oregon Acting and Thr , Univ Oregon

Inventors: Wager John F , Hoffman Randy L

این پتنت بهبودی در تقویت ترانزیستورهای اثر میدانی با استفاده از مواد شفاف مانند ZnO، SnO2 یا In2O3 ارائه می‌دهد. در نوع اول ترانزیستور، یک لایه کانال از یک ماده یکنواخت با خواص عایقی و شفافیت بالا تشکیل شده است. همچنین یک لایه عایق درونی پایه نزدیک به لایه کانال قرار دارد که رابطه بین آن و لایه کانال را تعریف می‌کند. در نوع دوم ترانزیستور، یک لایه کانال تقریباً عایقی از ماده شفاف مانند ZnO، SnO2 یا In2O3 تشکیل شده است. این روش با استفاده از گرم‌سازی اجرا می‌شود.

نمونه پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع (۳)

۳	سیستم اطلاعات موقعیت

Situation information system

US 6091956 A **Granted Patent** Family: 1s / 1ex Family Jurisdictions: US Legal Status: Expired

Application No: 87396597 Filed: Jun 12, 1997 Published: Jul 18, 2000 Earliest Priority: Jun 12, 1997 Granted: Jul 18, 2000

Owners: Lbs Innovations Llc

Applicants: Hollenberg; Dennis D.

Inventors: Hollenberg Dennis D

این پتنت یک سیستم بی‌سیم برای ارائه خدمات و اطلاعات زمان‌بندی شده در مورد مکان‌ها و رویدادها به کامپیوترها و تلفن همراه و کاربران آنها در محدوده فعلی یا مقصدهای پتانسیل در محیط‌های بسته، مناظر شهری و مناطق باز را شامل می‌شود.

این پتنت شامل یک دستگاه دریافت بازتاب کم-پرتو درایه‌ها برای ارتباطات بی‌سیم است که شامل خواننده بارکد و دستگاه دوربین دیجیتال برای کامپیوترهای تلفن همراه است، استفاده از پشته برای اتصال یک کامپیوتر تلفن همراه به سیستم‌های خارجی و روش‌هایی برای بهبود عملیات دریافت، جستجو و نمایش اطلاعات برای آموزش و کارآمدی نیز می‌باشد.

نمونه پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع (۴)

۴ منگنه حلقوی انعطاف پذیر برای جراحی بسته اندام های توخالی

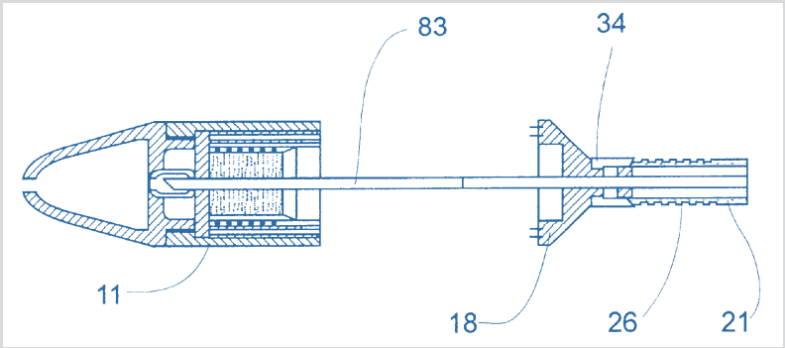
Flexible annular stapler for closed surgery of hollow organs

US 6338737 B1 **Granted Patent** Family: 2s / 2ex Family Jurisdictions: US Legal Status: Expired

Application No: 84636201 Filed: May 2, 2001 Published: Jan 15, 2002 Earliest Priority: Jul 17, 1997 Granted: Jan 15, 2002

Applicants: Toledano Haviv

Inventors: Toledano Haviv



این پتنت در مورد یک منگنه حلقوی بهبود یافته برای اتصال اجزای لوله‌ای است. این ابزار، دقت عملکرد و کنترل بهتر را به ارمغان می‌آورد و امکانات اضافی مانند روشنایی داخلی و تسهیلات دیداری و هماهنگی با لوازم جانبی مانند فیبروسکوپ‌ها و کاتترها را فراهم می‌کند. علاوه براین، امکان اتصال آسان دو صفحه و جداسازی آسان را هم فراهم می‌کند. این ویژگی‌های جدید برای عمل جراحی بسته بسیار مفید هستند.

نمونه پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع(۵)

۵	الکترودهای شفاف

Transparent electrodes

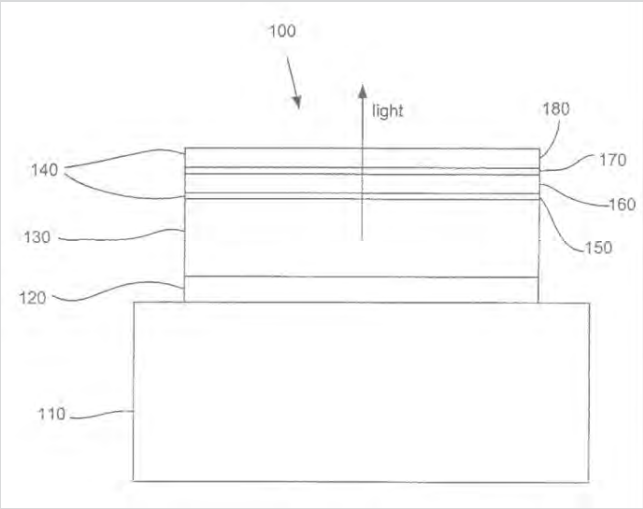
US 2004/0174116 A1 **Patent Application** Family: 2s / 2ex Family Jurisdictions: US Legal Status: Expired

Application No: 93194801 Filed: Aug 20, 2001 Published: Sep 9, 2004 Earliest Priority: Aug 20, 2001 Granted: Jul 4, 2006

Owners: Universal Display Corporation

Applicants: Lu Min-Hao Michael , Weaver Michael S.

Inventors: Lu Min-Hao Michael , Weaver Michael S



این پتنت یک کاتد مناسب برای استفاده در یک دستگاه فوتوالکترونیکی آلی فراهم می‌کند. کاتد شامل یک لایه تزریق الکترون، یک لایه بافر آلی، یک لایه هادی و یک لایه اکسید هادی شفاف هادی است که به ترتیب بر روی لایه‌های عملی آلی دستگاه فوتوالکترونیکی قرار می‌گیرد. این پتنت همچنین یک روش ساخت کاتد را نیز فراهم می‌کند.

۳. پتنت‌های روز اپتیک و کوانتوم (۲۰۲۳–۲۰۲۰)

ردیف	شناسه پتنت	سال	عنوان
۱	US 10572684 B2	۲۰۲۰	Systems and methods for enforcing centralized privacy controls in de-centralized systems سیستم ها و روش های اعمال کنترل های متمرکز حریم خصوصی در سیستم های غیر متمرکز
۲	US 2021/0041284 A1	۲۰۲۱	Liquid level sensor for a chemical source vessel حسگر سطح مایع برای یک مخزن منبع شیمیایی
۳	US 2021/0113121 A1	۲۰۲۱	Non-invasive medical monitoring device for blood analyze measurements دستگاه نظارت پزشکی غیرتهاجمی برای اندازه گیری ترکیبات خون
۴	WO 2022/133210 A2	۲۰۲۲	Market orchestration system for facilitating electronic marketplace transactions سیستم هماهنگ سازی بازار برای تسهیل معاملات الکترونیکی بازار
۵	US 2021/0027693 A1	۲۰۲۱	System and method for a multi-primary wide gamut color system سیستم رنگی گسترده
۶	US 10991242 B2	۲۰۲۱	Sustained vehicle velocity via virtual private infrastructure حفظ سرعت خودرو از طریق زیرساخت خصوصی مجازی
۷	US 2021/0202067 A1	۲۰۲۱	Dynamic and adaptive systems and methods for rewarding and/or dis incentivizing behaviors سیستم ها و روش های پویا و تطبیقی برای پاداش دادن و/یا بی انگیزه کردن رفتارها
۸	US 2022/0026573 A1	۲۰۲۲	Systems and methods for wide-angle LIDAR using non-uniform magnification optics سیستم ها و روش ها برای لیدار با زاویه باز با استفاده از اپتیک های بزرگنمایی غیریکنواخت

۳. پتنت‌های روز اپتیک و کوانتوم (۲۰۲۳-۲۰۲۰)-۱

ردیف	شناسه پتنت	سال	عنوان
۹	US 11119219 B1	۲۰۲۱	Lidar system with input optical element سیستم لیدار با عنصر نوری ورودی
۱۰	US 2021/0031051 A1	۲۰۲۱	Device for projecting images on the retina دستگاهی برای نمایش تصاویر روی شبکیه چشم
۱۱	US 11320588 B1	۲۰۲۲	Super system on chip سوپر سیستم در یک تراشه
۱۲	WO 2021/056018 A1	۲۰۲۱	Assembly process for an electronic soft contact lens designed to inhibit progression of myopia فرآیند مونتاژ برای یک لنز تماسی نرم الکترونیکی طراحی شده برای مهار پیشرفت نزدیک بینی
۱۳	US 2021/0382325 A1	۲۰۲۱	Projection of defocused images on the peripheral retina to treat refractive error پخش تصاویر بدون تمرکز بر روی شبکیه محیطی برای درمان عیوب انکساری
۱۴	US 11256004 B2	۲۰۲۲	Direct-bonded lamination for improved image clarity in optical devices لمینیت با پیوند مستقیم برای بهبود وضوح تصویر در دستگاه های نوری
۱۵	US 2022/0103525 A1	۲۰۲۱	System and method for managing non-direct URL fetching service سیستم و روش مدیریت خدمات جمع آوری URL غیر مستقیم
۱۶	US 2021/0107177 A1	۲۰۲۱	Apparatus for reinforced cementitious construction by high speed 3D printing دستگاه برای ساخت و ساز سیمانی تقویت شده با پرینت سه بعدی با سرعت بالا

۳. پتنت‌های روز اپتیک و کوانتوم (۲۰۲۳–۲۰۲۰)–۲

ردیف	شناسه پتنت	سال	عنوان
۱۷	US 11010145 B1	۲۰۲۱	Retargetable compilation for quantum computing systems کامپایل قابل بازهدف‌گیری برای سیستم‌های محاسبات کوانتومی
۱۸	WO 2021/146636 A1	۲۰۲۱	Methods and compositions for single cell secretomics روش‌ها و ترکیب‌های سلول سکرتومیکس تک‌هسته‌ای
۱۹	US 11164254 B1	۲۰۲۱	Block-chain instrument for transferable equity ابزار بلاکچین برای انتقال حقوق مالکیت قابل انتقال
۲۰	US 2021/0379399 A1	۲۰۲۱	Lens with asymmetric projection to treat astigmatism عدسی با برجستگی نامتقارن برای درمان آستیگماتیسم
۲۱	US 11184157 B1	۲۰۲۱	Cryptographic key generation and deployment تولید و استقرار کلید رمزنگاری
۲۲	WO 2021/083448 A1	۲۰۲۱	Concept for an impurity-centre-based quantum computer on the basis of a substrate consisting of elements of main group iv کامپیوتر کوانتومی مبتنی بر مواد شیمیایی گروه چهارم اصلی
۲۳	US 2021/0170383 A1	۲۰۲۱	Visible light catalyst, preparation and application thereof کاتالیزور قابل رویت برای نور مرئی، روش تهیه و کاربرد آن

۳. پتنت‌های روز اپتیک و کوانتوم (۲۰۲۳–۲۰۲۰)–۳

ردیف	شناسه پتنت	سال	عنوان
۲۴	US 2021/0207928 A1	۲۰۲۱	Reflex sight utilizing shock absorption بینایی رفلکس با استفاده از جذب شوک
۲۵	US 2021/0319606 A1	۲۰۲۱	Systems, methods, and media for high dynamic range quanta burst imaging سیستم‌ها، روش‌ها و رسانه‌ها برای تصویربرداری انفجاری کوانتا با دامنه دینامیک بالا
۲۶	CN 112232504 A	۲۰۲۱	Photonic neural network شبکه عصبی فوتونیک
۲۷	US 2021/0099234 A1	۲۰۲۱	Methods and apparatus for reception of low photon density optical signals روش‌ها و دستگاه‌های دریافت سیگنال‌های نوری با چگالی کم فوتون
۲۸	US 2023/0011644 A1	۲۰۲۳	x-ray imaging system سیستم تصویربرداری اشعه ایکس
۲۹	US 2021/0201126 A1	۲۰۲۱	Optoelectronic computing systems سیستم های محاسباتی اپتوالکترونیک
۳۰	US 11075786 B1	۲۰۲۱	Multicarrier sub-layer for direct sequence channel and multiple-access coding لایه فرعی چند حامل برای کانال توالی مستقیم و کدگذاری با دسترسی چندگانه

نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم (۱)

۱ سیستم ها و روش های اعمال کنترل های متمرکز حریم خصوصی

Systems and methods for enforcing centralized privacy controls in de-centralized systems

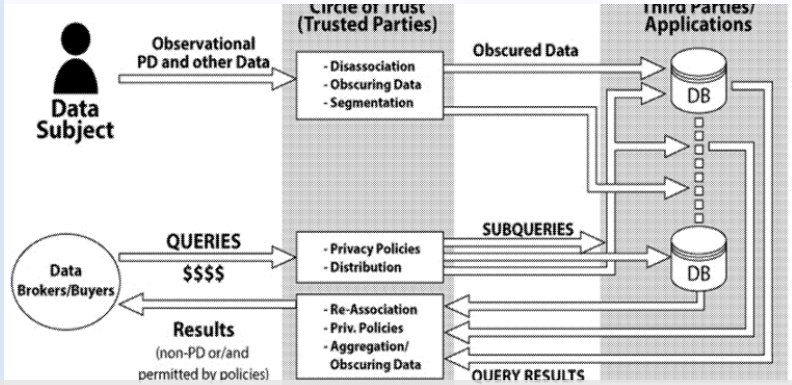
US 10572684 B2 **Granted Patent** Family: 2s / 55ex Family Jurisdictions: US Legal Status: Active (Has Terminal Disclaimer (US only))

Application No: 201815963609 Filed: Apr 26, 2018 Published: Feb 25, 2020 Earliest Priority: Nov 1, 2013 Granted: Feb 25, 2020

Owners: Anonos Inc , Anonos Ip Llc

Applicants: Anonos Inc

Inventors: Lafever Malcolm Gary , Myerson Ted N , Mason Steven



این پتنت به سیستم‌ها و روش‌هایی می‌پردازد که حریم خصوصی و ناشناسی داده‌ها و ارزش آن‌ها را بهبود می‌بخشند. این سیستم‌ها از داده‌های مرتبط با یک موضوع داده، مثلاً زنجیره داده، استفاده می‌کنند و آن‌ها را ذخیره می‌کنند. همچنین، این سیستم‌ها به افراد غیرمجاز اجازه دسترسی دوباره به داده‌ها را نمی‌دهند و فقط افراد تایید شده توسط نهادهای مجاز دسترسی دارند. این سیستم‌ها از تکنیک‌هایی استفاده می‌کنند که حریم خصوصی و ناشناسی را حفظ می‌کنند و در عین حال امکان تغییرناپذیری، بررسی پذیری و تأیید داده‌ها را حفظ می‌کنند. این سیستم‌ها می‌توانند روی کامپیوترهای کلاسیک و کوانتومی قابل اجرا باشند.

نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم(۲)

۲ حسگر سطح مایع برای یک مخزن منبع شیمیایی

Liquid Level Sensor for a Chemical Source Vessel

US 2021/0041284 A1 **Patent Application** Family: 5s / 5ex Family Jurisdictions: TW, US, KR, CN Legal Status: Active

Application No: 202016944763 Filed: Jul 31, 2020 Published: Feb 11, 2021 Earliest Priority: Aug 5, 2019 Granted: Jun 20, 2023

Owners: Asm Ip Holding b.v

Applicants: Asm Ip Holding Bv

Inventors: Yednak Iii Andrew Michael

این پتنت برای نگهداری ماده اولیه مایع شیمیایی استفاده می‌شود و شامل یک لوله حسگر سطح مایع است. لوله حسگر سطح مایع به گونه‌ای طراحی شده است که در محیطی که ماده اولیه مایع به نقطه جوش یا بخارش آمده است، عمل کند. این لوله حسگر سطح مایع شامل یک قاب با یک شکاف ساخته شده است تا از هرگونه خوانش نادرست حسگرهایی که در داخل لوله حسگر سطح مایع قرار دارند جلوگیری شود. وسیله شیمیایی مذکور حاوی تعدادی حسگر است که حداقل یکی از آنها حسگرهای فوق صوتی، حسگرهای پیزوالکتریک، حسگرهای رسانایی، حسگرهای ظرفیتی یا حسگرهای اپتوالکترونیک (نوری) است.

نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم(۳)

۳ دستگاه نظارت پزشکی غیرتهاجمی برای اندازه گیری ترکیبات خون

Non-Invasive Medical Monitoring Device for Blood Analyte Measurements

US 2021/0113121 A1 **Patent Application** Family: 1s / 1ex Family Jurisdictions: US Legal Status: Pending

Application No: 202017004663 Filed: Aug 27, 2020 Published: Apr 22, 2021 Earliest Priority: Aug 27, 2019

Applicants: Cercacor Lab Inc

Inventors: Diab Mohamed K, Pauley Kevin Hughes, Chen Jesse, Dalvi Cristiano, Vo Hung The, Lesmana Ferdyan, Poeze Jeroen, Long Ruiqi, Krishnamani Venkatramanan, Lee Frank, Paul Mathew

سیستمی برای اندازه گیری پارامترهای فیزیولوژیکی از یک نقطه بافت بیمار، شامل چندین حسگر غیرتهاجمی که برای دریافت داده های فیزیولوژیکی مرتبط با بیمار تنظیم شده‌اند.

تعدادی از حسگر(نوری) می‌تواند با یک وسیله چند حسگری ادغام شده یا به آن متصل شده باشد و می‌تواند به گونه ای جهت گیری شود که هر حسگر به سمت یک نقطه یا مکان مشابه هدایت شود یا قادر به اندازه گیری از آن باشد.

نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم(۴)

۴	سیستم هماهنگ سازی بازار برای تسهیل معاملات الکترونیکی بازار

Market Orchestration System for Facilitating Electronic Marketplace Transactions

WO 2022/133210 A2 **Patent Application** Family: 4s / 206ex Family Jurisdictions: WO, AU, CA Legal Status: Pending
Application No: 2021064029 Filed: Dec 17, 2021 Published: Jun 23, 2022 Earliest Priority: Dec 18, 2020
Applicants: Strong Force Tx Portfolio 2018 Llc

این پتنت در مورد سیستم‌ها و روش‌های پیکربندی و راه‌اندازی یک بازار است، که شامل شناسایی یک فرصت برای یک بازار جدید، دریافت داده‌های فرصت بازار، تعیین پارامترهای پیکربندی و تعیین امکان‌پذیری پیاده‌سازی پیکربندی جدید بازار باشد. پلتفرم هماهنگ‌سازی بازار، شامل: یک سیستم محاسباتی کوانتومی که با شبیه‌سازی مجموعه‌ای از فعالیت‌های تجاری شامل مجموعه‌ای از بازارها، نرخ مبادله را تعیین می‌کند.

نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم(۵)

۵	سیستم رنگی گسترده

System and Method for a Multi-Primary Wide Gamut Color System

US 2021/0027693 A1 **Patent Application** Family: 5s / 139ex Family Jurisdictions: US Legal Status: Active

Application No: 202017060917 Filed: Oct 1, 2020 Published: Jan 28, 2021 Earliest Priority: Oct 25, 2018 Granted: Jun 8, 2021

Owners: Baylor University

Applicants: Univ Baylor

Inventors: Mandle Gary B , Defilippis James M , Bogdanowicz Mitchell J , Carbonara Corey P , Korpi Michael F

این پتنت شامل سیستم‌ها و روش‌هایی برای افزایش تعداد رنگ‌های اصلی در یک سیستم رنگی است. برای سازگاری با سیستم‌ها و تجهیزات موجود، این سیستم‌ها می‌توانند با سیستم‌های رنگی قدیمی‌تر نیز سازگار باشند. یک نمونه از این سیستم شامل رنگ‌های قرمز، سبز، آبی، فیروزه‌ای، زرد و بنفش است. به علاوه، این سیستم شامل یک صفحه نمایش است که می‌تواند از نوع صفحه نمایش کریستال مایع(LCD)، صفحه نمایش دیود نورگسیل (LED) ویا صفحه نمایش نقطه کوانتومی(QD) باشد.

نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم(۶)

۶	حفظ سرعت خودرو از طریق زیرساخت خصوصی مجازی

Sustained vehicle velocity via virtual private infrastructure

US 10991242 B2 **Granted Patent** Family: 4s / 4ex Family Jurisdictions: US Legal Status: Active

Application No: 201715489974 Filed: Apr 18, 2017 Published: Apr 27, 2021 Earliest Priority: Mar 15, 2013 Granted: Apr 27, 2021

Applicants: Taylor Donald Warren

Inventors: Taylor Donald Warren

این پتنت مربوط به یک سیستم ناوبری امن برای وسایل نقلیه است که عملکرد و حرکات فرد و وسیله نقلیه را مدیریت می‌کند. این سیستم امنیتی از ارتباطات رمزگذاری شده بین دستگاه‌های مختلف در جاده‌ها و شبکه‌های اینترنت استفاده می‌کند. سیستم از الگوریتم‌ها و تکنیک‌های مختلف برای محاسبه و پیش‌بینی موقعیت جغرافیایی، ردیابی مسیر و تغییرات سرعت استفاده می‌کند. همچنین، این سیستم توانایی همکاری و راهنمایی را تشخیص می‌دهد و توانایی برنامه‌ریزی در زمان و مکان را با استفاده از شبکه زیرساخت توپولوژی پیکربندی شده پیش‌بینی می‌کند. علاوه بر این، دستورات و ارتباطات ناوبری در یک رابط کاربری قابل مشاهده و شنیدار هستند.

نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم(۷)

۷	روش های پویا و تطبیقی برای پاداش دادن ویا بی انگیزه کردن رفتار

Dynamic and Adaptive Systems and Methods for Rewarding And/or Disincentivizing Behaviors

US 2021/0202067 A1 **Patent Application** Family: 2s / 24ex Family Jurisdictions: US Legal Status: Active

Application No: 202117192381 Filed: Mar 4, 2021 Published: Jul 1, 2021 Earliest Priority: Dec 15, 2016 Granted: Apr 25, 2023

Owners: Conquer Your Addiction Llc

Applicants: Conquer Your Addiction Llc

Inventors: Williams David H , Williams Adam H

این پتنت یک سیستم را توصیف می‌کند که قادر است پاداش‌ها و/یا تنبیه‌ها را به صورت پویا و سازگار برای یک یا چندی از موجودات تعیین کند. این سیستم از تکنولوژی‌هایی مانند یادگیری ماشین، شبکه عصبی، شبکه کوانتومی و یا هوش مصنوعی استفاده می‌کند.

نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم(۸)

۸ لیدار با زاویه باز با استفاده از اپتیک های بزرگنمایی غیریکنواخت

SYSTEMS AND METHODS FOR WIDE-ANGLE LiDAR USING NON-UNIFORM MAGNIFICATION OPTICS

US 2022/0026573 A1 **Patent Application** Family: 8s / 29ex Family Jurisdictions: CA, EP, US, WO Legal Status: Active
Application No: 202117382144 Filed: Jul 21, 2021 Published: Jan 27, 2022 Earliest Priority: Jul 21, 2020 Granted: Aug 2, 2022
Owners: Leddartech Inc
Applicants: Leddartech Inc
Inventors: Baribault Robert , Olivier Pierre

این پتنت درباره سیستم‌ها و روش‌هایی برای LiDAR با زاویه دید گسترده است که از لنزهای بزرگنمایی استفاده می‌کنند که در ناحیه‌های مختلفی از زاویه دید، دقت غیر یکنواخت ارائه می‌دهد.
این سیستم شامل یک واحد تابش تنظیم شده برای تابش نوترون های پرتویی که حداقل یک قسمتی از زاویه دید را روشن می‌کند؛ لنزهای بزرگنمایی برای دریافت نوترون ورودی؛ واحد حسگر همچنین واحد پردازش شده که نوترون های دریافت شده را پردازش می‌کند و نقشه عمق زاویه دید را خروجی می‌دهد که دارای حداقل یک منطقه گسترده و حداقل یک منطقه فشرده در جهت عمودی است.

نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم(۹)

۹ سیستم لیدار با عنصر نوری ورودی

Lidar system with input optical element

US 11119219 B1 **Granted Patent** Family: 10s / 12ex Family Jurisdictions: US, EP, WO, CN Legal Status: Active

Application No: 202117183937 Filed: Feb 24, 2021 Published: Sep 14, 2021 Earliest Priority: Aug 10, 2020 Granted: Sep 14, 2021

Owners: Luminar Llc , Luminar Technologies Inc

Applicants: Luminar Llc

Inventors: Lachapelle Joseph G , Eichenholz Jason M , Sincore Alex Michael , Shah Lawrence

سامانه لیدار شامل منبع نوری و گیرنده است. منبع نوری سیگنال نوری را ارسال کرده و گیرنده با استفاده از یک یا چند مشخصه‌گر، سیگنال نوری پراکنده شده توسط هدف را استشعار می‌کند. سامانه لیدار همچنین یک مدارترکیب فوتونیک دارد که قسمت‌های مختلف سیگنال نوری را با هم ترکیب می‌کند. پردازشگر سامانه لیدار همچنین قادر است فاصله تا هدف را بدست آورد.

نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم(۱۰)

۱۰ دستگاهی برای نمایش تصاویر روی شبکیه چشم

Device for Projecting Images on the Retina

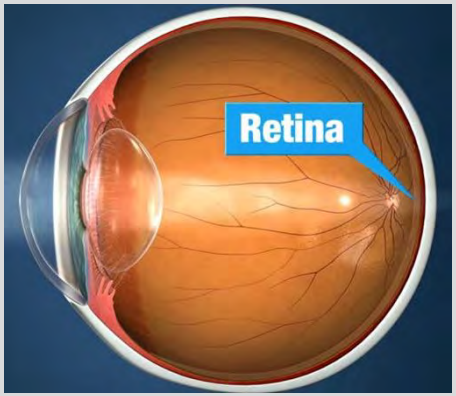
US 2021/0031051 A1 **Patent Application** Family: 8s / 9ex Family Jurisdictions: US, EP, WO, CN, JP Legal Status: Active

Application No: 202016947537 Filed: Aug 5, 2020 Published: Feb 4, 2021 Earliest Priority: Jul 31, 2019 Granted: Jun 14, 2022

Owners: Acucela Inc

Applicants: Acucela Inc

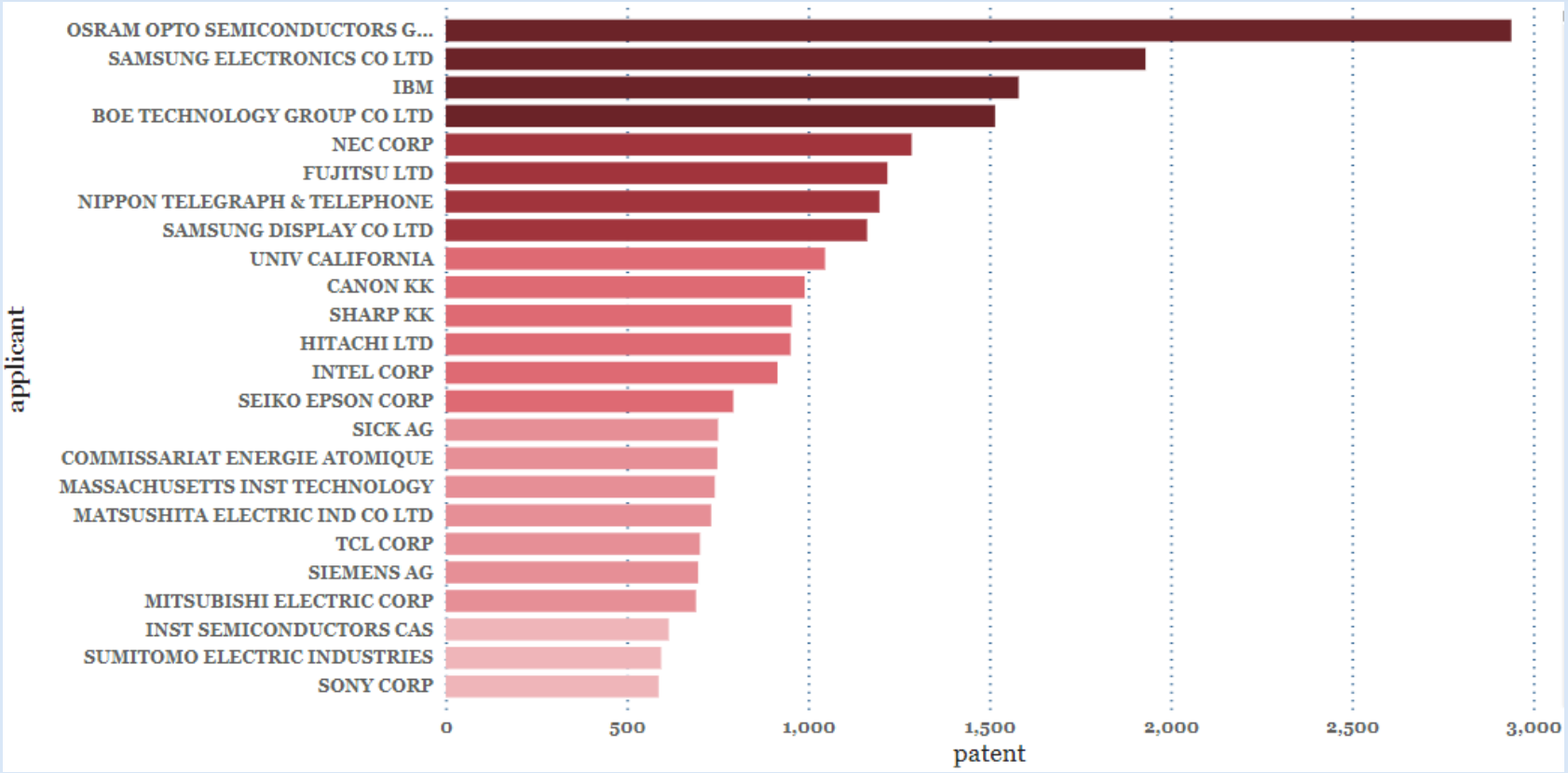
Inventors: Kubota Ryo , Haroud Karim , Wyss Beat , Bernard Hans , Fehr Jean-Noël , Weber Patrizia , Haeberli Moritz , Gupta Amitava



دستگاهی برای تحریک شبکیه است که شامل یک یا چند منبع نور مشترک با یک یا چند عنصر نوری است. عنصر نوری این امکان را دارد که شبکیه را با یک یا چند تصویر در مکانی دور از منطقه حفره محصور کند. در برخی از اجراها، هر یک از تصاویر شامل عمق فوکوس و وضوح فضایی است. این تصاویر می تواند در فاصله قبل از شبکیه، در فاصله پس از شبکیه یا روی شبکیه ایجاد شود. در برخی از اجراها، عمق فوکوس کمتر از فاصله و وضوح فضایی بیشتر از وضوح فضایی شبکیه در مکان است.

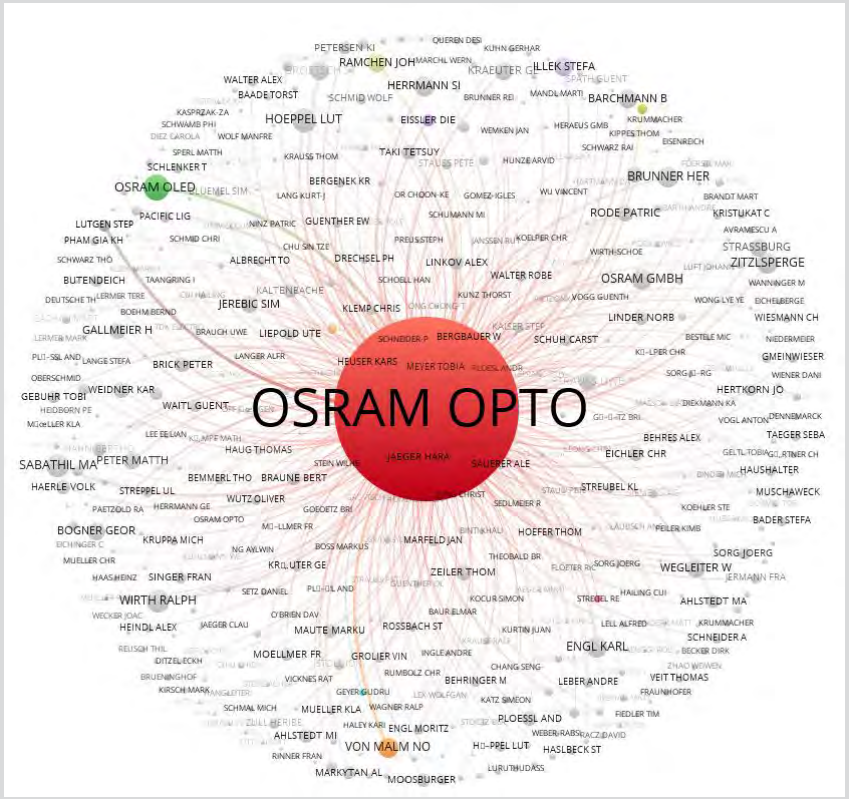
۴. سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت

در نمودار زیر سازمان‌های برتر براساس تعداد درخواست ثبت پتنت ارائه شده‌اند. شرکت آلمانی اوسرام با نزدیک به ۳۰۰۰ پتنت در صدر این نمودار قرار دارد. بعد از آن سامسونگ و آی‌بی‌ام در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند.



سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت (۱)

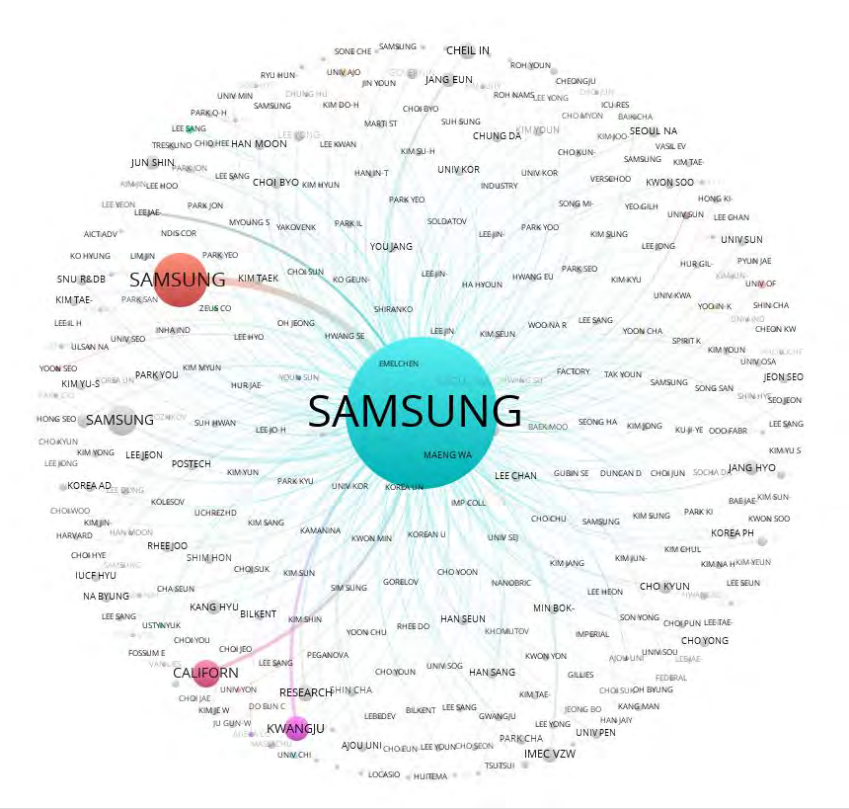
OSRAM



اوسرام (Osram) یک تولید کننده برجسته جهانی در زمینه ساخت و توسعه تکنولوژی های نوری مورد استفاده در صنایع ارتباطات، خودرو، صنعتی و روشنایی است. این شرکت نزدیک به ۳ هزار پتنت در حوزه اپتیک دارد. بیشتر این پتنت‌ها در دسته‌ی فناوری هدایت جریان الکتریکی از بدنه نیمه هادی قرار گرفته‌اند. شبکه همکاری این شرکت در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. این شرکت بیشتر با زیرمجموعه‌های خود و مخترعین مستقل همکاری داشته است.

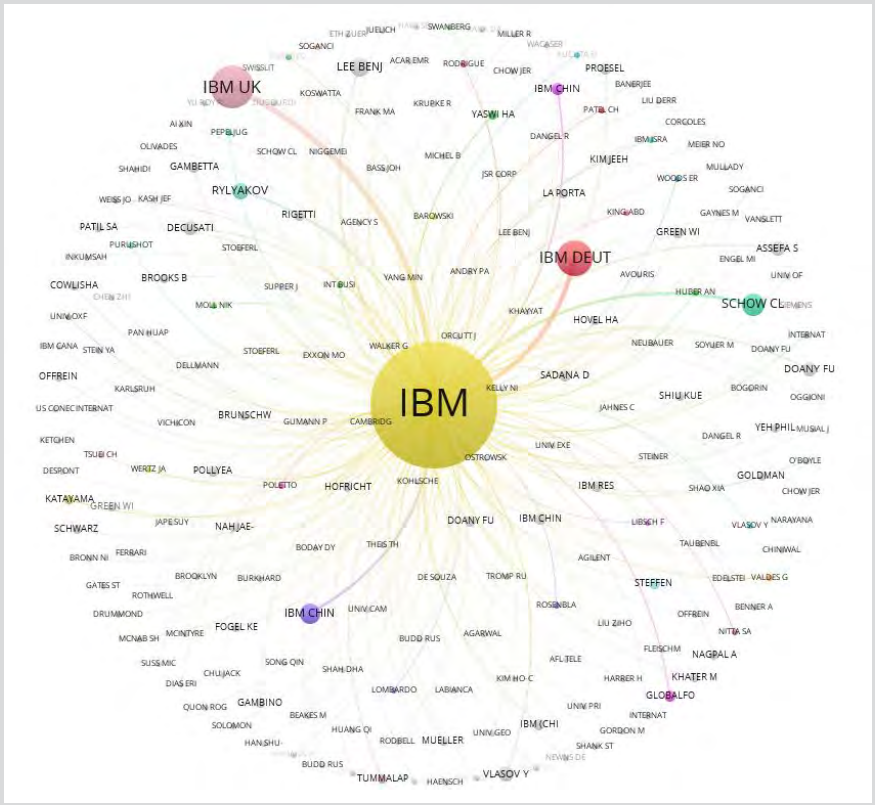
سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت (۲)

SAMSUNG



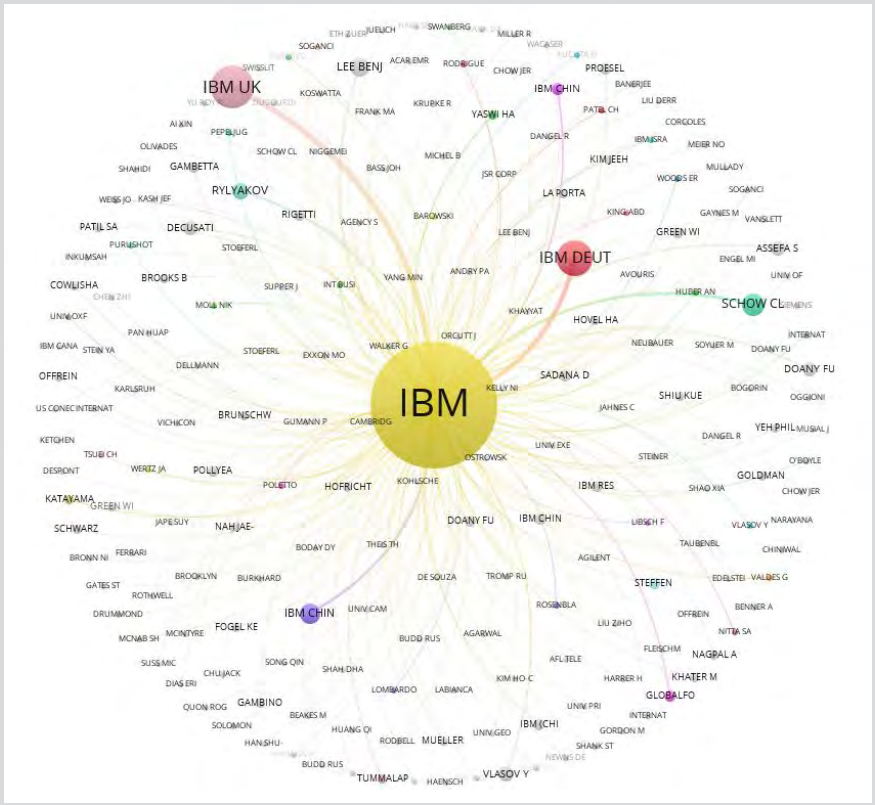
سامسونگ یک شرکت بزرگ تولیدکننده تکنولوژی‌های مختلف است و در حوزه فناوری اپتیک و کوانتوم نیز فعالیت‌های بسیاری داشته است. در این حوزه سامسونگ نزدیک به ۲ هزار پتنت دارد. بیشتر این پتنت‌ها در فناوری‌های نانواپتیک، اپتیک کوانتومی یا کریستال‌های فوتونیک دسته‌بندی می‌شوند. شبکه همکاری این شرکت در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. این شرکت با موسساتی همچون فناوری کالیفرنیا و موسسه تحقیقاتی گوانگجو در ثبت پتنت همکاری داشته است.

سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت (۳)



شرکت آی‌بی‌ام یک شرکت چندملیتی است که در نیویورک قرار دارد. این شرکت، تحقیقاتی گسترده‌ای را در جهت توسعه‌ی محاسبات کوانتومی آغاز کرده‌است.این شرکت حدود ۱۵۰۰ پتنت در زمینه‌ی اپتیک و کوانتوم داشته است. بیشتر این پتنت‌ها در کلاس فناوری‌های محاسبات کوانتومی، پردازش اطلاعات بر اساس پدیده های مکانیکی کوانتومی قرار دارند. این شرکت در زمینه‌ی ثبت پتنت بیشترین همکاری‌ها را با زیرمجموعه‌های خود و مخترعین مستقل داشته است.

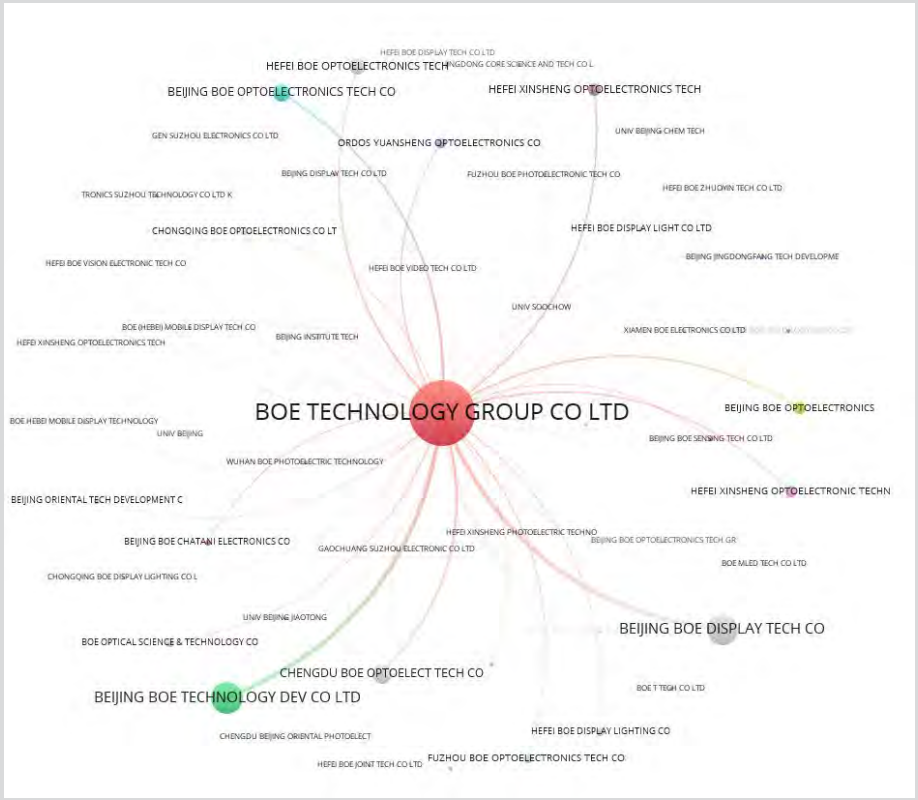
سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت (۴)



شرکت آی‌بی‌ام یک شرکت چندملیتی است که در نیویورک قرار دارد. این شرکت، تحقیقاتی گسترده‌ای را در جهت توسعه‌ی محاسبات کوانتومی آغاز کرده‌است.این شرکت حدود ۱۵۰۰ پتنت در زمینه‌ی اپتیک و کوانتوم داشته است. بیشتر این پتنت‌ها در کلاس فناوری‌های محاسبات کوانتومی، پردازش اطلاعات بر اساس پدیده های مکانیکی کوانتومی قرار دارند. این شرکت در زمینه‌ی ثبت پتنت بیشترین همکاری‌ها را با زیرمجموعه‌های خود و مخترعین مستقل داشته است.

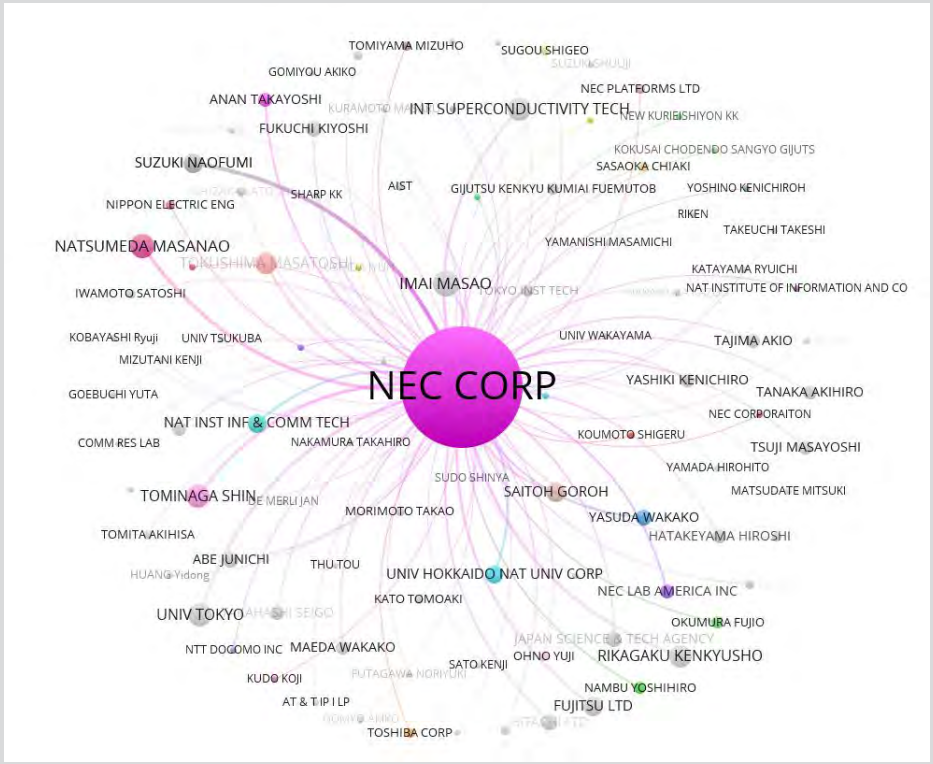
سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت (۵)

BOE



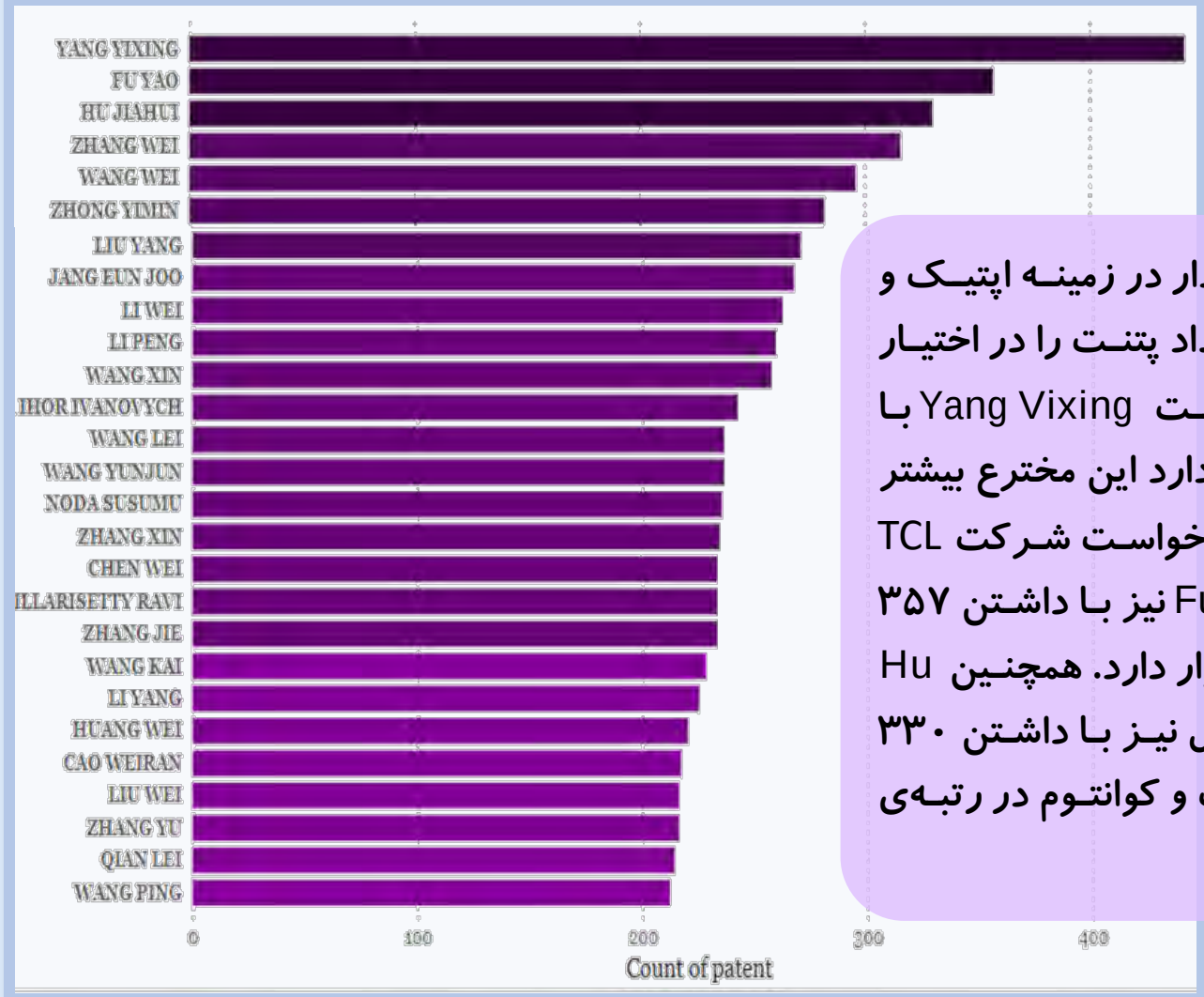
بی‌اوئی (BOE) یک شرکت الکترونیک دولتی چینی است، که در سال ۱۹۹۳ تأسیس شد. این شرکت نیز حدود ۱۵۰۰ پتنت در زمینه‌ی اپتیک و کوانتوم دارد. فناوری پرتکرار در پتنت‌های این شرکت شامل نانوساختارهای معدنی فعال و نقاط کوانتومی درخشان است. همانطور که شبکه همکاری این شرکت نشان می‌دهد، این سازمان بیشتری همکاری‌ها را با زیرمجموعه‌های خود و شرکت‌هایی همچون هفی اپتوالکترونیک داشته است.

سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت (۶)



شـــرکت ان‌ای‌ســـی(NEC) یـــک شـــرکت چندملیتی تولیدکننده تجهیزات مخـابراتی و نرم‌افزارها و خدمات مربوطه اسـت کـه مقـر اصلی آن در شهر توکیوی ژاپـن قـرار دارد. کـلاس اصـلی فنـاوری ایـن شـرکت در ایـن حوزه نانواپتیک هـا، بـه عنـوان مثـال اپتیـک کوانتومی یا کریسـتال‌های فوتونیـک اسـت. شبکه همکاری این شرکت در شکل روبـه‌رو نشان داده شده است، این شرکت بـا مراکـز علمـــی همچـــون دانشـــگاه توکیـــو همکـــاری زیادی در ثبت پتنت داشته است.

۵. مخترعین دارای بیشترین تعداد پتنت

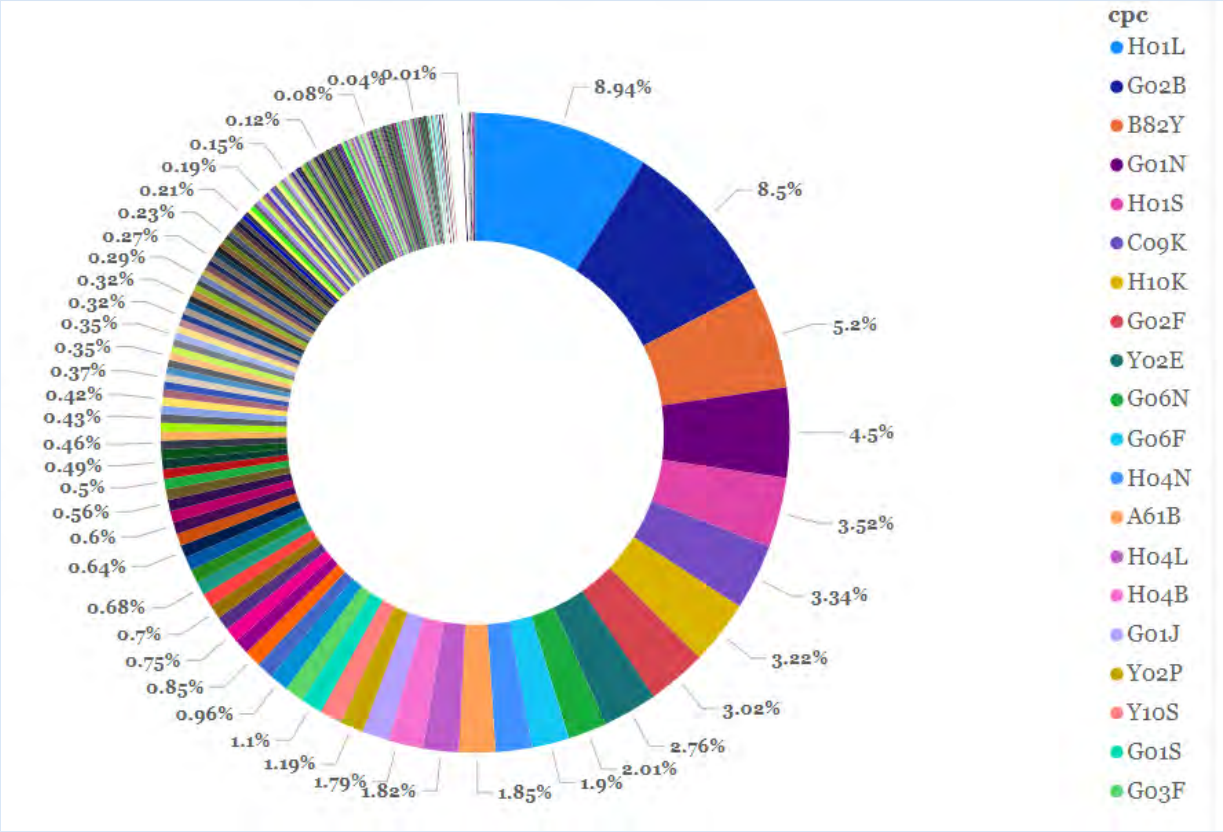


افـراد موجـود در نمـودار در زمینـه اپتیـک و کوانتـوم بیشـترین تعـداد پتنـت را در اختیـار دارند، در صدر ایـن لیسـت Yang Vixing بـا تعداد ۴۴۲ پتنت قرار دارد این مخترع بیشتر پتنت‌های خود را بـه درخواسـت شـرکت TCL ثبت کرده است. Fu Yao نیز بـا داشـتن ۳۵۷ پتنت در رتبه‌ی دوم قـرار دارد. همچنـین Hu Jiahui از دانشگاه ییـل نیـز بـا داشـتن ۳۳۰ پتنت در حوزه‌ی اپتیـک و کوانتـوم در رتبـه‌ی سوم قرار می‌گیرد.

۶. فناوری‌های الویت‌دار اپتیک و کوانتوم با رویکرد تحلیل پتنت

در این نمودار فناوری‌های برتر این حوزه نمایش داده شده است همانطور که این نمودار نشان می‌دهد فناوری H01L با داشتن حدود ۹ درصد از پتنت‌ها، G02B با دارا بود حدود ۸.۵ درصد ، B82Y با داشتن حدود ۵ درصد و G01N با داشتن ۴.۵ درصد از پتنت‌ها در رتبه‌های اول تا چهارم این نمودار قرار دارند.

در اسلاید بعدی عنوان این کلاس‌ها تشریح می‌گردد.



فناوری‌های الویت‌دار اپتیک و کوانتوم با رویکرد تحلیل پتنت

ردیف	زیربخش فناوری	عنوان
۱	H01L	Semiconductor Devices دستگاه‌های نیمه هادی
۲	G02B	Optical elements, systems or apparatus عناصر، سیستم ها یا دستگاه های نوری
۳	B82Y	Specific uses or applications of nanostructures; measurement or analysis of nanostructures کاربردها یا کاربردهای خاص نانوساختارها. اندازه گیری یا تجزیه و تحلیل نانوساختارها
۴	G01N	Materials by determining their Investigating or analyzing chemical or physical properties بررسی یا تجزیه و تحلیل مواد با هدف تعیین خواص شیمیایی یا فیزیکی آن‌ها
۵	H01S	Devices using the process of light amplification by stimulated emission of radiation [laser] to amplify or generate light دستگاه‌هایی که از فرآیند تقویت نور توسط تابش تشعشعات تحریک شده [لیزر] برای تقویت یا تولید نور استفاده می‌کنند

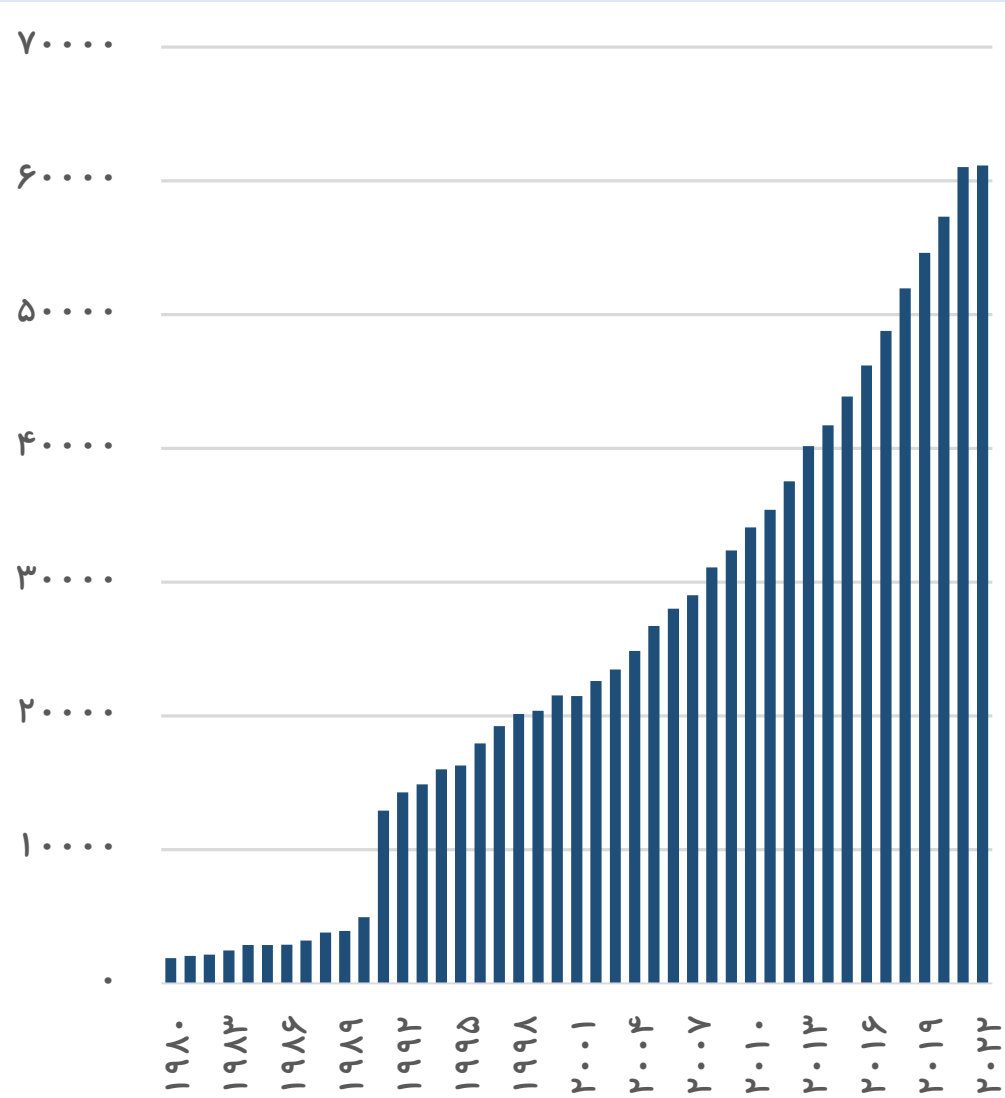
فناوری‌های الویت‌دار اپتیک و کوانتوم با رویکرد تحلیل پتنت(۱)

ردیف	زیربخش فناوری	عنوان
۶	C09K	Materials for miscellaneous applications مواد برای کاربردهای متفرقه
۷	H10K	Organic electric solid-state devices دستگاه‌های حالت جامد الکتریکی آلی
۸	G02F	Optical devices or arrangements for the control of light by modification of the optical properties وسایل یا ترتیبات نوری برای کنترل نور با اصلاح خواص نوری
۹	Y02E	Reduction of greenhouse gas emissions, related to energy generation, transmission or distribution کاهش انتشار گازهای گلخانه ای مربوط به تولید، انتقال یا توزیع انرژی
۱۰	G06N	Computing arrangements based on specific computational models ترتیبات محاسباتی بر اساس مدل های محاسباتی خاص
۱۱	HO4N	Pictorial communication, e.g. television ارتباط تصویری، به عنوان مثال تلویزیون

ارتباطات میان حوزه‌های الویت‌دار فناوری

در نمودار زیر بیشترین ارتباطات در میان زیرکلاس‌های فناوری در حوزه اپتیک و کوانتوم نشان داده شده است. دو کلاس مربوط به دستگاه‌های نیمه هادی (H01L) و کاربرد نانوساختار (B82Y) بیشترین ارتباط را با هم دارند.

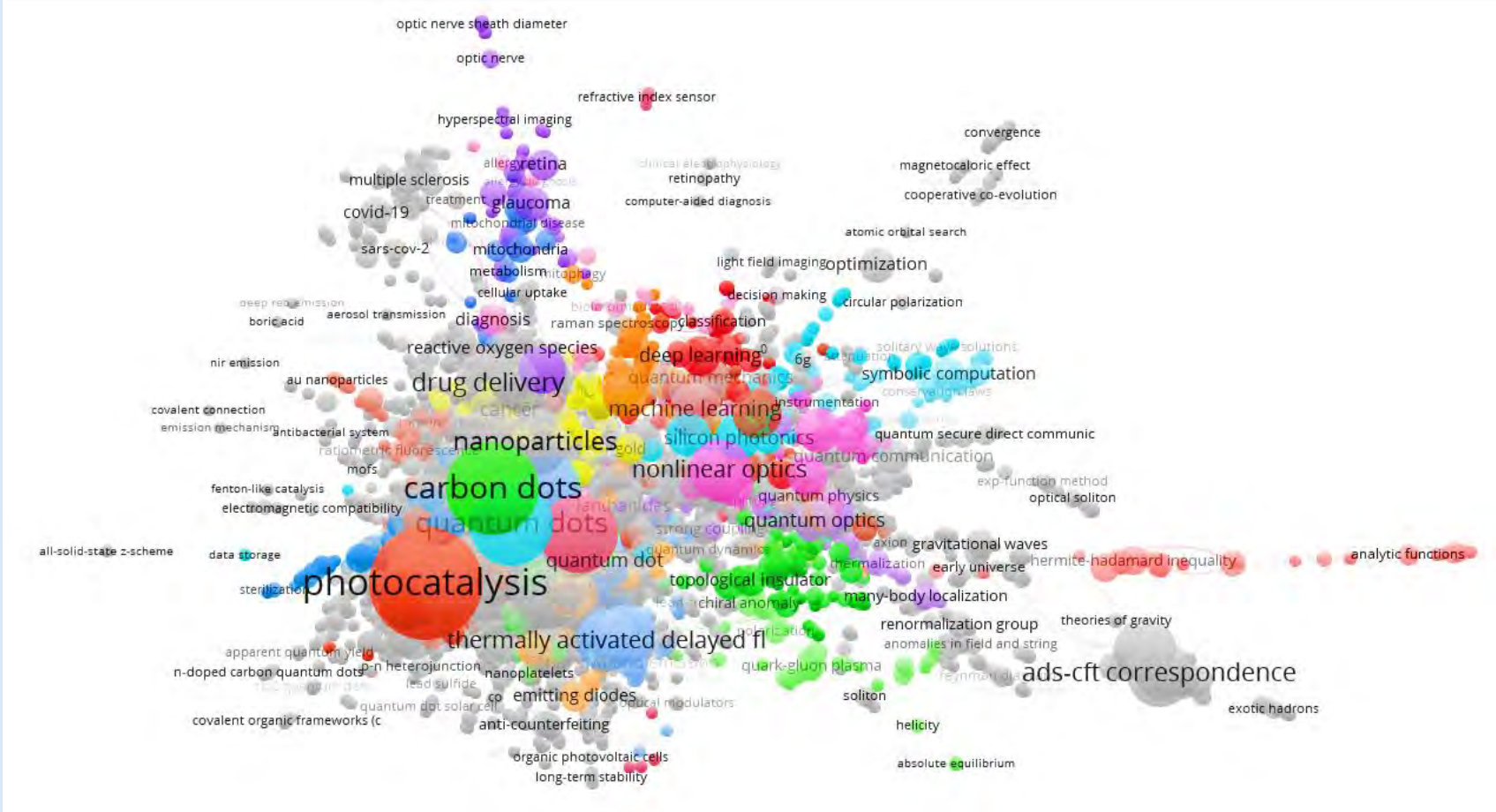
۷. روند چاپ مقاله درحوزه اپتیک و کوانتوم (۱۹۸۰–۲۰۲۲)



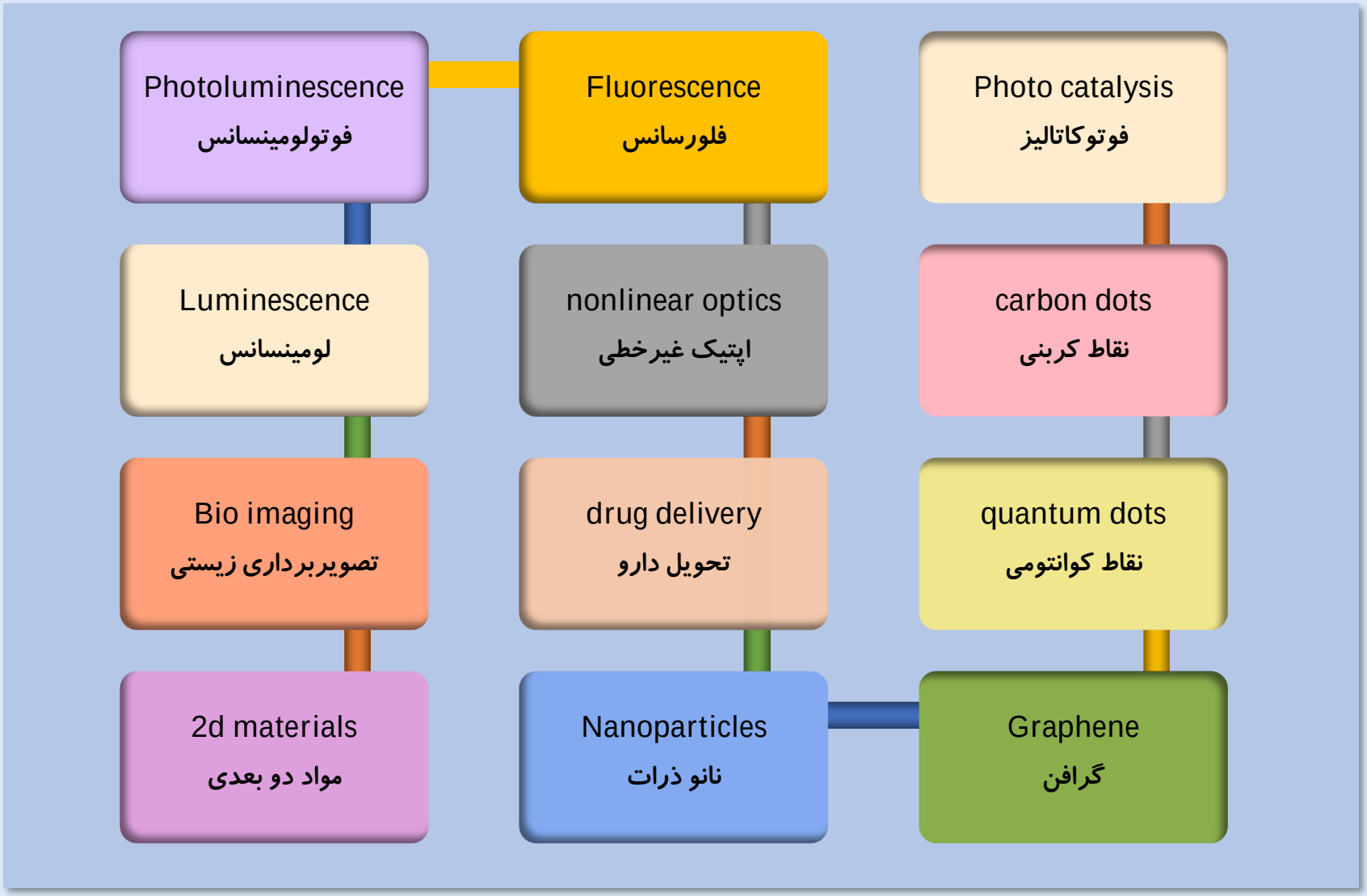
تا کنون بیش از یک میلیون مقاله در حوزه اپتیک و کوانتوم منتشر شده است. نمودار روند انتشار این مقالات مربوط به سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. روند انتشار مقاله در حوزه اپتیک و کوانتوم در طول سال‌ها به طور افزایشی بوده است. در دهه ۱۹۸۰ تعداد مقاله حدود ۱۸۷۰ مقاله بوده که در سال‌های بعد به تدریج افزایش یافته است. تعداد مقاله در سال ۱۹۹۱ به طور نسبتا زیادی افزایش یافته و بیش از ۱۲۹۲۲ مقاله در این حوزه منتشر شده است. سپس در سال‌های بعد از آن، تعداد مقاله به طور مداوم افزایش پیدا کرده و در سال ۲۰۲۲ به ۶۱۱۶۵ مقاله رسیده است.

۸. حوزه‌های الویت‌دار اپتیک و کوانتوم با رویکرد تحلیل مقاله

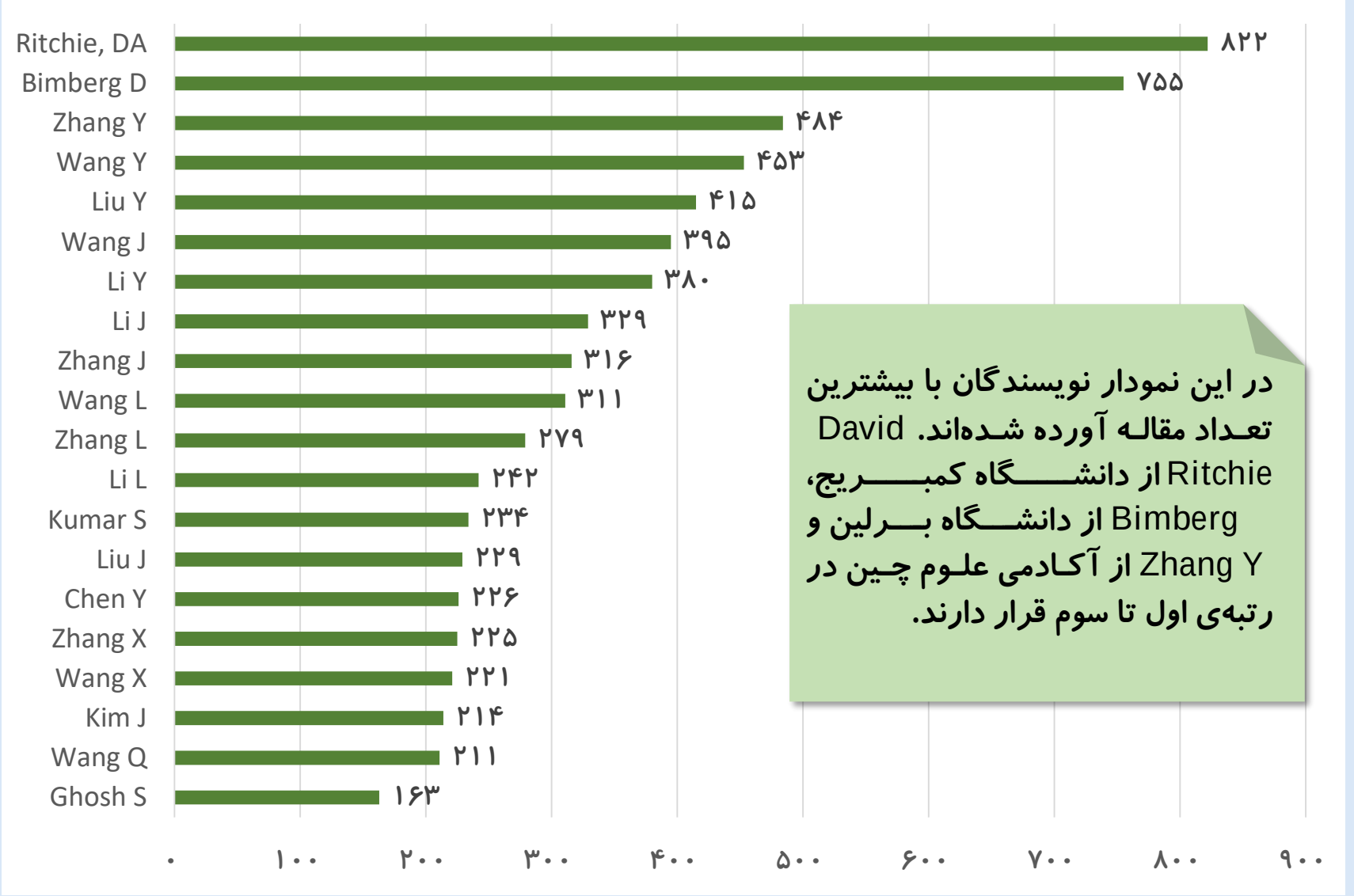
با استفاده از هم‌رخدادی مقالات پراستناد شبکه‌ی زیر ترسیم گردیده است. این شبکه یک شبکه‌ی یکپارچه است که نشان می‌دهد تحقیقات در این حوزه به صورت هدفمند و مرتبط با هم شکل گرفته‌اند. کلمات مرکزی این شبکه در اسلاید بعد ارائه شده‌اند.



حوزه‌های الویت‌دار اپتیک و کوانتوم با رویکرد تحلیل مقاله

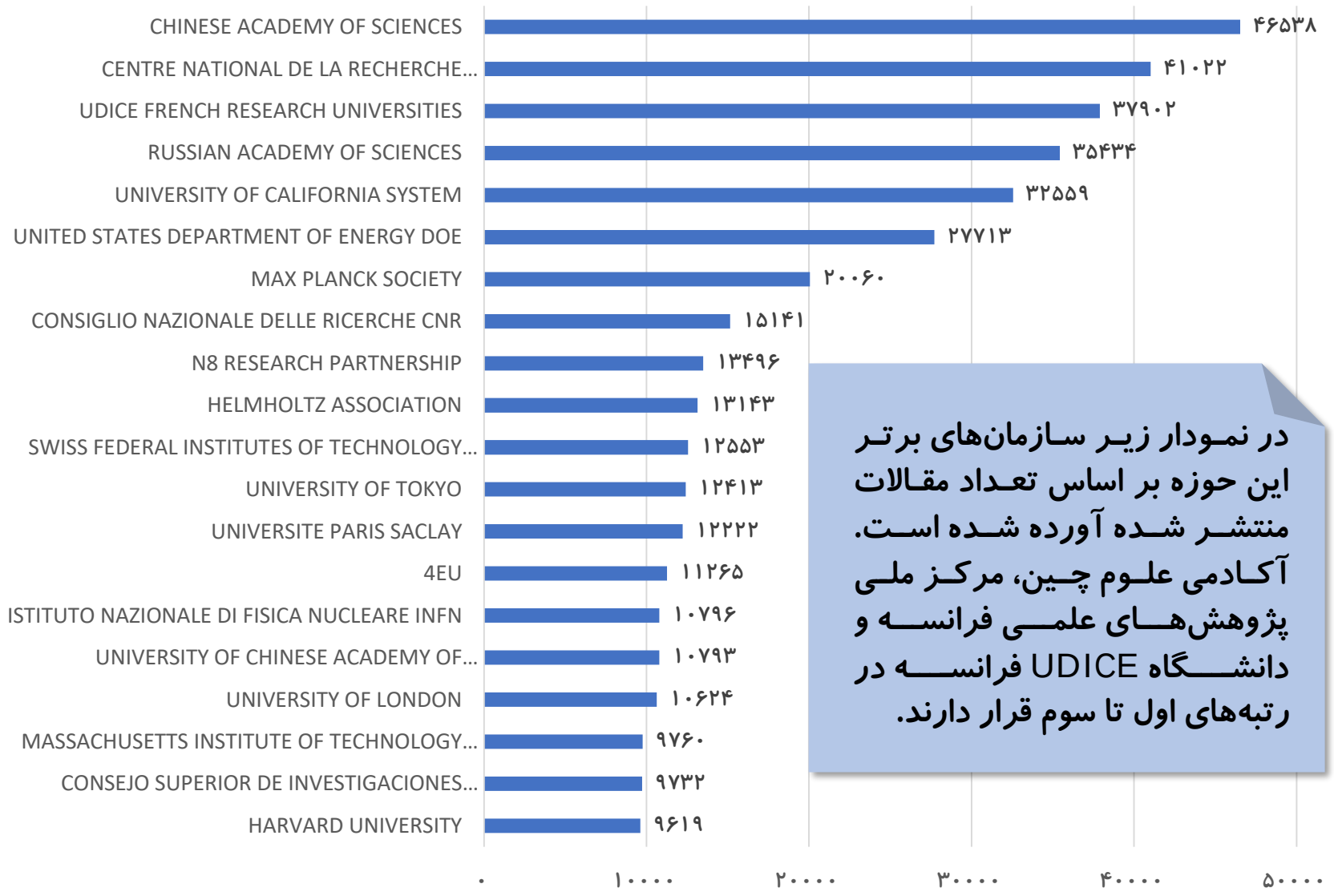


۹. نویسندگان دارای بیشترین تعداد انتشار مقاله



در این نمودار نویسندگان با بیشترین تعداد مقاله آورده شده‌اند. David Ritchie از دانشگاه کمبریج، Bimberg از دانشگاه برلین و Zhang Y از آکادمی علوم چین در رتبه‌ی اول تا سوم قرار دارند.

۱۰. دانشگاه‌های دارای بیشترین تعداد انتشار مقاله



در نمودار زیر سازمان‌های برتر این حوزه بر اساس تعداد مقالات منتشر شده آورده شده است. آکادمی علوم چین، مرکز ملی پژوهش‌های علمی فرانسه و دانشگاه UDICE فرانسه در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند.

دانشگاه‌ها و مراکز دارای بیشترین تعداد انتشار مقاله

آکادمی علوم چین

آکادمی علوم چین یک سازمان پژوهشی بزرگ در چین است. تأسیس آن به سال ۱۹۴۹ بازمی‌گردد و به لحاظ تعداد پژوهشگران و مقالات علمی، یکی از بزرگترین سازمان‌های پژوهشی جهان است. این سازمان نیز حدود ۴ درصد از تحقیقات این حوزه را انجام داده است.

مرکز ملی پژوهش‌های علمی فرانسه

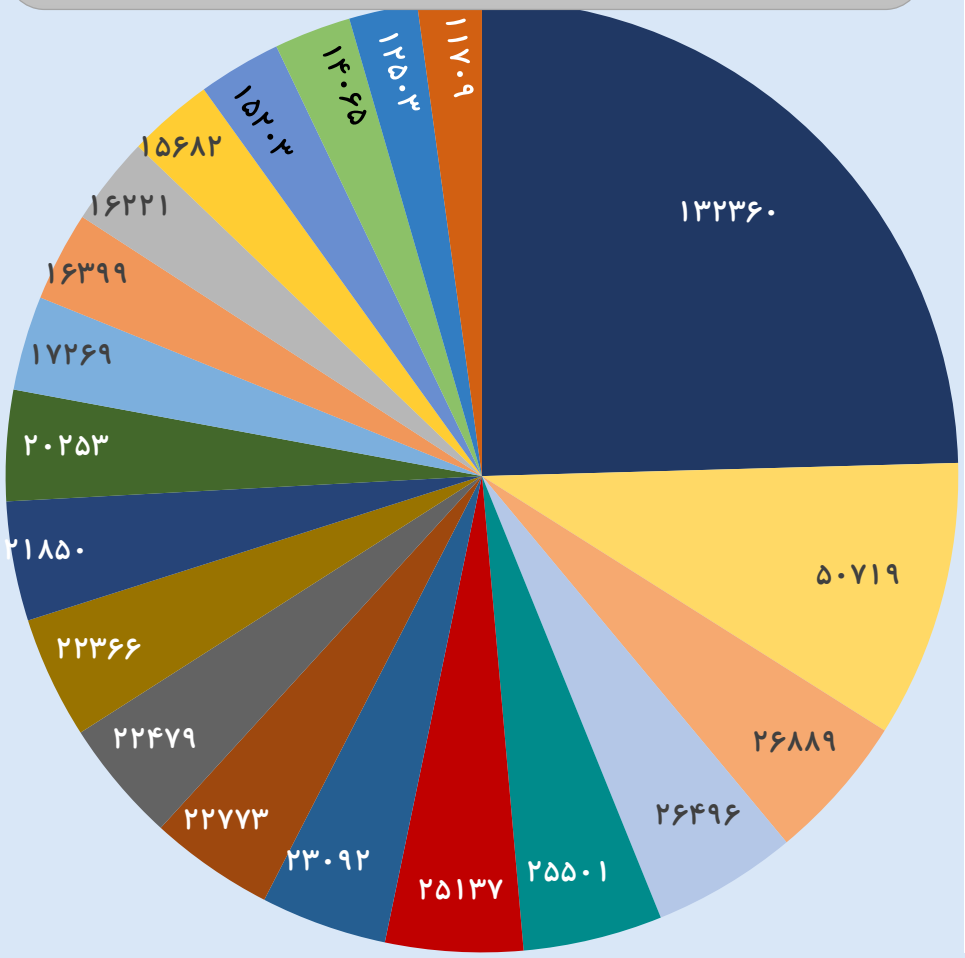
مرکز ملی تحقیقات علمی یک سازمان پژوهشی در فرانسه است. این مرکز به عنوان یک مرکز تحقیقاتی در رتبه سوم جهان قرار دارد. حدود ۳.۷ درصد از تحقیقات این مجموع با نام سازمانی این مرکز صورت گرفته است.

انجمن پژوهش دانشگاه‌ها

انجمن Udice یک مرکز است که تحقیقات در ده‌ها دانشگاه فرانسوی را پیگیری می‌کند و تمرکز خود را بر برتری در تحقیقات، عملکرد برتر در آموزش عالی و توسعه اکوسیستم‌های نوآورانه جذاب قرار می‌دهد.

۱۱. نهادهای تامین‌کننده مالی مقالات

NSFC با حمایت مالی ۱۲ درصد از مقالات بزرگترین تامین‌کننده مالی مقالات در این حوزه است. NSF و DOE با حمایت به ترتیب ۴.۵ و ۲.۴ درصد از مقالات این حوزه در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



- National Natural Science Foundation Of China Nsfc
- National Science Foundation Nsf
- United States Department Of Energy Doe
- Spanish Government
- German Research Foundation Dfg
- Ministry Of Education Culture Sports Science And Technology Japan Mext
- Japan Society For The Promotion Of Science
- United States Department Of Health Human Services
- National Institutes Of Health Nih Usa
- Uk Research Innovation Ukri
- European Union Eu
- Grants In Aid For Scientific Research Kakenhi
- Engineering Physical Sciences Research Council Epsrc
- National Basic Research Program Of China
- Fundamental Research Funds For The Central Universities
- European Research Council Erc
- Nsf Directorate For Mathematical Physical Sciences Mps
- United States Department Of Defense
- Natural Sciences And Engineering Research Council Of Canada Nserc
- National Research Foundation Of Korea

۱۴. فرآیند اجرایی گزارش اپتیک و کوانتوم

مراحل اجرایی طی شده در گزارش اپتیک و کوانتوم

گام اول: تجزیه و تحلیل گزارش‌های بین‌المللی

۱

۱- جستجو و انتخاب گزارش‌های بین‌المللی برای شناسایی فناوری‌ها و حوزه‌های اولویت‌دار

۲- تجزیه و تحلیل گزارش‌های بین‌المللی با هدف شناسایی حوزه‌ها و فناوری‌های اولویت‌دار آینده

۳- استخراج فناوری‌های اولویت‌دار آینده با توجه بر تاثیر آن‌ها بر حوزه‌های اولویت‌دار

۴- تشریح هریک از فناوری‌های اولویت‌دار آینده

گام دوم: تجزیه و تحلیل مقالات و اختراعات

۲

۱- جستجو در پایگاه داده‌های پتنت

۲- شناسایی پتنت‌های برتر در حوزه اپتیک و کوانتوم

۳- شناسایی فناوری‌ها و حوزه‌های اولویت‌دار

۴- جستجو در پایگاه داده‌های مقالات

۵- شناسایی حوزه‌های اولویت‌دار

۶- شناسایی نویسندگان و دانشگاه‌های برتر مقالات حوزه اپنتیک و کوانتوم

فرآیند جستجو و انتخاب گزارش (۱)

گام اول؛ مرحله اول؛ فرآیند جستجو و انتخاب گزارش

در این مرحله برای شناسایی و انتخاب گزارش‌های معتبر بین‌المللی در حوزه اپتیک و کوانتوم در جستجوگر گوگل با کلیدواژه‌هایی نظیر Optics technologies، Photonics future technologies، advanced quantum technology، future of photonics/quatum، quantum&Photonics و همچنین براساس معیارهای ذیل جستجو صورت پذیرفت:

- ✓ گزارش‌های بین‌المللی منتشر شده توسط شرکت‌های معتبر مشاوره‌ای همچون مکنزی
- ✓ گزارش‌های منتشر شده توسط نهادهای ملی کشورها مختلف نظیر اتحادیه اروپا و نهاد عمومی پژوهش و نوآوری انگلیس
- ✓ ارتباط موضوعی و محتوایی گزارش‌ها با اهداف گزارش اپتیک و کوانتوم
- ✓ قلمرو زمانی گزارش‌ها بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

گزارش فناوری‌های کوانتوم

- ☑ عنوان گزارش:
  فناوری‌های کوانتوم
- ☑ ناشر:
  موسسه پژوهشی Capgemini
  (موسسه بین‌المللی مستقر در فرانسه)
- ☑ سال نشر: ۲۰۲۲
- ☑ افق زمانی: –
- ☑ هدف و مخاطبین:
  معرفی فناوری کوانتوم و کاربردهای آن و توضیح نحوه آماده‌سازی سازمان‌ها برای ورود به عصر کوانتوم و ایجاد مزیت کوانتومی در سازمان

گزارش صنعت اپتیک و فوتونیک ۲۰۲۲

- ☑ عنوان گزارش:
  گزارش صنعت اپتیک و فوتونیک ۲۰۲۲
- ☑ ناشر:
  مجمع بین المللی اپتیک و فوتونیک
- ☑ سال نشر: ۲۰۲۲
- ☑ افق زمانی: –
- ☑ هدف و مخاطبین:
  ارزیابی وضعیت زیرساخت‌های جهانی برای تولید محصولات فوتونیک و تبیین روندهای اصلی صنعت اپتیک و فوتونیک

فرآیند جستجو و انتخاب گزارش (۲)

گام اول؛ مرحله اول؛ فرآیند جستجو و انتخاب گزارش–ادامه

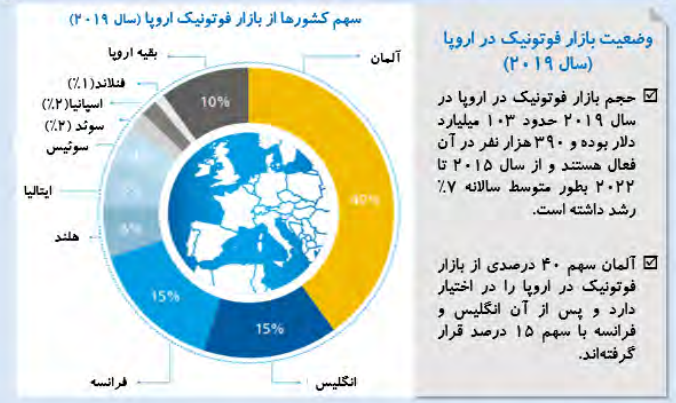
به منظور انتخاب گزارش‌های بین‌المللی ابتدا تعداد ۸۸ گزارش از طریق جستجو در گوگل یافت شد، سپس تعداد ۲۴ گزارش به دلیل انتشار توسط ناشران کمتر شناخته شده و سال انتشار قبل از ۲۰۱۸ حذف شد. پس از مرور و بررسی کلی گزارش‌های باقی مانده، تعداد ۳۳ گزارش به دلیل عدم انطباق محتوا با اهداف گزارش حذف شد. در گام نهایی محتوای گزارش‌ها با دقت بالا بررسی و تعداد ۲۰ گزارش دیگر حذف و ۱۱ گزارش برای بررسی انتخاب گردید.

تجزیه و تحلیل گزارش‌های بین‌المللی و استخراج فناوری‌های آینده

گام اول؛ مرحله دوم؛ تجزیه و تحلیل گزارش‌های بین‌المللی

در این مرحله گزارش‌های بین‌المللی با هدف شناسایی فناوری‌های اولویت‌دار آینده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. علاوه‌براین تلاش شده است اطلاعاتی همچون چالش‌ها و فرصت‌ها، سهم بازار و همچنین حوزه‌هایی که فناوری‌های اپتیک و کوانتوم بر آن‌ها تاثیر خواهند گذاشت شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت.

وضعیت بازار فوتونیک در اروپا



SPECTARIS(2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

جمع‌بندی فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

۱۸۷

گام اول؛ مرحله سوم؛ و استخراج فناوری‌های آینده

در انتهای هر گزارش نیز اسلایدی به عنوان جمع‌بندی آورده شده است که فناوری‌های اولویت‌دار آینده که در طول گزارش شناسایی و تبیین شده بودند در این اسلاید براساس حوزه‌های اولویت‌دار دسته‌بندی شدند.

تشریح فناوری‌های اولویت‌دار آینده

گام اول؛ مرحله چهارم؛ تشریح هر یک از فناوری‌های اولویت‌دار آینده

پس از آن‌که ۱۱ گزارش بین‌المللی مورد بررسی قرار گرفت، تمامی فناوری‌های شناسایی شده در تمامی ۱۱ گزارش تجمیع و یکپارچه‌سازی شده و لیستی از ۸۸ فناوری اولویت‌دار براساس ۱۱ حوزه استخراج شد. سپس هر یک از فناوری‌ها به صورت جداگانه تعریف و تشریح شد.

فناوری‌های اپتیک در بخش کشاورزی

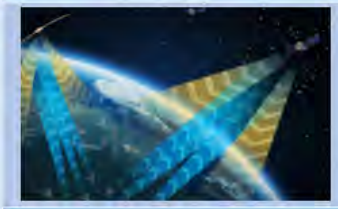
۴۶	کشاورزی دقیق با فناوری فوتونیک	Precision farming

فناوری‌های نوری و فوتونیک برای اندازه‌گیری سلامت محصول و کیفیت محصولات کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور در باند نور مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی بکار گرفته می‌شوند. این فناوری‌ها در اندازه‌گیری و پایش آب و هوا، رشد گیاهان، کیفیت خاک، میزان نیاز به آب یا کود و تشخیص بیماری یا آفت گیاهان و سلامت حیوانات کاربرد دارند. سیستم‌های روشنایی پیشرفته سرعت رشد گیاهان گلخانه‌ای را افزایش داده‌اند. حسگرهای لیدار و سه بعدی در ترکیب با دوربین‌ها سبب توانمندسازی ماشین‌های خودکاری شده‌اند که با محصولات کشاورزی با دقت در حد سانتیمتر در تعامل هستند. تجهیزات UV ضدعفونی کننده آب، آب خروجی از گلخانه‌ها تصفیه نموده و برای آبیاری مجدد آماده می‌کنند.

۲۸۷

فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

۲۷	رادار کوانتومی	Quantum Radar



دستگاه راداری که به فوتون های درهم تنیده متکی است و از چنان توان پایینی استفاده می‌کند که پشت سر و صدای پس زمینه پنهان می‌شود و برای کاربردهای زیست پزشکی و امنیتی مفید است. این دستگاه از ویژگی‌های مکانیک کوانتومی برای سنجش محیط و ایجاد تصویر از آن در محدوده مایکروویو استفاده می‌کند و در مرحله آزمایشی است.

۲۸	توموسنتز دیجیتال کوانتومی	Quantum Digital Tomosynthesis

حساسیت بسیار بالا برای تمایز بین بافت سالم و ناسالم و بافت نرم و سخت (استخوان) بسیار حیاتی است و باید تصویری ۳بعدی و بسیار دقیق در طول جراحی، باسرعت بسیار بالا و با اشغال فضایی کم ارائه شود.
این ابزار با استفاده از فناوری کوانتوم (منبع اشعه ایکس و آشکارساز) تصویربری ۳بعدی از بافت ارائه می‌کند.

۳۰۵

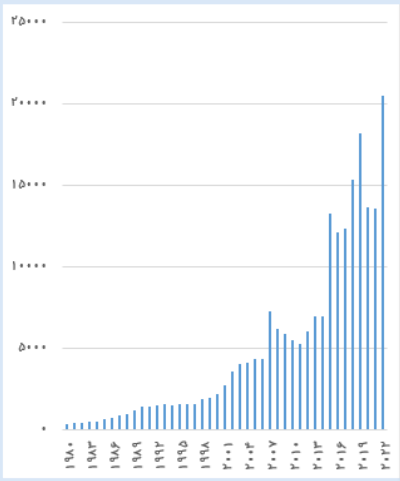
فرآیند جستجو در پایگاه داده‌های پتنت

گام دوم؛ مرحله اول؛ فرایند جستجو در پایگاه داده‌های پتنت

در این مرحله به منظور شناسایی و بازیابی پتنت‌های این حوزه با کلیدواژه‌هایی همچون Optics, Quantum, Optoelectronics, Photonics, Quantum Computing, Quantum Sensors, Quantum communication, Quantum metrology, Quantum cryptographyدر عنوان، چکیده، ادعا و حوزه‌های موضوعی پتنت‌ها جست و جو شده و نهایتا تعداد ۲۲۵۷۹۴پتنت یکتا شناسایی شدند. همچنین معیارهای زیر نیز در فرایند جستجو در نظر گرفته شدند:

- ✓ استفاده از پایگاه داده معتبر بین‌المللی lens برای جستجوی پتنت (lens یک پایگاه داده قدرتمند است که بیش از ۱۴۰ میلیون سند پتنت از سراسر جهان را فراهم می‌کند.)
- ✓ ارتباط پتنت‌ها با اهداف گزارش اپتیک و کوانتوم
- ✓ قلمرو زمانی پتنت‌ها بین سال‌های ۱۹۰۴ تا ۲۰۲۳

۱. روند ثبت پتنت در حوزه اپتیک و کوانتوم(۲۰۲۲-۱۹۸۰)



نمودار روند ثبت پتنت در حوزه اپتیک و کوانتوم نشان می‌دهد که تعداد ثبت پتنت‌ها در این حوزه در طول سال‌ها افزایش یافته است. از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲، تعداد ثبت پتنت‌ها روند رو به بالا را دارا بوده است. در سال‌های ابتدایی (۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰) تعداد ثبت پتنت‌ها افزایش آهسته‌ای داشته است، اما از سال ۱۹۹۰ به بعد، افزایش تعداد ثبت پتنت‌ها به صورت نسبتاً سریع صورت گرفته است. در سال ۲۰۱۹ بیش از ۱۸ هزار پتنت در این حوزه ثبت شده است، اما در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ این آمار کاهش یافته است و در سال ۲۰۲۲ به بیش از ۲۰ هزار پتنت رسیده است.

۳۱۴

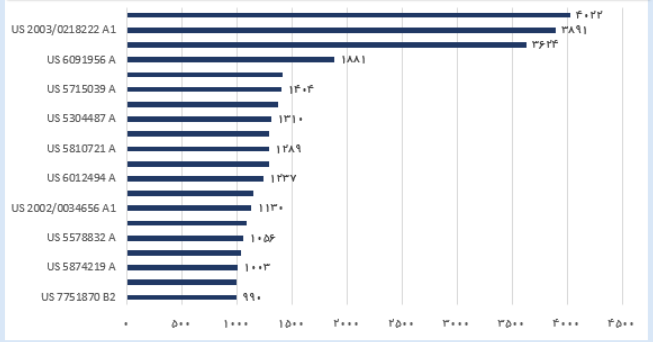
شناسایی پتنت‌های برتر و فناوری‌ها و حوزه‌های اولویت‌دار اپتیک و کوانتوم

گام دوم؛ مرحله دوم؛ شناسایی پتنت‌های پر استناد

در مرحله دوم، پس از شناسایی پتنت‌های برتر، تعداد ۵ پتنت برتر معرفی و تشریح شدند، سپس با هدف شناسایی پتنت‌های روز دنیا در این حوزه با در نظر گرفتن پتنت‌های سه سال اخیر(پتنت‌های سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳)، پتنت‌های پراستناد شناسایی شده و تعداد ۱۰ پتنت برتر روز معرفی و شرح داده شدند.

۲. پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع

در نمودار زیر پتنت‌های با بیشترین ارجاع ارائه شده است. بیشترین ارجاع مربوط به ترانزیستور فیلم نازک است که بیش از ۴۰۰۰ بار به آن ارجاع شده است. در ادامه به شرح بیشتر پتنت‌های برتر می‌پردازیم.



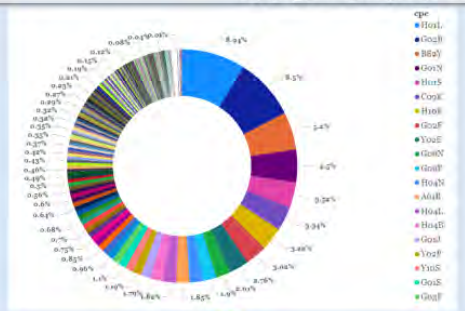
۳۱۵

گام دوم؛ مرحله سوم؛ شناسایی فناوری‌ها و حوزه‌های اولویت‌دار

در مرحله سوم فناوری‌های برتر در حوزه‌های اولویت‌داری که مشخص و کدگذاری شده‌اند، شناسایی و درصد فراوانی آن‌ها تعیین شده است. سپس میزان ارتباطات زیربخش‌های فناوری در حوزه اپتیک و کوانتوم نشان داده شده است.

فناوری‌های الویت‌دار اپتیک و کوانتوم با رویکرد تحلیل پتنت

در این نمودار فناوری‌های برتر این حوزه نمایش داده شده است همانطور که این نمودار نشان می‌دهد فناوری H01Lبا داشتن حدود ۹ درصد از پتنت‌ها، G02Bبا دارا بود حدود ۸,۵ درصد ، B82Yبا داشتن حدود ۵ درصد و G01Nبا داشتن ۴,۵ درصد از پتنت‌ها در رتبه‌های اول تا چهارم این نمودار قرار دارند. در اسلاید بعدی عنوان این کلاس‌ها تشریح می‌گردد.



۳۴۶

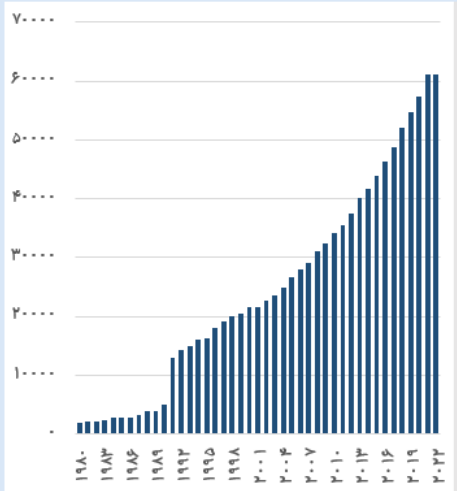
فرایند جستجو در پایگاه داده‌های مقالات

گام دوم؛ مرحله چهارم؛ فرایند جستجو در پایگاه داده‌های مقالات

در این مرحله به منظور شناسایی وبازیابی مقالات این حوزه با کلیدواژه‌هایی همچون Optics, Quantum, Optoelectronics, Photonics, Quantum Computing, Quantum Sensors, Quantum communication, Quantum metrology, Quantum cryptography **در عنوان، چکیده، ادعا و حوزه‌های موضوعی مقالات جست و جو شده و نهایتا تعداد۱.۱۱۱.۸۰۳ مقاله شناسایی شدند. همچنین معیارهای زیر نیز در فرایند جستجو در نظر گرفته شدند:**

- ✓ **استفاده از پایگاه داده معتبر بین‌المللی** web of science **برای جستجوی مقالات**
- ✓ **ارتباط مقالات با اهداف گزارش اپتیک و کوانتوم**
- ✓ **قلمرو زمانی گزارش‌ها بین سال‌های۱۹۵۵ تا ۲۰۲۳**

۷. روند چاپ مقاله درحوزه اپتیک و کوانتوم (۱۹۸۰–۲۰۲۲)



تا کنون بیش از یک میلیون مقاله در حوزه اپتیک و کوانتوم منتشر شده است. نمودار روند انتشار این مقالات مربوط به سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. روند انتشار مقاله در حوزه اپتیک و کوانتوم در طول سال‌ها به طور افزایشی بوده است. در دهه ۱۹۸۰ تعداد مقاله حدود ۱۸۷۰ مقاله بوده که در سال‌های بعد به تدریج افزایش یافته است. تعداد مقاله در سال ۱۹۹۱ به طور نسبتا زیادی افزایش یافته و بیش از ۱۲۹۲۲ مقاله در این حوزه منتشر شده است. سپس در سال‌های بعد از آن، تعداد مقاله به طور مداوم افزایش پیدا کرده و در سال ۲۰۲۲ به ۶۱۱۶۵ مقاله رسیده است.

۳۵۰

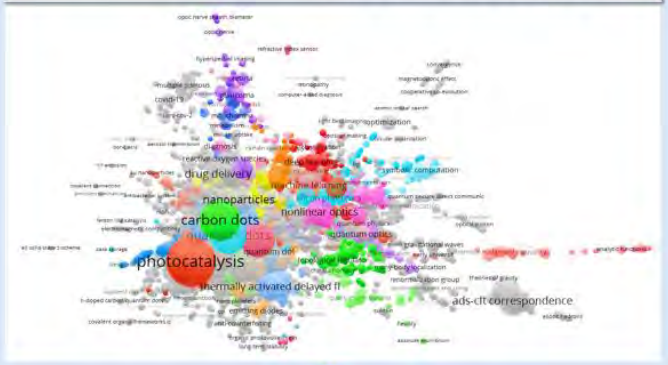
شناسایی حوزه‌های اولویت‌دار، نویسندگان و دانشگاه‌های با بیشترین مقاله

گام دوم؛ مرحله پنجم؛ شناسایی حوزه‌های اولویت‌دار

در مرحله پنجم با استفاده از واژه‌هایی که تکرار بالایی در مجموعه مقالات اپتیک وکوانتوم داشته‌اند حوزه‌های اولویت‌دار اپتیک و کوانتوم از منظر تحلیل مقاله شناسایی شدند و همچنین شبکه ارتباطی این حوزه‌ها ترسیم گردیده است.

حوزه‌های الویت‌دار اپتیک و کوانتوم با رویکرد تحلیل مقاله

با استفاده از هم‌رخدادی مقالات پراستناد شبکه‌ی زیر ترسیم گردیده است. این شبکه یک شبکه‌ی یکپارچه است که نشان می‌دهد تحقیقات در این حوزه به صورت هدفمند و مرتبط با هم شکل گرفته‌اند. کلمات مرکزی این شبکه در اسلاید بعد ارائه شده‌اند.

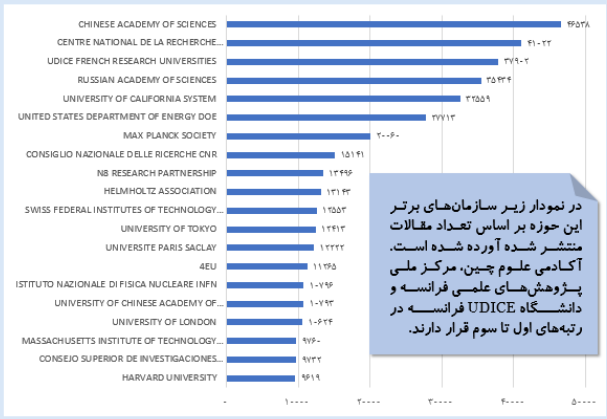


۳۵۱

گام دوم؛ مرحله ششم؛ شناسایی نویسندگان و دانشگاه‌های دارای بیشترین انتشار مقاله

در این مرحله پنج نویسنده دارای بیشترین تعداد انتشار مقاله و همچنین سازمان‌های برتر منتشر کننده مقالات حوزه اپتیک و کوانتوم شناسایی و در غالب نمودار نمایش داده شده‌اند.

۱۰. دانشگاه‌های دارای بیشترین تعداد انتشار مقاله



در نمودار زیر سازمان‌های برتر این حوزه بر اساس تعداد مقالات منتشر شده آورده شده است. آکادمی علوم چین، مرکز ملی پژوهش‌های علمی فرانسه و دانشگاه UDICE فرانسه در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند.

۳۵۴

۱۵. منابع

منابع اپتیک و فوتونیک

Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09 /Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf

IOP(2018). The health of photonics. available at: https://www.iop.org/sites/default/files/2018-10/health-of-photonics.pdf

Photonics21(2019). Europe's age of light. available at: https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics21-Vision-Paper-Final.pdf

Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/ Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf

SPECTARIS (2022). Trend Report Photonics 2021/2022. available at : https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Photonik/Zahlen-Fakten-und-Publikationen/SPEC_21_077_Trendreport2021_RZ_web.pdf

SPIE(2022). Optics & Photonics Industry Report. available at : https://spie.org/documents/Industry-Resources/Information/Industry-Report/Industry-Report-2022.pdf

منابع کوانتوم

Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now.available at: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf

Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf

OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0

Uk Research & Innovation(2022). UK quantum technologies challenges. available at: https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf

انتشارات دانش بنیان فناور
www.isti.ir
مرکز ارتباطات و اطلاع رسانی
معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان ریاست جمهوری
www.isti.ir