

บทที่ 1

แนวความคิดเบื้องต้น

วัตถุประสงค์

เมื่อศึกษาจบบทนี้แล้ว

1. นักศึกษาต้องสามารถบอกแนวความคิดการเกิดเลเซอร์ได้ว่า การเปล่งแสงตามปกติวิสัย การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น การดูดกลืน การยกระดับพลังงานในเลเซอร์ ชั้นตอนเหล่านี้เกิดขึ้นอย่างไร
2. นักศึกษาสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างทางคุณลักษณะของแสงเลเซอร์กับแสงทั่ว ๆ ไป คือ คุณสมบัติทาง การมีทิศทางตรง การมีแสงสีเดียว ความพร้อมเพียงและความสว่าง
3. นักศึกษาต้องสามารถแก้ปัญหาจากแบบฝึกหัดท้ายบทได้อย่างน้อย 50% ในเวลาหนึ่งสัปดาห์

1.1 การเปล่งแสงตามปกติวิสัยและการเปล่งแสงโดยการกระตุ้น การดูดกลืน (Spontaneous and Stimulated Emission, Absorption)

วิชาควอนตัมอิเล็กทรอนิกส์สามารถกำหนดได้เป็นสาขาวิชาหนึ่งของวิชาอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากธรรมชาติของควอนตัมได้แสดงปรากฏการณ์อันเป็นกฎขั้นพื้นฐานอย่างหนึ่งทางไฟฟ้า ดังนั้น เราจึงมีความมุ่งหมายเกี่ยวข้องกับวิชาควอนตัมอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะที่เรียกว่า หลักกายภาพของเลเซอร์และพฤติกรรมของมัน เลเซอร์มีการแสดงปรากฏการณ์ทางแสงขั้นพื้นฐานสามอย่างที่มิประโยชน์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอันตรกิริยากับวัตถุ เรียกว่า วิธีการเปล่งแสงตามปกติวิสัยและการเปล่งแสงโดยการกระตุ้น และวิธีการดูดกลืน

1.1.1 การเปล่งแสงตามปกติวิสัย

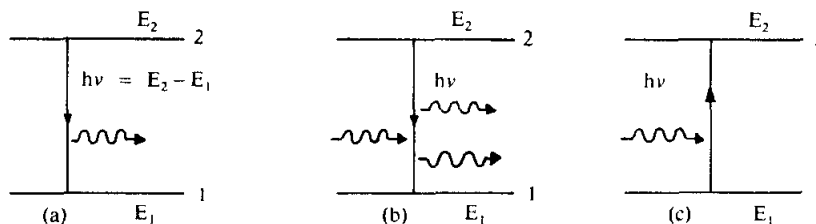
พิจารณาระดับพลังงานสองระดับ คือ ระดับ 1 และ 2 ของสสารชนิดเดียวกัน พลังงานของมันคือ E_1 และ E_2 ($E_1 < E_2$) โดยสมมติว่า ระดับ 1 เป็นระดับต่ำ และตอนแรกอะตอม (หรือโมเลกุล) อยู่ในระดับ 2 เมื่อ $E_2 > E_1$ อะตอมจะมีแนวโน้มลดระดับสู่ระดับ 1 และปลดปล่อย

พลังงานเท่ากับความแตกต่าง $E_2 - E_1$ ออกมา เมื่อพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เราจะเรียกว่าเป็นการเปล่งแสง (หรือการแผ่รังสี) ตามปกติวิสัยด้วยความถี่ ν กำหนดด้วยสมการ [เนื่องจากพลังค์ (Planck)]

$$\nu = (E_2 - E_1)/h \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

ในที่นี้ h คือค่าคงที่ของพลังค์ ดังนั้น การเปล่งแสงตามปกติวิสัยก็คือ การเปล่งของโฟตอนด้วย พลังงาน $h\nu = E_2 - E_1$ เมื่ออะตอมลดระดับจากระดับ 2 ไปยังระดับ 1 (รูป 1.1a) ให้สังเกตว่าการเปล่งรังสีเป็นวิธีหนึ่งของสองวิธีที่เป็นไปได้สำหรับอะตอมลดระดับ ระดับสามารถเกิดขึ้นได้แม้ไม่มีการแผ่รังสี ในกรณีนี้พลังงานแตกต่าง $E_2 - E_1$ เกิดเป็นรูปแบบอื่นมากกว่าจะเป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (กล่าวคือ มันอาจจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ของโมเลกุลที่อยู่รอบ ๆ)

ความเป็นไปได้ของการเปล่งแสงตามปกติวิสัยสามารถบ่งบอกด้วยวิธีต่อไปนี้เป็น เราสมมติว่าที่เวลา t มีอะตอมจำนวน N_2 (ต่อหน่วยปริมาตร) อยู่ในระดับ 2 อัตราการลดระดับของอะตอมเหล่านี้คือ $(dN_2/dt)_{sp}$ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ N_2 ดังนั้น เราสามารถเขียนได้เป็น



รูป 1.1 แสดงแผนภูมิของสามขั้นตอน (a) การเปล่งแสงตามปกติวิสัย (b) การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น (c) การดูดกลืน

$$\left(\frac{dN_2}{dt} \right)_{sp} = -AN_2 \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

สัมประสิทธิ์ A เรียกว่า ความเป็นไปได้ของการเปล่งแสงตามปกติวิสัย หรือเรียกว่า สัมประสิทธิ์เอ ไอน์สไตน์ (ไอน์สไตน์ได้พบสัมประสิทธิ์ A ครั้งแรกจากการพิจารณาทางอุณหพลศาสตร์) ปริมาณ $\tau_{sp} = 1/A$ เรียกว่าช่วงเวลาของการเปล่งแสงตามปกติวิสัย ค่าของ A (และ τ_{sp}) ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะ

1.1.2 การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น (รูป 1.1 b)

ครั้งแรกเราสมมติว่า อะตอมที่พบตอนแรกอยู่ในระดับ 2 และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ ν (ซึ่งเท่ากับความถี่ของคลื่นที่ปล่อยออกมาจากการเปล่งแสงตามปกติวิสัย) ตกกระทบบนวัตถุ ถ้าคลื่นนี้มีความถี่ตรงกับความถี่ของอะตอม มันจะทำให้อะตอมเกิดการเปลี่ยนแปลง

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{st} = -W_{21}N_2 \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

เมื่อ $(dN_2/dt)_{st}$ เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงจากระดับ 2 → 1 เป็นผลลัพธ์ของการเปล่งแสงโดยการกระตุ้น และ W_{21} เรียกว่าความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนแปลงโดยการกระตุ้น เหมือนกับกรณีของสัมประสิทธิ์ A ในสมการ (1.2) และสัมประสิทธิ์ W_{21} เป็นมิติของ (เวลา)⁻¹ อย่างไม่ขึ้นกับ A และ W_{21} ไม่เหมือนกันตรงไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะ ยังคงขึ้นอยู่กับความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบด้วย สำหรับคลื่นระนาบแม่เหล็กไฟฟ้า เราสามารถเขียนได้ว่า

$$W_{21} = \sigma_{21}F \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

ในที่นี้ F คือ ฟลักซ์โฟตอนของคลื่นตกกระทบ และ σ_{21} คือ ปริมาณค่าหนึ่งมีมิติของพื้นที่ (เรียกว่าพื้นที่ภาคตัดขวางของการเปล่งแสงโดยการกระตุ้น) และขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเท่านั้น

1.1.3 การดูดกลืน (รูป 1.1c)

เราสมมติว่าอะตอมครั้งแรกอยู่ในระดับ 1 ถ้าระดับนี้เป็นระดับต่ำสุด (ระดับพื้น) อะตอมจะคงอยู่ในระดับนี้เสมอ นอกจากว่ามีตัวกระตุ้นบางอย่างเข้าไปกระทบมัน ดังนั้น เรา จะสมมติว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ ν กำหนดด้วยสมการ (1.1) ได้ตกกระทบบนสสารอะตอม จะมีโอกาสถูกผลักให้ขึ้นไปอยู่ในระดับ 2 ได้ โดยอะตอมต้องการพลังงานเท่ากับความแตกต่าง $E_2 - E_1$ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมันสามารถได้จากพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบ และนี่คือขั้นตอนของการดูดกลืน

เราสามารถกำหนดอัตราการดูดกลืน W_{12} ในรูปแบบเช่นเดียวกับสมการ (1.3) คือ

