หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดลอง สรุป ปัญหาและข้องเสนอแนะ

5.1 รายละเอียดของเครื่องมือบางประการที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทดลองมีดังต่อไปนี้

5.1.1 ความกว้างของช่องแคบ ถ้าดูจากรูปที่ 4.13 ประกอบจะพบว่าช่องแคบที่เกี่ยวข้องกับการทดลองมีทั้งหมด 4 ช่องแคบ คือ

1. ช่องแคบ S_1 ซึ่งอยู่บนแผ่นเร่งแผ่นที่หนึ่ง กว้าง 0.018 เซนติเมตร

2. ช่องแคบ S_2 ซึ่งอยู่บนแผ่นเร่งแผ่นที่สอง กว้าง 0.009 เซนติเมตร ช่องแคบนี้จะเรียกว่าช่องแคบไอออนเข้า

3. ช่องแคบ S_3 เป็นช่องแคบที่ไอออนผ่านครั้งแรกหลังจากออกจากส่วนแยกมวล กว้าง 0.07 เซนติเมตร

ช่องแคบ S_4 เป็นช่องแคบอันสุดท้ายก่อนที่ไอออนจะตกลงบนถ้วยฟาราเดย์ กว้าง 0.0375 เซนติเมตร ช่องแคบนี้จะเรียกว่าช่องแคบไอออนออก

5.1.2 รัศมีความโค้งของทางเดินของไอออน กำหนดจากรัศมีความโค้งของขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นหลัก ซึ่งมีความยาว 5 เซนติเมตร [17,18,19]

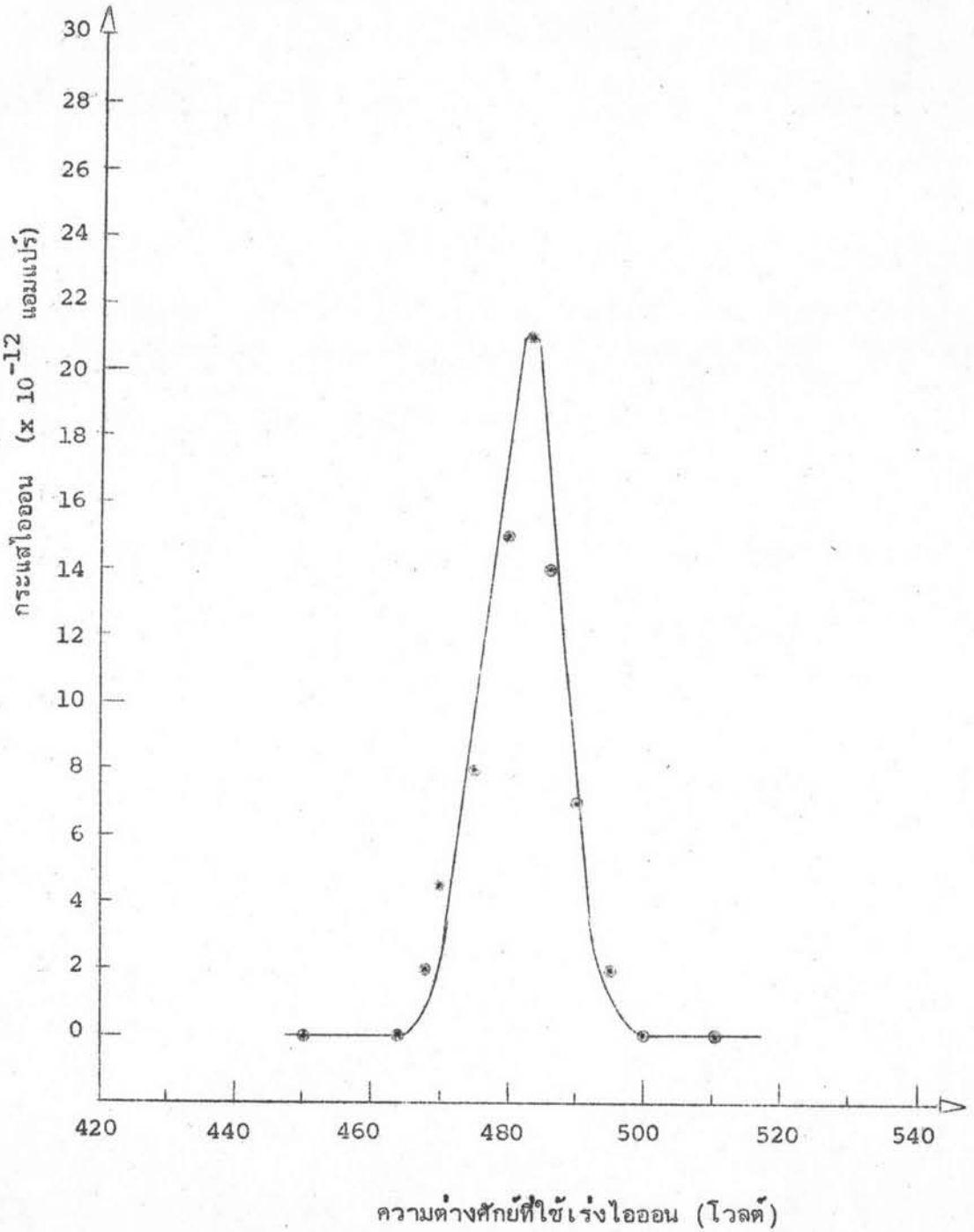
5.2 ผลการทดลอง

5.2.1 โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าตรง 0.75 แอมแปร์ เข้าแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ได้ความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งคำนวณจากสมการ (3.43) ได้ 621.43 เกาส์ ใส่ความต่างศักย์ 90 โวลต์ สำหรับเร่งอีเลกตรอน และความต่างศักย์ 10 โวลต์ สำหรับผลักไอออนบวก ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไส้หลอด 2.50 แอมแปร์ เปิดกาซไฮโดรเจนเข้าทางลิ้นปลายเข็มเล็กน้อย แปรเปลี่ยน

ความต่างศักย์สำหรับเร่งไอออนบวก อ่านค่าความต่างศักย์จากดิจิตอล มัลติมิเตอร์ และวัดกระแสไอออนที่ตกลงบนถ้วยฟาราเดย์ด้วยเครื่องขยายกระแส สามารถบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันดังตารางที่ 5.1 จากค่าในตารางเขียนยอดได้ดังรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนสำหรับการแยกกาซไฮโดรเจน

ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน (โวลต์)	กระแสไอออน ($\times 10^{-12}$ แอมแปร์)
450	0
464	0
468	2.0
470	4.8
475	8.0
480	15.0
483	21.0
486	14.0
490	7.0
495	2.0
500	0
510	0



รูปที่ 5.1 แสดงยอดซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.1

จากตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 ได้ผลดังต่อไปนี้

1. จากรูปที่ 5.1 พบว่ายอดสูงที่สุดตรงกับค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน 483 โวลต์ ถ้าใช้สมการ (1.4) คำนวณหาค่ามวลของไอออนจะได้ค่าเป็น 0.97 a.m.u.

2. จากการใช้ความกว้างของช่องแคบไอออนเข้า 0.009 เซนติเมตร ช่องแคบไอออนออก 0.0375 เซนติเมตร และรัศมีความโค้งทางเดินของไอออน 5 เซนติเมตร โดยอาศัยสมการ (3.36) หาค่าความสามารถในการแยกมวล ได้ 97.75

3. การหาค่าความผิดพลาดจากการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยวิธีในหัวข้อ 3.6 ซึ่งตัวแปรในสมการ (3.43) มีค่าดังต่อไปนี้

M_u = 50 มิลลิเฮนรี่; ΔM_u = 0 มิลลิเฮนรี่

I_p = 30 มิลลิแอมแปร์ ; ΔI_p = 0.1 มิลลิแอมแปร์

θ = 2.32 เซนติเมตร ; $\Delta\theta$ = 0.01 เซนติเมตร

θ' = 5.6 เซนติเมตร ; $\Delta\theta'$ = 0.01 เซนติเมตร

NA = 100 ตารางเซนติเมตร-รอบ ; ΔNA = 0 ตารางเซนติเมตร-รอบ

ดังนั้นโดยอาศัยสมการ (3.50) หาค่า $\left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2$ ได้ 3.28×10^{-5}

เพราะว่า R = 5.0 เซนติเมตร ; ΔR = 0.005 เซนติเมตร

V = 483 โวลต์ ; ΔV 1 โวลต์

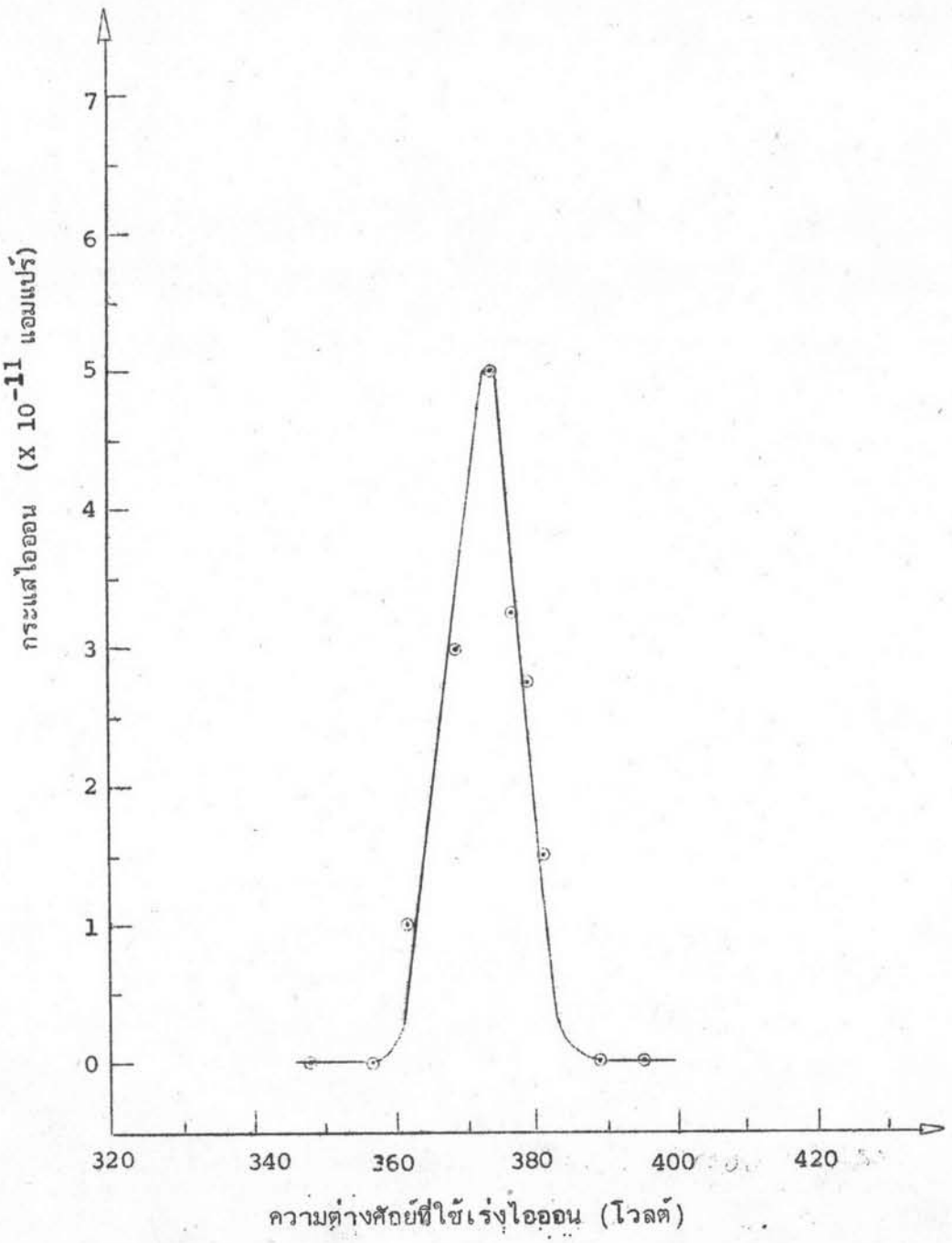
ดังนั้นอาศัยสมการ (3.49) หาค่าความผิดพลาดที่น่าจะเป็น $\left(\frac{\Delta M}{M}\right)$ ได้ 0.012

จากยอดรูปที่ 5.5 เพราะว่าครึ่งความกว้างของยอดที่ความสูงครึ่งหนึ่ง (half width) เป็น 7.0 โวลต์ ดังนั้นหาค่าสัดส่วนความผิดพลาด (proportional error) ได้ 1.45 %

5.2.2 โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าตรง 0.90 แอมแปร์ เข้าแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ได้ความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งคำนวณจากสมการ (3.43) ได้ 776.79 เกาส์ ใส่ความต่างศักย์ 90 โวลต์เร่งอีเลคตรอน และความต่างศักย์ 10 โวลต์สำหรับผลักไอออนบวก ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไส้หลอด 2.50 แอมแปร์ เปิดก๊าซไฮโดรเจนเข้าทางลิ้นปลายเข็มเล็กน้อย แปรเปลี่ยนความต่างศักย์สำหรับเร่งไอออนบวก อ่านค่าความต่างศักย์จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์และวัดกระแสไอออนที่ตกลงบนถ้วยฟาราเดย์ด้วยเครื่องขยายกระแส สามารถบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันดังตารางที่ 5.2 จากค่าในตารางเขียนยอดได้ดังรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน และกระแสไอออน สำหรับการแยกก๊าซไฮโดรเจน

ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน (โวลต์)	กระแสไอออน ($\times 10^{-11}$ แอมแปร์)
348	0
357	0
362	1.00
369	3.00
374	5.00
377	3.50
379	2.75
381	1.50
389	0
395	0



รูปที่ 5.2 แสดงยอดซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.2

จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2 ได้ผลดังต่อไปนี้

1. จากรูปที่ 5.2 พบว่ายอดสูงที่สุดตรงกับค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน 374 โวลต์ ถ้าใช้สมการ (1.4) คำนวณหาค่ามวลของไอออน จะได้ค่าเป็น 1.95 a.m.u.

2. จากการใช้ความกว้างของช่องแคบไอออนเข้า 0.009 เซนติเมตร ช่องแคบไอออนออก 0.0375 เซนติเมตร และรัศมีความโค้งของทางเดินของไอออน 5 เซนติเมตร โดยอาศัยสมการ (3.36) หาค่าความสามารถในการแยกมวลได้ 97.75

3. การหาค่าความผิดพลาดจากการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยวิธีในหัวข้อ 3.6 ซึ่งตัวแปรในสมการ (3.43) มีค่าดังต่อไปนี้

M_u = 50 มิลลิเฮนรี่ ; ΔM_u = 0 มิลลิเฮนรี่

I_p = 30 มิลลิแอมแปร์ ; ΔI_p = 0.1 มิลลิแอมแปร์

θ = 2.9 เซนติเมตร ; $\Delta\theta$ = 0.01 เซนติเมตร

θ' = 5.6 เซนติเมตร; $\Delta\theta'$ = 0.01 เซนติเมตร

NA = 100 ตารางเซนติเมตร-รอบ; ΔNA = 0 ตารางเซนติเมตร-รอบ

ดังนั้นโดยอาศัยสมการ (3.50) หาค่า $\left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2$ ได้ 4.79×10^{-5}

เพราะว่า R = 5.0 เซนติเมตร; ΔR = 0.005 เซนติเมตร

V = 374 โวลต์ ; ΔV = 2 โวลต์

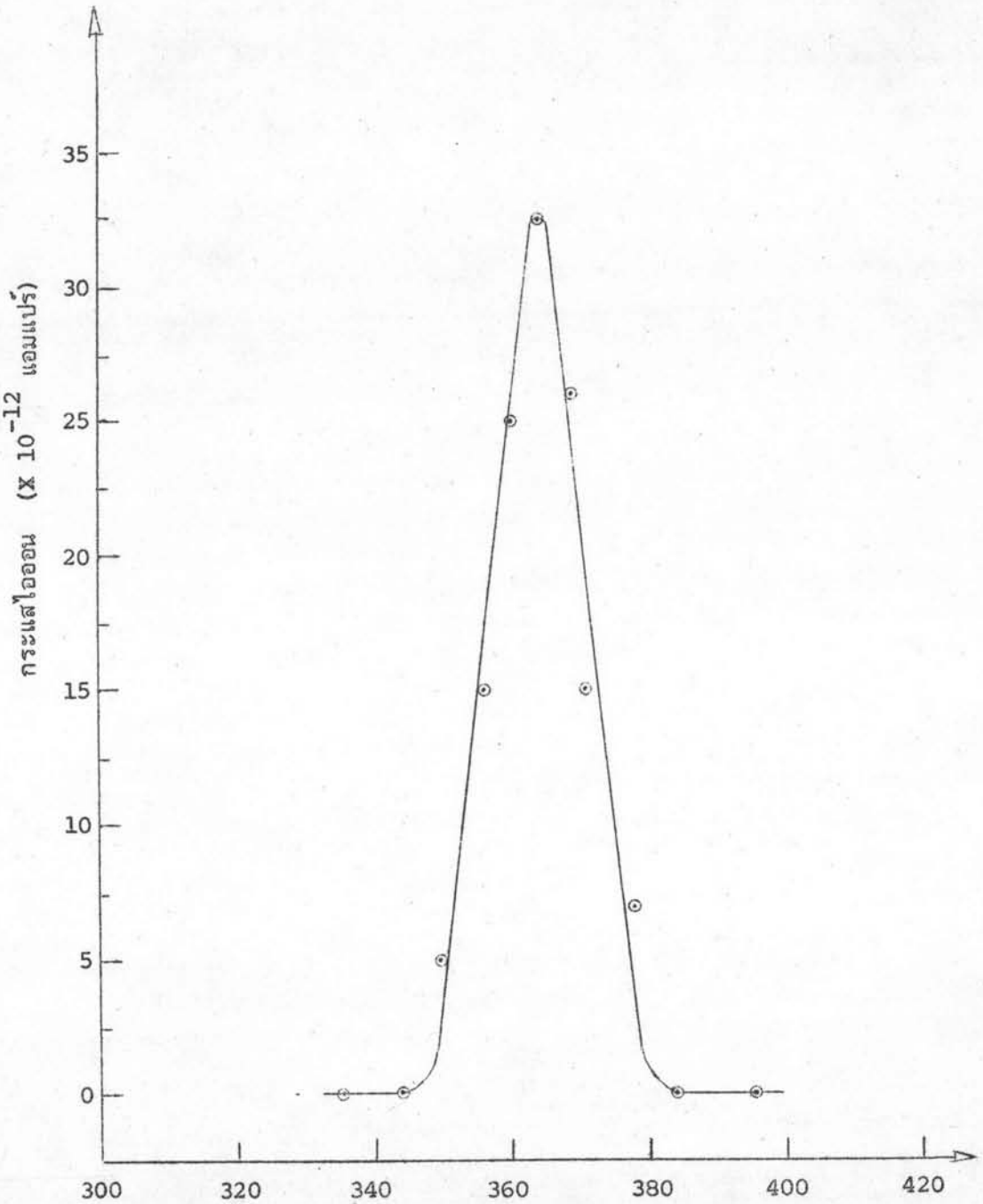
ดังนั้นอาศัยสมการ (3.49) หาค่าความผิดพลาดที่น่าจะเป็น $\left(\frac{\Delta M}{M}\right)$ ได้ 0.014

จากยอดรูปที่ 5.2 เพราะว่าครึ่งความกว้างของยอดที่ความสูงครึ่งหนึ่งเป็น 6.25โวลต์ ดังนั้นหาค่าสัดส่วนความผิดพลาดได้ 1.67 %

5.2.3 โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าต่ำ 2.7 แอมแปร์ เข้าแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ได้ความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งคำนวณจากสมการ (3.43) ได้ 2310 เกาส์ ใส่ความต่างศักย์ 65 โวลต์ สำหรับเร่งอีเลคตรอนและความต่างศักย์ 10 โวลต์ สำหรับผลักไอออนบวก ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไส้หลอด 2.70 แอมแปร์ เปิดอากาศเข้าทางลิ้นปลายเข็มเล็กน้อย แปรเปลี่ยนความต่างศักย์สำหรับเร่งไอออนบวก อ่านค่าความต่างศักย์จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และวัดกระแสไอออนที่ตกลงบนถ้วยฟาราเดย์ด้วยเครื่องขยายกระแส สามารถบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันดังตารางที่ 5.3 จากค่าในตารางเขียนยอดได้ดังรูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน และกระแสไอออนสำหรับการแยกอากาศ

ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน (โวลต์)	กระแสไอออน ($\times 10^{-12}$ แอมแปร์)
335	0
344	0
350	5.0
356	15.0
360	25.0
364	32.5
369	26.0
371	15.0
378	7.0
384	0
395	0



รูปที่ 5.3 แสดงยอดซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออน ที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.3

จากตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.3 ได้ผลดังต่อไปนี้

1. จากรูปที่ 5.3 พบว่ายอดสูงสุดตรงกับความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน 364 โวลต์ ถ้าใช้สมการ (1.4) คำนวณหาค่ามวลของไอออนจะได้ค่าเป็น 17.70 a.m.u.

2. จากการใช้ช่องแคบไอออนเข้า 0.009 เซนติเมตร ช่องแคบไอออนออก 0.0375 เซนติเมตร และรัศมีความโค้งของทางเดินของไอออน 5 เซนติเมตร โดยอาศัยสมการ (3.36) หาค่าความสามารถในการแยกมวลได้ 97.75

3. การหาค่าความผิดพลาดจากการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยวิธีในหัวข้อ 3.6 ซึ่งตัวแปรในสมการ (3.43) มีค่าดังต่อไปนี้

M_u = 50 มิลลิเฮนรี่ ; ΔM_u = 0 มิลลิเฮนรี่

I_p = 30 มิลลิแอมแปร์ ; ΔI_p = 0.1 มิลลิแอมแปร์

θ = 4.62 เซนติเมตร ; $\Delta\theta$ = 0.01 เซนติเมตร

θ' = 3.0 เซนติเมตร ; $\Delta\theta'$ = 0.01 เซนติเมตร

NA = 100 ตารางเซนติเมตร-รอบ; ΔNA = 0 ตารางเซนติเมตร-รอบ

ดังนั้นโดยอาศัยสมการ (3.50) หาค่า $\left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2$ ได้ 4.85×10^{-5}

เพราะว่า R = 5.0 เซนติเมตร ; ΔR = 0.005 เซนติเมตร

V = 364 โวลต์ ; ΔV = 1 โวลต์

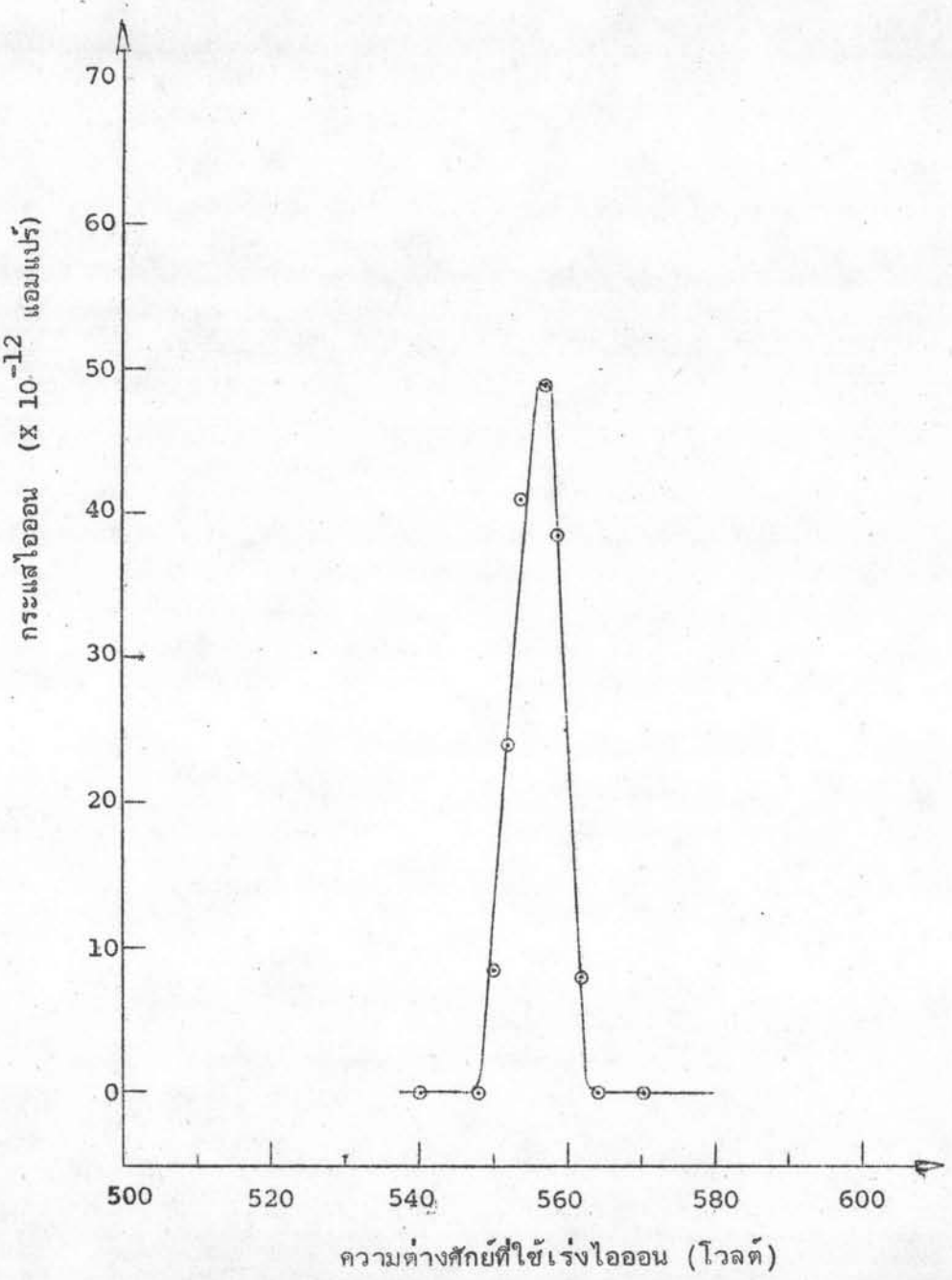
ดังนั้นอาศัยสมการ (3.49) หาค่าความผิดพลาดที่น่าจะเป็น $\left(\frac{\Delta M}{M}\right)$ ได้ 0.014

จากยอดรูปที่ 5.3 เพราะว่าครึ่งความกว้างของยอดที่ความสูงครึ่งหนึ่งเป็น 7.75 โวลต์ ดังนั้นค่าสัดส่วนความผิดพลาด เป็น 2.13 %

5.2.4 โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าตรง 2.75 แอมแปร์ เข้าแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ได้ความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งคำนวณจากสมการ (3.43) ได้ 2330 เกาส์ ใส่ความต่างศักย์ 74 โวลต์เร่งอีเลคตรอนและความต่างศักย์ 10 โวลต์ สำหรับผลักไอออนบวก ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไส้หลอด 2.15 แอมแปร์ เปิดอากาศเข้าทางลิ้นปลายเข็มเล็กน้อย แปรเปลี่ยนความต่างศักย์สำหรับเร่งไอออนบวก อ่านค่าความต่างศักย์จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และวัดกระแสไอออนที่ตกลงบนถ้วยฟาราเดย์ด้วยเครื่องขยายกระแส สามารถบันทึกค่าความศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันดังตารางที่ 5.4 จากค่าในตารางเขียนยอดได้ดังรูปที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน และกระแสไอออนสำหรับการแยกอากาศ

ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน (โวลต์)	กระแสไอออน ($\times 10^{-12}$ แอมแปร์)
540	0
548	0
550	8.50
552	24.0
554	41.0
557	49.0
559	38.5
560	25.0
562	8.0
564	0
570	0



รูปที่ 5.4 แสดงยอดซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออน ที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.4

จากตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.4 ได้ผลดังต่อไปนี้

1. จากรูปที่ 5.4 พบว่ายอดสูงที่สุดตรงกับความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน 557 โวลต์ ถ้าใช้สมการ (1.4) คำนวณหาค่ามวลของไอออนจะได้ค่าเป็น 11.77 a.m.u.

2. จากการใช้ช่องแคบไอออนเข้ากว้าง 0.009 เซนติเมตร ช่องแคบไอออนออก 0.0375 เซนติเมตร และรัศมีความโค้งของทางเดินไอออน 5 เซนติเมตร โดยอาศัยสมการ (3.36) หาค่าความสามารถในการแยกมวลได้ 97.75

3. การหาความผิดพลาดจากการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยวิธีในหัวข้อ 3.6 ซึ่งตัวแปรในสมการ (3.43) มีค่าดังต่อไปนี้

M_u = 50 มิลลิเฮนรี่ ; M_u = 0 มิลลิเฮนรี่

I_p = 30 มิลลิแอมแปร์; ΔI_p = 0.1 มิลลิแอมแปร์

θ = 4.66 เซนติเมตร; $\Delta\theta$ = 0.01 เซนติเมตร

θ' = 3 เซนติเมตร; $\Delta\theta'$ = 0.01 เซนติเมตร

NA = 100 ตารางเซนติเมตร-รอบ; ΔNA = 0 ตารางเซนติเมตร-รอบ

ดังนั้นโดยอาศัยสมการ (3.50) หาค่า $\left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2$ ได้ 4.84×10^{-5}

เพราะว่า R = 5.0 เซนติเมตร ; ΔR = 0.005 เซนติเมตร

V = 557 โวลต์ ; ΔV = 1 โวลต์

ดังนั้นอาศัยสมการ (3.49) หาค่าความผิดพลาดที่น่าจะเป็น $\left(\frac{\Delta M}{M}\right)$ ได้ 0.014

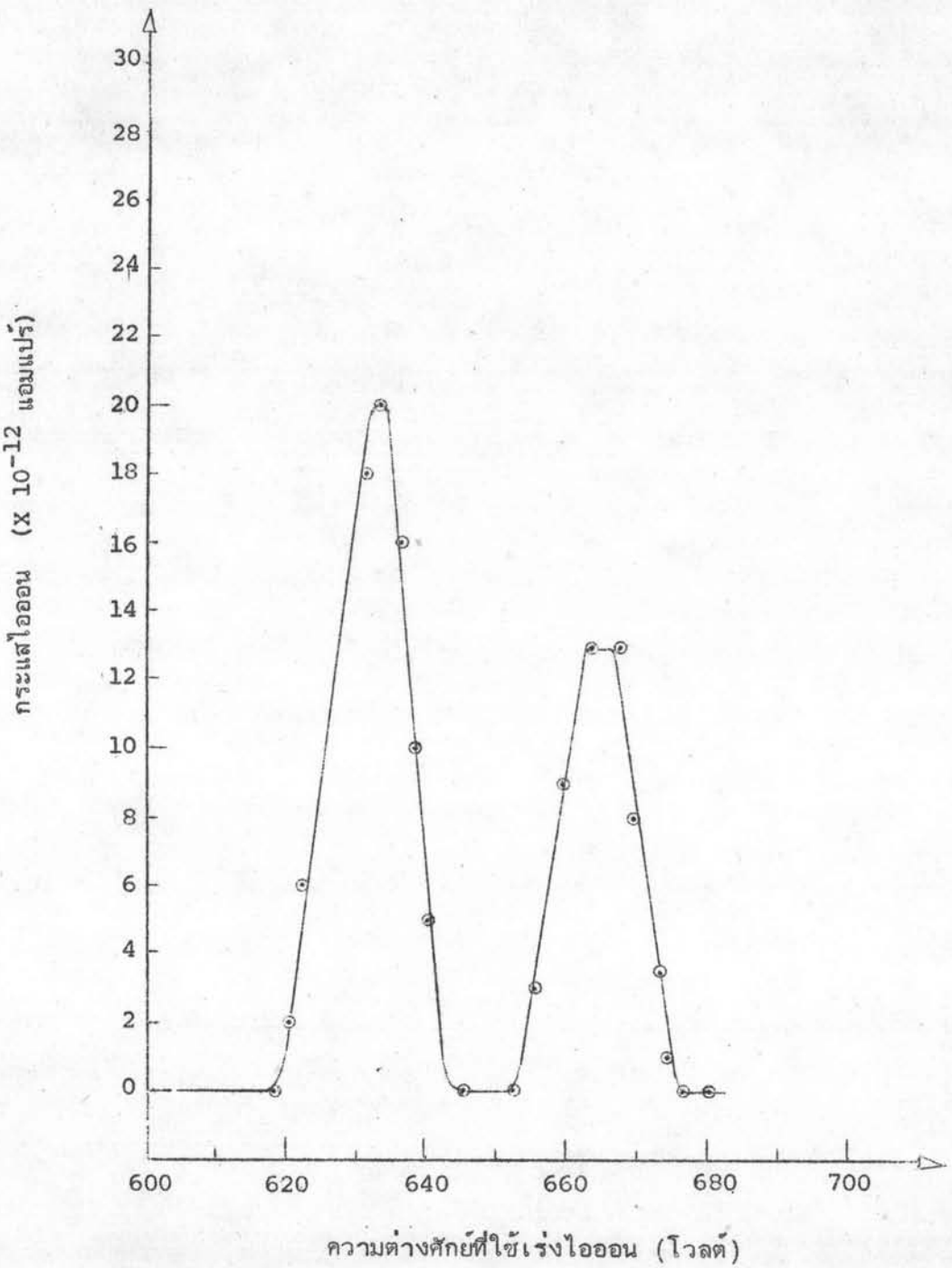
จากยอดรูปที่ 5.4 เพราะว่าครึ่งความกว้างของยอดความสูงครึ่งหนึ่งเป็น 4 โวลต์ ดังนั้นหาค่าสัดส่วนความผิดพลาดได้ 0.72 %

5.2.5 โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าตรง 3.3 แอมแปร์ เข้าแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ได้ความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งคำนวณจากสมการ (3.43) ได้ 2700 เกาส์ ใส่ความต่างศักย์ 100โวลต์ สำหรับเร่งอีเลคตรอน และความต่างศักย์ 10 โวลต์สำหรับผลักไอออนบวก ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไส้หลอด 2.7 แอมแปร์ เปิดอากาศเข้าทางลิ้นปลายเข็มเล็กน้อย แปรเปลี่ยนความต่างศักย์สำหรับ

เร่งไอออนบวก อ่านค่าความต่างศักย์จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และวัดกระแสไอออนที่ตกลงบนถ้วยฟาราเดย์ด้วยเครื่องขยายกระแส สามารถบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน และกระแสไอออนที่สอดคล้องกันดังตารางที่ 5.5 จากค่าในตารางเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน และกระแสไอออนสำหรับการแยกอากาศ

ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน (โวลต์)	กระแสไอออน ($\times 10^{-12}$ แอมแปร์)
600	0
618	0
620	2.0
622	6.0
631	18.0
633	20.0
636	16.0
638	10.0
640	5.0
645	0
652	0
655	3.0
659	9.0
663	13.0
667	13.0
669	8.0
673	3.5
674	1.0
676	0
680	0



รูปที่ 5.5 แสดงยอดซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออน ที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.5

จากตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.5 ได้ผลดังต่อไปนี้

1. จากรูปที่ 5.5 พบว่ายอดสูงที่สุดตรงกับค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน 633 โวลต์ และ 665 โวลต์ ถ้าใช้สมการ (1.4) คำนวณหาค่ามวลของไอออนจะได้ค่าเป็น 13.91 a.m.u. และ 13.24 a.m.u.ตามลำดับ

2. จากการใช้ความกว้างของช่องแคบไอออนเข้า 0.009 เซนติเมตร ช่องแคบไอออนออก 0.0375 เซนติเมตร และรัศมีความโค้งของทางเดินของไอออน 5 เซนติเมตร โดยอาศัยสมการ (3.36) หาค่าความสามารถในการแยกมวลได้ 97.75

3. การหาค่าความผิดพลาดจากการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยวิธีในหัวข้อ 3.6 ซึ่งตัวแปรในสมการ (3.43) มีค่าดังต่อไปนี้

M_u = 50 มิลลิเฮนรี่ ; ΔM_u = 0 มิลลิเฮนรี่

I_p = 30 มิลลิแอมแปร์; ΔI_p = 0.1 มิลลิแอมแปร์

θ = 5.4 เซนติเมตร ; $\Delta\theta$ = 0.01 เซนติเมตร

θ' = 3.0 เซนติเมตร ; $\Delta\theta'$ = 0.01 เซนติเมตร

NA = 100 ตารางเซนติเมตร-รอบ; ΔNA = 0 ตารางเซนติเมตร-รอบ

ดังนั้นโดยอาศัยสมการ (3.50) หาค่า $\left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2$ ได้ 4.72×10^{-5}

เพราะว่า R = 5.0 เซนติเมตร; ΔR = 0.005 เซนติเมตร

V = 633 โวลต์และ 665 โวลต์; ΔV = 1 โวลต์

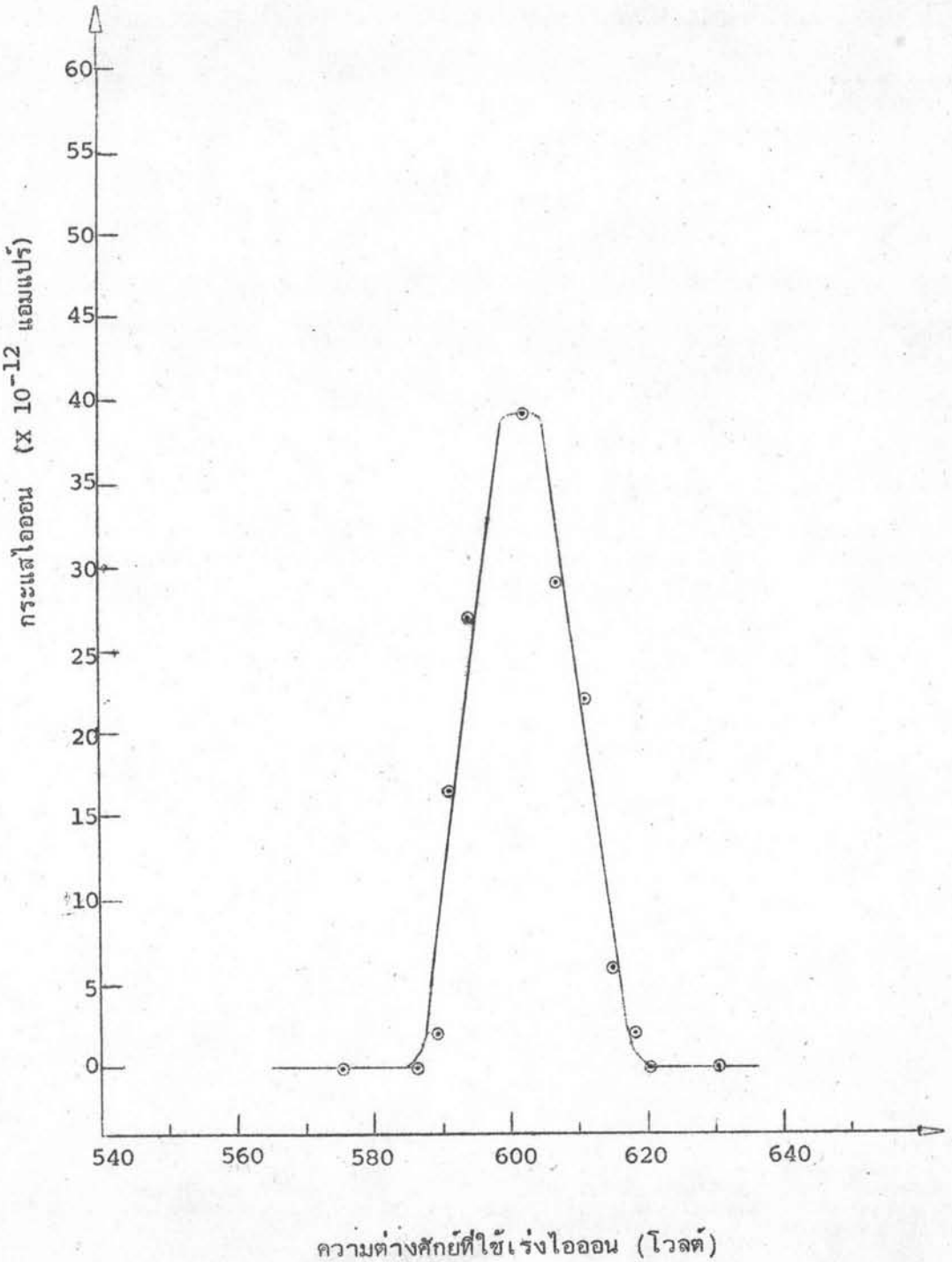
ดังนั้นอาศัยสมการ (3.49) หาค่าความผิดพลาดที่น่าจะเป็น $\left(\frac{\Delta M}{M}\right)$ ได้ 0.014

จากยอดรูปที่ 5.5 เพราะว่าครึ่งความกว้างของยอดที่ความสูงครึ่งหนึ่งเป็น 6.5 โวลต์ และ 6.75 โวลต์ ดังนั้นหาค่าสัดส่วนความผิดพลาดได้ 1.03% และ 1.02 % ตามลำดับ

5.2.6 โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าตรง 5.95 แอมแปร์ เข้าแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ได้ความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งคำนวณจากสมการ (3.43) ได้ 4450 เกาส์ ใส่ความต่างศักย์ 75 โวลต์ สำหรับเร่งอีกเลคตรอนและความต่างศักย์ 10 โวลต์ สำหรับผลักไอออนบวก ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไส้หลอด 2.6 แอมแปร์ เปิดอากาศเข้าทางลิ้นปลายเข็มเล็กน้อย แปรเปลี่ยนความต่างศักย์สำหรับเร่งไอออนบวก อ่านค่าความต่างศักย์จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และวัดกระแสไอออนที่ตกลงบนถ้วยฟาราเดย์ด้วยเครื่องขยายกระแส สามารถบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันดังตารางที่ 5.6 จากค่าในตารางเขียนยอดได้ดังรูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน และกระแสไอออนสำหรับการแยกอากาศ

ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน (โวลต์)	กระแสไอออน ($\times 10^{-12}$ แอมแปร์)
575	0
586	0
589	2.0
591	16.5
594	27.0
602	39.0
607	29.0
611	22.0
615	6.0
618	2.0
620	0
630	0



รูปที่ 5.6 แสดงยอดซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออน ที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.6

จากตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.6 ได้ผลดังต่อไปนี้

1. จากรูปที่ 5.6 พบว่ายอดสูงที่สุดตรงกับค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน 602 โวลต์ ถ้าใช้สมการ (1.4) คำนวณหาค่ามวลของไอออนจะได้ค่าเป็น 39.72 a.m.u.

2. จากการใช้ความกว้างของช่องแคบไอออนเข้า0.009 เซนติเมตร ช่องแคบไอออนออก 0.0375เซนติเมตร และรัศมีความโค้งของทางเดินของไอออน 5 เซนติเมตร โดยอาศัยสมการ (3.36)หาค่าความสามารถในการแยกมวลได้ 97.75

3. การหาค่าความผิดพลาดจากการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยวิธีในหัวข้อ 3.6 ซึ่งตัวแปรในสมการ (3.43 มีค่าดังต่อไปนี้

M_u = 50 มิลลิเฮนรี่ ; ΔM_u = 0 มิลลิเฮนรี่

I_p = 30 มิลลิแอมแปร์; ΔI_p = 0.1 มิลลิแอมแปร์

θ = 8.9 เซนติเมตร; $\Delta\theta$ = 0.01 เซนติเมตร

θ' = 3.0 เซนติเมตร ; $\Delta\theta'$ = 0.01 เซนติเมตร

NA = 100 ตารางเซนติเมตร-รอบ; ΔNA = 0 ตารางเซนติเมตร-รอบ

ดังนั้นจากสมการ (3.50)หาค่า $\left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2$ ได้ 4.51×10^{-5}

เพราะว่า R = 5.0เซนติเมตร; ΔR = 0.005 เซนติเมตร

V = 602โวลต์ ; ΔV = 1 โวลต์

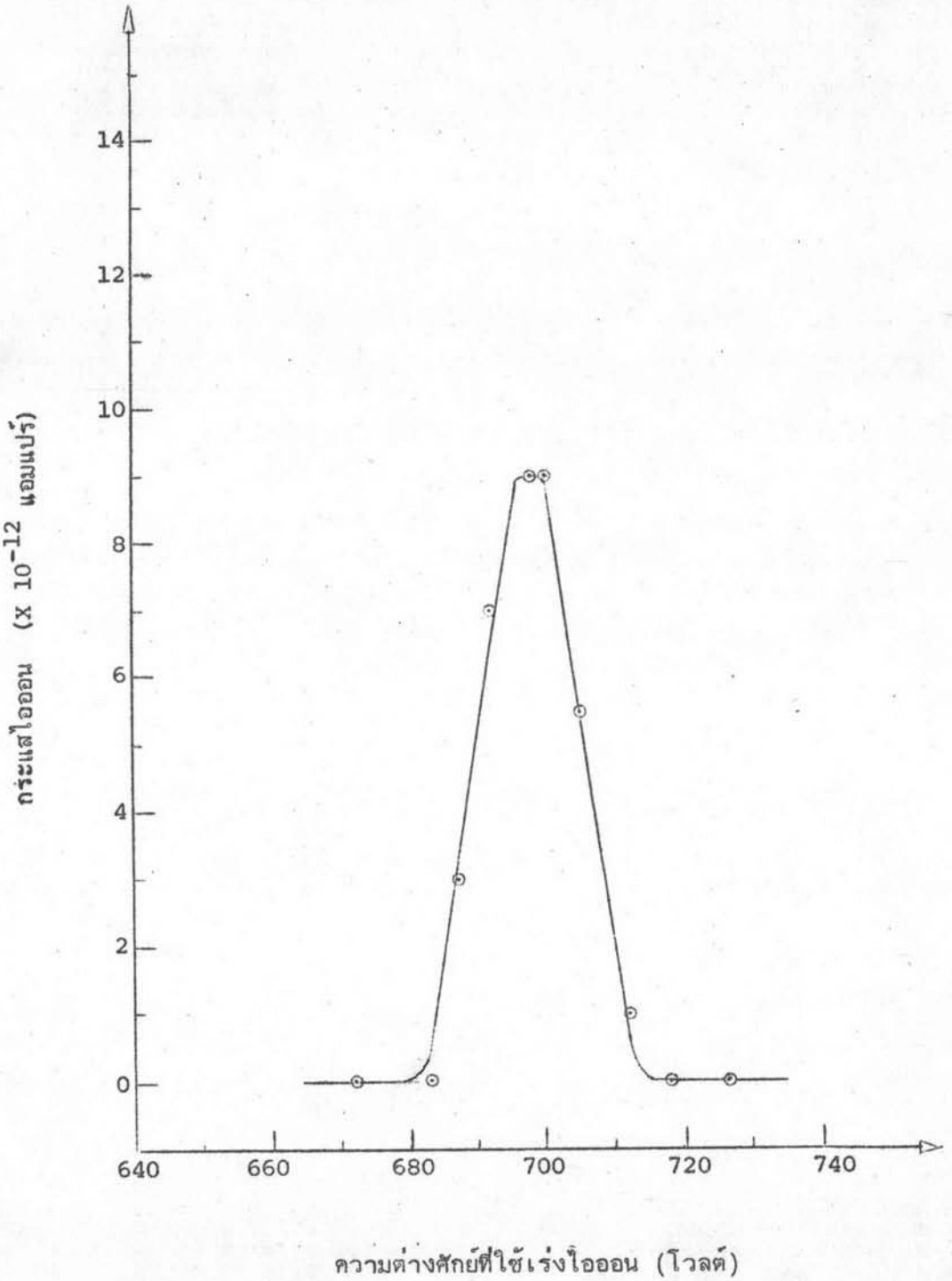
ดังนั้นโดยอาศัยสมการ (3.49) หาค่าความผิดพลาดที่น่าจะเป็น $\left(\frac{\Delta M}{M}\right)$ ได้ 0.014

จากยอดรูปที่ 5.6 เพราะว่าครึ่งความกว้างของยอดที่ความสูงครึ่งหนึ่งเป็น 9.5 โวลต์ ดังนั้นหาค่าสัดส่วนความผิดพลาดได้ 1.58 %

5.2.7 โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าตรง 5.7 แอมแปร์เข้าแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ได้ความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งคำนวณจากสมการ (3.43) ได้ 4300 เกาส์ ใส่ความต่างศักย์ 84 โวลต์ สำหรับเร่งอิเลคตรอนและความต่างศักย์ 10 โวลต์ สำหรับผลักไอออนบวก ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไส้หลอด 2.6 แอมแปร์ เปิดอากาศเข้าทางฉิ้นปลายเข็มเล็กน้อย แปรเปลี่ยนความต่างศักย์สำหรับเร่งไอออนบวก อ่านค่าความต่างศักย์จากดิจิตอล มัลติมิเตอร์ และวัดกระแสไอออนที่ตกลงบนถ้วยฟาราเดย์ด้วยเครื่องขยายกระแส สามารถบันทึกความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันดังตารางที่ 5.7 จากค่าในตารางเขียนยอดได้ดังรูปที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนสำหรับการแยกอากาศ

ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน (โวลต์)	กระแสไอออน ($\times 10^{-12}$ แอมแปร์)
672	0
683	0
687	3.0
692	7.0
698	9.0
700	9.0
705	5.5
712	1.0
718	0
726	0



รูปที่ 5.7 แสดงยอดซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.7

จากตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.7 ได้ผลดังต่อไปนี้

1. จากรูป 5.7 พบว่ายอดสูงที่สุด ตรงกับค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน 698 โวลต์ ถ้าใช้สมการ (1.4) คำนวณหาค่ามวลของไอออนจะได้ค่าเป็น 31.98 a.m.u.

2. จากการใช้ความกว้างของช่องแคบไอออนเข้า 0.009 เซนติเมตร ช่องแคบไอออนออก 0.0375 เซนติเมตร โดยอาศัยสมการ (3.36) หาค่าความสามารถในการแยกมวลได้97.75

3. การหาค่าความผิดพลาดจากการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยวิธีในหัวข้อ 3.6 ซึ่งตัวแปรในสมการ (3.43) มีค่าดังต่อไปนี้

M_u = 50 มิลลิเฮนรี่ ; ΔM_u = 0 มิลลิเฮนรี่

I_p = 30 มิลลิแอมแปร์ ; ΔI_p = 0.1 มิลลิแอมแปร์

θ = 8.60 เซนติเมตร ; $\Delta\theta$ = 0.01 เซนติเมตร

θ' = 3.0 เซนติเมตร ; $\Delta\theta'$ = 0.01 เซนติเมตร

$\overset{\frown}{NA}$ = 100 ตารางเซนติเมตร-รอบ ; ΔNA = 0 ตารางเซนติเมตร-รอบ

ดังนั้นโดยอาศัยสมการ (3.50) หาค่า $\left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2$ ได้ 4.51×10^{-5}

เพราะว่า R = 5.0 เซนติเมตร ; ΔR = 0.005 เซนติเมตร

V = 698 โวลต์ ; ΔV = 1 โวลต์

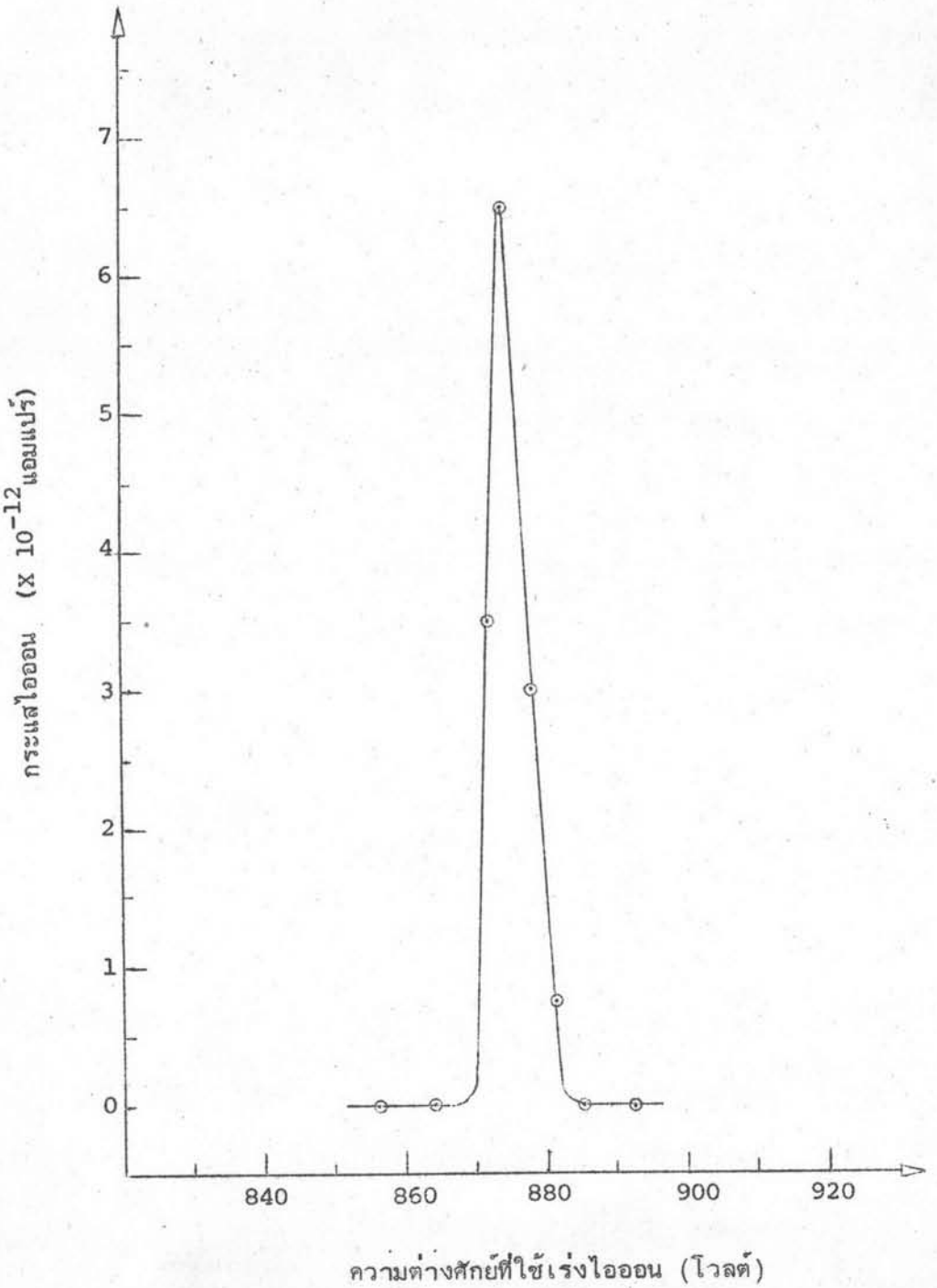
ดังนั้นอาศัยสมการ (3.49) หาค่าความผิดพลาดที่น่าจะเป็น $\left(\frac{\Delta M}{M}\right)$ ได้ 0.014

จากยอดรูปที่ 5.7 เพราะครึ่งความกว้างของยอดที่ความสูงครึ่งหนึ่งเป็น โวลต์ ดังนั้นหาค่าสัดส่วนความผิดพลาดได้ 1.29 %

5.2.8 โดยการผ่านกระแสไฟฟ้า 5.75 แอมแปร์เข้าแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ได้ความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งคำนวณจากสมการ (3.43) ได้ 4325 เกาส์ ใส่ความต่างศักย์ 90 โวลต์สำหรับเร่งอีเลกตรอนและความต่างศักย์ 10 โวลต์สำหรับผลักไอออนบวก ผ่านกระแสเข้าไส้หลอด 2.65 แอมแปร์ เปิดอากาศเข้าทางลิ้นปลายเข็มเล็กน้อย แปรเปลี่ยนความต่างศักย์สำหรับเร่งไอออนบวก อ่านค่าความต่างศักย์จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และวัดกระแสไอออนที่ตกลงบนถ้วยฟาราเดย์ด้วยเครื่องขยายกระแส สามารถบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออนที่สอดคล้องกันดังตารางที่ 5.8 จากค่าในตารางเขียนยอดได้ดังรูปที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน และกระแสไอออนสำหรับการแยกอากาศ

ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน (โวลต์)	กระแสไอออน ($\times 10^{-12}$ แอมแปร์)
856	0
864	0
872	3.5
874	6.5
878	3.0
881	1.0
885	0
892	0



รูปที่ 5.8 แสดงยอดซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนและกระแสไอออน ที่สอดคล้องกันจากตารางที่ 5.8

จากตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.8 ได้ผลดังต่อไปนี้

1. จากรูปที่ 5.8 พบว่ายอดสูงที่สุดตรงกับค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน 874 โวลต์ ถ้าใช้สมการ (1.4) คำนวณหาค่ามวลของไอออนจะได้ค่าเป็น 25.84 a.m.u.

2. จากการใช้ความกว้างของช่องแคบไอออนเข้า 0.009 เซนติเมตร ช่องแคบไอออนออก 0.0375 เซนติเมตร และรัศมีความโค้งของทางเดินของไอออน 5 เซนติเมตร โดยอาศัยสมการ (3.36) หาค่าความสามารถในการแยกมวลได้ 97.75

3. การหาค่าความผิดพลาดจากการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยวิธีในหัวข้อ 3.6 ซึ่งตัวแปรในสมการ (3.43) มีค่าดังต่อไปนี้

M_u = 50 มิลลิเฮนรี่ ; ΔM_u = 0 มิลลิเฮนรี่

I_p = 30 มิลลิแอมแปร์ ; ΔI_p = 0.1 มิลลิแอมแปร์

θ = 8.65 เซนติเมตร ; $\Delta\theta$ = 0.01 เซนติเมตร

θ = 3 เซนติเมตร ; $\Delta\theta'$ = 0.01 เซนติเมตร

NA = 100 ตารางเซนติเมตร-รอบ; ΔNA = 0 ตารางเซนติเมตร-รอบ

ดังนั้นโดยอาศัยสมการ (3.50) หาค่า $\left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2$ ได้ 4.51×10^{-5}

เพราะว่า R = 5.0 เซนติเมตร ; ΔR = 0.005 เซนติเมตร

V = 874 โวลต์ ; ΔV = 1 โวลต์

ดังนั้นอาศัยสมการ (3.49) หาค่าความผิดพลาดที่น่าจะเป็น $\left(\frac{\Delta M}{M}\right)$ ได้ 0.014

จากยอดรูปที่ 5.8 เพราะว่าครึ่งความกว้างของยอดที่ความสูงครึ่งหนึ่งเป็น 3 โวลต์ ดังนั้นหาค่าสัดส่วนความผิดพลาดได้ 0.34 %

5.3 สรุปผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 5.2.1 ถึง 5.2.8 สรุปผลได้ดังนี้

5.3.1 จากการแยกสเปกตรัมมวลของกาซไฮโดรเจนจากหัวข้อ 5.2.1 และ 5.2.2 ได้ค่ามวลของไอออนเป็น 0.97 a.m.u. และ 1.95 a.m.u. ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าจะต้องเป็นมวลไอออนของอะตอมไฮโดรเจน (H^+) และมวลไอออนของโมเลกุลไฮโดรเจน (H_2^+) ซึ่งผิดพลาดไปจากค่าเป็นจริงประมาณ 3 % ซึ่งค่าที่ผิดพลาดนี้อาจจะเกิดขึ้นจากหลายกรณีด้วยกัน ตัวประกอบซึ่งอาจทำให้ผิดพลาดได้แก่ ความดันของอากาศที่อยู่ภายใน เพราะถ้าภายในเครื่องมือมีอากาศหลงเหลืออยู่บ้าง ไอออนของไฮโดรเจนดังกล่าวอาจจะไปชนกับอากาศที่เหลืออยู่ ทำให้ตัวเองต้องสูญเสียพลังงานไปบางส่วน นอกจากนี้ความผิดยังอาจเกิดจากเครื่องมือที่ใช้วัดและทางด้านการวัด

5.3.2 จากการแยกสเปกตรัมมวลของอากาศในหัวข้อ 5.2.3 ถึง 5.2.8 ได้ค่ามวลเป็น 17.70 a.m.u. 11.77 a.m.u. 13.91 a.m.u. 13.24 a.m.u. 39.72 a.m.u. 31.98 a.m.u. และ 25.84 a.m.u. ตามลำดับ ซึ่งพอสรุปได้ว่าเป็นมวลไอออนของน้ำ (H_2O^+) คาร์บอน (C^+) ไนโตรเจน (N^+) ไฮโดรคาร์บอน (CH^+) อาร์กอน (Ar^+) ออกซิเจน (O_2^+) และไฮโดรคาร์บอน ($C_2H_2^+$) ตามลำดับ ซึ่งอะตอมและโมเลกุลเหล่านี้ถึงแม้จะไม่เปิดอากาศเข้าก็พบอยู่แล้ว[20,21] เพราะเนื่องจากกาซที่เหลือ (residue gases) จากการสูบอากาศออกไม่หมด และจากการเผาไหม้ของน้ำมันอะบีซอนเอ การเปิดอากาศเข้าเพียงเล็กน้อย จะทำให้ไอออนที่วัดเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าหากเปิดอากาศมากเกินไปทำให้ความดันสูงเกินกว่า 10^{-3} มิลลิเมตรของปรอทจะวัดไอออนไม่ได้ทั้งนี้อาจเนื่องจาก การทำให้เกิดไอออน ไม่ดีเพราะความดันสูงเกินไป หรือเพราะว่าการที่อากาศเข้าไปทำให้ไอออนที่เดินทางสูญเสียพลังงานไปเนื่องจากการชนกับอะตอมของอากาศ ทำให้เดินทางไปไม่ถึงตัวตรวจวัด

ในการวัดกระแสไอออนทุกครั้งในการทดลอง ใช้ความต่างศักย์ในการเร่งอีเลกตรอนเข้าชนที่ทำให้กาซเกิดเป็นไอออนมากที่สุด ซึ่งวัดจากกระแสไอออนที่ตัวตรวจวัด ดังนั้นถ้าพิจารณาจากผลการทดลองในหัวข้อ 5.2.1 ถึง 5.2.8 จะพบว่าค่าความต่างศักย์ที่ใช้อยู่ในช่วง 65 - 100 โวลต์ ซึ่งมีผลตรงกับกราฟรูปที่ 2.2

จากการทดลองจะเห็นว่า กระแสไอออนของกาซที่วัดด้วยเครื่องขยายกระแส ซึ่งกระแสไอออนเกิดจากการให้อีเลกตรอนจากไส้หลอดชนกับกาซนั้น กระแสที่ผ่านเข้าไส้หลอดจะต้องไม่น้อยกว่า 2 แอมแปร์ จึงจะสามารถวัดกระแสไอออนที่ตัวตรวจวัดได้ จากการทดลองยังพบอีกว่า กระแสที่ผ่านไส้หลอดอันเดียวกันจำนวนเท่า ๆ กัน สำหรับกาซต่างชนิดกันจะให้กระแสไอออนไม่เท่ากัน

ในผลของการทดลองพบว่ากระแสไอออนที่วัดได้มากคือ H_2O^+, H_2^+, C^+ และ $C_2H_2^+$ ย่อมเป็นการแสดงถึงว่าภายในอากาศซึ่งอยู่ภายในเครื่องมือมีส่วนประกอบของ H_2O, H, C และ C_2H_2 อยู่มากหรืออาจเป็นเพราะว่าการเกิดไอออนของ H_2O, H, C และ C_2H_2 ดีกว่าอย่างอื่นในสภาพที่ใช้

จากการทดลองข้อที่จำเป็นอย่างมากในการทดลองพอสรุปได้ดังนี้

1. การต่อลงดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องขยายกระแสจะต้องต่อลงดิน และการป้องกันสัญญาณจากภายนอกเข้าตัวตรวจวัดต้องต่อลงดินหมด มิฉะนั้นแล้วเข็มของไมโครแอมมิเตอร์ซึ่งต่อจากเครื่องขยายกระแส จะมีการสั่นทำให้การวัดไม่ถูกต้องและให้ค่าที่ไม่แน่นอน

2. ระบบสูญญากาศ ในการทดลองมักจะมีการรั่วของอากาศเกิดขึ้นอยู่เสมอ สาเหตุที่อากาศรั่วส่วนใหญ่จะพบตรงรอยต่อที่มีการปิดเปิดบ่อย ๆ เช่น ตรงรอยต่อตรงฝาปิดเปิดแหล่งกำเนิดไอออน เพราะต้องมีการเปลี่ยนไส้หลอดเมื่อเกิดการขาดซึ่งตรงรอยต่อจะคั่นด้วยยางวงแหวนรูปตัวโอ สัมผัสกับแผ่นอลูมิเนียมที่มีผิวเรียบเป็นมัน ทุกครั้งที่ปิดและเปิดต้องตรวจดูรอยต่อให้เรียบร้อย อย่าให้มีเศษผงติดอยู่เพราะอาจทำให้เกิดการรั่วได้ ทุกครั้งที่เดินเครื่องควรตรวจสอบการรั่วโดยใช้ตัวตรวจสอบที่ให้ประกาย (spark tester) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย

3. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านแม่เหล็กไฟฟ้าต้องเป็นกระแสไฟฟ้าตรงคงที่ จึงจะทำให้สนามแม่เหล็กคงที่ เพราะถ้าสนามแม่เหล็กไม่คงที่เพียงนิดเดียวการวัดค่าจะผิดพลาดมากและยากแก่การวัด คือจะเป็นผลทำให้กระแสไอออนที่วัดด้วยไมโครแอมมิเตอร์ซึ่งต่อจากเครื่องขยายกระแสเกิดการสั่นเนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสคงที่ที่ให้กระแสสูงเกิน 5 แอมแปร์ และสามารถแปรเปลี่ยนค่าได้ โดยอาศัยวงจรทางอีเลกทรอนิคสร้างค่อนข้างยาก และอุปกรณ์ภายในประเทศหายาก วิธีที่แก้ไขได้บ้างซึ่งใช้ในการวิจัยนี้คือใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่รถยนต์ต่อเข้ากับความต้านทานที่

เปลี่ยนค่าได้ซึ่งทนต่อกระแสสูง ๆ ต่อร่วมอยู่ด้วย เพื่อปรับกระแสเข้าแม่เหล็กตามที่ต้องการ ถึงกระนั้นก็ตามปัญหาที่พบอีกบ้างคือ กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอร์รี่รถยนต์จะค่อย ๆ ลดลงหลังจากใช้ไปนาน ๆ ซึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นในการทดลองต้องรีบทดลองเร็ว ๆ ต้องทำการวัดสนามแม่เหล็กอยู่เสมอ และต้องคอยประจุ (charge) แบตเตอร์รี่อยู่บ่อย ๆ หลังจากทดลองเสร็จครั้งหนึ่ง ๆ

นอกจากปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ปัญหาที่อาจพบเล็ก ๆ น้อย ๆ ได้แก่ปัญหาเรื่องทัศนศาสตร์ในการจัดช่องแคบให้ตรงกัน วิธีที่ทำได้ดีคือใช้แสงช่วย ปัญหาความกว้างของยอดซึ่งมีสาเหตุหลายประการ ได้แก่ช่องแคบไม่แคบพอ ช่องแคบไม่ตรงกัน สนามแม่เหล็กมีค่าไม่คงที่ ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนไม่คงที่ ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอีเลกตรอนไม่คงที่ ดังนั้นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่คงที่ในปัญหาเรื่องแหล่งจ่ายไฟฟ้า นอกจากนี้ความดันยังมีส่วนที่ทำให้ยอดกว้างได้

ในการทดลองเรื่องการแยกสเปกตรัมมวลนี้ ถ้าจะทำให้ได้ผลดีกว่านี้ ความดันของอากาศจะต้องลดลงมากประมาณ 10^{-8} - 10^{-9} มิลลิเมตรของความสูงปรอท และเครื่องขยายกระแสต้องมีความไวสูง จึงจะทำให้สามารถวัดไอออนของอะตอม และของโมเลกุลชนิดอื่น ๆ ได้อีก กระแสที่ผ่านไส้หลอดอาจจะไม่ต้องใช้มากนัก[21]