

ประวัติศาสตร์ฟิสิกส์ควอนตัม

History of Quantum Physics

โดย สมพจน์ กรรณนุช

พ.ศ. 2561

ในปี พ.ศ. 2469 (ค.ศ. 1926) หรือ 92 ปีที่แล้ว มีถ้อยคำจาก อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) แสดงอุปมาอุปมัยว่า พระเจ้าไม่ทอดลูกเต๋า (He [God] does not throw dice) ในจดหมายถึง แมกซ์ บอร์น (Max Born) เป็นตำนานของการปฏิวัติของศาสตร์ฟิสิกส์จากยุคเดิมเป็นศาสตร์ฟิสิกส์ยุคกลศาสตร์ควอนตัม (Quantum mechanics) ที่กลายเป็นศาสตร์ฟิสิกส์กระแสหลักในปัจจุบัน และเป็นวิทยากรเบื้องหลังการปฏิวัติสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์จากยุคเดิมเป็นสถาปัตยกรรมควอนตัมคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน และเทคโนโลยีควอนตัมในอีกหลายเรื่อง นอกจากนี้ ศาสตร์ฟิสิกส์ควอนตัม ยังมีอิทธิพลในเชิงปรัชญาความเข้าใจความเป็นจริงของการมีอยู่จริงของสรรพสิ่งในโลกและจักรวาลเข้าใกล้ปรัชญาตะวันออกและศาสนาพุทธ มีนักเขียนหลายท่านใช้กลศาสตร์ควอนตัมอธิบายธรรมชาติของจิต

1. ฟิสิกส์ควอนตัม คืออะไร

นักวิทยาศาสตร์ตะวันตกจำนวนมากตั้งแต่ พ.ศ. 2402 หรือ 159 ปีที่แล้ว เริ่มศึกษาปรากฏการณ์วัตถุดำหรือรังสี (Black body radiation) และอธิบายว่าภาวะเรืองแสงแปรผันตามอุณหภูมิ พบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในปี 2430 พบรังสีเอกซ์เรย์ในปี พ.ศ. 2438 พบปรากฏการณ์แผ่รังสีจากเกลียวเรเนียมในปี พ.ศ. 2439 พบประจุไฟฟ้าอิเล็กตรอนในปี พ.ศ. 2440 พบปรากฏการณ์แผ่รังสีจากกระบวนการสลายตัวของนิวเคลียสของอะตอม ในปี พ.ศ. 2442-2446

ในปี พ.ศ. 2443 แมกซ์ พลังค์ (Max Planck เยอรมัน) เมื่อประมาณ 118 ปีที่แล้ว ให้ข้อสันนิษฐานว่า พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic energy) จะแผ่ออกมาจากวัตถุได้จะต้องเป็นอนุภาค (Particle) ที่มีปริมาณที่แบ่งแยกได้ (Discrete amount) จึงได้สมการ $E = h \cdot \nu$ โดยให้ E แทนพลังงาน h เป็นค่าคงที่ของจำนวนอนุภาค และ ν เป็นตัวแปรความถี่ และเรียกปริมาณที่แบ่งแยกได้ว่าควอนตา (quanta) จึงถือว่าเป็นจุดตั้งต้นของฟิสิกส์ควอนตัม (Quantum physics)

ในปี พ.ศ. 2448 หรือ 113 ปีที่แล้ว อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein เยอรมัน-ยิว) ให้ข้อสันนิษฐานสำหรับปรากฏการณ์แสงไฟฟ้า (Photoelectric) ว่า วัตถุที่เปล่งแสงออกมาสามารถปล่อยอนุภาคอิเล็กตรอน (Electron particle) และเรียกหน่วยของอนุภาคของแสงไฟฟ้าที่ แมกซ์ พลังค์ ใช้ในสมการว่า โฟตอน (Photon) และเป็นผู้ให้คำอธิบายว่า สสารและพลังงานเป็นสิ่งเดียวกัน ได้แก่ $E = MC^2$ โดยให้ E แทนพลังงาน M แทนสสาร และ C^2 แทนความเร็วแสงกำลังสอง

ศาสตร์กลศาสตร์ควอนตัม เริ่มปรากฏตัวจากกระบวนการคิดของ สำนักโคเปนเฮเกน (Copenhagen interpretation) เมืองหลวงของประเทศเดนมาร์ก โดยมี นิลส์ บอห์ร (Niels Henrik David Bohr) เป็นผู้นำ และ เวอร์เนอร์ ไฮเซนเบิร์ก (Werner Heisenberg) เป็นผู้ช่วย เริ่มเผยแพร่ในปี พ.ศ. 2468-2470 หรือ 93 ปีที่แล้ว ซึ่งให้คำอธิบายและข้อตีความว่า ในระดับจุลภาคอนุภาควัตถุ (Object particle) ทั้งหมดในจักรวาลไม่มีสถานะแน่นอนจนกระทั่งมีการตรวจวัด (Measurement) หรือการสังเกต (Observation) เพราะมีสถานะเป็นคลื่น (Wave function) การตรวจวัด (Measurement) หรือการสังเกต (Observation) จะหยุด

สภาวะเป็นคลื่น (Wave function collapse) และเปลี่ยนเป็นสภาวะอนุภาควัตถุ (Object particle) หลังจากนั้นจะกลับสู่สภาวะเป็นคลื่น (Wave function) ที่มีวิวัฒนาการต่อเนื่อง และหยุดสภาวะเป็นคลื่น (Wave function collapse) เปลี่ยนเป็นสภาวะอนุภาควัตถุ (Object particle) เพราะมีการตรวจวัด (Measurement) สลับไป-มาเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง บทความใน ThoughtCo. โดย Andrew Zimmerman Jones (Jones 2017) จะให้ความกระจ่างได้มากที่สุด

ข้อดีความของ นิลส์ บอร์ และ เวอร์เนอร์ ไฮเซนเบิร์ก ก่อให้เกิดความกระอักกระอ่วนในวงการฟิสิกส์ในสมัยนั้น ไอส์ไตน์ และคนอื่นๆในเวลานั้น มีความคิดว่าพฤติกรรมของอนุภาควัตถุในระดับจุลภาคน่าจะมีวิธีล่วงรู้ได้จากตัวแปรแฝง (Hidden variable) ซึ่งเป็นข้อสันนิษฐานที่แตกต่างไปจากข้อดีความของสำนักโคเปนเฮเกน ความแตกต่างระหว่างกลุ่มไอส์ไตน์กับสำนักโคเปนเฮเกน เรียกว่า ข้อโต้แย้ง บอร์-ไอส์ไตน์ (Bohr–Einstein debates) และมีเอกสารอธิบายผลการทดลองทางการคำนวณที่ใช้ตัวแปรแฝง (Hidden variable) ที่เรียกว่า การทดลองทางความคิด (Thought experiment) ออกเผยแพร่จากคณะของไอส์ไตน์ ในปี พ.ศ. 2478 หรือ 83 ปีที่แล้ว เป็นที่เรียกกันว่า Einstein–Podolsky–Rosen paradox หรือ EPR paradox (Jones 2017) ซึ่งเกิดจากบุคคลประกอบด้วยอัลเบิร์ต ไอส์ไตน์ (Albert Einstein) และคณะ ได้แก่ โบริส โปโดลสกี (Boris Podolsky) และ เนธาน โรเซน (Nathan Rosen) ซึ่งแสดงจุดยืนว่า ในระดับจุลภาคสภาวะเป็นคลื่น (Wave function) ของอนุภาควัตถุต่างๆในโลกและจักรวาลไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนสภาพความเป็นจริงของโลกและจักรวาล และเห็นว่าข้อดีความของสำนักโคเปนเฮเกน ยังมีความบกพร่องในความสมบูรณ์

ถ้อยคำจาก อัลเบิร์ต ไอส์ไตน์ (Albert Einstein) เพื่อแสดงอุปมาอุปไมยว่า พระเจ้าไม่ทอดลูกเต๋า (He [God] does not throw dice) ในจดหมายถึง แมกซ์ บอร์น (Max Born) แสดงให้เห็นจุดยืนที่เห็นว่าจะต้องมีวิธีที่จะล่วงรู้สถานะของอนุภาควัตถุในระดับจุลภาคมากกว่าการยอมรับสถานะความไม่แน่นอนที่ใช้ในทฤษฎีควอนตัมซึ่งทำให้ไม่สามารถล่วงรู้ได้

บทความใน Business Insider โดย Kelly Dickerson (Dickerson 2015) ให้ความกระจ่างว่า ไอส์ไตน์ มีความคิดและหวังว่าการเคลื่อนไหวของอนุภาคที่เล็กที่สุดน่าจะมีอัตราและทิศทางที่วัดได้แน่นอน และไม่ได้หมายถึง ความคิดอคติเข้าข้างศาสนา (Natarajan 2008) ในการบรรยายของ Stephen Hawking (ไม่ทราบปี) (Hawking, Year?) ให้ความกระจ่างว่า ไอส์ไตน์ หมายถึง น่าจะมีคนที่รู้ความเป็นจริง (เช่น พระเจ้า) แต่ทฤษฎีควอนตัมทำให้เราไม่รู้ความเป็นจริง

บทความในเว็บไซท์ ThoughtCo. โดย Andrew Zimmerman Jones 3 เรื่อง ได้แก่ EPR Paradox in Physics (Jones 2017a) The Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics (Jones 2017b) และ Understanding the "Schrodinger's Cat" Thought Experiment (Jones 2018) ให้ความกระจ่างว่า ในเอกสารทฤษฎีควอนตัมของสำนักโคเปนเฮเกน (Copenhagen interpretation) เองก็ไม่ได้ให้เหตุผลว่าทำไมจึงใช้สภาวะคลื่น (Wave function) เป็นตัวแทนสภาพแวดล้อมในระดับจุลภาค ซึ่งทำให้อนุภาคต่างๆไม่มีสถานะที่แน่นอน แต่ควบคุมด้วยกฎความน่าจะเป็น (Probability) แตกต่างกับสภาพแวดล้อมในระดับมหภาคที่สามารถรู้และพยากรณ์ปรากฏการณ์ต่างๆได้แน่นอน

เอกสารทฤษฎีควอนตัมของสำนักโคเปนเฮเกน (Copenhagen interpretation) (Jones 2017b) เพียงบรรยายว่า

"The Copenhagen interpretation considers two realms: there is the macroscopic, classical realm of our measuring instruments governed by Newton's laws; and there is the microscopic, quantum realm of atoms and other small things governed by the Schroedinger

equation. It argues that we never deal directly with the quantum objects of the microscopic realm. We therefore need not worry about their physical reality, or their lack of it. An 'existence' that allows the calculation of their effects on our macroscopic instruments is enough for us to consider."

ข้อความดังกล่าวอ่านได้ความว่า สำหรับดินแดนในระดับมหภาคที่เราสัมผัสได้โดยตรงกฎของนิวตัน (Newton's law) ทำให้เราทำงานตรวจวัดและพยากรณ์ได้ แต่สำหรับดินแดนในระดับจุลภาคซึ่งเราไม่สามารถเข้าถึงได้โดยตรง มีกฎที่แตกต่างออกไปซึ่งควบคุมด้วยสมการของชโรดิงเงอร์ (Schroedinger equation) และเราไม่จำเป็นต้องหาเหตุผล หรือเพียงแต่รับรู้ว่ามีเหตุผล แต่การยอมรับสถานะเช่นนั้น เพื่อให้เราสามารถคำนวณผลของมันเพื่อใช้งานในระดับมหภาคถือว่าเพียงพอ

กระแสหลักของฟิสิกส์ในเวลานั้นให้การยอมรับหลักการของ ชูตไฮสไตน์ หรือ EPR paradox เรื่อยมาเป็นเวลาเกือบ 40 ปี จนถึงในปี พ.ศ. 2507 จุดอ่อนของ EPR paradox ได้รับการเปิดเผยจากการพิสูจน์เชิงการคำนวณของ จอห์น สตวต เบลล์ (John Stewart Bell) ซึ่งใช้วิธี Bell's inequality แสดงให้เห็นว่าข้อสันนิษฐานตัวแปรแฝง (Hidden variable) ของ EPR paradox ไม่สอดคล้องกับผลพยากรณ์จากทฤษฎีควอนตัม เป็นจุดพัวพันความสนใจแก่กลศาสตร์ควอนตัม (Quantum mechanics) จนกระทั่งกลายเป็นฟิสิกส์กระแสหลักในปัจจุบัน

มีการทดลองหลายครั้งตามหลักการของ จอห์น สตวต เบลล์ ซึ่งสนับสนุนทฤษฎีควอนตัม จนถึงปี พ.ศ. 2558 จึงได้มีการทดลองที่สามารถปิดช่องโหว่ได้มากจนเหลือเพียง 1 จุด

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมกลศาสตร์ควอนตัม ต้องการค้นหาเหตุผลที่อนุภาควัตถุ (Object particle) 2 ตัวแสดงพฤติกรรมเดียวกัน เช่น ทิศทางการหมุน (Spin) ตำแหน่ง (Position) การเหวี่ยง (Momentum) และการแสดงขั้ว (Polarization) ได้แก่ เมื่ออนุภาควัตถุตัวที่ 1 ถูกตรวจวัด (Measure) และแสดงทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกา และพบที่ $-1/2$ อนุภาควัตถุตัวที่ 2 จะแสดงทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา และพบที่ตำแหน่ง $+1/2$ ทำให้ได้ความน่าจะเป็นรวมกันเท่ากับ 1 ปรากฏการณ์กลศาสตร์ควอนตัมเช่นนี้เรียกว่าเอนแทงเกิลเมนต์ควอนตัม (Quantum entanglement) ข้อตีความของสำนักโคเปนเฮเกน (Copenhagen interpretation) เพื่ออธิบายปรากฏการณ์เช่นนี้ ได้แก่ ในระดับจุลภาคอนุภาควัตถุ (Object particle) อยู่ในสถานะเป็นคลื่น (Wave function) จึงจะสามารถมีพฤติกรรมเดียวกันเมื่อถูกตรวจวัด (หรือจะไม่สามารถแสดงพฤติกรรมเดียวกันหากไม่มีสถานะเป็นคลื่น)

สถานะเป็นคลื่นของสรรพสิ่งจึงขัดกับสภาพความเป็นจริงที่มนุษย์รับรู้ตามปกติ (Intuition) ที่เห็นเป็นวัตถุ

การพิสูจน์ว่าอิเล็กตรอนมีธรรมชาติเป็นคลื่นจึงมีการทดลองจำนวนมาก ตามปกติมนุษย์เข้าใจว่าอิเล็กตรอนเป็นอนุภาควัตถุ (Object particle) ที่มีมวล และมีน้ำหนัก การทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าอิเล็กตรอนมีธรรมชาติเป็นคลื่นจึงยืนยันข้อตีความของสำนักโคเปนเฮเกนในการอธิบายเอนแทงเกิลเมนต์ควอนตัม (Quantum entanglement) การทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าอิเล็กตรอนมีธรรมชาติเป็นคลื่นต้องการแสดงให้เห็นว่าสถานะคลื่นยุติเมื่อมีการตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์การทดลองที่เรียกว่าการทดลองร่องผ่านคู่ (Double slit experiment)

แม้ว่าปรากฏการณ์เอนแทงเกิลเมนต์ควอนตัม (Quantum entanglement) ยังไม่มีคำอธิบายใดๆ แต่มนุษย์เริ่มใช้ประโยชน์ปรากฏการณ์เอนแทงเกิลเมนต์ควอนตัมเป็นสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ยุคใหม่ซึ่งตามหลักการจะมีความเร็วสูงกว่าสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอย่างมาก

2. การทดลองร่อนผ่านคู่ (Double slit experiment)

การทดลองร่อนผ่านคู่ (Double slit experiment) เริ่มตั้งแต่โทมัส ยัง ในปี พ.ศ. 2344 หรือ 217 ปีที่แล้ว ก่อนหน้ากำเนิดของฟิสิกส์ควอนตัม เป็นเวลานาน มีจุดมุ่งหมายเพื่อพิสูจน์ว่าแสงมีธรรมชาติเป็นคลื่น ต่อมา Clinton Davisson และ Lester Germer เป็นผู้ทดลองร่อนผ่านคู่ ในปี พ.ศ. 2466-2470 หรือ 95 ปีที่แล้ว เพื่อพิสูจน์ว่าอนุภาคอิเล็กตรอน มีคุณสมบัติเป็นทั้งวัตถุ และคลื่น (Wave-particle duality)

การทดลองในบ้าน เพื่อสังเกตคุณสมบัติของคลื่นน้ำ แสดงใน ภาพ 1 ใช้กล่องโฟมเก็บความเย็น ใส่ น้ำ แล้วใช้ซีอิ้วดำผสมเพื่อให้น้ำเป็นสีทึบ ใช้โคมไฟสอดแสงจากด้านบนเพื่อถ่ายภาพ เพื่อให้ได้ภาพชัดเจนใช้กระดาษขาว A4 บังหน้าโคมไฟเพื่อเป็นฉากให้สะท้อนสีขาวยาวในน้ำ ใช้ตะเกียบ 2 อันผูกกับหลอดเพื่อทำคลื่น ใช้ตะเกียบข้างเดียวตีน้ำเพื่อสังเกตคลื่นที่มีจุดกำเนิดเดียว และใช้ตะเกียบ 2 ข้างตีน้ำพร้อมกัน เพื่อสังเกตคลื่นที่มีจุดกำเนิด 2 จุด จะเห็นว่าเมื่อยอดคลื่นเจอยอดคลื่นจะเสริมกันและกัน และถ้ายอดคลื่นเจอด้านคลื่นจะหักล้างซึ่งกันและกัน และจะเห็นว่าจะมีจุดที่ยอดคลื่นที่เสริมกันหลายจุด ทำให้มีความเข้มมากกว่าจุดอื่นๆ และมีจุดที่ยอดคลื่นเจอด้านคลื่นและหักล้างกันหลายจุด ทำให้คลื่นสลายตัวเป็นที่ว่าง ทั้ง 2 แบบเพื่อสังเกตคุณสมบัติของคลื่นน้ำ เพื่อใช้อธิบายคุณสมบัติของคลื่นสำหรับแสง

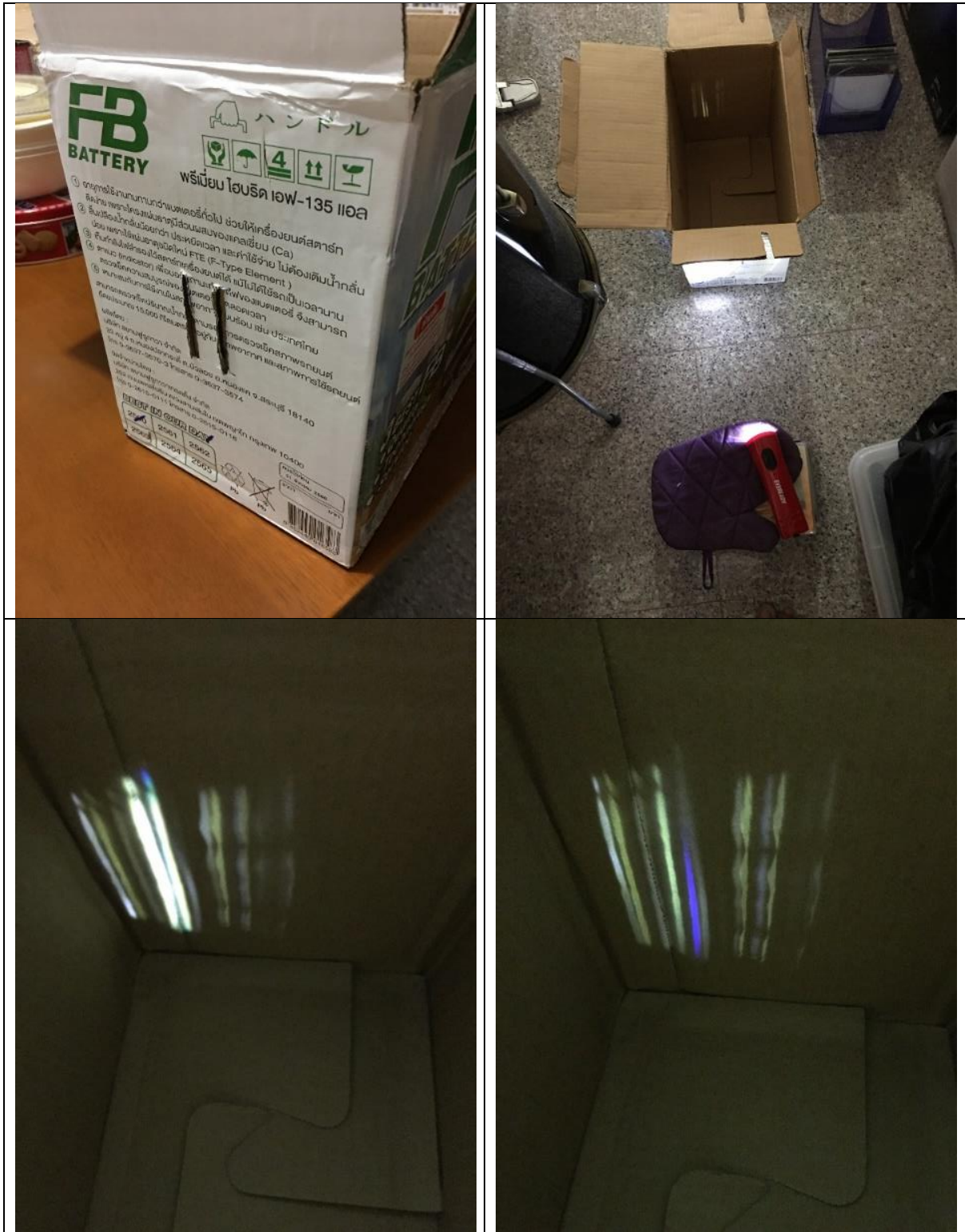
สำหรับการทดลองในบ้านเพื่อสังเกตคุณสมบัติของคลื่นแสง แสดงใน ภาพ 2 ใช้กล่องกระดาษ เจาะเป็นช่องยาว 5 ซม. 2 ช่อง ห่างกัน 2 ซม. ใช้ไฟฉายสอดแสงไฟจากด้านบนนอกเข้าไปในกล่อง จะมองเห็นขีดในที่มีมืด ในกล่องได้ภาพ เป็นแถบแสงหลายแถบ เพื่อสังเกตว่าแสงมีธรรมชาติเป็นคลื่น เหมือนคลื่นน้ำ

แถบของแสงในกล่องมีมากกว่า 2 แถบ แสดงว่า แสงมีธรรมชาติเป็นคลื่น ซึ่งมียอดคลื่นสลับกับท้องคลื่นต่อเนื่องกันจำนวนมาก ช่องแสงผ่าน 2 ช่องทำให้มีจุดกำเนิดคลื่น 2 จุดที่จะรบกวนซึ่งกันและกัน เมื่อยอดคลื่นเจอยอดคลื่นจะเสริมกันและกัน ทำให้เกิดความเข้มสูงให้เห็นได้หลายแถบ และถ้ายอดคลื่นเจอด้านคลื่นจะหักล้างซึ่งกันและกัน จึงเกิดเป็นความมืดให้เห็นได้หลายแถบ

การทดลองในห้องทดลองวิทยาศาสตร์ที่ใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ทางอุตสาหกรรม เป็นพื้นฐานของการทดลองทางฟิสิกส์ในสมัยหลังๆ ซึ่งให้ผลในทางยืนยันข้อตีความของสำนักโคเปนเฮเกน (Copenhagen interpretation) ของ นิลส์ บอห์ร์ และ เวอร์เนอร์ ไฮเซนเบิร์ก ว่า วัตถุทั้งหมดในจักรวาลไม่มีสถานะแน่นอนจนกระทั่งมีการตรวจวัด (Measurement) หรือการสังเกต (Observation) เพราะมีสถานะเป็นคลื่น (Wave function) การตรวจวัด (Measurement) หรือการสังเกต (Observation) จะหยุดสภาวะเป็นคลื่น (Wave function collapse) และเปลี่ยนเป็นสภาวะอนุภาควัตถุ (Object particle) ได้แก่ อนุภาคอิเล็กตรอน ที่ยิงผ่านร่อนผ่านคู่ไปที่ฉากรับส่วนหลังจะปรากฏเป็นแถบหลายแถบ ซึ่งแสดงว่าอนุภาคอิเล็กตรอน มีคุณสมบัติเป็นคลื่น แต่ถ้าผู้ทดลองติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด จะทำให้อนุภาคอิเล็กตรอน ที่ยิงผ่านร่อนผ่านคู่ไปที่ฉากรับส่วนหลังจะปรากฏเป็นแถบ เพียง 2 แถบ ซึ่งแสดงว่าอนุภาคอิเล็กตรอนเปลี่ยนคุณสมบัติเป็นอนุภาควัตถุ (Object particle) รายละเอียดการทดลองมีดังนี้



ภาพ 1 การทดลองเพื่อสังเกตคุณสมบัติของคลื่นน้ำ



ภาพ 2 การทดลองร่องผ่านคู่ (Double slit experiment) เพื่อสังเกตว่าแสงมีธรรมชาติเป็นคลื่น

การทดลองเริ่มจากปิดร่องผ่านของฉากส่วนหน้าให้เหลือ 1 ช่อง และยิงกระสุนอิเล็กตรอนจำนวนมากผ่านร่องผ่านของฉากส่วนหน้า ไปตกที่ฉากรับกระสุนอิเล็กตรอนส่วนหลัง พบว่ามีรอยเปื้อนของฉากรับกระสุนเป็นแถบเข้ม 1 แถบ ต่อมาเปิดร่องผ่านของฉากส่วนหน้าที่ปิดไว้ จึงมี 2 ช่องที่กระสุนอิเล็กตรอนจะรอดไปถึงฉากส่วนรับกระสุน และยิงกระสุนอิเล็กตรอนจำนวนมากผ่านร่องผ่านของฉากส่วนหน้า ไปตกที่ฉากรับกระสุนอิเล็กตรอนส่วนหลัง พบว่ามีรอยเปื้อนของฉากรับกระสุนเป็นแถบเข้ม หลายแถบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กระสุนอิเล็กตรอนมีสถานะเป็นคลื่น เพราะเมื่อคลื่นรอดผ่านช่อง 2 ช่องออกไปจะมี 2 คลื่นที่รบกวนกันเอง ยอดคลื่นเจอยอดคลื่นจะเสริมความแรงของคลื่น แต่ถ้ายอดคลื่นเจอกับท้องคลื่นจะหักล้างซึ่งกันและกันจนสลายคลื่นไปหมด ด้วยเหตุนี้จึงพบว่ามีรอยเปื้อนของฉากรับกระสุนเป็นแถบเข้ม หลายแถบ ที่เกิดจากยอดคลื่นเจอยอดคลื่น และช่องว่างหลายช่องที่เกิดจากยอดคลื่นเจอกับท้องคลื่นจะหักล้างซึ่งกันและกันจนสลายคลื่นไปหมด

ผู้ทำการทดลองยังไม่แน่ใจ ว่าปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดจากการยิงกระสุนอิเล็กตรอนจำนวนมากแล้วเกิดภาวะรบกวนกันเอง จึงเปลี่ยนเป็นใช้วิธียิงกระสุนอิเล็กตรอนทีละนัดต่อเนื่อง และพบว่ามีรอยเปื้อนของฉากรับกระสุนเป็นแถบเข้ม หลายแถบ เช่นเดิม ซึ่งเป็นหลักฐานยืนยันว่า กระสุนอิเล็กตรอนมีสถานะเป็นคลื่นอย่างแน่นอน

ปรากฏการณ์เช่นนี้ทำให้ผู้ทำการทดลองสงสัยว่า กระสุนอิเล็กตรอนที่ยิงทีละนัดผ่านร่องผ่านช่องใด จึงติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดที่ร่องผ่านช่องหนึ่ง และพบว่ามีรอยเปื้อนของฉากรับกระสุนเป็นแถบเข้มเพียง 2 แถบเท่านั้น ซึ่งเป็นหลักฐานให้เห็นว่า กระสุนอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจากคลื่นเป็นอนุภาควัตถุ (Object particle) ซึ่งเป็นผลจากการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด นักวิทยาศาสตร์เรียกว่าสถานะคลื่นถูกทำลาย (Wave function collapse) ซึ่งเหตุการณ์เช่นนี้ยังคงยืนยันเหมือนเดิมแม้ว่าจะทดลองติดตั้งเครื่องตรวจวัดที่ด้านหลังฉากส่วนหน้า หรือทดลองโดยวิธีให้เครื่องตรวจวัดเปิดใช้อยู่แต่ดับเพียงครึ่งเวลา และพบว่าจะมีเพียงเหตุการณ์เดียวที่กระสุนอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะกลับเป็นคลื่น คือเมื่อถอดปลั๊กเครื่องตรวจวัด

3. การทดลองเอนแทงเกิลเมนต์ควอนตัม (Quantum entanglement)

การทดลองเอนแทงเกิลเมนต์ควอนตัม (Quantum entanglement) มีจุดมุ่งหมายเพื่อยืนยัน หรือปฏิเสธ ว่าอนุภาคอิเล็กตรอนมีธรรมชาติเป็นคลื่น ตามข้อตีความของสำนักโคเปนเฮเกน (Copenhagen interpretation) ของ นิลส์ บอห์ร์ และ เวอร์เนอร์ ไฮเซนเบิร์ก ซึ่งให้ข้อสันนิษฐานว่า วัตถุทั้งหมดในจักรวาลไม่มีสถานะแน่นอนจนกระทั่งมีการตรวจวัด (Measurement) หรือการสังเกต (Observation) เพราะมีสถานะเป็นคลื่น (Wave function) การตรวจวัด (Measurement) หรือการสังเกต (Observation) จะหยุดสถานะเป็นคลื่น (Wave function collapse) และเปลี่ยนเป็นสถานะอนุภาควัตถุ (Object particle)

การออกแบบวิธีการทดลอง โดยใช้กระสุนโฟตอนยิงออกจากปืนเลเซอร์ทีละ 1 นัด และใช้ผลึกคริสตัลแตกกระสุนโฟตอนเป็น 2 ส่วนที่มีเส้นทางต่างกัน แล้วติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเพียง 1 เส้นทาง พบว่ากระสุนโฟตอนทั้ง 2 ส่วนมีทิศทางการหมุน ตำแหน่ง และขั้วเหมือนกัน และมีการทดลองซ้ำจำนวนมากก็จะได้ผลเหมือนกันทุกครั้ง และแม้ว่าจะแยกเส้นทางของกระสุนโฟตอนทั้ง 2 ส่วนให้ห่างไกลกันมากขึ้น ก็จะได้ผลเหมือนกันทุกครั้ง ได้แก่ เมื่อมีการตรวจวัดกระสุนโฟตอนนัดหนึ่ง ซึ่งจะทำให้กระสุนโฟตอนนัดที่ตรวจวัดปรากฏมีทิศทางการหมุน ตำแหน่ง และขั้ว จะทำให้กระสุนโฟตอนนัดที่ไม่ได้ตรวจวัดปรากฏมีทิศทางการหมุน ตำแหน่ง และขั้ว เหมือนกัน ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า เอนแทงเกิลเมนต์ควอนตัม (Quantum entanglement)

4. การใช้งานกลศาสตร์ควอนตัม

ปรากฏการณ์ โยสัมพันธ์ควอนตัม (Quantum entanglement) เช่นนี้ไม่สามารถหาเหตุผลให้เกิดความเข้าใจตรงไปถึงปัจจุบัน แต่แม้ว่าจะยังคงไม่สามารถหาเหตุผลให้เกิดความเข้าใจ แต่มนุษย์เอาคุณสมบัติอนุภาคโยสัมพันธ์ (Quantum entanglement) มาใช้งานแล้ว ได้แก่ การพัฒนาสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คุณสมบัติ โยสัมพันธ์ควอนตัม (Quantum entanglement) เรียกว่า ควอนตัมคอมพิวเตอร์ (Quantum computer) และการสื่อสารที่ใช้เทคโนโลยีควอนตัม

เป็นที่คาดหมายในปัจจุบันว่า เทคโนโลยีควอนตัมคอมพิวเตอร์ (Quantum computer) จะเป็นพลังเสริมให้กับ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ที่มีข้อจำกัดในด้านความสามารถของการคำนวณโจทย์ทางชีววิทยาเกี่ยวกับยีน (Gene) การศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับเอนไซม์ (Enzyme) และการศึกษาจักรวาล

หลักการของการทำงานของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน คือ การใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ เปิด-ปิด จาก การป้อนสัญญาณเข้าทางขาเบส เพื่อนับเลขฐาน 2 ได้แก่ 0=ปิด และ 1=เปิด ซึ่งในปัจจุบันมีเทคโนโลยีกล่องจุลทัศน์ที่สามารถทำได้หลายล้านตัวบรรจุในกล่องวงจรรวมขนาดเล็กสำหรับใช้เป็นชุดคำนวณ (Processor) และเป็นชุดความจำ (Memory)

คอมพิวเตอร์ที่เป็นเทคโนโลยี 8 บิต ในระบบเลขฐาน 2 คือ $2^3 = 8$ จะเก็บข้อมูลในระบบเลขฐาน 2 ได้ 8 แบบ เช่น 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, และ 111 และ ต้องใช้สถานะของทรานซิสเตอร์ $3 \times 8 = 24$ สถานะ สำหรับ 8 แบบ

เทคโนโลยี 16 บิต คือ $2^4 = 16$ จะเก็บข้อมูลในระบบเลขฐาน 2 ได้ 16 แบบ เทคโนโลยี 32 บิต คือ $2^5 = 32$ จะเก็บข้อมูลในระบบเลขฐาน 2 ได้ 32 แบบ เทคโนโลยี 64 บิต คือ $2^6 = 64$ จะเก็บข้อมูลในระบบเลขฐาน 2 ได้ 64 แบบ เป็นต้น ทำให้ต้องการทรานซิสเตอร์จำนวนมากขึ้นตามจำนวนบิตที่ใช้มากขึ้น

สำหรับเทคโนโลยีควอนตัมคอมพิวเตอร์ (Quantum computer) จะมีความสามารถเก็บข้อมูลจากการเข้ารหัสในระบบเลขฐาน 2 ได้ 2^n แบบ โดยใช้เพียง 1 สถานะ

การแสดงผลคือการแสดงสถานะสุดท้ายของ 2^n แบบ เพื่อให้ปรากฏทิศทางการหมุน ตำแหน่ง และ ชั่ว ซึ่งเกิดจากการตรวจวัด (Measurement) ตามหลักการของกลศาสตร์ควอนตัม จะทำให้ Quantum entanglement แสดงสถานะสุดท้ายของ 2^n แบบ

ควอนตัมคอมพิวเตอร์ (Quantum computer) ซึ่งใช้ คุณสมบัติ โยสัมพันธ์ควอนตัม (Quantum entanglement) จะทำให้มีการคำนวณและทำกิจกรรมต่างๆได้รวดเร็วกว่าคอมพิวเตอร์ที่ใช้เทคโนโลยีในปัจจุบัน และเชื่อว่าจะเป็นเครื่องมือในการเดินทางข้ามจักรวาลในอนาคต

เมื่อเร็วๆนี้ นักวิทยาศาสตร์ประเทศจีนและออสเตรเลียประสบความสำเร็จในการทดลองใช้ โยสัมพันธ์ควอนตัม (Quantum entanglement) สำหรับการสื่อสารข้ามทวีปซึ่งใช้เทคโนโลยีเข้ารหัสควอนตัม ซึ่งทำให้ข้อความที่เป็นความลับจะไม่สามารถถอดรหัสได้ด้วยซูเปอร์คอมพิวเตอร์ใดๆ

5. ปริศนาความเข้าใจเกี่ยวกับสรรพสิ่งในโลกและจักรวาลจากฟิสิกส์ควอนตัม

ข้อตีความของสำนักโคเปนเฮเกน (Copenhagen interpretation) ของ นิลส์ บอห์ร์ และ เวอร์เนอร์ ไฮเซนเบิร์ก ว่า วัตถุทั้งหมดในจักรวาลไม่มีสถานะแน่นอนจนกระทั่งมีการตรวจวัด (Measurement) หรือการสังเกต (Observation) เพราะมีสภาวะเป็นคลื่น (Wave function) การตรวจวัด (Measurement) หรือการสังเกต (Observation) จะหยุดสภาวะเป็นคลื่น (Wave function collapse) และเปลี่ยนเป็นสภาวะ

อนุภาควัตถุ (Object particle) มีอิทธิพลมากกว่าวงการฟิสิกส์ หรือ หลักการเบื้องหลังของควอนตัม คอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีควอนตัมอื่นๆ แต่ยังมีอิทธิพลในเชิงการปฏิบัติปรัชญา และความเข้าใจสภาวะที่แท้จริงของโลกและจักรวาล และวิวัฒนาการของศาสตร์อื่นๆ

ในวาระของการกล่าวปาฐกถาในหัวข้อทฤษฎีควอนตัม ที่ประเทศอิตาลีในปี พ.ศ. 2480 นีลส์ บอร์ กล่าวไว้ว่า

For a parallel to the lesson of atomic theory regarding the limited applicability of such customary idealizations, we must in fact turn to quite other branches of science, such as psychology, or even to that kind of epistemological problems with which already thinkers like Buddha and Lao Tzu have been confronted, when trying to harmonize our position as spectators and actors in the great drama of existence.

Speech on quantum theory at Celebrazione del Secondo Centenario della Nascita di Luigi Galvani, Bologna, Italy (October 1937) (Niels Henrik David Bohr)

ความหมายเรียบเรียงได้ว่า

การแสวงหาบทเรียนในเชิงอุดมการณ์คู่ขนานสำหรับทฤษฎีอะตอม ควรข้ามแดนไปหาศาสตร์สาขาอื่นๆ เช่น จิตวิทยา และแม้กระทั่งกระบวนการค้นหาความจริงของนักคิดที่มีมาก่อนหน้านี้ ได้แก่ พระพุทธเจ้า และเล่าจื๊อ เพื่อการหยั่งรู้สถานะของการรับรู้และการกระทำให้เกิดมายาภาพของการมีตัวตน

เล่าจื๊อ (อังกฤษ: Lao Zi หรือ Lao Tzu) เป็นนักปรัชญาชาวจีนที่มีชื่อเสียงที่สุดท่านหนึ่ง เชื่อกันว่าอาศัยอยู่ในช่วง 500 ปี ก่อนคริสต์ศักราช ในช่วงของสงครามปรัชญา และสงครามการเมืองยุคชุนชิว เล่าจื๊อได้เขียนตำราอันเป็นแบบแผนในทางเต๋า นั่นคือ "เต๋าเต็กเก็ง" (Tao Te Ching) ซึ่งเป็นผลงานทางลัทธิเต๋าที่ยังคงตกทอดมาถึงยุคปัจจุบันนี้ เล่าจื๊อเป็นนักปราชญ์ที่เชี่ยวชาญทางเต๋า ประวัติศาสตร์ ภูมิศาสตร์ ดาราศาสตร์ (อ้างอิงจาก วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี)

ในเชิงปรัชญาตะวันออก ศาสนาพุทธเป็นคำสอนให้เกิดความเข้าใจว่าจิตเป็นดวงการให้เกิดการรับรู้ สภาวะวัตถุ เรียกว่า สัญญา หมายถึงการบัญญัติ เพื่อบอกว่าสิ่งนี้คืออะไร และมนุษย์เรียนรู้ และจดจำตามทีบอกกันต่อไป เช่น เด็กเกิดใหม่ พ่อแม่ สอนให้รู้ว่าคนนี้เรียกพ่อ คนนี้เรียกแม่ และเมื่อไปโรงเรียนก็สอนให้จดจำเรื่องราวต่างๆที่จะต้องทำ ต้องคิด ต้องใช้ และสังคมสอนว่าต้องมั่งงาน มีเงิน มีเพื่อน มีครอบครัว เช่นนี้ดี เช่นนี้เลว เช่นนี้บุญ เช่นนี้บาป กระบวนการเช่นนี้ เรียกว่า มนุษย์ถูกโปรแกรม (ยอมรับคำสั่ง) ให้ทำเรื่องต่างๆ กิน นอน รู้จักสวยงาม รู้จักสร้างที่พักพิง รู้จักช่วยกัน รู้จักโกรธกัน รู้จักความป่วยไข้ และรู้ว่าความตายจะมาถึง

ท่านพุทธทาส ให้คำอธิบาย สุนทรียตา ว่าเป็นแก่นของพระพุทธศาสนาที่พระพุทธองค์ทรงสอนให้มนุษย์ได้รู้จักและเข้าใจความจริงของชีวิตว่า ชันธ มีลักษณะเป็นไตรลักษณ์ คือ ไม่เที่ยงแท้ ไม่แน่นอน ไม่จีรังยั่งยืน มีความผันแปร เปลี่ยนแปลง เป็นทุกข์ และที่สุดเป็นมายา ไร้ตัวตน ไม่ควรที่จะยึดมั่น ถือมั่น จนเกิดอึดตา คือ ความเห็นแก่ตนเอง เห็นแก่ได้ เห็นแก่ญาติและพวกพ้องจนทำความเสียหายแก่โลก สังคมและสิ่งแวดล้อม โดยยึดมั่นว่าเป็นตัวกู-ของกู ตลอดเวลา (พุทธทาสภิกขุ 2509)

หนังสือ พระพุทธองค์ตรัส จากพระไตรปิฎก ภาษาไทย ฉบับหลวง เล่มที่ 14 “มหาปุณณมสูตร” ข้อที่ 129 ข้อความว่า

พวกเธอพึงเห็นด้วยปัญญา ตามความเป็นจริงดังนี้ว่ารูปอย่างใดอย่างหนึ่ง ทั้งที่เป็นอดีต อนาคต ทั้งที่เป็นปัจจุบัน เป็นไปในภายใน หรือมีในภายนอกก็ตาม หยาบหรือละอียดก็ตาม เลวหรือประณีตก็ตามอยู่ในที่

ไกล หรือในที่ใกล้ก็ตาม ทั้งหมดนั้นเป็นสิ่งไม่เที่ยง เป็นทุกข์ มีความแปรปรวนเป็นธรรมดา ควรหรือที่จะเห็นสิ่งนั้นว่านั่นของเรา นั่นเรา นั่นตัวตนของเรา (Dhamma 2554)

คัมภีร์ชั้นอรรถกถาของฝ่ายเถรวาท ระบุว่า "นิพพานอันว่างจากตน" "นิพพานเป็นอนัตตา" เช่น ในพระวินัยปิฎก ปริวารระบุว่า อนิจจา สัพพสงขารา ทุกขานตตา จ สงขตา นิพพานญเจว ปณตติ อนตตา อติ นิจจยา "สังขารทั้งปวงอันปัจฉัยปรุงแต่ง ไม่เที่ยง เป็นทุกข์ เป็นอนัตตา นิพพานและบัญญัติเป็นอนัตตา วินิจฉัยมีดังนี้" (วิ.ป.บาลี 8/257/194) (จากวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี)

ในเชิงปรัชญา จึงพบว่าศาสนาพุทธ ซึ่งมีอายุมากกว่า 2561 ปี มาแล้ว ให้ความเข้าใจว่าสรรพสิ่งในจักรวาลไม่มีสถานะที่แน่นอน และ "นิพพานเป็นอนัตตา" ไม่มีสถานะที่แน่นอน และเมื่อ 93 ปีที่แล้ว ฟิสิกส์ควอนตัม จากข้อตีความของสำนักโคเปนเฮเกน (Copenhagen interpretation) ของ นิลส์ บอห์ (Niels Henrik David Bohr) และ เวอร์เนอร์ ไฮเซนเบิร์ก (Werner Heisenberg) ในปี พ.ศ. 2468-2470 ความว่าวัตถุทั้งหมดในจักรวาลไม่มีสถานะแน่นอนตราบจนถึงวาระที่มีการตรวจวัด (Measurement) หรือการสังเกต (Observation) เพราะมีสถานะเป็นคลื่น (Wave function) การตรวจวัด (Measurement) หรือการสังเกต (Observation) จะหยุดสถานะเป็นคลื่น (Wave function collapse) และเปลี่ยนเป็นสถานะอนุภาควัตถุ (Object particle) หลังจากนั้นจะกลับสู่สถานะเป็นคลื่น (Wave function) ที่มีวิวัฒนาการต่อเนื่อง และหยุดสถานะเป็นคลื่น (Wave function collapse) เปลี่ยนเป็นสถานะอนุภาควัตถุ (Object particle) เพราะมีการตรวจวัด (Measurement) สลับไป-มาเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง จึงเป็นข้อยืนยันตรงกัน

ในเชิงปรัชญา ใยสัมพันธ์ควอนตัม (Quantum entanglement) มีความหมายเช่นเดียวกับสรรพสิ่งในจักรวาลเชื่อมต่อกัน

ยุคเทคโนโลยีสื่อสารในปัจจุบันมักนิยมถ้อยคำ ทุกสรรพสิ่งเชื่อมต่อกัน หรือ Everything is connected

วิวัฒนาการของศาสตร์อื่นๆ ค่อยๆ ประยุกต์ปรากฏการณ์ควอนตัมในการอธิบายพรมแดนที่ยังมีความลึกลับ เช่น สมอ จิตสำนึก ชีววิทยา ไบโอบีโตนโโลยี จักรวาลวิทยา พหุจักรวาล การเคลื่อนย้ายสสาร

ปรากฏการณ์ควอนตัม กลายเป็นจินตนาการในการออกแบบเนื้อเรื่องของนิยาย ภาพยนตร์ และเกม เพื่อสร้างความบันเทิง เช่น การกลายพันธุ์ การเดินทางข้ามจักรวาล การเดินทางข้ามเวลาไปสู่อดีตหรืออนาคต พลังเหนือธรรมชาติ การหายตัว การหยั่งรู้ การอ่านจิต เป็นต้น

บรรณานุกรม

Dickerson, Kelly 2015. One of Einstein's most famous quotes is often completely misinterpreted.

BusinessInsider. Retrieved 18 February 2018 <http://www.businessinsider.com/god-does-not-play-dice-quote-meaning-2015-11>.

Hawking, Stephen Year? Does God play Dice? Retrieved 18 February 2018

<http://www.hawking.org.uk/does-god-play-dice.html>

Jones, Andrew Zimmerman 2017a. EPR Paradox in Physics. ThoughtCo. Retrieved 18 February

2017 <https://www.thoughtco.com/epr-paradox-in-physics-2699186>.

- Jones, Andrew Zimmerman 2017b. The Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics. ThoughtCo. Retrieved 18 February 2017 <https://www.thoughtco.com/copenhagen-interpretation-of-quantum-mechanics-2699346>.
- Jones, Andrew Zimmerman 2018. Understanding the "Schrodinger's Cat" Thought Experiment. ThoughtCo. Retrieved 18 February 2017 <https://www.thoughtco.com/what-is-schrodingers-cat-2699362>.
- Natarajan, Vasant 2008. What Einstein meant when he said "God does not play dice ...". RESONANCE. Retrieved 18 February 2018 <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1301/1301.1656.pdf>.
- Buddhadasa Bhikkhu 1984. Heart-Wood From The Bo Tree, Bangkok : Thammasapa.
- Dhamma 2554. โลกว่างเปล่า. พระไตรปิฎก ฉบับเยาวชน เล่มที่ 5. http://dhamma-human.blogspot.com/2011/06/blog-post_2587.html
- Phra Saneh Dhammavaro 2005. Buddhism Ethics and the Path of Peace, MCU Chiang Mai, 3rd. ชยธมฺโม ภิกขุ 2557. สุนฺญตา. สอนธรรมะโพธิญาณ บ้านตาดรินทอง ต.ตาดุดอง อ.ภูเขียว จ.ชัยภูมิ
- พระสุเชี่ย สุวณฺณเถโร (sothea yon) 2017. เปรียบเทียบแนวคิดเรื่อง "ความว่าง" ระหว่างพุทธทาส ภิกขุกับดี.ที.ชูชุกิ. <https://mceuubu.wordpress.com/>
- พุทธทาสภิกขุ 2509. สุนฺญตา หัวใจของพุทธศาสนา. บริษัท เอส.อาร์.พรินติ้ง. จำกัด.