زیست‌شناسی کوانتومی: چشم‌اندازی نوین در علوم زیستی و درمان

احمد امیری[۱]، نیکو محبعلی زاده[۱]، باقر دوائیل[۱]، هانیه خشنود[۱]، صدیقه عابدان‌زاده[۲،*]

چکیده

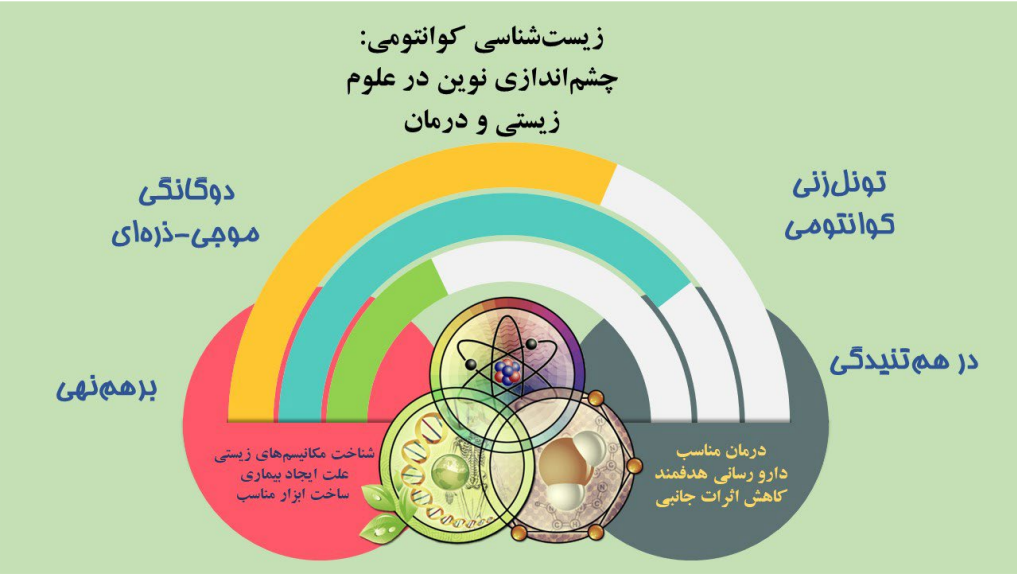
«زیست‌شناسی کوانتومی» به‌عنوان رشته‌ای نوظهور در جهان علمی شناخته می‌شود. این رشته با استفاده از قوانین مربوط به مکانیک کوانتومی به بررسی پدیده‌های زیستی می‌پردازد. امروزه هم‌راستا با پیشرفت علم، زیست‌شناسی کوانتومی هم به رشد و بالندگی خود ادامه می‌دهد، به‌نحوی‌که کم‌کم جای خود را در میان علوم، خصوصاً علوم بین‌رشته‌ای محکم می‌نماید. این شاخه از علم، زمینه‌ساز شناخت بسیاری از مکانیسم‌های زیستی بوده است به‌گونه‌ای که پژوهشگران را در درک چرایی و چگونگی ایجاد پدیده‌های زیستی یاری نموده است. آگاهی از این مکانیسم‌ها و همچنین سایر عواملی که زیست‌شناسی کوانتومی در شناخت آنها مؤثر بوده است، باعث ایجاد نگاهی نو در میان دانشمندان خصوصاً پزشکان شده است. امروزه با بینش ایجاد شده از آن، دستگاه‌ها و ابزارهایی در اختیار دانشمندان قرارگرفته است که در تشخیص زودهنگام بیماری‌ها بسیار کمک کننده هستند. علاوه‌بر این بینشی که زیست‌شناسی کوانتومی در اختیار دانشمندان علوم زیستی قرار می‌دهد می‌تواند آنان را در درک چرایی و چگونگی ایجاد بیماری‌ها یاری نماید به‌نحوی‌که با استفاده از آن می‌توانند یک درمان مؤثر را انتخاب نمایند.

واژگان کلیدی: زیست‌شناسی کوانتومی، مکانیک کوانتومی، کامپیوتر کوانتومی، کوانتوم دات

*عهده‌دار مکاتبات: استادیار. تلفن: ۸۶۰۷۲۷۰۶ (۹۸۲۱)، نمابر: ۸۶۰۷۲۷۰۷ (۹۸۲۱)، نشانی الکترونیکی: abedanzadeh@khu.ac.ir

[۱] مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران

[۲] دانشکده شیمی، دانشگاه خوارزمی، کرج



مقدمه

مکانیک کوانتومی[1] یک نظریه بنیادی است که خواص پدیده‌های درونی اتم، مولکول و مجموعه‌های مولکولی را توصیف می‌کند. در مکانیک کوانتومی همه ذرات دارای خواص موجی هستند، بنابراین واکنش ذرات باهم، باعث ایجاد یک انسجام کوانتومی می‌شود. این انسجام کوانتومی قادر است کمیت‌های فیزیکی توصیف‌کننده این اجسام را به دلیل ماهیت موجی آنها توصیف نماید [۱]. تمام موجودات زنده از اتم و مولکول تشکیل‌شده‌اند. بنابراین خواص و قوانین مربوط به‌آنها را می‌توان با مکانیک کوانتومی توصیف کرد. بااین‌حال، به‌طور سنتی ویژگی‌های به‌ظاهر متفاوت مواد بی‌جان و جاندار و همچنین تفاوت مقیاس گسترده بین سیستم‌های توصیف شده به وسیله مکانیک کوانتومی و زیست‌شناسی، بین این دو حوزه فاصله ایجاد کرده است [۱].

پیشرفت‌های اخیر در روش‌ها و تکنیک‌های تجربی، دانشمندان را قادر به مطالعه دینامیک زیستی در مقیاس‌های کوچک و همچنین زمان خیلی کوتاه کرده است [۲]. این مطالعات نشان‌دهنده ارتباط ظریف بین اثرات فیزیک کوانتومی و فیزیک کلاسیک در عملکرد سیستم‌های زنده است [۱]. به‌طورکلی زیست‌شناسی کوانتومی را می‌توان یکی از کاربردهای مکانیک کوانتومی دانست. در این مقاله سعی شده است تا زیست‌شناسی‌کوانتومی و ظرفیت‌های مربوط به آن در حوزه زیست‌شناسی و درمان بیان شود.

تاریخچه مکانیک کوانتومی

عبارت مکانیک کوانتومی برای اولین بار در سال ۱۹۲۰ توسط گروهی از فیزیکدانان ازجمله ماکس بورن[2]، ورنر هایزنبرگ[3] و ولفگانگ پاولی[4] استفاده گردید [۳]، سپس در سال ۱۹۲۴ مقاله‌ای با نام «Zur Quantenmechanik» که به زبان آلمانی نوشته‌شده بود از این عبارت استفاده کرد و برای اولین بار آن را به جامعه علمی جهان معرفی کرد [۴]. البته برای درک تاریخچه مکانیک کوانتومی باید به دهه‌های قبل از معرفی آن برگشت، جایی که در سال ۱۸۳۸ مایکل فارادی[5] پرتوهای کاتدی را کشف کرد و با بیان مسئله تابش جسم سیاه توسط گوستاو کیرشهف[6] در سال ۱۸۶۰ ادامه پیدا کرد. در سال ۱۸۷۷ لودیک بولتزمن[7] نظریه حالت‌های

[1] Quantum Mechanic
[2] Max Born
[3] Werner Heisenberg
[4] Wolfgang Pauli
[5] Michael Faraday
[6] Gustav Kirchhoff
[7] Ludwig Boltzmann

انرژی گسسته را مطرح کرد. در سال ۱۸۸۷ اثر فوتوالکتریک توسط هاینریش هرتز[1] کشف شد و در پی آن ماکس پلانک[2] در سال ۱۹۰۰ فرضیه کوانتومی مربوط به تابش انرژی توسط سامانه‌های اتمی را ارائه نمود [۵]. پس‌ازآن در سال ۱۹۰۵ آلبرت انیشتین[3]، اثر فوتوالکتریک ارائه‌شده توسط هرتز را با نظریه کوانتومی پلانک سازگار دانست و بیان داشت که نور از ذرات کوانتومی منفردی تشکیل‌شده‌اند [۶]. بلوغ و رشد مکانیک کوانتومی در اوایل قرن بیست ادامه داشت، به‌طوری‌که پس از ارائه نظریه مکانیک کوانتومی، دانشمندان همواره قطعه‌ای از این پازل پیچیده را کشف و به آن اضافه کردند.

به‌راستی اهمیت مکانیک کوانتومی در چیست و چه دستاوردهایی را برای بشر به ارمغان آورده است؟

ساده‌ترین روش برای پاسخگویی به این سؤال بررسی فناوری‌هایی است که از قوانین مکانیک کوانتومی برای به ثمر رسیدن آنها بهره

شکل ۱ تاریخچه شکوفایی مکانیک کوانتومی

گرفته شده است، به‌طور مثال، درصورت عدم درک دانشمندان از علم مکانیک کوانتومی، نیمه‌هادی‌های رسانا که اساس ساخت کامپیوترها و میکروچیپ‌ها هستند، طراحی نمی‌شد. ساخت لیزر، ناوبری پیشرفته، دستگاه MRI[4]و... مرهون درک دانشمندان از مکانیک کوانتومی است. به‌طورکلی می‌توان گفت بیش از یک‌سوم تولید ناخالص داخلی جهان توسعه یافته، به کاربردهایی بستگی دارد که بدون درک ما از مکانیک کوانتومی، امکان ایجاد و تولید آنها وجود نداشت [۷].

برای بیان ساده مکانیک کوانتومی، ابتدا باید اصولی که مکانیک کوانتومی بر آن استوار است را با زبان ساده توضیح داد.

دوگانگی موج- ذره

ما و هرآنچه در اطراف ماست، از تعداد زیادی ذره ریز و جداگانه مانند الکترون، پروتون و نوترون تشکیل‌شده است. همچنین ممکن است بدانید که انرژی‌هایی مانند نور یا صوت، بیشتر به‌عنوان موج شناخته می‌شوند، به‌گونه‌ای‌که امواج به‌جای ذرات پخش می‌شوند. با فهمیدن این نکته که ذرات همانند امواج رفتار می‌کنند و امواج نور هم می‌توانند مانند ذرات عمل کنند، مکانیک کوانتومی در اوایل قرن بیستم کشف شد.

تونل‌زنی کوانتومی[5]

تونل‌زنی کوانتومی پدیده‌ای است که در مقیاس‌های بسیار ریز (در حد نانو) موردتوجه قرار می‌گیرد. این اتفاق یک پارادوکس از دیدگاه فیزیک کلاسیک است، چراکه بر اساس این نظریه، ذرات بنیادی قادر هستند بدون انرژی کافی بر یک سد انرژی غلبه کرده و از آن عبور کنند [۸]. این فرایند ممکن است بسیار عجیب به نظر برسد اما اساس بسیاری از فرایندهای طبیعی چون درخشش خورشید است. خورشید درواقع یک راکتور همجوشی هسته‌ای است که با استفاده از ترکیب دو اتم هیدروژن و ایجاد یک ملکول هلیوم، انرژی الکترومغناطیسی (که ما آن را تابش خورشید

[1] Heinrich Hertz
[2] Max Planck
[3] Albert Einstein
[4] MRI (Magnetic Resonance Imaging)
[5] Quantom tunneling

می‌نامیم) ایجاد می‌نماید. هسته اتم هیدروژن دارای یک پروتون با بار مثبت است. برای ترکیب دو هیدروژن و ایجاد انرژی الکترومغناطیسی باید دو هسته هیدروژن به همدیگر نزدیک شوند؛ اما هر چه نزدیک‌تر می‌شوند، نیروی دفع‌کننده بین آنها قوی‌تر می‌گردد. این اتفاق ناشی از بار مثبت متعلق به دو پروتون است (در نظر داشته باشید همواره دو بار همنام یکدیگر را دفع می‌کنند). بنابراین این دو پروتون برای اینکه به‌اندازه کافی به همدیگر نزدیک و در پی آن ترکیب شوند، باید از پدیده‌های درون اتمی که همانند یک دیوار آجری است عبور کنند. این دیوار یک سد انرژی آشکار و غیرقابل نفوذ است. فیزیک کلاسیک[1] عبور از این سد انرژی را غیرممکن می‌داند، اما ذراتی که از قوانین مکانیک کوانتومی پیروی می‌کنند، مانند هسته‌های اتمی هیدروژن در خورشید، یک ترفند زیبا در آستین‌دارند: آنها به‌راحتی می‌توانند از طریق فرآیندی به نام «تونل کوانتومی» از چنین موانعی عبور کنند. این اتفاق به‌علت خاصیت دوگانگی موج–ذره است. همان‌طور که امواج آب توانایی عبور از کنار سنگریزه‌های ساحل یا اشیا ریز را دارا هستند و یا توانایی ما در شنیدن صدای ایجاد شده توسط تلویزیون و... از آن سوی یک دیوار [۷].

برهم‌نهی[2]

بر اساس این پدیده، ذرات می‌توانند به‌صورت هم‌زمان یک، دو، صد یا یک میلیون کار را به‌انجام برسانند. این خاصیت نشان‌دهنده این واقعیت است که جهان ما کاملاً پیچیده است [۷]. بنابراین هر حالت کوانتومی را می‌توان به‌صورت مجموع دو یا چند حالت متمایز نشان داد که به آن برهم‌نهی کوانتومی می‌گویند [۹]. اما چرا برهم‌نهی کوانتومی مهم است: شرایطی را در نظر بگیرد که ذرات برای رسیدن به سطح مطلوب انرژی یا آنتروپی (ایجاد ساختار سوم یک پروتئین را در نظر بگیرد) باید از میان میلیاردها حالت، یک حالت مطلوب را انتخاب نماید. در صورت بررسی هریک از حالت‌ها، مولکول (در اینجا پروتئین) نیازمند میلیاردها سال زمان است تا بتواند حالت ایده‌آل انرژی و آنتروپی را انتخاب نماید. اما با استفاده از اصل برهم‌نهی ذرات قادر هستند در حالت‌های مختلف قرار بگیرند و در کمترین زمان ممکن شرایط مطلوب خود را برگزینند. این حالت در زیست‌شناسی خصوصاً در کارایی آنزیم‌ها بسیار مهم است [۷].

عدم قطعیت ۳ هایزنبرگ

عدم قطعیت هایزنبرگ بر این اصل استوار است که نمی‌توان با دقت کامل هر دو عامل تعیین‌کننده در حرکت کوچک‌ترین ذرات، یعنی موقعیت و سرعت را تعیین کرد [۱۰].

درهم‌تنیدگی ۴

برای همه شما، ارتباط حسی بین مادر و فرزند، دوقلوی همسان یا مثال‌های از این نوع، موضوعی بسیار آشناست. این پدیده‌ها مبنای علمی ندارد، اما جالب است بدانید که نه‌تنها بین یک جفت الکترون جداشده از هم این ارتباط وجود دارد، بلکه این ارتباط یک مبنای علمی دارد و آن هم مکانیک کوانتومی است. برای بیان این اصل باید به بحث اوربیتال‌های الکترونی برگردیم: یک اوربیتال را در نظر بگیرید که دو الکترون موجود در آن بر پایه اصل طرد پائولی [۱۱]، دارای اسپین (چرخش) مخالف هم هستند. حالتی را در نظر بگیرید که دو الکترون مذکور از هم جدا شده‌اند و دو الکترون دارای یک اسپین منفرد[5] هستند (این حالت را جدایی دو الکترون درهم‌تنیده می‌نامند). اصل درهم‌تنیدگی ارتباط این دو الکترون را این‌گونه بیان می‌کند:

در صورت جدایی دو الکترون درهم‌تنیده، هر یک از الکترون‌ها (بدون در نظر گرفتن فاصله آنها از هم) دارای اسپین مخالف نسبت‌به‌هم هستند (به‌نوعی اسپین هریک از الکترون‌ها بر دیگری تأثیر می‌گذارد). اگر اسپین یکی از الکترون‌های منفرد تغییر نماید،

---

[1] به‌طور متعارف، به تئوری‌های فیزیکی قطعی پیش از مکانیک کوانتومی، ازجمله نسبیت خاص و عمومی، قوانین مربوط به مکانیک، جاذبه آیزاک نیوتن و... در مجموع فیزیک کلاسیک گفته می‌شود که از مکانیک کوانتومی غیرکلاسیکی متمایز است.

[2] Superposition
[3] Uncertainty principle
[4] Entangelment
[5] Singlet

الکترون دیگر به تأثیر از آن بلافاصله اسپین خود را تغییر می‌دهد. در این نوع ارتباط فاصله دو الکترون از هم مهم نیست، شما می‌توانید یک الکترون را در یک سمت کهکشان راه شیری قرار دهید و دیگری را در سمت دیگر. تغییر اسپین هرکدام بلافاصله بر دیگری تأثیر می‌گذارد. این همان چیزی بود که انیشتین را به شک انداخت، چراکه از نظر او نور بالاترین سرعت را داشت. به همین دلیل او همواره از درهم‌تنیدگی به‌عنوان یک ارتباط شبح‌وار از راه دور یاد می‌کرد [۷].

انسجام کوانتومی[1]

ارتباط یک الکترون با یک موج در نظریه کوانتومی منحصربه‌فرد است. پدیده‌های انسجام از تداخل یا افزودن دامنه‌های موج مانند با اختلاف‌فاز ثابت ناشی می‌شوند؛ داده‌های اخیر نشان می‌دهد که انسجام در سیستم‌های شیمیایی و زیستی قوی است و می‌توانند در مواجهه با بی‌نظمی زنده بمانند [۱۲].

زیست‌شناسی کوانتومی[2]

در قسمت‌های قبل در مورد مکانیک کوانتومی و قوانین حاکم بر آن به‌صورت خلاصه بحث شد. اینجا با یک سؤال مواجه می‌شویم: آیا باید از ظهور و نقش قوانین مکانیک کوانتومی در پدیده‌های زیستی متعجب بود؟ به‌صورت کلی زیست، نوعی شیمی کاربردی است و ریشه شیمی کاربردی هم متاثر از علم فیزیک است؛ بنابراین باید به این نکته توجه کرد که همه‌چیز به‌صورت محض، فیزیک نیست. ما و همه موجودات زنده مجموعه‌ای از واکنش‌های شیمیایی هستیم که در یک بستر زیستی رخ می‌دهند. حال که قوانین مکانیک کوانتومی در ریزترین مقیاس‌ها حاکم است، آیا می‌توان انتظار داشت که این قوانین در درک مفاهیم زیست‌شناسی نقش ایفا نمایند؟ آیا خوردن، فکر کردن، راه رفتن و ... براساس قوانین کوانتومی است؟ آیا ملکول‌های زیستی موجود در بدن ما براساس این قوانین به ایفای نقش می‌پردازند؟ این استدلال مخالفان و موافقان خود را به‌همراه داشت، به‌گونه‌ای که منجر به یک تفکر و ایده در علم شد: «زیست‌شناسی‌کوانتومی».

دانشمندان به بررسی قوانین مؤثر در رخدادهای زیستی پرداختند، جایی‌که فیزیک کلاسیک از توصیف چگونگی این رخدادها عاجز است. در دهه‌های اخیر مقالات بسیاری در تشریح چگونگی پدیده‌های زیستی انتشار یافت که چگونگی رخداد آنها را به پدیده‌های مکانیک کوانتومی مرتبط می‌دانست. به‌طور مثال تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که احتمالاً واکنش‌های مرتبط با مکانیسم بویایی [۱۳]، انتقال الکترون در میتوکندری [۱۴] (خصوصاً واکنش‌های مرتبط با کمپلکس زنجیره انتقال الکترون[1]) با استفاده از پدیده تونل‌زنی کوانتومی رخ می‌دهند. علاوه‌بر این، جهت‌یابی جانوران (خصوصاً پرندگان) در هنگام مهاجرت با استفاده از پدیده درهم‌تنیدگی [۱۵] نیز مثالی از این دسته است. توصیف چگونگی پدیده‌های زیستی با استفاده از قوانین مکانیک کوانتومی مختص به مثال‌های یادشده نیست. به طور مثال مقالاتی در مورد نقش انسجام کوانتومی در فتوسنتز [۱۶]، تونل‌زنی کوانتومی در کاتالیز آنزیمی [۱۷]، برهم‌نهی کوانتومی و تونل‌زنی کوانتومی در ایجاد حیات [۷] و ... وجود دارد. با توجه به نکات یاد شده می‌توان زیست‌شناسی‌کوانتومی را این‌گونه بیان کرد: بررسی نقش مکانیک کوانتومی در چگونگی انجام فرایندهای زیستی. برای مطالعه بیشتر، به ارجاعات ارائه‌شده در منابع و یا مقاله «زیست‌شناسی کوانتومی» مراجعه نمایید [۱۸].

چشم‌انداز زیست‌شناسی‌کوانتومی

بررسی نقش زیست‌شناسی‌کوانتومی در درمان

کلیه مفاهیم کوانتومی که فرآیندهای زیستی را توضیح می‌دهند، سعی می‌کنند دیدگاه‌های جدیدی را برای واکنش‌های زیستی ارائه دهند اما آزمایش‌های پدیده‌های فیزیک کوانتومی در شرایط خاص صورت می‌گیرد و برعکس، پدیده‌های زیست‌شناسی کوانتومی در درون بسیاری از واکنش‌ها، تحت تأثیر محیط رخ می‌دهند. در این

[1] Quantum coherence
[2] Quantom Biology

قسمت به بعضی از ظرفیت‌های زیست‌شناسی‌کوانتومی اشاره می‌شود که می‌توانند دانشمندان را در درمان بیماری‌ها و یا ارائه تفسیر مناسب در مورد چگونگی ایجاد اختلالات کمک نماید. به‌طور مثال، مقدار قابل‌توجهی از انرژی موردنیاز سلول در حضور اکسیژن توسط میتوکندری تولید می‌شود. این اتفاق شامل واکنش‌هایی است که در آن الکترون‌ها به اکسیژن منتقل می‌شوند و انرژی آزاد می‌شود. این واکنش‌ها که با نام فسفوریلاسیون اکسیداتیو[1] شناخته می‌شوند در مجموعه‌ای از کمپلکس‌های پروتئینی در غشای داخلی میتوکندری به نام زنجیره انتقال الکترون صورت می‌پذیرند. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد احتمالاً انتقال الکترون‌ها در کمپلکس زنجیره انتقال الکترون با استفاده از تونل‌زنی کوانتومی رخ می‌دهد [۱۴]. اهمیت درک این مکانیسم، زمانی بیشتر می‌شود که بیماری‌های مرتبط با نقص میتوکندری را بهتر بشناسیم. به‌طورکلی نقص در فرایندهای میتوکندری می‌تواند در ایجاد بیماری‌های مرتبط با سن، همچون آلزایمر [۱۹] و پارکینسون [۲۰] مؤثر باشد. علاوه‌بر این، بیماری‌های متابولیک مانند چاقی، مقاومت به انسولین، دیابت و عفونت‌هایی مانند پریودنتیت[2] و بسیاری از بیماری‌های دیگر را با استرس اکسیداتیو مرتبط می‌دانند. به‌نظر می‌رسد که تولید بالای اکسیدان‌ها، مانند گونه‌های رادیکال اکسیژن (ROS)[3]، در ایجاد برخی بیماری‌ها وجود دارد [۲۱]. اگر همه این واکنش‌ها را تجزیه وتحلیل کنیم، با این واقعیت روبرو خواهیم شد که این واکنش‌ها شامل انتقال الکترون بین اتم‌های مختلف است. بنابراین، این ویژگی‌ها می‌توانند نشان دهند که که استرس اکسیداتیو از شرایط متابولیک بدن ناشی می‌شود. قوانین کوانتومی در ایجاد و توصیف چگونگی این رخدادها نقش به‌سزایی را ایفا می‌نماید. علاوه‌براین، استرس اکسیداتیو در ایجاد بیماری‌های ناشی از کلسیفیکاسیون[4] سرطان و اختلالات سیگنالینگ مؤثر است. لازم به ذکر است سرطان‌هایی که ناشی از اختلالات ژنتیکی هستند را می‌توان با پدیده‌های کوانتومی توضیح داد. از این نوع مثال‌ها بسیار وجود دارد و به طور مثال تشکیل ویتامین D را می‌توان با این قوانین توضیح داد.

آنچه بیان شد نمونه‌ای از تلاش مکانیک کوانتومی برای بیان مکانیسم‌های ایجاد بیماری هستند. این قوانین قادر هستند چگونگی ایجاد بسیاری از بیماری‌ها و مکانیسم‌های ایجادکننده آن را بیان نماید که این مهم یکی از رکن‌های فرایند درمان بیماری‌ها است.

ساخت ابزارهای زیستی با استفاده از قوانین مکانیک کوانتومی

ساخت ابزارهای زیستی با استفاده از قوانین مکانیک کوانتومی دریچه‌ای روشن برای دانشمندان به ارمغان آورد. دستگاه‌هایی که امکان بررسی هرچه بهتر دنیای پیچیده اتمی را برای ما به همراه دارند. برای نمونه، دستگاه میکروسکوپ الکترونی با الهام از این حقیقت ساخته شد که الکترون‌ها دارای رفتار موجی هستند و یا دستگاه MRI که با استفاده از اصل برهم‌نهی قادر به ایجاد تصاویر با کیفیت از بافت نرم بیمار است [۷]. ازاین نوع مثال‌ها بسیار وجود دارد ولی هدف ما در این قسمت بیان تک‌تک آن‌ها نیست بلکه بر آن شده‌ایم گستره استفاده از این ابزارها را بیان نماییم:

حسگرهای کوانتومی

حسگرهای کوانتومی از طبیعت کوانتومی ماده یعنی رفتار مکانیک کوانتومی اتم‌ها یا یون‌ها برای اندازه‌گیری مقادیر فیزیکی مانند فرکانس، شتاب، سرعت چرخش، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، تابش یا دما با بالاترین دقت نسبی و مطلق استفاده می‌کنند. در پزشکی با استفاده از چنین حسگرهایی می‌توان نقص در پروتئین‌های مولکولی پیچیده در بدن را که منجر به اختلالات متابولیکی می‌شوند، تشخیص داد. به‌عنوان مثال می‌توان به پریون‌های[5] معیوبی اشاره کرد که باعث آسیب مغزی در بیماری جنون گاوی (BSE)[6] یا بیماری

[1] Oxidative Phosphorylation
[2] Periodontits
[3] Reactive Oxygen species
[4] Calcification
[5] Perion
[6] Bovine spongiform encephalopathy (BSE)

کروتسفلد-ژاکوب[1] می‌شوند. دانشمندان امروزه تلاش دارند اولین پریون معیوب بدن را که دارای یک ساختار نامنظم است مشخص نمایند، این امر با تعیین ساختار مولکول‌های زیستی به‌صورت منفرد امکان پذیر می‌شود [۲۲].

تصویربرداری

حسگرهای کوانتومی می‌توانند با امکان اندازه‌گیری فوق‌العاده دقیق، دستگاه MRI را بهبود بخشند. این دستگاه می‌تواند برای بررسی تک‌مولکول/سلول یا گروهی از مولکول‌ها/سلول‌ها به‌جای کل بدن مورد استفاده قرار گیرد. روش‌های مبتنی بر مکانیک کوانتومی نیز برای درمان بیماری‌ها درحال توسعه است. به‌عنوان مثال، می‌توان نانوذرات طلا را طوری طراحی کرد که فقط در سلول‌های تومور تجمع یابند و امکان تصویربرداری دقیق و همچنین تخریب تومور با لیزر، بدون آسیب رساندن به سلول‌های سالم را فراهم کنند. زوال عقل و آلزایمر را با کمک تصویربردار MRI را می‌توان دقیق‌تر و سریع‌تر تشخیص داد [۲۳].

نقاط کوانتومی[2]

نقاط کوانتومی (QD) نانوبلورهای نیمه‌هادی با اندازه‌ای زیر ۱۰ نانومتر متشکل از ۲۰۰ تا ۱۰ هزار اتم هستند که با یک‌لایه تثبیت‌کننده پوشانده شده‌اند. با توجه به اثرات محصور شدن کوانتومی، QDها بسیار پایدار هستند. این مواد دارای جذب گسترده بوده و همچنین یک طیف گسیلی باریک و متقارن دارند. نرخ واپاشی حالت برانگیخته QD آهسته است و دارای یک جذب گسترده و متقارن هستند [۲۴]. در حال حاضر، از نقاط کوانتومی برای تجسم تصویر بخشی از بدن انسان، به‌عنوان مثال یک اندام یا یک تومور و همچنین تعیین مکان منفرد مولکول‌های بیان‌شده در آنها، استفاده می‌شود. این فناوری‌ها در زمان فعلی به‌اندازه کافی توسعه‌یافته‌اند و شامل تحویل هدفمند و الحاق QD به سلول‌های هدف هستند. با کمک نقاط کوانتومی می‌توان مرز تومورهای سرطانی را مشاهده کرد. در مداخلات جراحی تعیین مرزهای ناحیه مورد عمل مهم است. در سال ۲۰۱۶، دانشمندان دارویی را بر اساس نوروتوکسین‌های آلفا حاصل از سم مار کبرا و نقاط کوانتومی تولید کردند. داروی جدید قادر است مرزهای تومور سرطانی را در بدن علامت‌گذاری کند (۱).

پرتو درمانی

در درمان سرطان، محاسبات کوانتومی به بهبود روش‌های درمانی کمک می‌کند. رایانه‌ها در حال حاضر برای مقابله با هزاران متغیر مورد استفاده برای تهیه یک برنامه پرتویی استفاده می‌شوند که سلول‌های سرطانی را بدون آسیب رساندن به سلول‌های سالم هدف قرار می‌دهد. نتیجه نهایی می‌تواند باعث تاثیر یک دوز تابشی ایده‌آل به هدف شود و درنتیجه منجر به درمان مؤثرتر با کاهش عوارض جانبی شود (۱).

تجزیه‌وتحلیل توالی ژنوم انسان

در دو دهه گذشته تغییرات اساسی در ژنتیک و ژنومیک مشاهده شد. برای شکستن کد DNA انسان بیش از ۱۵ سال طول کشید: پروژه ژنوم انسانی از سال ۱۹۹۰ آغاز شد، میلیاردها دلار هزینه داشت و نتایج نهایی خود را در سال ۲۰۰۶ ارائه داد. در مقابل، در حال حاضر، بیش از ۲۰۰۰ آزمایش ژنتیک وجود دارد. این آزمایش‌ها بیماران را قادر می‌سازد تا از خطرات ژنتیکی خود آگاه شوند و همچنین به متخصصان مراقبت‌های بهداشتی برای تشخیص بیماری‌ها کمک می‌کنند. محاسبات کوانتومی امکان تعیین توالی سریع‌تر و همچنین تجزیه وتحلیل جامع‌تر و سریع‌تر از کل ژنوم را فراهم می‌کنند. به‌علاوه، پیش‌بینی‌ها ازآنجا که رایانه‌های کوانتومی می‌توانند حتی بیشتر از رایانه‌های سنتی، اطلاعات بیشتری را در نظر بگیرند، قابل‌اطمینان‌تر خواهند بود و حتی می‌توانند همه داده‌های ژنومی را در پرونده‌های سلامت الکترونیک قرار بدهند (۱).

[1] Creutzfeldt-Jakob
[2] Quantum Dot

تکنولوژی کوانتومی و عکس‌برداری از بافت زنده قلب

محققان دپارتمان فیزیک و نجوم در دانشگاه کالج لندن، به رهبری پروفسور فروچیو رنزونی[1]، یک تکنیک سنجش کوانتومی را برای تصویربرداری از سطوح رسانایی بافت‌های زنده قلب را با حساسیت بسیار بالا مورد آزمایش قرار دادند. این حسگرهای بسیار حساس که مبتنی بر روبیدیم (Rb) است توانایی عکس‌برداری از بافت زنده را دارا هستند به‌گونه‌ای که حساسیت آن ۵۰ برابر بیشتر از سایر روش‌های در دسترس است. محققان نشان دادند که رویکرد جدید آنها به‌اندازه کافی حساس و پایدار است تا به‌عنوان تشخیص تصویربرداری برای فیبریلاسیون دهلیزی مورد استفاده قرار گیرد. در حال حاضر، تشخیص تنها با استفاده از الکتروکاردیوگرام در طول یک دوره اتفاق می‌افتد (۲).

کامپیوترهای کوانتومی

در سال ۲۰۰۷ گروهی از دانشمندان دانشگاه MIT[2] در یک پروژه محرمانه در حال تلاش برای ساخت یک کامپیوتر کوانتومی بودند. این گروه با یک مقاله مواجه شدند که تعجب آنها را برانگیخت (۳): مقاله‌ای که ادعا داشت گیاهان نوعی کامپیوتر کوانتومی هستند [۱۶]. سال‌ها بود بسیاری از دانشمندان و دانشجویان در دانشگاه‌های بسیار بزرگ دنیا در حال تلاش برای ساخت یک کامپیوتر کوانتومی بودند. حال آنها با ادعایی مواجه شده بودند که بسیار شگفت‌انگیز بود. کامپیوتر کوانتومی میلیون‌ها سال پیش در گیاهان ساخته شده است و گیاهان از آن بهره می‌گیرند. این ادعا زمانی شگفت‌انگیزتر می‌شود که به این نکته توجه کنید: هر زمان که شما در حال خوردن یک سبزی یا سالاد گیاهی هستید در حقیقت شما دارید از یک کامپیوتر کوانتومی تغذیه می‌نمایید [۷].

اما به‌راستی کامپیوتر کوانتومی چیست؟

ساده‌ترین تعریفی که از این کامپیوترها می‌توان ارائه کرد بر این اساس است: کامپیوترهای کوانتومی به‌جای استفاده از بیت‌های دیجیتالی اطلاعات که ۰ یا ۱ هستند، از بیت‌های کوانتومی استفاده می‌کنند که به آنها امکان می‌دهد به‌طور هم‌زمان ۰ و ۱ باشند، بنابراین قادر به پیگیری هم‌زمان همه موارد ممکن در محاسبات هستند، این یعنی حد نهایی در پردازش موازی. پس کامپیوترهای کوانتومی این توانایی را دارند که محاسبات را بسیار سریع‌تر و دقیق‌تر از ابرکامپیوترهای در دسترس به انجام برسانند [۷].

کامپیوتر های کوانتومی توانایی دارند مسائل مربوط به مدل‌سازی‌های مدنظر دانشمندان را بسیار سریع‌تر از کامپیوترهای سنتی به انجام برسانند. به‌طور مثال این کامپیوترها مسائل مربوط به اتصال لیگاند به پروتئین، تکامل هم‌زمان اسیدهای آمینه و... را به‌طور تصاعدی بسیار سریع‌تر از کامپیوترهای کنونی به انجام برساند، شاید بتوان گفت مهم‌ترین کمکی که این کامپیوترها در زیست‌شناسی در اختیار دانشمندان قرار می‌دهد سریع‌تر شدن محاسبات مربوط به مدل‌سازی‌های مختلف است. الگوریتم‌های مورد استفاده در محاسبات کوانتومی توانایی دارد که بسیاری از مشکلات روبه‌روی دانشمندان در تحلیل ژنوم و بررسی رفتار این ملکول های زیستی را برطرف نماید [۲۵].

نتیجه‌گیری

زیست‌شناسی‌کوانتومی را می‌توان یک‌رشته نوظهور دانست که رفته رفته جای خود را در میان علوم محکم می‌نماید. ابزارهای ساخته شده با کمک قوانین مربوط به مکانیک کوانتومی شاهد بر این استدلال است که این حوزه از علم می‌تواند دانشمندان را در مطالعات نظری و تجربی کمک نماید. آینده‌ای که زیست‌شناسی‌کوانتومی پیش‌روی ما قرار می‌دهد، بسیار شگفت‌انگیز خواهد بود. امروزه این روش، نه‌تنها مختص به علوم فیزیک یا زیست‌شناسی نیست، بلکه به‌عنوان یک حوزه بین‌رشته‌ای شناخته می‌شود که بسیاری از دانشمندان فیزیک، زیست‌شناسی، ریاضی و سایر علوم ظرفیت استفاده و بهره‌برداری از آن را دارند. آینده پیش‌رو با درک مفاهیم زیست‌شناسی‌کوانتومی جذاب خواهد بود چراکه با پیشرفت این حوزه، هر روز شاهد رشد و گسترش روش‌ها و دستگاه‌های جدید در حوزه علوم مرتبط با زیست شناسی خواهیم بود.

[1] Prof. Ferruccio Renzoni
[2] Massachusetts Institute of Technology

وبگاه‌های بازدید شده:

(1).https://www.hitai.ir/learning.../
(2).https://www.azoquantum.com/Article.aspx?ArticleID=124
(3). Interview with CBC News, available at: http://www.cbc.ca/news/technology/quantum-weirdness-used-by-plants-animals-1.912061

فهرست منابع

(نظر به اینکه بعضی از مقالات مربوط به دهه ابتدایی قرن است، ارجاع این مقالات فاقد صفحه می باشد).

[1]. A. Marais, B. Adams, A.K. Ringsmuth, M. Ferretti, J.M. Gruber, R. Hendrikx, M. Schuld, S.L. Smith, I. Sinayskiy, T.P. Krüger, The future of quantum biology, Journal of the Royal Society Interface 15(148) (2018) 20180640.
[2]. S. Shashkova, M.C. Leake, Single-molecule fluorescence microscopy review: shedding new light on old problems, Bioscience Reports 37(4) (2017) BSR20170031.
[3]. M. Born, My life: Recollections of a Nobel laureate, Routledge2014.
[4]. M. Born, P. Jordan, Zur Quantenmechanik, Zeitschrift für Physik 34(1) (1925) 858-888.
[5]. M. Planck, The Theory of heat radiation, Entropie 144(190) (1900) 164.
[6]. Abdelhady S. Comments on Einstein's explanation of electrons, photons, and the photo-electric effect. Applied Physics Research. 2011 Nov 1;3(2):230-40.
[7]. J. McFadden, J. Al-Khalili, Life on the Edge: the coming of age of quantum biology, Crown2016.
[8]. F. Trixler, Quantum tunnelling to the origin and evolution of life, Current Organic Chemistry 17(16) (2013) 1758-1770.
[9]. J.R. Friedman, V. Patel, W. Chen, S. Tolpygo, J.E. Lukens, Quantum superposition of distinct macroscopic states, Nature 406(6791) (2000) 43-46.
[10]. W. Heisenberg, Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik, Zeitschrift für Physik 43(3) (1927) 172-198.
[11]. W. Pauli, Über den Zusammenhang des Abschlusses der Elektronengruppen im Atom mit der Komplexstruktur der Spektren, Zeitschrift für Physik 31(1) (1925) 765-783.
[12]. G.D. Scholes, G.R. Fleming, L.X. Chen, A. Aspuru-Guzik, A. Buchleitner, D.F. Coker, G.S. Engel, R. Van Grondelle, A. Ishizaki, D.M. Jonas, Using coherence to enhance function in chemical and biophysical systems, Nature 543(7647) (2017) 647-656.
[13]. J.C. Brookes, F. Hartoutsiou, A. Horsfield, A. Stoneham, Could humans recognize odor by phonon assisted tunneling?, Physical Review Letters 98(3) (2007) 038101.
[14]. T. Hayashi, A.A. Stuchebrukhov, Electron tunneling in respiratory complex I, Proceedings of the National Academy of Sciences 107(45) (2010) 19157-19162.
[15]. T. Ritz, S. Adem, K. Schulten, A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds, Biophysical Journal 78(2) (2000) 707-718.
[16]. G.S. Engel, T.R. Calhoun, E.L. Read, T.-K. Ahn, T. Mančal, Y.-C. Cheng, R.E. Blankenship, G.R. Fleming, Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems, Nature 446(7137) (2007) 782-786.
[17]. L. Masgrau, A. Roujeinikova, L.O. Johannissen, P. Hothi, J. Basran, K.E. Ranaghan, A.J. Mulholland, M.J. Sutcliffe, N.S. Scrutton, D. Leys, Atomic description of an enzyme reaction dominated by proton tunneling, Science 312(5771) (2006) 237-241.
[۱۸]. نصیری, فرید, شریعت پناهی, سید پیمان, رهنمای, محمد, موسوی موحدی, علی اکبر. زیست شناسی کوانتومی. نشاء علم, سال ۱۳۹۸;مجلد ۰۹(شماره۲):ص ۶۳-۷۲.
[19]. C. Mancuso, G. Scapagini, D. Currò, A.M. Giuffrida Stella, C. De Marco, D.A. Butterfield, V. Calabrese, Mitochondrial dysfunction, free radical generation and cellular stress response in neurodegenerative disorders, Front Biosci 12(1) (2007) 1107-23.
[20]. D.N. Hauser, T.G. Hastings, Mitochondrial dysfunction and oxidative stress in Parkinson's disease and monogenic parkinsonism, Neurobiology of Disease 51 (2013) 35-42.
[21]. C.M. Díaz, B. Bullon, R.J. Ruiz-Salmerón, P. Fernández-Riejos, A. Fernández-Palacín, M. Battino, M.D. Cordero, J.L. Quiles, A. Varela-López, P. Bullón, Molecular inflammation and oxidative stress are shared mechanisms involved in both myocardial infarction and periodontitis, Journal of Periodontal Research 55(4) (2020) 519-528.
[22]. P. Tarasov, E. Isaev, A. Grigoriev, A. Morgunov, The utilization of perspective quantum technologies in biomedicine, Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2020, p. 012040.
[23]. A. Zwick, D. Suter, G. Kurizki, G.A. Álvarez, Precision limits of tissue microstructure characterization by Magnetic Resonance Imaging, Physical Review Applied 14(2) (2020) 024088.
[24]. S.B. Rizvi, S. Ghaderi, M. Keshtgar, A.M. Seifalian, Semiconductor quantum dots as fluorescent probes for in vitro and in vivo bio-molecular and cellular imaging, Nano reviews 1(1) (2010) 5161.
[25]. C. Outeiral, M. Strahm, J. Shi, G.M. Morris, S.C. Benjamin, C.M. Deane, The prospects of quantum computing in computational molecular biology, Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science 11(1) (2021) e1481.

Quantum Biology: A New Perspective in Life Sciences and Medicine

Ahmad Amiri[1], Niku Mohabalizadeh[1], Baqher Davaeil[1], Haniyeh Khoshnoud[1], Sedigheh Abedanzadeh[2,*]

Quantum biology is an emerging field in the scientific world. It is the study of biological phenomena using the laws of quantum mechanics. Today, quantum biology continues to grow and develop as science progresses, and it is slowly taking its place among the sciences, especially the interdisciplinary sciences. This branch of science has been the basis for the knowledge of many biological mechanisms, helping researchers to understand why and how biological phenomena occur. The awareness of these mechanisms and other factors that quantum biology has been effective in understanding has created a new perspective among scientists, especially physicians. Today, the knowledge gained has provided scientists with devices and tools that are very helpful in the early diagnosis of diseases. In addition, the insights that quantum biology provides to biological scientists can help them understand why and how diseases occur, so that they can choose an effective treatment.

Keywords: Quantum Biology, Quantum Mechanics, Quantum Computer, Quantum Dot

[*]Corresponding Author, Assistant Professor, Tel: +9821-86072707, Fax: +9821-86072707, E-mail: Abedanzadeh@khu.ac.ir
[1] Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Faculty of Chemistry, Kharazmi University, Karaj, Iran