บทที่ 3

เลเซอร์ฮีเลียมนีออน

เลเซอร์ (Laser : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) คือแสงที่ได้จากการขยายสัญญาณของการแผ่รังสีจากการปล่อยแบบกระตุ้น ในปี ค.ศ. 1954 โทวนส์(Townes)และผู้ร่วมงานได้พัฒนาเมเซอร์(Maser) โดยใช้แอมโมเนีย(NH_3) ในปี ค.ศ.1958 แชว์โลว์และโทวนส์ (Schawlow and Townes) ได้แสดงหลักการในการเกิดเมเซอร์ย่านที่ตามองเห็น ในปี ค.ศ.1960 ไมแมน(Maiman)ได้สร้างเลเซอร์ตัวแรกโดยใช้ทับทิมเป็นตัวกลาง (Lengyel, 1966) หลังจากนั้นเทคโนโลยีเลเซอร์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว และในปีเดียวกันนี้ แจวัน(Javan) ได้สร้างเลเซอร์ที่ใช้ตัวกลางเป็นก๊าซขึ้น คือเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

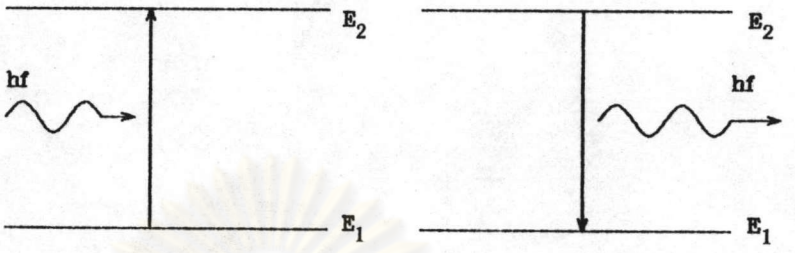
3.1 หลักการของเลเซอร์

เลเซอร์ เป็นแสงที่เกิดจากการแผ่รังสีที่เกิดจากการปล่อยแบบกระตุ้น (Stimulated Emission) การทำให้เกิดการปล่อยแบบกระตุ้นนี้จะต้องมีการเพิ่มพลังงานให้แก่ตัวกลางของระบบที่ทำให้เกิดแสงเลเซอร์ เพื่อทำให้เกิดการผกผันของประชากร(Population Inversion) ขึ้นในชั้นพลังงานของอะตอมในตัวกลาง ซึ่งเป็นหลักการ สำคัญที่ทำให้เกิดเลเซอร์ แล้วนำสัญญาณแสงที่ได้ไปขยายให้มีความเข้มสูงขึ้นโดยการใช้โพรงแสง(Optical Cavity)

3.1.1 การปล่อยแสงแบบกระตุ้น

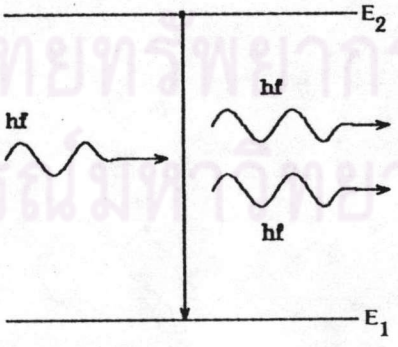
ในทางกลศาสตร์ควอนตัม ภายในอะตอมจะประกอบไปด้วยชั้นของพลังงาน เช่นในตอนเริ่มต้นมีระดับพลังงานเป็น E_1 เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานจะทำให้ระดับพลังงานเพิ่มเป็น E_2 แต่ถ้ามีการลดระดับพลังงานจาก E_2 มาเป็น E_1 จะต้องมีการคายพลังงาน พลังงานที่ถูกดูดกลืนหรือถูกปล่อยออกมาเป็นพลังงานแสงหรือพลังงานโฟตอนจะมีค่าเท่ากับ

$$hf_{12} = E_2 - E_1$$



รูปที่ 3.1 แสดงการดูดกลืนและการปล่อยพลังงานแบบเกิดขึ้นเอง

การปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเองเกิดขึ้นหลังจากที่มีการดูดกลืนพลังงานแสง อิเล็คตรอนจะเปลี่ยนสถานะของพลังงานไปสู่สถานะกระตุ้น(Excited State) และจะอยู่ในชั้นนี้ในช่วงเวลาหนึ่ง เรียกว่าเวลาชั่วชีวิต(Life Time) เมื่อหมดเวลาก็จะกลับมายังชั้นพลังงาน E_1 จึงเกิดการปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเอง แต่ถ้ายังอยู่ในช่วงของเวลาชั่วชีวิตของ E_2 แล้วกระตุ้นด้วยพลังงาน $E_2 - E_1$ ระดับพลังงาน E_2 จะสามารถกลับมายังชั้นพลังงาน E_1 โดยไม่รอให้หมดเวลาชั่วชีวิต และจะเกิดการปล่อยแสงหรือโฟตอนออกมาพลังงานที่ปล่อยออกมาจะมีทิศทางเดียวกัน เฟสตรงกัน และมีความยาวคลื่นเท่ากัน การปล่อยแสงโดยวิธีนี้เรียกว่าการปล่อยแบบกระตุ้น



รูปที่ 3.2 แสดงการปล่อยแสงแบบกระตุ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 การผกผันของประชากร

ถ้ากำหนดให้จำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่ที่สถานะ E_1 และ E_2 มีค่าเท่ากับ n_1 และ n_2 ตามลำดับ ที่สภาพสมดุลอุณหภูมิ(Thermal Equilibrium) สัดส่วนของจำนวนอิเล็กตรอน(สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว, 2529) ในแต่ละระดับพลังงานจะเป็นไปตามหลักการกระจายของโบลต์ซมันน์(Boltzmann Distribution)ตามสูตร

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{-(E_2 - E_1)/kT}$$

โดยที่ k คือค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ และ T คืออุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ของระบบสมการเอกโพเนนเชียลมีค่าเป็นลบ แสดงว่าสภาพสมดุลอุณหภูมิ $n_2 << n_1$ หรืออิเล็กตรอนส่วนใหญ่อยู่ในชั้นพลังงาน E_1 เมื่อมีการกระตุ้นด้วยพลังงาน $E_2 - E_1$ ก็จะเกิดการดูดกลืนแสงมากกว่าการปล่อยพลังงานเพราะมีความน่าจะเป็นมากกว่า

ถ้ามีวิธีให้ระบบการกระจายอิเล็กตรอนในทางตรงกันข้ามกับกรณีการเกิดสมดุลอุณหภูมิ คือมีการรบกวนระบบ จนเกิดเงื่อนไข $n_2>>n_1$ แล้วอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะอยู่ที่ E_2 หากมีการกระตุ้นด้วยพลังงาน $E_2 - E_1$ เข้าไปในระบบที่มีสภาพเช่นนี้ก็จะเกิดการปล่อยแสงออกมา เงื่อนไขแบบนี้เรียกว่าการผกผันของประชากร

การทำให้เกิดการผกผันของประชากร จะทำให้เกิดการปล่อยแบบกระตุ้น ดังนั้นจึงต้องมีการรบกวนระบบให้สูญเสียสภาพสมดุลอุณหภูมิ โดยการป้อนพลังงานให้กับระบบโดยวิธีต่างๆ การป้อนพลังงานให้กับระบบเรียกว่า Energy Pumping ซึ่งในทางปฏิบัติได้แก่การให้พลังงานแสงให้แก่ตัวกลางที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์

3.1.3 การขยายสัญญาณแสงโดยใช้โพรงแสง

การที่จะทำให้ระบบของอะตอมมีระดับพลังงานสูง จะทำให้อัตราการปล่อยแสงแบบกระตุ้นมีค่าสูงมากเมื่อเทียบอัตราการปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเอง การสร้างโพรงแสงเพื่อให้แสงสะท้อนกลับไปกลับมา และกระตุ้นให้เกิดโฟตอนตัวใหม่ขึ้นอีกจำนวนมากซึ่งเป็นการขยายสัญญาณแสง

โพรงแสงของเลเซอร์ทำโดยการนำเอากระจกสะท้อนแสงสองชิ้นมาวางขนานกัน โดยมีตัวกลางของเลเซอร์วางอยู่ระหว่างกระจกทั้งสองอันนี้ ลักษณะของกระจกที่ใช้อาจจะเป็นกระจกแผ่นราบ หรือกระจกเว้าก็ได้ แล้วแต่

การออกแบบเพื่อให้ได้โพรงแสงที่มีเสถียรภาพดี เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของเลเซอร์ ในกรณีของเลเซอร์ฮีเลียมนีออนกระจกเว้าจะติดอยู่กับที่ตายตัว กระจกขนานกันสองแผ่นนี้จะทำหน้าที่รวบรวมลำแสงให้สะท้อนกลับไปมาอยู่ในเนื้อของตัวกลางเท่านั้น

3.1.4 การทำให้เกิดแสงเลเซอร์

จากหลักการของการทำให้เกิดแสงเลเซอร์ได้ จะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ประการคือ

3.1.4.1 ตัวกลางเลเซอร์

3.1.4.2 การป้อนพลังงานให้แก่ตัวกลางของเลเซอร์

3.1.4.3 การขยายสัญญาณแสงด้วยโพรงแสง

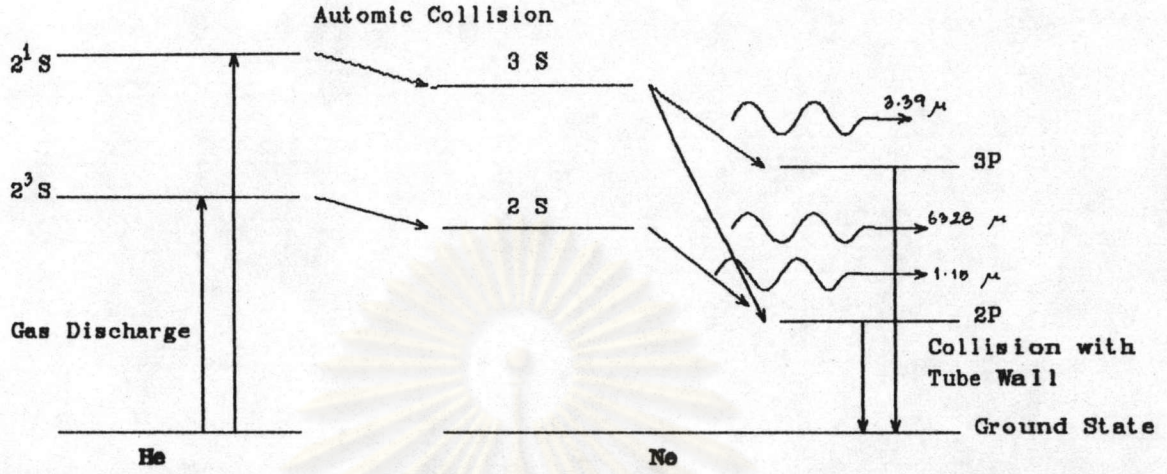
เลเซอร์ฮีเลียมนีออน เป็นเลเซอร์ที่ใช้ก๊าซที่ถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานโดยการกระตุ้นอะตอมของฮีเลียมซึ่งเป็นฮีเลียมแบบเบาแล้วส่งผ่านพลังงานไปยังอะตอมของนีออน แจวัน เบนเนทต์ และเฮอร์รัทต์ (Javan, Bennett, and Herriott) ได้ค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1960 สังเกตจากสถานะกระตุ้นให้สเปกตรัมออกมา 5 เส้น (Eaglesfield, 1972) ดูในตารางที่ 1 คือเส้นที่ 2 ถึงเส้นที่ 6 เส้นที่ให้ความเข้มสูงสุดคือเส้นที่ 3 มีความยาวคลื่น(λ) 1.1523 ไมโครเมตร เป็นแสงเลเซอร์ในย่านอินฟาเรด(Infared) การแผ่รังสีเกิดจาก 2s->2p

ไวท์และริกเดน(White and Rigden) ได้พบเลเซอร์ฮีเลียมนีออนในย่านที่ตามองเห็นได้ในปี ค.ศ. 1962 เป็นเส้นสเปกตรัมเส้นที่ 1 เป็นการแผ่รังสีที่ส่งผ่านจาก $3s_2$->$2p_4$ และเป็นจุดเริ่มต้นให้เลเซอร์ชนิดนี้เกิดการพัฒนาจนถึงขั้นสามารถผลิตออกมาในเชิงการค้าได้ และเกือบทั้งหมดผลิตออกมาในช่วงความยาวคลื่นที่ 6328 อังสตรอม และเลเซอร์ที่มองเห็นนี้เกิดจากก๊าซนีออน

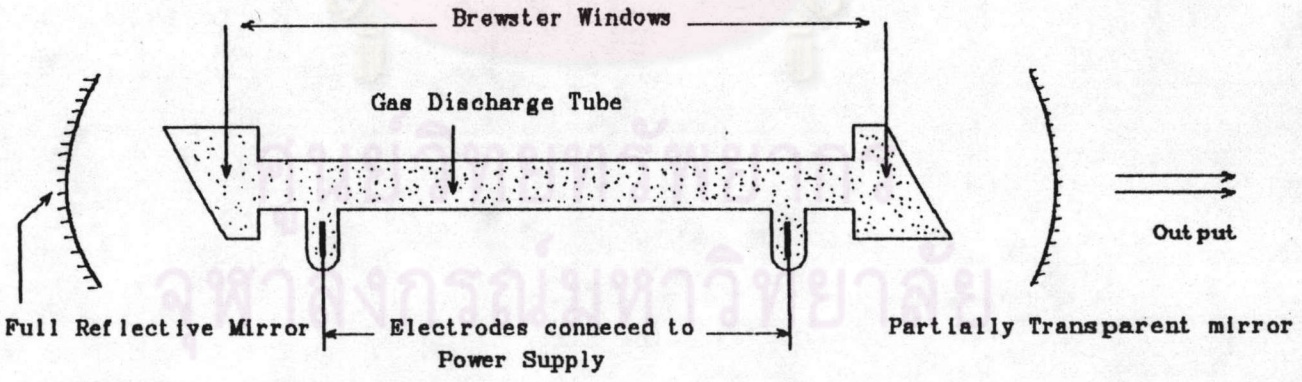
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลของเส้นสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

Line Number	λ_{air}(μm)	Transition	Gain(cm^{-1})
1	0.6328	$3s_2 - 2p_4$	5×10^{-1}
2	1.1177	$2s_5 - 2p_9$	-
3	1.1523	$2s_2 - 2p_4$	12×10^{-4}
4	1.1614	$2s_3 - 2p_5$	-
5	1.1985	$2s_3 - 2p_2$	-
6	1.2066	$2s_5 - 2p_6$	-
7	1.5231	$2s_2 - 2p_1$	-
8	3.3913	$3s_2 - 3p_4$	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 ระดับพลังงานในการเกิดเลเซอร์ของก๊าซฮีเลียมนีออน



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

เลเซอร์ฮีเลียมนีออน ประกอบด้วยท่อเพื่อบรรจุสารตัวกลางยาว 30 มิลลิเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ขั้วไฟฟ้าสองขั้ว ปลายทั้งสองด้านเป็นหน้าต่างเอียงเป็นมุมของบริวส์เตอร์(Brewster's Angle) เพื่อให้แสงเกิดการสะท้อนจากกระจกเว้าจากด้านนอกในแนวเส้นปกติ และเกิดการกวัดแกว่งในแนวนี้ด้วย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญทำให้เกิดการปล่อยแสงเลเซอร์ออกมาในแนวเส้นตรงในหลอดบรรจุก๊าซ ฮีเลียม 5 ส่วน และ นีออน 1 ส่วน เก็บไว้ที่ความดัน 1 มิลลิเมตรของปรอท ด้านนอกมีกระจกเว้าทั้งสองด้าน

สนามไฟฟ้าจากภายนอกจะเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นให้อะตอมของฮีเลียมซึ่งเป็นอะตอมที่เบากว่าให้อยู่ในสถานะกระตุ้น เกิดสถานะกระตุ้นใน $2s_1$ และ $2s_3$ จะมีสถานะพลังงานที่สูงกว่าอะตอมของนีออน และจะทำให้อะตอมของฮีเลียมเกิดการชนและส่งผ่านพลังงานให้กับอะตอมของนีออน และทำให้มีระดับพลังงานที่สูงขึ้น ส่วนอะตอมของฮีเลียมจะกลับสู่สถานะพื้น และพลังงานของอะตอมของก๊าซนีออนจะเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานอย่างรวดเร็ว เพื่อทำให้อะตอมของนีออนกลับสู่สถานะพื้น และก็ปล่อยแสงเลเซอร์ออกมาเป็นแสงที่มีความยาวคลื่น 6328 อังสตรอม และแสงที่ได้เป็นแสงเอกรงค์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย