دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکدهٔ علوم- بخش فیزیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش بنیادی)

رهیافت کوانتومی برای توصیف مکانیسم حافظه تصویری در مغز انسان

استاد راهنما:

دکتر مجید رهنما

مؤلف:

پیمان سردار

تیر 88

تقدیم به

آنان که در احساسم ملموس ترین

در روحم شریک

و در قلبم نزدیک ترینِ آدم ها هستند،

و تقدیم به آنان که بزرگ ترین پشتوانه زندگی ام هستند:

خانواده عزیزم

سپاسگزاری

سپاس و ستایش پروردگار منان که به انسان قدرت اندیشیدن و انسان بودن بخشید، خداوند یکتایی که امید به بزرگی و عظمتش، همیشه بزرگترین تکیه گاهم است. در اینجا از پدر و مادر عزیزم که به من زندگی بخشیدند و آرامش را به من هدیه کرده اند و انسانیت را آموخته اند و از خواهران عزیزم و خانواده هایشان که با بودنشان به زندگی‌ام ارزش می بخشند، تشکر می کنم. از استاد راهنمای عزیزم آقای دکتر مجید رهنما که در سطر سطر این پایان نامه حمایت و هدایتم کردند و نیز به خاطر الگوی باارزشی از دلسوز بودن و مهربانی که برایم به جا گذاشته اند، نهایت قدردانی را دارم. از جناب آقای دکتر میرزایی و دکتر تراز به خاطر بزرگواریشان و اینکه قبول زحمت کردند و داوری این پایان نامه را بر عهده گرفتند و همچنین از دکتر شجاعی که حضور شان برای بنده افتخار بزرگی بود، سپاسگزاری می کنم. از آقای مهندس محمود فلاح به خاطر انسانیت و بزرگواریشان و نیز به خاطر دریافت بورس تحصیلی نخبگان کارشناسی ارشد تشکر و قدردانی می کنم و نیز از آقایان دکتر شیبانی و دکتر کلانتری و اساتید محترم مؤسسه تحقیقات افضل سپاسگزاری می کنم. از آقای سالاری و خانم ارکان به خاطر حمایت هایشان و اطلاعات ارزشمندی که در اختیار بنده قرار دادند، تشکر و قدردانی می کنم و برای همه این بزرگواران آرزوی سلامتی، شادابی و خوشبختی را دارم.

چکیده

در این پایان نامه، فیزیولوژی حافظه و یادگیری مورد بحث قرار گرفته است و سعی داریم سازوکار واقعی حافظه و فرآیندهای مرتبط با آن را دریابیم. اگرچه بررسی کلاسیکی این فرآیندها موفقیت‌هایی داشته است، اما جنبه‌های واقعی رخ دادن این پدیده‌های مغزی توصیف نشده‌اند و علوم کلاسیک به سادگی نمی‌توانند آنها را تشریح کنند. همچنین چندین مدل کوانتومی نسبتاً موفق در زمینه توجیه آگاهی و عملکردهای مغزی (مخصوصاً حافظه) بررسی شده است. سپس یک مدل کوانتومی نوین و یکپارچه ارائه می‌دهیم که می‌تواند این پدیده‌های مغزی را توضیح دهد و مواردی را که علوم اعصاب (به خاطر محدودیت‌های بنیادینش) قادر به توجیه آن نیست، توصیف کند. همچنین این مدل، مدل‌های کلاسیک و کوانتومی پیشین را بهبود می‌بخشد.

فهرست

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول مقدمه 1

1-1) آغاز پیدایش حیات و حیات گرایی کوانتومی..... 1

1-1-1) گذری فلسفی بر مکانیک کوانتومی و حیات..... 3

2-1) مسئله ذهن و خود آگاهی..... 5

3-1) نظریه اطلاعات کلاسیکی و کوانتومی..... 7

1-3-1) گذری بر فیزیک کلاسیک و مکانیک کوانتومی و مسئله اندازه گیری..... 8

1-1-3-1) بیت های کوانتومی..... 12

2-3-1) اصول موضوعه مکانیک کوانتومی..... 13

4-1) مغز چگونه اطلاعات را ذخیره و بازیابی می کند؟..... 14

فصل دوم فیزیولوژی مغز و مکانیسم حافظه و یادگیری..... 16

1-2) دستگاه عصبی..... 16

1-1-2) سلول عصبی..... 19

2-1-2) سیناپس..... 23

2-2) فیزیولوژی حافظه و یادگیری..... 24

1-2-2) قشر مغز و اعمال فکری..... 25

2-2-2) حافظه و انواع آن..... 26

3-2-2) سازوکارهای فیزیولوژیکی شناخته شده برای حافظه کوتاه مدت..... 27

4-2-2) سازوکارهای فیزیولوژیکی شناخته شده برای حافظه بلند مدت..... 28

5-2-2) نقش قسمت های ویژه مغز در روند حافظه و یادگیری..... 30

3-2) تیوبولین و مایکروتیوبول ها..... 31

فصل سوم دیدگاه های مختلف پیرامون حافظه..... 34

1-3) مدل تقلیل عینی ارکسترگونه یا مدل ***Orch OR***..... 34

1-1-3) تقلیل عینی یا OR..... 35

2-1-3) **مدل** Orch OR 37

3-1-3) همدوسی حاصل از نوسانات فرولیخ در مایکروتیوبیول ها..... 39

4-1-3) پرسش‌ها و تردیدها..... 41

عنوان **شماره صفحه**

2-3) مدل مِرشین (M.N.M)..... 42
1-2-3) مدل سیم گیتار یا GSM..... 45
2-2-3) شکل گیری حالات همدوس در مایکروتیوبیول ها..... 46
3-2-3) آزمایشات..... 48
3-3) مدل پِریرا R.P.C..... 54
1-3-3) خلق همبستگی به جای صرفاً نگهداری آن..... 59
4-3) توجیه حافظه در مدل اتلاف کوانتومیِ مغز..... 60
1-4-3) نویز کوانتومی و دوبل شدن..... 62
2-4-3) درهم تنیدگی القاء شده از نویز کوانتومی..... 66
3-4-3) تحول زمانی و مسیرهای آشوبی در فضای حافظه..... 69
4-4-3) نظریه ی گُلدِستون..... 73
فصل چهارم بررسی پردازش کوانتومی در مغز..... 77
1-4) چرا پردازش کوانتومی در مغز؟..... 77
1-1-4) مسئله ی یکپارچگی..... 77
1-1-1-4) مسئله ی یکپارچه شده همزمانی که متمایز می باشد (DYI)..... 78
2-1-4) مسئله ذهن و آگاهی از دیدگاه پنرُز..... 78
3-1-4) عدم توانایی کامل مدل مغز کلاسیکی..... 79
4-1-4) مسئله کوالیا..... 80
5-1-4) مسئله ی مفهوم..... 81
6-1-4) مسئله یکتایی و تجسم مفهوم آگاهی..... 82
7-1-4) مسئله ناسازگاری پردازش ها در مغز..... 82
2-4) ردپای پردازش کوانتومی در مغز..... 82
فصل پنجم ارائه رهیافت کوانتومی برای توصیف سازوکار حافظه.....84
1-5) درهم تنیدگی تیوبولین ها به وسیله دریافت اطلاعات..... 84
2-5) برهمکنش یک میدان n فوتونی با مایکروتیوبیول ها..... 90
3-5) **نتیجه گیری**..... 97
4-5) **پیشنهادات آتی**..... 99
مراجع..... 100

فصل اول

مقدمه

1-1) آغاز پیدایش حیات و حیات گرایی کوانتومی

یکی از مهم ترین سوالاتی که همیشه ذهن دانشمندان را مشغول کرده، منشاء پیدایش حیات است. مهمترین نظریه در این مورد، این است که عناصر اصلی تشکیل حیات، میلیاردها سال پیش و در بدو تشکیل منظومه شمسی به وجود آمده‌اند. بنابراین برای حل این معما باید به سراغ اجسام باقی مانده از 5 یا 6 میلیارد سال پیش مانند ستاره‌های دنباله‌دار، رفت. به هر حال شکی نیست که موجودات زنده از مولکول‌های بی جان تشکیل شده‌اند. بارزترین صفت موجود زنده در مقابل اشیای بی‌جان، پیچیدگی فوق تصور آن است. این پیچیدگی نه تنها در اجزای درونی سلول بلکه به شکل تنوع بی‌شمار گونه‌ها نیز مشاهده شده است.

هر بخش سازنده از یک سیستم زنده هدفی دارد. این نه تنها درا ندام های ماکروسکوپی دیده می‌شود، بلکه برای مولکول‌های اصلی حیات یعنی هیدرات‌های کربن، لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک هم وجود دارد. سیستم زنده نه تنها می‌تواند با استفاده از انرژی به حفظ و ترمیم خود بپردازد، بلکه قادر به تولید مثل بسیار دقیق نیز هست. ما در دنیایی زندگی می کنیم که سه بُعد فضایی و یک بُعد زمانی زیربنای نظریاتمان را تشکیل می‌دهد و بسیار سرگرم این اندیشه بوده‌ایم که حیات در دنیاهایی با شمار ابعاد متفاوت تا چه حد می‌تواند عجیب باشد. اما روند کنونی علم می‌گوید که دنیا در ابتدا ابعاد بسیار بیشتری داشته است و از راه نوعی ناهمسانگردی[1] تنها سه بعد آن شدیداً گسترش یافته است[1].

هم اکنون سایر ابعاد فرو پاشیده‌اند و تنها اندک اثری از خود را در تقارن‌های درونی ذرات بنیادی به جای گذارده‌اند. امروزه علم فیزیک، اغلب قوانین حاکم بر جهان مادی از کوچکترین تا بزرگترین را می‌داند. هرگاه پیشامدی رخ می‌دهد، لازم می آید که فیزیک آن‌ها را با رویدادهای توجیه نشده‌ی جدید تطبیق و سازش دهد. شگفت آنکه در این روند گسترش تدریجی، قوانین فراگیرتر و یگانه‌تر می‌شوند، برای مثال، مکانیک کوانتومی برای دستگاه‌های اتمی کلی‌تر از مکانیک کلاسیک است و آن را به عنوان حالتی حدی دربر می گیرد و به همین

[1] Anisotropy

شکل، فیزیک ذرات بنیادی، فیزیک اتمی را به عنوان حد انرژی پایین دربر می‌گیرد. این موارد انسان را به این فکر فرو می‌برد که در نوک این هرم یک نظریه "همگانی" وجود دارد. حال چه این نظریه درست باشد چه یک سراب باقی بماند، به دنبال خود هرمی از قوانین مرتبط با مقیاس‌های فضا-زمان را به‌جای گذاشته، که دامنه کاربرد برخی‌شان بسیار گسترده گشته است.

زیست شناسان نیز از سطوح مختلف قوانین دم می‌زنند با این تفاوت که هرم‌ها را وارونه می‌کنند[2,3]. از دید آن‌ها هرچه دستگاه پیچیده‌تر باشد، ترازش بالاتر انگاشته می‌شود، که این قضاوت فقط بازتاب تفاوت نگرش مابین فیزیکدانان و زیست شناسان با مسئله پیچیدگی است.

برای فرمولبندی قوانین فیزیک، بهتر است زبان مکانیک کوانتومی را به کار گرفت و از مشاهده‌پذیرها[2] و حالت‌ها صحبت به میان آورد. شرودینگر [4] در مورد اینکه آیا حیات مبتنی بر قوانین فیزیک می‌باشد، در انتظار قوانین جدید برای سیستم زنده است، و می‌گوید: "از همه‌ی آنچه راجع به ساختار ماده زنده فرا گرفته‌ایم، باید آماده باشیم که کارکرد آن را به گونه‌ای بیابیم که غیرقابل کاستن به قوانین معمولی فیزیک باشد. و این نه بر این بنیان که نیروی تازه‌ای یا هر چیز دیگری، رفتار تک اتم‌ها را درون یک موجود زنده هدایت می‌کند، بلکه به این خاطر که ساختمانش با آنچه تاکنون در آزمایشگاه فیزیک آزمایش کرده ایم تفاوت دارد".

پیدایش رویدادها در چرخه حیات یک سیستم زنده چنان نظم و انضباطی از خود نشان می‌دهد که شبیه هیچ چیز در ماده بی‌جان نمی‌باشد. دیده می‌شود که این امر به طرزی بسیار عالی توسط گروهی از اتم‌های بسیار نظم یافته تنظیم و مهار می‌شود که خود تنها بخش کوچکی از هر یاخته را می‌سازد. بر خلاف اعتقاد عمومی، روند منظم رویدادها که تحت قوانین فیزیکی هستند، هرگز نتیجه یک آرایش بسیار منظم از اتم‌ها نمی باشد- مگر اینکه آن آرایش، اتم‌های خود را به دفعاتی بس زیاد، یا مانند بلوری تناوب دار یا مانند مایع یا گازی که از شمار بسیار زیادی از اتم‌ها یا ملکول‌های یکسانی ساخته شده تکرار کرده باشد.

به نظر می رسد که از دو "سازوکار" گوناگون می‌شود رویدادهای منظم پدید آورد: "سازوکار آماری" که "نظم را از بی نظمی" فراهم می‌کند و راه تازه‌ای که "نظم از نظم" می‌باشد. به پندارِ یک ذهن فاقد پیشداوری، این اصل دوم خیلی ساده‌تر و باور کردنی‌تر است. به همین دلیل است که فیزیکدانان این همه مفتخر به طرفداری از سازوکار "نظم از بی نظمی" شدند که عملاً طبیعت از آن پیروی می‌کند و به تنهایی باعث فهم و شناخت خط سیر عظیم

[2] Observables

رویدادهای طبیعی در مرتبه نخست برگشت ناپذیریشان می شود. اما نمی‌توان انتظار داشت که "قوانین فیزیکی" که از آن به دست می‌آیند مستقیماً در توجیه رفتار ماده‌ی جاندار، که بارزترین خصیصه‌هایش آشکارا و تا حد زیادی بر "نظم از نظم" مبتنی است، بسنده باشد. نمی‌توان انتظار داشت که دو سازوکار کاملاً متفاوت، به یک نوع قانون بیانجامد.

بنابراین نباید از اشکالی که در تفسیر حیات با قوانین عادی فیزیک داریم، ناامید شویم. زیرا این چیزی است که با توجه به اطلاعاتی که از ساختار ماده زنده پیدا کرده‌ایم، انتظار می‌رود. باید آماده باشیم تا نوع تازه‌ای از قانون فیزیک را که در موجود زنده حکمفرما است بیابیم.

پدیده‌هایی هستند که خصیصه های هویدایشان آشکارا مستقیماً بر اصل "نظم از نظم" استوار است و به نظر می‌رسد هیچ ربطی با آمار یا بی‌نظمی ملکولی ندارند. نظم منظومه شمسی و حرکات اختران تقریباً برای همیشه پابرجاست. این محاسبات هیچ آماری را نیاز ندارند، تنها بر قانون جاذبه عمومی نیوتون تکیه دارند. خلاصه اینکه انگار تمام رویدادهای صرفاً مکانیکی مشخصاً و مستقیماً از اصل "نظم از نظم" پیروی می کنند.

شرودینگر معتقد است هنگامی پاسخ "حیات چیست؟" را خواهیم یافت که بدانیم که کوچکترین اجزای ماده‌ی وراثتی از چه ساخته شده است و کارکرد عام و فراگیر آن‌ها چگونه است. شناخت ماهیت و ساختار مواد ژنتیکی ارزش بی اندازه‌ای دارد اما شاید پاسخ "حیات چیست؟ "دانستن نهاد فیزیکی ماده‌ی وراثتی نباشد. همانگونه که مکتب دیرین‌شناسی می کوشد تاریخ سیر تکاملی نژادهای حیوانی و گیاهی را در مقیاس میلیاردها سال ردیابی کند. در بهترین وضع کره زمین صرفاً صحنه‌ی ثبت و ضبط ریزه کاری‌های یک تاریخ است که توسط نظریه‌ای کاملاً مبتنی بر اساس درک کارکرد ماده در کوچکترین مقیاس تبیین می‌شود. می‌توان گفت پیدایش منشاءِ همانند سازی اسید نوکلوئیکی، مرحله‌ی اساسی و شاید تنها مرحله اساسی در منشاء حیات باشد.

1-1-1) گذری فلسفی بر مکانیک کوانتومی و حیات

یک پرسش در اینجا مطرح است، و آن این است که : اگر اصل و مبدأ جهان مادی، یک جوهر واحد بوده، چرا به همان حالت اولیه‌ی خود یعنی به صورت توده‌ی ساکن و بیجان آب و هوا و یا هرچیز دیگر باقی نماند؟ علت محرکه‌ای که برای اولین بار موجب تغییر شد، چه بود؟

این پرسش به این دلیل مطرح می‌شود که ما می‌دانیم که ماده‌ی بیجان و ساکن برای به حرکت درآمدن نیازمند نیروی محرک خارجی است و به همین دلیل، ارسطو آنان را از این جهت که لزوم وجود محرک بیرونی را نادیده گرفته‌اند، مورد انتقاد قرار می‌دهد و می‌گوید:

"خود موضوع انگیزه‌ی دگرگونی خودش نمی‌شود، مقصودم این است که مثلاً چوب یا برنز هنگامی که هریک از آنها دگرگون می‌شود، هیچ یک علت آن دگرگونی نیستند، نه چوب یک تختخواب را می‌سازد، و نه برنز یک تندیس را، بلکه چیز دیگری است، که چنانکه ما از آن تعبیر می کنیم، چیزی است که سرچشمه (یا مبدأ) حرکت است".

ظاهراً مهمترین مسئله برای دانشمندان فلسفه‌ی یونان باستان، ساختار جهان بوده است. از این رو، اولین پرسش آنان این بود که "جهان از چه ساخته شده است؟". این دانشمندان به تجربه دریافته بودند که هیچ چیز برای همیشه باقی نمی‌ماند اما در عین حال، حیات تجدید می‌شود و ادامه پیدا می کند. به عبارت دیگر، این تغییرات به صورت زایشی حاصل می‌شود و بین موجودات جهان یک نوع خویشاوندی مشاهده می گردد، گویی همه آن‌ها از یک تبارند، از این رو، معتقد گردیدند اصل و مبدأ جهان مادی، جوهر واحدی است که همه چیز ازآن، پدید آمده‌اند.

اما به ظاهر فلاسفه‌ی قدیم خود متوجه این مسئله بوده‌اند و شاید به همین دلیل است که هیچ یک از آنان "خاک" را جوهر اولیه جهان نمی‌دانستند، بلکه جوهره‌هایی مثل آب، آتش و هوا را عنصر اولیه می‌شمردند. برغم اینکه این جوهره‌ها، حرکت خود را تبیین می کنند، مثلاً جوش و خروش بی‌پایان امواج دریا، شعله‌ی سرکش آتش و یا وزش باد، که در نظر آنان می‌توانست براینکه آنها به طور ابدی زنده هستند و از این رو همواره درتکاپو و جوش و خروش‌اند، دلالت داشته باشد. به هر حال، انسان از آنجا که یک موجود متفکر است همواره کوشش می کند که از محیط خود معرفت بیشتری به دست آورد، و برای تحصیل چنین معرفتی تنها یک روش مطمئن پیش رو دارد و آن، روش علم است. روشی که به طور مستقیم، طبیعت را بوسیله‌ی مشاهده و آزمایش مورد پرسش قرار می‌دهد. وقایع و حوادث جهان، منوط به بخت و اتفاق نیست، بلکه تابع قوانین طبیعت است.

بیش از شصت سال ازآن که اِروین شرودینگر، یکی از بنیانگذاران مکانیک کوانتومی پیش‌بینی کرد که این دانش، راز حیات را می‌گشاید می‌گذرد، اما هنوز پیش‌بینی او کاملاً تحقق نیافته است، ولی توجه دانشمندان روز به روز بیشتر برای استفاده از این نظریه در راز گشایی از معمای خلقت، جلب می‌شود.

در قرن نوزدهم بسیاری از دانشمندان می‌پنداشتند که پاسخ پرسش چالش برانگیز شرودینگر تحت عنوان، "حیات چیست ؟" را در آستین دارند. آنان معتقد بودند که حیات از نوعی ماده‌ی جادویی به وجود آمده است. این باور که راز حیات با کمک ترکیبات شیمی آلی گشوده می‌شود، دانشمندان را به این نظر رهنمون کرده بود که اگر ترکیب صحیح مواد شیمیایی را

بیابند آنگاه می‌توانند حیات را در آزمایشگاه تولید کنند. در این رشته‌ی تازه، فرض اصلی آن بود که علم شیمی واسطه و پلی میان زیست شناسی و حیات است، و با ترکیب مناسب مواد شیمیایی تحت شرایط مناسب می‌توان حیات را از آغاز پدید آورد. هنگامی که شرودینگر پرسش حیات چیست ؟ را مطرح کرد باآن که در آن هنگام هنوز مولکول DNA و رمزهای ژنتیکی کشف نشده بود، قادر بود اهمیت مسئله ذخیره سازی و تکثیر اطلاعات در درون هرسلول را برای ظهور حیات تشخیص دهد.

شرودینگر می‌گوید که مکانیک کوانتومی به نجات حیات می‌آید. مکانیک کوانتومی تضمین می‌کند که جامدها ساختارهای مولکولی منظم و سختی را داشته باشند که ساده‌ترین شان یک بلور است. اما در بلورها اتم‌ها در یک شبکه‌ی منظم درسه بعد آرایش یافته‌اند.

اگر موفقیت اتم‌ها در کمترین ساختار یعنی "بلور واحد" را بدانیم می‌توان گفت همه سایر اتم ها درکجای تمامی بلور قرار دارند. بلورها ساختاری بسیار منظم دارند و در نتیجه بخش‌های متفاوت بلور از برخی لحاظ گویای یک چیز هستند و یک بلور نمی‌تواند اطلاعات زیادی را رمزگذاری کند، همه‌ی اطلاعات در"سلول واحد" بلور نهفته است. وی معتقد است که ماده‌ی ژن‌ها نوعی بلور بی‌تناوب است. شکل این بی‌تناوبی، گونه‌ای از رمز خُرد را در بردارد که به نحوی رشد و کمال موجود زنده را تحت مهار دارد. سرشت کوانتومی جامد بی‌تناوب به این معنی است که تغییراتی کوچک و گسسته، یعنی جهش‌ها، رخ می‌دهند. اِعمال گزینش طبیعی بر این تغییرات گسسته و کوچک موجب انتخاب برخی جهش‌های مساعد، آن‌طور که داروین انتظار داشت، می‌شود. به هر حال شرودینگر درست می گفت و پنجاه سال پس از آن، ساختار DNA را می‌دانیم و در واقع رمزی وجود دارد که از آن DNA به RNA و سپس به ساختار اولیه پروتئین‌ها می‌انجامد.

امروزه دانشمندان به سلول‌ها، نه به عنوان ماده جادویی بلکه به عنوان کامپیوترها، (یعنی، ماشین‌هایی که از توان پردازش و بازتولید اطلاعات برخوردارند و واجد دقت بسیار حیرت انگیزی هستند) نگاه می کنند.

2-1) مسئله ی ذهن و خودآگاهی

ریچارد فاینمن[5] وقتی از ارتباط علم با تجربه آدمی و بالعکس سخن می‌گوید سوالاتی می‌پرسد از قبیل: "فکر و ذهن چیست؟ این اتم‌هایی که آگاهی ما را تشکیل می‌دهند چه هستند؟ *آنچه خاطره می‌خوانیم و به یاد می آوریم چیست؟ آنچه یکسال پیش در ذهن ما گذشته چگونه اکنون به یادمان می آید در حالی که می‌دانیم سلول‌هایی که یکسال پیش مغز ما*

از آن‌ها ساخته شده بود مدت‌هاست نابود شده‌اند؟" و این است معنای پی‌بردن به این واقعیت که اتم‌های جدیدی مرتب جایگزین اتم‌های قبلی مغز می‌شوند. به بیان دیگر، فاینمن معتقد است: فردیت یا شخصیت من چیزی نیست مگر الگویی یا رقصی که تکرار می‌شود. اتم‌های جدید پا به صحنه‌ی ذهن می‌گذارند. رقصی می‌کنند و از صحنه بیرون می‌روند. اتم‌های جدید همان رقص اتم‌های قدیم را تکرار می‌کنند، و یادشان هست که رقص دیروز چگونه بود، آن هم با تمام جزئیات.

فاینمن می‌گوید: "اندیشیدن هم می‌تواند دیدنی باشد و هم گفتنی." می‌توان پرسید اشیاء چگونه در رویا چنان واقعی می‌نمایند چنانکه پلک چشم‌ها بسته است و اشعه‌ای به شبکیه‌ی چشم نمی‌رسد. *آیا سلول‌های عصبی شبکیه از راه دیگری برانگیخته می‌شوند؟* (شاید، ولی روانشناسان هیچ‌گاه پاسخ‌های قانع کننده‌ای به این سوالات نداده‌اند) و یا اینکه ذهن چگونه کار می‌کند؟ به هر حال درک این قوانین دشوار و پیچیده می‌باشد و حتی برای توصیف این پدیده‌ها از طریق دانش فیزیک نیز مشکلاتی وجود دارد، چون ازتمام قضایای اصلی و بنیادی فیزیک و مخصوصاً فیزیک کوانتومی، آگاه نیستیم. و دوم اینکه بیان درست و اصیل قوانین فیزیک امروزی، مستلزم درگیری با اندیشه‌های به کلی نامأنوس و نامتعارف است. اندیشه‌هایی که بیان آن‌ها بدون کمک ابزار *ریاضیاتِ* بسیار پیشرفته، امکان ندارد.

سوال مهمی که در مورد ذهن مطرح می‌شود این است که: *چرا ذهن به فیزیکی نوین نیاز دارد؟ راجر پنروز می‌گوید: "انسان ابعاد زیادی دارد که شاید برخی از آن‌ها به خوبی به مفاهیم فیزیک امروزی قابل توجیه باشند* و افزون بر این دارای این قابلیت‌اند که می‌توان با محاسبات شبیه‌سازیشان نمود. طرفداران هوش مصنوعی (AI) بر این باورند که شبیه‌سازی واقعاً مسیر است، دست‌کم برای بسیاری از کیفیات ذهنی که اساساً در هوشمندی ما دخیل‌اند. افزون بر این با چنین شبیه‌سازی‌هایی می‌توان روبات‌ها را وادار به رفتارهایی کرد که از آن لحاظ، شبیه رفتار انسانی باشد. علاوه بر این طرفداران هوش مصنوعی، اعلام می دارند که همه‌ی کیفیت‌های ذهنی قابل تقلید هستند. آن‌ها می‌گویند که صِرف چنین کار محاسباتی می‌بایست همان احساس آگاهانه‌ای را در کامپیوتر یا روبات پدید آورد که خودمان داریم. در مقابل بسیاری هم هستند که برعکس آن استدلال می‌کنند: یعنی در ذهنیت ما جنبه‌هایی وجود دارد که قابل محاسبه نیستند. در این دیدگاه فقط، شعور انسانی محاسباتی تلقی نمی‌شود. پنروز حتی از آن هم فراتر می‌رود و می‌گوید: "کارهایی که مغزمان مطابق تأملات آگاهانه انجام می‌دهد بایستی از سنخی باشد که نتوان با محاسبه شبیه‌سازی کرد، پس محاسبه نمی‌تواند به تجربه‌ی آگاهانه بیانجامد."

در مورد شعور باید گفت که شعور هرچه باشد، چیزی است که هنگامی که ما موضوعی را درک می‌کنیم (به ویژه یک بحث ریاضی) وجود دارد. حال چرا می‌گوییم که آثار تأملات آگاهانه با روش‌های محاسباتی حتی قابل شبیه‌سازی نمی‌باشد؟ قدرت استدلال‌های پنروز از قضیه مشهور گُدِل[3] در 1931 ریشه می‌گیرد[6]. قضیه گُدِل به روشنی می‌رساند که درک ریاضی را نمی‌توان به یک مجموعه[4] از قواعد شناخته شده و کاملاً باور شده‌ی ریاضی تقلیل داد. می‌توان از این فراتر رفته و بگوییم که هیچ دسته از روش‌های ناب ریاضی قابل شناسایی نمی‌تواند به روباتِ فرمانبر کامپیوتری بیانجامد که واجد درک ریاضی باشد. این روش‌ها می تواند نه تنها شامل دستورات الگوریتمی عمداً از "بالا به پایین" بلکه راهکارهای کمتر برنامه ریزی شده فراگیری از "پایین به بالا" نیز بیانجامد.

نامعقول خواهد بود اگر گمان کنیم که درک ریاضی در مقایسه با سایر ادراکات بشری، از لحاظ غیرمحاسبه بودن، تافته ای جدا بافته باشد. براین اساس حساب‌ناپذیری درک ریاضیمان اشاره‌ای است براینکه کل ادراکات بشری نیز از راه‌های نامحاسبه‌ای، کسب می‌شوند. همچنین در نظر پنروز نامعقول می‌باشد که فرض کنیم سایر جنبه‌های شعور انسانی را می‌توان به همان اندازه با محاسبه توصیف نمود که ادراک را. بالاخره حیوان‌های غیرانسانی نیز واجد شعوراند و در نتیجه می‌بایست طبق قواعد نامحاسباتی عمل کنند.

درطول سال‌ها زیست شناسانی سرشناس استدلال کرده‌اند که روش‌های کار علمی برروی اشیاء بی‌جان کلاً برای کار روی موجودات زنده، به ویژه آن‌هایی که دارای مغز و اراده‌اند، به کار نمی‌آید. از سوی دیگر هنگامی‌که فیزیکدانان برجسته به بررسی خواص موجودات زنده چون آگاهی می‌پردازند برای یافتن سرنخ‌هایی دنبال نظریات فیزیکی خاص و غیرکلاسیکی همچون مکانیک کوانتومی می‌روند.

3-1) نظریه اطلاعات کلاسیکی و کوانتومی

زیست شناسان همواره به تولید مثل که یکی از سنگ‌های زیر بنا و مشخصه‌های اصلی حیات است به چشم کپی کردن ساختارها نگاه می کردند، حال خواه این کپی ساختار مربوط به مولکول DNA و یا کل سلول باشد. اما برای آن که حیات به وجود بیاید، به ساختار نیازی نیست بلکه تنها چیزی که نیاز است تکثیر اطلاعات است. اطلاعات را در تراز کوانتومی به مراتب با سرعت بیشتری از تراز مکانیک کلاسیک می‌توان پردازش کرد. علاوه بر این در

[3] Kurt Gödel
[4] Set

سیستم‌های کوانتومی می‌توان از پدیده‌های شگفت انگیزی مانند برهم‌نهی و درهم‌تنیدگی استفاده کرد. که همه‌ی این پدیده‌ها می‌توانند سرعت محاسبات را افزایش دهند. *نیازی نیست که یک کپی کننده کوانتومی، یک سیستم اتمی باشد که بتواند مشابه خود را تولید کند.* در واقع مشابه سازی تابع موج برای سیستم‌های کوانتومی غیرممکن است.

آن چه در جهان کوانتومی برای باز تولید مورد نیاز است صرفاً آن است که محتوای اطلاعات درون یک سیستم کوانتومی یا اتمی، کم و بیش عیناً بازتولید شود، آن هم نه این که همه‌ی این اطلاعات در تنها یک گام باز تولید شود بلکه ممکن است این مسئله در یک سلسله از برهمکنش‌ها اتفاق بیافتد. این اطلاعات موجود در دورن یک سیستم کوانتومی ممکن است *اطلاعات دیجیتالی* باشد که به صورت صفر و یک در درون سیستم ذخیره شده (نظریات کلاسیکی حافظه)، مثلاً در قالب جهت محور اسپین یک الکترون باشد. به این ترتیب مکانیک کوانتومی در سطح اتمی اطلاعات ژنتیکی را به صورت *دیجیتالی و غیرپیوسته* مورد پردازش و استفاده قرار می دهد.

در هرحال زمانی که نخستین باز تولید کننده کوانتومی اطلاعات حیاتی شماری از باز تولید کننده‌های مشابه خود را تکثیر کرد و جمعیت کوچکی را پدید آورد، آنگاه یکی از ویژگی‌های ذاتی مکانیک کوانتومی یعنی عدم قطعیت، مکانیزمی درونی برای ایجاد تنوع و تغییر در این جمعیت رو به ازدیاد را به وجود می آورد. حال اگر در این جمعیت مکانیزمی نیز برای گزینش به وجود آید، آنگاه راه برای فرآیند تکامل داروینی و پدیدار شدن انواع گونه‌های پیچیده‌تر هموار می‌شود.

1-3-1) گذری بر فیزیک کلاسیک و مکانیک کوانتومی و مسئله اندازه‌گیری

ایزاک نیوتن در اواخر قرن نوزدهم، مکانیک کلاسیک، یعنی قوانین حرکت اجسام ماکروسکپی را کشف کرد، در اوایل قرن بیستم، فیزیکدانان دریافتند که مکانیک کلاسیک نمی‌تواند رفتار ذرات بسیار کوچک مانند الکترون‌ها، هسته اتم‌ها و مولکول‌ها را به درستی توجیه کند. رفتار چنین ذراتی با مجموعه قوانینی به نام مکانیک کوانتومی توصیف می‌شود.

یکی از نتایج فیزیک کلاسیک این بود که یک دنیای عینی خارج از ذهن انسان وجود دارد و بر این بنیان بود که وجود و رفتارهای فرآیند فیزیکی بستگی به مشاهده‌ی آن‌ها ندارد و در واقع تصور این بود که قوانینی مستقل از وجود بشر در دنیای خارجی وجود دارند که بشر قادر به یادگرفتن آنان به وسیله علم فیزیک است، به طوری‌که فیزیکدانان وظیفه‌ی فیزیک کلاسیک را توصیف نظم موجود در طبیعت، مستقل از نقش آزمایشگران آن می‌دانستند اما با ورود

مکانیک کوانتومی در ابتدای قرن بیستم مبانی فلسفی فیزیک کلاسیک درهم می‌ریزد و دانشمندانی چون بوهر، هایزنبرگ، پائولی و غیره و در واقع بنیانگذاران مکتب کپنهاگی، که این اصل را حکم می‌کند که "آنچه قابل مشاهده است واقعیت دارد و ورای آن واقعیتی ندارد." به اعتقاد اینان فیزیک تنها می‌تواند ارتباطی بین پدیده‌های قابل مشاهده و در دسترس برقرار کند و خارج از آن از عهده فیزیک ساقط است، همچنین تنها مسائلی وجود دارند که با مکانیک کوانتومی قابل حل می‌باشند یعنی کوانتوم "آخرین مسیر" در راه "شناخت جهانی" است.

حتی وقتی فقط با اجسام فیزیکی و ماکروسکپی سرو کار داریم، برای رسیدن به یک توصیف کامل علمی، اصولاً لازم است که از مطالعه رفتار اتم‌ها، یون‌ها و الکترون‌های مختلف تشکیل دهنده آن‌ها شروع کنیم. پدیده‌های بسیاری وجود دارند که، در مقیاس ماکروسکوپی، رفتار کوانتومی طبیعت را بروز می‌دهند. از این نظر می‌توان گفت مکانیک کوانتومی پایه‌ی درک کنونی ما از تمام پدیده‌های طبیعی، از جمله آن‌هایی است که به طور مرسوم در شیمی، زیست شناسی، فیزیک و غیره بررسی می‌شوند. مکانیک کوانتومی جدید می‌گوید که وضعیت هر دستگاهی از ذرات، کاملاً با تابع موج‌اش مشخص می‌شود اما این تابع موج، به جای آنکه، همانند مکانیک کلاسیک محل و سرعت دقیق هر ذره را مشخص سازد، تنها احتمال وقوع ذره در محل‌های خاص، با سرعت‌های خاص را تعیین می‌کند، به شرط آنکه اندازه‌گیری‌های مناسب انجام گیرد.

سیستم های کوانتومی به عنوان سیستم های تک و منفردی که در نقاط یا مناطق کوچکی از فضا مستقر شده باشند، نیستند و ویژگی مستقل از هم ندارند، بلکه بر طبق برهم‌نهی حالات باهم در ارتباط‌اند. پس تئوری کوانتومی فلسفه‌ای از طبیعت را پیشنهاد می‌دهند که بر "ارتباطات" تاکید دارد. قضیه‌ی بل، فرمولبندی تئوری کوانتوم و آزمایشات نشان می‌دهد که ارتباطات بر اساس خواص ذاتی نیستند. برای مثال به بحث فضای حالت و کیوبیت‌ها در کامپیوترهای کوانتومی می‌پردازیم:

فرض کنید که یک شیء فیزیکی ماکروسکپی به قسمت‌های زیادی بشکند و آن‌ها در جهات مختلفی پرتاب شوند. حالت این سیستم می‌تواند کاملاً توسط توصیف حالت هر تکه از اجزاء سیستم به صورت جداگانه بیان شود. یک جنبه‌ی تعجب‌آور فضای حالت یک سیستم کوانتومی n ذره‌ای این است که همواره حالت این سیستم را نمی‌توان برحسب حالت تکه‌های اجزاء آن توصیف کرد. حالت یک کیوبیت می‌تواند به وسیله‌ی یک بردار در فضای برداری مختلط دو بعدی بر حسب $|0\rangle, |1\rangle$ نمایش داده شود. در فیزیک کلاسیک، حالت های ممکن

یک سیستم n ذره‌ای می‌توانند برحسب حالات تک تک ذرات آنها و توسط یک بردار در یک فضای برداری دو بعدی بیان شوند که فضای برداری $2n$ بعدی را می‌سازد. اما در یک سیستم کوانتومی فضای حالت بسیار بزرگتر است. یک سیستم n کیوبیتی یک فضای حالت 2^n بعدی دارد و این رشد نمایی فضای حالت با تعداد ذرات، امکان افزایش سرعت محاسبات را بصورت نمایی در کامپیوترهای کوانتومی در مقایسه با کامپیوترهای کلاسیکی مطرح می‌کند. در حالت کلاسیکی فضای حالت سیستم n ذره‌ای از حاصلضرب دکارتی فضاهای حالت تک تک ذرات بدست می‌آید. برای مثال، هر ذره دو بُعد دارد، برای n ذره در حاصلضرب دکارتی فضای حاصل $2n$ بعدی است، اما حالت‌های کوانتومی با ضرب تانسوری ترکیب می‌شوند. برای بررسی حاصل ضرب دکارتی و تانسوری فرض کنید V و W دو فضای برداری مختلط دو بعدی به ترتیب با پایه‌های $\{V_1, V_2\}$ و $\{W_1, W_2\}$ هستند. ضرب دکارتی این دو فضا از اجتماع پایه‌های فضاهای اجزاء تشکیل دهنده‌ی آن به صورت $\{V_1, V_2, W_1, W_2\}$ بدست می‌آید. مرتبه‌ی پایه به صورت اختیاری انتخاب شده است.

بُعد فضای حالت ذرات کلاسیکیِ متعدد به صورت خطی با تعداد ذرات رشد می‌کند زیرا بُعد (X×Y) = بُعد (X) + بُعد (Y) است.

ضرب تانسوری V و W پایه‌ی $\{v_1 \otimes w_1 , v_1 \otimes w_2, v_2 \otimes w_1, v_2 \otimes w_2\}$ را دارد. بنابراین فضای حالت برای دو کیوبیت، هر کدام با پایه‌ی$\{|0\rangle,|1\rangle\}$، پایه‌ای به شکل $\{|0\rangle \otimes |0\rangle, |0\rangle \otimes |1\rangle, |1\rangle \otimes |0\rangle, |1\rangle \otimes |1\rangle\}$ دارد که می‌توان آن را به صورت $\{|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle\}$ نیز نوشت. در حالت کلی یک سیستم n کیوبیتی 2^n بردار پایه دارد پس بعد فضای حالت ذرات کوانتومی متعدد به صورت نمایی با تعداد ذرات رشد می‌کند و داریم: بُعد (X⊗Y) = بُعد (X) × بُعد (Y).

پیش‌بینی‌ها و تجربه‌های نظریه کوانتومی تأکید می‌کنند که هنگامی که *اندازه‌گیری‌ها* برروی سیستم دو ذره‌ای انجام می‌گیرند که ابتدا به هم نزدیک بودند (برهمکنش داشته اند) و اکنون در فاصله نامحدود از یکدیگر قرار گرفته‌اند، نتایج به دست آمده در اندازه‌گیری روی یک ذره بستگی به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری روی ذره دوم دارد و نیز بستگی به این دارد که کدام خاصیت ذره دوم اندازه‌گیری می‌شود. این قبیل "کنش‌های هولناک لحظه‌ای" (به گفته اینشتین) یک فیزیکدان را وادار می‌کند تا "مکانیک کوانتومی را نوعی جادو" تلقی کند.

رابطه مابین مکانیک کوانتومی و ذهن موضوع مناظره‌ی زیادی بوده است. ویگنر تأکید می‌کند که "کاهش تابع موج هنگامی رخ می‌دهد که نتیجه یک اندازه‌گیری، در آگاهی یک

مشاهده‌گر وارد می‌شود، و بنابراین انسان آگاه باید نقشی متفاوت با دستگاه اندازه‌گیری در مکانیک کوانتومی ایفا کند". وی بر این باور است که احتمالاً موجودات آگاه در مقایسه با اشیای غیرآگاه از قوانین طبیعت متفاوتی پیروی می‌کنند.

بوهم در سال 1952 میلادی (بعد از پیشنهاد دوبروی در سال 1927 میلادی که تابع موج ممکن است بصورت موجی که حرکت ذره را هدایت می‌کند، رفتار کند) نظریه‌ی متغیر-پنهان ناموضعی، که نتایج تجربی را مانند مکانیک کوانتومی پیش بینی می‌کند، پایه‌گذاری کرد.

در نظریه بوهم، یک ذره در هر لحظه از زمان دارای هم مکان معین و هم اندازه حرکت معین است (اگر چه این کمیت‌ها مشاهده‌پذیر نیستند)، و روی مسیر معینی حرکت می‌کنند. ذره دارای یک تابع موج y نیز هست که تحول زمانی آن از معادله وابسته به زمانِ شرودینگر پیروی می کند. در نظریه بوهم، تابع موج یک وجود فیزیکی واقعی است که حرکت ذره را معین می‌کند. اگر ما دارای ذره‌ای در یک مکان خاص با یک تابع موج خاص در یک زمان خاصt ، باشیم نظریه بوهم نوعی معادله را به صورت اصل موضوع ارائه می‌دهد که به وسیله آن می‌توان سرعت ذره را در آن لحظه از روی تابع موج و مکان محاسبه کرد، با دانستن مکان و سرعت در t، می توانیم مکان را در $t+dt$ پیدا کنیم و می‌توانیم با استفاده از معادله وابسته به زمان شرودینگر، تابع موج را در $t+dt$ پیدا کنیم، سپس سرعت را در $t+dt$ از روی مکان و تابع موج محاسبه می‌کنیم، و الی آخر. بنابراین مسیر را می‌توان از روی مکان و تابع موج اولیه محاسبه کرد (با فرض آنکه انرژی پتانسیل معین باشد). در نظریه بوهم، ثابت می‌شود که مکان ذره از معادله‌ای مثل قانون دوم نیوتون $md^2x/dt^2 = -\partial V/\partial x$ پیروی می‌کند، بجز آنکه انرژی پتانسیل Vبا $V+Q$ تعویض می‌شود که Q یک پتانسیل کوانتومی است که به طریقی از روی تابع موج محاسبه می‌شود. در نظریه بوهم، رمبش تابع موج رخ نمی‌دهد، بلکه برهمکنش سیستم با دستگاه اندازه‌گیری از معادلات نظریه بوهم پیروی می‌کند، اما این برهمکنش باعث می‌شود تا سیستم بعد از اندازه‌گیری به همان طریقی متحول شود که گویی تابع موج رمبش پیدا کرده است.

سال‌های زیادی از کار بوهم چشم‌پوشی شد، زیرا ریاضیدان معروف فون نیومَن در سال 1932 میلادی دلیلی را به رشته تحریر در آورد که برای هر نظریه متغیر- پنهان بوهمی "دلیل" فون نیومن دارای یک فرض غیرمستند است، و بنابراین اشتباه است. اما در سال‌های بعد، علاقه به نظریه بوهم فزونی گرفت. اگر چه پیش‌بینی‌های مکانیک کوانتومی غیرقابل تردید هستند، اما تعبیر مفهومی آن هنوز موضوع مجادله است.

1-1-3-1) بیت های کوانتومی

یک بیت که مفهوم پایه‌ای و بنیان کامپیوتر کلاسیک و واحد پایه‌ی اطلاعات است، در دنیای کوانتومی جای خود را به کیوبیت می‌دهد. از دیدگاه فیزیکی، یک بیت، یک سیستم فیزیکی است که می‌تواند با بار یک خازن یا مغناطیسی شدن نقطه‌ای از دیسک سخت کامپیوتر تجسم یابد. به عبارت دیگر می‌تواند در دو حالت مختلف که به آن حالت منطقی می‌گویند، قرار بگیرد. این حالات منطقی می‌تواند بله، خیر یا درست و غلط و یا 0 و 1 باشند. برای مثال در کامپیوترهای دیجیتال ولتاژ بین صفحات خازن می‌تواند نشان دهنده‌ی یک بیت اطلاعات باشد، همچنین یک بیت اطلاعات می‌تواند بوسیله‌ی دو نوع قطبش مختلف نور و یا دو تراز مختلف الکترونی یک اتم (اتم‌های دوحالته) مشخص شود. تفاوت میان کامپیوتر کلاسیک و کامپیوترهای کوانتومی از همین جا آغاز می‌شود، که اگر یک اتم را به عنوان یک بیت انتخاب کنیم، مکانیک کوانتومی به ما می‌گوید که حالت اتم به صورت برهم‌نهی دو حالت مربوط به دو تراز متفاوت الکترونی است به عبارت دیگر اتم هم در حالت صفر است و هم در حالت یک. بیت‌های کلاسیک به وسیله‌ی سیستم‌های فیزیکی‌ای تجسم می‌یابند که از قوانین فیزیک کلاسیک تبعیت می‌کنند، اما در یک کامپیوتر کوانتومی یک بیت با ویژگی‌هایی از ذرات بسیار کوچک مثل فوتون یا الکترون تجسم می‌یابد و بنابراین بیت‌های کوانتومی تابع قوانین فیزیک کوانتومی هستند و نه قوانین آشنای فیزیک کلاسیک.

به زبان ریاضی، یک بیت کوانتومی، یا کیوبیت، عبارت است از یک ذره‌ی دوترازی که یک حالت به آن منتسب می‌شود. حالت یک ذره‌ی دو ترازی به وسیله‌ی برداری که در فضای برداری دوبعدی میدان اعداد مختلط بیان می‌گردد، $|\psi\rangle=\alpha|0\rangle+\beta|1\rangle$ که پایه‌های ثابت این فضا با $\{|0\rangle,|1\rangle\}$ مشخص می‌شوند. این پایه‌های راست هنجار $|0\rangle,|1\rangle$ ممکن است به ترتیب با حالت‌های قطبش فوتون $|\uparrow\rangle,|\downarrow\rangle$ متناظر باشند و یا حتی $|0\rangle,|1\rangle$ می توانند به حالت‌های اسپین- بالا و اسپین-پایین یک الکترون (ذرات با اسپین $\frac{1}{2}$) مرتبط باشند (یا اتم‌های دوحالته).

به منظور محاسبات کوانتومی، حالت‌های پایه $|0\rangle,|1\rangle$ به ترتیب برای نمایش مقادیر 0 و 1 بیت کلاسیکی انتخاب شده‌اند. در تمام محاسبات یک کامپیوتر دیجیتال، هر بیت داده در یکی از حالات معین 1 یا 0 است اما در کامپیوتر کوانتومی، کیوبیت‌ها می‌توانند در حالت برهم‌نهی کوانتومی نامعینی از دو حالت $|0\rangle,|1\rangle$ (حالت‌های پایه‌ی فضا را با $|0\rangle=\binom{1}{0}$, $|1\rangle=\binom{0}{1}$ نمایش می‌دهیم) مثل $|\psi\rangle=\alpha|0\rangle+\beta|1\rangle$ که $\alpha,$ اعداد مختلطی هستند و دررابطه‌ی $|\alpha|^2+|\beta|^2=1$ صدق می‌کنند، نیز قرارداشته باشند. درست مانند حالت قطبش فوتون، اگر

چنین برهم‌نهی را نسبت به پایه $\{|0\rangle,|1\rangle\}$ اندازه بگیریم، احتمال اینکه مقدار $|0\rangle$ اندازه‌گیری شود برابر $|\alpha|^2$ و احتمال اینکه مقدار $|1\rangle$ اندازه گیری شود برابر $|\beta|^2$ است. پس محاسبات توسط برهمکنش‌های بیرونی (همان اندازه‌گیری) با سیستم‌های دوحالته مختلفی که دستگاه ما را می‌سازد، انجام خواهند شد. گرچه حتی یک بیت کوانتومی می‌تواند در بینهایت حالت برهم‌نهی مختلف قرار بگیرد، اما فقط می‌توان از هر تک بیت کوانتومی، یک بیت اطلاعات مفید کلاسیک استخراج کرد. دلیل اینکه نمی‌توان اطلاعات بیشتری از یک کیوبیت در مقایسه با یک بیت کلاسیک بدست آورد، این است که اطلاعات تنها توسط اندازه‌گیری بدست می‌آیند و اندازه‌گیری حالت سیستم را تقلیل می‌دهد. زمانیکه یک کیوبیت مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد، این اندازه‌گیری حالت کیوبیت را به یکی از حالت‌های پایه تبدیل می‌کند.

1-3-2) اصول موضوعه مکانیک کوانتومی

مکانیک کوانتومی دارای پنج اصل موضوعه به صورت زیر است:

اصل موضوعه 1: فضای حالت[5]

یک سیستم فیزیکی منفرد با یک بردار حالتِ $|y\rangle$ در فضای هیلبرت نمایش داده می‌شود.

اصل موضوعه 2: تحول[6]

تحول یک سیستم بسته با یک تبدیل یکانی توضیح داده می‌شود. $|y'\rangle = U|y\rangle$

اصل موضوعه 3: اندازه‌گیری

از دیدگاه مکانیک کوانتومی مساله اندازه‌گیری را مورد بررسی قرار می‌دهیم. اگر بردار حالت اولیه دستگاه اندازه‌گیری $|y^D[...]\rangle$ باشد، پس از برهمکنش آن با سیستم مورد نظر با حالتِ $|y^s\rangle$ خواهیم داشت :

$$|y^D[...]\rangle \rightarrow |y^D[A]\rangle \qquad (1\text{-}1)$$

که [...] نشان دهنده این است که دستگاه عددی رانمایش نمی‌دهد. این تحول به طور کامل به‌وسیله معادله شرودینگر توجیه می‌شود

$$e^{-iHt/\hbar}(|y^S\rangle \otimes |y^D[...]\rangle) = |y^S\rangle|y^D[A]\rangle \qquad (2\text{-}1)$$

$$H = H_S + H_D + H_{\text{int}} \qquad (3\text{-}1)$$

H_s هامیلتونی سیستم و H_D هامیلتونی دستگاه اندازه‌گیری و H_{int} برهمکنش آن‌ها باهم است.

[5] State space
[6] Evolution

عملاً بردار سیستم نه به صورت $|y^{S}\rangle$ ، بلکه ترکیبی از ویژه حالت‌های مختلف به‌شکل زیراست:

$$|y^{S}\rangle = \sum_{m=1}^{n} a_m |y_m^{S}\rangle \qquad (4\text{-}1)$$

$$\rightarrow e^{-iHt/\hbar}(|y^{s}\rangle \otimes |y^{D}[\ldots]\rangle) = e^{-iHt/\hbar}(\sum_{m=1}^{n} a_m |y_m^{S}\rangle)|y^{D}[\ldots]\rangle$$

$$= \sum_{m=1}^{n} a_m |y_m^{S}\rangle |y^{D}[A_m]\rangle \qquad (5\text{-}1)$$

دراین مورد برخلاف مورد قبل، پس از اندازه‌گیری با n بردارحالت وn مقدار اندازه‌گیری شده مواجهیم ومعنای آن این است که عقربه دستگاه همزمان مقادیر مختلف...$A_1,A_2,$ را نشان می‌دهد و این خلاف آن چیزی است که درآزمایشگاه مشاهده می‌شود. بنابراین نظریه کوانتوم، درجهت تطابق تئوری وآزمایش با مسئله بزرگی روبروست وبه همین دلیل راه‌حل‌های مختلفی برای آن پیشنهاد شده است.

اصل موضوعه 4:

هر مشاهده پذیر فیزیکی با یک عملگر نشان داده می‌شود و اندازه این مشاهده پذیر با عمل کردن این عملگر بر بردار حالت $|y\rangle$ بدست می آید. $\hat{o}|y\rangle = o|y\rangle$

اصل موضوعه 5: ترکیب[7]

فضای حالت یک سیستم فیزیکی مرکب برابر است با ضرب تانسوری فضاهای برداری مربوط به مولفه‌ها. $|y\rangle = |y_1\rangle \otimes |y_2\rangle \otimes \ldots \otimes |y_n\rangle$

4-1) مغز چگونه اطلاعات را ذخیره و بازیابی می کند؟

یکی از شگفت انگیزترین ویژگی‌های انسانی، توانایی یادگیری و حافظه می‌باشد، مثلاً ما شخصی را ده سال پیش دیده‌ایم و اکنون با دیدن او ناگهان تمام خاطرات، چهره و هویتِ یکتای او و همچنین ویژگی‌هایش در ذهنمان بروز می‌کند. این در صورتی اتفاق می‌افتد که تمام سلول‌های بدنمان تغییر کرده‌اند، و حتی محتویات سلول‌های عصبی نیز بازسازی شده‌اند و دیگر همان سلول‌های تشکیل دهنده ده سال پیش، در بدنمان وجود ندارند.

حافظه می‌تواند اطلاعات را برای سالیان حفظ کند و به نوعی مرز زمان و مکان را بشکند و عیناً همان اطلاعات را بازیابی کند و الگویی یکپارچه از اطلاعات ذخیره شده را با ویژگی‌های وابسته به آن، به طور همزمان بروز دهد.

[7] Composition