

## زیست‌شناسی کوانتومی

فرید نصیری<sup>۱</sup>، سید پیمان شریعت‌پناهی\*<sup>۱</sup>، محمد رهنمای<sup>۱</sup> و علی اکبر موسوی موحدی<sup>۱</sup>

### چکیده

نوشتار حاضر سعی بر این دارد که مقدمه‌ای بر علم جدید و جذاب زیست‌شناسی کوانتومی داشته باشد. یکی از چالش‌های مهم در این شاخه علمی، مبهم بودن مفهوم زیست‌شناسی کوانتومی است، زیست‌شناسی کوانتومی به‌طور ساده به معنی کاربرد مکانیک کوانتومی در مسائل زیست‌شناسی یا فرایندهای حیاتی است. زیست‌شناسی کوانتومی در اصل یک علم بین‌رشته‌ای جدید از مکانیک کوانتومی، شیمی فیزیک، بیوشیمی و زیست‌شناسی می‌باشد. این علم پدیده‌های زیستی را نشان می‌دهد که به شکل روشنی از قوانین مکانیک کوانتومی برای کسب مزیت یا انجام یک عمل خاص استفاده می‌کنند. تونل‌زنی کوانتومی، پیوستگی کوانتومی و درهم‌تنیدگی کوانتومی پدیده‌های نامتعارف در فیزیک کلاسیک می‌باشند که اثرات آنها در دنیای زیستی مشاهده شده است، در ادامه وجود و اثر این پدیده‌ها در فرایندهای مهم زیستی مانند فتوسنتز و کاتالیز آنزیمی توضیح داده می‌شود. همچنین به نقش مکانیک کوانتومی در دیگر موضوعات زیستی مانند جهت‌یابی پرندگان، بویایی، بینایی، آگاهی و آغاز حیات پرداخته می‌شود. در انتها به هسته پژوهشی زیست‌شناسی کوانتومی در مرکز تحقیقات بیوشیمی-بیوفیزیک دانشگاه تهران، اشاره می‌گردد.

واژگان کلیدی: زیست‌شناسی کوانتومی، بیوشیمی، تونل‌زنی کوانتومی، فتوسنتز، هسته پژوهشی

\*عهده‌دار مکاتبات، استادیار، تلفن: ۴۴۳۳۴۳۲۶ (+۹۸۲۱)، پست الکترونیکی: pshariatpanahi@ut.ac.ir

<sup>۱</sup> مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران

خاطر اکتشافاتش درباره جهش‌های ژنتیکی که باکتری‌ها را در برابر ویروس‌ها مقاوم می‌کند، برد. اروین شرودینگر در سال ۱۹۴۴ طی سخنرانی‌های خود با عنوان «حیات چیست؟» کاربرد مکانیک کوانتومی را در زیست‌شناسی مطرح کرد. او در این سخنرانی‌ها بر این موضوع تأکید کرد که مکانیک کوانتومی برای پایداری سیستم‌های زیستی و انجام عملکرد سلولی ضروری می‌باشد. او به ساختارهای مولکولی بسیار پیچیده اشاره کرد که اطلاعات ژنتیکی را در پیکربندی پیوندهای کووالانسی خود نگه می‌دارند. او همچنین پیشنهاد کرد که جهش وابسته به پرش‌های کوانتومی<sup>۵</sup> در مولکول ژن است. کتاب شرودینگر الهام‌بخش جیمز واتسون و فرانسیس کریک<sup>۶</sup> در اکتشاف ساختار مارپیچ دو زنجیره‌ای دی.ان.ای.<sup>۷</sup> و بررسی ماهیت ژن گردید. همچنین لودوین<sup>۸</sup> در سال ۱۹۶۳، تونل‌زنی پروتونی را (با ایجاد توتومریسم در بازهای دی.ان.ای.)، به‌عنوان مکانیسمی دیگر برای ایجاد جهش در دی.ان.ای. پیشنهاد کرد. در قرن ۲۱ ام مشاهده تونل‌زنی کوانتومی در آنزیم‌ها، جهت‌یابی پرندگان بر اساس قوانین مکانیک کوانتومی و پیوستگی کوانتومی در فتوسنتز فرضیات و پیش‌بینی‌های بور، جردن و شرودینگر را تأیید کرده و حاکی از پیشرفت این علم می‌باشند. همچنین پیشرفت‌های اخیر در روش‌های آزمایشگاهی مانند طیف‌سنجی فوق‌سریع<sup>۹</sup>، طیف‌سنجی تک‌مولکولی<sup>۱۰</sup>، میکروسکوپ تفکیک زمانی<sup>۱۱</sup> و تصویربرداری تک‌مولکولی محققان را قادر کرده که دینامیک زیستی را در بازه‌های زمانی و اندازه بسیار کوچک مطالعه کنند [۶-۱]. شکل ۱ سیر زمانی از مهم‌ترین لحظات در پیشرفت علم نوپای زیست‌شناسی کوانتومی را نشان می‌دهد.

### زیست‌شناسی کوانتومی چیست؟

زیست‌شناسی در موقعیت کنونی خود به موفقیت‌های زیادی در به کار بردن مدل‌های کلاسیکی برای سیستم‌های زنده دست یافته است. در بیشتر موارد اثرات کوانتومی در اندازه‌های

قبل از شروع قرن بیستم، زیست‌شناسی و فیزیک کمتر با یکدیگر ارتباط داشتند. اغلب سیستم‌های زیستی نسبت به روش‌های ریاضی بسیار پیچیده به نظر می‌رسیدند. در اوایل قرن بیستم بود که با ظهور میکروسکوپ‌های قدرتمند و انواع روش‌های شیمی و فیزیکی نظیر طیف‌سنجی جرمی دانشمندان شروع به بررسی عمیق فیزیک احتمالی و توصیف ریاضی سیستم‌های ریز زیستی نمودند. روند رو به جلو ارتباط فیزیک و زیست‌شناسی در قرن بیستم، این پرسش پر از چالش را در بین فیزیکدانان و شیمی‌دانان کوانتومی به وجود آورد که آیا مکانیک کوانتومی به‌عنوان شاخه‌ای مهم و مدرن در فیزیک می‌تواند در علوم حیاتی نقش داشته باشد یا نه؟ نیلز بور برای نخستین بار در جمع دانشمندان علوم طبیعی اسکاندیناویایی (سال ۱۹۲۹) و سپس در طی یک سخنرانی با عنوان نور و حیات در همایش بین‌المللی نور درمانی در کپهاگ دانمارک (سال ۱۹۳۲) این سؤال را مطرح نمود که نظریه کوانتومی چگونه می‌تواند در فهم علمی سیستم‌های زیستی مؤثر باشد. این سؤال روی خیلی از محققان تأثیر گذاشت، به‌عنوان مثال، پاسکوال جردن<sup>۱</sup> فیزیکدان آلمانی و از بنیان‌گذاران نظریه میدان کوانتومی<sup>۲</sup>، با انتشار مقاله‌ای در نشریه‌ای آلمانی (سال ۱۹۳۲) با عنوان «مکانیک کوانتومی و مسائل بنیادین زیست‌شناسی و روان‌شناسی»<sup>۳</sup> به ارتباط بین دنیای زنده و مکانیک کوانتومی پرداخته و نشان داد که می‌توان عدم قطعیت کوانتومی موجود در دنیای زیر اتمی را به دنیای ماکروسکوپیکی زیستی تعمیم داد. او همچنین در سال ۱۹۴۱ با چاپ کتاب فیزیک و راز حیات<sup>۴</sup> این سؤال را طرح کرد که آیا قوانین فیزیک اتمی و کوانتومی برای حیات ضروری می‌باشند؟ همچنین ماکس دلبروگ به‌عنوان یک فیزیکدان هسته‌ای تحت تأثیر بور جذب بیوفیزیک گشته و یکی از بنیان‌گذاران زیست‌شناسی مولکولی شد. او جایزه نوبل فیزیولوژی-پزشکی را نیز در سال ۱۹۶۹ به

<sup>1</sup> Pascual Jordan

<sup>2</sup> Quantum field theory

<sup>3</sup> Die Quantenmechanik und die Grundprobleme der Biologie und Psychologie (Quantum mechanics and the fundamental problems of biology and psychology)

<sup>4</sup> Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens (Physics and the Secret of Life)

<sup>5</sup> Quantum Jumps

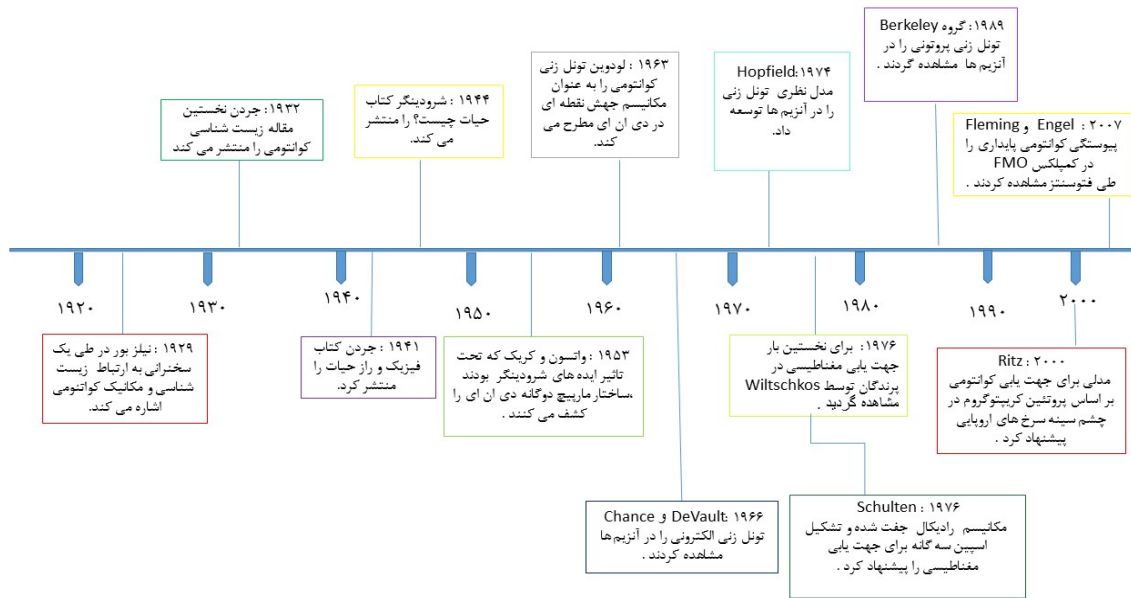
<sup>6</sup> James Watson and Francis Crick

<sup>7</sup> DNA

<sup>8</sup> Per-Olov Löwdin

<sup>9</sup> Ultrafast spectroscopy

## زیست‌شناسی کوانتومی



شکل ۱. جدول زمانی رویدادهای کلیدی در تکامل علم زیست‌شناسی کوانتومی در قرن ۲۰ و اوایل قرن ۲۱ [۵].

زنده به عوامل مکانیک کوانتومی در مقیاس بین‌مولکولی وابسته هستند. امیدهای بزرگی که به زیست‌شناسی کوانتومی ممکن است باشد، شامل دخالت آن در تعریف و فهم حیات یا نقش آن در فهم جامع از مغز و آگاهی است. هرچند این سؤالات، موضوع بسیار قدیمی در حوزه علوم بوده و بهتر است این سؤال را مطرح کنیم که آیا زیست‌شناسی کوانتومی می‌تواند در ایجاد چارچوبی که بتوان برای این سؤالات پاسخ‌های جدیدی یافت، دخالت داشته باشد؟ [۴، ۳]. از طرف دیگر زیست‌شناسی کوانتومی می‌تواند منجر به طراحی پایه‌هایی برای فناوری‌های نانو کوانتومی الهام گرفته از زیست‌شناسی با توانایی مؤثر در یک سطح بنیادی در محیط‌های شلوغ با دمای اتاق باشد و حتی منجر به استفاده از این سیستم‌های شلوغ برای حفظ یا حتی افزایش ویژگی‌های کوانتومی گردد. از طریق مهندسی چنین سیستم‌هایی، امکان امتحان و اندازه‌گیری محدوده‌ای که اثرات کوانتومی می‌توانند فرایندها و عملکردها را در زیست‌شناسی افزایش دهند وجود دارد و در نهایت می‌توان به این سؤال که آیا اثرات کوانتومی ممکن است به صورت هدفمند در طراحی سیستم‌ها انتخاب شده باشند، پاسخ داد [۷، ۳].

### اصطلاحات مهم زیست‌شناسی کوانتومی

در زیست‌شناسی کوانتومی اثرات کوانتومی را به دو دسته :

بین‌مولکولی نقش تعیین‌کننده‌ای را در عملکرد زیستی نداشته‌اند. البته عملکرد یک مفهوم گسترده است. برای مثال: بینایی و فتوسنتز چگونه در سطح مولکولی و در محدوده زمانی فوق‌سریع عمل می‌کنند؟ چگونه دی‌ان‌ای. با بازهای چسبیده شده در حدود ۰.۳ نانومتر باز شده و با فوتون‌های نور فرابنفش تعامل می‌کنند؟ چگونه یک آنزیم یک واکنش بیوشیمیایی مهم را کاتالیز می‌کند؟ چگونه مغز ما با نورون‌هایی که در محدوده زیر نانومتر سازمان یافته‌اند، با چنین مقدار شگفت‌انگیزی از اطلاعات سروکار دارد؟ همانندسازی دی‌ان‌ای. و بیان ژن چگونه صورت می‌گیرد؟ تفاوت بین تخمین کلاسیکی و مدل مکانیک کوانتومی به‌طور کلی در این موارد ناچیز است، هرچند پایه هر فرایندی به شکل کامل تحت قوانین مکانیک کوانتومی قرار دارد. یک سؤال جدی این است که آیا فرایندهای مهم زیستی وجود دارند که ظاهراً به صورت کلاسیک هستند و در واقع این طور نیستند؟ و نقش زیست‌شناسی کوانتومی این می‌باشد که به صورت دقیق به این پرسش پاسخ دهد [۴]. زمانی که سیستم‌های زیستی در اندازه‌های نانو و بزرگ‌تر مورد بررسی قرار می‌گیرند، ما با پدیده‌هایی روبه‌رو می‌شویم که به نظر می‌رسد تعریف مکانیک کوانتومی برای تعیین جامع رفتار سیستم مربوط ضروری است. درحالی‌که مشاهده اثرات کوانتومی در مقیاس‌های طول و زمان ماکروسکوپی سخت است. فرایندهای ضروری برای عملکرد کلی و بقای موجود

مثلاً به حالت اسپین بالا فروکاهش<sup>۷</sup> پیدا کند هم‌زمان حالت اسپین دوم به اسپین پایین فروکاهیده می‌شود. این پدیده در محاسبات کوانتومی<sup>۸</sup> و ترابرد کوانتومی<sup>۹</sup> مهم بوده و نقش آن در فتوستتزر، جهت‌یابی مغناطیسی و آگاهی انسانی موضوع پژوهشی می‌باشد [۸-۹].

### تونل‌زنی کوانتومی

ذرات در محدوده کوانتومی، خواص موجی دارند و موقعیت آنها در هر لحظه با تابع موج تعریف می‌شود. در نتیجه ذرات مانند الکترون‌ها با احتمال معینی می‌توانند از موانع انرژی که نفوذناپذیر به نظر می‌رسند، عبور کرده یا تونل بزنند. این پدیده در میکروسکوپ‌های اس. تی. ام<sup>۱۰</sup> مهم بوده و تأثیر آن در کاتالیز آنزیمی، فتوستتزر، بویایی، جهش دی.ان.ای. مشاهده شده است. همچنین به صورت نظری احتمال تأثیر تونل‌زنی کوانتومی در نفوذپذیری غشایی نیز مطرح می‌باشد [۸].

### همدوسی کوانتومی

چون ذرات کوانتومی می‌توانند مانند امواج رفتار کنند، آنها ویژگی بارز امواج، مشهور به پیوستگی را از خود نشان می‌دهند. پیوستگی کوانتومی اساس چندین اثر کوانتومی مشاهده شده مانند درهم‌تنیدگی و همچنین الگوهای تداخلی مشهور به کوبش کوانتومی<sup>۱۱</sup>، است. به‌طور معمول تصور می‌شود که همدوسی در شرایط شلوغ مولکولی موجود در

۱- اثرات بدیهی کوانتومی<sup>۱</sup> و ۲- اثرات غیر بدیهی کوانتومی<sup>۲</sup> تقسیم می‌کنند. اثرات غیر بدیهی کوانتومی چارچوبی برای ویژگی‌های ساختاری و شیمیایی مولکول‌ها ایجاد می‌کنند، آنها فراگیر بوده هم بر دنیای زنده و هم بر دنیای غیرزنده (مانند اتومبیل‌ها، ساعت و ...) تأثیر دارند. بر این اساس، وجود اثرات کوانتومی بدیهی در بیوشیمی پایه بیومولکول‌های زیستی ضروری می‌باشد. ولی زمانی که اثرات کوانتومی در عملکرد سیستم‌های زیستی (در سطح ماکروسکوپی) مطالعه می‌شود، اثرات بدیهی نقش خود را از دست می‌دهند. بررسی نقش پیوستگی کوانتومی در ترابرد انرژی برانگیختگی<sup>۳</sup> طی فتوستتزر، مثالی از اثرات کوانتومی غیر بدیهی می‌باشد. در حقیقت زیست‌شناسی کوانتومی علمی است که به بررسی نقش اثرات کوانتومی غیر بدیهی مانند در هم‌تنیدگی کوانتومی<sup>۴</sup>، همدوسی کوانتومی<sup>۵</sup> و یا تونل‌زنی کوانتومی<sup>۶</sup> در فرایندهای مهم زیستی چون فتوستتزر، عملکرد آنزیم، عملکرد مغز و سلول‌های عصبی، جهش‌های ژنتیکی، پیام‌رسانی کوانتومی در میتوکندری و جهت‌یابی پرندگان می‌پردازد [۸،۵].

### درهم‌تنیدگی کوانتومی

دو ذره را درهم‌تنیده گویند اگر نتوان حالت کوانتومی آنها را به‌صورت مستقل از هم بیان کرد. به‌عنوان مثال، اسپین دو الکترون درهم‌تنیده می‌تواند به‌صورت اسپین‌های مخالف بیان شود. در این صورت اگر حالت یکی از آنها در زمان اندازه‌گیری

پدیده‌های زیستی	فرایند کوانتومی
بینایی، بیولوژیک و ستنز زیستی ویتامین D	وجود حالت‌های الکترونی تهییجی که باعث تشکیل حفره‌های بزرگ انرژی می‌شوند.
تنفس، فتوستتزر، بویایی و کاتالیز آنزیمی	تونل‌زنی کوانتومی
جهت‌یابی مغناطیسی در سینه‌سرخ‌های اروپایی	درهم‌تنیدگی و وجود جفت‌های رادیکالی
دریافت انرژی در فتوستتزر	انتقال انرژی الکترونی بر اساس همدوسی کوانتومی

جدول ۱: نمونه‌هایی از پدیده‌های زیستی و اثرات مکانیک کوانتومی پیشنهادی برای آنها [۷].

<sup>1</sup> Trivial quantum effects

<sup>2</sup> non-trivial quantum effects

<sup>3</sup> Excitation energy transfer

<sup>4</sup> Quantum Entanglement

<sup>5</sup> Quantum coherence

<sup>6</sup> Quantum Tunneling

<sup>7</sup> Collapse

<sup>8</sup> Quantum computations

<sup>9</sup> Quantum Teleportation

<sup>10</sup> Scanning tunneling microscopy

<sup>11</sup> Quantum beating

خارجی با نام سازه برداشت نور<sup>۲</sup> که انرژی نور را به دام می‌اندازند، است) که متصل به مرکز واکنش است را تشکیل می‌دهند [۴، ۱۰].

### ترابرد انرژی تهییجی

در اوایل سال ۱۹۳۸، فرانک و تلمر اهمیت مکانیسم همدوسی کوانتومی را در ترابرد انرژی تهییجی در فتوستنز پیشنهاد کردند. با ظهور طیف‌سنجی الکترونی دوبعدی<sup>۳</sup>، به شکل روشنی همدوسی کوانتومی و از دست رفتن برهم‌نهی همدوس حالت نوسانی<sup>۴</sup> آن (الکترونی- ارتعاشی) در سازه‌های برداشت نوری مشاهده گردید. این طیف‌سنجی وجود پیک‌های متقاطعی که در واحد زمان نوسان می‌کنند را نشان می‌داد. تعداد کثیری از بررسی‌های صورت گرفته، پیک‌های متقاطع را به جفت شدن بین حالت‌های تحریک ربط می‌دهند. درحالی‌که وجود نوسان می‌تواند نشان‌دهنده همدوسی کوانتومی الکترونی (برهم‌نهی‌های پیوسته بین حالت‌های تحریک الکترونی) باشد [۴، ۱۱].

یکی از بهترین سیستم‌های مطالعه شده سازه پروتئینی<sup>۵</sup> FMO در باکتری سولفورسی سبز<sup>۶</sup> می‌باشد. در سال ۲۰۰۷ مقاله منتشر شده توسط فلمینگ و همکارانش اثر همدوسی کوانتومی در انتقال انرژی از سازه را نشان می‌داد. از این سال به بعد این سازه پروتئینی به یک موضوع اصلی در مطالعات زیست‌شناسی کوانتومی تبدیل شده است. در ۲۰۰۹، پیام‌های نوسانی مشابهی در سازه‌های برداشت نوری در گیاهان پیشرفته‌تر آشکار شده و به‌عنوان ترابرد انرژی همدوس کوانتومی تفسیر گردید. این نتایج اولیه در دهه‌های بسیار پایین (دمای ۷۷ درجه کلوین) مشاهده شده بودند. پیشرفت قابل توجه دیگر در سال ۲۰۱۰ توسط گروه انگل و اسکولز صورت گرفت، آنها به ترتیب نوسان‌های پیوسته مشابه را در دهه‌های فیزیولوژیک در FMO و سازه‌های برداشت نوری در جلبک‌های دریایی کریپتوفیت<sup>۷</sup> مشاهده کردند. این نتایج از دو جنبه قابل توجه می‌باشند:

۱- کامپیوترهای کوانتومی با استفاده از همدوسی کوانتومی اطلاعات را به صورتی پردازش می‌کنند که سیستم‌های

دهای اتاق به‌سرعت از بین می‌رود. همدوسی در لیزرها، ابررساناها و محاسبات کوانتومی مهم بوده و نقش آن در فرایندهای مهم زیستی فتوستنز، تنفس، بینایی و جهت‌یابی مغناطیسی قابل توجه می‌باشد [۸]. جدول ۲ نمونه‌هایی از فرایند کوانتومی و پدیده‌های زیستی را نشان می‌دهد.

### فتوستنز

به‌عنوان یک قاعده کلی هر پدیده‌ای که با رنگ‌ها مرتبط باشد، مانند وجود رنگ‌های مختلف، انتشار پرتوهای نور به رنگ‌های مختلف و تشخیص رنگ‌ها (در چشم) یک اثر آشکار کوانتومی است، لذا فتوستنز ذاتاً یک فرایند کوانتومی می‌باشد.

اساساً دینامیک در سیستم‌های زیستی با انتقال انرژی و بار (الکترون‌ها، پروتون‌ها و یون‌ها) در ارتباط است. ترابرد انرژی تهییجی و بار در فتوستنز موضوعات اثبات شده‌ای در زیست‌شناسی کوانتومی می‌باشند که اثرات کوانتومی نظیر پیوستگی و تونل‌زنی کوانتومی را نشان می‌دهند. موجودات زنده‌ای که فتوستنز انجام می‌دهند (گیاهان، جلبک‌ها و باکتری‌های فتوستنز کننده) حدود ۳ میلیون سال است زیر نور خورشید زندگی می‌کنند و از فتوستنز برای تبدیل انرژی نور خورشیدی به ترکیبات کربوهیدراتی که عامل پیش برنده بیوشیمی حیات هستند استفاده می‌کنند. انرژی نور خورشید را از طریق تحریک الکترونی آنتن‌های تشکیل شده از سازه‌های پروتئین- رنگدانه دریافت می‌کنند. موجودات فتوستنز کننده در مرحله اولیه جذب فوتون و انتقال الکترون پرا انرژی در فتوستنز با بازده کوانتومی نسبتاً ایده‌آلی عمل می‌کنند. به این صورت که برای هر فوتون جذب شده و انتقال یافته توسط آنتن جمع‌کننده نوری<sup>۱</sup> تحت شرایط بهینه (شدت نور کم و نبود استرس)، یک الکترون در مرکز واکنش فتوستنزی (واحد اصلی دستگاه فتوستنزی که رویدادهای اولیه فتوستنز، جدایی بار، در آنجا روی می‌دهد) انتقال می‌یابد. سازه‌های آنتن‌های نوری دارای تنوع ساختاری بوده به‌طوری‌که از ساختارهای توده‌ای خود تجمع نیمه نامنظم تا پیکربندی‌های بسیار متقارن رنگدانه‌های متصل به چارچوب پروتئینی را دارند. این سازه‌ها سیستم آنتنی کاملی (شامل سازه‌های آنتن داخلی و

<sup>1</sup> Antenna system

<sup>2</sup> light-harvesting complex

<sup>3</sup> two-dimensional electronic spectroscopy (2D-ES)

<sup>4</sup> decay of coherent superpositions of vibrational states

<sup>5</sup> Fenna-Matthews-Olson complex

<sup>6</sup> green sulfur bacteria

<sup>7</sup> cryptophyte algae

تونل‌زنی الکترونی و پروتونی در زیست‌شناسی بود و توضیح مناسبی برای رابطه معکوس انتقال با دما بود. از طرفی دیگر مطالعات صورت گرفته با طیف‌سنجی الکترونی دوبعدی نشان می‌داد، پیوستگی کوانتومی در مرکز واکنش بین حالت‌های برانگیخته<sup>۱</sup> و همچنین بین حالت‌های برانگیخته و حالت‌های انتقال بار وجود دارد. همچنین همبستگی قوی‌ای بین شدت پیوستگی و جدایی بار سریع و مؤثر مشاهده شده است [۴].

### فتوستتز مصنوعی

بشر در قرن حاضر با بحران انرژی روبه‌رو گشته است و نیاز جدی برای یافتن منابع انرژی پاک دارد. انرژی خورشیدی به دلیل دسترسی گسترده و پاک و تجدیدپذیر بودن آن یکی از مهم‌ترین منابع موجود می‌باشد. از طرفی دیگر فتوستتز در طی چندین هزار سال عامل ارتباط بین زمین و خورشید بوده است. در فتوستتز جذب نور خورشید در بازه زمانی فمتوثانیه (یک فمتوثانیه برابر ۱۵-۱۰ ثانیه است) روی می‌دهد. همچنین بیشتر انرژی جذب شده از انرژی خورشیدی توسط کمپلکس‌های فتوستتزی به انرژی الکتروشیمیایی تبدیل می‌شود؛ بنابراین فتوستتز می‌تواند به یک ابزار کلیدی برای استفاده مؤثر انسان‌ها از انرژی خورشیدی با مواد تجدیدپذیر و فراوان موجود در طبیعت تبدیل شود. دانشی که طی مطالعه سیستم‌های فتوستتزی در هر دو سطح انتقال انرژی و جدایی بار به دست آمده، راهنمایی برای به دست آوردن اصول طراحی سیستم‌های کارآمد مصنوعی تبدیل‌کننده انرژی می‌باشد. پیشرفت‌های قابل توجهی نیز در طراحی چنین سیستم‌هایی صورت گرفته است.

دو عنصر اصلی در طراحی چنین سیستم‌هایی عبارتند از ۱- کروموفورها<sup>۲</sup> (مولکول‌های جذب‌کننده نور و جداکننده بار)، ۲- ماتریسی<sup>۳</sup> که مکان کروموفورها و ویژگی‌های الکترونیکی آنها را حفظ می‌کند و شامل ساختارهای ماکرومولکولی نظیر

کلاسیک توان آن را ندارند. از طرفی دیگر روش‌های ویژه‌ای که برای محاسبات کوانتومی به کار می‌روند را الگوریتم‌های کوانتومی می‌گویند. ولی این الگوریتم‌ها و محاسبات در محیط‌های گرم، شلوغ و مرطوب که در سیستم‌های زیستی وجود دارند، کاربرد ندارند و این موضوع نشان می‌دهد که می‌توان با الهام از سیستم‌های زیستی به الگوریتم‌های کوانتومی دست یافت که می‌توانند برای پردازش اطلاعات کوانتومی سیستم‌هایی که ناخواسته با محیط برهمکنش دارند، استفاده گردند.

۲- از دیدگاه زیست‌شناسی کوانتومی که بررسی می‌کند آیا جنبه‌های اساسی عملکرد سیستم‌های زنده تنها می‌تواند با قوانین مکانیک کوانتومی توضیح داده شود، نیز مهم می‌باشند [۴]. مطالعات اخیر اهمیت حالت‌های ارتعاشی سازه‌های برداشت نوری و مراکز واکنش را طی برهمکنش با نور نشان می‌دهند. در یک مدل جدایی بار را با حالت ارتعاشی یکنواخت سیستم‌های تحریک شده ارتباط داده و به بررسی دقیق جدایی بار می‌پردازد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که نوسان پیک متقاطع می‌تواند توسط حالت‌های ارتعاشی ویژه حفظ گردد. بر این اساس حالت‌های ارتعاشی نقش مهمی در ترابرد نور دریافتی و همچنین جدایی بار در موجودات فتوستتز کننده دارند [۴].

### تراپرد بار

جدایی بار در فتوستتزی یکی از کارآمدترین پدیده‌ها در طبیعت بوده و یک نمونه عالی برای فهم نقش فیزیک کوانتومی در زیست‌شناسی است. از آنجایی که جدایی بار در بازه‌های زمانی میکروثانیه روی می‌دهد، اثرات کوانتومی در چنین محدوده‌های زمانی در چنین سطح ماکروسکوپی به شکل مستقیم قابل مشاهده نیست. در سال ۱۹۶۶ انتقال الکترونی را که وابسته به دماست (با کاهش دما، میزان جدایی بار افزایش می‌یابد) در مراکز واکنش باکتری‌های ارغوانی مشاهده گردید که با قوانین فیزیک کلاسیک قابل توضیح نبود. آنها تونل‌زنی کوانتومی که بر اساس آن انتقال تابشی صورت نمی‌گیرد را برای توضیح این پدیده پیشنهاد کردند که نقطه شروعی برای شکل‌گیری پارادایم

<sup>1</sup> Excitons

<sup>2</sup> Chromophores

<sup>3</sup> Matrix

فعال‌سازی بیشتر پیوندهای سوپرسترا در جایگاه‌های فعال آنزیمی است [۴، ۶].

### جهت‌یابی پرندگان

حس میدان مغناطیسی<sup>۴</sup> زمین اشاره به توانایی بعضی پرندگان مهاجر برای استفاده از میدان مغناطیسی زمین برای مسیریابی در طی مهاجرتشان می‌باشد. مکانیسم جهت‌یابی با استفاده از میدان مغناطیسی بین گونه‌های مختلف بسیار متغیر است که ممکن است بر اساس فرایندهای کوانتومی یا مستقل از آنها باشند. رادیکال‌های جفت شده که حساس به میدان مغناطیسی زمین است، برای اولین بار در سال ۱۹۷۸ توسط شولتن<sup>۵</sup> به‌عنوان مکلنپسمی برای حس میدان مغناطیسی در سینه‌سرخ‌های اروپایی پیشنهاد گردید. رادیکال جفت شده<sup>۶</sup> یک جفتی از مولکول‌های متصل به هم می‌باشد که هر یک از این مولکول‌ها یک الکترون غیرجفت‌شده دارد. این جفت‌های رادیکالی طی واکنش‌های فتوشیمیایی با حالت اسپینی مشخصی به وجود می‌آیند. جفت رادیکال‌های تولیدشده اسپین تک‌گانه<sup>۷</sup> یا اسپین سه‌گانه<sup>۸</sup> را دارند. حالت اسپینی به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر میدان مغناطیسی ضعیف زمین و برهمکنش‌های ضعیف هسته‌ای در هسته میزبان است [۱۳، ۳]. کریپتوگروم<sup>۹</sup> فلاووپروتئین موجود در چشم سینه‌سرخ‌های اروپایی و همچنین در گیاهان و باکتری‌ها نیز وجود دارد. عملکرد کریپتوگروم بین موجودات مختلف متفاوت است. ریتز<sup>۱۰</sup> و همکارانش با چاپ مقاله‌ای در سال ۲۰۰۰ پیشنهاد کردند که کریپتوگروم می‌تواند به‌عنوان میزبان جفت رادیکال‌های حساس به میدان مغناطیسی ضعیف باشد که در جهت‌یابی سینه‌سرخ‌های اروپایی نقش دارد [۳]. در آزمایشگاه مشاهده شده است که جهت میدان مغناطیسی ضعیف می‌تواند واکنش‌پذیری جفت رادیکال‌ها را تحت تأثیر قرار داده و بنابراین باعث تشکیل محصولات بیوشیمیایی را گردد. همچنین یکی از نظریه‌هایی که در این رابطه مطرح می‌شود آن است که این امکان وجود دارد که یک «جفت‌شدگی یا درهم‌تنیدگی

ژل طبیعی<sup>۱</sup> یا پلیمرهای دیگر، اوربگامی‌های دی.ان.ای.<sup>۲</sup> یا پروتئین‌های سنتزی است که مهم‌ترین اصل در طراحی وجود اکسایتون‌ها می‌باشد. آنها مسئول جذب مؤثر نور، عبور سریع انرژی<sup>۳</sup>، انتقال سریع تر انرژی و دام‌اندازی مؤثرتر تحریکات توسط مرکز واکنش هستند [۴، ۱۲].

### کاتالیز آنزیمی

آنزیم‌ها از طریق کاتالیز واکنش‌های بیوشیمیایی و افزایش سرعت آنها تبدیل به پروتئین‌های راهبردی برای فعالیت و حیات سلولی شده‌اند. کشف سازوکار آنزیم‌ها یکی از مهم‌ترین موضوعات در علوم زیستی می‌باشد. همچنین فهم اساس فیزیکی افزایش سرعت در واکنش‌های آنزیمی یکی از موضوعات چالش‌برانگیز و دشوار در آنزیم‌شناسی است. مطالعات نظری و آزمایشگاهی در دهه گذشته نشان از نقش پرمعنی تونل‌زنی کوانتومی در کاتالیز آنزیمی به‌ویژه در واکنش‌های مربوط به انتقال هیدروژن (با فرم‌های اتم هیدروژن H)، یون هیدرید (H<sup>-</sup>) و یون پروتون (H<sup>+</sup>) دارند. مدل‌های استاندارد برای توصیف تونل‌زنی کوانتومی نشان داده‌اند که می‌تواند داده‌های آزمایشگاهی آنزیمی را تفسیر کنند. از سؤالات جذاب و قابل‌توجه در ارتباط با کاربرد مکانیک کوانتومی در تشریح مکانیسم آنزیمی می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد:

۱. آیا حرکات ارتعاشی موضعی پروتئین می‌تواند در یک آنزیم باعث ایجاد مزیت کاتالیتیکی در روند پیشرفت واکنش شوند؟
۲. آیا حرکات دینامیکی ویژه در ساختار پروتئینی آنزیم برای کمک در کاتالیز انتخاب می‌شوند؟

آنزیم‌ها اغلب به جفت کردن الکترون‌ها و پروتون‌ها برای کنترل انتقال بار و کاتالیز وابسته هستند. در ذخیره انرژی زیستی، اهمیت انتقال پروتون در نتیجه وجود جریان الکتریکی برای نخستین بار در سال ۱۹۶۱ طرح گردید. بعد از آن مکانیسم‌های انتقال الکترون جفت شده با پروتون نشان داده شد؛ اساس تولید رادیکال‌های آمینواسیدی و انتقال همراه با

<sup>1</sup> organ gels

<sup>2</sup> DNA origami

<sup>3</sup> faster energy funneling

<sup>4</sup> Magneto reception

<sup>5</sup> Schulten

<sup>6</sup> radical pair

<sup>7</sup> singlet

<sup>8</sup> triplet

<sup>9</sup> Cryptochrome

<sup>10</sup> ritz



مولکول دهنده به مولکول گیرنده اتفاق می‌افتد که باعث ویژگی هر مولکول بویایی در حس بویایی می‌باشد [7].

### آگاهی، شناخت و فرضیه مغز کوانتومی

این سؤال که آیا فیزیک کوانتومی می‌تواند در حل مسئله حل‌نشده بدن-ذهن (چگونه مغز باعث تفکر آگاهانه می‌شود) نقش داشته باشد، سؤال تازه‌ای نیست. به‌عنوان مثال مونوگراف<sup>۲</sup> (مقاله بلند) مایکل لاکوود<sup>۳</sup> با عنوان ذهن، بدن و کوانتوم در سال ۱۹۸۹ یا مقاله بلند جهان ذهن هنری استپ<sup>۴</sup> در سال ۲۰۰۹ نمونه‌هایی هستند که دارای دید فلسفی یا علمی-شبه علمی به مسئله آگاهی و ارتباط آن با مکانیک کوانتومی هستند. راجر پنورس و استوارت هامروف<sup>۵</sup> نظریه جنجالی را مطرح کردند که بر اساس آن بخش‌هایی از اسکلت سلولی در سلول‌های عصبی (میکروتوبول‌ها) توان محاسبات کوانتومی را دارد. از طرف دیگر بخش‌های دیگر از جامعه علمی با طرح مغز کوانتومی زاویه دید عمل‌گرایانه به موضوع داشتند، بدین‌صورت که از تلاش‌های صورت گرفته‌شده در راستای تحقیقات شبکه عصبی کوانتومی<sup>۶</sup> (برای استفاده از محاسبات کوانتومی در جهت بهبود مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی) به‌طور گسترده‌ای در یادگیری ماشین استفاده شد. مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۷</sup> اساساً از دینامیک شبکه‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند. از طرفی دیگر یکی از ابزارهای مورد استفاده برای مطالعه هوشیاری، مواد بیهوش‌کننده هستند. گروهی از محققان کشف کردند که تعدادی از مواد بیهوش‌کننده به‌صورت برگشت‌پذیر میزان اسپین الکترونی را در مگس سرکه (در جهش‌یافته‌هایی از مگس‌ها که نسبت به مواد بیهوش‌کننده مقاوم نیستند) افزایش می‌دهند، بر این اساس پیشنهاد شد که تغییر ساختار بالاترین اوربیتال مولکولی اشغال‌شده بعضی مولکول‌ها، انتقال الکترونی را بین دهنده و گیرنده آن تسهیل می‌کند که مغز را به سمت غیرهوشیاری سوق می‌دهد. مطالعه تغییرات ساختار مولکولی توسط بیهوش‌کننده‌ها با نظریه تابع چگالی<sup>۸</sup> (از ابزارهای مکانیک کوانتومی) و اندازه‌گیری اسپین الکترونی برای مشاهده اثر مواد بیهوش‌کننده موضوعات پژوهشی جدید برای بررسی عمیق‌تر

کوانتومی بین یک سری از ذرات درون چشم این پرنده و ذرات بیرونی وجود داشته باشد که پرنده از طریق آن‌ها می‌تواند این میدان مغناطیسی را شناسایی کند و مسیریابی را به‌خوبی انجام دهد [7].

### بینایی و بویایی

توانایی حس و پاسخ دادن به شرایط مختلف نوری از طریق پروتئین‌های گیرنده نوری نقش مهمی را برای ادامه حیات بسیاری از موجودات زنده ایفا می‌کند. گیرنده‌های نوری زیستی شامل کروموفورهای هستند که فوتون‌های نوری را جذب می‌کنند و متحمل تغییرات سریع شیمیایی در حالت‌های برانگیختگی خود گشته و فتوایزومریزه می‌شوند. در نهایت پیام القاشده توسط نور را انتقال می‌دهند. ردوپسین یک پروتئین درون‌غشایی در چشم مهره‌داران می‌باشد که مسئول واکنش‌های ابتدایی در بینایی است. ردوپسین کروموفور رتینال را در ساختار خود دارد که طی واکنش‌های فتوایزومره شدن نور را جذب می‌کند. پس از جذب نور تغییر ساختار در ردوپسین ایجاد می‌شود که باعث انتقال پیام توسط پروتئین‌های پیام‌رسان سلولی شده و در نهایت باعث ایجاد پتانسیل عمل در سلول‌های چشم و هدایت پیام بینایی می‌شود. واکنش فتوایزومریزاسیون سرعت بالایی داشته و در زمان ۲۰۰ فمتوثانیه روی می‌دهد و دارای بازده بالایی می‌باشد. مکانیک کوانتومی با توجه به ماهیت حالت‌های برانگیخته الکترونی و پیوستگی کوانتومی هسته‌ای که اغلب همراه با دینامیک مولکولی حالت برانگیخته است، برای توصیف دینامیک واکنش‌های فعال نوری در گیرنده‌های پروتئینی ضروری است [7].

بویایی پدیده زیستی دیگری می‌باشد که ممکن است وابسته به تونل‌زنی الکترونی باشد. نتایج آزمایشات جدید پیشنهاد می‌کنند که مکانیسم انطباق شکلی و قالب مولکول‌های بویایی و گیرنده-های آنها به‌تنهایی نمی‌تواند توصیف کاملی برای حس بویایی ما باشد. تاورین<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۶ پیشنهاد کرد که تونل‌زنی ناکشسان الکترونی وابسته به فوتون با واسطه مولکول بویایی از یک

<sup>1</sup> Taurin

<sup>2</sup> Monograph

<sup>3</sup> Michael Lockwood

<sup>4</sup> Henry Stapp

<sup>5</sup> Roger Penrose and Stuart Hameroff

<sup>6</sup> quantum neural network

<sup>7</sup> artificial neural network models

<sup>8</sup> density functional theory



می‌دهد، طی یک فرایندهای همجوشی هسته‌ای خاص شکل می‌گیرد که در آن وجود مقادیر معین انرژی هسته‌ای کربن (به‌عنوان یک اثر محض کوانتومی) ضروری است. همچنین کشف مواد پیش‌ساز حیات در سنگ‌های یخی فضایی نشان می‌دهند که واحدهای سازنده حیات می‌توانند در فضا تشکیل شده باشند و به زمین توسط اشیاء فضایی مانند ستاره‌های دنباله‌دار و یا شهاب‌سنگ‌ها رسیده باشند. مطالعه نظری تولید خودبه‌خود مولکول‌های پیش‌ساز حیات در فضا اساساً در چارچوب سیستم‌های کوانتومی باز صورت می‌گیرد. محیط پوشیده از یخ فضایی که شدیداً به سیستم مولکولی ساده مانند هیدروژن سیانید (HCN) مرتبط است و با تابش اشعه ماوراءبنفش تحریک می‌شود، می‌تواند با واسطه ابزارهای زیست‌شناسی کوانتومی مورد بررسی قرار گیرد. سؤال بسیار سختی که وجود دارد این است که چگونه سیستم‌های زیستی اولیه توانستند از مولکول‌های غیرزنده تشکیل شوند؟ این سؤال از این لحاظ مهم می‌باشد که انسان‌ها با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در علوم و تکنولوژی، هنوز نمی‌توانند یک پپتید عملکردی کوچک از عناصر پایه (کربن، نیتروژن، اکسیژن، سولفور و هیدروژن) ایجاد کنند. همچنین هنوز هم یک راه طولانی برای تعیین اینکه چه عواملی مولکول‌های زنده را از دیگر مولکول‌ها جدا می‌کند، وجود دارد. علاوه بر این، این سؤال که پدیده‌های کوانتومی چه نقشی ممکن است در آغاز حیات داشته باشند، یک موضوع پژوهشی مهم است [۴].

### نتیجه‌گیری

ماشین بیوشیمیایی که سیستم‌های زیستی را به‌پیش می‌برد اساساً از مولکول‌های پیچیده‌ای تشکیل شده است که در اندازه‌های نانو و زیر نانومتری ساختار یافته‌اند. در چنین اندازه‌های کوچک، دینامیک این ماشین از قوانین مکانیک کوانتومی تبعیت می‌کند. بر این اساس، علم زیست‌شناسی کوانتومی به‌عنوان جزئی از زیست‌شناسی، این دینامیک و همچنین برهمکنش پدیده‌های دینامیک را در مقیاس‌های طولی و زمانی جدا شده، از فرایندهای انتقال انرژی فمتوثانیه‌ای در تجمعات مولکولی (با اندازه‌های نانو) تا بقا و تکثیر در اکوسیستم‌ها با در نظر گرفتن موجودات

ارتباط بین آگاهی و مکانیک کوانتومی می‌باشند. با در نظر گرفتن تعریف زیست‌شناسی کوانتومی، مشاهده چنین فرایندهایی بسیار امیدبخش بوده و کمک قابل توجهی به عملی‌تر شدن این شاخه جدید علمی می‌کند [۱۶-۱۴، ۴].

فرضیه مغز کوانتومی که توسط الخلیلی و مک فادن<sup>۱</sup> مطرح شده است به این مفهوم اشاره دارد که پدیده‌های کوانتومی در سطح کانال‌های یونی سلول‌های عصبی ممکن است مؤثر باشند و یا تحت تأثیر میدان الکتریکی خارج سلولی، که در سطح نوروها و شبکه متشکل از آن‌ها ایجاد می‌شود، قرار گیرند. این فرضیه بر اساس شواهد جدیدی می‌باشند که نشان می‌دهند میدان‌های خارج سلولی می‌توانند پتانسیل غشا نوروها و فعالیت آن‌ها را از طریق کانال‌های دریچه‌دار حساس به ولتاژ افزایش دهند. میدان‌های الکتریکی می‌توانند فعالیت تعداد زیادی از سلول‌ها را به‌صورت هم‌زمان افزایش داده و بنابراین بر رفتار و شناخت اثر گذارند. بر این اساس این موضوع محتمل است که میدان‌های الکتریکی (با تنظیم فعالیت کانال یونی یا متأثر از فعالیت آن‌ها) به رویدادهای منسجم کوانتومی در تعداد زیادی از نوروها مرتبط باشند که به‌صورت بالقوه می‌توانند در یک زمان نوروها را دوباره پلاریزه کرده و فعال کنند. شگفت‌انگیز است که تحقیقات جدید در روانشناسی نیز بر رفتار کوانتومی مغز تأکید دارند که می‌تواند باعث ظهور حوزه علمی جدید آگاهی کوانتومی شوند (هر چند اینکه چگونه فیزیک کوانتومی با بروز آگاهی از فعالیت عصبی مرتبط است، هنوز سؤال باقی می‌ماند). با این همه فرضیه مغز کوانتومی امکان دارد که اشتباه باشد و یا توسط آزمایشات آتی ابطال گردد، ولی با این وجود، مطالعه جامع نقش احتمالی فرایندهای کوانتومی در جنبه‌های محاسباتی شبکه‌های عصبی، از آنجا که می‌تواند باعث کشف اصول بدیعی برای پردازش اطلاعات در علوم اعصاب، هوش مصنوعی و رباتیک عصبی<sup>۲</sup> شود، ارزشمند است [۸، ۱۵].

### منشأ حیات

بر اساس نظریه مهم سنتز هسته‌ای بیگ‌بنگ<sup>۳</sup>، وجود حیات کربنی اساساً ماهیت کوانتومی دارد. ایزوتوپ کربن ۶ که چارچوب اصلی تمام بیوماکرومولکول‌های زیستی را شکل

<sup>۱</sup> Al-Khalili and McFadden

<sup>۲</sup> neurobotics

<sup>۳</sup> Big Bang Nucleosynthesis (BBN)

[۲]. شرویدینگر، اروین (ترجمه دکتر محمد نبی سربلوکی)، (چاپ اول، ۱۳۸۰)، حیات چیست؟، کتاب ماد (وابسته به انتشارات مرکز)

[3]. Lambert, Nail, (2013), Quantum Biology, Nature Physics 9 (1): 10–18.

[4]. Marais, Adriana, Adams, Betony, K. Ringsmuth, Andrew, Ferretti, Marco (2018), The future of quantum biology, J. R. Soc. Interface 15: 20180640.

[5]. McFadden, Johnjoe, Al-Khalili, Jim (2018), The origins of quantum biology, Proc.R. Soc.A474: 20180674.

[6]. Jordan P, (1932), Die Quantenmechanik und die Grundprobleme der Biologie und Psychologie Naturwissenschaften. Naturwissenschaften 20, 815–821. (doi:10.1007/BF01494844).

[7]. Mohseni, Masoud, Omar, Yasser, S. Engel, Gregory, B. Plenio, Martin (2014), Quantum Effects in Biology, Cambridge University Press.

[8]. McFadden, Johnjoe, Al-Khalili, Jim (2014), Life on the Edge (The Coming of Age of Quantum Biology), Crown Publishers, New York.

[۹]. کریمیان، شکراله (۱۳۹۶)، درهم‌ختیگی کوانتومی رویکردی علمی به سوی دورنوردی انسان، نشریه نشاء علم، سال هفتم، شماره دوم، صفحات ۱۲۲-۱۲۸.

[10]. Lloyd Sb (2011), Quantum coherence in biological systems, Journal of Physics: Conference Series 302.

[11]. Strümpfer J (2012) , How Quantum Coherence Assists Photosynthetic Light Harvesting , J Phys Chem Lett, Feb 16;3(4):536-542.

[12]. Romero, Elisabet, I. Novoderezhkin, Vladimir, Grondelle, Rienk van (2017), Quantum design of photosynthesis for bio-inspired solar-energy conversion, Nature 453, 355-365

[13]. Hore, P. J., Mouritsen H (2016), The Radical-Pair Mechanism of Magneto reception, Annual Review of Biophysics, 45 (1): 299–344.

[14]. Adrian Craddock, Travis John, Friesen, Douglas, Mane, Jonathan, Hameroff, Stuart, Tuszynski, Jack A (2014), The feasibility of coherent energy transfers in microtubules, J. R. Soc. Interface 11: 20140677.

[15]. Jedlik P (2017), Revisiting the Quantum Brain Hypothesis: Toward Quantum Neurobiology? Frontiers in Molecular Neuroscience, Volume 10, Article 366.

[۱۶]. مرزبان، احسان، شریعت پناهی، پیمان (۱۳۹۴)، تأملی بر مسئله آگاهی از منظر نظریه پیچیدگی و آگاهی، مجله هستی و شناخت، جلد دوم، شماره دو، صفحات ۱۳۱-۱۴۴.

زنده آن بررسی می‌کند ولی با وجود این، اهداف و نقش زیست-شناسی کوانتومی هنوز در جامعه علمی با پیچیدگی‌های جدی روبه‌رو است، بنابراین مطالعات و تحقیقات گسترده و عمیق و طراحی آزمایشات تجربی و نظری هوشمندانه برای درک بیشتر زیست‌شناسی کوانتومی ضروری می‌باشد. شایان ذکر است بیوفیزیک کوانتومی یک موضوع بین‌رشته‌ای از بیوفیزیک مولکولی و زیست‌شناسی کوانتومی است که در مورد درمان‌های کوانتومی و نظریه‌های زیست مولکول‌ها و سیستم‌های بیوفیزیکی به‌طور کلی در سطح کوانتومی بحث می‌نماید.

نظر به اهمیت موضوع زیست‌شناسی کوانتومی در تحقیقات جهانی و پایه‌گذاری این علم در کشور بدین مناسبت هسته علمی زیست‌شناسی کوانتومی در مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران در حال شکل‌گیری است و درس زیست‌شناسی کوانتومی در ترم پاییز سال ۱۳۹۸ برای دانشجویان ارائه خواهد شد و سخنرانی‌های سلسله‌وار در خصوص موضوع مورد نظر ارائه خواهد شد. امید است که استادان، دانشجویان، پژوهشگران در سطح ملی، منطقه‌ای، بین‌المللی با این هسته همکاری شایان داشته باشند تا در آینده نزدیک شاهد موفقیت‌های علمی و گسترش شکافتن مرزهای دانش باشیم.

### تشکر و قدردانی

از حمایت‌های دانشگاه تهران، صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور تشکر و قدردانی می‌شود.

پایگاه داده‌های دیده شده در این مقاله

- 1) [https://www.ted.com/talks/jim\\_al\\_khalili\\_how\\_quantum\\_biology\\_might\\_explain\\_life\\_s\\_biggest\\_questions?](https://www.ted.com/talks/jim_al_khalili_how_quantum_biology_might_explain_life_s_biggest_questions?)
- 2) <https://www.quantumbiology.gr/research/quantum-biology/>
- 3) <https://www.the-scientist.com/features/quantum-biology-may-help-solve-some-of-lifes-greatest-mysteries-65873>

### منابع و مؤاخذ

[۱]. گوپتا، اس.پی. (ترجمه علی اکبر صیوری و داوود عاجلو)، (چاپ اول، ۱۳۸۰)، زیست‌شناسی کوانتومی، انتشارات دانشگاه تهران

## Quantum Biology

---

Farid Nasiri<sup>1</sup>, Seyed Peyman Shariatpanahi<sup>\*,1</sup> Mohammad Rahnamay<sup>1</sup>, Ali A. Moosavi-Movahedi<sup>1</sup>

The present paper attempts to provide an introduction to the new and fascinating science of quantum biology. One of the major challenges in this field is the ambiguity of the concept of quantum biology which simply means the application of quantum mechanics to biological issues or critical processes. Quantum biology is essentially a new interdisciplinary science of quantum mechanics, chemistry, physics, biochemistry and biology. Quantum biology demonstrates biological phenomena that explicitly apply quantum mechanics to gain or perform a particular action. They have been observed in the biological world, explaining the existence and effect of these phenomena on important biological processes such as photosynthesis and enzymatic catalysis. It also deals with the role of quantum mechanics in other biological topics such as bird orientation, olfaction, vision, consciousness and the beginning of life. Finally, the Quantum Biology Research Core (QBRC-IBB) hosted at Institute of Biochemistry and Biophysics (IBB), University of Tehran is mentioned.

Keywords: Quantum Biology, Biochemistry, Quantum Tunneling, Photosynthesis, Quantum Biology Research Core (QBRC-IBB)

---

\*Author for Correspondence, Assistant Professor, Tel: (+98 21) 44334326, E-mail: pshariatpanahi@ut.ac.ir

<sup>1</sup> Institute of Biochemistry and Biophysics (IBB), University of Tehran, Tehran, Iran