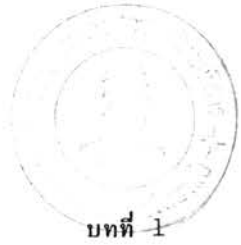


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติการพัฒนาเครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชัน

เครื่องกำเนิดไอออนสมัยแรกๆ ประกอบด้วยหลอดปลดปล่อยประจุซึ่งใช้คาโธด (cathode) ที่เจาะเป็นรูเพื่อให้ไอออนบวก ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไอออนประเภทนี้อยู่ระดับ 50 กิโลโวลต์ ไอออนที่ได้มีการกระจายพลังงานตั้งแต่ต่ำจนถึงระดับนี้ และการสึกกร่อนของขั้วไฟฟ้ามีมาก จึงได้มีการคิดค้นเครื่องกำเนิดไอออนชนิดคาโธดร้อน (hot cathode source) คือ เครื่องกำเนิดไอออนชนิดมีใส้ ซึ่งลดการกระจายพลังงานของไอออนลงได้ และได้มีการพัฒนาให้ดีขึ้นโดยการปลดปล่อยประจุมารวมในปริมาตรเล็กๆ แล้วดึงไอออนออกทางช่องที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กๆ ด้วยขั้วไฟฟ้าโพรบ (probe electrode) เครื่องกำเนิดประเภทนี้ให้ความหนาแน่นของกระแสสูง ผลิตอัตราส่วนของไอออนที่เกิดขึ้นต่อไมเลกุลของกาซมาก และลำไอออนมีกระแส 2 ถึง 3 มิลิแอมแปร์ ถึงแม้จะมีโปรตอนเพียง 5 ถึง 20 เปอร์เซนต์เท่านั้น ซึ่งมีอัตราการรั่วของกาซที่เหลือออกมา 20 ถึง 30 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมงที่ เอน.ที.พี (N.T.P) ซึ่งยังสูงมาก จึงได้มีการพัฒนาเครื่องกำเนิดไอออนชนิดคาโธดร้อนโดยเพิ่มสนามแม่เหล็กเข้าไป ปรากฏว่าลดจำนวนกาซที่ออกมากับไอออนได้ และยังให้โปรตอนมากกว่า 60 เปอร์เซนต์ พร้อมกันนี้ก็ได้มีการสร้างเครื่องกำเนิดไอออนโดยใช้สนามความถี่วิทยุ (radio frequency source) ในการปลดปล่อยประจุซึ่งเกือบไม่ต้องใช้โลหะอย่างสมบูรณ์ เครื่องกำเนิดชนิดความถี่วิทยุนี้ให้กระแส 300 ไมโครแอมป์ และมีกาซที่รั่วออกมาด้วยอัตรา 10 ถึง 20 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ เอน.ที.พี (N.T.P) เนื่องจากการสร้างมีความลำบากและยังไม่ค่อยได้ใช้ประโยชน์ จึงยังนิยมใช้เครื่องกำเนิดไอออนชนิดคาโธดร้อนมากกว่า เครื่องกำเนิดไอออนที่มีอยู่เมื่อนำไปสร้างเครื่องเร่งอนุภาค สูบสูญญากาศที่ใช้ตรงบริเวณขั้วไฟฟ้าโพรบ (probe electrode) และคอลัมน์การเร่ง (accelerating column) จะแตกต่างกันซึ่งยุ่งยาก และเนื่องจากนักฟิสิกส์ต้องการที่จะให้ได้เครื่องกำเนิดไอออนที่มีประสิทธิภาพที่สุด โดยพยายามพัฒนาเครื่องกำเนิดไอออนชนิดต่างๆ ให้มีกาซที่หลงเหลือจากการไอออไนซ์น้อยที่สุด ได้ไอออนชนิดที่ต้องการมากๆ การกระจายพลังงานในไอออนมีน้อย และไม่ต้องใช้สูบสูญญากาศที่แตกต่างกัน

ระหว่างเครื่องกำเนิดไอออนและคอลัมน์การเร่ง พบว่าโดยการใช้การออสซิลเลชันของอิเล็กตรอนให้เป็นประโยชน์เพื่อที่จะเพิ่มความหนาแน่นของการไอออไนซ์ในการปลดปล่อยประจุได้ผลตามที่ต้องการ ซึ่งหลักนี้ใช้เป็นประโยชน์ครั้งแรกในมาตรวัดไอออไนเซชัน (ionization gauge) ในห้องปฏิบัติการฟิลิปส์ (Philips laboratory)[1,2]

ในปี ค.ศ.1937 เพนนิง (Penning) ได้อธิบายหลักการเพิ่มความหนาแน่นของการไอออไนซ์ในการปลดปล่อยประจุ โดยใช้การออสซิลเลชันของอิเล็กตรอน และหลักการนี้ได้นำมาใช้กับมาตรวัดฟิลิปส์ (Philips gauge)[2]

ในปี ค.ศ.1939 ฟินเกลสไตน์ (Finkelstein) ได้สร้างเครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชัน (electron oscillation ion source) หรือเป็นที่ทราบกันทั่วไป คือ เครื่องกำเนิด พี.ไอ.จี (P.I.G source) เป็นครั้งแรก แต่ได้รับความสนใจน้อย[2]

ในปี ค.ศ.1949 เทอร์เนอร์ (Turner) ฮูดกินส์ (Hudgins) ฟิลล์มอร์ (Fillnore) เจปสัน (Jepson) และ ไกว์ (Gow) ที่มหาวิทยาลัยคาลิฟเฟอร์เนีย ต้องการพัฒนาเครื่องกำเนิดไอออนที่ให้พัลซ์ (pulse) ที่มีความเข้มสูงๆ แหล่งกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชันจึงได้รับความสนใจขึ้นอีก โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดพัลซ์ (pulse source) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิต (electrostatic generator) ซึ่งนำไปต่อกับเครื่องเร่งโปรตอนเชิงเส้นต่อมา แบคคัส (Backus) ได้อธิบายหลักการต่างๆ[2,3]

ในปี ค.ศ.1953 ไกว์ (Gow) และฟอสเตอร์ (Foster) ได้อธิบายหลักการของเครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชันที่ปรับปรุงให้ดีขึ้น และได้ใช้หลักการนี้กันมาจนถึงปัจจุบัน[2,3]

ในปัจจุบันเครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชันได้กลายเป็นเครื่องกำเนิดไอออนที่มีความสำคัญในการสร้างเครื่องเร่งอนุภาค โดยเฉพาะกับเครื่องเร่งอนุภาคไอออนชนิดมวลมาก (heavy ion accelerator) และยังเป็นส่วนสำคัญของเครื่องแยกสเปกตรัมมวล (mass spectrometor) อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการสร้างและพัฒนาเครื่องกำเนิดไอออนด้วยตนเอง

1.2.2 เพื่อศึกษาทฤษฎีการโฟกัสลำอนุภาคที่มีประจุด้วยศักย์เลนส์ (Potential lens)

1.2.3 เพื่อศึกษาไอออนชนิดต่างๆ ที่ได้จากการไอออไนซ์กาซไฮโดรเจน

1.2.4 สร้างเครื่องกำเนิดไอออนด้วยวัสดุที่หาได้ในประเทศไทย

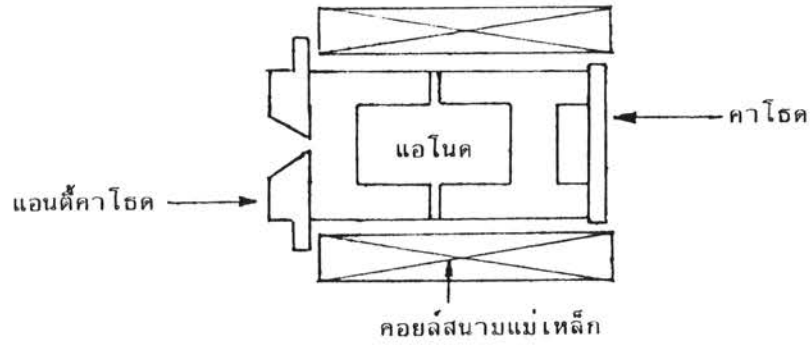
1.3 วิธีดำเนินการวิจัยโดยย่อ

1.3.1 สร้างเครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชัน (electron oscillation source)

1.3.2 ตรวจดูความสามารถของเครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชัน โดยใช้กับกาซไฮโดรเจน

1.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัยโดยย่อ

ลักษณะแหล่งกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชัน ประกอบด้วยแอโนดทรงกระบอกกลวงวางอยู่ระหว่างคาโธด (cathode) และแอนตี้คาโธด (anti cathode) และทั้งหมดนี้อยู่ภายในหลอดแก้วบรรจุกาซไฮโดรเจนที่ความดันต่ำ และมีคอยล์สนามแม่เหล็ก (magnetic field coil) ดังรูปที่ 1.1

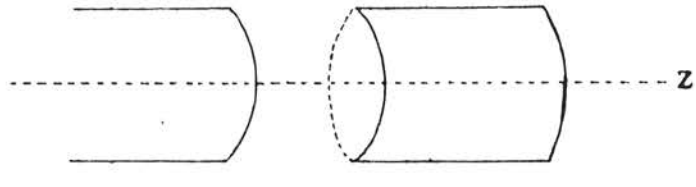


รูปที่ 1.1 แสดงไดอะแกรมของแหล่งกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชัน

เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าแก่คาโธด แอนตี้คาโธด และแอโนด อิเล็กตรอนปฐมภูมิจะหลุดออกมาจากคาโธดแต่ละอัน ซึ่งจะถูกแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวแกน เป็นไป

ตามแรงลอเรนซ์ (Lorentz's force) $\vec{F} = q\vec{E} + \frac{1}{C}(q\vec{V} \times \vec{B})$ แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนที่ด้วยความเร่งไปยังแอโนดทรงกระบอกในทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า และเลยเข้าไปในบริเวณที่ไม่มีสนามไฟฟ้าภายในแอโนด ขณะที่ถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าจะเกิดการควงเนื่องจากถูกแรงอันเกิดจากสนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของทิศสนามแม่เหล็กกับความเร็ว เนื่องจากภายในมีกาซไฮโดรเจน อิเล็กตรอนปฐมภูมิจึงสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งในการไอออไนซ์กาซ และจะทำให้เกิดไอออนบวกและอิเล็กตรอนทุติยภูมิ จากนั้นอิเล็กตรอนปฐมภูมิจะเลยออกมาด้านตรงข้ามด้วยพลังงานที่น้อยกว่าตอนแรก และจะถูกสนามไฟฟ้าเนื่องจากคาโธดอีกด้านหนึ่งผลักกลับและเป็นเช่นนี้ไปจนอิเล็กตรอนปฐมภูมิมีพลังงานต่ำ และถูกนำพาขายังแอโนดกลายเป็นกระแสในวงจรภายนอก ส่วนอิเล็กตรอนทุติยภูมิมีพลังงานต่ำจึงมีผลน้อยมากในการไอออไนซ์กาซ

ไอออนบวกที่สร้างขึ้นมาถูกบังคับไปตามแนวแกนโดยสนามแม่เหล็ก และเมื่อเข้าใกล้คาโธดมันจะถูกเร่งตรงไปสู่คาโธด และชนกับคาโธดด้วยพลังงานหลายร้อยอิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิขึ้นอีก ประจุจะสะสมมากขึ้นและกระแสเพิ่มขึ้นจนกระทั่งจะเสถียรภาพโดยการจำกัดของวงจรภายนอก ขณะที่ไอออนบวกกระทบคาโธดโดยเหตุที่ว่าตรงกลางแคโธดมีช่องเล็กๆ อยู่ ดังนั้นจะมีไอออนบวกส่วนหนึ่งที่พุ่งออกมา ซึ่งจะถูกดึงออกมาและโฟกัสโดยขั้วไฟฟ้าโพรบ (probe electrode) และขั้วไฟฟ้าโฟกัส (focusing electrodes) ซึ่งมีศักย์เลนส์ (potential lens) ทำหน้าที่โฟกัสโดยเกิดจากขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกกลวง 2 อันวางเรียงกันและมีแกนร่วมกันดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงไดอะแกรมขั้วไฟฟ้าโฟกัส

โดยหลักการทางทฤษฎีของการโฟกัสมีว่า ศักย์ที่กระจายตามแกน Z กำหนดได้โดย $V(r = 0) = V_o(Z)$ คิดว่าเทียบกับจุดหนึ่งๆ ที่อนุภาคมีพลังงานเป็นศูนย์ ดังนั้นพลังงานของอนุภาคก็คือ V ถ้าอนุภาคมีพลังงานจลน์ T จะได้ว่า $T = -V$ เมื่อกระจายศักย์รอบจุด

กำเนิด ซึ่ง r ไม่เป็นศูนย์ จะได้ $V = V_o - \frac{r^2}{4}\frac{d^2V_o}{dZ^2} + \frac{r^4}{64}\frac{d^4V_o}{dZ^4}$

จากสมการการเคลื่อนที่ตามแนวรัศมี คือ $m\ddot{r} = eE_r$ สามารถเขียน

$$m\ddot{Z}\frac{dr}{dZ} + m\dot{Z}^2\frac{d^2r}{dZ^2} = eE_r$$

ดังนั้น $$Vr'' + \frac{Vr'}{Z} + \frac{Vr}{4} = 0$$

ไพรม หมายถึง ดิฟเฟอร์เรนเชียลเทียบกับ Z

ขอบเขตการโฟกัสเกิดขึ้นบริเวณช่องว่างขั้วไฟฟ้าทรงกระบอก และการขจัดตามแนวรัศมีของอนุภาคไม่เปลี่ยนแปลงมากนักขณะมันผ่านตลอดขอบเขตนี้ ในกรณีนี้เขียนสมการเป็น

$$\frac{dr'V^{1/4}}{dZ} + \frac{1}{4}\frac{drV^{-3/4}V'}{dZ} + \frac{3}{16}rV'^2V^{-7/4} = 0$$

$$(r'V^{1/4})_{final} - (r'V^{1/4})_{initial} = -\frac{3}{16}\int_{entrance}^{exit} rV'^2V^{-7/4}\,dZ$$

$$\frac{1}{f} = \frac{-r'_{final}}{r_{initial}} = +\frac{3}{16}\left(\text{avg value of } \frac{V'^2}{V^2}\right)$$

โดย f เป็นความยาวโฟกัส (focal length)

r'_{final} ดิฟเฟอเรนเชียลของรัศมีลำไอออนเทียบกับระยะทางในช่วงสุดท้าย

$r_{initial}$ เป็นรัศมีลำไอออนก่อนการโฟกัส

ดังนั้นหากลำอนุภาคเคลื่อนที่ผ่านเลนส์ไฟฟ้าสถิต (electrostatic lense) นี้ จะถูกโฟกัสเป็นไปตามทฤษฎีข้างบน [2,3]

ในการวิจัยนี้ จึงนำเอาหลักการและทฤษฎีนี้มาสร้างเครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชัน (electron oscillation ion source) และศึกษาเฉพาะกับก๊าซไฮโดรเจนเพียงชนิดเดียว

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 ทำให้มีเครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชันไว้ใช้ภายในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์

1.5.2 เป็นการฝึกหัดให้ผู้ทำการวิจัยรู้จักแก้ปัญหาเฉพาะหน้า

1.5.3 เป็นการทุ่นรายจ่ายของประเทศไม่ต้องซื้อเครื่องมือราคาแพงจากต่างประเทศ