บทที่ 4

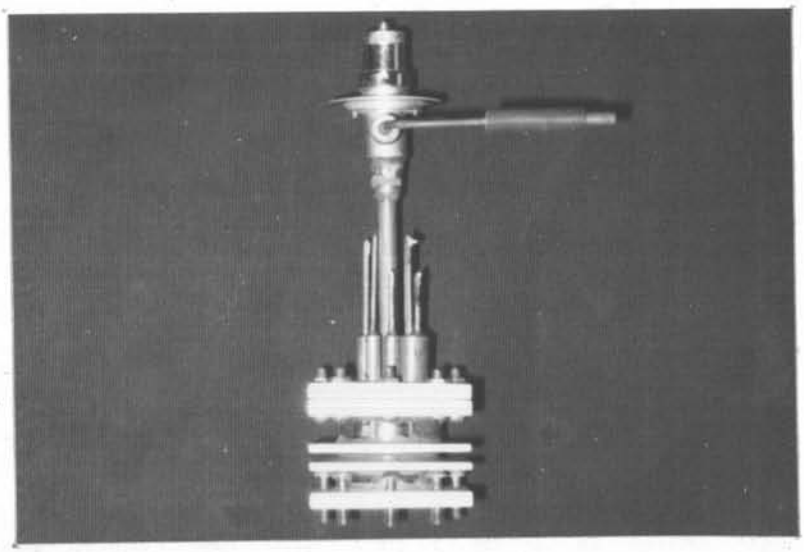
เครื่องมือและวิธีการทดลอง

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

4.1 เครื่องแยกสเปกตรัมมวล

เครื่องมือที่สร้างสามารถแยกออกจากกันได้ห้าส่วน คือ แหล่งกำเนิดไอออนสองส่วน ส่วนแยกมวลหนึ่งส่วน และส่วนวัดสองส่วน ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 แหล่งกำเนิดไอออน ส่วนนี้ถ้ามองจากภายนอกจะประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียมวางเรียงเป็นชั้น ๆ โดยมีท่อแก้วทนความร้อนหนา 0.2 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร คั่นแต่ละแผ่นมีลักษณะดังรูป 4.1 ส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดไอออนยังสามารถแยกออกจากกันได้สองส่วน คือ



รูปที่ 4.1 แสดงแหล่งกำเนิดไอออน

ส่วนที่หนึ่งประกอบด้วยไส้หลอด ส่วนเร่งอีเลกตรอน แผ่นผลักไอออนบวก และตัวจับอีเลกตรอน ดังมีรายละเอียดดังนี้

ก. ไส้หลอดสำหรับสร้างอีเลกตรอน ทำด้วยลวดทังสเตนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.025 เซนติเมตร ขดเป็นเกลียวเหมือนสปริง ยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร ติดอยู่กับแกนทองแดงสองแกน ซึ่งวางห่างกัน 1 เซนติเมตร โดยมีสกรูยึด ดังแสดงในรูป 4.2 ก.

ข. ส่วนเร่งอีเลกตรอน ส่วนนี้คือตัวไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วลบ และแผ่นทองแดงบางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 1.25 เซนติเมตร ยาว 1.75 เซนติเมตร สองแผ่นทำหน้าที่เป็นขั้วบวก บนแผ่นทองแดงทั้งสองนี้มีช่องแคบเดี่ยว กว้าง 0.05 เซนติเมตร สำหรับเป็นช่องให้อีเลกตรอนผ่าน แผ่นทองแดงทั้งสองยึดติดอยู่กับแกนทองแดงสองแกน โดยการบัดกรี ดังแสดงในรูป 4.2 ข.

ค. แผ่นผลักไอออนบวก ทำด้วยแผ่นทองแดงบางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 1.25 เซนติเมตร ยาว 1.75 เซนติเมตร แผ่นผลักไอออนบัดกรีติดกับแกนทองแดงสองแกน ดังแสดงในรูป 4.2 ค.

ง. ตัวจับอีเลกตรอน ทำด้วยกล่องทองแดงรูปสี่เหลี่ยมมีด้านเปิดด้านหนึ่ง กล่องกว้าง 0.4 เซนติเมตร ยาว 0.9 เซนติเมตร และลึก 0.4 เซนติเมตร กล่องยึดติดอยู่กับแกนทองแดงโดยการบัดกรี ดังแสดงในรูป 4.2 ง.

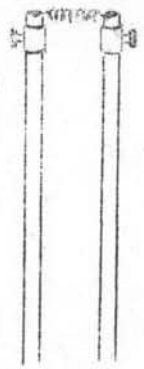
ก. ไส้หลอดสำหรับสร้างอีเลกตรอน ทำด้วยลวดทังสเตนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.025 เซนติเมตร ขดเป็นเกลียวเหมือนสปริง ยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร ติดอยู่กับแกนทองแดงสองแกน ซึ่งวางห่างกัน 1 เซนติเมตร โดยมีสกรูยึด ดังแสดงในรูป 4.2 ก.

ข. ส่วนเร่งอีเลกตรอน ส่วนนี้คือตัวไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วลบ และแผ่นทองแดงบางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 1.25 เซนติเมตร ยาว 1.75 เซนติเมตร สองแผ่นทำหน้าที่เป็นขั้วบวก บนแผ่นทองแดงทั้งสองนี้มีช่องแคบเดี่ยว กว้าง 0.05 เซนติเมตร สำหรับเป็นช่องให้อีเลกตรอนผ่าน แผ่นทองแดงทั้งสองยึดติดอยู่กับแกนทองแดงสองแกน โดยการบัดกรี ดังแสดงในรูป 4.2 ข.

ค. แผ่นผลักไอออนบวก ทำด้วยแผ่นทองแดงบางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 1.25 เซนติเมตร ยาว 1.75 เซนติเมตร แผ่นผลักไอออนบัดกรีติดกับแกนทองแดงสองแกน ดังแสดงในรูป 4.2 ค.

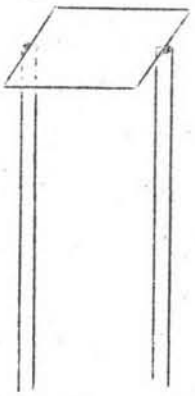
ง. ตัวจับอีเลกตรอน ทำด้วยกล่องทองแดงรูปสี่เหลี่ยมมีด้านเปิดด้านหนึ่ง กล่องกว้าง 0.4 เซนติเมตร ยาว 0.9 เซนติเมตร และลึก 0.4 เซนติเมตร กล่องยึดติดอยู่กับแกนทองแดงโดยการบัดกรี ดังแสดงในรูป 4.2 ง.

i17697438

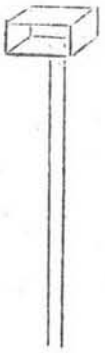


ก

ข



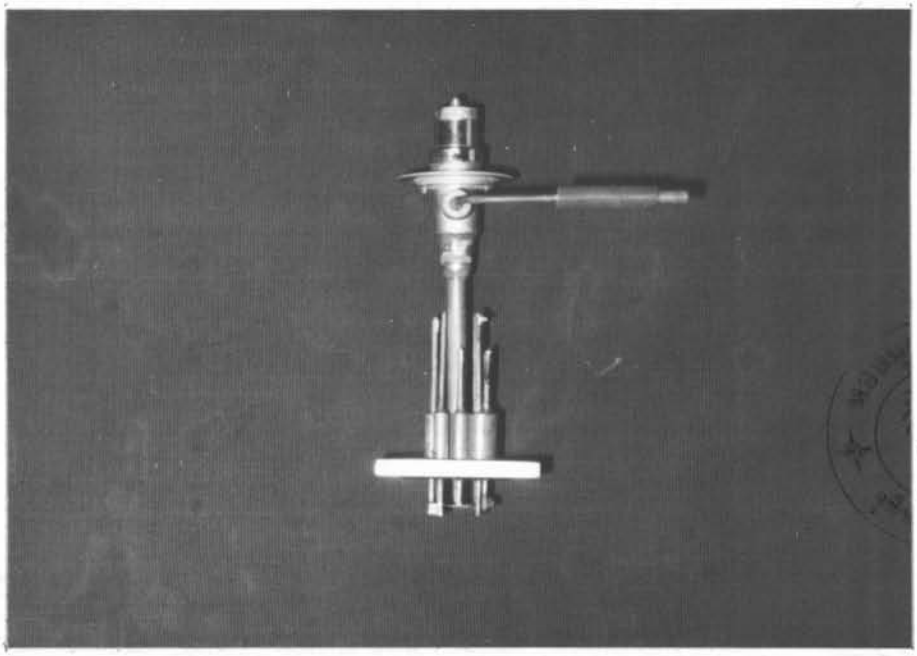
ค



ง

รูปที่ 4.2 แสดงส่วนต่าง ๆ ของแหล่งกำเนิดไอออน ก. แสดงไส้หลอดยึดติดกับแกนทองแดง ข. แสดงแผ่นเร่งอีเลกตรอนยึดติดอยู่กับแกนทองแดง ค. แสดงแผ่นผลักไอออนบวกยึดติดอยู่กับแกนทองแดงและ ง. แสดงตัวจับอีเลกตรอนยึดติดกับแกนทองแดง

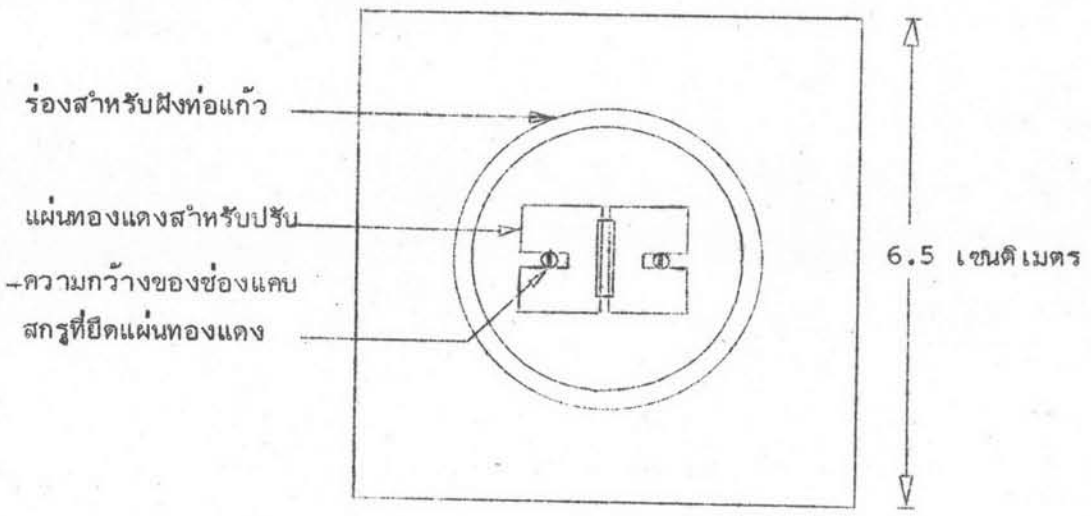
แกนทองแดงที่ใช้ยึดทั้งสี่ส่วนที่กล่าวข้างต้นนั้น เป็นแกนกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 เซนติเมตร ยาวประมาณ 8 เซนติเมตร แกนทองแดงทั้งหมดติดอยู่กับแผ่นอลูมิเนียมรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านยาว 6.5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ด้วยกาวอารัลไดท์ (Araldite) ระหว่างแผ่นอลูมิเนียมและแกนทองแดงคั่นด้วยฉนวน กล่าวคือ แกนทองแดงจะสอดอยู่ในหลอดแก้วก่อนแล้วจึงยึดติดกับแผ่นอลูมิเนียมอีกที ตรงกึ่งกลางของแผ่นอลูมิเนียมส่วนบนมีท่อสำหรับกาซผ่านเข้า ส่วนบนของท่อมีลิ้นปลายเข็ม (needle valve) ติดอยู่ ลักษณะของส่วนที่ประกอบเป็นส่วนที่หนึ่งดังแสดงในรูป 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของส่วนต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นส่วนที่หนึ่ง

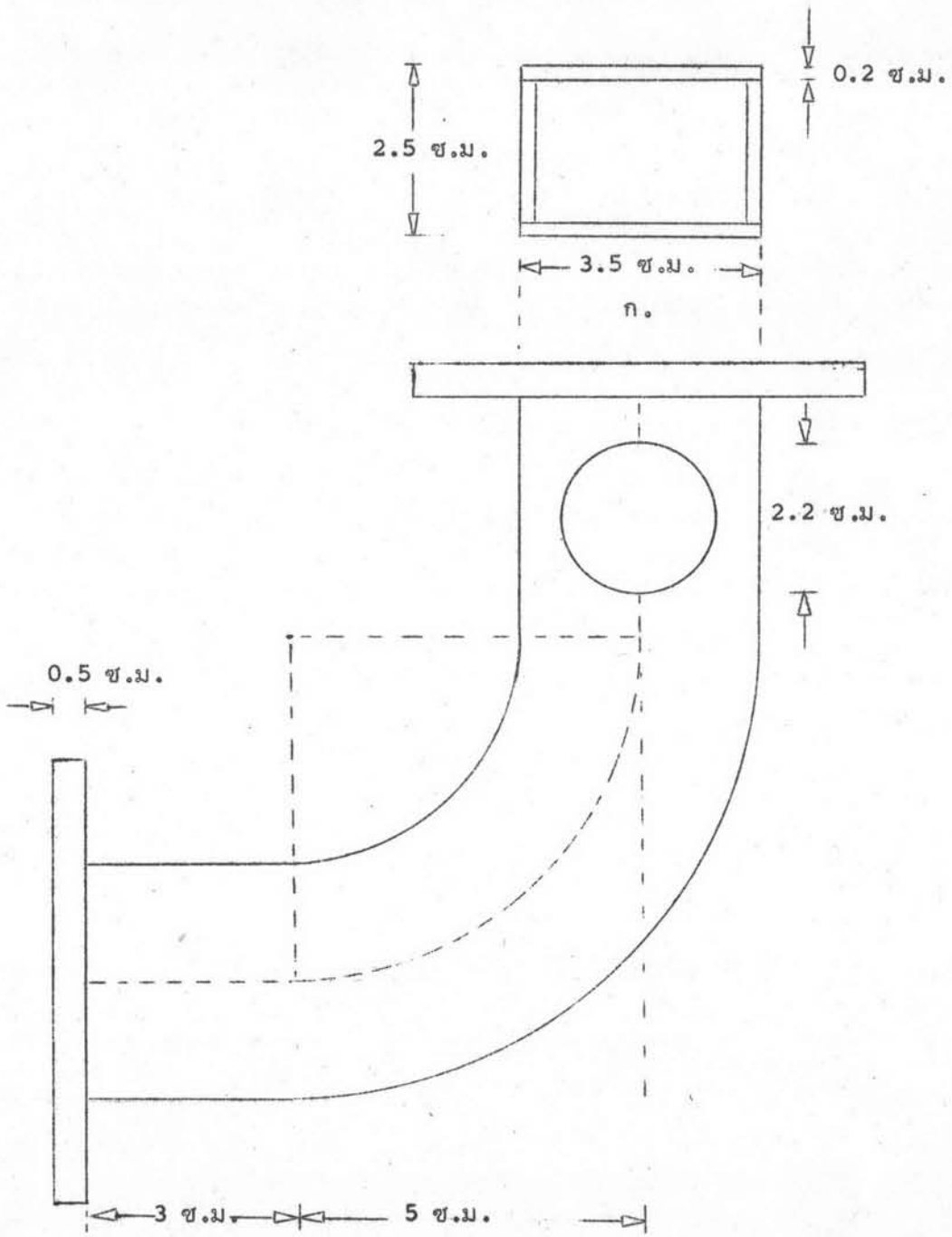
ส่วนที่สองเป็นส่วนเร่งไอออนบวก ประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียมรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเท่ากันสองแผ่นมีด้านยาวด้านละ 6.5 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร ทั้งสองแผ่นวางขนานกันคั่นด้วยท่อแก้วห่าง 0.4 เซนติเมตร ตรงกึ่งกลางแผ่นอลูมิเนียมทั้งสองเจาะเป็นช่องรูปสี่เหลี่ยม

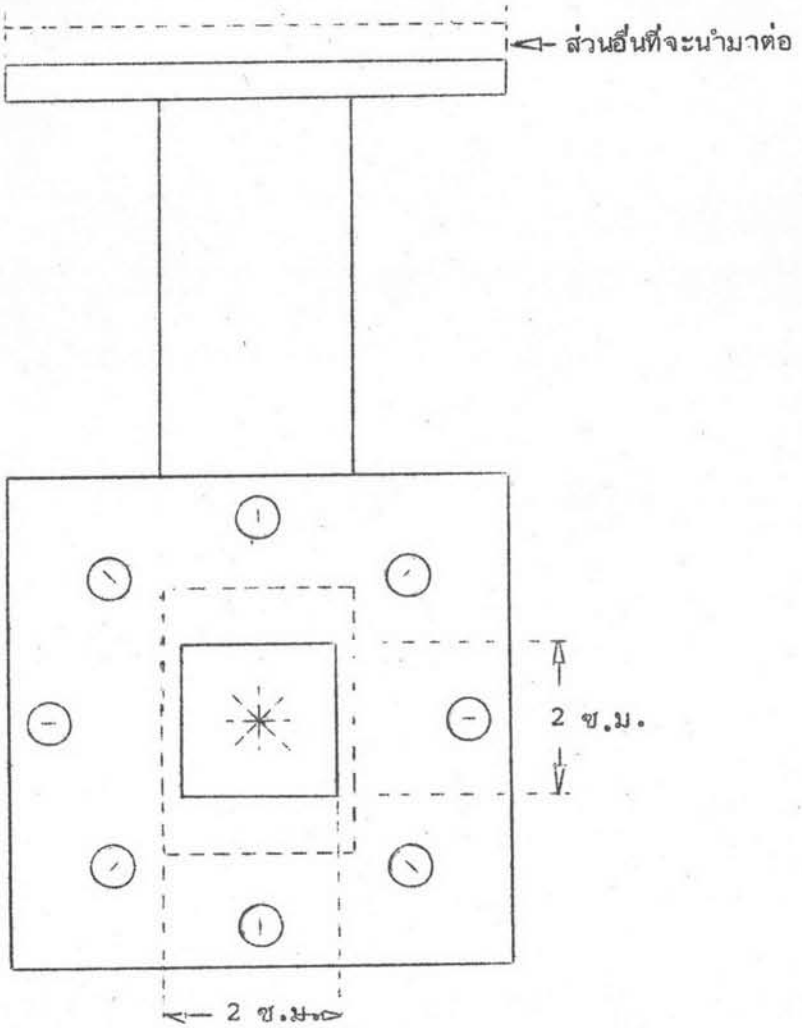
ฝืนผ้ากว้าง 0.2 เซนติเมตร ยาว 1.0 เซนติเมตร ช่องแคบนี้สามารถปรับความกว้างได้ตามต้องการโดยเลื่อนแผ่นทองแดงบาง 2 แผ่นที่ติดอยู่บนแผ่นอลูมิเนียม ดังแสดงในรูป 4.4



รูปที่ 4.4 เป็นรูปแสดงแผ่นเร่งไอออนบวก

4.1.2 ส่วนแยกมวล สร้างจากแผ่นทองเหลืองหนา 0.2 เซนติเมตร ประกอบเป็นกล่องรูปสี่เหลี่ยมยาวโค้งเป็นมุม 90 องศา ทองเหลืองแต่ละแผ่นที่ประกอบยึดติดกันด้วยการบัดกรีเงิน (silver solder) บนส่วนแยกมวลนี้มีเครื่องตรวจวัดความดัน และท่อสำหรับสูบอากาศออกติดอยู่ด้านข้าง ส่วนปลายทั้งสองของกล่องรูปโค้งนี้ มีแผ่นทองเหลืองรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีด้านยาว 6.5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ติดอยู่โดยการบัดกรีเงิน ตรงกึ่งกลางของแผ่นทองเหลือง เจาะเป็นช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีด้านยาว 2 เซนติเมตร แผ่นทองเหลืองที่ติดอยู่ที่ปลายทั้งสองดังกล่าวจะใช้เป็นส่วนต่อกับแหล่งกำเนิดไอออนและส่วนตรวจวัด ขนาดและลักษณะของส่วนแยกมวลดูได้จากรูป 4.5


0.2 ซ.ม.
2.5 ซ.ม.
3.5 ซ.ม.
ก.
2.2 ซ.ม.
0.5 ซ.ม.
3 ซ.ม
5 ซ.ม.
ข.



ค.

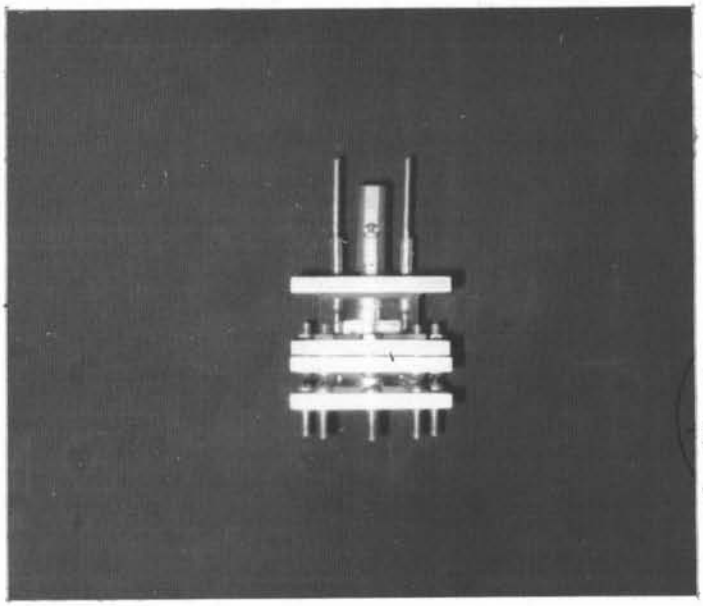
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะและขนาดของส่วนแยกมวล

ก. ขนาดของท่อสี่เหลี่ยมมองด้านบน

ข. ท่อและแผ่นทองเหลืองที่ใช้ต่อเชื่อมกับส่วนอื่นมองด้านข้าง

ค. เป็นรูปที่หมุนตูจากรูป ข. เป็นมุม 90 องศา

4.1.3 ส่วนตรวจวัดส่วนนี้ทำแยกออกจากกันเป็นสองส่วน ลักษณะและขนาดของส่วนตรวจวัด ดังแสดงในรูป 4.6 ส่วนตรวจวัดที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้



หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของส่วนตรวจวัด

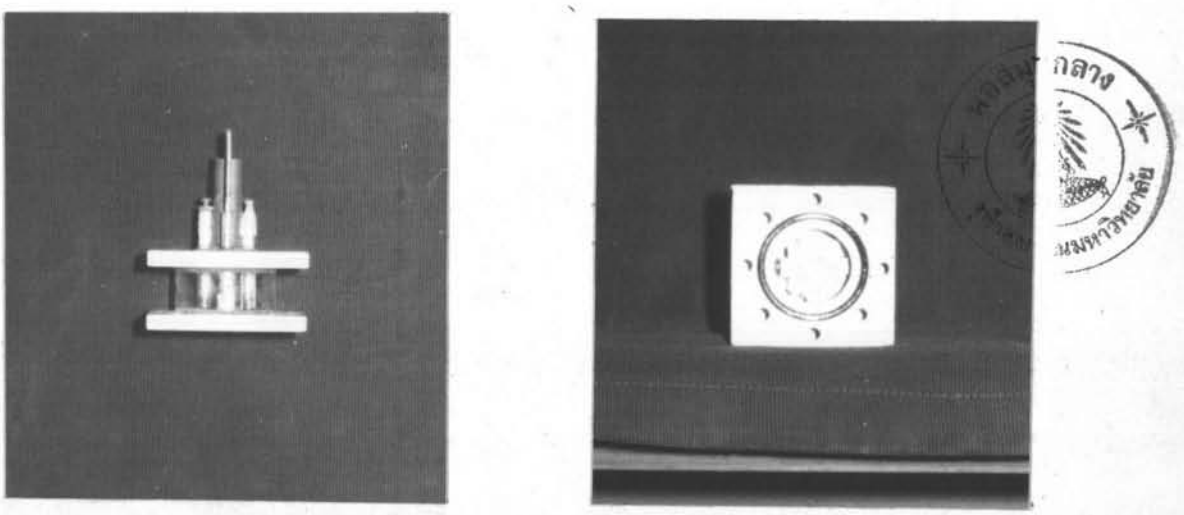
ก. ช่องแคบ (slits) มีทั้งหมดสองช่องแคบ ช่องแคบหนึ่งอยู่บนแผ่นอลูมิเนียมรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีด้านยาว 6.5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ตรงกลางแผ่นอลูมิเนียมเจาะเป็นช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 0.2 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร ช่องแคบนี้สามารถปรับขนาดความกว้างได้ตามต้องการด้วยแผ่นทองแดงสองแผ่นที่ติดอยู่บนแผ่นอลูมิเนียมนี้ ส่วนทั้งหมดที่กล่าวนี้จะแยกออกเป็นอิสระได้ โดยมีแผ่นอลูมิเนียมทำหน้าที่เป็นตัวต่อเชื่อมกับอีกส่วนหนึ่งและส่วนแยกมวล

สำหรับช่องแคบอีกช่องหนึ่งเป็นช่องแคบที่ไอออนผ่านครั้งสุดท้ายก่อนที่จะตกลงในถ้วยฟาราเดย์ (Faraday cup) เป็นช่องแคบที่อยู่บนแผ่นอลูมิเนียมบางตรงกลางเจาะเป็นช่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 0.2 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร ช่องแคบนี้สามารถปรับขนาดความกว้างได้

โดยแผ่นทองแดงสองแผ่นที่ติดอยู่บนแผ่นอลูมิเนียม ทั้งแผ่นอลูมิเนียม แผ่นทองแดงสองแผ่นยึดติดอยู่กับน็อตทองเหลืองยาว 5 เซนติเมตรสองตัว

ข. ถ้วยฟาราเดย์ ทำเป็นกล่องทองแดงรูปสี่เหลี่ยมมีด้านเปิดด้านหนึ่งขนาดของกล่องกว้าง 0.3 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร และลึก 1 เซนติเมตร รอบ ๆ ด้านข้างถ้วยฟาราเดย์มีแผ่นทองแดงโค้งปิด เพื่อป้องกันสัญญาณจากภายนอกมารบกวนตัววัด ถ้วยฟาราเดย์จะยึดติดอยู่กับน็อตทองเหลืองเพื่อต่อเข้ากับอีเลกโตรมิเตอร์ต่อไป ส่วนตัวป้องกันสัญญาณจากภายนอกจะยึดติดอยู่กับแกนทองแดง

ทั้งช่องแคบอันที่สอง ถ้วยฟาราเดย์และตัวป้องกันสัญญาณเข้าถ้วยฟาราเดย์ ยึดติดกับแผ่นอลูมิเนียมซึ่งเป็นฝาปิด ด้วยกาวอารัลไดท์ โดยมีฉนวนหลอดแก้วคั่น ส่วนต่าง ๆ ดังกล่าวที่ยึดติดกับแผ่นอลูมิเนียมดูได้จากรูป 4.7



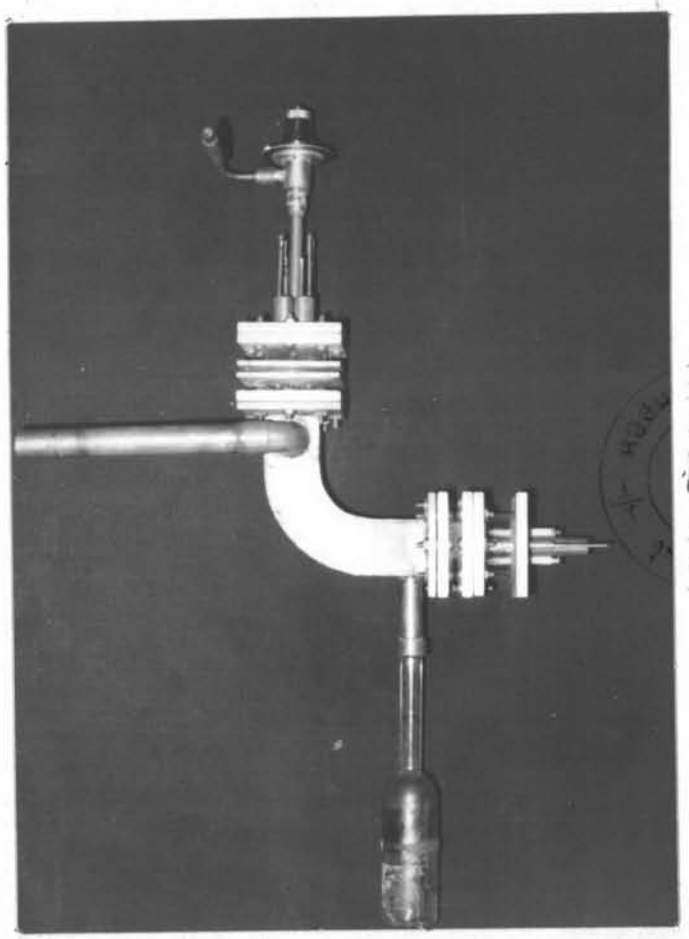
ก. ข.

รูปที่ 4.7 แสดงช่องแคบอันที่สอง ถ้วยฟาราเดย์และตัวป้องกันสัญญาณที่ติดอยู่บนแผ่นอลูมิเนียม

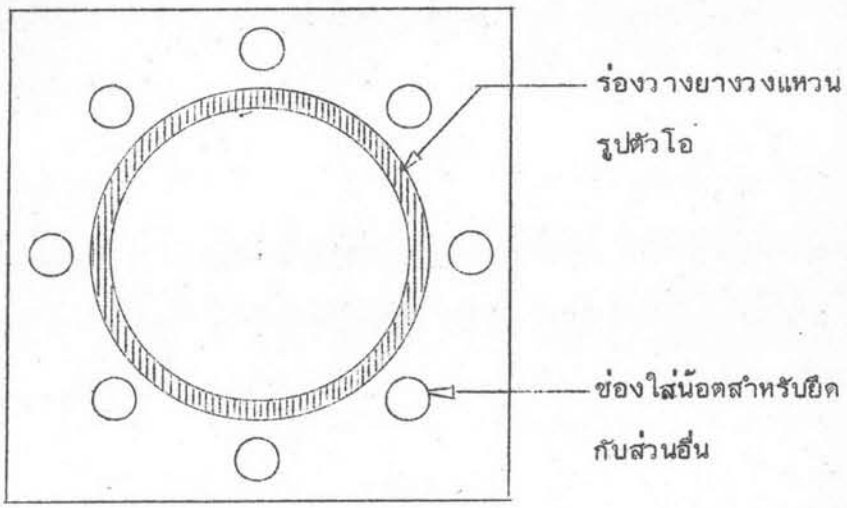
ก. แสดงรูปด้านข้าง

ข. แสดงรูปด้านหน้าตัด

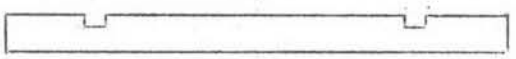
แหล่งกำเนิดไอออน ส่วนแยกมวล และส่วนตรวจวัด เมื่อเชื่อมติดเป็นส่วนเดียวกัน ที่เรียกว่าเครื่องแยกสเปกตรัมมวล มีลักษณะดังรูป 4.8 ทุก ๆ รอยต่อที่เชื่อมติดกันจะมียางวงแหวนรูปตัวโอ (O - ring) วางอยู่เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ และมีน็อตยึดรอยต่อละ 8 ตัว การวางน็อตและยางวงแหวนรูปตัวโอบนแผ่นอลูมิเนียม ดังแสดงในรูป 4.9



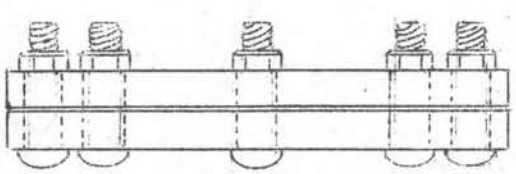
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของเครื่องแยกสเปกตรัมมวล



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 4.9 แสดงการวางยางวงแหวนรูปตัวโอและการยึดรอยต่อเข้าด้วยกัน

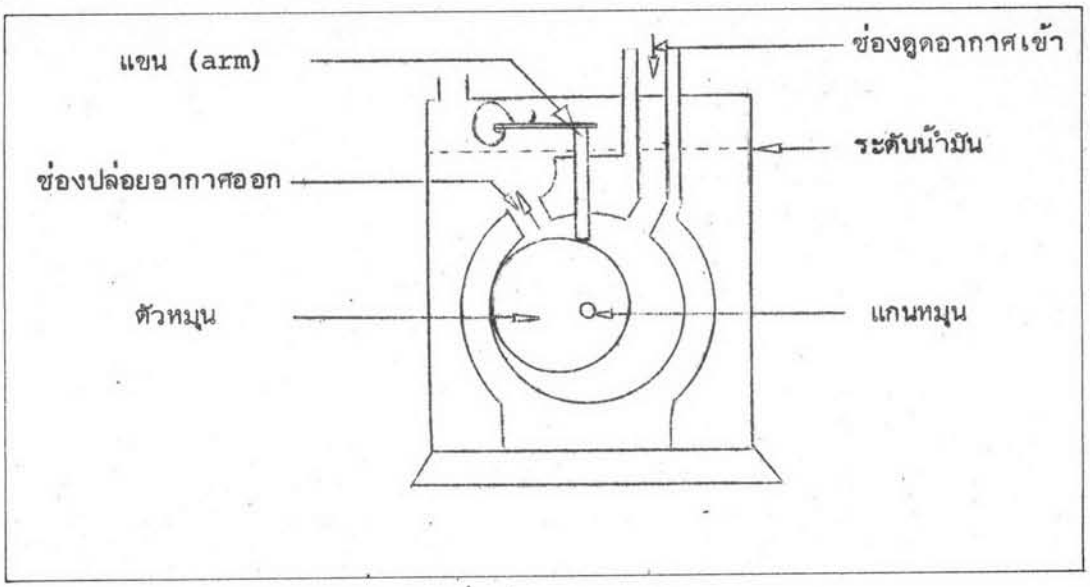
ก. มองด้านบน ข. มองด้านข้าง

ค. แสดงการยึดของรอยต่อด้วยน็อต

4.2 ระบบสุญญากาศ (Vacuum system)

ระบบสุญญากาศประกอบด้วยปั๊มสูบอากาศสองตัว คือ โรทารีปั๊ม (rotary pump) และดิฟฟิวชันปั๊ม (diffusion pump) ดังมีรายระเอียดและการทำงานดังนี้

4.2.1 โรทารีปั๊ม ส่วนประกอบที่สำคัญของปั๊มชนิดนี้คือ มอเตอร์และลูกสูบซึ่งประกอบด้วยตัวหมุน (rotor) และแขน (arm) ที่ติดอยู่กับตัวหมุนเพื่อยึดให้แนบติดกับผนังสูบ ลูกสูบจะจมอยู่ในน้ำมันมีลักษณะดังแสดงในรูป 4.10

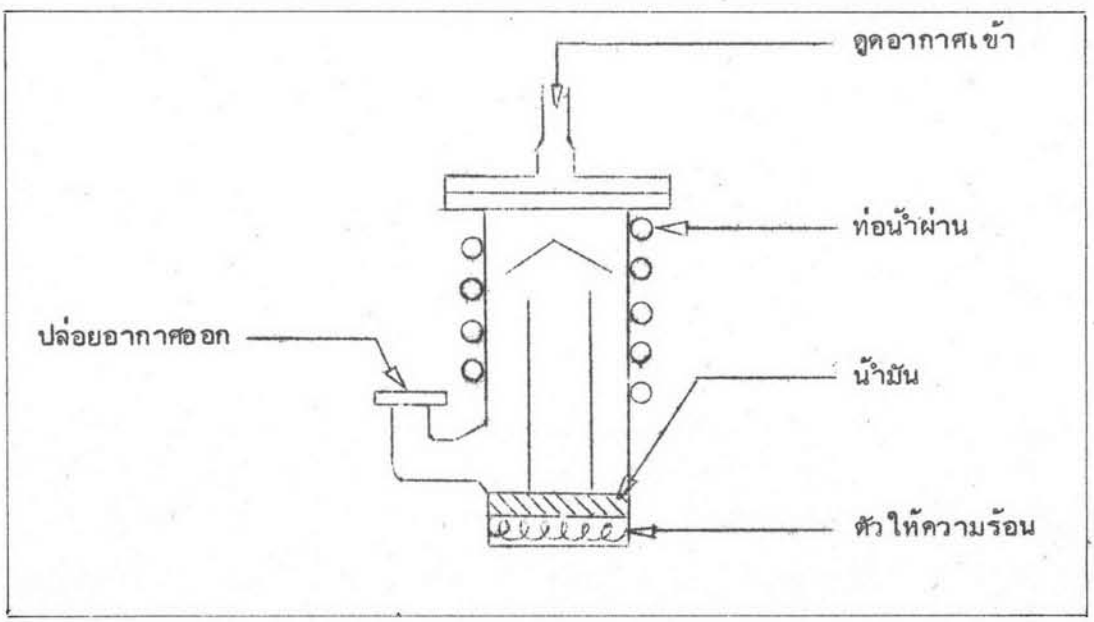


รูปที่ 4.10 เป็นรูปแสดงไดอะแกรมของโรทารีปั๊ม

การทำงานของโรทารีปั๊ม มอเตอร์หมุนตัวหมุนให้หมุนไปโดยมีผิวหนึ่งสำผัสกับผนังสูบอยู่ตลอดเวลาดังแสดงในรูป 4.10 เนื่องจากแกนหมุนไม่อยู่ตรงจุดกึ่งกลางตัวหมุน ดังนั้นจุดสัมผัสจะเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้เกิดมีที่ว่างระหว่างตัวหมุนกับผนังสูบ ที่ว่างนี้จะเปลี่ยนตำแหน่งเป็นไปตามการหมุนของตัวหมุน ขณะที่ช่องว่างผ่านทางเข้าจะดูดอากาศจากบริเวณที่ต้องการสูบ หลังจากนั้นตัวหมุนจะกวาดไล่อากาศออกตามทางออก และปล่อยออกสู่ภายนอก สำหรับน้ำมันที่ใส่จะทำหน้าที่หล่อลื่นลูกสูบ และเป็นตัวคอยปิดเปิดลิ้น ให้อากาศออกโดยอัตโนมัติ

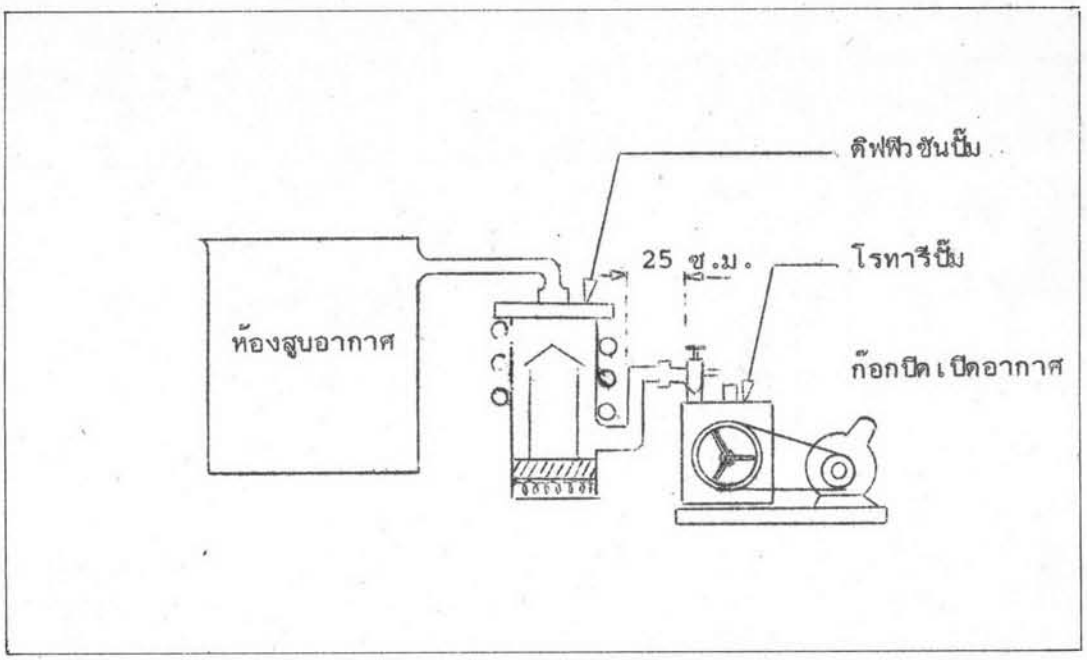
โรทารีปั๊มที่ใช้ในการทดลองชื่อ เซนโค เมกกาแวค (Cenco Megavac) หมายเลขเครื่อง (serial number) 968 และหมายเลขบัญชี (catalogue number) 92003 ตัวหมุนหมุนด้วยความถี่ 600 รอบต่อนาที เป็นของบริษัทเซนโค (Cenco) ซึ่งทางบริษัทรับประกันการทำงานว่าสามารถสูบอากาศจนได้ความดันถึง 0.0001 มิลลิเมตรของความสูงปรอท จากโรทารีปั๊มมีท่อทองเหลืองและก๊อกหลอดแก้วติดอยู่ก่อนที่จะต่อเข้ากับดิฟฟิวชันปั๊ม ก๊อกมีไว้สำหรับปิดและเปิดอากาศเข้าโรทารีปั๊ม เพื่อป้องกันน้ำมันจากโรทารีปั๊มทะลักเข้าดิฟฟิวชั่นปั๊ม ขนาดความยาวของท่อที่ต่อดูได้จากรูป 4.12

4.2.2 ดิฟฟิวชันปั๊ม เป็นแบบใช้น้ำมัน ส่วนประกอบมีลักษณะคล้ายภาชนะใบหนึ่งซึ่งมีน้ำมันบรรจุอยู่ ถัดจากน้ำมันไปส่วนล่างเป็นตัวให้ความร้อน (heater) รูปร่างของดิฟฟิวชันปั๊ม มีลักษณะและส่วนประกอบดังรูป 4.11



รูปที่ 4.11 เป็นรูปแสดงไดอะแกรมของดิฟฟิวชันปั๊ม

การทำงานของดิฟฟิวชันปั๊มคือ ในขณะที่โรทารีปั๊มดูดอากาศออก แต่ความสามารถยังไม่อาจทำให้อากาศออกหมดได้ จึงมีโมเลกุลของอากาศอยู่กันอย่างห่างๆ และกระจายอยู่ทั่วๆ ไปภายในห้องสูญญากาศ การสูบอากาศส่วนนี้ออก ต้องใช้ดิฟฟิวชันปั๊ม กล่าวคือต้องนำดิฟฟิวชันปั๊มต่อเข้าระหว่างโรทารีปั๊มกับห้องที่ต้องการสูบอากาศออกดังรูป 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงไดอะแกรมการต่อดิฟฟิวชันปั๊มในการสูบอากาศออก

เมื่อน้ำมันในดิฟฟิวชันปั๊มถูกทำให้ร้อนน้ำมันจะเดือดและกลายเป็นไอ ไอของน้ำมันจะเคลื่อนตัวผ่านช่องแคบภายในดิฟฟิวชันปั๊ม ทำให้ตัวเองมีความเร็วสูง หลังจากนั้นจะไปชนกับโมเลกุลของอากาศที่เหลือให้ลงข้างล่าง ขณะเดียวกันโมเลกุลของอากาศที่ลงข้างล่างจะถูกโรทารีปั๊มดูดออก สำหรับไอของน้ำมันจะกระทบความเย็นที่ได้จากการผ่านน้ำเข้าท่อที่อยู่รอบๆ ส่วนบนของดิฟฟิวชันปั๊ม ดังนั้นไอน้ำมันจะกลั่นตัวเป็นของเหลวตกลงข้างล่างตามเดิม ความสามารถของดิฟฟิวชันปั๊มโดยทั่วไป จะทำให้ความดันลดลง ได้ดีกว่า 10^{-4} มิลลิเมตรของความสูงปรอท[13,14,15]

ดิฟฟิวชันปั๊มที่ใช้ในการทดลองนี้ ชื่อสปีดไดแวค (Speeddivac) แบบ (Model) 203B เลขเครื่อง 5298 ของบริษัทดับบิว เอดวาดส์จำกัด (W.Edwards Co; Ltd) บรรจุน้ำมัน 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตัวให้ความร้อนใช้ความต่างศักย์ 110 โวลต์ น้ำมันที่ใส่ปั๊มนี้คือ อะปีซอนเอ (Apiezon A) ด้านข้างของปั๊มชนิดนี้มีท่อทองแดงยาว 20 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 เซนติเมตร สำหรับต่อเข้ากับโรทารีปั๊ม ในการต่ออาศัยท่อยางเป็นตัวเชื่อม

4.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power supply)

แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้ในส่วนต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

4.3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าไส้หลอด ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ผ่านเข้าหม้อแปลงที่เปลี่ยนค่าได้ (variable transformer or variac) และผ่านเข้าหม้อแปลงจุดไส้หลอด (filament transformer) อีกที กระแสที่ผ่านไส้หลอดมีค่าระหว่าง 0 - 3 แอมแปร์ จึงจะทำให้ไส้หลอดลุกจ้า และมีอีเลกตรอนมากพอที่จะทำให้กาซเกิดเป็นไอออนพอที่เครื่องมือที่มีอยู่วัดได้ กระแสที่ผ่านไส้หลอดวัดด้วย อะโวมิเตอร์ (Avometer) วงจรของไส้หลอดดังแสดงในรูป 4.13

4.3.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าใช้เร่งอีเลกตรอนและไอออนบวก เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์คงที่ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. แหล่งจ่ายไฟฟ้าใช้สำหรับเร่งอีเลกตรอนเข้าชนกับกาซ เครื่องนี้ให้ความต่างศักย์ระหว่าง 0 - 250 โวลต์สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการอีเลกทรอนิคของภาควิชาฟิสิกส์ ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอีเลกตรอนประมาณ 30 - 100 โวลต์ โดยมีโวลต์มิเตอร์ของบริษัทโฮวาร์ด บัทเลอร์ (Howard Butler Co; Ltd) ใช้สำหรับวัดความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอีเลกตรอน การต่อเข้ากับเครื่องแยกสเปกตรัมมวล[16] จากรูป 4.13

ข. แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับผลักไอออนบวก เครื่องนี้ให้ความต่างศักย์ระหว่าง 0 - 250 โวลต์ สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการอีเลกทรอนิคของภาควิชาฟิสิกส์ ความต่างศักย์ที่ใช้ผลักไอออนบวก

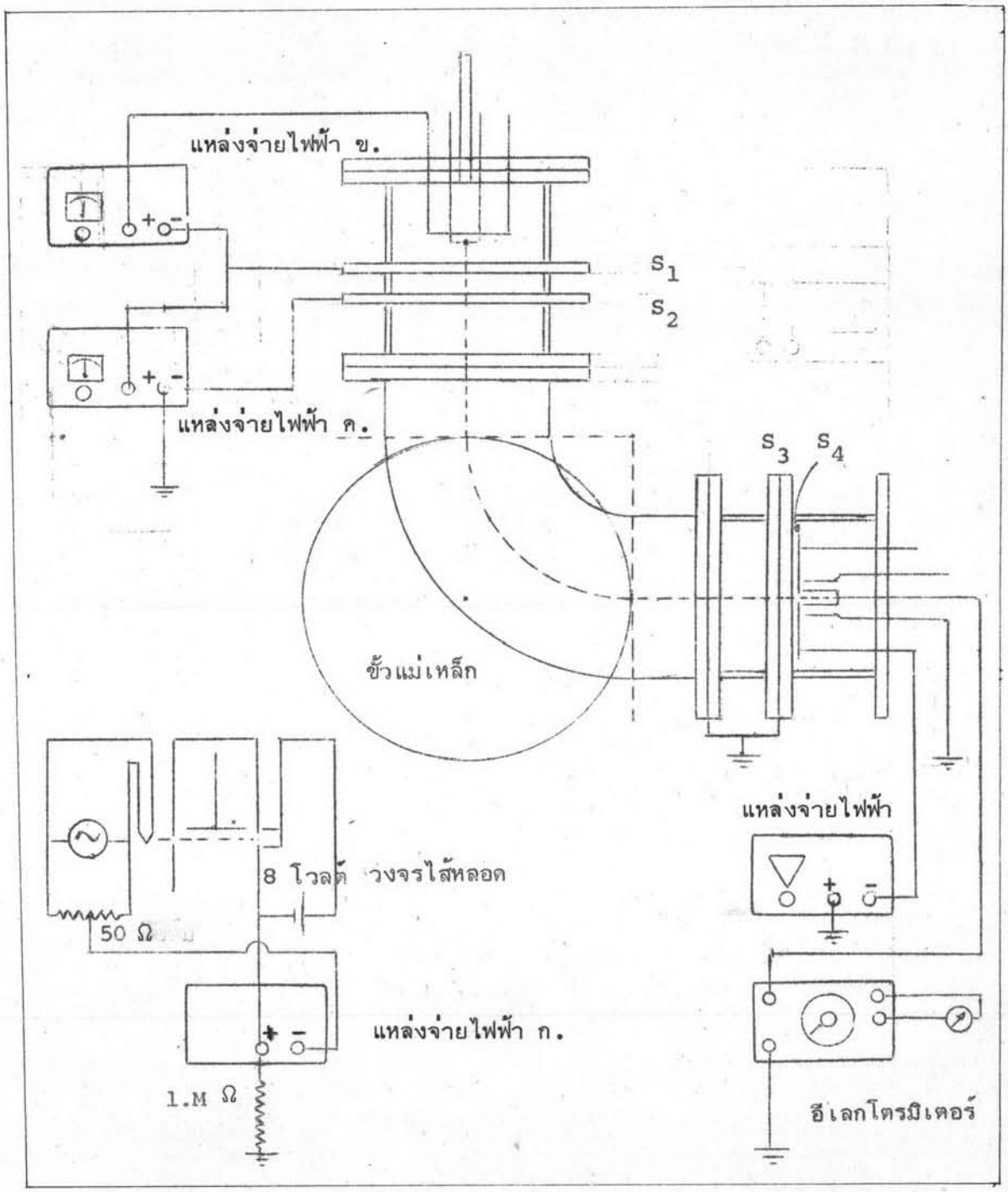
ออกจากบริเวณการเกิดไอออนประมาณ 10 โวลต์ โดยมีโวลต์มิเตอร์ของบริษัทโฮวาร์ด บัทเลอร์ จำกัด (Howard Butler Co,Ltd) สำหรับวัดความต่างศักย์ที่ใช้ผลักไอออนบวกการต่อเข้ากับเครื่องแยกสเปกตรัมมวล[16] ดูได้จากรูป 4.13

ค. แหล่งจ่ายไฟใช้เร่งไอออนบวก เป็นเครื่องสร้างจากบริษัทเทคนิกัล แอสโซสิเอท (Technical Associate Co,Ltd) ประเทศสหรัฐอเมริกา แบบอาร์เอชวี 1 (model RHV - 1) ให้ความต่างศักย์ระหว่าง 0 - 3000 โวลต์ ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนบวกในการวิจัยนี้อยู่ในช่วง 0 - 1000 โวลต์ ค่าความต่างศักย์วัดด้วย ซิมป์สัน ดิจิตอล มัลติมิเตอร์ (Simpson Digital Multimeter) แบบ (Model) 464A เลขเครื่อง 18643 ของบริษัท ซิมป์สันอีเลกตริก (Simpson Electric Company)

แหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อป้องกันอีเลกตรอนทุติยภูมิที่อาจจะหลุดออกจากถ้วยฟาราเดย์ เป็นเครื่องที่สร้างขึ้นเองให้ความต่างศักย์ 0 - 51 โวลต์ ดังวงจรในภาคผนวกค่าความต่างศักย์ที่ใช้มีค่า 20 โวลต์ การต่อเข้ากับเครื่องแยกสเปกตรัมมวล[16] ดูได้จากรูป 4.13

4.4 อีเลกโตรมิเตอร์

เป็นเครื่องขยายกระแส ของบริษัทเลย์โบลด์ (Leybold) สามารถวัดกระแสน้อยๆ ในช่วง ... x 10^{-8} - ... x 10^{-12} แอมแปร์ในการวัดมีแอมมิเตอร์ขนาด 50 ไมโครแอมแปร์ ต่อที่เอาพุท (output) ของเครื่องขยายกระแส การต่ออีเลกโตรมิเตอร์เข้ากับเครื่องแยกสเปกตรัมมวลดูได้จากรูป 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าและอีเลกโตรมิเตอร์เข้ากับเครื่องแยกสเปกตรัมมวล

4.5 แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet)

แม่เหล็กที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นแม่เหล็กที่สร้างขึ้นในภาควิชาฟิสิกส์ มีอายุมากกว่า 40 ปี แกนเหล็กมีหน้าตัดขั้วเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร รอบ ๆ แกนเหล็กมีลวดทองแดงพันรอบมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 2424 รอบ ความต้านทานรวมของขดลวด 1.8 โอห์ม ความห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กสามารถปรับได้ตามต้องการโดยสกรูขนาดใหญ่

สำหรับกระแสที่จ่ายให้กับแม่เหล็กได้จากแบตเตอรีรถยนต์ขนาด 12 โวลต์ของเนชั่นแนล (National) ต่อเข้ากับปลายทั้งสองของขดลวด โดยมีความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ขนาด 4.4 และ 2.2 โอห์ม ทนกระแส 10 และ 14 แอมแปร์ ตามลำดับ ต่ออนุกรมอยู่ในวงจรซึ่งทำหน้าที่ปรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเพื่อให้ได้ความเข้มของสนามแม่เหล็กตามต้องการ นอกจากนี้ยังมีอะโวมิเตอร์ (Avometer) ต่ออนุกรมอยู่ในวงจรเพื่อบอกถึงกระแสที่ไหลผ่านขดลวดในการทดลอง กระแสไฟฟ้าใช้ระหว่าง 0 - 6 แอมแปร์ ค่าของสนามแม่เหล็กวัดโดยใช้วิธีการวัดในหัวข้อ 3.6

4.6 วิธีการทดลอง

ในการทดลองดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.6.1 การเตรียมเครื่องมือ ทำความสะอาดติดไส้หลอด ปิดฝาของเครื่องแยกสเปกตรัมมวล และตรวจดู ส่วนต่างๆ ให้เรียบร้อย

4.6.2 เดินเครื่องสูบอากาศโดยเริ่มจากการเดินเครื่องโรทารีปั๊มก่อนเป็นเวลาประมาณ 15 - 30 นาที ตรวจดูความดันของอากาศโดยดูสีของการดิสชาร์จ ซึ่งจะเห็นว่าสีของการดิสชาร์จจะเปลี่ยนจนมีสีเทาน้ำเงิน แล้วจึงเปิดน้ำผ่านดิฟฟิวชันปั๊ม พร้อมทั้งเปิดสวิทช์ตัวให้ความร้อนของดิฟฟิวชันปั๊ม ความดันจะลงดีจนใช้ทดลองได้หลังจากเดินเครื่องดิฟฟิวชันปั๊มแล้วประมาณ 1 ชั่วโมง

4.6.3 เปิดเครื่องขยายกระแส หลังจากความดันลดลงตามต้องการแล้ว จึงเปิดเครื่องขยายกระแส อุ่นเครื่องขยายกระแสประมาณ 30 นาที แล้วจึงตั้งศูนย์ (set - zero) โดย

การหมุนปุ่ม ดูจนกระทั่งเข็มของโมโครแอมมิเตอร์ชี้ที่เลขศูนย์

4.6.4 เปิดเครื่องจ่ายไฟฟ้าและแม่เหล็ก หลังจากเปิดเครื่องขยายกระแสเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงเปิดสวิทย์ของเครื่องจ่ายไฟฟ้าที่ใช้เร่งอีเลกตรอน เครื่องจ่ายไฟฟ้าที่ใช้ผลักและเร่งไอออนบวกตามลำดับ เครื่องจ่ายไฟฟ้าที่ผลักไอออนบวกจะตั้งไว้ที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์ ส่วนเครื่องเร่งอีเลกตรอนและไอออนบวกจะตั้งศูนย์ก่อน สำหรับกระแสที่ผ่านแม่เหล็กจะตั้งไว้ให้เหมาะสมค่าหนึ่ง ๆ สำหรับการวัดไอออนต่าง ๆ ซึ่งดูได้จากผลการทดลอง แล้ววัดสนามแม่เหล็ก

4.6.5 ผ่านกระแสเข้าไส้หลอดซึ่งให้อีเลกตรอน เมื่อผ่านกระแสประมาณ 2 - 3 แอมแปร์จะเห็นไส้หลอดลุกสว่างโดยมองผ่านหลอดแก้ว หลังจากนั้นจึงปรับความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอีเลกตรอนและความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนบวก ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอีเลกตรอนจะปรับไว้ตรงค่าที่ให้ไอออนบวกมากที่สุดตกลงบนตัวตรวจวัด ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 60 - 100 โวลต์ สำหรับความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนบวกจะแปรเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ พร้อมทั้งบันทึกค่ากระแสไอออนจากไมโครแอมมิเตอร์ที่ต่ออยู่กับเอาพุทของเครื่องขยายกระแส และบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนบวกกับกระแสไอออน

4.6.6 การปิดเครื่องมือหลังจากวัดกระแสไอออนแล้ว จึงปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าไส้หลอด ปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าแม่เหล็ก แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้เร่งและผลักไอออนบวก แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับเร่งอีเลกตรอน เครื่องขยายกระแสดิฟฟิวชันปั๊มตามลำดับ สำหรับน้ำที่ผ่านดิฟฟิวชันปั๊มและโรทารีปั๊มจะปิดหลังจากดิฟฟิวชันปั๊มเย็นแล้วซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 นาที หลังจากปิดดิฟฟิวชันปั๊ม แต่ก่อนที่จะปิดโรทารีปั๊มต้องเปิดให้อากาศเข้าโรทารีปั๊มก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันจากโรทารีปั๊มทะลักเข้าดิฟฟิวชันปั๊ม