چالش‌ها و فرصت‌های سواد کوانتومی برای آموزش آینده و حل مسائل فرارشته‌ای

محمداسماعیل نیکفر [1,*]

۱- دکترای تخصصی ریاضی محض، دبیر ریاضی، آموزش‌وپرورش منطقه ۴، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات (m.s.nikfar@gmail.com)

خلاصه

دانش محاسبات کوانتومی مسلما برای بسیاری غیرقابل دسترس است. زیرا دانش ریاضیات پیچیده مانع خاصی برای ورود محسوب گشته و از نظر آموزش و یادگیری برای کسانی که سطح بالایی از ریاضیات ندارند، مشکل ایجاد خواهند نمود. فناوری‌های کوانتومی برای کسانی که با برنامه‌های کاربردی دنیای واقعی کار می‌کنند، قابل دسترس بوده و به نسل جوان آموزش داده گردد. سواد کوانتومی، همان‌طور که در این مقاله تعریف شده است، به چالش‌های یادگیری در یک رشته بسیار محدود پرداخته و دسترسی به آن نوع دانش قدرتمندی که باید برای گروه وسیعی از دانشجویان مهیا گردد، تسهیل می‌نماید. ما در مورد اهمیت پرداختن به مسائل آموزشی، زمانی که دانش قدرتمند از مفاهیم متراکم، روابط پیچیده و سلسله مراتبی بین مفاهیم تشکیل شده است، بحث نموده و از مانعی قوی برای ورود به بحث به نام ریاضیات رونمایی می‌کنیم. در این مقاله، ما مفهوم سواد کوانتومی را به عنوان مسیری نوآورانه برای بهبود دانش و درک، با یک ابزار یادگیری مرتبط طراحی شده برای دور زدن دانش تخصصی که در حال حاضر از درک گسترده‌تر محاسبات کوانتومی و در نتیجه کاربردهای آن جلوگیری می‌کند، معرفی می‌کنیم. ما استدلال می‌کنیم که سواد کوانتومی می‌تواند به هدف توسعه پایدار آموزش با کیفیت کمک کند. ما این را نه تنها از نظر هدف فراگیر آن، اساسی می‌دانیم بلکه دسترسی به آموزش فراگیر می‌تواند به مردم محلی کمک کند تا ابزارهای موردنیاز را برای توسعه راه‌حل‌های نوآورانه برای بزرگ‌ترین مسائل جهان فراهم آورند. همچنین این موضوع می‌تواند به دسترسی به دانش و درک قدرتمندی که در سطح اجتماعی به منظور پیشرفت بیش‌تر در رابطه با سایر اهداف توسعه پایدار موردنیاز است، رسیدگی نماید. ما این رویکرد را از طریق گفت‌وگوی مشترک بین رشته‌ها توسعه داده‌ایم که درنظرگرفتن ماهیت فرارشته‌ای مشکلات پیچیده‌ای که در قلب مسائل پیرامون پایداری جهانی با آن مواجه هستیم، ضروری است.

کلمات کلیدی: سواد کوانتومی، محاسبات کوانتومی، دانش قدرتمند، ریاضیات، بازی‌ها

۱. مقدمه

از آن‌جایی که این مقاله در مورد کار بر روی پس‌زمینه کوانتوم بوده و مشکلات متعدد برای به‌کارگیری این پس‌زمینه در حوزه‌های متفاوت بحث شده و در نهایت به حضور موفقیت‌آمیز پس‌زمینه کوانتوم و دستاوردهای آن اشاره می‌نماید، ما به جدیدترین و مهم‌ترین پس‌زمینه در عصر حاضر، یعنی هوش مصنوعی، و به‌کارگیری آن برای شکل‌دهی یک دانشمند و

به‌ویژه، یک ریاضی‌دان، در قالب یک پژوهش جدید توسط (نیکفر، ۱۴۰۴) [۱] اشاره می‌کنیم. برای ارجاع، (نیکفر، ۱۴۰۳) [۲] جدیدترین پژوهشهای اخیر در زمینه استفاده از مدلهای خبره و نوین در زمینه آموزش ریاضیات را معرفی نموده است. (نیکفر، ۱۴۰۳) [۳] در پژوهشی اخیر، به بررسی ابعاد مختلف استفاده از ابزار آزمایشگاه در آموزش شیمی می‌پردازد. همچنین (نیکفر، ۱۴۰۳) [۴] در تحقیقی که اخیرا منتشر شده است به بررسی استفاده از این ابعاد مختلف در آموزش فیزیک پرداخته است. همچنین برای بررسی انگیزش این پژوهش در مورد انجام تحقیق در مورد آموزش ریاضی، می‌توان به پژوهشی در مورد تاثیرات ریاضیات در دیگر رشته‌ها از جمله رشته و حرفه علوم کامپیوتر در مقطع آموزش عالی توسط (نیکفر، ۱۳۹۷) [۵] اشاره نمود.

دانش محاسبات کوانتومی مسلما برای بسیاری غیرقابل دسترس است. زیرا دانش ریاضیات پیچیده مانع خاصی برای ورود محسوب گشته و از نظر آموزش و یادگیری برای کسانی که سطح بالایی از ریاضیات ندارند، مشکل ایجاد خواهند نمود. در همین حال، به طور فزاینده‌ای مهم است که دانش فناوری‌های کوانتومی برای کسانی که با برنامه‌های کاربردی دنیای واقعی کار می‌کنند، قابل دسترس بوده و به نسل جوان آموزش داده گردد. در نتیجه گفت‌وگوی مشترک بین فیزیک‌دانان، دانشمندان کامپیوتر، متخصصان آموزشی و کاربران ارشد در صنعت، ما مفهوم سواد کوانتومی را به عنوان یکی از ابزارهای رفع نیاز به تحقیقات فرارشته‌ای در پاسخ به مشکلات پیچیده‌ای که در قلب مسائل پیرامون پایداری جهانی با آن مواجه هستیم، قلمداد می‌کنیم. به این ترتیب، سواد کوانتومی می‌تواند به هدف توسعه پایدار آموزش با کیفیت، کمک نماید. ما یک ابزار یادگیری تجسم پازل خاصی را معرفی نموده و از طریق آن، به اهداف آموزشی که با توجه به سواد کوانتومی تعیین کرده‌ایم، دست می‌یابیم. تجسم از طریق پازل‌ها می‌تواند غیرمتخصصان را قادر سارد تا درک شهودی اما دقیق از محاسبات کوانتومی عمومی ایجاد کرده و تسهیلاتی را برای افراد غیرمتخصص به منظور کشف الگوریتم‌های کوانتومی پیچیده و جدید فراهم می‌آورد. با استفاده از اثر نوری در مکانیک کوانتومی نشان می‌دهیم که چگونه روش‌های بصری مانند روش‌هایی که از طریق ابزار تجسم پازل ممکن شده‌اند، می‌توانند برای درک فرآیندهای پیچیده اساسی در فیزیک کوانتومی و فراتر از آن بسیار مفید باشد و بنابراین از اهداف سواد کوانتومی ما پشتیبانی می‌کنند. سواد کوانتومی، همان‌طور که در این مقاله تعریف شده است، به چالش‌های یادگیری در یک رشته بسیار محدود پرداخته و دسترسی به آن نوع دانش قدرتمندی که باید برای گروه وسیعی از دانشجویان مهیا گردد، تسهیل می‌نماید. ما در مورد اهمیت پرداختن به مسائل آموزشی، زمانی که دانش قدرتمند از مفاهیم متراکم، روابط پیچیده و سلسله مراتبی بین مفاهیم تشکیل شده است، بحث نموده و از مانعی قوی برای ورود به بحث به نام ریاضیات رونمایی می‌کنیم.

۲. سواد کوانتومی

اگر چه فناوری‌های کوانتومی در مراحل اولیه هستند، تاثیراتی که بر فرهنگ ما می‌گذارند، در حال حاضر قابل مشاهده هستند. با مزایای گسترده‌ای در که در سال‌های آینده برای طیف گسترده‌ای از صنایع شناسایی شده است، علم کوانتومی وعده می‌دهد که تاثیر عمده‌ای بر بخش‌های مالی، دفاعی، هوافضا، انرژی و مخابرات خواهد داشت. این فناوری‌ها قول می‌دهند که زندگی ما را عمیقا تغییر دهند [۶]. بریتانیا بخشی از یک مسابقه جهانی برای صنعتی کردن فناوری کوانتومی از طریق برنامه ملی فناوری کوانتومی [۷] است. به طور فزاینده‌ای از مدیران صنعت و دولت انتظار می‌رود که در ارتباط با فناوری محاسبات کوانتومی تصمیم‌گیری کنند و ما استدلال می‌کنیم، آن‌ها باید سواد کوانتومی داشته باشند تا قربانی تصورات غلط و تبلیغات نگردند. با این حال، در حال حاضر، درک یا تخصص کم‌تری در مورد مهارت‌های موردنیاز برای

استدلال محاسباتی کوانتومی موثر خارج از متخصصان فیزیک و ریاضیات وجود دارد. در حالی که فناوری‌های محاسباتی کوانتومی یک الگوی جدید هیجان‌انگیز برای نزدیک شدن به برخی از دشوارترین مشکلات پیش روی بشر ارائه می‌دهد، نحوه عملکرد این فناوری‌ها در حال حاضر تنها توسط بخش کوچکی از مردم با موانع درک شده، به صورت صریح و قاطع، برای ورود از خارج از میدان، قابل درک است. مشخص شده است که سرمایه‌گذاری در آموزش و پرورش موردنیاز است. این عدم درک از خارج از میدان، مشکل‌ساز است زیرا بسیاری از افرادی که موارد استفاده نهایی و وضعیت فعلی تکنیک‌های محاسبات کلاسیک را می‌شناسند و همچنین متخصصان حوزه برنامه که در حال حاضر برای حل از آن‌ها استفاده می‌کنند، مشارکت در این امر را دشوار می‌پندارند. تنها راهی که محاسبات کوانتومی می‌تواند در کوتاه‌مدت موفق باشند، یافتن حوزه‌های تخصصی مناسب برای به کارگیری آن و بهره‌گیری از تخصص افرادی است که در حال حاضر این مشکلات را حل می‌کنند، و به دنبال پاسخی برای این پرسش هستند که چگونه فناوری‌های کوانتومی می‌توانند روش‌های خود را بهتر نمایند.

چنین هدفی أساسا فرا رشته‌ای است و غیر از این روش، نمی‌توان به آن دست یافت.

فرارشته‌ای بودن، با توجه به پیچیدگی، چند بعدی بودن و تحقیقات متمرکز بر مشکل [۸] بر نیاز روزافزون به علم تاکید می‌کند. به حل مشکلات مداوم و پیچیده کمک می‌نماید. این مطلب [۹] بیان می‌گردد که افزایش در دسترس بودن دانش علمی در اقدام قاطع منعکس نمی‌شود و جهت‌گیری‌های فرارشته‌ای در پژوهش، آموزش و موسسات به صورت بیانیه خسته‌کننده برای غلبه بر عدم تطابق بین تولید دانش در دانشگاه و درخواست‌های دانش برای حل مشکلات اجتماعی تعریف می‌گردد. یکپارچه‌سازی هدف روش‌شناختی اصلی زیربنای تحقیق و آموزش بین رشته‌ای است و ما پیشنهاد می‌کنیم که کاربرد گسترده‌تر محاسبات کوانتومی برای مسائل پیچیده دنیای واقعی، که به درک گسترده‌تر از یک رشته واحد بستگی دارد، با ایده‌های ارائه شده در این مقاله مقایسه شده تا تسهیل گردد. همچنین (-) اشاره به الزام متجاوزانه فرارشته‌ای دارد که می تواند قراردادهای انضباطی و سلسله مراتب تخصص را از طریق شیوه‌های مشارکتی بیش‌تر دانش در سراسر بخش‌ها به چالش بکشد. ما مفهوم سواد کوانتومی را به عنوان یک هدف آموزشی نشان داده که با هدف یکپارچه‌سازی دانش سیستماتیک و دستیابی به یک مدل یادگیری خاص از طریق آن، همسو است.

با این حال، بودجه برای محاسبات کوانتومی عمدتا به سمت مراکز بسیار تخصصی هدایت می‌گردد اما رویکردها باید تا حدی شامل آموزش تعداد بسیاری از نیروی کار فعلی و همچنین آموزش نسل بعدی متخصصان حوزه کاربردی برای داشتن سواد کوانتومی باشند.

ما پیشنهاد می‌کنیم که مفهوم سواد کوانتومی می‌تواند به ساختار ابتکارات آموزشی موردنیاز برای حمایت از این رویکردها و حمایت از هدف کلی از طریق ارائه وضوح هدف کمک کند. ما تعریفی از سواد کوانتومی را به این صورت پیش می‌بریم: یادگیری حداقل دانش بنیادی مکانیک کوانتومی که اجازه درک چگونگی استفاده از محاسبات کوانتومی در حوزه‌های کاربردی متنوع و توانایی ارزیابی ادعاهای مرتبط با فناوری کوانتومی را می‌دهد. رویکردهای مبتنی بر انضباط برای گفتگو در میان متخصصان محاسبات کوانتومی و حوزه برنامه‌ها تنها می‌توانند تا این حد پیش بروند که ما به افرادی با درک هر دو زمینه نیاز خواهیم داشت. ما استدلال می‌کنیم که سواد کوانتومی باید به جای آگاهی ساده، به دنبال افزایش درک باشد. زیرا محاسبات کوانتومی به عنوان یک فناوری ظهور می‌کند و بسیاری از افراد غیرمتخصص با تصمیمات مرتبط با آن مواجه می‌شوند. این عنوان، دانشی است که فیزیک‌دانان و دانشمندان رایانه به آن دسترسی ندارند. یعنی، دانش نه

تنها در مورد محاسبات کوانتومی بلکه در مورد درک گسترده‌تر از کاربردهای بالقوه محاسبات کوانتومی در مناطق مختلف جامعه، در حال حاضر بیانگر این است که از این انقلاب تکنولوژیک بهره‌ای حاصل نشده است.

نمونه‌های عینی زیادی از حوزه‌هایی وجود دارد که فناوری‌های کوانتومی می‌توانند بازی را تغییر دهند. تعداد حوزه‌هایی که آزمایش‌های محاسبات کوانتومی اثبات مفهوم برای آن‌ها، انجام شده است، بسیار زیاد است که نمی‌توان در این‌جا نمی‌توان آن‌ها را فهرست نمود اما شامل موضوعات متنوعی مانند شیمی محاسباتی [۱۰]، تخصیص دروازه‌های پرواز در فرودگاه‌ها [۱۱] ، رمزگشایی کدهای خطا [۱۲] و هیدرولوژی [۱۳] می‌گردد در حال که این آزمایش‌ها برای نشان دادن مستقیم مزیت کوانتومی خیلی زود است، مناطقی وجود دارند که در آن‌ها، سرعت‌های کوانتومی قابل اثبات، حداقل تا حد فرضیات استاندارد در مورد پیچیدگی محاسباتی، امکان‌پذیر است. به عنوان مثال، الگوریتم‌های جست‌وجوی معروف [۱۴] یا فاکتور گیری شور [۱۵] با تکیه بر این بینش‌ها و موارد دیگر، الگوریتم‌های بسیار بیش‌تری با مزایای قابل اثبات و با کاربردهایی در زمینه‌های مانند بهینه‌سازی و رمزنگاری، توسعه یافته‌اند. بررسی این نوع از الگوریتم‌ها [۱۶] قابل تامل است. لیست در حال اجرا از الگوریتم‌های کوانتومی [۱۷] یک مورد برجسته است. یک بررسی [۱۸] بدون معادله با تمرکز بر پردازش اطلاعات کوانتومی زمان پیوسته نیز ارائه شده است.

در حالی که محاسبات کوانتومی وسیع‌ترین تحولات را در بین هر فناوری کوانتومی نوید می‌دهد. فناوری‌های کوانتومی دیگری نیز وجود دارند که نوید کاربردهای کوتاه‌مدت بیش‌تری را می‌دهند. این موارد شامل استفاده از سیستم‌های اتمی برای دیدن از میان اجسام با تشخیص تشعشعات تراهرتز[۱۹] ، ساعت‌های اتمی دقیق‌تر که امکان تشخیص کرنش‌های کوچک در پوسته زمین برای پیش‌بینی زلزله [۲۰] را می‌دهد و همچنین مورد آخر مطرح‌شده، پروتکل‌های توزیع کلید برای ردیابی رمزنگاری [۲۱] می‌باشد. از آن‌جایی که مکانیک کوانتومی معادل با روشی متفاوت از درک واقعیت است، سواد کوانتومی به طور بالقوه، راه متفاوتی را برای درک مسائل در طیف وسیعی از زمینه‌های متنوع ارائه می‌دهد. برنامه‌های کامپیوتری کلاسیک برای محاسبات کوانتومی موثر نیستند. ابزار جایگزین در این راه، یک الزام در استفاده از الگوریتم‌های کوانتومی بوده که از پدیده‌های کوانتومی مانند تداخل حالت‌ها استفاده می‌کنند. مسائلی که محاسبات کوانتومی می‌تواند برای آن‌ها راه‌حل ارائه دهند، خود نیاز به ساختن در پرتو فهمی دارند که از طریق سواد کوانتومی به‌دست می‌آیند.

۳. رویکرد واقع‌گرایانه اجتماعی به دانش و درک علمی

در این مقاله، ما بر چالش ٔموزشی سواد کوانتومی تمرکز کرده‌ایم و این مفهوم را در بحث‌های واقع‌گرایانه اجتماعی در معرفت‌شناسی و خودآگاهی قرار می‌دهیم. چارچوب‌بندی واقع‌گرایانه اجتماعی از این جهت مفید است که استدلالی را پیش می‌برد که دانش تخصصی [۲۲] را احیا کرده و آن را به چارچوب اجتماعی که به آن وابسته است، پیوند زند. این مطلب با توجه به ماهیت فرارشته‌ای مشکلاتی که سواد کوانتومی می‌تواند به رفع آن‌ها کمک کند، مهم است. ما اغلب از نظر ساختار جامعه‌شناختی دانش با ویژگی‌ها، قدرت‌ها و گرایش‌ها و همچنین از نظر ویژگی‌های ذاتی آن، فاقد یک نظریه دانش [۲۳] هستیم. ما استدلال می‌کنیم که سواد کوانتومی، همان‌طور که در این‌جا آن را تعریف می‌کنیم، هم چالش‌های یادگیری و دانش در یک رشته محدود و همچنین ساختارهای رابطه‌ای از شیوه‌های دانش را که موانعی برای دسترسی به حوزه‌های دانش ایجاد می‌کنند، بررسی می‌کند. ما از یک بحث مهم در زمینه آموزش در مورد ((دانش قدرتمند)) [۲۴] [۲۵] استفاده می‌کنیم و همان‌طور که در ابتدا گفته شد، ما این موضوع را به آموزش با کیفیت سازمان ملل در بحثی

پیرامون دسترسی گسترده‌تر به چنین دانش قدرتمندی مرتبط می‌کنیم که این مفهوم می‌تواند به صورت ذیل تعریف پذیرد:

دسترسی به حقایق یا حقایق قابل اعتمادتر
دسترسی به دیدگاه‌های مفهومی سطح بالاتر در حوزه تخصصی
توانایی دیدن شکل تخصصی و ساختاریافته دانشی که با تجربه روزمره متفاوت است.
کار با جهت‌گیری‌هایی روی هدف به جای تمرکز روی برنامه یادگیرنده محور با علایق اجتماعی در برنامه درسی [۲۶]

اگر ما نگران گسترش دسترسی به مجموعه‌ای از دانش سیستماتیک هستیم که در طول زمان ساخته شده ااست، آن‌گاه بایستی به موضوع تخصص انضباطی بپردازیم. یک نقد آموزشی به نخبه‌گرایی مربوط می‌شود. زیرا طبق تعریف، دانش تخصصی به طور مساوی توزیع نمی‌شود و کسانی که تمایل دارند به آن دسترسی داشته باشند از قبل قدرتمند [۲۷] هستند.

با این حال، اشاره‌ای به اشتباه مقوله‌ای در این‌جا شده که دانش قدرتمندان لزوما معادل دانش برای قدرتمندان نیست. درولقع، در مفهوم‌سازی، ما از سواد کوانتومی، دقیقا بدین شکل استدلال می‌نماییم که این دانش قدرتمند به آسانی به دانش کسانی که قدرت اعمال تغییر را دارند، تعلق نمی‌گیرد. همچنین به این انتقاد، پاسخی (-) داده شده که آموزش بایستی در مورد بیانیه زیر باشد.

شکوفایی جامعه و پرورش رفاه، نه کسب دانش فی نفسه [۲۸] است که با گفتن این‌که این امر یک دوگانگی کاذب را مطرح می‌کند، ما با این ایده موافق هستیم و آن را ترویج می‌دهیم تا به یک دسترسی و درک از یک مجموعه تخصصی از دانش دست یابیم. در این مورد، محاسبات کوانتومی می‌تواند مستقیما از طریق حمایت از آموزش با کیفیت سازمان ملل با رفاه اجتماعی مرتبط باشد. ما مورد سواد کوانتومی را با توجه به این استدلال‌ها و استدلال‌های مرتبط، به عنوان بدیهی‌ترین مسیر پیش می‌بریم.

ما ادعا می‌کنیم که مکانیک کوانتومی و محاسبات کوانتومی مجموعه‌ای از دانش را نشان می‌دهد که نمی‌توان آن را جز از طریق مفهوم‌سازی دانش قدرتمند، تصور کرد. به طور کامل می‌تولن به ماهیت این دانش به شکل تخصصی و تاثیر احتمالی آن بر تلاش‌های انسان توجه نمود.

دانش قدرتمند نحوه تمایز دانش را از طرق مختلف در نظر می‌گیرد. از نظر معرفتی، زیباشناختی و اخلاقی (-) پیشنهاد شده است که علم و به طور خاص فیزیک، نمونه‌های تغییر شگرف و بنیادین دانش قدرتمند، به دلیل محدودیت‌های رشته‌ای قوی و ساختار دانش عمودی آن‌ها به نظر می‌رسند. در اصطلاح برنشتاین، شکل یک ساختار منسجم، صریح و اصولی با پس‌زمینه سیستماتیک را به خود می‌گیرند که به صورت سلسله مراتبی مانند علوم سازماندهی [۲۹] شده است.

برنشتاین ایده ساختار دانش سلسله مراتبی را که مشخصه علوم طبیعی است، توسعه داد تا بتواند به چگونگی ساخت ساختارهای دانش مختلف به صورت تجمعی و پیشرونده اشاره کند. دانش جدیدتر، دانش قبلی و بدنه‌های مختلف دانش را در بر می‌گیرد اما در درجات عمودی، آن‌ها متفاوت‌اند. دانش قدرتمندی که ما در رابطه با سواد کوانتومی روی آن تمرکز

کرده‌ایم را می‌توان به این صورت درک کرد که عمودی بودن به انتزاع دانش دنیای واقعی به أصول غیر متن‌سازی شده اشاره می‌کند که اغلب از نام‌گذاری‌های متراکم استفاده می‌کند جایی که یک کلمه به معنای مفهومی پیچیده [۳۰] است.

بنابراین چالش آموزش و پرورش قابل توجه است. ما این ایده نام‌گذاری متراکم را با درنظر گرفتن مفهوم درهم‌تنیدگی نشان می‌دهیم. درهم‌تنیدگی از طریق یک آزمایش فکری [۳۱] روی یک ریاضیات پشت یک پدیده پیش‌بینی شده در طبیعت با فرمول‌های فیزیک کوانتومی پدیدار شد. این آزمایش فکری پدیده‌ای را پیش‌بینی می‌کرد که آن‌قدر غیرمعمول است، که مقاله ارائه‌کننده آزمایش فکری نتیجه‌گیری می‌نمابد که ((بنابریان ما مجبوریم به این نتیجه برسیم که توصیف مکانیک کوانتومی درباره واقعیت فیزیکی که توسط توابع موج ارائه می‌گردد، کامل [۳۲] نیست.)) درهم‌تنیدگی [۳۳] به عنوان یک کلمه بعدا توسط شرودینگر به عنوان ((روابط احتمال)) زمانی که حالت کوانتومی دو سیستم فیزیکی همبسته است، ابداع شد اما توسط یک نماینده مشترک شناخته شده‌است. با این وجود، در آزمایشگاه مشاهده شد که صحیح است. انیشتین از این پدیده به عنوان ((عمل شبح‌آور در فاصله)) یاد کرد. دشواری توضیح مفهوم درهم‌تنیدگی به دیگران در فقدان قیاس در تجربه انسانی نهفته است به طوری که این مفهوم، خود نتیجه ریاضیات کاربردی است و کلمه ساخته شده، ترجمه‌ای از کلمه آلمانی است.

پیشنهاد شده است [۳۴] که دسترسی معرفت‌شناختی، یک گفتمان مهم است. گفتمان به این موضوع اشاره دارد که چگونه یک رشته خود را در بسیاری از حالت‌های نمادینی که علاوه بر زبان، به کار می‌رود، نشان می‌دهد. فراگیران بایستی توانایی خود را برای جابه‌جایی بین این نمادها، توسعه دهند. دشواری فیزیک در تعداد مفاهیمی نیست که باید یاد بگیرند بلکه در یادگیری روابط بی‌شمار میان مفاهیم است. با این حال، این ساختار به ندرت (اگر هرگز) به صراحت در فیزیک تدریس می‌گردد. همچنین [۳۵] پیشنهاد شده است که فراگیران به جنبه‌های بازنمایی کیفی موردنظر دسترسی نداشته باشند. فیزیکدانان این کار را انجام می‌دهند و به مسائل کمی بدون داشتن این نوع از درک اضافی، نزدیک می‌گردند.

در روش جایگزین، آن‌ها یک رویکرد مرتبط با فرمول را اتخاذ می‌کنند و بلافاصله با ریاضیات دست و پنجه نرم می‌کنند. این روش بدون هیچ توسلی به برخی از نمایش‌های عینی بودن فیزیکی موضوع است.

همچنین در پژوهشی [۳۶] آمده است که بسیاری از جنبه‌های بازنمایی فیزیک در تدریس بدیهی تلقی می‌گردند. اگرچه حل مسئله در سخنرانی‌ها نشان داده می‌شود، اغلب جنبه‌های نمایشی مدل‌سازی و ساختار کیفی محو می‌شوند. آن‌چه دانش‌آموزان می‌بینند، صرفا توسط مدرس نوشته شده است. این کار، صرفا نمایش ریاضی موقعیت مسئله است.

در مطالعه‌ای [۳۷] روی دانشجویان فیزیک در دانشگاهی، بازنمایی‌های کیفی برای درک فرآیندهای فیزیکی به جای نمایش‌های ریاضی مورد استفاده قرار گرفته که این روش از شیوه‌های حل مسئله دانشجویان پشتیبانی کرده که این شیوه‌ها بیش‌تر با نحوه کار فیزیک‌دانان خبره مطابقت داشت. اگر سواد کوانتومی را به عنوان یک چالش آموزشی در نظر بگیریم، آن‌گاه می‌تانیم در نظر بگیریم که چگونه می‌توان یادگیری را تسهیل نمود. زمانی که دانش قدرتمند از چنین مفاهیم متراکمی و همچنین روابط پیچیده و سلسله مراتبی بین مفاهیم، تشکیل شده و مانعی قوی برای ورود به شکل ریاضیات ارائه می‌دهد، ما این کار را با تمرکز بر اهداف آموزشی برای مدیریت این چالش‌ها از طریق بحث در مورد مزایای ابزار تجسم پازل انجام می‌دهیم. در ابزار تجسم، پازلی که ارائه می‌کنیم، عبور از مرز را از طریق حذف ریاضیات به عنوان نقطه ورود و از طریق ارائه یک ابزار یادگیری که افراد غیرعادی را نه تنها در یادگیری مشارکت داده، بلکه، آن‌ها را در

ایجاد بالقوه الگوریتم‌های کوانتومی واقعی درگیر نموده، تسهیل می‌گردد.

ما ((کارشناس اولیه)) را به عنوان نتیجه ملموس جامعه‌ای با سواد کوانتومی‌تر، پیشنهاد می‌کنیم. کسی که قادر است در فضای فرارشته‌ای که ما توصیف می‌کنیم به طور موثر عمل کند. این متخصصان اولیه علمی به دلیل درک در بالاترین سطح، علاوه بر دانش، دانشی از محاسبات کوانتومی با درجات متفاوتی دارند اما کافی است تا این درک و دانش بتواند در زمینه‌ها و رشته‌های مختلف برای رسیدگی به مشکلات و مسائل دامنه‌محور که متفاوت بوده، اعمال گردد. ظهور متخصصان اولیه در سایر زمینه‌های علم تا کنون مورد توجه قرار گرفته است اما محاسبات کوانتومی هنوز به حدی قابل دسترس نیست که بتوان گفت متخصصان اولیه در این زمینه وجود داشته، فعالیت نموده و افتخارآفرینی می‌نمایند. مردان و زنانی که دارای دانش علمی و همچنین فناوری از أنواع و همچنین درجات مختلف بوده و همچنین می‌دانند چگونه آن‌ها را در زمینه‌های مختلف به کار ببرند، در تولید دانش جدید کمک خواهند نمود. احتمالا بهترین نمونه از متخصصان اولیه در محاسبات کلاسیک، برنامه‌نویسانی هستند که اغلب آموزش رسمی در علوم کامپیوتر ندیده‌اند اما می‌دانند چگونه کد کارآمد را بر أساس تجربه و با وجود درک ناقص از فرآیندهای سطح پایین، بنویسند و سپس از مهارت‌های برنامه‌نویسی در طیف وسیعی از حوزه‌ها استفاده می‌کنند. می‌توان اشاره نمود که نمونه‌های خاصی از جوامع غیرعادی وجود دارند که تحقیقات علمی را شکل می‌دهند. از جمله می‌توان از تحلیل اپسین [۳۸] در مورد این‌که چگونه فعالان ایدز شیوه‌های تحقیقات زیست‌پزشکی را در زمینه تحقیقات ایدز تغییر دادند.

۴. ریاضیات به عنوان مانعی برای ورود

یکی از مشکلات قدیمی در برنامه درسی فیزیک، نقش سازنده‌ای است که ریاضیات در فیزیک بازی می‌کند.

روابط (ـ) بین دانش تخصصی و غیرتخصصی در رشته‌های مختلف، متفاوت است. مرزهای بین این دو دانش برای تمام اهداف عملی غیرقابل پل زدن در فیزیک است. اما نکته اصلی این است که عدم ابهام ریاضیاتی که آن‌ها استفاده می‌کنند و توانایی‌هایی که برای بیان روابط بین مفاهیم خود در قالب ریاضی دقیق ایجاد کرده‌اند، کم‌ترین نتیجه و بی‌اهمیت نمی‌باشد (ـ).

بحث در مورد دانش قدرتمند، که در بالا معرفی شد، همراه با مانع ورودی به نام دانش ریاضی موردنیاز در مکانیک کوانتومی، می‌تواند یک موضوع آموزشی درنظر گرفته شده و با آن موضوع می‌توان، مواجه شده و به پیادسازی ساختار سیستماتیک پرداخت. آموزش هنوز به عنوان بک حوزه تخصصی دانش، توسعه نیافته است، یا ین وجود می‌توان گفت اگرچه دانش را می‌توان به عنوان ظالم و بیگانه تلقی نمود، اما این خاصیت خود دانش نیست. آموزش مناسب، که تعهد یادگیرنده را با رابطه‌ای با دانش مشارکت کرده و درگیر نماید، می‌تواند پیامدهای معکوس داشته، یادگیرنده را از داشتن افکار جدید آزاد کرده و حتی باعث گردد او به ((هنوز فکر نکرده))، فکر کند.

در این‌جا لازم است به پیشنهاداتی درباره تصورات غلط رایج از مفاهیم بنیادی اشاره نماییم. دقیقا به دلیل اتکای بیش از حد به ریاضیات بیان می‌گردد که کاهش ریاضیات، فضایی را برای درک مفهومی‌تر، دقیق‌تر و جامع‌تر از چنین

حوره‌هایی فراهم می‌کند. در حالی که در همان زمان، سطح بالایی از ریاضیات برای موضوعات پیشرفته مانند مکانیک کوانتومی ضروری است.

فیزیک‌دانان دانشگاهی که مصاحبه شده‌اند، ابراز نگرانی کردند که دانشجویانی که تمام وقت خود را صرف تسلط بر ریاضیات می‌کنند، حس این رشته و یا خلاقیت و ابتکار برای پیشبرد آن را از دست می‌دهند.

دسترسی به یک زبان نشانه‌گذاری دشوار در ریاضیات به طور موثر به عنوان یک شکل قدرتمند و انحصاری از دانش عمل می‌کند که فقط برای کسانی قابل دسترس است که به خوبی در این مهارت افتخار آفریده‌اند. معادلات نشان‌گذاری، دیراک ریاضی حالت‌ها و مفاهیم کوانتومی را به طور دقیق انتقال می‌دهند، با این حال، این مطلب فراتر از دسترسی بیش‌تر مردم است. ما می‌توانیم این روند را به عنوان شکل ارزشمندی از دانش طبقه‌بندی کنیم که دسترسی به سایر أنواع یادگیری‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد و بنابراین مسائل مربوط به قرارگیری در این مفهوم با نقش پس‌زمینه مناسب است [۳۹]. با این حال، ما همچنان می‌توانیم این فضا را به عنوان شکلی از دانش طبقه‌بندی کنیم که در آن، موانع متعددی برای أنواع یادگیری وجود دارد که عمدتا بر ((عملکرد دروازه‌بان موفقیت در ریاضیات دانشگاه)) و شکلی از طبقه‌بندی قوی، متشکل از یک گفتمان بسیار تخصصی با مجموعه‌ای از قواعد درونی [۴۰] ، استوارند. دور زدن [۴۱] اشکال مرسوم ریاضیات به منظور کار مستقیم با بازنمایی‌های مواد کوانتومی، راهی امیدوارکننده برای پیشبرد سواد کوانتومی پیشنهاد می‌کند و انجام این کار می‌تواند به عنوان یک چالش مستقیم برای پیکربندی خاصی از دانش سلسله مراتبی مطرح گردد.

علاوه بر دشواری در مورد دستیابی به ریاضیات، این واقعیت نیز افزوده شده است که این مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی برای ارتباط کلامی از طریق توصیف زبانی، بسیار دشوار است. زیرا آن‌ها غیرشهودی بوده و هسته مشترک و زیرین دانش را به چالش می‌کشند به طوری که افراد غیرمتخصص می‌توانند به آن دسترسی پیدا کرده و این دانش ناشی از فیزیک کلاسیک نیوتونی بوده و همچنین این دانش تخصصی با دانش عامیانه یا عقل سلیم تعارض دارد. بنابراین اگر قرار باشد دانشی به عنوان دانش به صورت رسمی تعریف گردد، مسئله پیش‌رو تنها موضوع کسب دانش نیست [۴۲] بلکه منظور ما از درک، مفهومی کل‌نگر و شامل یک عمل خلاقانه است که دانش، اجزا را به هم پیوند می‌دهد، نظم را تحمیل کرده، مقایسه را انجام داده و تضاد را رونمایی می‌کند [۴۳] . چگونگی ترکیب دانش مورد پرسش واقع شده است. بنابراین معرفت‌شناسی درک، برای مفهوم سواد کوانتومی حیاتی است. مقایسه و تقابل، تشدید کردن، خلاصه کردن، نقل قول، تعمیم، مثال زدن تاکید کردن و مواردی از این قبیل، همگی ظرفیت‌هایی هستند که در قالب ساختار ((درک)) قرار می‌گیرند.

هر کسی که حداقل برخی از این ظرفیت‌ها را داشته باشد، نه‌تنها می‌تواند به پرسش‌ها در مورد موضوع تحقیق و پژوهش پاسخ دهد، بلکه می‌تواند پرسش‌های جدیدی را مطرح نموده و ((درک)) را افزایش دهد.

۵. ابزار تجسم پازل کوانتومی

یادگیری از طریق برخی از فعالیت‌ها، به عنوان مثال، انجام یک بازی در یک محیط دارای داربست اجتماعی از نظریه

یادگیری اجتماعی و سازگار [۴۴] استفاده می‌کند که در آن، تعامل اجتماعی، نقش اساسی در رشد شناخت دارد. دانشجویان با درگیر شدن در فعالیت‌های حل پازل تحقیقی، با ساختن فعالانه دانش خود از طریق تجربه، درک جدیدی به دست می‌آورند. استفاده از پازل، متکی بر حل مسئله به عنوان وسیله‌ای است که از طریق آن، می‌توان مفاهیمی را که با استفاده از وسیله‌های دیگر برای یادگیری، چالش‌برانگیز هستند، به آسانی و بدون اطلاق عنوان چالش‌برانگیز، یادگرفت. ((یادگیری مبتنی بر بازی)) از محتوای بازسازی‌شده برای دستیابی با اهداف آموزشی استفاده می‌کند [۴۵]. سه موضوع مثبت مربوط به استفاده از بازی‌سازی در آموزش و در ادبیات آن نشان داده شده است که پیشرفت یادگیری، انگیزه و مشارکت، و تعامل و ارتباط اجتماعی از این مواردند. هنگام طراحی بازی‌ها برای زمینه آموزشی، درنظر گرفتن نتایج یادگیری یا رفتاری تکلیف بازی‌سازی شده ضروری است [۴۶]. مطالعات روی آموزش جنبه‌های مختلف مکانیک کوانتومی نشان داده‌اند که یادگیری از طریق مفاهیم بازی‌سازی شده، می‌تواند انگیزه یادگیری را افزایش داده و نتایج یادگیری را بهبود بخشد [۴۷]. همچنین نشان داده شده است [۴۸] که چنین روش‌هایی می‌توانند همکاری بین رشته‌ها را تقویت کنند.

در پژوهشی [۴۹] آمده است که استفاده از بازی‌های پازل برای توصیف پدیده‌های فیزیکی در توضیح مشاهدات خاص در فیزیک، مانند بهینه‌سازی از راه دور اتم‌های فوق سرد با محدودیت سرعت کوانتومی [۵۰] توسط متخصصان و دانشمندان [۵۱] انجام شده است.

این بازی‌ها مخصوص حل مشکلات خاص هستند. با این حال، ابزار پازل مورد بحث در این مقاله، از نظر دامنه، کامل بودن، ادغام و توصیف بصری فیزیک کوانتومی متفاوت هستند. بنابراین این روش، به عنوان یک روش جایگزین برای ایجاد هر نوع پازلی است زیرا که براساس فیزیک کوانتومی است. حل پازل‌ها به دانشجویان اجازه می‌دهد تا دینامیک را مشاهده کرده و روش‌های حل پازل را بدون نیاز به درک چارچوب ریاضی از پس‌زمینه آن، بیاموزند. ابزار تجسم مبتنی بر پازل که معرفی نمودیم، اولین اثری نیست که ریاضیات مکانیک کوانتومی را به صورت تصویری بیان می‌کند. برای مثال، کارهای قابل توجهی روی محاسبات گرافیکی [۵۲]، و محاسبات گرافیکی مرتبط [۵۳] در حال انجام است. در واقع، عملیات ماتریسی حتی به صورت روشی مشابه ابزار ما در جامعه محاسبات گرافیکی عمل نموده است [۵۴] [۵۵] . در حالی که هدف تکنیک‌های ما، آموزش افراد غیرمتخصص کوانتومی در مورد محاسبات کوانتومی است، هدف اولیه کار قبلی، ارائه ابزارهای قدرتمندتر برای کسانی است که قبلا متخصص ریاضی قلمداد می‌شدند. یکی از استثناها برای این نوع الگوها و روش‌ها، ابزار گرافیکی توسعه یافته [۵۶] برای طراحی کدهای تصحیح خطای کوانتومی می‌باشد.

ما پیشنهاد می‌کنیم که کل دانش موردنیاز برای یادگیری و کار با محاسبات کوانتومی را می‌توان از طریق ترکیبی از شهود حاصل از فرآیند درگیرشدن و مشارکت با بازی پازل، در کنار انتقال داربستی مفاهیم به‌دست آورد. دانش در مراحل خاص بازی ما، با تکیه بر درک اهمیت یادگیری فعال در علم، مفهوم‌سازی چند وجهی از آن‌چه برای آن یادگیری ممکن است و مفهوم‌سازی چندوجهی درباره این‌که چگونه یادگیری ممکن است، آشکار می‌شود [۵۷] [۵۸] . هدف نهایی از ایجاد این رویکرد یادگیری جدید برای محاسبات کوانتومی، این است که افراد غیرمتخصص را قادر می‌سازد تا یک روش بصری اما همچنان دقیق و با تعامل کم ایجاد نمایند.

جایگاه محاسبات کوانتومی جهانی بوده و تسهیلاتی را برای افراد غیرمتخصص به منظور کشف الگوریتم‌های کوانتومی پیچیده و جدید ایجاد می‌نماید. تصاویر، تقریبی از واقعیت نبوده، بلکه نشان‌دهنده آن‌چه هستند که در دنیای کوانتومی

اتفاق می‌افتد.

موتور بازی مبتنی بر تجسم ریاضیات، ماتریسی است که در پس‌زمینه آن، نمایش‌های حالت کوانتومی قرار دارند. این نمایش در اصطلاح کامل است. این مطلب بدین معناست که می‌تواند تمامی حالت‌های کوانتومی را منزوی نشان دهد. درک محاسبات کوانتومی دشوار است. زیرا در حالی که به طور کلاسیک، امکان دستیابی به یک نتیجه با استفاده از روش‌های اضافی و بیش‌تر، فقط می‌تواند احتمال وقوع آن نتیجه را افزایش دهد، از نظر مکانیک کوانتومی، یک راه اضافی برای رسیدن به یک نتیجه می‌تواند منجر به تداخل مخرب شده و باعث کاهش احتمال تا رسیدن به صفر شود. توصیف این أصول جدید در کلمات و معادلات سنتی دشوار بوده است اما یک ابزار تجسم هر دو مسئله را دور زده و یادگیرندگان را قادر می‌سازد تا درک شهودی را از مفاهیم به دست آورند.

فیزیک‌دانان کوانتومی از ضرب ماتریس-بردار برای محاسبه اثر یک تغییر (ماتریسی از اعداد مختلط) بر روی یک حالت کوانتومی (بردار اعداد مختلط) استفاده می‌کنند.

تغییراتی که در یک نظم خاص اجرا می‌شوند، شامل محاسبات کوانتومی می‌گردند.

ماتریس‌هایی که محاسبات کوانتومی عمومی را نشان می‌دهند، به صورت یال‌هایی در یک گراف دوبخشی (نقشه بصری) نشان داده می‌گردند. رنگ‌ها و اندازه‌های توپ‌هایی که در ابزار پازل برای نشان دادن حالت‌های کوانتومی استفاده می‌شوند، اعداد مختلط مورداستفاده در تعریف حالت‌های کوانتومی را رمزنگاری می‌کنند به طوری که رنگ نشان‌دهنده فازها و اندازه نشان‌دهنده دامنه است. گراف‌ها حاوی اطلاعاتی مشابه با ماتریس‌ها هستند اما به گونه‌ای هستند که استفاده از آن‌ها، شهودی‌تر بوده، مانند هر پازل بصری و بدون نیاز به دانش ریاضی برای درک، پردازش و استفاده از آن‌ها عملکرد قابل‌قبولی دارند.

گراف‌ها در ابزار پازل به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی برهمکنش بین توپ‌هایی هستند که حالت‌های کوانتومی دارند و همچنین به نمایش ماتریس‌ها می‌پردازند. ترتیب تغییرات اعمال شده در حالات کوانتومی (ترتیب ضرب‌های ماتریس-بردار) در ابزار پازل در زمان واقعی از طریق تکامل توپ‌ها و گراف‌ها به نمایش در می‌آید. توپ‌ها همیشه از ابتدا تا انتها از نمودارها عبور می‌کنند که نشان‌دهنده نظم و دینامیک مدار کوانتومی در پردازش اطلاعات است. دانشجو می‌تواند با افزودن قطعات پازل، ماتریس‌هایی به شکل بصری که تغییرات حالت را نشان می‌دهد، تغییراتی را در نمودارها در هر نقطه از مدار انجام دهند که معادل با طراحی یک فیزیک‌دان کوانتومی برای یک مدار کوانتومی برای رسیدن به یک هدف است. در ابزار پازل، هدف به عنوان تعداد، موقعیت، رنگ و اندازه توپ‌هایی که باید به انتهای نمودار برسند، توصیف می‌شود. با استفاده از این ابزار، مسائلی که توسط فیزیک‌دانان به عنوان مشکلات جمع‌اوری یا تجزیه حالت شناخته می‌شوند، بدون نیاز به دانش قبلی در این زمینه به صورت بصری انجام می‌شوند و به افراد غیرمتخصص این امکان را می‌دهد که پس از آشنایی با نمایش بصری، الگوریتم‌های کوانتومی را ایجاد کنند.

از این ابزار تجسم، دانشجویان می‌توانند با استفاده از آزمون و خطا، در مورد أصول اساسی مکانیک کوانتومی مانند

برهم نهی و تداخل، بیاموزند. زیرا دانشجویان سعی دارند که پازل‌هایی را حل کنند که از چنین پدیده‌هایی در فیزیک استفاده می‌کنند. درهم‌تنیدگی و برهم نهی، پدیده‌هایی هستند که در هسته و چارچوب نظری مکانیک کوانتومی قرار دارند. از این رو، ابزار پازل به نمایش چنین پدیده‌هایی می‌پردازد. از طریق نتایج بصری، پویایی‌هایی که دانشجو تنظیم کرده و از آن استفاده می‌کند، نیز وجود دارد. از آن‌جایی که ابزارهای سطح بالا برای محاسبات کوانتومی هنوز به طور کامل توسعه نیافته‌اند، درک بلوک‌های سازنده اساسی، بسیار مهم است.

پویایی فرآیندهای کلاسیک ضدشهودی مانند تقویت فاز را می‌توان به طور مستقیم با درگیر شدن با ابزار بصری و حل پازل درک کرد.

ابزار تجسم، مدارهای کوانتومی را به نحوی نشان می‌دهد که شامل دروازه‌های خاصی هستند و بنابراین برای محاسبات کوانتومی، عمومی هستند. این واقعیت که بازی، یک نمایش کامل و دقیق از مکانیک کوانتومی است، لزوما سیستم‌ها را با اندازه‌های کوچک، محدود می‌کند (اگر بازی دقیقا می‌توانست رایانه‌های کوانتومی بزرگ را شبیه‌سازی کند، ما به رایانه‌های کوانتومی بزرگ نیاز نداشتیم). با این حال، نمونه‌های کوچک می‌توانند فرآیند شهودی را برای سیستم‌های بزرگ‌تر ایجاد کنند.

بنابراین این روند، دروازه‌ای برای یادگیری بیش‌تر است زیرا اعداد مختلط و جبر خطی را در قالب قابل دسترس‌تری ارائه می‌دهد.

۶. مشکل در درک فرآیندهای مکانیک کوانتومی در زبان و ریاضیات

از آن‌جایی که مکانیک کوانتومی زیربنای بخش زیادی از درک ما از واقعیت است، جذابیت انبوهی دارد. اغلب مورد توجه کسانی است که سطح ریاضیات و فیزیک آن‌ها به صورتی است که مهارت لازم را برای درک کامل آن را نداشته و بدین وسیله به راحتی مستعد ایجاد تصورات نادرست هستند. ما نشان می‌دهیم که (-) چگونه می‌توان این مسئله را با توصیف اثری پژوهشی دور زد. ما این کار را ابتدا با قیاس به یک مثال کلاسیک انجام می‌دهیم» پرتاب توپ روی یک شکاف و به دنبال آن، یک توصیف ریاضی ساده شده از آزمایش واقعی که شامل فوتون‌ها (ذرات نور) است که از طریق یک تقسیم‌کننده پرتو حرکت می‌کنند. سپس نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان همان مجموعه اطلاعات را با استفاده از ابزار تجسم پازل منتقل کرد.

یکی از رایج‌ترین تصورات غلط این است که محاسبات کوانتومی به سادگی با همه آزمایش‌ها و همه احتمالات به طور همزمان کار کرده و راه‌حل مناسب را انتخاب می‌کنند. اما این بیانیه کلیدی پیرامون حقیقت را در خود جای داده‌اند. واقعیت به این سادگی نیست. در حالی که سیستم‌های کوانتومی می‌توانند دربرهم نهی‌های حالت‌های کلاسیک مختلف وجود داشته باشند، یافتن و خواندن یک راه‌حل، به پدیده‌ای به نام تداخل نیاز دارد. به طور کلاسیک، احتمالات فقط می‌توانند اضافه کنند. یک مسیر اضافی به یک نتیجه، آن نتیجه را متحمل‌تر می‌کند و مسیر کم‌تر هرگز بدین شکل عمل نمی‌کند. اجازه دهید به عنوان مثال، موقعیتی را در نظر بگیریم که در آن توپ را روی یک شکاف‌دهنده قرار داده و سپس پرتاب می‌کنیم. پس از برخورد با جداکننده، توپ‌ها می‌توانند به چپ یا راست بپرند—

۷. نظرات پایانی

ابزار بصری که در این مقاله مورد بحث قرار گرفت، احتمالا مزایایی فراتر از علم اطلاعات کوانتومی نیز دارد. به عنوان مثال، مفهوم فاز کوانتومی در قلب بسیاری از پدیده‌های کوانتومی مهم در موضوعات مختلف از جمله شیمی، علم مواد و زیست‌شناسی نهفته است. علاوه براین، همان‌طور که در مثالی در این مقاله بحث شد، این روش‌ها به دانشجویان یاد می دهند که به صورت انتزاعی فکر کرده و به پدیده‌های سیستم‌های فیزیکی بسیار متفاوت اجازه دهند تا توسط دینامیک زیربنایی به هم متصل شوند. در مثالی ما مفهومی را انتزاع نمودیم تا جهتی را که ذرات نور در آن حرکت می‌کنند، نشان دهیم. به همین روش و به آسانی، حالت‌های چرخشی الکترون‌ها یا سطوح انرژی در یک سیستم شیمیایی می‌توانند مورد مطالعه باشند. این انتزاع، امکان تقلیل یک سیستم را به رفتارهای اساسی و حیاتی را فراهم نموده و اجازه می‌دهد تا شهود در این تصویر ساخته شود. در حالی که ما تصمیم گرفته‌ایم که در رابطه با مفهوم سواد کوانتومی و نقش آن در حل مسائل فرارشته‌ای متمرکز بر روی مکانیک کوانتومی مطالعه داشته باشیم، شایان ذکر است که نمایش ما برای همه سیستم‌های خطی از طریق استفاده اساسی از ماتریس‌ها عمومی است.این مورد شامل دسته‌ای از سیستم‌ها است که شامل بسیاری از سیستم‌های کلاسیک مانند مدارهای الکتریکی، اجسام دوار، سیستم‌های توپ، فنر و موارد مشابه می‌گردد که اغلب دانشجویان در یادگیری با آن‌ها، مواجه می‌شوند.

در حالی که کاوش کامل در مورد چگونگی نمایش این نوع از سیستم‌ها با استفاده از ابزار معرفی شده در این مقاله، فراتر از محدوده کار ما قلمداد می‌گردد، اما احتمالا می‌توانند به عنوان پیشنهادات مثمرثمرتر باشند.

از طریق نمایش دقیق این که چگونه این ابزار تجسم پازل می‌تواند مفاهیم اساسی را در بستر محاسبات کوانتومی منتقل کند، ما یک پاسخ آموزشی و آزمایشی فراهم آورده که برای چالش دانش محدود سلسله مراتبی و ریاضیات پیچیده به عنوان مانعی برای ورود به حوره محاسبات کوانتومی، تدوین و اجرا شده و نشان می‌دهد که مشمول آزمایش‌های بیش‌تر نیز خواهد شد.. ما پیشنهاد می‌کنیم که آموزش می‌تواند با استفاده از چنین رویکرد بصری در ارتباط با یادگیری، در زمینه به توسعه خود کمک نماید. به این ترتیب، از االهداف سواد کوانتومی، همان‌طور که در این مقاله معرفی شده‌اند، پشتیبانی می‌گردد. سواد کوانتومی یک مفهوم جدید است که از طریق آن می‌توان نظریه هنجاری تخصص را در حوزه مهم مکانیک کوانتومی و فناوری‌های مرتبط با آن در نظر گرفت. با مسئله‌سازی و پیش‌زمینه‌سازی آموزش، همان‌طور که در این مقاله انجام پذیرفته است، ویژگی‌های معرفت‌شناختی مربوط به آموزش بیان‌گر این مطلب است که چگونه می‌توان آموزش و یادگیری فراگیرتر را در این زمینه توسعه داده و از این رو، دسترسی گسترده‌تری را به دانش قدرتمندی که زیربنای فناوری‌های کوانتومی است، فراهم آوریم. یادآوری می‌گردد که در این مقاله، ما یک ابزار تجسم پازل ابتکاری را برای کشف فرآیندی ایجاد کرده که توسط آن، افراد غیرمتخصص در مکانیک کوانتومی درک خود را از تفکر محاسبات کوانتومی توسعه می‌دهند. ما همچنین از مفهومی در این مقاله بهره بردیم که زیرمجموعه‌ای از دروازه‌های کوانتومی است. یادآوری می‌گردد که دروازه‌های کوانتومی، ماتریس‌های پیچیده‌ای هستند که تغییری را به حالت کوانتومی تحمیل می‌کنند. زیرمجموعه‌ای از دروازه‌های کوانتومی که در این مقاله استفاده شد، به طور کارآمد و به شکل کلاسیک قابل شبیه‌سازی هستند. گنجاندن حداقل یک دروازه با نوع مخالف، شبیه‌سازی مدارها را به صورت کلاسیک سخت می‌کند. در ابزار پازل، این دروازه‌ها، قطعات پازلی هستند که دانشجو می‌تواند به هر ترتیبی قرار دهد. همچنین ما از شکاف پرتو بهره بردیم که

فوتون را مجبور می‌کند یا از آن پرش کند یا از آن عبور کند. این مقاله در مورد دانش فیزیکی صحبت می‌نماید که به طور تاریخی و برای مدت طولانی برای درک آزمایش موردنیاز بوده است. یکی از جنبه‌های مهم کار با محاسبات کوانتومی این است که بتوانیم پدیده‌های فیزیکی یا مسائل جهانی از هر نوعی را در حالت‌های کوانتومی که با رشته‌های بیتی صفر و یک نشان داده می‌شوند، رمزگذاری کرده تا این رشته‌ها راه‌حل مشکل باشند. الگوریتم کوانتومی فرآیند یافتن آن راه‌حل‌ها هستند.

۸. نتیجه‌گیری

در این مقاله، ما مفهوم سواد کوانتومی را به عنوان مسیری نوآورانه برای بهبود دانش و درک، با یک ابزار یادگیری مرتبط طراحی شده برای دور زدن دانش تخصصی که در حال حاضر از درک گسترده‌تر محاسبات کوانتومی و در نتیجه کاربردهای آن جلوگیری می‌کند، معرفی می‌نماییم. ما استدلال می‌کنیم که سواد کوانتومی می‌تواند به هدف توسعه پایدار آموزش با کیفیت کمک کند. ما این را نه تنها از نظر هدف فراگیر آن، اساسی می‌دانیم: ((دسترسی به آموزش فراگیر می‌تواند به مردم محلی کمک کند تا ابزارهای موردنیاز را برای توسعه راه‌حل‌های نوآورانه برای بزرگ‌ترین مسائل جهان تجهیز کنند.)). همچنین این موضوع می‌تواند به دسترسی به دانش و درک قدرتمندی که در سطح اجتماعی به منظور پیشرفت بیش‌تر در رابطه با سایر اهداف توسعه پایدار موردنیاز است، رسیدگی نماید. ما این رویکرد را از طریق گفت‌وگوی مشترک بین رشته‌ها توسعه داده‌ایم که درنظرگرفتن ماهیت فرارشته‌ای مشکلات پیچیده‌ای که در قلب مسائل پیرامون پایداری جهانی با آن مواجه هستیم، ضروری است. ما نتیجه‌گیری می‌کنیم که دانش بسیار محدود و فهرست ویژه‌ای که رشته‌هایی مانند فیزیک را مشخص می‌کند، نیازی به جلوگیری از رویکردهای آموزشی نوآورانه برای گسترش درک پایه در چنین زمینه‌هایی و همچنین تضمین دسترسی هر چه بیش‌تر را در جامعه ندارد.

۹. قدردانی

از افراد یا سازمان‌هایی که ما را در انجام پژوهش یاری کرده‌اند در این قسمت سپاسگزاری می‌نماییم.

بسیاری از تحقیقاتی که در این بررسی توضیح داده شده است از کار در دوره‌های مختلف، الهام گرفته شده است.

کار توسط همکاران مزبور بر روی کار عملی (از جمله تحصیل در مقطع دکترا)، از طریق حمایت و مشاوره بسیار تحت تاثیر قرار گرفته و در گسترش دامنه کار عملی و ایجاد دیدگاه انتقادی در مورد اثربخشی آموزشی ریاضیات کمک کرد.

در نهایت از دوستان، همکاران و دانشجویان که بسیار مفید بوده و در طول سال‌ها به رشد این موضوع کمک کرده‌اند و در بسیاری از این مطالعات تحقیقاتی در ارتباط با جامعه علمی همکاری کرده‌اند، سپاسگزاری می‌نماییم.

۱۰. مراجع

[۱] نیکفر، م.ا.، ۱۴۰۴، شکل‌دهی ریاضیدان با پس‌زمینه هوش مصنوعی با استفاده از یادگیری ماشین، اولین همایش بین‌المللی هوش مصنوعی در آموزش‌وپرورش، روانشناسی، علوم تربیتی و مطالعات دینی، فرهنگی، اجتماعی و مدیریتی در هزاره سوم، بوشهر.
https://vcert.ir?cc=maeconf2-01250295

[۲] نیکفر، م.ا.، ۱۴۰۳، مدل خبره برای تولید محتوا در آموزش ریاضیات، اولین کنفرانس ملی معلم خبره، بابل.
https://new.vcert.ir/?cc=confn-09000917

[۳] نیکفر، م.ا.، ۱۴۰۳، اهمیت آزمایشگاه در پیشرفت، پیاده‌سازی و پژوهش در آموزش شیمی، ششمین همایش ملی آموزش شیمی، تهران.
https://chemconf6.cfu.ac.ir/paper?manu=34242

[۴] نیکفر، م.ا.، ۱۴۰۳، اهمیت آزمایشگاه در پیشرفت، پیاده‌سازی و پژوهش در آموزش فیزیک، سیزدهمین همایش ملی فیزیک دانشگاه پیام نور، شیراز، ۵۵۸-۵۷۲.
[ID: 12491] https://conference.pnu.ac.ir/Fars-NationalConferenceonPhysics13/

[۵] نیکفر، م.ا.، ۱۳۹۷، تاثیرات ریاضیات بر علوم کامپیوتر، دومین کنفرانس آموزش و کاربرد ریاضیات، کرمانشاه.
https://civilica.com/doc/824659

[6] QT SAB (Quantum Technologies Strategic Advisory Board). 2015. *A Roadmap for Quantum Technologies in the UK*. Innovate UK and Engineering and Physical Sciences Research Council. https://epsrc.ukri.org/newsevents/pubs/quantumtechroadmap/

[7] Knight, P., and I. Walmsley. 2019. "UK National Quantum Technology Programme." *Quantum Science and Technology* 4 (4): 040502. doi:10.1088/2058-9565/ab4346.

[8] Klein, J. T. 2013. "The Transdisciplinary Moment (Um)." *Integral Review* 9 (2): 189–199.

[9] Hoffmann-Riem, H., S. Biber-Klemm, W. Grossenbacher-Mansuy, G. H. Hadorn, D. Joye, C. Pohl, D. Joye, U. Weismann, and E. Zemp. 2008. "Idea of the Handbook." In *Handbook of Transdisciplinary Research*, edited by G. H. Hadorn, H. Hoffmann-Riem, S. Biber-Klemm, W. Grossenbacher-Mansuy, D. Joye, C. Pohl, D. Joye, U. Weismann, and E. Zemp, 3–17. Dordrecht: Springer.

[10] Kandala, A., A. Mezzacapo, K. Temme, M. Takita, M. Brink, J. M. Chow, and J. M. Gambetta. 2017. "Hardware-efficient Variational Quantum Eigensolver for Small Molecules and Quantum Magnets." *Nature* 549 (7671): 242–246. https://arxiv.org/pdf/1704.05018.pdf

[11] Stollenwerk, T., E. Lobe, and M. Jung. 2019. "Flight Gate Assignment with a Quantum Annealer." International Workshop on Quantum Technology and Optimization Problems, 99–110. New York: Springer.

[12] Chancellor, N., Szoke, S., Vinci, W., Aeppli, G., & Warburton, P. A. 2016. Maximum-entropy inference with a programmable annealer. *Scientific Reports*,*6*, 22318.

[13] O'Malley, D. 2018. "An Approach to Quantum-computational Hydrologic Inverse Analysis." *Scientific Reports* 8 (1): 1–9.

[14] Grover, L. K. 1996. "A Fast Quantum Mechanical Algorithm for Database Search." *Proceedings of the Twenty-Eighth Annual ACM Symposium on Theory of Computing*: 212–219. doi:10.1145/237814.237866.

[15] Shor, P. W. 1999. "Polynomial-time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer." *SIAM Review* 41 (2): 303–332. doi:10.1137/S0036144598347011.

[16] Montanaro, A. 2016. "Quantum Algorithms: An Overview." *Npj Quantum Information* 2 (1): 1–8. doi:10.1038/npjqi.2015.23.

[17] Jordan, S. 2020. Quantum Algorithm Zoo. https://quantumalgorithmzoo.org/

[18] Kendon, V. 2020. "Quantum Computing Using Continuous-time Evolution." *arXiv:2004.00704. arXiv Preprint*.

[19] Downes, L. A., A. R. MacKellar, D. J. Whiting, C. Bourgenot, C. S. Adams, and K. J. Weatherill. 2020. "Full-Field Terahertz Imaging at Kilohertz Frame Rates Using Atomic Vapor." *Physical Review* 10 (1): 011027. doi:10.1103/PhysRevX.10.011027.

[20] Ludlow, A. D., M. M. Boyd, J. Ye, E. Peik, and P. O. Schmidt. 2015. "Optical Atomic Clocks." *Reviews of Modern Physics* 87 (2): 637. doi:10.1103/RevModPhys.87.637.

[21] Minder, M., M. Pittaluga, G. Roberts, M. Lucamarini, J. F. Dynes, Z. Yuan, and A. J. Shields. 2019. "Experimental Quantum Key Distribution beyond the Repeaterless Secret Key Capacity." *Nature Photonics* 13 (5): 334–338. doi:10.1038/s41566-019-0377-7.

[22] Young, M., and J. Muller. 2013. "On the Powers of Powerful Knowledge." *Review of Education* 1 (3): 229–250. doi:10.1002/rev3.3017.

[23] Maton, K. 2013. *Knowledge and Knowers: Towards a Realist Sociology of Education*. Abingdon: Routledge.

[24] Moore, R., M. Arnot, J. Beck, and H. Daniels, eds. 2006. *Knowledge, Power and Educational Reform: Applying the Sociology of Basil Bernstein*. Abingdon: Routledge.

[25] Young, M. 2013. "Overcoming the Crisis in Curriculum Theory: A Knowledge-based Approach." *Journal of Curriculum Studies* 45 (2): 101–118. doi:10.1080/00220272.2013.764505.

[26] Yates, L., and V. Millar. 2016. "'Powerful Knowledge' Curriculum Theories and the Case of Physics." *The Curriculum Journal* 27 (3): 298–312. doi:10.1080/09585176.2016.1174141.

[27] White, J. 2012. *Powerful Knowledge: Too Weak a Prop for the Traditional Curriculum*. New Visions for Education Group. http://www.newvisionsforeducation.org.uk/2012/05/14/powerful-knowledge- too-weak-a-prop-for-the-traditionalcurriculum/

[28] Wheelahan, L. 2007. How competency-based training locks the working class out of powerful knowledge: A modified Bernsteinian analysis. *British Journal of Sociology of Education*, 28(5): 637–651. https://doi.org/10.1080/01425690701505540

[29] Bernstein, B. 1999. "Vertical and Horizontal Discourse: An Essay." *British Journal of Sociology of Education* 20 (20): 157–173.

[30] Conana, H., D. Marshall, and J. M. Case. 2016. "Exploring Pedagogical Possibilities for Transformative Approaches to Academic Literacies in Undergraduate Physics." *Critical Studies in Teaching and Learning* 4 (2): 28–44. doi:10.14426/cristal.v4i2.73.

[31] Einstein, A., B. Podolsky, and N. Rosen. 1935. "Can Quantum-mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?" *Physical Review* 47 (10): 777. doi:10.1103/PhysRev.47.777.

[32] Schrödinger, E. 1935. "Discussion of Probability Relations between Separated Systems." In *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 31 vols., 555–563. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/S0305004100013554. https://doi.org/10.1017/ S0305004100013554

[33] Einstein, A. 1947. "The Born-Einstein Letters; Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916 to 1955. Walker, New York, 1971; Cited in Buhrman, H., Cleve, R., and Van Dam, W. 2001. Quantum Entanglement and Communication Complexity." *SIAM Journal on Computing* 30 (6): 1829–1841. doi:10.1137/S0097539797324886.

[34] Morrow, W. 1993. "Epistemological Access in the University." *AD Issues* 1 (1): 3–4.

[35] Lindstrøm, C. 2010. "Mapping the Hierarchy: Advancing the Theoretical and Practical Understanding of the Hierarchical Knowledge Structure of Physics." Sixth International Basil Bernstein Symposium, Brisbane, Australia.

[36] Rosengrant, D., E. Etkina, and A. Van Heuvelen. 2007. "An Overview of Recent Research on Multiple Representations." *AIP Conference Proceedings* 883 (1): 149–152. doi:10.1063/1.2508714.

[37] Nowotny, H. 1993. "Socially Distributed Knowledge: Five Spaces for Science to Meet the Public."*Public Understanding of Science* 2 (4): 307–319.

[38] Epstein, S. 1996. *Impure Science: AIDS, Activism, and the Politics of Knowledge*. 7 vols. Berkeley: University of California Press.

[39] Young, M., and J. Muller. 2010. "Three Educational Scenarios for the Future: Lessons from the Sociology of Knowledge." *European Journal of Education* 45 (1): 11–27. doi:10.1111/j.1465- 3435.2009.01413.x.

[40] Straehler-Pohl, H., and U. Gellert. 2013. "Towards a Bernsteinian Language of Description for Mathematics Classroom Discourse." *British Journal of Sociology of Education* 34 (3): 313–332. doi:10.1080/01425692.2012.714250.

[41] Bernstein, B. 1996. *Pedagogy, Symbolic Control, and Identity: Theory, Research, Critique*. London: Taylor and Francis.

[42] Ryle, G. 1946. *Knowing How and Knowing that Gilbert Ryle: Collected Papers*. 2 vols., 212–225. Salen, NH: Barnes and Noble.

[43] Cooper, N. 1995. "The Epistemology of Understanding." *Inquiry* 38 (3): 205–215.

[44] Vygotsky, L. S. 1997. *The Collected Works of LS Vygotsky: Problems of the Theory and History of Psychology*. 3 vols. New York: Springer.

[45] Zainuddin, Z., S. K. W. Chu, M. Shujahat, and C. J. Perera. 2020. "The Impact of Gamification on Learning and Instruction: A Systematic Review of Empirical Evidence." *Educational Research Review*: 100326. doi:10.1016/j.edurev.2020.100326.

[46] Schöbel, S., A. Janson, K. Jahn, B. Kordyaka, O. Turetken, N. Djafarova, and P. Heiberg Gad. 2020. "A Research Agenda for the Why, What, and How of Gamification Designs Results on an ECIS 2019 Panel." *Communications of the Association for Information Systems*. https://www.alexandria.unisg.ch/publications/258977

[47] Eggers Bjælde, O., M. Kock Pedersen, and J. Sherson. 2015. "Gamification of Quantum Mechanics Teaching." *arXiv:1506.08128. arXiv Preprint*.

[48] Magnussen, R., S. Damgaard Hansen, K. Grønbæk, K. Mølmer, and J. Friis Sherson. 2012. "Game-based Research Collaboration Adapted to Science Education." In *Proceedings GLS 8.0 Games + Learning + Society Conference*, edited by C. Martin, 431–436. Madison, Wisconsin: ETC Press.

[49] Heck, R., O. Vuculescu, J. J. Sørensen, J. Zoller, M. G. Andreasen, M. G. Bason, and L. L. Nielsen. 2018. "Remote Optimization of an Ultracold Atoms Experiment by Experts and Citizen Scientists." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (48): E11231–E11237. doi:10.1073/pnas.1716869115.

[50] Sørensen, J. J. W., M. K. Pedersen, M. Munch, P. Haikka, J. H. Jensen, T. Planke, and J. F. Sherson. 2016. "Exploring the Quantum Speed Limit with Computer Games." *Nature* 532 (7598): 210–213.

[51] Lieberoth, A., M. K. Pedersen, A. C. Marin, T. Planke, and J. F. Sherson. 2015. "Getting Humans to Do Quantum Optimization-user Acquisition, Engagement and Early Results from the Citizen Cyberscience Game Quantum Moves." *arXiv:1506.08761. arXiv Preprint*.

[52] Coecke, B., and R. Duncan. 2011. "Interacting Quantum Observables: Categorical Algebra and Diagrammatics." *New Journal of Physics* 13 (4): 043016. doi:10.1088/1367-2630/13/4/043016.

[53] Backens, M., and A. Kissinger. 2018. "ZH: A Complete Graphical Calculus for Quantum Computations Involving Classical Non-linearity." *arXiv:1805.02175*.

[54] Zanazi, F. 2015. "Interacting Hopf Algebras: The Theory of Linear Systems." PhD diss., University of Lyon. https://arxiv.org/abs/1805.03032

[55] Bonchi, F., P. Sobocinski, and F. Zanazi. 2017. "Interacting Hopf Algebras." *Journal of Pure and Applied Algebra* 221 (1): 144–184. doi:10.1016/j.jpaa.2016.06.002.

[56] Roffe, J., S. Zohren, D. Horsman, and N. Chancellor. 2019. "Quantum Codes from Classical Graphical Models." *IEEE Transactions on Information Theory* 66 (1): 130–146. doi:10.1109/TIT.2019.2938751.

[57] Wieman, C., and K. Perkins. 2005. "Transforming Physics Education." *Physics Today* 58 (11): 36. http:// www.physicstoday.org/vol-58/iss-11/p36.shtml

[58] Van Heuvelen, A. 1991. "Learning to Think like A Physicist: A Review of Research-based Instructional Strategies." *American Journal of Physics* 59 (10): 891–897. doi:10.1119/1.16667.