

การวัดรังสีเอกซ์ควยเซลล์แคทเมียมซัลไฟด์



นางมุกดา จันทราพรชัย

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

หน่วยวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2518

002405

i 17042409

X-RAY MEASUREMENT USING CADMIUM SULPHIDE CELL

Mrs. Mookda Chantrapornchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Division of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1975

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



สมพงษ์ อมาตย์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ สมพงษ์ อมาตย์ ประธานกรรมการ

สุวรรณ์ กสิพันธ์ กรรมการ

วิชัย น้อย กรรมการ

..... กรรมการ

อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย

รองศาสตราจารย์วิชัย หโยคม

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดรังสีเอกซ์ด้วยแคดเมียมซัลไฟด์
 ชื่อ นางมุกดา จันทราพรชัย หน่วยวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
 ปีการศึกษา 2517

บทคัดย่อ

การวัดปริมาณรังสีโดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์เซลล์นั้น ได้มีผู้ศึกษาและทำการทดลองไว้บ้างแล้ว แต่ผลการศึกษาและค้นคว้ายังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก วิธีการวัดรังสีโดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์นี้อาศัยคุณสมบัติเฉพาะตัวของแคดเมียมซัลไฟด์ที่ปกติเมื่อไม่ถูกรังสีหรือแสงสว่างแล้วจะมีความต้านทานสูงมาก ขนาดเป็นร้อยเมกกะโอห์ม แต่เมื่อถูกรังสีหรือแสงสว่างแล้ว ความต้านทานในตัวจะลดลงเหลือในระดับประมาณ 20,000 ถึง 40,000 โอห์ม ซึ่งความต้านทานที่ลดลงนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีหรือแสงสว่างที่ตกกระทบ จากคุณสมบัติดังกล่าวนี้ ถ้าหากต่อแคดเมียมซัลไฟด์เข้าไปในวงจรแบบอนุกรมกับแบตเตอรี่ก็อาจทำการวัดกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในวงจรได้

เนื่องจากเครื่องมือวัดรังสีทุกชนิดจะมีความไวต่อรังสีในช่วงพลังงานต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน แคดเมียมซัลไฟด์ก็เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองศึกษาเกี่ยวกับความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีต่อรังสีในช่วงพลังงานต่าง ๆ นอกจากนี้ยังต้องศึกษาความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีต่ออัตราปริมาณรังสีระดับต่าง ๆ ความแน่นอนในการวัดปริมาณรังสี และอื่น ๆ จากผลการทดลองปรากฏว่าแคดเมียมซัลไฟด์ไม่เหมาะต่อการวัดปริมาณรังสีที่พลังงานต่ำ ๆ โดยเฉพาะรังสีที่มีพลังงานต่ำกว่า 71 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เนื่องจากพลังงานช่วงนี้แคดเมียมซัลไฟด์มีความไวแตกต่างกันมาก และแคดเมียมซัลไฟด์ยังไม่เหมาะต่อการวัดปริมาณรังสีที่มีอัตราปริมาณค่า เนื่องจากให้ผลการวัดที่ไม่สูงจะคงที่เท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ตามแคดเมียมซัลไฟด์ก็สามารถนำมาสร้างเป็นเครื่องมือวัดรังสีที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูงได้ เช่นนำมาทำเป็นเครื่อง Monitor ที่ติดอยู่ตามเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เป็นต้น เพื่อที่จะใช้รู้วาระที่ใช้งานมีปริมาณรังสีออกมาเล็กน้อยเพียงไร เป็นต้น

3

Thesis Title X-Ray Measurement Using Cadmium Sulphide.
Name Mrs. Mookda Chantrapornchai; Division: Nuclear Technology
Academic Year 1974

ABSTRACT

Cadmium sulphide cell has very high electrical resistance, usually in hundreds of mega-ohm. When it is exposed to light or radiation, the electrical resistance will decrease and vary as the intensities of light or radiation. If the Cadmium sulphide cell is connected to a battery, the current from a battery can be measured with an Ammeter. The amount of electrical current from battery depends on the resistance of the Cadmium sulphide cell when exposed to radiation. The Cadmium sulphide cell can, thus, be used as a radiation detector.

The designable characteristic of a radiation detector is independence of sensitivity of incident photon energy. Some properties of Cadmium sulphide were studied, especially the energy dependence. The results of experiments show that at low photon energy, the energy response is not good. However, Cadmium sulphide cell can be use as an indicating device for which high accuracy is not required.

กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและแนะนำทั้งทางวิชาการ และการทดลองจากรองศาสตราจารย์วิชัย หโยคม อาจารย์แผนกวิชาฟิสิกส์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ทั้งยังได้ให้ความกรุณาในการตรวจทานแก้ไขจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ ด้วยดี ซึ่งผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ และแพทย์หญิง - ดิษณา สามเสน หัวหน้ากองป้องกันอันตรายจากรังสี ที่ได้กรุณาอนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการ รังสี ตลอดจนเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง เช่น เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์กำลังสูง เป็นต้น

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์วิฑิต เกษคุปต์ หัวหน้ากองฟิสิกส์ - สุขภาพ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่อนุญาตให้นำแคดเมียมซัลไฟด์ไปอาบรังสีโคบอลต์ ตามที่ได้เรียนขอไว้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กองป้องกันอันตรายจากรังสี กรมวิทยาศาสตร์ การแพทย์ ทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความร่วมมือช่วยเหลือเป็นอย่างดี.

มกต จันทพรเพ็ญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๘
กิตติกรรมประกาศ.....	๙
รายการตารางประกอบ.....	๑๑
รายการภาพประกอบ.....	๑๑
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์และหลักการวัดปริมาณรังสี.....	3
2.1 คุณสมบัติของรังสีเอกซ์.....	3
2.2 ส่วนประกอบของหลอดรังสีเอกซ์.....	4
2.2.1 แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน.....	4
2.2.2 พลังงานที่ใช้เร่งอนุภาคอิเล็กตรอน.....	4
2.2.3 หลอดสูญญากาศ.....	4
2.2.4 เครื่องบังคับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหรือเครื่องมือ สำหรับโฟกัสลำแสงอิเล็กตรอน.....	4
2.2.5 เป้าสำหรับให้อิเล็กตรอนพุ่งเข้าชน.....	4
2.3 ชนิดของหลอดรังสีเอกซ์.....	6
2.3.1 ชนิดที่ต้องการใช้ครั้งละนาน ๆ เป็นนาที.....	6
2.3.2 ชนิดใช้งานครั้งละเป็นวินาทีหรือน้อยกว่านั้น.....	6
2.4 ขบวนการเกิดรังสีเอกซ์.....	7
2.5 การวัดค่าพลังงานของรังสีเอกซ์.....	9

	ช หน้า
2.6 ปริมาณของรังสีเอกซ์.....	11
2.6.1 มิลลิแอมแปร์.....	13
2.6.2 กิโลโวลต์.....	13
2.6.3 ระยะทาง.....	13
2.6.4 เครื่องกรองรังสี.....	14
2.7 การวัดปริมาณรังสี.....	14
บทที่ 3 แคลคิเมียมซัลไฟด์.....	16
3.1 คุณสมบัติของแคลคิเมียมซัลไฟด์ที่ใช้ในการทดลอง.....	16
3.2 ขบวนการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแคลคิเมียมซัลไฟด์ เมื่อถูกแสงหรือรังสี.....	18
บทที่ 4 วิธีดำเนินงานและผลการทดลอง.....	21
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	21
4.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์.....	21
4.1.2 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า.....	22
4.1.3 แคลคิเมียมซัลไฟด์เซล.....	22
4.1.4 แผ่นพลาสติกและอลูมิเนียม.....	22
4.1.5 เครื่องโคมบอลท์-60.....	22
4.1.6 เครื่องมือวัดรังสีมาตรฐาน.....	23
4.2 สถานที่ทำการทดลอง.....	23
4.3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	24
4.3.1 ทดสอบคุณสมบัติของแคลคิเมียมซัลไฟด์ที่พลังงานของ รังสีต่าง ๆ กัน.....	24

	๗
	หน้า
4.3.2 ทดสอบคุณ Linearity ของแคคเมียมซิลไฟด์	29
4.3.3 ทดสอบคุณการเปลี่ยนแปลงของ Energy Response	29
4.3.4 ความคงทนในการใช้งาน	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	56
บรรณานุกรม	58
อัครชีวประวัติ	59

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
4-1	อัตราปริมาณรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลองตามเทคนิคต่าง ๆ ที่ระยะห่างจากจุดโฟกัส 50 ซม. และที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. 25
4-2	ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ก. ที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ โดยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม. 31
4-3	ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข. ที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ โดยวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาดโวลต์ต่าง ๆ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม. 32
4-4	ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ค. ที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ โดยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาดโวลต์ต่าง ๆ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม. 33
4-5	ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ง. ที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ โดยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาดโวลต์ต่าง ๆ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม. 34
4-6	ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. ที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ โดยการวัดค่ากระแสจากแบตเตอรี่ขนาดโวลต์ต่าง ๆ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม. 35

ตารางที่ ๑

4-7	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ก. และแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ วัดที่ 180 กิโลโวลต์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.	36
4-8	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข. และแบตเตอรี่ขนาดโวลต์ต่าง ๆ วัดที่ 180 กิโลโวลต์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.	36
4-9	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ค. และแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ วัดที่ 180 กิโลโวลต์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.	37
4-10	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ง. และแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ วัดที่ 180 กิโลโวลต์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.	37
4-11	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข จ. และแบตเตอรี่ขนาดโวลต์ต่าง ๆ วัดที่ 180 กิโลโวลต์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.	38
4-12	ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. โดยปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและพลาสติกที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ใช้แบตเตอรี่ขนาด 15 โวลต์ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.	39

ตารางที่ 1

- 4-13 ผลการทดสอบความไวของแคคเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. โดยปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและพลาสติกที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ใช้แบตเตอรี่ขนาด 15 โวลต์ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. และระยะจากจุดโฟกัสถึงแคคเมียมซัลไฟด์ 50 ซม. 40
- 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ใช้แคคเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข. แบตเตอรี่ขนาด 15 โวลต์ ปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและพลาสติก วัดที่ 180 กิโลโวลต์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคคเมียมซัลไฟด์ 50 ซม. 41
- 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้โดยใช้แคคเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. แบตเตอรี่ขนาด 15 โวลต์ ปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและพลาสติก วัดที่ 180 กิโลโวลต์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคคเมียมซัลไฟด์ 50 ซม. 41

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2-1	แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของหลอดรังสีเอกซ์	5
2-2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนถูกเร่งด้วยพลังงาน 65, 100, 150 และ 200 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ วงกระทบเป้า สำหรับเส้นโซปลาเป็นเส้นที่ได้จากการคำนวณตามสมการ (2-1) เส้นหนักเป็นรังสีเอกซ์ที่ผ่านการกรองด้วยอลูมิเนียม หนา 1 มม.	8
2-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า H.V.L. กับ Equivalent Energy ของรังสีเอกซ์ในช่วงพลังงานต่าง ๆ	12
3-1	แสดง Time Response ของแคดเมียมซัลไฟด์	17
3-2	แสดงการเปลี่ยนแปลงภายในแคดเมียมซัลไฟด์เซลล์เมื่อถูกแสงหรือรังสี	19
3-3	แสดงถึงแถบของพลังงานและปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดในผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ หมวดที่ครอบอยู่บน Hole Trap แสดงว่า centre นี้ จับอิเล็กตรอนยาก ถึงแม้ว่าจะได้ปลดปล่อยอิเล็กตรอนลงไป ใน Filled Band แล้วก็ตาม	20
4-1	แสดงการต่อวงจรระหว่างแคดเมียมซัลไฟด์ แบตเตอรี่ และเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า	27
4-2	เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์และเครื่องควบคุม	28
4-3	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ก. ใช้แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์	42
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข. ใช้แบตเตอรี่ขนาดต่าง ๆ	43

4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ค. ใช้แบตเตอรี่ ขนาด 9 โวลต์	44
4-6	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ง. ใช้แบตเตอรี่ ขนาด 9 โวลต์	45
4-7	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. ใช้แบตเตอรี่ขนาดต่าง ๆ	46
4-8	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ก. ใช้แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์	47
4-9	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข. ใช้แบตเตอรี่ขนาดต่าง ๆ	48
4-10	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ค. ใช้แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์	49
4-11	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ง. ใช้แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์	50
4-12	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. ใช้แบตเตอรี่ขนาดต่าง ๆ	51
4-13	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข. ใช้แบตเตอรี่ขนาด 15 โวลต์ เมื่อปิดด้วยแผ่นพลาสติกและอลูมิเนียม	52

รูปที่

4-14	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ ในช่วงต่าง ๆ ของแคทโทดเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. ใช้แคทโทดรี ขนาด 15 โวลต์ เมื่อปิดด้วยแผ่นพลาสติกและอลูมิเนียม.....	53
4-15	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ ต่าง ๆ ของแคทโทดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข. ใช้แคทโทดรีขนาด 15 โวลต์ เมื่อปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นพลาสติก.....	54
4-16	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ ต่าง ๆ ของแคทโทดเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. ใช้แคทโทดรีขนาด 15 โวลต์ เมื่อปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นพลาสติก.....	55