ชีววิทยาควอนตัม (Quantum Biology) by Dr. Paulwatt Nuclear

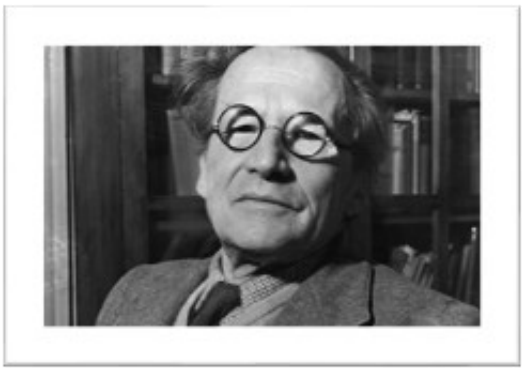
ชีววิทยาควอนตัมคือ การศึกษาโครงสร้างและกลไกการทำงานเชิงกลศาสตร์ควอนตัมในระดับชีวอนุภาคซึ่งเป็นพื้นฐานในระดับชีวอะตอม ระดับชีวโมเลกุล ระดับเซลล์ ระดับเนื้อเยื่อและอวัยวะทั้งร่างกายของสิ่งมีชีวิต การประยุกต์ใช้กลศาสตร์ควอนตัมและเคมีเชิงทฤษฎีกับวัตถุและปัญหาทางชีววิทยา กระบวนการทางชีววิทยาหลายอย่างเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงสสารและพลังงานให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถใช้ในการดำรงชีวิตได้กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีระดับอนุภาคและเป็นกลไกเชิงควอนตัมในธรรมชาติ **กระบวนการดังกล่าวเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี การดูดกลืนแสง การก่อตัวของสถานะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกกระตุ้น การถ่ายโอนพลังงานกระตุ้น และการถ่ายโอนอิเล็กตรอนและโปรตอน (ไฮโดรเจนไอออน)ในกระบวนการทางเคมี เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง การดมกลิ่น และการหายใจของเซลล์**[1]

ชีววิทยาควอนตัมอาจใช้การคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลองปฏิสัมพันธ์ทางชีวภาพในแง่ของผลกระทบทางควอนตัม[2] **ชีววิทยาควอนตัมเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของปรากฏการณ์ควอนตัมที่สามารถอธิบายได้โดยการลดกระบวนการทางชีววิทยาเป็นควอนตัมฟิสิกส์พื้นฐาน แม้ว่าผลกระทบเหล่านี้จะยากต่อการศึกษาและสามารถคาดเดาได้ก็ตาม**[4]

พื้นฐานทางกลศาสตร์ควอนตัม

โลกของควอนตัมนั้นเป็นโลกที่แสนจะประหลาด โลกของควอนตัมบนแผ่นกระดาษนั้นแตกต่างไปจากสิ่งที่พวกมันประพฤติตัวในโลกกความเป็นจริงยิ่งนัก จนสามารถเรียกความแปลกประหลาดเหล่านี้ได้ว่า "ความยุ่งเหยิง" อย่างแท้จริง

แมวของชโรดิงเจอร์ ซึ่งเป็นการทดลองทางความคิดของ Erwin Schrödinger คือหนึ่งในตัวอย่างการทดลองทางควอนตัมที่ได้รับการยอมรับสูงสุดและมีชื่อเสียงเป็นอย่างมาก (เพราะใคร ๆ ก็ชอบแมวยังไงละ) ที่ได้ออกแบบการทดลองโดยการวางแมวไว้ในกล่องปิดทับไม่สามารถเห็นภายในได้ กล่องหนึ่ง

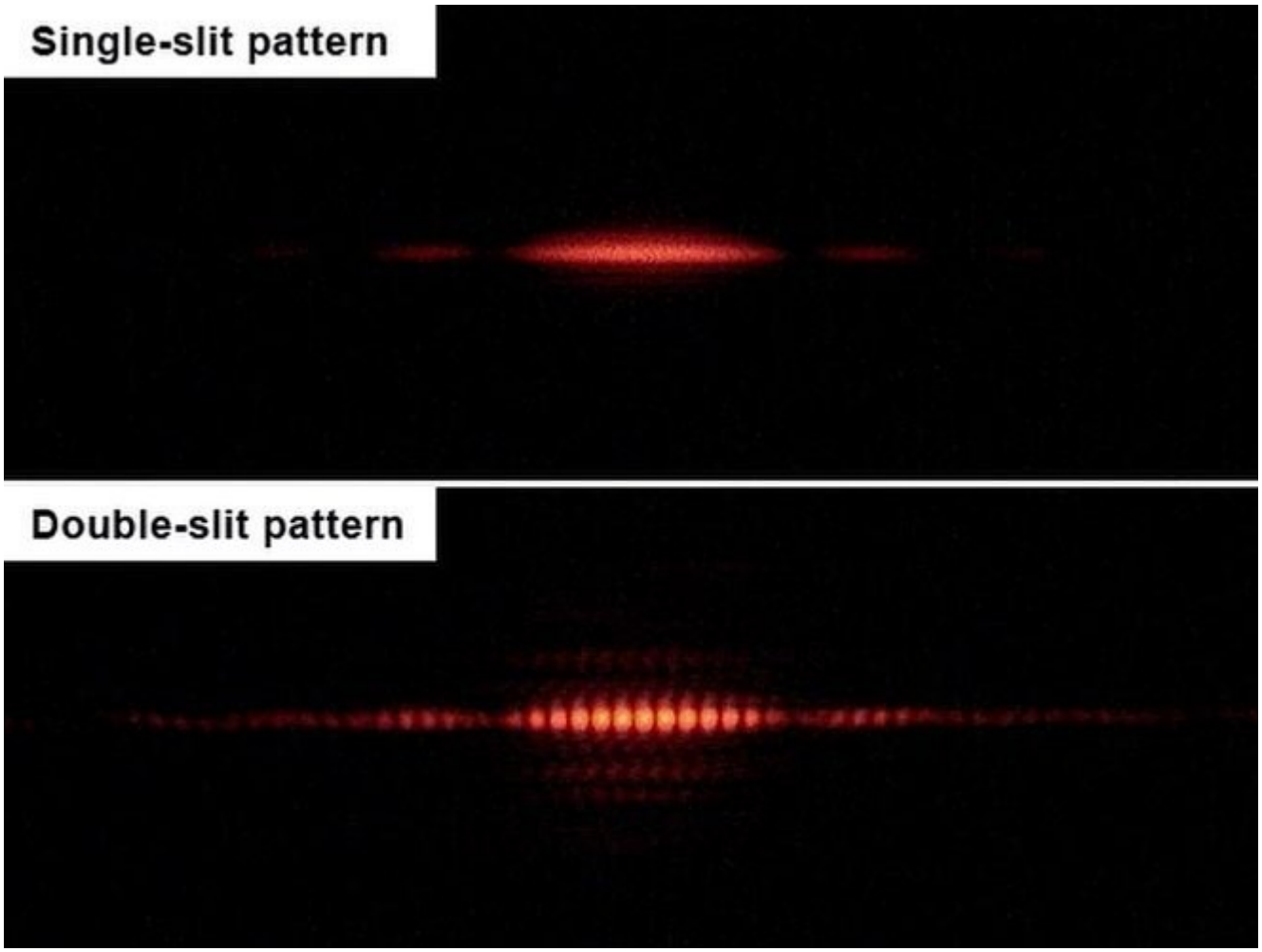


ชโรดิงเจอร์ เจ้าของการทดลองในอุดมคติที่โด่งดัง ที่มา – Helmholtz Association

ภายในกล่องมีเครื่องไกร์เกอร์มิเตอร์ที่ค่อยวัดระดับรังสีที่ปล่อยออกมาจากแร่กัมมันตรังสี เมื่อเครื่องไกร์เกอร์มิเตอร์สามารถตรวจจับได้ว่าตัวก้อนกัมมันตรังสีนั้นปลดปล่อยกัมมันตภาพรังสีออกมามันจะส่ง

สัญญาณไปทุบขวดแก้วที่เต็มไปด้วยแก๊สพิษภายในกล่องและส่งผลให้แมวตัวนั้นตาย อีกทั้งเราไม่สามารถเปิดกล่องใบนี้เพื่อเปิดดูได้ว่าแมวตัวนี้ตายหรือว่ายังมีชีวิตอยู่ แมวตัวนั้นจึงอยู่ในสภาวะกึ่งเป็นกึ่งตายที่เรียกว่า Quantum Superposition ซึ่งเป็นสภาวะที่แสนจะพัวพันจากการซ้อนทับกันของเหตุการณ์

นอกจากแมวในจินตนาการของเขาแล้ว ปรากฏการณ์ทางควอนตัมที่เราเรียนกันในสมัย ม.ปลาย ก็เช่น ปรากฏการณ์ double slit ที่แสดงพฤติกรรมเชิงควอนตัมของแสงที่เราสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งสุดท้ายมันคือบทเรียนเรื่องการแทรกสอด หรือ Interference ที่เราได้เรียนกัน



พฤติกรรมของแสงที่พัวพันกับคุณสมบัติเชิงควอนตัมของมัน ในการทดลอง double slit ที่มา – Live Science

ซึ่งการทดลองอื่น ๆ นอกเหนือจากการทดลองในระดับอนุภาคหรือวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าอะตอมแล้ว เรายังพยายามที่จะศึกษาการพัวพันทางควอนตัมในสิ่งมีชีวิตอีกด้วย เช่น เราตั้งสมมุติฐานว่าการที่นกสามารถบินอพยพกลับไปยังสถานที่เดิม ๆ ได้อย่างถูกต้องนั้นเป็นผลมากจากการพัวพันทางควอนตัม เป็นต้น ซึ่งนับครั้งไม่ถ้วน การทดลองทางควอนตัมกับเหล่าสิ่งมีชีวิตนั้นกลับล้มเหลวอยู่เสมอ

ตัวอย่างชีววิทยาควอนตัม

1 เข็มทิศควอนตัมกับตาของนกโรบิน

ในการอพยพไปยังพื้นที่ห่างไกลโดยไม่หลงทาง จากสนามแม่เหล็กโลกมาสู่คู่อิเล็กตรอนพัวพันหรือมีสถานะควอนตัมกันในตานก สู่การจัดทิศทางแล้วส่งผ่านความเข้มข้นสารสู่สมอง ได้ออกมาเป็นภาพแสงบอกทิศจึงกลับรังกลับถิ่นได้ถูกต้องแม่นยำ

https://www.ted.com/talks/jim_al_khalili_how_quantum_biology_might_explain_life_s_biggest_questions/transcript?utm_medium=on.ted.com-none&utm_campaign&awesm=on.ted.com_f0Fpw&language=th&utm_source=direct-on.ted.com&share=19f80466b1&utm_content=roadrunner-rrshorturl

2 จิตสำนึกควอนตัม (Quantum conscious)

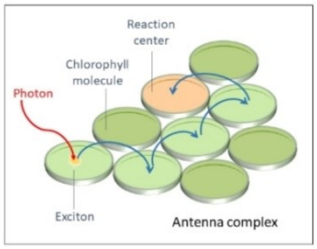
สมองส่วนจิตสำนึกเป็นศูนย์กลางการประมวลผลโดยการรับข้อมูลจากอวัยวะสัมผัสทั้ง5 ตา หู จมูก ลิ้น กายสัมผัส แล้วประมวลผลตอบสนองได้เป็นสัญชาติญาณพื้นฐาน กิน ขับถ่าย นอนพักผ่อน สืบพันธุ์ ทำงานฯลฯ สามารถอธิบายได้ด้วยสรีระกลศาสตร์ทั่วไปแต่การประมวลผลขั้นสูงของสมอง(จิตสำนึก) ได้แก่การคิด วิเคราะห์ แยกแยะ การบูรณาการ จินตนาการ ความคิดสร้างสรรค์ และอารมณ์ ความรู้สึกต่างๆ เช่น รัก โลภ โกรธหลง อิจฉา หดหู่หรือฟุ้งซ่าน จิตตั้งมั่นหรือไม่ตั้งมั่น จิตหลุดพ้นหรือไม่หลุดพ้น ฯลฯ ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสรีระกลศาสตร์ทั่วไป แต่สามารถอธิบายได้ด้วยกลศาสตร์ควอนตัม เนื่องจากมีงานวิจัยสนับสนุนว่า microtubule ในเซลล์ประสาทมีการสั่นไหวของอิเล็กตรอน โดยขณะที่เรากำลังใช้งานสมอง(จิตสำนึก)ในการประมวลผลที่ซับซ้อนต่างๆ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะส่งถ่ายข้อมูลไปยังอะตอมถัดๆไปในวงจรประสาท มีทั้งการซ้อนทับ แทรกสอด และ เป็นอิสระของอิเล็กตรอน จนกลายเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆในสมอง (สนามอารมณ์ความรู้สึกต่างๆนั่นเอง) ซึ่งเป็นขบวนการที่มีพื้นฐานมาจากกลไกทางควอนตัมนั่นเอง

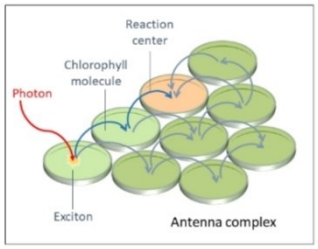
3 ความพัวพันควอนตัมในแบบทีเรีย (Bacteria quantum antanglement)

นำแบคทีเรียสองกลุ่มมาทำความรู้จักที่จะสังเคราะห์แสงร่วมกันหรือพัวพันกัน (quantum angtanglement)แล้วแยกแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งให้ได้รับแสงแล้วแยกแบคทีเรียอีกกลุ่มไม่ให้ได้รับแสง ปรากฏว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ได้รับแสงก็สามารถสังเคราะห์แสงได้ตามปกติเหมือนกลุ่มที่ได้รับแสง https://spaceth.co/quantum-bacteria/

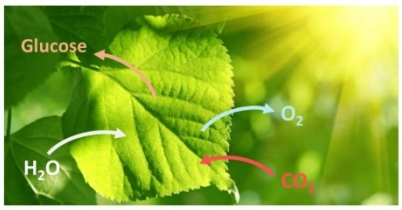
4 กลศาสตร์ควอนตัมกับการสังเคราะห์แสงของพืช

หลักการของ quantum coherence หรือภาวะพัวพันทางควอนตัม เกิดจากการที่อนุภาค (หรืออาจมองเป็นคลื่นเนื่องมาจากสมบัติทวิภาคทางควอนตัม) ไม่ได้อยู่ในสถานะใดเพียงสถานะเดียว หลักการนี้เรียกว่า superposition ตัวอย่างที่โด่งดังของหลักการนี้คือ การทดลองทางความคิดเรื่องแมวของชโรดิงเจอร์ ที่ถูกจับเข้าไปอยู่ในกล่องพร้อมด้วยยาพิษและสารกัมมันตรังสี ยาพิษจะทำงานเมื่อมีการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี ทั้งหมดนี้อยู่ในกล่องที่ปิด เราไม่สามารถรู้ได้เลยว่ายาพิษจะทำงานหรือไม่ หรือเมื่อใด และแมวที่อยู่ในกล่องนั้นจะยังมีชีวิตอยู่หรือตายแล้ว จนกว่าเราจะเปิดกล่องดู ซึ่งก็คือการวัดสถานะของระบบนั่นเอง อาจฟังดูโหดร้ายไปสักหน่อย แต่หากเราไม่ได้ไปรบกวนระบบ แมวอาจจะเป็นหรือตายก็ได้ในเวลาเดียวกัน นี่คือตัวอย่างของหลักการ superposition ที่อนุภาคหรือคลื่นอาจเป็นมากกว่าหนึ่งสถานะในขณะเวลาเดียวกัน แยกไม่ออก จนกว่าเราจะตรวจวัดระบบนั้นๆ หลักการนี้ถูกนำมาอธิบายการส่งผ่านพลังงานของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ที่ดักจับโฟตอนของแสง แล้วส่งผ่านไปยัง reaction center เมื่อโฟตอนถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลหนึ่ง มันอาจไม่ต้องเลือกกระโดดไปยังโมเลกุลใดโมเลกุลหนึ่ง แต่สามารถไปได้ทุกทิศทาง เหมือนกับการหว่านหินไปรอบๆ ตัวด้วยแรงเท่ากัน มันอาจจะเจอทางที่ลาดลงเนิน ที่หินสามารถกลิ้งตรงไปยัง reaction center ได้โดยเร็ว นี่อาจเป็นตัวช่วยที่ทำให้การส่งผ่านพลังงานนี้มีประสิทธิภาพแทนที่จะเดินสุ่มไปอย่างสะเปะสะปะ





ภาพแสดงการส่งต่อพลังงานแสงจากกลุ่มโมเลกุลคลอโรฟิลล์รอบนอก (antenna complex) เข้าสู่ reaction center แบบสุ่ม (ซ้าย) แบบ quantum coherence (ขวา)



ภาพแสดงการสังเคราะห์แสงของพืช

http://www.thaiphysoc.org/article/131/

5 ควอนตัมกับการถ่ายทอดพันธุกรรมและการกลายพันธุ์ของยีนใน DNA

McFadden และ Al-Khalili อธิบายว่าการวัดเอนไซม์ DNA polymerase ภายในเซลล์อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตัวอักษรเฉพาะของรหัสพันธุกรรม (การกลายพันธุ์) ในขณะที่ผู้เขียนไม่ได้ยกเว้นความเป็นไปได้ของ**การขดอุโมงค์ควอนตัมที่**มีบทบาทในการกลายพันธุ์แบบปรับตัวได้ แต่พื้นที่นี้ยังไม่ได้รับการวิจัยเพิ่มเติม

หนังสือเล่มนี้อธิบายต่อไปว่า DNA ของเราไม่เพียง แต่ส่งผลกระทบต่อโปรตีนของเราและเซลล์ของเราเท่านั้น แต่ข้อมูลทางพันธุกรรมยังไหลไปอีกทางหนึ่งด้วย สภาพแวดล้อมของเรามีผลต่อเซลล์ของเราในระดับพันธุกรรม

สิ่งนี้พลิกความเชื่อมาตรฐานของอณูชีววิทยาที่ข้อมูลทางพันธุกรรมสามารถไหลไปในทิศทางเดียวเท่านั้น - จากดีเอ็นเอไปยังเซลล์และไปยังร่างกายของเรา สภาพแวดล้อมของเรามีผลต่อยีนของเรามากพอ ๆ กับอีกทางหนึ่ง

ภาพโดย Pete Linforth จาก Pixabay

https://ichi.pro/th/khwam-khid-peliyn-pi-su-sing-tang-tam-chiw-wi-thya-kh-wxn-tam-xyangri-txn-thi-7-49032349318632

6 จิตสำนึกควอนตัม (Quantum conscious)

สมองส่วนจิตสำนึกเป็นศูนย์กลางการประมวลผลโดยการรับข้อมูลจากอวัยวะสัมผัสทั้ง5 ตา หู จมูก ลิ้น กายสัมผัส แล้วประมวลผลตอบสนองได้เป็นสัญชาติญาณพื้นฐาน กิน ขับถ่าย นอนพักผ่อน สืบพันธุ์ ทำงานฯลฯ สามารถอธิบายได้ด้วยสรีระกลศาสตร์ทั่วไปแต่การประมวลผลขั้นสูงของสมอง(จิตสำนึก) ได้แก่การคิด วิเคราะห์ แยกแยะ การบูรณาการ จินตนาการ ความคิดสร้างสรรค์ และอารมณ์ ความรู้สึกต่างๆ เช่น รัก โลภ โกรธหลง อิจฉา หดหู่หรือฟุ้งซ่าน จิตตั้งมั่นหรือไม่ตั้งมั่น จิตหลุดพ้นหรือไม่หลุดพ้น ฯลฯ ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสรีระกลศาสตร์ทั่วไป แต่สามารถอธิบายได้ด้วยกลศาสตร์ควอนตัม เนื่องจากมีงานวิจัยสนับสนุนว่า microtubule ในเซลล์ประสาทมีการสั่นไหวของอิเล็กตรอน โดยขณะที่เรากำลังใช้งานสมอง(จิตสำนึก)ในการประมวลผลที่ซับซ้อนต่างๆ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะส่งถ่ายข้อมูลไปยังอะตอมถัดๆไปในวงจรประสาท มีทั้งการซ้อนทับ แทรกสอด และ เป็นอิสระของอิเล็กตรอนจนกลายเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆในสมอง (สนามอารมณ์ความรู้สึกต่างๆนั่นเอง) ซึ่งเป็นขบวนการที่มีพื้นฐานมาจากกลไกทางควอนตัมนั่นเอง จากงานวิจัยสนับสนุนว่ากลศาสตร์ควอนตัมมีอิทธิพลต่อจิตสำนึกสามประการ

1) ความไม่แน่นอนของควอนตัมในการส่งกระแสประสาท

เพื่อให้ข้อมูลเดินทางผ่านสมองสารเคมีที่เรียกว่าสารสื่อประสาทจะต้องเคลื่อนที่ไปมาระหว่างเซลล์ประสาท สารสื่อประสาทเหล่านี้เคลื่อนผ่านไซแนปส์ระหว่างเซลล์ประสาททุกครั้งที่มีสัญญาณไฟในสมอง สำหรับการส่งสารสื่อประสาทแคลเซียมไอออนจำเป็นต้องเคลื่อนที่ไปมาระหว่างเซลล์ประสาท เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์มีช่องไอออนที่ยอมให้แคลเซียมไอออนผ่านได้ ช่องเหล่านี้มีขนาดเล็กมาก ขนาดของอะตอมแคลเซียม ขนาดเล็กทำให้เกิดความไม่แน่นอนทางควอนตัมว่าแคลเซียมไอออนจะเข้าสู่เซลล์ประสาทได้หรือไม่ ตามทฤษฎีแล้วความไม่แน่นอนทางควอนตัมที่เกิดขึ้นในเซลล์ประสาทหลายล้านล้านเซลล์พร้อมกันทำให้เกิดการผสมควอนตัมของสถานะทั่วทั้งสมอง ส่วนผสมของสถานะควอนตัมนี้อาจเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นที่ระบบทางกายภาพต้องใช้เพื่อสัมผัสกับจิตสำนึก

2) Quantum Computing ใน Microtubules

เซลล์ประสาทในสมองจะสั่นในการทำงานในรูปแบบที่สอดคล้องกันระหว่างกระบวนการคิดที่เฉพาะเจาะจง การสั่นแบบซิงโครนัสนี้อาจเป็นสิ่งที่ช่วยให้สามารถสื่อสารระหว่างบริเวณต่างๆของสมองและสร้างหน่วยความจำได้ การสั่นของความถี่ที่แตกต่างกันเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเดียวกันในสมองเพื่อหลีกเลี่ยงการรับส่งข้อมูลเมื่อสื่อสารไปยังส่วนอื่น ๆ ของสมอง กลศาสตร์ควอนตัมอาจอธิบายได้ว่าสามารถสร้างการเชื่อมต่อแบบสั่นในสมองได้กี่ชุดพร้อมกัน

วิธีหนึ่งที่การสั่นเหล่านี้อาจเกิดขึ้นคือถ้า microtubules ภายในเซลล์ประสาทถูกสร้างขึ้นเช่นคอมพิวเตอร์ควอนตัม Microtubules เปรียบเสมือนสมองของเซลล์สมอง พวกมันกำลังเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโครงสร้างอย่างรวดเร็วซึ่งตอบสนองต่อเหตุการณ์ทางจิตในทันทีโดยการกำหนดโครงสร้างของเดนไดรต์และแอกซอนซึ่งเป็นสาขาอินพุตและเอาต์พุตของเซลล์ประสาท อาร์เรย์ของ microtubules ในสมองอาจแสดงผลทางควอนตัมคล้ายกับในคอมพิวเตอร์ควอนตัม โดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเลกุลของ tubulin ใน microtubules อาจอยู่ในสถานะซ้อนทับของสถานะควอนตัมที่สามารถใช้สำหรับการประมวลผลควอนตัม นักวิจารณ์ยืนยันว่าการซ้อนทับของสถานะควอนตัมนี้ควรจะพังทลายลงภายใน 1 / 10^{12}วินาทีเนื่องจากการตกแต่งภายในซึ่งสั้นกว่ามิลลิวินาทีที่จำเป็นสำหรับกระบวนการไมโครทูบูลาร์ที่จะเกิดขึ้นในเซลล์ประสาท โรเบิร์ตเพนโรสนักฟิสิกส์เสนอกระบวนการความโน้มถ่วงเชิงควอนตัมเชิงสมมุติที่สามารถยืดอายุการใช้งานของการซ้อนทับเหล่านี้ได้ถึง 10 ถึง 100 มิลลิวินาที การซ้อนทับที่ยืดเยื้อเหล่านี้จะคงอยู่นานพอที่จะมีอิทธิพลต่อการทำงานของ microtubules อย่างมีความหมายและอนุญาตให้คอมพิวเตอร์ควอนตัมเกิดขึ้นในเซลล์ประสาท การศึกษาจากห้องปฏิบัติการของญี่ปุ่นพบหลักฐานว่าหาก microtubules ทำงานเหมือนคอมพิวเตอร์ควอนตัมเราควรคาดหวังว่าจะได้เห็นการสั่นพ้องและคุณสมบัติการนำไฟฟ้าแบบเดียวกับที่เราสังเกตเห็นในเซลล์ประสาท การวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าสถานะการหมุนที่พันกันสามารถรักษาได้ในสภาพแวดล้อมที่ร้อนและมีเสียงดังของสมอง งานวิจัยอื่น ๆ ได้เชื่อมโยงความสามารถของยาชาในการยับยั้งจิตสำนึกกับการหยุดชะงักทางเคมีของกระบวนการควอนตัม

หากคอมพิวเตอร์ควอนตัมเป็นส่วนสำคัญของการทำงานของระบบประสาทอาจเป็นข้อกำหนดพื้นฐานของระบบที่ใส่ใจและยืนยันทฤษฎีข้อมูลแบบบูรณาการ Ergo ซึ่งเป็น AI บนคอมพิวเตอร์ควอนตัมสามารถรู้ตัวได้ แต่ AI บนคอมพิวเตอร์แบบคลาสสิกไม่สามารถทำได้

3) การซิงโครไนซ์ระบบประสาทและเฟสล็อค

คำอธิบายอีกประการหนึ่งของการสั่นแบบซิงโครนัสในสมองคือการล็อกเฟสประสาท การล็อกเฟสคือเมื่อซิแนปส์เริ่มทำงานในเวลาเดียวกัน สิ่งนี้อาจเกิดขึ้นจากการเชื่อมโยงควอนตัมระหว่างเซลล์ประสาท การเชื่อมโยงกันของควอนตัมคือเมื่อมีความสัมพันธ์ที่ทราบได้ระหว่างเฟสของคลื่นฟังก์ชันของอนุภาคต่างๆ โดยทั่วไปแล้วความสัมพันธ์ของเฟสจะกลายเป็นเรื่องที่รู้ได้น้อยลงเรื่อย ๆ เนื่องจากอนุภาคจำนวนมากขึ้นไปเกี่ยวพันกันดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะรักษาระดับของสมองไว้ นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องมีการเชื่อมโยงกันใน microtubules เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นคอมพิวเตอร์ควอนตัม ดังที่เราได้กล่าวไปแล้วการวิจัยจำนวนมากขึ้นกำลังชี้ให้เห็นว่าการเชื่อมโยงกันเป็นไปได้สำหรับระบบทางชีววิทยาดังนั้นจึงไม่ใช่การก้าวกระโดดที่ยิ่งใหญ่ที่สุดในตรรกะที่คิดว่าสมองสามารถรักษาไว้ได้

https://ichi.pro/th/citsanuk-pen-prakt-ka-rnkh-wxn-tam-hrux-mi-277881796090192

7 การทำงานของเอนไซม์ (ชีวเคมีควอนตัม)

เอนไซม์อาจใช้อุโมงค์ควอนตัมเพื่อถ่ายโอนอิเล็กตรอนในระยะทางไกล เป็นไปได้ว่าสถาปัตยกรรมควอเทอร์นารีของโปรตีนอาจได้รับการพัฒนาเพื่อช่วยให้สามารถพัวพันและการเชื่อมโยงกันของควอนตัมได้อย่างยั่งยืน [46]โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกเขาสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นผ่านการขุดอุโมงค์ไฮโดรเจน [47] การขุดอุโมงค์หมายถึงความสามารถของอนุภาคมวลขนาดเล็กที่จะเดินทางผ่านอุปสรรคด้านพลังงาน ความสามารถนี้เกิดจากหลักการของความสมบูรณ์ซึ่งถือได้ว่าวัตถุบางอย่างมีคุณสมบัติเป็นคู่ที่ไม่สามารถวัดแยกกันได้โดยไม่เปลี่ยนผลลัพธ์ของการวัด อิเล็กตรอนมีคุณสมบัติทั้งคลื่นและอนุภาคดังนั้นจึงสามารถผ่านอุปสรรคทางกายภาพเป็นคลื่นได้โดยไม่ละเมิดกฎของฟิสิกส์ การศึกษาแสดงให้เห็นว่าการถ่ายโอนอิเล็กตรอนทางไกลระหว่างอกซ์ศูนย์ผ่านอุโมงค์ควอนตัมมีบทบาทสำคัญในการเอนไซม์กิจกรรมของการสังเคราะห์แสงและการหายใจของเซลล์ [48] [49]ตัวอย่างเช่นการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการขุดอุโมงค์อิเล็กตรอนระยะไกลตามลำดับ 15-30 Åมีบทบาทในปฏิกิริยารีดอกซ์ในเอนไซม์ของการหายใจระดับเซลล์ [50]หากไม่มีการขุดอุโมงค์ควอนตัมสิ่งมีชีวิตจะไม่สามารถเปลี่ยนพลังงานได้เร็วพอที่จะรักษาการเติบโตได้ แม้ว่าจะมีการแยกขนาดใหญ่ระหว่างไซตรีดอกซ์ภายในเอนไซม์ แต่อิเล็กตรอนก็สามารถถ่ายเทได้โดยทั่วไปในอุณหภูมิที่เป็นอิสระ (นอกเหนือจากสภาวะที่รุนแรง) และขึ้นอยู่กับระยะทาง [47]สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของอิเล็กตรอนในการขุดอุโมงค์ในสภาวะทางสรีรวิทยา นอกจากนี้การวิจัยเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อตรวจสอบว่าอุโมงค์นี้โดยเฉพาะนอกจากนี้ยังมีการเชื่อมโยงกัน

https://hmong.in.th/wiki/QuantumBiology