

๕๓๑.๗๗๔

๕๖๖/ก

๕ ๓

การสร้างหัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์อย่างง่าย

ปริญญานิพนธ์

ของ

ธีระ วงศ์เนาร

วิทยาลัยเทคโนโลยี

๑๑ พ.ค. ๒๕๓๕

เสนอกรมมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

กุมภาพันธ์ ๒๕๓๐

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

178601

การสร้างหัววงจรสี่แยกไมโคร-มัลติเพล็กซ์อย่างง่าย

บทคัดย่อ

ของ

ธีระ วงศ์เนียร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

กุมภาพันธ์ 2530

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ อธิบายถึงการสร้างหัววัดรังสีไอแกมมา-มิลเลอร์ โดยหัววัดรังสีไอแกมมา-มิลเลอร์ที่สร้างขึ้นนี้ ประกอบด้วย หลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร มีเหล็กโรสนิมรูปทรงกระบอกทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าลบ และลวดทังสเตนซึ่งอยู่ตรงแกนกลางของทรงกระบอกทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าบวก ภายในบรรจุแก๊สผสม P-10 ซึ่งเป็นแก๊สผสมระหว่าง อาร์กอน 90% กับมีเทน 10% ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

จากการนำหัววัดรังสีที่สร้างขึ้นนี้ มาทดลองวัดรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 พบว่า ที่ความดัน 90 ปรอท ให้ผลของการวัดที่ดีที่สุดคือ ใต้โถงเวลาโต ที่มีความชัน 8.6% ต่อ 100 โวลต์

ผลของการสร้างหัววัดรังสีไอแกมมา-มิลเลอร์ จะเป็นแนวทางในการพัฒนาหัววัดรังสีชนิดนี้ต่อไป.

CONSTRUCTION OF A SIMPLE GEIGER-MULLER DETECTOR

AN ABSTRACT

BY

TILLERA WONGNATE

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree
at Srinakharinwirot University

February 1987

(

This thesis describes the construction of the Geiger-Muller detector. The Geiger-Muller detector consists of a glass tube of 3 cm in diameter and 8 cm in length. The cylindrical stainless steel tube with tungsten wire in the middle of the detector were used as a cathode and anode, respectively. The detector was filled up with gas mixture of P-10 (the mixture of 90% argon and 10% methane) at various pressures from 20 to 90 torr.

Then the Geiger-Muller detector was used to detect radioactivity from the Cs-137 source, the results showed that the optimum pressure was 90 torr with the slope of plateau curve 8.6% per 100 volts.

Results of this study can be used for further development of the Geiger-Muller detector.

คณะกรรมการพิจารณา
.....
.....
..... กรรมการ

คณะกรรมการสอบ
.....พิจารณา
.....กรรมการ
.....กรรมการ

ประกาศจุฬการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือในการถ่ายทอดความรู้
คำแนะนำอย่างดียิ่ง และการตรวจแก้ไขจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิมสุวรรธ
ประธานกรรมการศึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วีระพงศ์ จิวประสิทธิ์กุล กรรมการ
ศึกษา และรองศาสตราจารย์ อรุณย์ อินทร กรรมการสอบ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบ
ขอบพระคุณในความเมตตาของท่านอาจารย์ทั้งสามที่เมตตาผู้วิจัยเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ พายัพ เรืองแก้ว ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ตลอดจน
คำแนะนำทางด้านการแปลและระบบสัญญาการเป็นอย่างดี พร้อมทั้งขอขอบคุณ คุณสถิติพร
ทรงคุณเลิศชัย ที่ช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์, ทดลอง ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นนานับประการ
ในระหว่างการศึกษาทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยขอสำนึกในพระคุณเสมอไป

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ยาย, แม่ และรองศาสตราจารย์ วิมล จิตวัฒนากร
ที่เป็นสิ่งให้และสร้างวิถีทางการดำเนินชีวิตของผู้วิจัย

ธีระ วงศ์เนตร

สารบัญ

๑
บทที่

๒
หน้า

1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย	15
	ความสำคัญของการวิจัย	15
	ขอบเขตของการวิจัย	15
	นิยามศัพท์เฉพาะ	16
2	ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	19
	หลักการของวงจรชีวิตที่เป็นปรจักษ์	19
	หลักการของทฤษฎีเอ็ม	22
	ความเหมาะสม	28
	สัมประสิทธิ์ของการแตกตัวเป็นไอออน	28
	สัมประสิทธิ์การแตกตัวของทาวเนต	29
	ขนาดของการดอม	29
	ความเร็วของอิเล็กตรอน และไอออนบวกในแก๊ส	29
	การเกิดพัลส์ในทิวทูปแบบปรจักษ์	31
3	วิธีดำเนินการสร้าง และทดลอง	33
	การสร้างทิวทิวเอ็ม	33
	การทดลอง	35
4	ผลการทดลอง	44
5	บทขอ สรุป อภิปรายผล และขอเสนอแนะ	79
	บทขอ	79

ความมุ่งหมายของการวิจัย	79
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	79
วิธีดำเนินการ	80
การวิเคราะห์ผล	80
สรุปผลการวิจัย	80
อภิปรายผลการวิจัย	80
ข้อเสนอแนะ	83
บรรณานุกรม	85

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงชนิดและคุณสมบัติของแก๊สในหัววัดจีเอ็ม	26
2	แสดงชนิดและคุณสมบัติของแก๊สรั่วในหัววัดจีเอ็ม	27
3	แสดงความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออนบวก และไอออนลบ (อิล็กตรอน)	27
4	แสดงความสูงของพัลส์ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 20 ทอร์	44
5	แสดงความสูงของพัลส์ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 30 ทอร์	47
6	แสดงความสูงของพัลส์ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 40 ทอร์	50
7	แสดงความสูงของพัลส์ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 50 ทอร์	53
8	แสดงความสูงของพัลส์ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 60 ทอร์	56
9	แสดงความสูงของพัลส์ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 70 ทอร์	59
10	แสดงความสูงของพัลส์ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 80 ทอร์	62
11	แสดงความสูงของพัลส์ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 90 ทอร์	65
12	แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 40 ทอร์	67
13	แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 50 ทอร์	69
14	แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 60 ทอร์	71
15	แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 70 ทอร์	73
16	แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 80 ทอร์	75

17	แสดงอัตราการขึ้นและลงของเบรคมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ	
	ณ.ความถี่ 90 ทอร์	77

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงเครื่องวัดรังสีชนิดห้องแบบการแตกตัวเป็นไอออนของแก๊ส	3
2 แสดงเครื่องวัดรังสีแบบสัดส่วนชนิดห้อง 2π และแบบ 4π	3
3 หัววัดจีเอ็มแบบหลอดทึบหนึ่งบาง	6
4 หัววัดจีเอ็มแบบวูม	6
5 หัววัดจีเอ็มแบบเปลือกหุ้ม	6
6 หัววัดจีเอ็มแบบวัดโคโรนา	6
7 หัววัดจีเอ็มแบบมีหน้าต่างตรงปลายชนิดต่างๆ ..	8
8 หัววัดจีเอ็มแบบทาวางที่มีแก๊สไหล	9
9 หัววัดจีเอ็มแบบวัดแก๊ส	9
10 แสดงลักษณะของหัววัดจีเอ็มอย่างง่าย	13
11 แสดงลักษณะกราฟที่ได้เองหัววัดจีเอ็ม	13
12 แสดงรูปร่างของ จดส์สำหรับหัววัดจีเอ็ม ที่ทดลองงอกกับการผ่านของอนุภาค แอลฟา (a) จากตรงกลางหัววัด (b) จากปลายข้างหนึ่งของหัววัด (c) เงาแหล่งกำเนิดรังสีอยู่ 1/3 ของปลายข้างหนึ่งของหัววัด	14
13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เคตโทม, รีทอฟเวอร์โทม และรีโซลวิงโทม	18
14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนไอออนที่นับได้ กับศักย์ไฟฟ้า	20
15 แสดงกระบวนการถดถอยในหัววัดจีเอ็ม	20
16 แสดงหัววัดแบบชอน	24
17 แสดงการระงับไอออนบวก	24
18 เปรียบเทียบโครงสร้างของหัววัดแวลกอสซอล-อาร์กอม ที่ความดัน 10 เมตติเมกของปรอท โดยกึ่งกลางของท่อต่างๆ กัน	26
19 แสดงงานของ ๓ สำหรับแก๊สบางชนิด	30

20	แสดงค่าความเร็วของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ E/p	30
21	แสดงวงจร RC	31
22	แสดงขนาดของแอมป์หลักไรสนิมที่ใช้ทำแคโทด	33
23	แสดงลักษณะและขนาดของหลอดแก้วที่สร้างวิน	34
24	แสดงลักษณะและขนาดของฐานแก้ว	36
25	แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องปั๊มสุญญากาศ และระบบแก๊สของหัววัด ...	38
26	แสดงรายละเอียดของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วย วงจร RC และวงจร shaper	39
27	แสดงแผนภูมิการสลายตัวของ Cs-137	36
28	แสดงหัววัดจีเอ็มที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งอาจกับเครื่องปั๊มสุญญากาศ	41
29	แสดงเครื่องปั๊มสุญญากาศที่หัววัดและถังบรรจุแก๊ส P-10 ก่ออยู่	41
30	แสดงหัววัดจีเอ็ม (ซึ่งเชื่อมกับระบบสุญญากาศและแก๊ส P-10) กับ แผงกำเนิดไฟฟ้าตรงตักยสูง, วงจร RC และออสซิลโลสโคป ...	42
31	แสดงวงจร RC ที่ใช้ในการทดลอง ..	42
32	แสดงวงจร RC , แผงกำเนิดไฟฟ้าตรงตักยสูง และออสซิลโลสโคปที่ต่อกับ หัววัด	43
33	แสดงการประกอบอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัฏจักรนี้	45
34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับความกว้างตักยบนหัววัด ข. ความดัน 20 ทอร์	46
35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับความกว้างตักยบนหัววัด ค. ความดัน 30 ทอร์	48
36	แสดงสัญญาณรบกวนจากออสซิลโลสโคป ที่ความกว้างตักย 1300 โวลต์ ด. ความดัน 40 ทอร์	49
37	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับความกว้างตักยบนหัววัด ฉ. ความดัน 40 ทอร์	51

38	แสดงสัญญาณลัดจากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1420 โวลต์	
	ณ. ความถี่ 50 ทอร์	52
39	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับความถี่สัญญาณ	
	ณ. ความถี่ 50 ทอร์	54
40	แสดงสัญญาณลัดจากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1400 โวลต์	
	ณ. ความถี่ 60 ทอร์	55
41	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับความถี่สัญญาณ	
	ณ. ความถี่ 60 ทอร์	57
42	แสดงสัญญาณลัดจากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1530 โวลต์	
	ณ. ความถี่ 70 ทอร์	58
43	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับความถี่สัญญาณ	
	ณ. ความถี่ 70 ทอร์	60
44	แสดงสัญญาณลัดจากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1650 โวลต์	
	ณ. ความถี่ 80 ทอร์	61
45	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับความถี่สัญญาณ	
	ณ. ความถี่ 80 ทอร์	63
46	แสดงสัญญาณลัดจากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1830 โวลต์	
	ณ. ความถี่ 90 ทอร์	64
47	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับความถี่สัญญาณ	
	ณ. ความถี่ 90 ทอร์	66
48	กราฟแสดงพลาโต ณ. ความถี่ 40 ทอร์	68
49	กราฟแสดงพลาโต ณ. ความถี่ 50 ทอร์	70
50	กราฟแสดงพลาโต ณ. ความถี่ 60 ทอร์	72
51	กราฟแสดงพลาโต ณ. ความถี่ 70 ทอร์	74

52	กราฟแสดงพลาโต ด.ความถี่ 60 ทอรั	76
53	กราฟแสดงพลาโต ด.ความถี่ 90 ทอรั	78

บทนำ

ภูมิหลัง

เครื่องวัดรังสี

ในงานที่ใช้นิวไคลด์กัมมันตรังสี จะมีข้อมูลหลักที่ผู้ใช้องการทราบ คือ กัมมันตภาพ และพลังงานของอนุภาคหรือรังสีที่แหล่งกำเนิดรังสีนั้นปล่อยออกมา

สำหรับการศึกษากัมมันตภาพนั้น บางกรณีก็ต้องการทราบกัมมันตภาพก่อนเริ่มกระบวนการครึ่งหนึ่งและเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการอีกครั้งหนึ่ง บางกรณีก็ต้องการทราบเพียงครึ่งเดียว และมีงานจำนวนมากที่วัดองศาการทราบกัมมันตภาพ (หรือปริมาณอื่นใดที่สัมพันธ์โดยตรงกับกัมมันตภาพ) ของสารที่ทำการทดลองทุกขั้นตอนของกระบวนการ แต่ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดก็ตาม ในการวัดกัมมันตภาพหรือปริมาณที่สัมพันธ์กับกัมมันตภาพนั้น จะใช้เครื่องมือเหมือนกับชนิดหนึ่ง เรียกว่า เครื่องวัดรังสี (counter)

ส่วนประกอบของเครื่องวัดรังสี โดยทั่วไปประกอบด้วยหน่วยหลัก 2 หน่วย คือ

1. หัววัดหรือตัวตรวจหา (detector)

ทำหน้าที่ เปลี่ยนพลังงานของอนุภาคหรือรังสีให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เรียกว่า พัลส์ไฟฟ้า (electrical pulse)

2. วงจรอิเล็กทรอนิกส์

ทำหน้าที่ ขยายสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับมาจากข้อ 1. แล้วบันทึกหรือแสดงผลออกมาในลักษณะต่าง ๆ วงจรเหล่านี้ได้แก่ วงจรจ่ายไฟฟ้าศักย์สูง (high voltage supply) วงจรขยายสัญญาณ, วงจรกึ่งเวลา, วงจรนับ (scaler) เครื่องวัดรังสีบางชนิดอาจต้องการส่วนประกอบพิเศษอื่น ๆ เช่น ตัวคัด (discriminator), วงจรวิเคราะห์ขนาดสัญญาณพัลส์ (pulse height analyser), วงจรขยายตอนต้น (pre-amplifier)

ประเภทของเครื่องวัดรังสี

สำหรับการเลือกใช้เครื่องวัดว่าจะเป็นอย่างใดนั้น จะขึ้นกับธรรมชาติของสารที่จะวัด,

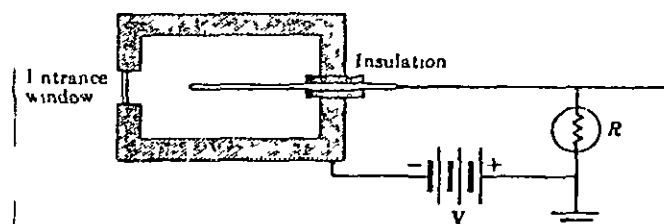
ประเภท และพลังงานของรังสีที่ให้ออกมา, ชนิดของการวัด ตลอดจนประสิทธิภาพและความไวของเครื่องตรวจวัด โดยอาจมีการเปลี่ยนแปลง แก๊สหรือรูปแบบของเครื่องตรวจวัดเหล่านี้ให้เหมาะสมสำหรับสถานการณ์ต่างๆ เฉพาะเรื่องไป ในขั้นนี้จะพิจารณาเครื่องวัดรังสีเป็นประเภทใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. เครื่องวัดรังสีแบบบรรจุแก๊ส แก๊ส

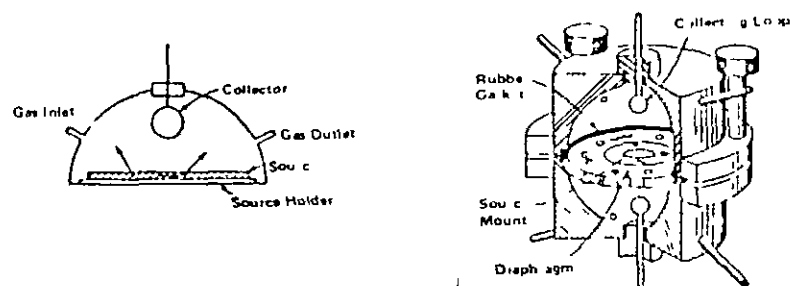
1.1 ห้องแบบการแตกตัวเป็นไอออนของแก๊ส (Gas ionization chamber)

ส่วนใหญ่ใช้สำหรับตรวจสอบ (monitoring) รังสี เครื่องมือ

ชนิดนี้มีประสิทธิภาพเชิงเรขาคณิตสูงและวิธีใช้ก็ง่าย เหมาะสมสำหรับใช้วัดรังสีจากสารตัวอย่าง (sample) ที่มีกัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity) ต่ำๆ ตัวอย่างของเครื่องวัดชนิดนี้ประกอบด้วย 1



ภาพประกอบ 1 แสดงเครื่องวัดรังสีชนิดห้องแบบการแตกตัวเป็นไอออน
ของแก๊ส



ภาพประกอบ 2 แสดงเครื่องวัดรังสีแบบสัณฐานชนิดห้อง 2π และ
ห้อง 4π

1.2 เครื่องวัดรังสีแบบสัดส่วนหรือแบบปฏิภาค (Proportional counter)

สามารถใช้วัดสารกัมมันตรังสีที่มีกัมมันตภาพสูงๆ ได้ เพราะมีเดดไทม์ (dead time) น้อยมาก เพียง 1×10^{-6} วินาทีเท่านั้น เครื่องมีชนิดมีหลายแบบ เช่น

1.2.1 แบบแกสไหล

แบ่งออกเป็น 2 แบบย่อยๆ เรียกว่า ห้อง 2π และห้อง 4π ทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพเชิงเรขาคณิต 50% และ 100% ตามลำดับ แกสที่อยู่ในเครื่องประกอบด้วย อาร์กอน 90% และมีเพน 10% หรืออาจใช้แกสผสมระหว่าง ซีเลียม 96% และไอโซนิวเพน 4% แทนก็ได้ ดังภาพประกอบ 2

1.2.2 แบบปิด

เหมาะสำหรับใช้วัดรังสีบีตาที่มีพลังงานต่ำๆ เช่น รังสีบีตาจาก นิกเกิล-63 และทริเทียม ซึ่งให้พลังงานสูงสุดเพียง 0.66 MeV และ 0.018 MeV ตามลำดับ

1.3 เครื่องวัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์ (Geiger-Muller counter)

เรียกย่อๆ ว่า เครื่องวัด จีเอ็ม (GM) เครื่องวัดชนิดนี้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการวัดรังสีบีตา และรังสีแกมมา โดยมีประสิทธิภาพในการวัดรังสีบีตาเกือบ 100% นอกจากนี้ บางครั้งเราสามารถใช่เครื่องวัดแบบนี้วัดรังสีแอลฟา (หรืออนุภาคที่มีอำนาจในการทำให้เกิดการแตกตัวสูง) ได้ แต่ต้องเลือกใช้วัสดุต่างๆ มาทำหน้าต่างของหัววัด (เพราะรังสีแอลฟามีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ) หรือบางทีอาจต้องนำเอาแหล่งกำเนิดรังสีที่ต้องการวัดนั้น เข้าไปวางไว้ในหัววัด

(ข้อดีของเครื่องมือนี้ คือ

ก. วัดโดยไม่มีการแยกชนิดของรังสี เพราะโค้งพลาโต (plateau curve) ของเครื่องมือวัดแบบนี้ไม่ขึ้นกับชนิดของรังสี

ข. การแปรผลจากการวัดทำได้ง่ายและสะดวก เพราะขนาดของสัญญาณที่ได้มีขนาดใหญ่ (โวลต์)

ค. ใช้งานและให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ง. สามารถนำไปเชื่อมต่อกับเครื่องมืออื่นๆ ได้

เครื่องวัดแบบนี้ไม่เหมาะสำหรับวัดรังสีจาก สารที่มีกัมมันตภาพรังสีสูงๆ เพราะมี
รีโซลวิงไทม์ (resolving time) ที่สูงมาก

เครื่องวัดรังสีแบบนี้แบ่งออกเป็นแบบย่อยๆ ให้อีกหลายแบบ เช่น

1.3.1 แบบหลอดที่มีผนังบาง (ภาพประกอบ 3)

ตัวหลอดมีวัสดุที่ทำด้วยแก้วที่มีความหนาประมาณ 30 มิลลิกรัม
กอดารางเช่นติเมตร เหมาะสำหรับวัดรังสีที่แผ่พลังงานสูงๆ เช่น รังสีบีตาจากโพสฟอรัส-32,
โปตัสเซียม-42 และโซเดียม-24 ส่วนรังสีบีตาที่แผ่พลังงานปานกลาง เช่น รังสีบีตาจาก
ไอโอดีน-131 และทอง-198 นั้น อาจวัดได้แต่ให้ผลต่ำมาก ทั้งนี้รังสีบีตาที่แผ่พลังงานต่ำๆ
เช่นรังสีบีตาจากนิกเกิล-63 หรือทริเทียม จึงแนะนำให้วัด

1.3.2 แบบจุ่ม (ภาพประกอบ 4)

มีผนังซึ่งทำด้วยแก้ว บางๆ เวลาวัดให้จุ่มลงในสารตัวอย่าง
ที่เป็นของเหลว แต่ต้องระมัดระวังในการวัดตัวอย่างเพราะอาจลางออกได้ยาก

1.3.3 แบบเปลือกหุ้ม (ภาพประกอบ 5)

ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก สามารถวัดรังสีจากสารตัวอย่างที่
เป็นของเหลวได้ โดยบรรจุสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวได้ถึง 10 ml เหมาะสำหรับวัดรังสี
บีตาที่แผ่พลังงานต่ำสุด จนถึง 0.3 Mev และมีประสิทธิภาพในการนับถึง 10%

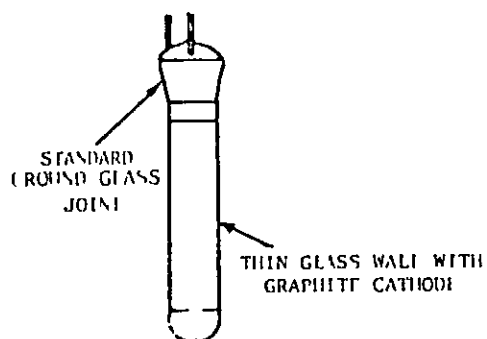
1.3.4 แบบวัดโครมิตาน (ภาพประกอบ 6)

ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าที่เป็นโลหะ ซึ่งห่อหุ้มด้วยแก้วลักษณะกลาย
ขวด เวลาวัดให้ใส่สารตัวอย่างลงในขวดแก้วเล็กๆ นี้ ซึ่งสามารถใส่ได้ถึง 20 ml หัววัด
แบบนี้จะมีแคโทดน้อยกว่า 200×10^{-6} วินาที

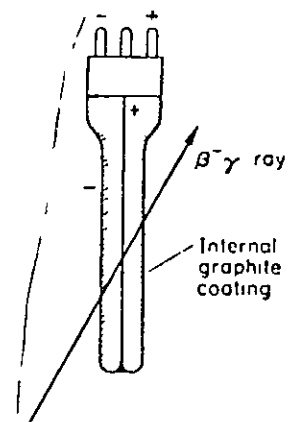
1.3.5 แบบมีหน้าต่างทรงปลาย (ภาพประกอบ 7)

ลักษณะเป็นหัววัดที่มีด้านหน้า หรือหน้าต่าง (window) ทำ
ด้วยไมกา (mica), ไนลาร์ (nylar), แก้ว หรือเหล็ก สำหรับให้รังสีผ่านเข้าไป
หัววัดแบบนี้จะมีประสิทธิภาพกว่าถ้าใช้วัดรังสีบีตาที่แผ่พลังงานต่ำๆ แต่อาจมีประสิทธิภาพสูงถึง
30% ถ้าใช้วัดรังสีบีตาที่แผ่พลังงานสูงๆ หัววัดชนิดนี้นิยมสร้างกันมากและถูกนำไปใช้อย่าง
แพร่หลาย

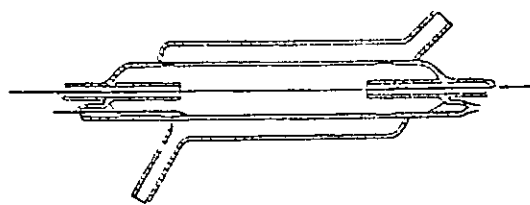
1.3.6 แบบหน้าต่างมีแม่เหล็ก (ภาพประกอบ 8)



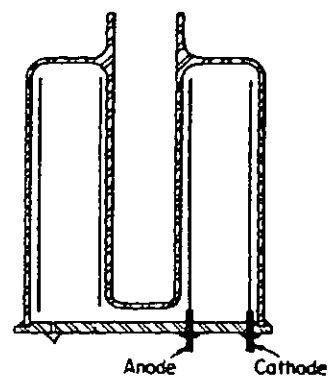
ภาพประกอบ 3 หัววัดจีเอ็มแบบหลอดที่มีผนังบาง



ภาพประกอบ 4 หัววัดจีเอ็มแบบจุ่ม



ภาพประกอบ 5 หัววัดจีเอ็มแบบเปลือกหุ้ม



ภาพประกอบ 6 หัววัดจีเอ็มแบบวัดโคโรนาคำน

หัววัดชนิดนี้จะมีท่อหรือช่องทางสำหรับให้สารตัวอย่างที่เป็นแก๊ส ซึ่งเราต้องการวัด ไหลเข้าและออก การนำไปใช้เหมาะสำหรับใช้วัดรังสีจากคาร์บอน-14 ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการวัดถึง 50%

1.3.7 แบบวัดแก๊ส (ภาพประกอบ 9)

ในกรณีสารตัวอย่างจะเป็นแก๊สที่มีปริมาณคงที่จำนวนหนึ่ง หัววัดชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพเชิงเรขาคณิตถึง 100% จึงเหมาะสำหรับวัดรังสีจากการบอม-14 และตรีเทียม

1.3.8 แบบพหุคูณ

ประกอบด้วยแคโทด (cathode) หรือขั้วไฟฟ้าลบประมาณ 24 อันเรียงรายรอบๆ แอโนด (anode) หรือขั้วไฟฟ้าบวก หัววัดชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบธรรมดาหลายเท่า และมีเทคไทม์เพียง $3 - 4 \times 10^{-6}$ วินาทีเท่านั้น

1.3.9 แบบจีเอ็มประกอบ

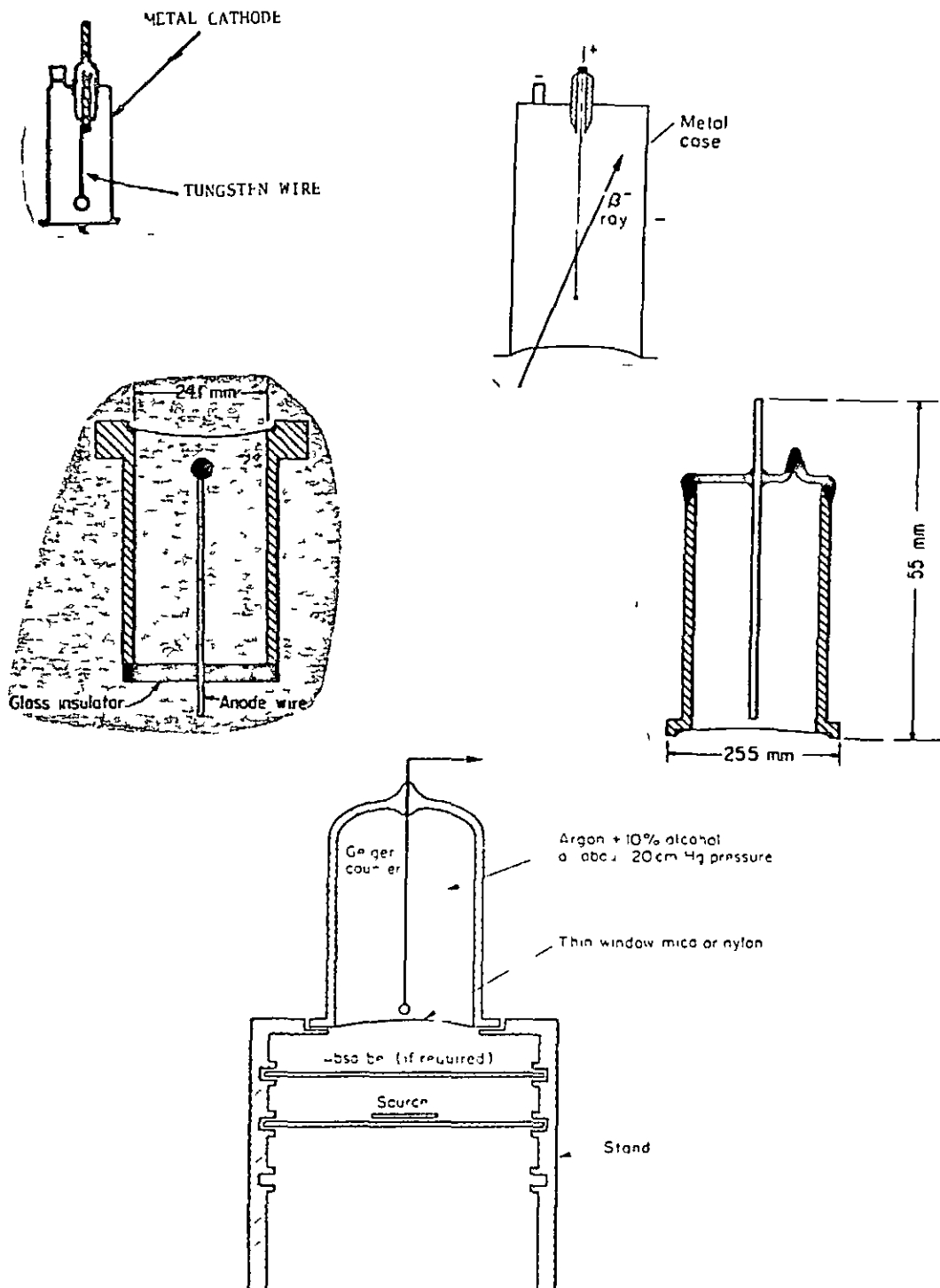
เครื่องมือประกอบด้วยหัววัดจีเอ็มประมาณ 6 อันเรียงขนานกันเป็นวงแหวน เวลาใช้ให้สารตัวอย่างที่ต้องการวัดลงไปในวงแหวนนี้ หัววัดแบบนี้เหมาะสำหรับวัดรังสีแกมมาในสารตัวอย่างที่มีปริมาณมากๆ

2. เครื่องวัดรังสีแบบซินทิลเลชัน (Scintillation counter) เครื่องวัดชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนย่อย 2 ส่วนคือ ตัวแปลงแสงวับ (Scintillator) กับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier) สำหรับตัวแปลงแสงวับนั้นเป็นผลึกสารอินทรีย์หรืออินทรีย์ที่สามารถถูกพลังงานซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้นเอาไว้ แล้วปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงหรือโฟตอน

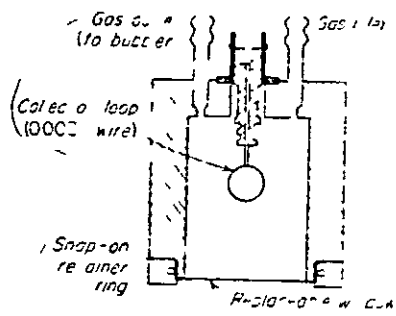
3. หัววัดชนิดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) ภายในหัววัดชนิดนี้ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำทำหน้าที่วัดรังสีที่มากกระทบกับหัววัด แล้วแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าซึ่งสามารถนำไปประมวลผลได้

นอกจากนี้ยังมีเครื่องวัดรังสีแบบอื่นๆ อีก ซึ่งส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในงานเฉพาะ เช่น

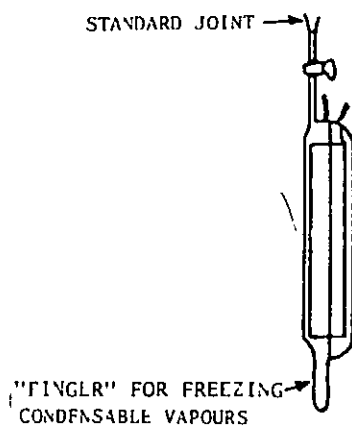
- ห้องหมอก (Cloud chamber)
- ห้องแพร่ (Diffusion chamber)
- ห้องฟอง (Bubble chamber)
- ห้องประกาย (Spark chamber)



ภาพประกอบ 7 หัววัดจีเอ็มแบบมีหน้าต่างตรงปลายชนิดต่างๆ



ภาพประกอบ 8 หัววัดจ็เอ็มแบบหน้าต่างที่มีแก๊สไหล



ภาพประกอบ 9 หัววัดจ็เอ็มแบบวัดแก๊ส

- ฟิล์ม
- หัววัดทางเคมี
- หัววัดแบบเชเรนโกฟ (Cerenkov detector)
- โดสมิเตอร์แบบเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์
- ตัวทำนูน (Collimator)

ฯลฯ

๗) เครื่องวัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์

ประวัติความเป็นมา

เครื่องวัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์ บางครั้ง เรียกว่า เครื่องวัดรังสีแบบไกเกอร์ หรือทั่วไปเรียกย่อว่า เครื่องวัดจีเอ็ม การทำงานจะอาศัยหลักการแตกตัวเป็นไอออนของแก๊ส โดยจะมีความคล้ายคลึงกับเครื่องวัดรังสีแบบสก็อตส่วนมาก (แตกต่างกันที่สนามไฟฟ้าใกล้เส้นลวดในเครื่องวัดจีเอ็มสนามไฟฟ้าจะมีค่าสูงกว่า)

เครื่องวัดจีเอ็มถูกสร้างและนำมาใช้งานเป็นครั้งแรกโดยร็ทเทอร์ฟอร์ด (Lord Ernest Rutherford) และไกเกอร์ (Hans Geiger) ในปี ค.ศ. 1908 ปีนี้ครั้งแรกนี้สามารถใช้วัดอนุภาคแอลฟาจากเรเดียมได้ โดยเครื่องมือประกอบด้วยกรงหมอกทองเหลืองยาว 20 เซนติเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.7 เซนติเมตร ตรงแกนกลางมีวัสดุเคลือบลวด ภายในกรงหมอกนี้บรรจุแก๊สความดันต่ำเอาไว้

ในปี ค.ศ. 1913 ไกเกอร์ได้พัฒนาเครื่องวัดแบบนี้ให้มีการป้องกันไฟฟ้าโคสูงชัน และทำงานได้ดีขึ้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1924 นักฟิสิกส์ชาวสวิสชื่อ เอรีแนกเชอร์ (E. Greinacher) พบว่าหลอดสูญญากาศสามารถนำมาใช้ขยายสัญญาณซึ่งได้มาจากการแตกตัวเป็นไอออนของแก๊ส ในหัววัดได้ จนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 1928 ไกเกอร์ร่วมกับมิลเลอร์ (Erwin Wilhelm Muller) ชาวเยอรมัน ได้ร่วมกันพัฒนาหัววัดแบบนี้ขึ้น โดยนำวงจรของหลอดสูญญากาศเข้ามาช่วย ทำให้หัววัดมีความไวสูงขึ้นจนสามารถนำไปใช้งานได้เป็นอย่างดีและใช้กันแพร่หลายมาจนถึงปัจจุบันนี้ (ต่อไปจะบอกว่า หัววัด เพื่อชี้เฉพาะให้เห็นว่าศึกษาเฉพาะหัววัด)

๒ * ลักษณะของหัววัดจีเอ็ม

โดยทั่วไปในปัจจุบัน หัววัดจีเอ็มประกอบด้วยหลอดแก้วบางๆ ลักษณะปลายเปิดทั้ง 2 ข้างภายในบรรจุด้วยแก๊สเฉื่อย เช่น อาร์กอน ฯลฯ เรียกว่า แก๊สนับ (counting gas) ผสมกับไอของสารอินทรีย์ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ หรือแก๊สหมู่ฮาโลเจน ไดแก โบรมีน คลอรีน ฯลฯ ซึ่งแก๊สที่นำมาผสมนี้ เรียกว่า แก๊สระงับ (quenching gas) โดยจะผสมแก๊สนับ: แก๊สระงับในอัตราส่วนประมาณ 9:1 ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ สาเหตุที่เลือกวางกัน ก๊าซบรรยากาศนั้นก็เพื่อป้องกันการปล่อยประจุไฟฟ้า (discharge) เกิดที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำๆ

ภายในหลอดแก้วมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ขั้วหนึ่งเป็นโลหะรูปทรงกระบอกกลวง อีกขั้วหนึ่งเป็นโลหะเส้นยาวอยู่ตรงแกนกลางของโลหะทรงกระบอกกลวง ปลายของขั้วทั้งสองจะติดออกมานอกกระบอกแก้วและต่อกับวงจรกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แล้วให้ศักย์ไฟฟ้าบวกสำหรับหลอดตรงกลางและศักย์ไฟฟ้าลบสำหรับโลหะทรงกระบอกกลวง โดยให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 800 - 1200 โวลต์ ความยาวของหัววัดยาวโดยประมาณตั้งแต่ 1 - 25 นิ้วทั้งภาพประกอบ 10

* การทำงานของหัววัดจีเอ็ม

หัววัดจีเอ็มเริ่มทำงานเมื่อมีการป้อนศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่หัววัด จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้าสูงพอที่หัววัดจะเริ่มนับ ศักย์ไฟฟ้าที่หัววัดเริ่มนับ (ในบางครั้ง) เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น จากศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นเมื่อเราเพิ่มศักย์ไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ อัตราการนับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งมาถึงบริเวณหนึ่งซึ่งอัตราการนับเกือบคงที่และอาจจะมีการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าขึ้นไปอีกก็ตาม ซึ่งถ้าเราเขียนกราฟระหว่าง อัตราการนับกับศักย์ไฟฟ้า ในช่วงนี้จะพบว่าความชันของกราฟจะมีค่าประมาณ 3% - 10% ต่อ 100 โวลต์ (ในตำราบางเล่มกล่าวว่าความชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1% ต่อ 100 โวลต์ เนื่องจากแก๊สภายในหลอดตรงกลางทำให้เกิดการคายประจุเพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อย) บริเวณนี้เรียกว่า พลาโต (plateau) ในที่นี้คือ บริเวณ G ถึงภาพประกอบ 11 โดยหัววัดจีเอ็มมีช่วงความยาวพลาโตประมาณ 200 โวลต์หรือมากกว่านี้

จากการที่อัตราการนับในช่วงนี้เกือบคงที่เอง จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องห้วงเรื่องความสม่ำเสมอของวงจรทางศักย์ไฟฟ้าไว้ โดยมากการเลือกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสำหรับการ

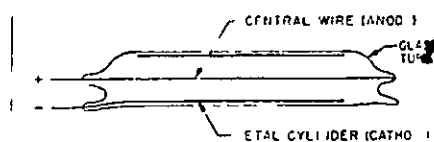
ปฏิบัติงาน (operating voltage) จะใช้ประมาณ 25% ของช่วงความยาวนี้
 อนึ่ง ศักย์ไฟฟ้าเริ่มมีการนำด้วยขนาดสม่ำเสมอ เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าขีดเริ่ม
 (threshold voltage หรือ working voltage)

ฉนวน

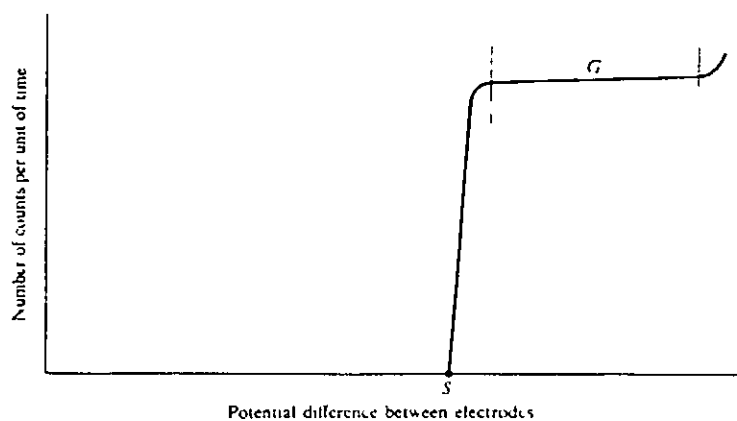
ผลที่ได้อันหนึ่งของหัววัดจีเอ็ม

จากการวัดของหัววัดจีเอ็ม ผลที่ได้จะออกมาในรูปของสัญญาณที่เรียกว่า พัลส์ ดัง
 ภาพประกอบ 12 ซึ่งขนาดของพัลส์จะไม่ขึ้นกับการแตกตัวปฐมภูมิ (อนุภาคหรือรังสีที่เข้ามาตก
 กระแทกหัววัดจะใหขนาดของสัญญาณเท่ากันแม้จะมีพลังงานต่างกันก็ตาม) แต่จะขึ้นกับการเก็อน
 ที่ของประจุในหัววัด และแปรผกผันกับความจุของหัววัด โดยขนาดของพัลส์จะเพิ่มขึ้นอย่าง
 ช้าๆ ตลอดช่วงความยาวของผลาไค

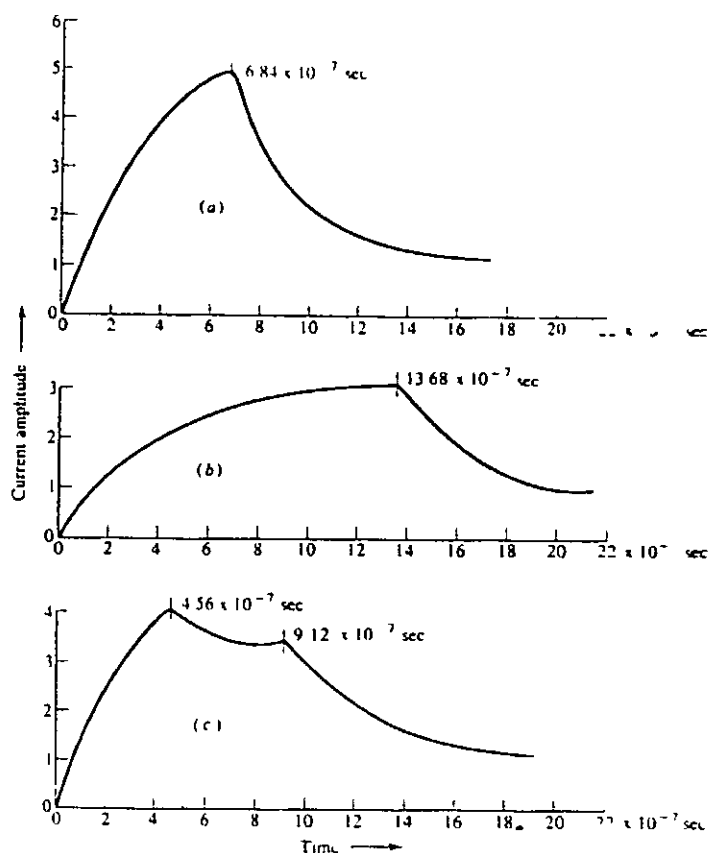
นอกจากนี้ พัลส์ที่ได้จากหัววัดจีเอ็มยังมีขนาดใหญ่และคงที่ แม้ว่าศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยน
 ไปจึงทำให้ไม่ตองใช้วงจรขยายและเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงๆ ด้วยเหตุนี้เอง
 ทำให้หัววัดจีเอ็มมีราคาถูกกว่าหัววัดชนิดอื่น



ภาพประกอบ 10 แสดงลักษณะของหัววัดจีเอ็มอย่างง่าย



ภาพประกอบ 11 แสดงลักษณะกราฟที่ได้ ของหัววัดจีเอ็ม



ภาพประกอบ 12 แสดงรูปร่างของพัลส์สำหรับหัววัดจีเอ็ม ที่คล้องจองกับ
 การผ่านของอนุภาคแอลฟา (a) จากตรงกลางหัววัด (b) จากปลายข้าง
 หนึ่งของหัววัด (c) เมื่อเคลื่อนกว่าเนตรังสีอยู่ที่ $1/3$ ของปลายข้างหนึ่งของ
 หัววัด

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสร้างหัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์ที่ทำด้วยแก้ว
2. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของหัววัดรังสีที่สร้างขึ้น
3. เพื่อสร้างหัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์ โดยยึดหลักต่อไปนี้ คือ
 - 3.1 ใช้วัสดุที่สามารถหาได้ภายในประเทศ
 - 3.2 ใช้วัสดุทดแทนทำให้หัววัดมีราคาถูก

ความสำคัญของการวิจัย

1. ผลจากการวิจัยจะเป็นส่วนหนึ่งในการนำไปใช้สร้างเครื่องวัดรังสีสำหรับการปฏิบัติการทดลองวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์ ซึ่งจะช่วยให้การเรียนการสอนวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์ทั้งในระดับโรงเรียนและในระดับมหาวิทยาลัยได้ผลดียิ่งขึ้น
2. เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาการสร้างหัววัดรังสีรังสีต่างๆ ไปให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
3. เพื่อช่วยประหยัดเงินงบประมาณของชาติในการซื้อชุดเครื่องวัดรังสีจากต่างประเทศ โดยเราสามารถประกอบขึ้นได้เองจากวัสดุที่หาได้ภายในประเทศ
4. เพื่อเรียนรู้และพัฒนาเทคโนโลยีในด้านการสร้างหัววัดรังสีขึ้นใช้เอง

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการสร้างหัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์ที่ทำด้วยแก้ว
2. สร้างหัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์ ณ ห้องปฏิบัติการนิวเคลียร์ฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
3. ทดลองวัดรังสีด้วยหัววัดที่สร้างขึ้นนี้ เพื่อศึกษาผลที่ได้จากการวัด ณ ห้องปฏิบัติการนิวเคลียร์ฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี

นิยามศัพท์เฉพาะ

กัมมันตภาพ คือ จำนวนเฉลี่ยของการเปลี่ยนสถานะเชิงนิวเคลียร์ที่เปลี่ยนไปเอง จากสถานะพลังงานเฉพาะอันหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นในนิวไคลด์รังสีจำนวนหนึ่งในช่วงเวลาสั้นๆ หรือด้วยช่วงเวลาอื่นๆ

กัมมันตภาพจำเพาะ คือ จำนวนเฉลี่ยของการเปลี่ยนสถานะเชิงนิวเคลียร์ที่เปลี่ยนไปเอง จากสถานะพลังงานเฉพาะอันหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นในนิวไคลด์รังสีจำนวนหนึ่งในช่วงเวลาสั้นๆ หรือด้วยช่วงเวลาอื่นๆ

กัมมันตภาพจำเพาะ คือ กัมมันตภาพหารด้วยมวลทั้งหมดของสารตัวอย่างนั้น

แกมมา คือ กลิ่นแฉะเล็กไฟฟ้าหรือโอโซนที่มีพลังงานสูงมาก มีช่วงกลืนสั้นมาก เรียกกัมมำ รังสีแกมมา เคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 3000,000 กิโลเมตรต่อวินาที มีอำนาจในการเจาะทะลุสูง สามารถเจาะทะลุแผ่นตะกั่วหนาหลายเซนติเมตรได้ เกิดจากการสลายของสารกัมมันตรังสี เช่น ธาตุเรเดียม หรือธาตุโพลอนด์-60

บีตา คือ อนุภาคที่ปล่อยออกมาจากนิวเคลียสของอะตอมกัมมันตรังสี มี 2 ชนิดคือ อิเล็กตรอน และโพสิตรอน มักเรียกกระแสนิวเคลียร์ว่า รังสีบีตา เคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 290,000 กิโลเมตรต่อวินาที มีอำนาจในการเจาะทะลุมากกว่ารังสีแอลฟา แต่น้อยกว่ารังสีแกมมา

ความหนาแน่นกระแส คือ ปริมาณแวกเตอร์ ซึ่งอินทิกรัลของมันบนผิวที่กำหนด จะเท่ากับ กระแสที่ไหลผ่านผิวนั้น

ความเข้มสนามไฟฟ้า คือ แรงซึ่งสนามไฟฟ้ากระทำต่อจุดประจุไฟฟ้าวันหนึ่ง หรือด้วยจำนวนประจุไฟฟ้าหนึ่ง

คู่อิออน คือ คูของไอออนที่มีประจุตรงข้ามกัน มักประกอบด้วยอิเล็กตรอนหนึ่งแสดงประจุลบ กับอะตอมที่สูญเสียอิเล็กตรอนหนึ่งแสดงประจุบวก

โง่งพลาค คือ บริเวณที่อัตราการนับของหัววัดมีค่าเกือบคงที่ แม้ว่าจะมีการเพิ่มศักย์ไฟฟ้า ขาสู่หัววัดก็ตาม

เขตใหม่ คือ ช่วงเวลาตั้งแต่อิเล็กตรอนไม่สามารถเข้าไปถึงขั้วไฟฟ้าบวก จนกระทั่งไอออนบวกเคลื่อนที่ออกจากขั้วไฟฟ้าบวก และอิเล็กตรอนจากกระบวนการไอออนไนเซชัน

ที่ เกิดขึ้นเนื่องจากไอออนไนเซชันครั้งแรกๆ เข้าไปถึงผิวให้ผ่านวาล์วอีกครึ่งหนึ่ง

นิวไคลด์ คือ ชนิดของนิวเคลียส (Nuclear species) ซึ่งมีจำนวนโปรตอน และจำนวนนิวตรอนเป็นเอกลักษณ์กัน

ประสิทธิภาพเชิงเรขาคณิต คือ ประสิทธิภาพในการวัดรังสีของหัววัดที่ติดตั้งกับรูปทรงของหัววัด

พัลส์ คือ รูปร่างของสัญญาณไฟฟ้าปรากฏ อันเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างรังสีกับอนุภาคของแก๊สในหัววัด

รีดอปเวอริ์ไทม์ คือ ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มมีพัลส์ปรากฏออกมาเต็มขนาดเล็กน้อย (สิ้นสุดช่วงเวลาของเดคไทม์) จนกระทั่งพัลส์มีขนาดเท่าเดิมอีกครั้งหนึ่ง

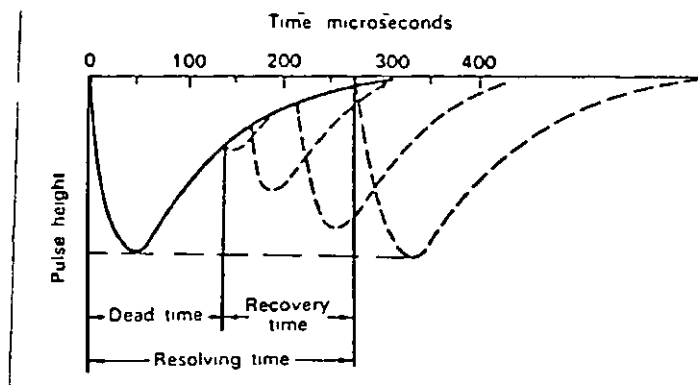
รีโซลวิงไทม์ คือ ผลรวมของเดคไทม์กับรีดอปเวอริ์ไทม์

แอลฟา คือ อนุภาคที่ปล่อยออกมาจากนิวเคลียสของอะตอมกัมมันตรังสี เป็นนิวเคลียสของธาตุฮีเลียม เรียกกระแสอนุภาคแอลฟาว่า รังสีแอลฟา ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 20,000 กิโลเมตรต่อวินาที มีอำนาจในการเจาะทะลุได้น้อย เมื่อกระทบกับฉากเรืองแสงจะทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้นได้

ไอออน คือ อะตอมหรือกลุ่มของอะตอม ที่มีอิเล็กตรอนเกินหรือหายไป ดังนั้น มันจะแสดงประจุลบหรือบวกตามลำดับ

ไอออนไนเซชัน คือ กระบวนการในการเกิดไอออน โดยการแผ่รังสีหรือการชนด้วยอนุภาคที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง หรือปฏิกิริยาทางเคมี

ไอโซโทป คือ ธาตุชนิดเดียวกันที่มีเลขอะตอมเหมือนกัน แต่มีเลขมวลต่างกัน



ภาพประกอบ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เกิดใหม่, รีทอร์นเวอริใหม่
และรีซอลวิงใหม่

ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

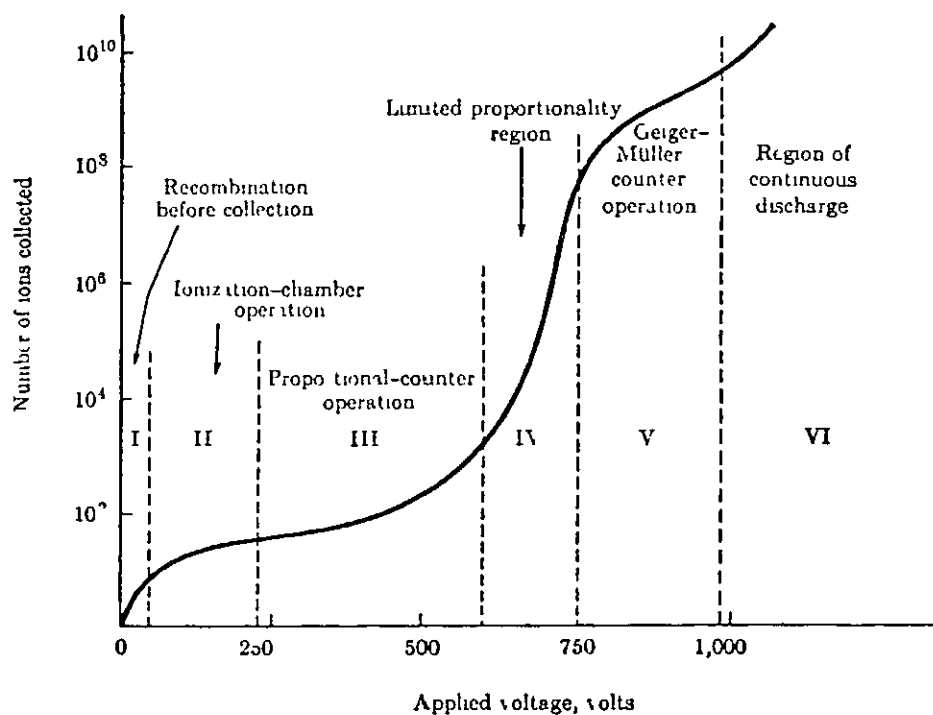
1. หลักการของเครื่องวัดรังสีแบบบรรจุแก๊ส (Gas-filled counter) หรือ แบบใช้สมบัติไอออนไนเซชันของอนุภาคในแก๊ส

เมื่ออนุภาคของรังสี เคลื่อนผ่าน เข้าไปกระทบกับเป้าใดๆ จะทำให้อะตอมหรือโมเลกุลของสสารที่เป็นเป้าซึ่งเป็นกลางนั้น เกิดการแตกตัวอยู่ในรูปของคู่อิออนตลอดทางของการเคลื่อนที่ของอนุภาคของรังสีนั้น ปริมาณการแตกตัวของโมเลกุลของสสารที่เป็นกลางจะมีจำนวนเท่าใดนั้น จะขึ้นกับขนาด, พลังงาน และประจุของอนุภาคของรังสีที่มากกระทบ กับขนาดและประจุของอะตอมของสสาร กระบวนการของการแตกตัวของสสารนี้เอง เป็นหลักการเบื้องต้นของการออกแบบหัววัดรังสีชนิดใช้สมบัติไอออนไนเซชันของอนุภาคในแก๊ส

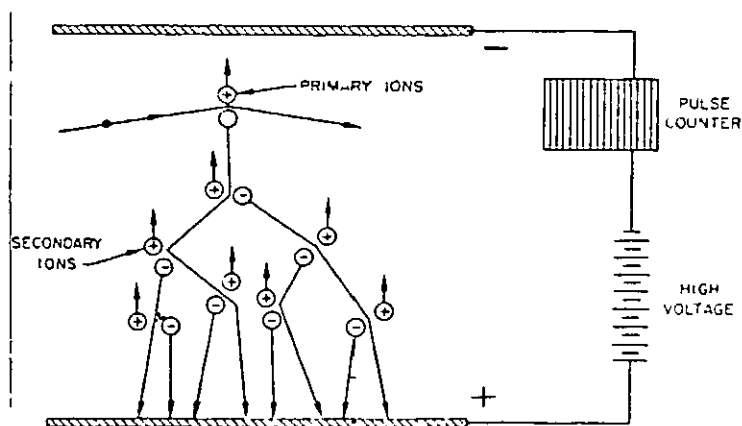
ในกรณีนี้ สสารที่เราเลือกใช้ก็คือ แก๊สนั่นเอง โดยกระบวนการดังกล่าวจะได้อนุภาคที่มีประจุหรือไอออนของแก๊สขึ้นมา ซึ่งเราสามารถนำไปวัดและศึกษาได้

โดยทั่วไป วิธีการจะเริ่มต้นด้วยการนำเอาแก๊สมาบรรจุในกระบอกแก้วบางชนิด ซึ่งภายในมีกระบอกโลหะลักษณะปลายเปิดทั้งสองข้างและเส้นลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าอยู่ตรงกลางระหว่างผนังของกระบอกโลหะกับเส้นลวดตรงกลางทำให้มีค่าประจุต่างกัน โดยขอเข้ากับเครื่องกำเนิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปรับได้ ซึ่งจะมีผลให้เส้นลวดตรงกลางมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อเทียบกับผนังโลหะ นั่นคือเกิดความต่างศักย์ขึ้น และความต่างศักย์ไฟฟ้านี้เองก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าซึ่งจะทำให้แก๊สที่อยู่ภายในพร้อมที่จะแตกตัวเป็นประจุ เมื่อมีอนุภาคที่มีความเร็วสูงหรือรังสีผ่านเข้ามาในหลอด และกระทบกับอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลางของแก๊สนี้ ก็จะทำให้แก๊สเกิดการแตกตัวเป็นประจุของแก๊สซึ่งอยู่ในรูปของคู่อิออน แต่ละชนิดของคู่อิออนหรือประจุของแก๊ส (ประมาณ 10^9 ตัว) จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าที่มีชนิดตรงกันข้ามกับตนเอง ซึ่งเมื่อเราวัดจำนวนประจุที่วิ่งเข้าหาขั้วไฟฟ้าของหัววัด จะพบว่ามันแปรเปลี่ยนไปตามศักย์ที่หัววัดได้รับ ในลักษณะที่อาจแบ่งออกได้เป็นช่วงๆ คือ A , B , C , D และช่วงที่เกิน D ขึ้นไป ดังภาพประกอบ 14

โดยในช่วง A นั้น จำนวนไอออนเพิ่มตามศักย์อย่างรวดเร็วพอควร อธิบายได้ว่า ปกติเมื่อเกิดไอออนไนเซชันขึ้น คู่อิออนที่เกิดขึ้นจะกลับมารวมตัวกันใหม่เป็นอะตอม แต่เมื่ออยู่ในสนาม



ภาพประกอบ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนไอออนที่นับได้
กับศักย์ไฟฟ้า



ภาพประกอบ 15 แสดงกระบวนการกลั่นในหัววัดจีเอ็ม

ไฟฟ้า คู่อออบางคู่จะถูกแยกจากกันอย่างเด็ดขาด โดยที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก และไอออนบวกเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ แต่อย่างไรก็ตามในช่วง A นั้น ศักย์ไฟฟ้ายังมีความแรงไม่พอที่จะ "แยก" คู่อออบนที่เกิดชนโคตรบหมทุกคู่ จึงยังมีบางคู่เกิดการรวมตัวกันใหม่

จนมาถึงช่วง D เป็นช่วงที่สนามไฟฟ้าแรงพอเหมาะที่จะแยกอิเล็กตรอนและไอออนบวกจากคู่อออบน ให้ไปสะสมที่ขั้วบวกและลบโคตรบหมทุก และเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าเข้าไปอีกก็จะเกิดผลออกมาโดยมีขนาดคงที่ เพราะจำนวนอิเล็กตรอนที่จะไปถึงขั้วบวกในแต่ละคาบของศักย์ไฟฟ้าในช่วงนี้จะมีจำนวนเท่ากัน และทั้งหมดก็ไปถึงขั้วบวกโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน ช่วงนี้จึงเกิดความอัมพัทธ์ มีความคงที่และเป็นช่วงของการทำงานของเครื่องวัดชนิดห้องแบบการแตกตัวเป็นไอออนของแก๊ส (ในช่วงนี้จะเริ่มเห็นความแตกต่างของจำนวนไอออน ระหว่างที่เกิดจากรังสีแอลฟาที่เกิดจากรังสีบีตา)

ถ้าเพิ่มศักย์ไฟฟ้าต่อไปอีก (โดยใช้เครื่องมือเดิม) จะได้ผลออกมาถึงช่วง C ซึ่งถึงตอนนี้อาจจะหาความต่างศักย์สูงจนกระทั่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น วิ่งไปชนกับโมเลกุลของแก๊ส เกิดคู่อออบนอีกทอดหนึ่ง หรือเรียกว่าเกิดไอออนในเซชันทุติยภูมิ การทำงานของเครื่องวัดแบบนี้เรียกว่าแบบสัดส่วนหรือแบบปฏิภาค

ช่วงที่ศักย์จากภายนอกสูงมากขึ้นไปอีก คือในช่วง D ซึ่งถึงตอนนั้นแม้ว่าจะมีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวที่เกิดจากไอออนในเซชันปฐมภูมิ (คือ ไอออนในเซชันที่เกิดโดยตรงจากอนุภาคของรังสีมากระทบกับ โมเลกุลของแก๊ส) อิเล็กตรอนตัวนั้นก็สามารถไปทำให้เกิดอิเล็กตรอนอีกมากมาย (โดยการวิ่งชนโมเลกุลของแก๊ส) จนไม่เห็นความแตกต่างระหว่างจำนวนอิเล็กตรอนสุดท้ายที่เกิดจากอิเล็กตรอนตัวต้น 1 ตัวหรือที่เกิดจากอิเล็กตรอนตัวต้น 10 ตัว ปรากฏการณ์นี้ประโยชน์มากในการนำไปสร้างเครื่องวัดแบบที่เรียกว่า ไกเกอร์-มิลเลอร์

ในทางปฏิบัตินี้ เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงมากๆ นักประดิษฐ์จึงออกแบบให้หลอดหรือหัววัดที่จะใช้งาน ใช้ได้ในแต่ละช่วง คือ ช่วงการแตกตัวเป็นไอออน, ช่วงของสัดส่วนและช่วงของไกเกอร์-มิลเลอร์ โดยให้มีขนาด, ลักษณะ, รูปร่าง, ชนิดและความดันของแก๊ส ตลอดจนรูปแบบของขั้วไฟฟ้าต่างกัน แต่ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละชนิดของเครื่องมือก็ยังเป็นปรากฏการณ์ที่สอดคล้องกับข้อความข้างต้น

2. หลักการของหัววัดจีเอ็ม

ในกรณีของหัววัดที่บรรจุด้วยแก๊สเฉื่อยเพียงอย่างเดียว เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าจะกระตุ้นให้โมเลกุลของแก๊สเฉื่อยที่บรรจุอยู่ภายในพร้อมที่จะแตกตัวเป็นไอออน เมื่อมีอนุภาคหรือรังสีผ่านเข้ามาในหัววัดก็จะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัวและไอออไนซ์ขึ้นมา (ไอออนบวกและไอออนลบหรืออิเล็กตรอน) ไอออนแต่ละชนิดจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้ามกับประจุของตน คืออิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่มายังขั้วไฟฟ้าบวกหรือเส้นลวดตรงกลาง และ โมเลกุลของแก๊สเฉื่อยซึ่งแสดงประจุบวก (ไอออนบวก) จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าลบ โดยตลอดทางที่ประจุทั้งสองชนิดเคลื่อนที่ไปนั้นจะเกิดการชนกับโมเลกุลของแก๊สตลอดทาง โดยเฉพาะอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าและเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าบวกนั้น เมื่อเข้าใกล้เส้นลวด สนามไฟฟ้าที่ใกล้เส้นลวดซึ่งสูงมากก็จะทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงพอที่จะชนกับโมเลกุลอื่นๆ ของแก๊สเฉื่อยที่อยู่รอบๆ จึงทำให้เกิดการแตกตัวขึ้นอีก ไอออนที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็จะชนกับโมเลกุลอื่นๆ ต่อไป ดังนั้นจำนวนไอออนจะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วมาก กระบวนการดังกล่าวนี้เราเรียกว่า การถล่ม (Avalanche or Townsend) ดังแสดงในภาพประกอบ 15

ผลของการถล่ม จะก่อให้เกิด

1. ไฟตอนพลังงานต่ำ ซึ่งเกิดจากการที่อะตอมของแก๊สที่เป็นกลางโดนชนด้วยอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น ไฟตอนประเภทนี้ไม่ก่อให้เกิดกระบวนการแตกตัวขึ้นในหัววัด
2. ไฟตอนจากอะตอมของแก๊สที่เป็นไอออน (ไอออนบวก) ซึ่งเกิดจากการที่อะตอมที่เป็นกลางของแก๊สโดนชนด้วยอิเล็กตรอน พลังงานของอิเล็กตรอนจะถูกถ่ายเทให้กับอะตอมของแก๊สและทำให้อะตอมของแก๊สนี้เกิดการแตกตัวออกเป็นไอออน ซึ่งไอออนบวกที่แตกตัวออกมานี้จะอยู่ในสถานะกระตุ้นและเมื่อลดระดับพลังงานลงจะไดไฟตอนออกมา เมื่อไอออนบวกนั้นเคลื่อนที่เข้าใกล้ขั้วไฟฟ้าลบ ไฟตอนประเภทนี้จะไปทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากขั้วไฟฟ้าลบกลายเป็นอิเล็กตรอนที่เรียกว่า ไฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) ซึ่งก็จะทำให้เกิดการถล่มใหม่อีก

การแตกตัวเป็นประจุนี้จะเกิดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งกระจายออกไปจนตลอดความยาวของเส้นลวด (ด้วยความเร็วประมาณ 10 เซนติเมตรต่อไมโครวินาที)

เพื่อป้องกันการแตกตัวเป็นประจุอย่างต่อเนื่อง จึงมีการคิดกระบวนการระงับขึ้นมาในหัววัดจีเอ็ม สามารถเบี่ยงการระงับออกเป็น

1. การระงับแบบใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์

ในหัววัด เมื่อเกิดการแตกตัวเป็นประจุก็จะเกิดสัญญาณของกระแสขึ้นที่วงจรภายนอก ซึ่งต่อกับหัววัด สำหรับการระงับแบบนี้ในวงจรจะต่อไวด้วยความต้านทานที่มีค่าสูง เมื่อมีกระแสไหลจะทำให้เกิดภาวะทางศักย์คร่อมความต้านทานนี้และส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าลดลง การลดลงนี้จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุลดลงและกระแสจะลดลงไปสู่ศูนย์ ค่าศักย์ของลวดจึงกลับไปเท่าเดิมและเริ่มต้นวัดใหม่

(ก) 2. การระงับด้วยตนเอง (Self quenching) หรือการระงับแบบใช้แก๊ส

โดยใช้แก๊สบางชนิดผสมเข้ากับแก๊สเฉื่อย แก๊สที่ผสมเข้ามานี้เรียกว่า แก๊สระงับ เบง

เป็น

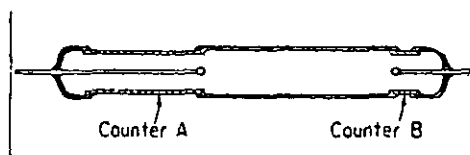
ก. แก๊สหมู่เฉื่อย

ข. ไอของสารอินทรีย์

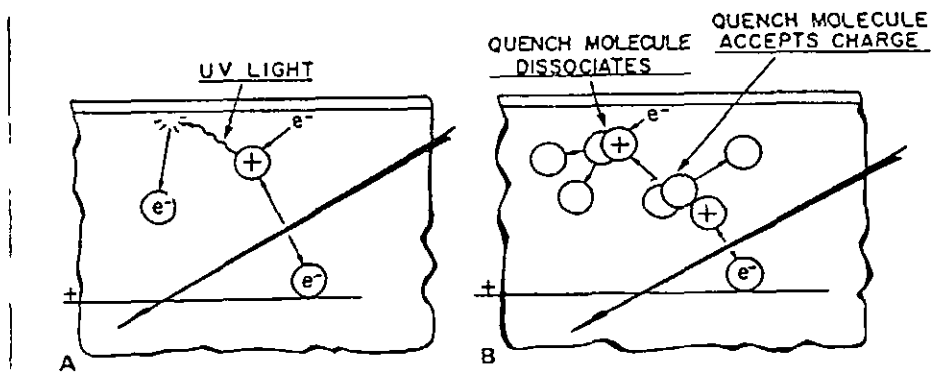
ในที่นี้จะศึกษาในรายละเอียดของการระงับแบบที่ 2. เป็นสำคัญ
การระงับแบบนี้ เบงเป็น

2.1 ระงับโฟตอน โรส (Rose) และคอร์ฟ (Korff) พบว่า การชนระหว่างอิเล็กตรอนกับโมเลกุลของไอสารอินทรีย์บางชนิดแบบไม่ยืดหยุ่น พลังงานของอิเล็กตรอนจะถูกถ่ายเทให้กับโมเลกุลของไอสารอินทรีย์นั้น ซึ่งจะทำให้โฟตอนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของแรมเซย์ (Ramsey) ที่ทดลองโดยใช้หัววัดแบบชอน โดยถ้าหัววัดบรรจุด้วยแก๊สเฉื่อยเพียงอย่างเดียว เมื่อหัววัด A เกิดการแตกตัวเป็นประจุจะให้โฟตอนแก่หัววัด B หัววัด B ก็จะมีการแตกตัวเป็นประจุทุกครั้ง แต่ถ้าหัววัดทั้งสองบรรจุด้วยแก๊สระงับจะพบว่าโฟตอนของไอออนของแก๊สเฉื่อยในหัววัด A จะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของแก๊สระงับก่อนที่จะมาถึงหัววัด B ดังภาพประกอบ 16

2.2 ระงับไอออนบวกที่กำลังเคลื่อนที่มายังขั้วไฟฟ้าลบ โดยหัววัดถ้าปราศจากแก๊สระงับ เมื่อไอออนบวกของแก๊สเฉื่อยเคลื่อนเข้ามาใกล้ผิวของขั้วไฟฟ้าลบ (ประมาณ 10^{-7} ถึง 10^{-8} เซนติเมตร) จะทำให้อิเล็กตรอนจากโลหะที่เป็นขั้วไฟฟ้าลบหลุดออกมาและเกิดการกลืนขึ้น ซึ่งเราไม่ต้องการดังนั้น เราจึงใส่แก๊สระงับเข้าไปในหัววัด แก๊สระงับนี้จะให้อิเล็กตรอนแก่ไอออนบวกของแก๊สเฉื่อยแทนโดยตัวมันเอง (แก๊สระงับ) จะแสดงความเป็นประจุบวกออกมา



ภาพประกอบ 16 แสดงหัววัดแบบข้อ



ภาพประกอบ 17 แสดงการระงับไอออนบวก

แล้วเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าลบ จากนั้นจะดึงอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าลบมาทำให้ตัวมันเองเป็นกลางแล้วแตกตัวแทนที่จะปล่อยโฟตอนออกมา ซึ่งกระบวนการนี้ได้มีผู้ศึกษาไว้คือ กอร์ฟ และเพรสเซนท์ (Present) โดยเขาเสนอให้ใช้แก๊สระงับเป็นเอทิลแอลกอฮอล์ กระบวนการระงับนี้อธิบายได้ดังภาพประกอบ 17

ต่อมาเพรสเซนท์พบว่าแก๊สในหมู่ธาตุแฮโลเจน เช่น โบรมีน, คลอรีน, ไอโอดีน เป็นต้น ก็สามารถใช่เป็นแก๊สระงับได้และเกิดการระงับแบบไม่แยกตัวเองด้วย (แก๊สระงับแบบนี้ เมื่อแตกตัวแล้วสามารถกลับมารวมตัวกันใหม่ได้อีก)

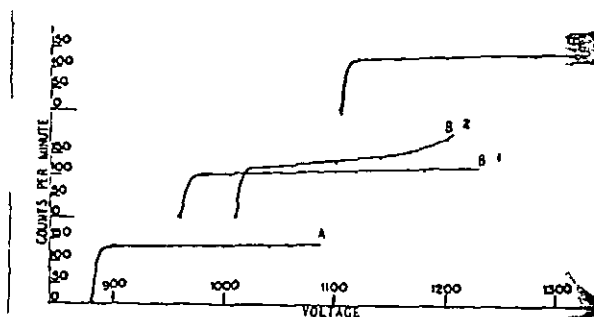
อย่างไรก็ตามในการใช้แก๊สทำหน้าที่เป็นตัวระงับนี้ มีหลักการในการพิจารณาคุณสมบัติของแก๊สที่จะใช้เป็นแก๊สระงับอยู่ 3 ประการด้วยกัน คือ

1. แก๊สระงับจะต้องมีศักย์ในการทำให้เกิดการแตกตัว (ionization potential) ต่ำกว่าแก๊สนิวเคลียสในตัววัด
 2. แก๊สระงับจะต้องมีช่วงของการดูดกลืนรังสีเหนือม่วงหรือรังสีอัลตราไวโอเลตที่กว้างมากๆ
 3. แก๊สระงับจะต้องให้การแยกตัวได้ดีเมื่อตกอยู่ในสถานะกระตุ้น
- โดยทั่วไป หัววัดจีเอ็มเมื่อบังคับตามชนิดของแก๊สระงับที่ใช้จะมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือ

1) หัววัดจีเอ็มแบบใช้ไอสารอินทรีย์เป็นแก๊สระงับ (Organic-quenched counters) ประกอบด้วยส่วนผสมของแก๊ส 2 ชนิด คือ แก๊สเฉื่อย เช่น อาร์กอน ประมาณ 90% กับไอสารอินทรีย์ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 10% โดยคิดที่ความดันประมาณ 100 มิลลิเมตรของปรอท หัววัดแบบนี้มีข้อเสียคือ จะมีอายุการใช้งานจำกัด โดยจะวัดได้ประมาณ 10^9 พัลส์ ลักษณะของกราฟที่ได้จากการวัดของหัววัดแบบนี้แสดงดังภาพประกอบ 18

2) หัววัดจีเอ็มแบบใช้แก๊สหมู่แฮโลเจนเป็นแก๊สระงับ (Halogen-quenched counters) เหมือนกับข้อ 1. เพียงแต่เปลี่ยนแก๊สผสมจากไอสารอินทรีย์เป็นแก๊สแฮโลเจน เช่น คลอรีน, โบรมีน ฯลฯ

หัววัดแบบที่ 2. นี้จะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าแบบแรก



ภาพประกอบ 18 เปรียบเทียบโค้งพลาโตของหัววัดแอลกอฮอล์-อาร์กอน ที่ความดัน 10 เซนติเมตรของปรอท โดยลักษณะส่วนต่างๆ กัน คือ

- A ไอแอลกอฮอล์ 5% สก๊ย์ไฟฟ้าเริ่มต้น 840 โวลต์ ความชันน้อยกว่า 0.01% ต่อโวลต์
 B-1 ไอแอลกอฮอล์ 10% สก๊ย์ไฟฟ้าเริ่มต้น 940 โวลต์ ความชัน 0.025% ต่อโวลต์
 B-2 ไอแอลกอฮอล์ 10% และอากาศ 2% สก๊ย์ไฟฟ้าเริ่มต้น 1000 โวลต์ ความชัน 0.15% ต่อโวลต์
 C ไอแอลกอฮอล์ 20% สก๊ย์ไฟฟ้าเริ่มต้น 1080 โวลต์ ความชัน 0.05% ต่อโวลต์

ตาราง 1 แสดงชนิดและคุณสมบัติของแก๊สในหัววัดจีเอ็ม

Gas	Formula	1st Ionization Potential (volts)	Ionization Potential (volts)	Electron Attachment Probability	Negative Ion Formed at Wall	Positive Ion Formed	Negative Ion Formation Probability	Metastable Level (volts)	Emission Wave Length (A U)
Argon	A	11.8	15.7	0	—	—	—	11.51	1048
Helium	He	20.5	24.5	0	—	—	—	19.7	864
Krypton	Kr	9.9	13.9	0	—	—	—	9.87	1236
Mercury	Hg	—	10.4	—	Hg ⁺	Hg ⁺	10 ⁻³	5.43	1850
Neon	Ne	10.6	21.6	0	—	—	—	10.5	730
Xenon	Xe	8.3	12.1	0	—	—	—	8.27	1470
Hydrogen	H ₂	11.5	15.4	0	H ⁺	H ₂ ⁺	10 ⁻³	—	—
Atomic Hydrogen	H	10.2	13.6	0	—	—	—	None	1215
Nitrogen	N ₂	6.1	15.6	0	—	—	—	6.27	—
Atomic Nitrogen	N	—	11.6	—	—	—	—	2.37	1136
Oxygen	O ₂	6	12.6	10 ⁻¹	O ₂ ⁻	O ₂ ⁺	10 ⁻¹	5.3	—
Atomic Oxygen	O	—	13.6	10 ⁻³	—	—	—	2.4	1302
Carbon Dioxide	CO ₂	—	14.4	0	O ₂ ⁻ CO ₂ ⁻	CO ₂ ⁺ CO ₂ ⁺	10 ⁻¹ 10 ⁻¹	and 9 5.6	—

ตาราง 2 แสดงชนิดและคุณสมบัติของแก๊สระงับในหัววัดจีเอ็ม

Gas	Formula	Ionization Potential (eV)	Electron Attachment Probability	Negative Ion Formed in Gas	Energy to Form Negative Ion (eV)	Absorption Wavelengths (Å U)	Type of Spectra
Bromine	Br ₂	12.3	10 ⁻¹	Br ⁻		1500	Continuous
Chlorine	Cl ₂	13.2	10 ⁻¹	Cl ⁻		1600	Continuous
Carbon Monoxide	CO	14.1		O ⁻	20.9		
Nitric Oxide	NO	9.5	5 × 10 ⁻¹	O ⁻	7.0		
Carbon Dioxide	CO ₂	14.4	0			1360-800	Bands
Carbon Disulfide	CS ₂	10.4				3800-1200	Bands
Hydrogen Sulfide	H ₂ S	10.4	0	HS ⁻	3.7	1000-1190	Bands
	HS		10 ⁻¹				
Nitrogen Dioxide	NO ₂	11.0				5700-2200	Bands
Nitrous Oxide	N ₂ O	12.9	0	O ⁻	1.7	3000-1760	Continuous
						1620-1058	Bands
						< 1000	Continuous
Sulfur Dioxide	SO ₂	13.1	10 ⁻¹	SO ⁻	5.7	3800-1529	Bands
Water	H ₂ O	13.0	0	OH ⁻	5.4	1240-993	Bands
				O ⁻	7.8		
	OH	13.8	10 ⁻¹				
Ammonia	NH ₃	10.5	0	NH ₂ ⁻	6.0	1620-1150	Bands
				NH ⁻	3	< 1200	Continuous
	NH ⁻		10 ⁻¹				
Acetylene	C ₂ H ₂	11.6				2400-2000	Bands
Carbon Tetrachloride	CCl ₄					4600-2100	Bands
Methane	CH ₄	14.4				< 1150	Continuous
Chloroform	CHCl ₃					< 2200	Continuous
Methyl Iodide	CH ₃ I	10.12				1000-2110	Continuous
						2100-1215	Diffuse
Ethyl Bromide	C ₂ H ₅ Br	10.24				2850-1900	Continuous
						< 1700	Diffuse
Ethyl Chloride	C ₂ H ₅ Cl					< 1700	Continuous
Pyridine	C ₅ H ₅ N	9.8				< 2500	Continuous
Ethyl Alcohol	C ₂ H ₅ OH	11.1				1633-1602	Bands
						1518	Diffuse
						< 700	Continuous
Acetone	CH ₃ COCH ₃	10.1				1100-2940	Bands

ตาราง 3 แสดงความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออนบวก และ ไอออนลบ (อิเล็กตรอน)

แก๊ส	อากาศ	อาร์กอน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	คาร์บอนไดออกไซด์
μ_+	1070	1040	4300	980	600
μ_-	1350	1290	6500	1390	720

3. ความเข้มสนามไฟฟ้า¹

ความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่างโลหะรูปทรงกระบอกกลวงกับลวดโลหะซึ่งอยู่
ณ. ตำแหน่งที่เป็นแกนกลางของทรงกระบอก จะเป็น

$$E = \frac{V}{r \ln r_2/r_1}$$

เมื่อ V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างโลหะทั้งสอง

r คือ ระยะห่างจากศูนย์กลางไปยังแกนของทรงกระบอก

r_1 คือ รัศมีของลวดโลหะซึ่งเป็นขั้วในข้างนอก

r_2 คือ รัศมีของกระบอกกลวงซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าลบ

4. สัมประสิทธิ์ของการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization coefficient)

สมมุติว่ามีแก๊สจำนวนหนึ่ง ปริมาตร V มีจำนวนโมเลกุลเป็น N ความ
หนาแน่นของโมเลกุลคิดเป็น C

$$C = \frac{N}{V}$$

ให้แก๊สชนิดนี้โมเลกุลที่เกิดเป็นไอออน คิดเป็นจำนวน N_{ion} โมเลกุลต่อ
หน่วยเวลา ดังนั้นจะมีอัตราการเกิดไอออนบวก N_{ion} ต่อหน่วยเวลา และจะมีอัตรา
การเกิดอิเล็กตรอน N_{ion} ต่อหน่วยเวลา เช่นกัน (ซึ่งต่างก็มีความหนาแน่นเท่ากันเป็น
 C_{ion})

$$C_{ion} = \frac{N_{ion}}{V}$$

ดังนั้น C_{ion} จึงเป็นอัตราการเกิดคู่อิออน (ion pairs) ต่อหน่วยปริมาตร
ของแก๊ส

อัตราส่วนระหว่างจำนวนไอออนชนิดเดียวกันต่อจำนวนโมเลกุลทั้งหมด เรียกว่า
สัมประสิทธิ์ของการแตกตัวเป็นไอออน (α)

$$\alpha = N_{ion}/N = C_{ion}/C$$

¹Ralph E. Lapp and Howard L. Andrews. Nuclear Radiation
Physics. p. 72.

5. สัมประสิทธิ์การแตกตัวของทาวเซนด์ (Townsend ionization coefficient) ในรูปร่างอันดับปกติของแก๊ส สัมประสิทธิ์การแตกตัวของทาวเซนด์ หรือ α จะเป็น

$$\alpha = kE$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของความเป็นปฏิกิริยา (Proportionality constant)
 E คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า

6. ขนาดของภาวณ² หรือขนาดของการแตกตัว² หาได้จากการวัดการแตกตัวเป็นไอออนของอนุภาคของแก๊ส โดยถ้าพิจารณาที่สัมประสิทธิ์อันดับแรกของการแตกตัว η จะนิยามว่า คือ ปริมาณการแตกตัวเป็นไอออนของแก๊สที่เกิดจากการชนของอิเล็กตรอนซึ่งกำลังเคลื่อนที่ผ่านความต่างศักย์ 1 โวลต์

นั่นคือ สัมประสิทธิ์ η นี้ จะเป็นฟังก์ชันของการได้รับพลังงาน ดังนั้นจำนวนอิเล็กตรอน หรือไอออนบวกซึ่งอยู่ในรูปของการสะสม m จะเป็น

$$m = \exp \left(\int \eta \, dv \right)$$

เมื่อ dv คือ ปริมาณการเปลี่ยนแปลงความเร็วของไอออนของแก๊ส

7. ความเร็วของอิเล็กตรอน และไอออนบวกในแก๊ส³

ความเร็วของไอออนบวกในแก๊ส หาได้จาก

$$v = \mu E/p$$

เมื่อ μ คือ ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ (mobility) ของไอออน

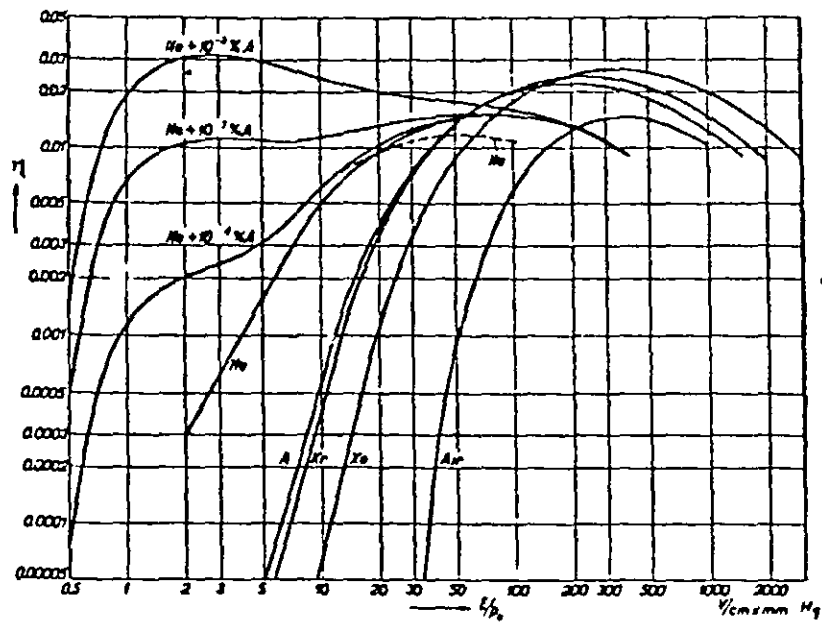
E คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า

p คือ ความดันของแก๊ส

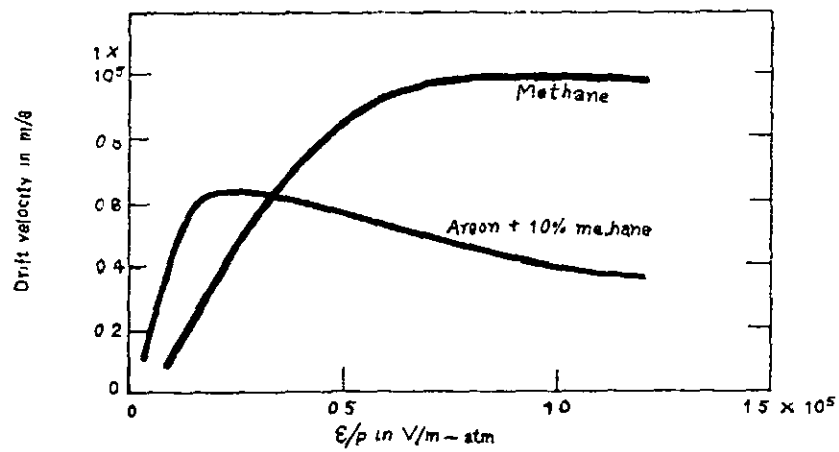
สำหรับค่า E/p ที่เท่ากับ ความเร็วของไอออนบวก จะได้น้อยกว่าความเร็วของไอออนลบ (อิเล็กตรอน) มาก ดังแสดงในตารางที่ 3

²Janchai Vingprayoon. Study of Self-Quenched Geiger-Müller Counter. p. 4.

³วีระ พันธุ์จัน การศึกษาแนวทางในการสร้างตัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันนอล

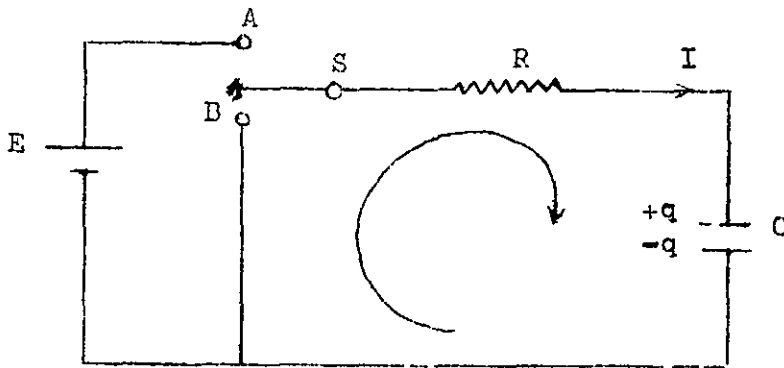


ภาพประกอบ 19 แสดงค่าของ α สำหรับแก๊สบางชนิด



ภาพประกอบ 20 แสดงค่าความเร็วของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็น
ฟังก์ชันของ E/p

8. การเกิดพัลส์ให้ตัวเก็บประจุแกส



ภาพประกอบ 21 แสดงวงจร RC

จากภาพประกอบ 21 เมื่อเปิดสวิตช์ S ไปที่ตำแหน่ง A แรงเคลื่อนไฟฟ้า E จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า I ในวงจร มีทิศทางดังรูป ทำให้เกิดการสะสมประจุที่ตัวเก็บประจุ ประจุที่ตัวเก็บประจุจะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) และความต่างศักย์ไฟฟ้านี้จะมีทิศทางต้านทานแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยที่ $V_C = -\frac{q}{C}$ ดังนั้น จากกฎของเกอรว์ฮอฟ

$$E + V_C = IR$$

$$E - \frac{q}{C} = IR = R \frac{dq}{dt}$$

$$(CE - q)dt = RC \left(\frac{dq}{dt} \right) dt$$

$$\left(\frac{dq}{CE - q} \right) = \frac{1}{RC} dt$$

$$\left(\frac{1}{CE - q} \right) d(CE - q) = -\frac{1}{RC} dt$$

อินทิเกรตทั้ง 2 ข้าง โดยเมื่อ $t = 0$ ประจุที่ตัวเก็บประจุเป็นศูนย์

$$\int_{q=0}^q \left(\frac{1}{CE - q} \right) d(CE - q) = \int_{t=0}^t -\frac{1}{RC} dt$$

$$\ln(CE - q) \Big|_0^q = -\frac{1}{RC} t$$

$$\ln(CE - q) - \ln(CE) = -\frac{1}{RC} t$$

$$\ln \frac{(CE - q)}{CE} = -\frac{1}{RC} t$$

$$\frac{CE - q}{CE} = e^{-t/RC}$$

$$q(t) = CE(1 - e^{-t/RC})$$

$$q(t) = q_0(1 - e^{-t/RC})$$

เมื่อสวิตช์มาที่ B ตัวเก็บประจุจะเริ่มปล่อยประจุผ่าน R

$$q(t) = q_0 e^{-t/RC}$$

$$\frac{dq(t)}{dt} = -q_0 \frac{e^{-t/RC}}{RC}$$

$$I(t) = -\frac{V_0}{R} e^{-t/RC}$$

$$RI(t) = -V_0 e^{-t/RC}$$

$$V(t) = -V_0 e^{-t/RC}$$

ค่าเป็นลบ แสดงว่ากระแสส่วนทางกับที่กำหนดครั้งแรก

หมายเหตุ ในทางปฏิบัติ หัววัดจีโอเมทรีทำน้ำที่ เป็นสวิตช์ และภาคจ่ายไฟฟ้า แก่หัววัด ทำหน้าที่เป็นแบตเตอรี่

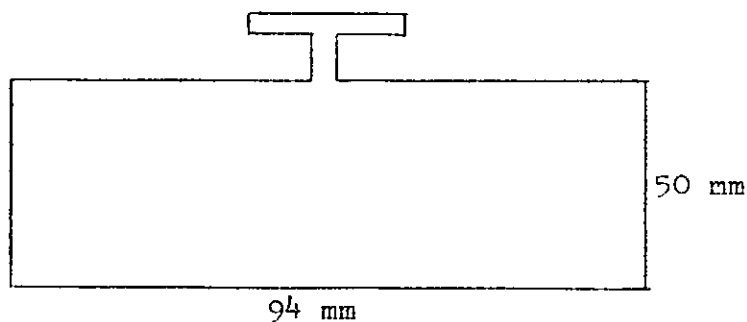
วิธีดำเนินการสร้าง และทดลอง

การสร้างหัววัดจีเอ็ม

โดยทั่วไป หัววัดจีเอ็มสามารถสร้างเป็นรูปทรงและขนาดได้ต่างๆ กัน แต่ที่นิยมสร้างกันมากจะอยู่ในรูปของโลหะทรงกระบอกกลวงที่ปลายโลหะอยู่ตรงแกนกลาง ซึ่งทั้งหมดนี้จะอยู่ในหลอดแก้วที่บรรจุไว้ด้วยแก๊สผสมที่มีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ในการสร้างหัววัดจีเอ็มนี้ก็จะมีลักษณะดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยรายละเอียดจะมีดังต่อไปนี้

อุปกรณ์ในการสร้างหัววัดจีเอ็ม

1. แก้วไพเรกซ์ (Pyrex) ลักษณะทรงกระบอกกลวง ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30 มิลลิเมตร ความยาว 1.5 เมตร จำนวน 1 แท่ง
2. แก้วไพเรกซ์ ลักษณะทรงกระบอกกลวง ความหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 5 มิลลิเมตร ความยาว 1 เมตร จำนวน 1 แท่ง
3. แผ่นเหล็กโรสนิม ความหนาประมาณ 0.4 มิลลิเมตร ตัดให้เป็นแผ่นกว้างประมาณ 50 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 94 มิลลิเมตร โดยตัดให้มีส่วนที่เป็นรูปตัว T ดังภาพประกอบ 22 ทั้งนี้เพื่อสำหรับพียึดกับลวดึงคาน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าลบ

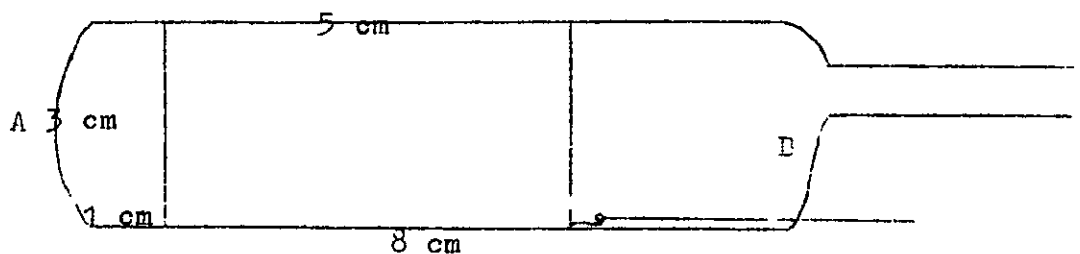


ภาพปร กอบ 22 แสดงขนาดของแผ่นเหล็กโรสนิมที่ใช้ทำแคโทด

4. ลวดทังสเตน (Tungsten) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.06 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 5 เซนติเมตร จำนวน 1 เส้น
5. ลวดทังสเตน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 10 เซนติเมตร จำนวน 1 เส้น

วิธีการสร้างแว้วคัสเอ็ม

- นำบนเหล็กโรสนิมที่ตัดเตรียมไว้มาค้ำตั้งให้เป็นรูปทรงกระบอก โดยกะให้เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของทรงกระบอกมีค่าประมาณ 30 มิลลิเมตร และความยาวของทรงกระบอกนี้ประมาณ 50 มิลลิเมตร จากนั้นนำเหล็กโรสนิมบริเวณรูปตัว T เข้ากับลวดทังสเตนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.06 มิลลิเมตร แล้วจัดวางให้อยู่ในแนวเดียวกัน
- นำบนเหล็กโรสนิมที่เป็นรูปทรงกระบอกนี้ไปใส่เข้าไปในหลอดแก้วไฟเรกซ์ กลางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร โดยนำลวดทังสเตนนี้ติดกับเหล็กโรสนิมรูปทรงกระบอกกลางหลอดแก้วนี้ปลายของแท่งแก้วด้านหนึ่ง
- นำแท่งแก้วไฟเรกซ์กลางที่มีเหล็กโรสนิมรูปทรงกระบอกอยู่ภายใน และมีลวดทังสเตนโผล่ที่ปลายด้านหนึ่งนี้ มาเป่าด้วยเปลวไฟของเครื่องเป่าแก้ว ให้ได้เป็นหลอดปลายปิดทั้ง 2 ข้างและใช้ขนาดตามที่ต้องการ ดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 แสดงลักษณะและขนาดของหลอดแก้วที่สร้างขึ้น ซึ่งประกอบด้วยแท่งแก้วไฟเรกซ์กลางที่มีเหล็กโรสนิมรูปทรงกระบอกกลาง และมีลวดทังสเตนอยู่ภายใน

4 นำผงแก้วไทเทเนียมกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เชื่อมกับปลาย B ของหลอดแก้ว แล้วทำหน้าที่เป็นทางผ่านเข้าออกของแก๊ส ดังภาพประกอบ 23

5 นำลวดทั้งสี่เตนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02 มิลลิเมตร มาเชื่อมติดกับหลอดแก้วด้านปลาย A โดยจัดให้ลวดทั้งสี่เตนนี้อยู่ตรงแกนกลางของหลอดแก้ว ทรงกระบอก และปลายอีกด้านหนึ่งของลวดทั้งสี่เตนจะทะลุเลยผ่านปลายหลอดแก้วด้าน B ออกมา ซึ่งส่วนที่โผล่ออกมานี้จะทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าบวก

6 เป่าแก้วในส่วนที่เป็นรอยเชื่อมทั้งหมด (ยกเว้นหลอดแก้วขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นทางผ่านเข้าออกของแก๊ส) ด้วยเปลวไฟของเครื่องเป่าแก้ว หลอดแก้วที่เราสร้างขึ้นนี้ เรียกว่า หัววัดจีเอ็ม

การทดลอง

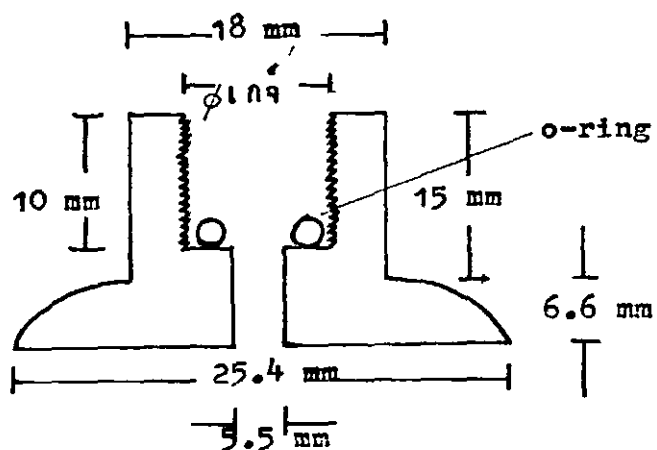
การทดลองหรือการทดสอบหัววัดจีเอ็ม โดยทั่วไปมักต้องการหาคุณสมบัติของหัววัดจีเอ็ม ที่สำคัญคือ พัลส์ และโดสพลาโต ซึ่งได้จากการเขียนกราฟระหว่างอัตรา การนับกับศักย์ไฟฟ้าต่างๆ

ในการทดลองหัววัดจีเอ็มที่สร้างขึ้นนี้เช่นเดิม มีการศึกษาพัลส์ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ และโดสพลาโตที่ความดันต่างๆ กัน ซึ่งรายละเอียดสำหรับการทดสอบหรือการทดลองวัด มีดังต่อไปนี้

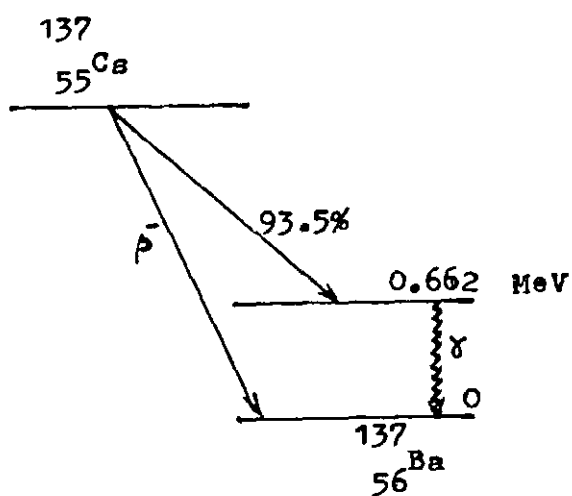
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. แก๊ส $P-10$ ซึ่งเป็นแก๊สผสมที่ระบอบ่าย แก๊สอาร์กอน 90% กับ แก๊สมีเทน 10% บรรจุอยู่ในถังแก๊สขนาดเล็ก
2. เกจ (Gauge) วัดความดันของแก๊สได้ตั้งแต่ 0 ทอร์ (Torr) ถึง 760 ทอร์
3. ฐานเกจ ทำด้วยทองเหลืองตัน แล้วกลึงให้ไดขนาดดังภาพประกอบ 24
4. เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) รุ่น E 306 ของ EDWARDS

ประกอบด้วย



ภาพประกอบ 24 แสดงลักษณะและขนาดของฐานแก้ว



ภาพประกอบ 27 แสดงแผนภูมิการสลายตัวของ Cs-137

4 1 Rotary pump สามารถสูบน้ำออกจากระบบ ให้ได้ความดันตั้งแต่ 1 มิลลิบาร์ ถึง 10^{-2} มิลลิบาร์

4 2 Diffusion pump สูบน้ำออกจากระบบต่อจาก Rotary pump ให้ได้ความดันภายในระบบตั้งแต่

ช่วงที่ 1 10^{-2} มิลลิบาร์ ถึง 10^{-5} มิลลิบาร์

ช่วงที่ 2 10^{-5} มิลลิบาร์ ถึง 10^{-6} มิลลิบาร์

ช่วงที่ 3 10^{-6} มิลลิบาร์ ถึง 10^{-7} มิลลิบาร์

ดังมีรายละเอียดตามภาพประกอบ 25

5. แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงศักย์สูง (High voltage supply) รุ่น 246 ของ Keithley Instruments สามารถปรับความต่างศักย์ที่ป้อนแก่หัววัดได้ตั้งแต่ 0 ถึง 3100 โวลต์ และจ่ายกระแสได้สูงสุด 10 มิลลิแอมแปร์

6 ออสซิลโลสโคป (Digital storage oscilloscope) รุ่น 4030 ของ Gould

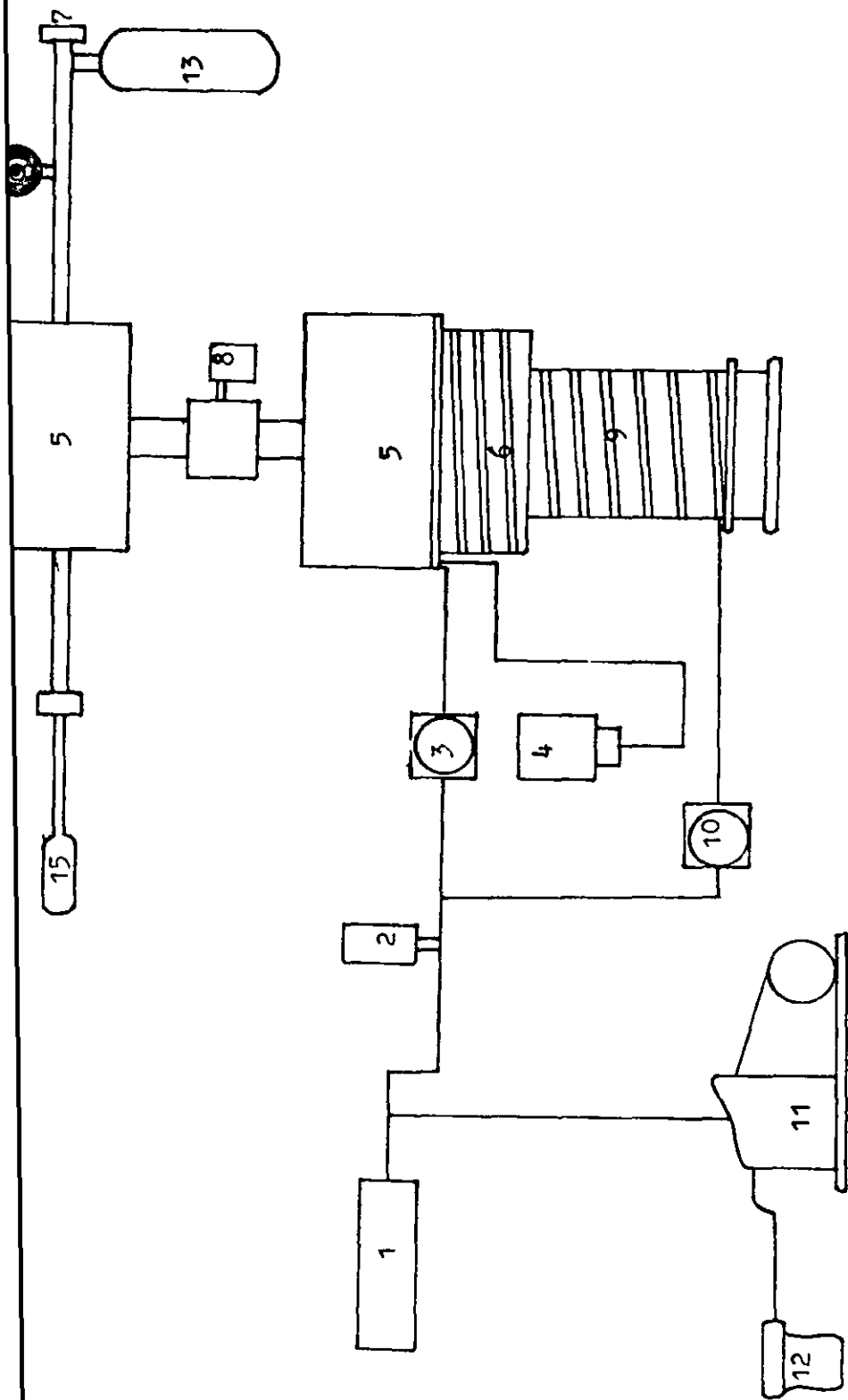
7. วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย

7.1 วงจร RC (RC-circuit) ทำหน้าที่หน่วงสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการลดศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วขาของหัววัด ซึ่งจะได้ออกมาในรูปของสัญญาณพัลส์ รายละเอียดของวงจรดังภาพประกอบ 26

7.2 วงจร shaper ทำหน้าที่แยกแยะพัลส์ที่มีขนาดต่ำกว่าขนาดที่กำหนดให้ออกจากกลุ่มของพัลส์ที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่กำหนด จากนั้นแปลงสัญญาณพัลส์ที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดที่กำหนดให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล แล้วขยายสัญญาณดิจิทัลนี้ให้โตขึ้นเพื่อทำการนับต่อไป รายละเอียดของวงจรดังภาพประกอบ 26

8. counter/timer ทำหน้าที่นับสัญญาณของการวัดรังสี โดยการนับจะนับเทียบกับเวลาที่กำหนด จำนวนสัญญาณที่นับได้เรียกว่า อัตราการนับ (count rate)

9. แหล่งกำเนิดรังสี (Source) ในการทดลองนี้ใช้ Cs-137 ซึ่งมีครึ่งชีวิต (half life) 30 ปี โดยมีแผนภูมิการสลายตัว ดังภาพประกอบ 27

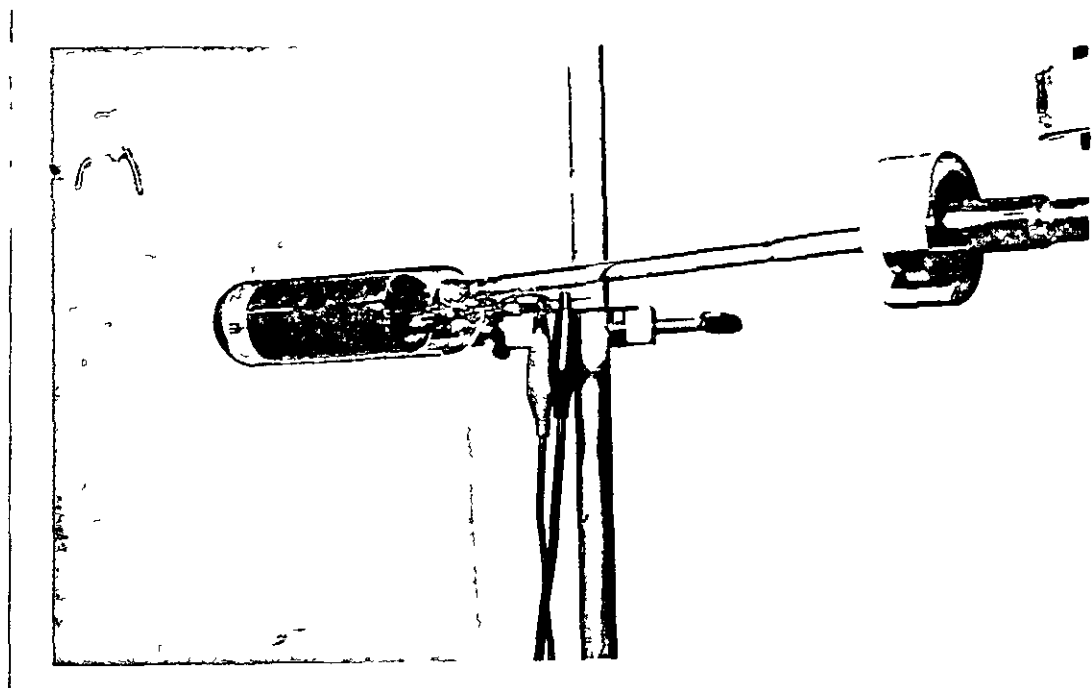


- | | | |
|-----------------------|----------------------|---------------------|
| 1. Ballast tank | 6. High vacuum valve | 11. Rotary pump |
| 2. Pirani gauge head | 7. Needle valve | 12. Oil mist filter |
| 3. Roughing valve | 8. Solenoid valve | 13. P-10 gas |
| 4. Penning gauge head | 9. Diffusion pump | 14. Gauge |
| 5. Chamber | 10. Backing valve | 15. G.M. tube |

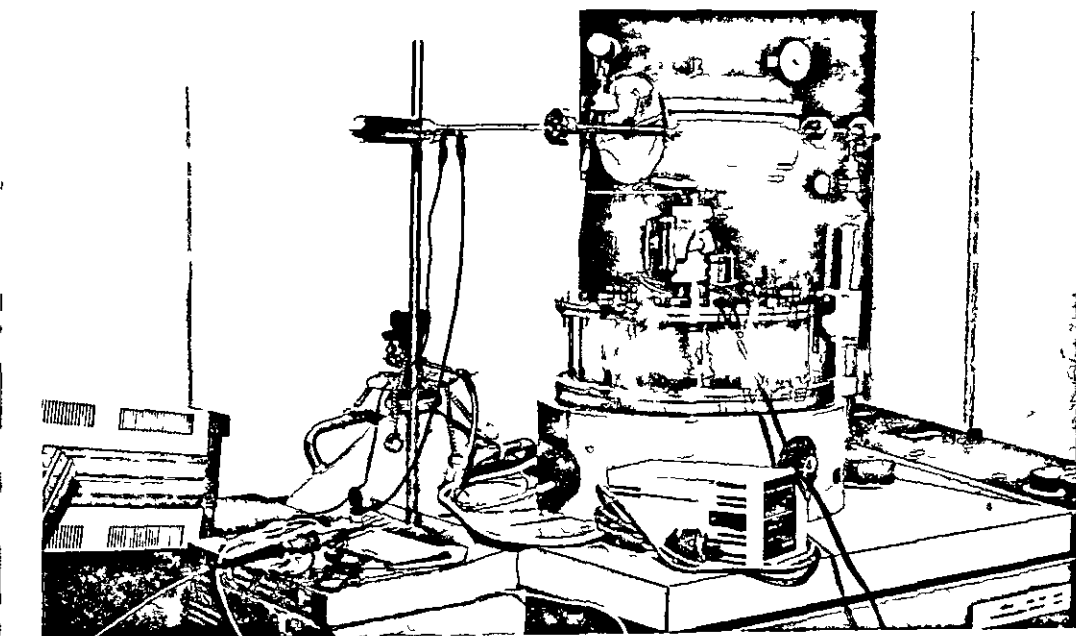
ภาพประกอบ 25 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องปั๊มสุญญากาศ และระบบแก๊สของหัววัด

วิธีทดลอง

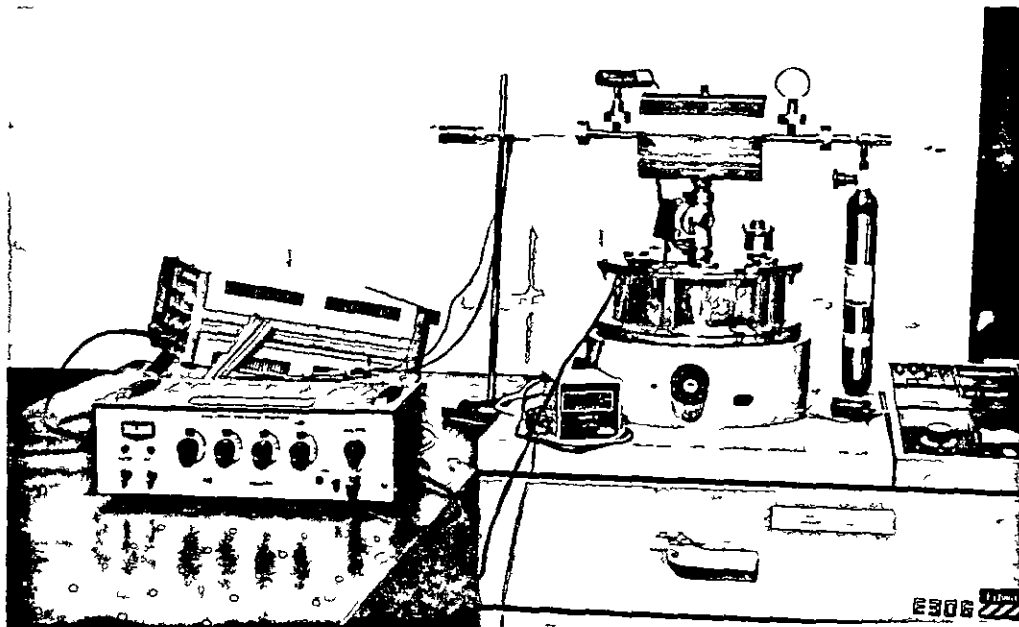
1. นำแก๊สต่อเข้ากับคาบแก๊ส แล้วนำอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับวาล์วนี้ต่อกับเครื่องปั๊มสุญญากาศ ทั้งนี้เพื่อสำหรับใช้อ่านค่าความดันของแก๊สที่จะทดลองวัด
2. นำหัววัดจีเอ็มที่สร้างขึ้นไป เชื่อมต่อกับ สายต้านหนึ่งของ เครื่องปั๊มสุญญากาศถึงภาพประกอบ 28
3. นำถังบรรจุแก๊ส p-10 ต่อกับปลายอีกข้างหนึ่งของเครื่องปั๊มสุญญากาศถึงภาพประกอบ 29
4. อุดรอยรั่วต่างๆ ด้วยกาว เพื่อกันรั่ว
5. เปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศให้ทำงาน เพื่อสูบอากาศออกจากหัววัดจีเอ็มที่สร้างขึ้น จนอ่านค่าความดันภายในหัววัดได้ประมาณ 2×10^{-6} มิลลิบาร์ จากนั้นเปิดวาล์วตรงส่วนที่สูบน้ำอากาศออกจากหัววัด แล้วค่อยๆ ปล่อยแก๊ส p-10 เข้าสู่อุปกรณ์ โดยให้ความดันตามต้องการ (ความดันจะเป็นตัวบอกถึงปริมาณแก๊สในหัววัด)
6. ต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้าตรงตักย์สูง, วงจร RC และออกซิลโลสโคปเข้ากับหัววัด ถึงภาพประกอบ 30 หรือมีรายละเอียดของวงจรดังภาพประกอบ 32
7. นำแหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 มาวางใกล้กับหัววัดจีเอ็มที่สร้างขึ้น โดยวางห่างจากหัววัดพอประมาณ
8. ปรับออกซิลโลสโคปจนกระทั่งสามารถเห็นพัลส์ได้อย่างชัดเจน จากนั้นจึงทำการวัดและบันทึกขนาดของพัลส์ (ความสูงพัลส์) ที่ความต่างศักย์ต่างๆ และอ่านความดันต่างๆ ในรูปของการอ่านบนจอผลการทดลอง
9. อ่านและบันทึกค่ารีโซลวิงไทม์ โดยดูจากพัลส์ที่ได้นับจ่อออกซิลโลสโคป
10. เขียนกราฟระหว่าง ขนาดของพัลส์กับความต่างศักย์ที่ป้อนสู่อุปกรณ์
11. ถอดวงจร shaper และ counter/timer กับหัววัดจีเอ็มนี้ จากนั้นทำการวัดอัตราการนับ (count rate) ที่ความต่างศักย์ต่างๆ ซึ่งคิดเป็นความดันโดยเลือกความดันที่ให้มีพัลส์ดีที่สุด (พิจารณาจากกราฟระหว่างพัลส์กับความต่างศักย์ที่ให้แก่อุปกรณ์) แล้วบันทึกอัตราการนับให้อยู่ในรูปของการอ่านบนจอผลการทดลอง
12. เขียนกราฟระหว่าง อัตราการนับกับความต่างศักย์ที่ป้อนสู่อุปกรณ์ ซึ่งถ้าให้นำมา เขียนกราฟนี้จะเป็นค่าเฉลี่ยที่หักค่าอัตราการนับจาก รังสีพื้นหลังทิ้งแล้ว



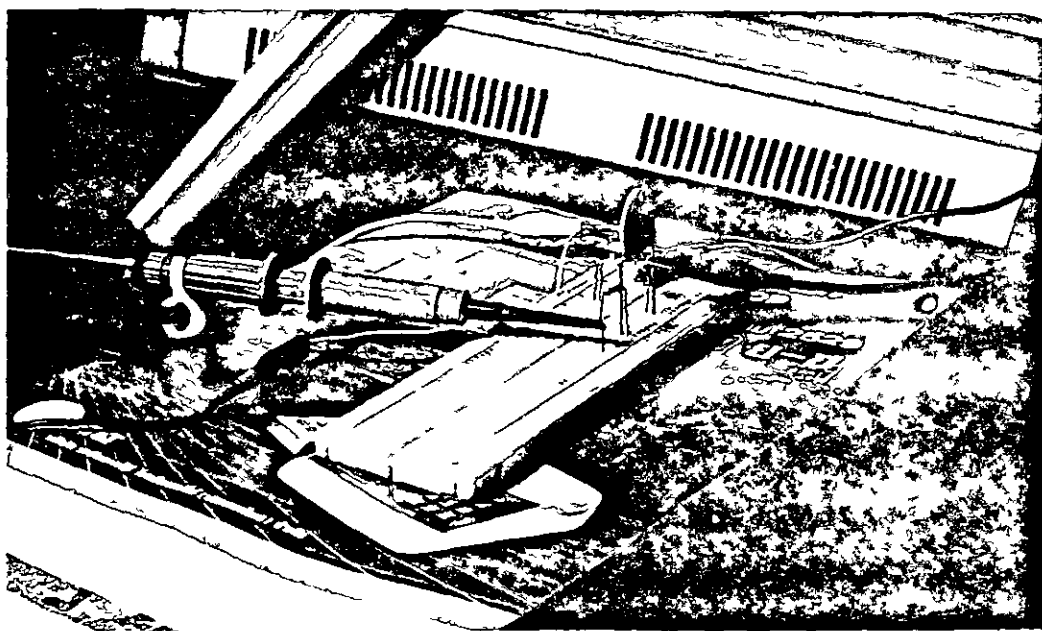
ภาพประกอบ 28 แสดงหัววัดจีเอ็มที่สร้างขึ้น ซึ่งต่อกับเครื่องปั๊มสุญญากาศ



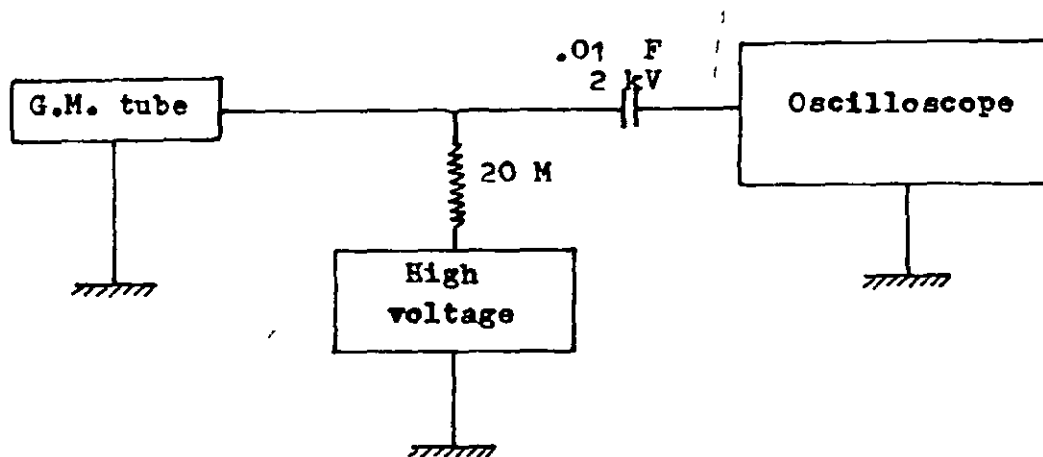
ภาพประกอบ 29 แสดงเครื่องปั๊มสุญญากาศซึ่งมีหัววัดและถังบรรจุแก๊ส P-10 ตั้งอยู่



ภาพประกอบ 30 แสดงหัววัดจีเอ็ม (ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบสุญญากาศและแก๊ส P-10) ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่จํากัดสูง, วงจร RC และออสซิลโลสโคป



ภาพประกอบ 31 แสดงวงจร RC ที่ใช้ในการทดลอง

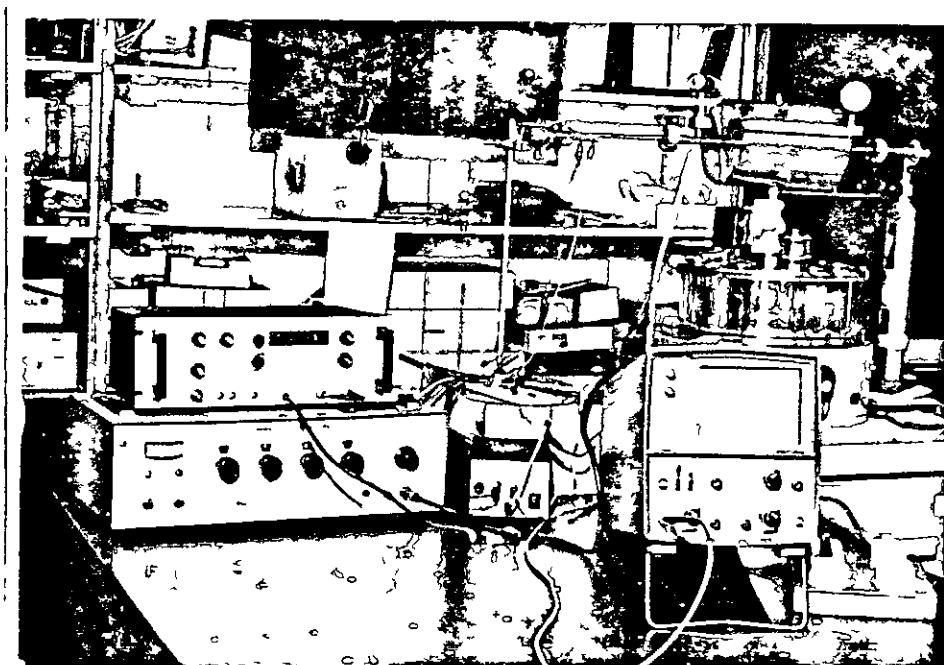


ภาพประกอบ 32 แสดงวงจร RC , แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงศักย์สูง
และออสซิลโลสโคปเพื่อวัดหัววัด

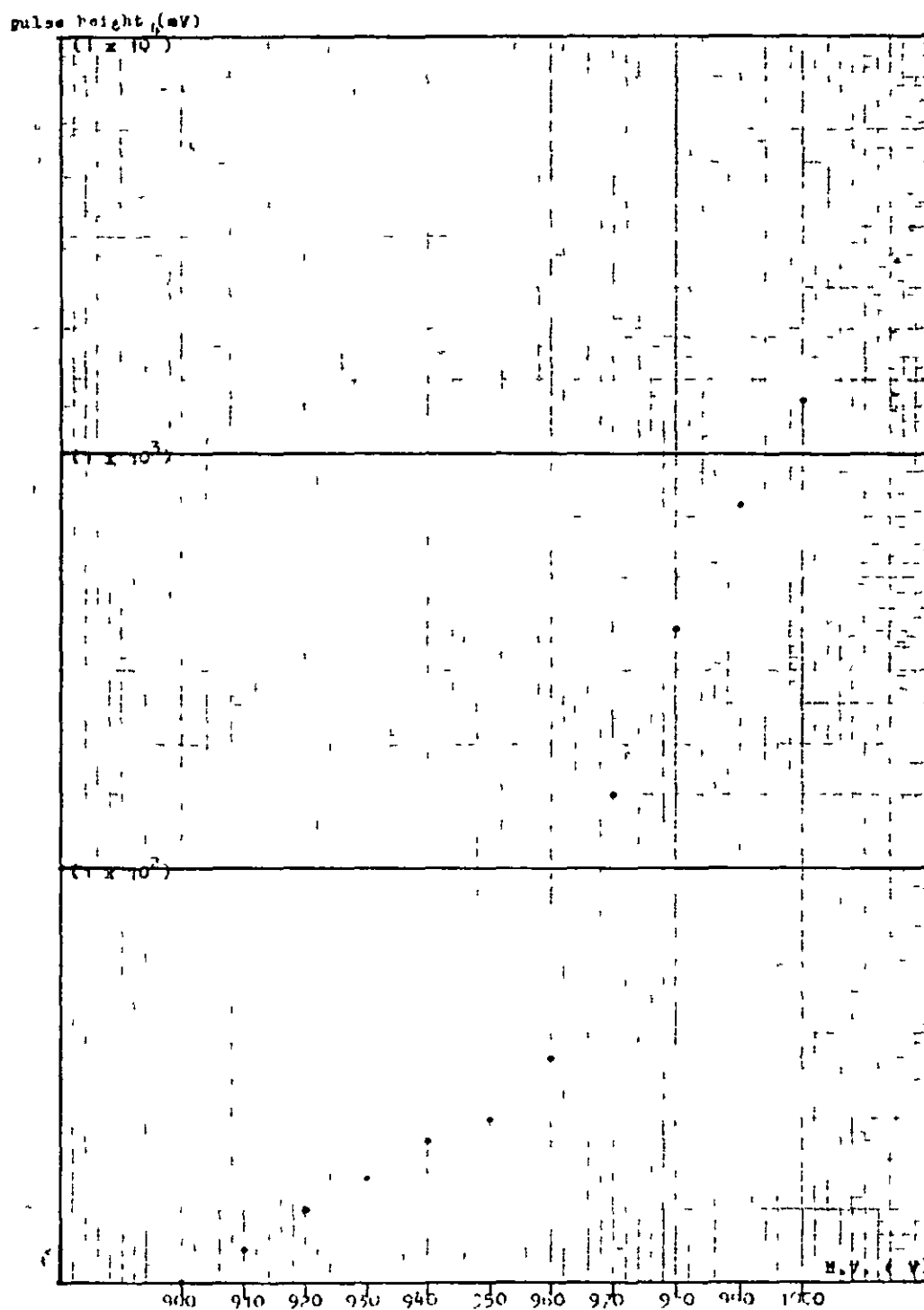
ผลการทดลอง

จากการใช้หัววัดจ. อิมพีแดนซ์นี้ ทดลองวัดรังสีจากแสงแก๊สไนโตรเจน
โดยการวัดจ.ประภาณูปการสำหรับการทดลอง ดังภาพประกอบ 33
จากการทดลองวัดรังสี โดยการสังเกตและวัดขนาดของพัลส์ (ความสูงของพัลส์ลบ)
จากออสซิลโลสโคป พบว่า ณ. ความถี่ต่างๆ ถ้าความถี่ต่างกันที่ป้อนแก่หัววัด จะทำ
ให้หัววัดวัดรังสีได้ขนาดของพัลส์ออกมา ดังตารางบันทึกผลการทดลองต่อไปนี้
ตาราง 4 แสดงความสูงของพัลส์ที่ความถี่ต่างๆ ณ. ความถี่ 20 ทอร์

ความถี่ (v)	ความสูงพัลส์ (mV)
900	7
910	12
920	15
930	18
940	22
950	25
960	35
970	152
980	375
990	750
1000	1350



ภาพประกอบ 33 แสดงการประกอบอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัตรังสี ซึ่งประกอบ
ด้วยหัววัดจีเอ็มที่สร้างขึ้น, เครื่องปั๊มสุญญากาศ, ถังบรรจุแก๊ส P-10 ,
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสวิตช์สูง, ออสซิลโลสโคป, วงจร RC ,
วงจร shaper , counter/timer และแหล่งกำเนิดรังสี Cs-137

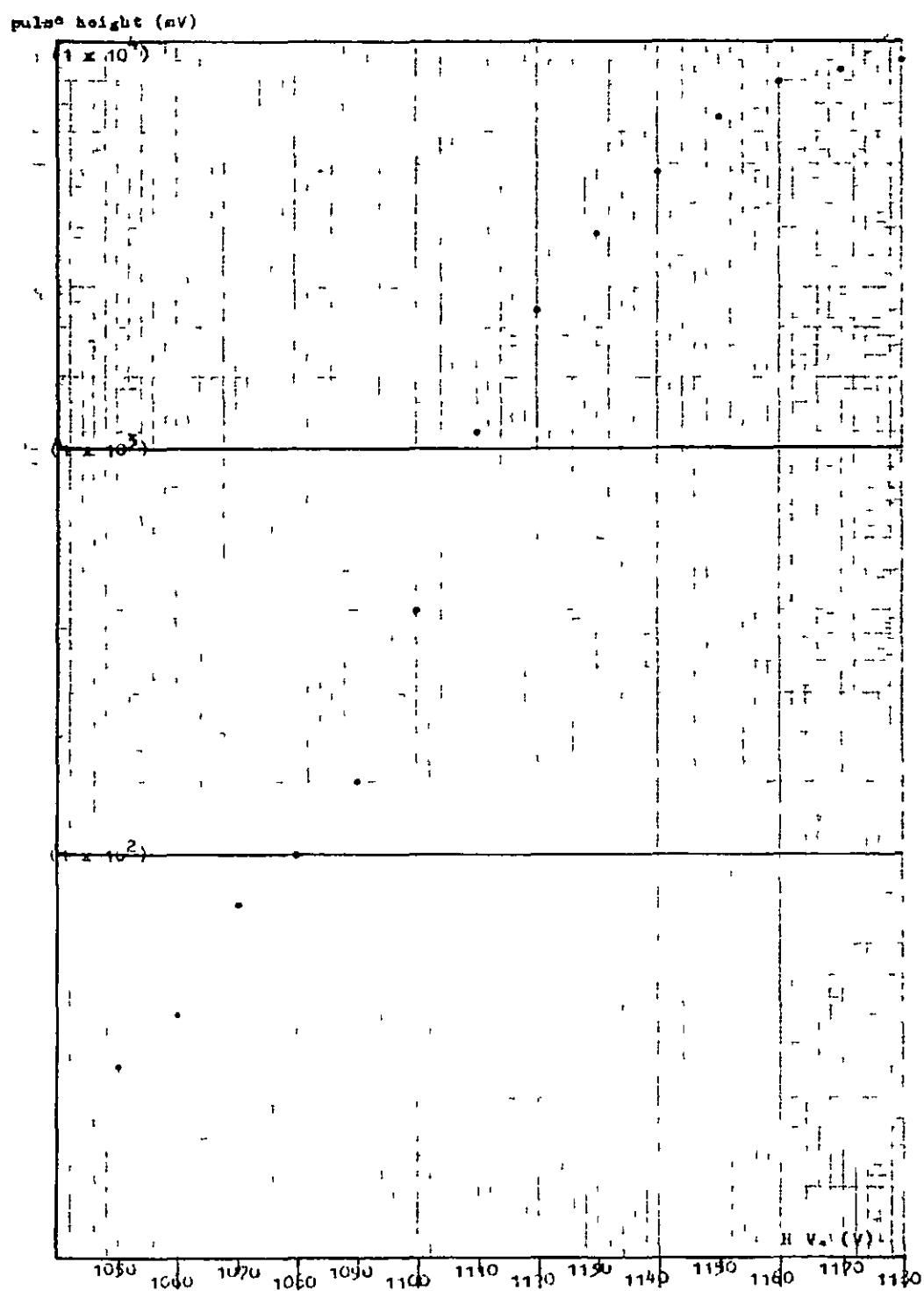


ภาพประกอบ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับ
ความต่างศักย์ที่ป้อนสู่หัววัด ณ. ความดัน 20 ทอร์

ตาราง 5 แสดงความสูงของฟิล์มความต่างศักย์ต่างๆ ณ. ความดัน 30 Torr

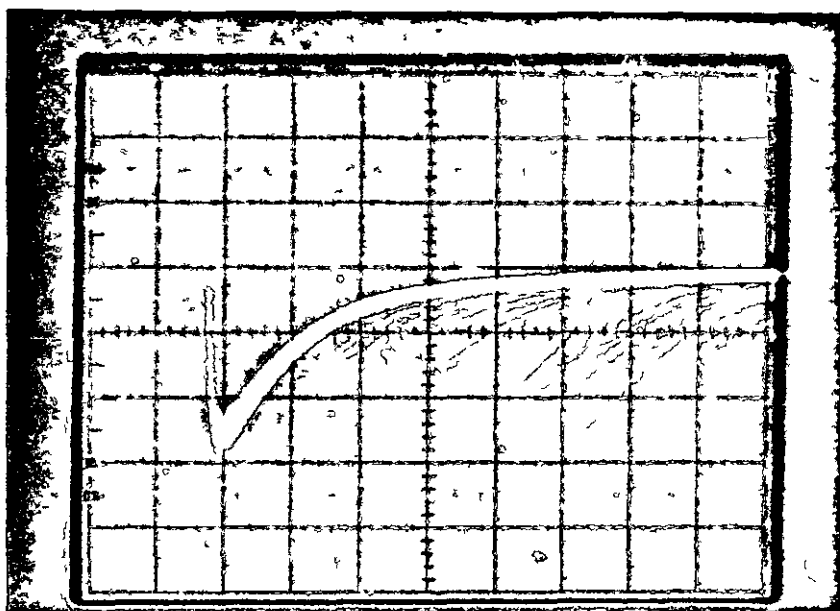
ความต่างศักย์ (V)	ความสูงฟิล์ม (mV)
1050	30
1060	40
1070	75
1080	100
1090	150
1100	400
1110	1100
1120	2200
1130	3400
1140	4800
1150	6500
1160	8000
1170	8500
1180	9000

หมายเหตุ ตั้งแต่ความต่างศักย์ที่สูงกว่า 1120 V ขึ้นไป ปรากฏว่าฟิล์มได้ เริ่ม
มีการฉีกปรุปราง และมีจำนวนมากผิดปกติ



ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของพัลส์ กับ
ความต่างศักย์ที่ป้อนสู่หัววัด ณ.ความดัน 30 พอร์

ตั้งแต่ความถี่ 40 ทอร์ขึ้นไป สัญญาณที่ส่งจากออสซิลโลสโคป พบว่าสัญญาณพัลส์ที่ได้ มีรูปร่าง
ตรงตามทฤษฎีที่กล่าวอ้างทุกประการ ดังภาพประกอบต่อไปนี้

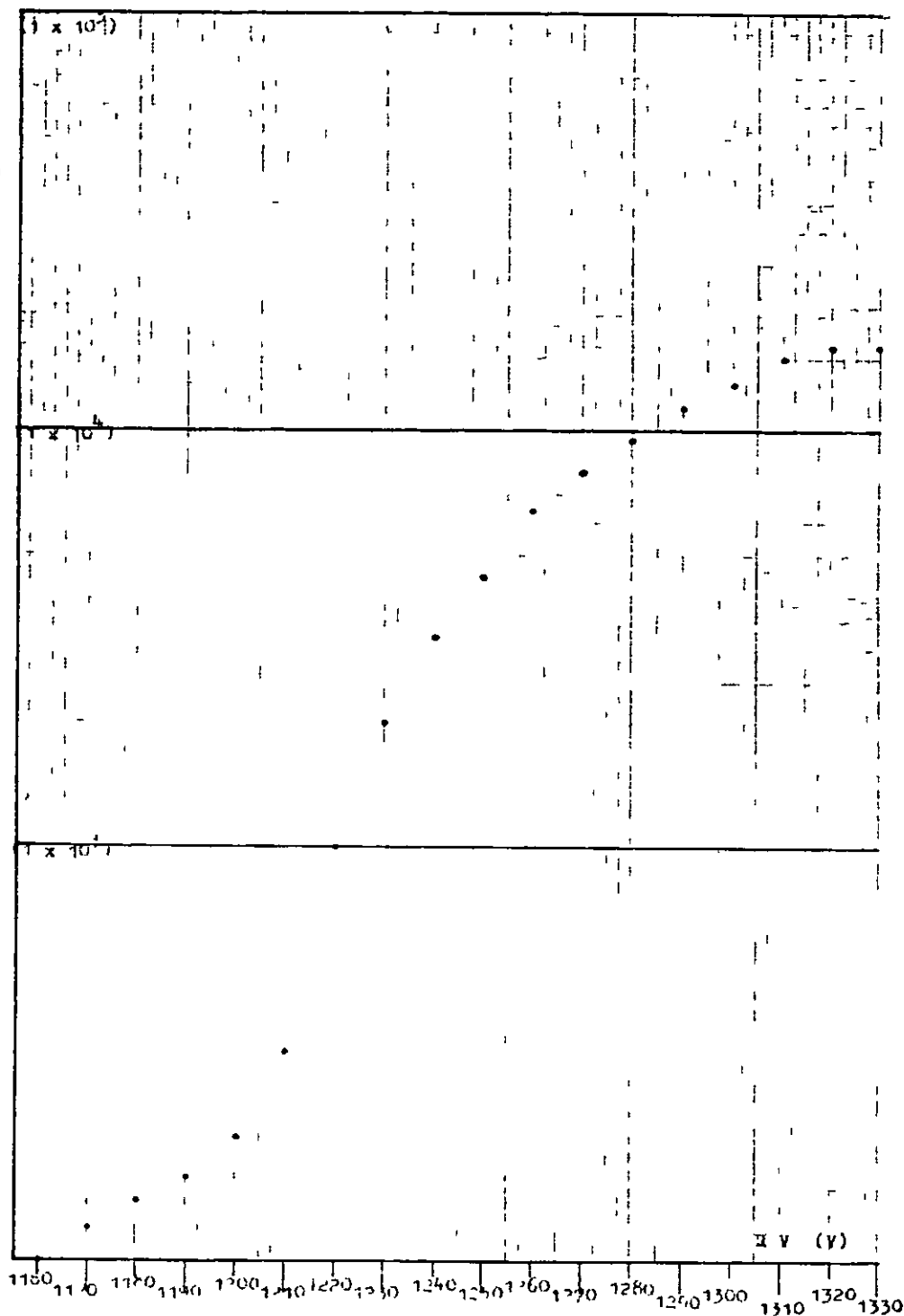


ภาพประกอบ 36 แสดงสัญญาณพัลส์จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1300 วัตต์
ณ. ความถี่ 40 ทอร์, สเกล 20 ไมโครวินาทีต่อช่องในแกนนอน และ 5 วัตต์ต่อ
ช่องในแกนตั้ง

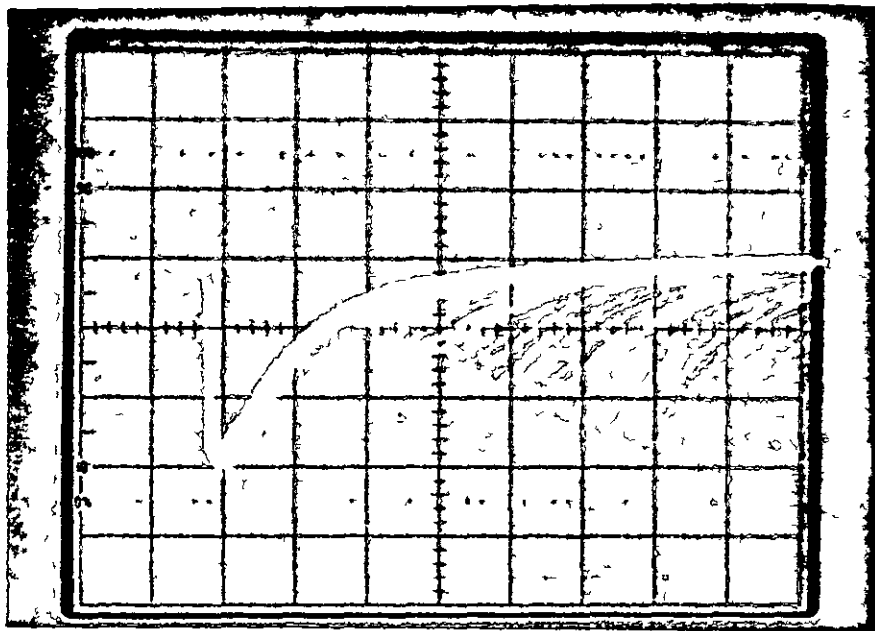
ตาราง 6 แสดงความสูงของคลื่นความถี่ต่างๆ ณ ความถี่ 40 พอร์

ความถี่ (V)	ความสูงคลื่น (mV)
1110	30
1120	40
1130	50
1140	60
1150	80
1160	100
1170	120
1180	140
1190	160
1200	200
1210	320
1220	1000
1230	2000
1240	3200
1250	4400
1260	6400
1270	8000
1280	9500
1290	11500
1300	13000
1310	15000
1320	16000
1330	16000

pulse height (mV)



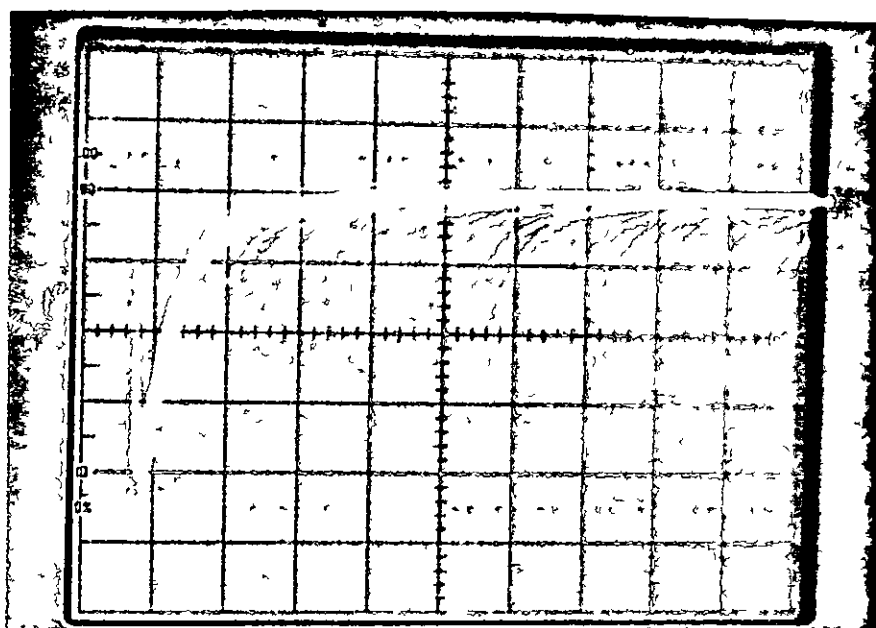
ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับ
ความต่างศักย์ที่ป้อนสู่หัววัด ณ. ความดัน 40 ทอร์



ภาพประกอบ 38 แสดงสัญญาณโวลต์จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1420 โวลต์
 ฃ. ความถี่ 50 ฮอร์, สเกล 20 ไมโครวินาทีต่อช่องในแกนแนวน และ 1 โวลต์ต่อ
 ช่องในแกนตั้ง

ตาราง 7 แสดงความสูงของพลัสความต่างศักย์ต่างๆ ณ.ความดัน 50 มม.

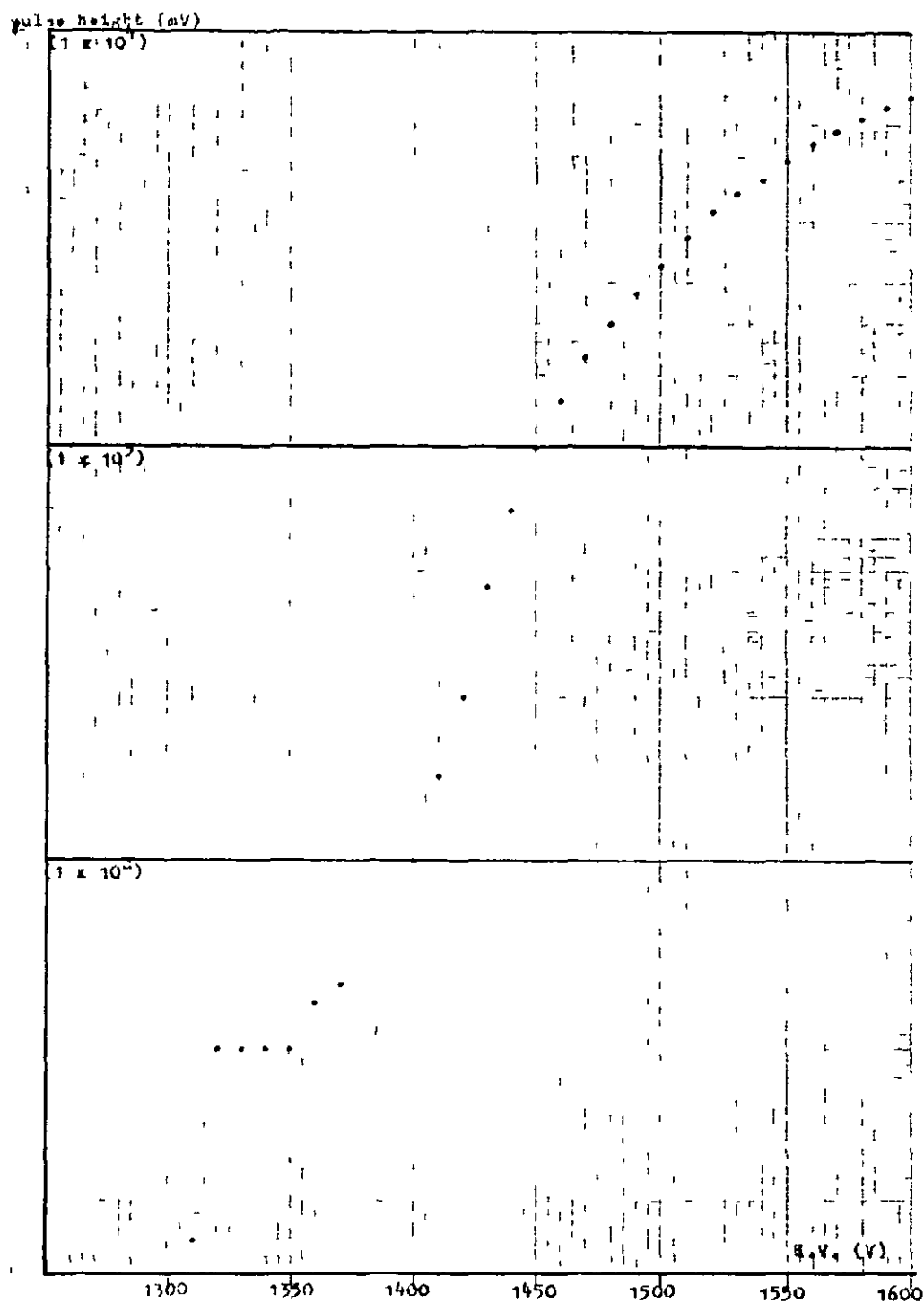
ความต่างศักย์ (V)	ความสูงพลัส (mV)	ความต่างศักย์ (V)	ความสูงพลัส (mV)
1250	20	1380	0
1260	25	1390	1950
1270	30	1400	2300
1280	55	1410	2650
1290	75	1420	2900
1300	90	1430	3400
1310	135	1440	3700
1320	200	1450	3900
1330	250	1460	4100
1340	450	1470	4600
1350	700	1480	4800
1360	1000	1490	5000
1370	1250	1500	5300



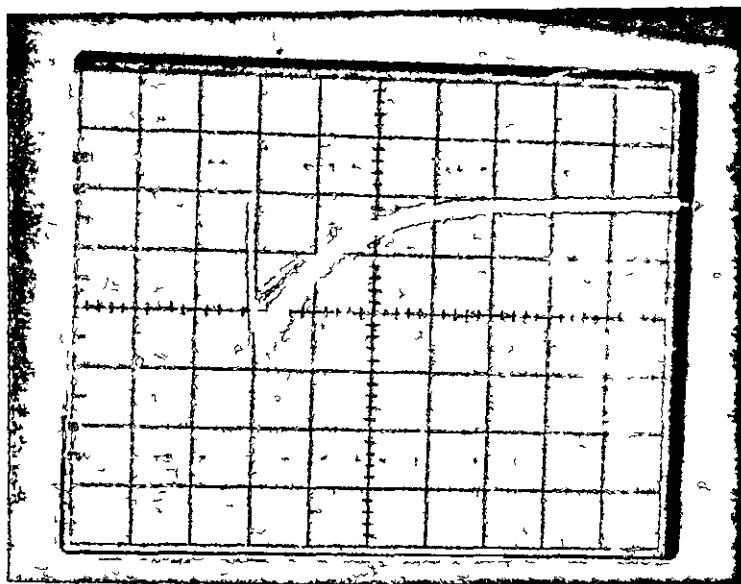
ภาพประกอบ 4c แสดงสัญญาณพัลส์จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1480 วัตต์
 ฃ.ความถี่ 60 ฮอร์, สเกล 50 ไมโครวินาทีต่อช่องในแกนแนวนอน และ 0.5 วัตต์
 ต่อช่องในแกนตั้ง

ตาราง ๘ แสดงความสูงของรังสีความถี่ต่างๆ ณ ความดัน ๕๐ พอร์

ความถี่ (ν)	ความสูงรังสี (μV)	ความถี่ (ν)	
1310	12	1 0	300
1320	35	1470	1650
1330	35	1480	2000
1340	35	1490	2350
1350	35	1500	2750
1360	45	1510	3200
1370	50	1520	3700
1380	70	1530	4100
1390	95	1540	4400
1400	100	1550	4900
1410	160	1560	5400
1420	250	1570	5800
1430	460	1580	6200
1440	700	1590	6600
1450	1000	1600	7000



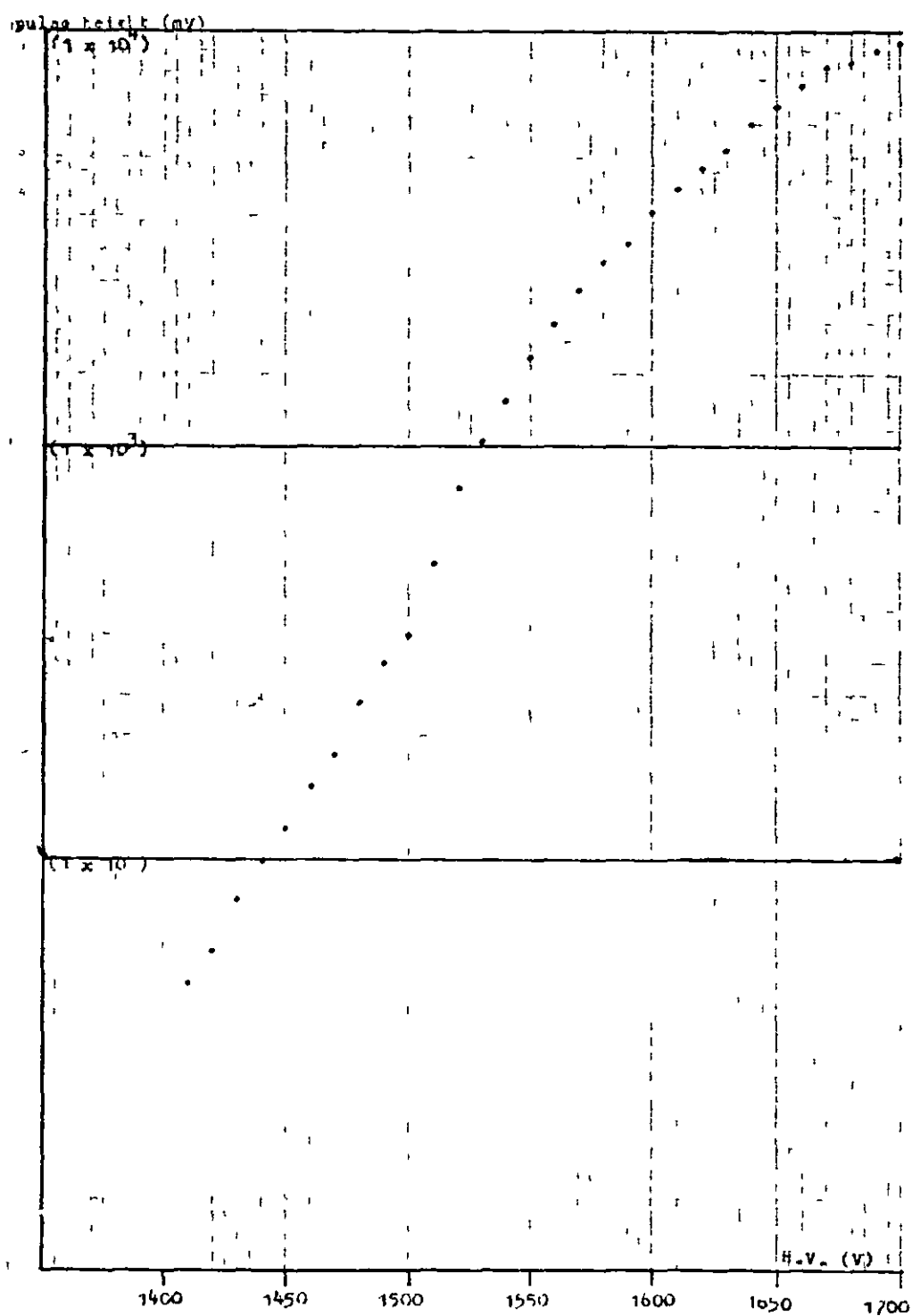
ภาพประกอบ 4: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับ
ความต่างศักย์ที่ป้อนสู่หัววัด ณ ความดัน 60 ทอร์



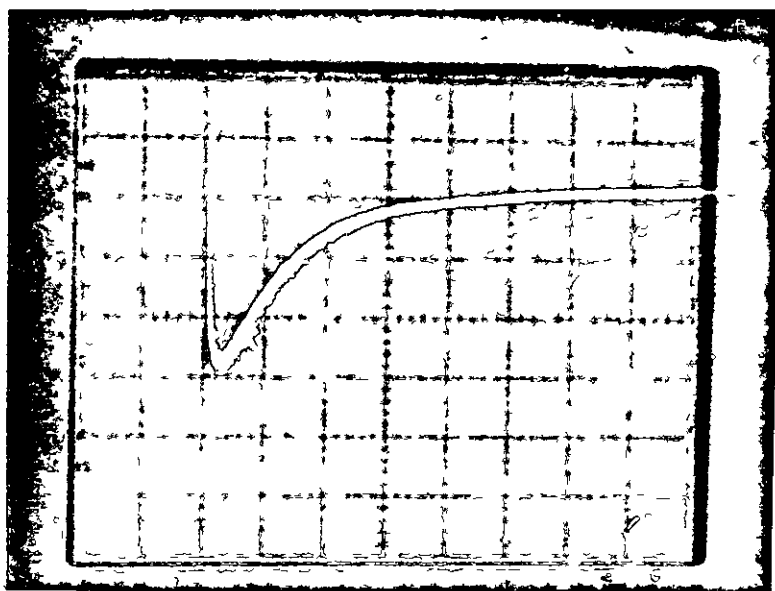
ภาพประกอบ 42 แสดงสัณฐานพลัส์จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1530 วัตต์
 ฌ.ความดัน 70 พอร์, สเกล 50 ไมโครวินาทีต่อช่องในแกนนอน และ 0.5 วัตต์
 ต่อช่องในแกนตั้ง

ตาราง ๑ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกำลังไฟฟ้า ความถี่ 70 พอร์

ความถี่ (V)	กำลังไฟฟ้า (mV)	ความถี่ (V)	กำลังไฟฟ้า (mV)
1410	50	1560	2000
1420	60	1570	2400
1430	80	1580	2600
1440	100	1590	3200
1450	120	1600	3700
1460	150	1610	4200
1470	180	1620	4700
1480	240	1630	5200
1490	300	1640	6000
1500	350	1650	6600
1510	520	1660	7400
1520	800	1670	8200
1530	1040	1680	8400
1540	1300	1690	9000
1550	1650	1700	9400



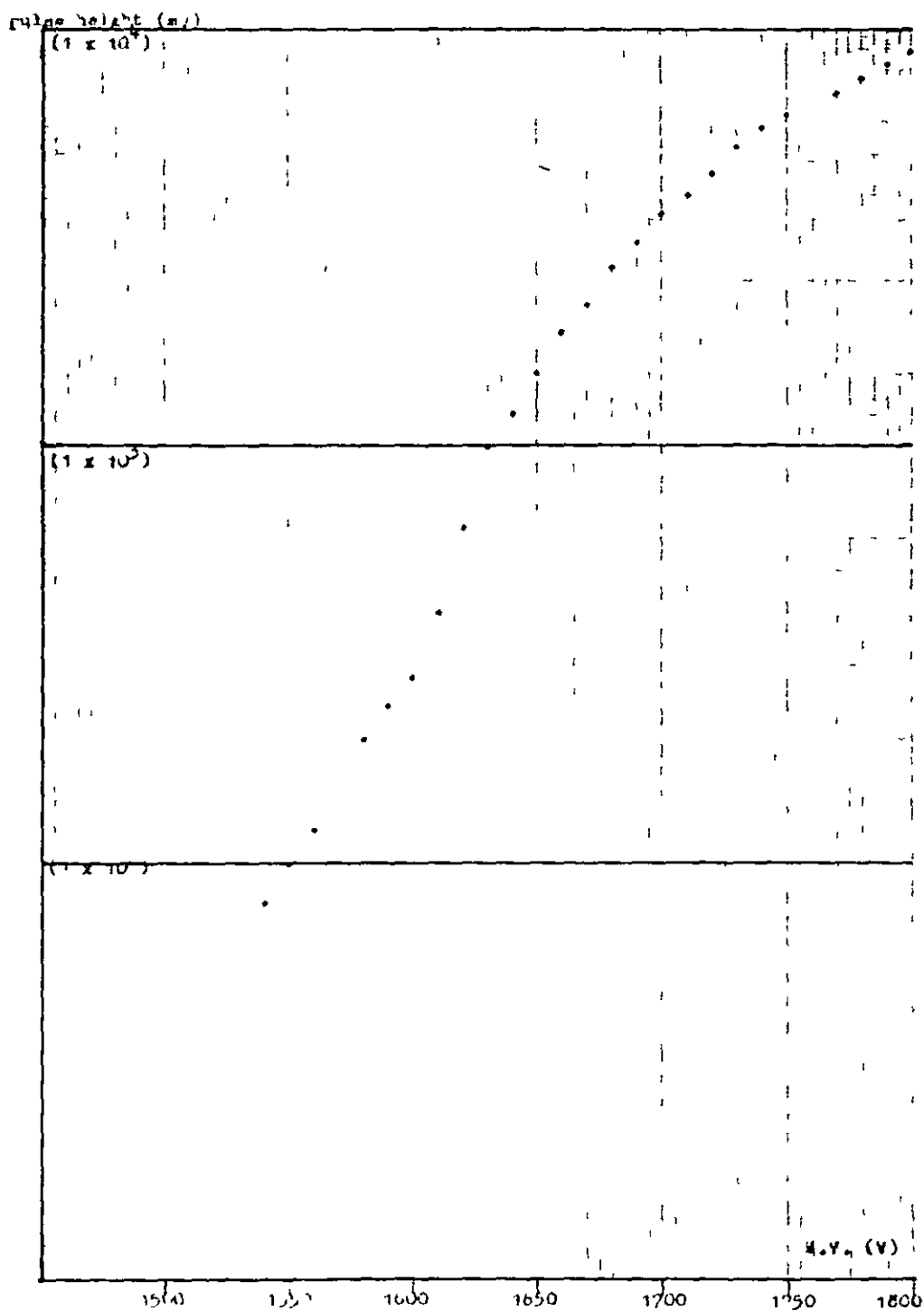
ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับ
ความต่างศักย์ที่ป้อนสู่หัววัด ณ. ความดัน 70 ทอร์



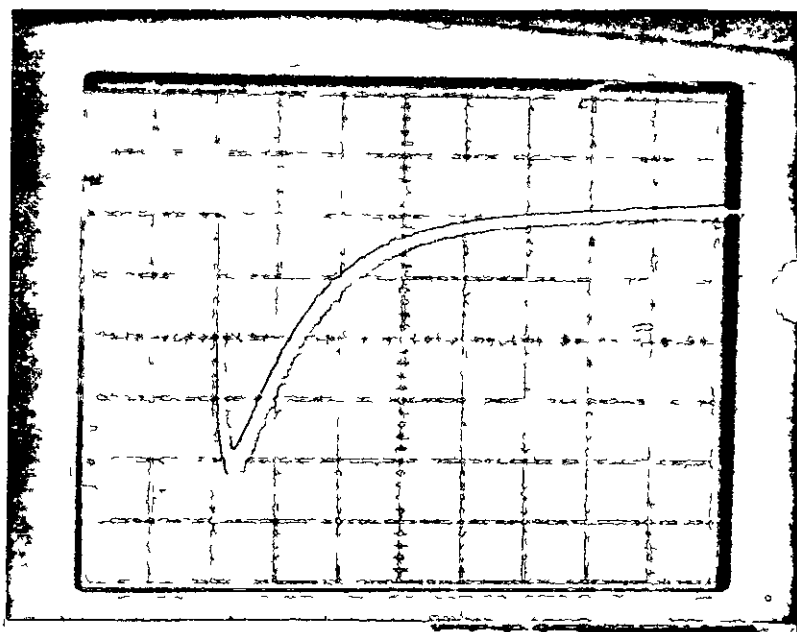
ภาพประกอบ 44 แสดงสัญญาณพัลส์จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1650 โวลต์
 ณ. ความดัน 80 ทอร์, สเกล 50 ไมโครวินาทีต่อช่องในแกนแนวนอน และ 0.5 โวลต์
 ต่อช่องในแกนตั้ง

ตาราง 10 แสดงความสูงของผลศักย์ความต่างศักย์ ทางๆ ความดัน 50 แอมป์

ความต่างศักย์ (V)	ความสูง น้ำ (mV)	ความต่างศักย์ (V)	ความสูง น้ำ (mV)
1530	60	1670	2200
1540	80	1680	2700
1550	100	1690	3100
1560	120	1700	3600
1570	150	1710	4000
1580	200	1720	4500
1590	240	1730	5200
1600	280	1740	5500
1610	400	1750	6200
1620	640	1760	6600
1630	1000	1770	7000
1640	1200	1780	7600
1650	1500	1790	8200
1660	1900	1800	8800



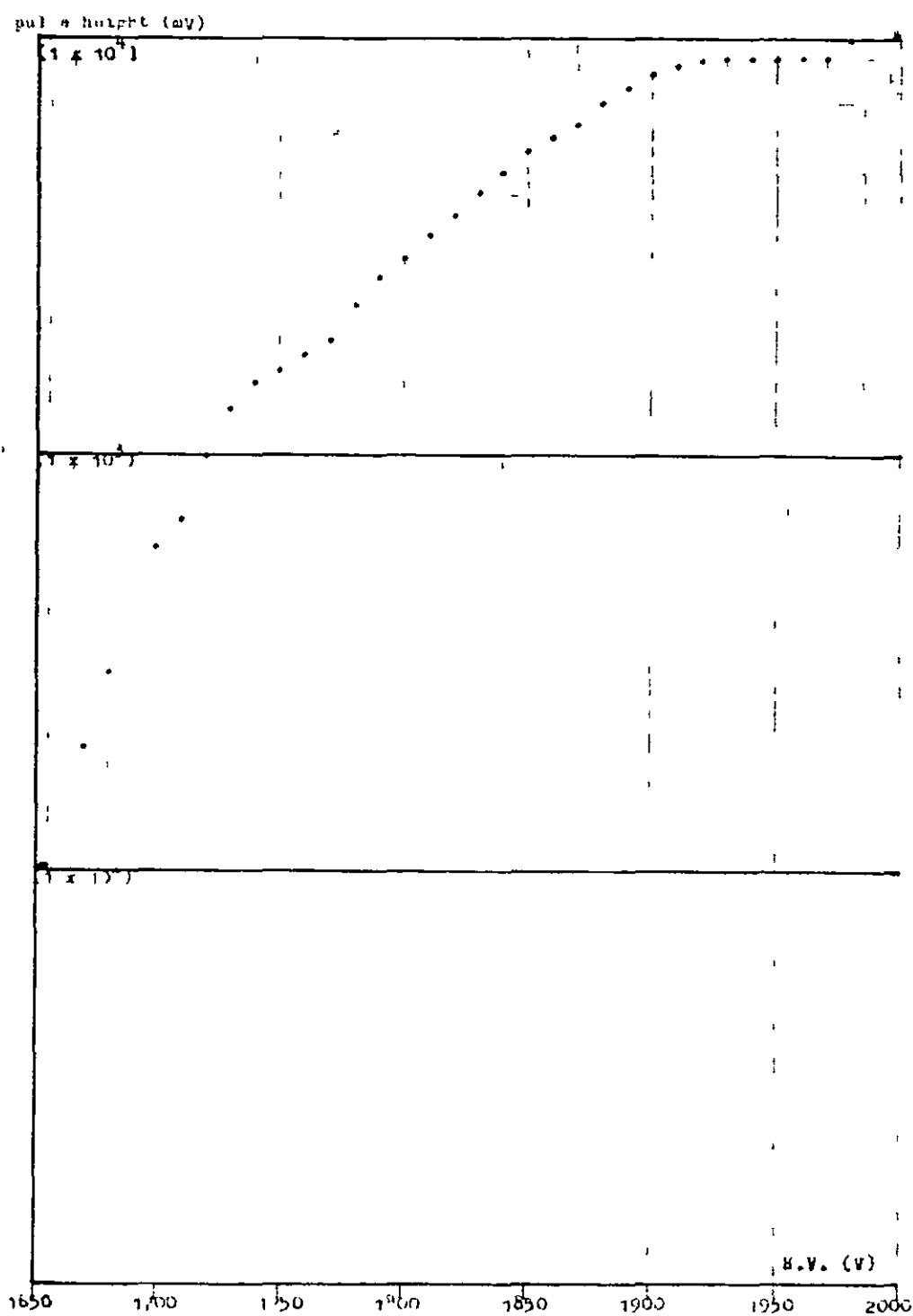
ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับ
ความต่างศักย์ที่ป้อนสู่หัววัด ณ. ความดัน 80 แฮร์



ภาพประกอบ 46 แสดงสัญญาณพัลส์จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1830 กิโล
 วัตต์ ความถี่ 90 ทอร์, สเกล 50 ไมโครวินาทีต่อช่องในแกนนอน และ 1 โวลต์ต่อ
 ช่องในแกนตั้ง

ตาราง 11 แสดงความสูงของพัลส์ที่ความกว้างต่างๆ ณ.ความถี่ 30 พอร์

ความกว้างพัลส์ (V)	ความสูงพัลส์ (mV)	ความกว้างพัลส์ (V)	ความสูงพัลส์ (mV)
1670	200	1830	4300
1680	300	1840	4600
1690	500	1850	5400
1700	600	1860	5800
1710	700	1870	6200
1720	1000	1880	7000
1730	1300	1890	7600
1740	1500	1900	8200
1750	1600	1910	8600
1760	1750	1920	8800
1770	1900	1930	9000
1780	2300	1940	9000
1790	2700	1950	9000
1800	3000	1960	9000
1810	3400	1970	9000
1820	3600	1980	10000



ภาพประกอบ 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของพัลส์ กับ
ความต่างศักย์ที่ป้อนสู่หัววัด ณ. ความถี่ 90 ทอร์

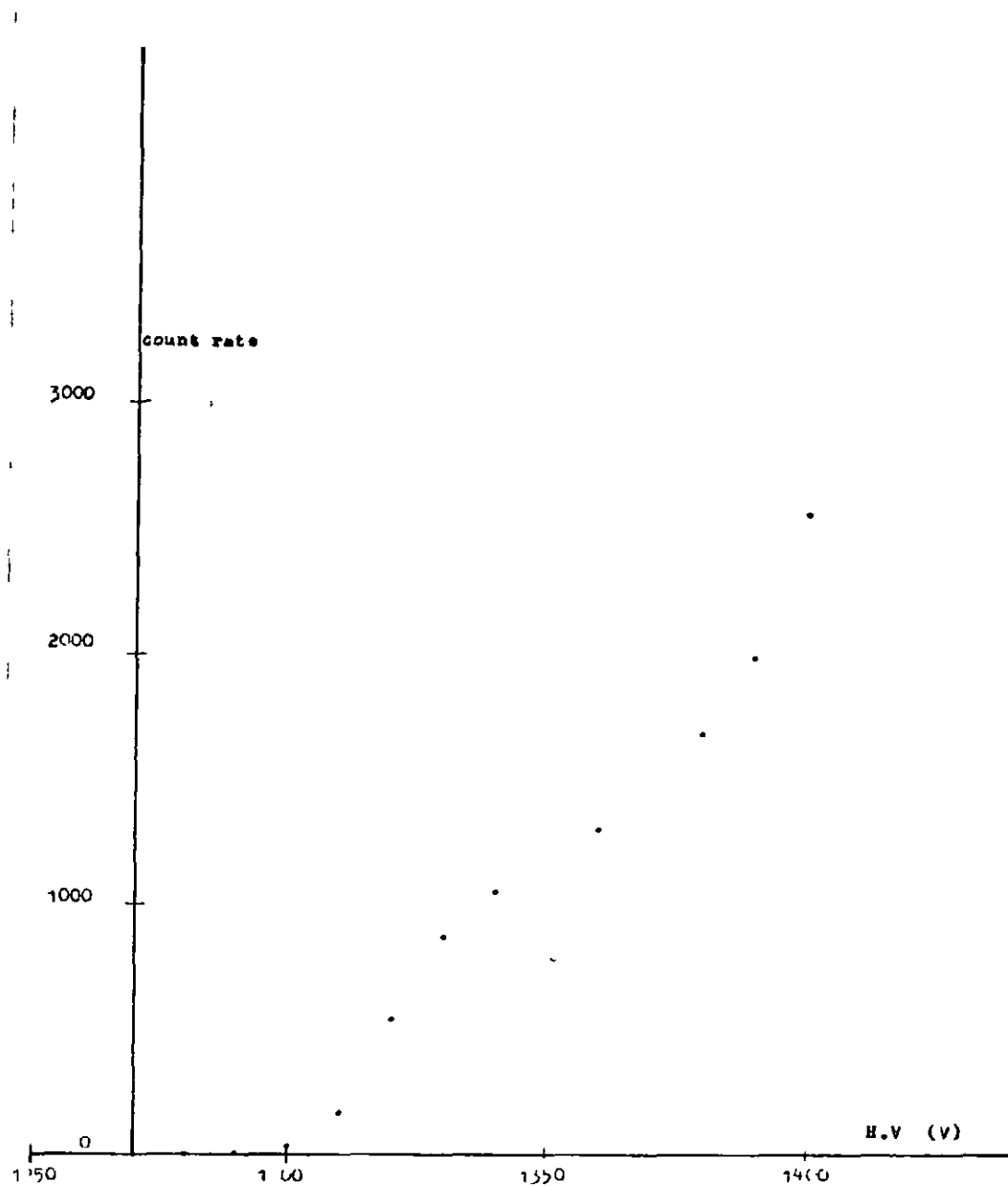
จากการสังเกตการแผ่รังสีจากการวัดขนาดของรังสี พบว่าบริเวณความถี่ 100 ของการวัดที่ 100 บริเวณความถี่ตั้งแต่ 40 ทอร์ ถึง 90 ทอร์

ดังนั้นในช่วงความถี่ดังกล่าว จึงถูกเลือกเก็บทดลองวัดค่าการนับ (จำนวนของรังสีตามเวลา) เป็นเวลา ๕. ความถี่ต่างๆ ดังกล่าว ที่ความถี่กับแต่ละค่าของผลการนับ ดังตารางบันทึกผลการทดลองต่อไปนี้

ตาราง 12 แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความถี่ต่างๆ

ณ. ความถี่ 40 ทอร์

voltage	Count per 5 seconds					S.D.
	x_1	x_2	x_3	x_4	$x = \frac{\sum_{i=1}^4 x_i}{4}$	
1270	7	6	3	9	6.25	2.16
1280	2	7	4	4	4.25	1.70
1290	17	16	4	4	10.75	6.75
1300	30	31	28	29	29.5	1.11
1310	205	169	152	142	167	23.96
1320	559	571	570	459	539.75	46.05
1330	688	683	849	679	674.75	15.20
1340	1059	1050	1071	1054	1056.5	7.03
1350	1192	1191	1139	1179	1175.25	21.54
1360	1359	1250	1295	1281	1296.25	39.72
1370	1510	1475	1393	1452	1459	42.46
1380	1710	1710	1625	1659	1676	36.06
1390	1951	1995	2014	1994	1988.5	23.97
1400	2547	2594	2550	2569	2562.75	18.67

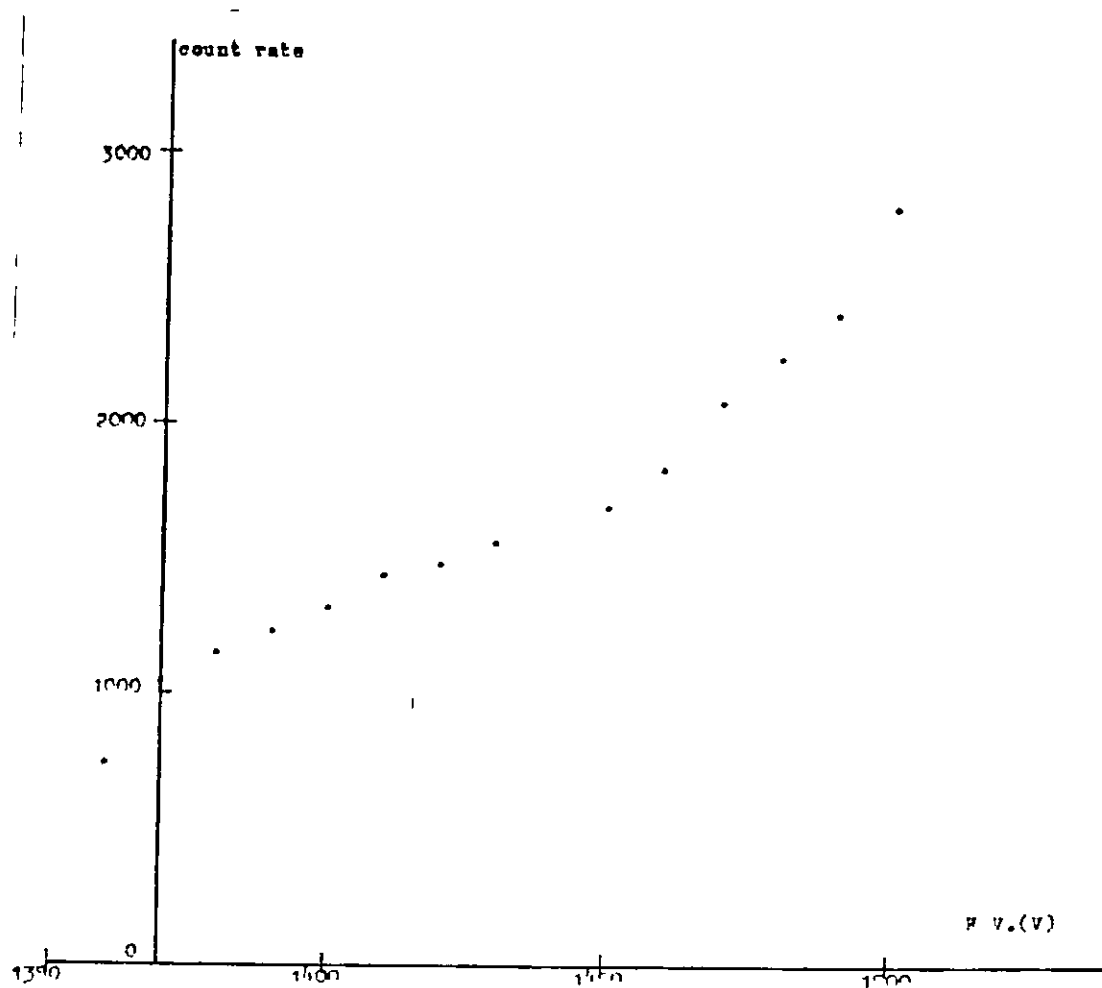


ภาพประกอบ 48 กราฟแสดงผลาโค ณ.ความดัน 40 ทอร์
 ความชื้น 86.4% ต่อ 50 โวลต์

ตาราง 13 แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ
ณ. ความดัน 50 ทอร์

Fig
voltage

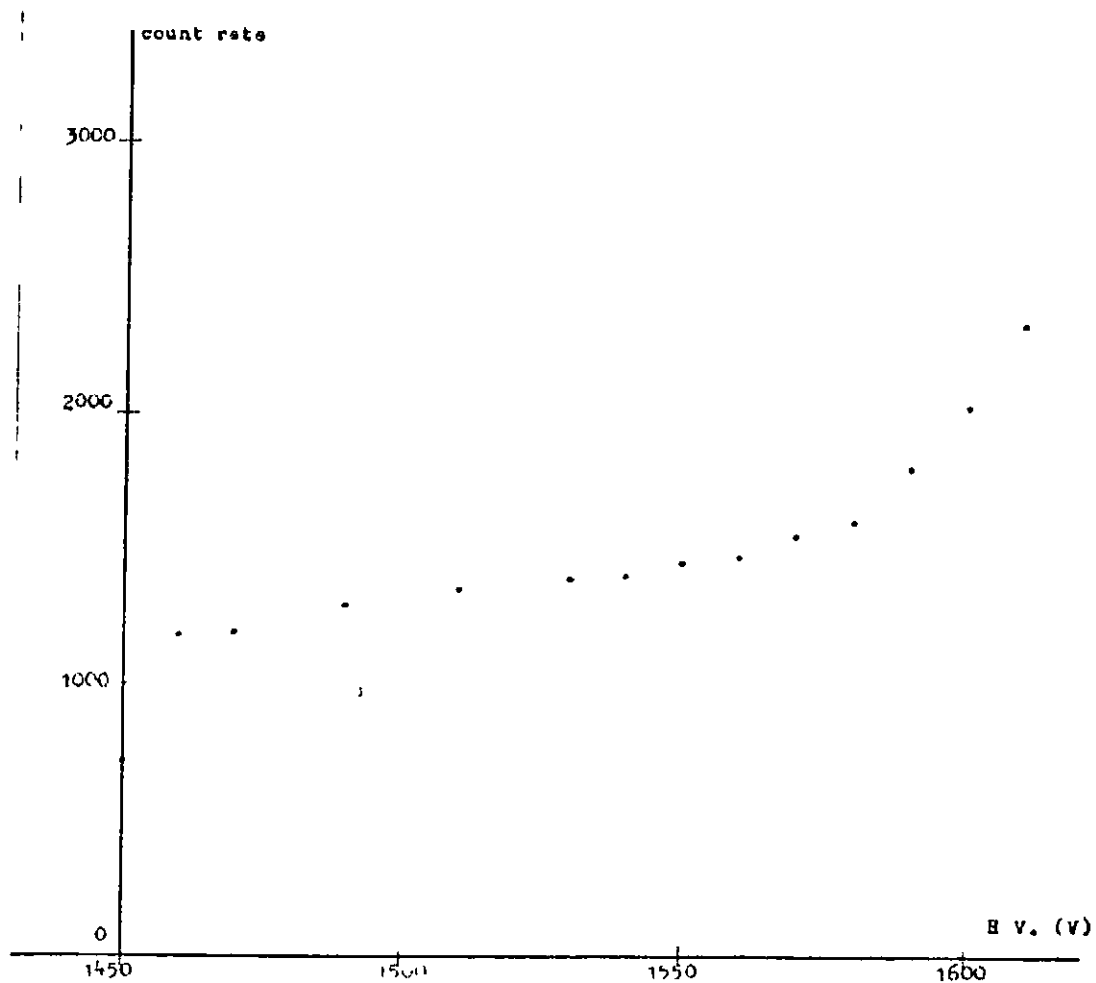
1360	729	726	770	747	743	17.53
1370	1036	1055	1028	1023	1035.5	12.17
1380	1135	1165	1153	1154	1151.75	10.75
1390	1219	1239	1259	1216	1233.25	17.29
1400	1344	1339	1325	1274	1320.5	27.73
1410	1459	1458	1433	1420	1442.5	16.65
1420	1435	1454	1478	1553	1480	44.81
1430	1590	1575	1599	1555	1579.75	16.66
1440	1643	1658	1655	1649	1651.25	5.76
1450	1674	1719	1695	1686	1693.5	16.5
1460	1847	1823	1846	1826	1835.5	11.05
1470	2081	2096	2150	2007	2083.5	51.08
1480	2236	2253	2233	2238	2240	7.71
1490	2422	2457	2328	2395	2400.5	47.27
1500	2885	2793	2791	2755	2806	48.05



ภาพประกอบ 49 กราฟแสดงผลาโต ณ.ความดัน 50 ทอร์
ความชื้น 73.3% ตล 90 โวลต์

ตาราง 14 แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ
ณ. ความดัน 60 ทอร์

High voltage	Count per 5 seconds					S.D.
	x_1	x_2				
1450	712	723	727	724	724	7.96
1460	1207	1189	1159	1161	1164	17.23
1470	1171	1184	1190	1203	1187	11.51
1480	1204	1278	1272	1266	1280	5.47
1490	1282	1334	1239	1286	1265.25	33.64
1500	1304	1329	1357	1330	1330	12.74
1510	1354	1319	1336	1393	1350.5	27.48
1520	1349	1377	1379	1364	1367.25	12.00
1530	1392	1427	1325	1409	1368.25	31.55
1540	1395	1395	1393	1395	1394.5	0.66
1550	1399	1509	1452	1453	1453.25	31.69
1560	1392	1497	1512	1467	1467	46.23
1570	1497	1595	1592	1536	1555	40.90
1580	1674	1559	1601	1570	1603	43.60
1590	1634	1779	1791	1789	1790.25	21.13
1600	2043	1992	2059	2052	2036.5	26.31
1610	2345	2316	2312	2348	2330.25	16.3



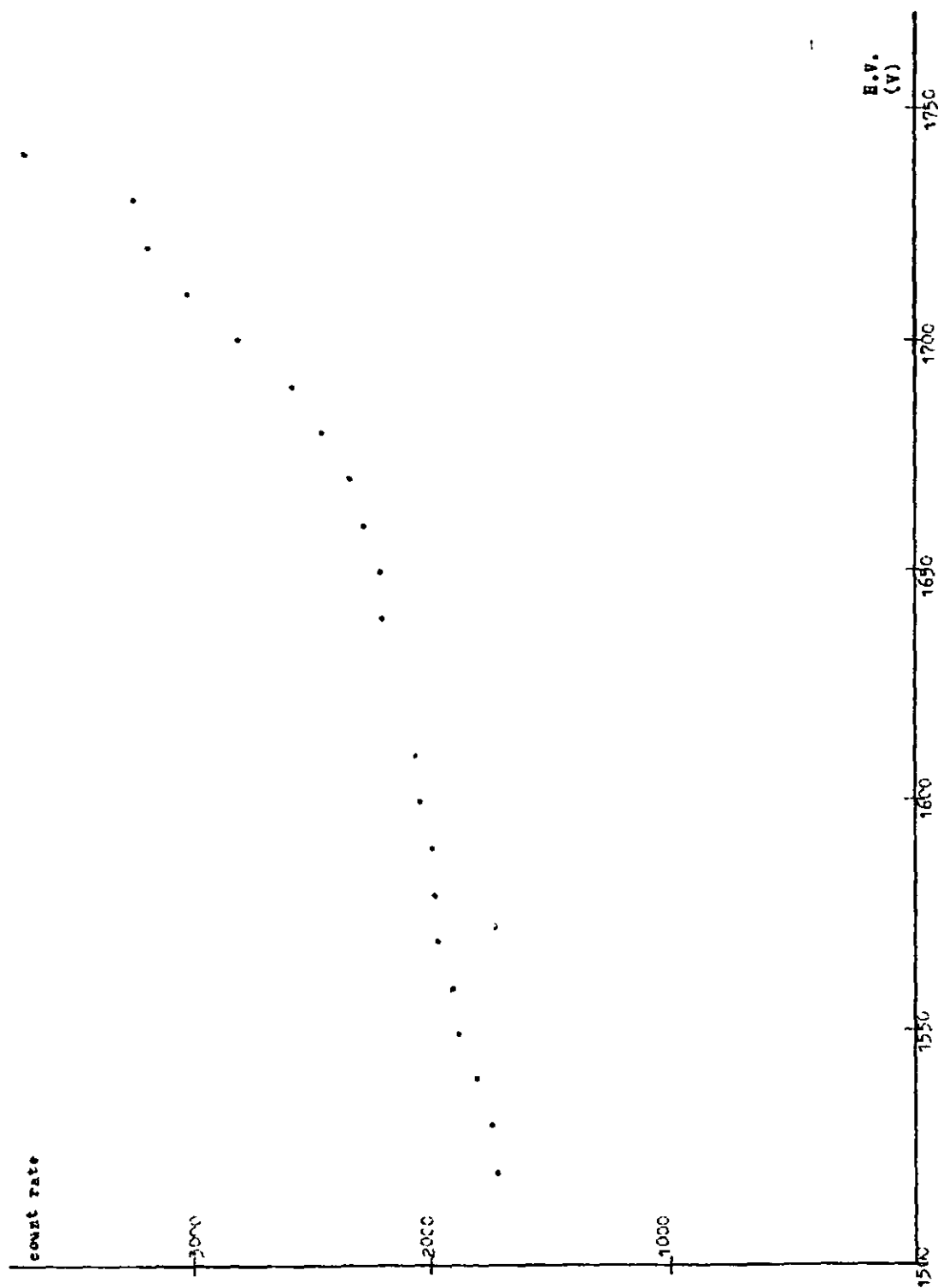
ภาพประกอบ 50 กราฟแสดงผลาโต ณ.ความดัน 60 ทอร์
 ความชื้น 19.7% ต่อ 100 โวลต์

75

ตาราง 15 แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ

ณ. ความดัน 70 ทอ

High voltage	Count per 6 seconds					S.D.
	x_1	x_2	x_3	x_4	$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	
1520	1735	1695	1752	1716	1724.5	21.26
1530	1734	1733	1750	1770	1746.75	15.02
1540	1852	1791	1751	1854	1812	43.37
1550	1950	1852	1885	1872	1839.75	36.71
1560	1955	1913	1873	1926	1916.75	29.48
1570	1875	1977	2019	2032	1975.75	61.61
1580	1951	2015	1953	2035	1968.5	37.18
1590	1987	2071	1959	1972	1997.25	43.71
1600	1974	2107	2045	2079	2051.25	49.71
1610	1995	2031	2199	2035	2065	78.91
1620	2017	2135	2177	2055	2096	63.25
1630	2093	2097	2079	2180	2112.25	39.68
1640	2132	2207	2155	2339	2208.25	80.22
1650	2129	2197	2204	2330	2215	72.57
1660	2052	2315	2353	2441	2290.25	144.94
1670	2114	2482	2419	2395	2352.5	141.31
1680	2292	2414	2585	2590	2470.25	124.94
1690	2337	2570	2752	2759	2604.5	172.02
1700	2754	3025	2795	2752	2831.5	113.02
1710	2945	2975	3255	2993	3042	124.16
1720	3201	3212	3333	3145	3222.75	68.53
1730	3079	3195	3591	3256	3280.25	190.34
1740	3992	3604	3659	3744	3749.75	148.48

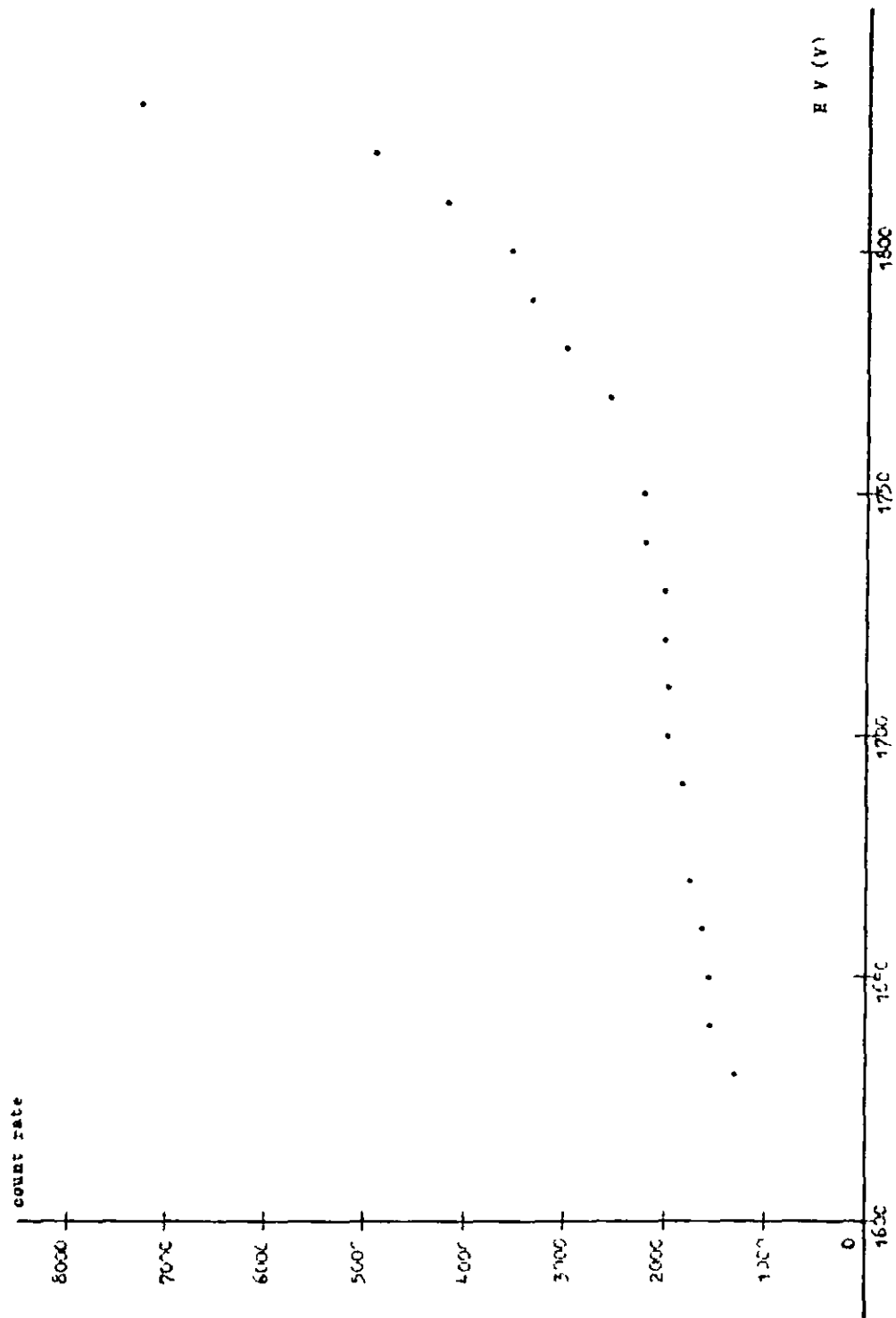


ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงพลวัต ณ ความดัน 70 Torr ความดัน 17.8% ต่อ 100 โวลต์

ตาราง 16 แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ

ณ. ความดัน 80 ทอ

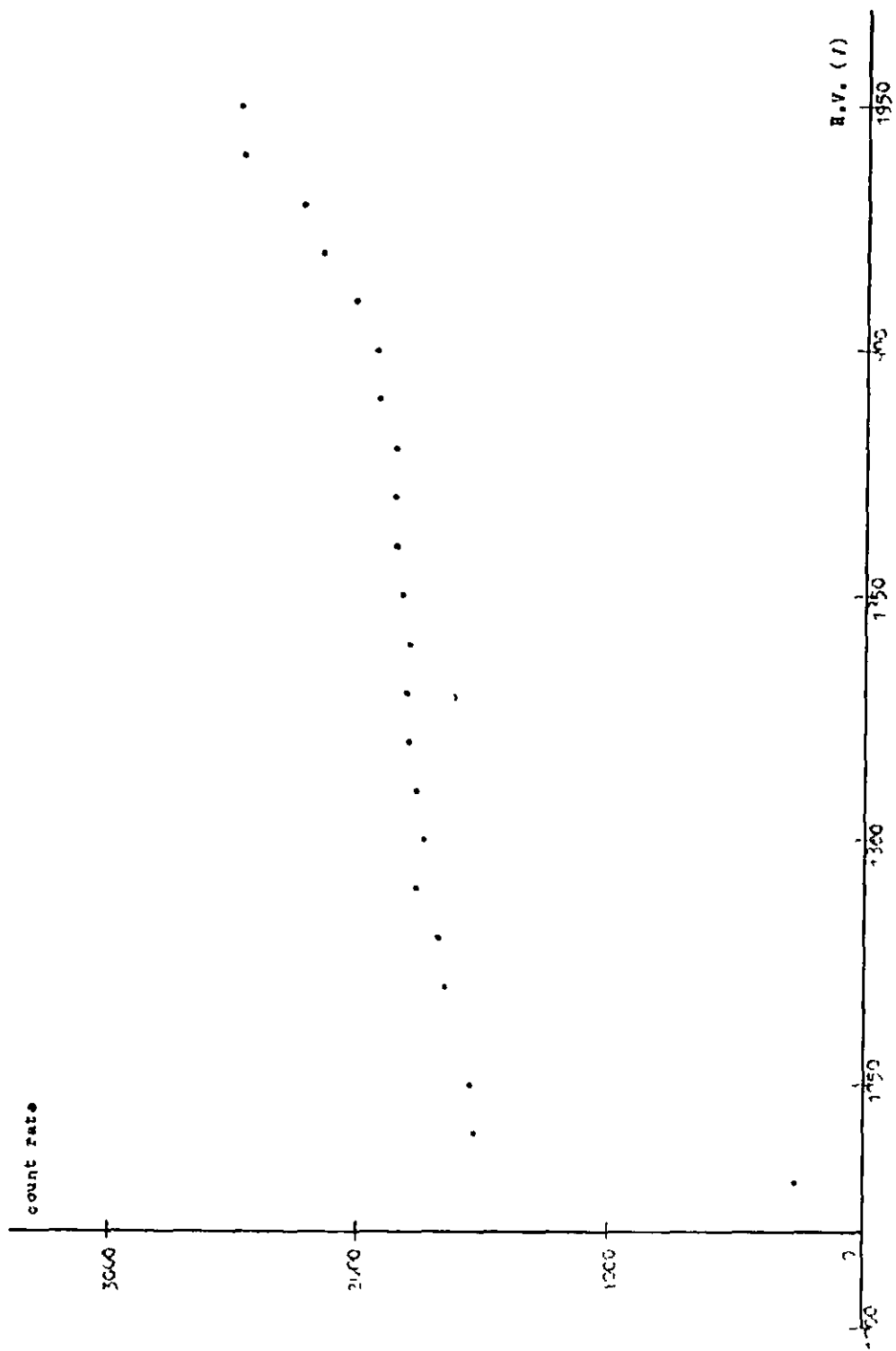
High voltage	Count per 6 seconds					S.D.
	x_1	x_2	x_3	x_4	$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	
1620	9	10	9	7	8.75	1.08
1630	1330	1353	1259	1257	1299.75	41.54
1640	1532	1544	1570	1512	1539.5	20.99
1650	1530	1552	1550	1539	1542.75	8.87
1660	1599	1742	1598	1572	1627.75	66.84
1670	1741	1729	1757	1745	1743	10
1680	1802	1792	1749	1811	1788.5	23.77
1690	1833	1810	1835	1823	1825.25	9.90
1700	1983	1958	2019	1935	1973.75	31.15
1710	1952	1993	1990	1985	1980	16.41
1720	2014	1959	1993	2005	1992.75	20.86
1730	2003	2028	2003	2010	2011	10.22
1740	2239	2235	2139	2162	2193.75	44.03
1750	2294	2195	2153	2159	2200.25	56.45
1760	2430	2331	2420	2393	2393.5	38.53
1770	2557	2547	2575	2576	2563.75	12.27
1780	3034	2937	2975	3022	2992	38.65
1790	3590	3412	3179	3323	3376	148.92
1800	3627	3724	3394	3470	3553.75	129.31
1810	3935	3914	4477	4430	4189	265.12
1820	4744	4759	5229	4904	4909	195.03
1830	7233	7435	7251	7238	7289.25	84.40



ภาพประกอบ 52 กราฟแสดงฟลาโต ณ ความดัน 80 ทอร์ ความดัน 37.5% ต่อ 100 วัตต์

ตาราง 17 แสดงอัตราการนับและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความต่างศักย์ต่างๆ
ณ. ความดัน 90 ทอร์

High voltage	Count per (seconds					S.D.
	x_1	x_2	x_3	x_4	$\sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{n}$	
1730	275	245	255	273	262	12.52
1740	1531	1523	1516	1549	1529.75	12.31
1750	1555	1555	1547	1544	1550.25	4.86
1760	1552	1552	1577	1562	1560.75	10.23
1770	1772	1553	1529	1739	1643.25	108.21
1780	1595	1501	1492	1738	1631	154.20
1790	1747	1795	1750	1783	1763.75	20.71
1800	1755	1717	1754	1735	1741.25	16.61
1801	1820	1739	1808	1742	1777.25	37.00
1820	1759	1859	1787	1796	1800.25	36.56
1830	1751	1815	1833	1824	1805.75	32.24
1840	1955	1579	1994	1696	1806	174.05
1850	1917	1903	1740	1753	1828.25	82.02
1860	1795	1921	1883	1812	1852.75	51.40
1870	1950	1720	1952	1837	1864.75	95.65
1880	1870	1817	1884	1861.25	26.05	
1890	1947	1942	1912	1916	1929.25	15.41
1900	1912	1951	1973	1935	1942.75	22.29
1910	2121	1910	2023	2035	2022.25	75.02
1920	2079	2319	2191	2040	2157.25	168.55
1930	2255	2257	2195	2225	2233	25.33
1940	2411	2395	2592	2517	2476.75	30.45
1950	2453	2544	2391	2588	2494	76.85



ภาพประกอบ 53 กราฟแสดงค่าโพ. ความดัน 90 พอร์ ความดัน 8.6% ต่อ 100 โวลต์

บทที่ 5

บทขอ สรุป อภิปรายผล และขอเสนอแนะ

บทขอ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสร้างหัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์ที่ทำด้วยแก้ว
2. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของหัววัดรังสีที่สร้างขึ้น
3. เพื่อสร้างหัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มิลเลอร์ โดยยึดหลักต่อไปนี้ คือ
 - 3.1 ใช้วัสดุที่สามารถหาได้ภายในประเทศ
 - 3.2 ใช้วัสดุทดแทนที่ทำให้หัววัดมีราคาถูก

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างหัววัดจีเอ็ม ใต้แก้ว
 - 1.1 เครื่องเป่าแก้ว
 - 1.2 แก้วไพเรกซ์ทรงกระบอกกลวงขนาดต่างๆ
 - 1.3 แผ่นเหล็กโรสซึม
 - 1.4 ลวดรังสีเตหะนาถาต่างๆ
 - 1.5 แก๊ส P-10
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดรังสีของหัววัดจีเอ็ม ใต้แก้ว
 - 2.1 แก๊ส พร้อมฐานแก๊ส
 - 2.2 เครื่องปั๊มสุญญากาศ
 - 2.3 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงศักย์สูง
 - 2.4 วงจรอิเล็กทรอนิกส์
 - 2.5 ออสซิลโลสโคป
 - 2.6 counter/timer
 - 2.7 แหล่งกำเนิดรังสี

วิธีดำเนินการ

1. สร้างหัววัดจีเอ็ม จากแก้วไพเร็กซ์ทรงกระบอกกลาง, แผ่นเหล็กโรสนิม และลวดนิกเกิล
2. บรรจุแก๊ส P-10 เข้าสู่หัววัดจีเอ็มที่สร้างขึ้น โดยใช้เครื่องมือสุญญากาศ และอุปกรณ์อื่นๆ เข้าช่วย
3. ศึกษาพัลส์ และอัตราการนับของหัววัดจีเอ็ม โดยใช้เครื่องมือต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับภาควัตถุรังสี การศึกษานี้จะศึกษาตั้งแต่ความดัน 20 ทอร์ ถึง 90 ทอร์

การวิเคราะห์ผล

1. ใช้พัลส์จากออสซิลโลสโคป ตั้งภาพฉายพัลส์ปรากฏในภาพประกอบ 36 ถึง ภาพประกอบ 46 ในบทที่ 4
2. ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงพัลส์ กับความต่างศักย์ จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4 ถึงตารางบันทึกผลการทดลองที่ 11 กับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการนับ กับความต่างศักย์ จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 12 ถึงตารางบันทึกผลการทดลองที่ 17 ในบทที่ 4 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

สร้างหัววัดจีเอ็มขึ้นมา 1 หัววัด แล้วศึกษาพัลส์และอัตราการนับของหัววัดที่สร้างขึ้นในแต่ละความดัน เพื่อหาความดันที่ดีที่สุดที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้งาน ซึ่งก็พบว่าช่วงความดันที่พัลส์ของการวัดอยู่ในเกณฑ์ดี คือช่วงความดันตั้งแต่ 40 ทอร์ ถึง 90 ทอร์ และความดันที่พัลส์ของการวัดดีที่สุด คือ ที่ความดัน 70 ทอร์ โดยจากการวัดและหาพบว่า จะได้พัลส์ออกมามีความสูงประมาณ 5 โวลต์, มีรีซอลวิงไทม์ประมาณ 400 ไมโครวินาทีและเวลาไทม์มีความดันเท่ากับ 3.6% ต่อ 100 โวลต์

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการสร้างหัววัดจีเอ็มชนิดต่างๆ พบว่าหัววัดจีเอ็มที่สร้างได้ง่ายและให้ผลการวัดค่อนข้างดี คือ หัววัดจีเอ็มชนิดหน้าตรงๆ เลย ดังนั้นจึงได้ทดลอง

สร้างหัววัดจีเอ็มชนิดหน้าต่างตรงปลายที่ทำด้วยแก้ว ซึ่งในการสร้างอาศัยเทคนิคของ การเป่าแก้วในการสร้างหัววัดนี้ขึ้นมา โดยในการสร้างทั้งหมดยึดหลักในการใช้วัสดุ ที่สามเรอหาได้ภายในประเทศแล้ว เราคาดว่าเป็นสำคัญ ซึ่งอาจจะสรุปออกมาเป็นค่าใช้จ่าย ต่างๆ ของสิ่งของดังนี้

1. แท่งแก้วไฟเร็กซ์ทรงกระบอกกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ราคาแท่งละ 160 บาท

2. แท่งแก้วไฟเร็กซ์ทรงกระบอกกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ราคาแท่งละ 100 บาท

3. ลวดนึ่งสแตน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.06 มิลลิเมตร ราคา เส้นละ 42 บาท

4. ลวดนึ่งสแตน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02 มิลลิเมตร ราคา เส้นละ 40 บาท

5. แผ่นเหล็กไร้สนิม ความหนา 0.4 มิลลิเมตร ขนาดกว้าง 25 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร แผ่นละ 100 บาท

6. แก๊ส P-10 จำนวน 2 กิโลกรัม ราคาประมาณ 500 บาท

อุปกรณ์ทั้งหมดนี้เรื่อนำมาใช้งานจริง สามารถสร้างหัววัดจีเอ็มได้ไม่น้อยกว่า 5 หัววัด หรือคิดเป็นราคาในการสร้างหัววัดจีเอ็มต่อหัว ประมาณ 190 บาท ซึ่งเมื่อ เทียบกับหัววัดที่สั่งซื้อจากต่างประเทศแล้วพบว่า หัววัดจีเอ็มที่สร้างขึ้นมีราคาถูกกว่า มาก (หัววัดจีเอ็มที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ ตกราคาหัวละประมาณ สิบถึง ห้าสิบล้านบาท)

หลังจากนั้นก็นำหัววัดจีเอ็มที่สร้างขึ้นนี้มาทดลองวัดรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 เพื่อหาคุณสมบัติต่างๆ ของหัววัดว่าเหมาะที่จะนำไปใช้งานหรือไม่ ซึ่งได้ ทดลองวัดรังสีที่ความดันต่างๆ ผลปรากฏว่า จากการสังเกตผลสเปกตรัมของสซิลิโคนโดย พบว่า ช่วงความดันที่ทำให้ผลลัพธ์เหมาะสม (อยู่ในช่วง 0 ถึง 10 โวลต์) คือช่วง ความดันที่ 10 ถึง 20 โวลต์ ซึ่งถ้าอย่างไรก็ตามในช่วงความดันต่างๆ ผลที่ได้ มีรูปร่างที่บิดเบี้ยวและบางครั้งเกิดสเปกตรัมๆ แรกเป็นจำนวนมาก ซึ่งเมื่อทดลองจนครบหาความดันพบว่าช่วงความดันที่ให้ผลลัพธ์คืออยู่ในช่วง 40 โวลต์ ถึง 90 โวลต์ โดย

เฉพ 1 อย่างยิ่ง ช่วงความดันตั้งแต่ 70 ทอร์ถึง 90 ทอร์ จะให้ฟิล์มที่ดีที่สุด คือ มีรูปร่างดี มีความสูงพอเหมาะ และเป็นฟิล์มที่โตๆ ไม่มีฟิล์มขึ้นแทรก ดังตารางบันทึก ผลการทดลองและกราฟในหน้า 58 ถึงหน้า 66 ในบทที่ 4 ตามลำดับ

ตัวอย่างของฟิล์มที่วัดได้ ดังภาพประกอบ 36 ถึงภาพประกอบ 46 ซึ่งจากการศึกษาฟิล์มตัวอย่างในแต่ละความดันที่ได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

ความดัน (ทอร์)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	ความสูงฟิล์ม (โวลต์)	รีชอลวิงใหม่ (ไมโครวินาที)
40	1300	13	120
50	1420	2.9	130
60	1480	2	150
70	1530	1	300
80	1650	1.5	350
90	1830	4.3	400

ซึ่งหัววัดจีเอ็มมาตรฐาน ความสูงฟิล์มจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 โวลต์ และ รีชอลวิงใหม่อยู่ในช่วง 10 ถึง 1000 ไมโครวินาที

จากการสังเกตดูรูปร่างฟิล์ม ความสูง ตลอดจนรีชอลวิงใหม่ พบว่าความดัน ที่พอเหมาะสำหรับการเลือกไว้ใช้งาน คือความดันตั้งแต่ 50 ทอร์ถึง 90 ทอร์ ที่ความถี่ 40 ทอร์ พบว่าฟิล์มที่ได้มีขนาดโตผิดปกติ

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำค่าความสูงของฟิล์มที่ความต่างศักย์ต่างๆ มาเขียน กราฟในแต่ละความถี่ จะได้ดังกราฟท้ายตารางบันทึกผลการทดลองในบทที่ 4 ซึ่งจากการศึกษากราฟที่ได้ พบว่า กราฟในช่วงความดันตั้งแต่ 40 ทอร์ถึง 90 ทอร์ ช่วงของการแปรปรวนพอเหมาะ ดังนั้นในช่วงความดันนี้จึงถูกเลือกเพื่อหาอัตราการนับของหัววัด รีชอลวิงอัตราการนับที่หัววัดได้แสดงดังตารางบันทึกผลการทดลองที่ 12 ถึง 17 ในบทที่ 4 (ในการนับของหัววัดจีเอ็มนี้ ได้ทดลองวัดอัตราการนับของหัววัดเนื่องจากรังสีคอสมิก จึงพบว่ามีความไวมาก จึงตัดทิ้งได้)

นอกจากการนับ ความเร็วการแผ่รังสี อัตราการนับ กับความต่างศักย์ ได้กราฟที่มีช่วงของการแปรปรวนที่เรียกว่า คลาโต ดังกราฟหน้า 63 ถึงหน้า 78

ในบทที่ 4 ซึ่งจากการหาค่าความชื้นของพลาโต พบว่าจะได้ค่าออกมาดังนี้ คือ

ความดัน (ทอร์)	ความชื้นพลาโต
40	86.4% ต่อ 50 โวลต์
50	73.3% ต่อ 90 โวลต์
60	19.7% ต่อ 100 โวลต์
70	17.8% ต่อ 100 โวลต์
80	37.5% ต่อ 100 โวลต์
90	8.6% ต่อ 100 โวลต์

ซึ่งตามเกณฑ์มาตรฐาน หัววัดนี้จะต้องมีค่าความชื้นของพลาโตน้อยกว่า 10% ต่อ 100 โวลต์

ดังนั้น เมื่อพิจารณาผลลัพธ์, กราฟแสดงความสูงผลลัพธ์ และกราฟของพลาโต ก็สรุปได้ว่า ความดันที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานมากที่สุด คือ ที่ความดัน 90 ทอร์ ส่วนความดันอื่นๆ ก็สามารถนำไปใช้งานได้ แต่ว่าจะให้ผลที่ไ้ต่ำ

ข้อเสนอแนะ

ในการสร้างหัววัดนี้ แก้วที่ใช้ทำหัววัดยังคงมีความหนาบางเกินไป ถ้าสามารถเลือกแก้วที่บางกว่านี้ ผลของการวัดอาจได้ผลที่ดีกว่านี้ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีความจำกัดของการเลือกใช้ขนาดความหนาของแก้ว เพราะถ้าแก้วบางเกินไปแล้วอาจเกิดแตกหักได้ง่าย หรือในช่วงที่ทำการสุบอากาศออกจากหัววัด แก้วที่บางเกินไปอาจไม่สามารถทนต่อแรงดันของอากาศจากภายนอกได้ ซึ่งน่าจะให้เกิดการทดลองและศึกษาต่อไป

นอกจากนี้ แก๊สที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แก๊สที่เลือกใช้เป็นแก๊สผสมระหว่าง อาร์กอน 90% กับฮีเลียม 10% ซึ่งในทางการค้าเรียกว่า แก๊ส P-10 โดยที่แก๊สอาร์กอนทำหน้าที่เป็นแก๊สหนัก และแก๊สฮีเลียมทำหน้าที่เป็นแก๊สเร่งขับ ซึ่งในการใช้งานจริงจะมีข้อจำกัดของอายุการใช้งาน เพราะแก๊สผสมชนิดนี้ เมื่อหัววัดนับรังสี จำนวนแก๊สที่เหลืออยู่ซึ่งสามารถใช้งานได้นั้นจะลดลงไปเรื่อยๆ จนหมด เพราะกลไกในการทำงานของแก๊สชนิดนี้ เมื่อแตกตัวแล้วจะไม่กลับมารวมตัวกันใหม่ ดังนั้นสำหรับผู้ที่สนใจ จะ

ไ้มีการลองใช้แก๊สชนิดอื่นๆ บ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแก๊สที่อยู่ในหมู่แฮโลเจน เพราะ
แก๊สระดับที่เจือปนแฮโลเจน เมื่อแตกตัวแล้วสามารถกลับมารวมตัวกันใหม่ได้อีก ทำให้
หวั้ว้กมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ราชบัณฑิตยสถาน คำที่เขียนทับศัพท์จากภาษาต่างประเทศ พิมพ์ครั้งที่ 2 ฟื้นฟู

พิมพ์ครั้งที่ 2528, 116 หน้า

ถวัลย์ วรรณพันธ์ เกียร์กลีเยอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2527, 318 หน้า

สุวิทย์ อารีกุล, น.พ. การใช้รังสีไอโซโทปในการศึกษาและวิจัยทางการแพทย์

พิธีการพิมพ์ 2526

วิมล จิตวัฒนากร นิวเคลียร์ฟิสิกส์เบื้องต้น มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2523

วิระ พันธุ์จัน การศึกษานาฬิกาในการสร้างหัววัดรังสีแบบพรอดอร์ชันนอล

ประกาศนียบัตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2525, 34 หน้า

อรอนงค์ ศรีสันติสุข นิวเคลียร์ฟิสิกส์ 1 สงขลา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2524

อรุณีย์ แสงอรียาวิเศษ นิวเคลียร์ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2525

อุตสาหกรรม, กระทรวง ปริมาณและหน่วยต่างๆ ทางกายภาพ เล่ม 4

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2527

Alder, T., Daldinger, E., Huber, P. and Metzger, F. 'Formation of Discharge in Counter Tube with Alcohol Vapor Filling,' Helv. Phys. Acta. 20 73, 1947.

Arora, B.L. Dictionary of Physics. New Delhi, Academic Publishers.

Bush, D. 'Variability of Plateau Gradients for Large-Diameter End-Window Geiger-Muller Tubes,' Sci. Instru. 6:561, 1973.

Craggs, J.D. and Jaffe A.A. "Discharge Spread in Geiger Counters," Phys. Rev. 72.784, 1947.

Duuren, K.V., Jaspers, A.J.M. and Hermesen, J. "G-M Counters," Nucleonics. 17 86, 1959.

Lichholz, Geoeffery G. and Poston, John W. Principles of Nuclear Radiation Detection. Ann Arbor, Ann Arbor Science, 1979. 379 p.

Glasstone, Samuel. Sourcebook on Atomic Energy. 2nd. ed., New Jersey, D. Van Nostrand, 1958. 641 p.

Glower, Donald D. Experimental Reactor Analysis and Radiation Measurements. New York, McGraw-Hill, 1965. 348 p.

- Green, Alex E.S. Nuclear Physics. New York, McGraw-Hill, 1955. 535 p.
- Halliday, David. Introductory Nuclear Physics. 2nd. ed., New York John Wiley & Sons, 1955. 493 p.
- Harvey, Bernard G. Introduction to Nuclear Physics and Chemistry. London, Prentice-Hall, 1962. 370 p.
- Howard, Robert A. Nuclear Physics. California, Wadsworth, 1965. 573 p.
- Klier, K.A. "A Geiger-Muller Counter for Ultrahigh Vacuum System," Rev. Sci. Instr. 40 372, 1969.
- Korff, S.A. and Present, R.D. "On the Role of Polyatomic Gases in Fast Counters," Phys. Rev. 65 374, 1944.
- Lapp, Ralph E. and Andrews, Howard L. Nuclear Radiation Physics. 2nd. ed., New Jersey, Prentice-Hall, 1961. 532 p.
- Liebson, S.H. and Iricdman, H. "Self-Quenching Halogen-Filled Counters," Rev. Sci. Instru. 19 303, 1948.
- Littlefield, T.A. and Thorley, N. Atomic and Nuclear Physics an Introduction. 3rd. ed., Princeton, Van Nostrand, 1960.
- Montgomery, C.G. and Montgomery, D.D. "The Discharge Mechanism of Geiger-Muller Counters," Phys. Rev. 57 1030, 1940.
- Present, R.D. "On Self-Quenching Halogen Counters," Phys. Rev. 72 243, 1947.
- Price, William J. Nuclear Radiation Detection. 2nd. ed., New York, McGraw-Hill, 1964. 430 p.
- Ramsey, W.E. "Measurements of Discharge Characteristics of Geiger-Muller Counters," Phys. Rev. 57 1022, 1940.
- Rochester, G.D. and Janossy, I. "The Prepetation and Efficiency of the Fast Geiger-Muller Counters," Phys. Rev. 63 52, 1943.
- Rose, M.E. and Korff, S.A. "An Investigation of the properties of Proportional Counters I," Phys. Rev. 59 850, 1941.
- Russell, Wehr M. and Richard Jr., James A. Physics of the Atom. 2nd. ed., Addison-Wesley, 1972. 482 p.
- Spatz, W.D.D. "The Factors Influencing the Plateau Characteristics of Self-Quenching Geiger-Muller Counters," Phys. Rev. 64 236, 1943.

Tan, L.C. and Ng, L.K. Variation of Geiger Threshold Voltage of a Counter Under an Additional RF Supply Voltage, 'Nucl. Instr. and Meth. 195 519, 1982.

Thomas, C.D. 'Counter Pulse Shape,' Rev. Sci. Inst. 20 147, 1949.

Trost, A. 'Counter Tubes Containing Vapor,' Zeits. f. Physik. 105 399, 1937.

Yingprayoon, J. Study of Self-Quenched Geiger-Muller Counter. Master's Thesis. Mahidol University, 1979. 110 p.