



رصد فناوری‌های نوظهور

# فناوری‌های اپتیک و کوانتوم

سلسله گزارش‌های برنامه ملی آینده‌نگاری علم و فناوری ایران



ریاست جمهوری

معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان





بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



رصد فناوری‌های نوظهور؛ فناوری‌های اپتیک و کوانتوم

ترجمه و تخلص گزارش‌های بین‌المللی: زینب شریعتی

تحلیل مقالات و پتنت‌های بین‌المللی: راحله فتح‌الهی

ناشر: دانش‌بنیان فناور

شمارگان: ۱۰۰ نسخه

سال نشر: ۱۴۰۲

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۹۰۵-۸۴-۸

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

## فهرست

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



# 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 می‌کند 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.





PHOTONICS<sup>21</sup>

**PHOTONICS**  
LEADERSHIP GROUP

 **FUTURE  
PHOTONICSHUB**

# فناوری‌های اپتیک (فوتونیک)



 **PHOTONICS**  
in the German Industry Association  
**SPECTARIS**

**IOP**  
Institute of Physics

**SPIE.**

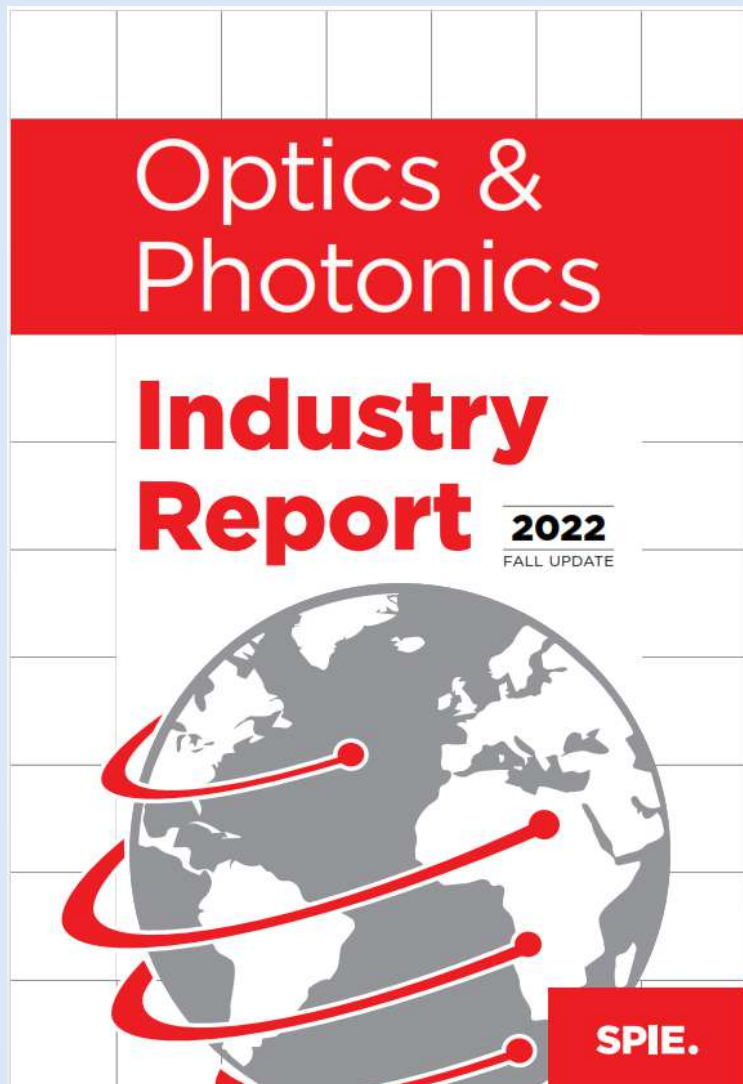
# ۱- گزارش صنعت فوتونیک و اپتیک ۲۰۲۲

---

**SPIE.**

The international society  
for optics and photonics

# گزارش صنعت اپتیک و فوتونیک ۲۰۲۲



✓ عنوان گزارش:

گزارش صنعت اپتیک و فوتونیک ۲۰۲۲

✓ ناشر:

مجمع بین المللی اپتیک و فوتونیک

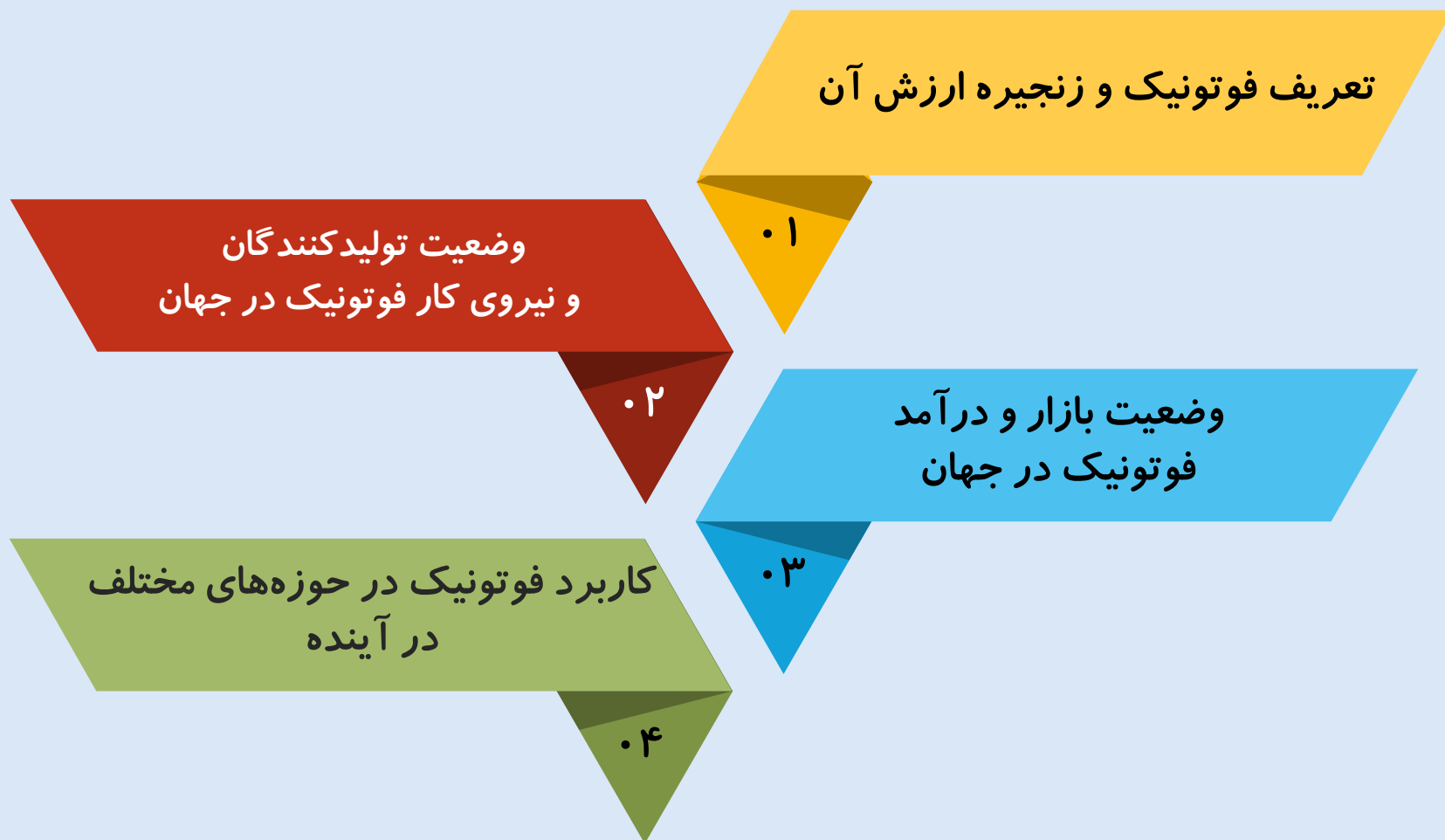
✓ سال نشر: ۲۰۲۲

✓ افق زمانی: -

✓ هدف و مخاطبین:

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

# ساختار گزارش صنعت اپتیک و فوتونیک ۲۰۲۲



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 نور و کاربردهای آن است؛ فناوری تولید، کنترل و آشکارسازی نور. فوتونیک، طیف کامل الکترومغناطیس را از امواج گاما تا امواج رادیویی را پوشش 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: دوربین‌های مادون قرمز، سنجش از راه دور
- ✓ سرگرمی: هولوگرافی، نورافکن سینما

891501876

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

افزایش ارزش



خدمات وابسته به فوتونیک

محصولات وابسته به فوتونیک

محصولات فوتونیک

مواد اولیه و اجزای پایه

☑ 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.

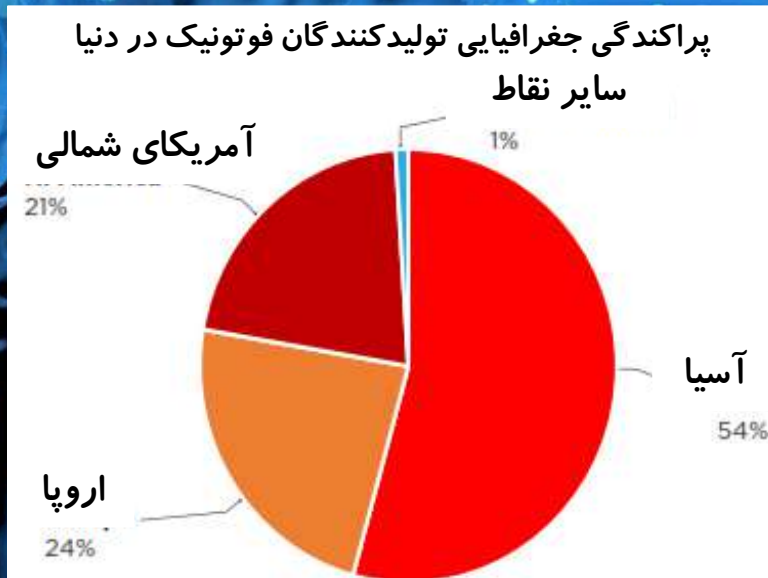
# دسته‌بندی درآمدی تولیدکنندگان فوتونیک



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).

# پراکندگی جغرافیایی تولیدکنندگان فوتونیک

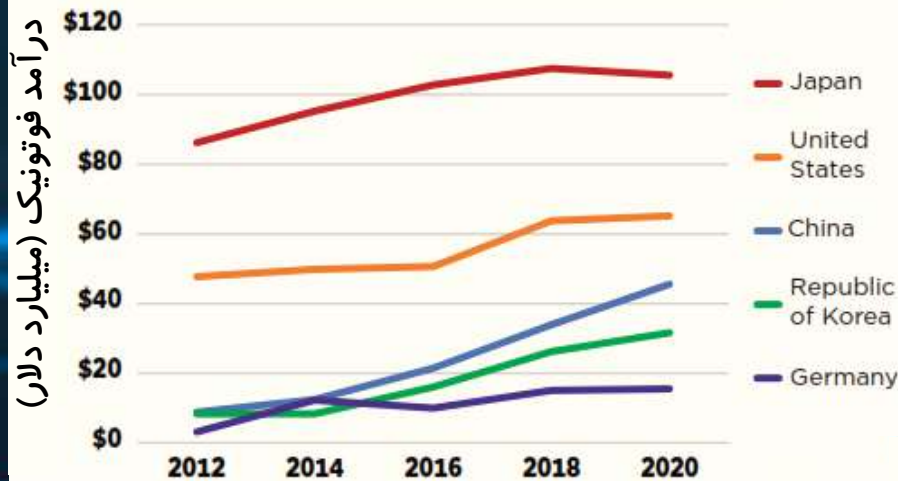
در سال ۲۰۲۰، ۴۸۴۰ تولیدکننده محصولات فوتونیک در ۵۰ کشور دنیا فعال بوده‌اند که بیش از ۵۰ درصد آن‌ها در آسیا مستقرند. در این صنعت سرانه درآمد شرکت‌ها به ازای هر نیروی کار به طور متوسط ۲۳۸ هزار دلار است.





# توزیع جغرافیایی درآمد و نیروی کار در حوزه فوتونیک

توزیع جغرافیایی درآمد فوتونیک

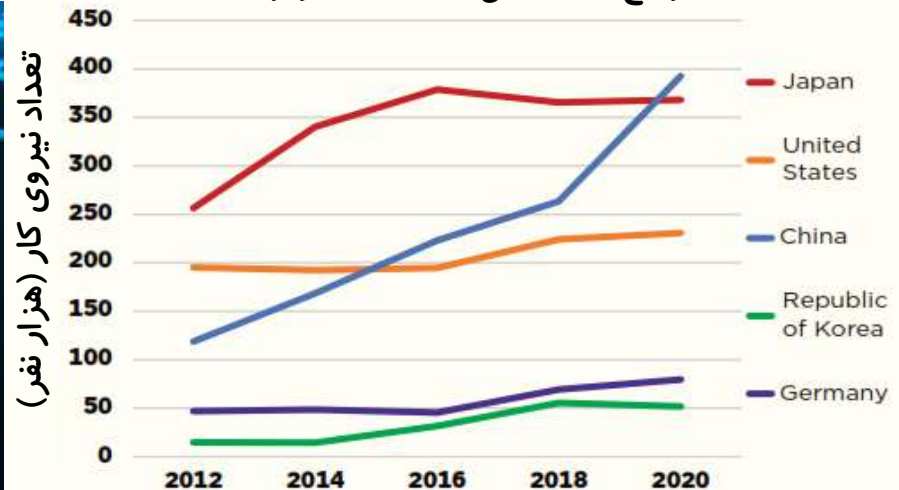


ژاپن با بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار بیشترین درآمد حاصل از فروش محصولات فوتونیک را به خود اختصاص داده است.

چین نیز با نرخ رشد سالانه ۲۳ درصد بیشترین رشد درآمد را در حوزه فوتونیک و در بازه زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۰ تجربه نموده است.

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



# 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٪): تابلوهای تبلیغات دیجیتال، نمایشگر شفاف

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

استریلیزه‌سازی

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

اشیاء، پهپاد

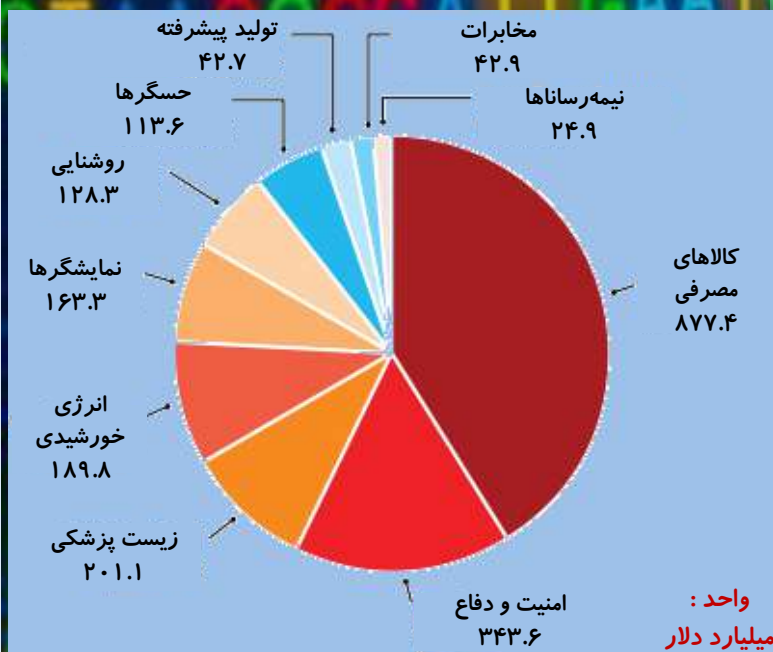
۸. تولید پیشرفته (۲٪): برش، جوش و... توسط لیزر، اندازه‌گیری

دقیق، دید ماشینی، نمونه‌سازی سریع، پرینتر ۳بعدی

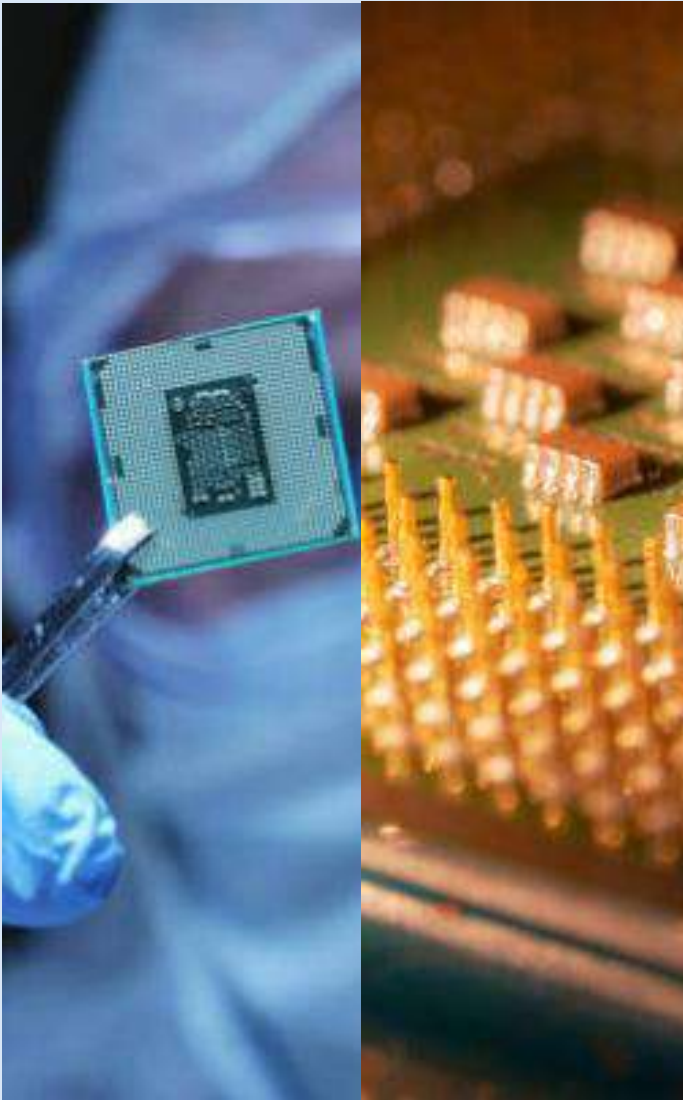
۹. مخابرات (۲٪): فیبر نوری، اینترنت نسل ۵

۱۰. نیمه‌رساناها (۱٪): تراشه‌ها، ترانزیستورها و قطعات

الکترونیک مبتنی بر فوتون



# پروندترین 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 پیشرفته با قانونگذاری در آمریکا و اروپا در مورد تراشه‌ها برای رفع اختلالات زنجیره تامین، افزایش یابد.
- ✓ 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، پایش و کنترل (۱۴٪): سیستم‌های خودکار و اینترنت اشیاء تقاضا برای حسگرهای متنوع فوتونیک را افزایش داده، هر چند رشد آن به دلیل کمبود تراشه محدود شده است.
- ✓ نمایشگر (۸٪): بکارگیری تابلوها، دستگاه‌های فروشگاهی و نمایشگرهای سرگرمی و سیستم‌های دورکاری و نمایشگرهای شفاف رشد بالایی (در طول مدت پاندمی) داشته است.

# کاربرد فوتونیک در آینده



نمایش: تولید نمایشگر با رزولوشن و کارایی 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



# کاربرد فوتونیک در آینده (۱)



**پزشکی:** نفوذ تجهیزات پزشکی درمانی و تشخیصی مبتنی بر فوتونیک و کم هزینه 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



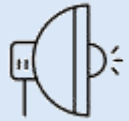
## کاربرد فوتونیک در آینده (۲)



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 بالاتر در سیستم‌های نوری هوشمند انسان-محور. کاهش هزینه و هوشمندسازی فرآیند استریلیزه کردن، کشاورزی دقیق (تشخیص بیماری یا کمبود آب گیاهان) و تصفیه آب



## 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



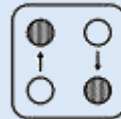
## کاربرد فوتونیک در آینده (۴)



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 سنج‌شناسی، سنجش، مخابرات و پردازش





# جمع‌بندی اولویت‌های فناوری در گزارش

سیستم‌های روشنایی

کشاورزی دقیق با شبیه‌سازی نور شبانه‌روز و تشخیص بیماری‌های گیاهان، استریلیزه‌سازی محیط با نور، تصفیه آب



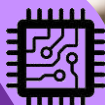
امنیت و دفاع

دوربین‌های دید در شب، سلاح‌های لیزری



نیمه‌رساناها

تراشه‌ها، ترانزیستورها و قطعات الکترونیک مبتنی بر فوتون



پزشکی

تصویربرداری پزشکی، توالی‌یابی DNA، توسعه ابزارهای پوشیدنی برای پایش پارامترهای سلامت



تولید پیشرفته

برشکاری و جوشکاری با لیزر، اندازه‌گیری دقیق، بینایی ماشینی، پرینتر ۳بعدی



سنجش، پایش و کنترل

حسگرها مختلف برای سیستم‌های خودکار، اینترنت اشیاء، پهپاد



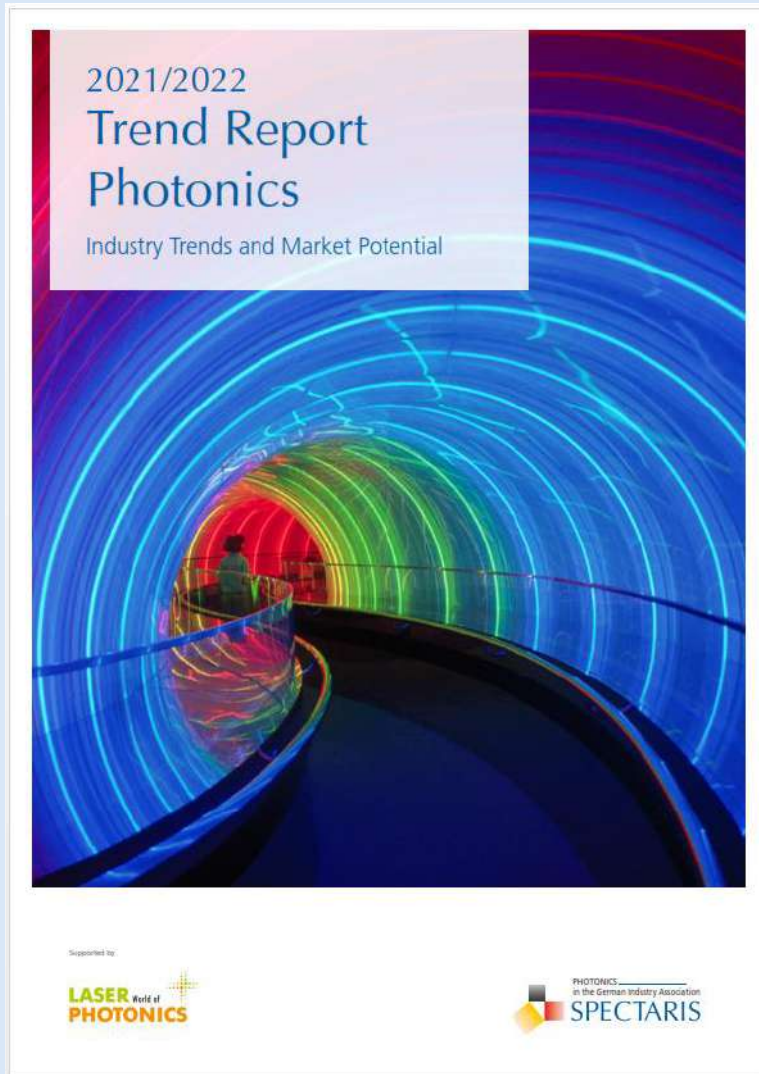
# ۲- گزارش روند بازار فوتونیک ۲۰۲۱/۲۰۲۲

## روند صنعت و پتانسیل بازار

---



# 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

# 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 نور فرابنفش، بکارگیری حسگر در تولید

## کاربردهای لیزر و نور

۰۲

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

۰۳

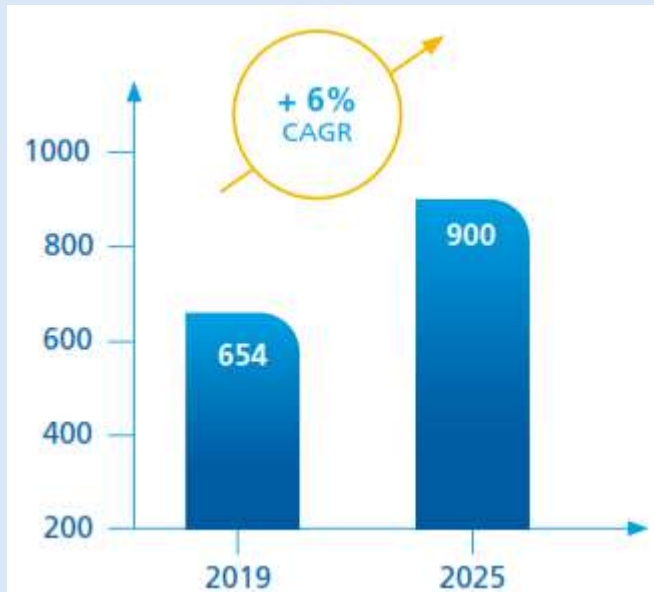
## وضعیت بازار فوتونیک در جهان و اروپا

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

۰۴

## وضعیت بازار جهانی لیزر

# 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



Index 2011–2020  
+ 42%



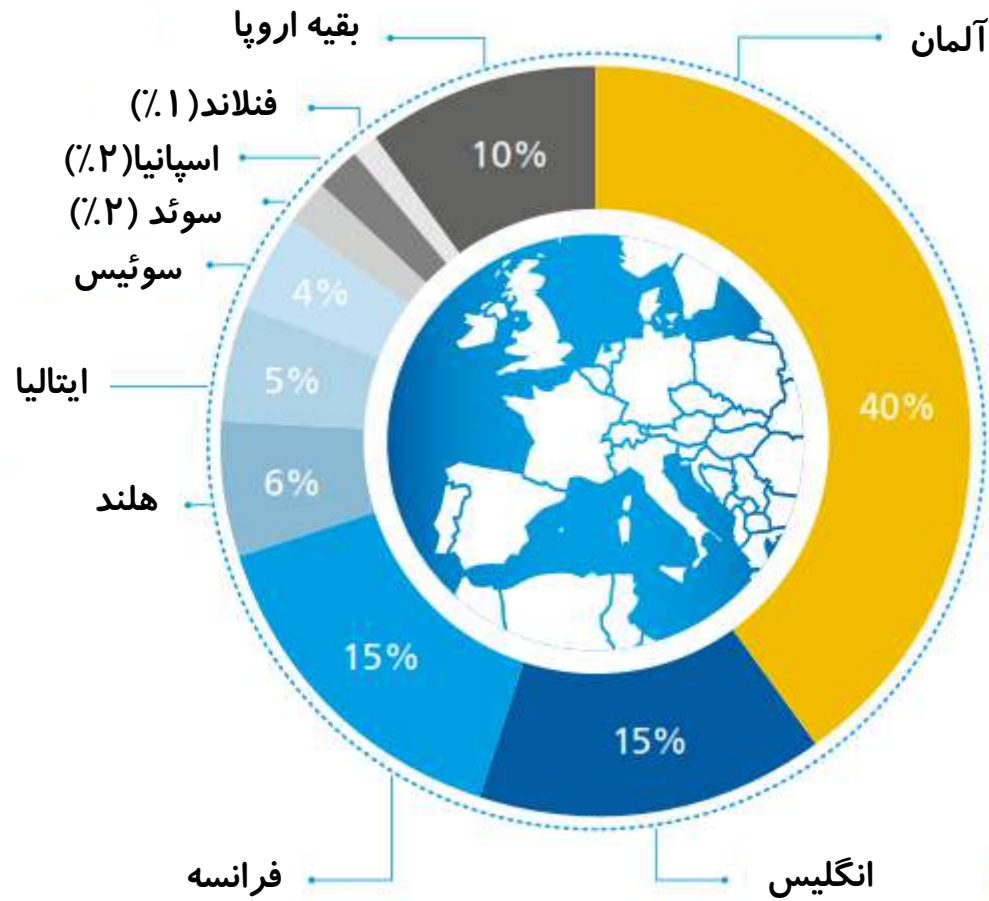
China: 1/3 of photonics  
production worldwide



CAGR forecast  
6%

# وضعیت بازار فوتونیک در اروپا

سهم کشورها از بازار فوتونیک اروپا (سال ۲۰۱۹)



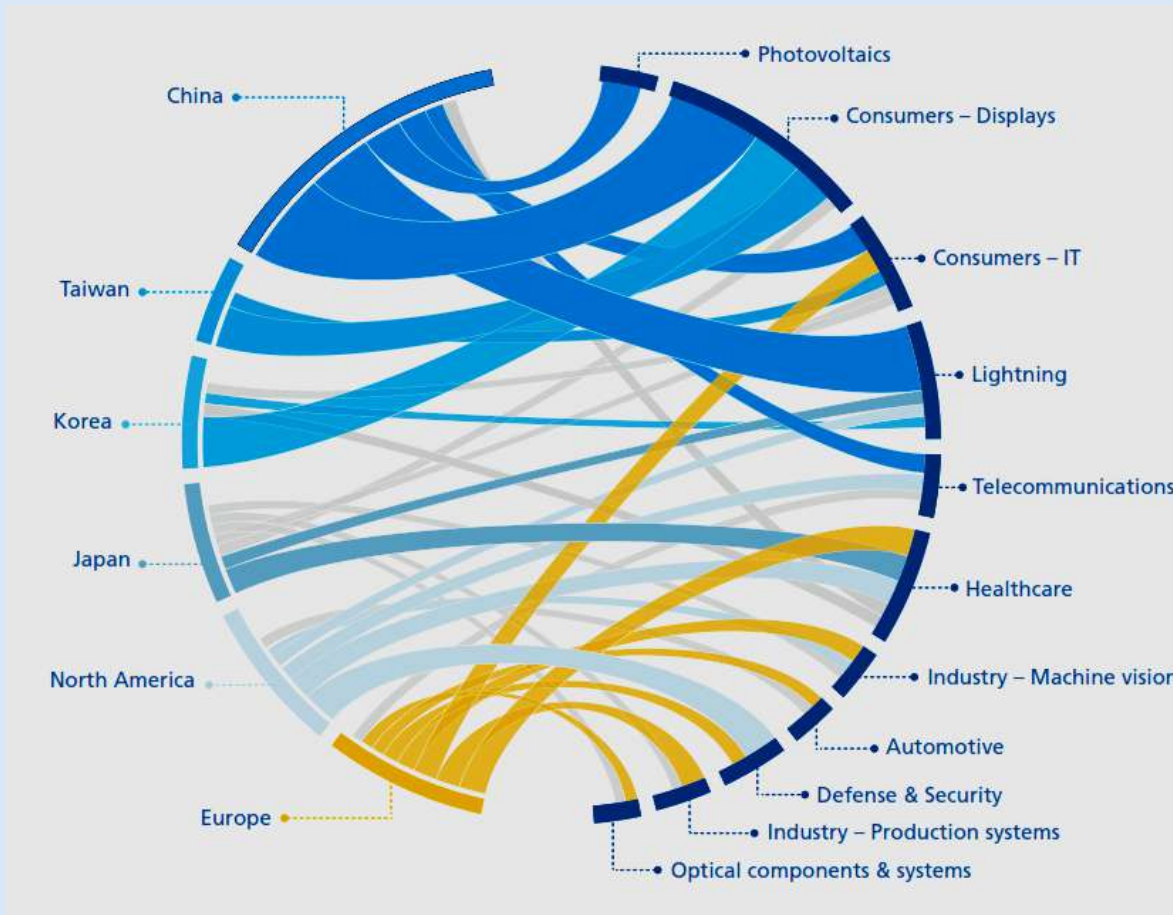
وضعیت بازار فوتونیک در اروپا (سال ۲۰۱۹)

✓ 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.

# تقسیم‌بندی منطقه‌ای بازار جهانی فوتونیک

سهم بازار مناطق جغرافیایی پیشتاز در بخش‌های اصلی فوتونیک



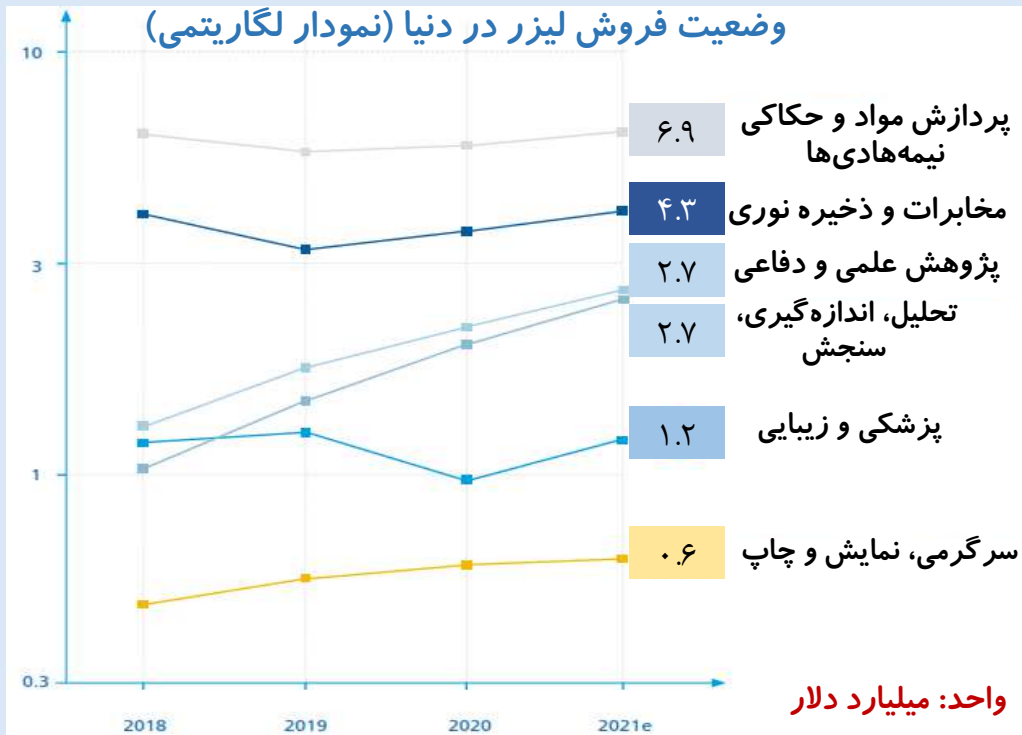
\*اندازه روبان‌ها متناسب با ارزش تولید در هر بخش است.

بیشترین سهم بازارهای منطقه‌ای از لحاظ ارزش تولید

نمایشگرهای مصرفی	چین
سیستم‌های روشنایی فوتوولتائیک	چین
نمایشگر مصرفی	تایوان
نمایشگر مصرفی	کره
فناوری اطلاعات مصرفی	جنوبی
سلامت و پزشکی	ژاپن
امنیت و دفاع	آمریکای شمالی
سلامت و پزشکی	
مخابرات	اتحادیه اروپا
سلامت و پزشکی	
تولید صنعتی	اتحادیه اروپا
فناوری اطلاعات مصرفی	

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](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 (۶.۹ میلیارد دلار)
- ✓ مخابرات و ذخیره نوری (۴.۳ میلیارد 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)



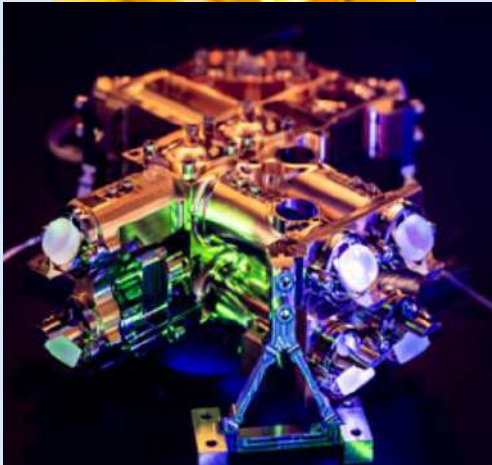
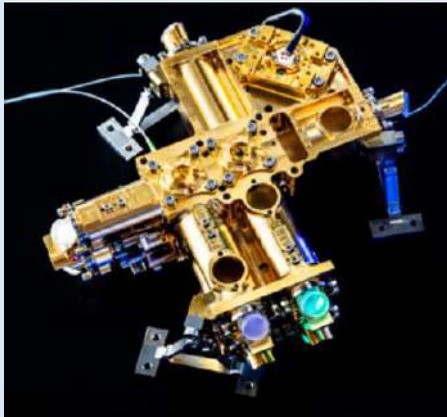
# چالش توسعه فوتونیک: کمبود منابع انسانی متخصص

نیاز به جذب نیروهای با استعداد در صنعت فوتونیک

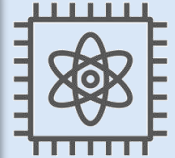
- ✓ رشد سالانه ۶ درصدی بازار جهانی فوتونیک
- ✓ گسترش بازار فروش در فناوری اطلاعات، پزشکی، فناوری تولید
- ✓ نیروی انسانی با مهارت عامل کلیدی موفقیت در شرکت‌های کوچک و متوسط



# کاربرد فوتونیک در فناوری اطلاعات



## ارتقاء امنیت فناوری اطلاعات با توسعه مخابرات کوانتومی مبتنی بر فوتونیک



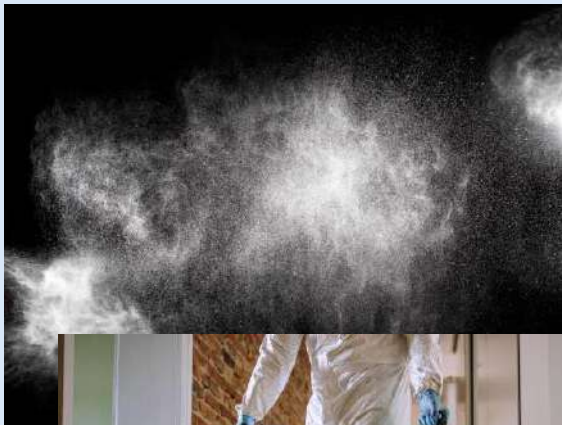
✓ بکارگیری قوانین فیزیک کوانتوم برای تامین امنیت شبکه انتقال داده با فناوری توزیع کلید کوانتومی

✓ 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)

# 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))

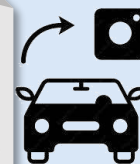
# کاربرد فوتونیک در سیستم‌های خودکار و تولید صنعتی



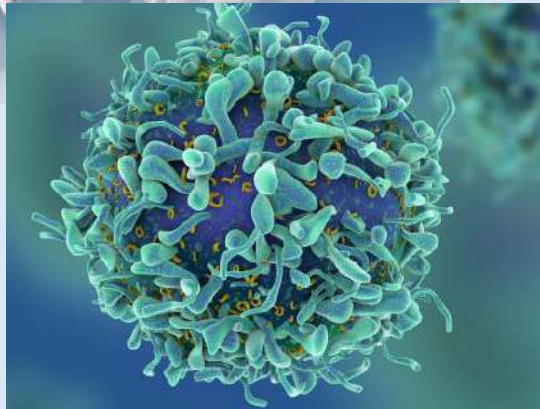
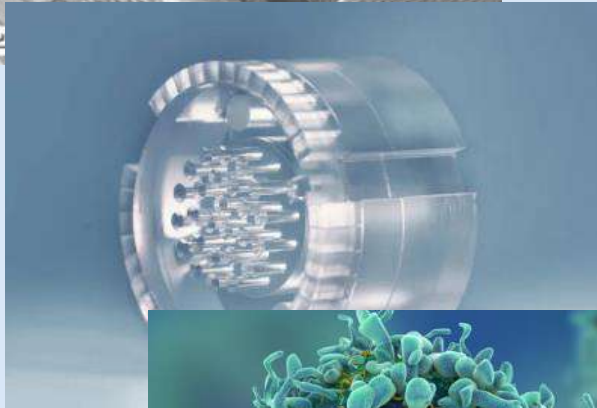
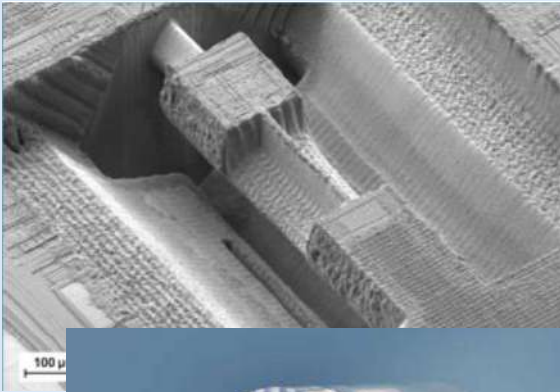
## کنترل خودکار با فناوری حسگرهای فوتونیک

- ✓ 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، فاصله و...) و پردازشگر داده‌ها)



# 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)

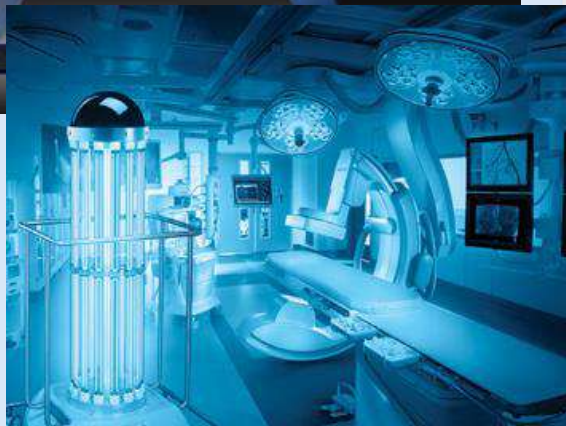
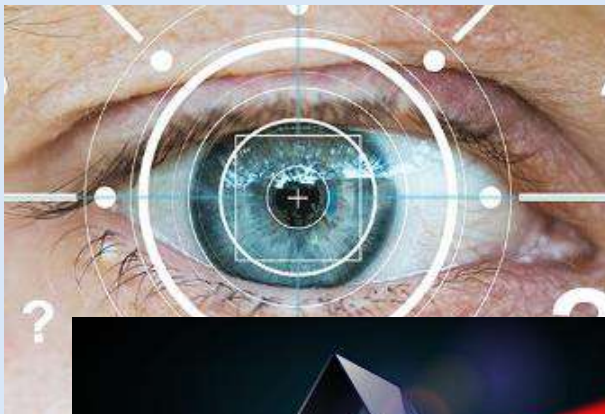
✓ ساخت قطعات بزرگ پیچیده شیشه‌ای ۳بعدی با ساختار میکروسکوپی

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

✓ 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)

# کاربردهای نوآورانه فوتونیک (۱)



✓ تشخیص و پایش عیوب انکساری چشم

(فناوری اساسی: تابش پرتو لیزر به چشم و پردازش کامپیوتری بازتابش نور مبتنی بر الگوی لکه)

✓ بکارگیری فناوری‌های مبتنی بر نور برای محافظت از آب و هوا با کاهش گازهای گلخانه‌ای و گاز دی‌اکسید کربن و کاهش مصرف برق

(فناوری‌های اساسی: طیف‌سنجی نزدیک مادون قرمز برای تشخیص و جداسازی پلاستیک از زباله‌ها، ضد عفونی کردن آب، هوا، سطوح با نور فرابنفش، تبخیر و یونیزه 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)

# فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

۱. مخبرات کوانتومی

منبع تولید فوتون‌های درهم‌تنیده  
توزیع کلید کوانتومی

۲. سیستم‌های خودکار

حسگر نوری سریع و بسیار ریز برای  
سنجش متغیرها (رطوبت، فاصله و..)

۳. درمان

فناوری تابش پرتو لیزر به چشم و  
پردازش کامپیوتری بازتابش نور  
مبتنی بر الگوی لکه

۴. محیط زیست

طیف‌سنجی نزدیک مادون قرمز  
برای تشخیص و جداسازی پلاستیک  
از زباله‌ها

۵. سنجش و اندازه‌گیری

میکروسکوپ لیزری و برش‌نگار اتمی؛  
پرتو لیزر با توان بالا و متمرکز و با مکان‌یابی  
دقیق بدون آلودگی و با کمترین هزینه

۶. تولید پیشرفته

دستگاه حکاکی با لیزر برای تولید قطعات  
بزرگ شیشه‌ای با ساختار میکرو با قطر  
بیش از ۵ س.م، با سرعت بالا و هزینه کم

۷. تشخیص پزشکی

دستگاه برش‌نگار نوری؛ اندازه‌گیری  
بازتاب نور توسط بافت‌ها و ایجاد تصویری  
دقیق از سطح مقطع بافت

۸. شیمی و مواد

فناوری تبخیر و یونیزه کردن مواد با  
پالس لیزر با توان بالا و طیف‌سنجی  
برای تعیین ترکیب شیمیایی آن‌ها

# ۳- افق آینده پژوهش در فوتونیک ۲۰۳۰ و فراتر

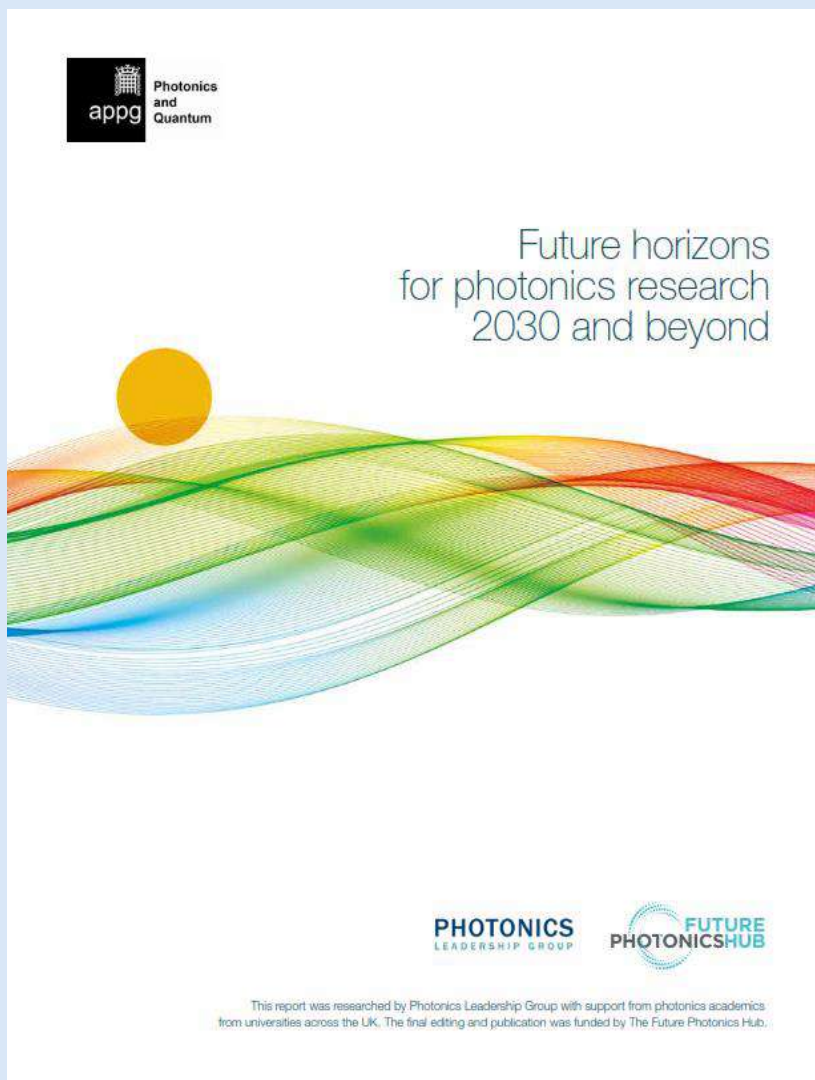
---

**PHOTONICS**  
LEADERSHIP GROUP

 **FUTURE  
PHOTONICSHUB**



# 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

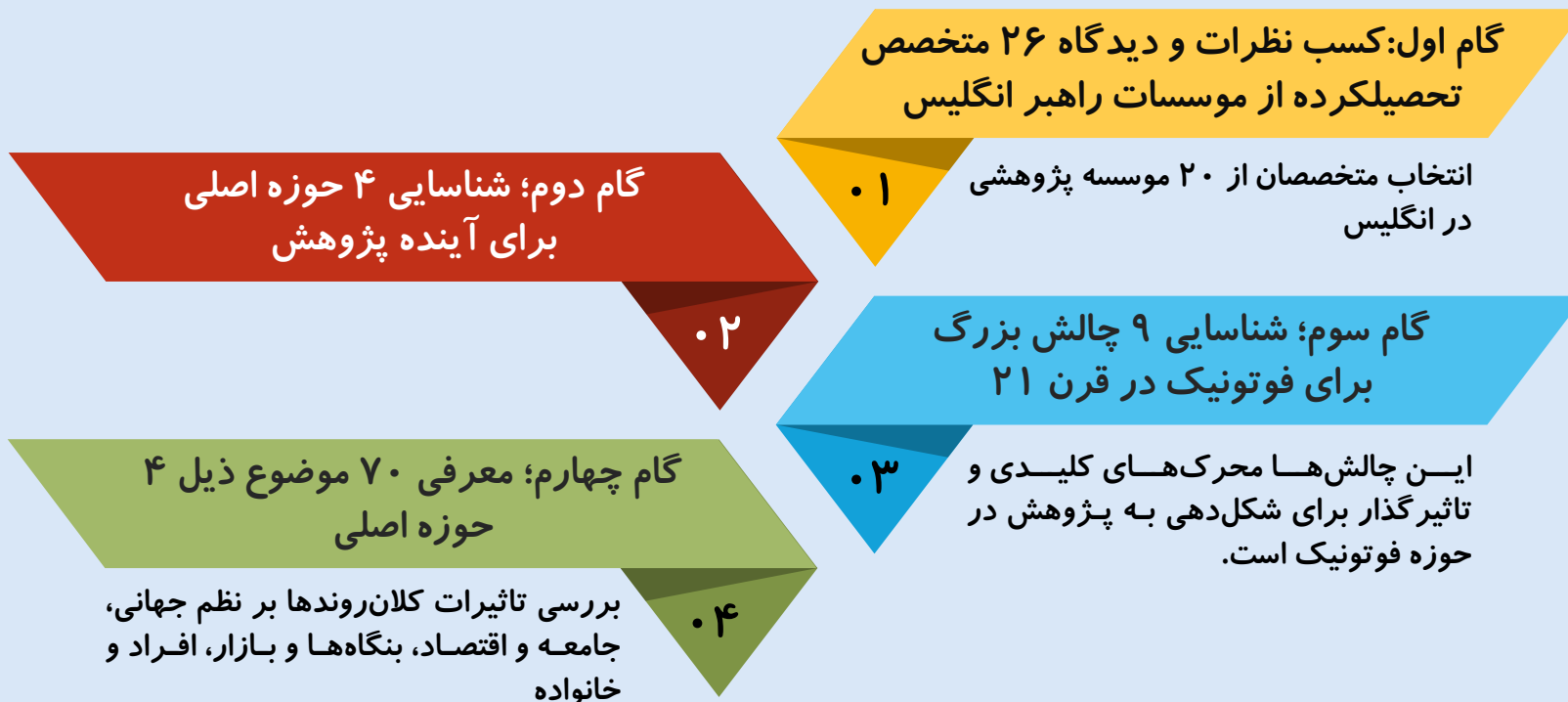
✓ افق زمانی: ۲۰۳۰ و فراتر

✓ هدف و مخاطبین:

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

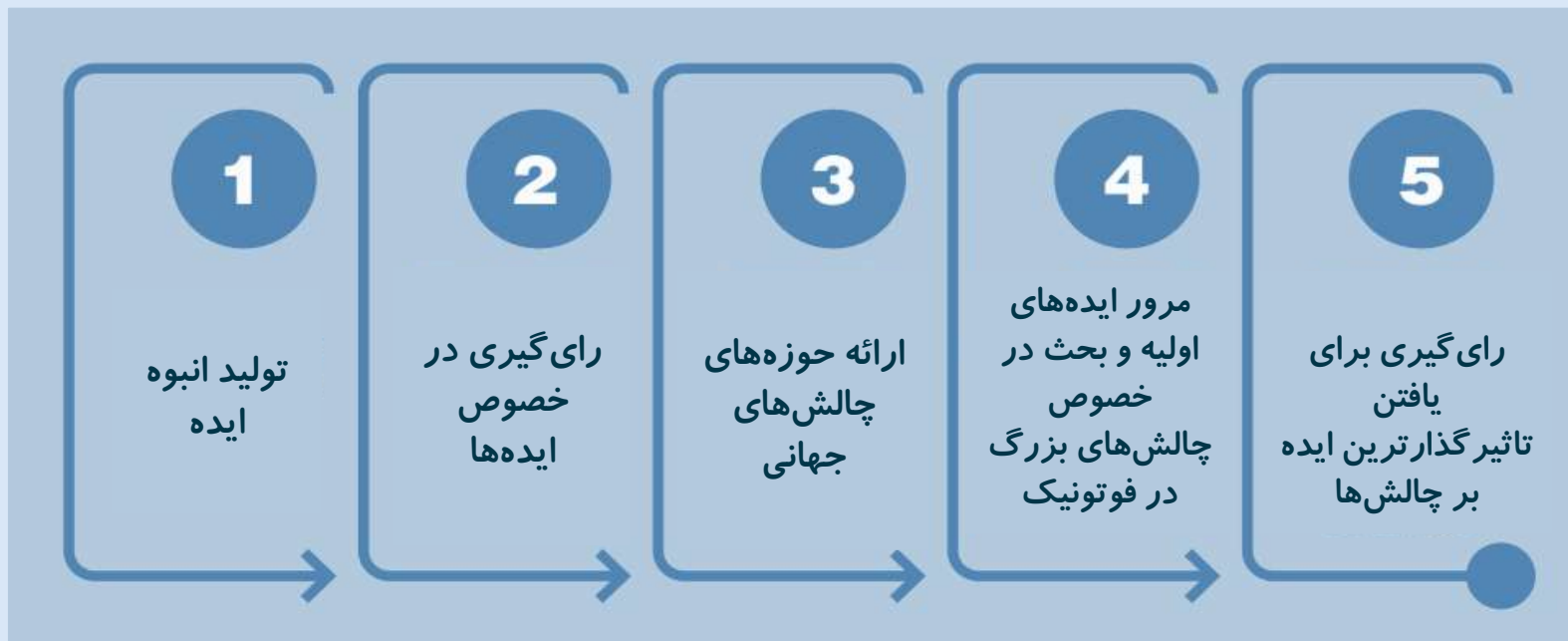
Appg (2020). Future horizons for photonics research 2030 and beyond. available at: [https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research\\_PLG\\_2020\\_b.pdf](https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2020/09/Future-Horizons-for-Photonics-Research_PLG_2020_b.pdf)

# مراحل تبیین موضوعات پژوهش و فناوری در حوزه فوتونیک



# 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.





## 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

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

بکارگیری فیبر نوری و لیزرهای مخابراتی برای افزایش قدرت اینترنت جهانی

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

ایجاد امکان تولید انبوه دوربین‌های پیشرفته در مقیاس میلیون

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

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

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

# منافع فوتونیک برای جامعه در آینده

پردازش تصویر در لحظه و  
تصمیم‌گیری بر پایه هوش  
مصنوعی با استفاده از  
رایانه‌های نوری کلاسیک  
فوق سریع و کوانتومی

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

بکارگیری لیزر برای  
تولید خودروها و  
کارخانه‌های خودکار  
(لیدارها)

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

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

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

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

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

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

انتقال و ذخیره  
امن کوانتومی  
داده‌های دنیا

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

# چالش‌های قرن ۲۱

## تحرک و حمل و نقل

- اثربخشی
- در دسترس بودن
- امنیت



## سلامت و سالخورگی

- بهره‌وری
- ظرفیت
- سهولت پذیرش
- هزینه و مقیاس



## مقیاس

- حجم
- شیب تولید
- زمان بندی
- تقاضای متغیر



## داده‌ها

- سرعت و ظرفیت
- زمان بندی و تاخیر
- امنیت و درستی



## تغییرات آب و هوا

- پایداری
- اثربخشی، تولید و
- استفاده از انرژی
- اندازه گیری



## تولید مواد غذایی

- کیفیت
- اثربخشی
- امنیت تامین



## آلودگی فیزیکی

- هوا، زمین و دریا
- بازیافت و بازاستفاده
- بسته بندی و زباله های تولیدی



## میهن پرستی اقتصادی

- جهانی سازی زدایی
- ظرفیت های 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  
می دهد.  
(SPIE, 2022)

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

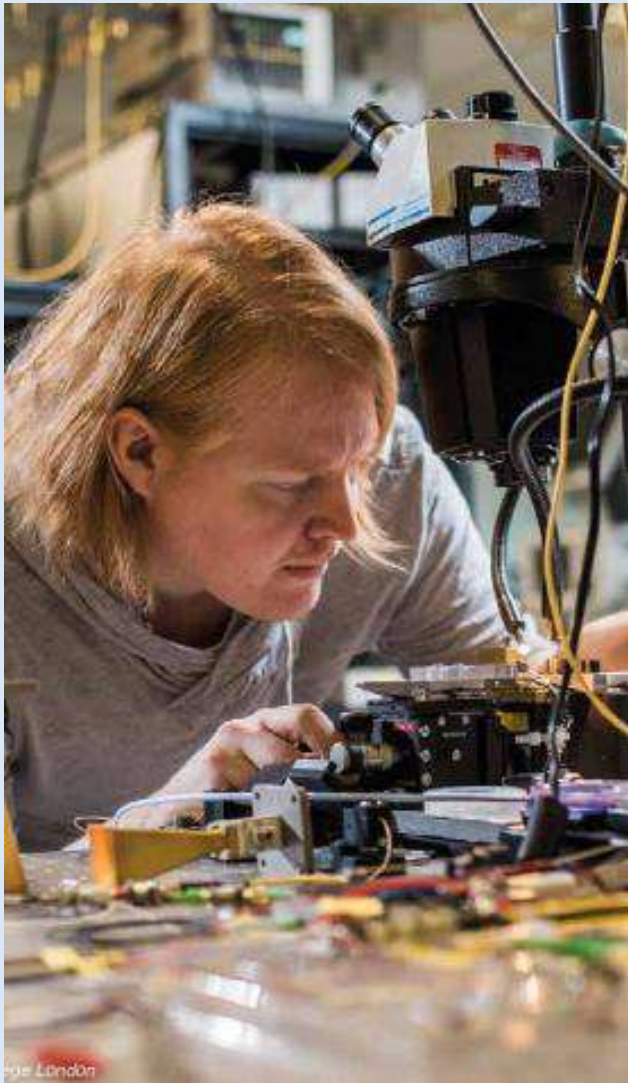
## ۱۴ اولویت پژوهش و فناوری در حوزه مواد

تولید مواد دوبعدی و ساختارهای ناهمگن برای توسعه فوتونیک <sup>۱</sup>	طراحی بهینه نسل جدید مواد فوتونیک با استفاده از هوش مصنوعی	تولید مواد فوتونیک سازگار با محیط زیست	تولید مواد نیمه رسانا با کار آیی بالا در تغییر فاز <sup>۶</sup>	تولید مواد فوتونیک پایدار و قابل تجزیه در محیط زیست
مواد فوتونیک قابل برنامه ریزی و قابل بازطراحی و انعطاف پذیر	مواد فوتونیک سیلیکونی جدید با شکاف باند مستقیم <sup>۲</sup>	مواد با خواص پایدار الکتروشیمیایی برای تبدیل انرژی خورشیدی به سوخت هیدروژنی <sup>۵</sup>	توسعه قابلیت طیفی مواد در IR و UV	منابع تولید تک فوتون پربازده و قابلیت یکپارچگی بسیار بالا
مواد غیرخطی با قدرت آستانه پایین <sup>۴</sup>	مواد اولیه مدولاتور نوری با فرکانس بالای ۱۰۰ گیگاهرتز و سرعت سوئیچینگ بالا <sup>۳</sup>	مواد ارگانیک با سرعت عملیاتی بالا	مواد n2 منفی <sup>۷</sup>	تاثیر زیاد و گسترده بر چالش‌های ۹ گانه 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](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 جدید هستند.

## ۲. سیلیکون با شکاف‌باند مستقیم و مواد فوتونیک جدید از سیلیکون

تغییر سطح 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 ۱۰۰ GHz 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 ۱۰۰ گیگاهرتز است. این اجزا نیاز به مواد با ضریب الکترواپتیکی 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](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 تبدیل انرژی خورشیدی به سوخت هیدروژن

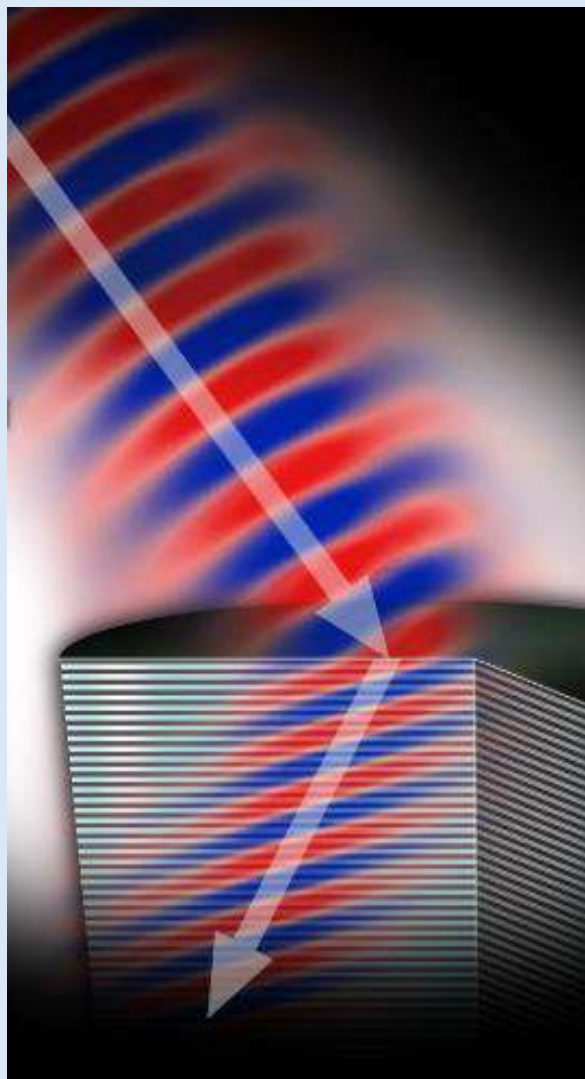
فرآیند تبدیل انرژی خورشیدی به سوخت هیدروژنی از طریق الکترولیز آب انجام می‌شود. عملکرد پربازده و ایمن این سیستم‌های مبدل نیازمند موادی با خواص الکتروشیمیایی پایدار است.

## 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 $n^2$

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



## ۱۴ اولویت پژوهش و فناوری در حوزه پدیده‌های فیزیکی و نوری

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

برهم‌کنش نور و ماده در مقیاس مولکولی تابع قوانین مکانیک کوانتومی است. در این فرآیند مولکول تحت گذار الکترونیکی قرار گرفته و خواص و رفتار آن تغییر می‌کند. مثلا مولکول با جذب نور برانگیخته شده و واکنش پذیر می‌شود.



# 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

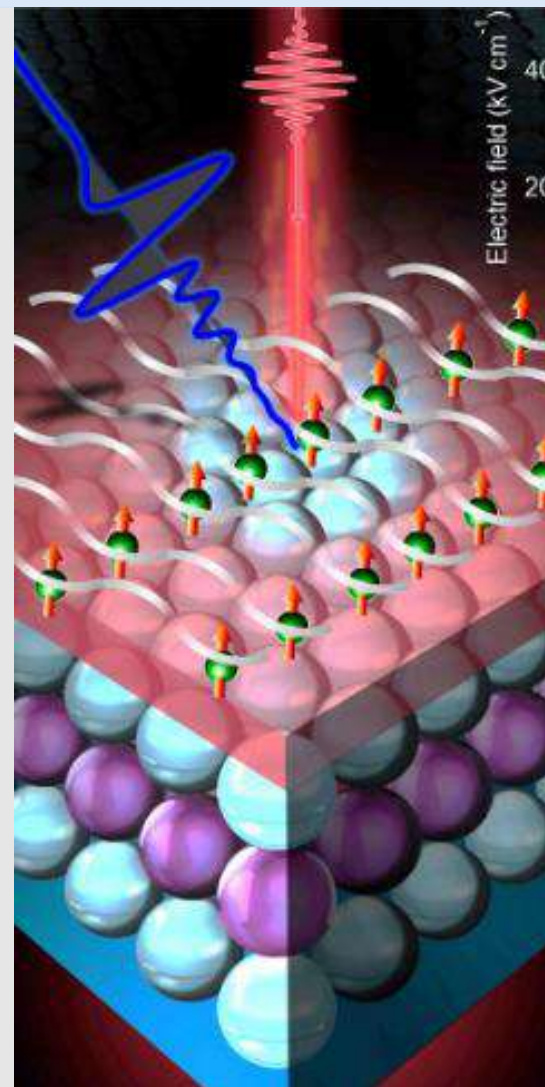
ذخیره انرژی در پیوندهای شیمیایی، تبدیل نور خورشید به انرژی شیمیایی با فتوسنتز مصنوعی و واکنش آب و دی‌اکسیدکربن در اثر نور و تولید سوخت هیدروژن یا متان

## 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 سیستم‌های مکانیکی را بررسی می‌کند. سیستم‌های اپتومکانیکی پتانسیل ایجاد ارتباط بین حوزه‌های فرکانسی مختلف (RF، مایکروویو، تتراهرتز، فرکانس نور) را دارند.



## ۱۵ اولویت پژوهش و فناوری در حوزه فرآیند تولید

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

# 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 از انبرک نوری (پرتو لیزر متمرکز) برای به دام انداختن و تغییر موقعیت سلول‌ها.

## ۱۸. کاربرد نور در دسترسی به اجزاء بسیار کوچک 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



# 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 نیمه‌رساناها و 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







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

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

## 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 غیر مکانیکی

لیدارهایی که شامل بخش‌های متحرک (مانند آینه چرخان) نیستند و از روش‌های جایگزین برای اسکن ۳ بعدی 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 درهم‌تنیدگی یا وابستگی وضعیت دو ذره، اطلاعات حفظ شده و منتقل می‌شود.





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

<p>شبکه‌ها، تقویت‌کننده‌ها، تعدیل‌کننده‌ها و فیبرهای نوری با پهنای باند بسیار بزرگ</p>	<p>سوئیچ‌های نوری با مقیاس بزرگ</p>	<p>آرایه‌های آشکارساز بزرگ در طول موج‌های متعدد</p>	<p>منابع مینیاتوری تراهرتز در دمای اتاق ۲۵</p>	<p>سلول‌های خورشیدی کارآمد و با پهنای باند بالا</p>
<p>سیستم‌های تولیدی و پردازش مواد لیزری منعطف با لیزر با مشخصات متنوع</p>	<p>آشکارسازهای با سرعت بالا و حساسیت فوق العاده بالا در طیف مرئی</p>	<p>تولید حافظه پر سرعت، امن و با حجم زیاد و با مصرف پایین انرژی</p>	<p>تجمیع داده حسگرهای فوتونیک وهوش مصنوعی (بینی مصنوعی)</p>	<p>توسعه حافظه نوری از رم سریع تا رام</p>
<p>محاسبات کوانتومی در مقیاس ۱۰۰۰ کیوبیت ۲۶</p>	<p>سیستم‌های الکترونیکی در سطح تراشه در محدوده طیف ماوراء بنفش ۲۷</p>			<p>تاثیر بسیار زیاد و گسترده بر چالش‌ها  تاثیر چشمگیر و محدود بر چالش‌ها</p>

# 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 میکروویو 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 آبتشاری) 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 (۳ حالت). 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 و ساخت 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 در ساخت این تراشه‌ها کاربرد دارند.



# اولیتهای پژوهش و فناوری در حوزه فوتونیک

ابزارها و سیستمها

۱. فناوری پیشرفته تر از CMOS برای توسعه مدارهای فوتونیک و الکترونیکی

فرآیند تولید

۶.

کاربرد ابزارهای نانوفوتونیک در جمعیت قطعات اپتوالکترونیک روی تراشهها

مواد

۲. تولید مواد دوبعدی و با ساختارناهمگن برای توسعه فوتونیک

فرآیند تولید

۷.

سنجش، تصویربرداری، پردازش و ارتباطات کوانتومی یکپارچه

مواد

۳. طراحی بهینه نسل جدید مواد فوتونیک با استفاده از هوش مصنوعی

فرآیند تولید

۸.

فوتونیک مشابه/مبتنی بر دستگاه عصبی (نورومورفیک)

پدیدههای فیزیکی و نوری

۴. توسعه پدیدههای کوانتومی جدید در مقیاس ماکرو

ابزارها و سیستمها

۹.

اینترنت کاملاً مبتنی بر نور/ ارتباطات منسجم در طیف RF و فرکانس تراهرتز

ابزارها و سیستمها

۱۰.

تشخیص سریع بیماری بر بالین بیمار/ تصویربرداری از بافتهای عمیق بدن

فرآیند تولید

۵.

انجام فرآیند یکپارچه سازی در مقیاس (بیش از ۱۰۰۰ قطعه)

## ۴- عصر نور اروپا

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

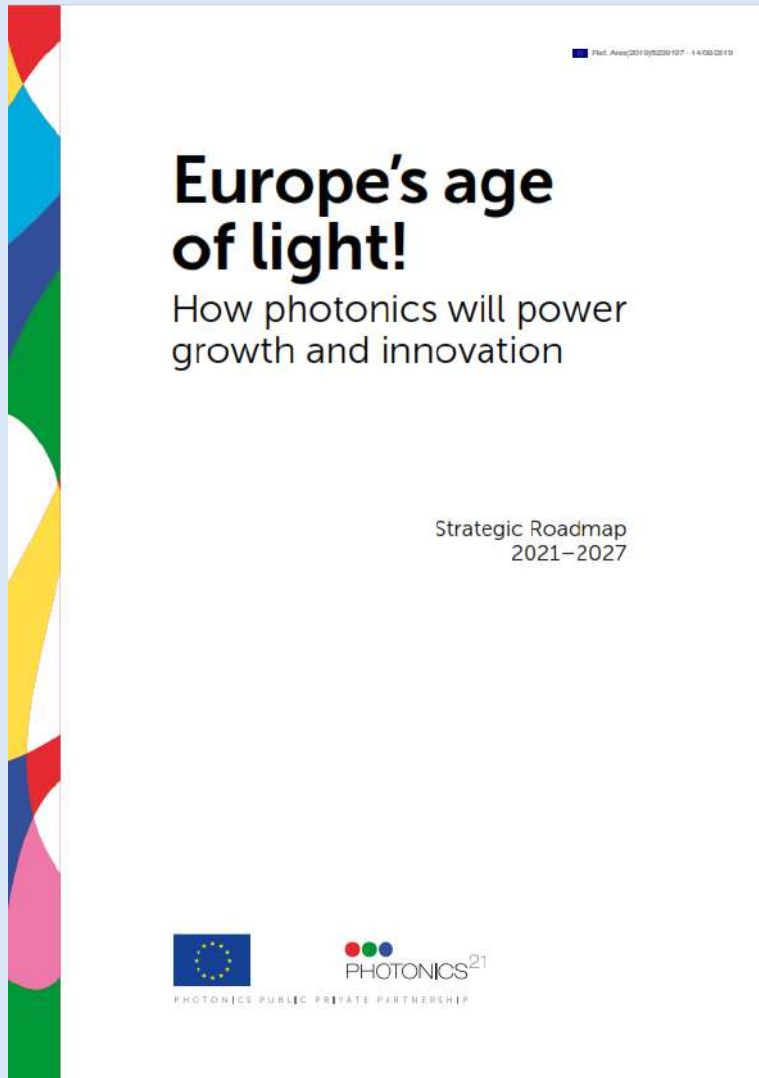
---

The logo for PHOTONICS 21 features three colored circles (red, green, blue) above the text "PHOTONICS" and the number "21".

PHOTONICS<sup>21</sup>



# 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

پیشران‌های نوآوری در آینده

۰۱

نقش فوتونیک در عوامل اصلی  
تحول دیجیتال در اروپا

۰۲

دسته‌بندی فناوری‌های فوتونیک  
بر اساس وضعیت بازار

۰۳

فناوری فوتونیک در حوزه‌های مختلف

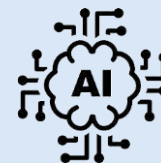
۰۴



## پیشران‌های نوآوری در آینده

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

# عوامل اصلی تحول دیجیتال در اروپا



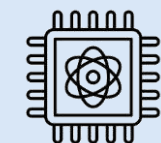
۱. هوش مصنوعی



۲. امنیت سایبری



۳. اینترنت اشیا



۴. فناوری کوانتوم

# ۱. توسعه هوش مصنوعی بر پایه فوتونیک



✓ مدیریت شهرهای هوشمند با  
بکارگیری حسگرهای فوتونیک  
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



## ۲. توسعه اینترنت اشياء مبتنی بر فوتونیک



توسعه اینترنت اشياء بدون فوتونیک  
امکان پذیر 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 اشياء
- ☑ بکارگیری فناوری Li-Fi یا سیستم ارتباطی نوری به عنوان یک مرکز ارتباطی بین ابزارهای توانمند شده با اینترنت اشياء

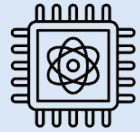
## ۳. توسعه امنیت سایبری مبتنی بر فوتونیک



- فراگیر شدن ابزارهای هوشمند و اینترنت اشیا و مقاومت در برابر حملات سایبری :
- ☑ استفاده از Li-Fi به جای Wi-Fi و محدود کردن داده به فضای اتاق 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 درهم تنیده قطعی/احتمالی

## 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



# دسته‌بندی فناوری‌های فوتونیک بر اساس وضعیت بازار



# اولویتهای فناوری فوتونیک در حوزه اطلاعات و ارتباطات

لایفای(در فرکانس رادیویی)  
مخابرات نور مرئی (VLC، کار در هر فرکانس)  
نور در فضای باز (Free-Space optics)  
شبکه نوری انفعالی(PON) مبتنی بر فناوری تشخیص منسجم  
فرستندههای نوری بی رنگ فراتول موج  
مدارهای مجتمع نوری با توان بالا(در مخابرات)

- دسترسی
- بی سیم از
- طریق نور
- 
- 

فرستنده/گیرنده مجتمع پتابیتی پربازده  
مدارهای مجتمع نوری ASIC و FPGA  
شبکههای نوری شبه شبکه عصبی

- رشد ظرفیت
- مداوم
- 

مولد اعداد تصادفی کوانتومی در مقیاس تراشه  
موتور توزیع کلید کوانتومی در مقیاس تراشه  
تکرار کنندههای کوانتومی  
معماری شبکههای نوری انعطاف پذیر

- امنیت
- اطلاعات
-



# اولیتهای فناوری فوتونیک در تولید صنعتی و کنترل کیفیت

دیوذهای لیزری پرتوان (پیوسته/پالسی) فراتر از طول موج لیزرهای تولید کننده اشعه ایکس منسجم لیزرهای پرقدرت مادون قرمز میانی با طول موج بیشتر از ۱ میکرومتر لیزرهای چندپرتوی

- لیزر و
- قطعات با
- بهره‌وری بالا

فیبرهای نوری جدید برای طول موج بالاتر ۲ میکرومتر سیستم‌های تولید پرتو قابل برنامه‌ریزی و پیکربندی مجدد فناوری هدایت و سوئیچینگ چندپرتو بطور همزمان (SLM)

- سیستم‌های
- انتقال

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

- انقلاب
- صنعتی
- چهارم

کنترل فرآیند بی وقفه  
آزمون غیرمخرب قطعات ساخته شده با لیزر در لحظه  
بهبود فرآیند مبتنی بر سنجش فوتونیک برخط

- کنترل کیفیت
- و آزمون
- غیرمخرب

# اولیتهای فناوری فوتونیک در حوزه سلامت و علوم زندگی

• تصویربرداری ۳بعدی از بافت بدن با میکروسکوپ چند فوتونی (برانگیخته سازی فوتون توسط مولکول فلئورسنت روی سطح) و برش نگار نوری (سنجش زمان پثرواک نور)/مبتنی بر واقعیت افزوده در جراحی و رادیودرمانی (دستگاه و قطعات فوتونیک)

• تصویربرداری از میزان اکسیژن رسانی به سلول/مغز با طیف سنجی نزدیک فروسرخ  
• تجمع قطعات نوری، الکترونیکی و میکروشاری برای تحلیل پیشرفته مایعات بدن  
• در دستگاه آزمایش نزد بیمار (POC) در اندازه یک جعبه کفش

تصویربرداری  
برای  
تشخیص

• بهبود تماس نوری برای حسگرهای زیستی روی/داخل بدن  
• یافتن نشانگرهای زیستی مناسب سنجش و پایش بیماریها

حسگرهای  
زیستی نوری

• آشکارسازهای حساس تر 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 تجمع آنها  
• توسعه و استانداردسازی فانتومها (مدل و اجسام فیزیکی برای شبیه سازی ویژگیهای بافت و ارگان بدن که در عکسبرداری پزشکی کاربرد دارد)

پایش و  
تشخیص  
بیماری

# اولیتهای فناوری فوتونیک در حوزه روشنایی، الکترونیک و نمایشگرها

• قطعات نوری الکترونیکی مجتمع، فعال در فرکانس ۳۰ تا ۳۰۰ مگاهرتز  
• مواد اولیه جدید برای تولید ساطع کننده نور، آشکارساز توسعه قطعات با فرکانس بالا (VHF) توان بالاتر، محدوده خروجی گسترده تر، ولتاژ ایمن بسیار پایین (SELV)  
• توسعه مواد دوبعدی و تجمیع در ابزارهای الکترونیک نوری  
• فاسفر سریع برای جذب و انتشار نور در لای فای  
• کاربرد گالیوم نیتريد هوشمند در قطعات الکترونیک فرکانس بالا و بسیار بالا

## قطعات الکترونیکی

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

## نمایشگر

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

## روشنایی

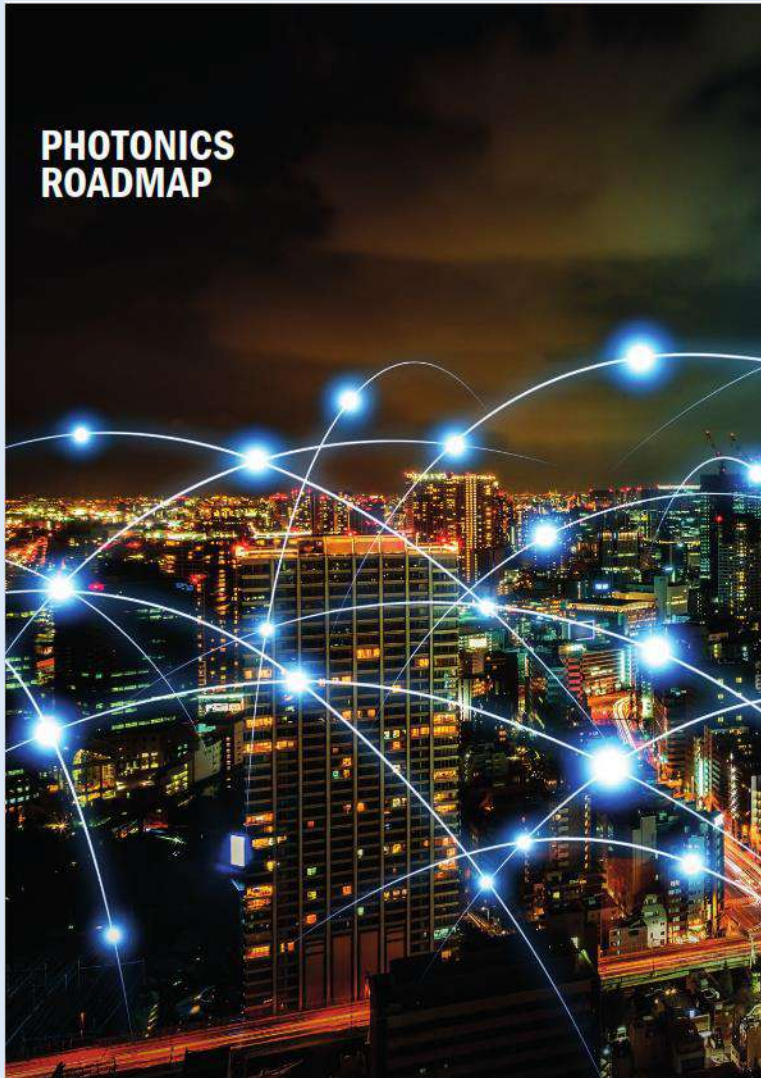
۵- وضعیت فوتونیک

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

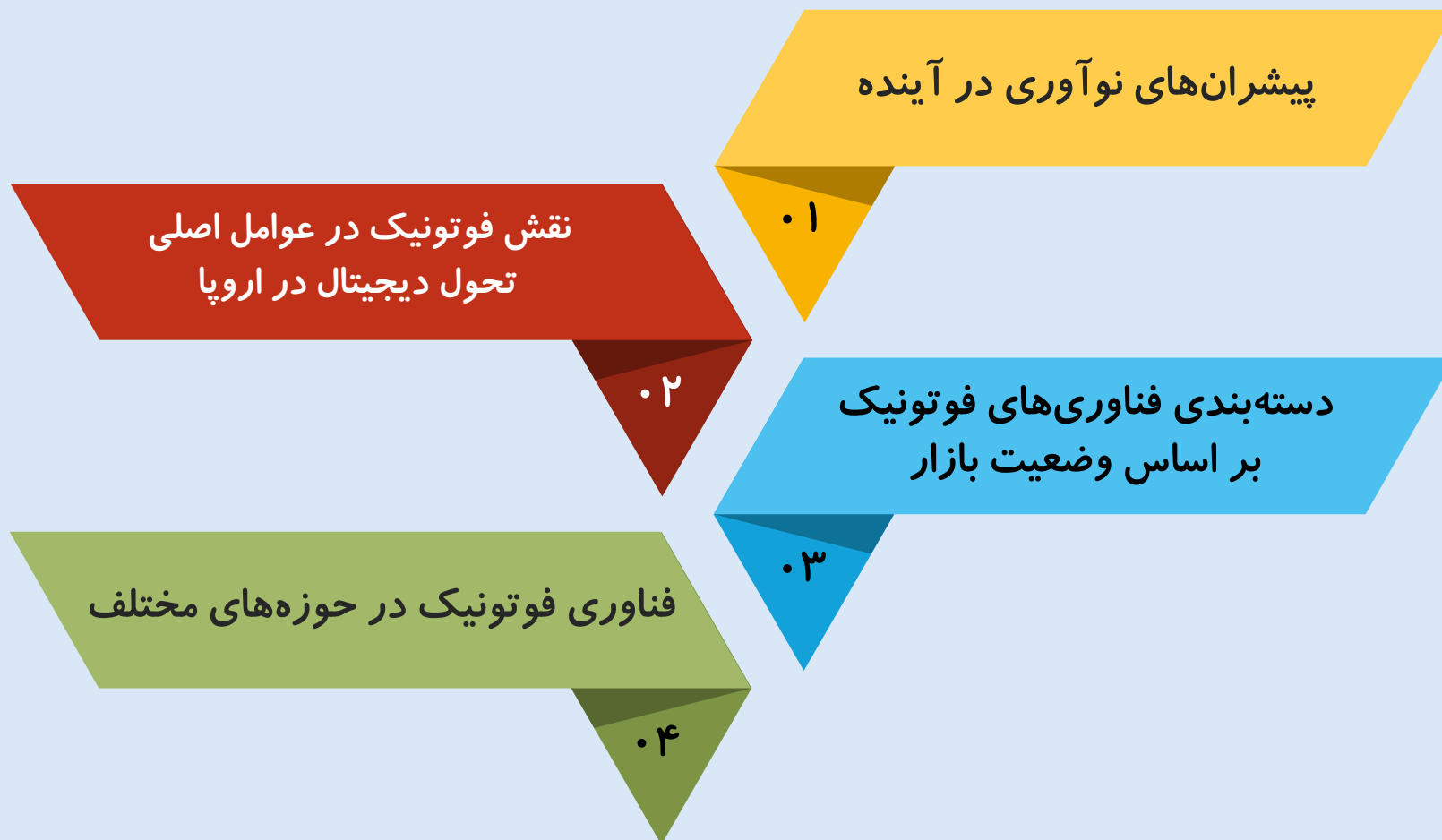
✓ افق زمانی: -

✓ 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 اپتیک 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 مستمراحلی لیزری به عنوان روشی برای کاهش دوره نقاهت



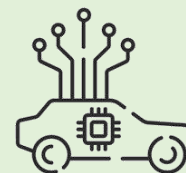
**هوش مصنوعی و اقتصاد داده محور:** بکارگیری مخابرات مبتنی بر نوری جدید برای انتقال حجم بالای داده در لحظه



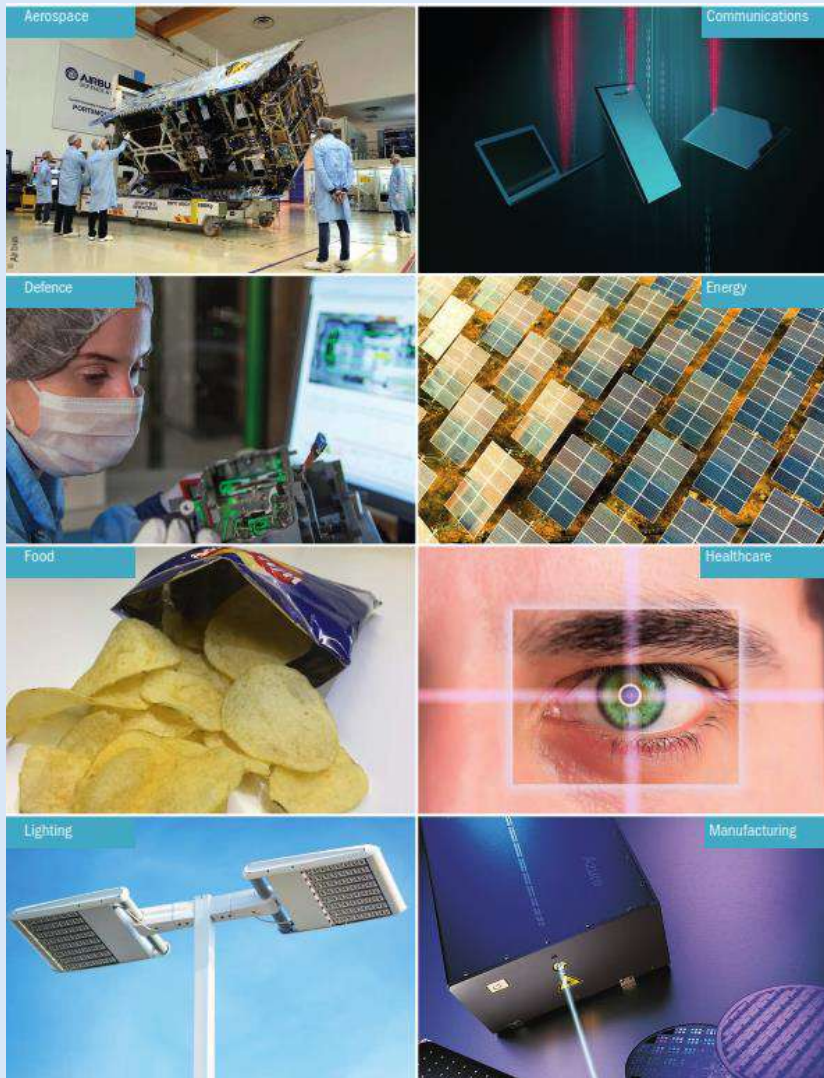
**رشد پایدار:** ادغام نسل جدید صفحات خورشیدی و سیستم‌های روشنایی بر پایه LED در ساختمان‌سازی، کاربرد گسترده سیستم‌های پر بازده لیزری برای برش، علامت‌گذاری و جوشکاری در فرآیند تولید



**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



# 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 بی‌خطر برای تولید خودروهایی پربازده، بکارگیری میکروسکوپ و ابزارهای مبتنی بر فوتونیک برای روش‌های جدید درمان



# تعداد کسب‌وکارهای فعال در حوزه‌های مختلف فوتونیک در انگلیس



پردازش تولید ۲

خودرو ۳

# راهکارهای فوتونیک برای چالش‌های آینده

## ادغام سیستمی

ادغام سیستمی  
فناوری نوری

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

LEDهای بهتر

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 اشیا با استفاده از LEDها، بخصوص با استفاده از لای فای

## توسعه سیستم‌های مخابرات نوری

مخابرات نوری

افزایش ظرفیت و کارایی سیستم‌های مخابراتی نوری و کاهش تاخیر آن نظیر فیبر نوری و توسعه مخابرات نوری نظیر لای فای چند کاناله، لیزرهای نیمه‌رسانا با عملکرد بالا و ارتباطات امن کوانتومی

## یافتن مواد جدید نوری و فوتونیک

مواد جدید نوری  
و فوتونیک

مواد فوتونیک برای ارتباطات مبتنی بر فیبر نوری، مواد بهتر برای انتشار نور با کارایی بالا، پلیمرهای نوری با کیفیت و انواع شیشه جدید مواد فوتوولتائیک جدید برای تولید انرژی نظیر مواد هایبرید، ارگانیک و مواد با ساختار

# راهکارهای فوتونیک برای چالش‌های آینده (۱)

## بهبود حسگرها

بهبود حسگرها

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

## توسعه لیزر و تصویربرداری

لیزر و تصویربرداری

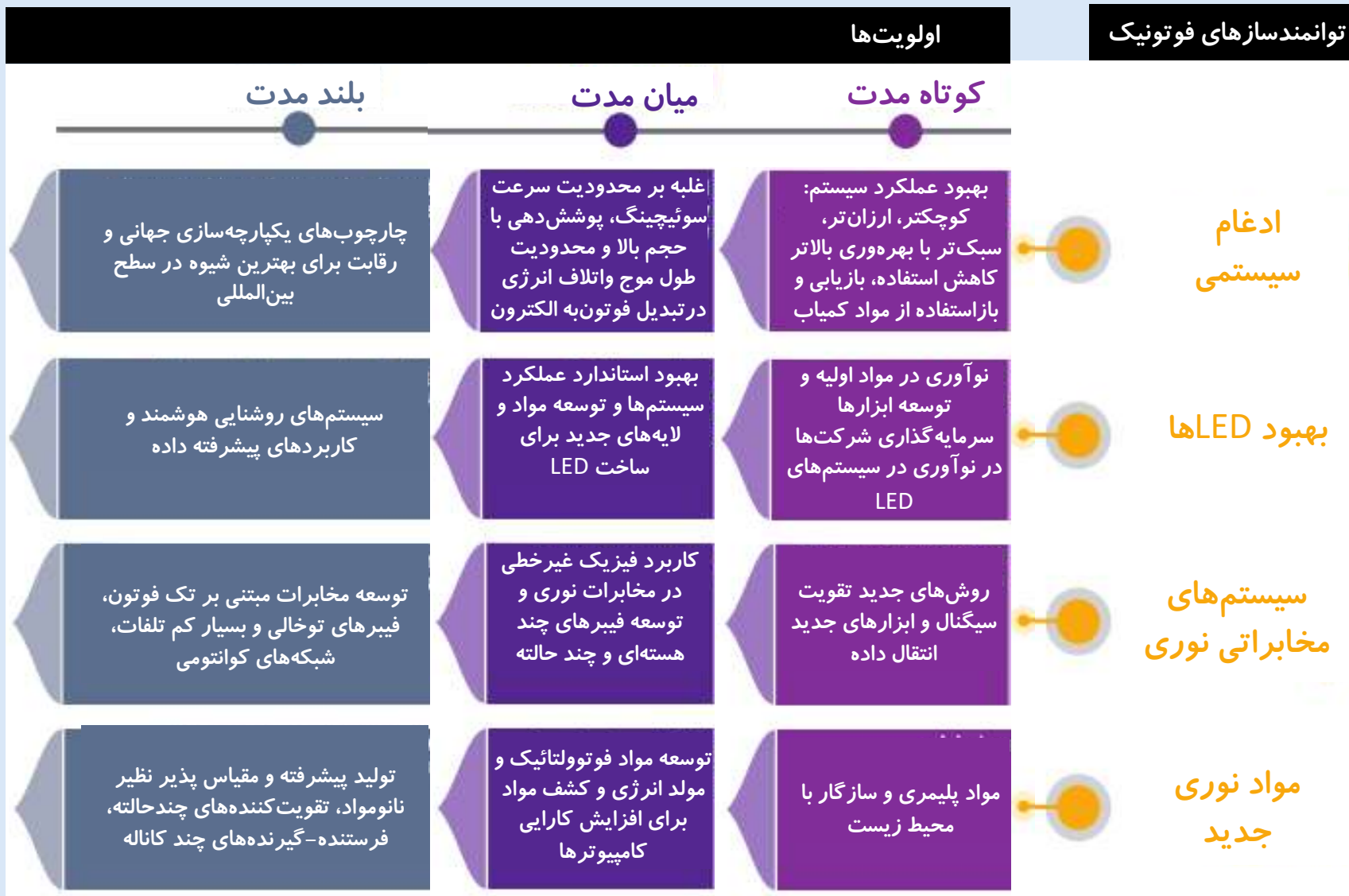
تشخیص سرطان، تمیز کردن پوست، تشخیص بیماری‌های استخوان، انجام برش‌های دقیق در جراحی درمان فوتوداینامیکی با داروهای فعال شده با نور و تخریب کننده سلول‌های سرطانی

فوتونیک برای تولید موثر

## بکارگیری فوتونیک برای تولید پیشرفته و با بازده بیشتر

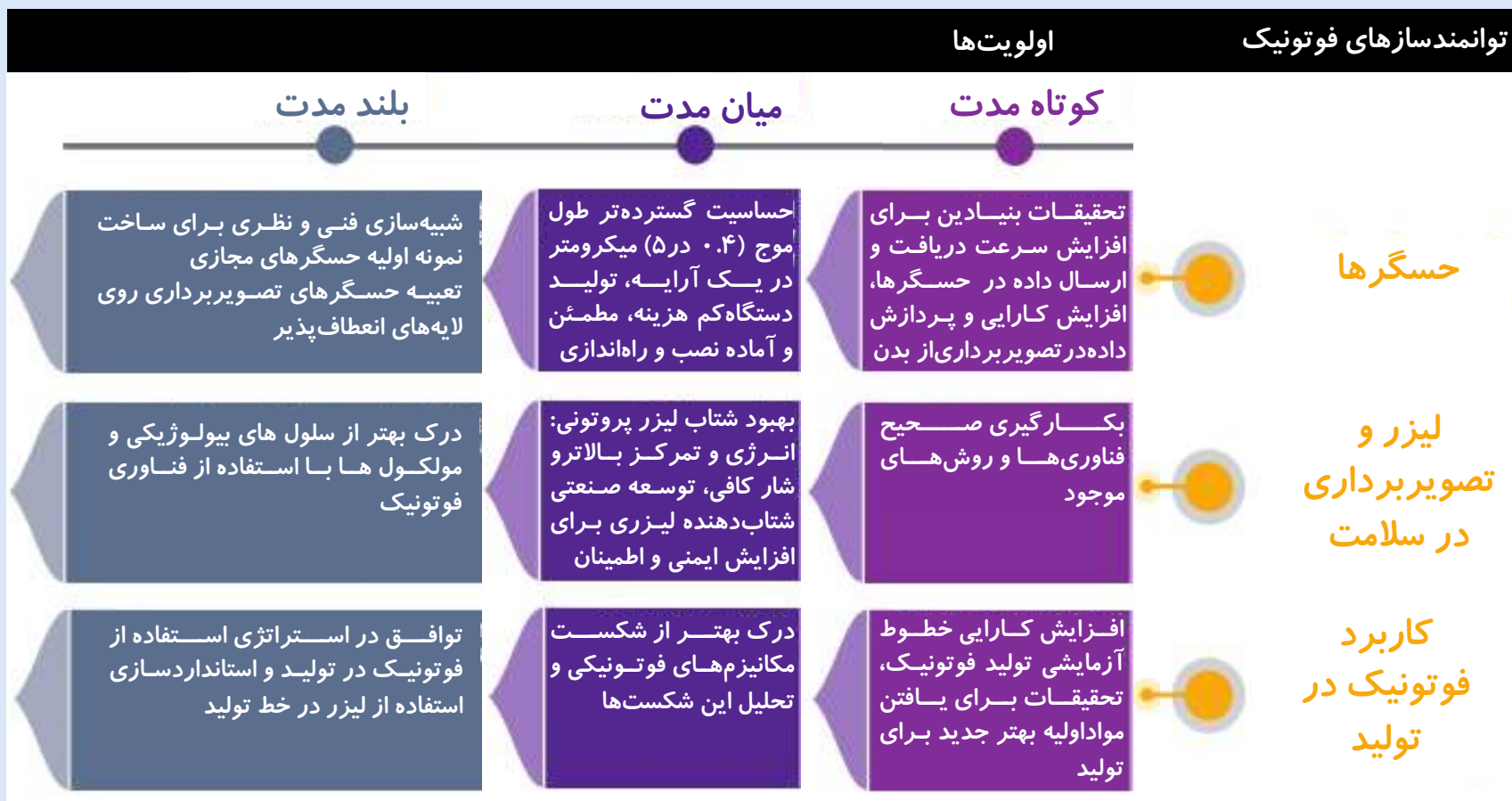
افزایش ظرفیت و کارایی سیستم‌های مخابرات نوری و کاهش تاخیر در آن‌ها نظیر فیبر نوری و فناوری‌های بیسیم توسعه مخابرات نوری لای‌فای چند کاناله، لیزرهای نیمه‌رسانا با عملکرد بالا و ارتباطات امن کوانتومی

# اولیتهای توسعه در حوزه‌های مختلف فوتونیک



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

# اولیتهای توسعه در حوزه‌های مختلف فوتونیک (۱)



# نگاشت راهکارهای فوتونیک بر چالش‌های جامعه

راهکارهای فوتونیک	توانمندسازهای فوتونیکی						چالش‌های جامعه
	ادغام سیستم‌ها	بهبود LED ها	سیستم‌های مخابراتی نوری	مواد نوری جدید	حسگرها	لیزر در سلامت	
راهکارهای فوتونیک							چالش‌های فوتونیک
کاربرد حسگر نوری برای سنجش انقباضات ماهیچه در پروتز، پلیمر و مواد زیست‌سازگار نوری، شبکه مصنوعی، انتشار دارو با تحریک نور.							توسعه درمان‌های جدید مبتنی بر فوتونیک
تعبیه حسگر ریز روی فیبر نوری برای تشخیص فوری بیولوژیکی و شیمیایی، داروشناسی و داروجنبش‌شناسی با کمک نانوذرات فوتونیکی							تشخیص بیولوژیکی شیمیایی سریع و سیار
تشخیص و درمان سریع و بدون برش و بدون نمونه‌برداری با کمک طیف سنجی و حداقل نقاهت، جراحی با لیزر، درمان سرطان با پرتودرمانی							تشخیص سلامت، درمان و جراحی
توسعه مخابرات نوری در خلا با استفاده از طیف مادون قرمز و ارتباطات سریع و کم خطا با کمک لای‌فای (انتقال داده با نور)							انتقال پیوسته داده در هر زمان و هر مکان
افزایش پهنای باند اینترنت اشیاء با توسعه فیبر نوری، مخابرات نوری در خلا، لای‌فای و حسگرهای فوتونیک							اینترنت اشیاء: جهان ارتباطات و پیچیدگی
ارتقای هوش مصنوعی و قدرت پردازش با کمک تراشه‌های نوری و افزایش سرعت محاسبات با استفاده از رفتار کوانتومی فوتونها							پردازش با کارآیی بالا (کوانتومی و کلاسیک)
توسعه فیبر نوری برای افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش اتلاف انرژی در مخابرات							بازده بالای انرژی در زیرساخت جامعه دیجیتال
ارتقاء مواد فوتولتائیک نظیر نیمه‌هادی‌های گروه ۳و۵، توسعه فناوری متمرکز ساز نور نظیر لنزهای نوری							پیشران‌های پایداری محیط زیست

سالخوردگی جمعیت



هوش مصنوعی و اقتصاد داده



رشد پایدار (سبز)



# نگاشت راهکارهای فوتونیک بر چالش‌های جامعه (۱)

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

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

# اولیتهای فناوری فوتونیک در گزارش

## ۱. تشخیص و درمان

- حسگر نوری برای سنجش انقباضات ماهیچه در پروتزه‌های بدن
- شبکه‌ی مصنوعی، انتشار دارو در بدن با تحریک نور
- تعبیه حسگر ریز برای تحلیل بیولوژیکی و شیمیایی فوری روی فیبر نوری تخصصی
- جراحی با لیزر، نمونه برداری، 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 لای فای
- توسعه فیبر نوری برای افزایش پهنای باند اینترنت اشیا و حسگر نور، دما، سنج‌زیستی خودرو خودران و شهر هوشمند (اینترنت اشیا)
- 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 انتشار CO2 با مواد فوتوولتائیک پیشرفته (نیمه رسانای گروه ۳ و ۵)
- فناوری متمرکز ساز نظیر لنز برای کاهش مساحت پنل خورشیدی



# اولویتهای فناوری فوتونیک در گزارش (۱)

## ۴. جایجایی پذیری

- حسگرهای چند وجهی و تصویربرداری فراطیفی در خودرو خودران
- فوتودیودها برای تشخیص باران، خورشید، رطوبت در پیش‌بینی آب و هوا
- سیستم‌های لیدار (اسکن‌لیزری) برای تولید تصویر دقیق و کامل از محیط در خودرو خودران، ارسال اطلاعات با حجم بالا برای مدیریت ناوبری، ترافیک و یافتن جای پارک

## ۵. بهداشت و تغذیه

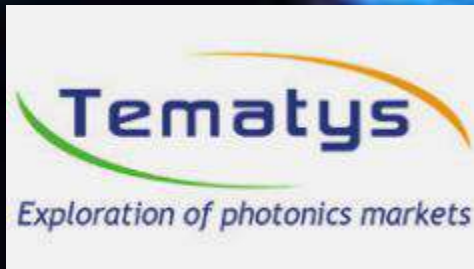
- تولید LED فرابنفش برای ارتقاء تولید و چاپ؛ پخت فوری مواد غذایی استفاده از جوهر فرابنفش حاوی مواد شیمیایی واکنش دهنده به نور
- تصویربرداری پیشرفته و پردازش طیفی مواد غذایی در تضمین کیفیت و امنیت زنجیره تامین غذا
- تصفیه آب و نابودی میکروارگانیسم‌ها با LED فرابنفش با نور با طول موج ۲۵۰-۲۸۰ نانومتر

## ۶. تولید پیشرفته

- کاهش خطا و افزایش بهره‌وری با شبیه‌سازی روشنایی شبانه روز با LED در محیط 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، سنج 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

---



# تحلیل بازار و گزارش صنعت فوتونیک ۲۰۲۰



✓ عنوان گزارش:

داده بازار و گزارش صنعت ۲۰۲۰

✓ ناشر:

فوتونیک ۲۱

✓ سال نشر: ۲۰۲۰

✓ افق زمانی: ۲۰۵۰

✓ هدف و مخاطبین:

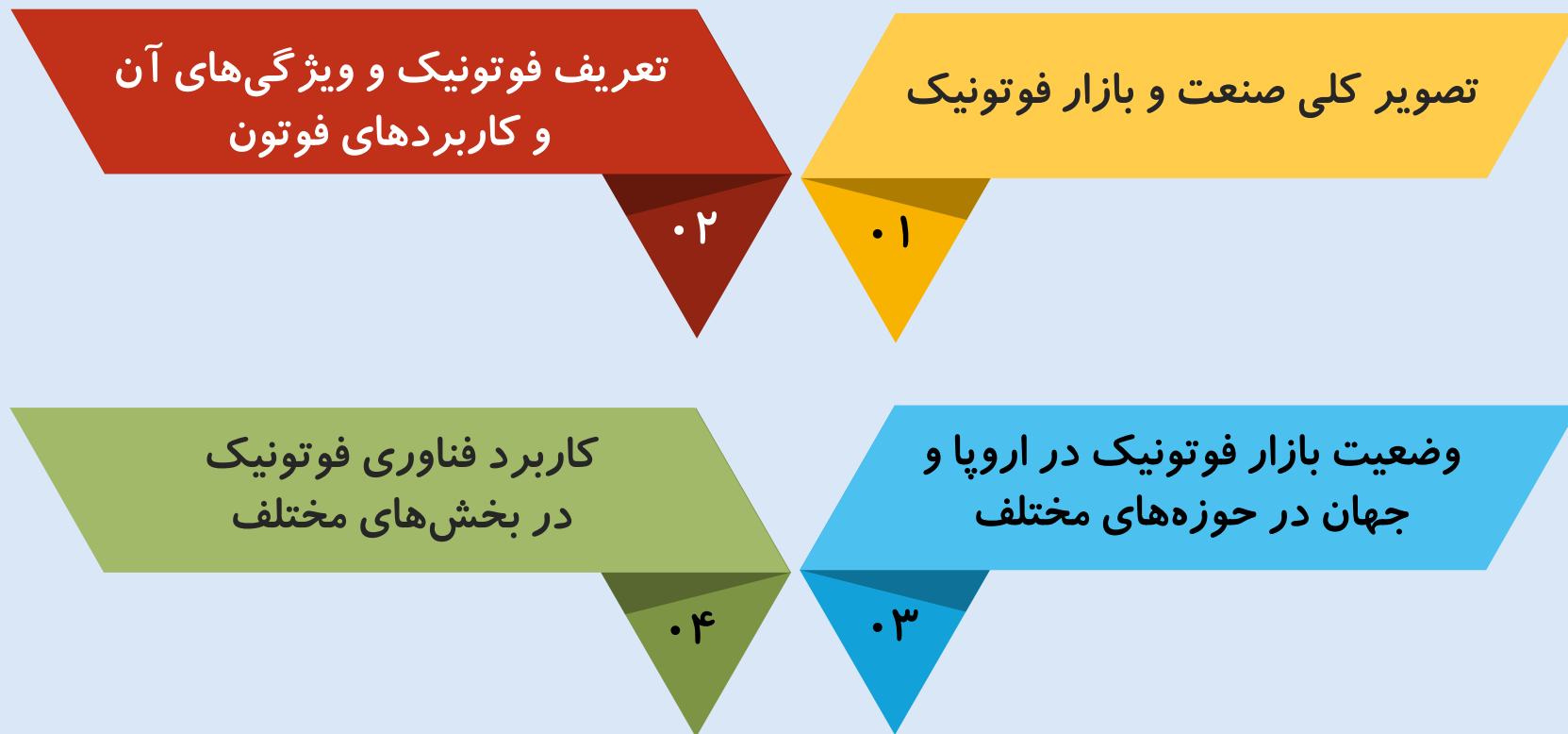
✓ توصیف و تحلیل بخش‌های مختلف بازار

فوتونیک در جهان و اروپا، معرفی حوزه‌های

کاربردی و محصولات مرتبط با آنها

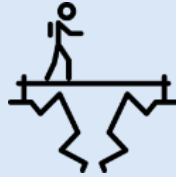
Photonics21(2020). Market Data & Industry Report 2020.available at: <https://www.photonics.fi/beta/wp-content/uploads/2021/10/Photonics-Market-Data-and-Industry-Report-2020.pdf>

# ساختار گزارش تحلیل بازار و صنعت فوتونیک ۲۰۲۰



# تصویر کلی صنعت و بازار فوتونیک

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 (۴۰٪) است. حل چالش‌های آینده نظیر دیجیتال‌سازی تولید و جامعه، سلامت و رفاه، توسعه پایدار از دیگر کاربردهای فوتونیک است.

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.

# تصویر کلی صنعت و بازار فوتونیک (۱)

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 تقریباً 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٪)، میکروالکترونیک (۴٪) است که نشان از پویایی بالای این صنعت دارد.

جایگاه دوم اروپا در بازار جهانی فوتونیک



در سال ۲۰۱۹ بیش از ۵۰۰۰ شرکت در صنعت فوتونیک اروپا به ارزش ۱۰۳ میلیارد یورو 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 (۷۵ میلیون یورو) نیز بزرگ‌تر است.



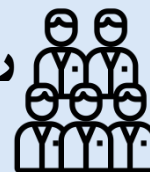
## تصویر کلی صنعت و بازار فوتونیک (۲)

### صنعت فوتونیک پژوهش و نوآوری محور



علیرغم عقب‌ماندگی در دو بازار بزرگ نمایشگر و صفحه‌خوردی، 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.

### 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 ۳۹ هزار 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 توجهی بر نوع شغل و مهارت این حوزه دارد.



# فوتونیک عامل کلیدی در زنجیره ارزش راهبردی اروپا



## حق حاکمیت

تامین امنیت نظامی با ابزارهای فوتونیک نظیر دوربین‌ها و حسگرهای مادون قرمز، 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



## سلامت و رفاه

استفاده ۵۰٪ از مردم از عینک در سال 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 طیف‌سنج‌های تراشه‌ای، ضدعفونی با نورفراابنفش، درمان بیماری و جراحی با لیزر



## 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



## 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 CO2 با فوتوولتائیک، روش‌های مصنوعی برای کشاورزی، کاهش مصرف انرژی با LED



## 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.



## 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



# 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>

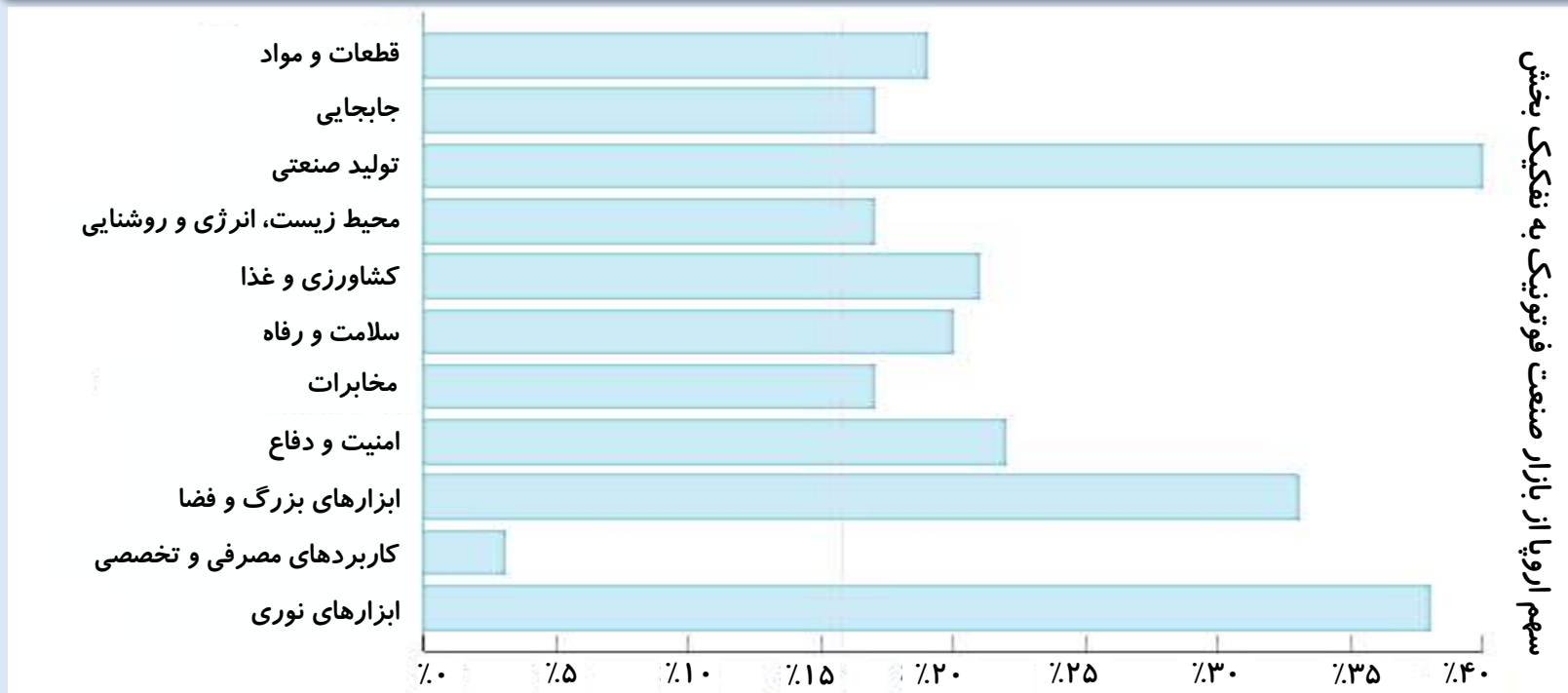
# کاربردهای فوتون در حوزه‌های مختلف – ادامه

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

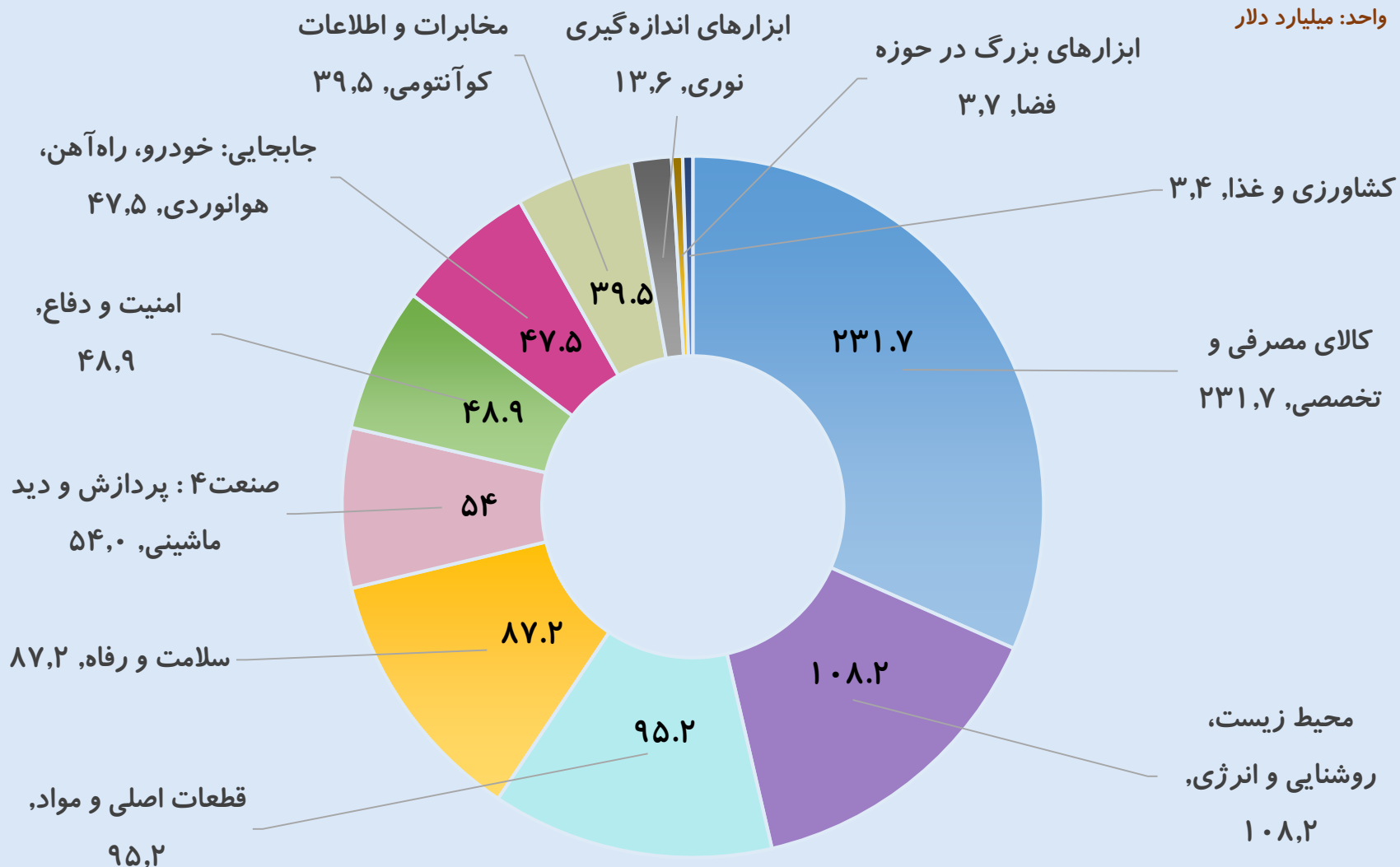
اروپا راهبر یا بازیگر اصلی در اغلب بخش‌های بازار فوتونیک است. اندازه این بخش‌ها متوسط بوده و سالانه بین ۲ هزار تا ۱۰ هزار واحد تولید دارند. به دلیل حجم بالای سفارشی‌سازی در صنعت فوتونیک و با هدف کاهش هزینه و افزایش ارزش افزوده برای مشتری، از ابزارهایی نظیر شبیه‌سازی دیجیتال، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده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

واحد: میلیارد دلار



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 آبخاری، VCSEL)، منبع لیزر حالت جامد و فیبری

## ۳. آشکارساز و حسگر

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

## ۴. انواع فیبر

- فیبر نوری
- فیبر پیش‌ساخته

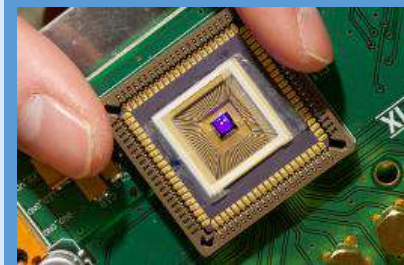
## قطعات اصلی و مواد

حجم بازار جهانی (b\$) ۹۵.۲

رشد متوسط سالانه ۵.۵٪

تولید اروپا (b\$) ۱۸.۵

سهم اروپا از بازار جهانی ۲۰٪



# 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 بی سیم

- 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)،
- بازتاب سنج نوری دامنه و زمان (OTDR)، تحلیلگر طیف نوری

## ۴. اپتیک کوانتومی

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

## مخابرات و اطلاعات کوانتومی

حجم بازار جهانی (b\$) ۳۹.۵

رشد متوسط سالانه ۷.۵٪

تولید اروپا (b\$) ۶.۶

سهم اروپا از بازار جهانی ۱۷٪





# بازار فوتونیک در بخش ابزارهای بزرگ در تجهیزات فضایی



ابزارهای بزرگ در  
تجهیزات فضایی

## ۱. تجهیزات بزرگ زمینی

- لیزر فوق قوی
- لیزر الکترون آزاد

حجم بازار جهانی  
(b\$) ۳.۷

رشد متوسط سالانه ۵٪

تولید اروپا (b\$) ۱.۲

سهم اروپا از بازار  
جهانی ۳۳٪

## ۲. محموله‌های فضایی مبتنی بر الکترونیک نوری

- شبکه نوری انتقال داده ماهواره‌ای
- ماهواره تجاری



# بازار فوتونیک در بخش امنیت و دفاع

## امنیت و دفاع

### ۱. اندازه‌گیری و دید در شب

- اندازه‌گیری از راه دور، ارتعاش سنج 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 مادون قرمز

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

### ۴. سیستم‌های زیست سنجی

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

حجم بازار جهانی  
(b\$) ۴۸.۸

رشد متوسط سالانه ۹.۵٪

تولید اروپا (b\$) ۱۱

سهم اروپا از بازار جهانی ۲۲٪



# بازار فوتونیک در تولید صنعتی پیشرفته

صنعت نسل چهارم؛  
دید ماشینی و  
پردازش

## ۱. اندازه‌گیری و کنترل برخط

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

حجم بازار جهانی  
(b\$) ۵۴

رشد متوسط سالانه ۶.۷٪

تولید اروپا (b\$) ۲۱.۴

سهم اروپا از بازار  
جهانی ۴۰٪

## 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 نیمه‌رسانا و نمایشگر

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



# بازار فوتونیک در بخش محیط زیست، روشنایی و انرژی

## محیط زیست، روشنایی و انرژی

### ۱. سنجش گرما و انتشار 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 فوتونولتائیک (به غیر از پنل‌ها)
- پنل‌های خورشیدی گرمایی

### ۴. اندازه‌گیری آلودگی و رفع آن

- ربات‌های ماورابنفش نوع C غالباً برای سطوح
- سیستم‌های ضد عفونی ماورابنفش نوع C (اغلب برای تصفیه آب)

حجم بازار جهانی  
(b\$) ۱۰۸.۲

رشد متوسط سالانه ۹٪

تولید اروپا (b\$) ۱۸.۷

سهم اروپا از بازار  
جهانی ۱۹٪



# بازار فوتونیک در بخش جایجایی؛ 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 راه آهن
- چراغ‌های لیزری جلو

## ۳. نمایشگر

- سیستم‌ها و پنل‌های نمایشگر خودرو
- نمایشگر وسایل نقلیه دریایی، هوایی و راه آهن
- 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

جایجایی؛ خودرو،  
دریایی، راه آهن،  
هوانوردی

حجم بازار جهانی  
(b\$) ۴۷.۵

رشد متوسط سالانه ۸٪

تولید اروپا (b\$) ۸.۳

سهم اروپا از بازار  
جهانی ۱۷٪



# بازار فوتونیک در بخش سلامت و رفاه

## ۱. ابزارهای تشخیص پزشکی

- با اشعه X: ماموگرافی، سی تی اسکن
- با نور مرئی؛ دستگاه تشخیص بیماری پوستی، لامپ شکافی، انحراف سنج چشم
- میکروسکوپ جراحی، آندوسکوپی، اسکنر آسیب شناسی 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 فوتوداینامیک و درمان مبتنی بر ماورابنفش

## ۳. علم زندگی

- خون شناسی، اکسیژن سنجی
- ترتیب دهی، سلول شناسی
- حسگرهای زیستی، ریزبین شناسی

## ۴. تصحیح بینایی با لنز

- عینک و لنزهای تماسی

## سلامت و رفاه

حجم بازار جهانی  
(b\$) ۸۷.۲

رشد متوسط سالانه ۴.۵٪

تولید اروپا (b\$) ۱۷.۸

سهم اروپا از بازار جهانی ۲۱٪



# بازار فوتونیک در بخش کشاورزی و غذا

## 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

حجم بازار جهانی  
(b\$) ۳.۴

رشد متوسط سالانه ۱۸٪

تولید اروپا (b\$) ۰.۷۱

سهم اروپا از بازار جهانی ۲۱٪



# بازار فوتونیک در بخش کالاهای مصرفی

## ۱. اداره و خانه

- اسکنر، درایور دیسک نوری، موس نوری، پرینتر و دستگاه کپی لیزری
- پرینتر ۳ بعدی، 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 سه بعدی 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 سه بعدی روی سطوح

## مصرف کنندگان و متخصصین

حجم بازار جهانی (b\$) ۲۳۱.۷

رشد متوسط سالانه ۷.۷٪

تولید اروپا (b\$) ۶.۳

سهم اروپا از بازار جهانی ۳٪





# بازار فوتونیک در بخش ابزار دقیق و اندازه‌گیری نوری

## ۱. اندازه‌گیری فاصله

- تصاویر سه بعدی استریو(قابل دیدن از ۳ جهت)
- لیدار پهپاد و هواپرد(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 بازار جهانی  
(b\$) ۱۳.۶

رشد متوسط سالانه  
٪۶

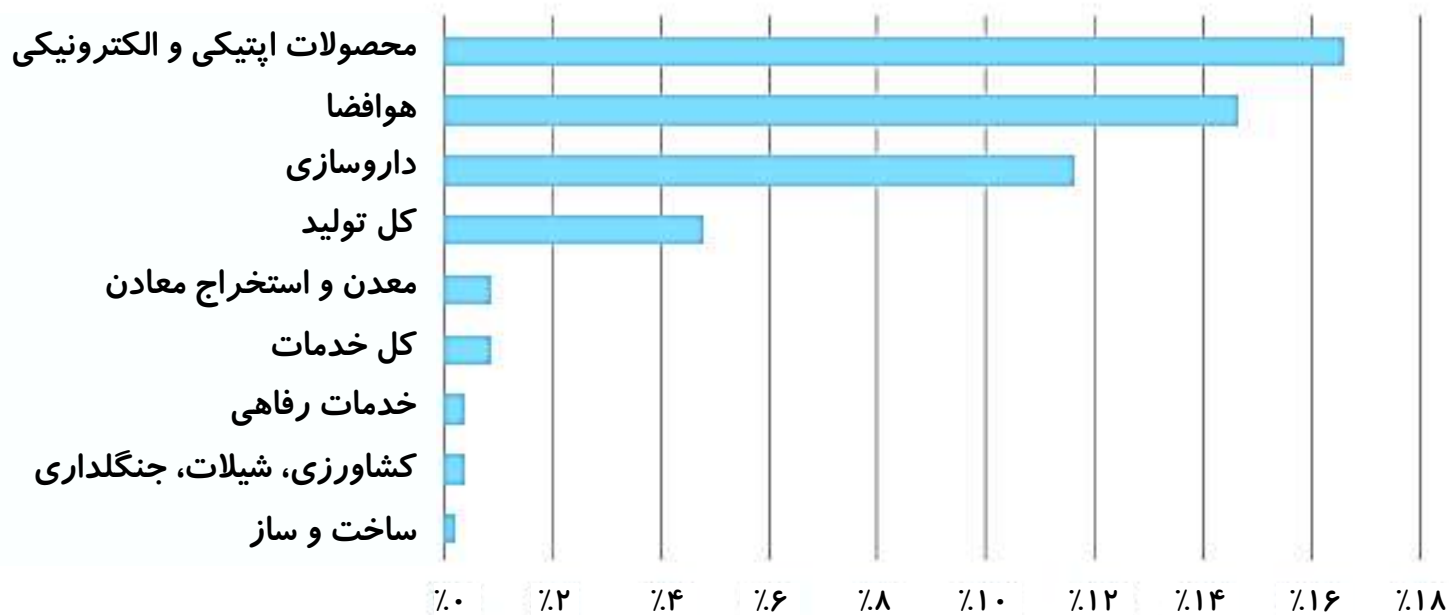
تولید اروپا (b\$) ۵.۲

سهم اروپا از بازار  
جهانی ٪۳۸



## وضعیت هزینه کرد 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 شرکتهای حوزه اپتیک و الکترونیک با بیش از ۱۶ درصد، بیشترین سهم هزینه کرد تحقیق و توسعه را از فروش شرکتهای داشته است. سرمایه گذاری در پژوهش در بخش خصوصی و دولتی، مهمترین محرک رشد صنعت فوتونیک می باشد.

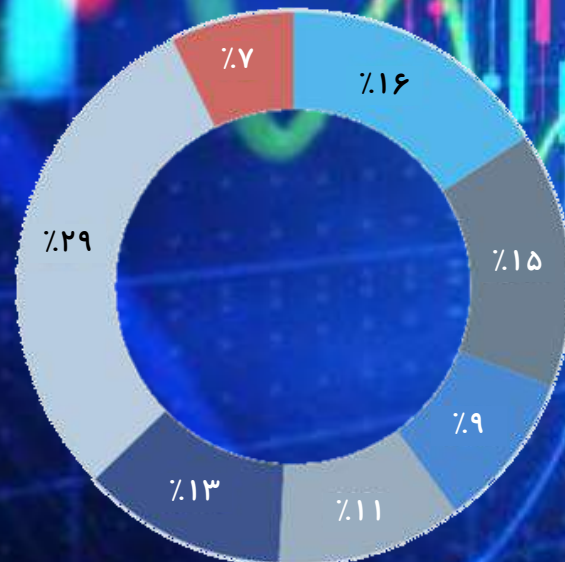
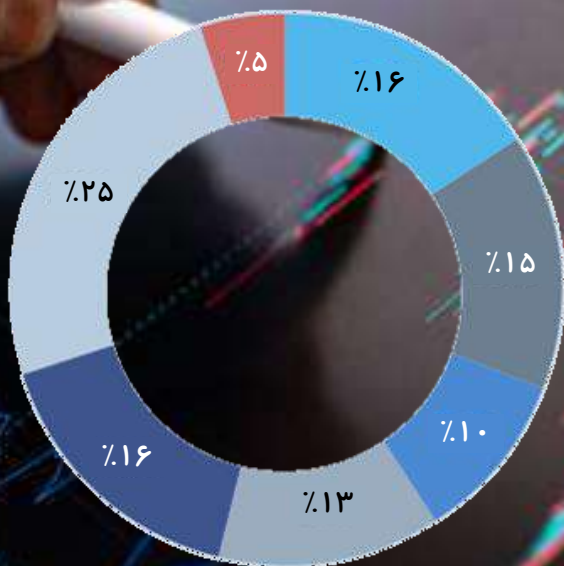
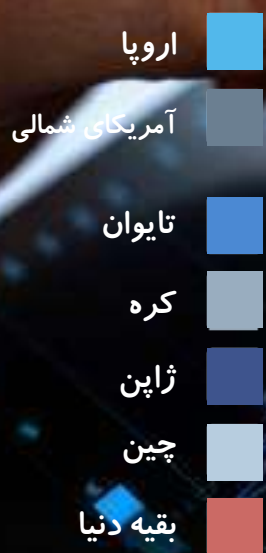


نسبت هزینه کرد تحقیق و توسعه به ارزش افزوده ناخالص داخلی (OECD2014)

# سهم کشورها از بازار جهانی فوتونیک

پیشتر از چین (۲۹٪) و اروپا (۱۶٪) در بازار جهانی فوتونیک در سال ۲۰۱۹ با تکیه بر ظرفیت بالای پژوهش و نوآوری

سهم 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

## 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

نیازها،  
الزامات و  
محدودیت‌ها

## 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 اکوسیستم‌ها و زنجیره موجودات زنده

## کارکردهای فنی مورد انتظار

- تحلیل مولکولی و شیمیایی (فلزات، دسترسی،
- اختلالات غدد درون ریز، آفت کش‌ها، 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  
کارکردهای  
فنی فوتونیک

## فناوری‌ها و راهکارهای فوتونیک

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

# پیمان سبز اروپا (کشاورزی) و فوتونیک

## 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
- آبرزی پروری 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 کشاورزی
- پراکندگی و منسجم نبودن نیازها

نیازها،  
الزامات و  
محدودیت‌ها

## 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 فوتونیک

- دوربین و تصویرسازی فرایفی 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

فناوری‌ها و  
کارکردهای  
فنی فوتونیک

# سلامت و رفاه و فوتونیک

## 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 بر آن (آلودگی، تغذیه، رفتارها و عادات)

نیازها،  
الزامات و  
محدودیت‌ها

## 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

## کارکردهای فنی مورد انتظار

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

فناوری‌ها و  
کارکردهای  
فنی فوتونیک

## فناوری‌ها و راهکارهای فوتونیک

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

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

## نیازها و الزامات

- تشخیص داروها و مواد
- تجزیه شیمیایی و ترکیب مواد شیمیایی 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

نیازها،  
الزامات و  
محدودیت‌ها

## محدودیت‌ها

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

## 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  
کارکردهای  
فنی فوتونیک

## فناوری‌ها و راهکارهای فوتونیک

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

# حاکمیت (دفاع و امنیت) و فوتونیک

## 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
- اندازه گیری فاصله و تنظیم شدت ضربه
- شناسایی و دفاع در برابر خطرات نظامی NRBC
- پایش ساختارها

نیازها،  
الزامات و  
محدودیتها

## محدودیتها

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

## 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 محدوده یابی
- ارتباطات رمز گذاری شده و مخابرات در فضای آزاد
- تشخیص تهدیدات هسته ای، بیولوژیک...

فناوریها و  
کارکردهای  
فنی فوتونیک

## فناوریها و راهکارهای فوتونیک

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



# اولیتهای فناوری فوتونیک در گزارش

عدسی و فیلترهای نوری، منشورها و لنزها و فیبر نوری پیش ساخته  
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، دیوده‌های گرمایی، آشکارساز اشعه ایکس

- قطعات و
- مواد اصلی
- فوتونیک

سوئیچ، روتر، فرستنده، گیرنده (کلیه تجهیزات) شبکه نوری  
مخابرات با نور مرئی، لای فای،  
مالتی پلکسر تقسیم طول موج، بازتاب‌سنج نوری دامنه و زمان، تحلیلگر طیف  
ساعت کوانتومی، توزیه کلید کوانتومی، تله‌های نوری-مغناطیسی

- مخابرات و
- اطلاعات
- کوانتومی

لیزر فوق قوی، لیزر الکترون آزاد  
شبکه نوری انتقال داده ماهواره‌ای و تجهیزات ماهواره تجاری

- تجهیزات
- فضایی

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 عنیبه، وریدی، اثر انگشت

- امنیت و دفاع

نقشه‌برداری سه‌بعدی با لیدار از زیرساخت‌ها، تصویربرداری سه‌بعدی استریو  
طیف‌سنجی و تصویربرداری فراتر از طول موج، تداخل سنج و اندازه‌گیری بالیزر باریک  
حسگر فیبری کشش عضله، حسگر گرما و امواج صوتی

- ابزار دقیق و
- اندازه‌گیری



# اولیتهای فناوری فوتونیک در گزارش (۱)

طیف سنج 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 سیستمهای حکاکی در نیمه رساناها و نمایشگرها/تابکاری، کنده کاری و برونپاشی با لیزر

صنعت نسل  
چهارم

حسگر شارنوری و گرما، حسگر مادون قرمز ناپاشنده برای سنجش گاز و ذرات روشنایی داخل و بیرون ساختمان و خودرو با LED و OLED پنل های خورشیدی و ماژول های فوتوولتائیک ربات ها و سیستم های فرابنفش برای صد عفونی و تصفیه آب

محیط  
زیست،  
روشنایی و  
انرژی

ماموگرافی، سی تی اسکن با اشعه ایکس دستگاه تشخیص بیماری پوستی، لامپ شکافی، انحراف سنج چشم با نور مرئی میکروسکوپ جراحی، آندوسکوپی، اسکنر آسیب شناسی دیجیتال، برش نگاری دستگاه اکسیژن سنج خون و عینک ها و لنزهای تماسی

سلامت و  
رفاه

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 حرفه ای

مصرف  
کنندگان و  
متخصصین



# فناوری های کوانتوم

McKinsey  
& Company

**OPTICA**  
Formerly OSA

Capgemini

 UK NATIONAL  
QUANTUM  
TECHNOLOGIES  
PROGRAMME

 UK Research  
and Innovation

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS

# ۷- پایش فناوری کوانتوم

---

McKinsey  
& Company

# 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 سرمایه گذاران در این حوزه

# ساختار گزارش پایش فناوری کوانتوم

## وضعیت بازیگران حوزه فناوری کوانتوم



شمارش استارت‌آپ‌های تاسیس شده در ۲۵ سال اخیر با درآمد کمتر از ۲۰۰ میلیون دلار و شرکت‌های بزرگ با درآمد بیش از ۲۰۰ میلیون دلار

## وضعیت سرمایه‌گذاری در حوزه کوانتوم

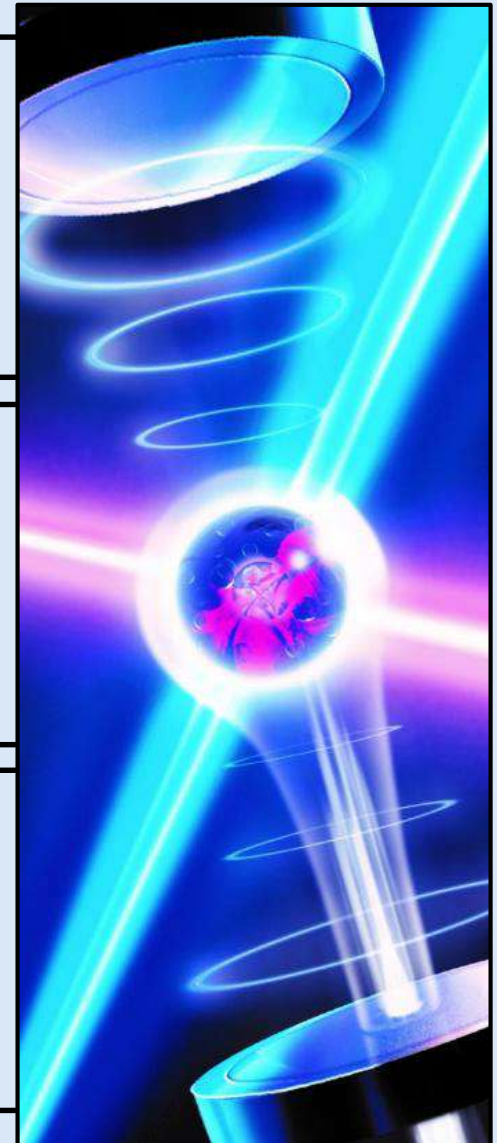


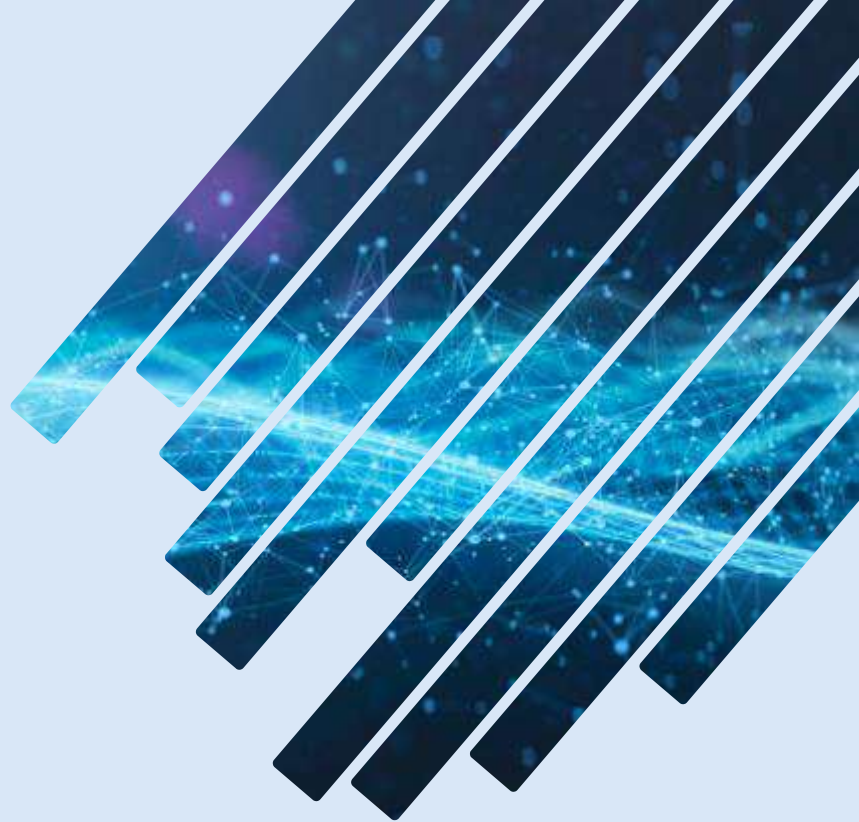
استخراج آمار سرمایه‌گذاری در استارت‌آپ‌ها از Pitch-Book و اصلاح آن توسط تحلیل‌گران شرکت مشاوره مکنزی

## وضعیت بازار در حوزه کوانتوم



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





- ✓ پردازش کوانتومی
- ✓ مخابرات کوانتومی
- ✓ سنجش کوانتومی

۳ حوزه اصلی فناوری  
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 استارت‌آپ‌های حوزه فناوری کوانتومی در سال ۲۰۲۱ (بیش از ۲ برابر ۲۰۲۰)
- حرکت تامین مالی فناوری کوانتومی به سمت استارت‌آپ‌های سری‌های A، B، C و D. (استارت‌آپ‌هایی که از مرحله 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

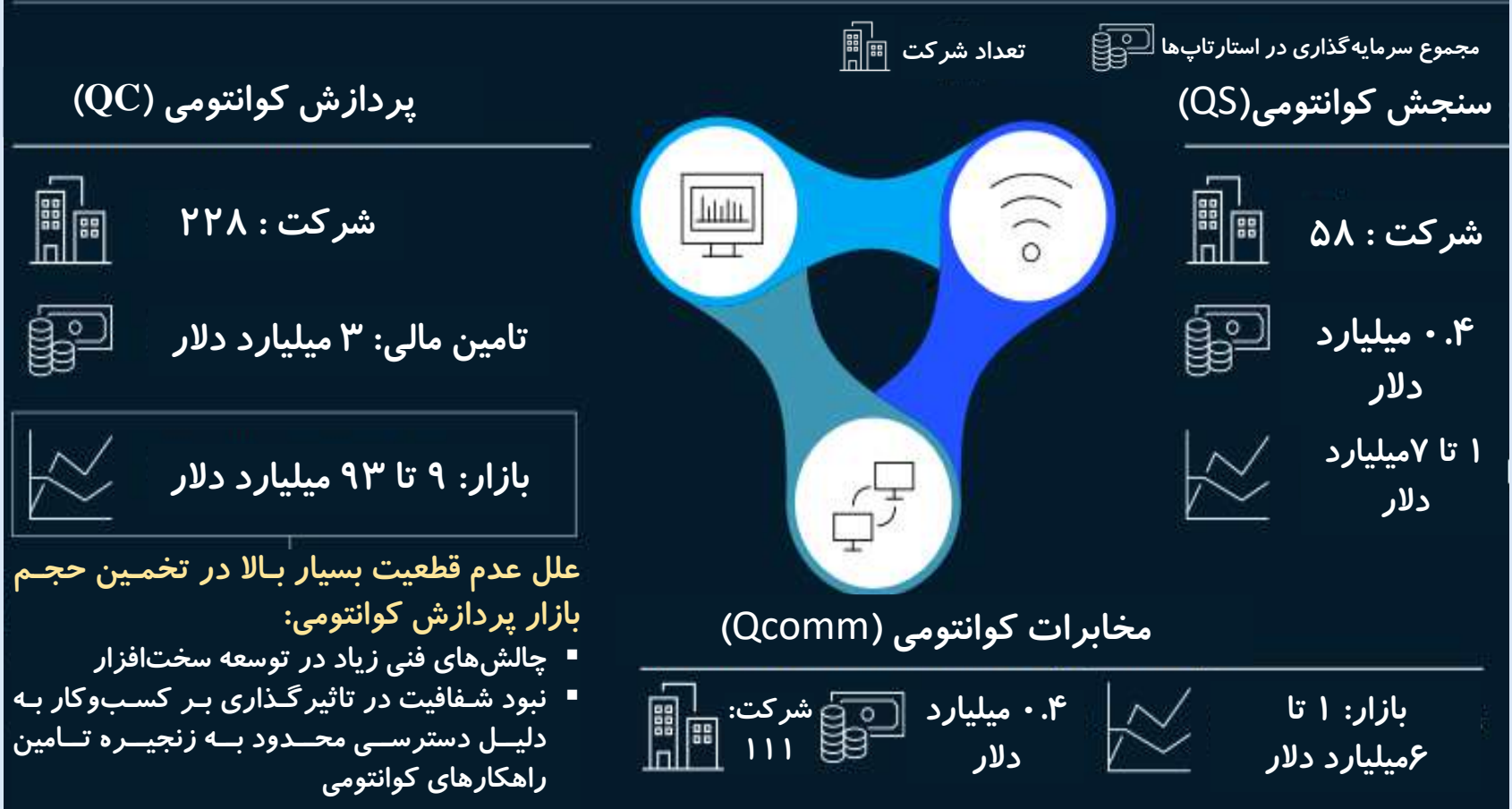
- ❑ انتظار می‌رود بیشترین تاثیر گذاری فناوری کوانتوم در بلندمدت بر علوم زیستی و مالی و در کوتاه مدت بر شیمی، داروسازی، خودرو و صنایع مالی باشد.
- ❑ ثبت اختراع در حوزه فناوری کوانتوم توسط چین در مقایسه با سایر فناوری‌ها افزایش پیدا کرده است و بیش از نیمی از اختراعات در این حوزه توسط چینی‌ها ثبت شده است.
- ❑ 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

افزایش اندک در سرمایه‌گذاری در استارت‌آپ‌های مخبرات و سنجش کوانتومی و پردازش کوانتومی بزرگترین بازار و دارای بیشترین تعداد شرکت



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 استارت‌آپ‌ها در سری‌های A، B، C و D

نزدیک به ۹۰٪ تامین مالی مرتبط با استارت‌آپ‌ها در سری‌های A، B، C و D

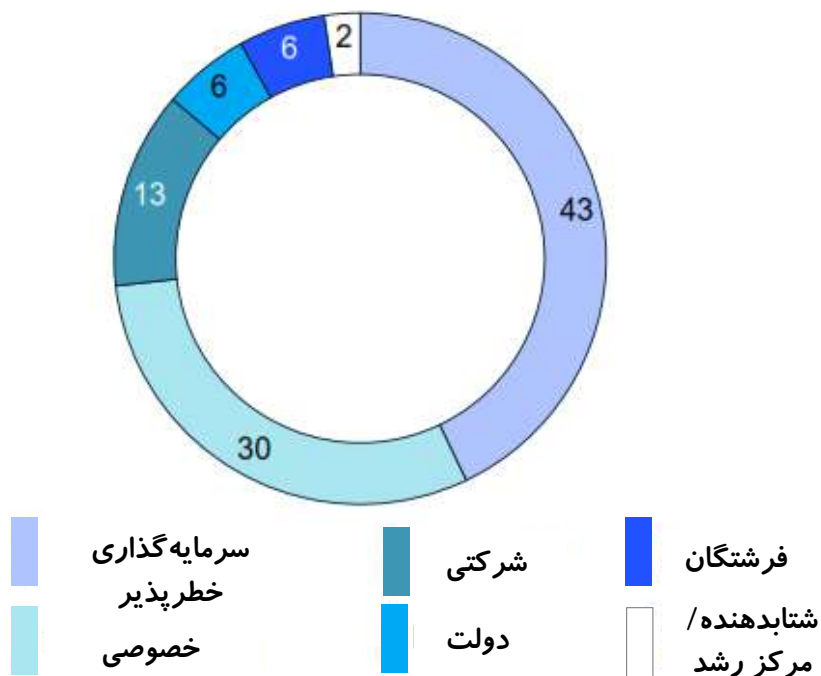


مرحله بذر      B سری      D سری  
A سری      C سری      E سری

# انواع روش‌های سرمایه‌گذاری در فناوری کوانتوم در دنیا

سرمایه‌گذاری خطرپذیر و خصوصی بیش از ۷۰ درصد 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

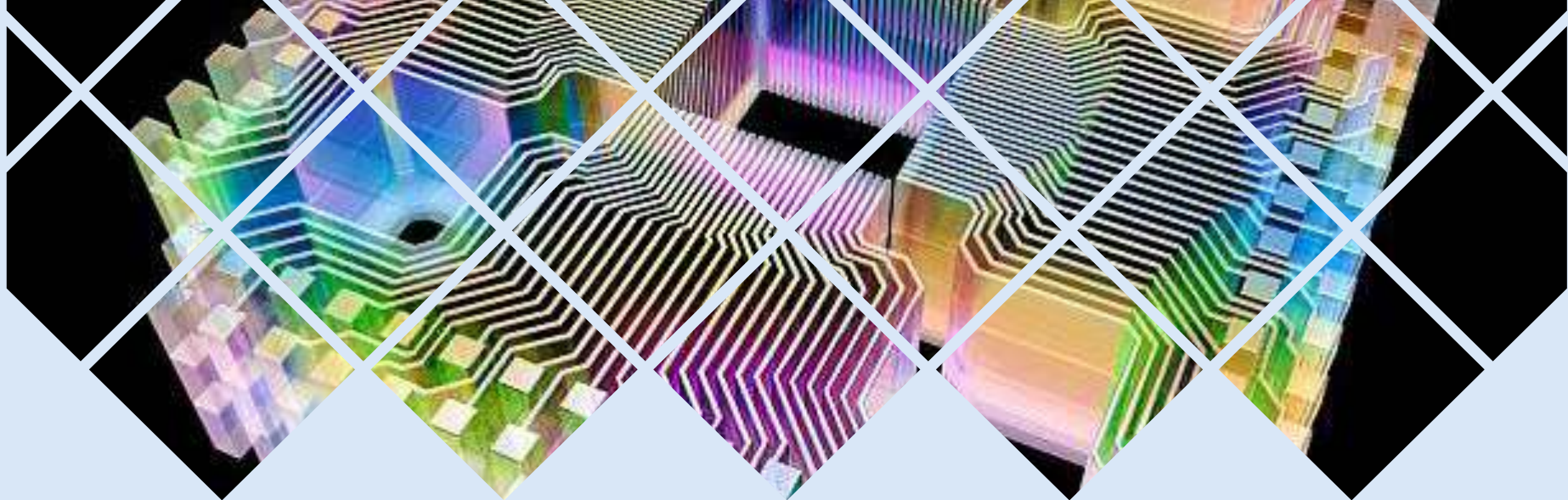


## آمار و ارقام فناوری کوانتوم

- سرمایه‌گذاری دولتی ۱۵ میلیارد دلاری در فناوری کوانتوم (ذیل برنامه ۵ ساله توسعه چین ۱۴م)
- سرمایه‌گذاری بخش خصوصی ۲۶۵ میلیارد دلاری در استارت‌آپ‌های 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)



۲۷ استارت‌آپ  
۲ سازمان دولتی یا عمومی  
۹ گروه علمی



## پردازش کوانتومی (۲۰۲۱)

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

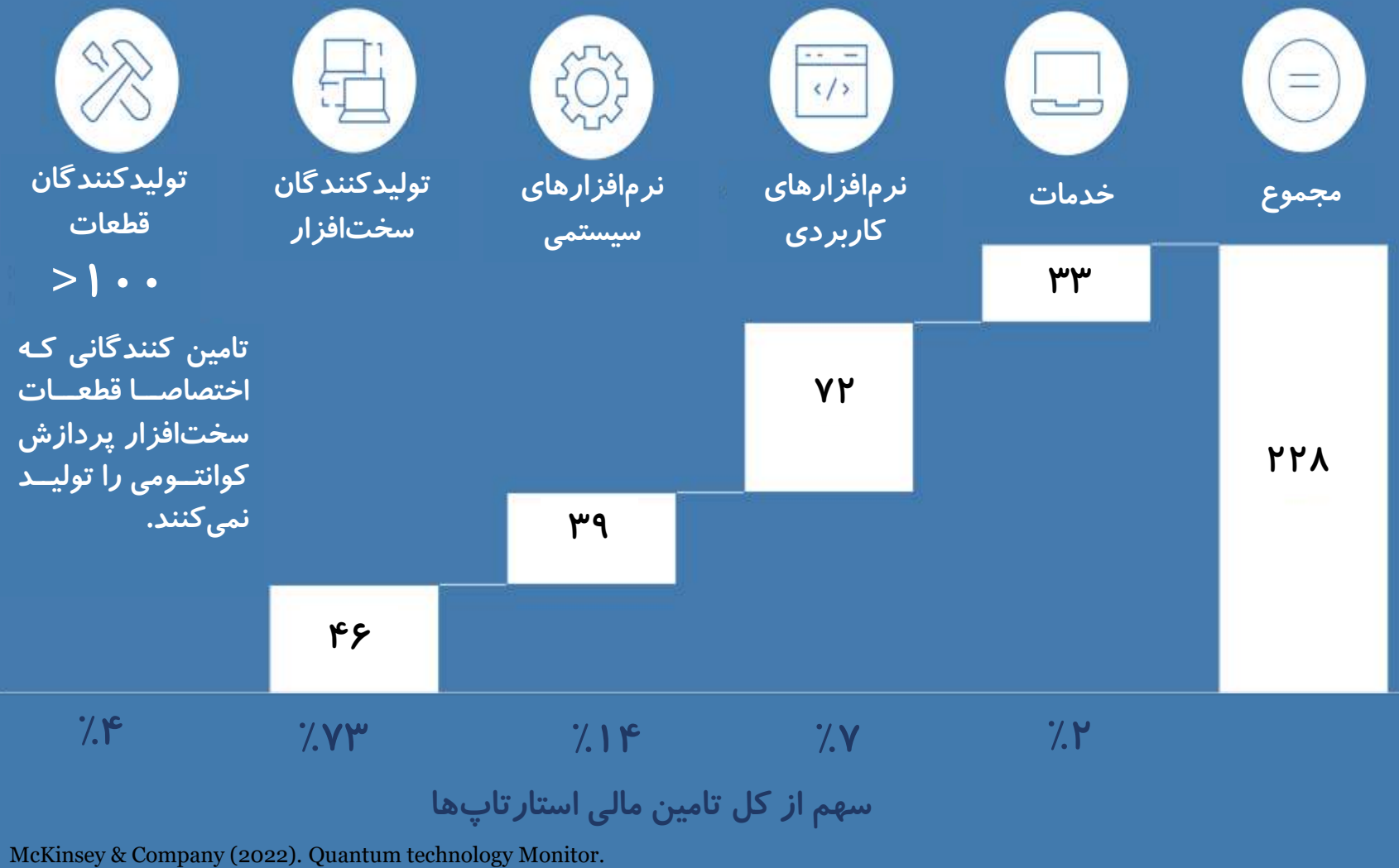
تاسیس بیشترین تعداد  
استارت‌آپ در اروپا و  
کانادا تا سال ۲۰۲۱

۶۰ استارت‌آپ  
۹ شرکت بزرگ  
۱۸ سازمان دولتی یا عمومی  
۶۴ گروه علمی



# پراکندگی فعالان پردازش کوانتومی در زنجیره ارزش

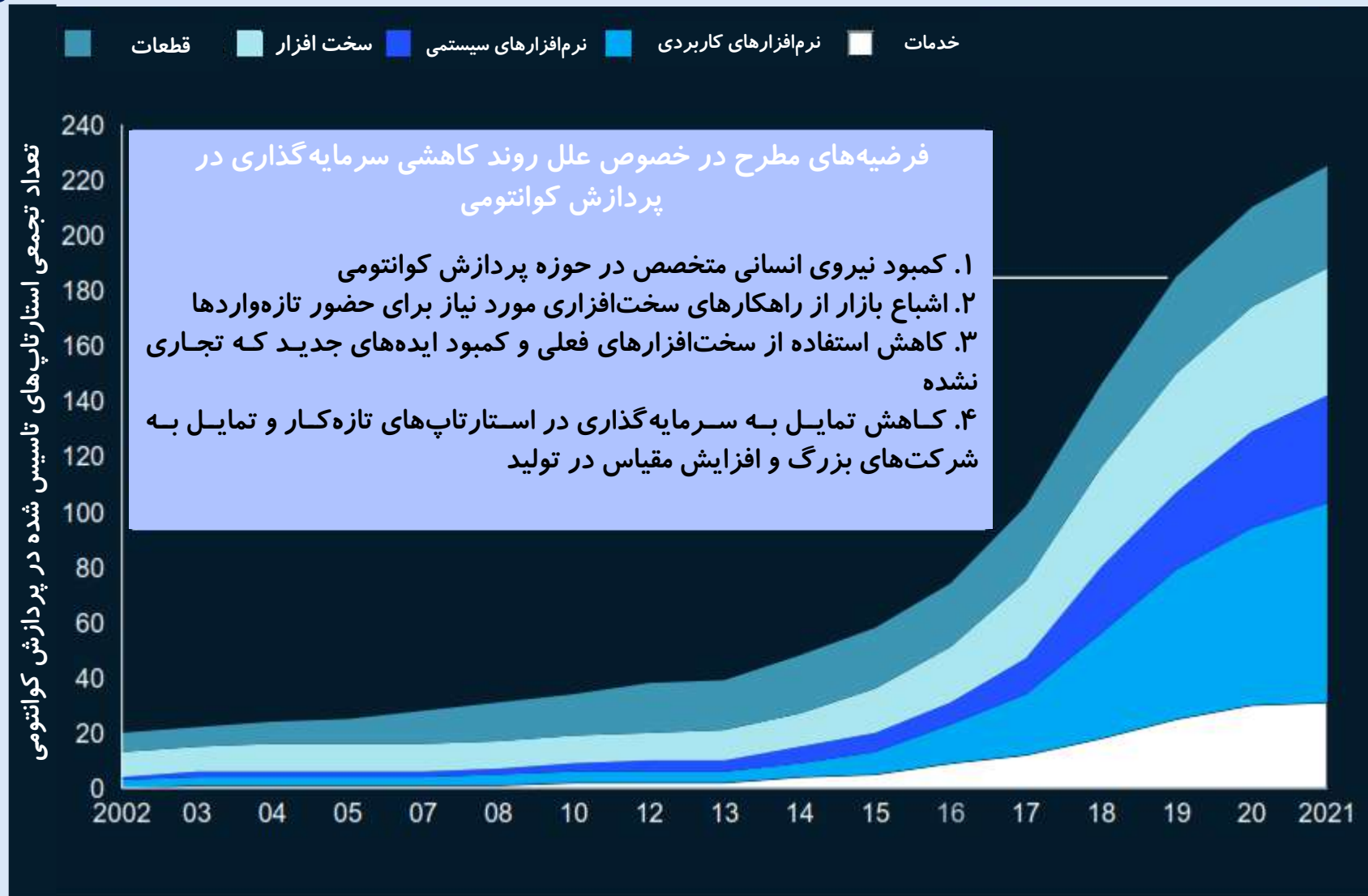
اغلب فعالان، تولیدکنندگان قطعات و نرم افزارهای کاربردی هستند، هرچند بیشترین سرمایه گذاری در استارت‌آپ‌های سخت‌افزاری بوده است.



McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor.



# روند سرمایه‌گذاری در استارت‌آپ‌های پردازش کوانتومی



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

# بازار کل زنجیره ارزش در پردازش کوانتومی

نرم افزار و سخت افزار دو بخش اصلی اکوسیستم پردازش کوانتومی



بخش های اصلی اکوسیستم پردازش کوانتومی محصولات تجاری ندارند و عمده درآمد این حوزه از تولیدکنندگان قطعات و خدمات مشاوره و پروژه های تحقیقاتی مشترک است.

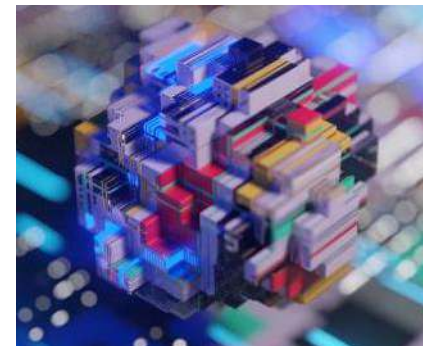
بازار اشباع شده

بازارهای در حال توسعه

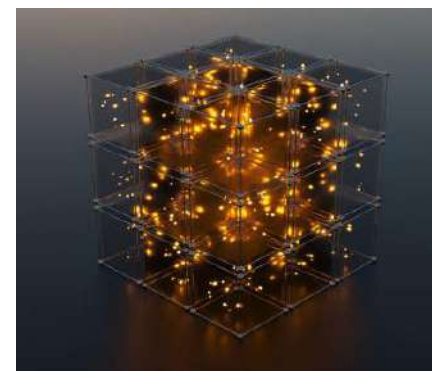
تجهیزات / قطعات	سخت افزار	نرم افزارهای سیستمی	نرم افزارهای کاربردی	خدمات
بخش قطعات اشباع ترین بازار است. هرچند فضا برای بازیگران تخصصی وجود دارد.	بخش سخت افزار توسط بازیگران بزرگ فناوری تسخیر شده که بیشترین تمرکز روی ابررساناهای کیوبیت است.	بازار نرم افزارهای سیستمی در دست بازیگران همه فن حریف و شرکت های صرفا فعال در حوزه نرم افزار است.	بازار نرم افزارهای کاربردی کاملا نابالغ و بسیار دور از وضعیت اشباع است؛ تمرکز بازیگران روی تعداد کمی از صنایع اصلی است.	بخش خدمات بین مشاوران خدمات و سرویس های ابری تقسیم شده است.

McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20ofunding%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.



بازار اشباع شده

بازارهای در حال توسعه

خدمات



نرم‌افزارهای  
کاربردی



نرم‌افزارهای  
سیستمی



سخت‌افزار



تجهیزات /  
قطعات

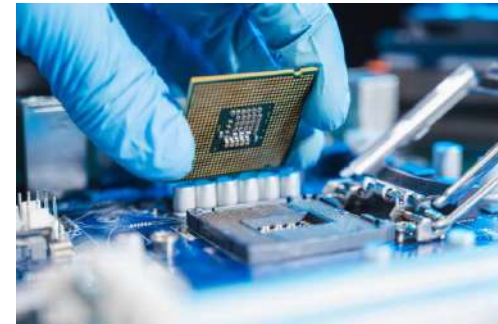


بخش قطعات در حال درآمدزایی است؛

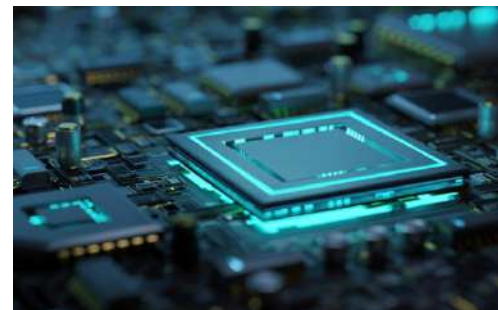
- بخش قطعات تنها بخش از زنجیره ارزش پردازش کوانتومی است که درآمد بالایی از فروش محصولات خود به دانشگاه‌ها، موسسات تحقیقاتی و شرکت‌های فناوری کسب می‌کند.
- فعالان این بخش از تولیدکنندگان تخصصی فناوری کوانتوم تا تولیدکنندگان فناوری‌های عمومی هستند.
- میزان اشباع بازار به ازای هر یک از محصولات متفاوت است، هر چند همه محصولات نیاز به سفارشی‌سازی توسط تولیدکنندگان حوزه کوانتوم دارند.
- چالش‌های فناوری کوانتوم فرصتی برای ورود تازه‌واردان است؛
- 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%20ofunctions/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 سخت افزار توسط بازیگران بزرگ فناوری تسخیر شده و بیشترین تمرکز روی قطعات کیوبیت های ابررساناست.



وجود موانع بزرگ ورود به بازار سخت افزار امتیاز بزرگ فعالان این حوزه

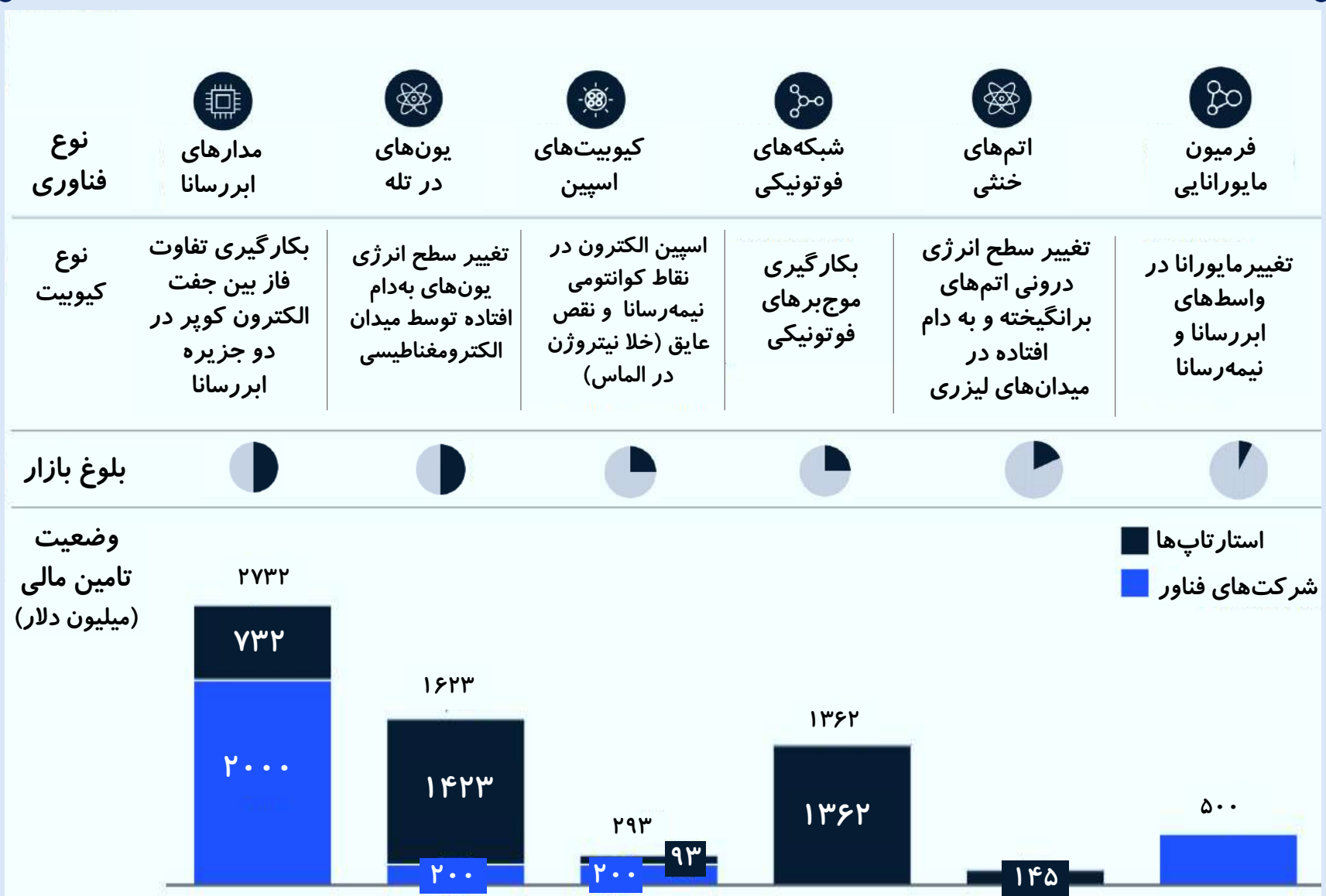
- با توجه به پیچیدگی بالای فناوری، بخش سخت افزار ریسک بالایی داشته و به مدت زمان زیادی برای توسعه نیاز دارد، در نتیجه، بازیگران جدید باید سرمایه زیاد و دانش بسیار تخصصی داشته باشند. بازار سخت افزار فعلی توسط غول های فناوری با بیش از ۱۰ سال سابقه احاطه شده که بیشتر بر کیوبیت های ابررسانا متمرکز هستند.

افزایش مقیاس استارت آپ های متمرکز بر فناوری های متنوع کیوبیت

- اخیرا تعدادی از استارت آپ های فعال در یون به دام افتاده و کیوبیت های فوتونیکی تامین مالی بسیار زیادی جذب نموده و در حال بزرگ شدن هستند.
- بر اساس اعلام عمومی، کیوبیت های ابررسانا توسعه یافته ترین سخت افزار هستند در حالیکه برخی متخصصین باور دارند کیوبیت های 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 نرم افزارهای سیستمی در پردازش کوانتومی

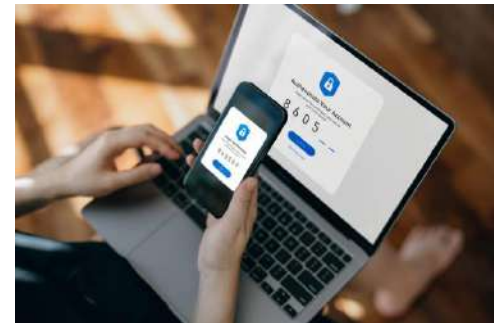
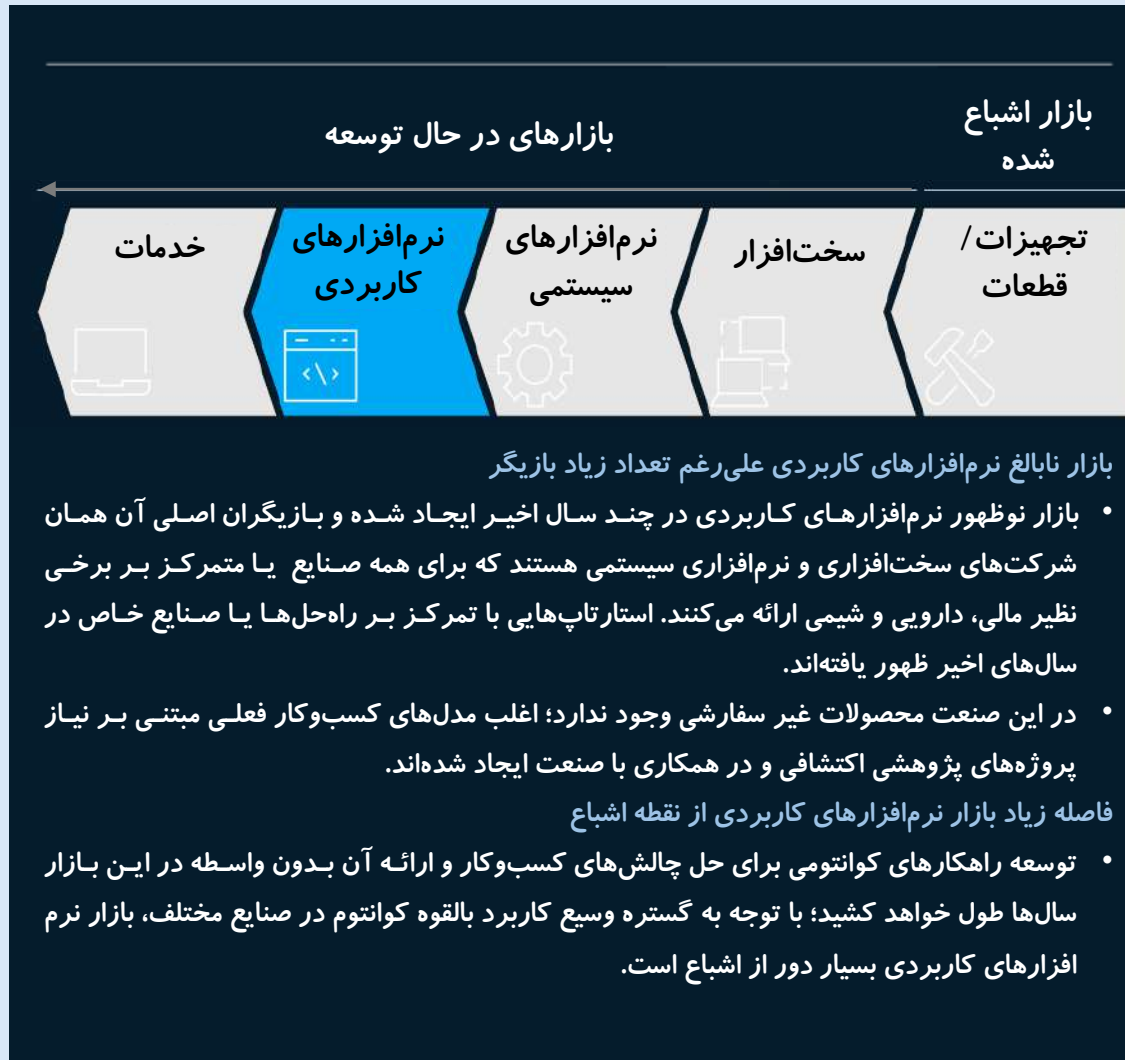


بازار نرم افزارهای سیستمی در دست توسعه دهندگان همه فن حریف (فول-استک) و شرکت های صرفاً فعال در حوزه نرم افزار است.



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 نرم افزارهای کاربردی در پردازش کوانتومی



علی رغم تعداد زیاد بازیگران، بازار نرم افزارهای 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 مشاورین خدمات و ارائه دهندگان سرویس‌های ابری تقسیم شده است.










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



# تأثیر گذاری پردازش کوانتومی بر صنایع مختلف در کوتاه مدت

بنیادی ● قابل توجه ● تدریجی ● ارزش اقتصادی  
 ارزش اقتصادی (\$ trillion) ██████████

اثر گذاری پردازش کوانتومی

صنعت	بخش اصلی مرتبط	~2025-30	~2030-35	Industry size
مواد و انرژی جهانی 	نفت و گاز	●	●	5-10
	انرژی پایدار	●	●	1-5
	صنایع شیمی	●	●	1-5
داروسازی و کالاهای پزشکی 	داروسازی	●	●	1-5
صنایع پیشرفته 	موتار و خودروسازی	●	●	1-5
	دفاعی و هوافضا	●	●	<1
	الکترونیک پیشرفته	●	●	<1
	نیمه رساناها	●	●	<1
صنعت مالی 		●	●	>10
مخابرات، رسانه و فناوری 	مخابرات	●	●	1-5
	رسانه	●	●	1-5
سفر، حمل و نقل و لجستیک 	لجستیک	●	●	5-10
بیمه 		●	●	5-10

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

کارکردهای اصلی پردازش کوانتومی

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



## 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.



## 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.

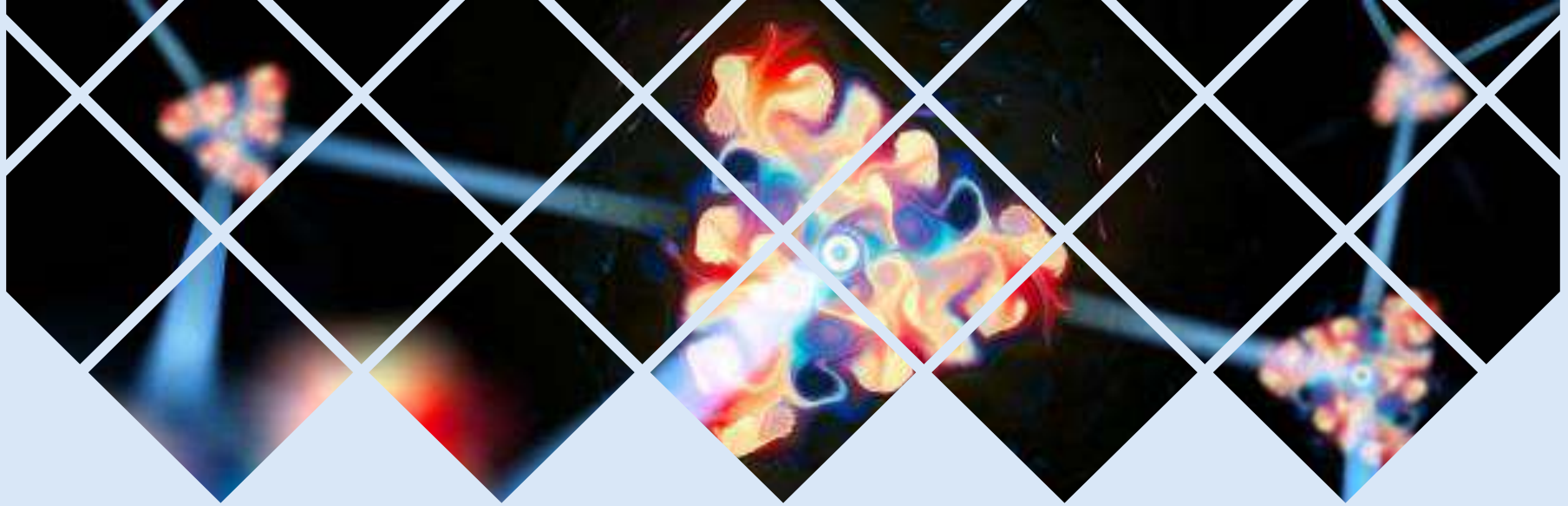


## خودروسازی

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



۱۵ استارتاپ



## مخابرات کوانتومی (۲۰۲۱)

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

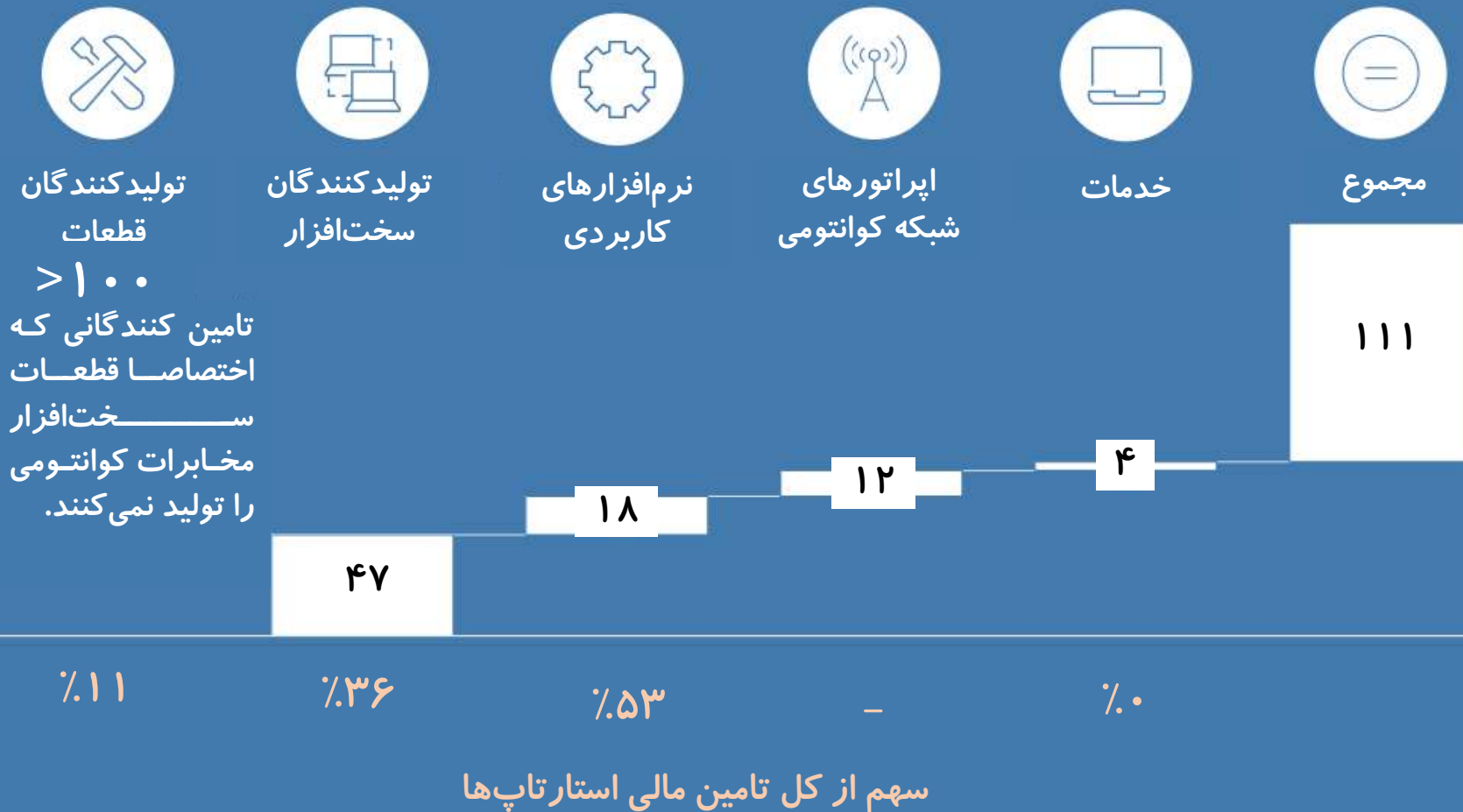
مجموع ۸۹ استارت‌آپ  
در این بخش در کل  
دنیا در سال ۲۰۲۱

۱۹ استارت‌آپ



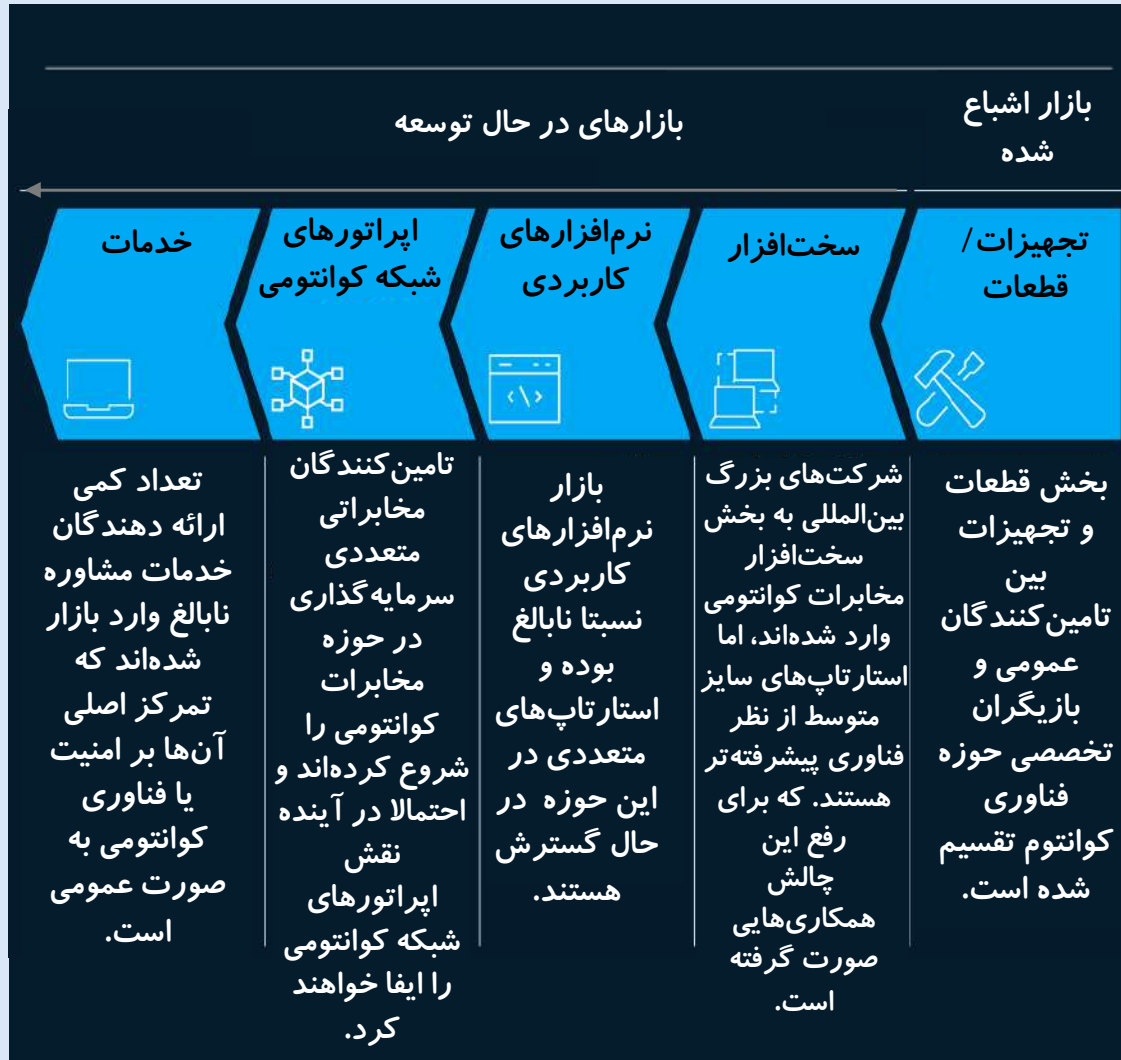
# پراکندگی فعالان مخابرات کوانتومی در زنجیره ارزش

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

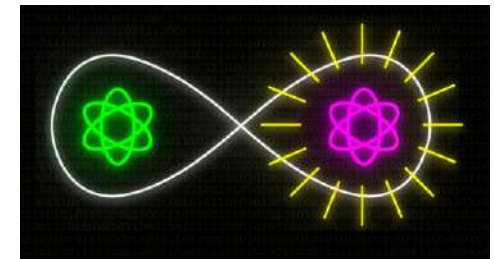


McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20of/functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20of/funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf>

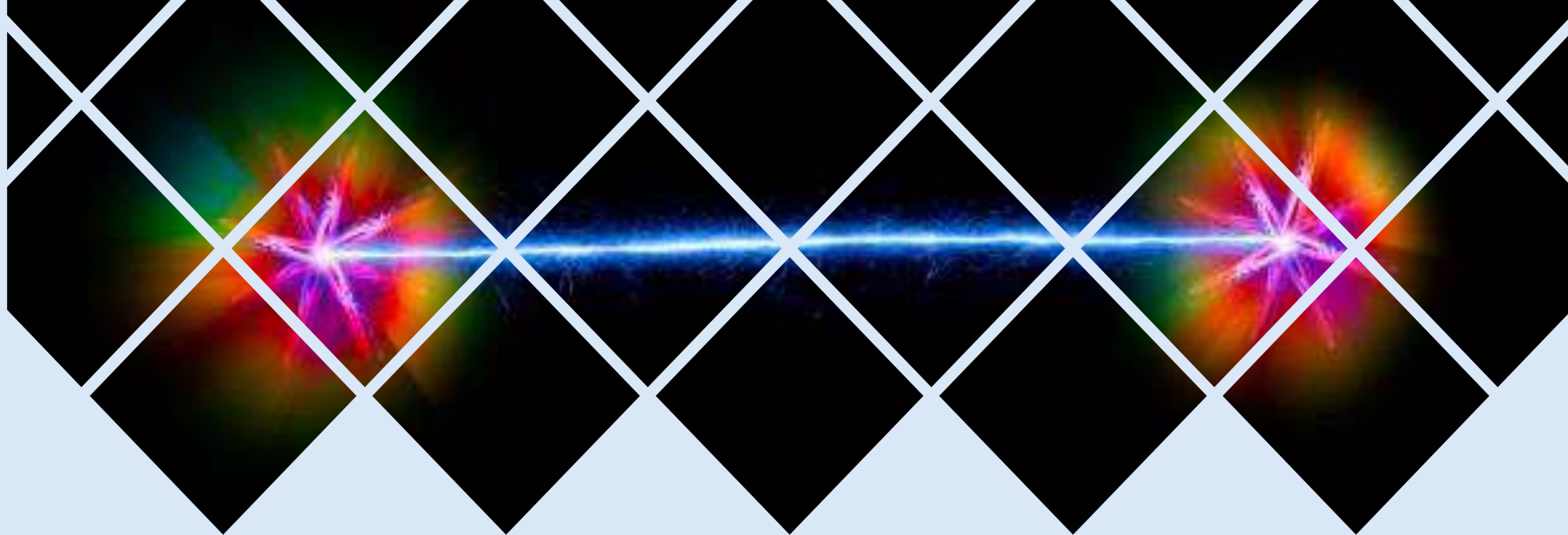
# بازار زنجیره ارزش مخابرات کوانتومی



بخش های اصلی اکوسیستم مخابرات کوانتومی (نرم افزار و سخت افزار) هنوز محصولات تجاری ندارند. عمده درآمد در این بخش حاصل از تولید قطعات، خدمات مشاوره و پروژه های تحقیقاتی مشترک است.



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



۵ استارتاپ



## سنجش کوانتومی (۲۰۲۱)

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

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

۱۳ استارتاپ



# پراکندگی فعالان سنجش کوانتومی در زنجیره ارزش

اغلب بازیگران تولیدکنندگان قطعات و نرم افزار کاربردی هستند، هرچند بیشترین سرمایه گذاری در استارت‌آپ‌های سخت‌افزاری بوده است.



تولیدکنندگان  
قطعات



تولیدکنندگان  
سخت‌افزار



نرم‌افزارهای  
کاربردی



مجموع

> ۱۰۰

تامین‌کنندگانی که  
اختصاصاً قطعات  
سخت‌افزار حسگرهای  
کوانتومی را تولید  
نمی‌کنند. (شامل ۳۹  
تامین‌کننده متمرکز بر  
قطعات سنجش  
کوانتومی)

۵۸

۱۳

۱۶

%۵۱

%۲۱

%۲۸

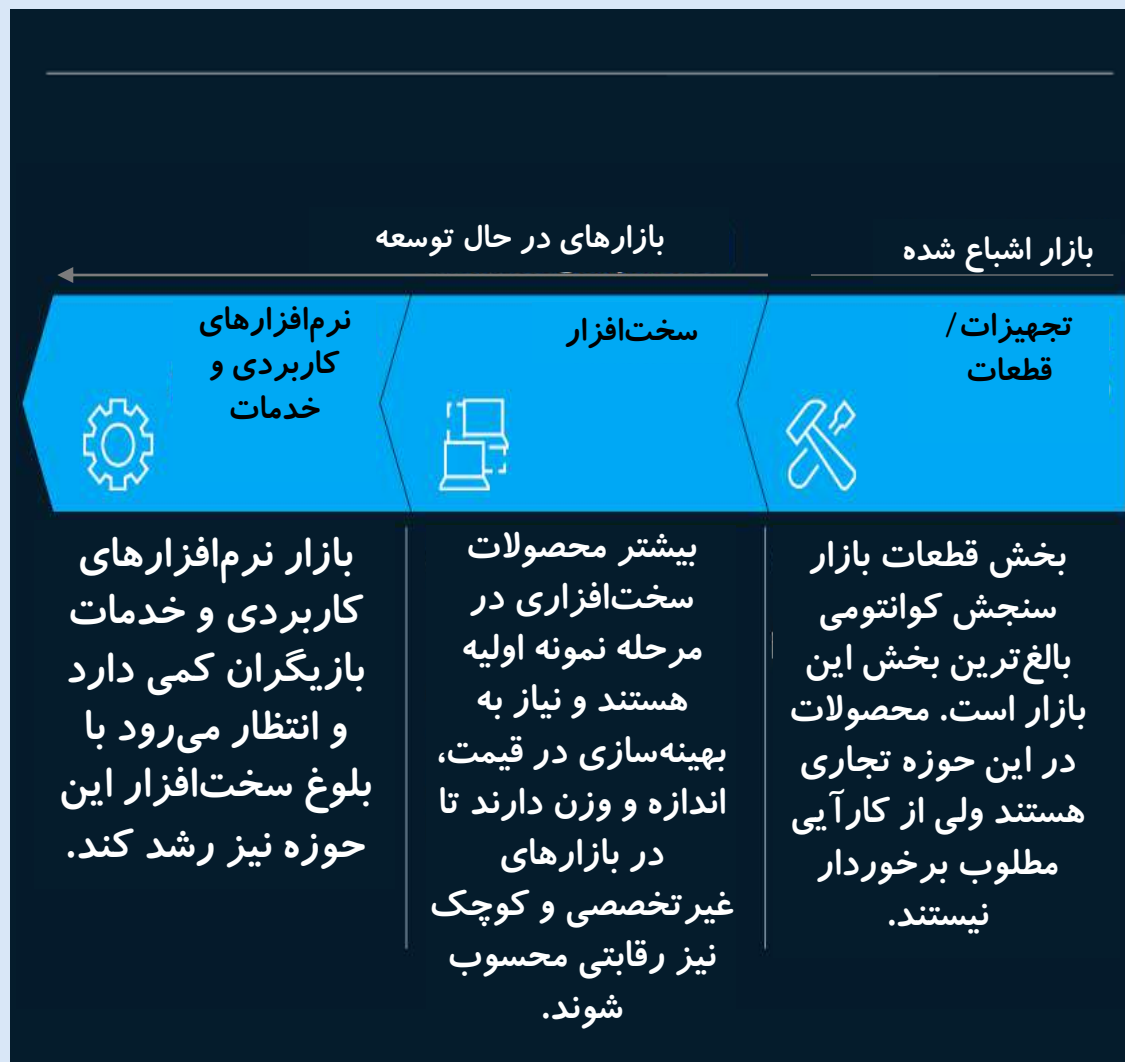
سهم از کل تامین مالی استارت‌آپ‌ها

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%20ofunctions/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

## سهم کشورها از پتنت‌های فناوری کوانتوم

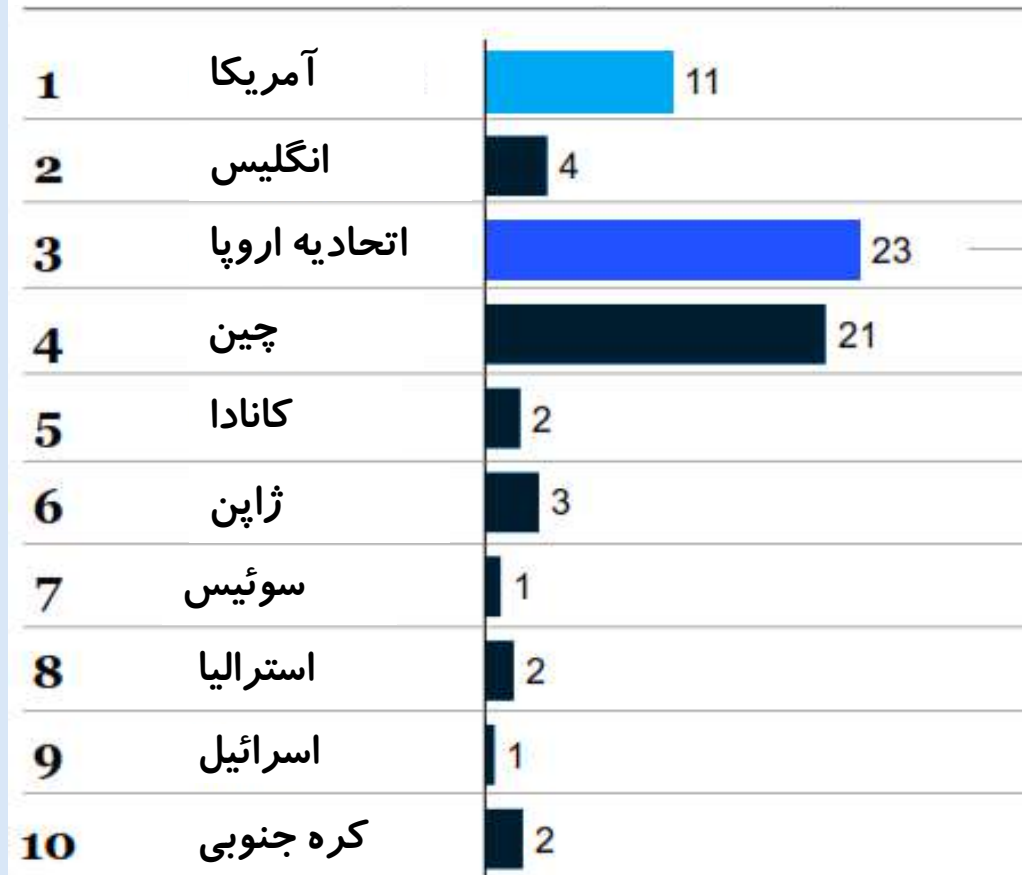
- افزایش چشمگیر سهم پتنت‌های ثبت شده توسط چین در سال‌های اخیر متاثر از سیاست‌های دولت چین
- حضور ژاپن در بین ۳ کشور اول توسعه پتنت در این حوزه از ابتدای سال ۲۰۰۰ نشانه کاربرد بسیار زیاد این فناوری در صنایع مختلف
- بیشترین تعداد پتنت تا سال ۲۰۰۵ متعلق به آمریکا و اتحادیه اروپا و روند کاهشی با تغییر فرهنگ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

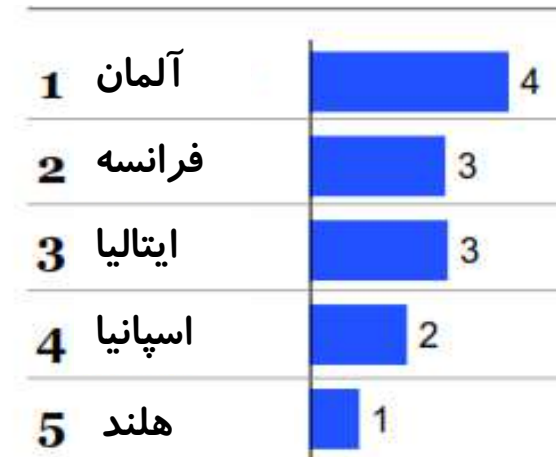
# سهم کشورها از انتشار مقالات در حوزه فناوری کوانتوم

پیشگامی آمریکا در پژوهش‌های دانشگاهی با انتشار مقالات علمی با بالاترین شاخص اثر گذاری  
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 اثر گذاری کشورها

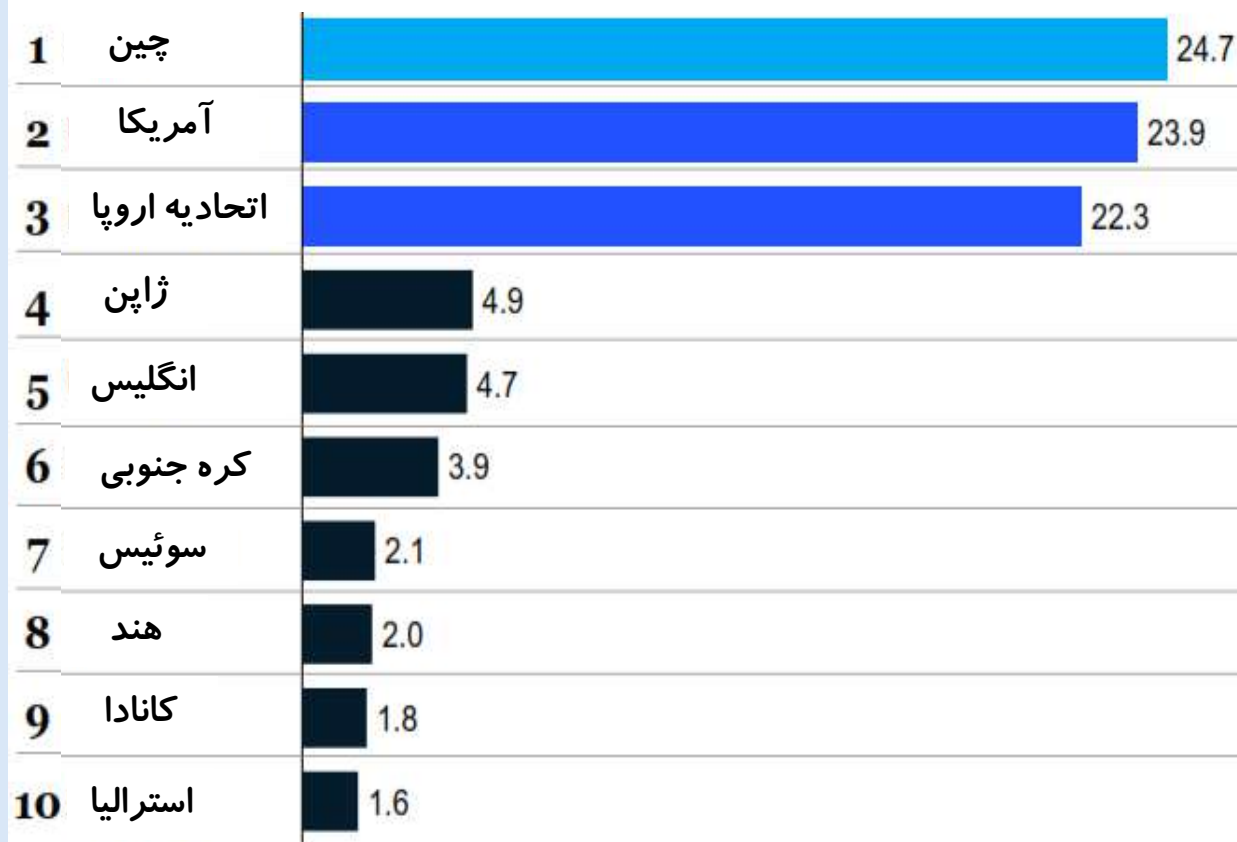


۵ کشور برتر اتحادیه اروپا  
سهم مقالات حوزه کوانتوم و رتبه H-index



# سهم پژوهشگران کشورها در انتشار مقالات حوزه فناوری کوانتوم

۱۰ کشور برتر در سال ۲۰۲۱، بر اساس سهم مشارکت پژوهشگران در منتشرات علمی.٪



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

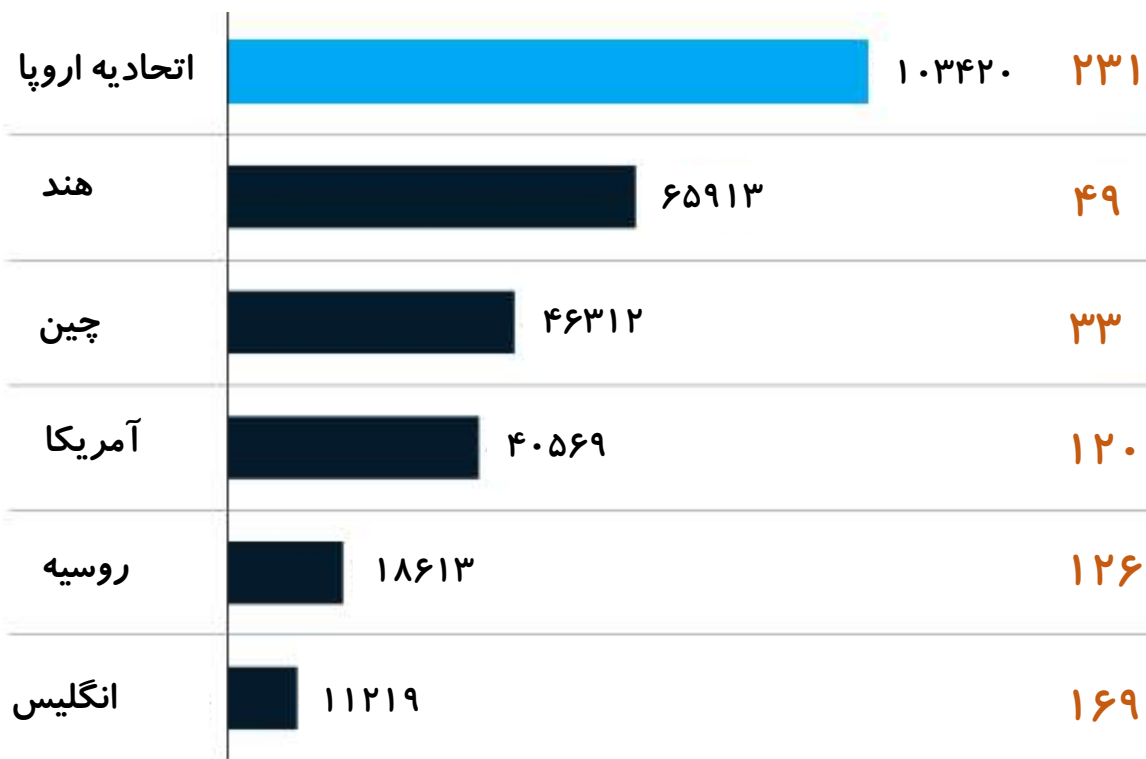


محققان وابسته به موسسات آمریکایی و اتحادیه اروپا به ترتیب در انتشار ۲۴٪ و ۲۲٪ از کل منتشرات علمی مشارکت داشته اند.

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 فارغ التحصیلان حوزه فناوری کوانتوم

تعداد فارغ التحصیلان مرتبط با فناوری کوانتوم در سال ۲۰۱۹  
(سرانه فارغ التحصیلان به ازای هر یک میلیون نفر جمعیت)



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



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

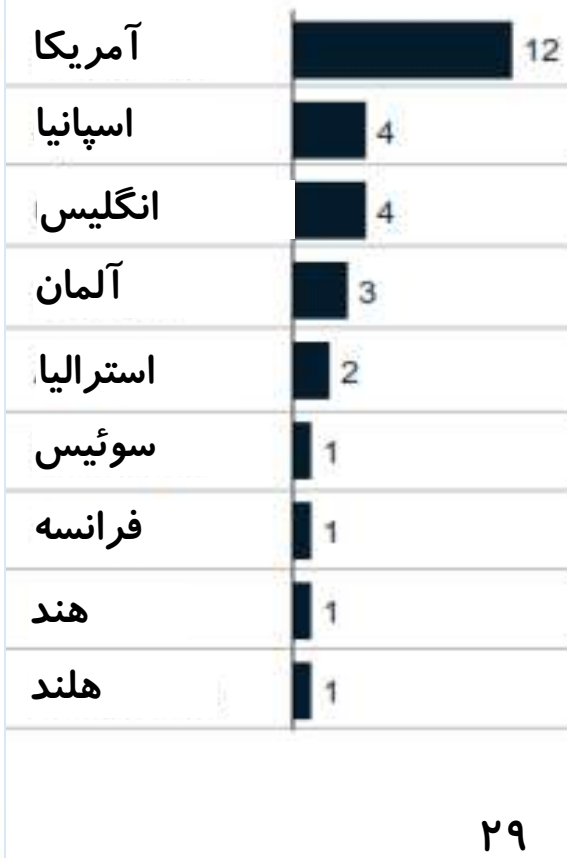
McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor. available at: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20ofunctions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20ofunding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf>

# پراکندگی جغرافیایی دانشگاه‌های فعال در حوزه فناوری کوانتوم

دانشگاه‌های دارای برنامه پژوهشی در حوزه فناوری کوانتومی در سال ۲۰۲۱



دانشگاه‌های ارائه دهنده مدرک کارشناسی در سال ۲۰۲۱



۱۷۶ دانشگاه دارای برنامه پژوهشی در حوزه کوانتوم هستند اما تعداد کمی از آن‌ها (۲۹ دانشگاه) 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%20of%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20funding%20remains%20strong%20but%20talent%20gap%20raises%20concern/quantum-technology-monitor.pdf>

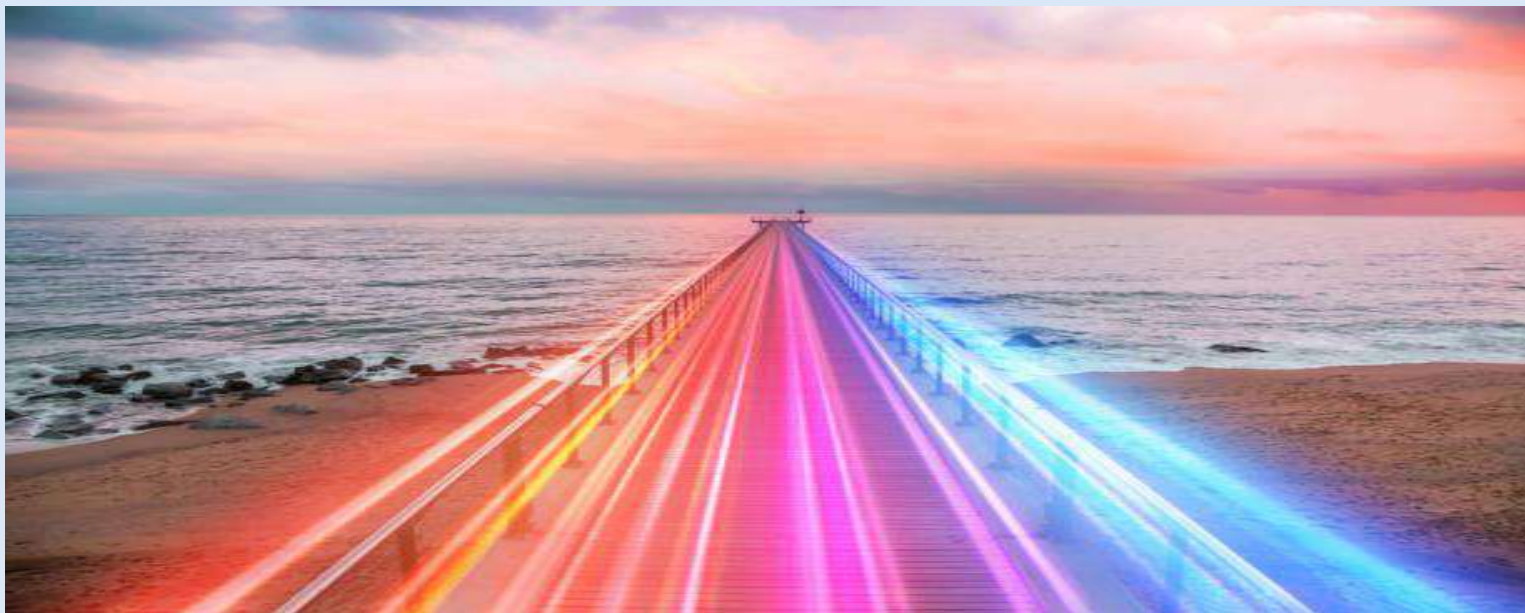
# فناوری کوانتوم به کجا می‌رود؟

- ❑ 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.



## 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 برنامه‌های کاربردی 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.



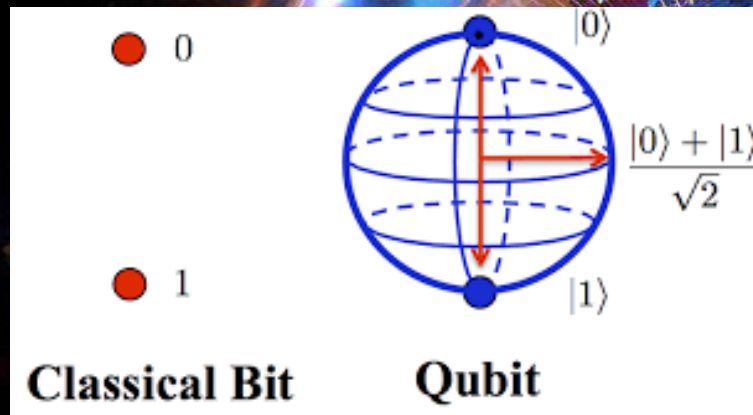
McKinsey & Company (2022). Quantum technology Monitor



# انواع فناوری کیوبیت

نوع فناوری	نوع کیوبیت	مزیت‌ها	معایب
اتم‌های خنثی	تغییر سطح انرژی و چرخش اتم‌های خنثی در یک شبکه فوتونیک	کیوبیت‌های تقریباً 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 کاملاً 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
ابرساناها	تغییر شار مغناطیسی در پیوند جوزفین در ابررساناها	تولید مقیاس‌پذیر و کاملاً 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 اختیار کند. کیوبیت با استفاده از سیستم‌های مکانیکی کوانتومی نظیر اسپین الکترون، قطبش فوتون، سطح انرژی اتم قابل پیاده‌سازی است.

# تعریف فناوری‌های کیوبیت

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)

اتم‌های  
خنثی

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.

شبکه  
فوتونیک

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 می‌توان 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 نارسانا تبدیل شوند و مانند یک کلید عمل کنند.

نقاط  
کوانتومی

## تعریف فناوری‌های کیوبیت (۱)

اسپین الکترون که در نقطه کوانتومی محبوس شده است، می‌تواند 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 اسپین‌های مجاور اعمال می‌شود. به کمک یک میدان مغناطیسی ثابت و رزونانس اسپین الکترون، می‌توانیم حالت‌های بیت کوانتومی اسپین را تغییر دهیم.

چرخش  
حالت  
جامد

کیوبیت ابررسانا یک اتم مصنوعی روی یک تراشه سیلیکونی است که در اثر اعمال جریان الکتریکی در خازن‌ها و نقاط اتصال تونلی ایجاد می‌شود.

ابررسانا

در این روش، اطلاعات در حالت‌های اتمی-یونی ذخیره می‌شود. تعدادی از یون‌ها در میدان‌های الکترومغناطیسی به دام می‌افتند، این ذرات را می‌توان با اعمال باریکه‌های لیزر مناسب با آن‌ها 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 یون‌ها همانند گذرگاه داده‌ها عمل می‌کند که موجب می‌شود کیوبیت‌ها بتوانند با یکدیگر حرف بزنند.

یون‌های  
در دام  
افتاده

# فهرست فناوری‌های کیوبیت در گزارش

اتم‌های خنثی  
تغییر سطح انرژی و چرخش اتم‌های  
خنثی در یک شبکه فوتونیک

اتم‌های خنثی

یون‌های به دام افتاده

تغییر شار مغناطیسی در پیوند  
جوزفین در ابررساناها

فوتونیک

قطبی شدن، تغییر زمانی و مکانی  
فوتون‌ها در موج‌برهای نوری

نقاط کوانتومی

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

چرخش حالت جامد

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

ابررساناها

تغییر شارژ شار مغناطیسی در  
پیوند جوزفین در ابررساناها

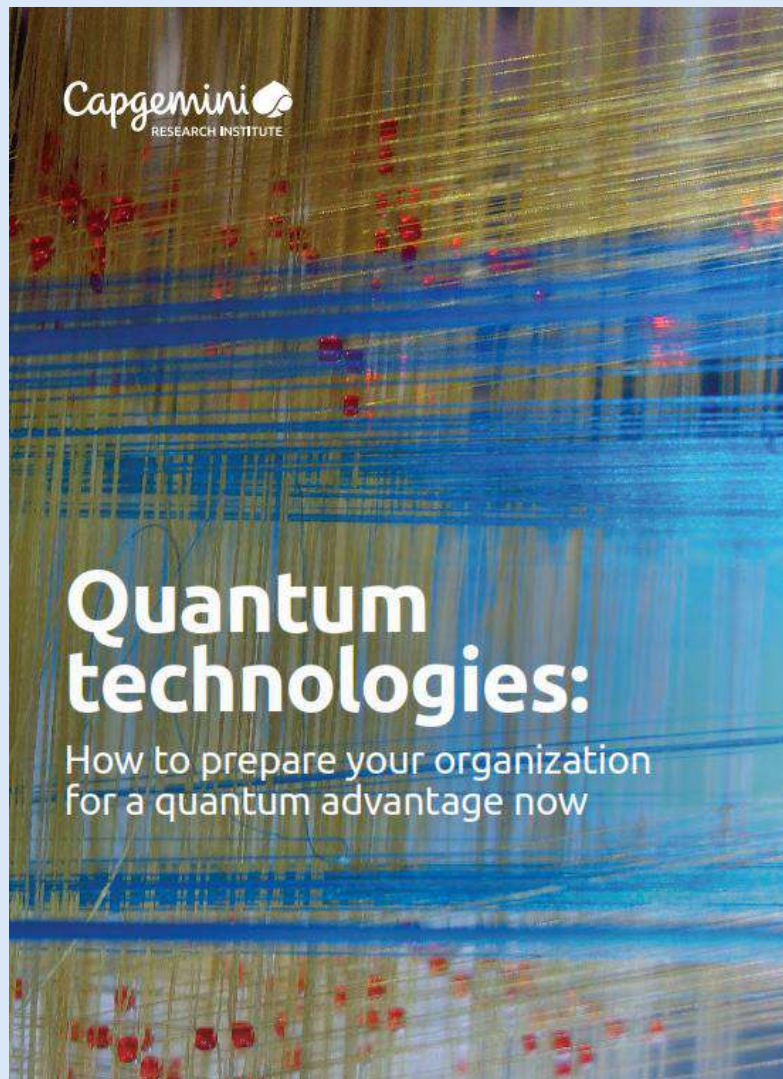
# ۸- فناوری‌های کوانتوم

---

چگونه سازمان خود را برای ایجاد مزیت کوانتومی آماده کنیم؟

The logo for Capgemini, featuring the word "Capgemini" in a blue, sans-serif font, followed by a blue icon of a teardrop or a stylized drop.

# 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



## ۳. سنجش کوانتومی

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

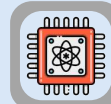
حسگرهای کوانتومی دقت اندازه‌گیری بی‌نظیری ارائه می‌کنند و در حوزه‌هایی نظیر تصویربرداری پزشکی، همگام‌سازی زمان ماهواره و تشخیص نشت گاز استفاده می‌شوند.



## 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 می‌کند.









## 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.

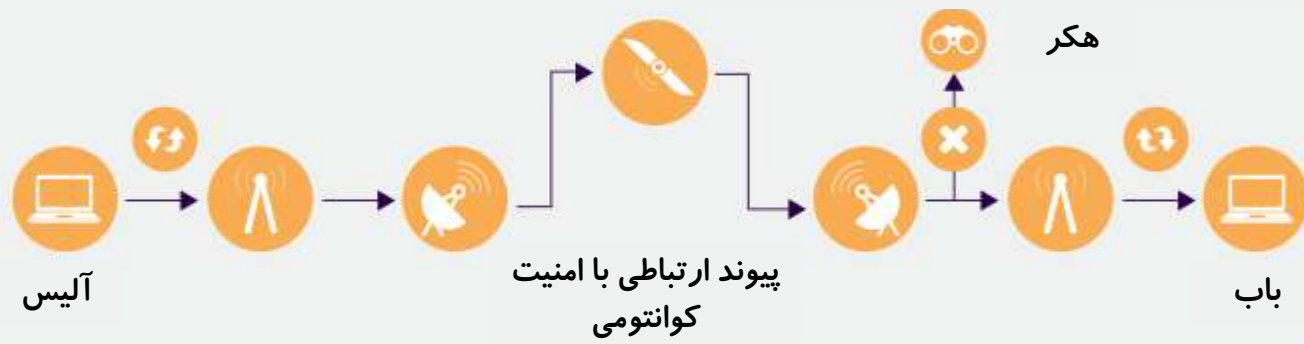


# ۱. فناوری پردازش کوانتومی

<p>فناوری چیست و چگونه کار می‌کند؟</p>	<p>هر کیوبیت حالت‌های زیادی را در هر لحظه به خود می‌گیرد.</p>  <p>کیوبیت‌ها</p>	<p>امکان انجام محاسبات پیچیده بطور موازی</p>  <p>پردازنده کوانتومی</p>	<p>نوشتن الگوریتم‌های کوانتومی برای تامین سرعت‌های بسیار بالا با منابع محاسباتی کم</p>  <p>الگوریتم‌های کوانتومی و افزایش سرعت</p>	<p>امکان حل یا ساده‌سازی مسائلی که برای کامپیوترهای کلاسیک دشوار است.</p>  <p>کشف دارو در علوم زندگی</p>  <p>قیمت‌گذاری محصولات جانبی در خدمات مالی</p>  <p>طراحی یا بهینه‌سازی زنجیره تامین و برنامه‌ریزی تولید در صنایع تولیدی مختلف</p>
<p>وضعیت فعلی</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• کامپیوترهای کوانتومی مسائل بازی (غیرواقعی) را حل می‌کنند که نمایانگر مسائل دنیای واقعی است.</li> <li>• 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.</li> </ul>			
<p>فرصت‌های اصلی</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• حل مسائلی که نیاز به بهینه‌سازی، شبیه‌سازی و یادگیری ماشینی پیچیده دارد.</li> </ul>			
<p>چالش‌های اصلی</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• کامپیوترهای کوانتومی فعلی نرخ خطای (نویز) بالایی در خروجی دارند.</li> <li>• کارکرد موثر کیوبیت‌های ابررسانا در دمای بسیار سرد است که شرایط خاص نگهداری را می‌طلبد.</li> <li>• پردازش در مقیاس واقعی نیاز به هزاران کیوبیت دارد درحالی‌که کامپیوترهای فعلی تنها بخشی از آن را فراهم می‌کنند.</li> </ul>			

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

<p>فناوری چیست و چگونه کار می کند؟</p>	<p>۱. آلیس و باب کلیدهای کوانتومی را با استفاده از توزیع کلید کوانتومی تولید و به اشتراک می گذارند.                  ۲. آلیس پیام هایش را با این کلید کوانتومی و هر الگوریتم کدگذاری کلاسیک دیگری کدگذاری می کند.                  ۳. فقط باب که به کلیدهای کوانتومی دسترسی دارد می تواند به پیام دست پیدا کند.                  ۴. استفاده از کلید کوانتومی با روش های کدگذاری امن ثابت شده یکبار مصرف، امنیت و هک نشدن پیام را تضمین می کند.</p>  <p>آلیس      پیوند ارتباطی با امنیت کوانتومی      باب      هکر</p>
<p>وضعیت فعلی</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• شبکه مخابرات کوانتومی، هر چند ساده (اغلب نقطه به نقطه یا نیازمند به واسطه های کمترین و غیر کوانتومی مانند گره های قابل اعتماد) به واقعیت پیوسته است.</li> <li>• اخیراً در هلند سیستم توزیع کوانتومی پیاده سازی شده که در آن چند کاربر می توانند به یک گره مرکزی متصل شده و بطور ایمن تبادل اطلاعات کنند.</li> </ul>
<p>فرصت های اصلی</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• شبکه سازی و ارتباطات امن</li> <li>• انتقال امن داده، عامل بسیار مهم در پردازش و ذخیره و اشتراک گذاری داده ها محرمانه</li> </ul>
<p>چالش های اصلی</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• تبادل امن اطلاعات کوانتومی در مسیرهای طولانی</li> </ul>

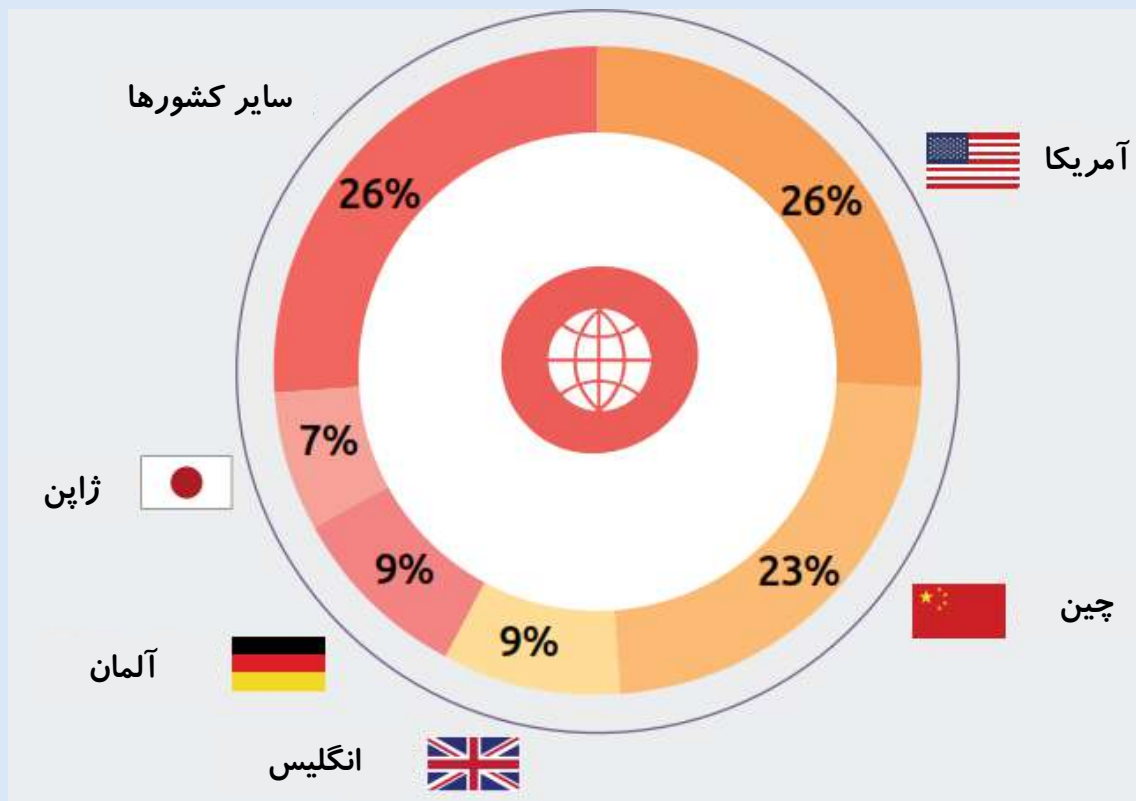
Capgemini(2022). Quantum technologies: How to prepare your organization for a quantum advantage now. available at: <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2022/03/Final-Web-Version-Quantum-Technologies.pdf>

## ۳. فناوری سنجش کوانتومی

<p>فناوری چیست و چگونه کار می‌کند؟</p>	<p>استفاده از اثرات کوانتومی برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف</p> 	<p>زمان سنجی</p> <p>شتاب سنجی و چرخش</p> <p>گرانش</p> <p>میدان الکتریکی و مغناطیسی</p>
<p>وضعیت فعلی</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• روش‌های سنجش کوانتومی مختلفی وجود دارد که هر کدام سطوح فناوری و حوزه‌های کاربردی متفاوتی دارند.</li> <li>• اخیراً، تعداد زیادی حسگر کوانتومی در محیط آزمایشگاهی ساخته شده‌اند تا در صنعت بکار گرفته شوند.</li> </ul>	
<p>فرصت‌های اصلی</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• اندازه‌گیری دقیق میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی</li> <li>• اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی با استفاده از ویژگی‌های اتم</li> <li>• حوزه‌هایی که بکارگیری فناوری‌های موجود دشوار است، مانند ناوبری در نواحی پیچیده (زیرزمین، زیردریا)</li> <li>• در بلند مدت توسعه حسگر کوانتومی می‌تواند ناوبری بدون GPS را برای وسایل نقلیه خودران و ساخت سیستم‌های هشدار اولیه برای بلایای طبیعی و تشخیص بیماری‌های عصبی را ممکن سازد.</li> </ul>	
<p>چالش‌های اصلی</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• موازنه غیراقتصادی میان هزینه و بهبود عملکرد</li> </ul>	

## سهم کشورها از پژوهش در حوزه فناوری کوانتوم

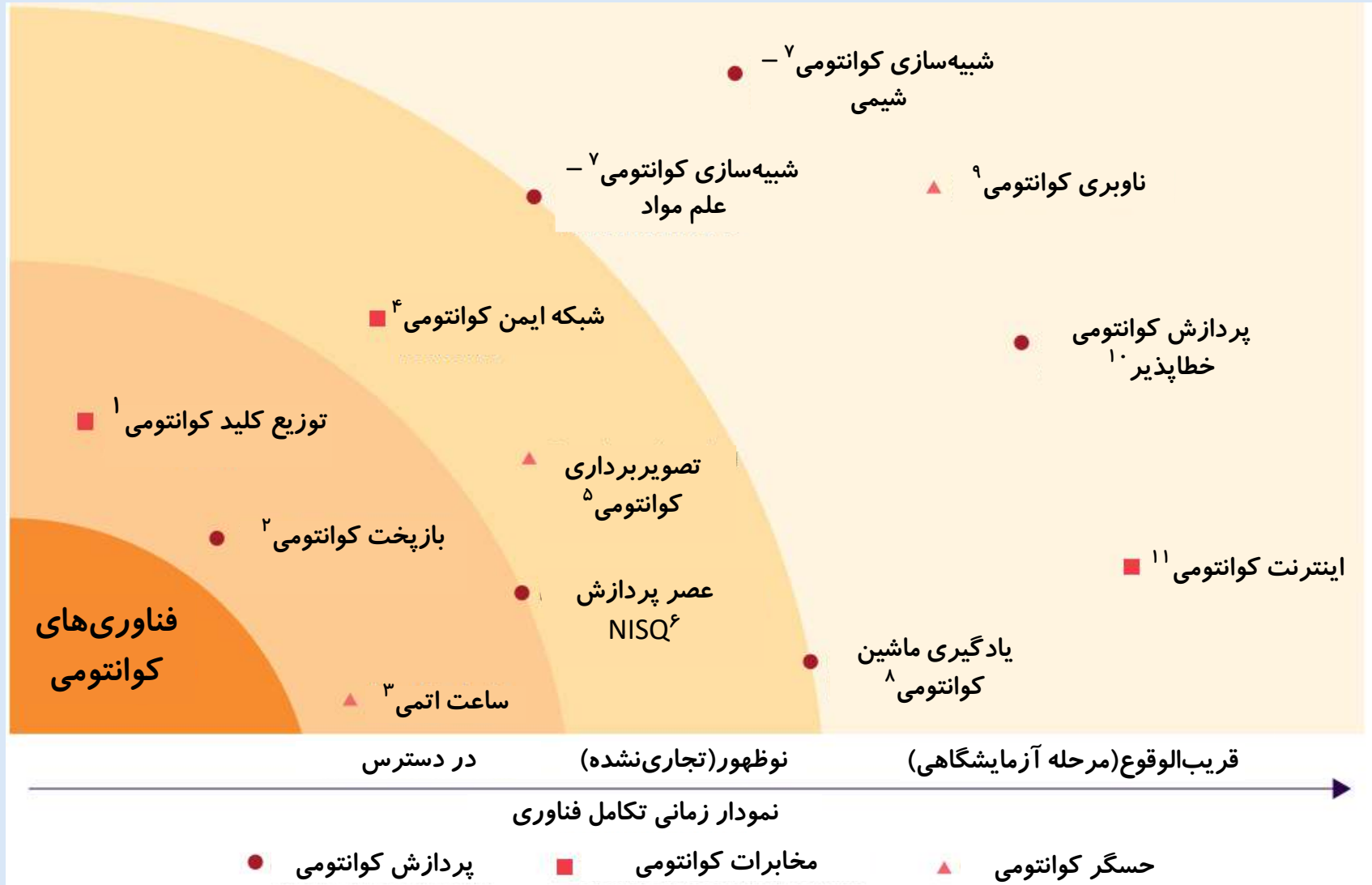
□ در رقابت برای توسعه فناوری کوانتوم، آمریکا، چین و اتحادیه اروپا بودجه عمومی چشمگیری به این فناوریها تخصیص داده‌اند و در تعداد انتشارات نیز پیشتاز هستند. پنج کشور برتر در انتشارات در خصوص فناوریهای کوانتوم آمریکا، چین، انگلیس، آلمان و ژاپن هستند.



انتشارات در حوزه فناوری کوانتوم به تفکیک کشور (۲۰۲۰-۲۱۰)

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 و ویژگی‌های 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 تدریجاً 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.



# 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 می‌گیرد و به «اصلاح خطا» در خروجی خود نیاز دارد.

## تعریف فناوری‌های کوانتوم (۲)

### ۷. شبیه‌سازی کوانتومی (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 کوانتوم 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.





## تعریف فناوری‌های کوانتوم (۳)

### ۱۰. پردازش کوانتومی خطاپذیر

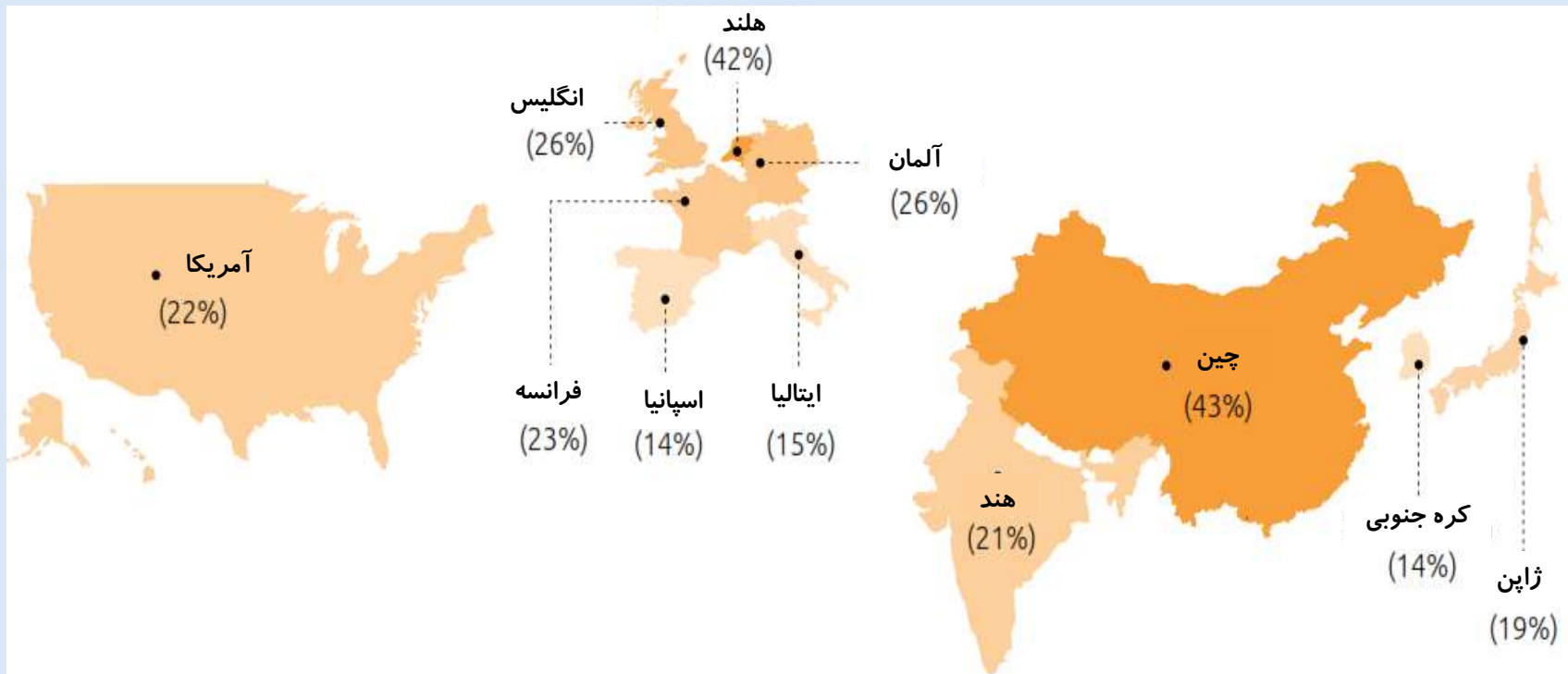
به توانایی سیستم پردازش کوانتومی در انجام محاسبات کوانتومی با قابلیت اطمینان بالا، حتی با وجود نویز و خطا، گفته می‌شود. این قابلیت برای ساخت کامپیوترهای کوانتومی بسیار بزرگ عملیاتی که مسائل دنیای واقعی را حل می‌کنند ضروری است. نویز و خطای حاصل از تعامل کیوبیت‌ها با محیط چالش مهم این فناوری است.

### 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.



# میزان بکارگیری فناوری کوانتوم در کشورها



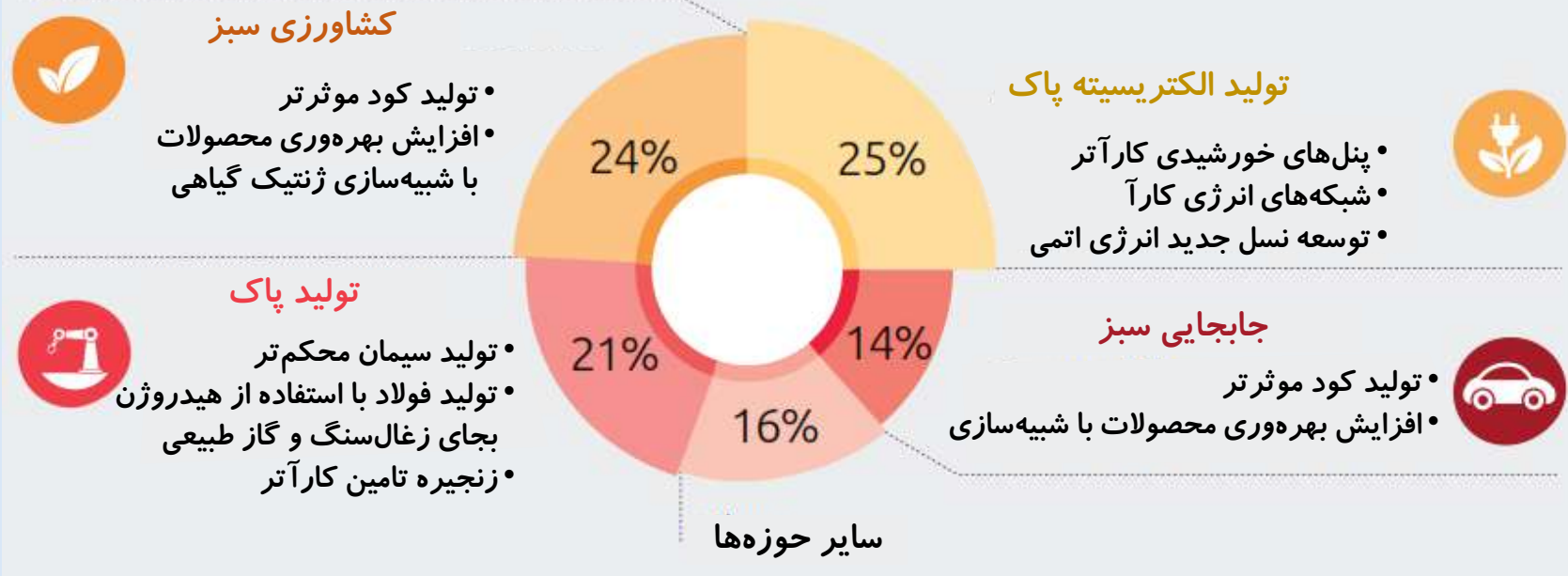
% سهم سازمان‌های که با فناوری کوانتوم کار می‌کنند یا برنامه‌ای برای کار با این فناوری دارند.

(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.

# 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 ابزار حل چالش‌های صنعتی

مسائل مختلفی وجود دارد که به دلیل پیچیدگی زیاد، حتی کامپیوترهای با کارایی 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



مسئله فروشنده دوره گرد: با توجه به لیستی از شهرها و فاصله بین آنها، کوتاه‌ترین مسیر ممکن که یک بار از هر شهر بازدید می‌کند و به مبدأ باز می‌گردد کدام است؟



مسئله کوله پشتی یا مسئله بسته بندی: پر کردن یک کوله پشتی به روشی بهینه با مجموعه‌ای از وزن‌ها و مقادیر مرتبط، به طوری که وزن کل کمتر یا مساوی یک حد باشد و مقدار کل تا حد امکان بزرگ باشد.



شبیه‌سازی مولکولی و تاخوردگی پروتئین: چگونه رفتار و برهمکنش مولکول‌ها را در واکنش‌های شیمیایی شبیه‌سازی کنیم؟ چگونه توالی اسید آمینه یک پروتئین ساختار سه بعدی آن را تعیین می‌کند؟



فاکتورگیری اعداد صحیح یا اول: چگونه یک عدد بزرگ را به حاصل ضرب اعداد صحیح/اول کوچکتر تجزیه کنیم؟

بهینه‌سازی زنجیره تامین، توزیع و مسیریابی، طراحی مدار، برنامه‌ریزی تولید، مدیریت ناوگان و بیمه آن، بهینه‌سازی شبکه الکتریکی و مخابراتی

بهینه‌سازی بارگیری محموله برای کامیون‌ها یا کانتینرها، آخرین مرحله تحویل کالا، بهینه‌سازی سبد سهام، ظرفیت تولید، بهینه‌سازی طراحی

کشف دارو، توسعه باتری الکتریکی خودرو، توسعه مواد جدید، جذب کربن، مطالعه واکنش‌های شیمیایی و رفتار مواد ابررسانا برای اسکنرهای پزشکی

رمزنگاری، امضای دیجیتال، محاسبات تبدیل فوریه سریع (FFT) قابل استفاده در MRI، موسیقی، نجوم و رباتیک

# چالش‌های صنعت و کارکردهای پردازش کوانتومی

	 خودرو	 هوافضا	 شیمی	 خدمات مالی	 علوم زندگی
<b>موارد استفاده آزمایشی از پردازش کوانتومی در صنعت</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>مدیریت ترافیک</li> <li>بهینه‌سازی طراحی خودرو</li> <li>شبیه‌سازی تصادف</li> <li>تولید باتری</li> <li>افزایش راندمان صنعتی</li> <li>بهینه‌سازی زنجیره تامین</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>کنترل ترافیک هوایی</li> <li>بهینه‌سازی طراحی هواپیما</li> <li>بهینه‌سازی ناوگان، خدمه، سوخت</li> <li>بهینه‌سازی بارگیری محموله</li> <li>بهینه‌سازی زنجیره تامین</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>مدلسازی و بهینه‌سازی واکنش‌های شیمیایی</li> <li>تولید باتری</li> <li>شبیه‌سازی و اکتشاف مولکولی</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>مدیریت ریسک</li> <li>مدیریت سبد سهام پویا</li> <li>قیمت‌گذاری محصولات جانبی</li> <li>تشخیص تقلب</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>شناسایی اهداف بیولوژیک</li> <li>شناخت و بهینه‌سازی ترکیبات دارویی</li> <li>شناخت برهم‌کنش‌های دارویی</li> <li>تشخیص بیماری‌ها</li> <li>بهینه‌سازی کارآزمایی بالینی</li> </ul>
<b>مزایای بالقوه</b>	تولید و فروش پربازده خودرو، طراحی مواد بهتر، ورود به بازارهای جابجایی جدید	تولید و لجستیک پربازده هواپیما	ورود به بازارهای جدید با مواد جدید و تولید پربازده	ایجاد درک بهتر از مواجهه با ریسک، بازدهی عالی سبد سهام، کاهش ریسک تقلب	افزایش سرعت ساخت داروی جدید، بازده بهتر سرمایه، ورود به بازار 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 مخبرات 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



سرمایه گذاری، مهارت بازاریابی و کسب و کار، رویکرد برو-به-بازار

تامین مالی برنامه های شبکه بزرگ کوانتوم و دور هم جمع کردن ذینفعان

تعیین استانداردها و عملکردهای پیشرو

ارتقاء توسعه زیرساخت های توانمندساز نظیر فیبرنوری و ماهواره

الگوریتم رمزنگاری و توسعه نرم افزار

# انواع فناوری مخبرات امن کوانتومی



## □ توزیع کلید کوانتومی:

روش غیر قابل هک مبتنی بر درهم تنیدگی کوانتومی است که با استفاده از آرایه‌ای از تک فوتون‌ها و اشتراک گذاری کلیدهای رمز گذاری بین دو مکان، اطلاعات را به صورت ایمن انتقال می‌دهد. این روش در مرحله راستی آزمایی 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 رمز گذاری فعلی در شبکه‌های کلاسیک برای ایمن ساختن آنها از حمله پردازشگرهای کوانتومی را رمزنگاری پسا کوانتومی می‌گویند که استانداردهای آن در حال توسعه است.




# مقایسه دو فناوری تامین امنیت در مخابرات کوانتومی

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

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 کاربردهای 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.

# کاربرد بین بخشی نسل جدید حسگرهای کوانتومی

## گرانش سنج کوانتومی برای اکتشاف و نقشه برداری از زمین و آب

- کمک به یافتن عناصر زیر خاک یا زیر آب نظیر لوله، فیبر، معدن، حفره یا تونل
- دارای کاربرد در معدن، ساخت و ساز، مخابرات و بخش دفاعی
- پایش بلایای طبیعی و تغذیه اطلاعاتی مدل‌های آب و هوایی برای کمک به بیمه و بخش دولتی



## حسگرها و نوسان گرها برای ناوبری بدون GPS

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



## حسگرهای کوانتومی برای کنترل فرآیند و امنیت

- تشخیص نشت یا سرریز در طول 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



## کاربردهای تجاری نوظهور حسگرهای کوانتومی

## مغناطیس سنج برای تصویربرداری پزشکی

- هاب فناوری کوانتوم در انگلیس دستگاه (OPM) پرتاب مغناطیس سنج 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



# جمع‌بندی فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

## 1

پردازش  
کوانتومی

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

- کامپیوتر کوانتومی
- پردازش کوانتومی خطاپذیر
- یادگیری ماشینی کوانتومی

## 2

مخابرات  
کوانتومی

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

- اینترنت کوانتومی
- رمز‌گذار در پیوندها
- تراشه فرستنده کوانتومی

## 3

حسگر  
کوانتومی

- ساعت اتمی
- حسگر گازی
- میدان الکتریکی سنج
- آشکارساز تک فوتون
- پرتوشکن

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

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

# ۹- چالش‌های فناوری‌های کوانتوم

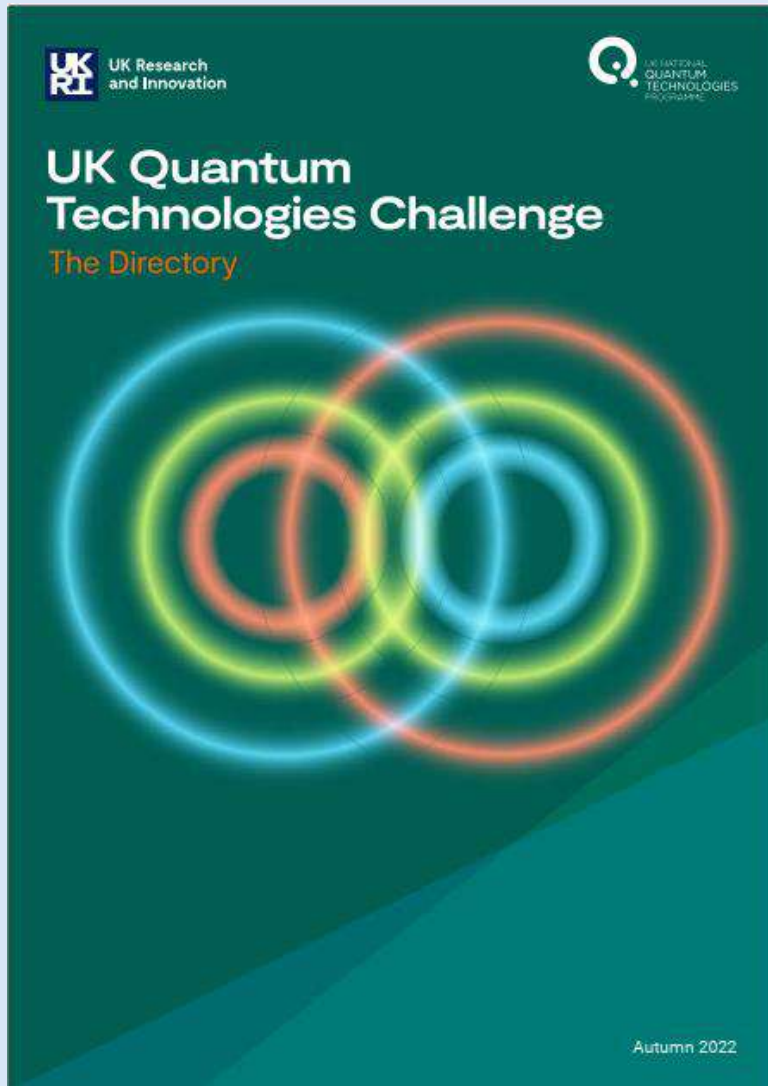


UK NATIONAL  
QUANTUM  
TECHNOLOGIES  
PROGRAMME



UK Research  
and Innovation

# 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](https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf)

# برنامه ملی چالش فناوری کوانتوم

وضعیت برنامه ملی فناوری کوانتوم 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](https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf)

# وضعیت فناوری کوانتوم در انگلیس

بیش از ۳۹۰ میلیون پوند سرمایه‌گذاری بخش خصوصی از سال ۲۰۱۸



بیش‌بینی بازار جهانی ۲۱ میلیارد پوندی در سال ۲۰۲۵



یکی از ۶ بخش با بیشترین رشد در انگلیس در سال ۲۰۲۰



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](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 تسريع در سرمايه‌گذاري خصوصي و زمينه‌سازي براي راهبري صنعتي انگليس در برنامه ملي رفع چالش‌هاي فناوري کوانتوم اين کشور طراحی شده است؛

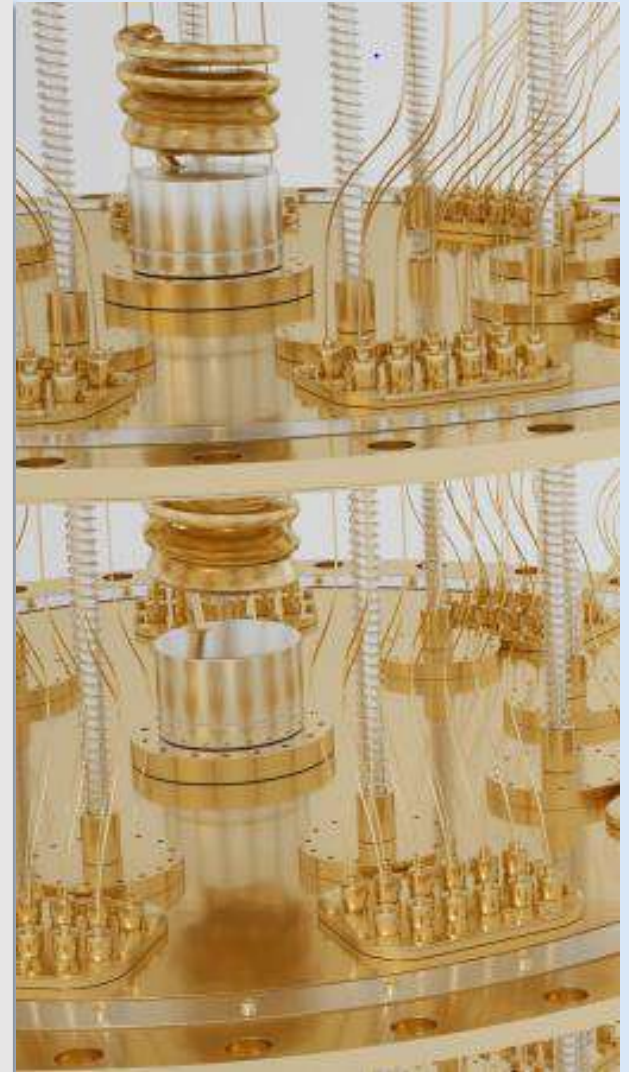
✓ پروژه تحقيق و توسعه مشترک: حداکثر مدت ۳ سال و کمک‌هزينه ۱۰ ميليون پوند با هدف تجاري‌سازي کالا و خدمات کوانتومي

✓ پروژه فناوري: حداکثر مدت ۳ سال و کمک‌هزينه ۱۰ ميليون پوند و با هدف رفع موانع فني تجاري‌سازي در صنعت کوانتوم

✓ مطالعه امکان‌سنجي: حداکثر مدت ۰.۵ سال و کمک‌هزينه ۰.۵ ميليون پوند با هدف نوآوري

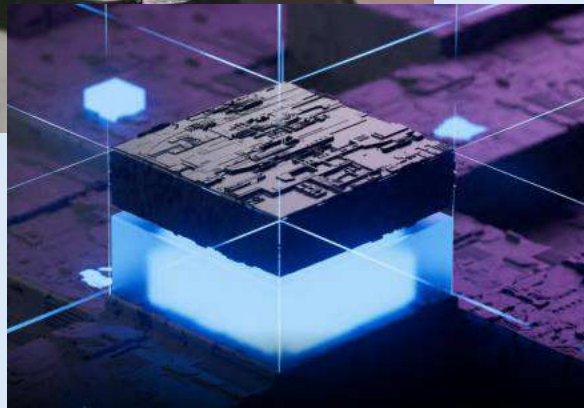
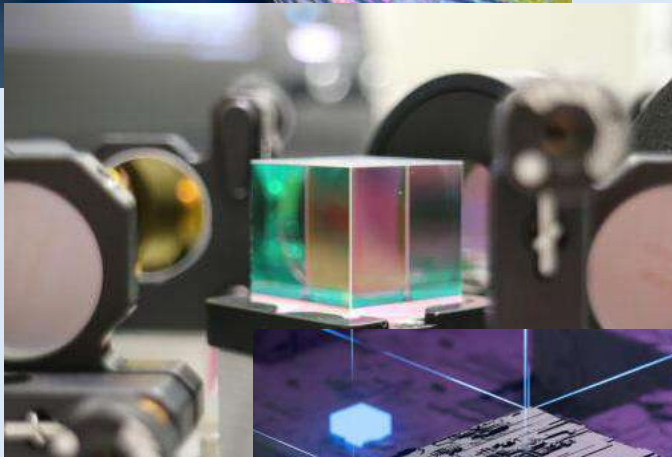
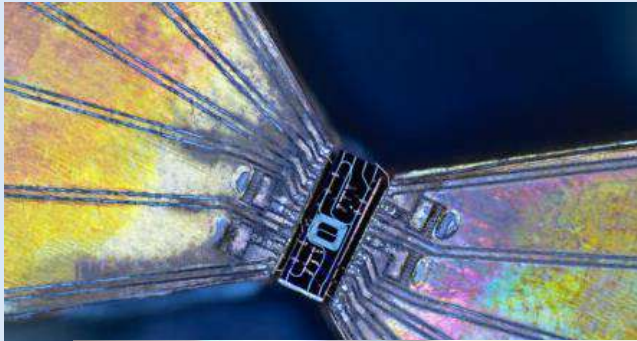
✓ مشارکت سرمايه‌گذار: کمک بلاعوض متناسب با حقوق صاحبان سهام و با هدف کاهش ريسک سرمايه‌گذاري خصوصي

✓ پروژه بين‌المللي: حداکثر مدت ۳ سال و کمک‌هزينه ۰.۵ ميليون پوند با هدف همکاري بين‌المللي صنعت و دانشگاه براي تجاري‌سازي نوآوري





# دلایل توسعه فناوری کوانتوم



✓ فناوری کوانتوم عامل ایجاد تغییر چشمگیر در راستای افزایش سطح سلامت، رفاه و رقابت پذیری کشورها و یکی از اجزاء مهم تامین امنیت و انعطاف پذیری در برابر چالش های آینده

✓ برنامه ها و اقدامات گسترده دولت برای توسعه محصولات و خدمات مبتنی بر کوانتوم در اغلب اقتصادهای پیشرفته در فضایی کاملا رقابتی

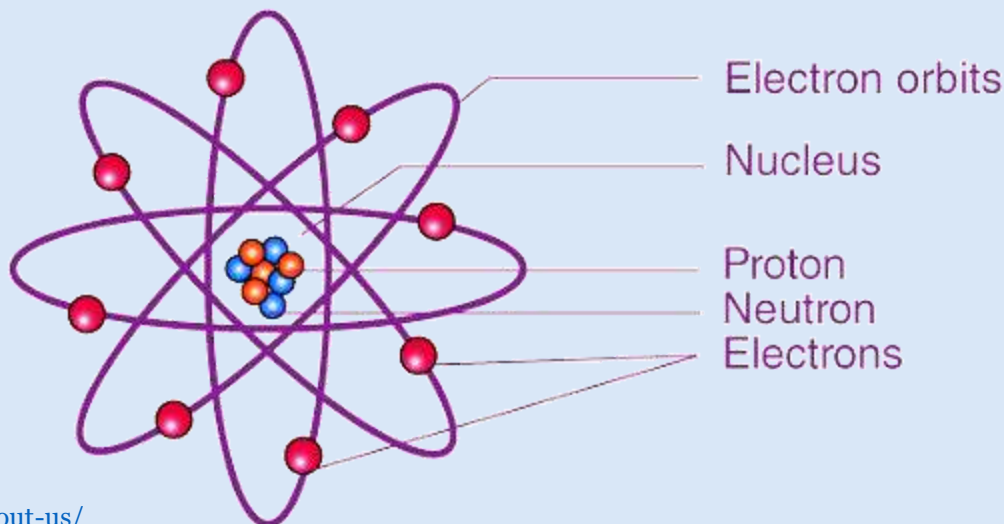
✓ ضرورت آمادگی و انعطاف پذیری برای مواجهه با فناوری کوانتومی و چالش های آن با توجه به وسعت تاثیر آن بر امنیت، دفاع و در نهایت لزوم توسعه فناوری کوانتوم بومی در کشور

# تعریف فناوری کوانتوم

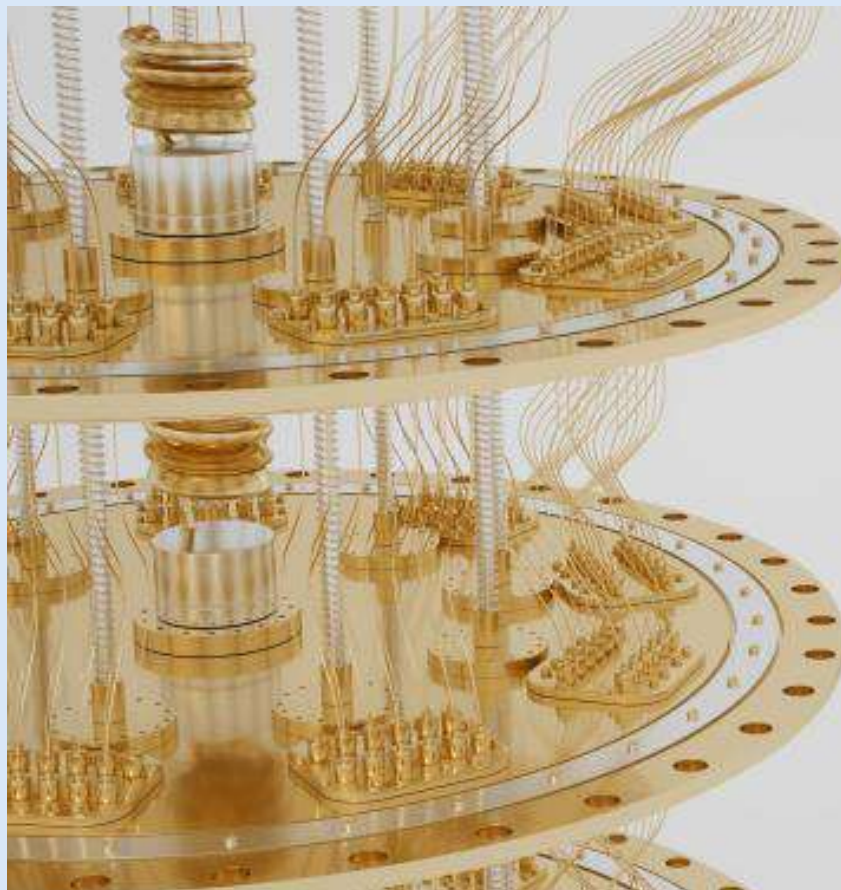
✓ فناوری کوانتوم، پیشرفتهایی مبتنی بر کنترل طبیعت در سطح مولکولی نظیر اتم، فوتون، الکترون و مواد متراکم است. طبیعتی که دیگر بر اساس قوانین نیوتن، ترمودینامیک و معادلات ماکسول از الکترومغناطیس تعریف نمی‌شود.

✓ 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):** برهم کنش ذرات با یکدیگر حتی در فواصل خیلی زیاد از هم
- **عدم قطعیت (Uncertainty):** عدم امکان اندازه گیری موقعیت و گشتاور ذره بطور همزمان



# 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 نقشه ۳بعدی 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

# 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



# 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.

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

دانشگاه

۸ شرکت



# 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

# 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 روییدیوم 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 حفره‌ها، لوله‌ها، تونل‌ها، 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

۲ دانشگاه  
۱۰ شرکت



UNIVERSITY OF  
BIRMINGHAM

# 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

۲ دانشگاه

۸ شرکت



UNIVERSITY  
of York



Cardiff  
Metropolitan  
University



# 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 منحصر به فرد 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: ۲.۸ میلیون پوند

۷ شرکت



# 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 مغناطیس‌سنج 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](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 در آغوش والدین اسکن شود مورد نظر است.

مغناطیس‌سنج اپتیکی پمپ شده

Optically Pumped Magnetometers (OPMs)

تشخیص اختلالات مغزی در نوزادان

هزینه پروژه: ۰.۰۵ میلیون 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](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

US UNIVERSITY  
OF SUSSEX



University of  
**Strathclyde**  
Glasgow

# 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 فوتون‌ها 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.



THE UNIVERSITY  
of EDINBURGH



University of  
**Strathclyde**  
**Glasgow**



UNIVERSITY OF  
CAMBRIDGE

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

# 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، تصویربرداری 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.

حسگر تصویربرداری  
گاز متان

Gas (Methane) Imagers

کاهش انتشار کربن و  
تغییرات اقلیمی

هزینه پروژه: ۲.۴ میلیون پوند

۳ دانشگاه

۸ شرکت



University of  
BRISTOL



University of  
Sheffield

# 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، با سرعت 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

# فناوری‌های تصویربرداری کوانتومی (۴)

## چالش فناوری و کارکرد آن

نسل جدید از تصویربرداری ترارترتزی که با سرعت، حساسیت، ایمنی بالا تصویربرداری نموده و بر اساس مفهوم تبدیل پرتو کم انرژی با طول موج ترارترتزی 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.



تصویربرداری ترارترتزی

Terahertz (THz) imagers

رفع چالش‌های فعلی  
تصویربرداری در صنعت

هزینه پروژه: ۰.۳۹ میلیون  
پوند

۱ دانشگاه

۴ شرکت



# فهرست فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

# 1

مخابرات  
کوانتومی

- گیرنده نوری زمینی
- قطعات ماهواره‌ای QKD
- مولد عدد تصادفی کوانتومی نويز سیاه

# 2

حسگر  
کوانتومی

- مغناطیس سنج اپتیکی پمپ شده
- حسگر کوانتومی تست باتری انتهای خط تولید
- مغناطیس سنج اتمی RF

- حسگر کوانتومی اتم سرد
- ساعت اتمی مینیاتوری
- سیستم ناوبری کوانتومی

# 3

تصویربرداری  
کوانتومی

- توموسنتز دیجیتال کوانتومی
- تصویربرداری ترانز

- سیستم محدوده یاب و تصویربرداری ۳بعدی
- حسگر تصویربرداری گاز متان

# ۱۰- فناوری های کوانتوم با فوتون

---

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS

# چالش‌های فناوری کوانتوم

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS

**Quantum Technologies with Photons:  
Trends, Opportunities and Challenges**

☑ 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 ۵ هزار نیروی کار و  
چندین شرکت تابعه در ۱۶ کشور)

☑ سال نشر: ۲۰۲۲

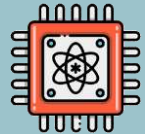
☑ افق زمانی: -

☑ هدف و مخاطبین:

معرفی فناوری‌های کوانتوم مبتنی بر فوتونیک

# ۴ دسته اصلی فناوری‌های کوانتوم

۱. پردازش و شبیه‌سازی کوانتومی



۲. مخبرات کوانتومی



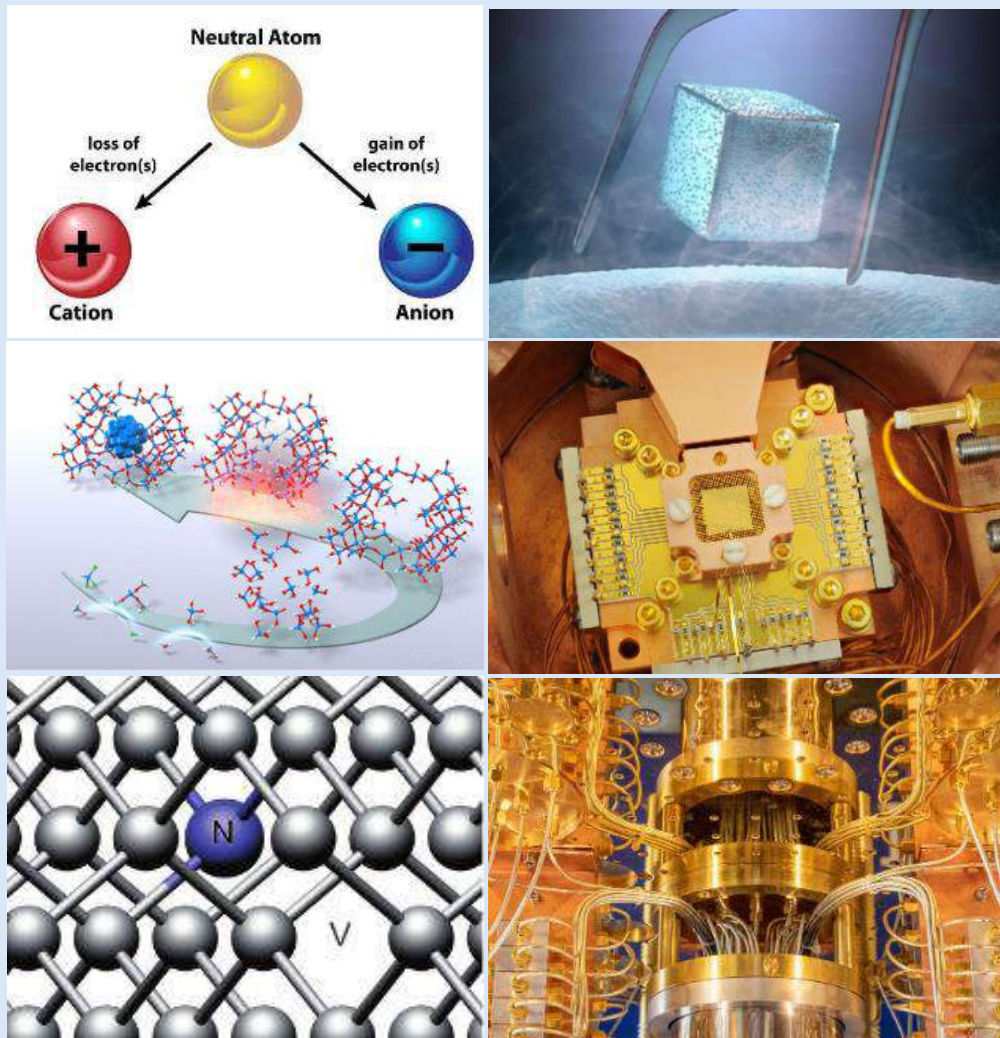
۳. سنجش کوانتومی



۴. پژوهش بنیادین



# ۱. انواع فناوری پردازش و شبیه‌سازی کوانتومی



## پردازش و شبیه‌سازی کوانتومی

### ✓ پردازشگر کوانتومی<sup>۱</sup>

- گره کوانتومی سیلیکونی
- ابررسانایی
- یون به‌دام افتاده
- اتم خنثی
- فوتونیک
- خلا نیتروژن
- توپولوژیکی

### ✓ بازپخت کوانتومی<sup>۲</sup> (Annealing)

### ✓ شبیه‌ساز کوانتومی<sup>۳</sup>

- 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](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

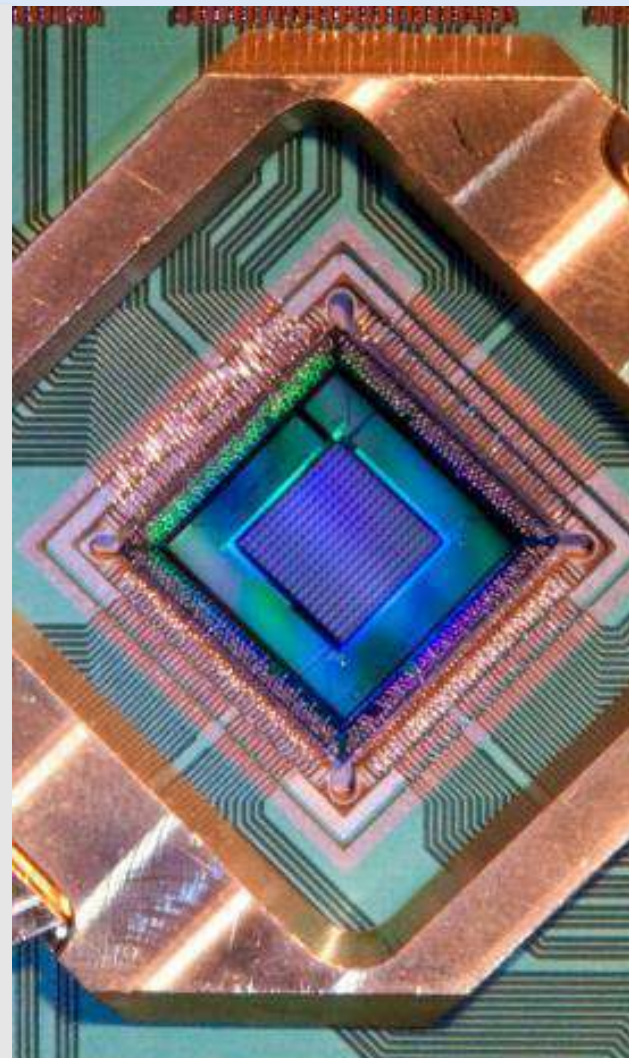
۱. پردازشگر کوانتومی مبتنی بر گره کوانتومی سیلیکونی، ابررسانا، یون‌های در تله، خلانیتروژن، فوتون و توپولوژیکال

**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 جمعیت با سیستم‌های الکترونیکی بر پایه 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 باردار 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

**خلانیتروژن:** 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 کوانتومی و دقت بالا



# 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 و کارایی **توپولوژیکال:** نوعی پردازشگر 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 تدریجاً 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.



## ۲. انواع فناوری مخابرات کوانتومی



### مخابرات کوانتومی

رمزنگاری پسا کوانتومی<sup>۴</sup> ✓

مولد عدد تصادفی کوانتومی<sup>۵</sup> ✓

توزیع کلید کوانتومی<sup>۶</sup> ✓

- متغیر پیوسته
- متغیر گسسته / بدون درهم تنیدگی
- متغیر گسسته / با درهم تنیدگی
- ابعاد بالا

شبکه کوانتومی ✓

- تکرار کننده کوانتومی
- بافر / حافظه کوانتومی



## 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 رمزنگاری شبکه‌محور که مبتنی بر مسائل ریاضی هستند که حل آن‌ها برای کامپیوترهای کوانتومی مشکل است.

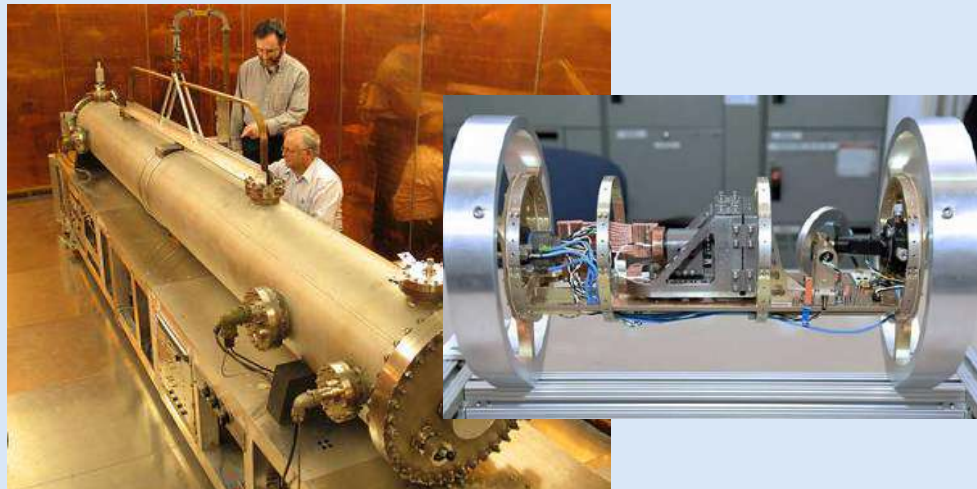
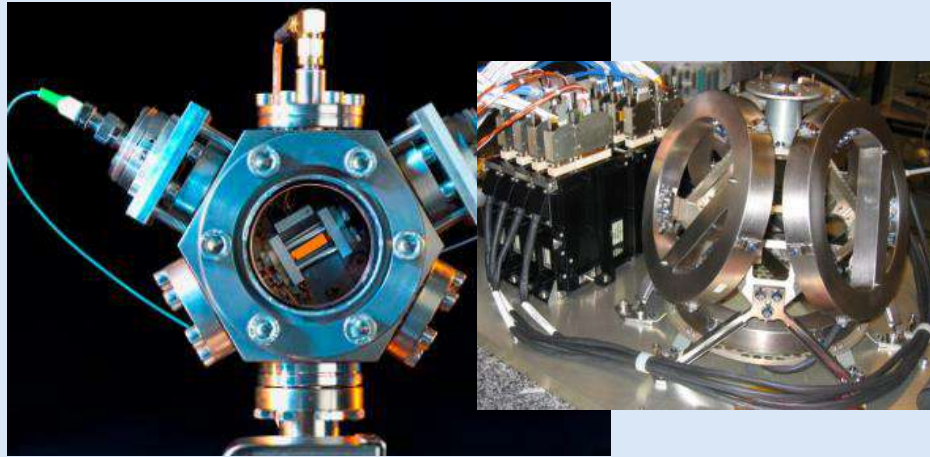
### ۵. مولد عدد تصادفی کوانتومی

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 و ویژگی‌های 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.

## ۳. انواع فناوری سنجش کوانتومی



### سنجش کوانتومی و سنجه‌شناسی و

متغیر فیزیکی

فشار

میدان مغناطیسی

میدان الکتریکی

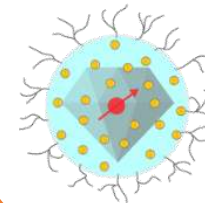
زمان سنج دقیق

اینرسی

چرخش سنج

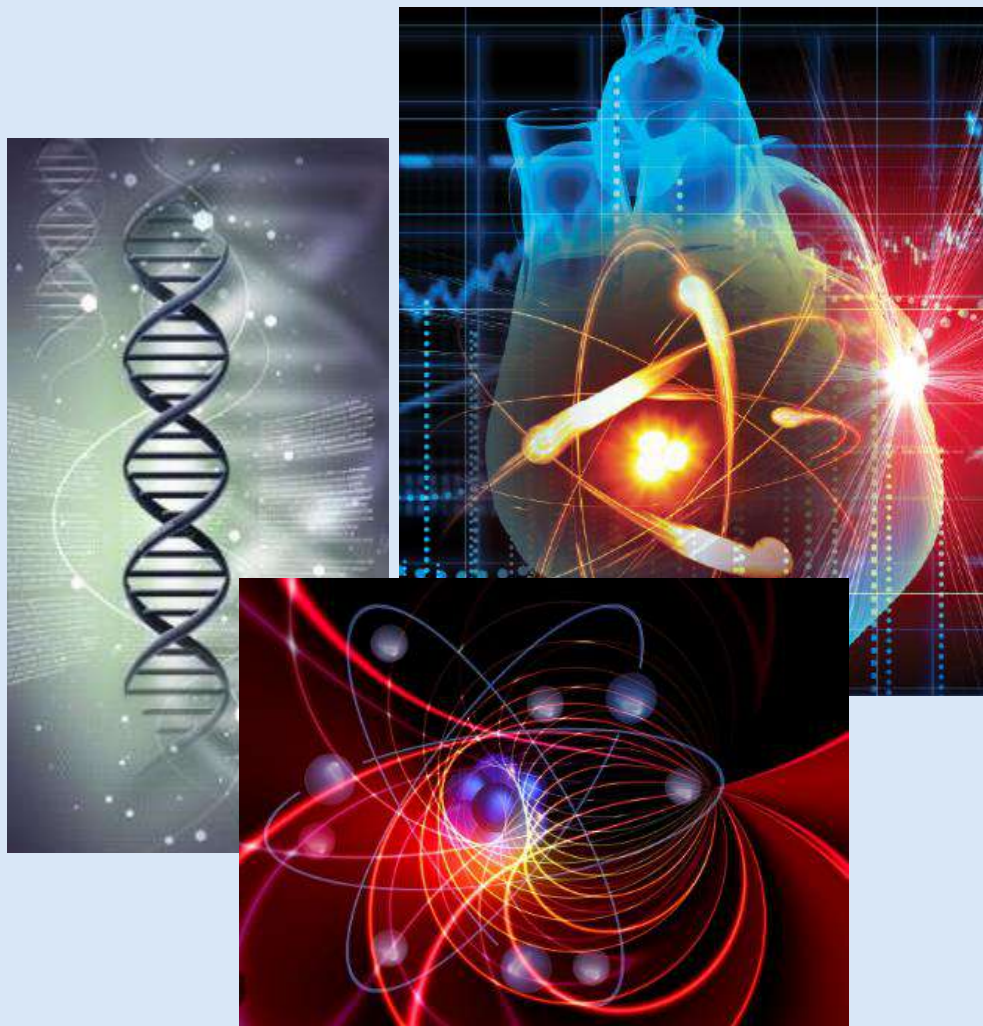
شتاب سنج

گرانش سنج



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](https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents)

## ۱.۴ اهداف پژوهش بنیادین در کوانتوم



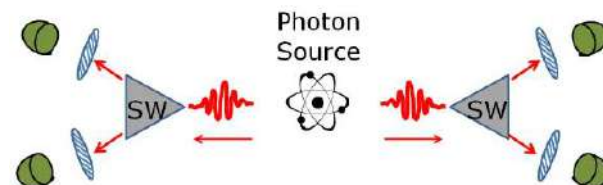
### پژوهش بنیادین

تصویربرداری و کوانتوم اپتیکی

زیست‌شناسی کوانتومی

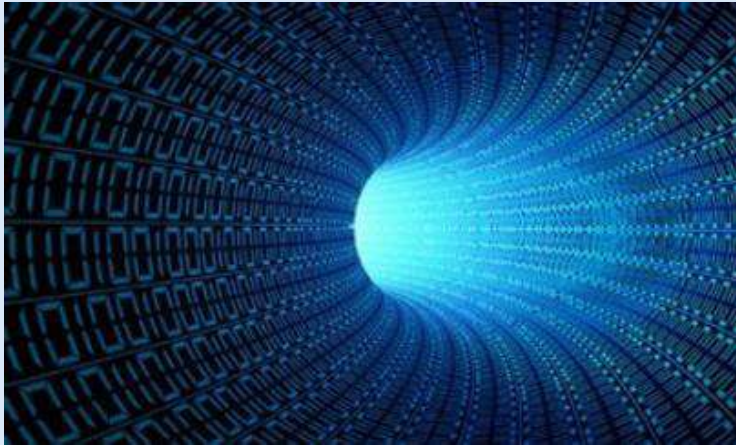
منبع تک فوتون

منبع فوتون درهم تنیده



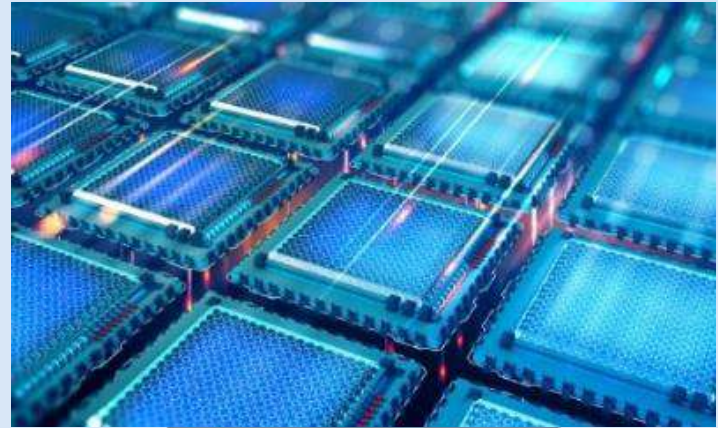
Hamamatsu(2022). Quantum Technologies with Photons: Trends, Opportunities and Challenges. available at:  
[https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11\\_HC/21\\_HC\\_documents](https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents)

# نقش فوتونیک در فناوری‌های کوانتومی



پردازش و  
شبیه‌سازی کوانتومی

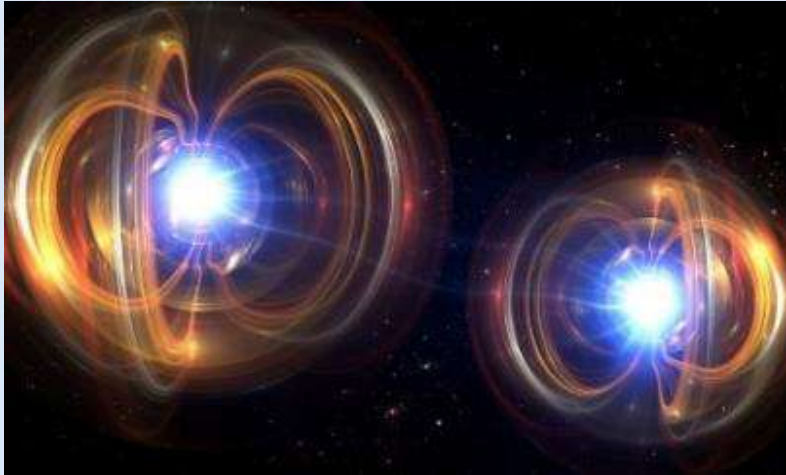
فوتونیک امکان محدود کردن کیوبیت‌ها (مانند اتم‌ها) در آرایه‌ها و تشخیص حالت کیوبیت (۰ یا ۱) را با استفاده از فلورسانس کم نور از یون‌ها و اتم‌ها ایجاد می‌کند.



مخابرات کوانتومی

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

# نقش فوتونیک در فناوری‌های کوانتومی (۱)



پژوهش بنیادین

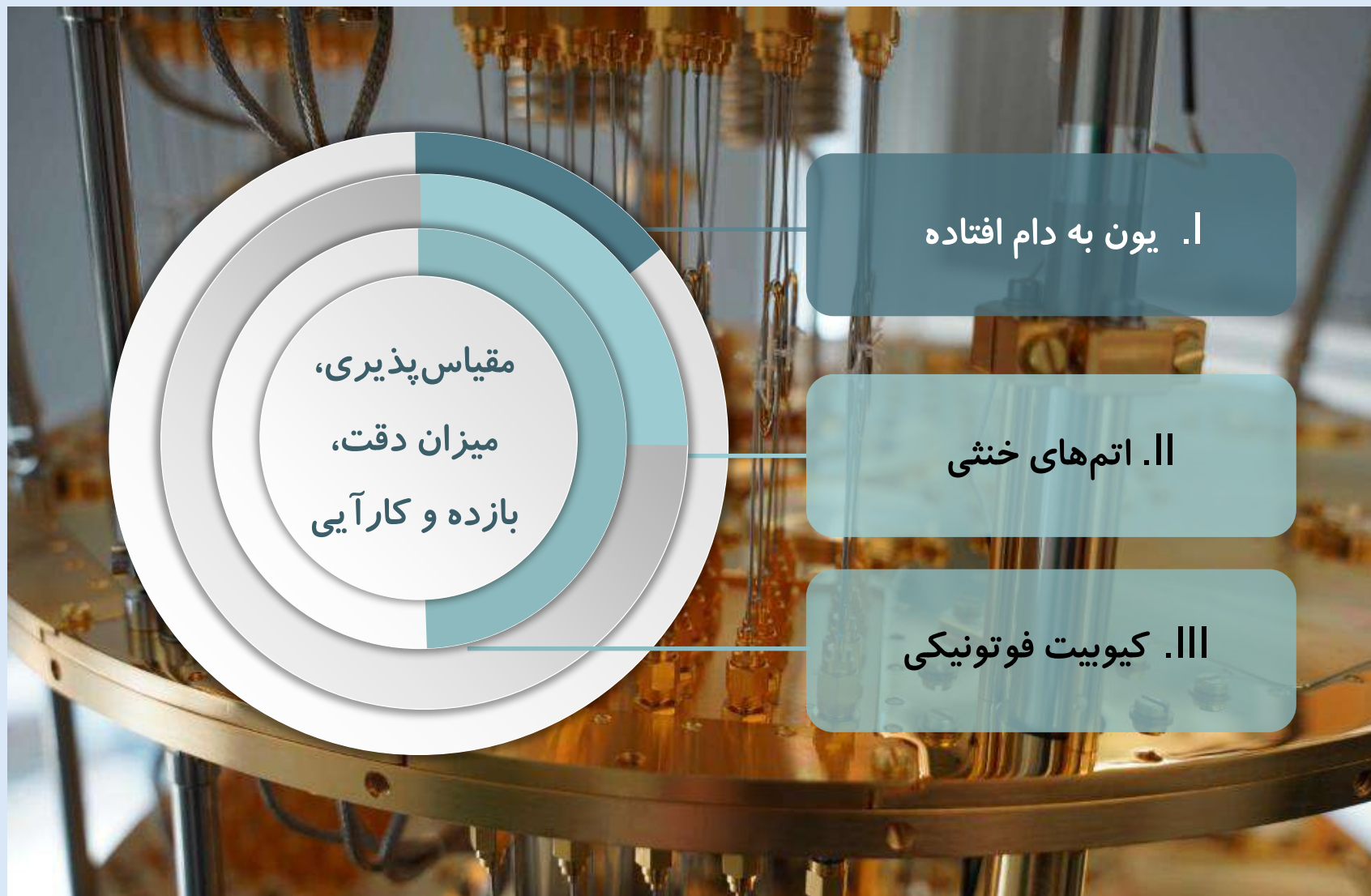
فوتون‌ها می‌توانند خواص پدیده‌های کوانتومی نظیر درهم‌تنیدگی را از طریق آشکارسازی و تصویربرداری توصیف کنند.



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)

# کاربرد فوتون در پردازش و شبیه‌سازی کوانتومی



مقیاس‌پذیری،  
میزان دقت،  
بازده و کارآیی

I. یون به دام افتاده

II. اتم‌های خنثی

III. کیوبیت فوتونیکی

# ۱. اجزای پردازش کوانتومی با فناوری یون به دام افتاده

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

✓ لیزر: سرد کردن یون، راه اندازی و بازخوانی وضعیت

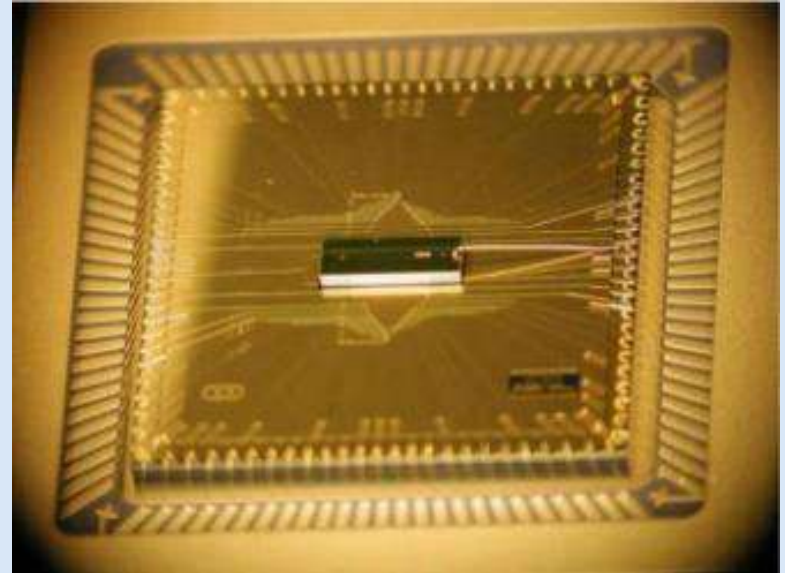
یون

✓ مدولاتور: کنترل و جهت دهی یون ها با پرتو لیزر

✓ ابزارهای اپتیکی: بزرگ کردن یون ها

✓ آشکارساز و دوربین شمارش تک فوتون: تشخیص

یون و تصویربرداری از وضعیت آن



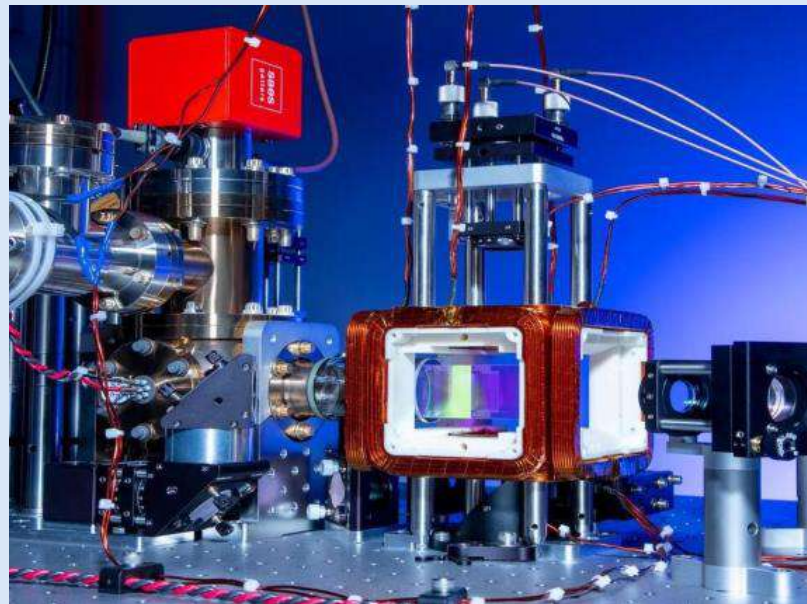
راه اندازی یون به دام افتاده:

یون ها در خلا فوق العاده بالا و در دمای بسیار پایین در تله ها (مانند تله پنینگ و تله پل) کار می کنند و توسط میدان الکتریکی محدود و کنترل می شوند.

## ۱۱. 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 اتم‌ها، 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.



# ۱۱۱. اجزای پردازش کوانتومی با کیوبیت فوتونیک

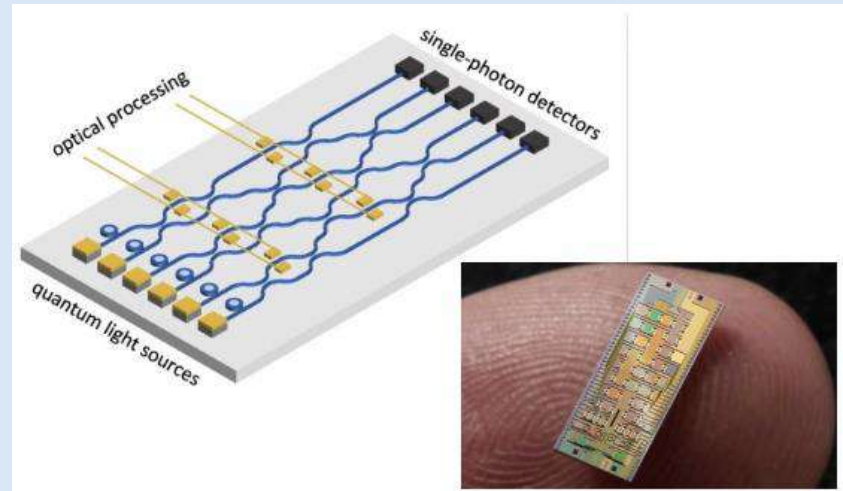
اجزای فوتونیک مورد نیاز در پردازش کوانتومی مبتنی بر کیوبیت فوتونیک

✓ منابع فوتون: تولید فوتون با حالت‌های مختلف

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

✓ قطعات فوتونیک اکتیو و پسیو: موج‌بر،  
تجمیع‌کننده (کوپلر) و تغییر فازدهنده برای  
دستکاری فوتون‌ها

✓ آشکارساز تک‌فوتون و آشکارساز شمارنده  
فوتون: آشکارسازی حالت فوتون



پلتفرم فوتونیک کوانتومی یکپارچه (همه اجزاء روی تراشه)

راه‌اندازی کیوبیت فوتونیک:

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)

# اجزای مخابرات کوانتومی و کاربرد فوتونیک در آن

## ☑ مولد عدد تصادفی کوانتومی

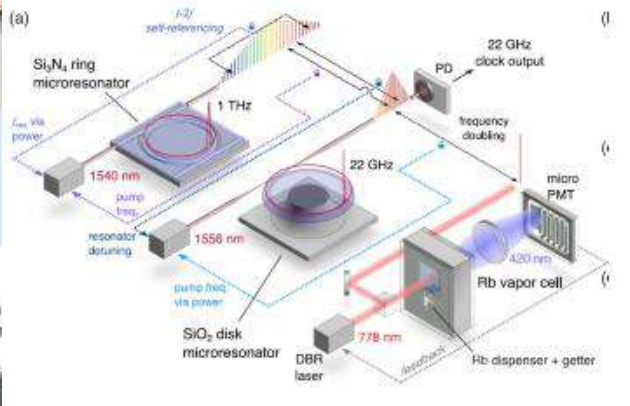
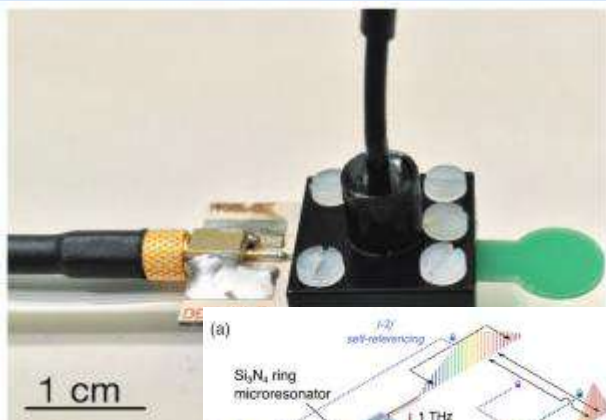
- تولید عدد واقعا تصادفی با بهره‌گیری از بی‌نظمی موجود در سیستم کوانتومی که در پروتکل توزیع کلید کوانتومی کاربرد دارد.
- نمونه قطعات فوتونیک: LED و حسگر تصویری

## ☑ توزیع کلید کوانتومی

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

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

# اجزای سنجش کوانتومی و کاربرد فوتونیک در آن



## مغناطیس سنج ✓

- اندازه گیری دقیق میدان مغناطیسی مبتنی بر وابستگی شدت فلوتورسنس خلاء نیتروژن به قدرت میدان مغناطیسی موجود با استفاده از لیزر، فوتودیود، آشکارساز تک فوتون

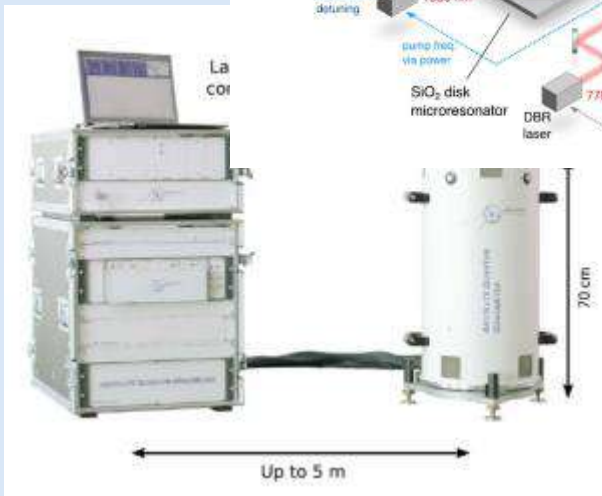
## ساعت اتمی نوری ✓

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

## گرانش سنج ✓

- اندازه گیری دقیق ضریب زاویه میدان گرانشی با بکارگیری ابری از اتم های سرد و فلوتورسنس آن ها با ابزارهایی نظیر لیزر و فوتودیودها

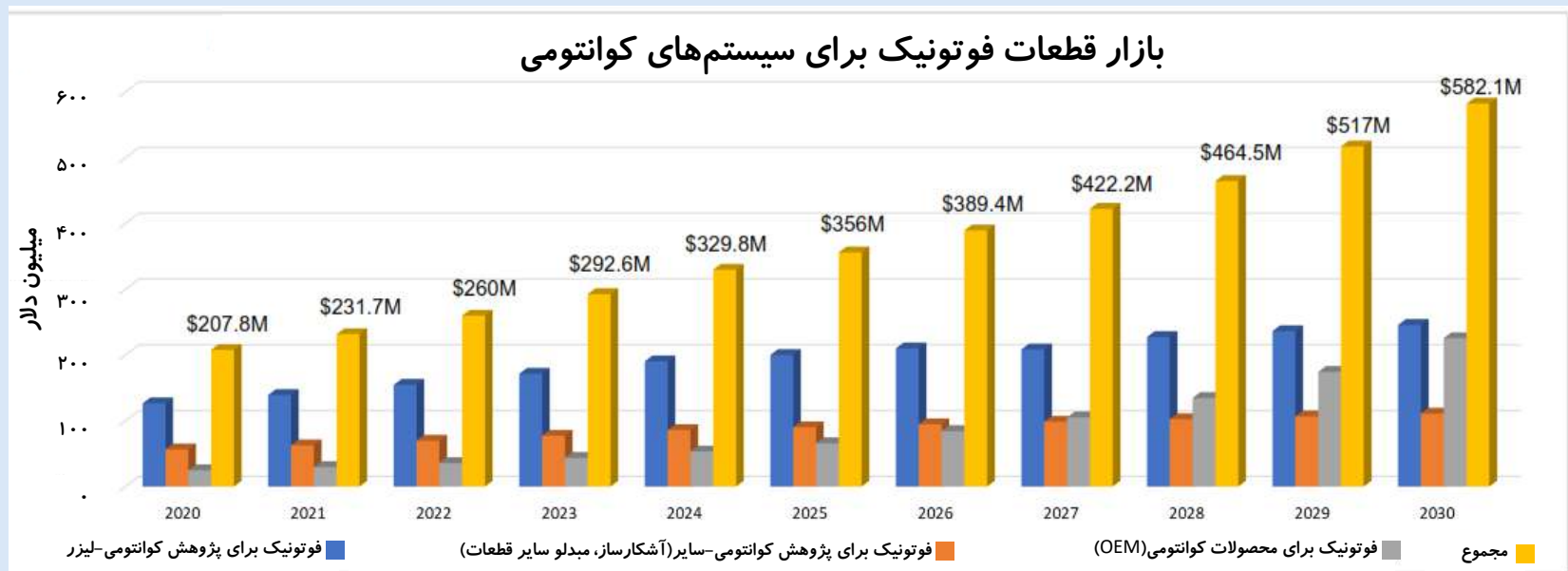
(معیار توسعه ابزارها: اندازه، وزن، قدرت، هزینه)



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](https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/11_HC/21_HC_documents)

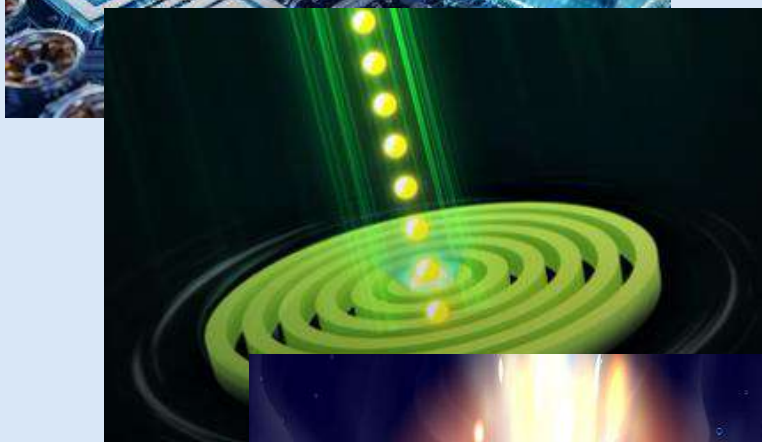
# وضعیت بازار قطعات فوتونیک در سیستم های کوانتومی

- ☑ بازار سیستم های کوانتومی رونق چندانی ندارد ولی بازار قطعات فوتونیک در حال رشد و پررونق است.
- ☑ بیش از ۱/۲ از هزینه مواد سیستم های کوانتومی صرف لیزر می شود، بقیه بین آشکارسازها، مبدل ها و سایر اجزا تقسیم می شود.
- ☑ در حال حاضر بزرگترین بازار برای قطعات فوتونیک، پژوهش است اما پیش بینی می شود 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](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 فوتونیک

• تولید مقرون به صرفه مدارهای مجتمع فوتونیک در مقیاس بالا (در صورت وجود تقاضای کافی) و جمع‌آوری 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 فوتونیک کاربرد دارند و همه ویژگی‌های لازم برای کاربردهای متنوع را ندارند.

✓ بهبود آشکارسازهای محدوده مادون قرمز مانند InGaAs برای کاربردهای مخابرات کوانتومی

# فهرست فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

1

پردازش و  
شبیه‌سازی  
کوانتومی

- پردازشگر کوانتومی مبتنی بر گره
- کوانتومی سیلیکونی، ابررسانا، یون در
- تله، خلانیتروژن، فوتون و توپولوژیکال
- بازپخت کوانتومی
- شبیه‌ساز کوانتومی با اتم خنثی
- آشکارساز/شمارنده تک فوتون

2

مخابرات  
کوانتومی

- رمزنگاری پساکوانتومی
- مولد عدد تصادفی کوانتومی
- توزیع کلید کوانتومی
- شبکه کوانتومی مبتنی بر تکرارکننده کوانتومی
- بافرها/حافظه کوانتومی

3

سنجش  
کوانتومی

- فشار سنج کوانتومی
- میدان مغناطیسی سنج کوانتومی
- میدان الکتریکی سنج کوانتومی
- زمان سنج بسیار دقیق
- شتاب سنج کوانتومی
- گرانش/چرخش سنج کوانتومی

4

پژوهش  
بنیادین

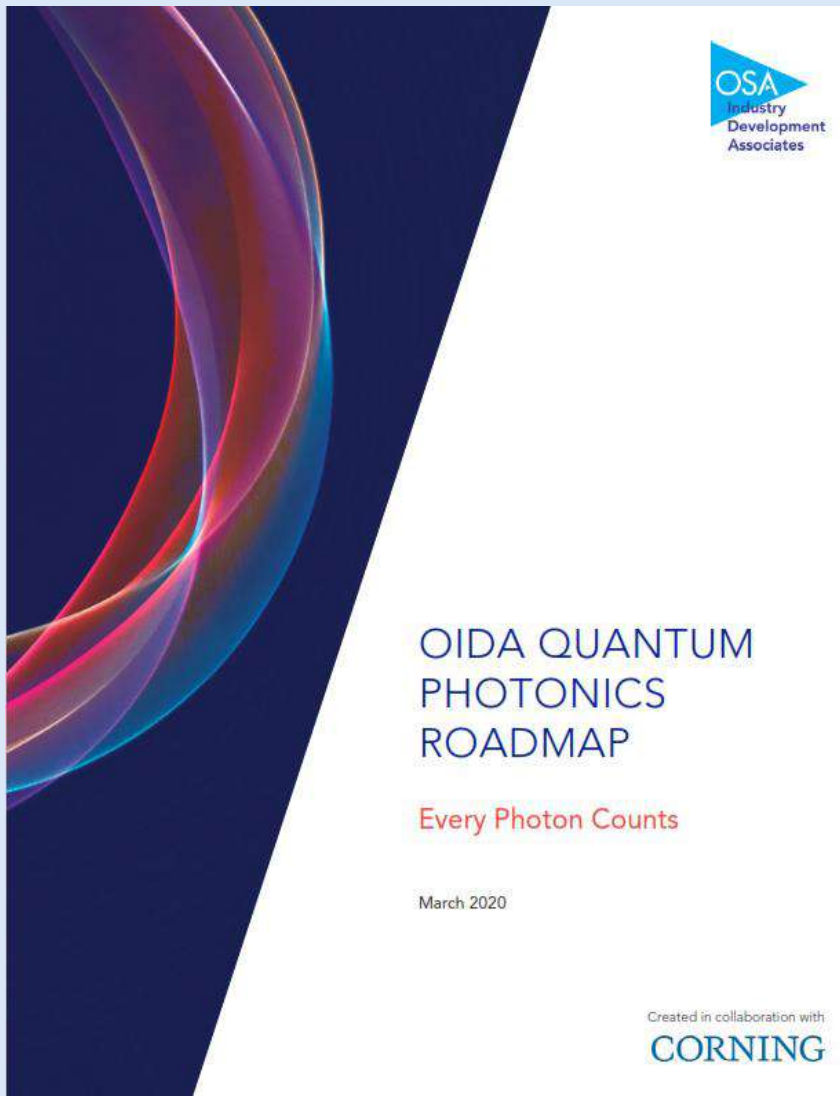
- منبع تک فوتون قطعی/احتمالی
- منبع فوتون‌های درهم‌تنیده
- تصویربرداری کوانتومی

# ۱۱- نقشه راه فوتونیک کوانتومی



OPTICA

# چالش‌های فناوری کوانتوم



✓ عنوان گزارش:

نقشه راه فوتونیک کوانتومی

✓ ناشر:

انجمن توسعه صنعت

✓ سال نشر: ۲۰۲۰

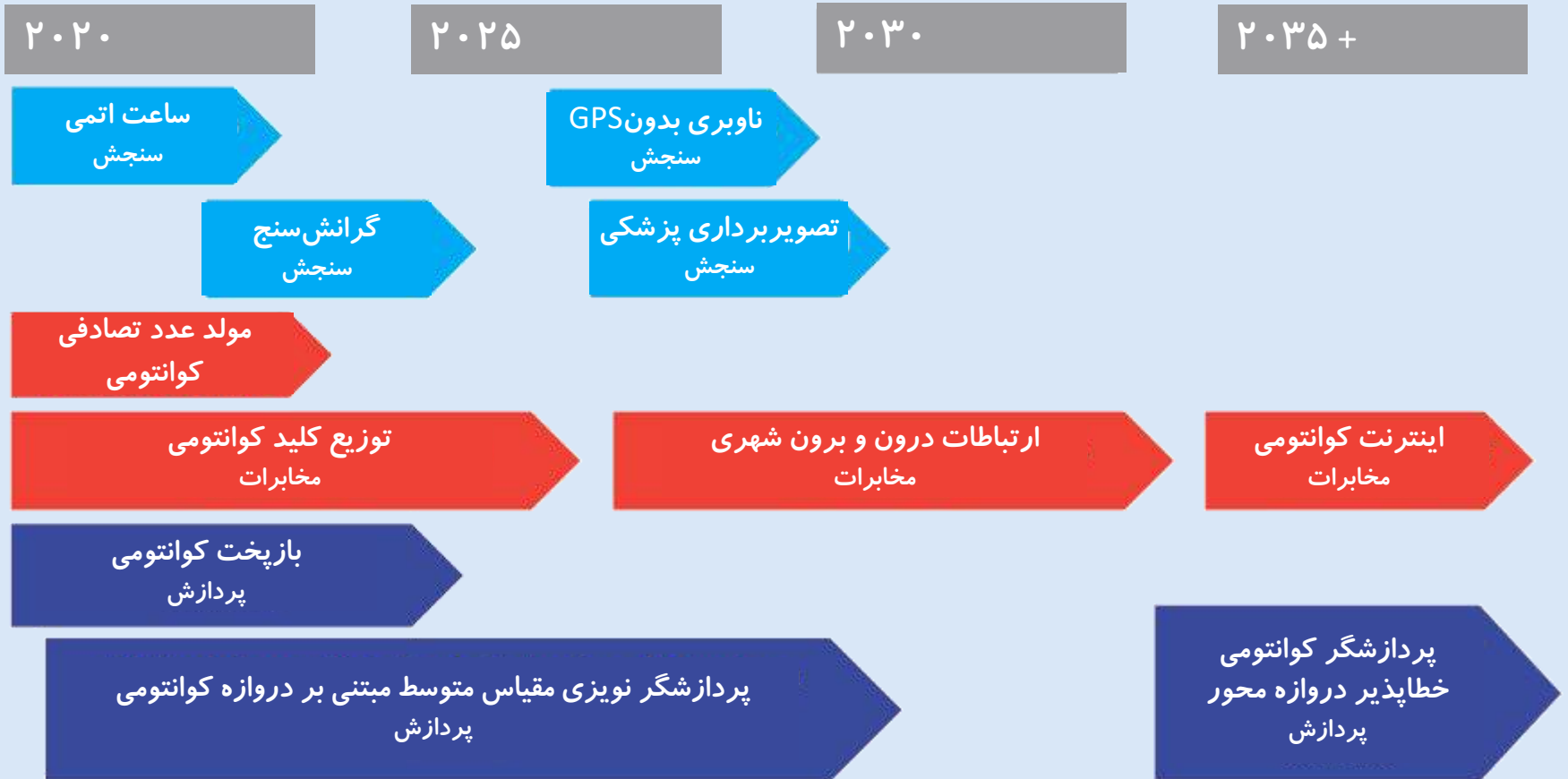
✓ افق زمانی: -

✓ هدف و مخاطبین:

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



# خط سیر زمانی فناوری‌های کوانتوم

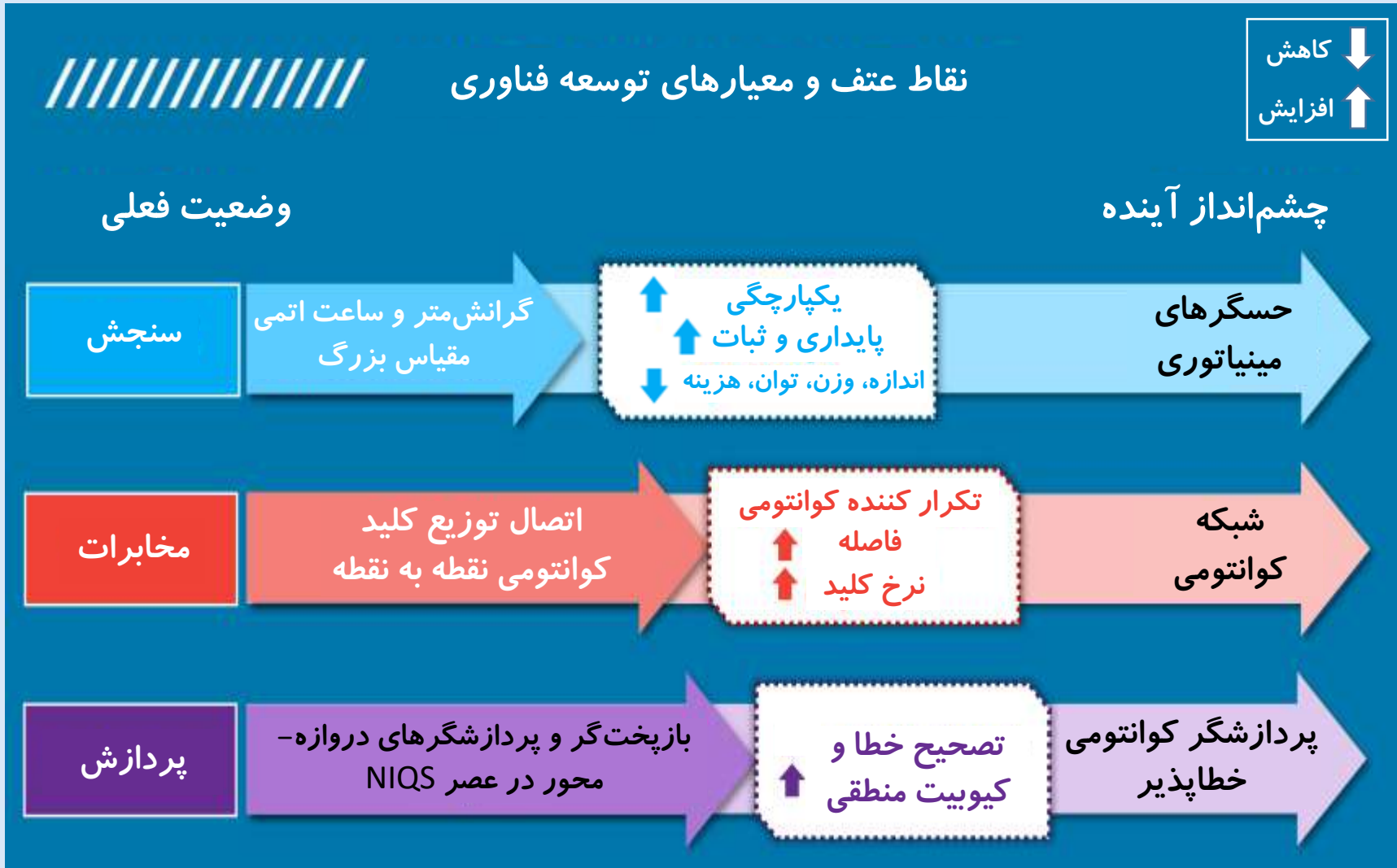


OPTICA(2020). Quantum Photonics Roadmap. available at: <https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=OIDA-2020-3&seq=0>

# کاربردهای فناوری کوانتوم

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

# 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



## سرمایه گذاری

سرمایه گذاری دولتی و خصوصی مستمر در حمایت از تحقیق و توسعه



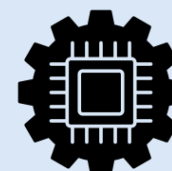
## نیروی کار

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



## سخت افزار

بهبود عملکرد، کاهش هزینه، توسعه زنجیره تامین برای قطعات



## نرم افزار

تصحیح خطا، توسعه الگوریتم، بسته های نرم افزاری و....



# 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 ۱ میلیارد یورو بودجه



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



سرمایه‌گذاری بیش از ۱ میلیارد 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



# قطعات فوتونیکي مورد نیاز در فناوری سنجش کوانتومی

سنجش  
کوانتومی

مخابرات  
کوانتومی

پردازش  
کوانتومی

نوع فناوری قطعات مورد نیاز	ساعت اتمی	تداخل سنج اتمی	حسگر مرکز خلاء نیتروژن	لیدار کوانتومی
لیزر				
منبع تک فوتون یا فوتون درهم تنیده				
آشکارساز تک فوتون				
آشکارساز فوتون هترودین و هومودین				
موج بر فوتونیکي 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.

# تعریف فناوری‌های سنجش کوانتومی

## ۱. ساعت اتمی

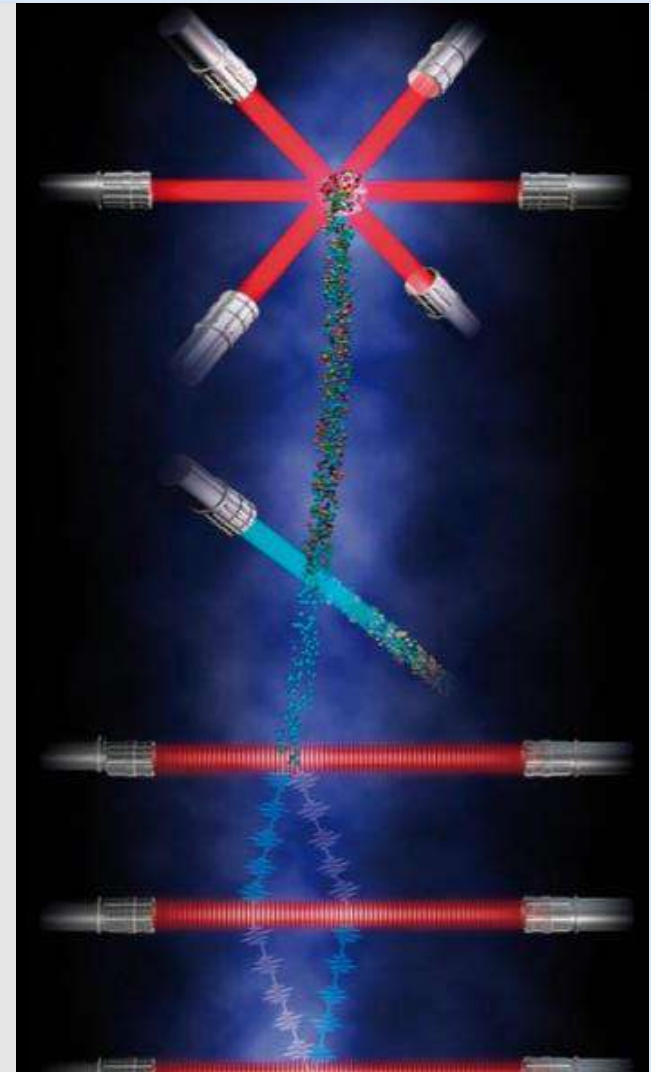
در ساعت اتمی از فرکانس تغییرات فوق ظریف حالت در اتم به عنوان مرجع استاندارد زمانی استفاده می‌شود. لیزر، آشکارساز فوتون هترودین و هومودین و مدولاتورها، قطعات نوری و فوتونیکی لازم برای ساخت ساعت اتمی هستند.

## ۲. تداخل سنج 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 می‌کنند، انجام می‌شود. لیزر و آشکارساز فوتون منسجم و مدولاتور اجزای اصلی این فناوری است.

## ۳. مراکز خلاء نیتروژن

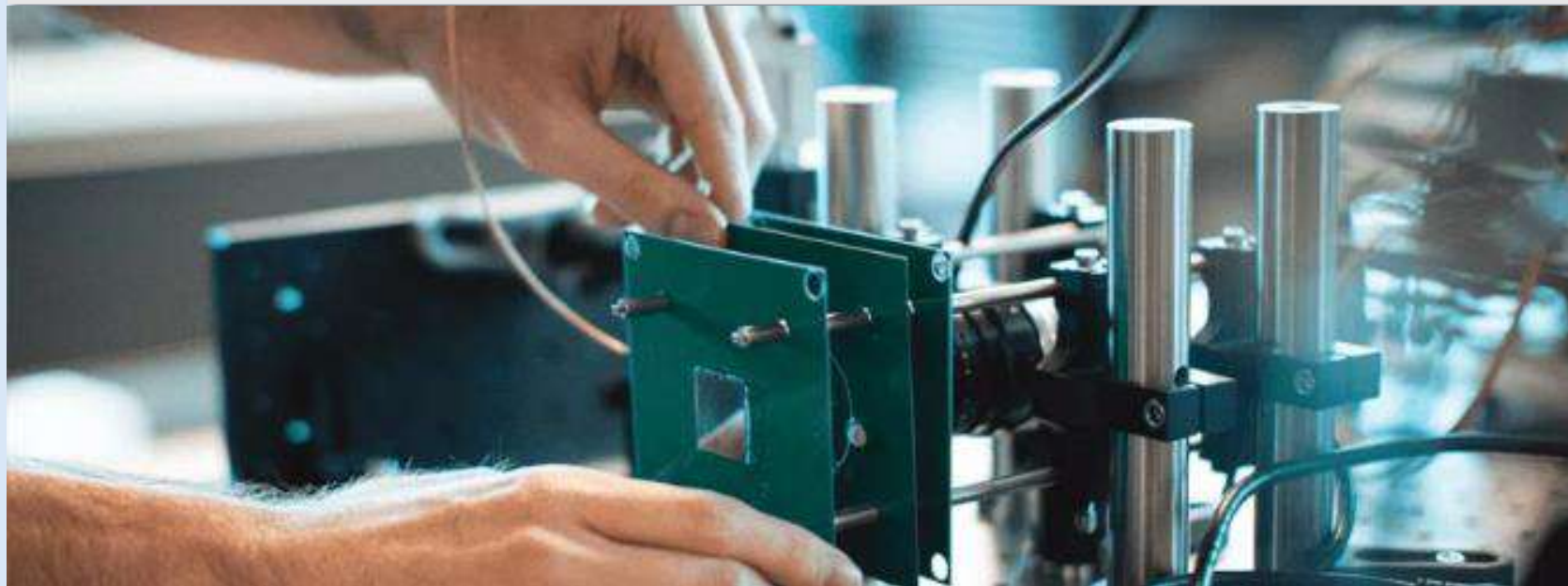
از رفتار نقاط خالی از نیتروژن در کریستال‌های مصنوعی الماس برای اندازه‌گیری متغیرهایی نظیر میدان مغناطیسی و الکتریکی، کشش و دما استفاده می‌شود. این کار با اندازه‌گیری تغییر شدت فلورسانس منتشر شده توسط مراکز خلا نیتروژن در شبکه الماس انجام می‌شود.



## 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>

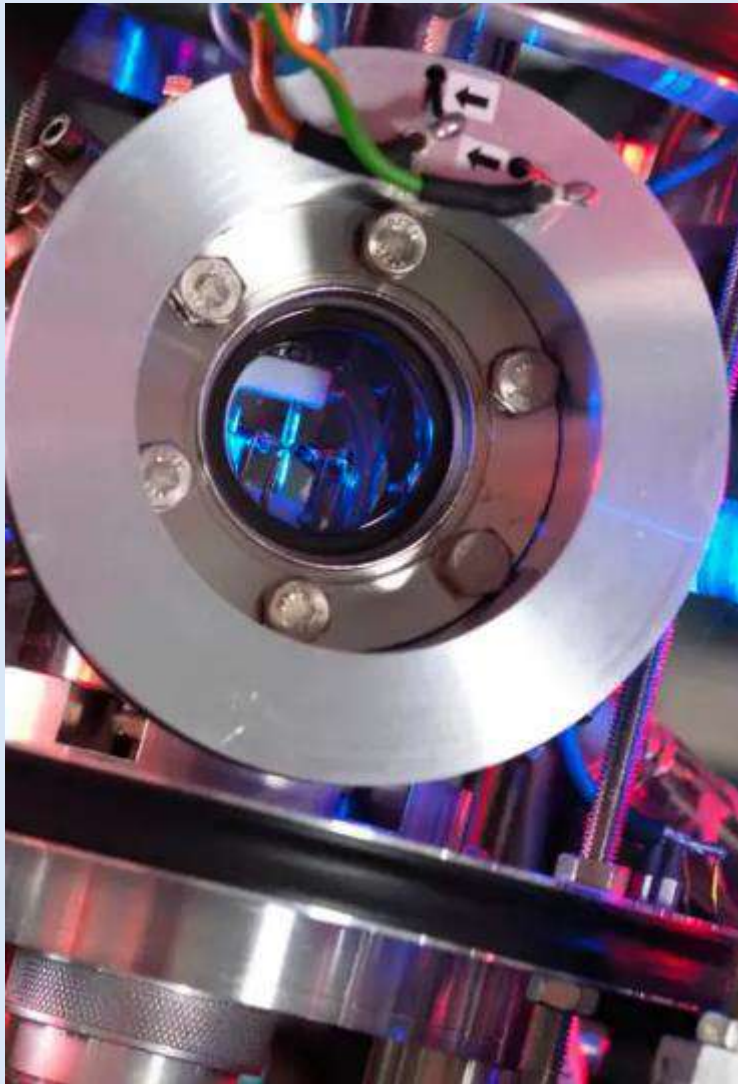


# قطعات فوتونیکي مورد نیاز در فناوری مخابرات کوانتومی

سنجش کوانتومی	نوع فناوری	QKD	QKD	QKD
	قطعات مورد نیاز	متغیر پیوسته	متغیر گسسته	مبتنی بر درهم تنیدگی
مخابرات کوانتومی	لیزر			
	منبع تک فوتون یا فوتون درهم تنیده			
	آشکارساز تک فوتون			
	آشکارساز فوتون هترودین و هومودین			
	موج بر فوتونیکي مجتمع و فیبری			
پردازش کوانتومی	مدولاتور			
	ترادیسنده (Tranducer) و مبدل			
	حافظه یا تکرار کننده			

■ قطعه مورد نیاز است.

# 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 همودین 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 درهم‌تنیده (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.

# قطعات فوتونیکي مورد نیاز در فناوری پردازش کوانتومی

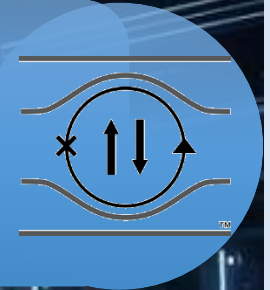
حسگرهای کوانتومی	فناوری کیوبیت	ابر رسانا	یون به دام افتاده	اتم خنثی	فوتونیک-متغیر گسسته	فوتونیک-متغیر پیوسته	مرکز خلاء نیتروژن	اسپین سیلیکون
	قطعات مورد نیاز							
مخابرات کوانتومی	لیزر							
	منبع تک فوتون یا فوتون درهم تنیده							
	آشکارساز تک فوتون							
	آشکارساز فوتون هترو دین و هومودین							
	موج بر فوتونیکي مجتمع و فیبری							
پردازش کوانتومی	مدولاتور							
	ترادیسنده (Tranducer) و مبدل	در صورت کاربرد در شبکه مورد نیاز است.					در صورت کاربرد در شبکه مورد نیاز است.	
	حافظه یا تکرار کننده							

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

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

# تعریف فناوری‌های پردازش کوانتومی

**ابرسانا:** 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 صفر و جریان‌های مداوم در این فناوری نقش اساسی دارد.



**یون به دام افتاده:** از یون‌های به دام 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.

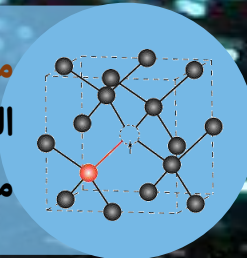


## تعریف فناوری‌های پردازش کوانتومی – ادامه

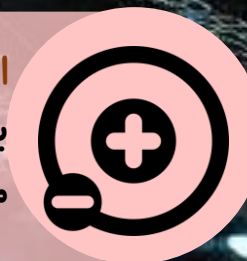
**فوتونیک:** از فوتون برای ساخت کیوبیت استفاده می‌شود. قطبش فوتون (متغیر گسسته) یا مسیر فوتون (متغیر پیوسته) تعیین کننده حالت کیوبیت است. فوتون‌ها توسط منبع لیزر تولید شده و حالت آن با ابزارهای نوری خطی نظیر پرتوشکن و تغییر فازدهنده مدیریت می‌شود.



**مرکز خلاء 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.



# فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

1 پردازش کوانتومی	<ul style="list-style-type: none"><li>• رمزنگاری پساکوانتومی</li><li>• توزیع کلید کوانتومی فیبری / ماهواره‌ای -</li><li>• متغیر پیوسته / گسسته و درهم تنیده</li><li>• کامپیوترهای مقاوم به خطا (Gate-based)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• پردازش کوانتومی با کیوبیت مبتنی بر ابررسانا / اسپین سیلیکون / توپولوژیکال / یون در دام افتاده / اتم خنثی / فوتونیک / خلا نیتروژن</li><li>• تابکاری کوانتومی</li></ul>	
2 مخابرات کوانتومی	<ul style="list-style-type: none"><li>• تکرار کننده کوانتومی مبتنی بر حافظه کوانتومی / فوتونیک</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• مولد عدد تصادفی کوانتومی</li><li>• توزیع کلید کوانتومی</li><li>• اینترنت کوانتومی</li><li>• ارتباطات کوانتومی</li></ul>	
3 حسگر کوانتومی	<ul style="list-style-type: none"><li>• میدان مغناطیسی سنج مبتنی بر اتم سرد / خلا نیتروژن</li><li>• مغناطیس‌نگار مغزی</li><li>• توموگرافی القایی مغناطیسی (تصویربرداری از قلب)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• میکروسکوپ کوانتومی چندفوتونی</li><li>• برش‌نگار منسجم کوانتومی</li><li>• تداخل‌سنج کوانتومی</li><li>• حسگر کوانتومی (لیتوگرافی)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ساعت اتمی</li><li>• گرانش سنج کوانتومی</li><li>• چرخش سنج کوانتومی (ناوبری بدون GPS)</li><li>• تصویربرداری کوانتومی</li></ul>

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)
- لیزر دیودی حفره خارجی (ECDL)
- لیزر حالت جامد با پمپاژ دیودی (DPSS)
- لیزر توزیع شده فیذبکی (DFB)
- لیزر تابنده به سطح عمودی VCSEL
- لیزر شبکه‌ای سه بعدی حجمی (VHG)
- آشکارساز تک فوتون نانوسیم
- ابررسانا (SSPD) / فوتودیودهای
- انبوه (APD) / لوله‌های فزون‌ساز
- نوری (PMT) / حسگر لبه گذار
- (TES) / سنسور تصویری CMOS
- آشکارساز فوتون هترودین و
- هومودین
- مدولاتورهای (فاز، دامنه، قطبش)

**۱۲. جمع‌بندی  
فناوری‌های  
اولویت‌دار اپتیک و  
کوانتوم**

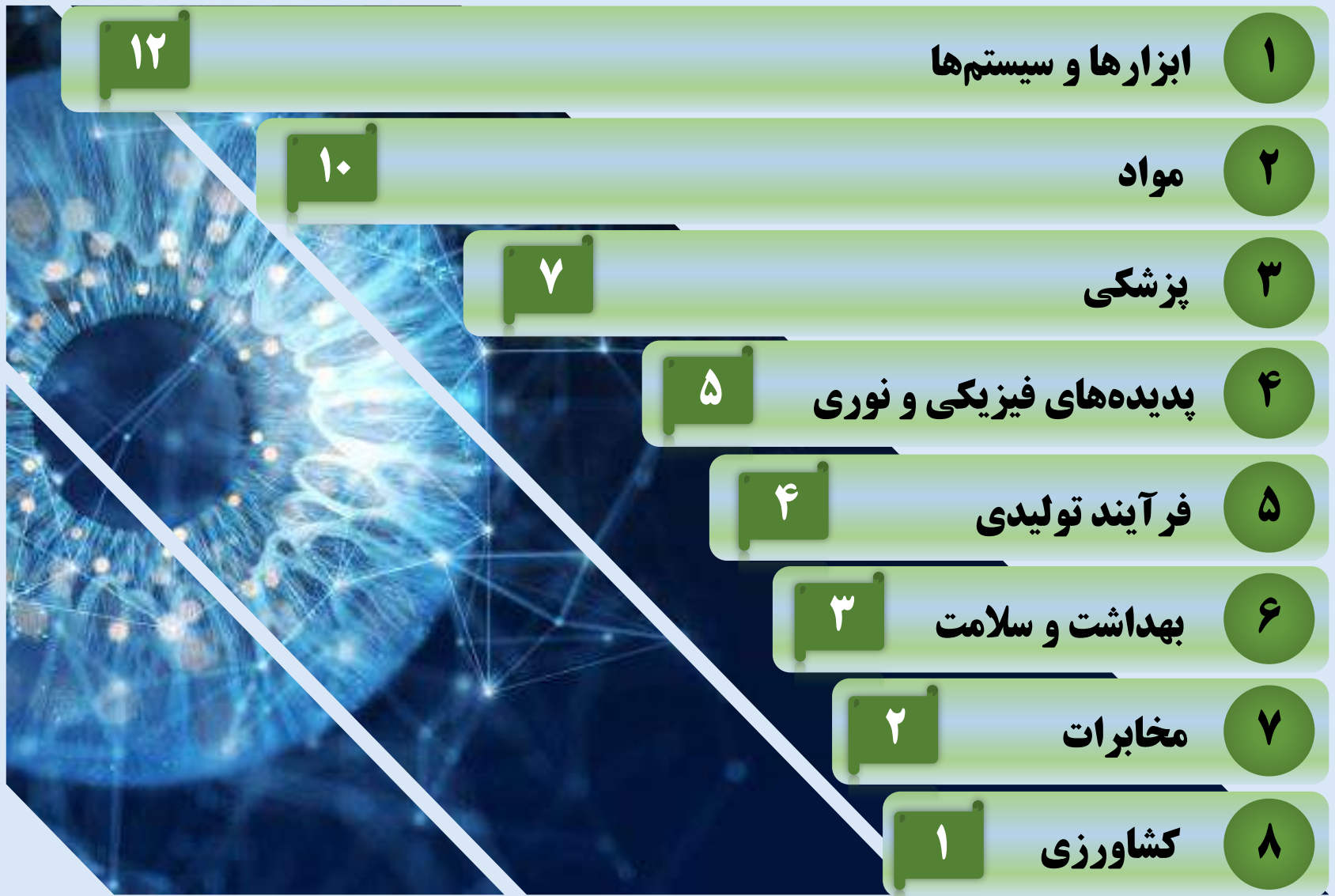




# فناوری‌های اولویت‌دار حوزه اپتیک



# دسته‌بندی و تعداد فناوری‌های ایتیک



# فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

Neuromorphic photonics

فوتونیک مشابه/مبتنی بر دستگاه عصبی

۱



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.

Next generation non-mechanical lidar

نسل جدید لیدارهای غیرمکانیکی

۲



لیدارهایی که 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

Fully optical internet & required components

اینترنت کاملاً مبتنی بر نور و همه عناصر مورد نیاز آن

۳

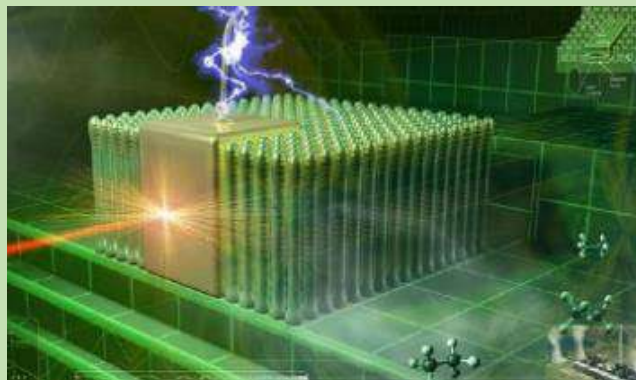


اینترنت فیبر نوری که معمولاً اینترنت فیبر یا به سادگی «فیبر» نامیده می‌شود، یک اتصال پهن باند است که می‌تواند به سرعت ۹۴۰ مگابیت در ثانیه ( 940 Mbps) با زمان تاخیر کم برسد. این فناوری از کابل فیبر نوری استفاده می‌کند که به طرز شگفت‌انگیزی می‌تواند داده‌ها را با سرعتی در حدود ۷۰ درصد سرعت نور ارسال کند.

Very high-efficiency lasers (>95%)

لیزرهای با بازده بیش از ۹۵٪

۴



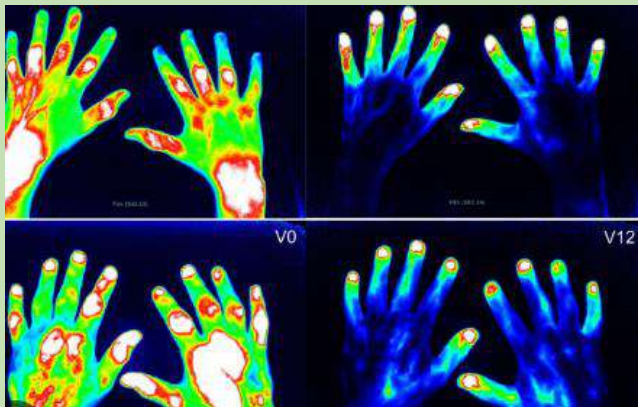
از طریق طراحی دقیق و بهینه‌سازی سیستم لیزربردست می‌آید و فاکتورهایی نظیر راندمان پمپاژ، ابزار تقویت پرتو لیزر، بهینه‌سازی حفره، پوشش نوری و مدیریت بهینه دما را مورد توجه قرار می‌دهد. انواع لیزرهای فیبری، لیزرهای پمپاژ دیودی حالت جامد، لیزرهای نیمه‌رسانا و لیزرهای آبخاری کوانتومی راندمان بالایی دارند.

# فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

Deep tissue optical imaging

تصویربرداری نوری از بافت‌های عمیق بدن

۵



استفاده از تکنیک‌های نوری برای تصویربرداری از بافت‌های عمیق بدن نظیر میکروسکوپ دو فوتونی، توموگرافی منسجم نوری (OCT)، تصویربرداری نوری-صوتی و تصویربرداری فلئوئورسنس مادون قرمز، با توجه به محدودیت روش‌های تصویربرداری نوری سنتی در حال توسعه است.

Flexible, reconfigurable & programmable optical circuits

مدارهای نوری انعطاف پذیر، قابل تنظیم مجدد و قابل برنامه‌ریزی

۶



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

Miniature THz sources at room temperature

منابع مینیاتوری تراهرتزی فعال در دمای اتاق

۷



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.

Flexible, reconfigurable & programmable optical circuits

مدارهای نوری انعطاف پذیر، قابل تنظیم مجدد و قابل برنامه‌ریزی

۸



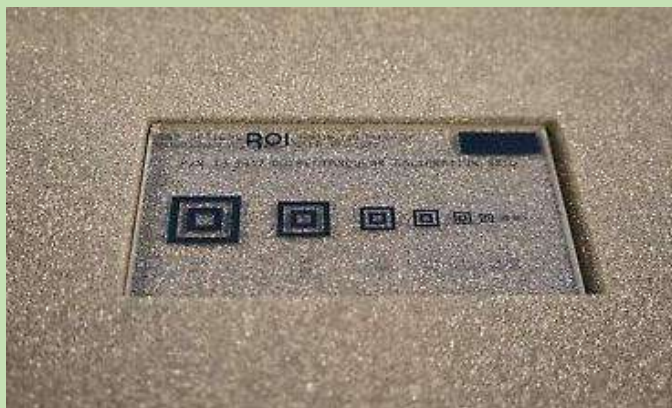
توانایی کنترل و هدایت رفتار نور در مدارهای نوری با استفاده از قطعات انعطاف پذیر و قابل برنامه‌ریزی نظیر مالتی‌پلکسرهای نوری قابل تنظیم، فیلترهای نوری قابل برنامه‌ریزی، سوئیچ‌های نوری قابل برنامه‌ریزی و موج‌برهای انعطاف‌پذیر انجام می‌شود که منجر به تولید سیستم‌ها و شبکه‌های نوری پیشرفته می‌شود.

# فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

Optical memory from fast RAM to ROM

حافظه نوری از رم پرسرعت تا رام

۹



ظرفیت بالا و دسترسی 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 فقط خواندنی رایج مانند CD ، DVD ، دیسک بلوری و فلش هم در فناوری خود وابسته به نور(لیزر) هستند.

Efficient & high bandwidth PV cells

سلول‌های فوتوولتائیک با بهره‌وری بالا و پهنای باند زیاد

۱۰



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

## HeadUp Display

## نمایشگر شفاف

۱۱

نمایشگر شفاف 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 HUD این است که اطلاعات مربوطه مانند سرعت، جهت ناوبری، تشخیص وسیله نقلیه یا داده‌های حیاتی پرواز را بر روی یک سطح شفاف در محدوده دید کاربر نشان دهد. این به کاربر این امکان را می‌دهد 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 ببیند 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 می‌کند که صحنه دنیای واقعی را پوشش می‌دهد. انواع مدرن آن تحرک و وضوح بالا، زوایای دید گسترده و عملکرد وسیع‌تر را ارائه می‌دهند.



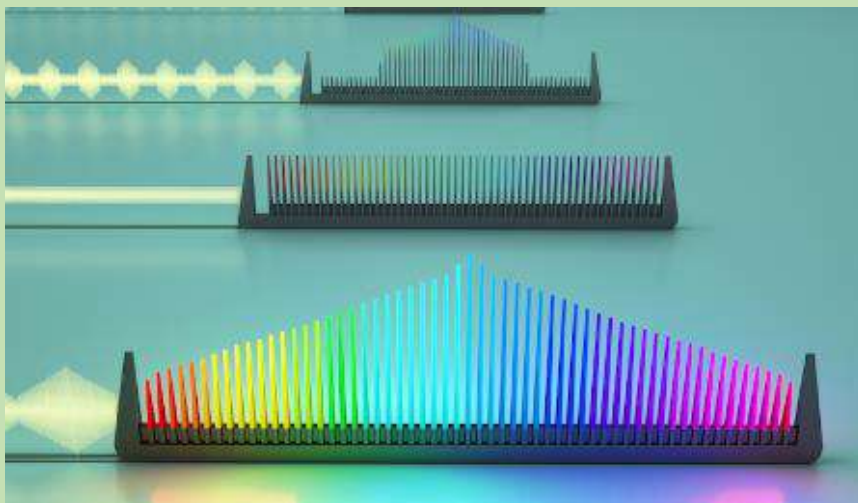
# فناوری‌های اپتیک در بخش ابزارها و سیستم‌ها

Frequency Comb

شانه فرکانسی

۱۲

شانه فرکانس ابزار دقیقی برای اندازه‌گیری و کنترل فرکانس نور است. از مجموعه‌ای از خطوط فرکانس گسسته و با فاصله مساوی تشکیل شده است که می‌توانند به عنوان فرکانس‌های مرجع بسیار دقیق عمل کنند. این خطوط توسط یک منبع لیزری تولید می‌شوند و می‌توان از آنها برای اندازه‌گیری فرکانس لیزرهای دیگر یا برای کنترل دقیق زمان پالس‌های 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 شده‌اند.



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 می‌توان به ارتباطات راه دور، پردازش اطلاعات کوانتومی و اندازه‌گیری امواج گرانشی اشاره کرد.

# فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

Sustainable/biodegradable photonic materials

مواد فوتونیک تجدیدپذیر و تجزیه‌پذیر

۱۳

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

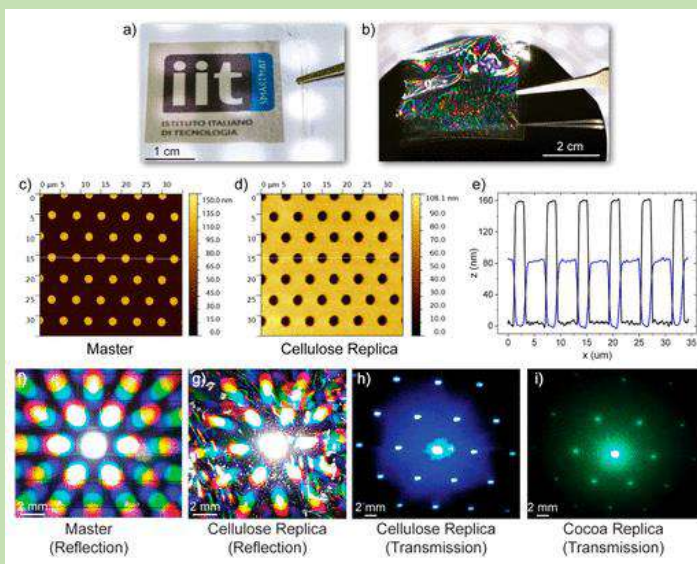
چند نمونه از مواد فوتونی تجدیدپذیر و تجزیه‌پذیر عبارتند از:

**مواد بر پایه 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 فوتونیک و حسگرها کاربرد دارند.

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



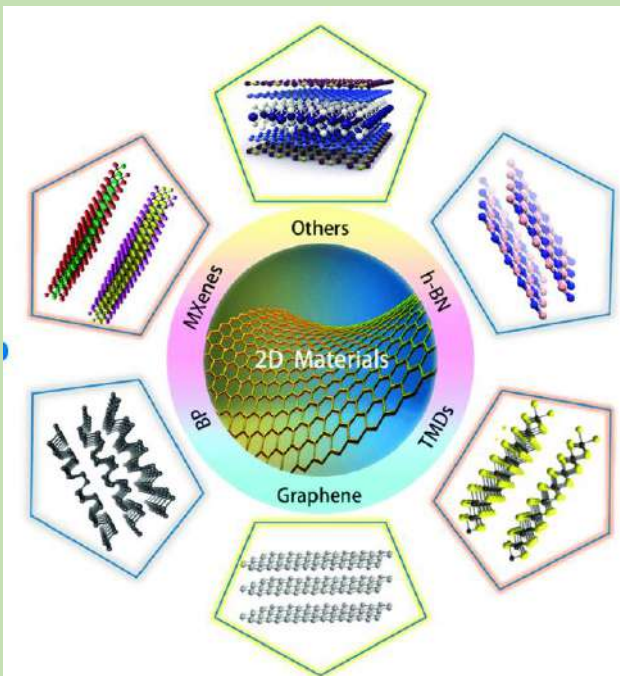
# فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

2d materials & hetrostructures for photonics

مواد دوبعدی و ساختارهای ناهمگین برای فوتونیک

۱۴

پدیده نوظهور مواد دوبعدی و ساختارهای ناهمگن خواص منحصر به فرد 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.

**دی‌کالکوژنیدهای فلزات واسطه:** مواد ۲بعدی که بخاطر شکاف باند مستقیم، برهم‌کنش‌های قوی با نور دارند و در الکترونیک نوری، فوتولتائیک و حسگرها کاربرد دارند.  
**فسفرسیاه:** ماده ۲بعدی با شکاف باند 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 به فردی در تعامل با نور دارند و در الکترونیک نوری و فوتولتائیک کاربرد دارند.

# فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

Reconfigurable adaptive & programmable photonic materials

مواد فوتونیک قابل برنامه‌ریزی و قابل بازطراحی و انعطاف‌پذیر

۱۵

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

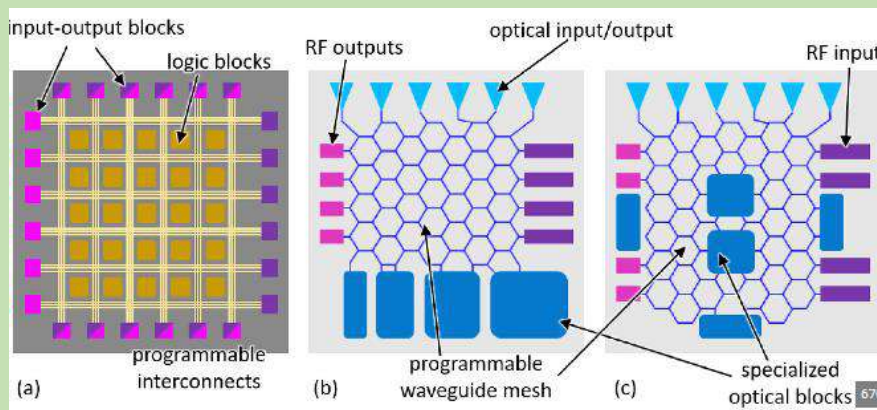
چند نمونه از مواد فوتونیک قابل برنامه‌ریزی و قابل بازطراحی و انعطاف‌پذیر:

**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 الکتریکی، 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

Direct bandgap silicon & new silicon photonic materials

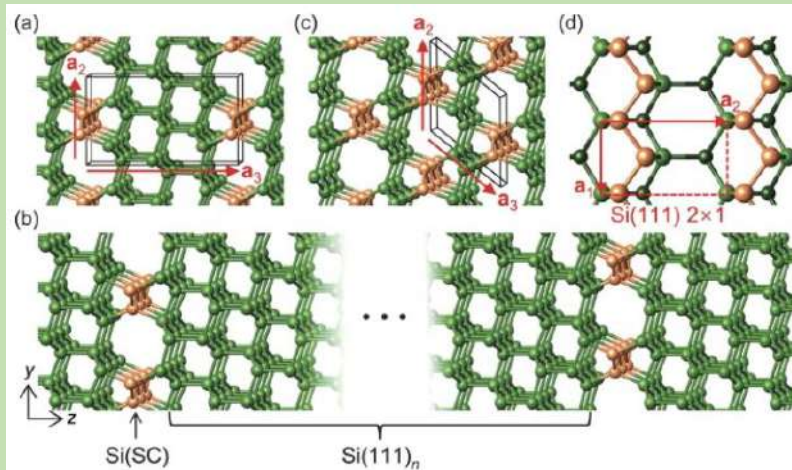
سیلیکون با شکاف باند مستقیم و مواد فوتونیک جدید از سیلیکون

۱۶

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

تغییر سطح انرژی الکترون در جابجایی از بالاترین باند به پایین‌ترین باند در اتم، به اندازه انرژی یک فوتون، ویژگی ایده‌آل مواد با شکاف باند 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 ۲ بعدی 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

Low threshold power non-linear materials

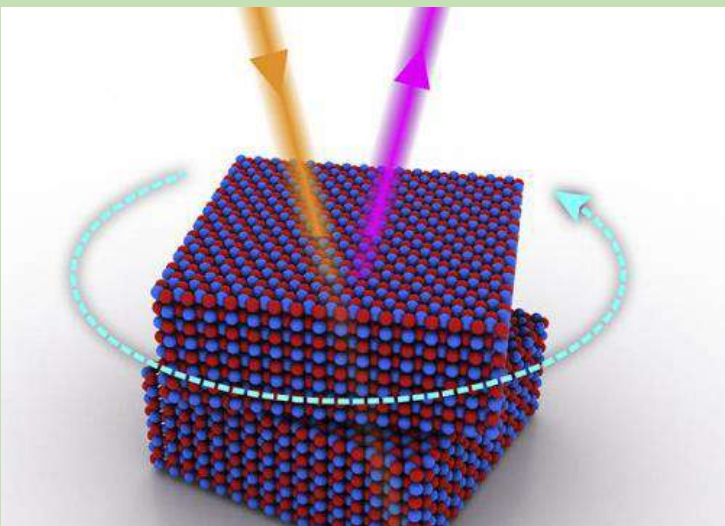
مواد غیرخطی با قدرت آستانه پایین

۱۷

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 و مدولاسیون 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

Efficient phase change materials  
(PCMs)

مواد با تغییر فاز پربازده

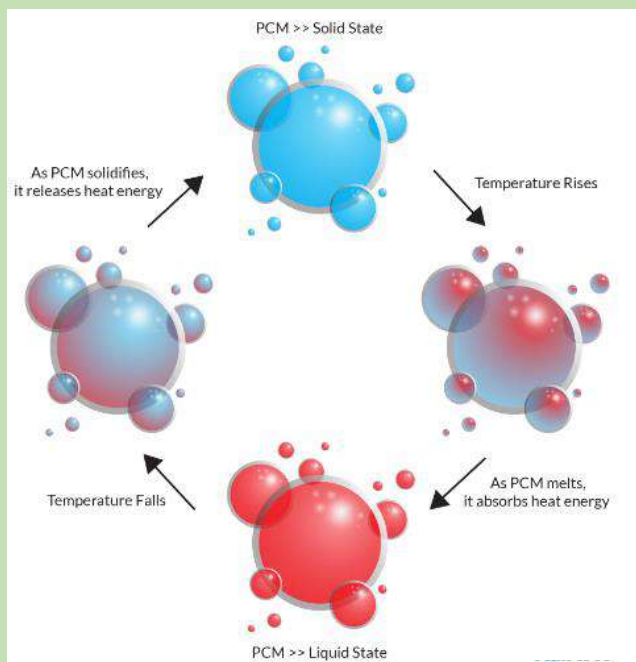
۱۸

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 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 می‌دهند که آن‌ها را برای کاربردهایی مانند حافظه نوری و عناصر نوری قابل تنظیم مجدد جذاب می‌کند.

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

**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 محرک‌های خارجی مانند نور یا دما نشان می‌دهند.



# فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

Electrochemically stable materials for solar-hydrogen

مواد با خواص پایدار الکتروشیمیایی برای تبدیل انرژی خورشیدی به سوخت هیدروژنی

۱۹

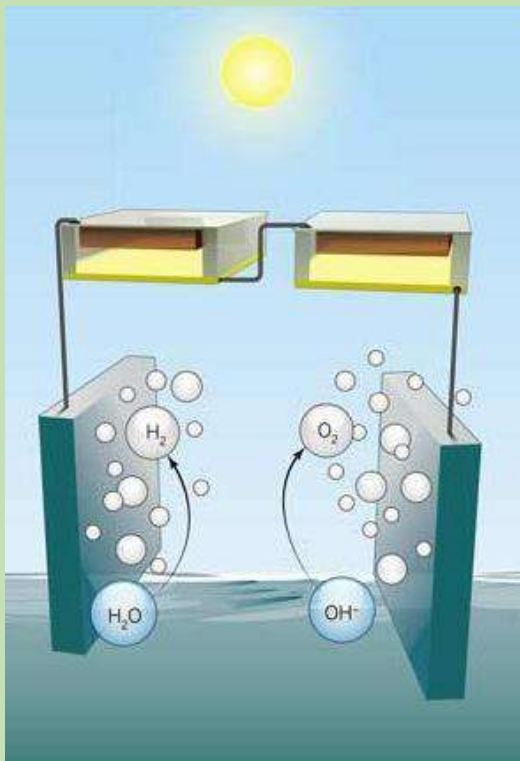
مواد الکتروشیمیایی پایدار برای توسعه سلول‌های فوتوالکتروشیمیایی (PEC) کارآمد و بادوام که برای تولید هیدروژن خورشیدی ضروری هستند و یک فناوری امیدوارکننده برای ذخیره انرژی تجدید پذیر می‌باشد.

برخی مواد با خواص الکتروشیمیایی پایدار؛

**نیمه‌هادی‌های III-V:** این مواد نظیر گالیوم آرسناید 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 سیلیکونی و کاربید سیلیکون از دیگر موادی هستند که تحت شرایط فوتوالکتروشیمیایی پایداری خوبی از خود نشان داده و بر راحتی در فناوری‌های فوتوولتائیک فعلی قابل ادغام هستند.





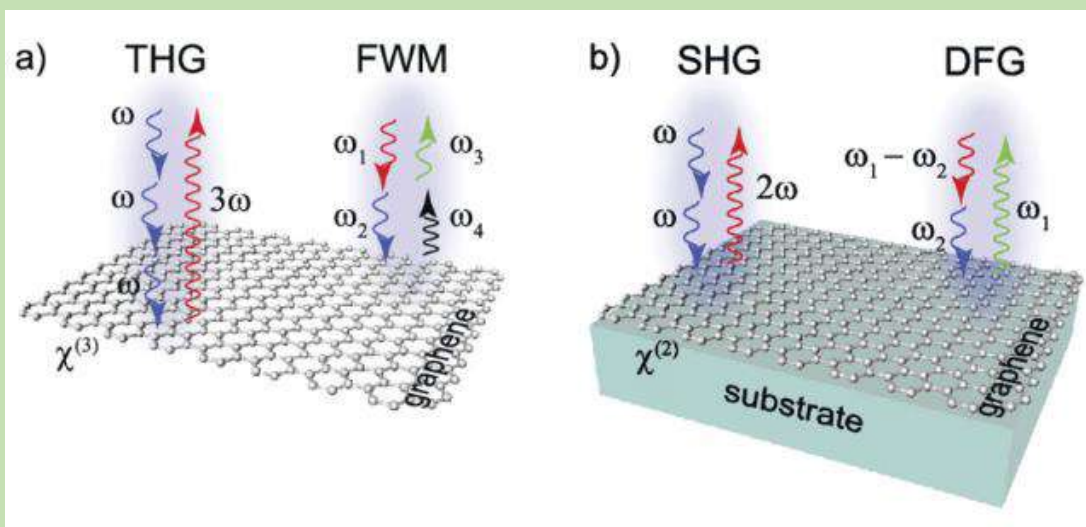
# فناوری‌های اپتیک در بخش مواد

Negative n2 materials

مواد n2 منفی

۲۰

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 n2 منفی 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

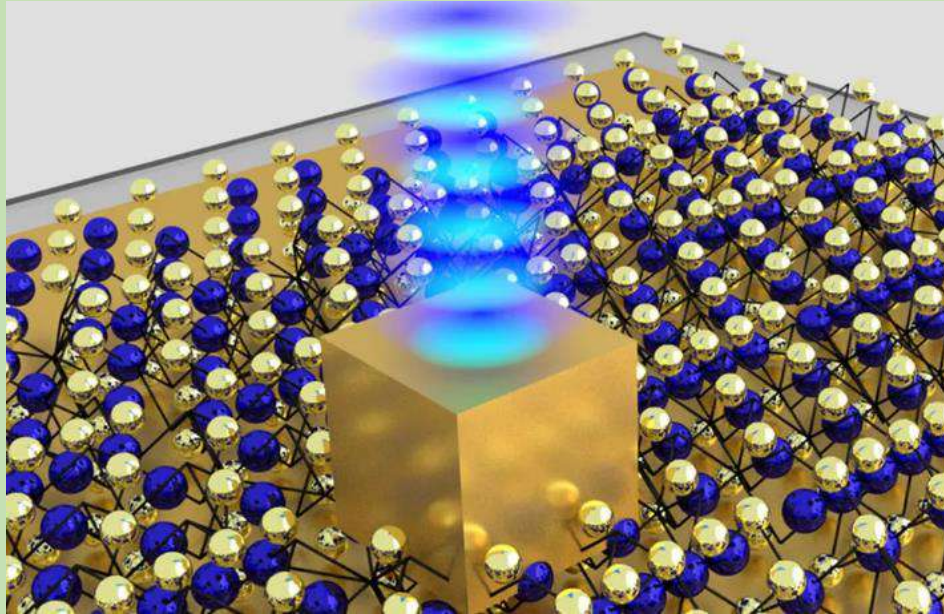
Very high efficiency, easily integrated single photon sources

منبع تک فوتون با راندمان بالا و به راحتی قابل یکپارچه‌سازی

۲۱

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؛

**نقطه 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

Materials for >100 GHz optical modulators & sub ps switching

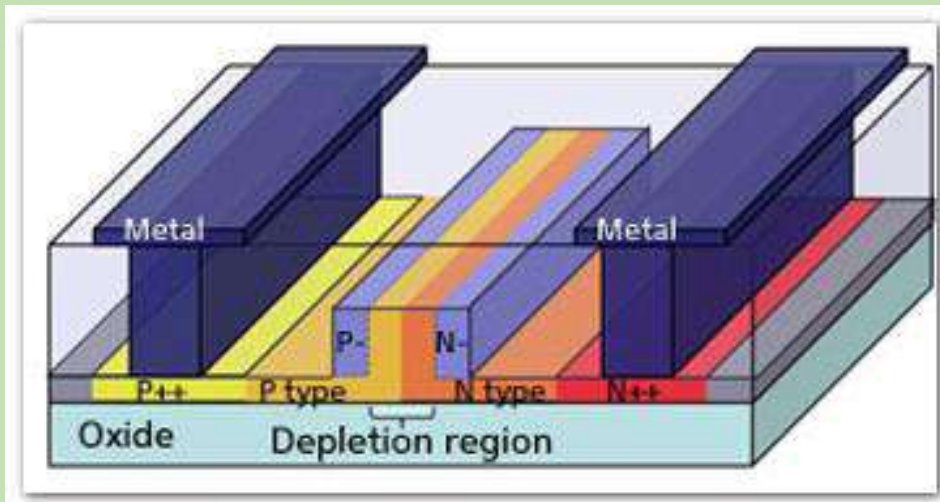
مواد اولیه مدولاتورهای نوری با فرکانس بالای ۱۰۰ GHz و سرعت سوئیچینگ بالا

۲۲

این مواد در مخابرات نوری فوق سریع و پردازش سیگنال پرسرعت و فوتونیک میکروویو کاربرد دارند. برخی از موادی که در این حوزه کاربرد دارند 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 ادغام 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

DNA Sequencing

فناوری توالی‌یابی DNA با فوتونیک

۲۳



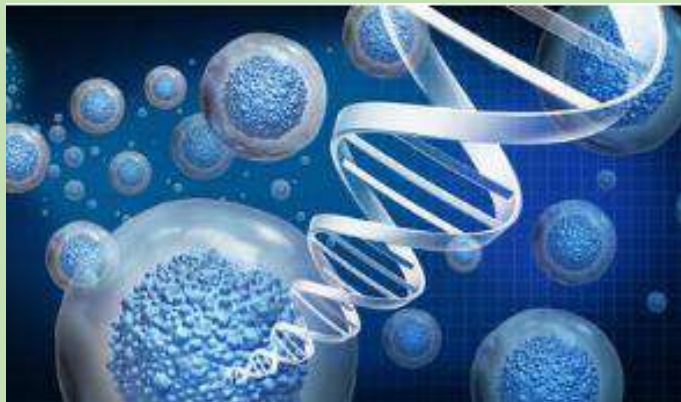
فوتونیک نقش مهمی در توسعه و پیشرفت توالی‌یابی DNA و ایجاد امکان تجزیه و تحلیل دقیق آن را دارد. روش‌های متنوعی در بکارگیری فوتونیک برای انجام توالی‌یابی DNA وجود دارد که یکی از آنها آشکارسازی فلئورسنت نام دارد. در این روش رنگ‌های فلورسنت به اجزاء DNA یا نوکلئوتیدها می‌چسبند و هنگامی که توسط لیزر یا منبع نوری دیگر برانگیخته می‌شوند، سیگنال‌های فلورسنت 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

Optical cell manipulation for regenerative medicine

تغییر در سلول با کمک نور برای ترمیم بافت بدن

۲۴



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.

High-volume processes for point-of-care testing

فرآیندهای با حجم بالا برای تشخیص پزشکی سریع

۲۵



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

Optical imaging of the nervous system

تصویربرداری نوری از سیستم عصبی

۲۶

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 دو فوتونی:** 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.

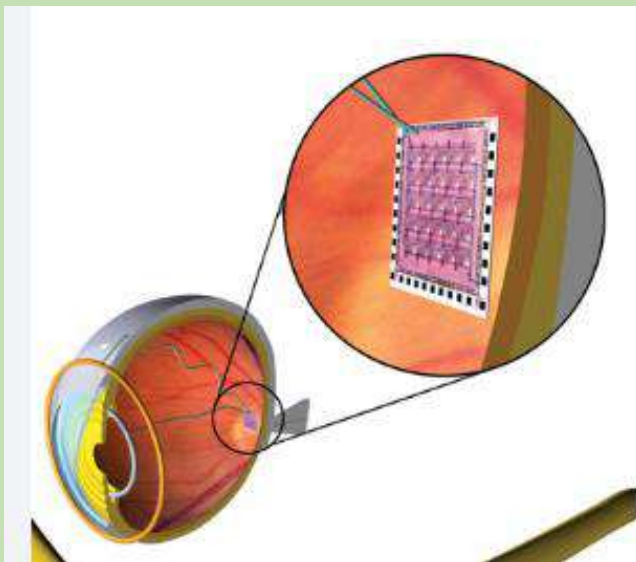
**میکروسکوپ هم‌کانون:** این ابزار از لیزر برای تحریک فلوروفورها در بخش نازکی از بافت استفاده می‌کند و در تصویربرداری با دقت بالا از نورون‌ها و اتصالات عصبی و ساخت تصاویر سه بعدی از بافت عصبی استفاده می‌شود.

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

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



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 می‌شود، به ویژه در ناحیه شبکیه که سلول‌های گیرنده نوری آسیب دیده یا عملکردی ندارند. ایمپلنت شامل مجموعه‌ای از الکترودها است که سلول‌های سالم باقی مانده شبکیه یا عصب بینایی را تحریک می‌کند. الکترودهای کاشته شده اطلاعات بصری را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کنند. سپس این سیگنال‌ها به سلول‌های شبکیه باقی مانده



یا عصب بینایی منتقل می‌شوند و سلول‌های گیرنده نوری آسیب دیده را دور می‌زنند و فرآیند طبیعی تبدیل نور به سیگنال‌های 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 دستگاه‌های ثبت تصویر، یک واحد پردازش سیگنال و یک فرستنده باشد.

رهاسازی دارو با تحریک نور به تکنیکی اطلاق می‌شود که در آن داروها یا عوامل درمانی از یک حامل پس از قرار گرفتن در معرض نور آزاد می‌شوند. این رویکرد امکان کنترل دقیق زمان، مکان و دوز انتشار دارو را فراهم می‌کند و مزایای بالقوه‌ای را در درمان هدفمند ارائه می‌دهد و عوارض جانبی را به حداقل می‌رساند. 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 می‌شوند. این مواد با قرار گرفتن در معرض طول موج‌های خاص نور، تغییرات خاصی در ساختار یا خواص خود می‌کنند.



دارو یا عامل درمانی که قرار است تحویل داده شود معمولاً در یک سیستم حامل مانند نانوذرات، لیپوزوم‌ها، هیدروژل‌ها یا میسل‌ها کپسوله یا بارگذاری می‌شود. 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 بیماری‌های چشمی، ترمیم زخم و انتشار کنترل شده داروها در بافت‌ها یا اندام‌های خاص دارد.



# فناوری‌های اپتیک در بخش پزشکی

Laser Surgery

جراحی با لیزر

۲۹

جراحی لیزری که به عنوان جراحی با کمک لیزر یا لیزر درمانی نیز شناخته می‌شود، به استفاده از فناوری لیزر در روش‌های 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 بافت‌های مختلف بدن استفاده می‌شود. بسته به بافت یا شرایط خاص تحت درمان، انواع مختلفی از لیزر در روش‌های جراحی استفاده می‌شود. لیزرهای رایج مورد استفاده شامل لیزرهای دی‌اکسید کربن CO<sub>2</sub>، لیزرهای اریوم، لیزرهای گارنت آلومینیوم ایتريوم 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 روش‌های خاص است. جراحی لیزری دقت و قابلیت‌های هدف‌گیری بی‌نظیری را ارائه می‌دهد. پرتو لیزر متمرکز می‌تواند به طور انتخابی بافت‌ها 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

Chemistry & chemical reaction pathways controlled by light

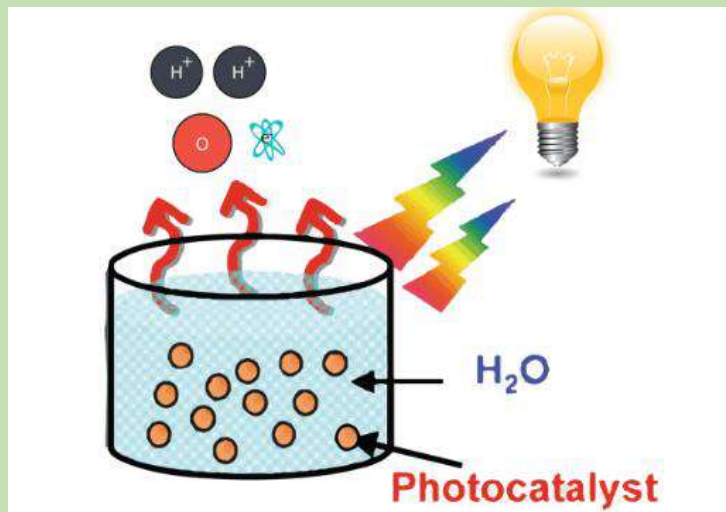
کنترل واکنش‌های شیمیایی با نور

۳۰

کنترل واکنش‌های شیمیایی با نور، فوتوشیمی نامیده می‌شود که حوزه پژوهشی بسیار جذاب است که در علم مواد، سنتز ارگانیک 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 می‌شود و در ذخیره سازی داده‌های نوری، لنزهای فتوکرومیک و حسگرها کاربرد دارد.



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

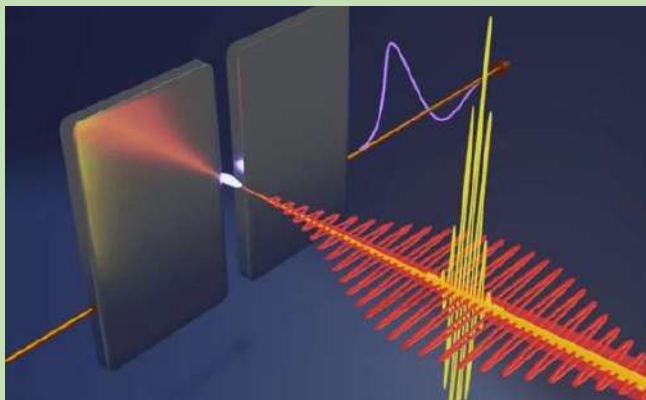
**فوتواکسیداسیون:** فرآیند شیمیایی با انتقال الکترون‌ها از یک مولکول به حالت برانگیخته با نور انجام می‌شود و تولید دارو و مواد با ارزش افزوده بالا کاربرد دارد.

# فناوری‌های اپتیک در بخش پدیده‌های فیزیکی و نوری

Ultra-short temporal pulse-shaping

شکل‌دهی پالس لحظه‌ای

۳۱



تکنیکی برای تغییر ویژگی‌های گذرای پالس نوری در مقیاس 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.

Extreme high energy pulsed phenomena for breaking vacuum

پالس‌های متمرکز با انرژی بالا نظیر لیزر برای شکستن خلا

۳۲



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

# فناوری‌های اپتیک در بخش پدیده‌های فیزیکی و نوری

Spectroscopy

طیف سنجی

۳۳

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 می‌دهد. طیف سنجی شامل برهمکنش ماده با تابش الکترومغناطیسی است که طیف وسیعی از طول موج‌ها یا فرکانس‌ها از امواج رادیویی گرفته تا پرتوهای گاما را شامل می‌شود. انواع مختلف طیف سنجی از مناطق خاصی از طیف الکترومغناطیسی مانند اشعه ماوراء بنفش UV، مرئی VIS، مادون قرمز IR یا اشعه ایکس بر اساس تجزیه و تحلیل مورد نظر استفاده می‌کنند.



طیف‌شناسی جذبی، انتشاری، فلورسانس و فسفرسانس، رامان، تشدید مغناطیسی هسته‌ای و جرمی از انواع مختلف این فناوری هستند که در زمینه‌های مختلف علمی از جمله شیمی، فیزیک، زیست‌شناسی، پزشکی، علوم محیطی و علم مواد کاربرد دارند. برای تجزیه و تحلیل کمی و کیفی، شناسایی مواد، نظارت بر واکنش‌های شیمیایی، مطالعه ساختارهای مولکولی، و بررسی سیستم‌های پیچیده بیولوژیکی استفاده می‌شود.

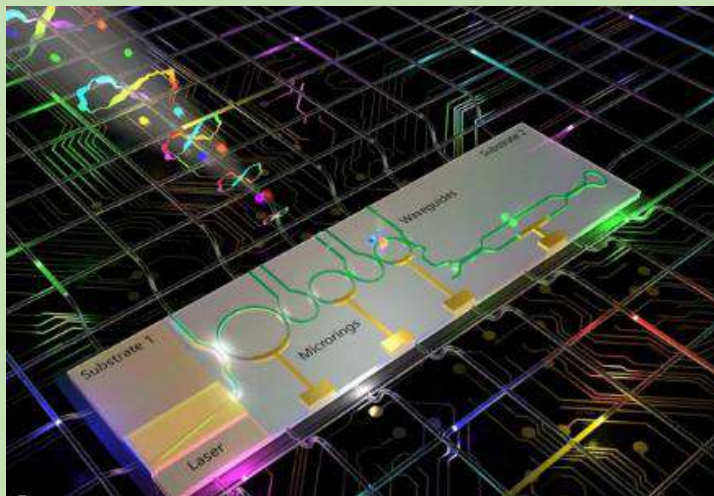
# فناوری‌های اپتیک در بخش پدیده‌های فیزیکی و نوری

Entangled Photon Source

منبع فوتون درهم تنیده

۳۴

درهم تنیدگی پدیده‌ای در مکانیک کوانتومی است که در آن خواص دو یا چند ذره به گونه‌ای 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 می‌دهد.



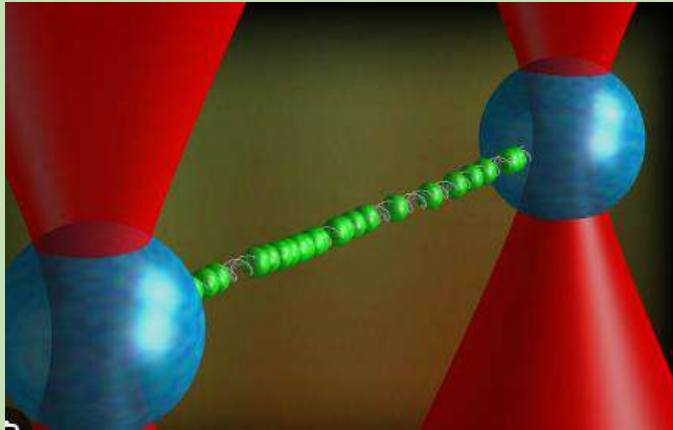
بدین ترتیب در مخابرات کوانتومی اگر پیام ارسالی استراق سمع شود فرستنده و گیرنده سریعاً متوجه می‌شوند. روش‌های مختلفی برای تولید فوتون‌های درهم تنیده نظیر SPDC، تقویت پارامتریک با کریستال غیرخطی، نقاط کوانتومی با نیمه‌رسانای نانو کریستالی و ترکیب همزمان ۴ موجی در فیبرها وجود دارد. این فناوری در توزیع کلید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

# فناوری‌های اپتیک در بخش فرآیند تولید

Flexible optical manipulation for limited access volumes

کاربرد نور در دسترسی به اجزاء بسیار کوچک در حجم بزرگ

۳۵

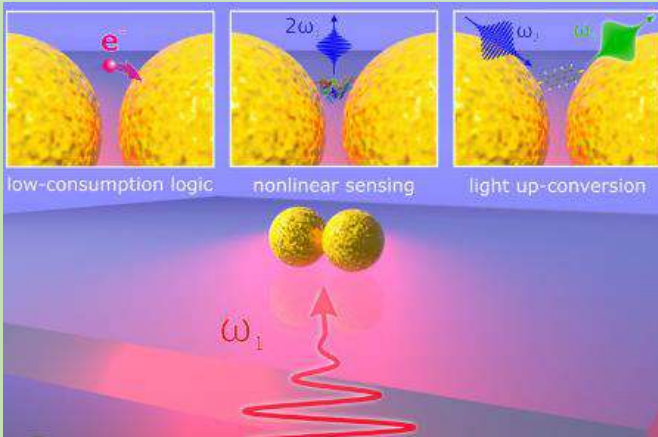


استفاده از نور در فضاهای محدود و کانال‌های کوچک برای جابجایی و دسته‌بندی و جداسازی ذرات و اشیاء بسیار کوچک در حجم‌های بزرگ در مقیاس نانو و میکرو؛ برای نمونه استفاده از انبرک نوری (پرتو متمرکز لیزر) برای دستکاری سلول‌ها و مولکول‌ها

High-volume processes for point-of-care testing

تجمیع کارکردهای پلاسمونیک‌ها

۳۶

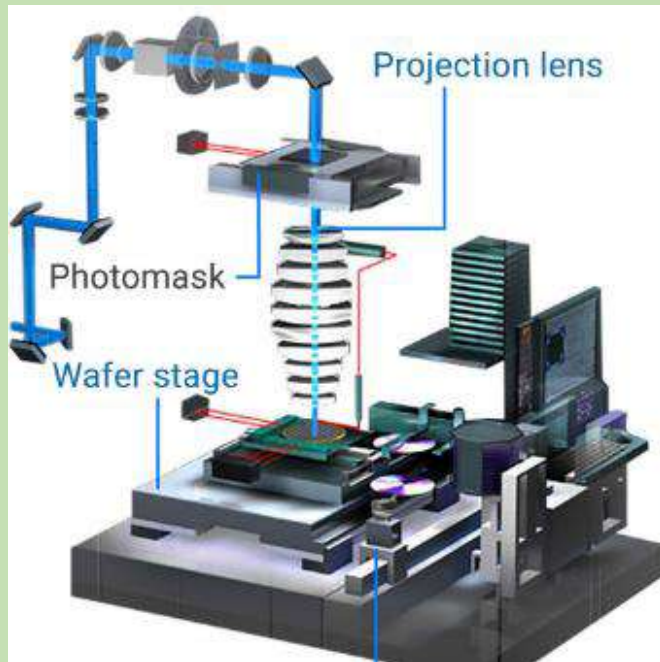


به نوسان الکترون‌های همدوس در سطح فلز پلاسمون گفته می‌شود که در کنترل و تنظیم نور (با مقیاس نانو) در حسگرها، تصویربرداری و ذخیره داده کاربرد دارد. ادغام قابلیت‌های پلاسمونیک در ابزارهای کاربردی بخاطر تلفات زیاد، تنظیم‌پذیری محدود و دشواری در ساخت چالش برانگیز است.

# فناوری‌های اپتیک در بخش فرآیند تولید

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 ویژگی‌های 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 می شود. ویفر در معرض طول موج خاصی از نور فرابنفش قرار می گیرد و نور از قسمت‌های شفاف ماسک عبور می کند و الگوی مورد نظر روی ویفر پیاده‌سازی می شود. 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 دستگاه‌های الکترونیکی سریع تر، کوچکتر و قدرتمندتر را فراهم می کند.

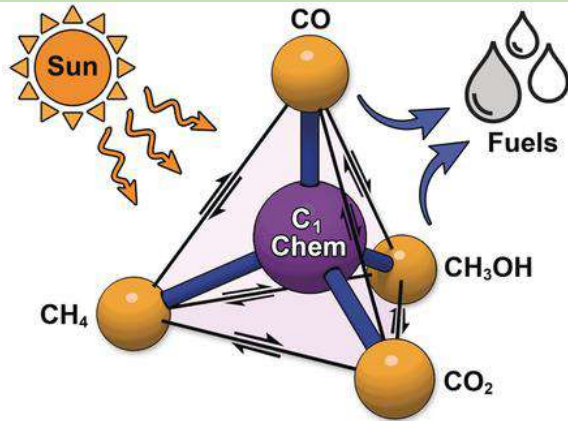


# فناوری‌های اپتیک در بخش فرآیند تولید

Solar driven chemical processing

پردازش شیمیایی با استفاده از انرژی خورشیدی

۳۸



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

Testing of massively complex systems at wafer scale

آزمون سیستم‌های بسیار پیچیده در مقیاس ویفر

۳۹



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

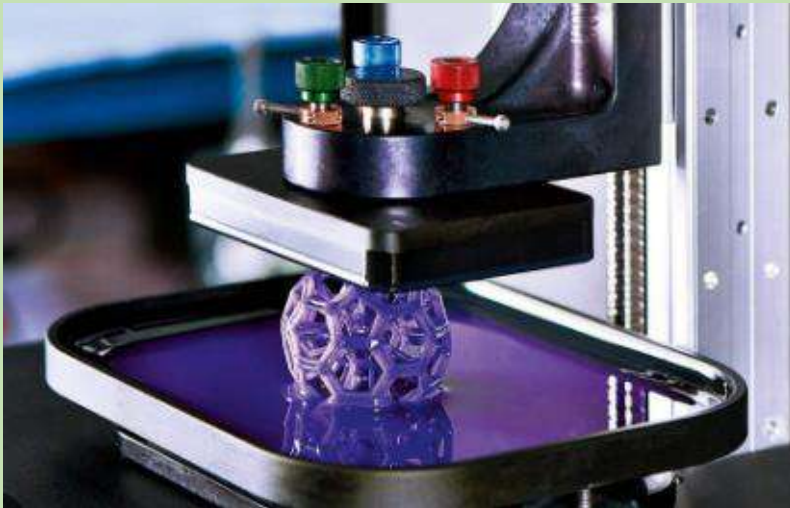
Laser 3D printing

چاپ سه بعدی با لیزر

۴۰

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 می‌شوند تا شی مورد نظر را بسازند. چاپ سه بعدی لیزری معمولاً شامل ذوب یا تفجوشی مواد با استفاده از پرتو لیزر پر قدرت 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 می‌کند و

مواد پودری را مطابق طرح به طور انتخابی ذوب یا تفجوشی می‌کند. پس از تکمیل هر لایه، یک لایه جدید از مواد اضافه می‌شود و این روند تا زمانی که جسم به طور کامل تشکیل شود، تکرار می‌شود. این فناوری می‌تواند با طیف وسیعی از مواد، از جمله فلزات (مانند تیتانیوم، آلومینیوم و فولاد ضد زنگ)، پلیمرها (مانند ABS یا نایلون)، سرامیک‌ها و حتی مواد زیست سازگار کار کند. انتخاب مواد به کاربرد مورد نظر و خواص مورد نیاز برای شی نهایی بستگی دارد.

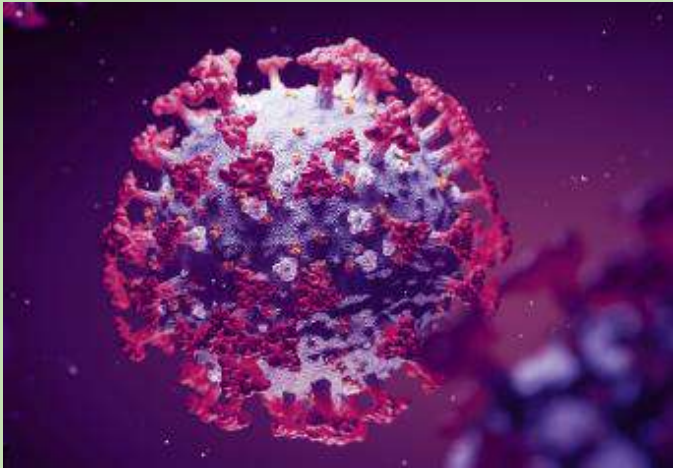


# فناوری‌های اپتیک در بخش بهداشت و سلامت

UV-C Light Disinfection

نور فرابنفش ضد عفونی کننده

۴۱



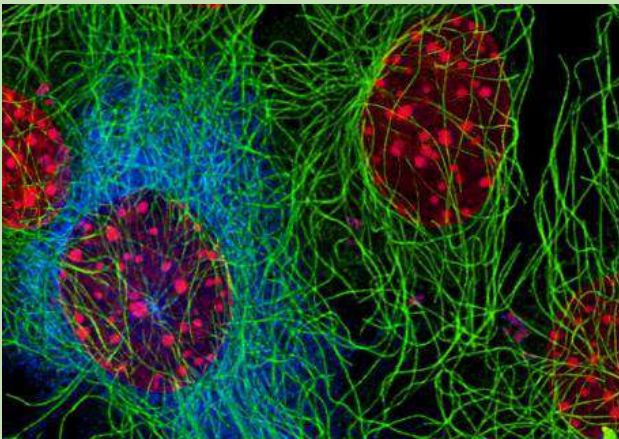
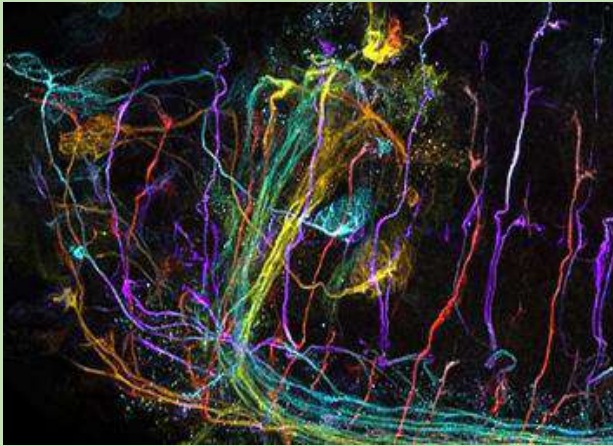
از نور فرابنفش برای ضد عفونی کردن سطوح و اشیاء، تصفیه آب، نابودسازی باکتری، مخمر یا کپک و حتی ویروس کووید-۱۹ استفاده می‌شود. این فناوری نور فرابنفش با طول موج ۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر را برای از بین بردن میکروارگانیسم‌ها نظیر باکتری، ویروس و قارچ بکار می‌گیرد. فوتون‌های پرانرژی توسط میکروب‌ها جذب شده و پیوند 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 ضد عفونی نمود. ضد عفونی کردن هوای مدرسه و مهد کودک، رستوران، هتل و مراکز درمانی با استفاده از نور فرابنفش از دیگر کاربردهای این فناوری است.

# فناوری‌های اپتیک در بخش بهداشت و سلامت

Laser Scanning Microscope/Confocal  
laser scanning microscope (CLSM)

میکروسکوپ لیزری

۴۲

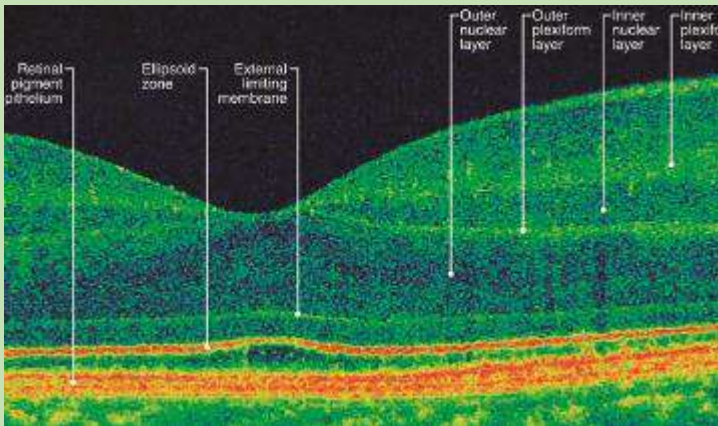


میکروسکوپ لیزری که به عنوان میکروسکوپ اسکن لیزری یا میکروسکوپ اسکن لیزری هم کانونی (CLSM) نیز شناخته می‌شود، یک ابزار تصویربرداری پیشرفته است که از روش‌های روشنایی لیزری و اسکن کردن برای ارائه تصاویر سه‌بعدی با وضوح بالا استفاده می‌کند و مزیت‌های زیادی را نسبت به میکروسکوپ‌های نوری سنتی مانند وضوح بهتر،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

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 گسترده‌ای در زمینه‌های پزشکی و چشم پزشکی برای تشخیص و نظارت بر شرایط مختلف و همچنین در کاربردهای دیگر مانند علم مواد و کنترل صنعتی استفاده می‌شود. این فناوری بر تداخل سنجی مبتنی است که در آن یک پرتو به دو بازو تقسیم می‌شود؛ بازوی مرجع و نمونه. نور در بازوی نمونه به بافتی که تصویربرداری می‌شود هدایت می‌شود، در حالی که نور در بازوی مرجع از آینه مرجع منعکس می‌شود. نور پس پراکنده یا منعکس شده از نمونه با نور بازوی مرجع ترکیب می‌شود و یک الگوی تداخل ایجاد می‌کند.



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.

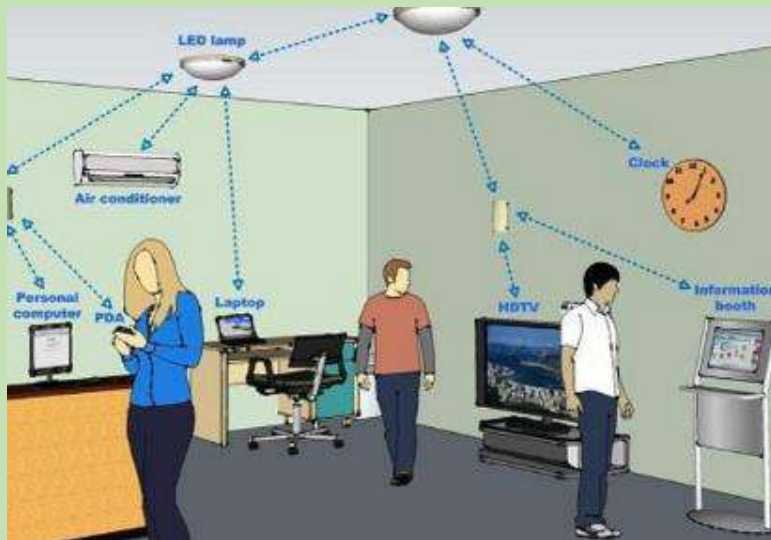
# فناوری‌های اپتیک در بخش مخابرات

Light Fidelity (Li-Fi)

لای فای

۴۴

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

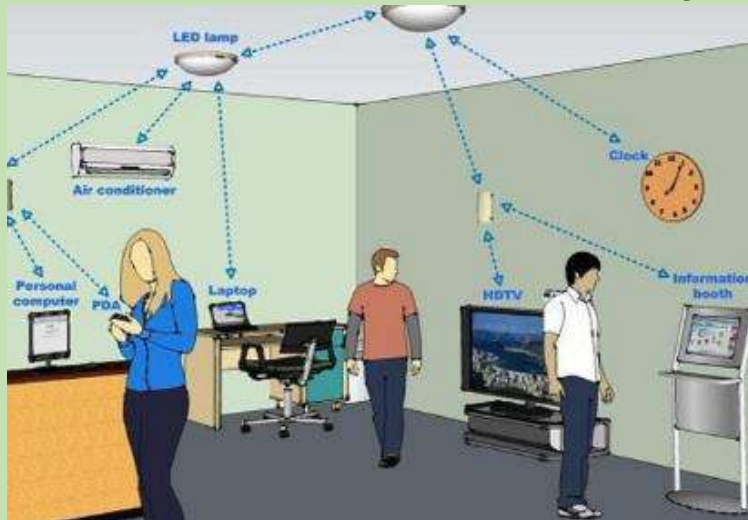


لای-فای به لامپ LED یا دیگر منابع نوری متکی است که قادر به روشن و خاموش شدن سریع برای انتقال داده هستند. این LED ها در فرکانس بالا در محدوده چندمگاهرتز تا گیگاهرتز مدوله می شوند. برای دریافت و رمزگشایی داده از ردیاب های نوری مانند فتودیودها استفاده می کند که در آن سیگنال نوری به سیگنال الکتریکی تبدیل شده و توسط دستگاه های الکترونیکی پردازش می شود.

# فناوری‌های اپتیک در بخش مخابرات

ارتباطات نوری فضای آزاد یک فناوری ارتباط نوری است که از نور منتشر شده در فضای آزاد برای انتقال بی‌سیم داده‌ها برای مخابرات یا شبکه‌های کامپیوتری استفاده می‌کند. «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 می‌تواند 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 هیچ‌گونه مانعی مانند ساختمان‌ها، درختان یا تداخل جوی در هوا حرکت کنند تا یک اتصال قابل اعتماد حفظ شود و سرعت انتقال داده بالایی را ارائه می‌دهد، معمولاً در محدوده چندین گیگابیت در ثانیه و یا حتی بالاتر!

# فناوری‌های اپتیک در بخش کشاورزی

Precision farming

کشاورزی دقیق با فناوری فوتونیک

۴۶



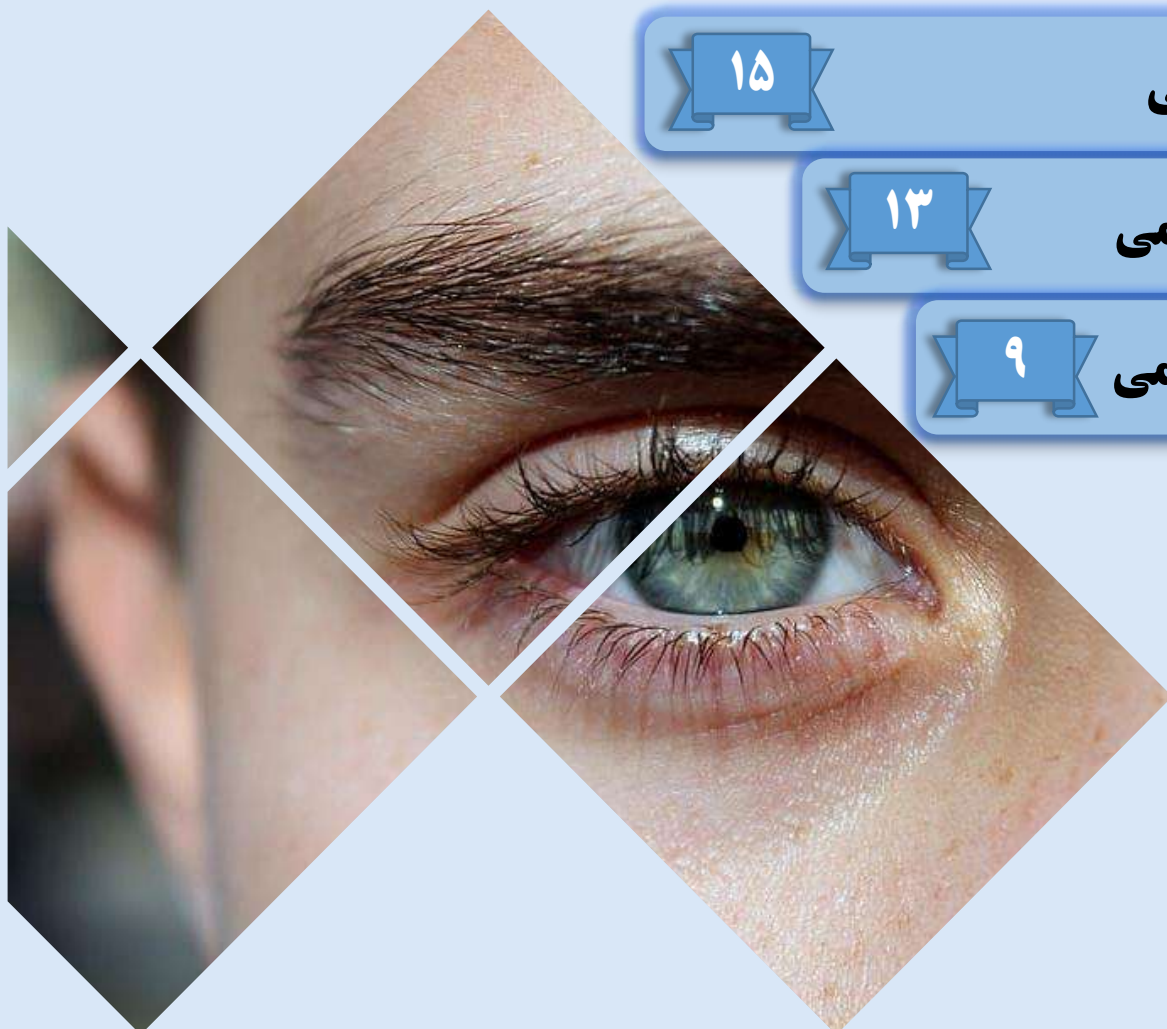
فناوری‌های نوری و فوتونیک برای اندازه‌گیری سلامت محصول و کیفیت محصولات کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور در باند نور مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی بکار گرفته می‌شوند. این فناوری‌ها در اندازه‌گیری و پایش آب و هوا، رشد گیاهان، کیفیت خاک، میزان نیاز به آب یا کود و تشخیص بیماری 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



۱۵

سنجش کوانتومی

۱

۱۳

پردازش کوانتومی

۲

۹

مخابرات کوانتومی

۳

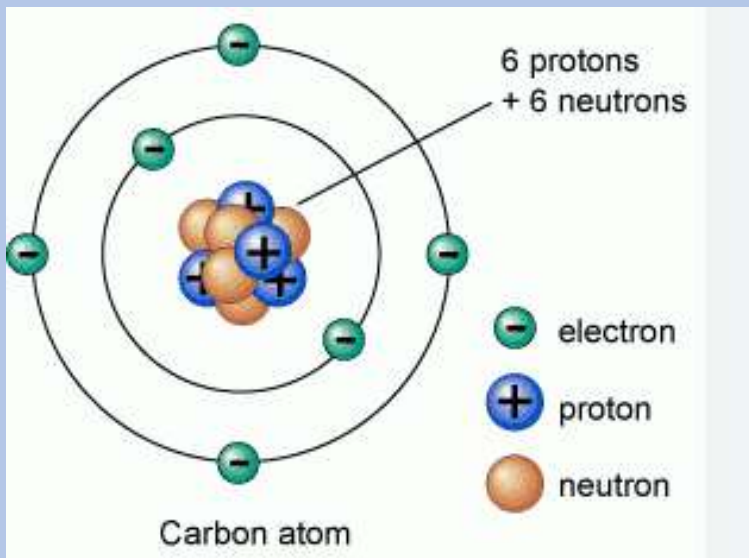
# فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

Neutral Atoms

اتم‌های خنثی

۱

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

Resolving Industrial challenges by  
Quantum Simulation

حل چالش‌های صنعت با شبیه‌سازی  
کوانتومی

۲



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.

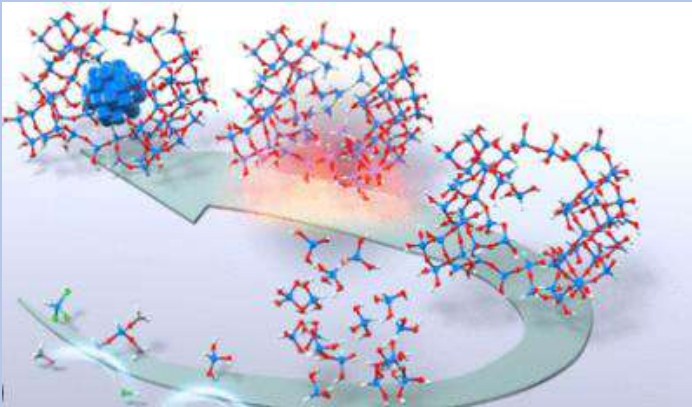
مدلسازی و بهینه‌سازی واکنش‌های شیمیایی و ترکیبات داروی با هدف کشف مواد جدید در باتری‌سازی و کشف داروهای جدید، شبیه‌سازی تصادف و شناخت نحوه عملکرد خودرو و تجهیزات آن در تصادف و یافتن راه حل برای کاهش صدمات، مطالعه واکنش‌های شیمیایی و رفتار مواد ابررسانا برای اسکنرهای پزشکی، بهینه‌سازی زنجیره تامین، توزیع 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

Silicon Quantum Dots Qubit

کیویت گره کوانتومی سیلیکونی

۳

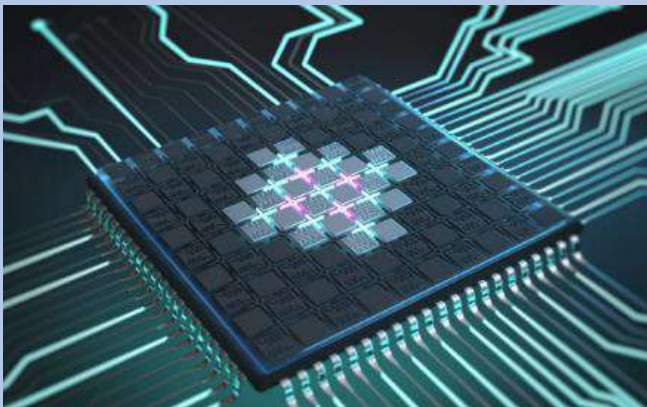


خوشه‌هایی کوچک از اتم‌های سیلیکونی در اندازه چند نانومتر هستند که با تحدید الکتروستاتیکی به دام افتاده و قابلیت کیویت را نشان می‌دهند. مزیت گره‌های کوانتومی سیلیکونی در قابلیت جمع با سیستم‌های الکترونیکی بر پایه سیلیکون فعلی است.

Superconductor Qubit

کیویت ابررسانا

۴



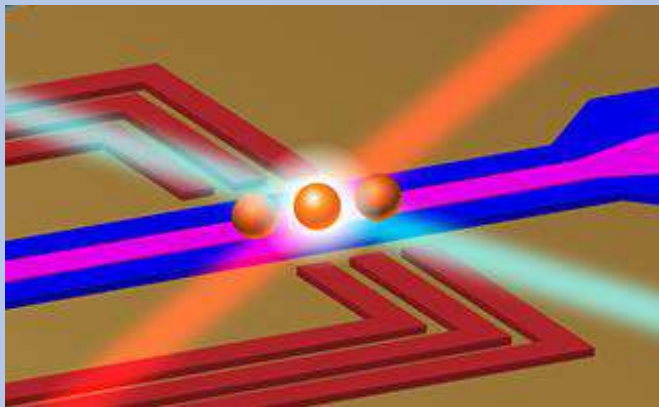
ابررساناها جریان الکتروسیته را بدون مقاومت و در دمای بسیار پایین هدایت می‌کنند و با ایجاد مدارهای مجتمع بسیار منسجم کوانتومی ابزار مناسبی برای استفاده به عنوان کیویت هستند. مزیت استفاده از ابررساناها در ساخت کیویت روش استاندارد تولید و مقیاس‌پذیری آنها می‌باشد.

# فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

## Trapped Ions Qubit

## کیوبیت یون به دام افتاده

۵

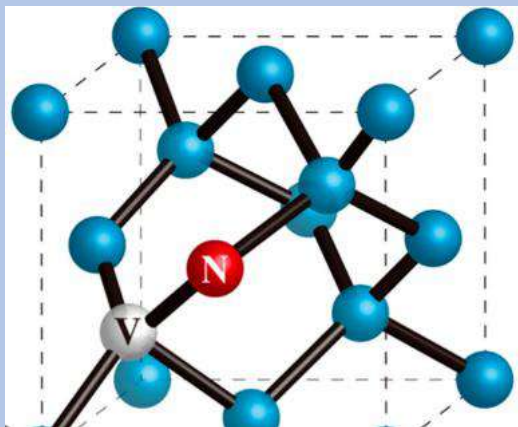


یون‌ها اتم‌های باردار هستند که با کمک میدان الکترومغناطیسی به دام افتاده و با پرتو لیزر دستکاری می‌شوند و به عنوان کیوبیت استفاده می‌شوند. مزیت استفاده از یون‌های به دام افتاده به عنوان کیوبیت زمان طولانی نگهداشت حالت کوانتومی و دقت بالای آنهاست.

## Nitrogen Vacancy Qubit

## کیوبیت خلاء نیتروژن

۶



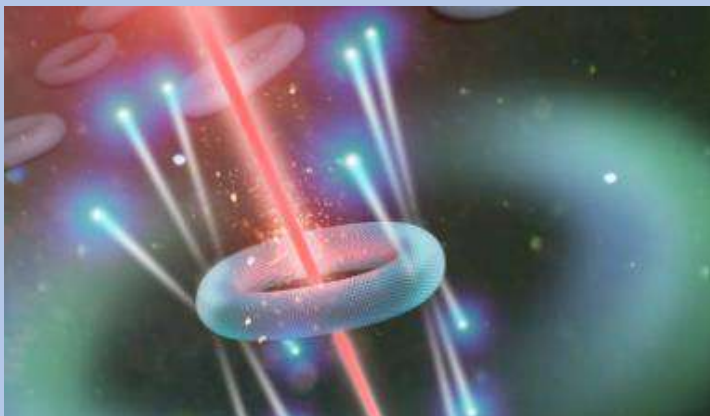
نقص اتم‌ها در ساختار شبکه‌ای کریستال الماس و جایگزینی کربن با نیتروژن خلا نیتروژن نام دارد که با استفاده از پالس نوری و میکروموج دستکاری شده و بعنوان کیوبیت کاربرد دارند. مزیت استفاده از خلاء نیتروژن به عنوان کیوبیت زمان طولانی نگهداشت حالت کوانتومی و دقت بالا می‌باشد.

# فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

Photonics Qubit

کیوبیت فوتونیکی

۷

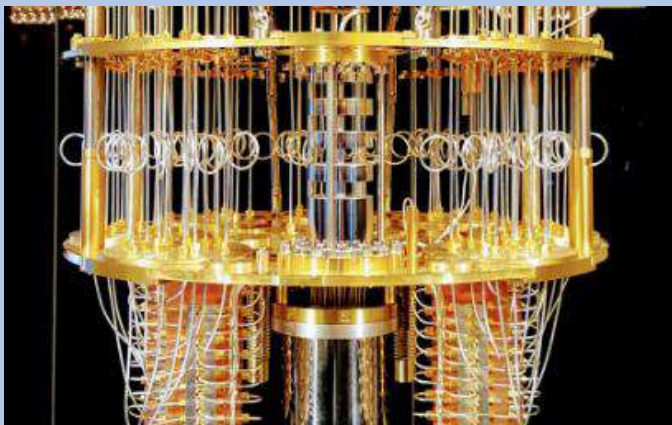


از فوتون برای ساخت کیوبیت استفاده می‌شود. قطبش فوتون (متغیر گسسته) یا مسیر فوتون (متغیر پیوسته) تعیین کننده حالت کیوبیت است. فوتون‌ها توسط منبع لیزر تولید شده و حالت آن با ابزارهای نوری خطی نظیر پرتوشکن و تغییر فازدهنده مدیریت می‌شود. مزیت این روش سرعت بسیار بالا و کارایی آن است.

Noisy Intermediate Scale Quantum

عصر پردازش NISQ

۸



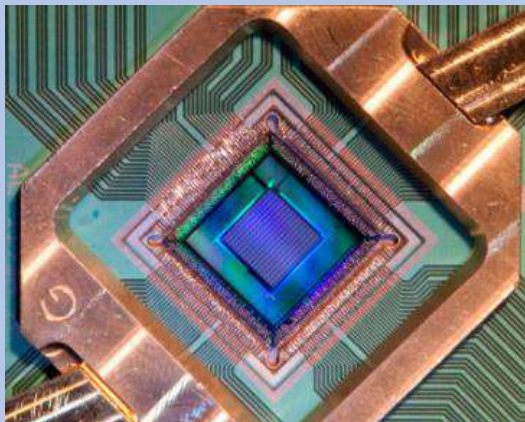
وضعیت فعلی پردازنده‌های کوانتومی که در آن کیوبیت‌ها «نویزی» هستند زیرا به محیط بسیار حساس بوده و به راحتی حالت کوانتومی خود را از دست می‌دهند. به همین دلیل، پردازنده کوانتومی تحت تأثیر ناهمدوسی قرار می‌گیرد و به «اصلاح خطا» در خروجی خود نیاز دارد.

# فناوری‌های کوانتوم در بخش پردازش کوانتومی

Quantum Annealing

بازیخت (گرم و سرد کردن کنترل شده)  
کوانتومی

۹



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

Neutral atom quantum Simulator

شبیه‌ساز کوانتومی با اتم خنثی

۱۰



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

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 ماشینی این است که می‌تواند 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 QML برای 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

Fault-tolerant Quantum Computing

پردازش کوانتومی خطاپذیر

۱۲



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.

Quantum Internet

اینترنت کوانتومی

۱۳



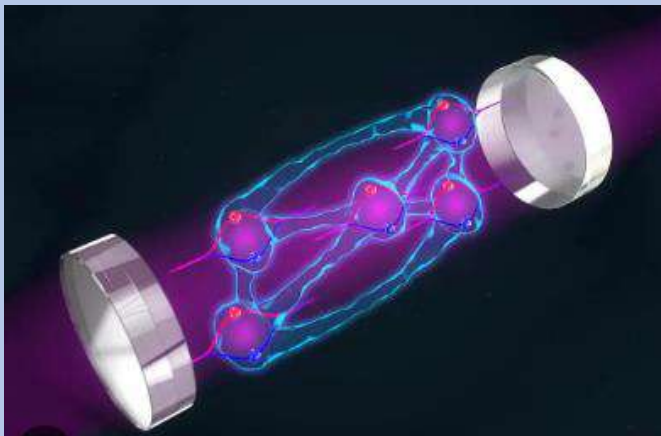
شبکه‌ای از ابزارهای کوانتومی متصل که داده کوانتومی را انتقال می‌دهند. مخابرات امن و پربازده با رمزنگاری کوانتومی، ترابری کوانتومی و توزیع کلید کوانتومی، با سرعت بالا انجام می‌شود.

# فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

Quantum Interferometer

تداخل سنج اتمی

۱۴

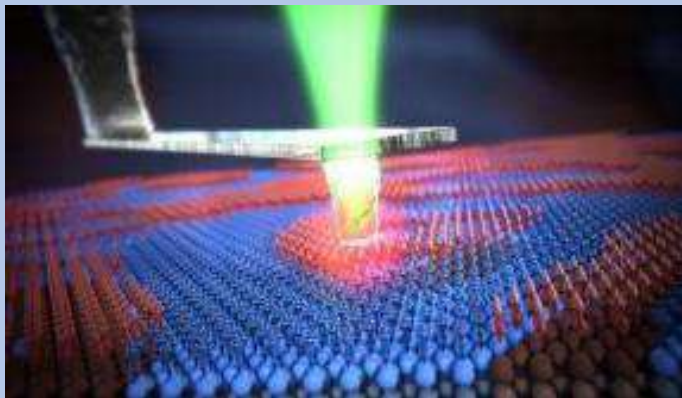


از تداخل سنج اتم سرد برای ساخت ابزارهای سریع و دقیق اندازه‌گیری متغیرهایی نظیر گرانش، اینرسی و چرخش استفاده می‌شود. این با اندازه‌گیری الگوی تداخل امواج ماده اتمی که در مسیرهای مختلف حرکت می‌کنند، انجام می‌شود. لیزر و آشکارساز فوتون منسجم و مدولاتور اجزای اصلی این فناوری است.

Quantum Sensing by Nitrogen Vacancy centers

سنجش کوانتومی با مراکز خلاء نیتروژن

۱۵



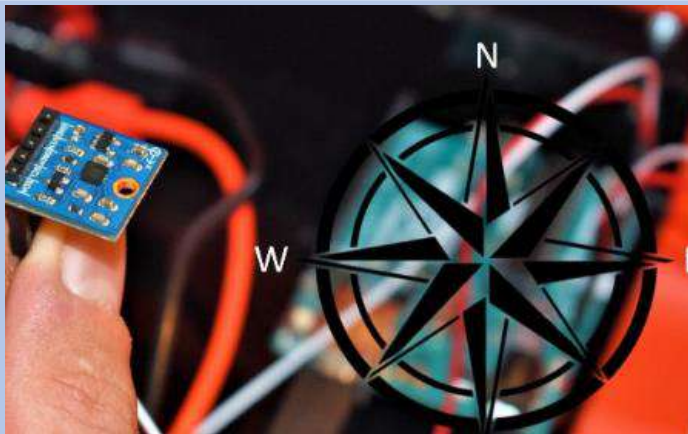
از رفتار نقاط خالی از نیتروژن در کریستال‌های مصنوعی الماس برای اندازه‌گیری متغیرهایی نظیر میدان مغناطیسی و الکتریکی، کشش و دما استفاده می‌شود. این کار با اندازه‌گیری تغییر شدت فلورسانس منتشر شده توسط مراکز خلا نیتروژن در شبکه الماس انجام می‌شود.

# فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

## Quantum Magnetometer

## مغناطیس سنج کوانتومی

۱۶

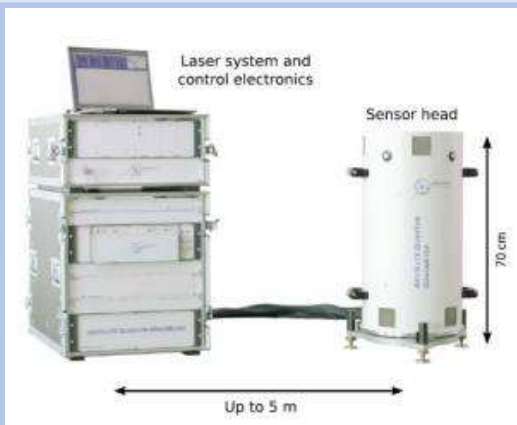


اندازه‌گیری دقیق میدان مغناطیسی مبتنی بر وابستگی شدت فلئورسنس خلاء نیتروژن به قدرت میدان مغناطیسی موجود با استفاده از تجهیزاتی نظیر لیزر، فوتودیود، آشکارساز تک فوتون که در پژوهش‌های پیش رو کاهش هزینه تولید و کوچک شدن اندازه و افزایش قدرت و دقت از معیارهای توسعه است.

## Quantum Gravimeter

## گرانجس سنج کوانتومی

۱۷



اندازه‌گیری دقیق ضریب زاویه میدان گرانجی با بکارگیری ابری از اتم‌های سرد و سنجش فلئورسانس آن‌ها با تجهیزاتی نظیر لیزر و فوتودیودها در این فناوری انجام می‌گیرد. تشخیص ساختارهای پنهان مانند لوله‌ها، فروچاله‌ها و تهیه نقشه ۳ بعدی از چگالی مواد اطراف، کاهش هزینه و زمان در ساخت و ساز، ساخت جاده و تعمیر راه آهن از کاربردهای این فناوری است.

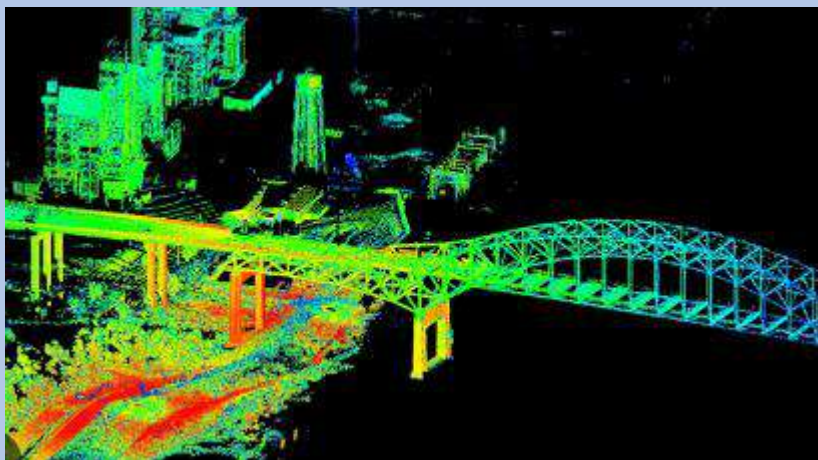
# فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

Quantum Lidar  
(Light Detection and Ranging)

لیدار کوانتومی

۱۸

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 دی‌اکسید کربن 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 پالس‌های نوری - همراه با سایر داده‌های ثبت شده توسط سیستم هوابرد - اطلاعات دقیق و سه بعدی در مورد شکل زمین و ویژگی‌های سطح آن تولید می‌کنند.

# فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

Quantum Navigation

ناوبری کوانتومی

۱۹

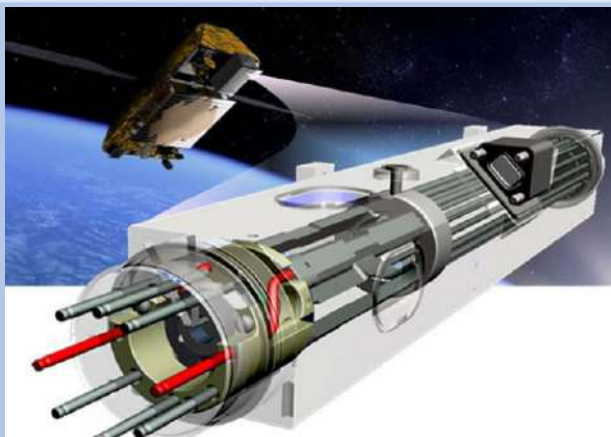


استفاده از فناوری کوانتوم در مکان‌یابی، ناوبری و زمان‌سنجی دقیق است. برای نمونه استفاده از ساعت اتمی درهم‌تنیده برای ایجاد سیگنال زمانی دقیق و پایدار جایگزین سیستم سنتی GPS است. مثال دیگر قطب‌نمای کوانتومی با استفاده از ویژگی مغناطیسی است.

Atomic Clock

ساعت اتمی

۲۰



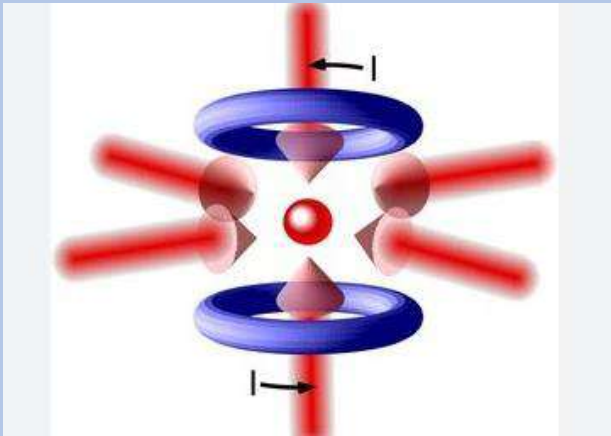
در ساعت اتمی از فرکانس تغییرات فوق‌ظریف حالت در اتم به عنوان مرجع استاندارد زمانی استفاده می‌شود. لیزر، آشکارساز فوتون هترودین و هومودین و مدولاتورها، قطعات نوری و فوتونیک لازم برای ساخت ساعت اتمی هستند.

# فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

Quantum Cold-atom Sensor

حسگر کوانتومی اتم سرد

۲۱

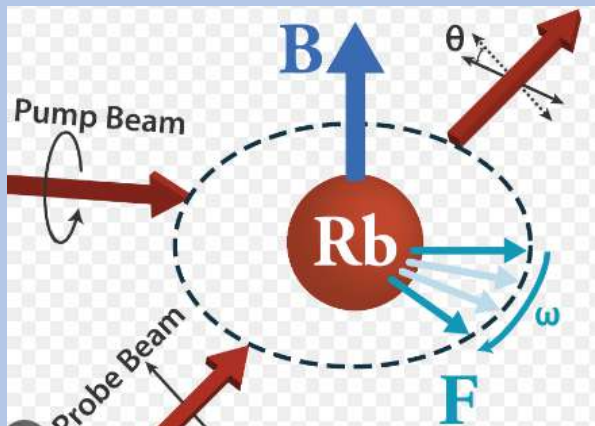


دوگانگی موجی-ذره‌ای یک اتم روییدیوم با فاز پرتو لیزر مقایسه می‌شود به گونه‌ای که می‌تواند تغییرات بسیار جزئی در نحوه سقوط آزادانه اتم‌ها در خلا را پایش کند. از تغییرات در سقوط آزاد اتم برای تعیین قدرت گرانش محلی و تشخیص وجود حفره‌ها، لوله‌ها، تونل‌ها، ذخایر نفت و گاز در زیر زمین استفاده می‌شود.

RF Atomic Magnetometer

مغناطیس‌سنج اتمی فرکانس رادیویی

۲۲



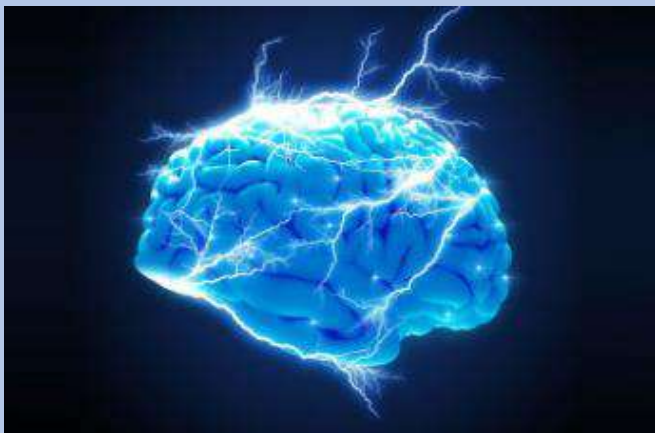
مغناطیس‌سنج‌های کوانتومی، تعامل بین اتم‌های قلیایی فلزات و یک میدان مغناطیسی خارجی را پایش نموده و تغییرات چرخش الکترون‌ها ناشی از میدان مغناطیسی و نواقص در مقیاس میکرو در مواد و اجسام را تشخیص می‌دهد. حسگر مغناطیس‌سنج اتمی مینیاتوری در فرکانس رادیویی نمونه‌ای از این فناوری کوانتومی است.

# فناوری‌های کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

## Optically Pumped Magnetometers (OPMs)

مغناطیس‌سنج اپتیکی پمپ شده

۲۳



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 در آغوش والدین اسکن شود مورد نظر است.

## Quantum Sensors for end-of-line battery testing

حسگر کوانتومی تست باتری انتهای خط تولید

۲۴



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

Gas (Methane) Imagers

حسگر تصویربرداری گاز متان

۲۵



تصویربرداری 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.

Quantum Digital Tomosynthesis

توموسنتز دیجیتال کوانتومی

۲۶



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، با سرعت 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

Quantum Radar

رادار کوانتومی

۲۷



دستگاه راداری که به فوتون های درهم تنیده متکی است و از چنان توان پایینی استفاده می کند که پشت سر و صدای پس زمینه پنهان می شود و برای کاربردهای زیست پزشکی و امنیتی مفید است. این دستگاه از ویژگی های مکانیک کوانتومی برای سنجش محیط و ایجاد تصویر از آن در محدوده مایکروویو استفاده می کند و در مرحله آزمایشی است.

Quantum Digital Tomosynthesis

توموسنتز دیجیتال کوانتومی

۲۸



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، با سرعت 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 می کند.

# فناوری‌های کوانتوم در بخش مخابرات کوانتومی

Post Quantum Cryptography

رمزنگاری پساکوانتومی

۲۹

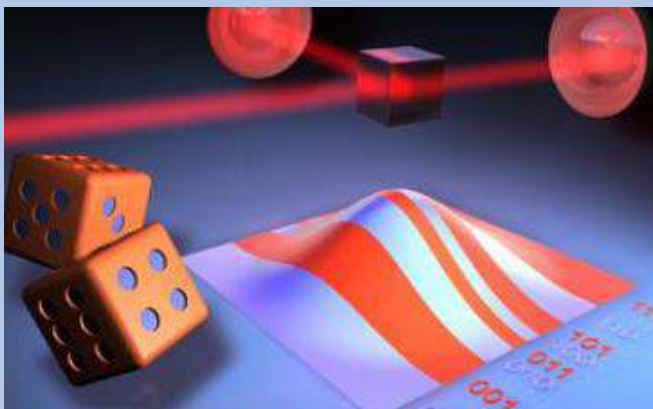


الگوریتم‌های رمزنگاری برای مقابله با حملات کامپیوترهای کوانتومی نظیر کلید-مقارن، کلید-عمومی و رمزنگاری شبکه‌محور که مبتنی بر مسائل ریاضی هستند که حل آن‌ها برای کامپیوترهای کوانتومی مشکل است.

Quantum Random Number Generator

مولد عدد تصادفی کوانتومی

۳۰



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

## Quantum Key Distribution Continuous Variable

توزیع کلید کوانتومی متغیر پیوسته

۳۱



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.

## Quantum Key Distribution Discrete Variable

توزیع کلید کوانتومی متغیر گسسته

۳۱



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

Entanglement quantum key  
distribution

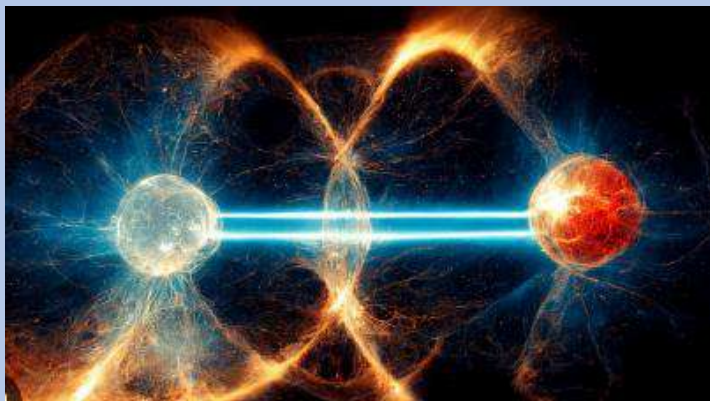
توزیع کلید کوانتومی مبتنی بر  
درهم تنیدگی

۳۲

توزیع کلید کوانتومی مبتنی بر درهم تنیدگی 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 می‌گیرد، وضعیت ذره باب به دلیل درهم تنیدگی با ذره او مرتبط می‌شود. از این همبستگی می‌توان برای ایجاد یک کلید مخفی مشترک بین آلیس و باب استفاده کرد که می‌تواند برای ارتباط امن استفاده شود. امنیت QKD مبتنی 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 می‌کند و باعث ایجاد خطاهایی می‌شود 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 زمینه‌هایی مانند ارتباطات امن و رمزنگاری در حال توسعه است.



# فناوری‌های کوانتوم در بخش مخابرات کوانتومی

## Optical Ground Receiver

## گیرنده نوری زمینی

۳۳



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.

## QKD Satellite Components

## قطعات ماهواره‌ای QKD

۳۴



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.

# فناوری‌های کوانتوم در بخش مخابرات کوانتومی

Dark Noise QRNG

مولد عدد تصادفی کوانتومی نویز سیاه

۳۵

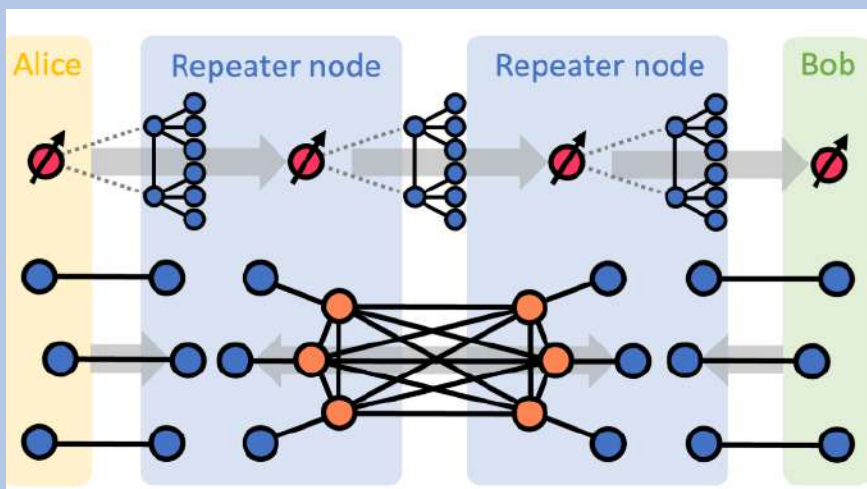
مولد عدد تصادفی (RNG) یک قطعه اصلی مورد نیاز در سیستم‌های رمزگذاری است. در واقع، هر چه کلید تصادفی‌تر باشد رمزگذاری امن‌تر است. مولدهای موجود پیچیده و ارزان هستند، اما توسعه فناوری کوانتوم خطری برای پروتکل رمزنگاری آن‌ها محسوب می‌شود. برای حل این مشکل، نوع جدیدی از مولدهای مبتنی بر منبع کوانتومی در حال 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

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 می‌دهد. 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

- 021454615646
- 5664613452159
- 36896116259746
- 294798336564
- 2677119910265

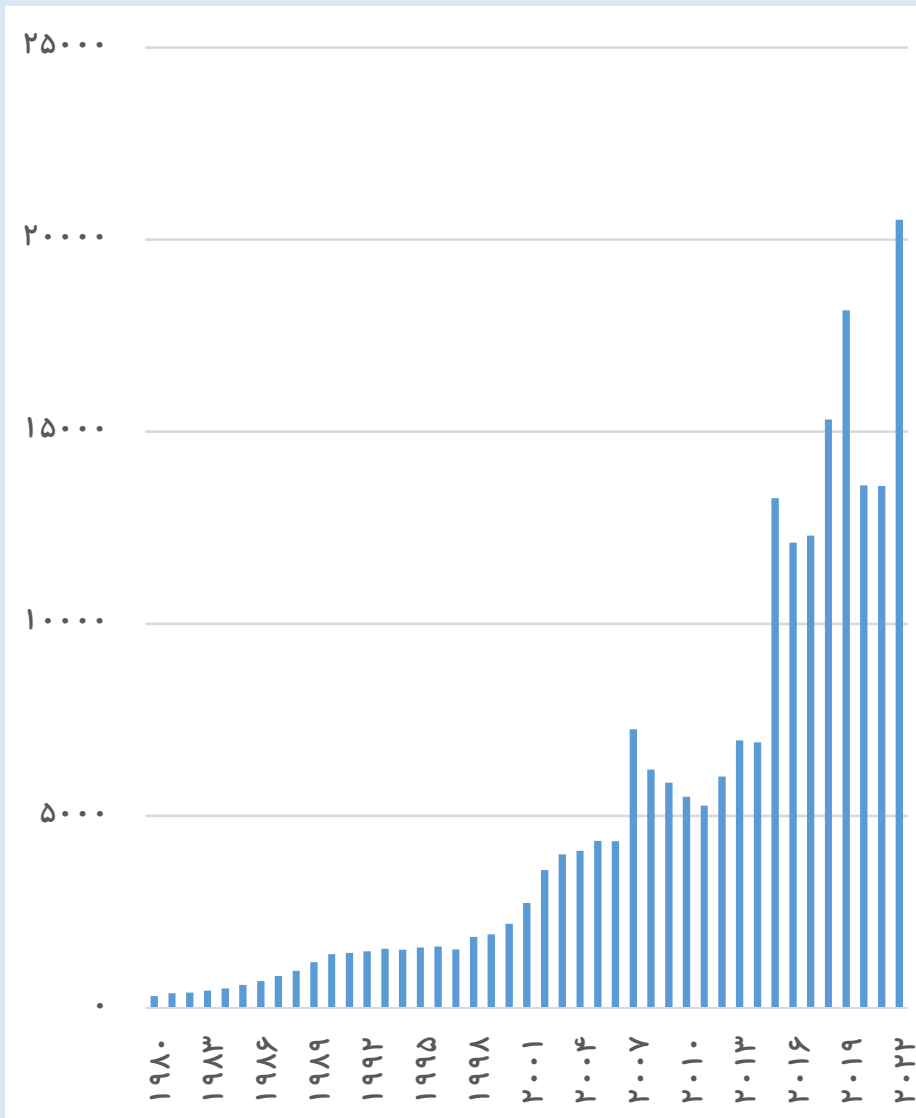




## ساختار گزارش تحلیل پتنت و مقالات حوزه اپتیک و کوانتوم

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 در حوزه اپتیک و کوانتوم (۱۹۸۰-۲۰۲۲)
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

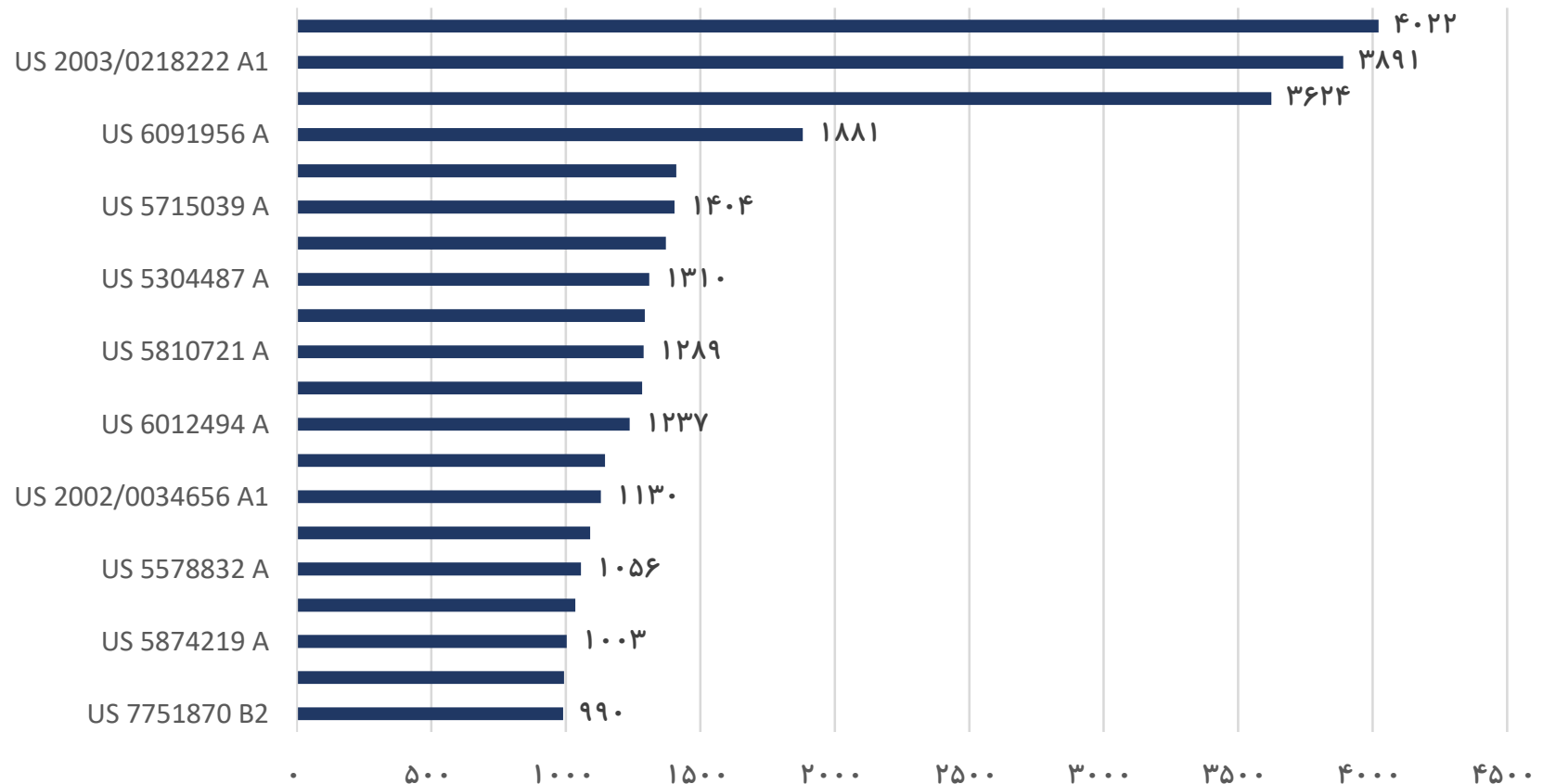
# ۱. روند ثبت پتنت در حوزه اپتیک و کوانتوم (۱۹۸۰-۲۰۲۲)



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)

عنوان	سال	شناسه پتنت	ردیف
Methods of making thin film transistors comprising zinc-oxide-based semiconductor materials and transistors made thereby روش‌های ساخت ترانزیستورهای فیلم نازک شامل مواد نیمه هادی مبتنی بر اکسید روی و ترانزیستورهای ساخته شده از آن	۲۰۰۸	US 7402506 B2	۱
Transistor structures and methods for making the same ساختار ترانزیستور و روش‌های ساخت آن	۲۰۰۳	US 2003/0218222 A1	۲
Situation information system سیستم اطلاعات موقعیت	۲۰۰۰	US 6091956 A	۳
Flexible annular stapler for closed surgery of hollow organs منگنه حلقوی انعطاف پذیر برای جراحی بسته اندام‌های توخالی	۲۰۰۲	US 6338737 B1	۴
Transparent electrodes الکترودهای شفاف	۲۰۰۴	US 2004/0174116 A1	۵
Near to Eye Display System and Appliance سیستم و دستگاه نمایش نزدیک به چشم	۲۰۱۰	US 2010/0149073 A1	۶
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	۲۰۱۳	US 2013/0127980 A1	۷
Flexible structure ساختار انعطاف پذیر	۲۰۰۰	US 6012494 A	۸

## فهرست پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع (۲)

عنوان	سال	شناسه پتنت	ردیف
System and method for server based control سیستم و روش‌ها برای کنترل مبتنی بر سرور	۲۰۱۳	US 2013/0201316 A1	۹
Organometallic complexes as phosphorescent emitters in organic LEDs فلزهای آلی به عنوان ساطع کننده فسفری در ال‌ای‌دی	۲۰۰۲	US 2002/0034656 A1	۱۰
Method for focus detection and an imaging system with a focus-detection system سیستم تصویربرداری با روش تشخیص تمرکز	۲۰۰۴	US 2004/0000627 A1	۱۱
Method and apparatus for imaging a sample on a device روش و دستگاه برای تصویربرداری از نمونه بر روی دستگاه	۱۹۹۶	US 5578832 A	۱۲
Cardiac tissue ablation instrument with flexible wrist ابزار تخریب بافت قلبی با مفصل مرن	۲۰۰۵	US 2005/0182298 A1	۱۳
Methods for concurrently processing multiple biological chip assays روش‌هایی برای پردازش همزمان چندین سنجش تراشه‌های بیولوژیکی	۱۹۹۹	US 5874219 A	۱۴
Light emitting semiconductor device دستگاه نیمه هادی ساطع کننده نور	۲۰۰۷	US 7265374 B2	۱۵
Surgical imaging device دستگاه تصویربرداری جراحی	۲۰۱۰	US 7751870 B2	۱۶

## فهرست پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع (۳)

عنوان	سال	شناسه پتنت	ردیف
Imaging apparatus دستگاه تصویربرداری	۲۰۰۴	US 6778257 B2	۱۷
Molecular wire crossbar memory حافظه متقاطع سیم مولکولی	۲۰۰۰	US 6128214 A	۱۸
Media recording device with remote graphic user interface دستگاه ضبط رسانه با رابط کاربری گرافیکی از راه دور	۲۰۰۶	US 7006881 B1	۱۹
Vehicle imaging system with stereo imaging سیستم تصویربرداری خودرو با تصویربرداری استریو	۲۰۰۲	US 6396397 B1	۲۰

# نمونه پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع (۱)

روش‌های ساخت ترانزیستورهای فیلم نازک شامل مواد نیمه هادی

۱

Methods of making thin film transistors comprising zinc-oxide-based semiconductor materials and transistors made thereby

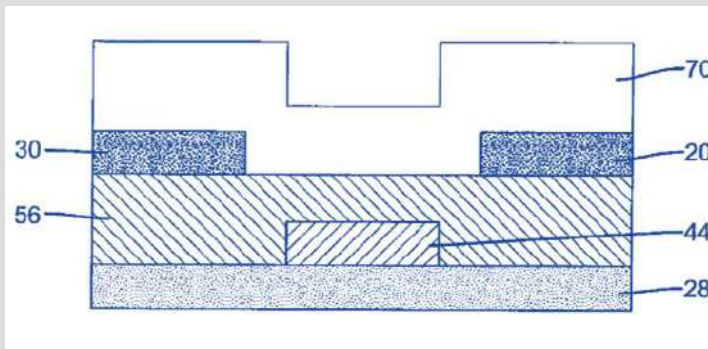
US 7402506 B2 **Granted Patent** Family: 5s / 5ex Family Jurisdictions: US, JP, WO, EP Legal Status: ● Active

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)

## ساختار ترانزیستور و روش‌های ساخت آن

۲

### 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، SnO<sub>2</sub> یا In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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، SnO<sub>2</sub> یا In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> تشکیل شده است. این روش با استفاده از گرم‌سازی اجرا می‌شود.



# نمونه پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع (۳)

## سیستم اطلاعات موقعیت

۳

### 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)

منگنه حلقوی انعطاف پذیر برای جراحی بسته اندام های توخالی

۴

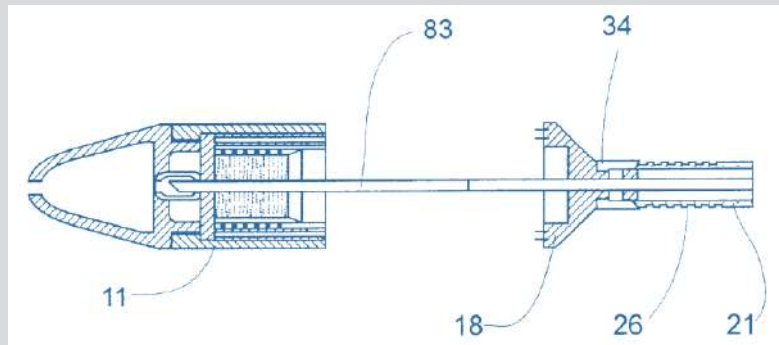
## Flexible annular stapler for closed surgery of hollow organs

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 بر این، 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)

## الکترودهای شفاف

۵

### Transparent electrodes

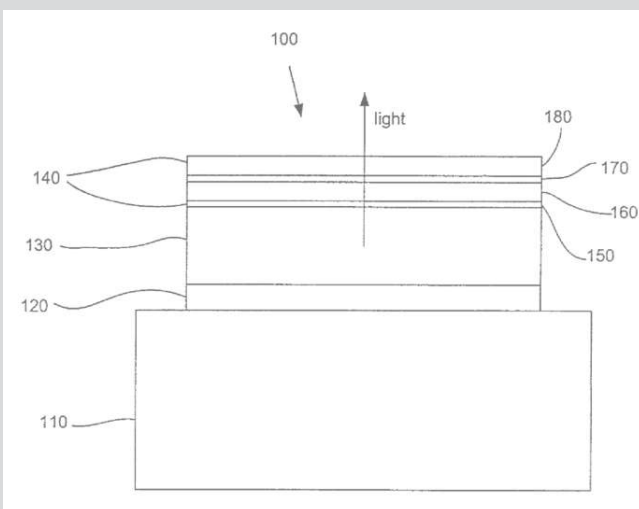
US 2004/0174116 A1 Patent Application Family: 2s / 2ex Family Jurisdictions: US Legal Status: ● Expired

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 (۲۰۲۰-۲۰۲۳)

عنوان	سال	شناسه پتنت	ردیف
Systems and methods for enforcing centralized privacy controls in de-centralized systems سیستم‌ها و روش‌های اعمال کنترل‌های متمرکز حریم خصوصی در سیستم‌های غیر متمرکز	۲۰۲۰	US 10572684 B2	۱
Liquid level sensor for a chemical source vessel حسگر سطح مایع برای یک مخزن منبع شیمیایی	۲۰۲۱	US 2021/0041284 A1	۲
Non-invasive medical monitoring device for blood analyze measurements دستگاه نظارت پزشکی غیرتهاجمی برای اندازه‌گیری ترکیبات خون	۲۰۲۱	US 2021/0113121 A1	۳
Market orchestration system for facilitating electronic marketplace transactions سیستم هماهنگ‌سازی بازار برای تسهیل معاملات الکترونیکی بازار	۲۰۲۲	WO 2022/133210 A2	۴
System and method for a multi-primary wide gamut color system سیستم رنگی گسترده	۲۰۲۱	US 2021/0027693 A1	۵
Sustained vehicle velocity via virtual private infrastructure حفظ سرعت خودرو از طریق زیرساخت خصوصی مجازی	۲۰۲۱	US 10991242 B2	۶
Dynamic and adaptive systems and methods for rewarding and/or disincentivizing behaviors سیستم‌ها و روش‌های پویا و تطبیقی برای پاداش دادن و/یا بی‌انگیزه کردن رفتارها	۲۰۲۱	US 2021/0202067 A1	۷
Systems and methods for wide-angle LIDAR using non-uniform magnification optics سیستم‌ها و روش‌ها برای لیدار با زاویه باز با استفاده از اپتیک‌های بزرگنمایی غیریکنواخت	۲۰۲۲	US 2022/0026573 A1	۸

### ۳. پتنت‌های روز اپتیک و کوانتوم (۲۰۲۰-۲۰۲۳) - ۱

عنوان	سال	شناسه پتنت	ردیف
Lidar system with input optical element سیستم لیدار با عنصر نوری ورودی	۲۰۲۱	US 11119219 B1	۹
Device for projecting images on the retina دستگاهی برای نمایش تصاویر روی شبکیه چشم	۲۰۲۱	US 2021/0031051 A1	۱۰
Super system on chip سوپر سیستم در یک تراشه	۲۰۲۲	US 11320588 B1	۱۱
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	۲۰۲۱	WO 2021/056018 A1	۱۲
Projection of defocused images on the peripheral retina to treat refractive error پخش تصاویر بدون تمرکز بر روی شبکیه محیطی برای درمان عیوب انکساری	۲۰۲۱	US 2021/0382325 A1	۱۳
Direct-bonded lamination for improved image clarity in optical devices لمینیت با پیوند مستقیم برای بهبود وضوح تصویر در دستگاه‌های نوری	۲۰۲۲	US 11256004 B2	۱۴
System and method for managing non-direct URL fetching service سیستم و روش مدیریت خدمات جمع آوری URL غیر مستقیم	۲۰۲۱	US 2022/0103525 A1	۱۵
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	۲۰۲۱	US 2021/0107177 A1	۱۶

## ۳. پتنت‌های روز اپتیک و کوانتوم (۲۰۲۰-۲۰۲۳) - ۲

عنوان	سال	شناسه پتنت	ردیف
Retargetable compilation for quantum computing systems کامپایل قابل بازهدف‌گیری برای سیستم‌های محاسبات کوانتومی	۲۰۲۱	US 11010145 B1	۱۷
Methods and compositions for single cell secretomics روش‌ها و ترکیب‌های سلول سکر تومیکیس تک‌هسته‌ای	۲۰۲۱	WO 2021/146636 A1	۱۸
Block-chain instrument for transferable equity ابزار بلاکچین برای انتقال حقوق مالکیت قابل انتقال	۲۰۲۱	US 11164254 B1	۱۹
Lens with asymmetric projection to treat astigmatism عدسی با برجستگی نامتقارن برای درمان آستیگماتیسم	۲۰۲۱	US 2021/0379399 A1	۲۰
Cryptographic key generation and deployment تولید و استقرار کلید رمزنگاری	۲۰۲۱	US 11184157 B1	۲۱
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	۲۰۲۱	WO 2021/083448 A1	۲۲
Visible light catalyst, preparation and application thereof کاتالیزور قابل رویت برای نور مرئی، روش تهیه و کاربرد آن	۲۰۲۱	US 2021/0170383 A1	۲۳

## ۳. پتنت‌های روز اپتیک و کوانتوم (۲۰۲۰-۲۰۲۳) - ۳

عنوان	سال	شناسه پتنت	ردیف
Reflex sight utilizing shock absorption بینایی رفلکس با استفاده از جذب شوک	۲۰۲۱	US 2021/0207928 A1	۲۴
Systems, methods, and media for high dynamic range quanta burst imaging سیستم‌ها، روش‌ها و رسانه‌ها برای تصویربرداری انفجاری کوانتا با دامنه دینامیک بالا	۲۰۲۱	US 2021/0319606 A1	۲۵
Photonic neural network شبکه عصبی فوتونیک	۲۰۲۱	CN 112232504 A	۲۶
Methods and apparatus for reception of low photon density optical signals روش‌ها و دستگاه‌های دریافت سیگنال‌های نوری با چگالی کم فوتون	۲۰۲۱	US 2021/0099234 A1	۲۷
x-ray imaging system سیستم تصویربرداری اشعه ایکس	۲۰۲۳	US 2023/0011644 A1	۲۸
Optoelectronic computing systems سیستم‌های محاسباتی اپتوالکترونیک	۲۰۲۱	US 2021/0201126 A1	۲۹
Multicarrier sub-layer for direct sequence channel and multiple-access coding لایه فرعی چند حامل برای کانال توالی مستقیم و کدگذاری با دسترسی چندگانه	۲۰۲۱	US 11075786 B1	۳۰

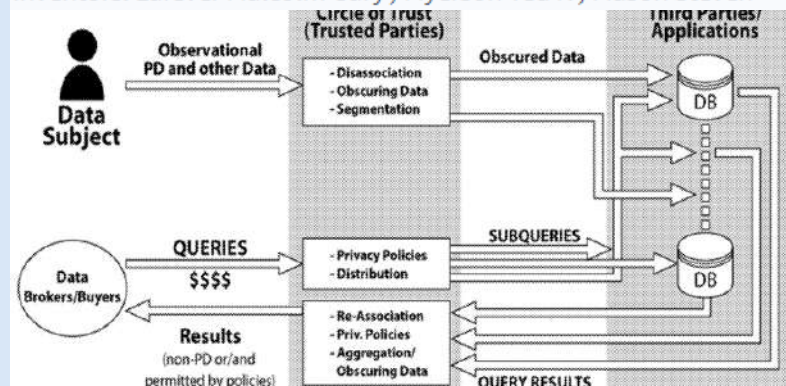
# نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم (۱)

سیستم‌ها و روش‌های اعمال کنترل‌های متمرکز حریم خصوصی

۱

Systems and methods for enforcing centralized privacy controls in decentralized 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)

حسگر سطح مایع برای یک مخزن منبع شیمیایی

۲

## 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 هر گونه 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)

دستگاه نظارت پزشکی غیرتهاجمی برای اندازه گیری ترکیبات خون

۳

## 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 شده اند. تعدادی از حسگر (نوری) می تواند با یک وسیله چند حسگری ادغام شده یا به آن متصل شده باشد و می تواند 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)

سیستم هماهنگ سازی بازار برای تسهیل معاملات الکترونیکی بازار

۴

## 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)

## سیستم رنگی گسترده

۵

### 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) و یا صفحه نمایش نقطه کوانتومی (QD) باشد.

# نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم (۶)

حفظ سرعت خودرو از طریق زیرساخت خصوصی مجازی

۶

## 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)

روش های پویا و تطبیقی برای پاداش دادن و یا بی انگیزه کردن رفتار

۷

### 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 می کند که قادر است پاداش ها و / یا تنبیه ها را به صورت پویا و سازگار برای یک یا چندی از موجودات تعیین کند. این سیستم از تکنولوژی هایی مانند یادگیری ماشین، شبکه عصبی، شبکه کوانتومی و یا هوش مصنوعی استفاده می کند.

# نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم (۸)

لیدار با زاویه باز با استفاده از اپتیک های بزرگنمایی غیریکنواخت

۸

## 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 نوترون‌های پرتویی که حداقل یک قسمتی از زاویه دید را روشن می‌کند؛ لنزهای بزرگنمایی برای دریافت نوترون ورودی؛ واحد حسگر همچنین واحد پردازش شده که نوترون‌های 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)

## سیستم لیدار با عنصر نوری ورودی

۹

### Lidar system with input optical element

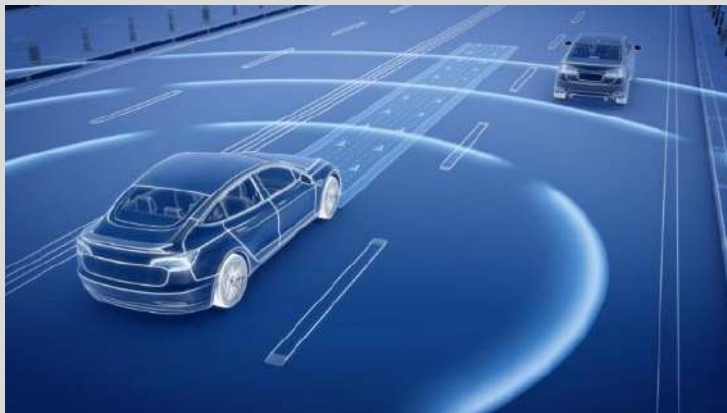
US 1119219 B1 **Granted Patent** Family: [10s](#) / [12ex](#) Family Jurisdictions: US, EP, WO, CN Legal Status: ● Active

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 مشخصه گر، سیگنال نوری پراکنده شده توسط هدف را استشعار می کند. سامانه لیدار همچنین یک مدار ترکیب فوتونیک دارد که قسمت های مختلف سیگنال نوری را با هم ترکیب می کند. پردازشگر سامانه لیدار همچنین قادر است فاصله تا هدف را بدست آورد.



# نمونه پتنت روز اپتیک و کوانتوم (۱۰)

دستگاهی برای نمایش تصاویر روی شبکیه چشم

۱۰

## 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

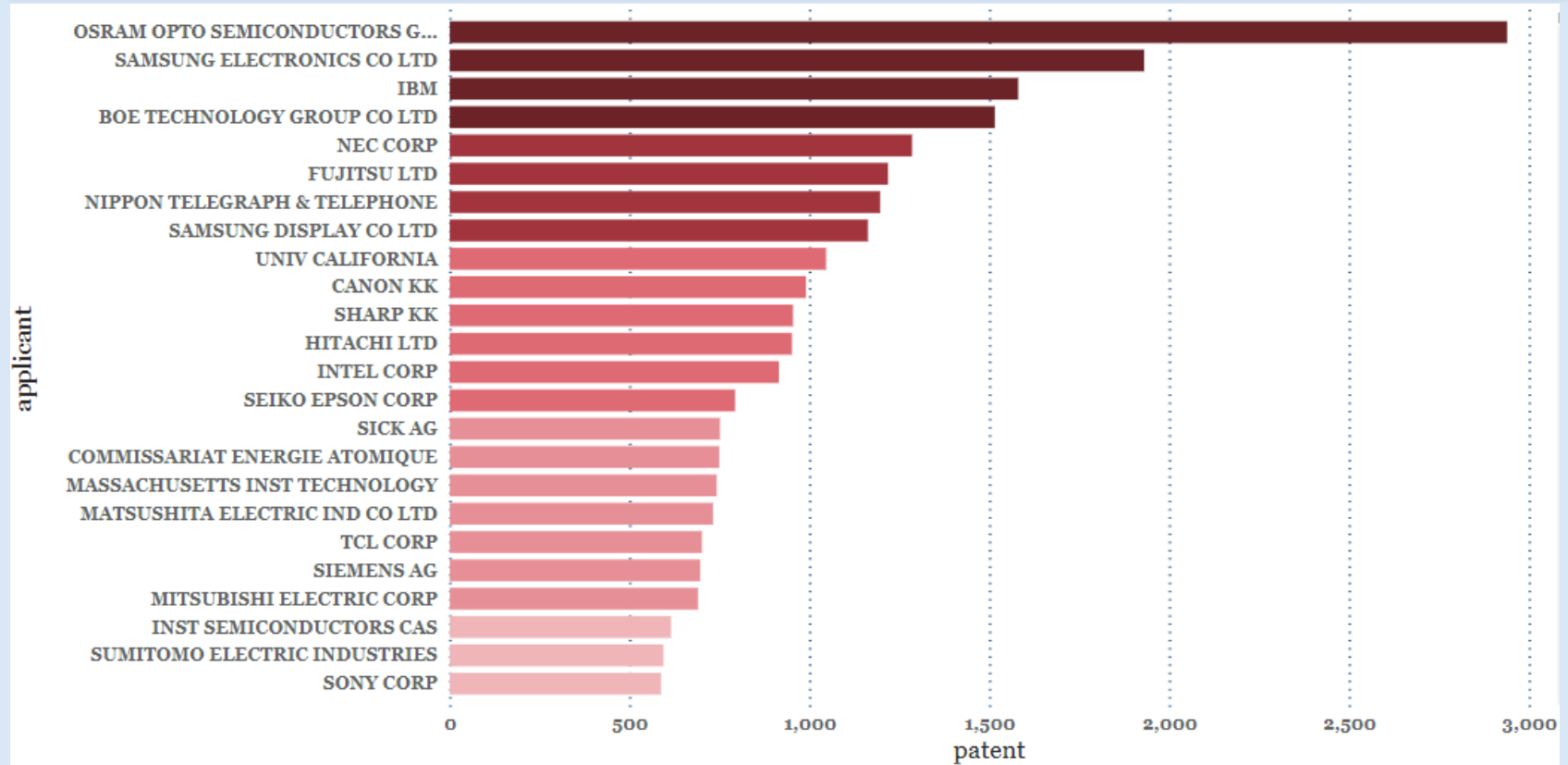
Inventors: Kubota Ryo, Haroud Karim, Wyss Beat, Bernard Hans, Fehr Jean-Noël, Weber Patrizia, Haerberli Moritz, Gupta Amitava



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.

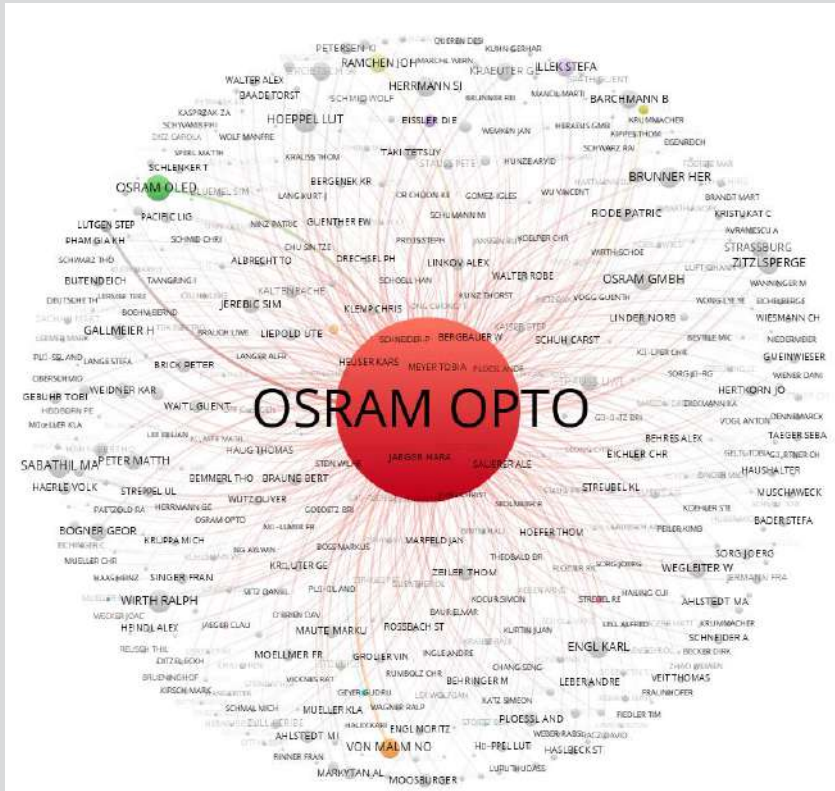
## ۴. سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت

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)

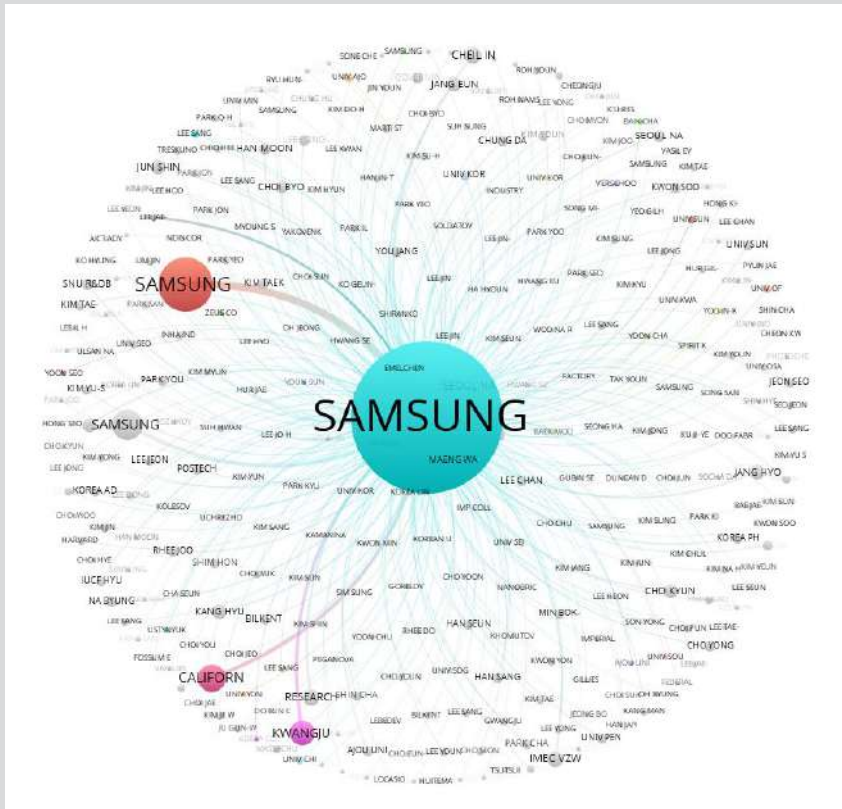
## OSRAM



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 دسته‌های 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 زیر مجموعه‌های خود و مخترعین مستقل همکاری داشته است.

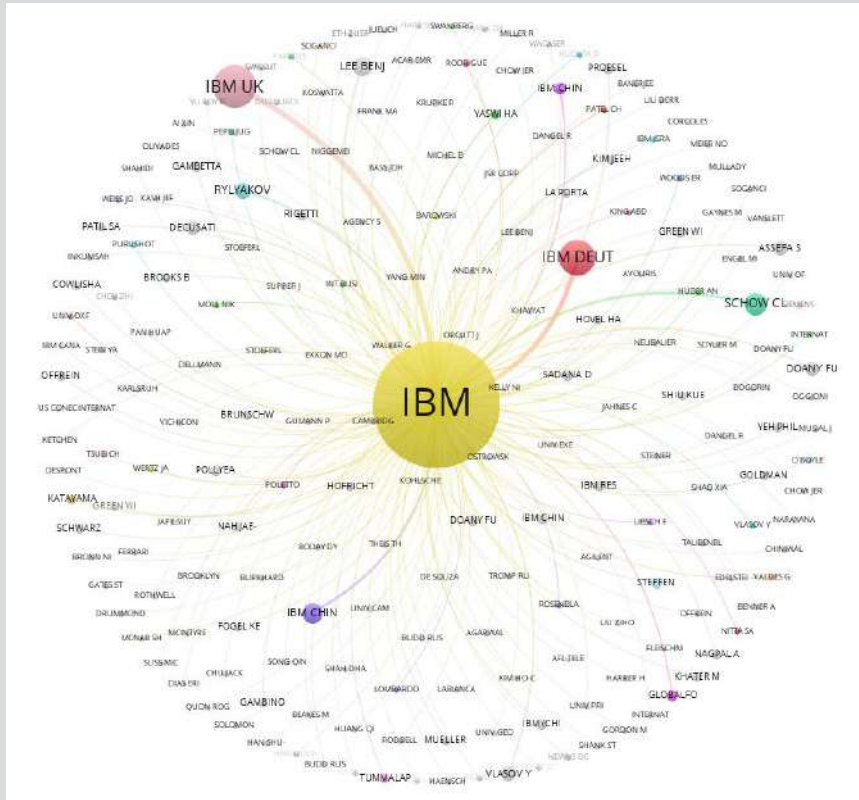
## سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت (۲)

# SAMSUNG



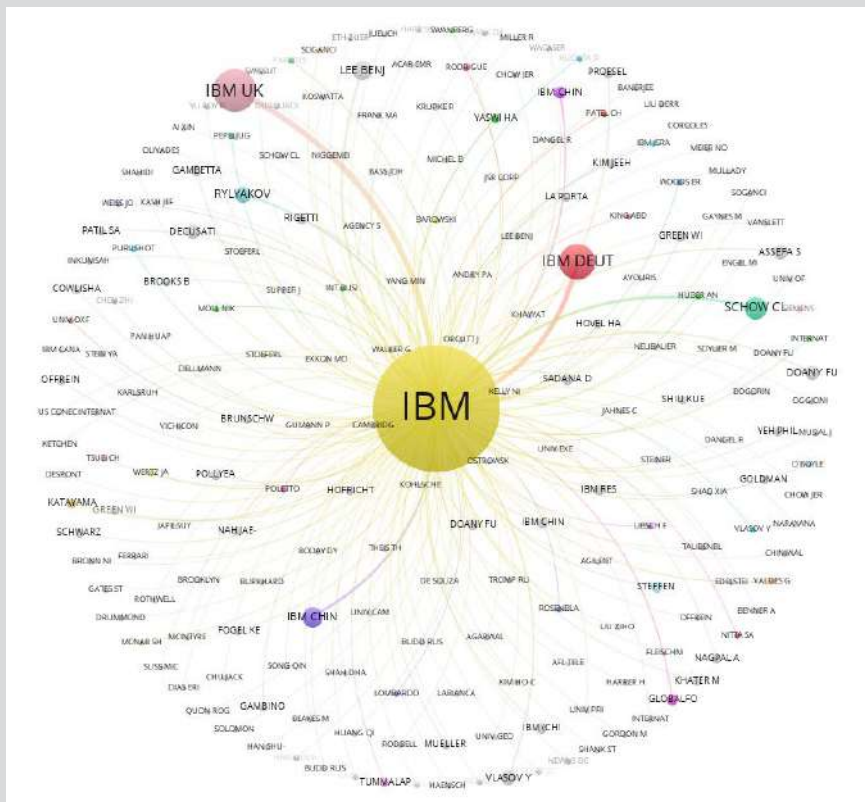
سامسونگ یک شرکت بزرگ تولیدکننده تکنولوژی‌های مختلف است و در حوزه فناوری اپتیک و کوانتوم نیز فعالیت‌های بسیاری داشته است. در این حوزه سامسونگ نزدیک به ۲ هزار پتنت دارد. بیشتر این پتنت‌ها در فناوری‌های نانو اپتیک، اپتیک کوانتومی یا کریستال‌های فوتونیک دسته‌بندی می‌شوند. شبکه همکاری این شرکت در شکل روبه‌رو 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 داشته‌است. بیشتر این پتنت‌ها در کلاس فناوری‌های محاسبات کوانتومی، پردازش اطلاعات بر اساس پدیده‌های مکانیکی کوانتومی قرار دارند. این شرکت در زمینه‌ی ثبت پتنت بیشترین همکاری‌ها را با زیرمجموعه‌های خود و مخترعین مستقل داشته‌است.

## سازمان‌های دارای بیشترین درخواست ثبت پتنت (۴)



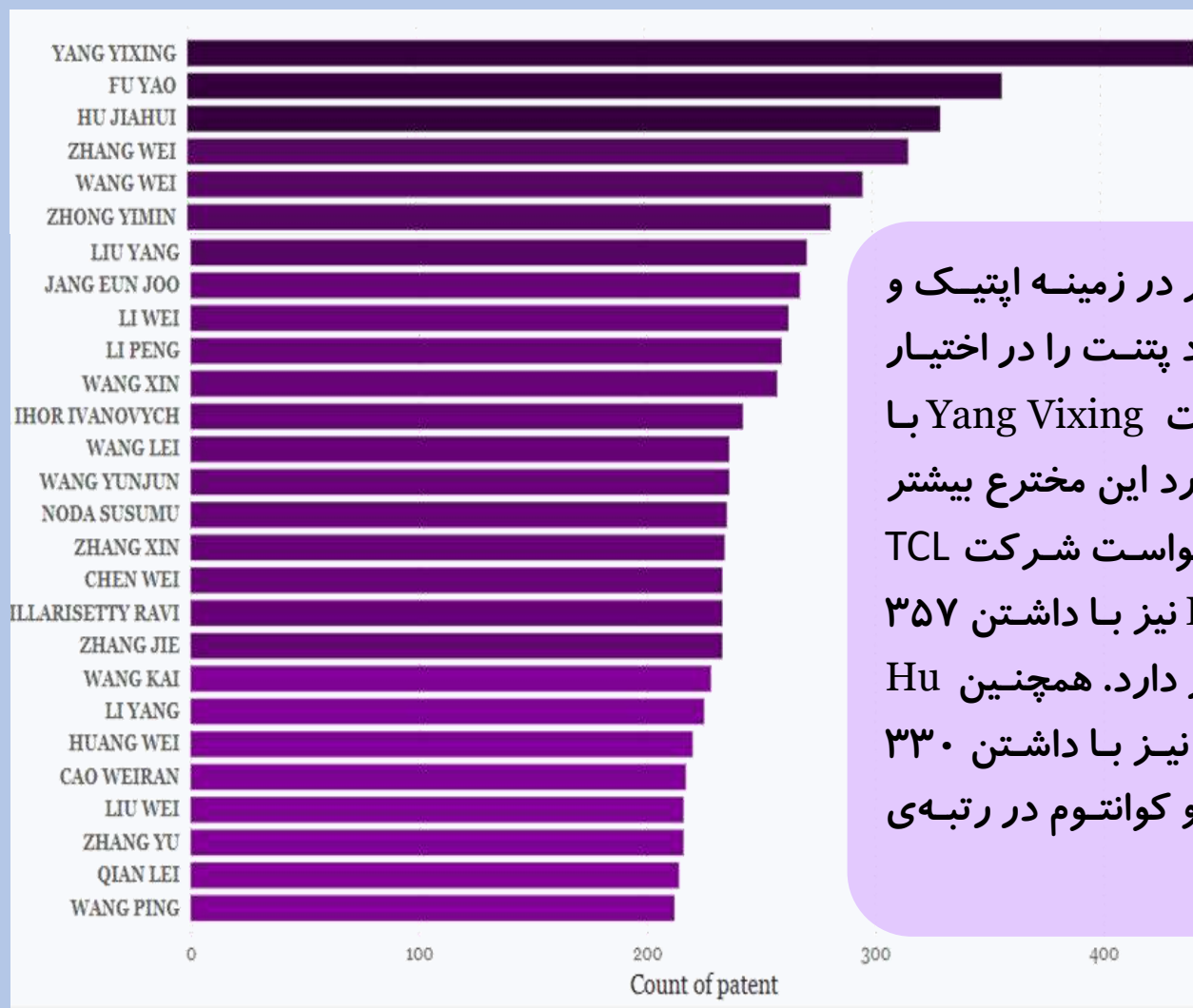
شرکت آی‌بی‌ام یک شرکت چندملیتی است که در نیویورک قرار دارد. این شرکت، تحقیقاتی گسترده‌ای را در جهت توسعه‌ی محاسبات کوانتومی آغاز کرده‌است. این شرکت حدود ۱۵۰۰ پتنت در زمینه‌ی اپتیک و کوانتوم داشته‌است. بیشتر این پتنت‌ها در کلاس فناوری‌های محاسبات کوانتومی، پردازش اطلاعات بر اساس پدیده‌های مکانیکی کوانتومی قرار دارند. این شرکت در زمینه‌ی ثبت پتنت بیشترین همکاری‌ها را با زیرمجموعه‌های خود و مخترعین مستقل داشته‌است.







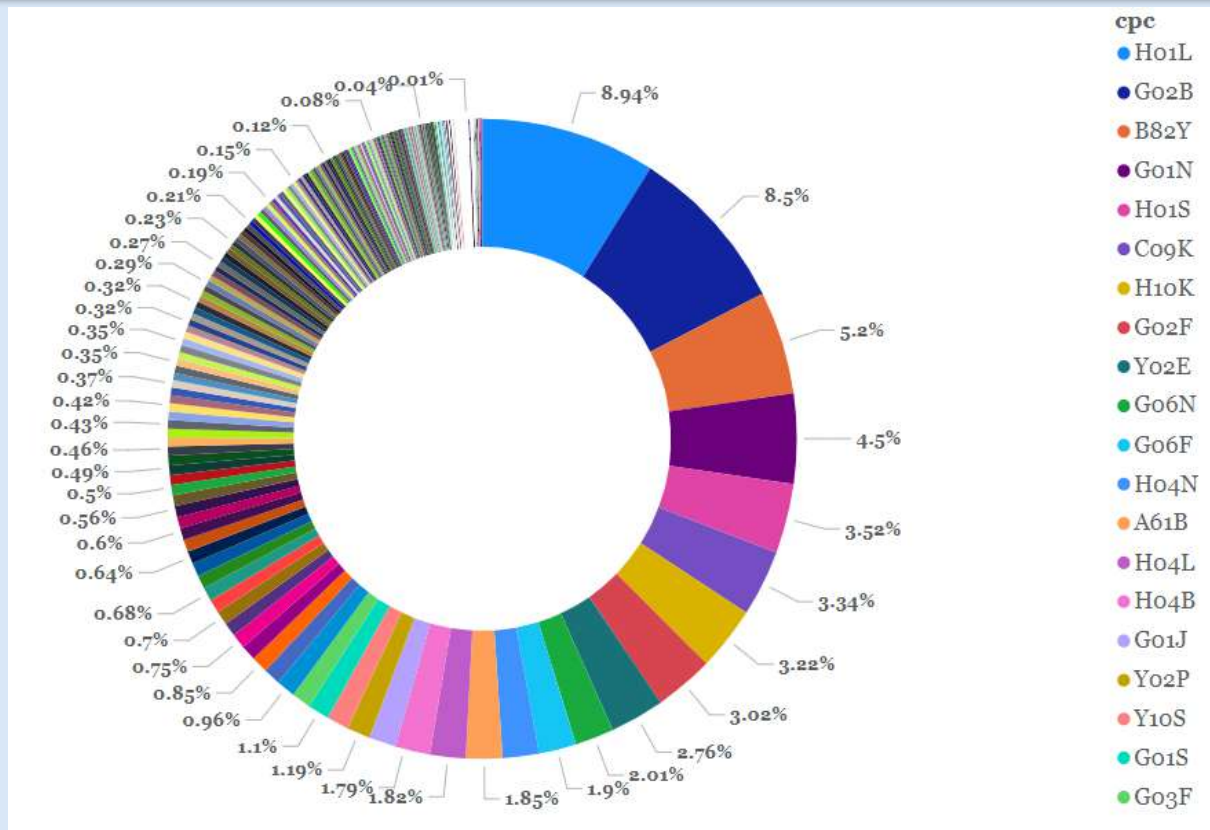
## ۵. مخترعین دارای بیشترین تعداد پتنت



افراد موجود در نمودار در زمینه اپتیک و کوانتوم بیشترین تعداد پتنت را در اختیار دارند، در صدر این لیست Yang Vixing با تعداد ۴۴۲ پتنت قرار دارد این مخترع بیشتر پتنت‌های خود را به درخواست شرکت TCL ثبت کرده است. Fu Yao نیز با داشتن ۳۵۷ پتنت در رتبه‌ی دوم قرار دارد. همچنین Hu Jiahui از دانشگاه ییل نیز با داشتن ۳۳۰ پتنت در حوزه‌ی اپتیک و کوانتوم در رتبه‌ی 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

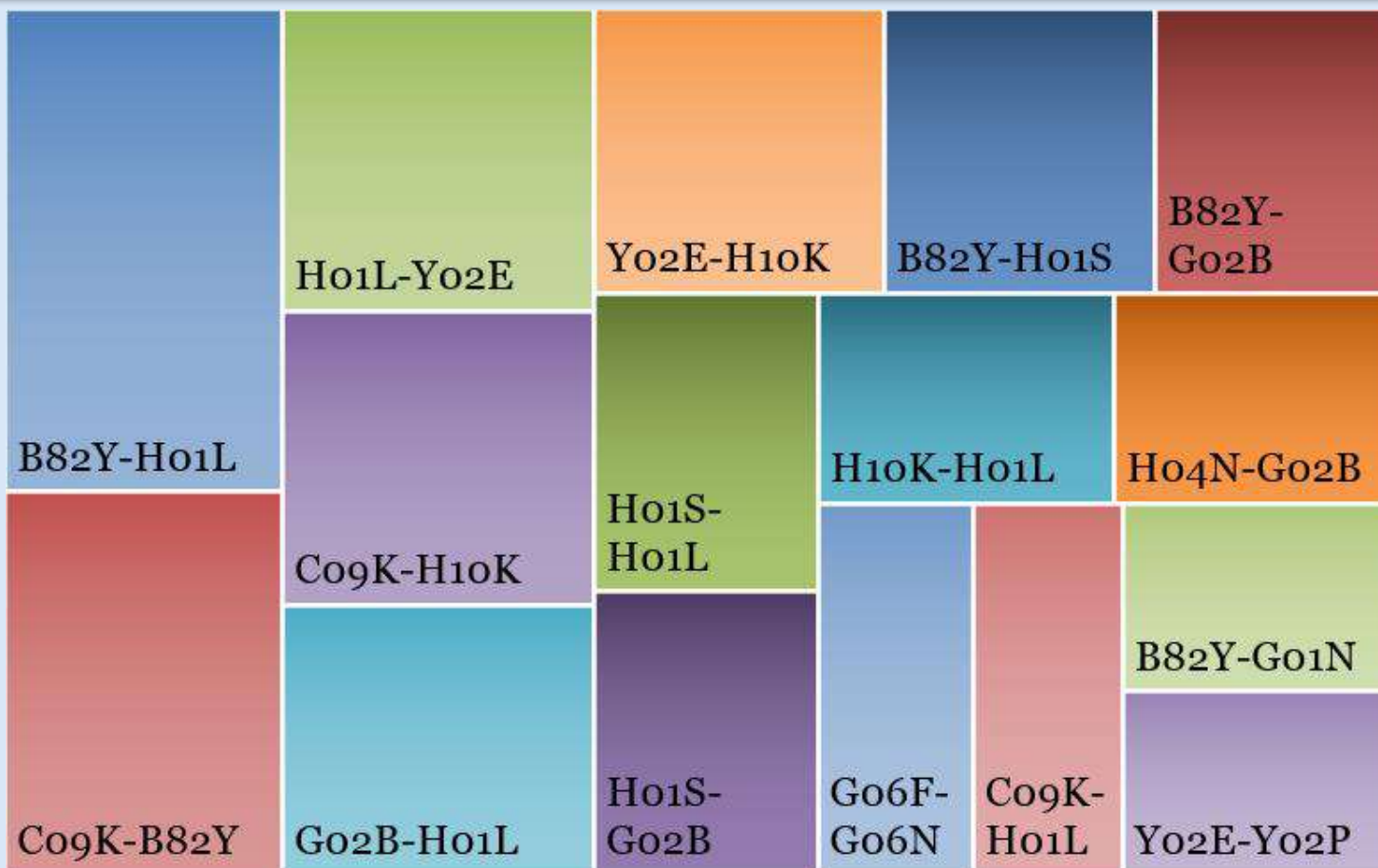
ردیف	زیربخش فناوری	عنوان
۱	HO1L	Semiconductor Devices دستگاه‌های نیمه هادی
۲	GO2B	Optical elements, systems or apparatus عناصر، سیستم‌ها یا دستگاه‌های نوری
۳	B82Y	Specific uses or applications of nanostructures; measurement or analysis of nanostructures کاربردها یا کاربردهای خاص نانوساختارها. اندازه‌گیری یا تجزیه و تحلیل نانوساختارها
۴	GO1N	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	HO1S	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)

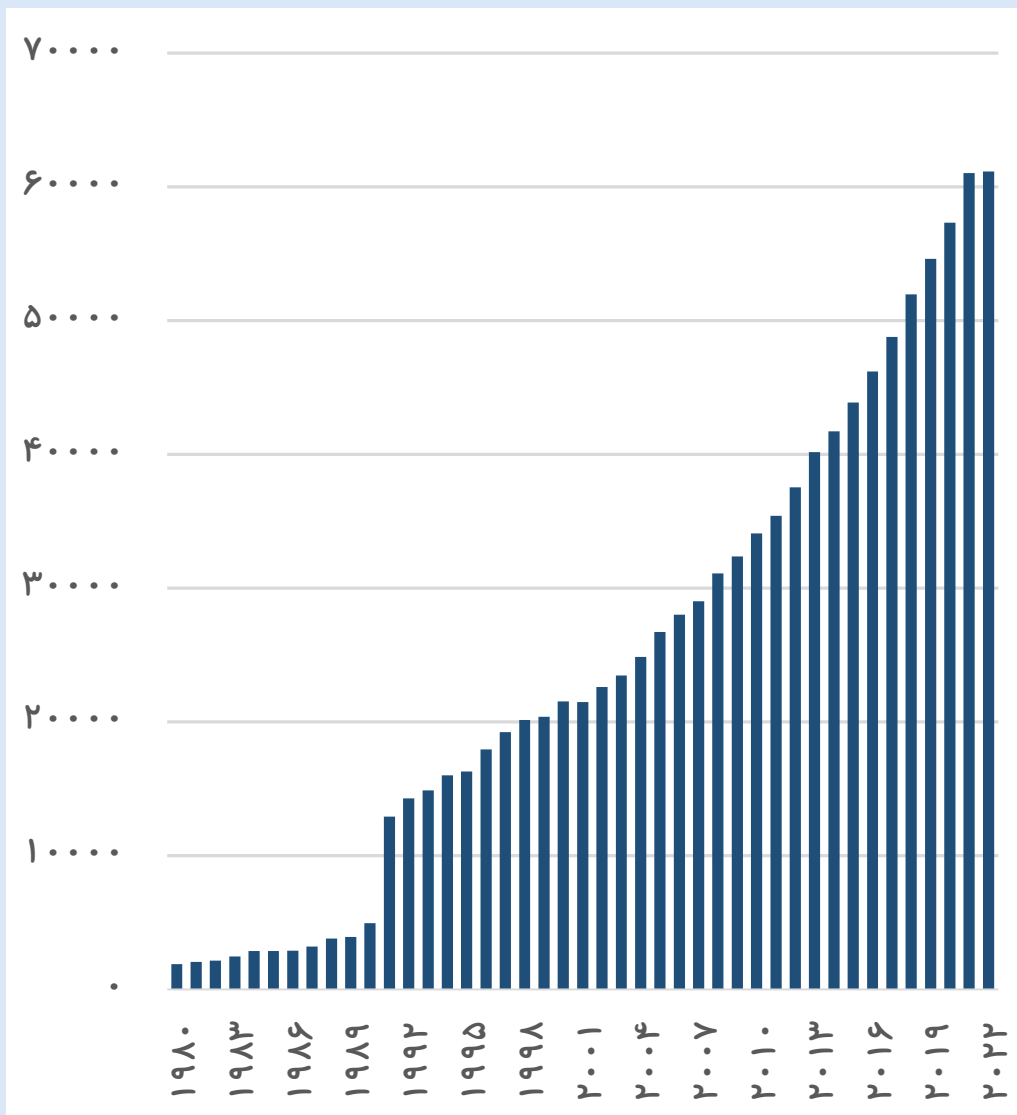
عنوان	زیربخش فناوری	ردیف
Materials for miscellaneous applications مواد برای کاربردهای متفرقه	Co9K	۶
Organic electric solid-state devices دستگاه‌های حالت جامد الکتریکی آلی	H10K	۷
Optical devices or arrangements for the control of light by modification of the optical properties وسایل یا ترتیبات نوری برای کنترل نور با اصلاح خواص نوری	Go2F	۸
Reduction of greenhouse gas emissions, related to energy generation, transmission or distribution کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با تولید، انتقال یا توزیع انرژی	Yo2E	۹
Computing arrangements based on specific computational models ترتیبات محاسباتی بر اساس مدل‌های محاسباتی خاص	Go6N	۱۰
Pictorial communication, e.g. television ارتباط تصویری، به عنوان مثال تلویزیون	HO4N	۱۱

# ارتباطات میان حوزه‌های الویت‌دار فناوری

در نمودار زیر بیشترین ارتباطات در میان زیر کلاس‌های 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.



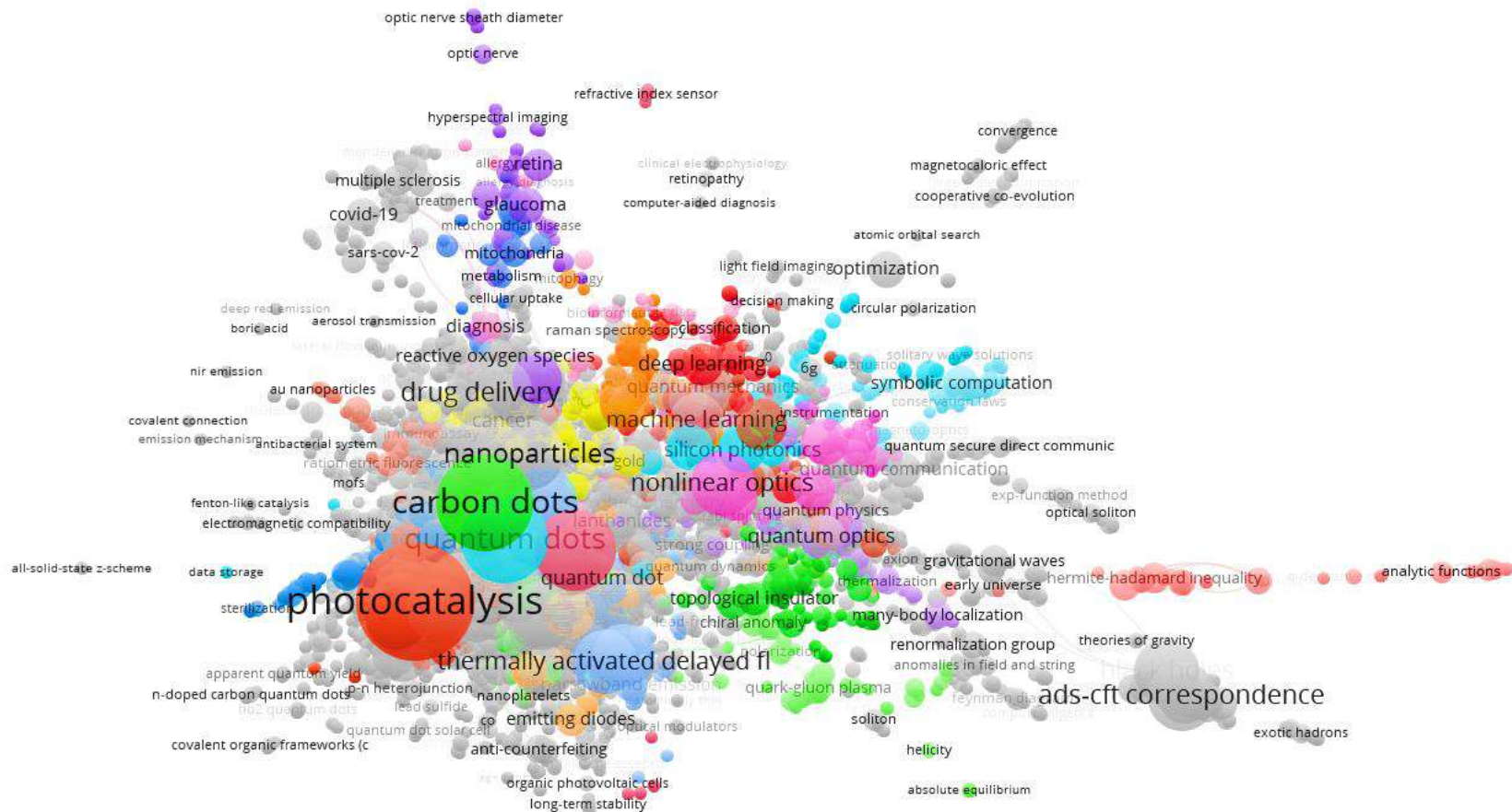
## ۷. روند چاپ مقاله در حوزه اپتیک و کوانتوم (۱۹۸۰-۲۰۲۲)



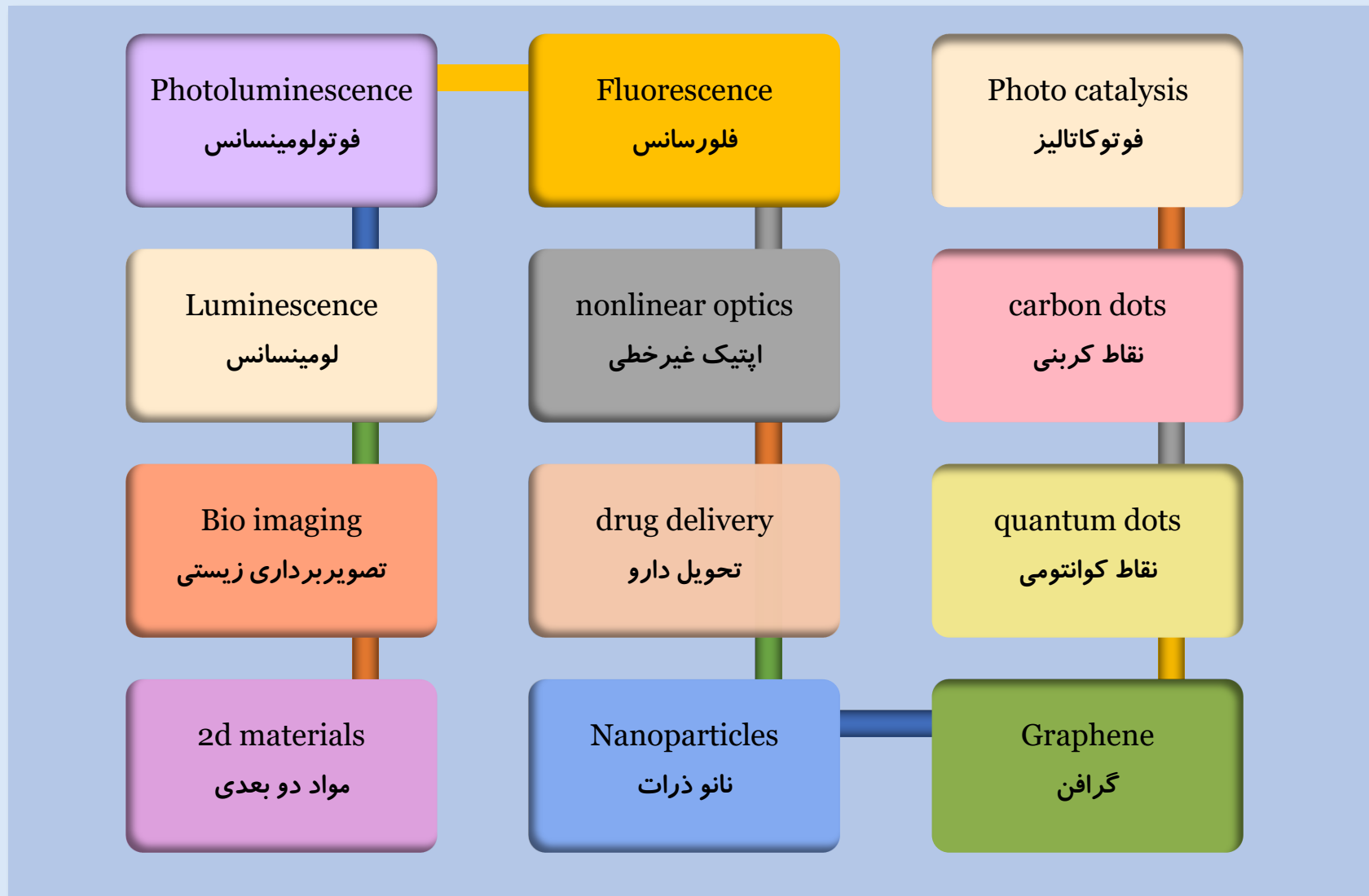
تا کنون بیش از یک میلیون مقاله در حوزه اپتیک و کوانتوم منتشر شده است. نمودار روند انتشار این مقالات مربوط به سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. روند انتشار مقاله در حوزه اپتیک و کوانتوم در طول سال‌ها به طور افزایشی بوده است. در دهه ۱۹۸۰ تعداد مقاله حدود ۱۸۷۰ مقاله بوده که در سال‌های بعد به تدریج افزایش یافته است. تعداد مقاله در سال ۱۹۹۱ به طور نسبتاً 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.

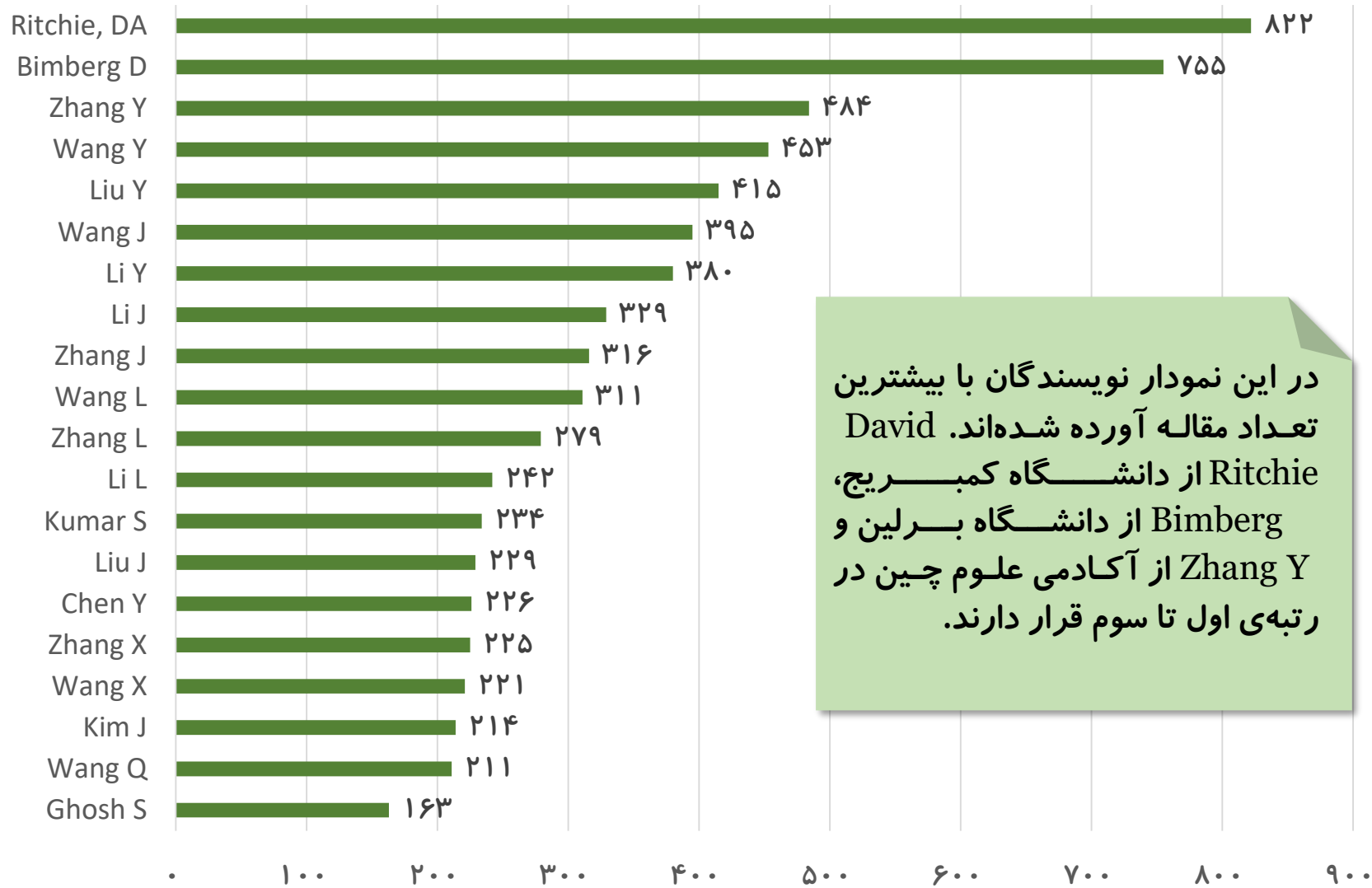


# حوزه‌های الویت‌دار اپتیک و کوانتوم با رویکرد تحلیل مقاله

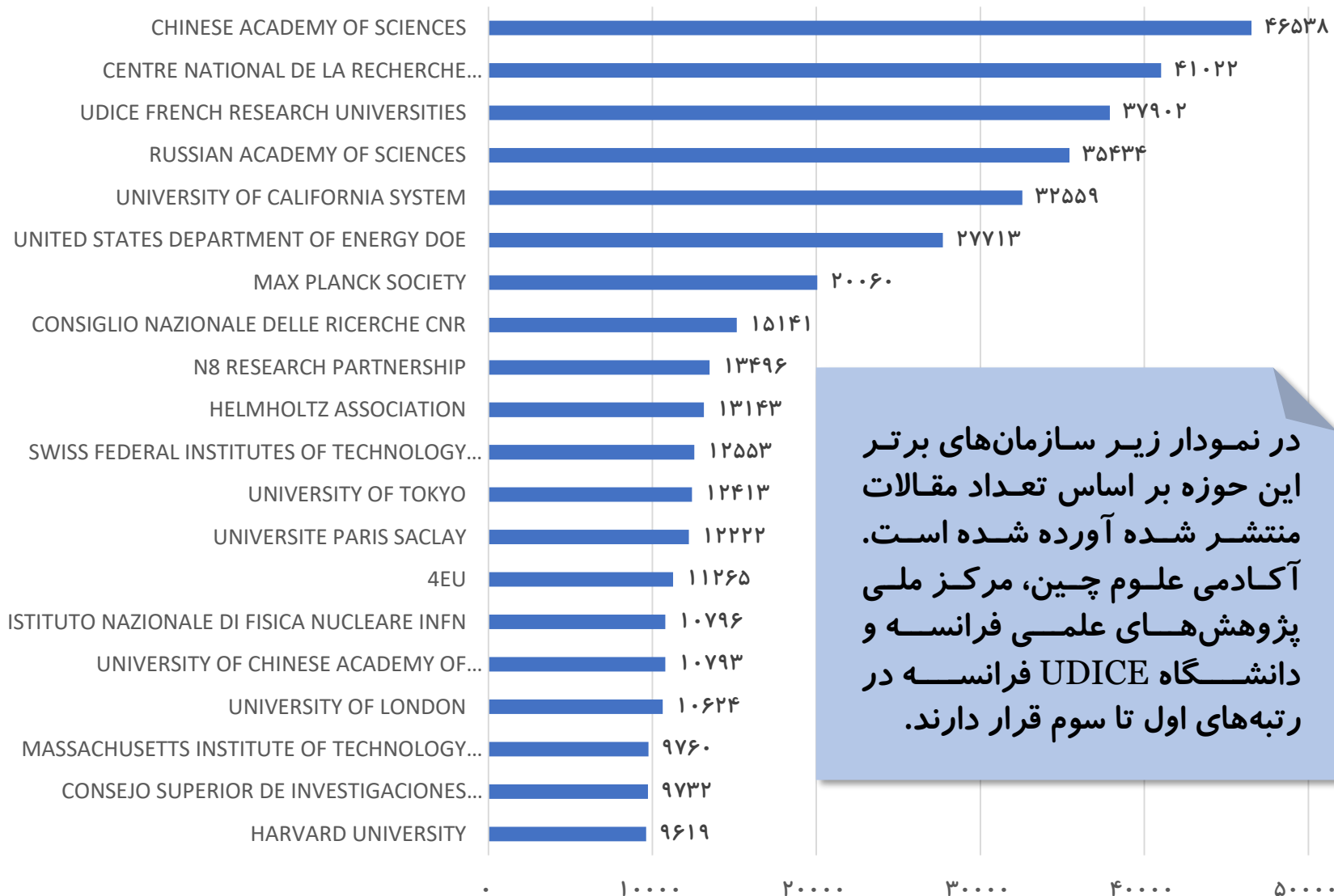




## ۹. نویسندگان دارای بیشترین تعداد انتشار مقاله



# 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

**Udice**

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.

**cnrs**

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.

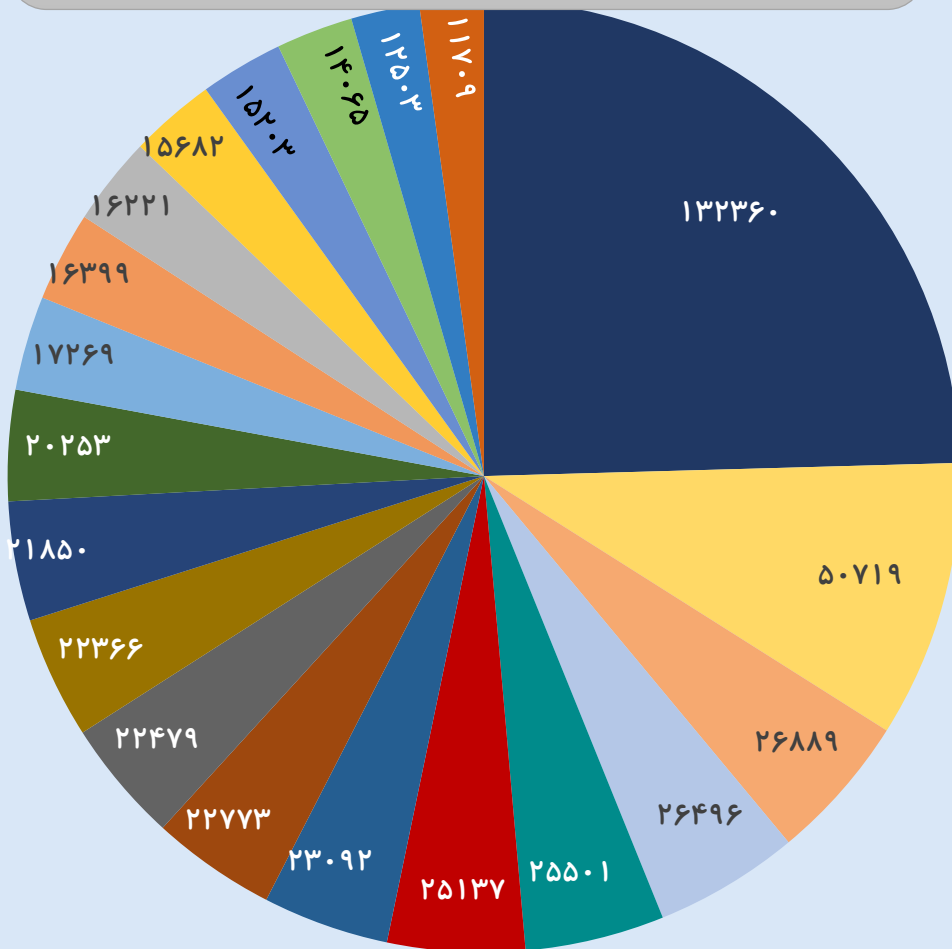


آکادمی علوم چین

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.

# ۱۱. نهادهای تامین کننده مالی مقالات

NSFC با حمایت مالی ۱۲ درصد از مقالات بزرگترین تامین کننده مالی مقالات در این حوزه است. NSF و DOE با حمایت به ترتیب ۴.۵ و ۲.۴ درصد از مقالات این حوزه در رتبه های 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

021454615646

5664613452159

420167796130

36896116259746

294798336564

2677119910265



# مراحل اجرایی طی شده در گزارش اپتیک و کوانتوم

## گام اول: تجزیه و تحلیل گزارش‌های بین‌المللی

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 هر یک از فناوری‌های اولویت‌دار آینده

۱

## گام دوم: تجزیه و تحلیل مقالات و اختراعات

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 اپتیک و کوانتوم

۲

# 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/quantum، 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 صنعت اپتیک و فوتونیک ۲۰۲۲



### گزارش فناوری‌های کوانتوم



## 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.



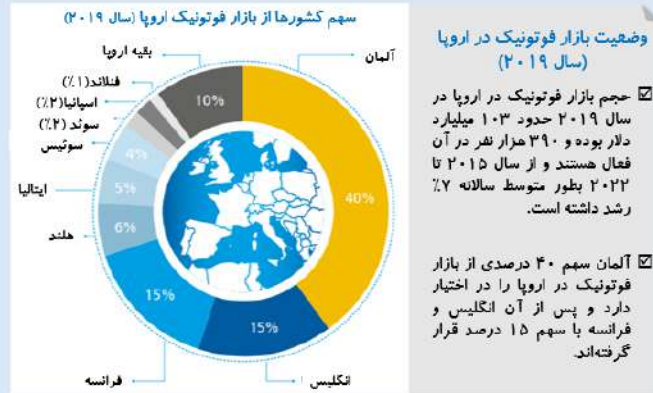


# تجزیه و تحلیل گزارش‌های بین‌المللی و استخراج فناوری‌های آینده

## 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. علاوه بر این 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



SPECTRIS(2022). Trend Report Photonics 2022/2022. available at : [https://www.spectris.de/Headline/infobek/Photonik/CzHien-Fakten-und-Publikationen/SPEC\\_24\\_07\\_Trendreport2021\\_BZ\\_web.pdf](https://www.spectris.de/Headline/infobek/Photonik/CzHien-Fakten-und-Publikationen/SPEC_24_07_Trendreport2021_BZ_web.pdf)

## 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.

### جمع‌بندی فناوری‌های اولویت‌دار در گزارش

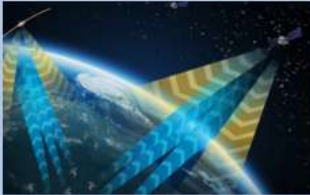


# تشریح فناوری‌های اولویت‌دار آینده

## گام اول؛ مرحله چهارم؛ تشریح هر یک از فناوری‌های اولویت‌دار آینده

پس از آن که 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 کوانتوم در بخش سنجش کوانتومی

Quantum Radar	رادار کوانتومی	۲۷
	دستگاه راداری که به فوتون‌های درهم تنیده متکی است و از چنان توان پائینی 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.	
Quantum Digital Tomosynthesis	توموسنتز دیجیتال کوانتومی	۲۸
	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، با سرعت 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

### فناوری‌های ایتیک در بخش کشاورزی

Precision farming	کشاورزی دقیق با فناوری فوتونیک	۴۶
	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 با 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

# 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 cryptography در عنوان، چکیده، ادعا و حوزه‌های موضوعی پتنت‌ها جست و جو شده و نهایتاً تعداد ۲۲۵۷۹۴ پتنت یکتا شناسایی شدند. همچنین معیارهای زیر نیز در فرایند جستجو در نظر گرفته شدند:

۱. روند ثبت پتنت در حوزه اپتیک و کوانتوم (۱۹۸۰-۲۰۲۲)



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

✓ 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

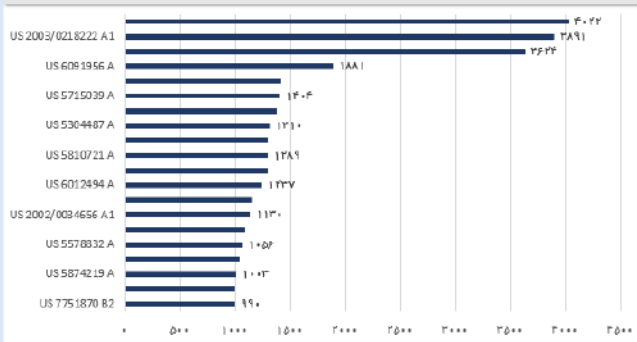
✓ قلمرو زمانی پتنت‌ها بین سال‌های ۱۹۰۴ تا

۲۰۲۳

# شناسایی پتنت‌های برتر و فناوری‌ها و حوزه‌های اولویت‌دار اپتیک و کوانتوم

## ۲. پتنت‌های دارای بیشترین ارجاع

در نمودار زیر پتنت‌های با بیشترین ارجاع ارائه شده است. بیشترین ارجاع مربوط به ترازیستور فیلم نازک است که بیش از ۴۰۰۰ بار به آن ارجاع شده است. در ادامه به شرح بیشتر پتنت‌های برتر می‌پردازیم.



۲۱۴

## گام دوم؛ مرحله دوم؛ شناسایی پتنت‌های پر استناد

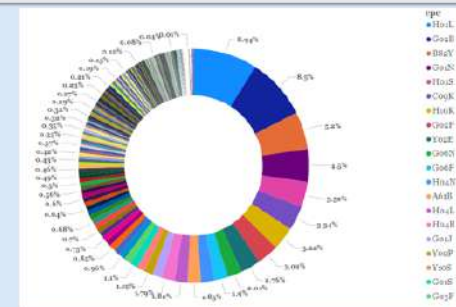
در مرحله دوم، پس از شناسایی پتنت‌های برتر، تعداد ۵ پتنت برتر معرفی و تشریح شدند، سپس با هدف شناسایی پتنت‌های روز دنیا در این حوزه با در نظر گرفتن پتنت‌های سه سال اخیر (پتنت‌های سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳)، پتنت‌های پر استناد شناسایی شده و تعداد ۱۰ پتنت برتر روز معرفی و شرح داده شدند.

## 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 LHO11 داشتن حدود ۹ درصد از پتنت‌ها، G02B با دارا بود حدود ۸,۵ درصد، B82Y 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.



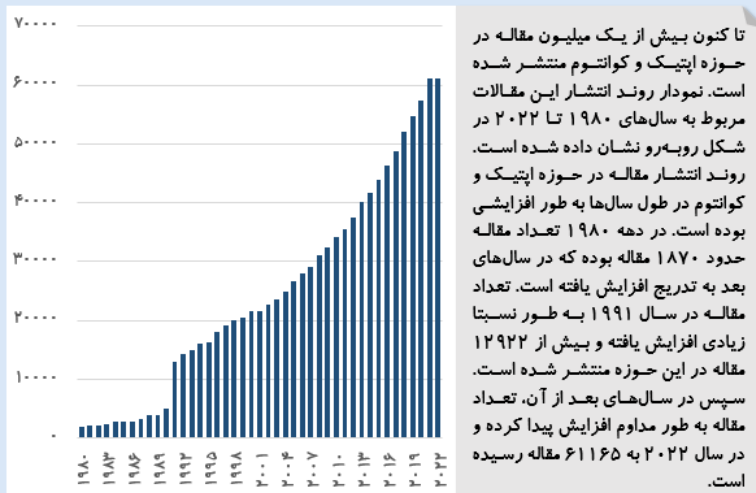
۳۴۴

# فرایند جستجو در پایگاه داده‌های مقالات

## گام دوم؛ مرحله چهارم؛ فرایند جستجو در پایگاه داده‌های مقالات

در این مرحله به منظور شناسایی و بازیابی 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 نهایتاً تعداد ۱۰۱۱۱۸۰۳ مقاله شناسایی شدند. همچنین معیارهای زیر نیز در فرایند جستجو در نظر گرفته شدند:

۷. روند چاپ مقاله در حوزه اپتیک و کوانتوم (۱۹۸۰-۲۰۲۲)



۳۵۰

✓ استفاده از پایگاه داده معتبر بین‌المللی web of science برای جستجوی مقالات

✓ ارتباط مقالات با اهداف گزارش اپتیک و کوانتوم

✓ قلمرو زمانی گزارش‌ها بین سال‌های ۱۹۵۵ تا ۲۰۲۳

۳۶۵





# ١٥. 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](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](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](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%2ofunctions/mckinsey%2odigital/our%2oinsights/quantum%2ocomputing%2ofunding%2oremains%2ostrong%2obut%2otalent%2ogap%2oraises%2oconcern/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](https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/01/UKRI-03012023-Quantum_projects_brochure2022.pdf)



[www.isti.ir](http://www.isti.ir)

مرکز ارتباطات و اطلاع رسانی

معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان ریاست جمهوری

[www.isti.ir](http://www.isti.ir)