

บทที่ 1 เทคโนโลยีควอนตัม (QUANTUM TECHNOLOGY)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุฑามณี จันทรมานี

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต



เนื้อหาบทเรียน

1. เทคโนโลยีอยู่รอบตัวเรา
2. การอธิบายธรรมชาติขึ้นอยู่กับขนาดและความเร็วของวัตถุ
3. กลศาสตร์คลาสสิกกับการอธิบายปรากฏการณ์ของสสารและคลื่น
4. แบบจำลองอะตอมเมื่อส่องวัตถุขนาดเล็ก
5. เรื่องราวเปลี่ยนไปเมื่อก้าวสู่โลกของอะตอม
6. ปรากฏการณ์ทางควอนตัม

7. เทคโนโลยีควอนตัมยุคที่ 2
8. การคำนวณเชิงควอนตัม
9. การสื่อสารด้วยเทคโนโลยีควอนตัม
10. นาฬิกาอะตอม
11. วิศวกรรมควอนตัม
12. Quantum Timeline

วันศุกร์ที่ 24 ม.ค. 68

วันศุกร์ที่ 31 ม.ค. 68

1. เทคโนโลยีอยู่รอบตัวเรา

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของเรา และมีหลายเทคโนโลยีที่ได้รับอิทธิพลมาจากการพัฒนาองค์ความรู้ในทฤษฎีควอนตัม (quantum theory) ซึ่งเป็นฟิสิกส์แขนงหนึ่งที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ของสิ่งที่มีขนาดเล็กในระดับอะตอม



เทคโนโลยีควอนตัมยุคที่ 1 (QUANTUM TECHNOLOGY 1.0)

เป็นผลพลได้จากการสะสมความรู้ของนักวิทยาศาสตร์จนเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของแสงที่มีหน่วยย่อยในระดับโฟตอน (photon) และอนุภาคขนาดเล็กในระดับอะตอมและอิเล็กตรอนซึ่งนำไปสู่การพัฒนาวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ล้ำสมัย มาช่วยอำนวยความสะดวกในการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ และเป็นพื้นฐานของการพัฒนาต่อยอดไปสู่เทคโนโลยีขั้นสูงขึ้นไปความรู้ในทฤษฎีควอนตัมได้นำมาใช้อธิบายพฤติกรรม การเลี้ยวเบนของแสงและอิเล็กตรอนเมื่อวิ่งผ่านสิ่งกีดขวาง ซึ่งนำไปสู่ การพัฒนากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยายสูง เครื่องสแกนเอ็มอาร์ไอ (MRI) และเครื่องฉายรังสีเอกซ์



ความรู้เกี่ยวกับระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนผนวกกับความเข้าใจในกลไกการดูดกลืนและปลดปล่อยพลังงานของอิเล็กตรอน นำไปสู่การสร้างหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ หลอดไฟแอลอีดี (LED) และรวมไปถึง เลเซอร์ (LASER) ซึ่งนำมาประยุกต์เป็น กลไกการอ่านเขียนข้อมูลในเครื่องเล่นซีดี (CD) ดีวีดี (DVD) การฉายรังสีทางการแพทย์ หรือแม้กระทั่งนำเลเซอร์พลังงานสูงไปใช้ใน การตัดวัตถุที่มีความแม่นยำสูง

ความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของอิเล็กตรอนในวัสดุสารกึ่งตัวนำ เป็นจุดเริ่มต้นของ การสร้างทรานซิสเตอร์ (transistor) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนสำคัญในโทรศัพท์มือถือคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ มากมาย

ความรู้ในทฤษฎีควอนตัมได้นำมาใช้อธิบายโครงสร้างโมเลกุลของวัสดุสารกึ่งตัวนำทำให้มีการค้นพบ กราฟีน (graphene) ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าสูง อีกทั้งยังมีความแข็งแรงในระดับที่สามารถนำมาทำเป็น เลื้อยเกราะกันกระสุน ที่มีน้ำหนักเบาได้เป็นอย่างดี

การค้นพบ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) ที่แสงสามารถถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนเป็นกุญแจสำคัญที่นำไปสู่ การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์สุริยะ (solar cell) และการสร้างอุปกรณ์รับภาพในกล้องดิจิทัล เครื่องสแกนเนอร์ เซอร์ตราจวัดระยะห่างที่เราใช้กันในรถยนต์และประตูอัตโนมัติ

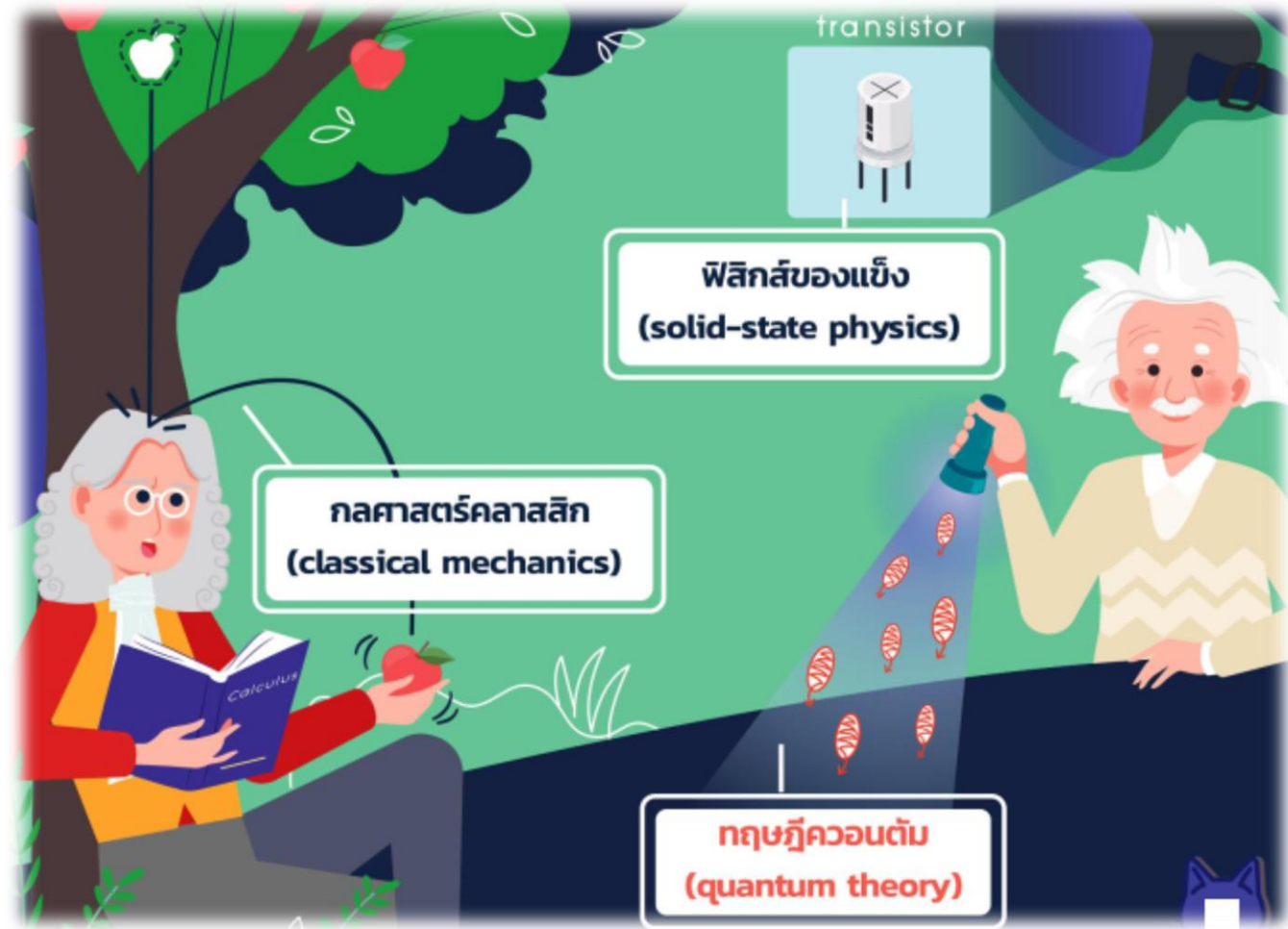
2. การอธิบายธรรมชาติขึ้นอยู่กับขนาดและความเร็วของวัตถุ

ความอยากรู้อยากเห็นและความช่างสังเกตของมนุษย์ ก่อให้เกิดการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่อยู่รอบตัวเราก่อเกิดเป็นองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ในแขนงต่าง ๆ อาทิ ชีววิทยา เคมี ฟิสิกส์ และคณิตศาสตร์ฟิสิกส์ (physics) เป็นหนึ่งในวิชาพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ ที่ มุ่งศึกษาเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติของสสารและพลังงานในจักรวาล



การอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติด้วยฟิสิกส์ยังแบ่งออกเป็นหลายแขนง โดยจำแนกตามปัจจัยทางด้านขนาดและความเร็วของสิ่งที่ศึกษา ตั้งแต่สิ่งที่มีขนาดใหญ่ระดับจักรวาลที่อธิบายด้วยฟิสิกส์ดาราศาสตร์ (astrophysics) และทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป (general relativity) การใช้กลศาสตร์ท้องฟ้า (celestial mechanics) ในการอธิบายปรากฏการณ์บนท้องฟ้าจากการสังเกตการณ์ของนักดาราศาสตร์ การอธิบายการเคลื่อนที่และพลังงานของมวลสาร

ด้วยกลศาสตร์คลาสสิก (classical mechanics)
การอธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการ
เคลื่อนที่ด้วยความเร็วใกล้เคียงด้วยทฤษฎีสัมพัทธ
ภาพพิเศษ (special relativity) และในกรณีของ
วัตถุที่มีขนาดเล็กในระดับโมเลกุลที่อธิบายด้วย
ฟิสิกส์ของแข็ง (solid-state physics) ไปจนถึง
อนุภาคขนาดเล็กในระดับอะตอมและหน่วยย่อย
ของแสง (โฟตอน) ที่อธิบายด้วย ทฤษฎีควอนตัม



3. กลศาสตร์คลาสสิกกับการอธิบายปรากฏการณ์ของสสารและคลื่น

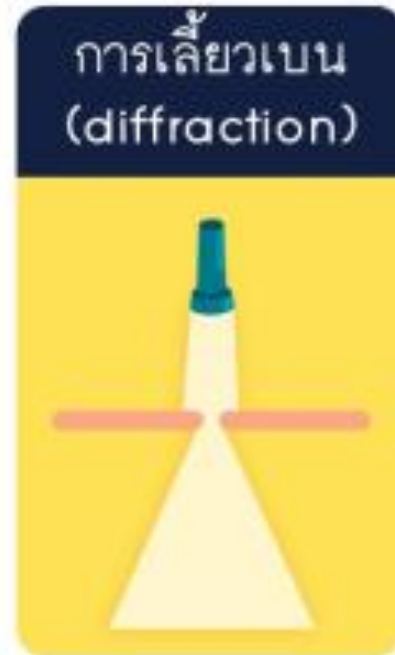
วัตถุหรือสิ่งของที่อยู่รอบตัวเรา ทั้งดิน น้ำ อากาศ สิ่งมีชีวิตทุกชนิด รวมทั้งมนุษย์เป็นสิ่งที่มีความมวลและขนาด เราเรียกสิ่งเหล่านี้ว่า สสาร (matter) สสารทุกชนิดมี "พลังงานศักย์" (potential energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในสสารในรูปแบบต่าง ๆ เช่น พลังงานศักย์ที่เกิดจากพันธะยึดเหนี่ยวทางเคมี หรือ พลังงานศักย์ที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง (gravity) และเมื่อใดก็ตามที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ จะมีพลังงานอีกรูปแบบที่เกี่ยวข้องเรียกว่า "พลังงานจลน์" (kinetic energy)

ในทางกลศาสตร์คลาสสิกสามารถอธิบายได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์จากแรงโน้มถ่วงขึ้นอยู่กับความสูงของวัตถุ และการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งการถ่ายเทพลังงานระหว่างพลังงานศักย์กับพลังงานจลน์เกิดแบบต่อเนื่อง (continuous) เปรียบเทียบกับในทางทฤษฎีควอนตัมที่การถ่ายเทพลังงานของอนุภาคเป็นกรณีพิเศษที่เกิดขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete) แต่ถูกจำกัดให้ถ่ายเทพลังงานได้แค่บางช่วงในลักษณะเป็นขั้น



คลื่น (Wave)

คือ พลังงานในรูปแบบหนึ่งที่มีการส่งผ่านจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งแบ่งเป็นคลื่นกล (mechanical wave) ที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) ที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่สมบัติของคลื่น เช่น

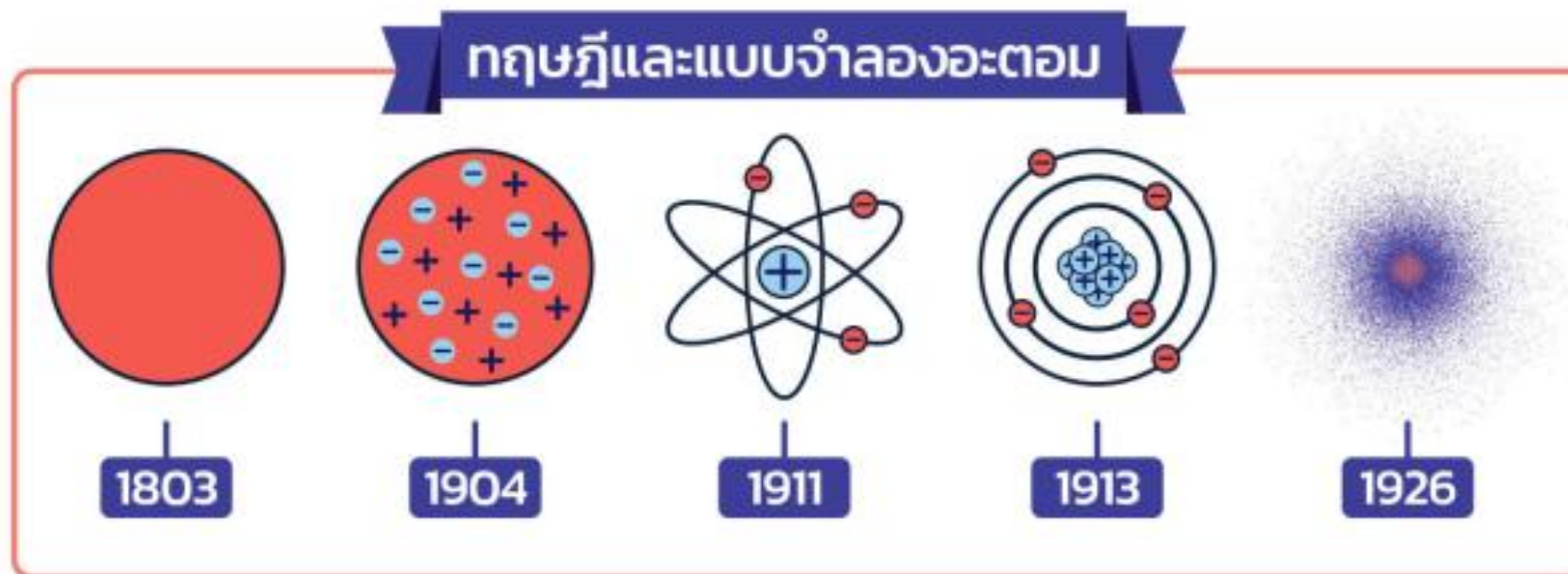


คลื่นและสสารมีสิ่งที่เหมือนกันอย่างหนึ่ง คือ พลังงาน โดยในทางกลศาสตร์คลาสสิกยังไม่มี การเชื่อมโยง สสารและคลื่นเข้าหากัน แต่ในทฤษฎีควอนตัม นั้น พลังงานเป็นสิ่งที่ใช้อธิบายและเชื่อมต่อกันระหว่างสสารกับ คลื่น ซึ่งเกิดจากการค้นพบคุณลักษณะที่แปลกประหลาดบางอย่างในทางควอนตัม เช่น สสารสามารถแสดง คุณลักษณะของคลื่น และคลื่นแสดงคุณลักษณะของสสารได้ (wave-particle duality)



4. แบบจำลองอะตอม

อะตอม (atom) คือ หน่วยย่อยมูลฐานของสสาร ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอมมีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากการตั้งสมมติฐานและทำการทดลองเพื่อหาคำตอบ ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างอะตอมในยุคหลัง ๆ ได้นำไปสู่การกำเนิดศาสตร์ใหม่ในทางฟิสิกส์ที่ชื่อว่า ทฤษฎีควอนตัม



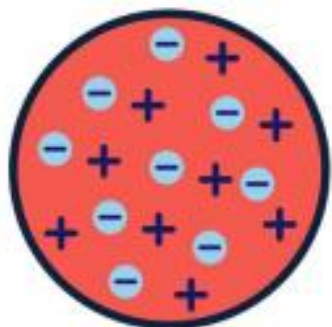


จอห์น ดอลตัน (John Dalton)



ค.ศ. 1803

อะตอมมีลักษณะทรงกลม เป็นหน่วยย่อยที่สุด
ของสสาร ไม่สามารถแบ่งแยก ทำลาย หรือ
สร้างใหม่ได้



เจ เจ ทอมสัน (J.J. Thomson)



ค.ศ. 1904

อะตอมมีลักษณะทรงกลม ประกอบด้วย
อนุภาคที่มีประจุบวก เรียกว่า โปรตอน (proton)
และอนุภาคที่มีประจุลบ เรียกว่า อิเล็กตรอน
(electron) กระจายตัวอยู่ภายในทรงกลม
ในจำนวนเท่ากัน



เออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford)



ค.ศ. 1911

อะตอมประกอบด้วยพื้นที่ว่างเปล่าที่มีประจุบวกรวมตัวอยู่เป็นแกนกลางที่เรียกว่า "นิวเคลียส" โดยมีอิเล็กตรอนกระจายตัวอยู่โดยรอบ

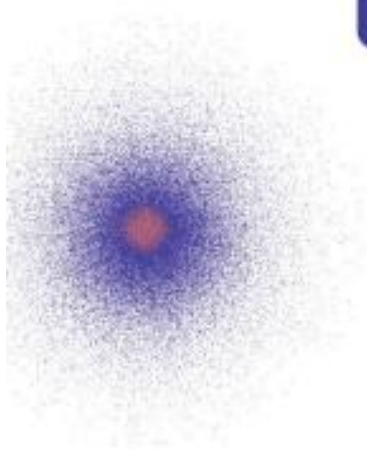


นีลส์ โบร์ (Niels Bohr)



ค.ศ. 1913

ภายในอะตอมมีอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส โดยวงโคจรของอิเล็กตรอนถูกจำกัดอยู่ ณ บางตำแหน่งเท่านั้น ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนถูกกำหนดเป็นชั้นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับรัศมีวงโคจรที่เรียกว่า รัศมีของโบร์ (Bohr's radius) แบบจำลองอะตอมของโบร์นี้เป็นจุดเริ่มต้นที่ทฤษฎีควอนตัมได้นำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์การเปล่งแสงของอะตอม



แอร์วิน ชเรอดิงเงอร์ (Erwin Schrödinger)



ค.ศ. 1926

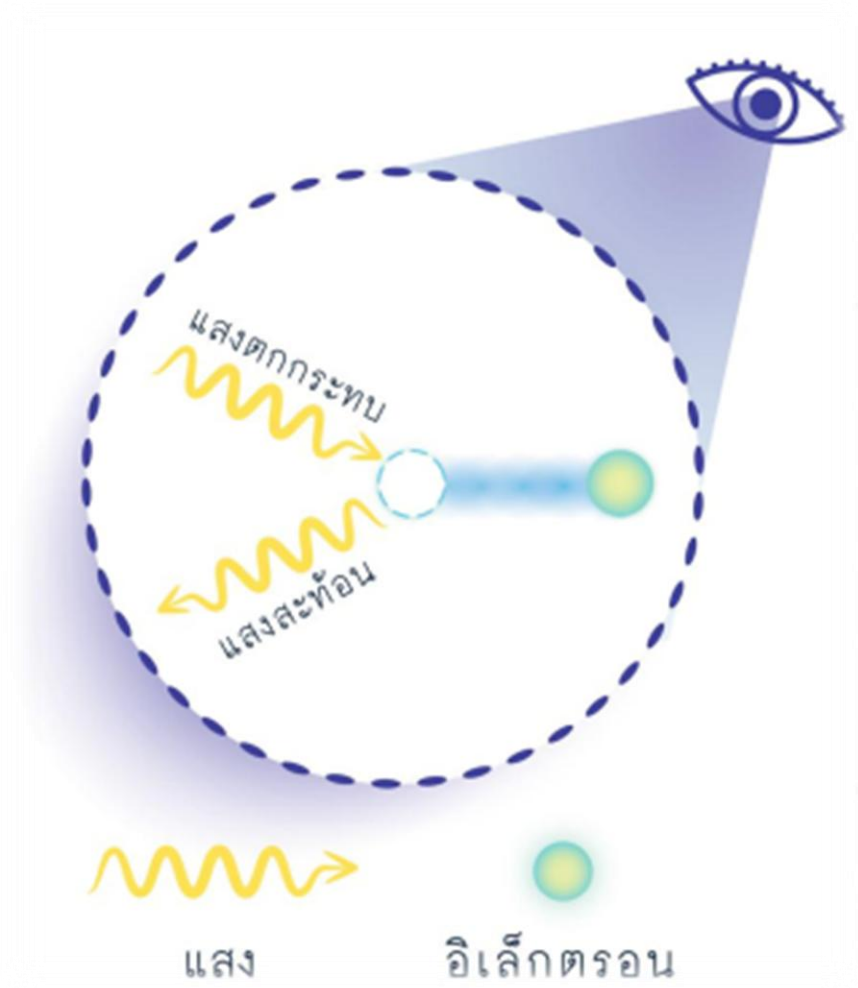
เป็นการต่อยอดแบบจำลองอะตอมของโบร์ที่นำความน่าจะเป็นมาใช้อธิบายตำแหน่งของอิเล็กตรอน โดยนิวเคลียสของอะตอมประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่โดยรอบในระดับชั้นพลังงานต่างๆ การกระจายตัวของอิเล็กตรอนถูกนิยามด้วยความน่าจะเป็นในลักษณะของ กลุ่มหมอกอิเล็กตรอน (electron cloud) โดยบริเวณที่กลุ่มหมอกหนาแน่นแสดงถึงความน่าจะเป็นในการพบอิเล็กตรอนสูงกว่าบริเวณที่กลุ่มหมอกเจือจาง

5. เรื่องราวเปลี่ยนไปเมื่อก้าวสู่โลกของอะตอม

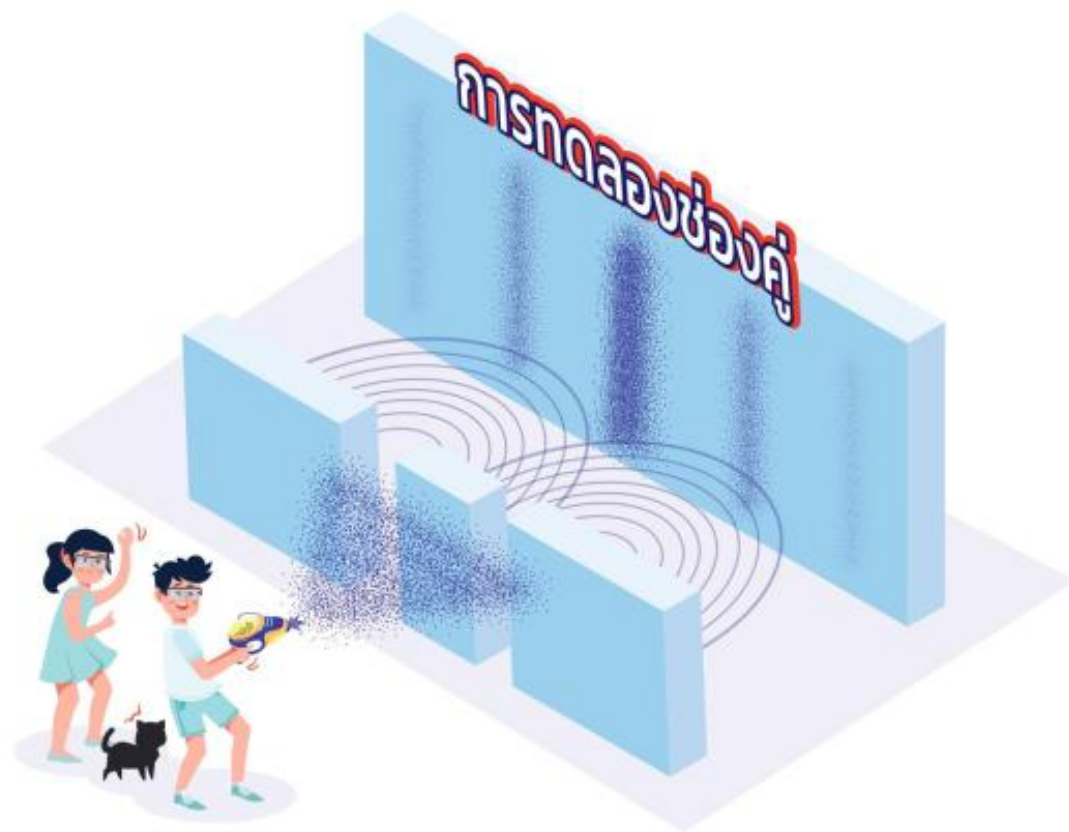
การที่เรามองเห็นวัตถุต่างๆ ได้ เนื่องจากมีแสงส่องไปที่วัตถุนั้นแล้วสะท้อนเข้าตาของเราโดยที่วัตถุหรือสิ่งของนั้นยังคงอยู่ที่ตำแหน่งเดิม ไม่เคลื่อนที่หรือได้รับผลกระทบใด ๆ จากแสงที่ตกกระทบ



แต่เมื่อเราพยายามใช้แสงเพื่อส่องดูอนุภาคที่มีขนาดเล็ก เช่น อิเล็กตรอนจะทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนตำแหน่งและความเร็วไปจากเดิม ซึ่งเป็นผลจากการที่แสงไปกระทบอิเล็กตรอนนั่นเอง แสดงให้เห็นว่า "คลื่นแสงแสดงคุณลักษณะของการเป็นอนุภาค" และได้ข้อสรุปว่า เราไม่สามารถระบุตำแหน่งและความเร็วที่แท้จริงของอิเล็กตรอนได้พร้อม ๆ กัน เป็นไปตามหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก (Heisenberg's uncertainty principle)



นักวิทยาศาสตร์ทำการทดลองช่องคู่ (double-slit experiment) โดยยิงลำอิเล็กตรอนผ่านช่องแคบ 2 ช่อง ไปชนกับฉากรับด้านหลัง ปรากฏว่าเกิดรูปแบบการแทรกสอดของคลื่นบนฉากรับ แสดงให้เห็นว่า อนุภาคอิเล็กตรอนแสดงคุณลักษณะของการเป็นคลื่น

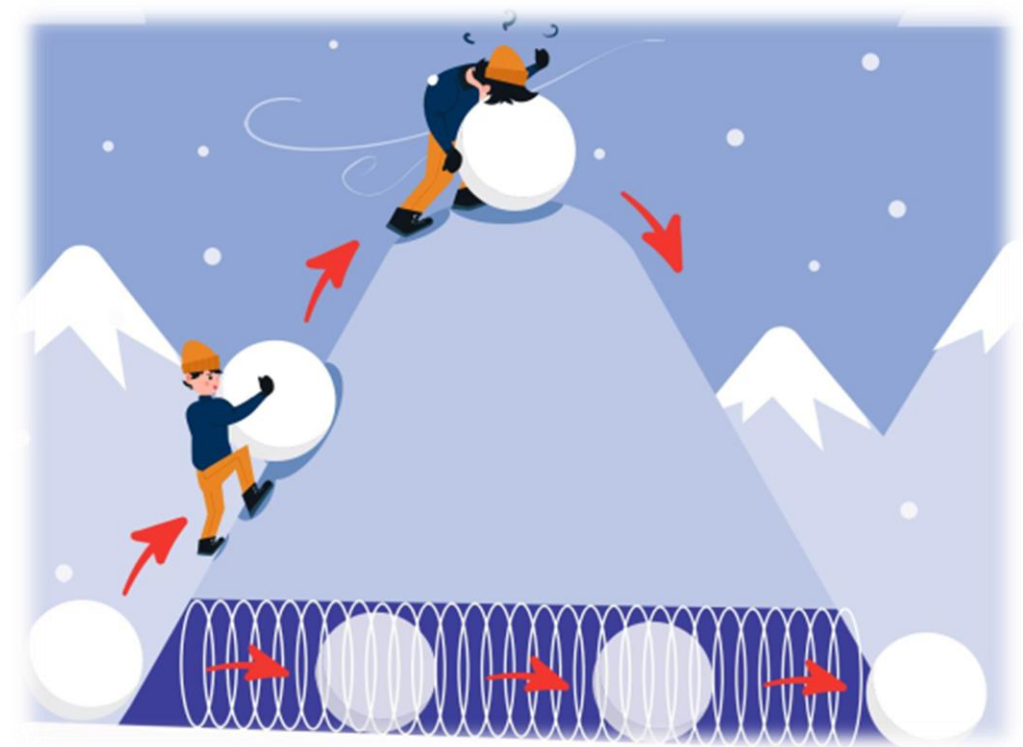


ทางทฤษฎีควอนตัม ลสารทุกชนิดมีคุณลักษณะของการเป็นคลื่น โดยสสารขนาดใหญ่จะมีคุณลักษณะของความเป็นคลื่นเล็กน้อยจนแทบไม่ปรากฏให้เห็น ในขณะที่สิ่งของเล็กๆ ระดับอะตอมคุณลักษณะของความเป็นคลื่นปรากฏและแสดงออกอย่างเด่นชัด ผลจากการทดลองทำให้นักวิทยาศาสตร์ได้ข้อสรุปว่า "อนุภาคสามารถทำตัวเป็นคลื่น และคลื่นสามารถทำตัวเป็นอนุภาค" ซึ่งเป็นความแปลกประหลาดที่เกิดขึ้นในทางควอนตัม คุณลักษณะที่แปลกประหลาดในทางควอนตัมอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นได้แก่

1. ปรากฏการณ์การลอดอุโมงค์ควอนตัม (quantum tunneling)
2. ควอนไทเซชัน (quantization)
3. สภาวะควมรวมทางควอนตัม (quantum superposition)
4. สภาวะพัวพันทางควอนตัม (quantum entanglement)

6. ปรากฏการณ์ทางควอนตัม

1. ปรากฏการณ์การลอดอุโมงค์ควอนตัม (quantum tunneling)
2. ควอนไทเซชัน (quantization)
3. สภาวะควบรวมทางควอนตัม (quantum superposition)
4. สภาวะพัวพันทางควอนตัม (quantum entanglement)



การลอดอุโมงค์ควอนตัม (quantum tunneling)

การเดินทางข้ามภูเขาต้องใช้พลังงานสูงกว่าการเดินทางบนพื้นราบ และจะเป็นไปไม่ได้เลย หากเรามีพลังงานไม่เพียงพอ แต่สำหรับอนุภาคควอนตัมแล้ว แม้จะมีพลังงานต่ำก็ยังสามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางหรือข้ามขีดจำกัดได้ การข้ามขีดจำกัดนี้เกิดขึ้นได้ด้วย ปรากฏการณ์การลอดอุโมงค์ควอนตัม ซึ่งพฤติกรรมนี้จะไม่เกิดขึ้นในสสารทั่วไป แต่จะเกิดขึ้นได้เฉพาะกับอนุภาคควอนตัมที่แสดงสมบัติความเป็นคลื่นปรากฏการณ์การลอดอุโมงค์ควอนตัมเกิดขึ้นได้ในชีวิตประจำวันของเรา เช่น กรณีที่อาจเกิดขึ้นกับ หน่วยประมวลผลกลาง (central processing unit, CPU) ที่มีทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กจิ๋วระดับนาโนเมตรอยู่กันอย่างแออัด จนอิเล็กตรอนที่อยู่ในทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งเดินทางทะลุผ่านไปยังตัวอื่นได้ จึงเกิดการรบกวนสัญญาณระหว่างกันขึ้น

ควอนไทเซชัน (quantization)

จากแบบจำลองอะตอมของโบร์ จะเห็นว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงรอบนิวเคลียสแบบถูกจำกัดเป็นชั้น ๆ ตามระดับของพลังงาน หมายความว่า เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นหรือเสียพลังงาน ก็จะหลุดออกจากวงโคจรเดิมไปอยู่ในวงอื่นๆ การที่พลังงานของอิเล็กตรอนถูกจำกัดให้อยู่เป็นชั้นและถ่ายเทพลังงานได้ตามระดับชั้นนี้เรียกว่า ควอนไทเซชัน

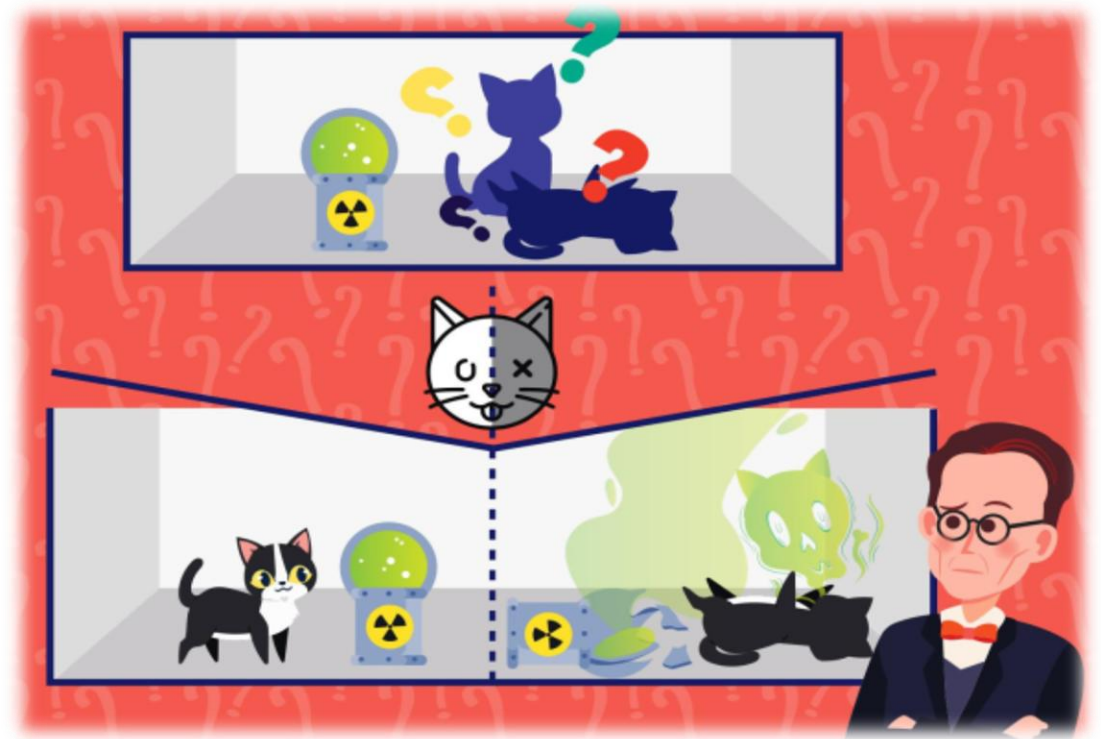


แนวคิดในเรื่องควอนไทเซชันช่วยอธิบายกลไกการถ่ายเทพลังงานระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอนใน ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) เช่น การทดลองหนึ่งที่มีการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตตกกระทบบนพื้นผิวโลหะ โฟตอนซึ่งเป็นก้อนพลังงานในย่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่บนพื้นผิวโลหะทำให้อิเล็กตรอนกระโดดจากผิวโลหะแผ่นหนึ่งไปยังอีกแผ่นเกิดการเชื่อมต่อของวงจรไฟฟ้าขึ้น เรานำความรู้จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกนี้มาพัฒนาเป็นโซลาร์เซลล์ เช่น เซลล์สุริยะหิ้ง และกล้องดิจิทัลที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน



สภาวะควมรวมทางควอนตัม (quantum superposition)

แอร์วิน ชเรอดิงเงอร์ สมมติการทดลองขึ้นมา (thought experiment) โดยสมมติให้แมวตัวหนึ่งอยู่ในกล่องปิด มีขวดยาพิษที่มีกลไกเชื่อมต่อกับสารกัมมันตรังสีที่ปลดปล่อยรังสีออกมาได้ ซึ่งมีโอกาส 50% ที่รังสีนั้นจะทำให้ขวดยาพิษแตก ส่งผลให้แมวตาย และมีโอกาส 50% ที่ขวดยาพิษจะไม่แตก ส่วนแมวก็นั่งมีชีวิตอยู่ ในขณะที่เรายังไม่เปิดกล่องดูแมวจะมีสภาวะทางควอนตัมที่อาจมีชีวิต "และ" ตายในเวลาเดียวกัน ซึ่งเรียกว่า สภาวะควมรวมทางควอนตัม แต่เมื่อเราเปิดกล่องดู สภาวะควมรวมนี้จะสูญหายไปและจะพบว่าแมวอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่ง ซึ่งก็คือมีชีวิตอยู่ "หรือ" ตายแล้วเท่านั้น



สภาวะพัวพันทางควอนตัม (quantum entanglement)

เป็นสภาวะที่อนุภาคควอนตัมตั้งแต่สองอนุภาคขึ้นไปมีความเชื่อมโยงกัน โดยเมื่อเกิดการกระทำใดขึ้นกับอนุภาคตัวหนึ่ง จะส่งผลกระทบให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับอนุภาคตัวอื่นๆ ที่เชื่อมโยงกันโดยทันที แม้ว่าอนุภาคทั้งสอง (หรือมากกว่า) จะอยู่ห่างไกลกันคนละสุดขอบจักรวาลก็ตาม นักฟิสิกส์นำแนวคิดสภาวะพัวพันทางควอนตัมนี้ไป ใช้ประโยชน์ในการพัฒนาการคำนวณเชิงควอนตัม (quantum computing) และการกระจายกุญแจเข้ารหัสเชิงควอนตัม (quantum key distribution) เพื่อใช้เข้ารหัสการสื่อสาร



7. เทคโนโลยีควอนตัมยุคที่ 2

ผลจากการเข้าใจธรรมชาติของคลื่นแสงและอนุภาคควอนตัม รวมถึงการกำเนิดทฤษฎีควอนตัม ทำให้เกิดนวัตกรรมต่าง ๆ มากมายในศตวรรษที่ 20 เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และวัสดุใหม่ๆ เทคโนโลยีที่เกิดขึ้นนี้ถือได้ว่าเป็นผลผลิตจากเทคโนโลยีควอนตัมยุคที่ 1

ตลอดช่วงเวลากว่าครึ่งศตวรรษที่ผ่านมา นักฟิสิกส์ได้พัฒนาความรู้และขีดความสามารถในการควบคุมอนุภาคควอนตัม เช่น การจัดการสถานะของโฟตอน การกักอะตอมและการควบคุมอิเล็กตรอน ความสามารถในการเข้าถึงและจัดการอนุภาคควอนตัมได้นำไปสู่การใช้ประโยชน์ในรูปแบบใหม่ เกิดเป็นแนวโน้มทางเทคโนโลยียุคใหม่ที่เรียกกันว่า เทคโนโลยีควอนตัมยุคที่ 2 (quantum technology 2.0)



สิ่งใหม่ๆ ที่จะเกิดขึ้นในเทคโนโลยีควอนตัมยุคที่ 2 จะเป็นก้าวกระโดดทางเทคโนโลยีที่จะสร้างความเปลี่ยนแปลงให้แก่โลก อาทิ การเสริมประสิทธิภาพการคำนวณด้วย การคำนวณเชิงควอนตัม การเสริมความปลอดภัยในการสื่อสารด้วยการสื่อสารเชิงควอนตัม (quantum communication) การใช้ความสามารถในการควบคุมอะตอมใน การสร้างนาฬิกาอะตอม (atomic clock) การสร้างเครื่องวัดและเซนเซอร์ตรวจวัดต่าง ๆ ที่มีความแม่นยำสูง



โลกของเทคโนโลยีควอนตัมยุคที่ 2 จะนำเราก้าวไปสู่การค้นพบทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่าง ๆ อีกมากมาย เช่น การนำการคำนวณเชิงควอนตัมและเซ็นเซอร์ทางควอนตัมไปใช้ในการวิจัยทางการแพทย์เพื่อศึกษาโครงสร้างยาและปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในร่างกายมนุษย์ หรือแม้กระทั่งการนำคอมพิวเตอร์เชิงควอนตัมไปใช้ในเรื่องของการสร้างเครื่องจักรกลที่มีสมรรถนะในการเรียนรู้และประมวลผลข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์งานด้านต่าง ๆ อาทิ การจัดระเบียบข้อมูล การวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภค และ การช่วยเสนอทางเลือกที่เหมาะสม

การคำนวณเชิงควอนตัม

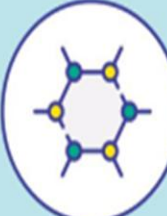
นักฟิสิกส์นำแนวคิดเรื่องอนุภาคควอนตัมสามารถอยู่ใน 2 สถานะ (หรือมากกว่า) ได้ในเวลาเดียวกันมาใช้ในการคำนวณเชิงควอนตัม (quantum computing) ซึ่งเป็นรูปแบบการประมวลผลทางคณิตศาสตร์แบบใหม่ที่ใช้หลักการสภาวะควบวมทางควอนตัมในลักษณะของการควบวมกันของชุดคำสั่ง ส่งผลให้การประมวลผลชุดคำสั่งหลายชุดเสร็จสิ้นภายในครั้งเดียว จึงช่วยร่นระยะเวลาของการประมวลผลให้เร็วขึ้นได้หลายเท่าตัว นอกจากนี้ยังค้นพบอีกว่า สภาวะพัวพันทางควอนตัมสามารถนำมาใช้เป็นโครงสร้างของตรรกะการประมวลผลที่เป็นชุดคำสั่งที่เกี่ยวกับเงื่อนไข (conditional statement)

จากหลักการของปรากฏการณ์ทางควอนตัมทั้งสองแบบที่กล่าวมานักวิทยาศาสตร์จึงสร้างเครื่องจักร (machine) ที่มีความสามารถประมวลผลเชิงควอนตัมได้เป็นผลสำเร็จซึ่งเครื่องจักรดังกล่าวรู้จักกันในชื่อ คอมพิวเตอร์ควอนตัม (quantum computer)



การคำนวณเชิงคอนตัมทำอะไรได้บ้าง

คอมพิวเตอร์ควอนตัมไม่ได้เข้ามาแทนที่คอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่จะเข้ามาเสริมการทำงานเฉพาะทางบางอย่างที่คอมพิวเตอร์ทั่วไปต้องใช้เวลาประมวลผลยาวนาน โดยนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานดังต่อไปนี้

	การจัดลำดับดีเอ็นเอ (DNA sequencing)		การจัดกลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่ (big data segmentation)		การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization)		การแยกตัวประกอบทาง คณิตศาสตร์ (factorization)
	การค้นหาข้อมูลใน ระบบฐานข้อมูล (database search)		การจำลองโครงสร้างโมเลกุล (simulation for molecular structure)		การเข้ารหัสและ การถอดรหัสข้อมูล (encryption & decryption)		ความสามารถในการ เรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง (unsupervised learning)

8. การสื่อสารด้วยเทคโนโลยีควอนตัม

การสื่อสารที่มีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลจะต้องมี การเข้ารหัสข้อมูล (encryption) ที่ต้นทางก่อนส่งไปยังผู้รับ โดยนำข้อมูลตั้งต้นและชุดตัวเลขกลุ่มมาทำหน้าที่เป็นกุญแจ (key) ในการเข้ารหัสทางคณิตศาสตร์ ข้อมูลที่ผ่านกระบวนการเข้ารหัสแล้วจึงจะถูกส่งออกไปผ่านทางช่องทางการสื่อสารต่างๆ เช่น ส่งด้วยสัญญาณวิทยุ หรือผ่านระบบใยแก้วนำแสง ซึ่งผู้รับปลายทางจะถอดรหัสโดยใช้กุญแจชุดเดียวกันกับผู้ส่ง เพื่อแปลงค่าคืนออกมาเป็นข้อมูลตั้งต้น



การสื่อสารในรูปแบบนี้จะใช้กุญแจเดิมในการเข้ารหัสไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีการตกลงเปลี่ยนกุญแจใหม่ ซึ่งก่อให้เกิดช่องโหว่ที่ผู้ดักฟังสามารถศึกษารูปแบบของการเข้ารหัสและเดาค่ากุญแจได้ในที่สุด ดังนั้นระดับความปลอดภัยในการเข้ารหัสจากการใช้กุญแจเดิมซ้ำ ๆ กันจึงขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของสูตรทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการเข้ารหัส คือ ยิ่งซับซ้อนก็ยิ่งทำให้การเจาะรหัสกินเวลายาวนาน จนอาจเกินช่วงระยะเวลาที่ข้อมูลสำคัญนั้นยังมีผลในการใช้งาน

แนวคิดและการเติบโตของคอมพิวเตอร์ควอนตัมที่มีศักยภาพในการเรียนรู้และถอดรหัสของข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว จะส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นในเรื่องความปลอดภัยของการสื่อสารจึงเริ่มมีการนำทฤษฎีควอนตัมเข้ามาประยุกต์ใช้ในการเสริมสร้างความปลอดภัยให้อยู่ในขั้นสูงสุด โดยนำหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กที่กล่าวว่า "การวัดค่าตัวแปรหนึ่งในระบบควอนตัม ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนของการวัดค่าของอีกตัวแปรหนึ่ง" ประกอบกับนำหลักการเกี่ยวกับสถานะควรรวมทางควอนตัมและสถานะพัวพันของ โฟตอนมาประยุกต์สู่การใช้โฟตอนในการส่งกุญแจด้วยวิธีทางควอนตัมที่เรียกว่า การกระจายกุญแจเข้ารหัสเชิงควอนตัม หรือ QKD (quantum key distribution) ซึ่งช่วยสร้างความเชื่อมั่นในการตรวจจับการดักฟังข้อมูล โดยหากมีการดักฟังเกิดขึ้น ทั้งผู้ส่งและผู้รับปลายทางจะรู้ตัวและเปลี่ยนกุญแจใหม่ ทำให้ผู้ดักฟังไม่สามารถรับรู้ข้อมูลสำคัญจากการดักฟังข่าวสารได้





9. นาฬิกาอะตอม

นาฬิกาเป็นเครื่องมือที่ใช้บอกเวลา แต่ทราบหรือไม่ว่าเวลาที่เรามาได้นั้นมีความถูกต้องแม่นยำเพียงใด และนาฬิกาที่เราใช้นั้นบอกเวลาได้แม่นยำหรือไม่ภายในนาฬิกาทุกเรือนจะมีอุปกรณ์สำคัญที่ทำให้เกิดการสั่นอย่างเป็นจังหวะ ซึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดของความถี่ และมีกลไกหรือวงจรเพื่อทำให้เกิดการนับเวลาเป็นวินาทีนาที่ และชั่วโมง นาฬิกาแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. นาฬิกาดาราศาสตร์ อาศัยช่วงเวลาการโคจรของดาวต่างๆ
2. นาฬิกาเชิงกล อาศัยช่วงเวลาการสั่นของกลไกเชิงกล
3. นาฬิกาไฟฟ้า อาศัยช่วงเวลาการสั่นของผลึกควอตซ์
4. นาฬิกาอะตอม อาศัยช่วงเวลาการสั่นที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอะตอม

นาฬิกาที่มีความแม่นยำสูงคือนาฬิกาที่อ้างอิงเวลามาจากนาฬิกาอะตอม โดย นาฬิกาอะตอมที่แม่นยำที่สุดในปัจจุบัน จะใช้เวลา 13,000,000,000 ปี (หนึ่งหมื่นสามพันล้านปี) จึงจะทำให้เวลาในการนับคลาดเคลื่อนไป 1 วินาที

ปัจจุบันนิยามของเวลาอ้างอิงมาจากคาบของการแผ่รังสีที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอะตอมซีเซียม 133 (Cesium-133) โดยในการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานจะเกิดการแผ่รังสีด้วยคาบการสั่นจำนวนทั้งสิ้น 9,192,631,770 ครั้ง ใน 1 วินาทีเวลาที่อ้างอิงด้วยวิธีการนี้ถูกใช้เป็นมาตรฐานเวลาโลกซึ่งรู้จักกันในชื่อของ "นาฬิกาอะตอม"



เซ็นเซอร์ทางควอนตัม (quantum sensor)

เนื่องจากระดับชั้นพลังงานของอะตอมนั้นมีความอ่อนไหวกับสิ่งแวดล้อมรอบข้างเช่น สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า ทำให้เราสามารถนำนาฬิกาอะตอมไปประยุกต์ใช้งานเป็นเซ็นเซอร์ทางควอนตัม เช่น



เซ็นเซอร์วัดการเคลื่อนไหว (inertial measurement sensor) นำไปประยุกต์ใช้งาน สำหรับการติดตามการเคลื่อนไหวที่มีความละเอียดสูง



เซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็ก (atomic magnetometer) นำไปใช้ในการสำรวจทางธรณีวิทยา
เผื่อระวังปรากฏการณ์แผ่นดินไหวและภูเขาไฟ
ระเบิด



เวลามาตรฐานที่เทียบเคียงมาจากนาฬิกาอะตอม
มีความละเอียดและแม่นยำสูง เพียงพอที่จะรองรับ
การบันทึกเวลาของการซื้อขายหลักทรัพย์ที่มีจำนวน
หลายล้านรายการต่อวินาที

10. วิศวกรรมควอนตัม

คือ กระบวนการแบบใหม่ที่จะเชื่อมโยงองค์ความรู้ในภาคการศึกษาให้ไปสู่ภาคอุตสาหกรรม โดยวิศวกรรมควอนตัมจะผสานความรู้ในทุก ๆ แขนง เช่น ทฤษฎีควอนตัม คณิตศาสตร์ และใช้ความพยายามเชิงวิศวกรรมมาพัฒนาต้นแบบในห้องทดลองเพื่อต่อยอดไปสู่นวัตกรรมที่สามารถใช้ได้จริงตัวอย่างของวิศวกรรมควอนตัม คือ

(1) การยกระดับความปลอดภัยในการสื่อสารด้วยการพัฒนาระบบโครงข่าย QKD

(2) การสร้างเซ็นเซอร์และเครื่องวัดทางควอนตัมที่มีประสิทธิภาพ เช่น เซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว เซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็ก เซ็นเซอร์สำหรับอุปกรณ์การแพทย์ และเซ็นเซอร์สำหรับตรวจสอบคุณภาพในโรงงานอุตสาหกรรม

(3) การสร้างคอมพิวเตอร์ควอนตัมที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่าง ๆ เช่น การจำลองทางชีวเคมีเพื่อการรักษาโรค การจำลองพันธะเคมีเพื่อการค้นคว้าวัสดุใหม่ ๆ การจำลองการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อประโยชน์ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร การใช้ฮัมพลังของคอมพิวเตอร์ควอนตัมเพื่อเสริมสร้างสมรรถนะของการคำนวณและประมวลผลข้อมูล

ในปัจจุบันมีบริษัทผู้นำด้านเทคโนโลยีหลายแห่งทุ่มทรัพยากร และแข่งขันกันเชิงวิศวกรรมควอนตัม เพื่อพัฒนาคอมพิวเตอร์ควอนตัม เช่น

- Google
- Toshiba
- Alibaba
- D-Wave
- Microsoft
- Intel
- IBM
- Airbus
- Hewlett Packard (HP)



เทคโนโลยีควอนตัม จากจินตนาการสู่วัตถุกรรม

Frontier Research

ทฤษฎีทางฟิสิกส์
(theoretical physics)



นักทฤษฎี
(ฟิสิกส์)



มหาวิทยาลัย

การจำลอง
ลงบนระบบทางกายภาพ
(physical implementation)



นักทดลอง
(ฟิสิกส์)



มหาวิทยาลัย

Quantum Engineering

การผนวกทุกอย่าง
เพื่อให้สามารถนำมาใช้ได้จริง
(integration for general use)



นักวิทยาศาสตร์
วิศวกร
และอื่นๆ



Google
Microsoft
D-Wave
IBM
เป็นต้น

วิศวกรรม
และการพัฒนาต้นแบบ
(engineering and
developing prototypes)



นักวิทยาศาสตร์
วิศวกร



มหาวิทยาลัย
ศูนย์แห่งชาติ
Startup

11. QUANTUM TIMELINE

1984

Charles Bennett

และ **Gilles Brassard**

เสนอโปรโตคอลการทำ QKD

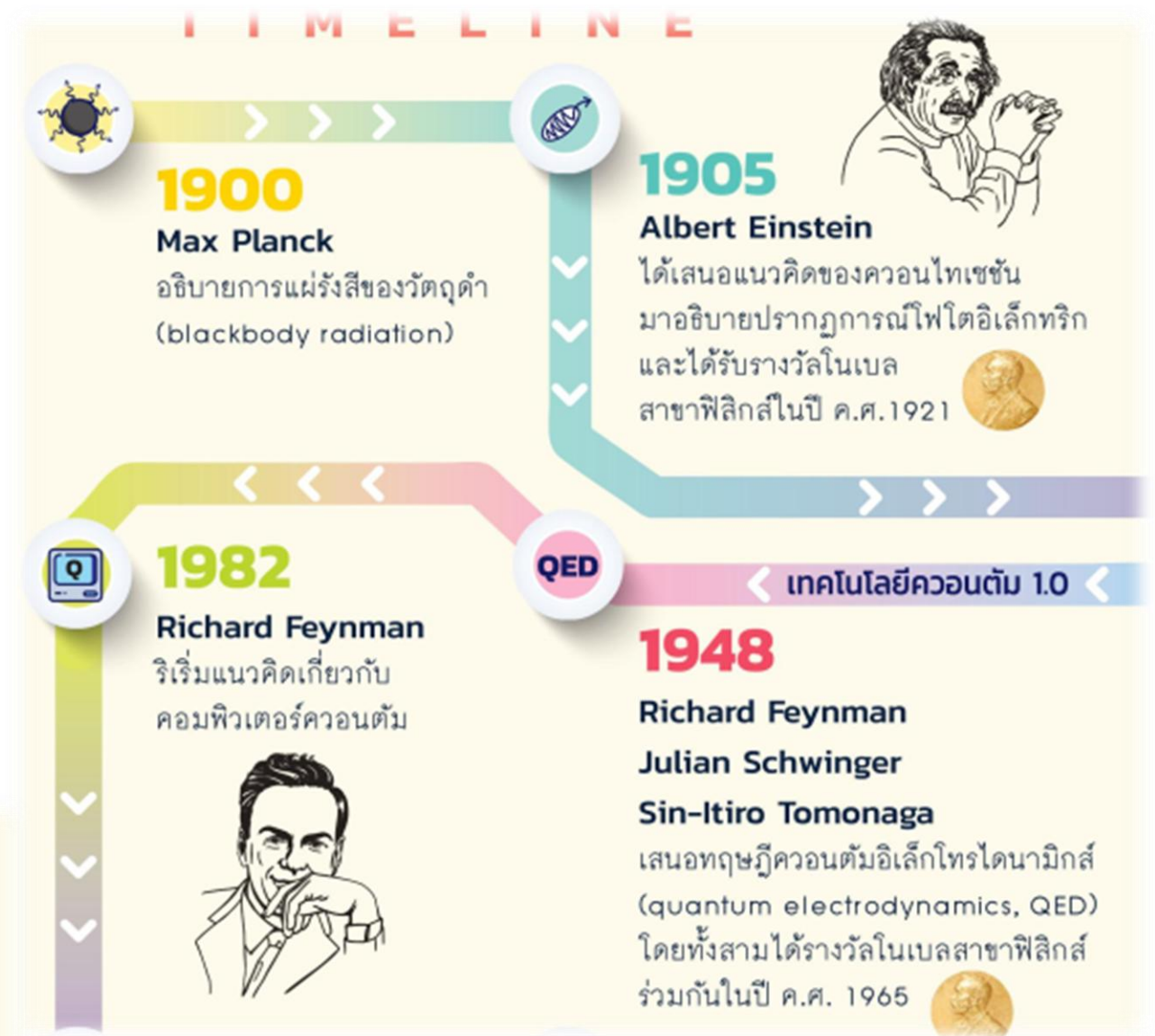
เป็นครั้งแรกซึ่งรู้จักกันในชื่อ BB84

1991

Artur Ekert

เสนอโปรโตคอลการทำ QKD

โดยใช้สถานะพัวพันทางควอนตัม
ของโฟตอนซึ่งรู้จักกันในชื่อ E91





1913

Niels Bohr

เสนอแบบจำลองอะตอม
ของไฮโดรเจนที่มีการกำหนด
ชั้นพลังงานและรัศมีวงโคจร
ของอิเล็กตรอน



1923

Louis de Broglie

เสนอแนวคิดของความเชื่อมโยงกัน
ระหว่างความเป็นคลื่นกับอนุภาค
(wave-particle duality)



1926

Erwin Schrödinger

เสนอสมการคลื่นที่ใช้ในทางควอนตัม
ซึ่งต่อมาเรียกกันในชื่อ "สมการชเรอดิงเงอร์"
และได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์
ในปี ค.ศ. 1933



Paul A.M. Dirac

ตีพิมพ์ทฤษฎีควอนตัมของแสง
และได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์
ในปี ค.ศ. 1933



1927

Friedrich Hund

ค้นพบปรากฏการณ์
การลดอุณหภูมิควอนตัม



2009

Google d:wave
The Quantum Computing Company

ร่วมกันวิจัยและสร้าง
คอมพิวเตอร์ควอนตัม

IBM Q

เทคโนโลยีควอนตัม 2.0 กำลังใกล้เข้ามา... >

2019

IBM

เปิดตัวเครื่องคอมพิวเตอร์
ควอนตัมสำหรับเชิงพาณิชย์
เป็นครั้งแรก



