نوبل فیزیک ۲۰۲۵

آشکارسازی رفتار کوانتومی در مقیاس انسانی

مقدمه: اعتبار جایزه نوبل و یک دستاورد تحول‌آفرین

جایزه نوبل نماد یکی از والاترین افتخارات برای دستاوردهای فکری است که هر سال به افرادی اهدا می‌شود که بیشترین فایده را به بشریت رسانده‌اند. با اعلام جایزه نوبل فیزیک در سال ۲۰۲۵، یک دستاورد بنیادی که پلی بین جهان مزموز کوانتومی و تجربه روزمره ماست، به رسمیت شناخته شد. بزندگان امسال -جان کلارک، میشل ایچ. دووره و جان ام. مارتینیس- آزمایش‌های پیشگامی انجام دادند که رفتار مکانیک کوانتومی را در سامانه‌ای به اندازه‌ای بزرگ که با چشم دست تک داشت، نشان داد و فرضیات دیرینه درباره مقیاس بروز اثرات کوانتومی را به چالش کشید. کار آنها که در مبانه دهه ۱۹۸۰ انجام شد؛ از آن زمان راه را برای فناوری‌های انقلابی ازجمله رایانه‌های کوانتومی و حسگرهای فوق‌حساس کوانتومی هموار کرد و بالقوه نویدبخش یک انقلاب فناورانه جدید براساس ویژگی‌های عجیب جهان کوانتومی است. این نوشتار به بررسی خاستگاه جایزه نوبل، تشریح تحقیق برنده جایزه در مورد پدیده‌های کوانتومی بزرگ‌مقیاس، توضیح مفاهیم علمی ضروری برای نامتخصصان، بررسی اهمیت ارزش این دستاورد و معرفی دانشمندان پیشگام بشت این کار تحول‌آفرین می‌پردازد.

خاستگاه و تحول جایزه نوبل

آلفرد نوبل، مرد پشت این جایزه

داستان جایزه نوبل با آلفرد نوبل (۱۸۳۳-۱۸۹۶) آغاز می‌شود؛ یک شیمی‌دان، مهندس و مخترع سوئدی که مشهورترین اختراعش -دینامیت- به طریقی متناقض، بنیان جایزه صلح را بنا نهاد. نوبل که در استکهلم به دنیا آمده بود، مخترعی درخشان بود که از طریق ۳۵۵ اختراع ثبت‌شده خود هنگفتی به دست آورد که دینامیت موفق‌ترین آنها از نظر تجاری بود.

وصیت‌نامه نهایی نوبل و برپایی جوایز

در ۲۷ نوامبر ۱۸۹۵، نوبل آخرین وصیت‌نامه خود را در باشگاه سوئد-نروژ در پاریس امضا و مشخص کرد که بخش عمده ثروت درخور توجهش -حدود ۳۱ میلیون کرون سوئد- باید به یک صندوق تبدیل و در «اوراق بهادار مطمئن» سرمایه‌گذاری شود. سود سالانه این صندوق باید به صورت جایزه به کسانی اعطا می‌شد که در سال قبل، بزرگ‌ترین سود را به بشریت رسانده باشند».

وصیت‌نامه نوبل پنج دسته جایزه اصلی را مشخص کرده بود:

- **فیزیک:** اعطاشده توسط آکادمی سلطنتی علوم سوئد
- **شیمی:** اعطاشده توسط آکادمی سلطنتی علوم سوئد
- **فیزیولوژی یا پزشکی:** اعطاشده توسط مجمع نوبل در مؤسسه کارولینسکا
- **ادبیات:** اعطاشده توسط آکادمی سوئد
- **صلح:** اعطاشده توسط کمیته‌ای منتخب از مجلس نروژ

در سال ۱۹۶۸، سوئیس رسمی‌بانک -بانک مرکزی سوئد- جایزه علوم اقتصادی به یادبود آلفرد نوبل را تأسیس کرد که اگرچه به پاسرگی فنی یک جایزه نوبل نیست، اما همواره با جوایز اصلی ادامه می‌شود و اعتبار مشابهی دارد.

اجرا و کسترش

پس از مرگ نوبل در ۱۰ دسامبر ۱۸۹۶، اجرای وصیت‌نامه او با موانع درخور توجهی ازجمله شکایت بستگان و چالش‌های قانونی مواجه شد. تأسیس بنیاد نوبل در سال ۱۹۰۰ چندین سال زمان برد و اولین جوایز نوبل سرانجام در سال ۱۹۰۱، در پنجمین سالگرد درگذشت او اعطا شد. امروزه، جوایز نوبل شامل یک مدال طلایی با روکش طلای سبز، یک دیپلم و یک جایزه نقدی است که در سال ۲۰۲۵ مقدار آن ۱۱ میلیون کرون سوئد معادل حدود ۱.۲ میلیون دلار آمریکاست.

جایزه نوبل فیزیک ۲۰۲۵، پدیده‌های کوانتومی ماکروسکوپی با بزرگ‌مقیاس

دستاورد برنده جایزه

آکادمی سلطنتی علوم سوئد، جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۲۵ را به جان کلارک، میشل ایچ. دووره و جان ام. مارتینیس «برای کشف تونل‌زنی [مکانیک] کوانتومی در مقیاس ماکروسکوپی با بزرگ‌مقیاس و انرژی کوانتیده در یک مدار الکتریکی» اهدا کرد. در آزمایش‌های تحول‌آفرین آنها که در سال‌های ۱۹۸۴ و ۱۹۸۵ در دانشگاه کالیفرنیا، برکلی انجام شد، این سه نفر نشان دادند که ویژگی‌های عجیب مکانیک کوانتومی - که پیش از این تصور می‌شد فقط در صفحه انجوم و ذرات زیراتمی عمل می‌کند - می‌توانند در سامانه‌ای به اندازه‌ای بزرگ به چشم در دست تک دیده شوند. کار آنها که بر پرسش بنیادی در فیزیک پاسخ داد؛ یک سیستم یا سامانه تا چه اندازه می‌تواند بزرگ باشد و همچنان اثرات مکانیک کوانتومی را نمایش دهد یا از خود بروز دهد؟ عرف دانشی رایج بر این باور بود که رفتار کوانتومی در مقیاس‌های بزرگ‌تر ناچیز شده و با برهمکنش‌های محیطی «شسته می‌شود». برندگان با ایجاد یک مدار الکتریکی ابررسانا که دو پدیده نمادین کوانتومی را در مقیاسی ماکروسکوپی با بزرگ‌مقیاس نشان می‌داد، این فرض را به چالش کشیدند: تونل‌زنی کوانتومی و انرژی کوانتیده.

حسن فتاحی

موفقیت تجربی

برندگان طرح آزمایشی خود را با استفاده از «ابررسانا‌ها» -موادی که وقتی تا دمای بسیار پایین سرد شوند، می‌توانند الکتریسیته را بدون هیچ مقاومتی هدایت کنند- ساختند. آنها مداری با دو ابررسانا که بوسیله نازک عایق از هم جدا شده بودند، ایجاد کردند؛ پیکربندی که به‌عنوان اتصال جوزفسون شناخته می‌شود. در آزمایش آنها، سیستم با سامانه‌ای به‌ظرفیت ۱۰ میلی‌ولت شروع به کار کرد که در آن جریان بدون هیچ ولتاژ الکتریکی جریان داشت؛ شرایطی که منحصر به ابررسانا‌هاست. سیستم به‌طور مؤثری در این حالت به دام افتاده بود. کوبی پشت یک مانع انرژی است که از نظر فیزیک کلاسیک نباید بتواند از آن عبور کند. بااین‌حال، از طریق پدیده تونل‌زنی کوانتومی، سیستم می‌توانست گیگاه از این حالت «فرار کند» و یک ولتاژ قابل اندازه‌گیری تولید کند. برای تشخیص این رفتار کوانتومی، پژوهشگران جریان ضعیفی را به اتصال جوزفسون تزریق کردند و اندازه‌گیری کردند که چقدر طول می‌کشد تا ولتاژی ظاهر شود؛ زیرا سیستم از حالت صفر ولتاژ تونل می‌زد. از آنجا که مکانیک کوانتومی شامل یک عنصر شانس است، آنها مجبور بودند اندازه‌گیری‌های متعددی انجام دهند و نمودارهای آماری ترسیم کنند؛ مشابه نحوه اندازه‌گیری فیزیک‌دان‌ان از نیمه عمر اتم‌های پرتوزا. در تائید بیشتر رفتار کوانتومی، برندگان نشان دادند که سیستم مارکوسکوبی آنها ترازهای انرژی کوانتیده را نشان می‌دهد؛ فقط می‌توانست انرژی را در مقادیر خاص و گسسته (کوانتیده) جذب یا منتشر کند. درست مانند اتم‌های منفرد یا در اتمی زیراتمی. هنگامی‌که آنها ماکروویوهایی با طول موج‌های مختلف معرفی کردند، سیستم فقط بسامدهای خاصی را جذب می‌کرد که باعث می‌شد به سطوح انرژی بالاتر بپرد؛ شواهدی روشن از رفتار کوانتومی در مقیاسی به‌مراتب بزرگ‌تر از آنچه قبلا مشاهده شده بود.

جان مارتینیس

مفاهیم علمی ضروری برای درک این دستاورد

مکانیک کوانتومی، فیزیک در مقیاس بسیار کوچک

مکانیک کوانتومی شاخه‌ای از فیزیک است که رفتار ماده و انرژی را در مقیاس اتمی و زیراتمی توصیف می‌کند. برخلاف فیزیک کلاسیک که پیش‌بینی‌های قطعی‌تری در مورد اشیایی مانند توپ بیسبال و پرتاب ارائه می‌دهد، مکانیک کوانتومی با احتمالات و پدیده‌های عجیبی سروکار دارد که با شهود روزمره در تضاد هستند. دو مفهوم کلیدی کوانتومی برای درک کار برندگان ضروری است: تونل‌زنی کوانتومی و انرژی کوانتیده.

تونل‌زنی کوانتومی؛ گذر از موانع

در تجربه روزمره ما، اگر توپی به دیوار برتاب کنید، به عقب برمی‌گردد. در جهان کوانتومی، بااین‌حال، یک ذره احتمال ناهرشدن در طرف دیگر مانع را دارد. کوبی از درون یک تونل خیالی عبور کرده است. این پدیده که «تونل‌زنی کوانتومی» نامیده می‌شود، از طبیعت موج‌گونه ذرات در مکانیک کوانتومی ناشی می‌شود. یک مثال کلاسیک از تونل‌زنی کوانتومی، واپاشی رادیواکتیو یا پرتوزا است؛ جایی که ذرات با وجود مواجهه با موانع انرژی که طبق فیزیک کلاسیک ناممکن است از آن عبور کنند. از همسه آنمی فرار می‌کنند. احتمال کوانتومی که این ویژگی‌های مانع بستگی دارد؛ موانع نازک‌تر اجازه تونل‌زنی چندباره را می‌دهند. تونل‌زنی کوانتومی فقط یک کنجکاوی نیست، بلکه نقش مهمی در همجوشی هسته‌ای در ستارگان، واپاشی پرتوزایی و دستگاه‌های الکترونیکی مدرن ایفا می‌کند.

مایکل دوره

ابررسانایی و جفت‌های کوپر

ابررسانایی زمانی رخ می‌دهد که مواد خاصی تا دمای بسیار پایین سرد شده و تمام مقاومت الکتریکی از دست می‌دهند. در این حالت، الکترون‌ها چیزی تشکیل می‌دهند که جفت‌های کوپر نامیده می‌شوند که می‌توانند بدون پراکندگی با از دست دادن انرژی از درون ماده حرکت کنند. برخلاف الکترون‌های منفرد که هویت متمایز خود را حفظ می‌کنند، جفت‌های کوپر به‌طور جمعی رفتار می‌کنند. در یک ابررسانا، تمام جفت‌های کوپر را می‌توان با یک تابع موج واحد -یک توصیف ریاضی که کل سیستم را دربر می‌گیرد- توصیف کرد. این رفتار جمعی به این معناست که تعداد زیادی از ذرات (معمولا حدود ۱۰ به توان ۲۰ (یعنی یک- جلوی آن ۲۰ تا صفر) جفت کوپر) می‌توانند به‌عنوان یک موجودیت کوانتومی واحد عمل کنند که این امر باعث امکان بروز اثرات کوانتومی در مقیاس بسیار بزرگ‌تر می‌شود.

جان کلارک

اتصالات جوزفسون، پل‌هایی بین ابررساناها

یک اتصال جوزفسون از دو ابررسانا تشکیل شده که توسط یک مانع عایق نازک (معمولا فقط یک تا دو نانومتر ضخامت) از هم جدا شده‌اند. به‌رغم این جدایی فیزیکی، جفت‌های کوپر می‌توانند از طریق مانع تونل بزنند و همدوسی کوانتومی بین مناطق ابررسانا را حفظ کنند. برایان جوزفسون در سال ۱۹۶۲ پیش‌بینی کرد که این اتصالات پدیده‌های کوانتومی منحصربه‌فردی ازجمله جریان بدون ولتاژ و روابط دقیق بین ولتاژ و بسامد را نشان خواهند داد.

اهمیت و کاربردهای این پژوهش

اهمیت علمی بنیادی

کار کلارک، دووره و مارتینیس یک دستاورد برجسته در فیزیک بنیادی است که شواهد تجربی ارائه می‌دهد که «رفتار کوانتومی» به قلمرو میکروسکوپی یا زیرمقیاس محدود نیست. پژوهش آنها به پرسش‌های عمیق‌تری درباره مرز بین جهان کوانتومی و کلاسیک پرداخت و نشان داد که تحت شرایط مناسب، اثرات کوانتومی می‌توانند در سامانه‌های متشکل از تریلیون‌ها ذره باقیا بمانند.

آزمایش‌های برندگان با «آزمایش فکری معروف اروین شرودینگر» درباره گربه‌ای که می‌تواننست به‌طور همزمان هم زنده و هم مرده باشد، مقایسه شده است؛ سناریویی که برای برجسته‌کردن پوچی ظاهری اعمال برهم‌نهی کوانتومی بر اشیای روزمره در نظر گرفته شده بود. درحالی‌که سامانه‌ای که برندگان تونل ۲۰۲۵ استفاده کرده‌اند به‌مراتب کوچک‌تر از یک گربه است، گامی مهم را به سوی جهان ماکروسکوپی نشان می‌دهد و نیز نشان می‌دهد که اصلا حتی جمعی کوانتومی واقعا می‌توانند در سامانه‌های در مقیاس انسانی اندازه‌گیری و کنترل شوند.

امکان‌پذیرکردن فناوری‌های کوانتومی

شاید تاثیرگذارترین پیامد این پژوهش در کاربردهای عملی آن، به‌ویژه در توسعه «فناوری‌های اطلاعات کوانتومی» نهفته باشد.

- **رایانش کوانتومی:** ترازهای انرژی کوانتیده نشان داده‌شده در آزمایش‌های برندگان، اساس «کیو بیت»ها یا «بیت‌های کوانتومی» را تشکیل می‌دهند؛ بلوک‌های سازنده اساسی رایانه‌های کوانتومی. جان مارتینیس بعدها این اصول را در کارش در گوگل به کار برد؛ جایی که تیمی را رهبری کرد که در سال ۲۰۱۹ ادعای «برتری کوانتومی» کرد؛ نشان‌دادن یک رایانه کوانتومی که می‌توانست یک مسئله خاص را به‌مراتب سریع‌تر از ابرایانه‌ترین قدرتمند جهان حل کند.
- **حسگرهای کوانتومی:** مدارهای کوانتومی ابررسانا امکان توسعه حسگرهای فوق‌حساس برای اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی، جریان‌های الکتریکی و سایر کمیت‌های فیزیکی را فراهم می‌کند. این حسگرها کاربردهایی در تصویربرداری پزشکی (مانند مگنتوانسفالوگرافی)، اکتشافات زمین‌شناسی و پژوهش علمی بنیادی دارند.
- **رمزنگاری کوانتومی:** اصول نشان داده‌شده در این پژوهش، به توسعه رمزنگاری غیرقابل شکست مبتنی بر مکانیک کوانتومی کمک می‌کند که می‌تواند ارتباطات امن را در آینده متحول کند.

تاثیر بر فناوری‌های تثبیت‌شده

فراتر از کاربردهای آینده‌نگرانه، درک پدیده‌های کوانتومی بزرگ‌مقیاس به افزایش فناوری‌های موجود کمک کرده است. همان‌طور که جان کلارک در زمان اعلام جایزه اشاره کرد: «من با تلفن همراهم صحبت می‌کنم و کمان می‌کنم شما نیز همین کار را می‌کنید و یکی از دلایل زیربنایی که باعث کارکرد تلفن همراه می‌شود، همه این کارهاست». مکانیک کوانتومی از قبل مبنای همه فناوری‌های دیجیتال، از ترانزیستورها در تراشه‌های رایانه‌ای تا لیزرها در ارتباطات فیبر نوری است و این پژوهش توانایی ما را برای بهره‌کیری از اثرات کوانتومی برای اهداف علمی عمیق‌تر فراهم می‌کند. کار برندگان چیزی ایجاد کرده است که فیزیک‌دانان آن را یک «اتم مصنوعی» در مقیاس بزرگ‌مقیاس می‌نامند؛ سامانه‌ای با حالت‌های انرژی کوانتیده که می‌تواند به دقت کنترل و به مدارهای دیگر متصل شود. این امر امکانات جدیدی برای شبیه‌سازی سامانه‌های کوانتومی پیچیده و آزمایش نظریه‌های بنیادی فیزیک به روش‌هایی که با اتم‌های طبیعی ممکن نیست، بازکرده است.

برندگان جایزه نوبل فیزیک

جان کلارک

جان کلارک در سال ۱۹۴۲ در کمبریج بریتانیا به دنیا آمد. او در سال ۱۹۶۸ مدرک دکترای خود را از دانشگاه کمبریج دریافت کرد؛ سپس به دانشگاه کالیفرنیا، برکلی نقل‌مکان کرد؛ جایی که به‌عنوان استاد مشغول شد و یک گروه پژوهشی در زمینه ابررسانا‌ها و اتصال جوزفسون تاسیس کرد. کلارک به‌عنوان رهبر گروه پژوهشی که آزمایش‌های برنده جایزه در آن انجام شد، تخصص بنیادی و محیط آزمایشگاهی را فراهم کرد که به‌طور قابل‌توجهی این اکتشافات شد. کلارک پس از اگاهی از جایزه نوبل خود، ابراز کرد که کاملا شوکه شده و گفت که «هیچوقت به ذهنم خطور نکرده بود پژوهش‌هایم ممکن است مبنای یک جایزه نوبل باشد». او سخاوتمندانه همکارانش را مورد تقدیر قرار داد و گفت سهم آنها به سادگی قاطعانه بوده است.

میشل ایچ. دووره

میشل ایچ. دووره در سال ۱۹۵۳ در پاریس فرانسه به دنیا آمد. او در سال ۱۹۸۲ مدرک دکترای خود را از دانشگاه پاری-سود دریافت کرد و سپس به‌عنوان پژوهشگر پسادکتری به آزمایشگاه جان کلارک در دانشگاه کالیفرنیا، برکلی پیوست. دووره بینش‌های نظری پیچیده‌ای به کار تجربی آورد و به طراحی و تفسیر آزمایش‌های تحول‌آفرین کمک کرد. دووره در حال حاضر استاد دانشگاه ییل و دانشگاه کالیفرنیا، سانتا باربارا است و به‌عنوان دانشمند ارشد کوکل کوانتوم ای‌ای خدمت می‌کند. کار او هم پژوهش دانشگاهی و هم کاربردهای عملی فناوری‌های کوانتومی را دربر می‌گیرد.

جان ام. مارتینیس

جان ام. مارتینیس در سال ۱۹۵۸ به دنیا آمد و در طول آزمایش‌های محوری سال‌های ۱۹۸۴-۱۹۸۵ دانشجوی دکترا در گروه پژوهشی جان کلارک بود. او در سال ۱۹۸۷ مدرک دکترای خود را از دانشگاه کالیفرنیا، برکلی دریافت کرد و اکنون استاد دانشگاه کالیفرنیا، سانتا باربارا است. مارتینیس بیش از همه اکتشافات بنیادی را به کاربردهای عملی تبدیل کرده است. او تا سال ۲۰۲۰ رهبری آزمایشگاه هوش مصنوعی کوانتومی گوگل را بر عهده داشت و تیمی را رهبری کرد که در سال ۲۰۱۹ برتری کوانتومی را نشان داد. کار او نشان‌دهنده خط مستقیمی از پژوهش‌های بنیادی در مورد پدیده‌های کوانتومی بزرگ‌مقیاس تا توسعه سیستم‌های رایانشی کوانتومی عملیاتی است.

نتیجه‌گیری؛ میراثی از الهام علمی

جایزه نوبل فیزیک ۲۰۲۵ از کاری تقدیر می‌کند که درک ما از اینکه مکانیک کوانتومی در کجای جهان ما با کیتی ما عمل می‌کند، بعد عالمی می‌کند. جان کلارک، دووره و مارتینیس پشتکار و خلاقیتی فوق‌العاده در طراحی آزمایش‌هایی را نشان دادند که می‌توانستند رفتار کوانتومی را در یک سیستم در مقیاس انسانی آشکار کند و بر چالش‌های فنی بزرگ مربوط به محافظت از دستگاهنسا در برابر تداخل محیطی غلبه کنند. دستاورد آنها نمونه‌ای از این است که چگونه پژوهش بنیادی، که با تنجکوی درباره عمیق‌ترین اصول طبیعت هدایت می‌شود، در نهایت می‌تواند به فناوری‌های تحول‌آفرین منجر شود. همان‌طور که کمیته نوبل اشاره کرد: «این فوق‌العاده است که بتوانیم توجه ارائه مداوم شگفتی‌های جدید توسط مکانیک کوانتومی با وجود بیش از یک قرن قدمت را جشن بگیریم. همچنین فوق‌العاده مفید است؛ زیرا مکانیک کوانتومی پایه تمام فناوری‌های دیجیتال امروزی است». میراث این کار همچنان در آزمایشگاه‌های سراسر جهان که دانشمندان در حال توسعه فناوری‌های کوانتومی هستند که ممکن است رایانش، سنجش و ارتباطات را متحول کنند، در حال آشکارشدن است. همان‌طور که وصیت‌نامه الفرد نوبل جویزی را برای تقدیر از کسانی برپا کرد که «بزرگ‌ترین سود را به بشریت» می‌رسانند، برندگان فیزیک امسال دانش بشری را به روش‌هایی گسترش داده‌اند که همچنان به بشریت سود می‌رساند. پایان سخن اینکه جایزه نوبل امسال نشان داد سرمایه‌گذاری درست روی کارهای پژوهشی بی‌شک بازگشت و سودآوری دارد؛ هم کسب اعتبار برای ایران‌های علمی و دانشمندان درگیر است و هم سودآوری فنی برای کشور. نوبل امسال علاوه بر دانشمندان برای سیاست‌مداران در کشورها هم درس‌آموز است که بیاموزند در کار پژوهش سرمایه‌گذاری کنند. صبور باشند و از نهادهای دانشی به‌عنوان ابزار استفاده نکنند. بی‌شک اگر در آزمایشگاه‌های که این سه نفر کار کرده‌اند، کسانی به واسطه سهمیه یا رابطه آنجا بودند، هرگز چنین افتخاری نصیب آن دانشگاه‌ها و آن دانشمندان نمی‌شد.

نوبل پزشکی ۲۰۲۵

راز «سلول‌های تی تنظیمی» و تأثیر آنها بر آینده پزشکی

مریم مرامی
کارشناس ارشد علوم شناختی

جایزه نوبل پزشکی سال ۲۰۲۵ به سه دانشمند برجسته به‌خاطر کشف نقش سلول‌های تی (T) تنظیمی در کنترل سیستم ایمنی اهدا شد؛ کشفی که مسیر درمان بیماری‌های خودایمنی و سرطان‌ها را هموار می‌کند. این یادداشت تصویری روشن از اهمیت این کشف علمی و تأثیر آن بر پزشکی و درمان بیماران ارائه می‌دهد تا خوانندگان، ضمن درک ساده نقش سلول‌های تی تنظیمی، ارزش تحقیقات بنیادی و جایگاه این کشف در تاریخ علم را بهتر بشناسند.

برندگان نوبل

سه دانشمند برجسته که نقش مهمی در کشف سلول‌های تی تنظیمی و تأثیر آنها بر سیستم ایمنی داشته‌اند، جایزه نوبل پزشکی ۲۰۲۵ را دریافت کردند:

- **مری ای. برانکو**
- دکترای زیست‌شناسی مولکولی از دانشگاه برینستون
- عضو مؤسسه زیست‌شناسی سامانه‌ها در سیاتل، ایالات متحده

دستاورد کلیدی: تحقیقات پیشگامانه در شناسایی عملکرد سلول‌های تی تنظیمی که مکانیسم جلوگیری از خودایمنی را روشن کرد.

- **فرد رامسدل**
- دکترای ایمنی‌شناسی از دانشگاه کالیفرنیا، لس‌آنجلس (UCLA)
- مشاور علمی در Sonoma Biotherapeutics، سان‌فرانسیسکو، ایالات متحده

دستاورد کلیدی: تکمیل و تثبیت یافته مسیر ساکاگوچی و برانکو و توسعه مدل‌های کاربردی برای درمان بیماری‌های خودایمنی.

- **شیمون ساکاگوچی**
- دکترای پزشکی و ایمنی‌شناسی از دانشگاه کیوتو
- استاد دانشگاه اوساکا، ژاپن

دستاورد کلیدی: پایه‌گذار تحقیقات سلول‌های تی تنظیمی، کشف اولیه این سلول‌ها در سال ۱۹۹۵ و بازکردن مسیر پژوهش‌های بعدی در ایمنی و سرطان.

این سه دانشمند با تلاش و تحقیقات خود، درک ما از سیستم ایمنی بدن را متحول کردند و دریچه‌ای نوین برای درمان بیماری‌های خودایمنی و سرطان‌ها باز کردند.

اهمیت این کشف

سلول‌های تی تنظیمی (T-regs) یکی از اجزای حیاتی سیستم ایمنی هستند. آنها با کنترل فعالیت دیگر سلول‌های ایمنی، از حمله به بافت‌های سالم جلوگیری می‌کنند و تعادل بدن را حفظ می‌کنند. به بیان ساده، می‌توان آنها را مانند «پلیس‌های هوشمند» سیستم ایمنی تصور کرد که تعیین می‌کنند چه زمانی سلول‌ها فعال شوند و چه زمانی آرام بمانند. در بسیاری از بیماری‌های خودایمنی، سیستم ایمنی به اشتباه به بافت‌های خود حمله می‌کند و بافت‌ها و اعضا آسیب می‌بینند. اما سلول‌های تی تنظیمی می‌توانند این حملات را مهار کنند و تعادل سیستم ایمنی را بازگردانند.

در سرطان، فعالیت بیش از حد این سلول‌ها به دوتا باسخ ایمنی بدن به سلول‌های سرطانی را محدود کند. آشنایی دقیق با عملکرد آنها به دانشمندان امکان داده روش‌های نوین ایمنی‌درمانی و داروهای هدفمند را طراحی کنند که باسخ ایمنی را تقویت کرده و شانس درمان بیماران را افزایش می‌دهد. این مسیر علمی از سال ۱۹۹۵ با کشف اولیه شیمون ساکاگوچی آغاز شد. زمانی که او برای نخستین‌بار نقش حیاتی این سلول‌ها در حفظ تعادل سیستم ایمنی را نشان داد. سپس در سال ۲۰۰۱، مری ای. برانکو و فرد رامسدل یافته‌های او را تکمیل و تثبیت کردند و زمینه را برای کاربردهای درمانی گسترده‌تر فراهم ساختند. کشف سلول‌های تی تنظیمی نمونه‌ای از قدرت تحقیقات بنیادی است؛ پژوهش‌هایی که شاید در آغاز هدف کاربردی نداشته باشند، اما در درازمدت می‌توانند مسیر درمان میلیون‌ها بیمار را تغییر دهند. این سلول‌ها امروز نه‌تنها موضوعی کلیدی در تحقیقات ایمنی‌شناسی هستند، بلکه به‌عنوان «کلید درمان‌های آینده» برای بیماری‌های خودایمنی و سرطان شناخته می‌شوند. درک بهتر عملکرد این سلول‌ها به دانشمندان امکان می‌دهد تا داروهای دقیق‌تر، درمان‌های ایمنی‌درمانی پیشرفته و استراتژی‌های نوینی برای کنترل سیستم ایمنی طراحی کنند. اهمیت این کشف فراتر از آزمایشگاه‌هاست؛ دانشی است که وارد مرحله عمل شده و امید به درمان‌های نوین و شخصی‌سازی‌شده را برای میلیون‌ها بیمار در سراسر جهان ممکن ساخته است.

ابعاد علمی و کاربردی این کشف

کشف سلول‌های تی تنظیمی، نه‌تنها درک ما از سیستم ایمنی بدن را متحول کرده، بلکه مسیرهای عملی و کاربردی تازه‌ای در پزشکی و داروسازی باز کرده است. این سلول‌ها اکنون محور طراحی درمان‌های نوین و هدفمند شده‌اند و تأثیر مستقیمی بر زندگی بیماران دارند. در زمینه بیماری‌های خودایمنی، پژوهشگران توانسته‌اند با بهره‌گیری از سلول‌های تی تنظیمی، فعالیت سیستم ایمنی را متعادل کنند. روش‌هایی همچون تقویت این سلول‌ها یا انتقال آنها به بدن بیماران، در درمان بیماری‌هایی مانند دیابت نوع یک، لوپوس و رماتیسم مفصلی نتایج امیدوارکننده‌ای داشته است. این رویکردها، نمونه‌ای از پزشکی مبتنی بر سلول و درمان‌های شخصی‌سازی‌شده هستند؛ شاخه‌ای نوظهور که به جای نسخه‌های یکسان، درمان‌هایی دقیق و متناسب با ویژگی‌های ژنتیکی و ایمنی هر فرد ارائه می‌دهد. چنین تحولاتی می‌توانند فصل تازه‌ای در مدیریت بیماری‌های مزمن و مقاوم به درمان رقم بزنند. در حوزه سرطان نیز سلول‌های تی تنظیمی نقشی دوگانه و حیاتی دارند. در برخی از انواع سرطان، فعالیت بیش از حد این سلول‌ها ممکن است پاسخ ایمنی بدن را در برابر سلول‌های سرطانی تضعیف کند. بر همین اساس، شناخت دقیق سازوکار عملکرد آنها به دانشمندان کمک کرده تا داروها و ایمنی‌درمانی‌های هدفمندی طراحی کنند که تعادل سیستم ایمنی را بازگردانند و قدرت دفاعی بدن را در برابر تومورها افزایش دهند. این پیشرفت‌ها در درمان سرطان‌های مانند ملانوما (سرطان پوست)، لنفوم و برخی از سرطان‌های ریه، چشم‌اندازهای تازه‌ای برای افزایش طول عمر و کیفیت زندگی بیماران فراهم کرده است. اما تأثیر این کشف تنها به درمان‌های مستقیم محدود نمی‌شود. سلول‌های تی تنظیمی راه را برای نوآوری در داروسازی مدرن نیز هموار کرده‌اند. شرکت‌های داروسازی اکنون ترکیباتی طراحی می‌کنند که فعالیت سلول‌های تی تنظیمی را به‌طور دقیق تنظیم کرده، باسخ ایمنی علیه سرطان را تقویت می‌کنند و عوارض جانبی درمان‌ها را کاهش می‌دهند. این تحقیقات همچنین مسیر توسعه نسل جدیدی از واکسن‌ها و درمان‌های ایمونولوژیک را فراهم کرده و افق تازه‌ای در پزشکی شخصی‌سازی‌شده و درمان‌های هدفمند به وجود آورده است. در چشم‌انداز بلندمدت، کشف سلول‌های تی تنظیمی نمونه‌ای درخشان از پیوند میان علم نظری و کاربرد عملی است. این دستاورد نشان می‌دهد که چگونه پژوهش‌های بنیادی می‌توانند به راهکارهای درمانی واقعی و ملموس برای بیماران تبدیل شوند. سلول‌های تی تنظیمی اکنون به نمادی از آینده پزشکی بدل شده‌اند -آینده‌ای که در آن درمان‌ها نه‌تنها هدفمند و دقیق، بلکه متناسب با ساختار ایمنی و زیستی هر فرد طراحی می‌شوند.

مسیر تحقیقات تا امروز

کشف سلول‌های تی تنظیمی، نتیجه سال‌ها پژوهش دقیق و پیوسته دانشمندان برجسته‌ای است که تلاش کردند مکانیسم‌های پیچیده سیستم ایمنی را درک کنند. مسیر این تحقیقات، نمونه‌ای از تاثیر تحقیقات بنیادی بر نوآوری‌های درمانی است. همه چیز از سال ۱۹۹۵ آغاز شد، زمانی که شیمون ساکاگوچی در دانشگاه اوساکای ژاپن، اولین شواهد را درباره وجود سلول‌هایی ارائه کرد که می‌توانند فعالیت سایر سلول‌های ایمنی را کنترل کنند. این سلول‌ها نقش نگهبان تعادل سیستم ایمنی را داشتند و ساکاگوچی نشان داد که فقدان یا نقص عملکرد این سلول‌ها می‌تواند به بروز بیماری‌های خودایمنی منجر شود. در سال ۲۰۰۱، تحقیقات او توسط مری ای. برانکو و فرد رامسدل در ایالات متحده تکمیل و تثبیت شد. آنها نشان دادند که سلول‌های تی تنظیمی نه‌تنها در آزمایشگاه، بلکه در بدن موجود زنده نیز عملکرد حیاتی دارند و می‌توانند مسیر پیشرفت بیماری‌های خودایمنی را مهار کنند. پژوهش‌های این سه دانشمند، بنیان علمی روش‌های درمانی نوین مبتنی بر سلول‌های تی تنظیمی را ایجاد کرد و راه را برای توسعه داروهای هدفمند و درمان‌های ایمنی‌درمانی بازکرد. پس از این دستاوردها، تحقیقات در سراسر جهان ادامه یافت و دانشمندان توانستند نقش این سلول‌ها در سرطان، بیویژه اعضا و بیماری‌های مزمن دیگر را کشف کنند. علاوه بر این، مطالعات نشان داد که تغییر یا مهار عملکرد سلول‌های تی تنظیمی می‌تواند کارایی درمان‌های نوینی را افزایش دهد و عوارض جانبی داروها را کاهش دهد. این مسیر تحقیقاتی، نمونه‌ای روشن از ارتباط نزدیک میان پژوهش‌های بنیادی و کاربردهای بالینی است. دستاورد علمی سلول‌های تی تنظیمی -از کشف اولیه در آزمایشگاه تا به‌کارگیری در درمان بیماران- نشان می‌دهد که چگونه یک ایده نوآورانه می‌تواند به بهبود و نجات زندگی میلیون‌ها نفر بینجامد. امروزه، پژوهش درباره سلول‌های تی تنظیمی در حال گسترش است و تلاش می‌شود روش‌های نوین برای تقویت یا مهار آنها در درمان بیماری‌ها به کار گرفته شود. این مسیر علمی، پیامدهای بلندمدت و گسترده‌ای برای پزشکی، داروسازی و درمان‌های شخصی‌سازی‌شده دارد و نشان می‌دهد که کشف علمی می‌تواند تئوری و کاربرد عملی را به هم پیوند دهد.

جایزه نوبل و جایگاه تاریخی این کشف

کشف سلول‌های تی تنظیمی اکنون نه‌تنها به‌عنوان یک دستاورد علمی بزرگ شناخته می‌شود، بلکه منجر به اهدای جایزه نوبل پزشکی ۲۰۲۵ به سه دانشمند برجسته شد: مری ای. برانکو، فرد رامسدل و شیمون ساکاگوچی. این جایزه اهمیت جهانی کشف آنها در فهم و کنترل سیستم ایمنی بدن را نشان می‌دهد و تاکیدی است بر نقش تحقیقات بنیادی در پیشرفت علم پزشکی.

مبلغ جایزه: جایزه نوبل پزشکی ۲۰۲۵ شامل مدال طلا، دیپلم افتخار و مبلغ ۱۱ میلیون کرون سوئد (۱.۲ میلیون دلار) است که به‌صورت مشترک بین سه برنده تقسیم می‌شود.

تاریخ و مراسم رسمی: مراسم اهدای جایزه نوبل پزشکی در ۱۰ دسامبر ۲۰۲۵ در استکهلم، سوئد برگزار شد و برندگان به صورت رسمی مورد تقدیر قرار گرفتند. این مراسم، علاوه بر جنبه رسمی، فرصتی برای برجسته‌کردن دستاوردهای علمی و تبیین اهمیت تحقیقات بنیادی در سطح جهانی بود.

جایگاه این کشف در تاریخ علم پزشکی: سلول‌های تی تنظیمی اکنون جزء کشفیات تاریخی پزشکی به‌شمار می‌روند که مسیر درمان بیماری‌های خودایمنی و سرطان را به‌طور بنیادین بازتعریف کرده‌اند. پیش از این، بسیاری از درمان‌ها تنها علائم بیماری‌ها را کنترل می‌کردند، اما درک عملکرد این سلول‌ها به دانشمندان امکان داد تا درمان‌های هدفمند، ایمنی‌درمانی‌های پیشرفته و روش‌های ش