

523 ๒๒๒

๕ ๒๖๖ ๖

๖๖

ผลของอัตราส่วนของรัศมีของขั้วไฟฟ้าและของความดันแก๊สที่มีต่อลักษณะเฉพาะ
ของหลอดไอเกออร์มีลเลอร์

ปริญญานิพนธ์

ของ

สมพูน ใจเข้มแข็ง

๒๖๖ ๖๖ ๖๖

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์

มีนาคม ๒๕๓๗

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

190060

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
วิชาเอกฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

.....ประธาน

(ผศ.ดร.ณสรศักดิ์ ผลโคด)

.....กรรมการ

(อาจารย์บัญชา ศิลปสกุลสุข)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธาน

(ผศ.ดร.ณสรศักดิ์ ผลโคด)

.....กรรมการ

(อาจารย์บัญชา ศิลปสกุลสุข)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ผศ.ประชา พานิช)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ดร.ศิริยุภา พูลสุวรรณ)

วันที่ 4 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2537

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณสรณ์ ผลโคก และ อาจารย์บัญชา ศิลป์สกุลสุข ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง รวมทั้งการตรวจแก้ไขตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย ด้วยวิญญานของความเป็นครูอย่างแท้จริง ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประชา พานิช ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

ขอขอบคุณ อาจารย์เฉลิม ศรีสุวรรณ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านออกแบบ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์เป็นอย่างดี

สุดท้ายขอขอบคุณ อาจารย์อรทัย ใจเข้มแข็ง ผู้เป็นภรรยา และลูกทุกคน ที่เป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้

สมพูน ใจเข้มแข็ง

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
จุดมุ่งหมายของงานวิจัย.....	11
ขอบเขตการวิจัย.....	11
2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
3 วิธีดำเนินการ.....	40
4 ผลการวิจัย.....	46
5 บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....	86
บทย่อ.....	86
สรุปผลการวิจัย.....	88
อภิปรายผลการวิจัย.....	89
ข้อเสนอแนะ.....	91
บรรณานุกรม.....	92
ภาคผนวก.....	95
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	97

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ค่าสภาพเคลื่อนที่ได้ของไอออนบวกและไอออนลบ.....	26
2	ชนิดของแก๊สเชิงเดี่ยวที่ใช้เป็นแก๊สนับในหลอดจีเอ็ม.....	37
3	ชนิดของแก๊สพอลีอะตอมิกที่ใช้เป็นแก๊สระดับในหลอดจีเอ็ม.....	38
4	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c / r_a = 18.00$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	47
5	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c / r_a = 20.00$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	48
6	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c / r_a = 22.00$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	49
7	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c / r_a = 24.00$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	50
8	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c / r_a = 26.67$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	51
9	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c / r_a = 29.33$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	52
10	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c / r_a = 36.00$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	53
11	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c / r_a = 40.00$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	54
12	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c / r_a = 44.00$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	55

13	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c / r_a = 100.00$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	56
14	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c / r_a = 111.1$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	57
15	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c / r_a = 122.2$ เท่า แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์.....	58
16	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c / r_a = 18.00$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	59
17	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c / r_a = 20.00$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	60
18	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c / r_a = 22.00$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	61
19	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c / r_a = 24.00$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	62
20	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c / r_a = 26.67$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	63
21	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c / r_a = 29.33$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	64
22	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c / r_a = 36.00$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	65
23	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c / r_a = 40.00$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	66

24	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c / r_a = 44.00$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	67
25	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c / r_a = 100.0$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	68
26	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c / r_a = 111.1$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	69
27	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c / r_a = 122.2$ เท่า แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์.....	70
28	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c / r_a = 18.00$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	71
29	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c / r_a = 20.00$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	72
30	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c / r_a = 22.00$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	73
31	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c / r_a = 24.00$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	74
32	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c / r_a = 26.67$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	75
33	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c / r_a = 29.33$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	76
34	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c / r_a = 36.00$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	77

35	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c / r_a = 40.00$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	78
36	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c / r_a = 44.00$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	79
37	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.9$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c / r_a = 100.0$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	80
38	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.0$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c / r_a = 111.1$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	81
39	หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c / r_a = 122.2$ เท่า แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์.....	82
40	แสดงค่าศักย์เริ่มต้นและความยาวที่ราบของหลอดจีเอ็มทุกหลอดที่ใช้ทดลอง เมื่อมีการแปรอัตราส่วน r_c / r_a 12 ค่า และมีการแปรอัตราส่วนผลมของแก๊ส ระดับ 3 ค่า.....	83

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	แผนผังแสดงการต่อหลอดจีเอ็มเข้ากับแผนภาพแท่งของวงจรอิเล็กทรอนิกส์.....	4
2	หลอดจีเอ็มแบบหลอดผนังบาง.....	5
3	หลอดจีเอ็มแบบจุ่ม.....	6
4	หลอดจีเอ็มแบบเปลือกหุ้ม.....	6
5	หลอดจีเอ็มแบบวัดได้รอบด้าน.....	7
6	หลอดจีเอ็มแบบมีหน้าต่างตรงปลาย.....	7
7	แสดงส่วนประกอบของหลอดจีเอ็มแบบพหุคูณใช้วัดรังสีแกมมาได้.....	8
8	แสดงส่วนประกอบของหลอดจีเอ็มเชิงประกอบใช้วัดรังสีเอกซ์.....	9
9	แสดงลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดจีเอ็ม.....	14
10	แสดงการเกิดกระบวนการกล่อม.....	16
11	แสดงช่วงเวลา เวลาอับ เวลาการฟื้นตัว และเวลาแยก.....	17
12	(ก) แสดงแผนผังการระบายแบบใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบกับแผนภาพแท่ง ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์.....	19
	(ข) แสดงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เทียบเท่าวงจรหลอดจีเอ็มในรูป (ก).....	19
13	แสดงการแตกตัวและการเคลื่อนที่ของไอออนบวกและอิเล็กตรอนภายในหลอดจีเอ็ม (ก) การเคลื่อนที่ของไอออนบวกและอิเล็กตรอน.....	20
	(ข) การรับประจุของแก๊สระบาย.....	20
14	กราฟแสดงลักษณะเฉพาะที่ราบไกเกอร์ของหลอดจีเอ็มแบบมีหน้าต่างตรงปลาย.....	22
15	ภาคตัดขวางด้านหน้าต่างของหลอดจีเอ็มรูปทรงกระบอกแสดงเส้นแรงสนามไฟฟ้าที่ เกิดขึ้นภายในหลอดจีเอ็มและตำแหน่งคู่อิออน.....	23

16	ภาคตัดขวางด้านตั้งของหลอดจีเอ็มแสดงส่วนประกอบภายใน.....	24
17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนกับฟังก์ชัน E/p ...	26
18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนกับฟังก์ชัน E/p ของแก๊สอาร์กอน ณ ความดันต่างๆกัน.....	27
19	แสดงวงจร RC เทียบเท่าการทำงานของหลอดจีเอ็มให้ได้พัลส์มีรูปร่างคล้ายกัน.....	28
20	กราฟแสดงการลดลงของกระแส I_c ที่ประจุให้แก่ตัวเก็บประจุในวงจร RC	29
21	แสดงการเพิ่มความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุเมื่อมีการประจุ.....	30
22	แสดงการลดลงของความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุเมื่อมีการปลดปล่อยประจุ...	31
23	แสดงรูปร่างพัลส์จากวงจร RC ที่เทียบเท่ากับพัลส์ศักย์จากหลอดจีเอ็ม.....	32
24	แสดงรูปร่างกระแสในตอนประจุกับตอนปลดปล่อยต่อเนื่องกัน.....	33
25	แสดงรูปร่างของพัลส์จากหลอดจีเอ็มขนาด $r_c / r_a = 100$ และอัตราส่วนของ $\tau : t_+ $ เป็น $\infty, 1/2$ และ $1/6$	34
26	แผนผังแสดงการหาเวลาเก็บไอออนบวก.....	35
27	แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดจีเอ็มที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ทดลอง.....	41
28	แสดงส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทดลองหาลักษณะเฉพาะ การผสม และบรรจุ แก๊สเข้าในหลอดจีเอ็ม.....	42
29	แสดงการต่อหลอดจีเอ็มเข้ากับภาคปรับตัว เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าศักย์สูง เครื่องนับ พร้อมเครื่องตั้งเวลา และออสซิลโลสโคป.....	43
30	กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 18$ เท่า ส่วนผสมของแก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1350 โวลต์ ที่ราบ ยาว 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4 เปอร์เซนต์ต่อ 100 โวลต์.....	47

- 31 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 20.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1425 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 9.24 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 48
- 32 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 22.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1425 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 8.18 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 49
- 33 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 24.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1275 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.56 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 50
- 34 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 26.67$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1350 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.03 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 51
- 35 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 29.33$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1350 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 6.24 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 52
- 36 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 36.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1200 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.46 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 53
- 37 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 40.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1250 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 13.11 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 54

- 38 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 44.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1250 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 11.36 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 56
- 39 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 100$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2100 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.08 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 57
- 40 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 111.1$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1900 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 7.7 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 58
- 41 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 122.2$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 10% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2200 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 10.44 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 59
- 42 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 18.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1400 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.93 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 60
- 43 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 20.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1450 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 13.76 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 61
- 44 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 22.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1450 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 10.76 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 62

- 45 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 24.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1350 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 11.73 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 62
- 46 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 26.67$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1375 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 10.43 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 63
- 47 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 29.33$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1350 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.34 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 64
- 48 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 36.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1225 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 11.85 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 65
- 49 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 40.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1275 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 15.53 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 66
- 50 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 44.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1300 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 125 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.1 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 67
- 51 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 100$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2200 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.13 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 68

- 52 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 111.1$ เท่า ส่วนผสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2000 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.02 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 69
- 53 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 122.2$ เท่า ส่วนผสมของ
แก๊สระดับ 15% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2400 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.36 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 70
- 54 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 18.00$ เท่า ส่วนผสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1450 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 9.8 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 71
- 55 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 20.00$ เท่า ส่วนผสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1475 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 17.41 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 72
- 56 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 22.00$ เท่า ส่วนผสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1475 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.13 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 73
- 57 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 24.00$ เท่า ส่วนผสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1400 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 3.58 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 74
- 58 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 26.67$ เท่า ส่วนผสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1500 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.95 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 75

- 59 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 29.33$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1500 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.55 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 76
- 60 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 36.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1275 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.05 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 77
- 61 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 40.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1375 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 125 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.58 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 78
- 62 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 44.00$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1450 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 150 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 9.22 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 79
- 63 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 100$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2400 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 400 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.88 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 80
- 64 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 111.1$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2200 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 400 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.3 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 81
- 65 กราฟแสดงที่ราบไคเกอร์ของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 122.2$ เท่า ส่วนผลสมของ
แก๊สระดับ 20% ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2500 โวลต์ ที่ราบ
ยาว 400 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.32 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์..... 82

- 66 กราฟแท่งจากผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าศักย์เริ่มต้นของ
หลอดจีเอ็มแต่ละหลอด เมื่อมีการแปรอัตราส่วนผสมของแก๊สระดับ 3 ค่า และ
มีการแปรอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและแอโนด 12 ค่า..... 84
- 67 กราฟแท่งจากผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ความยาวที่ราบของ
หลอดจีเอ็มแต่ละหลอด เมื่อมีการแปรอัตราส่วนผสมของแก๊สระดับ 3 ค่า และมี
การแปรอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและแอโนด 12 ค่า..... 85
- 68 แสดงส่วนประกอบสำคัญของชุดเป่าแก้วสำหรับสร้างหลอดจีเอ็ม..... 96
- 69 แสดงส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเชื่อมโลหะแผ่นชนิดบางและลวดโลหะขนาดเล็ก... 96

บทที่ 1

บทนำ

นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีเป็นนิวเคลียสที่ไม่เสถียร จึงแผ่กัมมันตภาพรังสีออกมาในรูปของอนุภาคหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การจัดนิวเคลียสของธาตุให้เสถียรขึ้นกว่าเดิมนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี จะแผ่รังสีเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดพร้อมๆกันก็ได้ เช่น รังสีแอลฟา รังสีบีตา รังสีแกมมา วิธีการที่จะรู้ได้ว่า วัตถุธาตุใดปล่อยกัมมันตภาพรังสีออกมาอย่างน้อยเท่าใด หรือมีฝุ่นกัมมันตรังสีปนเปื้อนอยู่ที่ใดบ้าง รวมทั้งการตรวจหาแร่ยูเรเนียมในวัตถุกัมมันตรังสีต่างๆที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และใช้วัดกัมมันตภาพรังสีจากวัตถุธาตุในห้องทดลอง จะใช้เครื่องมือที่นักวิทยาศาสตร์ได้ประดิษฐ์ไว้สำหรับวัดหรือตรวจกัมมันตภาพรังสี ซึ่งทำงานโดยใช้หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์ (สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. 2502 : 111-112)

เครื่องนับนับมีอยู่หลายแบบ แต่ละแบบก็เหมาะสมที่จะใช้วัดกัมมันตภาพรังสีของธาตุที่แผ่รังสีออกมาเฉพาะเพียงบางประเภทของรังสี และใช้ได้ดีเพียงบางช่วงของพลังงานส่วนมากเครื่องนับเกือบจะทุกๆแบบประกอบไปด้วยหน่วยหลัก 2 หน่วย ดังนี้

1. ตัวตรวจหา ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของรังสีประเภทต่างๆที่ผ่านเข้ามาในตัวตรวจหา ไปเป็นสัญญาณพัลส์ไฟฟ้า (electrical pulse) ต่อไปจะเรียกว่า พัลส์

2. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หน่วยนี้ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานเหมาะสมกับพัลส์จากตัวตรวจหา โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะต้องสามารถนับจำนวนพัลส์ในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ได้ชัดเจน (ศลักษณ์ ทรรพนันท์. 2527 : 204)

ประเภทของเครื่องนับ

เครื่องนับการแผ่รังสีแบบธรรมดา นั้น ทำงานโดยอาศัยความจริงที่ว่าอนุภาคที่มีประจุและโฟตอนทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน(ionization) ของแก๊สในตัวกลางเฉพาะที่มัน

มีอันตรกิริยาด้วย แต่อนุภาคที่ไม่มีประจุ เช่น นิวตรอนไม่สามารถทำให้เกิดไอออนได้ เครื่องนับรังสีต่างๆอาจแบ่งกลุ่มได้ดังต่อไปนี้

1. เครื่องนับแบบบรรจุแก๊ส (gas-filled counters) มี

1.1 ห้องการแตกตัวเป็นไอออน แบบธรรมดา (simple ionization chamber)

1.2 เครื่องนับสัดส่วน (proportional counter)

1.3 เครื่องนับไกเกอร์-มิลเลอร์ (Geiger-Müller counter)

2. เครื่องนับที่มองเห็นได้ด้วยตา สำหรับพลังงานต่ำมี

2.1 ห้องหมอก (cloud chamber)

2.2 ห้องแพร่ (diffusion chamber)

2.3 นิวเคลียร์ อิมัลชัน (nuclear emulsions) ใช้วัดอนุภาคพลังงานสูง

3. เครื่องนับการเปล่งแสงวับ (scintillation counter)

4. ตัวตรวจหาสารกึ่งตัวนำ (semiconductor detector)

5. เครื่องนับสำหรับพลังงานสูง มี

5.1 ห้องฟอง (bubble chamber)

5.2 ห้องประกาย (spark chamber)

5.3 ตัวตรวจหาเชเรนโกฟ (Cerenkov detector)

การที่จะใช้เครื่องนับชนิดใดขึ้นอยู่กับชนิดของการวัด และอาจมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขรูปแบบของเครื่องนับเหล่านี้ (อรุณย์ แสงอริยวณิช. 2525 : 105-106)

เครื่องนับไกเกอร์-มิลเลอร์

เครื่องนับไกเกอร์-มิลเลอร์หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องนับจีเอ็ม (GM counter) เป็นเครื่องนับที่อาศัยหลักการแตกตัวเป็นไอออนของแก๊สบางชนิด ที่บรรจุในหลอดจีเอ็ม (GM tube) เมื่อมีกัมมันตภาพรังสีผ่านเข้าไปในหลอด เครื่องนับไกเกอร์จะตรวจจับกัมมันตภาพรังสีนั้นได้ แต่ไม่สามารถจำแนกได้ว่ากัมมันตภาพรังสีนั้นเป็นชนิดใด

1. ประวัติความเป็นมาของเครื่องนับจีเอ็ม

รัทเทอร์ฟอร์ด (Rutherford, Lord Ernest) และไกเกอร์ (Geiger, Hans) ได้สร้างและนำมาใช้งานเป็นครั้งแรก ในปี ค.ศ.1908 เครื่องนับนี้ประกอบด้วยกระบอกทองเหลือง ยาว 20 cm เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.7 cm แกนกลางทำด้วยลวดโลหะเส้นเล็กๆ ภายในกระบอกบรรจุแก๊สความดันต่ำ เครื่องนับนี้สามารถใช้วัดอนุภาคแอลฟาจากแร่เรเดียมได้

ในปี ค.ศ.1913 ไกเกอร์ได้ปรับปรุงเครื่องนับนี้ให้ทำงานได้ดีกว่าเดิม เรียกว่า เครื่องนับไกเกอร์ (Geiger counter)

ต่อมาในปี ค.ศ.1924 ไกรแนคเซอร์ (Greinacher, H.) นักฟิสิกส์ชาวสวิส เสนอให้ใช้หลอดสูญญากาศขยายสัญญาณจากหลอดจีเอ็มจะช่วยให้ได้สัญญาณดีขึ้น

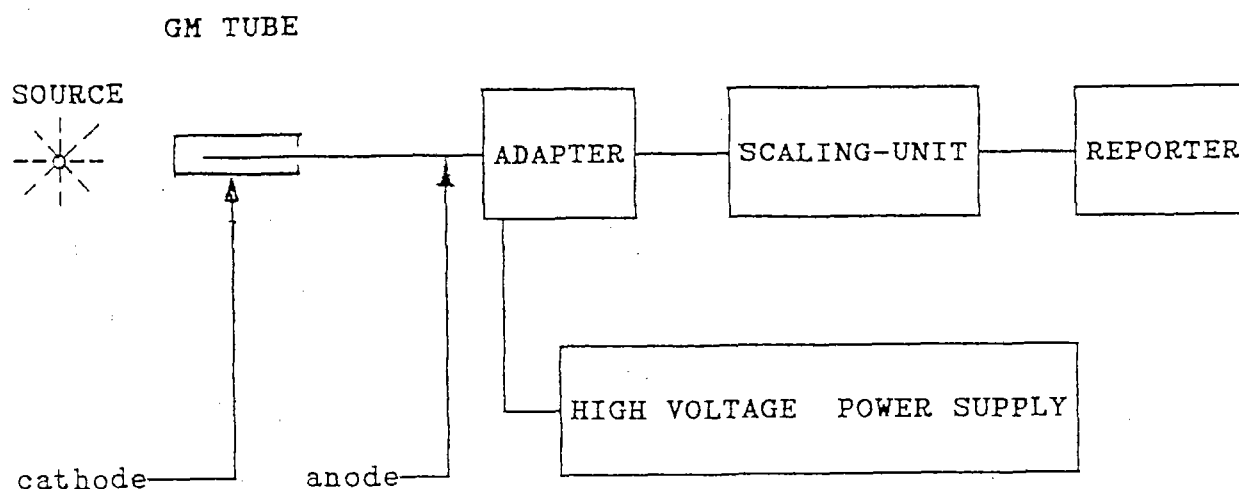
ในปี ค.ศ.1928 ไกเกอร์ และมิลเลอร์ (Müller, Erwin Wilhelm) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ร่วมกันพัฒนาเครื่องนับแบบนี้อีกครั้งโดย การนำวงจรหลอดสูญญากาศเข้ามาช่วยขยายสัญญาณ ทำให้เครื่องนับมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ใช้งานได้เป็นอย่างดี มีผู้นิยมใช้จนทุกวันนี้ เรียกว่า เครื่องนับไกเกอร์-มิลเลอร์ (อัตรา วงศ์เนตร. 2530 : 10)

2. หน่วยประกอบสำคัญของเครื่องนับจีเอ็ม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของแต่ละหน่วยโดยสังเขป ดังภาพประกอบ 1 แสดงแผนภาพของส่วนประกอบสำคัญของเครื่องนับจีเอ็ม

2.1 หลอดจีเอ็ม เมื่อมีอนุภาคหรือรังสีผ่านเข้าไปในหลอดจีเอ็ม ที่ต่อไว้ด้วยความต่างศักย์สูง เมื่อวิ่งไปชนโมเลกุลของแก๊สในหลอด โมเลกุลของแก๊สจะแตกตัวเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอน ไอออนบวกก็จะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแคโทดและอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดพร้อมๆกัน ทำให้เกิดมีกระแสผ่านออกจากหลอดเข้าสู่ภาคปรับตัว (adapter) ในภาพประกอบของสัญญาณไฟฟ้าต่อเนื่อง (continuous signal)

2.2 ภาคจ่ายกำลังไฟฟ้าศักย์สูง (high voltage power supply) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยสร้าง และป้อนความต่างศักย์สูงกระแสตรงให้แก่หลอด ทั้งนี้สามารถปรับค่าความต่างศักย์ได้ตามความต้องการ นอกจากนี้นังวงจรนี้ยังช่วยจ่ายกำลัง



ภาพประกอบ 1 แผนผังแสดงการต่อหลอดจีเอ็มเข้ากับแผนภาพแท่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ไฟฟ้าให้แก่ภาคปรับตัวด้วย

2.3 ภาคปรับตัว (adapter) เป็นวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ดังนี้

2.3.1 ส่งผ่านความต่างศักย์สูงไปยังหลอดจีเอ็ม

2.3.2 รับสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการนับกัมมันตภาพรังสีจาก

หลอดจีเอ็มในรูปของสัญญาณต่อเนื่อง

2.3.3 แปลงสัญญาณต่อเนื่องให้เป็นพัลส์เชิงอุปมาน(analog pulse)

ซึ่งมีรูปร่างคล้าย เส้นโค้งเกาส์ พัลส์เชิงอุปมานจากภาคนี้ จะถูกส่งต่อไปยังหน่วยนับและแสดงผล

2.4 หน่วยนับ (scaling unit) หน่วยนี้ประกอบด้วยภาคต่างๆ ดังนี้

2.4.1 ภาควิเคราะห์ความสูงของพัลส์ (pulse height analyzer) ทำหน้าที่เปลี่ยนพัลส์เชิงอุปมานไปเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (digital signal) และเปรียบเทียบให้ได้จำนวนนับที่ถูกต้อง แล้วส่งต่อไปแสดงผล

2.4.2 ภาคตั้งเวลา (timer) ทำหน้าที่ตั้งช่วงเวลาในการนับ เช่น ถ้าตั้งให้นับจำนวนพัลส์ในเวลา 1 นาที หน่วยนับก็จะนับจำนวนพัลส์ที่เข้ามาในช่วงเวลา

1 นาที และหลังจากเริ่มต้นนับไปจนครบตามกำหนดเวลาแล้ว ก็หยุดนับโดยอัตโนมัติ

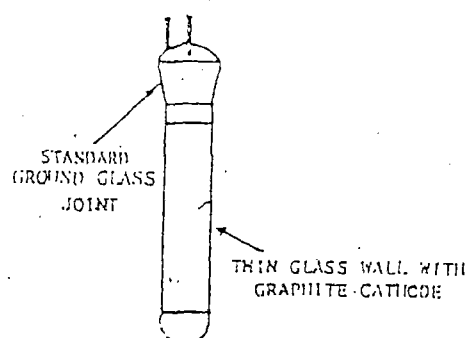
2.4.3 ภาควัด (display) ทำหน้าที่แสดงผลการนับจำนวนพัลส์ในช่วงเวลาที่ตั้งไว้ที่ภาควัดผล จะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขชนิดไดโอดเปล่งแสง (LED : light emitting diode) ชนิด 7 ส่วน (7 - segment) จำนวน 6 ตัว เรียงกันไป

2.5 หน่วยรายงานผล (reporter) ทำหน้าที่เชื่อมประสาน (interface) หน่วยนับเข้ากับเครื่องมือที่จะใช้รายงานผลการนับ ในรูปแบบที่ต้องการ เช่น ไมโครคอมพิวเตอร์ เครื่องลงจุด (plotter) พรินเตอร์ (printer) เป็นต้น

3. หลอดจีเอ็มแบบต่างๆ

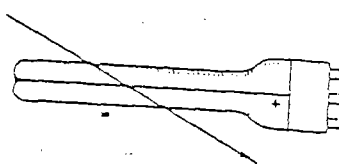
ได้มีการออกแบบหลอดจีเอ็มให้มีลักษณะแตกต่างกันออกไป เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้วแต่ว่าเป็นรังสีชนิดใดและมีระดับพลังงานเท่าใด มีอยู่หลายแบบดังนี้

3.1 หลอดจีเอ็มแบบหลอดผนังบาง มีลักษณะดังภาพประกอบ 2 ตัว หลอดทำด้วยแก้ว หนาประมาณ 30 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร เหมาะสำหรับใช้วัดรังสีบีตาที่มีพลังงานสูง เช่น รังสีบีตาจาก ฟอสฟอรัส - 32 โพแทสเซียม - 42 โซเดียม-24 ถ้านำไปวัดรังสีบีตาที่มีพลังงานปานกลาง เช่น รังสีบีตาจาก ไอโอดีน - 131 ทอง - 198 จะให้ผลการวัดต่ำมาก และถ้านำไปวัดรังสีบีตาพลังงานต่ำ เช่น รังสีจาก นิกเกิล-63 จะวัดไม่ได้ผล



ภาพประกอบ 2 หลอดจีเอ็มแบบหลอดผนังบาง (ธีระ วงศ์เนตร. 2530 : 5)

3.2 หลอดจีเอ็มแบบจุ่ม มีลักษณะดังภาพประกอบ 3 ผนังหลอดทำด้วยแก้วบางๆ ใช้วัดรังสีบีตา หรือรังสีแกมมา โดยจุ่มลงในสารตัวอย่างที่เป็นของเหลว ข้อควรระวังคือสารตัวอย่างบางชนิดล้างออกได้ยาก

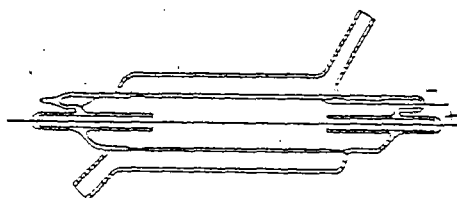


beta,gamma.

internal graphite coating

ภาพประกอบ 3 หลอดจีเอ็มแบบจุ่ม (ธีระ วงศ์เนตร. 2530 : 5)

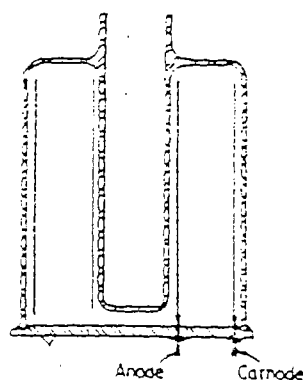
3.3 หลอดจีเอ็มแบบเปลือกหุ้ม มีลักษณะดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 หลอดจีเอ็มแบบเปลือกหุ้ม (Price. 1958 : 116)

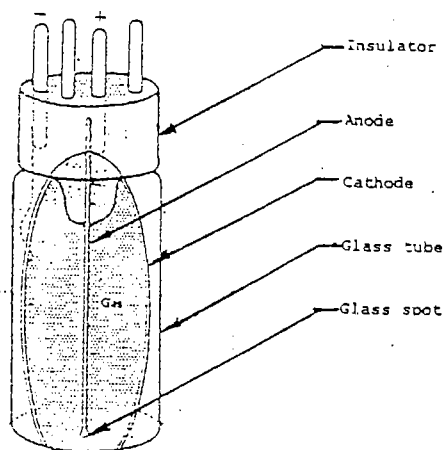
ผนังหลอดเป็นรูปทรงกระบอก 2 อัน ซ้อนกันหลอดในทำด้วยแก้วบางๆ ใช้วัดรังสีจากสารที่เป็นของเหลว โดยบรรจุสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวเข้าไปได้ประมาณ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เหมาะสำหรับวัดรังสีบีตาที่มีพลังงานต่ำๆ จนถึงมีค่าประมาณ 0.3 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์(MeV) และมีประสิทธิภาพในการนับถึง 10 %

3.4 หลอดจีเอ็มแบบวัดได้รอบด้าน ดังภาพประกอบ 5 ประกอบไปด้วยแอโนด และแคโทดบรรจุไว้ในโพรงแก้ว ตรงกลางกลวงคล้ายขวด เมื่อใช้วัดให้ใส่สารตัวอย่างลงในกลางขวดแก้วเล็กๆจะสามารถใส่ได้ประมาณ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้มี เวลาอับ (dead time) น้อยกว่า 200 ไมโครวินาที วัดรังสีบีตาพลังงานปานกลางได้



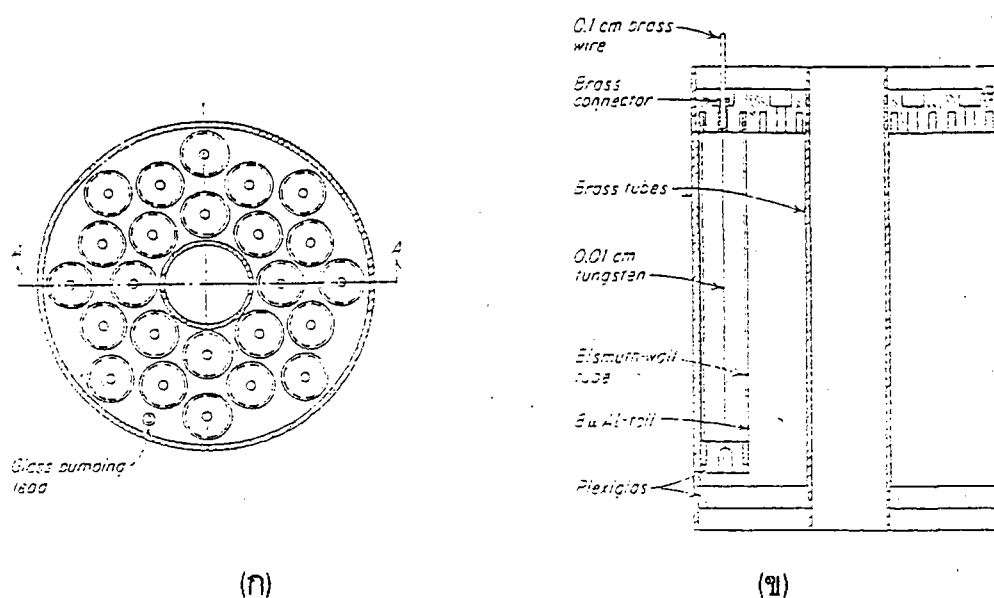
ภาพประกอบ 5 หลอดจีเอ็มแบบวัดได้รอบด้าน (ธีระ วงศ์เนตร. 2530 : 6)

3.5 หลอดจีเอ็มแบบมีหน้าต่างตรงปลาย มีอยู่หลายลักษณะดังภาพประกอบ 6 ลักษณะที่เหมือนกัน คือ มีหน้าต่าง (window) สำหรับรับรังสีที่ปลายข้างหนึ่ง อาจทำด้วยไมกา (mica) ไมลาร์ (mylar) แก้วบางๆ หรือแผ่นเหล็กบางๆ เพื่อให้รังสีผ่านเข้าไปได้ เป็นแบบที่นิยมสร้างกันอย่างแพร่หลาย ประสิทธิภาพในการวัดต่ำ ถ้านำไปวัดรังสีบีตาที่มีพลังงานต่ำ แต่จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ถึง 30% ถ้าใช้วัดรังสีที่มีพลังงานสูง



ภาพประกอบ 6 หลอดจีเอ็มแบบมีหน้าต่างตรงปลาย (เฉลิม ศรีสุวรรณ. 2524 : 2)

3.6 หลอดจีเอ็มแบบพหุคูณ มีลักษณะดังภาพประกอบ 7 (ก) และ (ข)



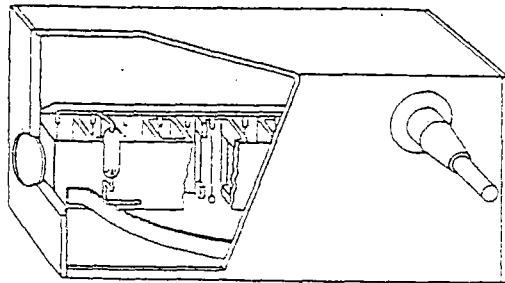
ภาพประกอบ 7 แสดงส่วนประกอบของหลอดจีเอ็มแบบพหุคูณใช้วัดรังสีแกมมาได้ (Price. 1958 : 142)

เป็นการนำเอาหลอดจีเอ็ม 24 หลอด มาวางเรียงรายรอบๆทรงกระบอกแก้ว 2 ชั้นอันเดียวกัน แล้วต่อขั้วไฟฟ้าแบบขนาน มีผลทำให้หลอดจีเอ็มชุดนี้ มีเวลาอับสั้นๆประมาณ 3 - 4 ไมโครวินาที นับได้ว่าเป็นหลอดจีเอ็มที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถวัดรังสีแกมมาได้

3.7 หลอดจีเอ็มเชิงประกอบ มีลักษณะดังภาพประกอบ 8 หลอดจีเอ็มแบบนี้เป็นการนำเอาหลอดจีเอ็ม 10 หลอดมาต่อขั้วไฟฟ้าขนานกัน แล้ววางเรียงเป็นรูปวงแหวน เมื่อวัดให้ใส่ตัวอย่างสารที่ต้องการวัดลงไปในวงแหวน หลอดจีเอ็มแบบนี้สามารถวัดรังสีเอกซ์ ที่มีพลังงานประมาณ 8 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ได้

4. ข้อดีและข้อเสียของหลอดจีเอ็ม

เครื่องนับจีเอ็มนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง มีประสิทธิภาพใน



ภาพประกอบ 8 แสดงส่วนประกอบของ หลอดจีเอ็มเชิงประกอบ ใช้วัตต์รังสีเอกซ์ (Price. 1958 : 143)

การวัดรังสีบีตาได้เกือบ 100 % วัดรังสีแกมมาได้ดีพอสมควร และบางครั้งก็สามารุใช้วัดรังสีแอลฟาได้ ถ้าน้าต่างรับรังสีบางพอ ในการนำไปใช้งานจริงหลอดจีเอ็มก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังต่อไปนี้

4.1 ข้อดีของหลอดจีเอ็ม

4.1.1 วัดรังสีได้หลายชนิด แต่จำแนกชนิดของรังสีไม่ได้

4.1.1 พัลส์ที่ได้จากหลอดจีเอ็ม จะมีขนาดใหญ่พัลส์สูงประมาณ 0.5 ถึง 10 โวลต์ ช่วยให้การสร้างหน่วยนับทำได้ง่าย

4.1.3 นำไปเชื่อมประสานกับเครื่องมืออื่น ที่ต้องการให้รายงานผลทำได้ง่าย เช่น เชื่อมประสานเข้ากับเครื่องขยายเสียง เพื่อใช้เป็นชุดสำรวจ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลแบบของกราฟ เป็นต้น

4.2 ข้อเสียของหลอดจีเอ็ม

4.2.1 พัลส์ที่ได้จากหลอดจีเอ็มไม่สามารถแยกได้ว่า เกิดจากรังสีชนิดใด จึงให้รายละเอียดได้เฉพาะ จำนวนการนับรังสีในช่วงเวลาที่กำหนดไว้เท่านั้น

4.2.2 หลอดจีเอ็มมีเวลาอับค่อนข้างยาวมาก คือ ประมาณ 300 ถึง 600 ไมโครวินาที ถ้านำไปวัดรังสีจากสารที่มีกัมมันตภาพรังสีสูงมากๆ จะนับจำนวน

คลาดเคลื่อน ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อมีรังสีแม่เข้ามาในหลอดจีเอ็มความถี่สูงคาบเวลาน้อยกว่าช่วงเวลาอธิบายความว่าในช่วงเวลาอับรังสีจะเข้ามาที่ครั้งก็ตาม หลอดจีเอ็มก็จะให้พัลส์ออกมาเพียงครั้งเดียวเท่านั้น และหน่วยนับก็จะนับครั้งเดียวเช่นกัน ทำให้ผลการนับผิดไปจากจำนวนรังสีที่เข้ามาจริง

4.2.3 ความต่างศักย์ที่ให้แก่อานอดและแคโทดทั้งสองของหลอดจีเอ็มเป็นไฟฟ้าแรงสูง มีค่าประมาณ 600 ถึง 3000 โวลต์ ถ้าสร้างสิ่งป้องกัน และระมัดระวังไม่ดีพออาจทำให้ผู้ใช้เป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้

สรุปได้ว่า เครื่องนับจีเอ็มจึงเป็นเครื่องนับที่ควรได้รับความสนใจศึกษาเพื่อสร้างและนำมาใช้ในเมืองไทยเราได้อย่างกว้างขวาง เพราะเหตุดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างของหลอดจีเอ็ม ไม่ซับซ้อนอยู่ในวิสัยที่จะสร้างได้ โดยใช้วัสดุที่มีในประเทศไทย
2. วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบกับหลอดจีเอ็ม เพื่อขยายพัลส์ทำได้ง่าย และราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับเครื่องนับแบบอื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถดัดแปลงให้เป็นเครื่องนับขนาดเบา นำติดตัวไปใช้ในงานสำรวจได้ด้วย
3. เมื่อสร้างได้สำเร็จสามารถนำไปเข้าสู่อุตสาหกรรมการผลิต เพื่อใช้ในหองปฏิบัติการนิวเคลียร์ฟิสิกส์ในสถาบันที่มีการสอนวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์ ที่ขาดแคลนได้

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสร้างหลอดจีเอ็ม ชนิดปิดรูปทรงกระบอก มีโครงสร้างห้องบรรจุแก๊สทำด้วยแก้ว ภายในประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ แคโทด ทำจากแผ่นโลหะทำเป็นรูปทรงกระบอกรอบๆหลอดแก้ว และแอโนดทำจากเส้นลวดโลหะตั้งตรงตามแนวแกนกลางของหลอดแก้ว บรรจุแก๊สที่ผสมกับแก๊สระดับด้วยอัตราส่วน และความดันภายในหลอดที่เหมาะสม

2. เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็ม ที่มีอัตราส่วนต่างๆระหว่างรัศมีของแคโทด และรัศมีของแอโนด

3. เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็ม ที่มีอัตราส่วนต่างๆโดยความดันระหว่างแก๊สอาร์กอนซึ่งใช้เป็นแก๊สนำ และไอของเอทิลแอลกอฮอล์ซึ่งใช้เป็นแก๊สระดับ ที่ความดันรวม 100 ทอร์ (torr)

4. การศึกษาเพื่อสร้างหลอดจีเอ็มครั้งนี้ ได้ยึดหลักการดังต่อไปนี้

4.1 ใช้วัสดุที่หาได้ภายในประเทศไทย

4.2 ใช้วัสดุทดแทนเท่าที่เป็นไปได้

ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภาคปรับตัว เพื่อประกอบกับหลอดจีเอ็มมาตรฐาน จนมีผลทำให้ได้ลักษณะเฉพาะที่ราบตามมาตรฐานของหลอดจีเอ็มนั้น

2. สร้างและศึกษาหลอดจีเอ็มและนำไปใช้ประกอบกับวงจรในข้อ 1 โดยแต่ละหลอดมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

2.1 หลอดจีเอ็มเป็นแบบมีหน้าต่างตรงปลาย (end window GM tube) ตัวหลอดทำจากแก้วไฟเร็ก ขั้วแคโทดเป็นโลหะรูปทรงกระบอกทำด้วยสแตนเลสขั้วแอโนดเป็นลวดทังสเตน ตั้งไว้ตามแนวแกนกลางของหลอด ใช้อาร์กอน และไอของเอทิลแอลกอฮอล์เป็นแก๊สนำ และแก๊สระดับตามลำดับ

2.2 การแปรหลอดจีเอ็มต่างๆเป็นดังนี้

2.2.1 ใช้หลอดแก้ว 3 ขนาดคือ $\varnothing$ 20 mm, $\varnothing$ 22 mm และ $\varnothing$ 25 mm

2.2.2 ใช้ขั้วแคโทด 3 ขนาดคือ $\varnothing$ 18 mm, $\varnothing$ 20 mm และ $\varnothing$ 22 mm

2.2.3 ใช้ขั้วแอโนด 4 ขนาด คือ $\varnothing$ 0.18 mm, $\varnothing$ 0.50 mm, $\varnothing$ 0.75mm

และ $\varnothing$ 1.00 mm

2.3 การแปรอัตราส่วนของความดันของแก๊สอาร์กอน และไอของเอทิลแอลกอฮอล์เป็นดังนี้ ความดันของแก๊สอาร์กอนตั้งแต่ 75 % ขึ้นไป ความดันรวม 100 ทอร์

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

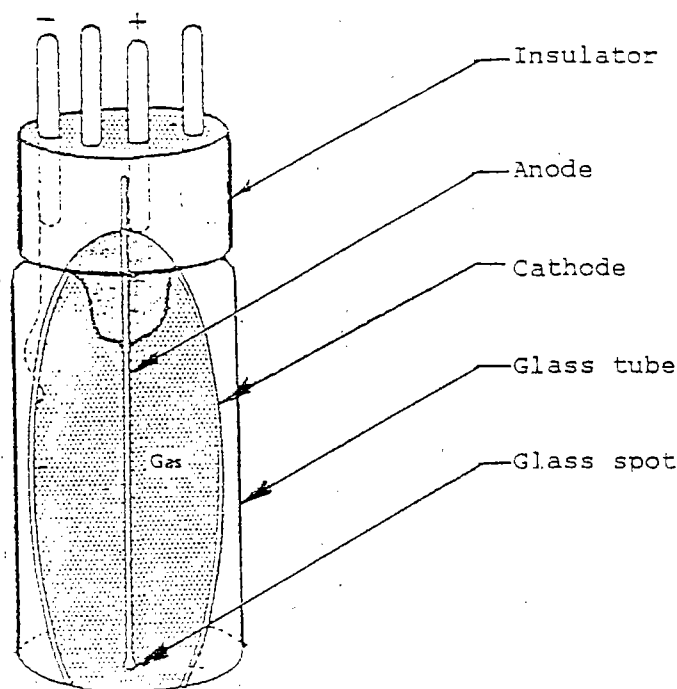
หลักการทำงานของเครื่องนับจีเอ็มชนิดปิด ที่มีหลอดเป็นรูปทรงกระบอกทำจากหลอดแก้ว และมีหน้าต่างตรงปลาย (end - window GM tube) หลอดดังกล่าวมีส่วนประกอบสำคัญและหลักการทำงาน ดังนี้

1. โครงสร้างส่วนประกอบสำคัญของหลอดจีเอ็ม

ภาพประกอบ 9 แสดงส่วนประกอบสำคัญของหลอดจีเอ็มรูปทรงกระบอก ให้เห็นว่า ภายนอกเป็นหลอดแก้วบางลักษณะปลายปิดทั้งสองข้างภายในหลอดแก้วมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วได้แก่ แคโทดและแอโนด โดยแคโทดทำด้วยโลหะรูปทรงกระบอกปลายเปิดทั้งสองข้างและมีขั้วต่อด้วยลวดโลหะออกมานอกหลอดแก้ว ส่วนแอโนดทำด้วยลวดโลหะต่งไว้ตามแนวแกนกลางของหลอด ปลายหนึ่งของแอโนดหุ้มด้วยแก้วมีลักษณะเป็นก้อนกลมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดประกายไฟระหว่างแอโนดและแคโทด ปลายหนึ่งต่อเส้นลวดออกมานอกหลอดแก้ว ภายในหลอดแก้วบรรจุด้วยแก๊สนับ (counting gas) และแก๊สระงับ (quenching gas) ซึ่งมักจะใช้แก๊สเฉื่อย เช่น อาร์กอน นีออน ฮีเลียม เป็นแก๊สนับผสมกับแก๊สระงับซึ่งมักจะเป็นไอของสารอินทรีย์เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ ในอัตราส่วนแก๊สนับ 90 % ต่อ แก๊สระงับ 10% หรือแก๊สหมู่แฮโลเจน เช่น คลอรีน ในอัตราส่วนแก๊สระงับ 0.2 % โดยความดัน และทำให้ความดันรวมภายในหลอดต่ำกว่า ความดันบรรยากาศ (Harvey, 1969 : 350)

2. กลไกการเกิดพัลส์และการปลดปล่อยประจุออกจากหลอดจีเอ็ม

เมื่อต้องการให้หลอดจีเอ็มทำงาน จะต้องนำขั้วไฟฟ้าทั้งสองต่อเข้ากับ



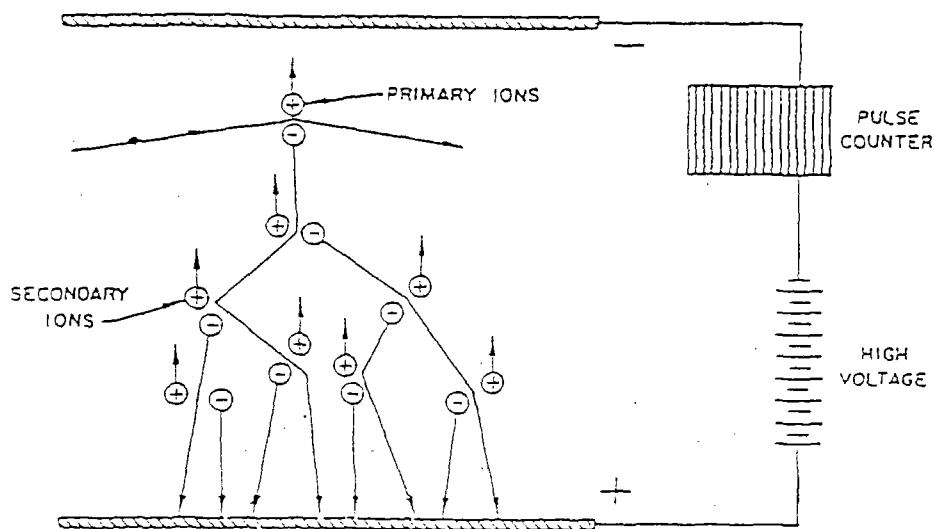
ภาพประกอบ 9 แสดงลักษณะโครงสร้าง และส่วนประกอบของหลอดจีเอ็ม (เฉลิม ศรีสุวรรณ. 2524 : 2)

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงความต่างศักย์สูงชนิดปรับค่าได้ โดยทั่วไปความต่างศักย์จะอยู่ในช่วง 600 ถึง 3000 โวลต์ หลอดจีเอ็มจึงจะนับรังสีและปล่อยพัลส์ออกมาได้รายละเอียดของการเกิดพัลส์และการปลดปล่อย เป็นดังนี้

2.1 การถล่ม (avalanche) เมื่อแอดและแคโทดของหลอดจีเอ็มที่บรรจุเฉพาะแก๊สชนิดเดียวได้รับความต่างศักย์ที่สูงพอ ก็จะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นระหว่างแอดกับแคโทด โดยความเข้มของสนามไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเข้าใกล้แอด ทั้งนี้เพราะ แอดทำด้วยลวดเส้นเล็กๆ และขณะที่มีความต่างศักย์สูงนี้ เมื่อมีอนุภาคหรือรังสีวิ่งไปชนโมเลกุลของแก๊ส จะถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลนั้นมากพอที่จะทำให้โมเลกุลของแก๊สดังกล่าวแตกตัวเป็นไอออนสองไอออน ซึ่งโดยปกติไอออนตัวหนึ่งจะเป็นโมเลกุลเดิมที่มีอิเล็กตรอนหลุดไปหนึ่งตัวไอออนนี้จะมีประจุบวกส่วนอีกตัวหนึ่งจะเป็นอิเล็กตรอนอิสระซึ่งหลุดออกมาจากโมเลกุลเดิมและมีประจุลบ อิเล็กตรอนอิสระนี้จะเคลื่อนที่เข้าหาแอด ภายใต้ความเข้มสนามไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มีผลทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร่งที่

เพิ่มขึ้น ความเร็วจะเพิ่มสูงขึ้น อิเล็กตรอนจะมีพลังงานจลน์สูงขึ้น เมื่อไปชนโมเลกุลของแก๊สตัวอื่นในระหว่างทางวิ่ง โมเลกุลตัวนั้นจะแยกออกเป็นสองไอออนใหม่ และอิเล็กตรอนอิสระตัวใหม่จะไปชนโมเลกุลตัวต่อไปให้แตกตัวออกเป็นสองไอออนเช่นกัน ทำให้ไอออนมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ (สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. 2502 : 114) เป็นการแตกตัวเป็นไอออนชนิดต่อเนื่องกัน จำนวนไอออนในหลอดจีเอ็มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เรียกกระบวนการดังกล่าวนี้ว่า การถล่ม ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 10 กลุ่มอิเล็กตรอนทั้งหลายที่เกิดขึ้นจากการถล่ม จะเคลื่อนที่ไปที่เส้นลวดแอโนด ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุตลอดแนวเส้นลวดแอโนดอย่างมาก แต่ละจำนวนอิเล็กตรอนที่ไปถึงแอโนดทุกครั้งที่เกิดการถล่มจะมีจำนวนใกล้เคียงกัน ทำให้ได้พัลส์จากหลอดจีเอ็มมีขนาดใกล้เคียงกัน และทำให้อ่านค่าระดับพลังงานไม่ได้ จึงไม่สามารถระบุชนิดของอนุภาคหรือรังสีได้

2.2 เวลาแยกของหลอดจีเอ็ม (resolving time of GM tube) การหาเวลาแยก (resolving time) เริ่มพิจารณาจากขณะที่อิเล็กตรอนชุดที่ 1 กำลังเคลื่อนที่เข้าหาแอโนดในช่วงเวลาสั้นๆ ด้วยความเร็ว ทำให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างมาก จนทำให้เกิดการถล่ม ไอออนบวกก็กำลังเคลื่อนที่ออกไปยังแคโทดแต่จะไปได้ไม่ไกลเท่าใด ทำให้ดูเหมือนว่าขนาดของแอโนดโตขึ้นเรื่อยๆ กว่าที่เป็นจริง ความเข้มสนามไฟฟ้ารอบๆ แอโนดจะลดลงชั่วคราว ดังนั้นอิเล็กตรอนตัวหลังที่กำลังเคลื่อนที่เข้าหาแอโนดก็จะมีความเร็วและความเร็วช้าลง แม้ว่าแก๊สในหลอดจะแตกตัวเป็นไอออนก็ตาม อิเล็กตรอนชุดใหม่นี้ก็ไม่สามารถที่จะเข้าถึงแอโนดได้ ในตอนนี้จึงยังไม่มีพัลส์ออกจากหลอดชั่วคราว ส่วนไอออนบวกก็ยังคงเคลื่อนที่เข้าหาแคโทดห่างจากแอโนดไปเรื่อยๆ เมื่อไปได้ระยะห่างพอสมควร อิเล็กตรอนชุดใหม่จึงจะสามารถเคลื่อนที่เข้าถึงแอโนดได้อีก อิเล็กตรอนแต่ละชุดที่เข้าไปครั้งหลังนี้มีจำนวนน้อย และเข้าถึงแอโนดไม่พร้อมกัน ในช่วงเวลานี้จะมีพัลส์ออกจากหลอดมาอีก แต่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับพัลส์จากการถล่มพัลส์เล็กๆ เหล่านี้จะออกมาหลายพัลส์ในเวลาใกล้เคียงกันแต่ละพัลส์มักมีขนาดเล็กเกินความสามารถของหน่วยนับที่จะนับได้ จากเหตุการณ์ดังกล่าวจึงได้กำหนดเวลาไว้ดังนี้

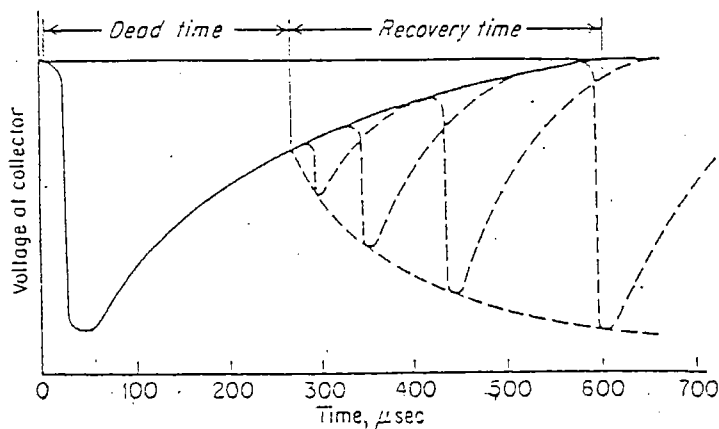


ภาพประกอบ 10 แสดงการเกิดกระบวนการถล่ม (Eichholz and Poston. 1979 : 96)

เวลาอับ (dead time) คือ ช่วงเวลาที่เริ่มต้นตั้งแต่เริ่มเกิดการถล่ม ไปจนถึง ขณะที่อิเล็กตรอนชุดใหม่เข้าไม่ถึงแอโนดไม่มีพัลส์ออกมาจากหลอดชั่วคราว ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นมีพัลส์ขนาดเล็กออกจากหลอด

เวลาการฟื้นตัว (recovery time) คือ ช่วงเวลาที่เริ่มจากการสิ้นสุด ช่วงเวลาอับ ไปจนถึงเวลาเริ่มต้นมีพัลส์จากการถล่มออกจากหลอดครั้งต่อไป เป็นพัลส์ ขนาดโตพอที่จะทำให้หน่วยนับทำงานได้

เวลาแยก (resolving time) คือ ช่วงเวลาที่เริ่มต้นตั้งแต่จุดเริ่มต้น ของเวลาอับ ไปจนถึงเวลาสิ้นสุดการฟื้นตัว ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่หลอดจีเอ็มให้พัลส์ออกมา 1 พัลส์ ที่มีขนาดโตพอที่จะไปทำให้หน่วยนับนับได้ 1 ครั้ง ในช่วงเวลาแยกนี้ถ้ามีอนุภาคหรือ รังสีจำนวนเท่าใดก็ตามผ่านเข้ามาในหลอดจีเอ็มๆก็จะนับเพียง 1 ครั้งเท่านั้น ในภาพ ประกอบ 11 แสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาและความสัมพันธ์ของเวลาทั้งสามชนิด



ภาพประกอบ 11 แสดงช่วงเวลา เวลาอับ เวลาการฟื้นตัว และ เวลาแยก (Price. 1958 : 126)

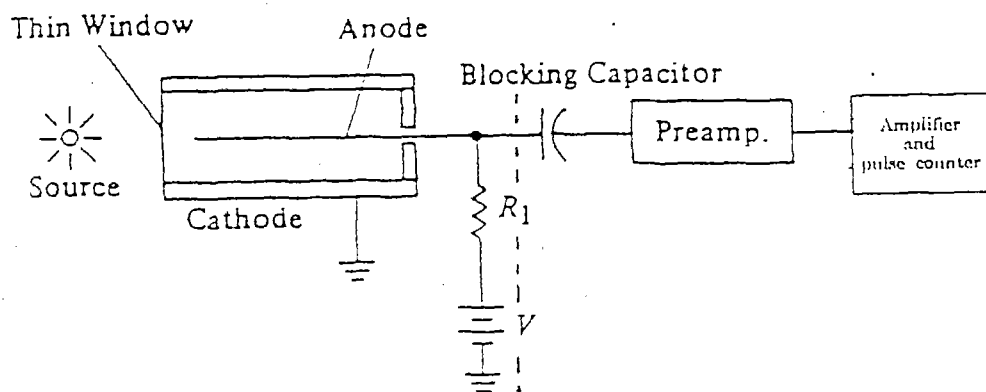
2.3 การระงับการปลดปล่อยประจุ (quenching the discharge) หัวข้อนี้พิจารณาผลของไอออนบวกภายในหัววัดต่อจากหัวข้อที่แล้วมา เมื่อไอออนบวกเคลื่อนที่ไปถึงแคโทดที่อยู่รอบนอกจะชนกับแคโทดทำให้อิเล็กตรอนของแคโทดหลุดออกมามีลักษณะภาพประกอบ 13 (ก) เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) เมื่อไปรวมกับไอออนบวกของแก๊สไอออนเหล่านั้นจะกลายเป็นอะตอมหรือโมเลกุล แต่จะอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลลดระดับพลังงานลงมาอยู่ในสถานะพื้น (ground state) ก็จะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วไปชนกับผิวแคโทดอีก ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาอีก เมื่ออิเล็กตรอนเหล่านี้เคลื่อนที่เข้าหาแอโนดจะทำให้เกิดการถล่มซ้ำทำให้ได้พัลส์ออกมา โดยที่อิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดพัลส์นี้ไม่ได้เกิดจากการกระทำของอนุภาคหรือรังสีแต่อย่างใด การนับจึงผิดพลาดไปจากความเป็นจริง วิธีการป้องกันไม่ให้มีเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยที่สุดเรียกว่า การระงับ (quenching) ทำได้ 2 วิธี ดังต่อไปนี้

2.3.1 การระงับแบบใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากภาพประกอบ 12 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่า เมื่อไอออนบวกและอิเล็กตรอนที่เกิดจากการแตกตัวของแก๊สในหลอดเคลื่อนที่เข้าหาแคโทดและแอโนดนั้น จะเกิดกระแสไฟฟ้าในหลอด ความต้าน

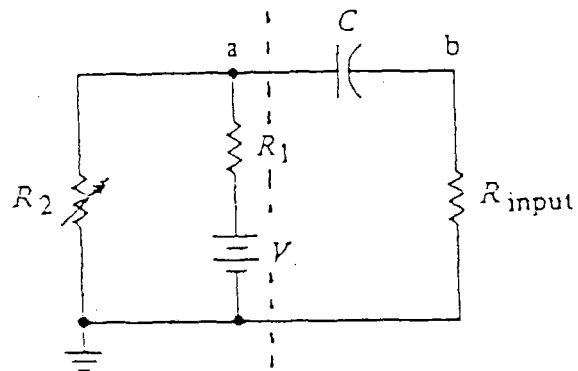
ทานของหลอดเทียบได้กับความต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้ R_2 ในภาพประกอบ 12 (ข) โดยขณะนี้ความต้านทานของหลอดจะมีค่าลดลง ทำให้กระแสผ่านออกมาจากหลอดสูงจนภายนอกมีค่ามาก แล้วผ่านตัวความต้านทาน R_1 การระงับแบบนี้ต้องให้ R_1 มีค่ามากโดยทั่วไปจะใช้ค่าความต้านทาน ประมาณ 1-10 เมกะโอห์ม เพราะว่าเมื่อมีกระแสผ่านจะเกิดความต่างศักย์ตกคร่อม R_1 ทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่แอโนดลดลง การแตกตัวเป็นไอออนของแก๊สในหลอดก็จะลดลงด้วย ขณะนี้ R_2 ก็จะเปลี่ยนเป็นมีค่ามาก กระแสที่ไหลออกมาจากหลอดจะลดลงเป็นศูนย์ แสดงถึงการสิ้นสุดของการกล่อม ศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่อโนดก็จะกลับไปเท่าเดิม แก๊สในหลอดพร้อมที่จะแตกตัวอีกครั้ง ส่วนวงจรขวามือของเส้นประในรูปไม่ได้เกี่ยวข้องกับการระงับแบบนี้แต่อย่างใด

2.3.2 การระงับด้วยตนเอง (self-quenching) การระงับวิธีนี้ทำได้โดยใช้ก๊าซที่มีมวลโมเลกุลสูงๆและมีศักย์ในการแตกตัวเป็นไอออนต่ำกว่าก๊าซนับ ผสมไปในหลอดในปริมาณเล็กน้อย ก๊าซที่เติมเข้าไปนี้เรียกว่า ก๊าซระงับ (quenching gas) ซึ่งหมายความว่า ก๊าซระงับนี้มีโมเลกุลโตกว่าและแตกตัวได้ง่ายกว่ากว่า ก๊าซนับ กระบวนการระงับในหลอดจีเอ็มเป็นดังนี้ ไอออนบวกของก๊าซนับเมื่อเคลื่อนที่เข้าหาแคโทดก็จะมี การถ่ายโอนประจุให้แก่โมเลกุลของก๊าซระงับ เมื่อโมเลกุลของก๊าซระงับเหล่านี้เคลื่อนที่ไปถึงแคโทดก็จะเอาอิเล็กตรอนที่ออกมาจากผนังของแคโทด ซึ่งกระบวนการเช่นนี้เป็นเหตุให้โมเลกุลของก๊าซระงับแตกตัวออกจากกัน (dissociation) มากกว่าที่จะไปเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนขึ้นมาในหลอดจีเอ็มอีก ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 13 (ข) (Eichholz and Poston. 1979 : 99)

ในช่วงความต่างศักย์ระหว่างแอโนดและแคโทดที่เหมาะสม จำนวนอิเล็กตรอนอันเนื่องมาจากการแตกตัวเป็นไอออนที่สะสมตรงแอโนดมีค่าเกือบจะคงที่ ให้ได้พัลส์ ศักย์มีขนาดใกล้เคียงกัน และถ้าสารกัมมันตรังสีที่นำมาทำเป็นแหล่งกำเนิดรังสีให้แก่หลอดจีเอ็มแผ่รังสีออกมาด้วยความถี่คงที่ หลอดจีเอ็มก็จะนับจำนวนรังสีในช่วงเวลาได้คงที่ด้วย แม้ว่าจะเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ที่ป้อนให้แก่หลอดจีเอ็มไปบ้างในช่วงดังกล่าว ซึ่งก็เป็นช่วงความต่างศักย์ที่ยาวพอสมควร อัตราการนับรังสีใดๆก็เกือบจะคงที่

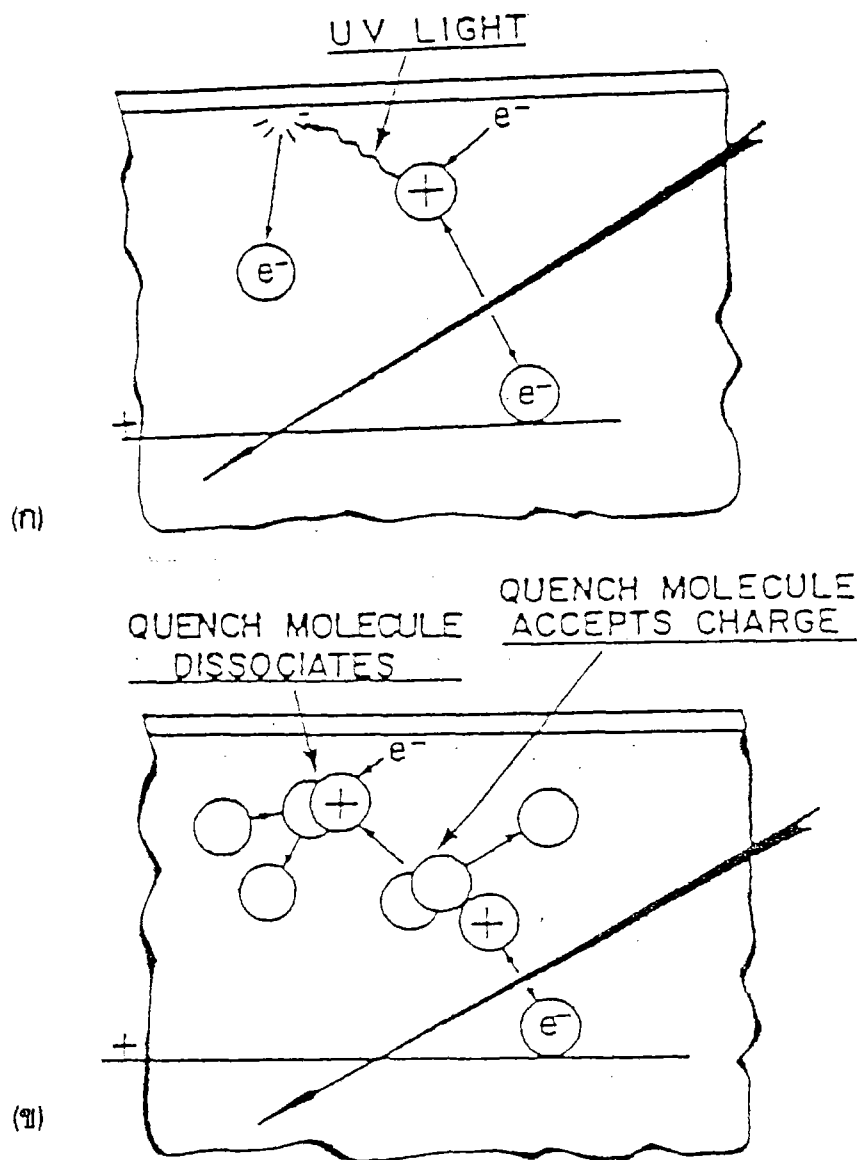


(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 12 (ก) แสดงแผนผังการรับแบบใช้วงจรีเล็กทรอนิกส์ประกอบกับแผนภาพแท่งของวงจรีเล็กทรอนิกส์ (ข) แสดงวงจรีเล็กทรอนิกส์เทียบเท่าวงจรหลอดจีเอ็มในภาพประกอบ (ก) (Chistian and O'Reilly. 1986 : 605)



ภาพประกอบ 13 แสดงการแตกตัวและการเคลื่อนที่ของไอออนบวก และอิเล็กตรอนภายในหลอดจีเอ็ม (ก) การเคลื่อนที่ของไอออนบวกและอิเล็กตรอน (ข) การรับประจุของแก๊สระงับ (Eichholz and poston. 1979 : 98)

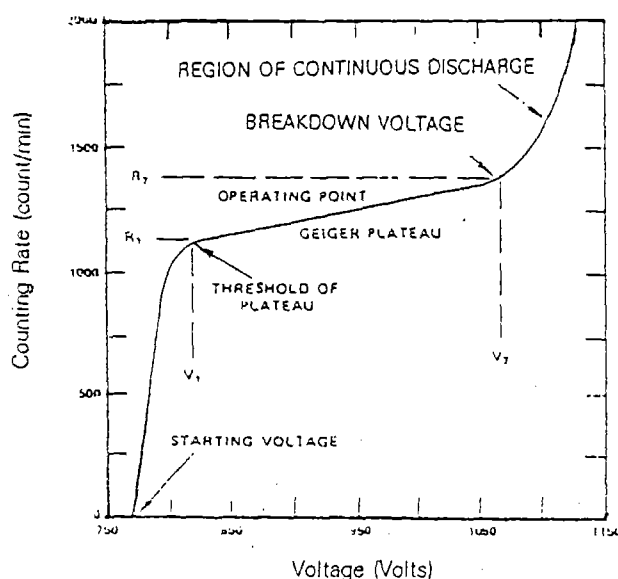
ดังนั้น เมื่อนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับรังสีกับความต่างศักย์ที่ป้อนให้แก่หลอดจีเอ็ม จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน (slope) ไม่สูงนัก เรียกว่าที่ราบ (plateau) หรือที่ราบไกเกอร์ (Geiger plateau)

3. ลักษณะเฉพาะที่ราบ (plateau characteristics)

หลักการใช้งานของหลอดจีเอ็ม จะต้องนำหลอดไปต่อเข้ากับภาคปรับตัว และหน่วยนับ นำสารกัมมันตรังสีไปวางไว้ใกล้ๆ หน้าต่างของหลอดจากนั้นค่อยๆ เพิ่มความต่างศักย์ที่ป้อนให้แก่ขั้วไฟฟ้าของหลอดจาก 0 โวลต์ ขึ้นไปเรื่อยๆ ในตอนแรกเครื่องนับจะยังไม่นับรังสี จนกระทั่งเมื่อความต่างศักย์เพิ่มไปจนถึงค่าๆหนึ่งเครื่องนับจึงจะเริ่มนับ ความต่างศักย์นี้เรียกว่า ศักย์เริ่มต้น (starting voltage) หลังจากจุดนี้เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ให้สูงขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย อัตราการนับรังสีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งความต่างศักย์มีค่าๆหนึ่งอัตราการนับจะเริ่มคงที่ เรียกความต่างศักย์นี้ว่า ชีดเริ่มเปลี่ยนของที่ราบ (threshold of plateau) ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 14

จากภาพประกอบ 14 จะเห็นว่าหลังจากชีดเริ่มเปลี่ยน แม้จะเพิ่มความต่างศักย์ขึ้นไปอีกระยะหนึ่งก็จะพบว่า อัตราการนับของเครื่องนับจะมีค่าเกือบคงที่ ความต่างศักย์ช่วงนี้ก็คือ ที่ราบ หรือที่ราบไกเกอร์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั่นเอง ในภาพประกอบ 14 อัตราการนับรังสีมีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อนาที ในช่วง V_1 ถึง V_2 ความต่างศักย์เพิ่มขึ้นน้อยมากจึงเป็นช่วงที่ราบที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของหลอดจีเอ็มแต่ละหลอด เรียกว่า ลักษณะเฉพาะที่ราบ หลอดจีเอ็มที่ใช้งานได้ดีจะมีความชันของที่ราบประมาณ 5% ถึง 10 % ต่อ ความต่างศักย์ที่เพิ่มขึ้น 100 โวลต์ และจะมีที่ราบยาวประมาณ 150 โวลต์ ทั้งนี้ค่าศักย์เริ่มต้น ชีดเริ่มเปลี่ยน ความยาวที่ราบ และความชันที่ราบของแต่ละหลอดจีเอ็มย่อมแตกต่างกันไปเพราะเป็น ลักษณะเฉพาะที่ราบของหลอดจีเอ็มแต่ละหลอด

พิจารณาจากช่วงท้ายของที่ราบจะพบว่า ถ้าเพิ่มความต่างศักย์ให้มากกว่า V_2 อัตราการนับรังสีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งหนึ่ง เรียกความต่างศักย์นี้ว่า ศักย์ขึ้นแตกตัว (breakdown voltage) และถ้าเพิ่มความต่างศักย์ต่อจากจุดนี้ขึ้นไปเรื่อยๆ อัตราการนับรังสีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมาก เรียกความต่างศักย์ช่วงนี้ว่า บริเวณของการปลดปล่อยต่อเนื่อง (region of continuous discharge) หากใช้ความต่างศักย์ช่วงนี้ทำงานหลอดจีเอ็มจะเสื่อมสภาพโดยเร็ว



ภาพประกอบ 14 กราฟแสดงลักษณะเฉพาะที่ราบไกเกอร์ของหลอดจีเอ็มแบบมีหน้าต่าง
ตรงปลาย (Ortec Company. 1971 : 1)

4. สนามไฟฟ้าในหลอดจีเอ็ม (the electric field in GM tube)

ลักษณะของสนามไฟฟ้าระหว่างแอโนดกับแคโทด ภายในหลอดจีเอ็มตามภาคตัดขวางตรงหน้าต่างหลอด มีลักษณะดังภาพประกอบ 15 จะเห็นว่า ณ บริเวณใกล้ๆกับแอโนด จำนวนเส้นแรงต่อหน่วยพื้นที่ตั้งฉากใดๆ จะมีค่ามากกว่าบริเวณที่ห่างออกไปแสดงว่า จุดที่ยิ่งใกล้ขั้วแอโนดจะยิ่งมีความเข้มสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พิจารณาอันตรกิริยาระหว่างสนามไฟฟ้านี้กับไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของโมเลกุลของแก๊สนับ ก็จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของ แอโนด แคโทด ความต่างศักย์ที่ใช้ระหว่างขั้วไฟฟ้าของหลอด และความเข้มสนามไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม ดังต่อไปนี้

กำหนดให้

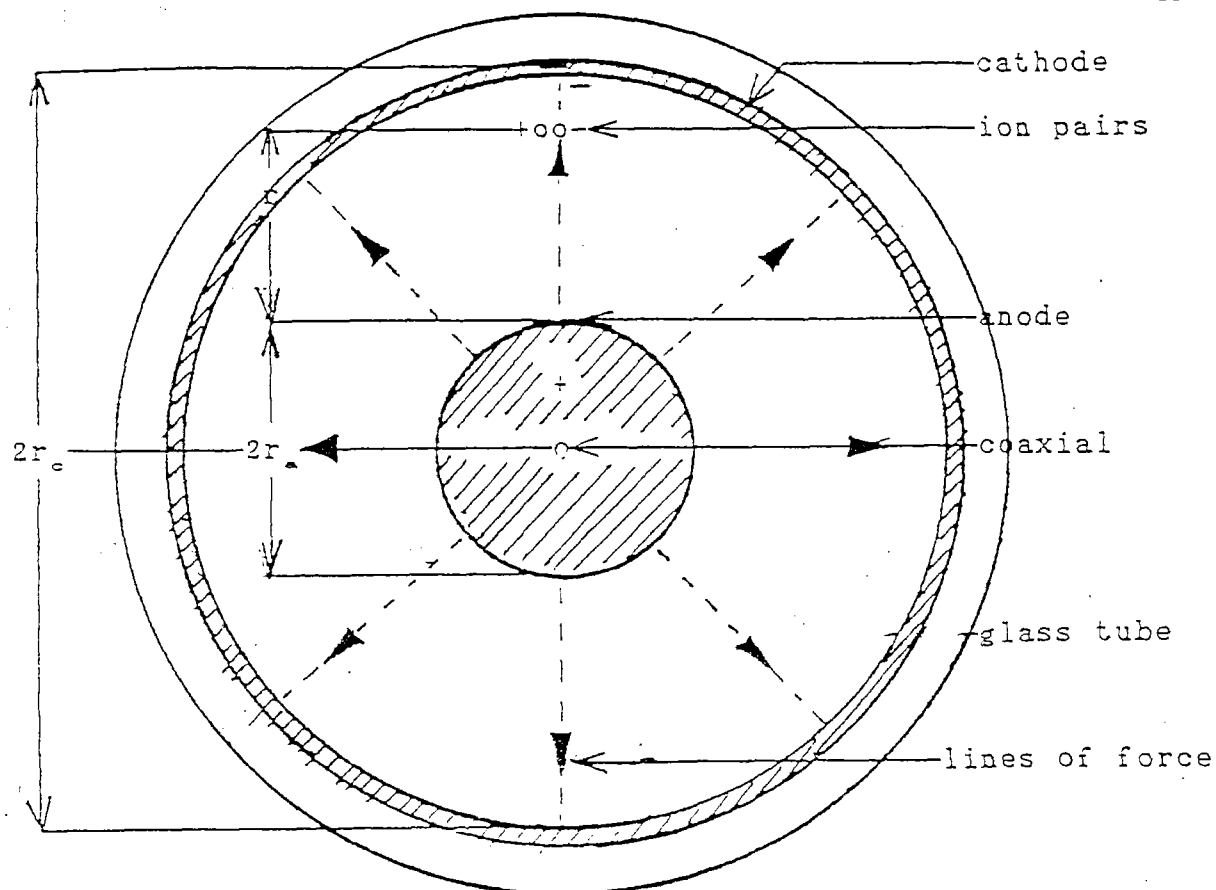
r_c เป็นรัศมีของกระบอกโลหะที่ทำเป็นแคโทด

r_a เป็นรัศมีหลอดโลหะที่ทำเป็นแอโนดซึ่งถูกตรึงไว้ตามแนวแกนหลอด

r เป็นระยะทางจากตำแหน่งคู่อิออนไปยังแนวแกนร่วม

E เป็นค่าความเข้มสนามไฟฟ้าทั้งหมด ณ ตำแหน่งคู่อิออนใดๆ

V เป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่อิออน และแคโทด



ภาพประกอบ 15 ภาคตัดขวางด้านหน้าต่างของหลอดจีเอ็มรูปทรงกระบอกแสดงเส้นแรงสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหลอดจีเอ็มและตำแหน่งคู่อิออน (Friedlander and others. 1981 : 246)

ความเข้มสนามไฟฟ้าของหลอดจีเอ็มหาได้ดังนี้ (Friedlander and others. 1981 : 246).

จากสมการ

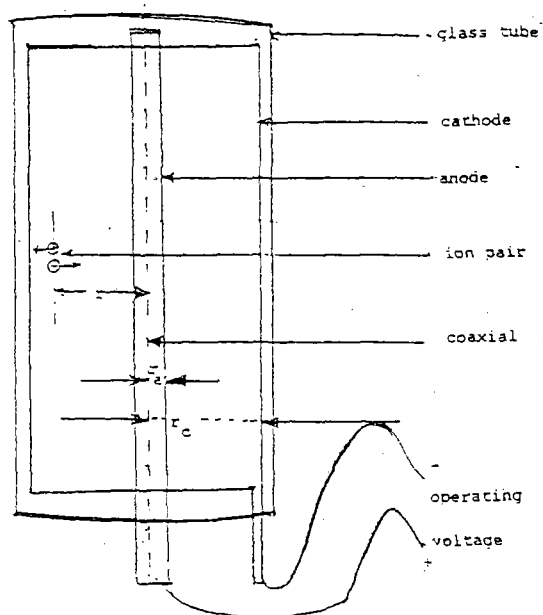
$$E = - \nabla V$$

ดังนั้นขนาดของ V หาได้จาก

$$\frac{dV}{dr} = E$$

$$dr$$

$$dV = E dr$$



ภาพประกอบ 16 ภาคตัดขวางด้านตั้งของหลอดจีเอ็มแสดงส่วนประกอบภายในหลอด

และเมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 15, 16 พบว่า ค่า V หาได้จาก

$$E \propto \frac{1}{r}$$

จะได้

$$E = k \frac{1}{r} \quad \text{เมื่อ } k = \text{ค่าคงที่}$$

จากนี้ให้แทนค่า E และ อินทิเกรตโดยใส่ลิมิตจาก $r=r_a$ ถึง $r=r_c$ จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \int_{r_a}^{r_c} dV &= k \int_{r_a}^{r_c} \frac{dr}{r} \\ V &= k [\ln r_c - \ln r_a] \\ V &= k \ln (r_c / r_a) \end{aligned}$$

แทนค่า k

จะได้สมการของสนามไฟฟ้าดังนี้ (Green. 1955 : 129)

$$E = \frac{V}{r \ln(r_c / r_a)} \quad (1)$$

สรุปได้ว่า สามารถหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ ในหลอดจีเอ็มทำได้โดยแทนค่า อัตราส่วน r_c / r_a และความต่างศักย์ V

5. การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและไอออนบวกภายในหลอดจีเอ็ม

อิเล็กตรอนอิสระตัวหนึ่งหรือมากกว่าขณะเคลื่อนที่ไปชนโมเลกุลของแก๊สตัวอื่นๆแบบต่อเนื่องกัน ค่าเฉลี่ยของระยะทางในการเคลื่อนที่ชนเรียกว่า ค่าเฉลี่ยทางเดินอิสระ (mean free path) แก๊สทั่วไปที่ N.T.P. จะมีค่าอยู่ในช่วง 5×10^{-5} ถึง 3×10^{-4} cm ตามปกติทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเป็น แบบสุ่ม (random) แต่เมื่อมีสนามไฟฟ้าก็จะมีความเร็วลอยเลื่อน (drift velocity) สุทธิเกิดขึ้น โดยมีทิศตรงกันข้ามกับทิศของสนามไฟฟ้า

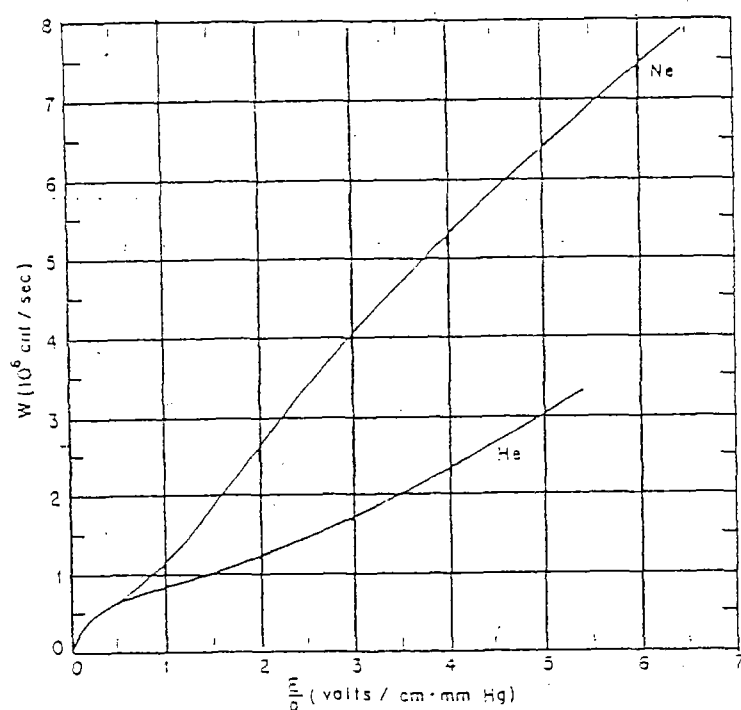
จากการทดลองพบว่า ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่าง สนามไฟฟ้าและความดันภายในหลอดในภาพประกอบ 17 และภาพประกอบ 18 เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนกับฟังก์ชัน E/p ของแก๊สเฉื่อย ฮีเลียม นีออน และอาร์กอน สามารถนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในการเลือกชนิดของแก๊สที่นำมาบรรจุเป็นแก๊สนับ

จากภาพประกอบ 17 และ 18 จะเห็นได้ว่าในช่วงต้นที่ค่าของฟังก์ชัน E/p มีค่าไม่เกิน $1 \text{ (volt/cm)(mm Hg)}^{-1}$ ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนจะเป็นสัดส่วนตรงกับฟังก์ชัน E/p ดังนั้นถ้าให้ W เป็นความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน ก็จะเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง W และ E/p ในช่วงต้นนี้ได้ว่า (Price. 1964 : 70-74)

$$W = \mu E/p \quad (2)$$

โดย μ เป็นค่าคงตัวของตัวแปรผัน เรียกค่าคงตัวนี้ว่า ค่าสภาพเคลื่อนที่ได้ (mobility) ของอิเล็กตรอนในแก๊สที่แตกตัว

เมื่อทดลองให้ค่า E/p ช่วงเดียวกันแก่แก๊สเหล่านี้แล้ว ความเร็วลอยเลื่อนของไอออนบวกและไอออนลบ จะมีค่าน้อยกว่าความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน แต่กราฟจากผลการทดลองจะเป็นเช่นเดียวกัน โดยการเทียบกับสมการ (2) เมื่อให้ μ_+ เป็นค่าสภาพเคลื่อนที่ได้ของไอออนบวก และ μ_- เป็นค่าสภาพเคลื่อนที่ได้ของไอออนลบ มีผลการทดลองหาค่า μ_+ และ μ_- ของแก๊สบางชนิดที่เหมาะสมกับการนำมาบรรจุหลอดจีเอ็ม ดังแสดงไว้ใน ตาราง 1

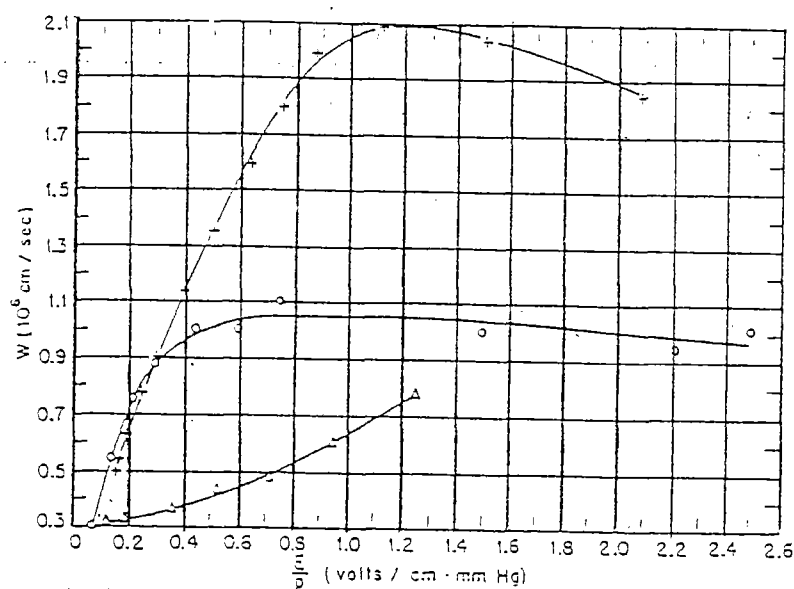


ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนกับฟังก์ชัน E/p (Rossi and Staub. 1949 : 10)

ตาราง 1 ค่าสภาพเคลื่อนที่ได้ของไอออนบวกและไอออนลบ มีหน่วยเป็น (cm/sec)
(volt/cm)⁻¹(mm Hg)

แก๊ส	อากาศ	อาร์กอน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	คาร์บอนไดออกไซด์
μ_+	1070	1040	4300	980	600
μ_-	1350	1290	6500	1380	720

(Price. 1964 : 73)

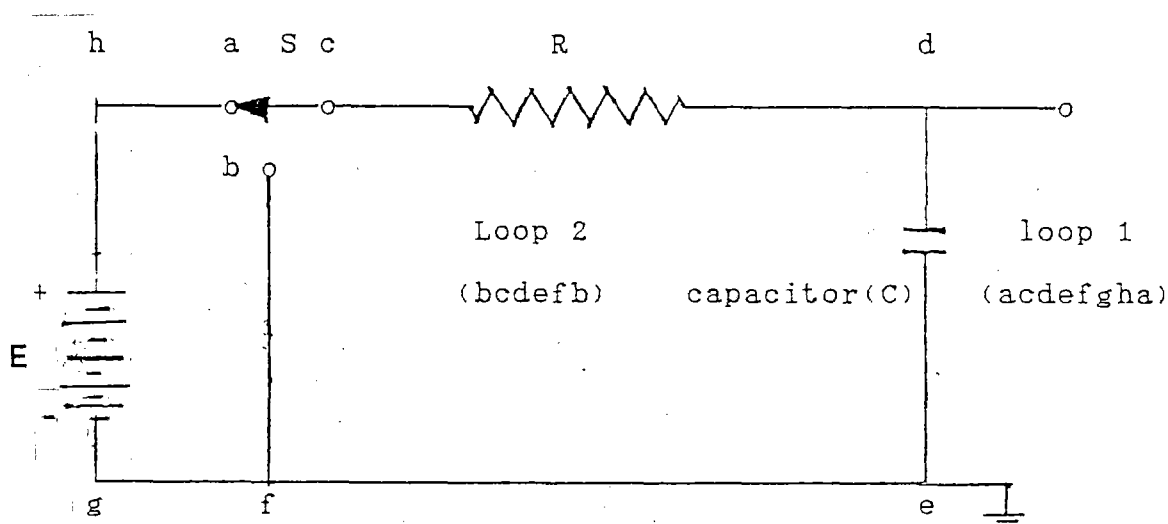


ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน

กับฟังก์ชัน E/p ของแก๊สอาร์กอน ณ ความดันต่างๆกัน Δ , Townsend and Bailey, in Healy and Read, p.91, $p < p_a$; 0, Los Alamos, $p = 840$ mm Hg; +, Los Alamos, $p = 1,274$ mm Hg. (Rossi and Staub. 1949 : 11)

6. รูปร่างของพัลส์ที่เกิดจากหลอดจีเอ็ม

การนับอนุภาคหรือรังสีของหลอดจีเอ็ม เทียบได้กับการทำงานของวงจร RC ดังนี้ (ธีระ วงศ์เนตร. 2530 : 31) จากภาพประกอบ 19 สวิตช์ S เทียบได้กับหลอดจีเอ็ม วงจรส่วนอื่นๆ เทียบได้กับภาคปรับตัว และ E เทียบได้กับภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ศักย์สูงการทำงานแบ่งออกได้เป็น 2 ตอน คือ



ภาพประกอบ 19 แสดงวงจร RC เทียบเท่าการทำงานของหลอดจีเอ็มทำให้ได้พัลส์มีรูปร่างคล้ายกัน

6.1 เมื่อหลอดจีเอ็มยังไม่มีอนุภาคหรือรังสีผ่านเข้ามา ความต้านทานไฟฟ้าภายในหลอดจะมีค่าสูง เทียบได้กับสวิตช์ S อยู่ที่ a เป็นการปิดวงจรวงที่ 1 (loop 1) แต่เป็นการเปิดวงจรวงที่ 2 (loop 2) กระแสไฟฟ้าเข้าสู่วงจรวงที่ 1 ผ่านความต้านทาน R ไปเก็บสะสมประจุที่ตัวเก็บประจุ (capacitor) C เรียกว่า การประจุ (charge) เมื่อให้ E เป็น แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากภาคจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงศักย์สูง E_R เป็น ความต่างศักย์ตกคร่อมตัวความต้าน R E_C เป็น ความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C

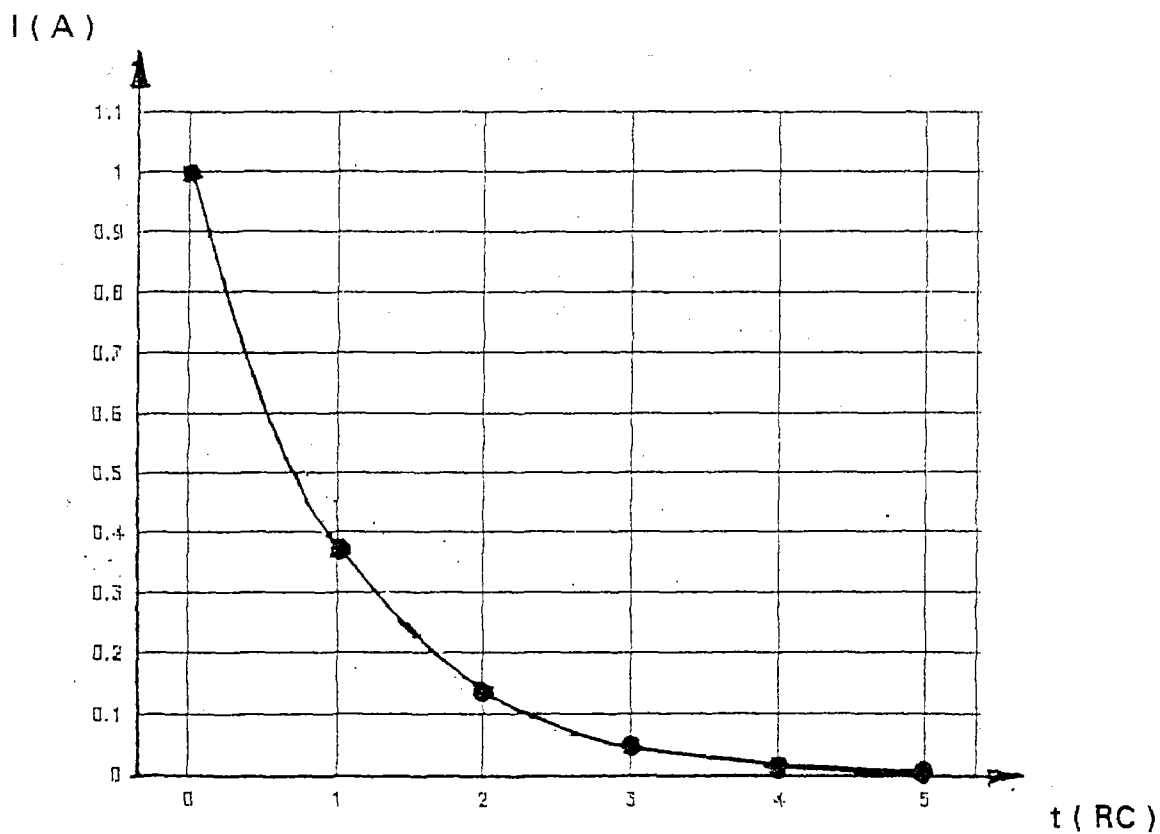
กำหนดให้ $\tau = RC$ เรียกว่า เวลาคงที่ของความจุ (capacitive time constant) จะมีผลเฉลยเป็น

$$I(t) = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}$$

ซึ่ง $I(t)$ ก็คือกระแสที่ใช้ในการประจุให้แก่ตัวเก็บประจุ เมื่อเขียนแทนด้วย I_C จะได้

$$I_C = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} \quad \text{_____ (3)}$$

นิพจน์หลังของสมการ (3) นี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาผ่านไป กระแสที่ใช้ในการประจุให้แก่ตัวเก็บประจุ จะลดลงแบบเลขชี้กำลัง ดังแสดงในภาพประกอบ 20



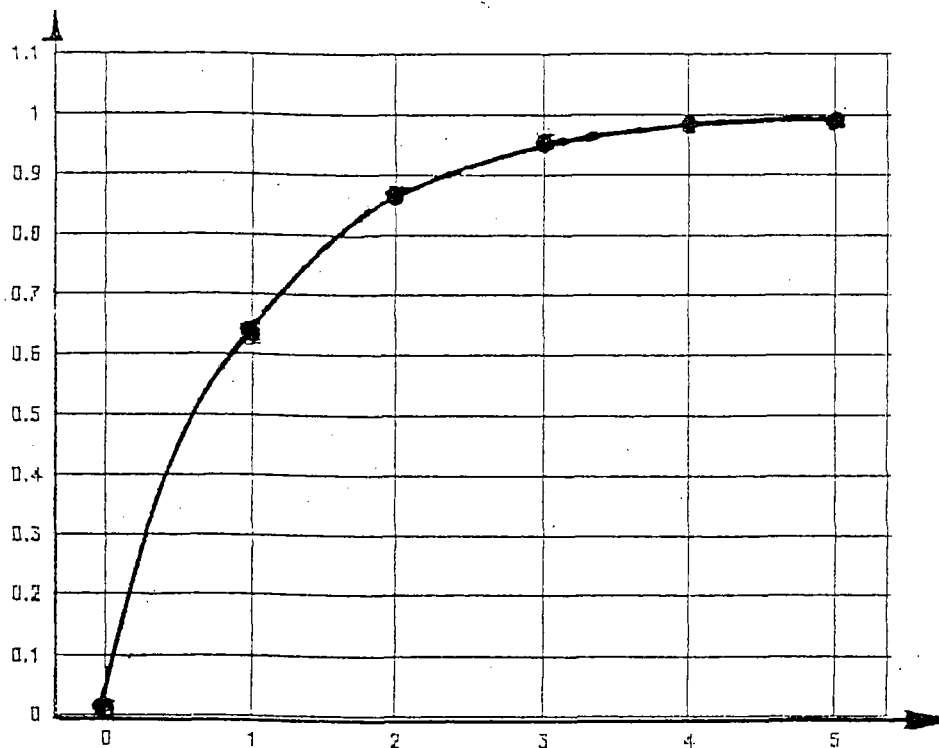
ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงการลดลงของกระแส I_C ที่ประจุให้แก่ตัวเก็บประจุในวงจร RC

จากนี้ พิจารณาค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ E_C เมื่อเวลาผ่านไป t จะมีรูปร่างอย่างไร โดยพิจารณาจากวงจรเดิม $E_C = E - E_R$ แทนค่า E_R และ $I(t)$ จะได้

$$E_C = E(1 - e^{-t/\tau}) \quad \text{_____} (4)$$

จากสมการ (4) จะเห็นว่า เมื่อกระแส I_C ประจุให้แก่ตัวเก็บประจุ C ในระยะเวลาหนึ่ง มีผลทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ E_C เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าใกล้เคียงกับ E ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 21

$E(V)$



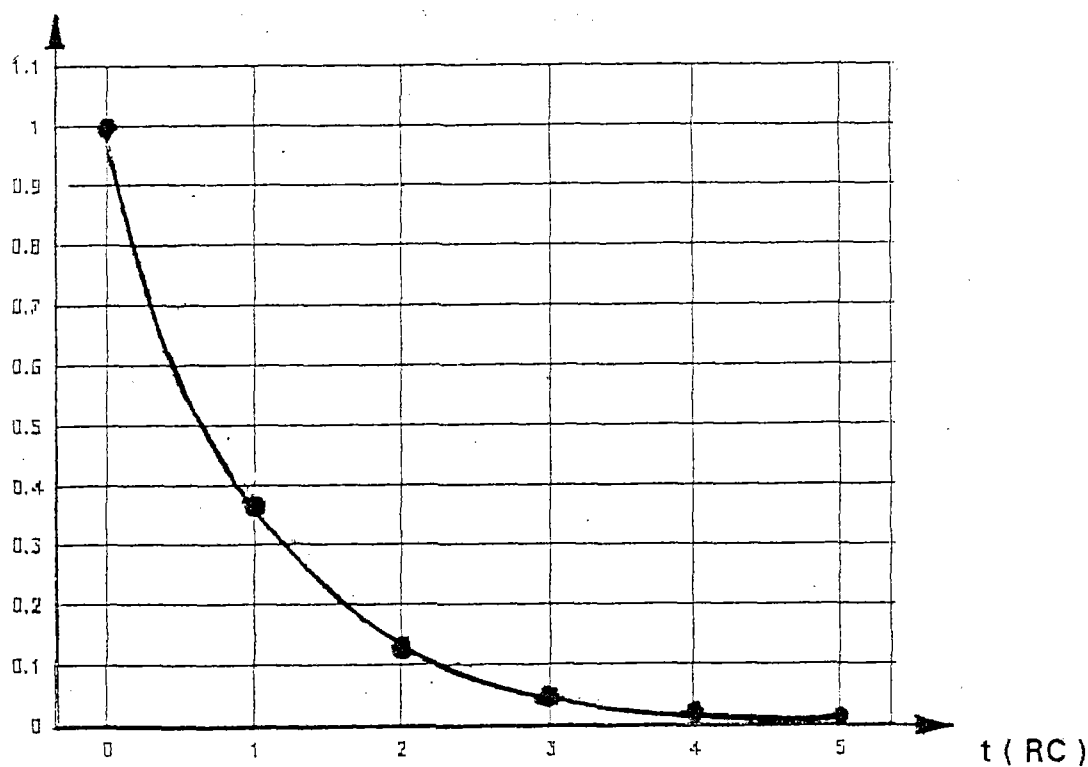
$t(RC)$

ภาพประกอบ 21 แสดงการเพิ่มค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุเมื่อมีการประจุ

6.2 เมื่อสวิตช์ S ไปยัง b จะเป็นการเปิดวงจรที่ 1 ปิดวงจรที่ 2 ซึ่งเป็นการปลดปล่อยประจุ (discharge) ของวงจร RC เทียบได้กับหลอดไส้ในช่วงที่มีอนุภาคหรือรังสีเข้ามาในหลอด ทำให้เกิดเกิดการแตกตัวและหลอดนำกระแสได้ กระแสที่ไหลออกจากตัวเก็บประจุ C ผ่านตัวต้านทาน R จะมีผลเฉลยในรูปของกระแสดังนี้

$$I_C = - \frac{E}{R} e^{-t/\tau} \quad (5)$$

สมการ (5) นิพจน์นี้มีเครื่องหมายเป็นลบแสดงว่า กระแสจากการปลดปล่อยจะมีทิศตรงกันข้ามกับกระแสจากการประจุ และเมื่อเวลาผ่านไปกระแสจะลดลงอย่างเลขชี้กำลัง $E(V)$



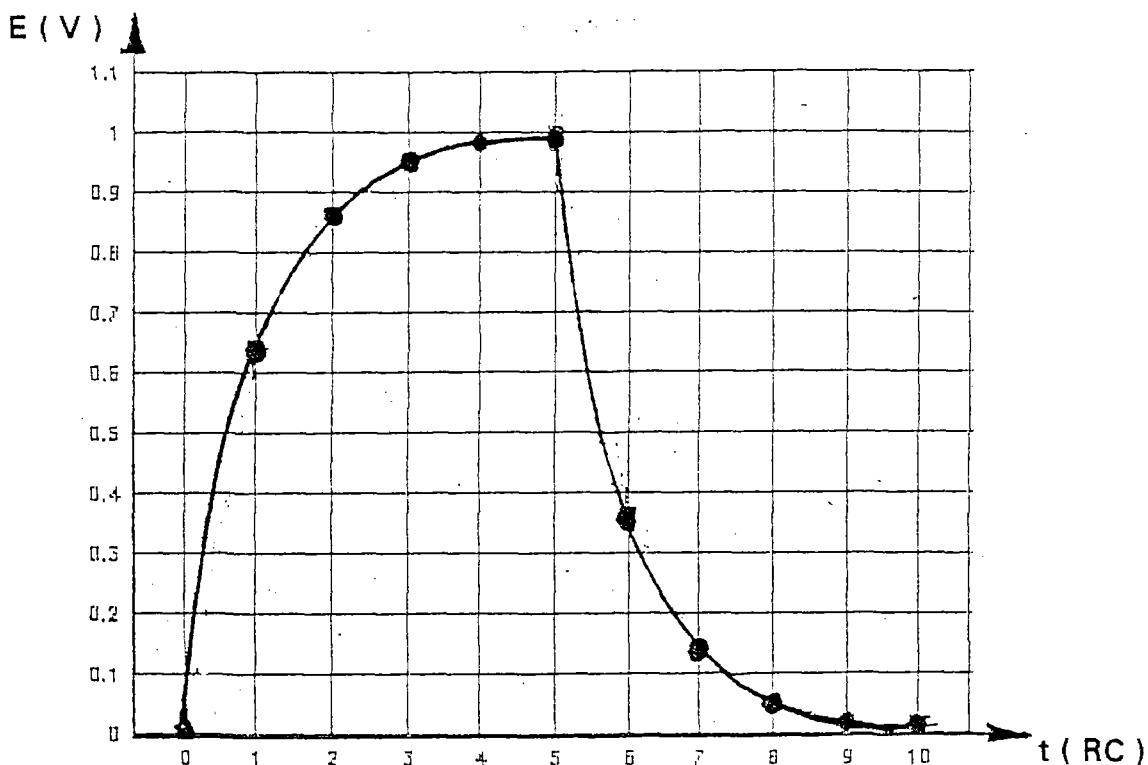
ภาพประกอบ 22 แสดงการลดลงของความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุเมื่อมีการปลดปล่อยประจุ

เมื่อพิจารณาถึงความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบน C ที่เปลี่ยนไป จะได้ดังนี้

$$E_C = E e^{-t/\tau} \quad (6)$$

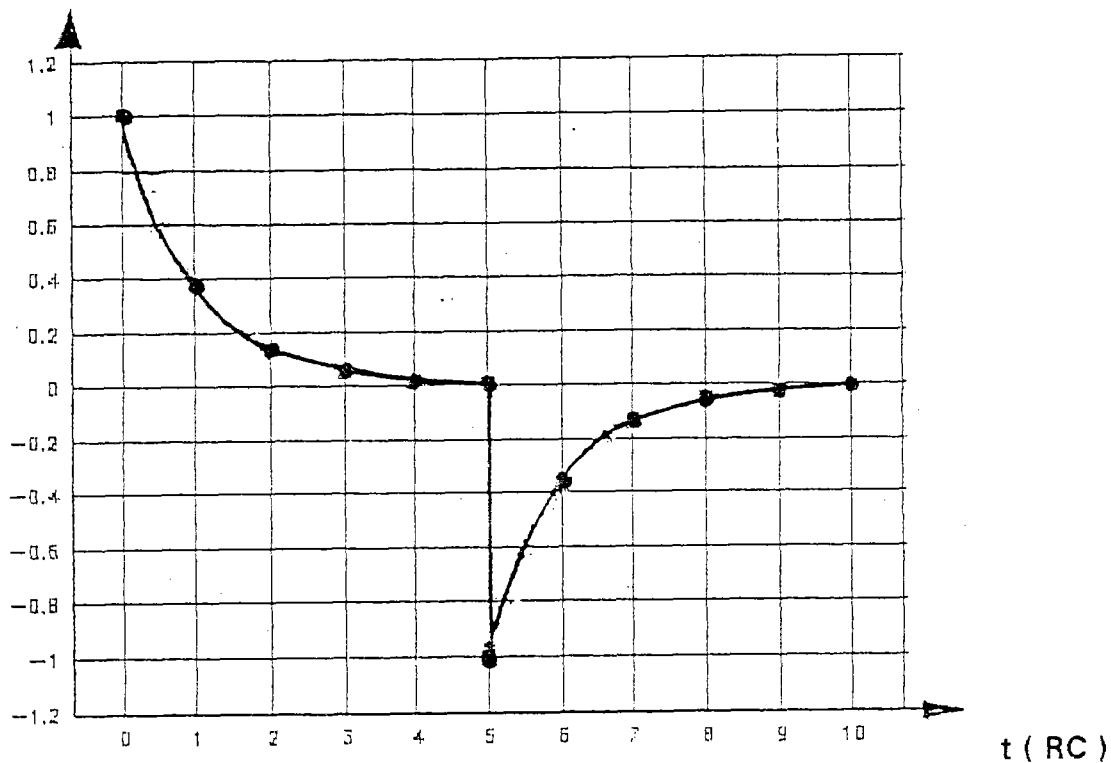
สมการที่ (6) แสดงให้เห็นว่า เมื่อเกิดการปลดปล่อยประจุจากตัวเก็บประจุ C ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ เวลาผ่านไปจะลดลงเร็วแบบเลขชี้กำลัง ดังภาพประกอบ 22

สรุปได้ว่า เมื่อนำผลที่ได้จากตอนที่ 2 ซึ่งเทียบได้กับการแตกตัวเป็นไอออนของแก๊สในหลอดจีเอ็ม และตอนที่ 1 เป็นตอนที่แก๊สหยุดการแตกตัวชั่วคราว จะมีผลต่อการเพิ่มและการลดของความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบนตัวเก็บประจุ และกระแสที่ลดและเพิ่มในวงจร มีรูปร่างดังภาพประกอบ 23 และภาพประกอบ 24 ตามลำดับ จากการที่ค่า RC ที่ประกอบเป็นวงจรมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง จึงต้องเลือกใช้ตัวความต้านทาน R และตัวเก็บประจุ C ที่มีค่าพอเหมาะ เพื่อให้ได้ค่าเวลาคงที่ของความจุ ที่เหมาะสมกับหลอดจีเอ็มหลอดนั้น



ภาพประกอบ 23 แสดงรูปร่างพัลส์จากวงจร RC ที่เทียบเท่ากับพัลส์ศักย์จากหลอดจีเอ็ม

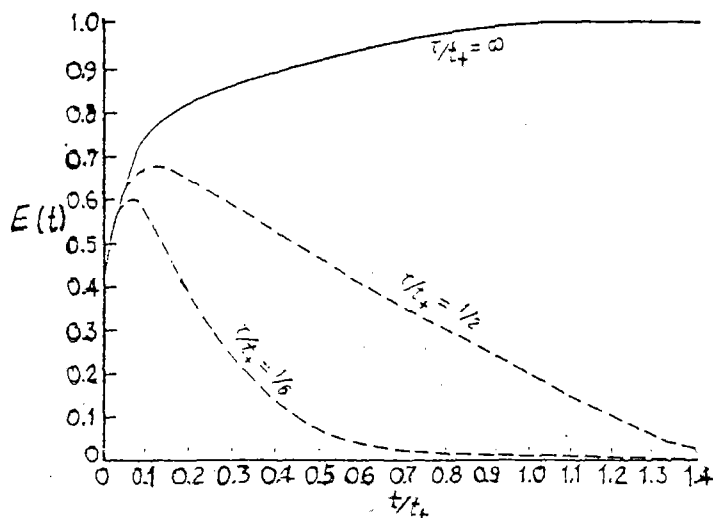
I (A)



ภาพประกอบ 24 แสดงรูปร่างกระแสในตอนที่ประจุกับตอนปลดปล่อยต่อเนื่องกัน

7. การหาเวลาเก็บไอออนบวก

เวลาเก็บไอออนบวก (collection time for positive ions) t_+ คือเวลาที่กลุ่มไอออนบวกที่เกิดจากการแตกตัวของโมเลกุลของแก๊สในหลอดจีเอ็ม ใช้ในการเคลื่อนที่จากแอโนดไปยังแคโทด เป็นช่วงเวลาที่เกิดพัลส์จากหลอดจีเอ็มจำนวน 1 พัลส์ เวลาเก็บไอออนบวกจะมีความสัมพันธ์กับเวลาคงที่ของความจุที่กำหนดขึ้นมาจากวงจร RC ดังได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ผ่านมาโดยที่อัตราส่วนระหว่าง $\tau : t_+$ จะมีผลต่อรูปร่างของพัลส์ที่ออกมาจากหลอดจีเอ็ม ถ้าจัดอัตราส่วนไม่เหมาะสม เช่น มีค่ามากเกินไป ก็จะไม่มีการพัลส์ออกมา ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 25 (Price, 1964 : 118-120)



ภาพประกอบ 25 แสดงรูปร่างของพัลส์จากหลอดจีเอ็มขนาด $r_c/r_a = 100$ และอัตราส่วนของ $\tau : t_+$ เป็น ∞ , $1/2$, และ $1/6$ (Price. 1964 : 119)

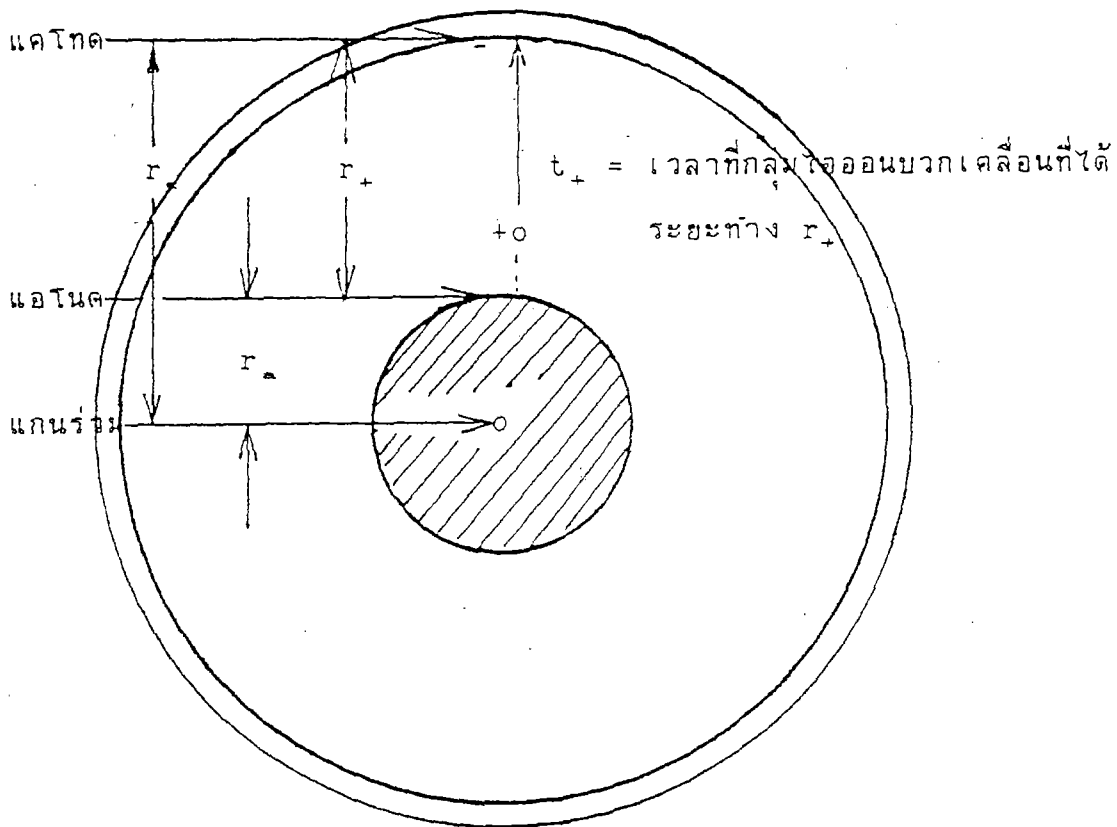
จากสมการ (2) $W = E/p$ และสมการของความเร็วลอยเลื่อนของไอออน
 บวกหาได้จาก $W = \frac{dr_+}{dt}$ จากนั้นแทนค่า E ด้วยสมการ (1) จะได้

$$\frac{dr_+}{dt} = \frac{\mu_+ V}{p r_+ \ln(r_c/r_a)}$$

อินทิเกรตจะได้

$$r_+ = \frac{[2 \mu_+ V t + r_a^2]^{1/2}}{p \ln(r_c/r_a)}$$

โดยการกำหนดเงื่อนไข ให้ไอออนบวกทุกตัวเริ่มต้นเคลื่อนที่เมื่อเวลา $t = 0$ จากผิวแอโนดซึ่งห่างจากแกนร่วมเป็นระยะทาง r_a และเคลื่อนที่ต่อไปจนถึงผิวในของแคโทดใช้เวลา t_+ ได้ระยะทาง $r_+ = r_c$ โดยสมมติว่าแอโนดมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับแคโทด และจากการให้ $t_+ = t$ ก็จะหาค่าเวลาเก็บไอออนบวกได้จากสมการ



ภาพประกอบ 26 แผนผังแสดงการหาเวลาเก็บไอออนบวก

$$t_+ = \frac{(r_c^2 - r_a^2) \rho \ln(r_c/r_a)}{2 \mu_+ V} \quad (7)$$

สรุป ค่า t_+ นี้จะเป็นประโยชน์ในการพิจารณาเลือกค่า τ ที่ทำให้เกิดพัลส์

8. การหาระยะเริ่มการถล่ม

เริ่มต้นจากอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของไอออนคู่ปฐมภูมิ เมื่อมีรังสีผ่านเข้าไปในหลอดจีเอ็ม อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเหล่านี้ จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วลอย

เลื่อนเข้าสู่แอโนด แต่ในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีการชนหลายครั้ง ทำให้พลังงานของอิเล็กตรอนลดลง อิเล็กตรอนเหล่านี้ไม่สามารถทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้ในระหว่างการชนแต่ละครั้ง จนกระทั่งเมื่ออิเล็กตรอนเข้าใกล้แอโนดเป็นระยะทางประมาณ 2 - 3 เท่าของทางเดินอิสระเฉลี่ยของแก๊ส จึงจะมีพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน ระยะทางใกล้ๆ แอโนดนี้ หาได้ดังนี้ (Price. 1964 : 122-123)

จากสมการ (1) จะได้

$$r = \frac{V}{E \ln(r_c / r_a)} \quad (8)$$

เมื่อ E คือ ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ทำให้อิเล็กตรอนถูกเร่งจนมีพลังงานเพียงพอ เพื่อทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนใน 1 ช่วงทางเดินอิสระ

9. การเลือกใช้แก๊สนับและแก๊สระดับในหลอดจีเอ็ม

การเลือกชนิดของแก๊สนับและแก๊สระดับเพื่อนำไปบรรจุในหลอดจีเอ็ม ให้พิจารณาเลือกชนิดของแก๊สนับจากตาราง 2 และเลือกชนิดของแก๊สระดับจากตาราง 3 อย่างสอดคล้องเหมาะสมกัน การเลือกใช้แก๊สระดับต้องเลือกให้มีคุณสมบัติสำคัญ 2 ประการดังนี้ (Yingprayoon. 1979 : 10)

9.1 แก๊สระดับที่เลือกใช้ต้องมีศักย์ในการแตกตัวเป็นไอออน(ionization potential) ต่ำกว่าศักย์ในการแตกตัวเป็นไอออนของแก๊สนับ ตัวอย่างเช่น เมื่อเลือกอาร์กอนเป็นแก๊สนับ ศักย์ในการแตกตัวเป็นไอออนจากตาราง 2 มีค่า 15.7 โวลต์ และเมื่อเลือกไอเอทิลแอลกอฮอล์เป็นแก๊สระดับจากตาราง 3 ศักย์ในการแตกตัวเป็นไอออนมีค่าเป็น 11.3 โวลต์

9.2 แก๊สระดับที่เลือกใช้ต้องมีช่วงกว้างความยาวคลื่นของการดูดกลืนครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่จะปลดปล่อยออกมาจากกลไกการทำงานภายในหลอดจีเอ็ม

ตาราง 2 ชนิดของแก๊สเชิงเดี่ยวที่ใช้เป็นแก๊สนับในหลอดจีเอ็ม

แก๊ส	สูตร	ศักย์แตกตัวเป็น ไอออน (โวลต์)	ความยาวคลื่นที่ เปล่งออกมา (อังสตรอม)
อาร์กอน	Ar	15.7	1048
ฮีเลียม	He	24.5	854
นีออน	Ne	21.5	730

(Yingprayoon. 1979 : 7)

ตาราง 3 ชนิดของแก๊สพอลีอะตอมมิกที่ใช้เป็นแก๊สระบุในหลอดจีเอ็ม

แก๊ส	สูตร	ศักย์แตกตัวเป็น ไอออน (โวลต์)	ความยาวคลื่น ช่วงดูดกลืน (อังสตรอม)
โบรมีน	Br ₂	12.8	1500
คลอรีน	Cl ₂	13.2	1500
เอทิลแอลกอฮอล์	C ₂ H ₅ OH	11.3	700 - 1833

(Yingprayoon. 1979 : 7)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จันทร์ชัย หญิงประยูร ได้ทดลองสร้างหลอดจี้เอ็มมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

หลอดจี้เอ็มชนิดปิดบรรจุแก๊ส ทำด้วยหลอดแก้วไพเร็กซ์ เส้นผ่าศูนย์กลาง กระบอกแคโทด 1.731 cm ยาว 7.62 cm แอโนดทำด้วยลวดทังสเตนซึ่งตามแนวแกน กลาง เส้นผ่าศูนย์กลางแอโนด 0.2 mm ทดลองใช้อาร์กอนเป็นแก๊สขับและใช้ไอของ เอทิลแอลกอฮอล์เป็นแก๊สระงับ ผสมกันในอัตรา 1 %, 5 %, 10 %, 15%, และ 20 % แปรความดันรวมในหลอด ดังนี้ 50 mmHg, 100 mmHg, 150 mmHg และ 200 mmHg

ผลปรากฏว่า เจ็อนไขใช้ไอของเอทิลแอลกอฮอล์ 10 % ความดันรวม 100 mmHg มีลักษณะเฉพาะที่ราบดีที่สุดในกลุ่มทดลอง ดังนี้ มีศักย์เริ่มต้นเฉลี่ย 1000 โวลต์ ที่ราบเฉลี่ยยาว 170 โวลต์ และความชันของที่ราบเพิ่มขึ้น 4% ถึง 13 % ต่อ 100 โวลต์ (Yingprayoon. 1979 : 76-86)

ธีระ วงศ์เนตร ได้ทดลองสร้างหลอดจี้เอ็ม มีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

หลอดจี้เอ็มเป็นแบบหลอดแก้วปลายปิด ทำจากแก้วไพเร็กซ์รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 cm ยาว 8 cm ผนังแก้วหนา 1 mm แคโทดรูปทรงกระบอกทำจาก แผ่นโลหะสเตนเลสหนา 0.4 mm ยาว 7.4 cm เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 cm แอโนดใช้ ลวดทังสเตน เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.02 mm ตีงไว้ตามแนวแกนกลางของหลอด ใช้ อาร์กอนเป็นแก๊สขับ และใช้มีเทนเป็นแก๊สระงับ ผสมกันในอัตราส่วนอาร์กอน 90 % ต่อ มีเทน 10 % แปรความดันรวมในหลอดให้มีค่าต่างๆ ดังนี้ 20 ทอร์, 30 ทอร์, 40 ทอร์ 50 ทอร์, 60 ทอร์, 70 ทอร์, 80 ทอร์ และ 90 ทอร์

ผลปรากฏว่า ความดันรวม 90 ทอร์ หลอดจี้เอ็มจะมีลักษณะเฉพาะที่ราบดี ที่สุดในกลุ่มทดลองนี้ ได้ศักย์เริ่มต้น 1700 โวลต์ ที่ราบยาว 150 โวลต์ ความชันของ ที่ราบเพิ่มขึ้น 8.6% ต่อ 100 โวลต์ (ธีระ วงศ์เนตร. 2530 : 33-84)

ไช สาลิฉัน, บัญชา ศิลปสกุลสุข, ชุมพล พัฒนสุวรรณ, สวัสดิ์ ปานเนา, ประชา พานิช, และ วิรัช วิหกรัตน์. ได้ทดลองสร้างหลอดจี้เอ็ม มีส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

หลอดจีเอ็มเป็นแบบหลอดแก้วปลายปิดรูปทรงกระบอก ทำจากแก้วไฟเร็ก เส้นผ่าศูนย์กลางหลอด 2.5 cm ยาว 10 cm ผนังแก้วหนา 1 mm แคโทดรูปทรงกระบอกทำด้วยแผ่นโลหะสเตนเลสหนา 0.5 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.9 cm ยาว 6.5 cm แอโนดทำด้วยลวดทั้งสเตนเลสเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm ยาว 8 cm ใช้อาร์กอนเป็นแก๊สนับ และมีเทนเป็นแก๊สกระตุ้น ส่วนผสมของมีเทนเป็นดังนี้ 2.5 %, 5.0 %, 10.0 %, 15.0 %, 20.0% และ 25.0 % ในแต่ละส่วนผสมแปรความดันรวมในหลอด 40 ทอร์, 80 ทอร์, 120 ทอร์, 160 ทอร์, 200 ทอร์ และ 250 ทอร์

ผลปรากฏว่า หลอดจีเอ็มที่มีลักษณะที่ราบที่ดีในกลุ่มทดลอง ได้แก่หลอดที่ใช้ส่วนผสมของแก๊สกระตุ้น 10.0 %, 15.0 %, 20.0 % และ 25.0 % ความดันรวมในหลอด 160 ทอร์, 200 ทอร์ และ 250 ทอร์ได้ศักย์เริ่มต้นอยู่ในช่วง 1500 โวลต์ จนถึง 2125 โวลต์ ที่ราบจะมีความยาวตั้งแต่ 25 โวลต์ จนถึง 100 โวลต์ ความชันของที่ราบเพิ่มขึ้นประมาณ 15 % ต่อ 100 โวลต์ สรุปได้ว่า ถ้าใช้อาร์กอนเป็นแก๊สนับและมีเทนเป็นแก๊สกระตุ้น และเมื่อใช้อัตราส่วนผสมของแก๊สกระตุ้นเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ได้ที่ราบยาวขึ้น และค่าศักย์เริ่มต้นก็จะสูงขึ้นด้วย (โช สาลิฉัน และ คนอื่นๆ. 2531 : 36 - 113)

จากทฤษฎีและผลงานวิจัยดังกล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยจะได้นำมาใช้เป็นกรอบความคิดหลักในการศึกษาวิจัย โดยจะพยายามสร้างหลอดจีเอ็มจำนวนหนึ่งที่มีอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดต่อรัศมีของแอโนด และอัตราส่วนระหว่างความดันของแก๊สนับต่อแก๊สกระตุ้นที่บรรจุในหลอด ให้มีค่าต่างๆ เพื่อทดลองดูว่าหลอดจีเอ็มเหล่านี้จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะอย่างไร

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสร้างและออกแบบวงจรไฟฟ้า ภาคปรับตัว (adapter)

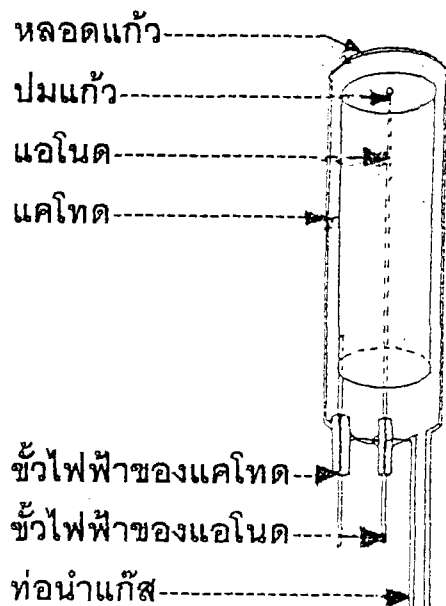
2. การสร้างหลอดจีเอ็ม แบ่งการสร้างออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ หลอดจีเอ็มที่สร้างขึ้นจะมีโครงสร้าง และส่วนประกอบต่างๆรวมทั้งวัสดุที่ใช้สร้าง ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 27 พอเป็นสังเขปดังนี้

2.1.1 หลอดแก้วไฟเร็กที่นำมาสร้างเป็นตัวหลอดจีเอ็มมีอยู่ 3 ขนาด คือ ขนาดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 20 mm, 22 mm และ 25 mm หลอดแก้วที่นำมาทำเป็นส่วนประกอบต่างๆ เช่น ทำเป็นท่อเติมแก๊ส หรือเชื่อมติดกับโลหะทำเป็นขั้วไฟฟ้าจะใช้หลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 5 mm แก้วไฟเร็กทุกขนาดที่นำมาใช้ ต้องใช้แก้วไฟเร็กชนิดเดียวกัน และได้มาจากบริษัทผู้ผลิตแก้วรายเดียวกัน เพื่อให้ได้เนื้อแก้วที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน

2.1.2 แคโทดทำจากแผ่นโลหะสแตนเลสชนิดบาง หนาไม่เกิน 0.3 mm ขดเป็นรูปทรงกระบอกให้ได้รัศมีแคโทด 3 ขนาด คือ 9 mm, 10 mm และ 11 mm แต่ละขนาดยาว 37 mm เท่ากัน ขนาดละ 12 อัน รวม 3 ขนาด 36 อัน แต่ละอันเชื่อมติดด้วยลวดทังสเตนขนาด 1 mm ทำเป็นขั้วไฟฟ้าลบยื่นปลายออกมานอกหลอดจีเอ็ม

2.1.3 แอโนดทำจากลวดทังสเตน 4 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด 0.20 mm, 0.50 mm, 0.75 mm และ 1.00 mm จะทำให้ได้ค่ารัศมีของแอโนด 4 ค่า คือ 0.09 mm, 0.25 mm, 0.375 mm และ 0.50 mm จากนั้น นำไปเชื่อมติดกับหลอดแก้วตึงไว้ตามแนวแกนกลางของหลอดจีเอ็ม ปลายข้างที่อยู่ในหลอดแก้วหุ้มด้วยปมแก้ว ปลายอีกข้างหนึ่งยื่นออกมานอกหลอดแก้ว ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าบวก



ภาพประกอบ 27 แสดงส่วนโครงสร้าง และส่วนประกอบของหลอดจีเอ็มที่จะสร้างขึ้นเพื่อใช้ทดลอง

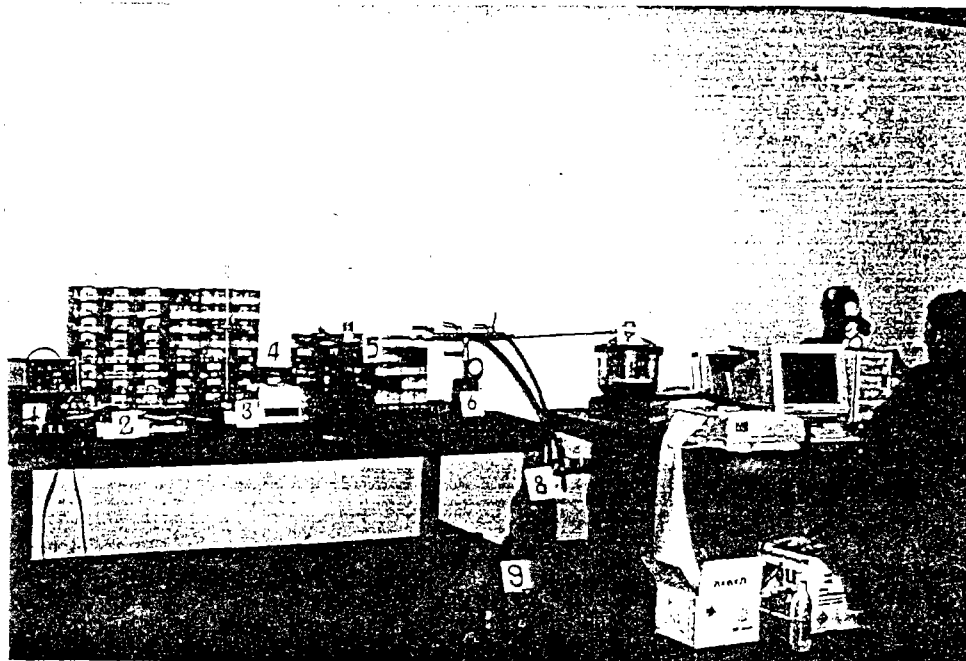
เมื่อสร้างหลอดจีเอ็มได้ตามขนาดและจำนวน 36 หลอด ตามความต้องการแล้ว ในขั้นตอนต่อไป นำไปบรรจุแก๊สนับ และแก๊สระดับตามอัตราส่วนความดันภายใต้ความดันรวม 100 ทอร์ ดังที่ได้ระบุไว้ในขอบเขตการวิจัย

2.2 การบรรจุแก๊สนับและแก๊สระดับ หลอดจีเอ็มเมื่อสร้างเสร็จแล้ว ก็จะนำไปบรรจุแก๊สนับและแก๊สระดับ ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

2.2.1 ผสมแก๊สระดับและแก๊สนับในถังบรรจุ ตามสัดส่วนโดยความดันตามต้องการ

2.2.2 บรรจุแก๊สที่ผสมในหลอดจีเอ็ม

2.2.3 ส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับการผสมแก๊ส และการบรรจุแก๊สเข้าไปในหลอดจีเอ็มภายใต้ความดันตามที่กำหนดไว้ แสดงไว้ในภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 แสดงส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทดลองหาลักษณะเฉพาะ การ
ผสมและการบรรจุแก๊สเข้าในหลอดจีเอ็ม

จากภาพประกอบ 28

หมายเลข 1 เครื่องนับ และออสซิลโลสโคป

หมายเลข 2 ภาชนะปรับตัว

หมายเลข 3 เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าศักย์สูง

หมายเลข 4 หลอดจีเอ็ม

หมายเลข 5 แมนอมิเตอร์วัดความดันแก๊สในหลอดจีเอ็ม

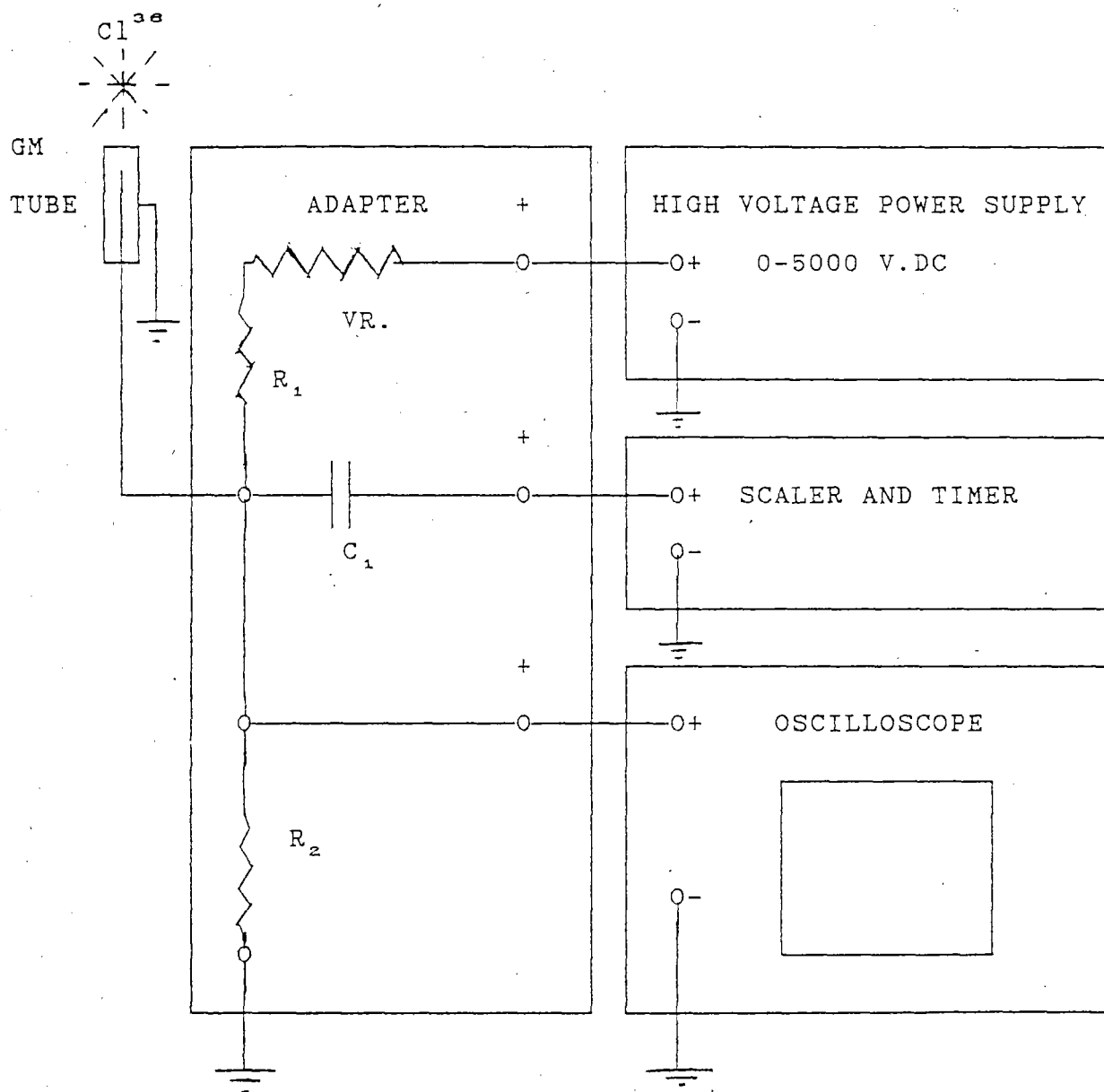
หมายเลข 6 ถังผสมแก๊สระดับและแก๊สระดับ

หมายเลข 7 ชุดเตรียมไอของเอทิลแอลกอฮอล์

หมายเลข 8 ถังแก๊สอาร์กอน

หมายเลข 9 เครื่องสูบลูญากาศ

2.3 การทดลอง ทดลองเพื่อศึกษาหาคุณสมบัติของหลอดจีเอ็ม ที่สร้างขึ้นมา
โดยนำหลอดที่สร้างเสร็จแล้ว ไปทดลองหาลักษณะเฉพาะของหลอด ได้แก่หาค่าศักย์เริ่ม
ต้น ความยาวที่ราบ ความชันของที่ราบที่เพิ่มขึ้น ดังนี้



ภาพประกอบ 29 แสดงการต่อหลอดจีเอ็มเข้ากับ ภาคปรับตัว เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้า
ศักย์สูง เครื่องนับพร้อมเครื่องตั้งเวลา และออสซิลโลสโคป

จากภาพประกอบ 29 ได้แสดงส่วนประกอบของวงจรภาคปรับตัวที่ได้สร้างขึ้น มาเพื่อให้เหมาะสมกับหลอดจีเอ็มที่ได้สร้างขึ้น มา มีค่าต่างๆเท่าที่เป็นไปได้ดังนี้

VR. เป็นตัวความต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้ มีค่า 3.1 เมกะโอห์ม 3 วัดต์

R_1 เป็นตัวความต้านทานมีค่า 3.9 เมกะโอห์ม 3 วัดต์

R_2 เป็นตัวความต้านทานมีค่า 10 เมกะโอห์ม 3 วัดต์

C_1 เป็นตัวเก็บประจุมีค่า 25 พิโกฟารัด 5000 โวลต์

การทดลองเพื่อหาลักษณะเฉพาะของหลอดจีเอ็มแต่ละหลอดทำได้ดังนี้

2.3.1 นำหลอดจีเอ็มแต่ละหลอดที่บรรจุแก๊สแล้ว ต่อเข้ากับภาคปรับตัว เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าศักย์สูง เครื่องนับ เครื่องตั้งเวลา และออสซิลโลสโคป จากนั้นเลือกใช้ คลอรีน - 36 (Cl 36) เป็นสารให้กัมมันตภาพรังสีบีตา เพราะมีครึ่งชีวิตยาวประมาณ 3×10^5 ปี จะทำให้อัตราการแผ่กัมมันตภาพรังสีคงที่ ในช่วงเวลาที่ทดลองนำไปวางห่างจากปลายหลอดจีเอ็มเป็นระยะทางประมาณ 4 cm

2.3.2 ตั้งช่วงเวลากการนับรังสี และตรวจสอบดูว่าเครื่องนับเมื่อนับไปจนครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้แล้ว หยุดนับได้ถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้องก็ทดลองต่อไปได้

2.3.3 ปรับความต่างศักย์ของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูง ให้มีค่าต่างๆ กันโดยเริ่มจากค่าต่ำสุด 0 โวลต์ เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนหลอดจีเอ็มเริ่มนับ ให้บันทึกเป็นค่า ศักย์เริ่มต้นของหลอดจีเอ็มนั้นๆ

2.3.4 เริ่มทดลองใหม่โดยการเพิ่มความต่างศักย์ขึ้นไปอีกเล็กน้อยและกด สวิตซ์เครื่องนับเมื่อนับครบตามกำหนดเวลาให้บันทึกอัตราการนับ ในแต่ละความต่างศักย์ ให้ทำซ้ำเดิม 5 ครั้ง จากนั้นให้เพิ่มความต่างศักย์ขึ้นไปเรื่อยๆและทดลองเช่นเดิมไปจนกระทั่งถึงศักย์ขั้นแตกตัว ก็ให้หยุดการทดลอง

2.3.5 นำผลที่ได้ไปศึกษาเพื่อหาลักษณะเฉพาะของหลอดจีเอ็ม โดยการ วิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟ

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1 นำข้อมูลดังกล่าวมาแสดงในรูปตาราง หาค่าเฉลี่ย(mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของอัตราการนับรังสีจากทุกๆจำนวนที่นับได้จากการทดลอง ในแต่ละค่าความต่างศักย์ที่ให้แก่วลิตีเอ็มนั้นๆ

2.4.2 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความต่างศักย์และอัตราการนับรังสีดังกล่าว

2.4.3 จากกราฟของแต่ละหลอดจีเอ็ม วิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของหลอดจีเอ็ม โดยหาค่า ศักย์เริ่มต้น ความยาวของที่ราบ และความชันของที่ราบ

2.4.4 นำลักษณะเฉพาะของทุกหลอดจีเอ็มที่ทดลองไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนของช่วงไฟฟ้า และของความดันแก๊สของหลอดจีเอ็มเหล่านี้ว่ามีแนวโน้มต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะของหลอดจีเอ็มหรือไม่ อย่างไร

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การสร้างหลอดจีเอ็มชนิดปิดรูปทรงกระบอก มีโครงสร้างห้องบรรจุแก๊สทำด้วย แก้วภายในประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ แคโทด ทำจากแผ่นโลหะสแตนเลสทำเป็น รูปทรงกระบอกรอบๆหลอดแก้ว และแอโนดทำจากเส้นลวดโลหะทั้งสแตนเลสตั้งตรงตามแนว แกนกลางของหลอดแก้ว โดยมีการแปรอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและแอโนด 12 ค่า ภายในหลอดบรรจุแก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับไอของเอทิลแอลกอฮอล์ โดยให้เป็น แก๊สนับและแก๊สรั้งตามลำดับ และมีการแปรอัตราส่วนผสมระหว่างแก๊สทั้งสอง 3 ค่า ความดันรวมภายในหลอด 100 ทอร์ ได้นำเสนอผลการวิจัยในรูปแบบของตารางข้อมูล และกราฟ ในประเด็นดังต่อไปนี้

1. ตารางข้อมูล แสดงผลอัตราการนับรังสี 5 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของหลอดจีเอ็มที่ใช้ทดลองแต่ละหลอด

2. กราฟที่ราบไทเกอร์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ที่ให้แก่ หลอดจีเอ็มในแกนนอน และค่าอัตราการนับรังสีในแกนตั้งจากกราฟที่ได้พิจารณาหา ลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็มแต่ละหลอดได้แก่ ค่าศักย์เริ่มต้น ความยาวของที่ ราบ ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงอัตราการนับต่อ 100 โวลต์

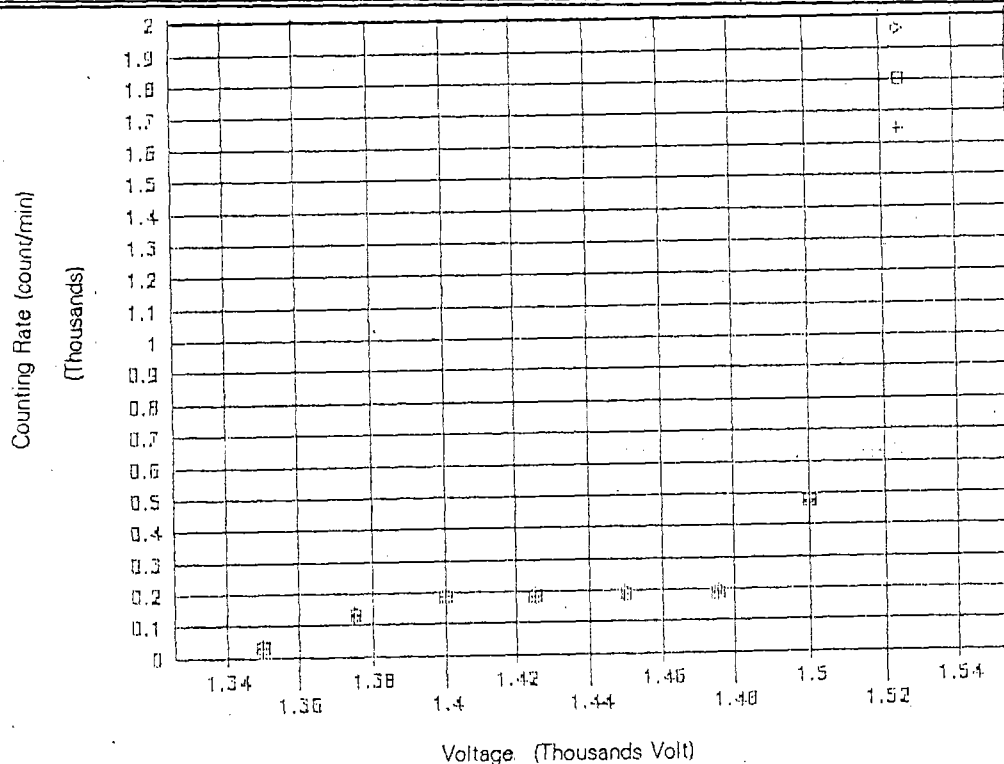
3. ตารางและกราฟเปรียบเทียบ แสดงแนวโน้มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะ เฉพาะของหลอดจีเอ็ม เมื่ออัตราส่วนระหว่างขั้วไฟฟ้าแคโทดและแอโนดเปลี่ยนไป

4. ตารางและกราฟเปรียบเทียบ แสดงแนวโน้มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะ เฉพาะของหลอดจีเอ็ม เมื่ออัตราส่วนระหว่างแก๊สรั้งและแก๊สนับเปลี่ยนไป

ต่อจากนี้เป็นต้นไป จะได้นำเสนอผลการวิจัยในรูปแบบต่างๆทั้ง 4 ประเด็นดังต่อไปนี้

ตาราง 4 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.90$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c/r_a = 18.00$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

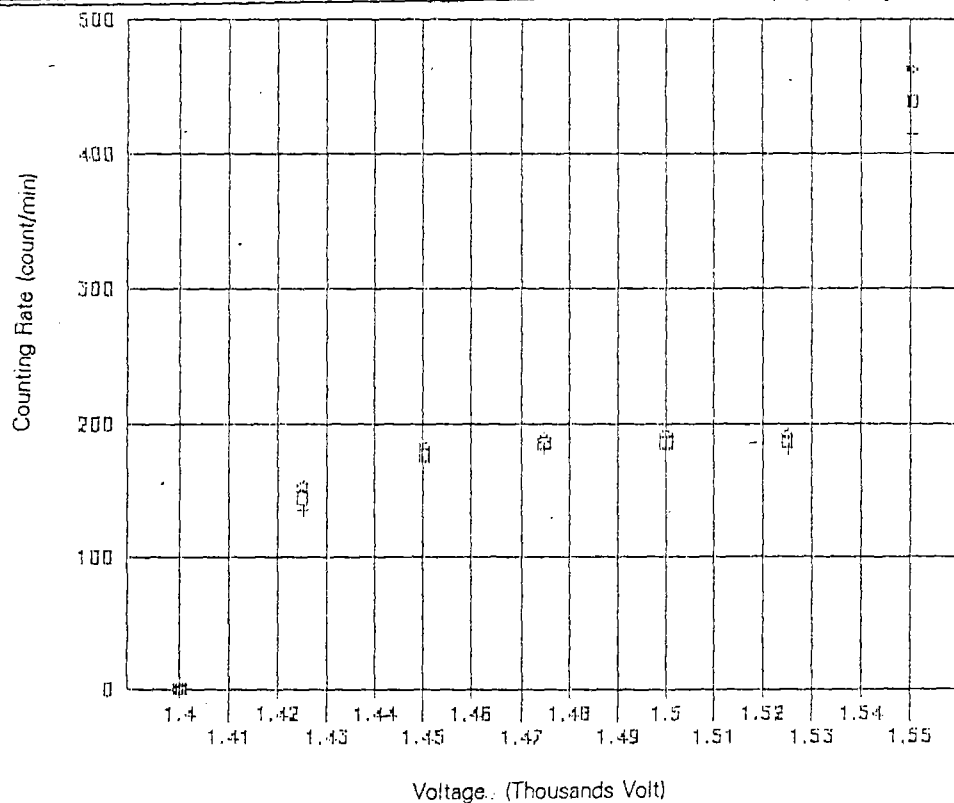
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อวินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1350	41	31	37	29	24	32.4	5.9
1375	147	142	126	117	118	130	11.2
1400	200	198	183	176	167	184.8	11.5
1425	194	187	194	182	172	185.8	7.5
1450	201	198	187	183	174	188.6	9.0
1475	205	201	187	181	175	189.8	10.4
1500	496	480	476	471	466	477.8	9.3
1525	1846	1641	1583	1878	2059	1801.4	156.8



ภาพประกอบ 30 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 18.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1350 โวลต์ ที่ราบยาว
 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4 เปอร์เซ็นต์ ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 5 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.00$ cm ขนาด $r_a = 0.50$ cm $r_c/r_a = 20.00$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

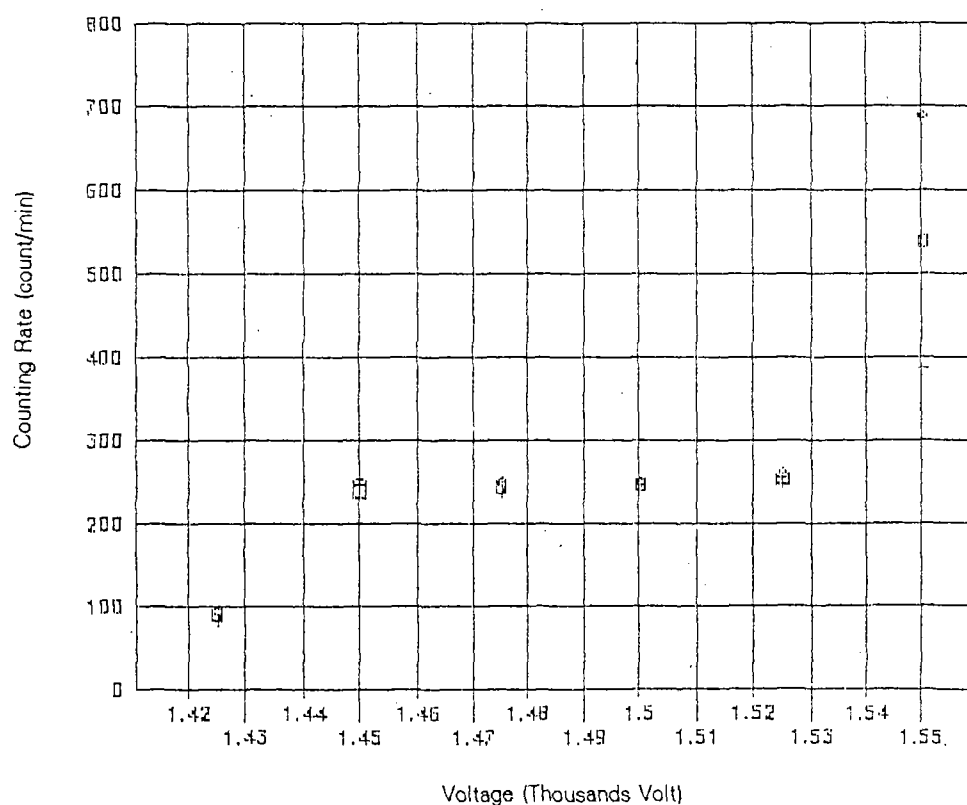
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อนาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1400	0	0	0	0	0	0	0
1425	154	151	147	137	131	144	8.6
1450	177	173	169	187	178	176.8	6.0
1475	190	185	183	187	179	184.8	3.7
1500	191	176	184	192	187	186	5.7
1525	193	187	179	191	182	186.4	5.2
1550	481	445	438	421	410	439	24.3



ภาพประกอบ 31 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 20.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1425 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 9.24 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 6 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.5$ cm $r_c/r_a = 22.00$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

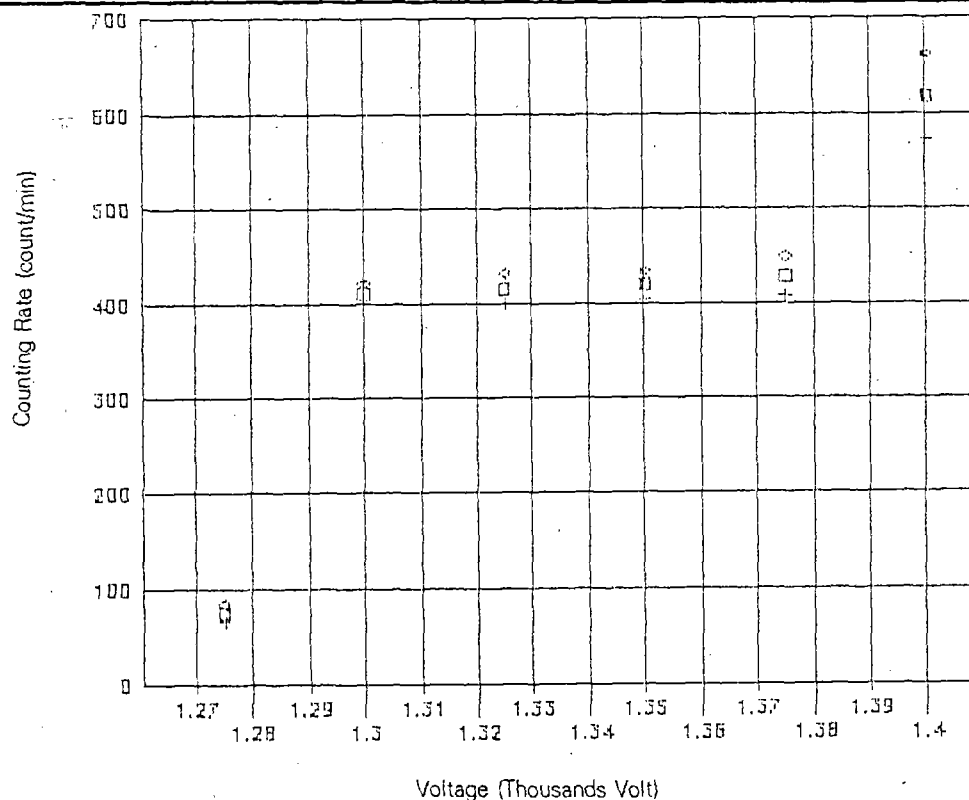
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครึ่งค่อนาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1425	90	84	83	90	100	89.4	6.0
1450	251	247	244	234	223	239.8	10.1
1475	255	237	240	245	238	243	6.6
1500	251	247	243	250	243	246.8	3.3
1525	261	257	251	255	247	254.2	4.8
1550	525	771	628	431	337	538.4	151.2



ภาพประกอบ 32 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 22.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1425 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 8.18 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 7 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.90$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c / r_a = 24.00$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

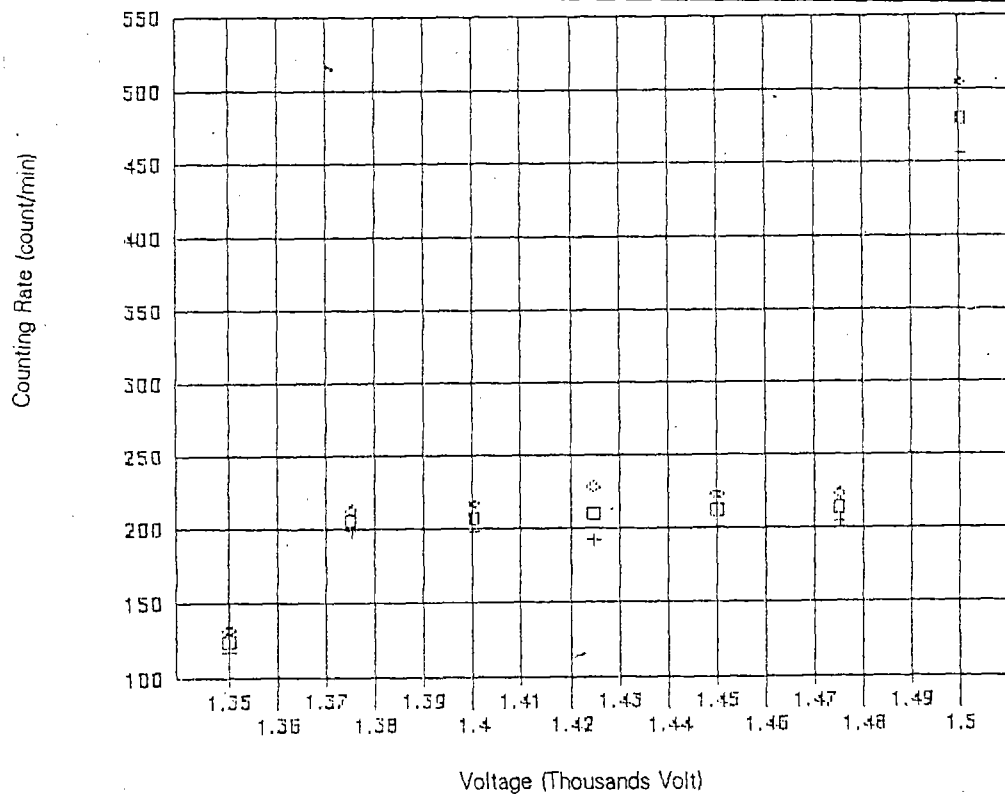
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการทำปฏิกิริยา (ครึ่งต่อนาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1275	90	80	75	68	63	75.2	9.4
1300	417	424	414	401	398	410.8	9.8
1325	436	427	416	406	391	415.2	15.7
1350	439	425	419	417	395	419	14.2
1375	442	431	417	454	395	427.8	20.4
1400	663	657	550	637	578	617	45.0



ภาพประกอบ 33 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c / r_a = 24.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1275 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.56 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 8 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.00$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c/r_a = 26.7$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

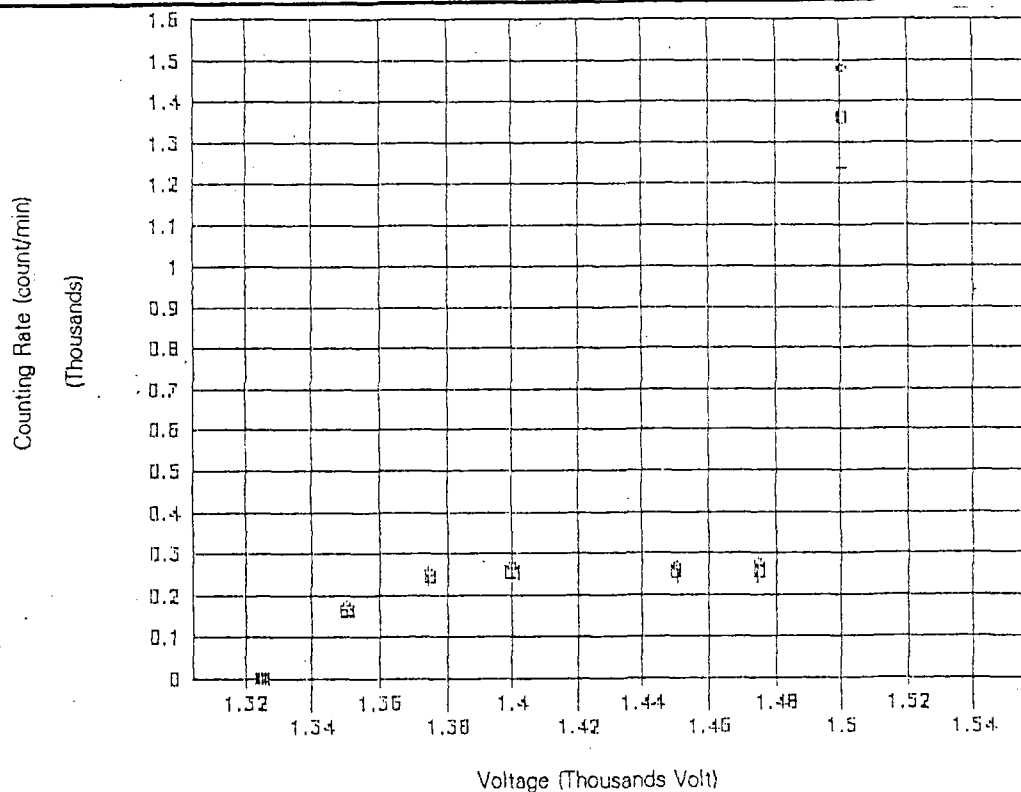
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อนาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1350	139	130	127	118	105	123.8	7.5
1375	209	198	218	209	195	205.8	7.0
1400	218	197	220	205	197	207.4	9.4
1425	236	188	225	211	191	210.2	17.9
1450	232	212	217	202	197	212	10.8
1475	235	217	211	215	191	213.8	9.2
1500	525	491	483	457	444	480	24.2



ภาพประกอบ 34 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 26.7$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1350 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.03 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 9 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c/r_a = 29.3$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

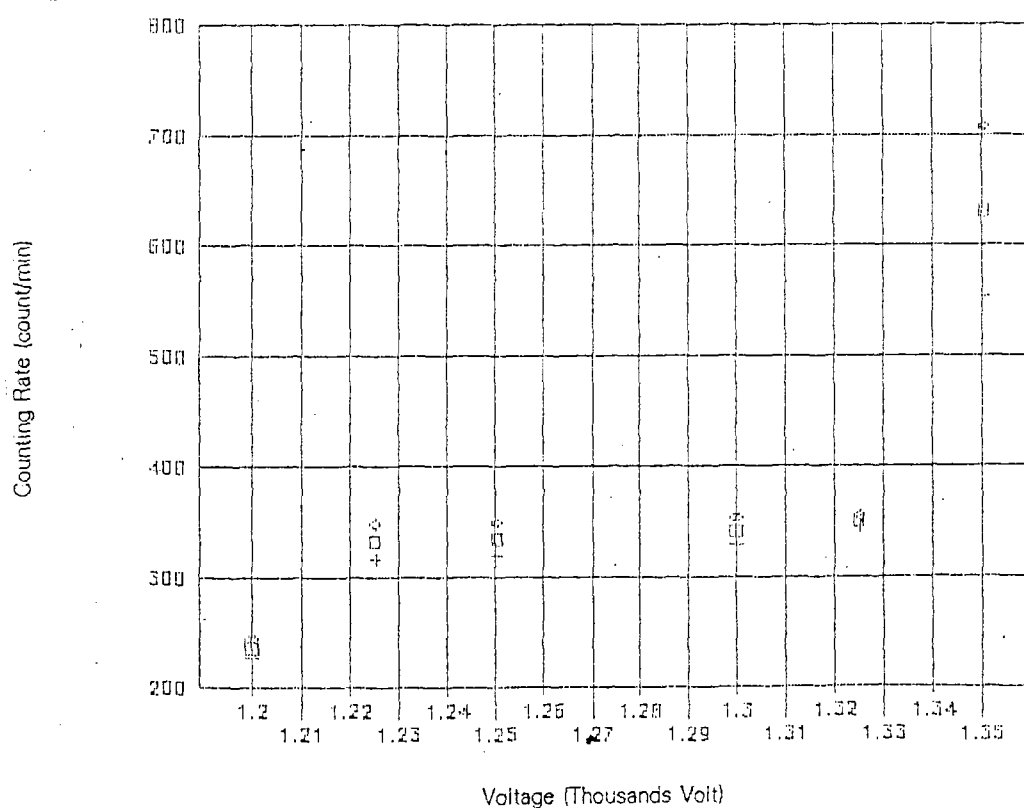
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อนาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1325	0	0	0	0	0	0	0
1350	179	163	171	152	149	162.8	11.2
1375	261	253	240	237	230	244.2	11.2
1400	273	256	266	247	229	254.2	15.3
1450	274	252	267	247	237	255.4	13.4
1475	253	263	287	251	236	258	16.8
1500	1464	1437	1125	1367	1401	1358.8	121.4



ภาพประกอบ 35 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 29.3$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1350 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 6.24 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 10 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.09$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c/r_a = 36.00$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

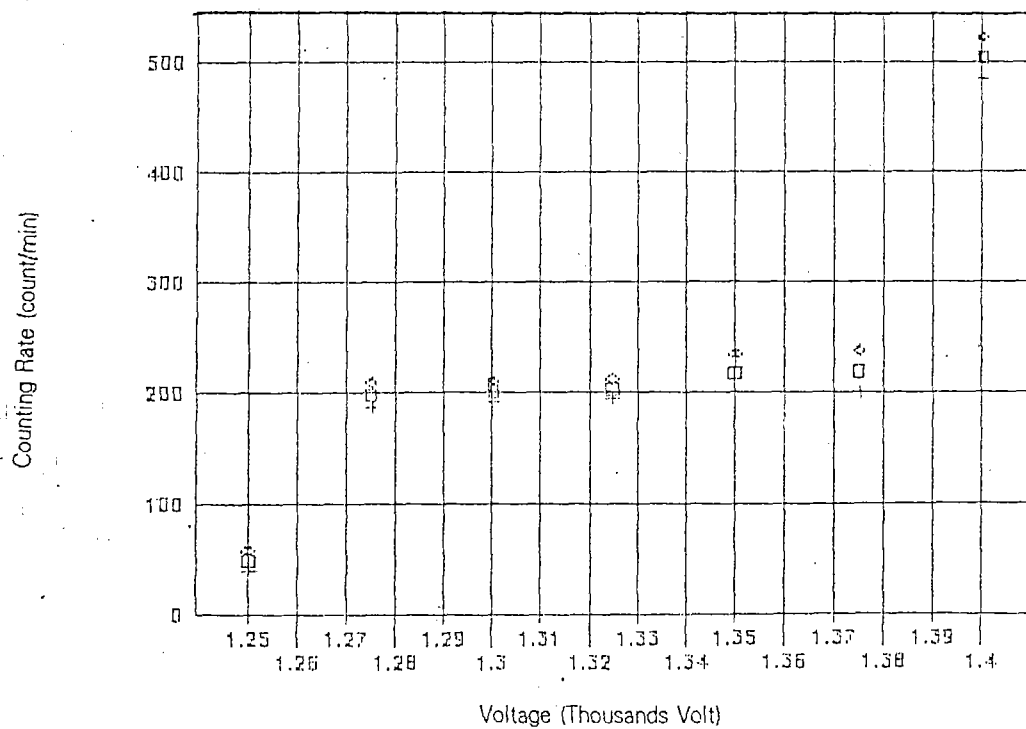
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อมาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1200	247	241	235	231	222	235.2	8.5
1225	327	331	327	313	362	332	16.1
1250	318	359	335	338	319	333.8	14.9
1300	336	351	346	320	352	341	11.9
1325	348	343	353	347	357	349.6	4.88
1350	699	729	619	591	514	630.4	77.0



ภาพประกอบ 36 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 36.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1200 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.46 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 11 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.00$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c/r_a = 40$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

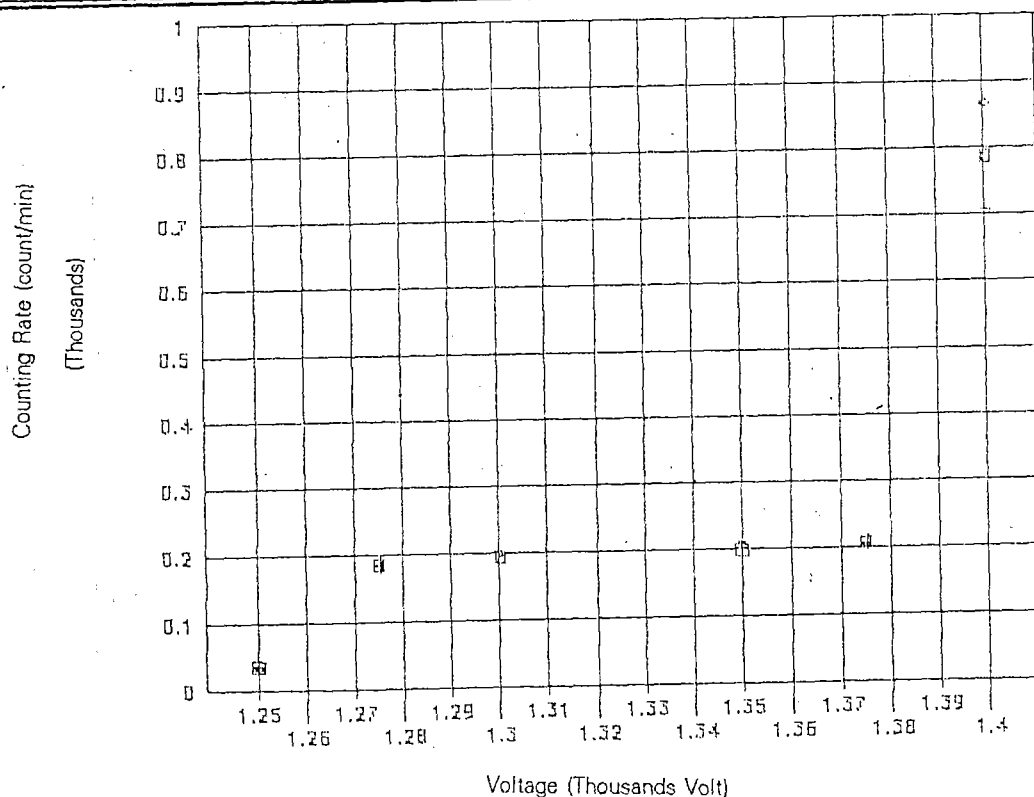
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อนาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1250	39	53	37	61	55	49	9.3
1275	201	197	217	193	183	198.2	11.1
1300	207	198	215	197	187	200.8	9.5
1325	219	205	196	201	195	203.2	8.6
1350	247	224	211	207	198	217.4	17.0
1375	250	227	210	212	195	218.8	18.6
1400	508	487	537	498	487	503.4	18.5



ภาพประกอบ 37 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 40.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1250 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 13.11 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 12 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.10$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c/r_a = 44$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

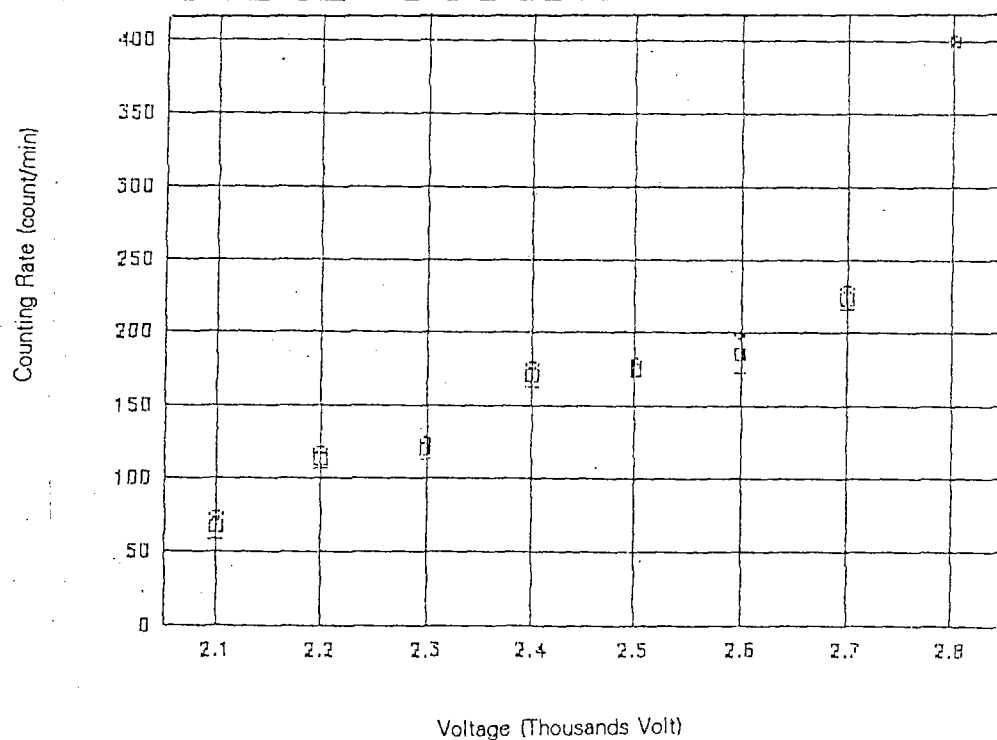
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อนาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1250	30	36	29	38	41	34.8	4.6
1275	185	181	190	187	181	184.8	3.4
1300	197	195	201	187	181	192.2	7.2
1350	187	190	194	210	201	196.4	8.2
1375	207	208	201	206	212	206.8	3.5
1400	773	838	692	913	719	787	80.4



ภาพประกอบ 38 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 44.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1250 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 11.36 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 13 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.90$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c/r_a = 100$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

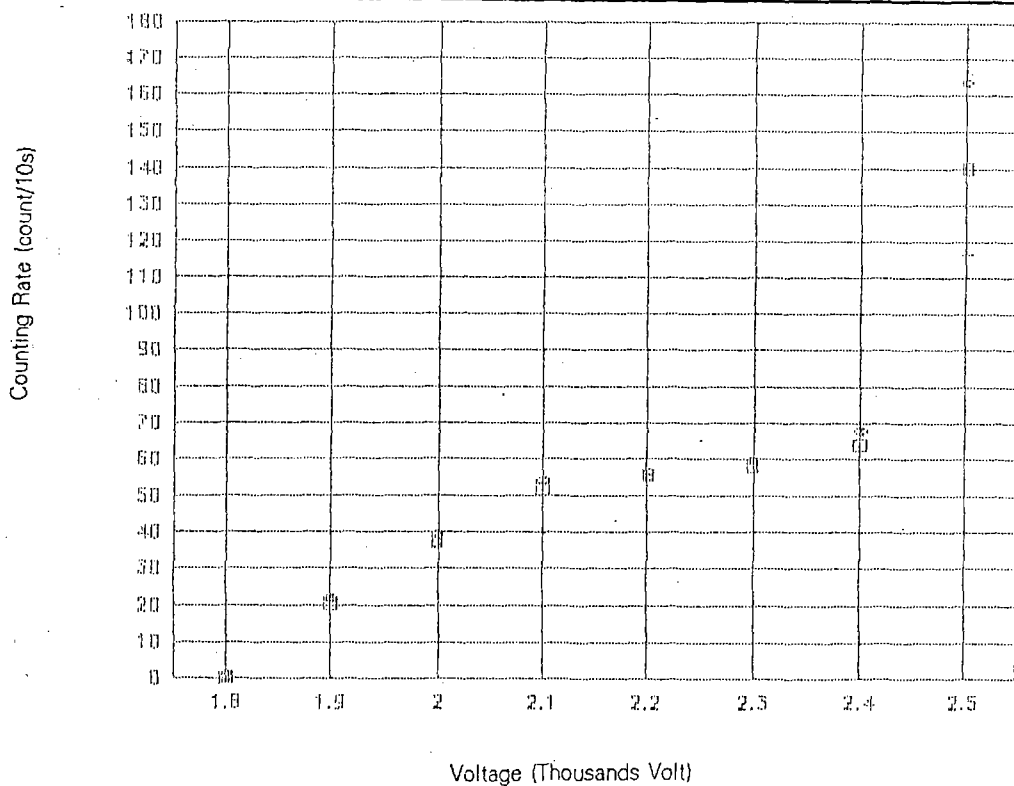
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครึ่งค่อนาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
2100	75	71	56	66	68	67.2	8.1
2200	112	105	97	125	127	113.2	6.1
2300	122	115	107	129	126	119.8	6.1
2400	181	168	164	168	170	170.2	7.2
2500	177	183	170	170	173	174.6	5.3
2600	210	200	180	167	169	185.2	12.4
2700	244	232	228	207	205	223.2	6.7
2800	503	499	497	247	250	399.2	2.4



ภาพประกอบ 39 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 100$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2100 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.08 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 14 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.00$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c/r_a = 111.1$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

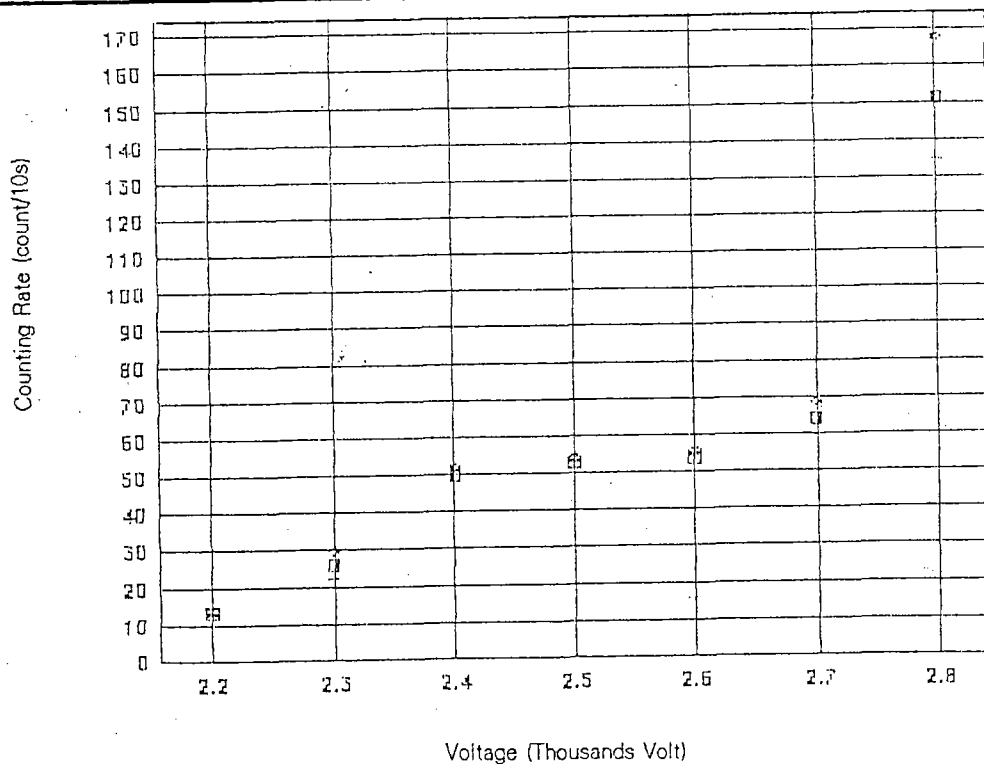
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10 วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1800	0	0	0	0	0	0	0
1900	18	22	22	19	20	20.2	1.6
2000	37	35	39	37	40	37.6	1.74
2100	55	53	52	49	51	52	2
2200	55	57	55	54	56	55.4	1.01
2300	57	56	58	57	61	57.8	1.72
2400	67	63	68	65	57	64	3.89
2500	101	127	151	153	168	140	23.5



ภาพประกอบ 40 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 111.1$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1900 โวลต์ ที่ราบยาว
 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 7.7 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 15 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.10$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c/r_a = 122.2$ เท่า
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์

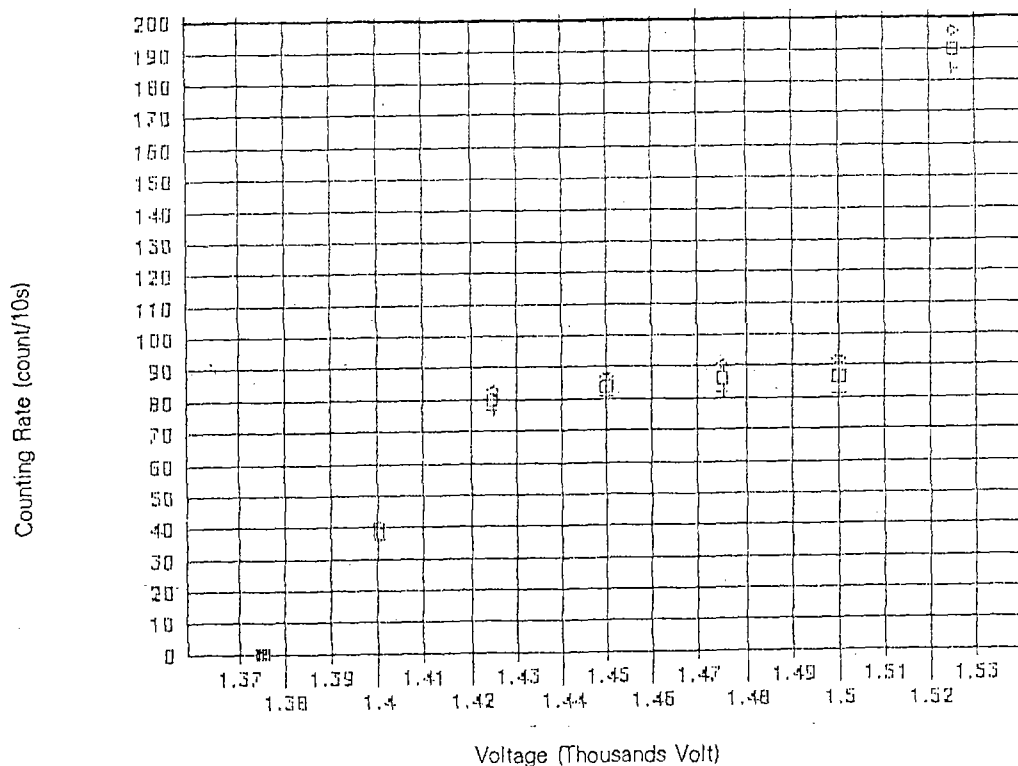
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
2200	14	14	13	13	12	13.2	0.7
2300	29	30	27	21	22	25.8	3.6
2400	51	50	53	47	49	50	2
2500	53	53	55	52	51	52.8	1.3
2600	54	51	56	55	53	53.8	1.7
2700	63	71	67	60	59	64	4.4
2800	162	171	159	137	127	151.2	16.4



ภาพประกอบ 41 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 122.2$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 10 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2200 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 10.44 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 16 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.90$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c/r_a = 18$ เท่า
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

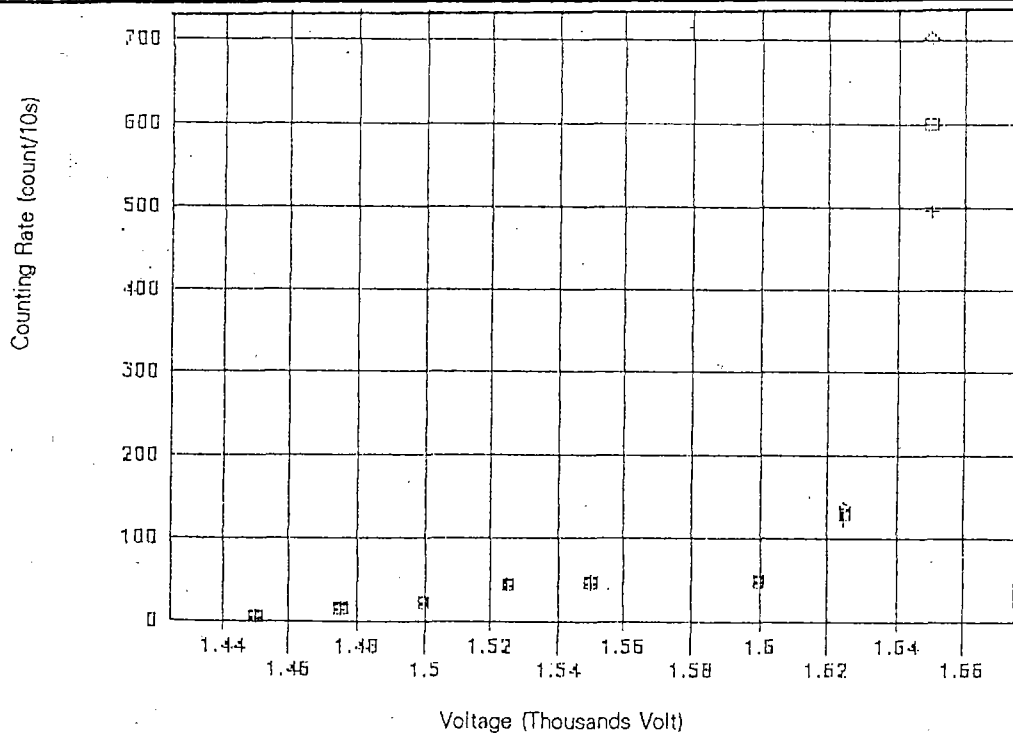
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10 วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1375	0	0	0	0	0	0	0
1400	36	36	38	41	41	38.4	2.2
1425	83	79	76	84	77	79.8	3.1
1450	86	83	79	87	85	84	2.8
1475	87	89	79	91	85	86.2	4.1
1500	91	87	77	92	86	86.6	5.3
1525	197	194	181	185	191	189.6	5.8



ภาพประกอบ 42 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 18.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1400 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.93 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 17 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.00$ cm ขนาด $r_a = 0.50$ cm $r_c/r_a = 20$ เท่า
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

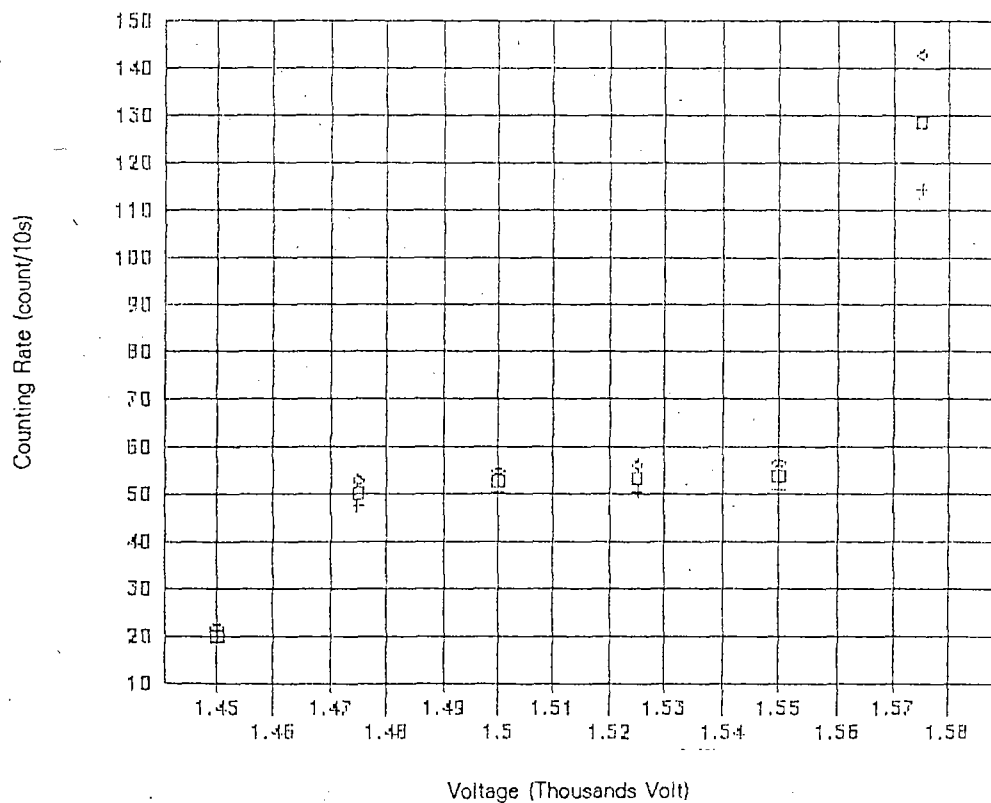
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1450	4	4	5	7	8	5.6	1.6
1475	16	15	16	17	15	15.8	0.7
1500	21	21	19	27	23	22.2	2.7
1525	47	45	42	43	45	44.4	1.7
1550	49	48	46	47	43	46.6	2.0
1600	52	50	48	50	45	49	2.3
1625	129	129	118	131	142	129.8	7.6
1650	730	595	420	663	592	600	103.3



ภาพประกอบ 43 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 20.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1450 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 13.76 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 18 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.10$ cm ขนาด $r_a = 0.50$ cm $r_c/r_a = 22$ เท่า
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

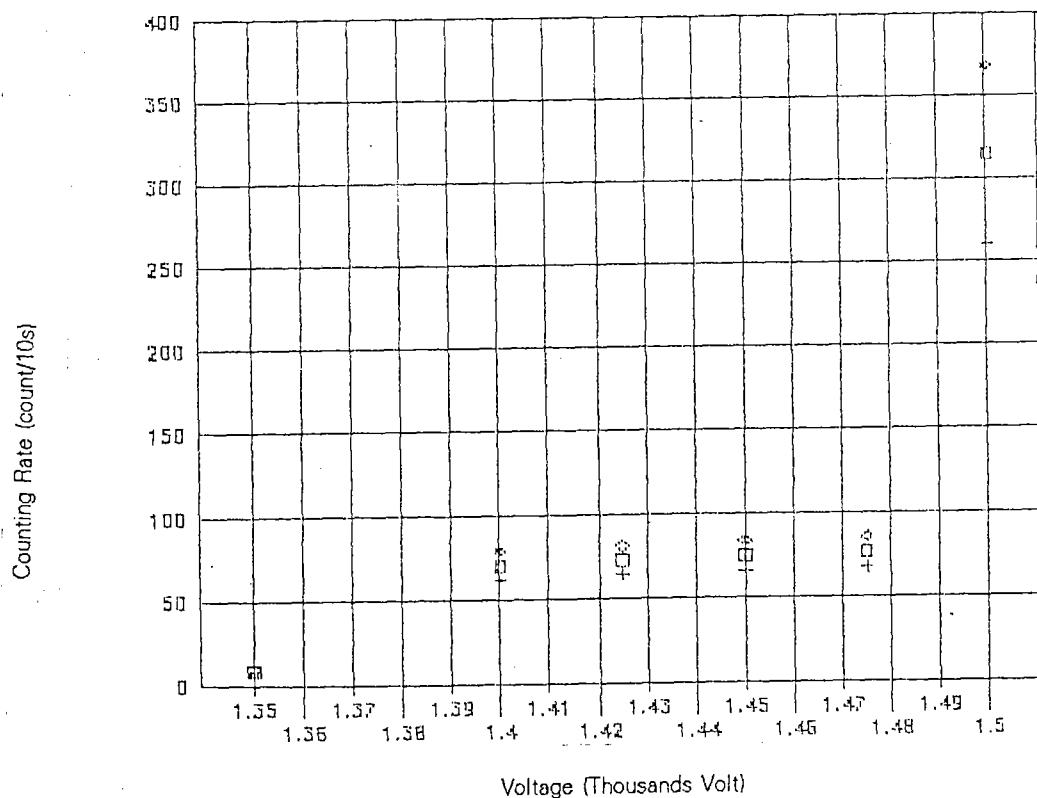
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1450	18	22	22	19	20	20.2	1.6
1475	54	51	47	51	47	50	2.6
1500	55	53	49	54	51	52.4	2.1
1525	57	55	51	54	49	53.2	2.8
1550	57	56	53	53	49	53.6	2.8
1575	147	117	141	129	109	128.6	14.2



ภาพประกอบ 44 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 22.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1450 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 10.76 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 19 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.90$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c/r_a = 24$ เท่า
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

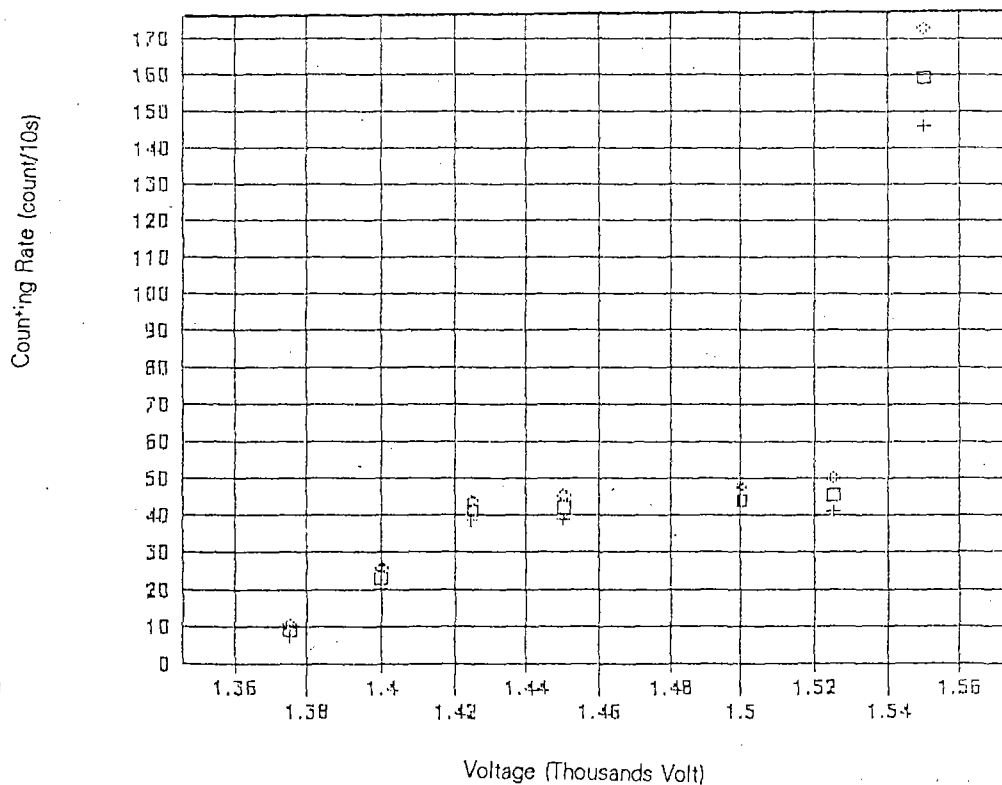
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1350	10	7	6	11	7	8.2	1.9
1400	83	77	65	67	59	70.2	8.6
1425	86	79	65	69	65	72.8	8.3
1450	87	80	62	75	69	74.6	8.6
1475	90	81	65	77	69	76.4	8.8
1500	335	255	261	403	317	314.2	54.1



ภาพประกอบ 45 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 24.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1350 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 11.73 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 20 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.00$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c/r_a = 26.67$ เท่า
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

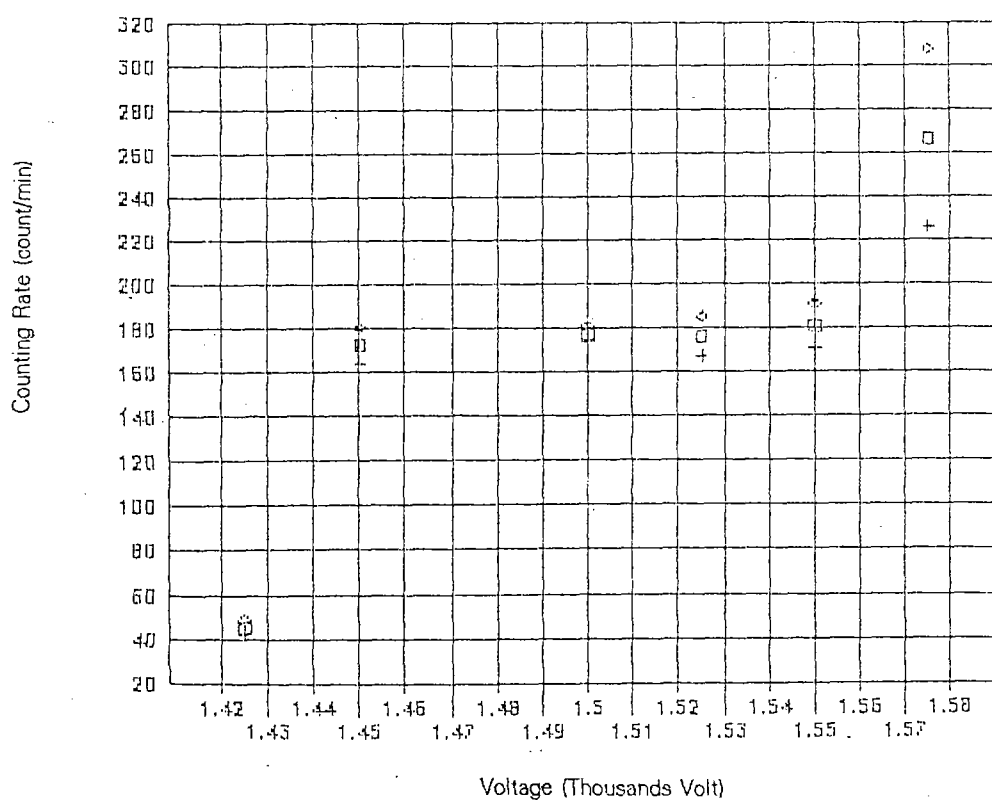
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)ค่าเฉลี่ย					ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	
	1	2	3	4	5		
1375	10	9	11	7	7	8.8	1.6
1400	27	23	25	19	21	23	2.8
1425	41	45	37	41	42	41.2	2.5
1450	45	37	42	46	41	42.2	3.1
1500	46	50	43	42	39	44	3.7
1525	51	49	47	39	42	45.6	4.4
1550	171	159	177	151	139	159.4	13.6



ภาพประกอบ 46 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 26.67$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1375 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 10.43 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 21 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c/r_a = 29.3$ เท่า
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

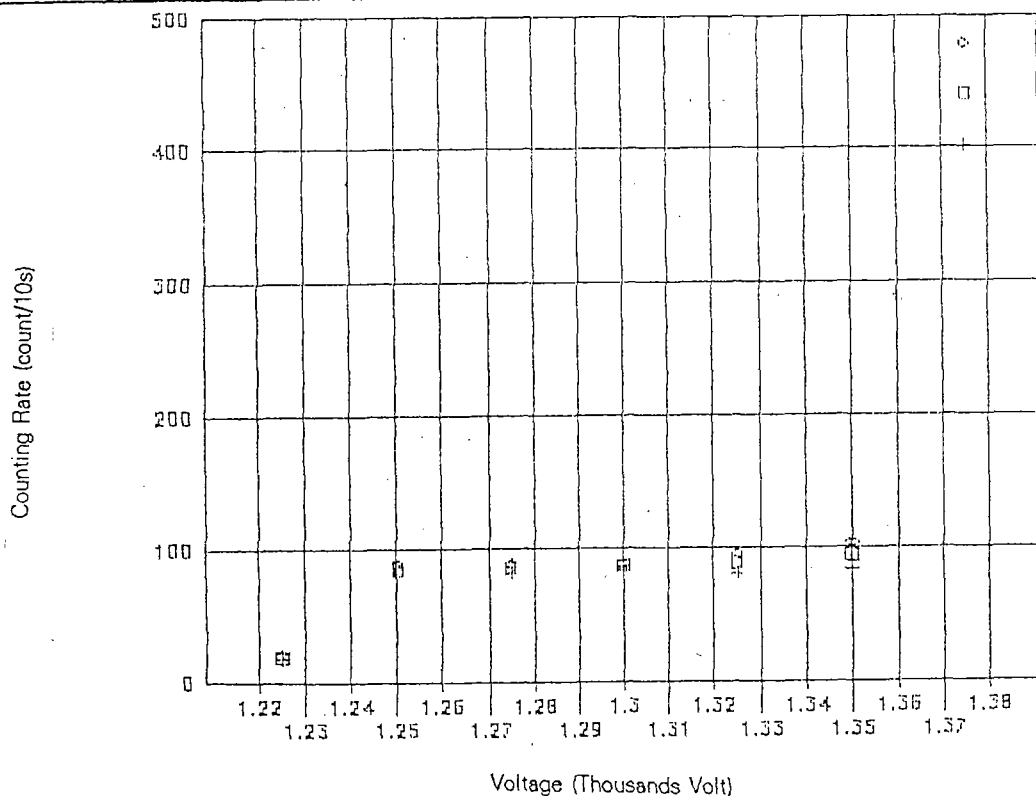
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อนาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1425	49	44	41	49	45	45.6	3.0
1450	158	173	183	174	173	172.2	8.0
1500	178	177	178	182	171	177.2	3.5
1525	179	175	169	191	165	175.8	8.9
1550	181	190	173	193	167	180.8	9.8
1575	269	327	227	293	217	266.6	40.9



ภาพประกอบ 47 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 29.30$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1425 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.34 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 22 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.09$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c/r_a = 36$ เท่า
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

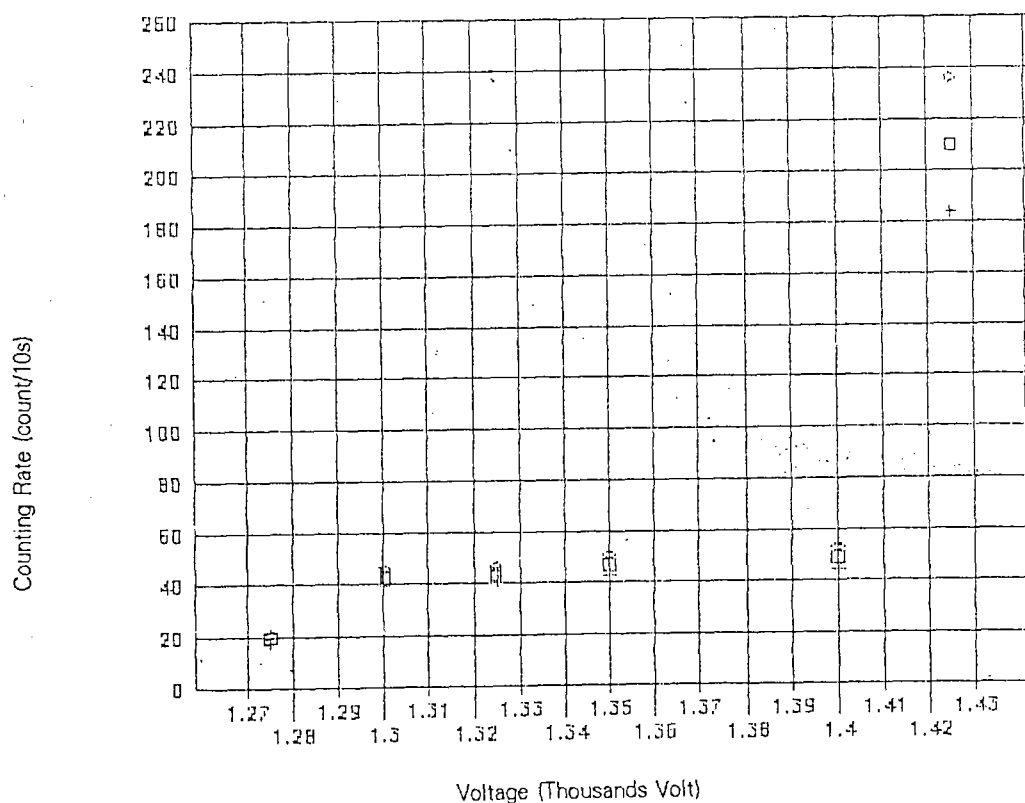
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)ค่าเฉลี่ย					ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5	
1225	19	21	19	18	17	18.8
1250	87	85	77	81	91	84.2
1275	83	87	81	85	90	85.2
1300	89	83	85	89	85	86.2
1325	77	95	86	85	97	88
1350	79	107	93	87	101	93.4
1375	449	508	409	397	437	440



ภาพประกอบ 48 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 36.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1225 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 11.85 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 23 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.00$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c/r_a = 40$ เท่า
 แก๊สรับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

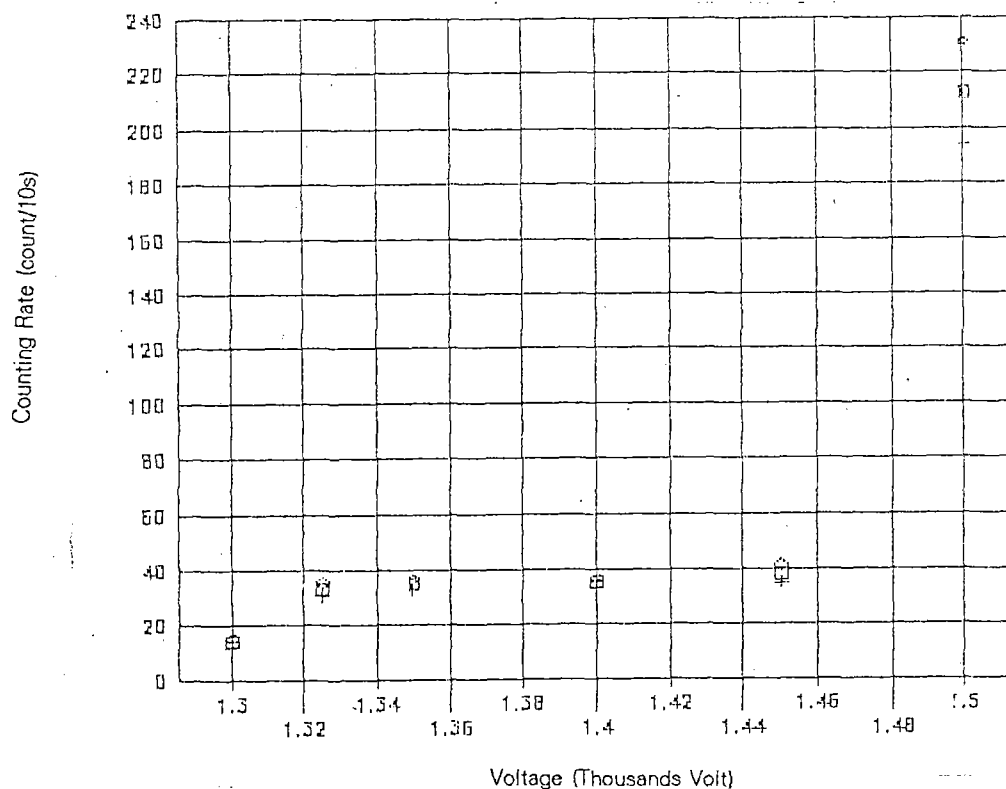
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1275	18	19	22	19	18	19.2	1.4
1300	47	45	39	43	39	42.6	3.2
1325	45	47	41	45	40	43.6	2.6
1350	51	47	51	43	41	46.6	4.0
1400	54	49	52	45	43	48.6	4.1
1425	212	256	207	197	177	209.8	26.0



ภาพประกอบ 49 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 40.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สรับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1275 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 15.53 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 24 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.10$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c/r_a = 44$ เท่า
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

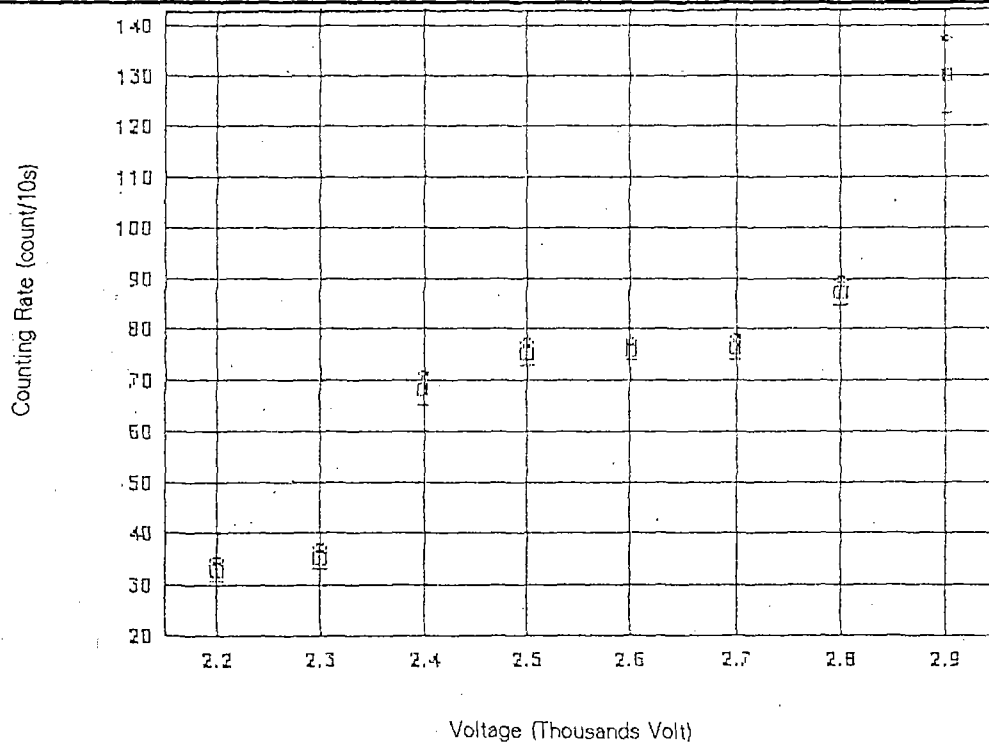
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1300	13	11	15	14	15	13.6	1.4
1325	31	35	33	30	37	33.2	2.5
1350	33	38	33	34	36	34.8	1.9
1400	37	37	34	34	33	35	1.6
1450	41	43	35	35	37	38.2	3.2
1500	191	222	199	243	207	212.4	18.4



ภาพประกอบ 50 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 44.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1300 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 125 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.1 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 25 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.90$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c/r_a = 100$ เท่า
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

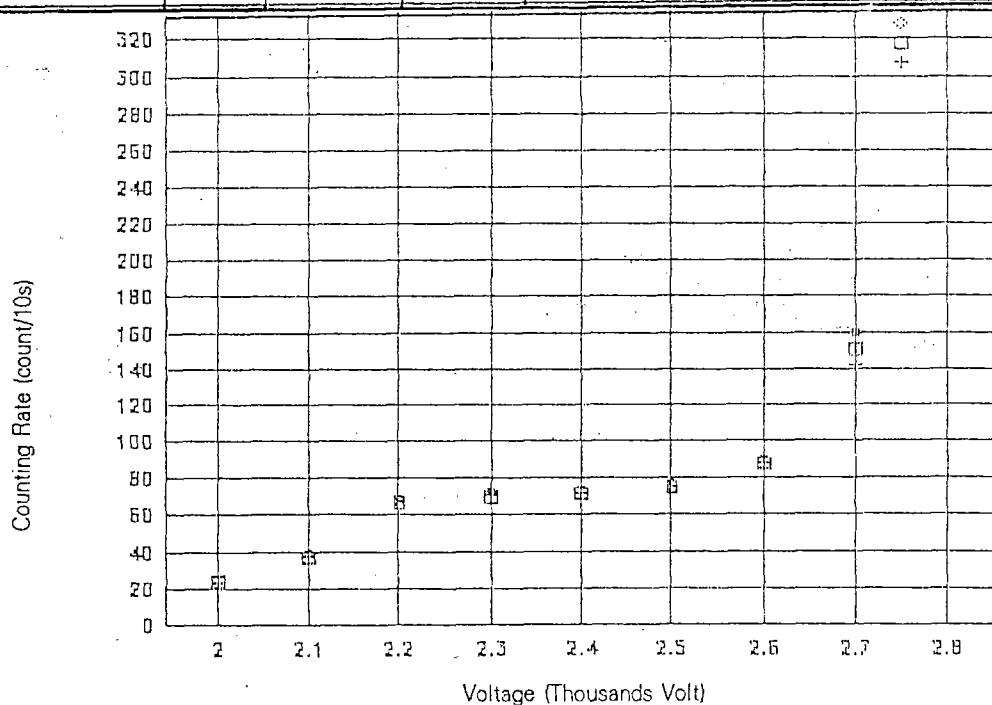
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
2200	34	33	29	34	34	32.8	1.9
2300	36	34	36	32	38	35.2	2.0
2400	69	63	67	72	70	68.2	3.0
2500	76	77	77	75	71	75.2	2.2
2600	78	77	76	75	73	75.8	1.7
2700	77	75	80	74	75	76.2	2.1
2800	89	84	91	87	85	87.2	2.5
2900	135	128	139	131	117	130	7.4



ภาพประกอบ 51 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 100$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2200 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.13 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 26 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c/r_a = 111.1$ เท่า
แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

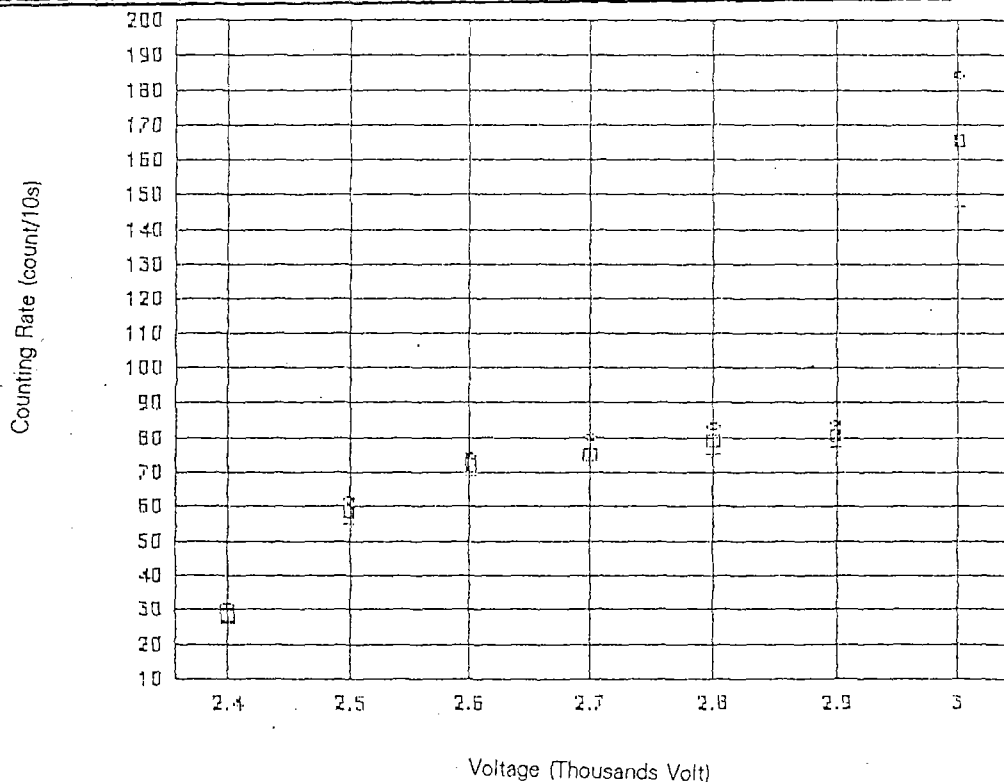
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
2000	24	25	25	24	23	24.2	0.7
2100	38	40	33	35	37	36.6	2.4
2200	66	66	64	64	71	66.2	2.5
2300	66	68	67	72	74	69.4	3.0
2400	73	71	72	72	67	71	2.0
2500	74	73	78	76	71	74.4	2.4
2600	89	85	91	87	85	87.4	2.3
2700	158	162	151	137	147	151	8.7
2750	309	317	304	332	327	317.8	10.5



ภาพประกอบ 52 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 111.1$ เท่า ส่วนผสมของ
แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2000 โวลต์ ที่ราบ ยาว
300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.02 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 27 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c/r_a = 122.2$ เท่า
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์

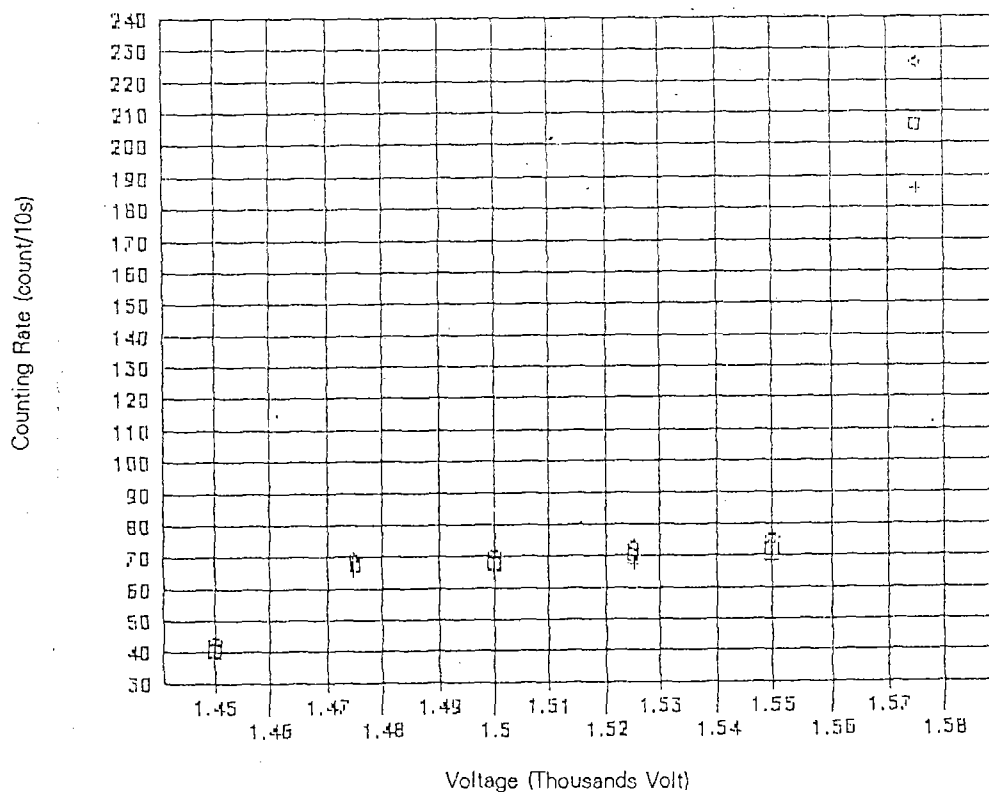
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครึ่งต่อ 10 วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
2400	29	33	27	27	26	28.4	2.4
2500	53	56	59	61	63	58.4	3.5
2600	67	71	73	74	75	72	2.8
2700	79	71	67	80	78	75	5.0
2800	73	76	82	84	81	79.2	4.0
2900	77	81	80	87	79	80.8	3.3
3000	187	149	189	157	145	165.4	18.8



ภาพประกอบ 53 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 122.2$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 15 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2400 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 300 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.36 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 28 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.90$ cm ขนาด $r_a = 0.05$ cm $r_c/r_a = 18$ เท่า
แก๊สรับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

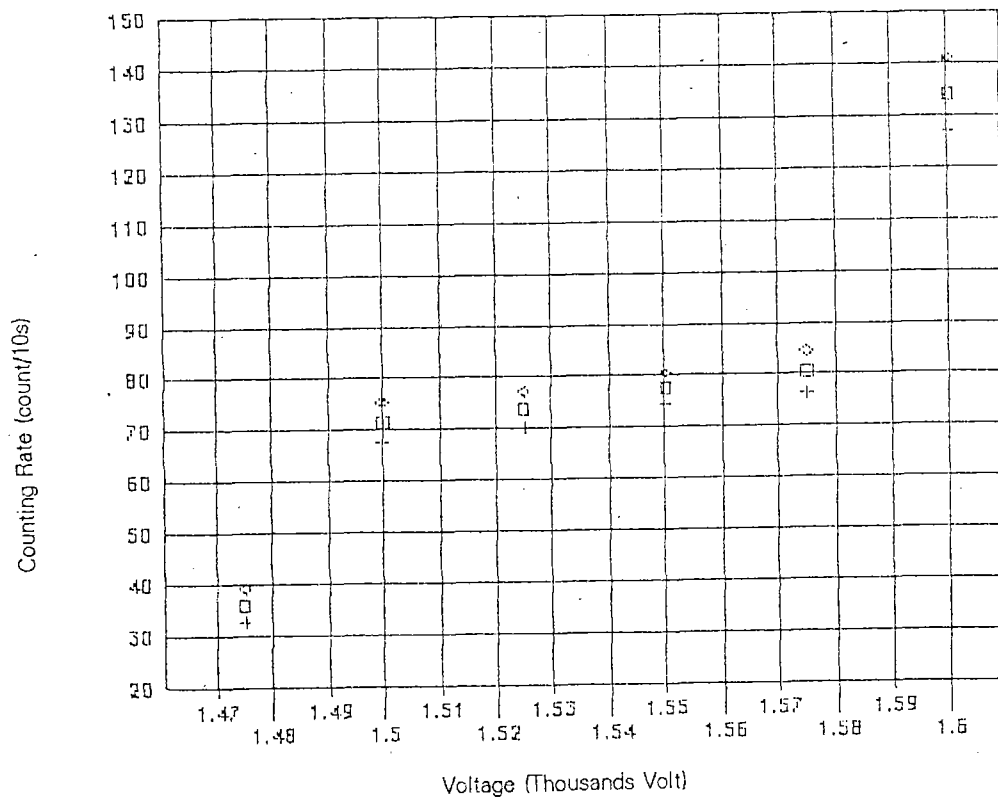
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1450	39	42	41	37	45	40.8	2.7
1475	66	67	65	69	71	67.6	2.1
1500	67	71	67	71	64	68	2.6
1525	66	73	70	74	69	70.4	2.8
1550	72	74	77	66	71	72	3.6
1575	209	237	195	210	177	205.6	19.7



ภาพประกอบ 54 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 18.00$ เท่า ส่วนผสมของ
แก๊สรับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1450 โวลต์ ที่ราบ ยาว
75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 9.8 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 29 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.00$ cm ขนาด $r_a = 0.50$ cm $r_c/r_a = 20$ เท่า
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

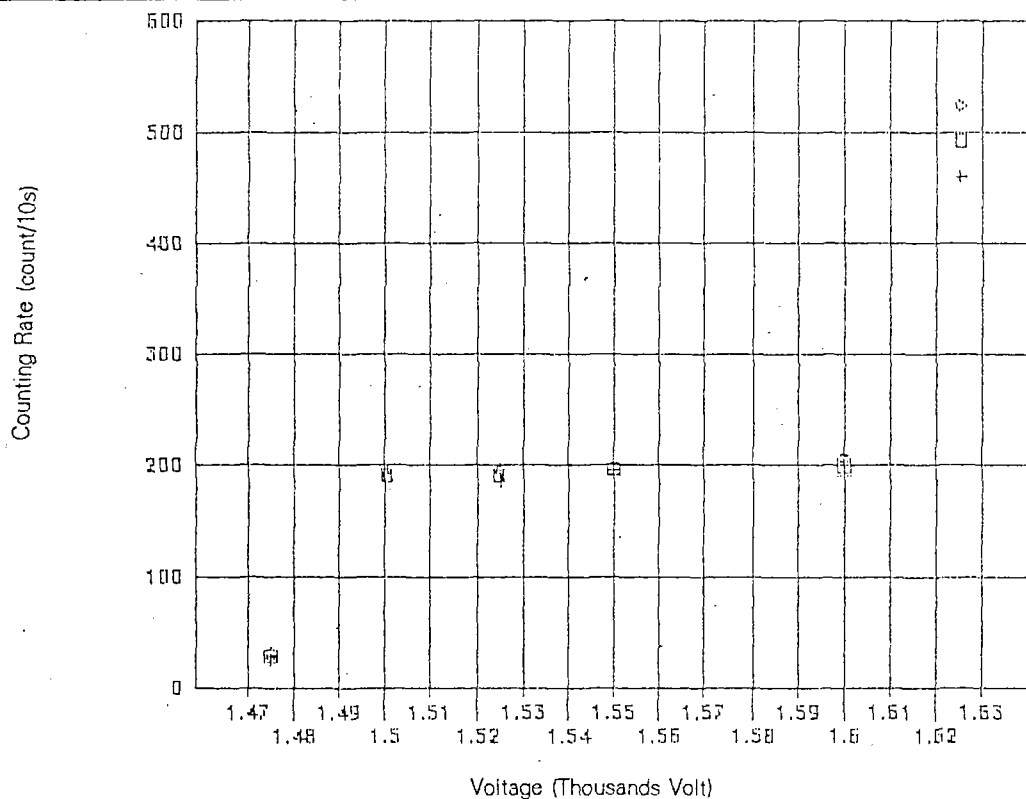
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1475	37	41	35	31	36	36	3.2
1500	69	79	68	71	70	71.4	3.9
1525	76	78	69	70	75	73.6	3.4
1550	81	76	81	75	74	77.4	3.0
1575	87	83	76	77	79	80.4	4.0
1600	127	133	147	134	129	134	6.9



ภาพประกอบ 55 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 20.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1475 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 75 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 17.41 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 30 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.10$ cm ขนาด $r_a = 0.50$ cm $r_c/r_a = 22$ เท่า
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

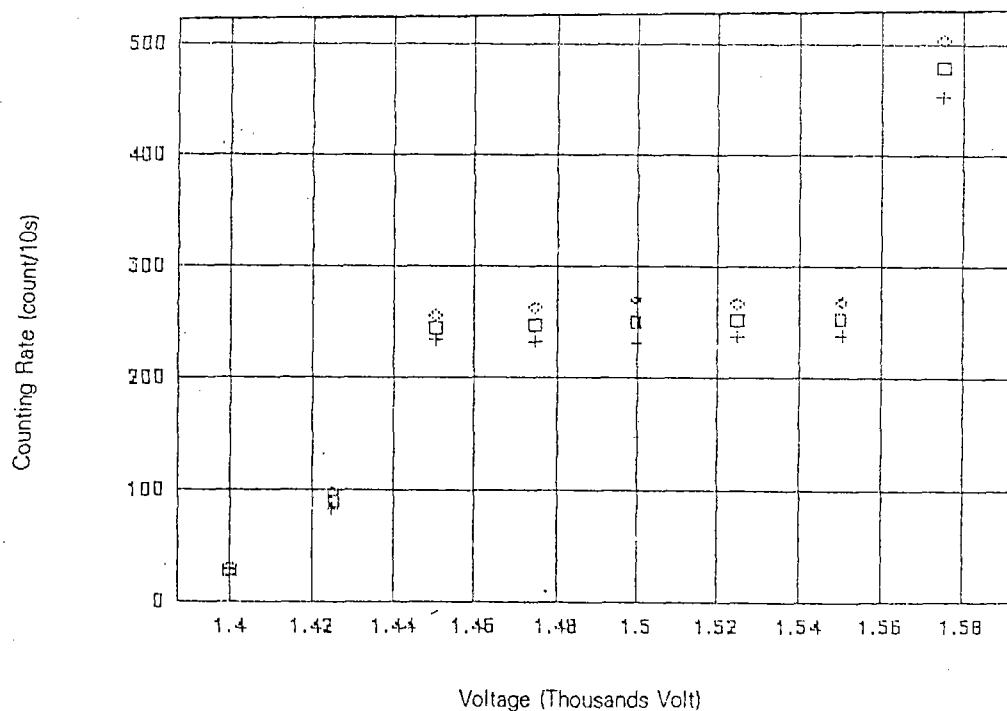
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1475	25	28	26	31	33	28.6	3.0
1500	185	187	198	186	195	190.2	5.2
1525	191	198	195	185	184	190.6	5.4
1550	194	195	197	191	201	195.6	3.3
1600	203	189	211	192	197	198.4	7.8
1625	534	491	437	503	495	492	31.3



ภาพประกอบ 56 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 22.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1475 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.13 เปอร์เซนต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 31 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.90$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c/r_a = 24$ เท่า
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

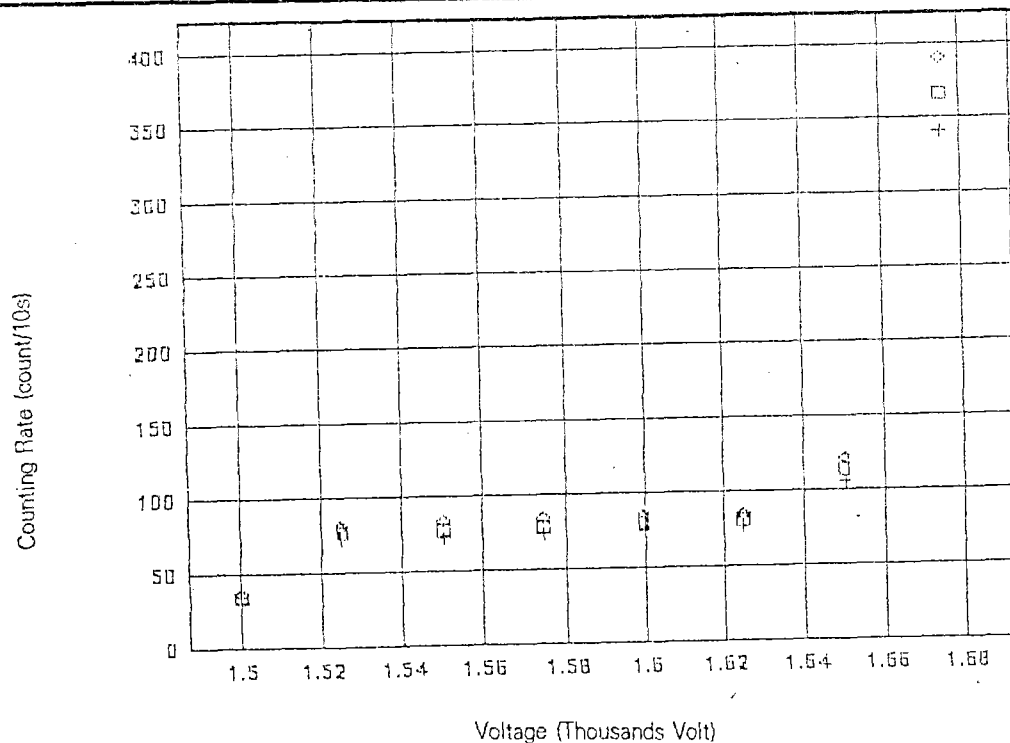
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10 วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1400	28	33	28	29	21	27.8	3.8
1425	91	99	92	89	77	89.6	7.1
1450	242	255	258	243	227	245	11.0
1475	246	242	277	239	235	247.8	15.0
1500	244	287	246	247	229	250.6	19.3
1525	254	231	276	255	244	252	14.7
1550	257	251	278	251	231	253.6	15.0
1575	444	518	492	478	461	478.6	25.4



ภาพประกอบ 57 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 24.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1400 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 3.58 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 32 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c/r_a = 26.7$ เท่า
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

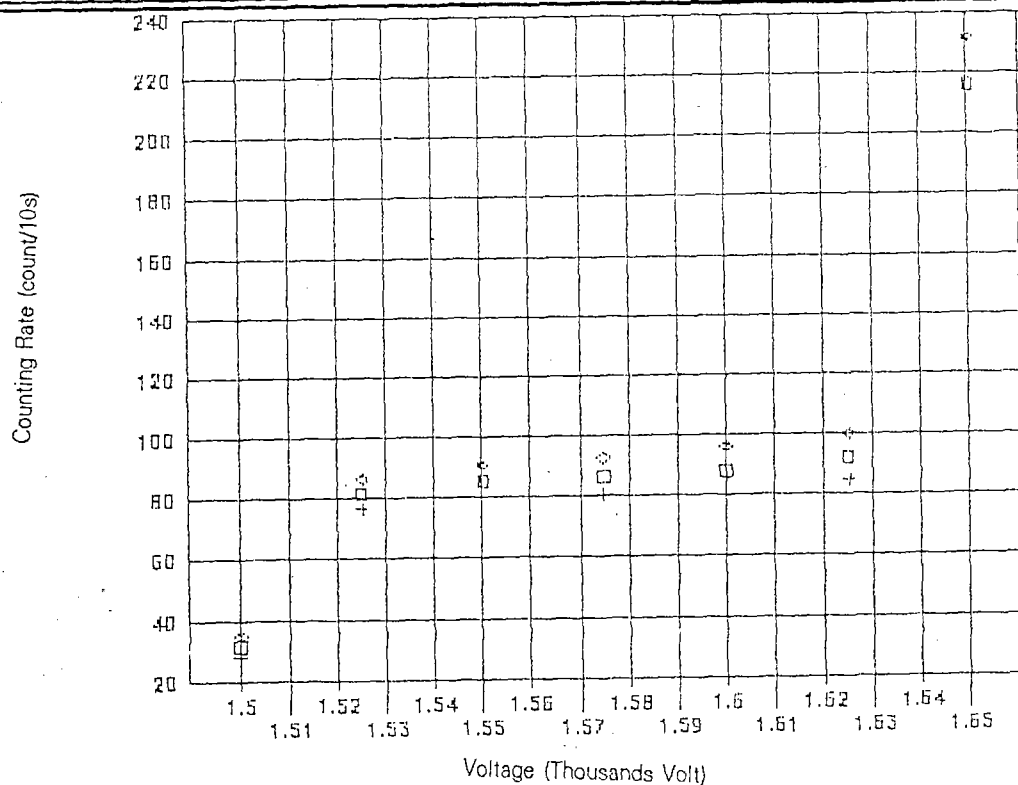
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10 วินาที) ค่าเฉลี่ย					ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5	
1500	38	35	33	35	29	34 2.9
1525	81	77	71	81	73	76.6 4.0
1550	84	84	69	77	76	78 5.6
1575	84	84	71	82	75	79.2 5.2
1600	85	85	71	84	77	80.4 5.5
1625	85	84	79	83	74	81 4.0
1650	109	127	114	115	104	113.8 7.6
1675	341	338	401	386	361	365.4 24.7



ภาพประกอบ 58 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 26.67$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1500 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 5.95 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 33 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.0375$ cm $r_c/r_a = 29.3$ เท่า
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

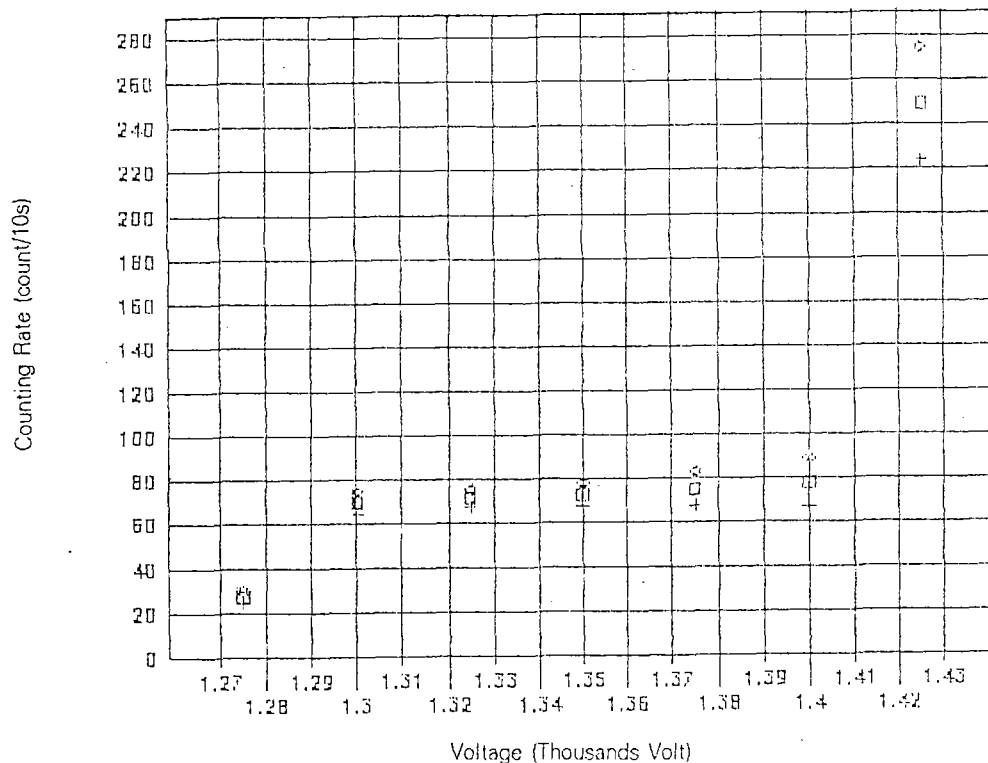
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครึ่งต่อ 10 วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1500	35	36	31	27	29	31.6	3.4
1525	87	84	79	84	73	81.4	4.9
1550	91	84	89	87	76	85.4	5.2
1575	93	93	84	85	77	86.4	6.0
1600	93	99	81	89	77	87.8	7.9
1625	99	98	95	91	78	92.2	7.6
1650	201	237	213	231	198	216	15.6



ภาพประกอบ 59 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 29.3$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1500 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.55 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 34 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.09$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c/r_a = 36$ เท่า
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

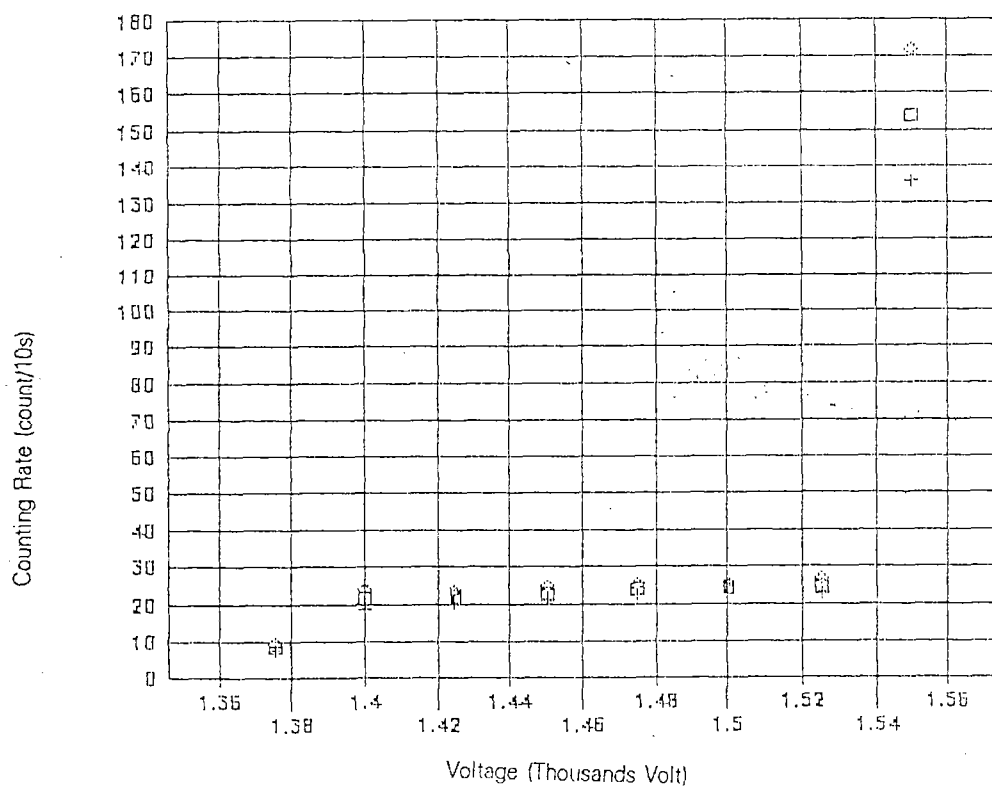
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10 วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1275	29	27	24	31	25	27.2	2.5
1300	75	73	67	72	61	69.6	5.0
1325	77	74	69	72	65	71.4	4.1
1350	82	73	65	73	71	72.8	5.4
1375	81	77	65	85	68	75.2	7.6
1400	93	74	62	87	74	78	10.8
1425	291	256	239	247	213	249.2	25.3



ภาพประกอบ 60 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 36.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1275 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 100 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.05 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 35 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.00$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c/r_a = 40$ เท่า
 แก๊สรับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

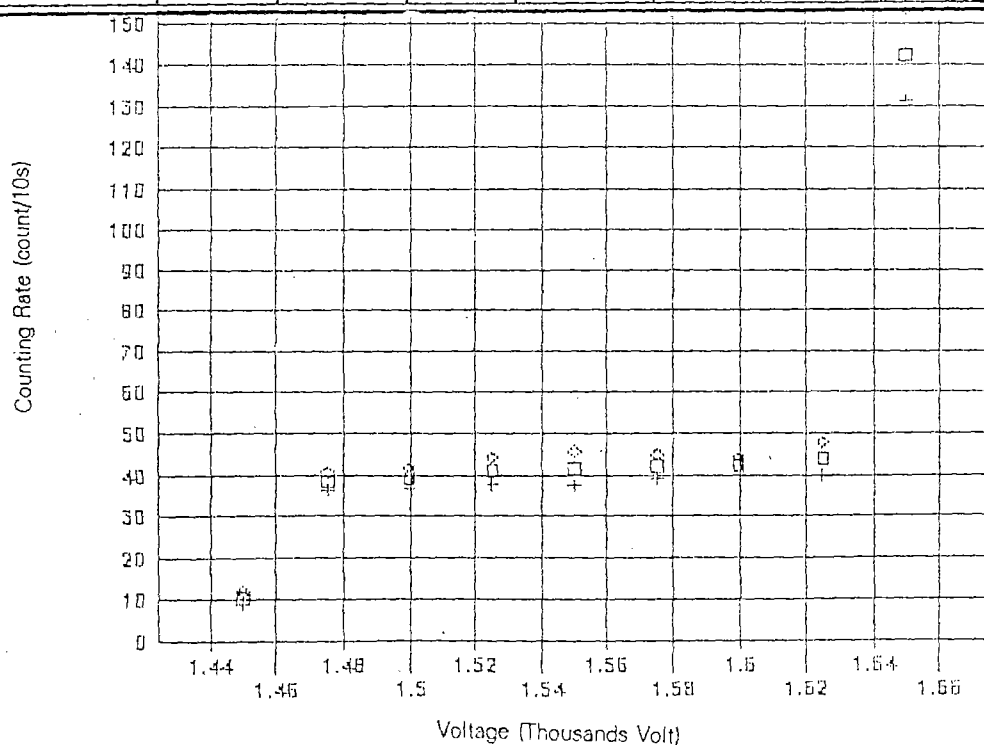
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
1375	10	9	8	8	7	8.4	1.0
1400	26	21	19	22	19	21.4	2.5
1425	25	22	20	22	21	22	1.6
1450	26	23	22	23	20	22.8	1.9
1475	26	23	25	22	23	23.8	1.4
1500	27	24	23	24	22	24	1.6
1525	27	25	21	24	26	24.6	2.0
1550	166	171	168	137	127	153.8	18.1



ภาพประกอบ 61 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 40.00$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สรับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1375 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 125 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 12.58 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 36 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.10$ cm ขนาด $r_a = 0.025$ cm $r_c/r_a = 44$ เท่า
แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

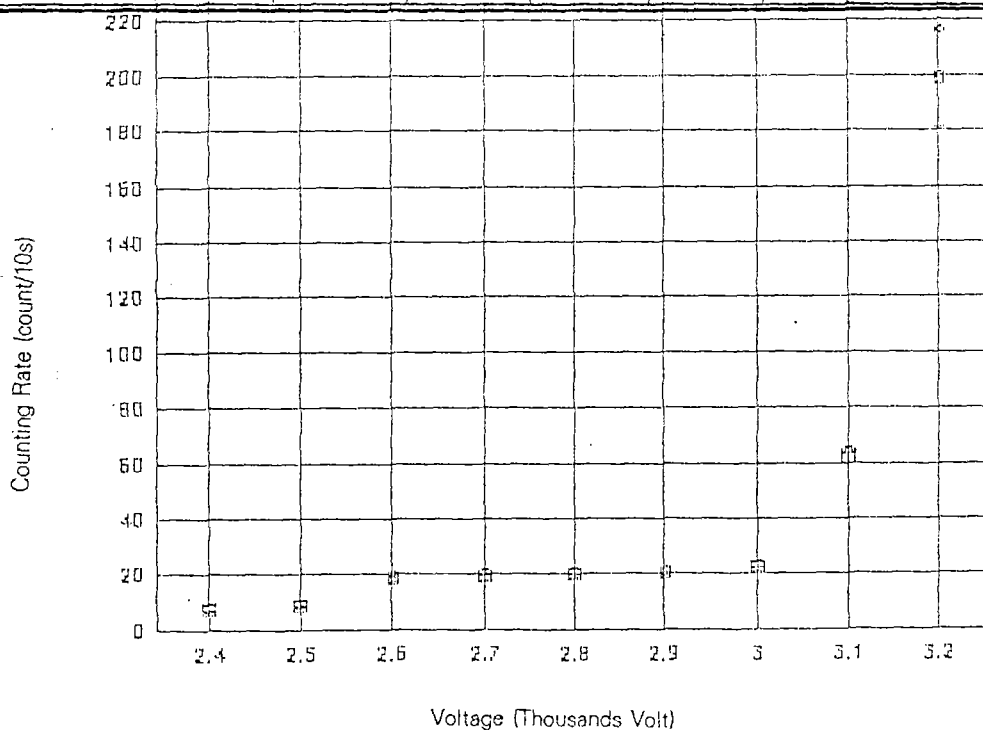
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)ค่าเฉลี่ย					ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5	
1450	13	11	9	10	9	10.4 1.4
1475	41	39	37	40	35	38.4 2.1
1500	40	37	36	43	40	39.2 2.4
1525	43	40	35	43	44	41 3.2
1550	44	41	44	34	45	41.6 4.0
1575	45	45	43	39	38	42 2.9
1600	43	43	45	41	40	42.4 1.7
1625	51	41	45	40	42	43.8 3.9
1650	152	134	141	157	127	142.2 11.0



ภาพประกอบ 62 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 44.00$ เท่า ส่วนผสมของ
แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 1450 โวลต์ ที่ราบ ยาว
150 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 9.22 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 37 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 0.90$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c/r_a = 100$ เท่า
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

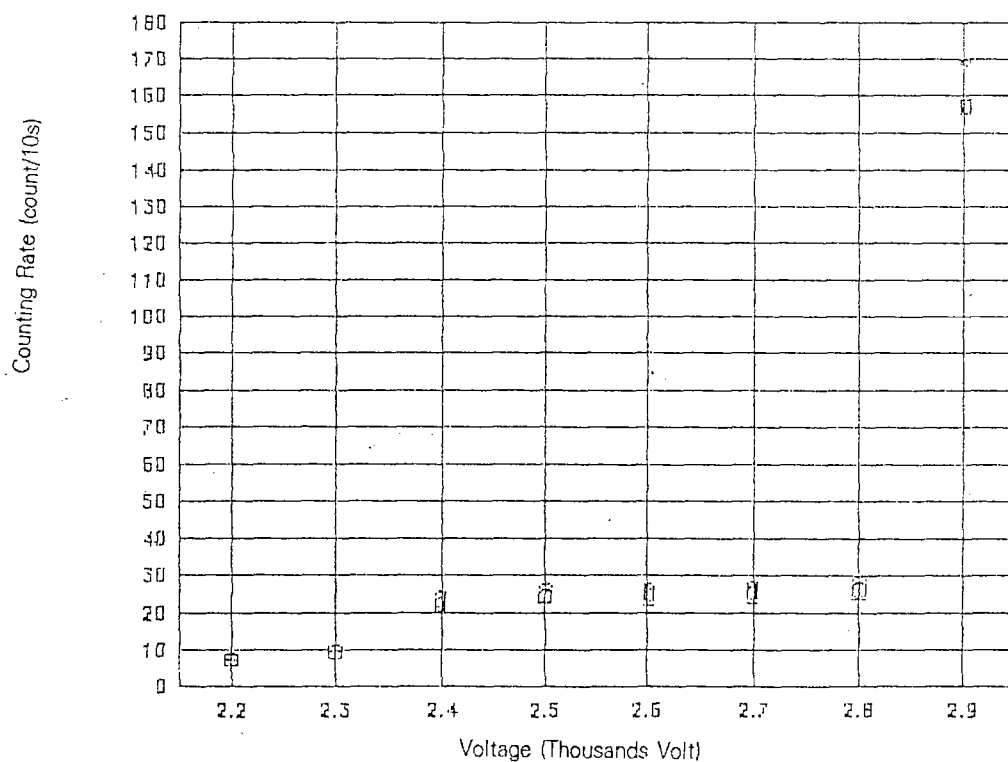
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครึ่งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
2400	8	8	7	8	6	7.4	0.8
2500	10	9	9	8	7	8.6	1.0
2600	20	20	19	17	17	18.6	1.3
2700	20	21	18	20	17	19.2	1.4
2800	19	20	21	21	18	19.8	1.1
2900	20	22	20	21	19	20.4	1.0
3000	24	23	21	22	21	22.2	1.1
3100	63	61	59	65	64	62.4	2.1
3200	187	192	225	177	213	198.8	17.6



ภาพประกอบ 63 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 100$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2400 โวลต์ ที่ราบยาว
 400 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.88 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 38 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c/r_a = 111.1$ เท่า
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

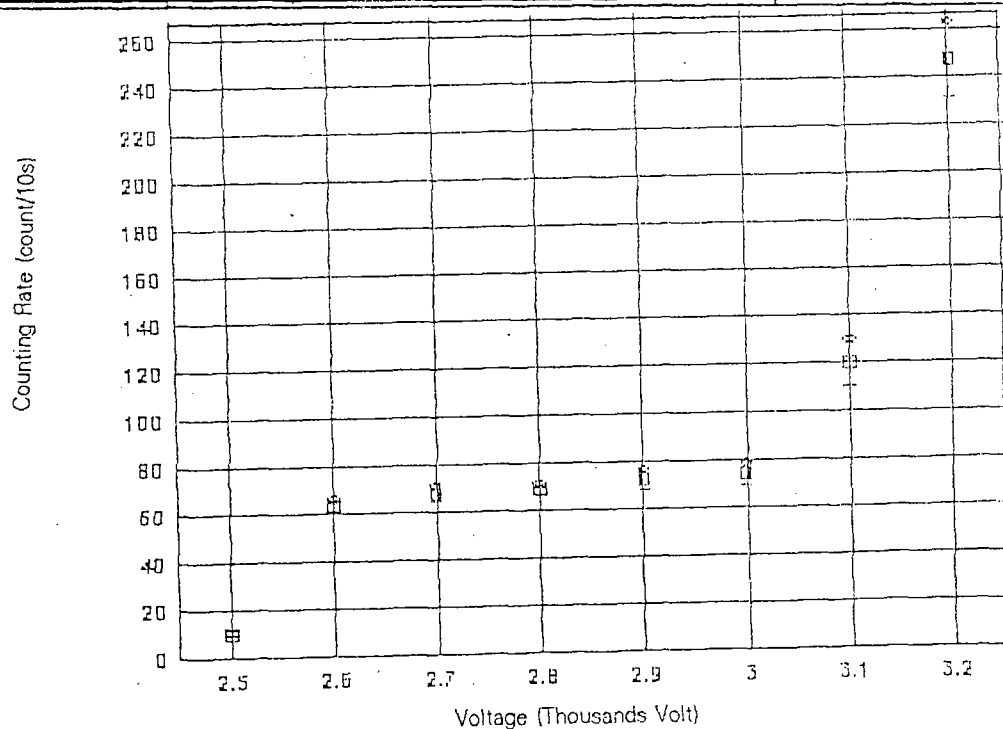
ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
2200	6	7	8	8	7	7.2	0.7
2300	10	9	8	11	8	9.2	1.1
2400	24	23	22	25	17	22.2	2.7
2500	25	27	23	26	19	24	2.8
2600	28	26	23	25	21	24.6	2.4
2700	29	27	24	24	23	25.4	2.2
2800	31	25	23	27	24	26	2.8
2900	167	155	149	174	141	157.2	11.9



ภาพประกอบ 64 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 111.1$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2200 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 400 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.3 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 39 หลอดจีเอ็มมีขนาด $r_c = 1.1$ cm ขนาด $r_a = 0.009$ cm $r_c/r_a = 122.2$ เท่า
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์

ความต่างศักย์ /ครั้งที่ (Volts)/No	อัตราการนับรังสี (ครั้งต่อ 10วินาที)					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	1	2	3	4	5		
2500	10	11	9	10	9	9.8	0.7
2600	65	64	59	67	61	63.2	2.8
2700	72	67	63	71	65	67.6	3.4
2800	72	68	67	71	66	68.8	2.3
2900	71	77	75	74	65	72.4	4.1
3000	77	80	71	75	67	74	4.5
3100	127	131	110	125	107	120	9.6
3200	278	245	235	241	237	247.2	15.7



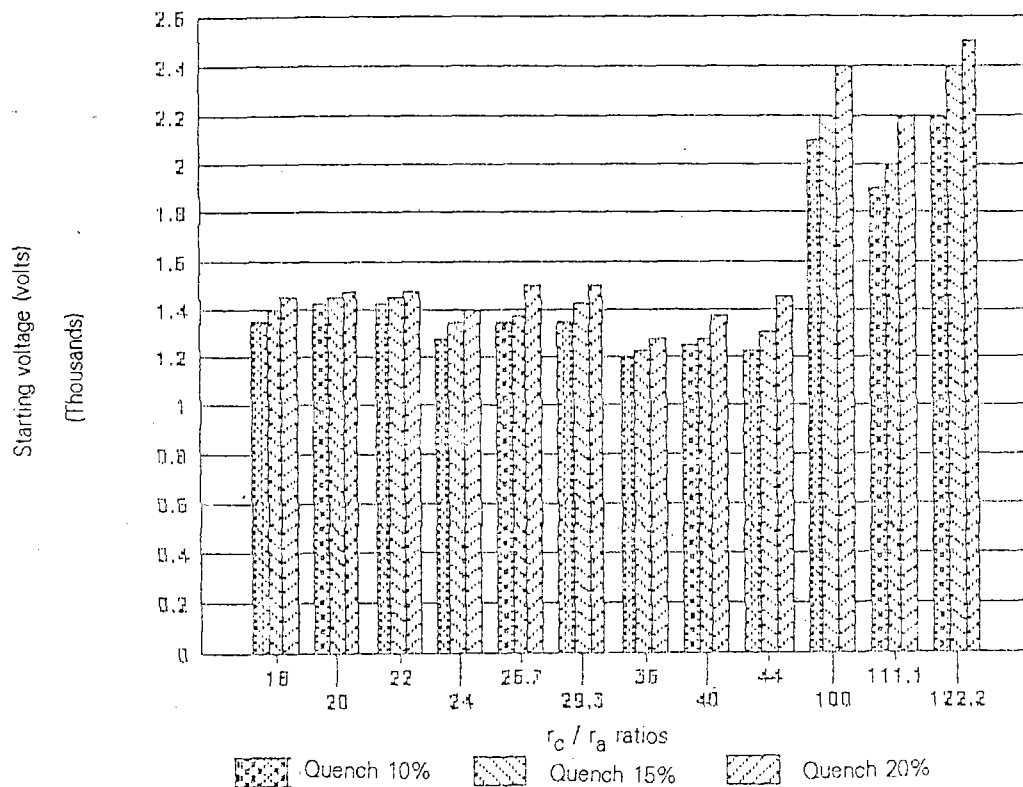
ภาพประกอบ 65 กราฟที่ราบของหลอดจีเอ็มที่มี $r_c/r_a = 122.2$ เท่า ส่วนผสมของ
 แก๊สระดับ 20 % ความดันรวม 100 ทอร์ ได้ค่า ศักย์เริ่มต้น 2500 โวลต์ ที่ราบ ยาว
 400 โวลต์ และอัตราการนับเพิ่มขึ้น 4.32 เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 โวลต์

จากตาราง 4 จนถึงตาราง 39 จะเห็นว่า ทุกหลอดจีเอ็มและทุกๆอัตราส่วนของ r_c / r_a ที่ใช้ทดลองครั้งนี้ มีที่ราบทุกๆหลอด และมีอัตราการนับเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.58 ถึง 17.41 เปอร์เซ็นต์ ต่อ 100 โวลต์ และมีความยาวที่ราบอยู่ในช่วง 75 ถึง 400 โวลต์ สามารถนำหลอดเหล่านี้ไปใช้งานได้

การพิจารณาหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะของหลอดจีเอ็ม เมื่อมีการแปรอัตราส่วน r_c / r_a ไป 12 ค่า และมีการแปรอัตราส่วนผลสมของแก๊สระดับไป 3 ค่า ความดันรวมในหลอดจีเอ็มคงที่ 100 ทอร์ วิเคราะห์จากตาราง 40 ให้ผลดังนี้

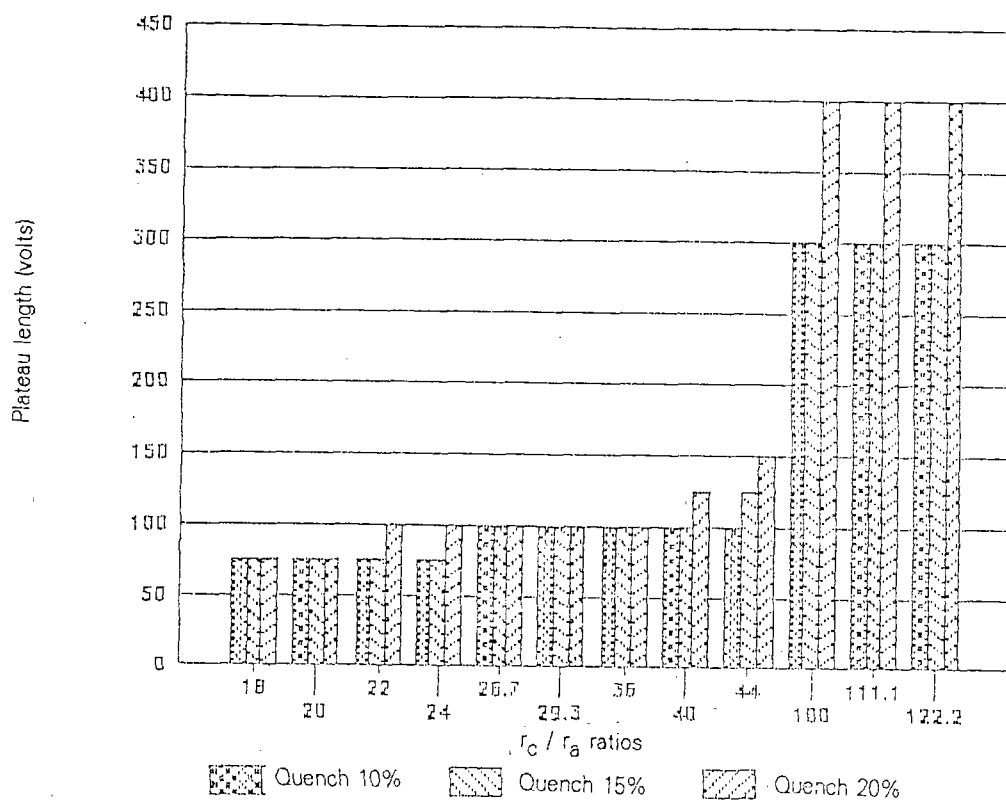
ตาราง 40 แสดงค่าศักย์เริ่มต้น และความยาวที่ราบของหลอดจีเอ็มทุกหลอดที่ใช้ทดลอง เมื่อมีการแปรอัตราส่วน r_c / r_a ไป 12 ค่า และมีการแปรอัตราส่วนผลสมของแก๊สระดับไป 3 ค่า

อัตราส่วน R_c/R_a	แก๊สระดับ 10%		แก๊สระดับ 15%		แก๊สระดับ 20%	
	ศักย์ เริ่มต้น (V)	ที่ราบ ยาว (V)	ศักย์ เริ่มต้น (V)	ที่ราบ ยาว (V)	ศักย์ เริ่มต้น (V)	ที่ราบ ยาว (V)
18	1350	75	1400	75	1450	75
20	1425	75	1450	75	1475	75
22	1425	75	1450	75	1475	100
24	1275	75	1350	75	1400	100
26.7	1350	100	1375	100	1500	100
29.3	1350	100	1425	100	1500	100
36	1200	100	1225	100	1275	100
40	1250	100	1275	100	1375	125
44	1250	100	1300	125	1450	150
100	2100	300	2200	300	2400	400
111.1	1900	300	2000	300	2200	400
122.2	2200	300	2400	300	2500	400



ภาพประกอบ 66 กราฟแท่งจากผลการทดลอง แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าศักย์เริ่มต้นของหลอดจีเอ็มแต่ละหลอด เมื่อมีการแปรอัตราส่วนผสมของแก๊สระดับไป 3 ค่า และมีการแปรอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและแอโนดไป 12 ค่า

จากตาราง 40 และภาพประกอบ 66 จะเห็นว่าหลอดจีเอ็มแต่ละหลอดที่มีอัตราส่วน r_c / r_a คงที่ เมื่อบรรจุแก๊สที่มีอัตราส่วนผสมของแก๊สระดับเพิ่มขึ้นทำให้ค่าศักย์เริ่มต้นของหลอดจีเอ็มเพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่เมื่อหลอดจีเอ็มเหล่านี้ บรรจุแก๊สที่มีอัตราส่วนผสมคงที่พบว่า หลอดจีเอ็มที่มีอัตราส่วน r_c / r_a แตกต่างกันไป จะมีค่าศักย์เริ่มต้นแตกต่างกันไปด้วย ซึ่งค่าศักย์เริ่มต้นที่เปลี่ยนไปนี้ ไม่เป็นไปตามลำดับอัตราส่วน r_c / r_a แต่อย่างใด



ภาพประกอบ 67 กราฟแท่งจากผลการทดลอง แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ความยาวที่ราบของหลอดจีเอ็มแต่ละหลอด เมื่อมีการแปรอัตราส่วนผสมของแก๊สระดับ 3 ค่าและมีการแปรอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและแอโนด 12 ค่า

จากตาราง 40 และภาพประกอบ 67 จะเห็นว่า หลอดจีเอ็มแต่ละหลอดที่มีอัตราส่วน r_c / r_a คงที่ เมื่อบรรจุแก๊สที่มีอัตราส่วนผสมของแก๊สระดับเพิ่มขึ้นทำให้ความยาวที่ราบของหลอดจีเอ็ม มีทั้งยาวเท่ากันและเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อหลอดจีเอ็มเหล่านี้ บรรจุแก๊สที่มีอัตราส่วนผสมคงที่ และจัดให้หลอดจีเอ็มมีอัตราส่วน r_c / r_a แตกต่างกันไป โดยการกำหนดให้ค่าอัตราส่วน r_c / r_a ดังกล่าวนี้อาจเพิ่มขึ้นตามลำดับตามตาราง 40 พบว่า เมื่ออัตราส่วน r_c / r_a เพิ่มขึ้น ความยาวของที่ราบมีแนวโน้มยาวเพิ่มขึ้นด้วย

บทที่ 5

บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

บทย่อ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสร้างหลอดจีเอ็มชนิดปิดรูปทรงกระบอก มีโครงสร้างห้องบรรจุแก๊สทำด้วยแก้ว ภายในประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ แคโทดทำจากแผ่นโลหะทำเป็นรูปทรงกระบอกรอบๆหลอดแก้ว และแอโนดทำจากเส้นลวดโลหะตั้งตรงตามแนวแกนกลางของหลอดแก้ว บรรจุแก๊สที่ผสมกับแก๊สระดับด้วยอัตราส่วน และความดันภายในหลอดที่เหมาะสม
2. เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็ม อัตราส่วนต่างๆระหว่างรัศมีของแคโทด และรัศมีของแอโนด
3. เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็ม ที่มีอัตราส่วนต่างๆโดยความดันระหว่างแก๊สอาร์กอนซึ่งใช้เป็นแก๊สนำ และไอของเอทิลแอลกอฮอล์ซึ่งใช้เป็นแก๊สระดับที่ความดัน 100 ทอร์
4. การศึกษาเพื่อสร้างหลอดจีเอ็มครั้งนี้ ได้ยึดหลักการดังต่อไปนี้
 - 4.1 ใช้วัสดุที่หาได้ภายในประเทศไทย
 - 4.2 ใช้วัสดุทดแทนเท่าที่เป็นไปได้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างหลอดจีเอ็ม
 - 1.1 แผ่นโลหะสเตนเลส

- 1.2 ลวดทั้งสแตน
- 1.3 หลอดแก้วไฟเร็ก
- 1.4 เครื่องเชื่อมแผ่นโลหะบาง(ดูภาคผนวก)
- 1.5 เครื่องเป่าแก้ว(ดูภาคผนวก)
2. วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเติมแก๊ส
 - 2.1 แก๊สนับใช้อาร์กอน
 - 2.2 แก๊สระดับใช้ไอของเอทิลแอลกอฮอล์
 - 2.3 แมนอมิเตอร์
 - 2.4 มาตรฐานความดันแก๊ส
 - 2.5 ถังผสมแก๊ส
 - 2.6 เครื่องสูบลูญญากาศ
3. เครื่องมือที่ใช้ร่วมกับหลอดจีเอ็มในการนับรังสี
 - 3.1 เครื่องนับ
 - 3.2 ออสซิลโลสโคป
 - 3.3 ภาคปรับตัว
 - 3.4 เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าศักย์สูง
 - 3.5 สารกัมมันตภาพรังสี ใช้ คลอรีน - 36

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สร้างหลอดจีเอ็มโดยใช้แผ่นโลหะสแตนเลสรูปทรงกระบอก ทำเป็นแคโทด 3 ขนาด ใช้ลวดทั้งสแตนทำเป็นแอโนด 4 ขนาด และใช้หลอดแก้วทำเป็นห้องเก็บแก๊สจะได้อัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและแอโนด 12 อัตราส่วน
2. สูบอากาศออกจากหลอดจีเอ็ม แล้วบรรจุแก๊สผสมระหว่างแก๊สนับกับแก๊สระดับ ใช้อัตราส่วนผสมของแก๊สระดับ 3 อัตราส่วนได้แก่ 10 % 15 % และ 20 %

ความดันรวมภายในหลอด 100 ทอร์

3. นำหลอดจีเอ็มดังกล่าวไปตรวจวัดรังสี จากสารกัมมันตรังสี คลอรีน - 36 หาอัตราการนับรังสี ณ ความต่างศักย์ค่าต่างๆที่ป้อนแก่หลอดจีเอ็มนั้นทุกค่า และเพิ่มค่าความต่างศักย์ขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการแตกตัวอย่างต่อเนื่องของแก๊สในหลอด จึงหยุดทดลอง บันทึกผล หาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับรังสีกับความต่างศักย์ เพื่อวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็มหลอดแต่ละหลอด ได้แก่ การหาค่าศักย์เริ่มต้น ความยาวที่ราบ ความชันของที่ราบที่เพิ่มขึ้นต่อ 100 โวลต์

5. นำผลการทดลองของหลอดจีเอ็มทุกๆหลอดมาวิเคราะห์หา แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็ม เมื่อมีการแปรอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและรัศมีของแอโนด 12 ค่าและมีการแปรอัตราส่วนผลสมของแก๊สระดับอีก 3 ค่า

การวิเคราะห์ผล

1. วิเคราะห์หาลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็มได้แก่ ค่าศักย์เริ่มต้น ความยาวที่ราบ และความชันที่ราบ

2. หาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็ม เมื่อให้อัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและรัศมีของแอโนดคงที่ จากนั้นแปรอัตราส่วนผลสมของแก๊สระดับอีก 3 ค่า ความดันรวมในหลอด 100 ทอร์คงที่

3. หาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็ม เมื่อให้อัตราส่วนผลสมของแก๊สระดับคงที่ จากนั้นแปรอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและแอโนดอีก 12 ค่า ความดันรวมในหลอด 100 ทอร์คงที่

สรุปผลการวิจัย

1. ลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็มทุกหลอดที่ใช้ทดลองครั้งนี้ มีที่ราบทุกหลอด จากตาราง 4 ถึงตาราง 39 และจากกราฟภาพประกอบ 30 ถึงภาพประกอบ 65 จะเห็นว่า ค่าศักย์เริ่มต้นอยู่ในช่วง 1250 โวลต์ ถึง 2500 โวลต์ อัตราการนับเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.58 ถึง 17.41 เปอร์เซ็นต์ ต่อ 100 โวลต์ และมีความยาวที่ราบอยู่ในช่วง 75 ถึง 400 โวลต์ สามารถนำหลอดจีเอ็มเหล่านี้ไปใช้งานได้

2. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะของหลอดจีเอ็มเมื่อให้อัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและรัศมีของแอโนดคงที่ โดยการแปรอัตราส่วนผลสมของแก๊สระดับไป 3 ค่า ความดันรวมในหลอด 100 ทอร์ จากตาราง 40 และกราฟภาพประกอบ 66 จะเห็นได้ว่า หลอดจีเอ็มดังกล่าว แต่ละหลอดเมื่อบรรจุแก๊สที่มีอัตราส่วนผลสมของแก๊สระดับเพิ่มขึ้นแล้ว พบว่า ค่าศักย์เริ่มต้นของหลอดจีเอ็มเพิ่มสูงขึ้น และความยาวที่ราบเพิ่มขึ้น

3. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็ม เมื่อให้อัตราส่วนผลสมของแก๊สระดับคงที่ โดยการแปรอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและรัศมีของแอโนด 12 ค่า ความดันรวมในหลอด 100 ทอร์ จากตาราง 40 และกราฟภาพประกอบ 67 จะเห็นได้ว่า หลอดจีเอ็มดังกล่าว เมื่อมีการแปรค่าของอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและแอโนด จากน้อยไปหามากตามลำดับแล้ว พบว่า ค่าศักย์เริ่มต้นของแต่ละหลอดมีค่าสูงต่ำแตกต่างกันออกไปไม่เป็นไปตามลำดับ แต่ความยาวที่ราบมีแนวโน้มยาวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

อภิปรายผลการวิจัย

1. การสร้างหลอดจีเอ็ม

1.1 ผู้สร้างต้องมีทักษะในการเป่าแก้วดี

1.2 การเชื่อมแก้วหุ้มหลอดทั้งสแตนดาร์ดต้องเป่าความร้อนจนแก้วแนบสนิท มองเห็นหลอดทั้งสแตนเป็นสีเหลืองค่อนข้างแดง เมื่อนำไปเชื่อมติดกับหลอดแก้วแล้วจึงจะไม่รั่ว

1.3 ขั้วไฟฟ้าทั้งสองของหลอดต้องทำความสะอาด ล้างคราบไขมัน และอบให้แห้ง จึงจะไม่เกิดปัญหาขณะทดลอง

1.4 หลังจากเป่าแก้วเสร็จแล้วทุกครั้ง ต้องนำแก้วไปอบความร้อนประมาณ 400 องศาเซลเซียส ไว้ไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง เพื่อป้องกันไม่ให้แก้วร้าว

1.4 การเชื่อมแผ่นโลหะสแตนเลสบางให้ติดกับหลอดทั้งสแตน ต้องออกแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมให้ไหลผ่านโลหะอย่างพอเหมาะ ที่จะทำให้โลหะเชื่อมติดกันได้ในเวลาสั้นๆ ประมาณ 0.1 ถึง 1 วินาที เพื่อไม่ให้เกิดรอยทะลุบนแผ่นโลหะนั้น

2. การทดลองตรวจวัดรังสี

2.1 จักรระบบที่เป็นสูญญากาศไม่ให้อากาศข้างนอกรั่วเข้าได้ เพราะถ้าระบบเดิมแก๊สรั่วแล้ว จะมีผลทำให้ค่าศักย์เริ่มต้นของหลอดจีเอ็มเปลี่ยนไปอย่างมาก

2.2 ทดสอบการรั่วของหลอด ได้ด้วยวิธีต่อแมนอมิเตอร์อนุกรมเข้ากับระบบสุบอากาศออกจากหลอด เมื่อสุบอากาศออกจากหลอดจนระดับปรอทของแมนอมิเตอร์ทั้งสองข้างสูงเท่ากันแล้วปิดวาล์วทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที ถ้าระดับปรอทของแมนอมิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าหลอดนั้นไม่รั่ว ให้เดิมแก๊สผสมเพื่อทดลองต่อไปได้

2.3 ก่อนเดิมแก๊สผสมเข้าในหลอด เพื่อทดลองเก็บข้อมูล ต้องอบภายในหลอดด้วยการปล่อยแก๊สอาร์กอนเข้าไปยังอบภายในหลอดไว้ก่อน ไม่น้อยกว่า 3 ครั้งๆ ละประมาณ 10 นาที จะให้ผลการทดลองที่ชัดเจน

3. การนำหลอดจีเอ็มไปใช้งาน

พิจารณาจากผลการทดลองของหลอดจีเอ็ม ในทุกๆ อัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและแอโนด ที่มีอัตราส่วนของแก๊สนับและแก๊สรั่วเปลี่ยนไป ในขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแบบในการสร้างหลอดจีเอ็มและสร้างเครื่องนับที่เหมาะสมเพื่อใช้งานจริงๆ ได้ โดยพิจารณาจากลักษณะสมบัติของหลอดประกอบกับความสูงของพัลส์จากข้อสรุปดังต่อไปนี้

3.1 หลอดจีเอ็มที่มีรัศมีแอโนดขนาด 0.05 cm ศักย์เริ่มต้นอยู่ในช่วง 1350 ถึง 1475 โวลต์ ความยาวราบสูงอยู่ในช่วง 75 ถึง 100 โวลต์ แก๊สระดับ 10% ถึง 20% ความสูงของพัลส์จากจ่ออสซิลโลสโคป มีความสูงประมาณ 50 มิลลิโวลต์

3.2 หลอดจีเอ็มที่มีรัศมีแอโนดขนาด 0.0375 cm ศักย์เริ่มต้นอยู่ในช่วง 1275 ถึง 1500 โวลต์ ความยาวราบสูงอยู่ในช่วง 75 ถึง 100 โวลต์ แก๊สระดับ 10% ถึง 20% ความสูงของพัลส์จากจ่ออสซิลโลสโคป มีความสูงประมาณ 0.1 โวลต์

3.3 หลอดจีเอ็มที่มีรัศมีแอโนดขนาด 0.025 cm ศักย์เริ่มต้นอยู่ในช่วง 1200 ถึง 1450 โวลต์ ความยาวราบสูงอยู่ในช่วง 100 ถึง 150 โวลต์ แก๊สระดับ 10% ถึง 20% ความสูงของพัลส์จากจ่ออสซิลโลสโคป มีความสูงประมาณ 0.5 โวลต์

3.4 หลอดจีเอ็มที่มีรัศมีแอโนดขนาด 0.009 cm ศักย์เริ่มต้นอยู่ในช่วง 1900 ถึง 2500 โวลต์ ความยาวราบสูงอยู่ในช่วง 300 ถึง 400 โวลต์ แก๊สระดับ 10% ถึง 20% ความสูงของพัลส์จากจ่ออสซิลโลสโคป มีความสูงไม่น้อยกว่า 10 โวลต์

ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริง ผู้ใช้ควรได้ออกแบบเครื่องนับให้เหมาะสมจึงจะใช้งานได้ดี

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้พบว่า การแปรอัตราส่วนระหว่างรัศมีของแคโทดและของแอโนดของหลอดจีเอ็มแต่ละหลอดตามลำดับจากน้อยไปหามาก มีผลทำให้ศักย์เริ่มต้นของหลอดจีเอ็มเปลี่ยนไปแต่ไม่เป็นไปตามลำดับเมื่อพิจารณาจากข้อมูลอย่างอื่น พบว่า หลอดจีเอ็มใดที่แอโนดที่มีขนาดเล็กที่สุดในกลุ่มทดลองนี้ ปรากฏว่า ศักย์เริ่มต้นมีค่าสูง ที่ราบยาว ความชันที่ราบมีค่าน้อย ได้พัลส์สูง ดังนั้น ควรจะได้มีการวิจัยว่า ขนาดของแอโนดมีความสัมพันธ์กับลักษณะสมบัติเฉพาะของหลอดจีเอ็มอย่างไร

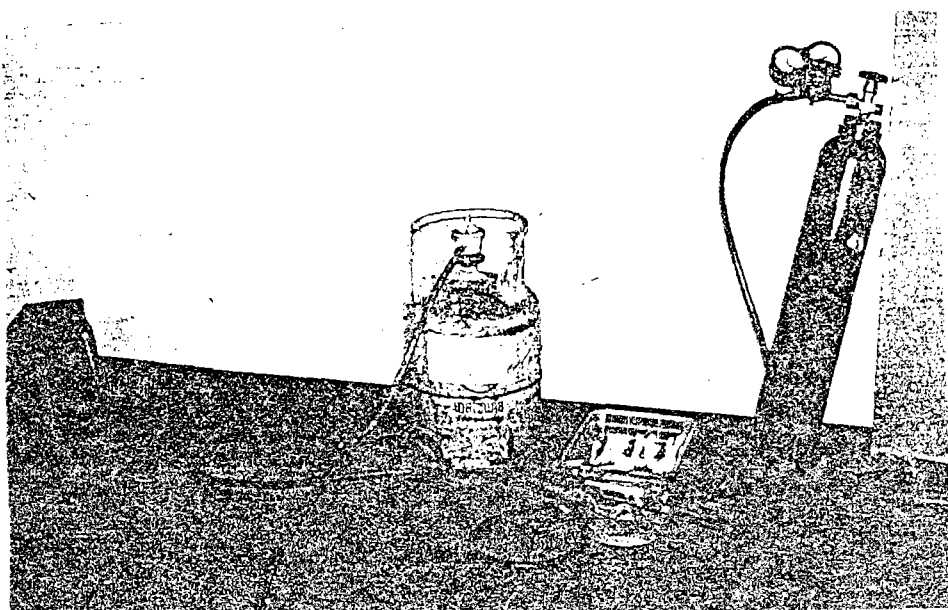
บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

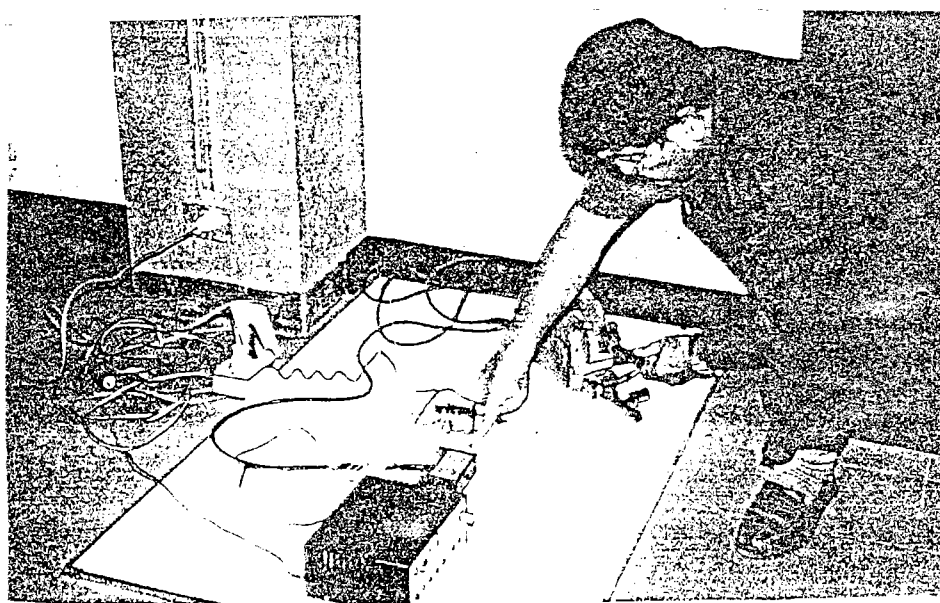
- เฉลิม ศรีสุวรรณ. คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ของนิเวศวิทยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ :
คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยครูจันทระเกษม, 2524. อัดสำเนา.
- ชัยวิทย์ ศิลาวรรณาไนย. ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของระบบสุญญากาศ. กรุงเทพฯ :
โรงพิมพ์ภาพพิมพ์, 2526.
- ชิตชัย สุทธาควิน. วงจรพัลส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เอราวัณการพิมพ์, 2525.
- ไซ สาลิอัน. และคนอื่นๆ. การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อประดิษฐ์สร้างเครื่องวัดรังสี
นิวเคลียร์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2532.
อัดสำเนา.
- ธีระ วงศ์เนตร. การสร้างหัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์อย่างง่าย. วิทยานิพนธ์
กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2530.
อัดสำเนา.
- พลังงานปรมาณูเพื่อสันติ,สำนักงาน. พลังงานปรมาณูเพื่อสันติ(บทความบรรยาย
ทางวิทยุกระจายเสียง). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์บรรณาการ, 2502.
- พิชิต สุขเจริญพงษ์ และ สุวิทย์ เจริญสวัสดิพงษ์. วิศวกรรมไฟฟ้าเบื้องต้น. กรุงเทพฯ :
โรงพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2528.
- ไพบุลย์ นวลนิล. การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมขนาดเบาแบบสี่ช่อง.
วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527. อัดสำเนา.
- ศัลักษณ์ ทรรพนนทน. เคมีนิวเคลียร์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2527.
- โสวัชต์ เจริญวงศ์. ฟิสิกส์รังสี. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2530.
- อภิสิทธิ์ อึ้งกิจจานุกิจ. ไฟฟ้าสถิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล, 2527. อัดสำเนา.
- อรุณีย์ แสงอริยวนิช. นิวเคลียร์ฟิสิกส์. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2525. อัดสำเนา.

- Bush, D. "Variability of Plateau Gradients for Large-Diameter End-Window Geiger-Muller Tube," Rev. Sci. Instru. 6 : 561 ; 1973.
- Cristian, Gary D. and Jame E. O'Reilly. Instrumental Analysis. 2nd ed. Boston : Allyn and Bacon, 1986.
- Druyvesteyn, M.J. and F.M. Penning. "The Mechanism of Electric Discharge in Gases of low Pressure," Review of Modern Physics. 12 : 86 ; 1940.
- Eichholz, Geoffrey G. and John W. Poston. Principles of Nuclear Radiation Detection. Ann Arbor : Ann Arbor Science, 1979.
- Emery, E.W. "Geiger Mueller and Proportional Counters," in Radiation Dosimetry Vol.II. F.H. Attix. and W.C. Roesch. New York : Academic Press, 1966.
- Friedlander, Gerhart and others. Nuclear and Radiochemistry. 3 rd ed. New York : John Willy & Sons, 1981.
- Godman, Arthur and Ronald Denney. Cambridge Illustrated Thesaurus of Science and Technology. Cambridge : Cambridge University Press, 1985.
- Green, Alex E.S. Nuclear Physics. New York : McGraw-Hill, 1955.
- Hogerton, John F. and others. The Atomic Energy Deskbook. New York : Reinhold Publishing, 1963.
- Klier, K.A. "A Geiger-Muller Counter for Ultrahigh Vacuum System," Rev. Sci. Instru. 40 : 372 ; 1969.
- Knoll, Glenn F. Radiation Detection and Measurement. New York : John Wiley & Sons, 1979.
- Ortec, Company. Ortec Application Note Experiment in Nuclear Science. Tennessee : Ortec, 1971.
- Price, William J. Nuclear Radiation Detection. 2nd ed. New York : McGraw-Hill, 1964.
- Rossi, Bruno B. and Hans H. Staub Ionization Chambers and Counters Experimental Techniques. New York : McGraw-Hill, 1949.
- Sharp, J. Nuclear Radiation Detectors. 2nd ed. London : Methuen, 1964.
- Yingprayoon, Janchai. Study of Self-Quenched Geiger-Muller Counter. Master'Thesis. Bangkok : Mahidol University, 1979.

ภาคผนวก



ภาพประกอบ 68 แสดงส่วนประกอบสำคัญของชุดเป่าแก้ว สำหรับสร้างหลอดจีเอ็มประกอบด้วย ก) แก๊สหุงต้ม ข) ออกซิเจน ค) หัวเป่าไฟแลนชนิดเปลี่ยนหัวได้



ภาพประกอบ 69 แสดงส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเชื่อมโลหะแผ่นชนิดบาง และลวดโลหะเล็ก (ก) เครื่องหรีไฟฟ้า 220 โวลต์ 1000 วัตต์ (ข) เครื่องตั้งเวลา 0.1-1.0 วินาที (ดัดแปลงจากชุดสตาร์ททรายนตรีดีเซล) (ค) ขดลวดเหนียวนำ 20 แอมแปร์ และหัวเชื่อมโลหะ

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อ นายสมพูน ชื่อสกุล ใจเข้มแข็ง

เกิดวันที่ 8 เดือนพฤษภาคม พุทธศักราช 2491

สถานที่เกิด อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 212 หมู่ 1 ตำบลท่าสองคอน อำเภอเมือง
จังหวัดมหาสารคาม 44001 โทร.(043)722966

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน อาจารย์ 2 ระดับ 6

สถานที่ทำงานปัจจุบัน วิทยาลัยครูมหาสารคาม อำเภอเมือง
จังหวัดมหาสารคาม 44001

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2503 มัธยมศึกษาตอนปลาย(แผนกวิทย์) จากโรงเรียนอานวยศิลป์
(พระนคร) กรุงเทพฯ

พ.ศ. 2512 พ.ม. กระทรวงศึกษาธิการ

พ.ศ. 2515 กศ.บ. เกียรตินิยมอันดับ 2 (วิชาเอกฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

พ.ศ. 2536 วท.ม. (วิชาเอกฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสานมิตร

ผลของอัตราส่วนของรัศมีของขั้วไฟฟ้าและของความดันแก๊สที่มีต่อลักษณะเฉพาะ
ของหลอดไอเกอร์มีลเลอร์

บทคัดย่อ
ของ
สมพูน ใจเข้มแข็ง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์
มีนาคม 2537

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างรัศมีของขั้วไฟฟ้า และอัตราส่วนระหว่างความดันของแก๊สระดับต่อแก๊สไนบ ที่มีต่อลักษณะเฉพาะของหลอดจีเอ็ม จากการใช้อัตราส่วนของรัศมี 12 อัตราส่วน และอัตราส่วนของความดัน 3 อัตราส่วน พบว่า หลอดจีเอ็มที่ศึกษา มีที่ราบ โดยความยาวของที่ราบอยู่ในช่วง 75 ถึง 400 โวลต์ อัตราการนับเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.5 ถึง 17.4 เปอร์เซ็นต์ ต่อ 100 โวลต์ ศักย์เริ่มต้นอยู่ในช่วง 1250 ถึง 2500 โวลต์ เมื่อทดลองให้อัตราส่วนของรัศมีของขั้วไฟฟ้ามีค่าคงที่เพิ่มอัตราส่วนความดันของแก๊สระดับต่อแก๊สไนบ พบว่า ศักย์เริ่มต้นและความยาวที่ราบของหลอดจีเอ็มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่ออัตราส่วนความดันของแก๊สระดับต่อแก๊สไนบคงที่ อัตราส่วนของรัศมีของแคโทดต่อรัศมีของแอโนดเพิ่มขึ้น พบว่า ความยาวที่ราบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ศักย์เริ่มต้นอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้

EFFECTS OF RATIOS OF ELECTRODE RADII AND GAS PRESSURES
ON CHARACTERISTICS OF A GEIGER MÜLLER TUBE

AN ABSTRACT

BY

SOMPOON JAIKHEMKHAENG

Presented in partial fulfillment of the requirements for the

Master of Science degree in Physics

at Srinakharinwirot University

March 1994

The objective of this research is to study the effects of the ratios of electrode radii and of gas pressures on the characteristics of GM tubes. By varying 12 ratios of electrode radii and 3 ratios of gas pressures, it was found that every studied GM tube possesses plateau. Plateau length varied between 75 - 400 volts with 3.5 - 14.7 % increase of counts per 100 volts. The starting voltages varied between 1250-2500 volts. Keeping the ratio of electrode radii constant and increasing the ratio of quenching to counting gas pressure, it revealed that the starting voltage and plateau length are increased. When keeping gas pressure ratio constant and increasing the ratio of cathode radius to anode radius, it was found that the plateau length tended to increase, whereas no conclusion could be reached about the starting voltage.