

ฟิสิกส์ยุคใหม่

(Modern Physics)

เมื่อถึงปี ค.ศ. 1900 ปรัชญาการณัฏฐศาสตร์แบบทุกอย่างสามารถอธิบายได้ด้วย กลศาสตร์ของนิวตัน และทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ อย่างไรก็ตามยังเหลือบางปรัชญาการณัฏฐศาสตร์ที่ทฤษฎีคลาสสิกทั้งสอง ไม่สามารถอธิบายได้ ปรัชญาการณัฏฐศาสตร์เหล่านี้ได้แก่

- การแผ่รังสีของวัตถุดำ
- ปรัชญาการณัฏฐศาสตร์โฟโตอิเล็กทริก
- ปรัชญาการณัฏฐศาสตร์คอมพัตตัน
- สเปกตรัมของอะตอม

เป็นสาเหตุของการกำเนิดทฤษฎีใหม่ที่เรียกว่าทฤษฎีควอนตัม ซึ่งเสนอโดย แมกซ์ แพลงค์ เพื่อใช้อธิบายกรณีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุดำ

18.1 การแผ่รังสีจากวัตถุดำ (Black Body Radiation)

วัตถุดำ (Black Body) คือ ระบบในอุดมคติที่ดูดกลืนรังสี (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) ทั้งหมดที่ตกกระทบระบบที่สามารถประมาณได้ว่าเป็นวัตถุดำ เช่น ทรงกลมกลวงที่แสงผ่านเข้าไปแล้วกลับอลอกมาไม่ได้ วัตถุดำนอกจากจะดูดกลืนรังสีได้ดีแล้วยังแผ่รังสีได้ดีมากด้วย โดยจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ของรังสีอินฟราเรด (รังสีความร้อน)

การที่วัตถุดำแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เป็นผลเนื่องมาจากโมเลกุลที่มีประจุที่ผิววัตถุ มีการสั่นตลอดเวลา จากทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อประจุมีความเร่งมันจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา

จากการทดลองพบว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากวัตถุดำมีความถี่ที่ไม่ต่อเนื่อง ในสมัยนั้น มีสูตร 3 สูตรที่ตั้งอยู่บนทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ และที่ได้จากการทดลองที่ใช้อธิบายการแผ่รังสีของวัตถุดำ ได้แก่

- Wien's displacement Law

$$\lambda_{\max} T = 2.898 \times 10^{-2} mK \quad (18-1)$$

สูตรของวิน อธิบายว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความยาวคลื่นรังสีที่ถูกแผ่ออกมามากที่สุดจะลดลง นั่นคือ พีคของกราฟที่อุณหภูมิสูงจะอยู่ที่ความยาวคลื่นสั้น ๆ (สังเกตในชีวิตประจำวัน ของที่ถูกเผาที่อุณหภูมิสูงจะเปล่งแสงออกมา)

- Stefan's Law

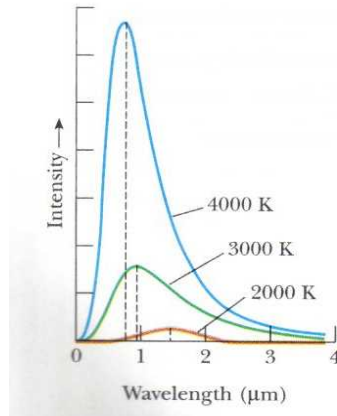
$$I = \sigma e T^4 \quad (18-2)$$

สูตรของสเตฟาน อธิบายว่า วัตถุที่มีสีคล้ำ (ค่า e สูง) ที่มีอุณหภูมิสูง จะแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีความเข้มสูง (สามารถสังเกตได้ในชีวิตประจำวัน)

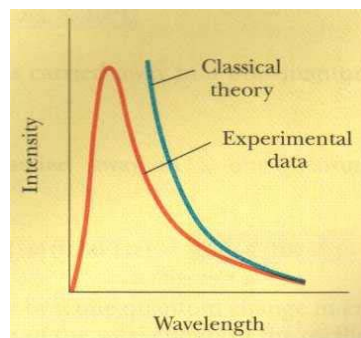
- Rayleigh-Jeans' Law

$$I = \frac{2\pi c k_B T}{\lambda^4} \quad (18-3)$$

สูตรของเรย์ลีห์-จีน สามารถทำนายว่า แต่ละความยาวคลื่นที่แผ่ออกมาจะมีความเข้มเท่าใด อย่างไรก็ตาม การทำนายด้วยสูตรจะถูกต้องเฉพาะในช่วงความยาวคลื่นสูง ๆ เท่านั้น ช่วงความยาวคลื่นต่ำผลคำนวณด้วยสูตรจะต่างจากผลการทดลองมาก นั่นคือ ทฤษฎีคลาสสิกไม่สามารถอธิบาย ผลการทดลองที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีของวัตถุดำที่ความยาวคลื่นต่ำ ๆ ได้ จึงจำเป็นต้องมีทฤษฎีใหม่



ภาพที่ 18-1 กราฟการแผ่รังสีของวัตถุที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพที่ 18-2 กราฟการแผ่รังสีที่ได้จากการทดลอง ซึ่งไม่สอดคล้องกับทฤษฎีจากสูตรของเรย์ลีห์-จีน

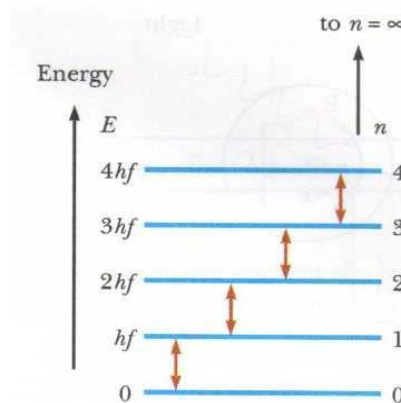
จนกระทั่ง แพลงค์ ได้เสนอสูตรที่ใช้อธิบายขึ้นมาใหม่ ที่สอดคล้องกับผลการทดลอง

$$I = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda k_b T} - 1)} \quad (18-4)$$

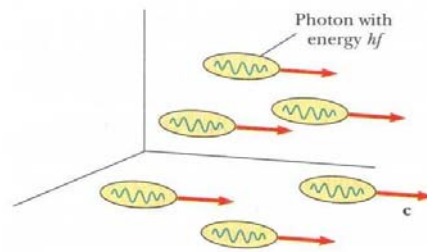
ที่มาของสูตรนี้ได้มาจากการตั้งสมมติฐาน 2 ข้อ ที่เป็นแนวคิดใหม่ที่เหนือความนึกคิดของมนุษย์ในสมัยนั้น เรียกว่า

ทฤษฎีควอนตัม

- โมเลกุลสามารถมีพลังงานได้เพียงบางค่าเท่านั้น ($E_n = nhf$) ค่าเหล่านี้ไม่ต่อเนื่องกัน เรียกว่า **สถานะควอนตัม** (Quantum State)
- โมเลกุลปลดปล่อยหรือดูดกลืนพลังงานเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะทางควอนตัม ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นอนุภาค เรียกว่า **โฟตอน**



ภาพที่ 18-3 ระดับพลังงานที่เสนอโดยแพลงค์



ภาพที่ 18-4 การปลดปล่อยแสงเป็นอนุภาคตามที่เสนอโดยแพลงค์

สมมติฐาน 2 ข้อ ปฏิวัติความคิด นำไปสู่มุมมองใหม่ว่า ระดับพลังงานในธรรมชาติมีความไม่ต่อเนื่อง (เป็นควอนตัม) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอนุภาคที่มีพลังงานมากน้อยขึ้นอยู่กับความถี่

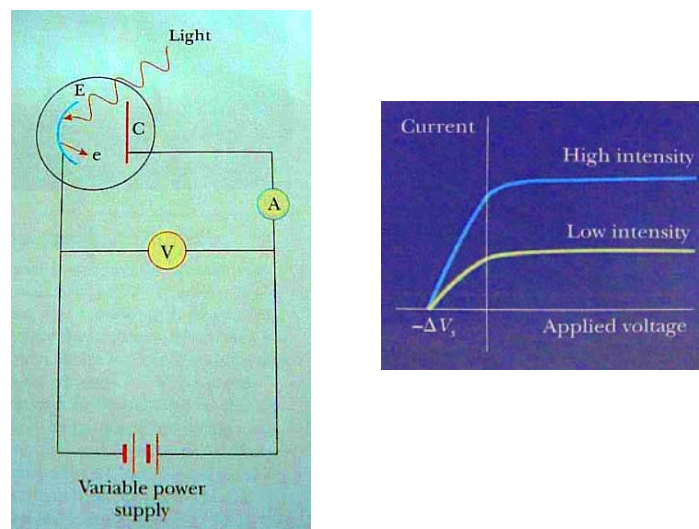
หากสังเกต ในสูตรความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มรังสี กับ ความยาวคลื่น จะมีค่าคงที่ค่าใหม่ที่แพลงค์กำหนดขึ้นมา คือ h ซึ่งเรียกว่า **ค่าคงที่ของแพลงค์** มีค่า 6.626×10^{-34} Js ได้จากการปรับค่าในสูตรจนสอดคล้องกับผลการทดลอง ค่า h นี้มีความสำคัญในธรรมชาติเนื่องจาก เป็นตัวกำหนดพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แต่เนื่องจากแพลงค์ไม่สามารถอธิบาย ได้ว่าทำไมธรรมชาติจึงเป็นเช่นที่เขابอกในสมมติฐานทั้งสองข้อ และที่มาของค่า h ก็มาจากการเปลี่ยนค่าไปเรื่อย ๆ จนสูตรให้ค่าตรงกับผลการทดลอง ทำให้ทฤษฎีควอนตัมไม่เป็นที่ยอมรับในครั้งแรกที่เสน่อออกมา จนกระทั่งทฤษฎีควอนตัมสามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ ได้ ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

18.2 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect)

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เป็นที่รู้จักกันมาก่อนยุคสมัยทฤษฎีควอนตัม แต่ไม่มีใครสามารถใช้ทฤษฎีคลาสสิกอธิบายผลการทดลองได้ จากการทดลอง เฮิร์ตซ์เป็นผู้ค้นพบว่า เมื่อแสงตกกระทบผิวโลหะจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะได้ อิเล็กตรอนเหล่านี้เรียกว่า **โฟโตอิเล็กตรอน** จากผลการทดลองพบว่า

- พลังงานของโฟโตอิเล็กตรอนไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง
- จะไม่มีโฟโตอิเล็กตรอนเกิดขึ้น หากความถี่ของแสงต่ำกว่า Cutoff Frequency (f_c)
- พลังงานของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น ตามค่าความถี่ของแสง



ภาพที่ 18-5 การทดลองโฟโตอิเล็กทริกและกราฟที่ได้จากการทดลอง

ทฤษฎีคลาสสิกไม่สามารถอธิบาย ผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจาก ตามทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ พลังงานของคลื่นแสงน่าจะแปรตามความเข้มของแสง เมื่อใช้ความเข้มของแสงสูงก็น่าจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนพลังงานสูง

จนกระทั่ง ไอน์สไตน์ประยุกต์ใช้แนวความคิดของแพลงค์ อธิบายว่า แสงเป็นลำของอนุภาคโฟตอน แต่ละโฟตอนมีพลังงาน $E = hf$ และมีโมเมนตัม $p = E/c = hf/c$ ในการที่แสงตกกระทบโลหะ หากพลังงานของแสงสูงกว่า Work Function (ϕ) ของโลหะ (ซึ่งเป็นค่าที่บอกว่าโลหะยึดอิเล็กตรอนไว้เหนียวแน่นเพียงใด) จะมีโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกมา โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะมีพลังงานจลน์ได้สูงสุดเท่ากับ

$$K_{\max} = hf - \phi \quad (18-5)$$

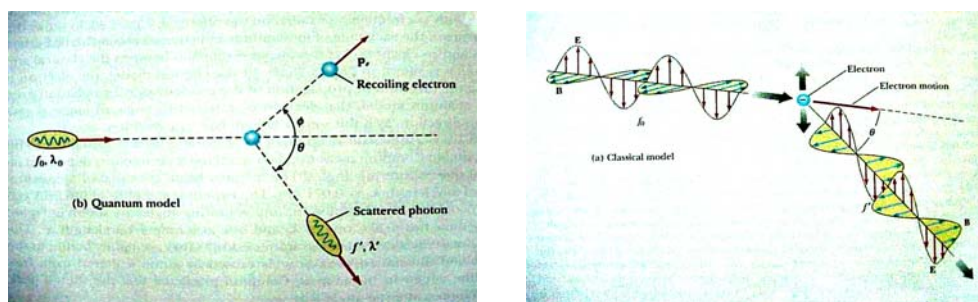
จากสมการที่ 18-5 จึงสามารถกล่าวได้ว่าค่า Work Function (ฟังก์ชันงาน) คือค่าพลังงานที่แสงต้องเอาชนะในการทำให้โฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกมาได้พอดี

ข้อสังเกตทั้งสามข้อจากการทดลอง สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีควอนตัม ซึ่งตามทฤษฎีนี้แสงเป็นอนุภาคที่มีพลังงานเพิ่มขึ้นตามความถี่ ไม่ใช่ความเข้ม เมื่อความถี่มาก พลังงานสูงตกกระทบโลหะ ก็จะทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน พลังงานสูงตามไปด้วย ในข้อสองหากแสงที่ตกกระทบมีความถี่ไม่พอที่จะทำให้ พลังงานแสงมากกว่า Work Function ของโลหะแล้ว แม้จะมีความเข้มเพียงใดก็ไม่สามารถทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกมาได้

18.3 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton Effect)

หลักฐานชิ้นต่อมาที่สนับสนุนทฤษฎีควอนตัม คือ ปรากฏการณ์คอมป์ตัน ซึ่งก่อนหน้ายุคของทฤษฎีควอนตัม ไม่สามารถอธิบายผลการทดลองด้วยทฤษฎีใด ๆ ได้ ในการทดลอง การฉาย X-ray กระแทกกับอิเล็กตรอน จะทำให้ X-ray กระเจิง ผลการทดลอง ความถี่ของ X-ray ที่กระเจิงมีได้หลายความถี่ที่สัมพันธ์กับมุมกระเจิง นอกจากนี้ ทำให้อิเล็กตรอนกระเจิงไปด้วย ดังภาพที่ 18-6

ตามทฤษฎีคลาสสิก (นิวตัน และ แมกซ์เวลล์) ความถี่ของ X-ray ที่กระเจิงควรสัมพันธ์กับความเข้มของคลื่นที่ตกกระทบ และ อิเล็กตรอนจะกระเด็นไปในแนวของคลื่นที่ตกกระทบ ดังภาพที่ 18-6

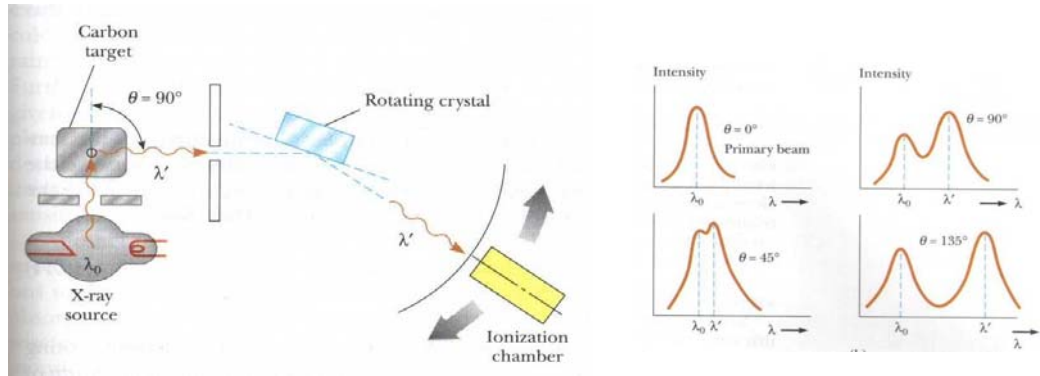


ภาพที่ 18-6 แบบจำลองปรากฏการณ์คอมป์ตันตามทฤษฎีควอนตัม เปรียบเทียบกับทฤษฎีคลาสสิก

ทฤษฎีควอนตัมสามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้ โดยแนวคิดที่ว่า X-ray เป็นอนุภาคโฟตอนที่พุ่งเข้าชนอิเล็กตรอน เหมือนลูกบิลเลียดชนกัน ทำให้ X-ray และอิเล็กตรอนต่างกระเจิงออกจากแนวการเคลื่อนที่เดิม มุมกระเจิงของ X-ray จะขึ้นกับความถี่ที่สามารถพิสูจน์เป็นสูตร Compton Shift Equation ได้ว่า

$$\lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta) \quad (18-6)$$

โดยที่ λ_0 และ λ' คือ ความยาวคลื่น X-ray ที่ตกกระทบ และที่กระเจิง ตามลำดับ m คือมวลของอิเล็กตรอน (9.11×10^{-31} kg) และ $h/mc = \lambda_c = 0.00243$ nm เรียกว่า Compton Wavelength



ภาพที่ 18-7 การทดลองปรากฏการณ์คอมป์ตันและกราฟผลการทดลอง

การที่ทฤษฎีควอนตัม สามารถอธิบายกรณีทั้งสามข้างต้นได้ รวมถึงการที่ นีล บอห์ร ได้ใช้ทฤษฎีควอนตัม อธิบายเส้นสเปกตรัมของอะตอม (ซึ่งจะได้กล่าว ในเรื่องแบบจำลองอะตอมของบอห์ร) เป็นการประกาศชัยชนะของทฤษฎีควอนตัม ที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางมานับแต่นั้น จนเวลาผ่านไป 100 ปี ถึงยุคปัจจุบันก็ยังเป็นทฤษฎีที่ไม่มีใครล้มล้างได้ ในหัวข้อที่เหลือจะเป็นการกล่าวถึงเนื้อหาของทฤษฎีนี้ที่ได้รับการพัฒนาต่อเนืองมา

18.4 ทวิภาคของคลื่นและอนุภาค

คำถาม ที่เกิดขึ้นตามมาหลังการกำเนิดทฤษฎีควอนตัม คือ **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็น คลื่นหรืออนุภาค ?**

คำตอบคือ เป็นคลื่นหรืออนุภาค ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา นั่นคือ...

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า **แทรกสอด เลี้ยวเบน หรือเกิดโฟราไรซ์** มันประพฤติตัวเป็น**คลื่น**

แต่ใน **ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก หรือ ปรากฏการณ์คอมป์ตัน** มันประพฤติตัวเป็น**อนุภาค**

ธรรมชาติที่อัศจรรย์นี้ เรียกว่า **ทวิภาคของคลื่นและอนุภาค** (The Dual Nature of Light หรือ Wave-Particle Duality) อย่างไรก็ตาม การวัดสมบัติความเป็นคลื่นและ สมบัติความเป็น อนุภาค ไม่สามารถทำได้พร้อม ๆ กัน

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (เช่น แสง) มีสมบัติเป็นอนุภาคได้ อนุภาค เช่น อิเล็กตรอนก็น่าจะมีสมบัติคลื่นได้ เช่นเดียวกัน เดอบอยล์ เป็นผู้แรกที่เสนอความคิดว่า วัตถุที่มีโมเมนตัมจะมีสมบัติคลื่นด้วย เช่น โฟตอนจะมีความยาวคลื่นตามสมการ

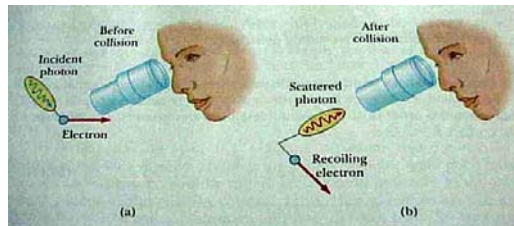
$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \tag{18-7}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \tag{18-8}$$

18.5 หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก (The Uncertainty Principle)

ผลจากการที่อนุภาคมีสมบัติเป็นคลื่น จึงไม่อาจบอกตำแหน่งที่แน่นอนของคลื่นอนุภาคได้ ในการวัดตำแหน่งจะมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้นเสมอ หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก กล่าวว่า หากการวัดตำแหน่งมีความไม่แน่นอน Δx และการวัด โมเมนตัมที่กระทำพร้อมกันมีความ ไม่แน่นอน Δp แล้ว ผลคูณระหว่างความไม่แน่นอนนี้จะมีค่าไม่น้อยกว่า $h/4\pi$

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} = \frac{\hbar}{2} \tag{18-9}$$



ภาพที่ 18-8 การสังเกตตำแหน่งของอนุภาคส่งผลให้โมเมนตัมของอนุภาคเปลี่ยนไป

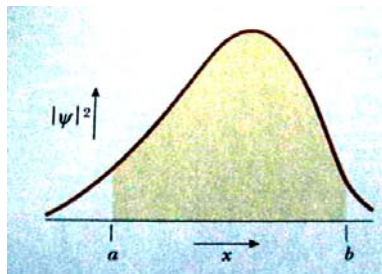
นั่นคือในความพยายามที่จะวัดตำแหน่งของอนุภาคให้แม่นยำ (Δx น้อย ๆ) จะทำให้เกิดความไม่แน่นอนของโมเมนตัม (Δp) มากขึ้นทันที เช่น การทำให้ความเร็วของอนุภาคเปลี่ยน

18.6 สมการชโรดิงเงอร์ (The Schrodinger Equation)

ในทฤษฎีควอนตัม ผลจากการที่อนุภาคมีพฤติกรรมเป็นคลื่น จึงไม่อาจบอกตำแหน่งที่แน่นอนของมันได้ อย่างไรก็ตาม คลื่นอนุภาคสามารถบรรยายได้ด้วยฟังก์ชันคลื่น (Wave Function หรือ Ψ) จาก Wave Function สามารถทราบความน่าจะเป็นที่จะพบอนุภาคที่ตำแหน่งใด ๆ ที่เวลาใด ๆ (เรียกว่า Probability Density) จาก

$$|\Psi|^2 = \Psi\Psi^*$$

$$P_{ab} = \int_a^b |\Psi|^2 dx \tag{18-10}$$



ภาพที่ 18-9 ตัวอย่างความน่าจะเป็นที่จะพบอนุภาค

อนุภาค หรือระบบใด ๆ สามารถบรรยายได้โดยใช้ฟังก์ชันคลื่น ฟังก์ชันคลื่นในกรณีใด ๆ เกิดจากการแก้สมการชโรดิงเงอร์ ซึ่งเสนอโดย เออร์วิน ชโรดิงเงอร์ (คศ.1887-1961) นักฟิสิกส์ชาวออสเตรีย

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \Psi = 0 \tag{18-11}$$

โดยที่ U คือ พลังงานศักย์

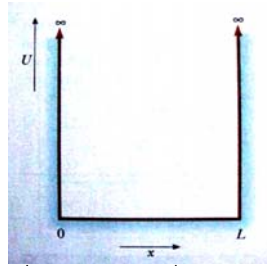
ผลลัพธ์ของการแก้สมการชโรดิงเงอร์คือ ฟังก์ชันคลื่น (Ψ) และพลังงาน (E) ที่เป็นไปได้ในกรณีนั้น ๆ

18.6.1 ตัวอย่างการใช้สมการชโรดิงเงอร์: อนุภาคในกล่อง (A Particle in a Box)

กล่องมีขอบที่เป็นกำแพงพลังงานศักย์ค่าอนันต์ อนุภาคถูกขังอยู่ภายในกล่อง กำหนดให้มีพลังงานศักย์เป็นศูนย์ จากสมการชโรดิงเงอร์ เมื่อ $U=0$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \Psi = 0$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \Psi = 0 \quad (18-12)$$



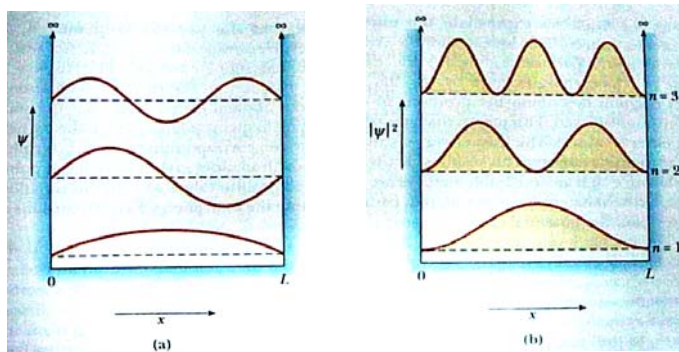
ภาพที่ 18-10 กล่องที่ใช้ขังอนุภาค

เมื่อแก้สมการ (หาค่า Ψ ที่แทนลงในสมการแล้วทั้งสองข้างของสมการมีค่าเท่ากัน) และใช้เงื่อนไขขอบเขตว่า ความน่าจะเป็นที่พบอนุภาคที่ขอบกล่องทั้งสองด้านเป็นศูนย์ $\Psi(0) = \Psi(L) = 0$ (นั่นคือ $kL = n\pi$) จะได้คำตอบ Ψ และหาค่าพลังงานของอนุภาคในกล่องได้

$$\Psi(x) = A \sin kx = A \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

$$k^2 = \frac{2m}{\hbar^2} E$$

$$E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{\hbar^2 \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2}{2m} = \left(\frac{h^2}{8mL^2}\right) n^2 \quad (18-13)$$



ภาพที่ 18-11 กราฟฟังก์ชันคลื่น และความน่าจะเป็นที่พบอนุภาคที่ระดับต่าง ๆ ในกล่อง

จากสมการ พลังงานของอนุภาคในกล่องจะควอนไทซ์ (ไม่ต่อเนื่อง) เมื่ออนุภาคเปลี่ยนระดับพลังงาน จะมีการรับหรือปลดปล่อยพลังงาน

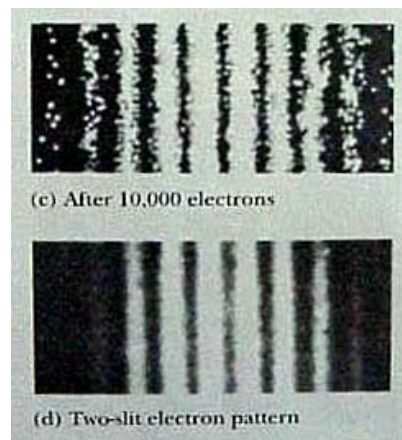
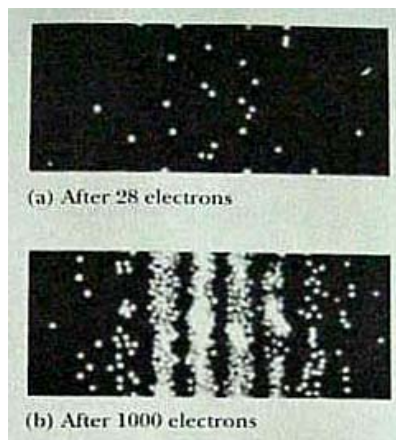
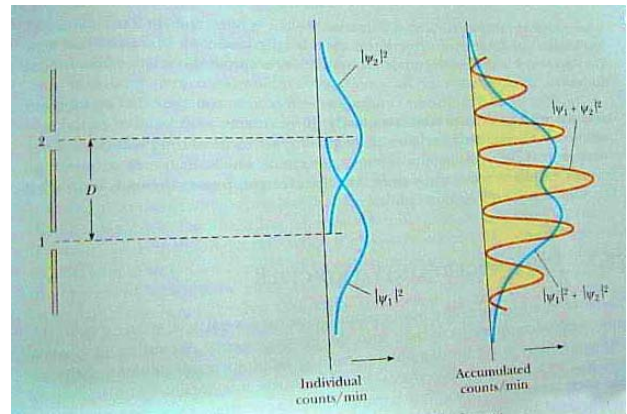
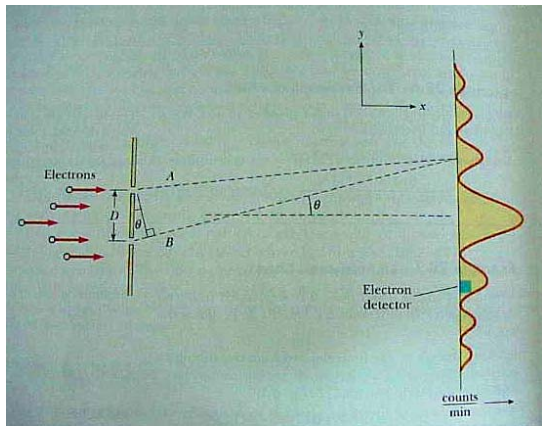
สถานะ $n=0$ นั่นคือ $E=0$ เกิดขึ้นไม่ได้ในกลศาสตร์ควอนตัม (อนุภาคจะอยู่นิ่งไม่ได้เลย)

18.7 การทดลองช่องคู่ (The Double-Slit Experiment)

การทดลองช่องคู่ เป็นการยืนยันสมบัติความเป็นคลื่นอนุภาคของอิเล็กตรอน โดยยิงลำอิเล็กตรอนผ่านช่องเปิดเล็ก ๆ 2 ช่อง ไปชนกับฉากรับ เมื่อมีการตรวจวัดร่องรอยของอิเล็กตรอนบนฉากเป็นเวลานาน จะพบรูปแบบการแทรกสอดของคลื่นบนฉาก รูปแบบการแทรกสอดนี้หมายความว่า อิเล็กตรอนต้องอยู่ในทั้งสองช่อง ในขณะเดียวกัน

ถ้าอิเล็กตรอนตัวหนึ่งผ่านช่องใดช่องหนึ่งไปแทรกสอดกับตัวอื่น ๆ จะได้รูปแบบการแทรกสอด ตามสมการ $\Psi_1^2 + \Psi_2^2$

แต่ผลการทดลอง รูปแบบเป็นไปตามสมการ $(\Psi_1 + \Psi_2)^2$ ซึ่งหมายถึง อิเล็กตรอนตัวหนึ่งต้องผ่านช่องทั้งสอง แล้วไปเกิดการแทรกสอดบนฉาก



ภาพที่ 18-12 การทดลองช่องคู่ และผลการทดลองที่ได้

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

