

การศึกษาค้นคว้าเปิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนอสซิล เลชัน



นาย สุรสิงห์ ไชยคุณ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-023-9

008969

18062089

A Study of an Electron Oscillation Ion Source

Mr. Surasing Chaiyakun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1985

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาต้นกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิล เลชัน

โดย

นาย สุรสิงห์ ไชยคุณ

ภาควิชา

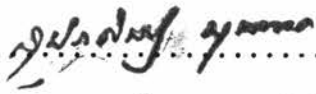
ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา


รองศาสตราจารย์ ดร.ภียโย บันยารชุน

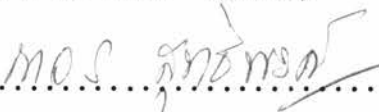


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ แสง โพธิ์เงิน)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ถาวร สุทธิพงศ์)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ลิขิต ฉัตรสกุล)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อนันตสิน เตชะกำพุช)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภียโย บันยารชุน)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาดันกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนอสซิลเลชัน
ชื่อนิสิต	นาย สุรสิงห์ ไชยคุณ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.กียโย บันยารชุน
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2527

บทคัดย่อ

ได้สร้างต้นกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนอสซิลเลชันจากวัสดุที่หาได้ภายในประเทศ ประกอบด้วย หน่วยกำเนิดอิเล็กตรอนแบบโคลด์คาโทด (cold cathode) เพื่อสร้างไอออนแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีการควบไปด้วย ทำให้ไอออนเพิ่มมากขึ้น ส่วนดึงไอออนออกจากแหล่งกำเนิดด้วยขั้วไฟฟ้าโพรบ (probe electrode) และส่วนโฟกัสด้วยขั้วไฟฟ้าโฟกัส (focussing electrodes) โดยอาศัยศักย์เลนส์ (potential lens) เมื่อเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์บนแหล่งกำเนิดไอออน ขั้วไฟฟ้าโพรบและขั้วไฟฟ้าโฟกัส พร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก จะได้จุดโฟกัสที่ตำแหน่งที่แตกต่างกันและได้กระแสไอออนที่แตกต่างกัน

ต้นกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนอสซิลเลชันที่สร้างขึ้นนี้ เมื่อใช้กับก๊าซไฮโดรเจน จะได้ H_1^+ , H_2^+ และ H_3^+ และจะได้ไอออนบวกชนิดที่มีมวลมากเมื่อใช้กับก๊าซชนิดที่มีมวลมาก เช่น ออกซิเจนและไนโตรเจน

๑

Thesis Title A Study of an Electron Oscillation Ion Source

Name Mr. Surasing Chaiyakun

Thesis Advisor Associate Professor Bhiyayo Panyarjun, Ph. D.

Department Physics

Academic Year 1984

Abstract

An electron oscillation ion source was constructed from materials available in this country. The ion source consists of a cold cathode electron source for creation of ions, an electromagnet to precess the electrons thus increasing the yield of ions, a probe electrode to transfer ions out of the source and focusing electrodes using potential lenses. Variations of potentials applied to various electrodes and the magnetic field create focal point and ion current variations.

When a hydrogen gas is applied to the source, H_1^+ , H_2^+ and H_3^+ are produced and positive heavy ions are obtainable with other gases such as oxygen and nitrogen.



กิตติกรรมประกาศ

ณ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ภิชัย บันยารชุน ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนควบคุมการวิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านไว้ ณ ที่นี้ อีกส่วนหนึ่งยังได้รับความช่วยเหลือจากท่าน พ.จ.อ. ชุน อาจปรุ ในด้านสถานที่ และให้คำแนะนำช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือบางประการ จึงขอขอบพระคุณท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือบริการเครื่องมือ และอำนวยความสะดวกจากกอง โรงงานคณะวิทยาศาสตร์ โรงงานภาควิชาฟิสิกส์ ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตลอดมา และในระหว่างการศึกษาผู้เขียนได้รับทุนการศึกษาจากโครงการผลิตและพัฒนาอาจารย์ (U.D.C) จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย



	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ประวัติการพัฒนา เครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิล เลชัน ...	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 วิธีดำเนินการวิจัยโดยย่อ	3
1.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัยโดยย่อ	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	6
บทที่ 2 ส่วนประกอบของ เครื่องกำเนิดไอออน	7
2.1 แหล่งกำเนิดไอออน	7
2.1.1 แหล่งกำเนิดไอออนชนิดลวดคาโทดเย็น	7
2.1.2 แหล่งกำเนิดโดยใช้ประกาย	8
2.1.3 แหล่งกำเนิดไอออนชนิดอาร์คคาโทดร้อน	9
2.1.4 แหล่งกำเนิดไอออนชนิดคาบิลลาร์อาร์ค	10
2.1.5 แหล่งกำเนิดไอออนโดยใช้แม่เหล็ก	11
2.1.6 แหล่งกำเนิดไอออนโดยใช้ความถี่วิทยุคิสซาร์จ	11
2.1.7 แหล่งกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิล เลชัน	12
2.2 ส่วนนำไอออนออกจากแหล่งกำเนิด	14
2.2.1 เร่งไอออนออกจากแหล่งกำเนิดโดยสนามไฟฟ้าจากแผ่นช่อง แคบ	14
2.2.2 เร่งไอออนออกจากแหล่งกำเนิดโดยสนามไฟฟ้าระหว่างคาโทด และแอโนด	15
2.2.3 ดึงไอออนออกจากแหล่งกำเนิดด้วยขั้วไฟฟ้าโพรบ	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ส่วนไฟกัส	15
2.3.1 การไฟกัสด้วยเลนส์ไฟฟ้าสถิต	15
2.3.2 การไฟกัสด้วยสนามแม่เหล็กตามแนวแกน	21
2.3.3 การไฟกัสที่ขอบ	22
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	24
3.1 การชนของอิเล็กตรอน	24
3.2 ระยะทางของการเคลื่อนที่เฉลี่ย	26
3.3 การเกิดไอออนบวก	28
3.4 จำนวนไอออนที่เกิดขึ้นจากการชนของอิเล็กตรอน	29
3.5 คุณสมบัติของการดิซชาร์จกาซ	31
3.6 การวัดสนามแม่เหล็ก	36
3.7 การวัดประจุต่อมวลของไอออนบวก	39
3.8 การคำนวณค่าความผิดพลาดที่น่าจะเป็น	41
บทที่ 4 เครื่องมือและวิธีการทดลอง	43
4.1 เครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสมิล เลชัน	43
4.1.1 แหล่งกำเนิดไอออน	43
4.1.2 ส่วนดึงไอออนออกจากแหล่งกำเนิด	50
4.1.3 ส่วนไฟกัส	52
4.1.4 คอยล์สนามแม่เหล็ก	54
4.2 อุปกรณ์การวัดค่าประจุต่อมวล	56
4.3 ระบบสุญญากาศ	57
4.3.1 บีบกลโรตารีแบบแวน	57
4.3.2 บีบไอพู่กระจาย	59
4.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้า	61
4.4.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าแหล่งกำเนิดไอออน	61
4.4.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าคอยล์สนามแม่เหล็ก	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าขั้วไฟฟ้าโพรบ	62
4.4.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าส่วนไฟกัส	62
4.4.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าเฟลต	62
4.5 เกจพื้นนิ่ง	64
4.6 เกจแมคคลาวด์แบบแวกคูลสแตต	65
4.7 วิธีการทดลอง	66
4.7.1 การเตรียมเครื่องมือ	66
4.7.2 เดินเครื่องสูบอากาศ	66
4.7.3 ปล่องก๊าซไฮโดรเจนเข้าแหล่งกำเนิดไอออน	67
4.7.4 จ่ายไฟฟ้าเข้าเครื่องกำเนิดไอออน	67
4.7.5 การปิดเครื่อง	67
บทที่ 5 ผลการทดลอง สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ	68
5.1 ผลการทดลองหาค่าประจุต่อมวลของไอออน	68
5.2 ผลการทดลองวัดค่าความต่างศักย์ของการไฟกัส	74
5.3 ผลการทดลองวัดค่ากระแสไอออนและความต่างศักย์ที่เกิดจากกระแส ไอออน	108
5.4 สรุปผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ	120

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งจุดไฟกัสที่เบนไปจากจุดเริ่มต้น เนื่องจากสนามแม่เหล็กกับความต่างศักย์ระหว่างเพลตที่ใช้เบนจุดไฟกัสกลับ และค่าคลาดเคลื่อนในการวัดความต่างศักย์	69
5.2 แสดงค่าประจุต่อมวลของไอออนกับอัตราส่วนของความผิดพลาดที่น่าจะเป็นของค่าประจุต่อมวลต่อค่าประจุต่อมวลของไอออนจากการทดลอง	71
5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งจุดไฟกัสที่เบนไปจากจุดเริ่มต้น เนื่องจากสนามแม่เหล็กกับความต่างศักย์ระหว่างเพลตที่ใช้เบนจุดไฟกัสกลับ และค่าคลาดเคลื่อนในการวัดความต่างศักย์	73
5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโทรมและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าไฟกัส เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 4 เซนติเมตร	74
5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโทรมและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าไฟกัส เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 7 เซนติเมตร	75
5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโทรมและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าไฟกัส เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 9 เซนติเมตร	76
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโทรมและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าไฟกัส เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 13 เซนติเมตร	77
5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโทรมและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าไฟกัส เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 15 เซนติเมตร	78
5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโทรมและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าไฟกัส เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 17 เซนติเมตร	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กตามแนวแกนแหล่งกำเนิดไอออนและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าการไฟกัสน เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 15 เซนติเมตร	99
5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กตามแนวแกนแหล่งกำเนิดไอออนและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าการไฟกัสน เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 17 เซนติเมตร	100
5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กตามแนวแกนแหล่งกำเนิดไอออนและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าการไฟกัสน เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 19 เซนติเมตร	101
5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กตามแนวแกนแหล่งกำเนิดไอออนและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าการไฟกัสน เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 21 เซนติเมตร	102
5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กตามแนวแกนแหล่งกำเนิดไอออนและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าการไฟกัสน เมื่อฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน 23 เซนติเมตร	103
5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออนและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าการไฟกัสน เมื่อความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโพรบเท่ากับ 3261 โวลต์	105
5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออนและความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าการไฟกัสน เมื่อความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโพรบเท่ากับ 3587 โวลต์	106
5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในระบบสุญญากาศ กระแสไอออนและความต่างศักย์ระหว่างฟาราเดย์คัพคอลเลคเตอร์กับกราวนด์	108
5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับแหล่งกำเนิดไอออน กระแสไอออน และความต่างศักย์ระหว่างฟาราเดย์คัพคอลเลคเตอร์กับกราวนด์	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแม่เหล็ก กระแสไอออนและ ความต่างศักย์ระหว่างฟาราเดย์คัลลอคเลคเตอร์กับกราวนด์	114
5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโพรบ กระแส ไอออนและความต่างศักย์ระหว่างฟาราเดย์คัลลอคเลคเตอร์กับกราวนด์ ...	117
5.37 แสดงความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ที่ใช้กับแหล่งกำเนิดไอออน ความเข้ม สนามแม่เหล็กและกระแสไอออน	119

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงไดอะแกรมของแหล่งกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชัน	3
1.2 แสดงไดอะแกรมขั้วไฟฟ้าไฟกัส	4
2.1 แสดงไดอะแกรมของแหล่งกำเนิดไอออนชนิดลำคาแนลคาโทดเย็น	8
2.2 แสดงไดอะแกรมของแหล่งกำเนิดโดยใช้ประกาย	9
2.3 แสดงไดอะแกรมแหล่งกำเนิดไอออนชนิดอาร์คคาโทดร้อน	9
2.4 แสดงไดอะแกรมแหล่งกำเนิดไอออนชนิดคาปิลลารีอาร์ค	10
2.5 แสดงไดอะแกรมแหล่งกำเนิดไอออนโดยใช้แม่เหล็กปรับปรุงจากชนิดอาร์ค คาโทดร้อน	11
2.6 แสดงไดอะแกรมแหล่งกำเนิดไอออนโดยใช้ความถี่วิทยุดีสชาร์จ	12
2.7 แสดงไดอะแกรมแหล่งกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิลเลชัน	13
2.8 แสดงไดอะแกรมเลนส์ช่องเปิด	17
2.9 แสดงไดอะแกรมของเส้นสมศักย์และกราฟของศักย์ไฟฟ้า สนามไฟฟ้าและ ดิฟเฟอเรนเชียลของสนามไฟฟ้าเทียบกับระยะทาง	19
2.10 แสดงไดอะแกรมทางเดินของอนุภาคในเลนส์การเร่งและหน่วง	20
2.11 แสดงภาคตัดขวางของเลนส์แม่เหล็กทรงกระบอกสำหรับการไฟกัสโดยสนาม แม่เหล็กคานแนวแกน	21
2.12 แสดงทางเดินของอนุภาคที่ขนานคอนตันผ่านเลนส์การไฟกัสที่ขอบ	22
3.1 แสดงการชนของอิเล็กตรอนกับอะตอม	24
3.2 แสดงการชนของอนุภาค	26
3.3 แสดงประสิทธิภาพของการเกิดไอออนบวกของก๊าซไฮโดรเจน	32
3.4 แสดงสัมประสิทธิ์ของการไอออนไนซ์โดยอิเล็กตรอนและไอออนบวกในก๊าซ ไฮโดรเจน	34
3.5 แสดงกราฟศักย์สปาร์คกิงสำหรับคาโทดนิเกิลในก๊าซไฮโดรเจน	36
3.6 แสดงวงจรการวัดสนามแม่เหล็กโดยขดลวดคันทา	36
3.7 แสดงเครื่องมือวัดประจุต่อมวลของอนุภาค	39
3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมี r กับโครงสร้างของเครื่องมือ	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แสดงไดอะแกรมของแหล่งกำเนิดไอออน (ยังไม่มีคอยล์สนามแม่เหล็ก) ...	44
4.2 แสดงลักษณะของคาโธดลูมิเนียมของแหล่งกำเนิดไอออน	45
4.3 แสดงลักษณะของแอโนดลูมิเนียมของแหล่งกำเนิดไอออน	46
4.4 แสดงลักษณะของแอนดีคาโธดลูมิเนียมแผ่นบน	47
4.5 แสดงลักษณะของแอนดีคาโธดลูมิเนียมแผ่นล่าง	49
4.6 แสดงลักษณะด้านข้างของแอนดีคาโธดลูมิเนียม	49
4.7 แสดงแหล่งกำเนิดไอออนต่อกับส่วนดึงไอออนออกจากแหล่งกำเนิด	50
4.8 แสดงลักษณะส่วนดึงไอออนออกจากแหล่งกำเนิด	51
4.9 แสดงแหล่งกำเนิดไอออนต่อกับส่วนดึงไอออนออกจากแหล่งกำเนิดและส่วน ไฟกัล	52
4.10 แสดงลักษณะโครงสร้างของส่วนไฟกัล	53
4.11 แสดงการยึดส่วนต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไอออนด้วยแท่งเบคิลไลท์	54
4.12 แสดงลักษณะคอยล์สนามแม่เหล็ก	54
4.13 แสดงลักษณะเครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กทรอนิกส์เลขชั้น	55
4.14 แสดงลักษณะภายในอย่างสังเขปของเครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กทรอนิกส์ เลขชั้น	55
4.15 แสดงเฟลตคู่ขนานบนแผ่นกระจกสี่เหลี่ยม	56
4.16 แสดงเฟลตคู่ขนาน แท่งแม่เหล็กถาวร ฉากฉาบสารเรืองแสง เมื่อติดตั้ง รวมกันบนรางลูมิเนียม	57
4.17 แสดงบีมกลโรตารีแบบวน	58
4.18 เป็นรูปแสดงไดอะแกรมของบีมไอฟุ้งกระจาย	59
4.19 แสดงไดอะแกรมการต่อบีมไอฟุ้งกระจายในการสูบลูกอากาศออก	60
4.20 แสดงไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าเครื่องกำเนิดไอออน	63
4.21 แสดง เกจ เห็นนิ่ง	64
4.22 แสดงไดอะแกรมภายในหัววัดของเกจเห็นนิ่ง	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 แสดง เจจแมคคลาวด์แบบแวกคูลสดแคต	66
5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโพรบ และ ความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าไฟกัส เมื่อฉากอยู่ที่ระยะต่างๆ ที่สอดคล้องกัน จากตารางที่ 5.4, 5.5 และตารางที่ 5.7	83
5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับแหล่งกำเนิดไอออน และความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าไฟกัส เมื่อฉากอยู่ที่ระยะต่างๆ ที่สอดคล้องกัน จากตารางที่ 5.13, 5.14, 5.15 และตารางที่ 5.21	94
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กตามแนวแกนของ แหล่งกำเนิดไอออน และความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าไฟกัส เมื่อฉาก อยู่ที่ระยะต่างๆ ที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.22, 5.24 และตารางที่ 5.26	104
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะฉากห่างจากฐานเครื่องกำเนิดไอออน และความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าไฟกัสที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.31 และตารางที่ 5.32	107
5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในระบบสุญญากาศ และความ ต่างศักย์ระหว่างฟาราเดย์คัพคอลเลคเตอร์กับกราวนด์ที่สอดคล้องกันจาก ตารางที่ 5.33	109
5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในระบบสุญญากาศและกระแส ไอออนที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.33	110
5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับแหล่งกำเนิดไอออน และความต่างศักย์ระหว่างฟาราเดย์คัพคอลเลคเตอร์กับกราวนด์ที่สอดคล้องกัน จากตารางที่ 5.34	112
5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับแหล่งกำเนิดไอออน และกระแสไอออนที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.34	113
5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กตามแนวแกนแหล่ง กำเนิดไอออน และความต่างศักย์ระหว่างฟาราเดย์คัพคอลเลคเตอร์กับ กราวนด์ที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.35	115

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแม่เหล็กตามแนวแกนแหล่งกำเนิดไอออน และกระแสไอออนที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.35	116
5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโพรบ และความต่างศักย์ระหว่างฟาราเดย์คัพคอลเลคเตอร์กับกราวนด์ที่สอดคล้องกัน จากตารางที่ 5.36	118
5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าโพรบและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.36	118