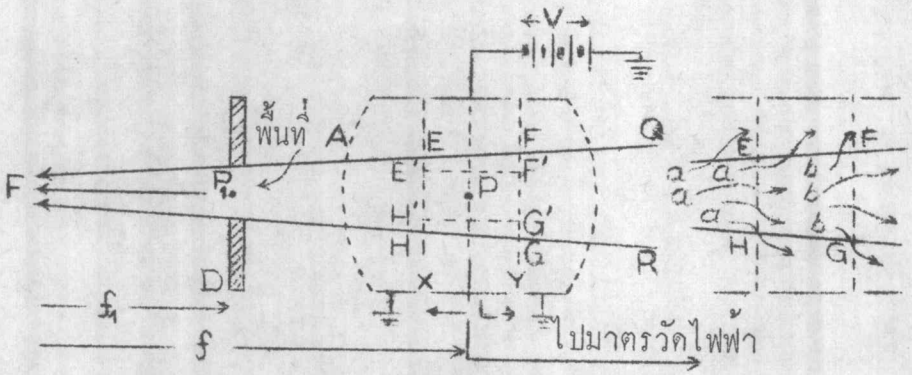
หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การทำงานของเครื่องวัดรังสีที่ใช้ในการสอบเทียบความแม่นยำ

2.1 ห้องการแตกตัวมาตรฐาน (The Standard Ionization Chamber)



รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของห้องการแตกตัวมาตรฐาน

จากไดอะแกรมรูปที่ 2.1 นี้ เมื่อรังสีเอ็กซ์ออกมาจากจุดโฟกัสของหลอด และถูกจำกัดขนาดโดยไดอะแฟรม (Diaphragm) D ซึ่งเจาะรูกลม ๆ ตรงกลาง ให้มีพื้นที่ A จะผ่านเข้าไปในห้องการแตกตัว โดยลำของรังสีจะมีลักษณะเป็นกรวย QFR แต่รังสีจะไม่จำกัดอยู่เฉพาะภายในกรวย QFR นี้เท่านั้น บางส่วนจะวิ่งเลยไปข้างหน้า บางส่วนจะวิ่งตั้งฉากกับลำแสงออกไป ดังนั้นจะมีไอออนอยู่ภายในปริมาตรซึ่งใหญ่กว่าปริมาตรของกรวย QFR โดยบริเวณดังกล่าวจะมีขนาดใหญ่กว่ากรวย QFR เป็นระยะทาง R ทุกทิศทาง เมื่อ R คือพิสัยสูงสุดของรังสีในทิศทางตั้งฉากกับลำแสงทางเดินของมันได้แสดงไว้ในรูปข้าง ๆ รูปที่ 2.1 นี้

ไอออนที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บรวบรวมโดยแผ่นโลหะคู่ซึ่งวางขนานกับลำแสงเอ็กซ์ โดยให้ห่างจากกรวย QFR เป็นระยะทาง R โลหะแผ่นล่างประกอบด้วย 3 ส่วน โดย 2 ส่วนข้างนอกต่อลงดิน และส่วนกลางจะต่อเข้ากับมาตรวัดไฟฟ้า

(Electrometer) ซึ่งใช้วัดประจุ โลหะแผ่นบนจะต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า V ดังนั้นโลหะแผ่นบนจะดูดประจุบวก และผลักประจุลบลงมายังแผ่นล่างทั้ง 3 ส่วน ไอออนจะวิ่งไปตามแสันแรงไฟฟ้าซึ่งแทนด้วยเส้นประในช่วงกลางจะเห็นว่าเส้นแรงจะตรง ดังนั้นประจุลบที่เกิดขึ้นระหว่างระนาบ X และY จะถูกส่งผ่านไปยังมาตรวัดไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม ประจุที่เกิดขึ้นระหว่าง X และ Y ไม่ใช่มาจากรังสีภายในปริมาตร EFGH อย่างเดียว บางส่วนที่เกิดขึ้นก่อนถึง X (แนวทาง a) จะไปทำให้เกิดประจุขึ้นภายในระหว่าง X และ Y ด้วย และทำนองเดียวกัน แนวทาง b ซึ่งเกิดขึ้นระหว่าง X และ Y ก็จะทำให้เกิดประจุภายนอกระนาบ Y ได้ด้วยเช่นกัน และโดยปรกติทั่วไป จำนวนประจุที่หายไปตามแนวทาง b จะมีปริมาณเท่ากับที่เกินมาตามแนวทาง a ด้วยเหตุแห่งสมดุลย์ดังกล่าวจึงอาจพิจารณาได้ว่าประจุที่เกิดขึ้นในระนาบ X และ Y นี้เป็นส่วนที่เกิดมาจากรังสีในปริมาตร EFGH จริง ๆ ได้ ดังนั้นถ้าหากทราบมวลของอากาศในปริมาตร EFGH ก็จะสามารถหาปริมาณการแตกตัวซึ่งเกิดขึ้นจากรังสีในปริมาตรดังกล่าวได้ จากค่าที่ได้ก็จะหาค่าปริมาณรังสีในอากาศ (Exposure) ที่จุด P ได้ กำหนดให้ปริมาตรของ EFGH เป็น $A_f \cdot L$ เมื่อ L เป็นความยาวของแผ่นสะสม (Collecting Plate) และ A_f เป็นพื้นที่ภาคตัดขวางของลำแสงในระนาบของ P ซึ่งอยู่ห่างจากจุดกำเนิดรังสีเป็นระยะทาง f และถ้า ΔQ เป็นประจุที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นคูลอมบ์ และ ρ เป็นความหนาแน่นของอากาศจะได้

$$\text{ปริมาณรังสีในอากาศที่จุด } P = \frac{\Delta Q}{\rho A_f L} \times \frac{1}{2.58 \times 10^{-4}} \quad \text{เรินท์เก้น} \quad \ldots(2.1)$$

ในทางปฏิบัติเพื่อความสะดวกควรจะวัดค่าปริมาณรังสีในอากาศที่จุด P_1 ภายนอกปริมาตรสะสม (Collecting Volume) แทนที่จะไปวัดที่จุด P

ภายในปริมาตรสะสม ถ้าไม่คำนึงถึงการดูดกลืนของอากาศที่อยู่ระหว่าง P_1 และ P แล้วจะได้ค่าปริมาณรังสีในอากาศที่ P_1 มากกว่าที่ P ด้วยอัตราส่วนที่เป็นไปตามกฎกำลังสองผกผัน $(f/f_1)^2$ ดังนั้น

ปริมาณรังสีในอากาศที่จุด $P_1 = \frac{\Delta Q}{\rho A_f L} \times \frac{1}{2.58 \times 10^{-4}} \times (f/f_1)^2$ เรินท์เก้น..(2.2)

และพื้นที่ A ของไดอะแฟรม และ A_f ก็มีความสัมพันธ์กันตามกฎกำลังสองผกผันเช่นกัน คือ

$$A = A_f \, (f_1/f)^2 \qquad \text{.....(2.3)}$$

ปริมาณรังสีในอากาศที่จุด $P_1 = \frac{\Delta Q}{\rho AL} \times \frac{1}{2.58 \times 10^{-4}}$ เรินท์เก้น....(2.4)

ปริมาตร AL แสดงไว้ในไดอะแกรมในรูปที่ 2.1 ด้วยเส้นประรูป - สี่เหลี่ยมผืนผ้า E'F'G'H'

เพื่อให้การอ่านค่าปริมาณรังสีในอากาศออกมาเป็นเรินท์เก้นได้ถูกต้องในการใช้ห้องการแตกตัวมาตรฐาน จะต้องพิจารณาถึงผลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ :-

2.1.1 <u>การจัดรูปทรง</u> (Geometric Consideration)

ถ้าวางแผ่นโลหะคู่ให้ห่างจากปริมาตร EFGH น้อยกว่าค่าพิสัย R จะทำให้ไอออนที่เกิดขึ้นไปชนแผ่นโลหะดังกล่าวก่อนที่จะสูญเสียพลังงานทั้งหมด ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าประจุที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าที่ควร และโดยเหตุผลทำนองเดียวกันจะต้องจัดให้ P_1 และ P อยู่ห่างกันอย่างน้อยเท่ากับพิสัย R ของอนุภาคที่เกิดขึ้นด้วย ถ้าระยะ P_1 และ P น้อยเกินไปจะทำให้ค่าที่อ่านได้น้อยกว่าที่ควร

เมื่อจำนวนอิเลคตรอนที่ผ่านเข้าไปในปริมาตรใด ๆ มีจำนวนเท่ากับที่ผ่านออกไปจากปริมาตรนั้น ๆ เรียกว่าเกิดสมดุลย์อิเลคตรอน (Electronic Equilibrium) ซึ่งสภาวะการณ์เช่นนี้เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงในการ -

สร้างห้องอากาศมาตรฐาน ช่องว่างของอากาศที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานที่จะทำให้เกิดสมดุลย์อิเลคตรอนนี้ ได้แสดงไว้ในตาราง 2.1 สำหรับค่ารังสีเอกซ์ที่พลังงานต่าง ๆ กัน เช่นถ้าเป็นรังสีเอกซ์ขนาด 300 kV จะต้องจัดให้ระยะระหว่างไดอะแฟรมและปริมาตรสะสมห่างกันประมาณ 10 ซม. ที่ 500 kV อิเลคตรอนที่ได้จะมีพลังงานสูงขึ้น ระยะดังกล่าวจะต้องมีค่าสูงขึ้นเป็น 40 ซม. และถ้าพลังงานยิ่งสูงขึ้นขนาดของห้องมาตรฐานก็ต้องใหญ่ขึ้นไปด้วย ด้วยเหตุนี้ทำให้ไม่สามารถใช้ห้องมาตรฐานดังกล่าวไปวัดรังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานเกินกว่า 3 MeV ได้ ดังนั้นนิยามของเรินท์เก้นจึงใช้ไม่ได้ที่พลังงานสูงกว่า 3 MeV ขึ้นไป

อย่างไรก็ตาม โดยปรกติแล้วห้องอากาศอิสระจะใช้ได้กับรังสีที่มีพลังงานไม่เกิน 500 kV เท่านั้น ถ้าสูงกว่านี้ต้องใช้วิธีเพิ่มความดันภายในห้องให้มากขึ้น หรือเปลี่ยนห้องอากาศอิสระเป็นห้องที่ผนังทำด้วยแกรไฟต์ (Graphite Chamber) ซึ่งสามารถวัดรังสีที่มีพลังสูงถึง 3 MeV ได้

ในการเพิ่มขนาดของห้องขึ้นเพื่อให้เกิดสมดุลย์อิเลคตรอน และเพื่อให้การถ่ายเทพลังงานทั้งหมดเกิดขึ้นระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองนั้น การเพิ่มขนาดดังกล่าวก็จะทำให้เกิดปัญหาอื่นตามมาด้วย คืออิเลคตรอนของแนวทาง a และแนวทาง b ในรูปที่ 2.1 นั้น บางส่วนจะกระจัดกระจาย (Scattered) ไปตามเส้น AB ในรูปที่ 2.2 และไปทำให้เกิดไอออนที่จุด B และการเกิดไอออนดังกล่าวก็จะทำให้เกิดประจุซึ่งจะถูกส่งผ่านไปยังมาตรวัดไฟฟ้าด้วย แต่จากนิยามของเรินท์เก้น การเกิดไอออนดังกล่าวจะต้องไม่มี กล่าวคือประจุที่จะถูกส่งผ่านไปยังมาตรวัดไฟฟ้านั้นจะต้องเกิดจากการแตกตัวของอากาศในปริมาตรที่แน่นอนเท่านั้น ไม่มีประจุที่เกิดจากการแตกตัวจากที่อื่นมาปะปนด้วย ซึ่งปริมาณการแตกตัวที่ไม่ต้องการนี้จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของระยะระหว่างไดอะแฟรมและปริมาตรสะสม ซึ่งใน 4 คอลัมน์หลังของตาราง 2.1 แสดงค่าร้อยละของการแตกตัวที่

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับห้องการแตกตัวมาตรฐาน

Wychoff and Attix

X-ray Tube Potential (Kilovolts)	Filtration	Air Distance (cm) for Electronic Equilibrium	Air Absorption Per Cent Per Meter	Secondary Photon Contribution Per Cent of Total Ionization			
				Radius 10 cm	Radius 20 cm	Radius 30 cm	Radius 40 cm
50	1 mm Al		4				
100	1 mm Al		3	0.30	0.74	1.15	1.51
250	1 mm Cu+ 1 mm Al		1.9	0.21	0.53	0.82	1.08
300	3 mm Cu	10	1.5	0.19	0.47	0.74	0.97
400	3 mm Cu	15	1.5	0.17	0.42	0.66	0.86
500	3 mm Cu	40	1.4	0.17	0.42	0.66	0.86

เพิ่มขึ้นเนื่องจากรังสีทุติยภูมิ สำหรับห้องซึ่งมีรัศมีต่าง ๆ ซึ่งรัศมีดังกล่าว คือ ระยะระหว่างบริเวณกลางห้อง และแผ่นสะสมได้มีการคำนวณเพื่อหาระยะทางสมดุลย์ระหว่างไดอะแฟรมและปริมาตรสะสม จะเห็นได้ว่าถ้าห้องที่มีรัศมี 30 ซม. ที่ 300 kV การเกิดไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 0.74% แต่อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบห้องนี้ก็อาจจะออกแบบให้ผลดังกล่าวนี้สมดุลย์กับการสูญเสีย เนื่องจากผลที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้ คือการจัดระยะ P_1 และ P และการจัดระยะระหว่างแผ่นสะสมทั้งคู่ (Collecting Plates) ได้ อย่างไรก็ตามถ้าต้องการค่าที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นจะต้องพิจารณาถึงผลทั้งหมดที่ทำให้ค่าที่อ่านได้มากขึ้นและน้อยลงแล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้องได้

2.1.2 <u>การขวางกั้นรังสีโดยอากาศ</u> (Air Attenuation)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าปริมาตรสะสมและไดอะแฟรมจะต้องอยู่ห่างกันอย่างน้อยเท่ากับพิสัยอิเลคตรอน ซึ่งการจัดให้อยู่ห่างกันดังกล่าวก็ทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ เพราะอากาศที่อยู่ในช่องว่างนี้จะไปทำให้ปริมาณรังสีที่จะผ่านเข้าไปในปริมาตรสะสมน้อยกว่าที่ควร ซึ่งในคอลัมน์ที่ 4 ของตาราง 2.1 ได้แสดงค่าร้อยละของการดูดกลืนของอากาศต่อระยะทาง 1 เมตรไว้ เช่นที่ 500kV จะต้องเว้นระยะห่างไว้ 40 ซม. เพื่อให้เกิดสมดุลย์ ซึ่งระยะห่างดังกล่าวจะทำให้ปริมาณรังสีลดลง 0.40 x 1.4 = 0.56 % ที่พลังงานสูง ๆ ค่าแก้นี้จะมีความสำคัญมากขึ้น เพราะที่พลังงานสูงขึ้นจะต้องเว้นระยะห่างให้มากขึ้นด้วย ทำให้ – ปริมาณรังสีลดลงจากที่ควรจะเป็นมากเนื่องจากมีการขวางกั้นรังสีโดยอากาศ แต่การที่รังสีที่เข้ามามีพลังงานสูง อำนาจในการทะลุทะลวงก็จะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นการแก้ค่าการขวางกั้นของรังสีโดยอากาศนี้จึงทำโดยการทดลอง แล้วมาดูจากกราฟว่าเมื่อต่อเส้นโค้ง (Extrapolate) ไปที่ระยะทางเป็นศูนย์ แล้วค่าแก้นี้จะเป็นเท่าไร ก็จะสามารถคำนวณค่าที่ควรจะได้เมื่อระบบสะสมอยู่ที่ผิวหน้าของ

ไดอะแฟรมได้เลย

2.1.3 การผิดรูปของสนาม (Field Distortion)

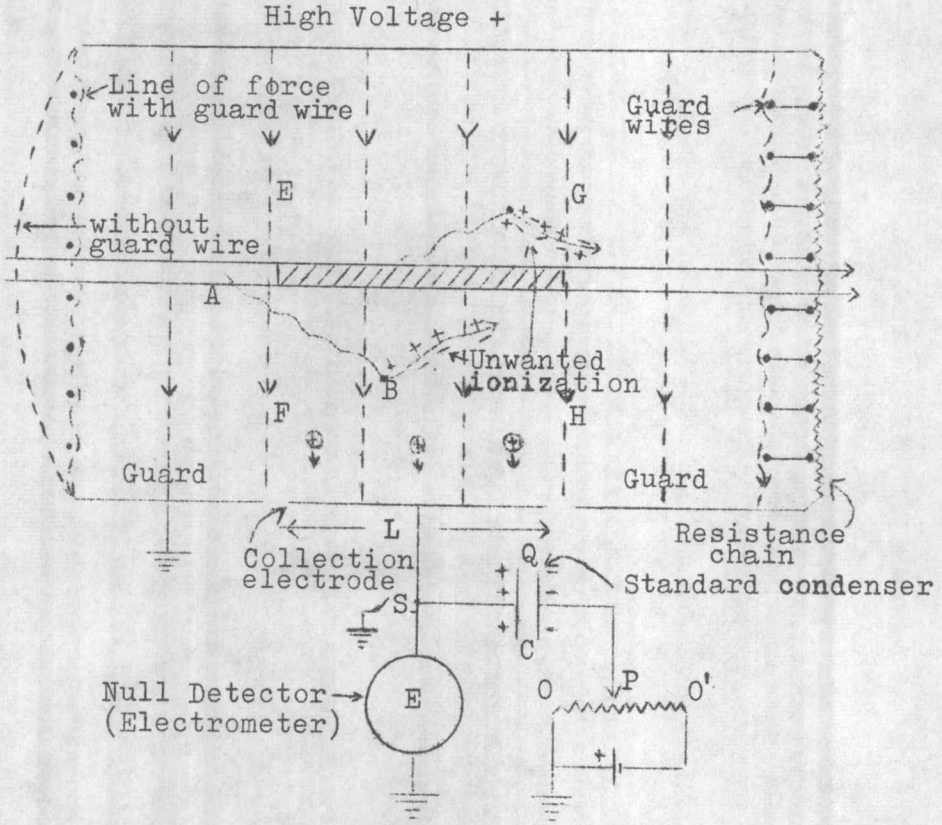
เพื่อจะหาค่าปริมาตรไวแสง (Sensitive Volume) ที่ถูกต้องแน่นอน อิเลคตรอนทั้งหมดที่เกิดขึ้นระหว่างระนาบ EF และ GH จะต้องถูกส่งต่อไปยังขั้วสะสม นั่นหมายความว่าประจุจะต้องเคลื่อนที่ไปในทิศทางตั้งฉากกับลำแสงจริง ๆ ซึ่งจะทำได้โดยอาศัยขั้วกำบัง (Guard Electrode) และลวดกำบัง (Guard Wire) และต้องต่อขั้วสะสมลงดินเพื่อให้มีศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์อยู่ตลอดเวลาด้วย

ขั้วกำบังนี้จะอยู่ในระนาบเดียวกับขั้วสะสม แต่แยกออกจากกันด้วยฉนวนบาง ๆ ใกล้ ๆ ขอบของแผ่นกำบัง (Guard Plate) สนามไฟฟ้าจะโป่งออกแทนที่จะเป็นเส้นตรง จึงต้องใช้ขั้วกำบังมาช่วยแก้การผิดรูปของสนามไฟฟ้านี้ เพื่อจะทำให้เส้นแรงไฟฟ้าที่บริเวณขอบของแผ่นกำบังเป็นเส้นตรงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

การผิดรูปนี้ สามารถลดลงได้อีกโดยการจัดให้อนุกรมของลวดกำบังอยู่ระหว่างขั้วไฟแรงสูง และขั้วสะสม (ตามรูปที่ 2.2) และให้ระนาบของลวดกำบังนี้อยู่ห่างจากกันเป็นระยะทางเท่ากัน ลวดกำบังนี้จะล้อมรอบเครื่องมือไว้ทั้งหมด และสามารถปรับค่าศักดาไฟฟ้าให้ถูกต้องได้โดยต่อเข้ากับขั้วต่อที่อยู่บนลูกโซ่ความต้านทาน (Resistance Chain) ดังนั้นถ้าจัดไฟแรงสูงและลวดกำบังให้พอเหมาะจะได้อนุกรมของการผิดรูปเล็กน้อย กล่าวคือจะมีการนูนออกเล็ก ๆ หลายแห่งแทนที่จะนูนออกที่เดียวแต่มีขนาดใหญ่มาก

และในประการสุดท้ายต้องจัดให้ขั้วสะสมมีศักดาไฟฟ้าเท่ากับขั้วกำบังที่อยู่รอบ ๆ ถ้าศักดาไฟฟ้านี้มีค่าสูงขึ้นในขณะที่มีการสะสมประจุบวกอยู่ จะทำให้เส้นแรงเบี่ยงเบนไปจากขั้วสะสมทำให้ประจุบวกที่ได้น้อยกว่าที่ควร ค่าที่อ่านได้จึงผิดจากความเป็นจริง แต่ก็สามารถควบคุมศักดาไฟฟ้านี้ให้คงที่ได้ด้วยระบบการวัด ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งระบบการวัดดังกล่าวจะประกอบด้วย เครื่องวัดศูนย์ทางไฟฟ้า

หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมแสดงการใช้ลวดกำบังที่ต่อกับลูกโซ่ความต้านทาน เพื่อช่วยแก้การผิดรูปของเส้นแรงไฟฟ้า และยังแสดงรังสีที่ไม่พึงปรารถนาอันเนื่องจากรังสีทุติยภูมิบางส่วนด้วย

(Null Detecting Electrometer) ที่ไวมาก ตัวควบแน่นมาตรฐาน (Standard Condenser) ซึ่งมีค่าความจุ C และตัวแบ่งความต่างศักย์ (Potential Divider) OPO' ก่อนที่จะเริ่มทำการวัดต้องทำให้มาตรวัดไฟฟ้ามีศักดาเป็นศูนย์ก่อน โดยปิดสวิทช์ S แล้วค่อยปรับตัวบอกศูนย์ (Null Indicator) ให้เหมาะกับการอ่าน แล้วจึงเลื่อนปุ่มสัมผัส P ไปที่ O จากนั้นจึงเปิดสวิทช์ S แล้วเดินเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ เมื่อประจุบวกถูกจับไว้ที่ขั้ว ตัวบอกศูนย์ก็จะแสดงค่าที่อ่านได้ โดยการเลื่อนปุ่ม P ช้า ๆ จาก O ไปยัง O' จะทำให้ตัวบอกศูนย์ยังคงอยู่ที่ศูนย์ตลอดเวลา ในการเลื่อนปุ่ม P ไปตามตัวแบ่งความต่างศักย์ จะมีประจุลบเกิดขึ้นที่ตัวควบแน่น เนื่องจากการ – เหนี่ยวนำ ซึ่งประจุลบที่เกิดขึ้นนี้จะดูดประจุบวกจากแผ่นสะสม ทำให้มีศักดาไฟฟ้าเหมือนตอนเริ่มต้น ถ้าค่อย ๆ ปรับปุ่ม P ให้ดี จะทำให้ประจุที่เกิดขึ้นทั้งหมดในห้องมาสะสมอยู่ในตัวควบแน่นหมด และเมื่อปิดเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แล้ว ก็จะวัดค่าความต่างศักย์ระหว่าง O และ P โดยใช้โวลท์มิเตอร์ดี ๆ ได้ ถ้าความต่างศักย์นี้เป็น V จะได้ประจุทั้งหมดที่เกิดขึ้นในห้องเป็น

$$Q = CV$$

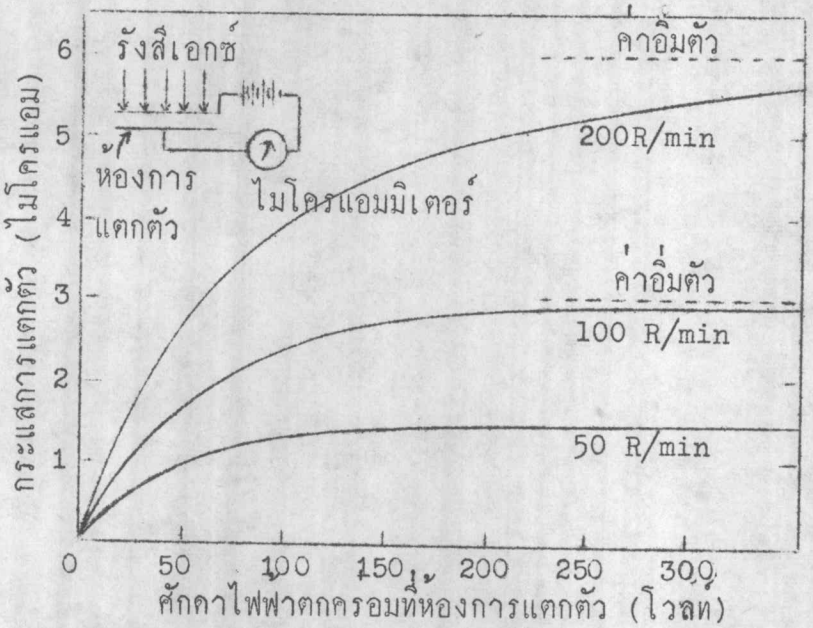
ถ้า C มีหน่วยเป็นฟารัด (Farads) และ V มีหน่วยเป็นโวลท์ ประจุ Q ที่ได้ก็จะมีหน่วยเป็นคูลอมบ์ และถ้ารู้ค่าปริมาตรไวแสงก็จะหาค่าปริมาณรังสีในอากาศเป็นเรินท์เก้นได้

2.1.4 <u>การอิ่มตัว</u> (Saturation)

ในบริเวณที่อยู่ระหว่างแผ่นโลหะทั้ง 2 ในรูปที่ 2.2 จะมีไอออนบวกและลบอยู่ ซึ่งไอออนทั้ง 2 นี้จะกลับรวมกันใหม่ได้ ถ้ามันไม่ถูกแยกออกจากกันอย่างรวดเร็วด้วยสนามไฟฟ้า เพื่อทดลองให้เห็นถึงการกลับรวมกันใหม่นี้ เอาแผ่นโลหะ 2 แผ่นมาวางขนานกันให้ห่างกัน 1 ซม. แล้วเอาไปฉายรังสีเอกซ์ พร้อมกับ

วัดกระแสที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นโลหะทั้ง 2 โดยให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะทั้ง 2 เปลี่ยนไปจาก 0– 360 โวลท์ ผลการทดลองเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.3 สำหรับค่าอัตราปริมาณรังสีในอากาศต่าง ๆ กัน 3 ค่า จะเห็นว่าที่ 50 เรินท์เก้นต่อนาที ไอออนที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะถูกส่งผ่านไปยังแผ่นโลหะทั้งสองหมด เมื่อศักดาไฟฟ้าเป็น 300 โวลท์ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าเกิดการอิ่มตัว เมื่ออัตราปริมาณรังสีในอากาศเปลี่ยนไปเป็น 200 เรินท์เก้นต่อนาที จำนวนอัตราการเกิดไอออนต่อนาทีจะเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า ดังนั้นโอกาสที่จะกลับรวมกันใหม่ก็จะมีมากขึ้น สำหรับปริมาณของไอออนขนาดนี้ การอิ่มตัวจะไม่เกิดขึ้นที่ 300 โวลท์ แต่จะต้องให้ความต่างศักย์สูงกว่า 300 โวลท์ จึงจะเกิดการอิ่มตัวได้

ความเร็วของไอออนจะขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง สนามไฟฟ้านี้ปรกติวัดเป็นโวลท์ต่อ ซม. ซึ่งหาได้จากการเอาค่าความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองหารด้วยระยะห่างของแผ่นโลหะทั้งสองนี้ ในตัวอย่างนี้ระยะห่างเป็น 1 ซม. ความต่างศักย์เป็น 300 โวลท์ ก็จะมีสนามไฟฟ้าเป็น 300 โวลท์ต่อ ซม. ในการใช้ห้องอากาศมาตรฐานจะต้องระวังให้ไอออนที่เกิดขึ้นทั้งหมดถูกสะสมไว้หมดเลย โดยปรกติส่วนมากสนามไฟฟ้าในห้องอากาศมาตรฐานมีค่าประมาณ 250 โวลท์ต่อ ซม. ก็ถือว่าใช้ได้ ดังนั้นในการนำเอาห้องการแตกตัวต่าง ๆ มาใช้ในการวัดรังสีจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องประสิทธิภาพในการสะสม (Collecting Efficiency) ให้มาก กล่าวคือต้องเลือกความต่างศักย์ให้เหมาะเพื่อให้ไอออนที่เกิดขึ้นถูกสะสมไว้ทั้งหมด แต่ในบางกรณีจะทำให้ไอออนที่เกิดขึ้นถูกสะสมไว้ทั้งหมดไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องประมาณดูว่าค่ากระแสที่ได้นี้เป็นกี่เท่าของกระแสอิ่มตัว (Saturation Current) ซึ่งวิธีการกะประมาณนี้



หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่เกิดขึ้นที่ห้องการแตกตัวและศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมที่ห้องนั้น

Boag[1,2] ได้เคยทำการทดลองไว้แล้ว

2.1.5 การแก้ค่าอุณหภูมิและความดัน (Temperature and Pressure Correction)

ในการวัดค่าปริมาณรังสีในอากาศเป็นเรินท์เก้นนั้น ปรกติจำเป็นต้องทราบค่ามวลของอากาศในปริมาตรที่ต้องการวัดค่าปริมาณรังสีในอากาศนั้นก่อน และเนื่องจากห้องการแตกตัวส่วนมากเป็นพวกปิดไม่สนิท (Unsealed)

---

[1] Boag, J.W., : Ionization Chamber in Radiation Dosimetry. Hine, G.J., and Brownell, G.L.(Eds.), New York, Academic, 1956, P.153.

[2] ICRU : Handbook 62. U.S. Nat. Bur. Standards, 1956.

C00114

ดังนั้นมวลของอากาศภายในห้องจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันของบรรยากาศ ซึ่งมวล m ของอากาศในปริมาตรที่กำหนดให้ที่อุณหภูมิ t และความดัน P จะมีความสัมพันธ์กับมวล m_0 ที่ 0°ซ, 760 มม.ปรอท ดังนี้ :-

$$m(t,P) = m_0 \left(\frac{273}{273+t}\right)\left(\frac{P}{760}\right) \qquad \text{.....(2.5)}$$

เทอมแรกในวงเล็บเป็นการแก้ค่าการขยายตัวของอากาศตามอุณหภูมิ และเทอมที่สองเป็นการแก้การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความดัน แต่เนื่องจากเวลาจะหาปริมาณรังสีในอากาศ ต้องเอาค่ามวลไปหาร ดังนั้นค่าแก้สำหรับปริมาณรังสีในอากาศที่อ่านที่อุณหภูมิ t และความดัน P ต้องคูณด้วยตัวประกอบดังนี้ :-

$$\left(\frac{273+t}{273}\right)\left(\frac{760}{P}\right) \qquad \text{.....(2.6)}$$

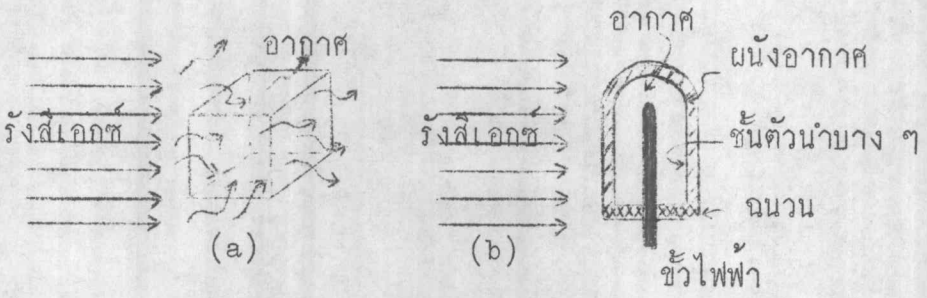
จึงจะให้ค่าปริมาณรังสีในอากาศเป็นเรินท์เก้นที่ถูกต้อง สมมุติให้ – อุณหภูมิของอากาศเป็น 20°ซ และความดัน 750 มม.ปรอท อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้ (สูงกว่าอากาศมาตรฐานที่ 0°ซ, 760 มม.ปรอท) อากาศก็จะขยายตัวทำให้มวลของอากาศภายในห้องน้อยลง ดังนั้นค่าที่อ่านได้ก็จะน้อยลงไปด้วย ตัว– ประกอบการแก้ก็ต้องมีค่ามากกว่า 1.00 ในกรณีนี้ก็คือ 293/273 และเนื่องจากความดันมีค่าน้อยลงกว่ามาตรฐาน จึงทำให้มีอากาศอยู่น้อยลง ค่าที่อ่านได้ก็จะน้อยลงไปด้วย ดังนั้นตัวประกอบการแก้สำหรับความดันก็จะต้องมีค่ามากกว่า 1.00 เช่นกัน ในกรณีนี้คือ 760/750 แต่ในบางประเทศ ในบรรยากาศมีความชื้นสูงมากก็อาจต้องแก้ค่าความผิดพลาดเนื่องจากความชื้นด้วย สมมุติความดันไอน้ำ (Vapour Pressure) เป็น P_1 มม.ปรอท ตัวประกอบการแก้จะเป็น

$$\left(\frac{273+t}{273}\right)\left(\frac{760}{P-0.238\ P_1}\right) \qquad \text{.....(2.7)}$$

โดยปรกติไม่ค่อยมีผู้นิยมแก้ค่าความดันไอน้ำนี้นัก เพราะถ้าอุณหภูมิเป็น 25°ซ และความชื้นสัมพันธ์เป็น 60% แล้วความแตกต่างของสมการ (2.6) และ (2.7) จะต่างกันเพียง 0.4% เท่านั้น

2.2 ห้องการแตกตัวในทางปฏิบัติ

2.2.1 ห้องขนาดปลอกสวมนิ้ว (Thimble Chamber)



รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมแสดงหลักการของผนังอากาศที่ใช้ในห้องขนาดปลอกสวมนิ้ว

เนื่องจากขนาดของห้องการแตกตัวมาตรฐานมีขนาดใหญ่มาก จึงทำให้เคลื่อนย้ายลำบากในการใช้งานจริง ๆ จึงต้องออกแบบให้มีขนาดเล็ก เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งเรียกว่าห้องขนาดปลอกสวมนิ้ว แต่ก่อนจะใช้งานก็ต้องนำมาสอบเทียบความแม่นยำกับห้องการแตกตัวมาตรฐานก่อน ถ้าพิจารณาอากาศ 1 หน่วยลูกบาศก์ ซึ่งฉายด้วยรังสีเอกซ์จะมีรังสีส่วนหนึ่งภายนอกอากาศ 1 หน่วยลูกบาศก์ดังกล่าวผ่านเข้ามาใน 1 หน่วยลูกบาศก์นี้ และจะมีรังสีจาก 1 หน่วยลูกบาศก์นี้หลุดหายออกไป โดยปรกติรังสีส่วนที่เกินมาและส่วนที่หายไปนี้จะมีค่าพอ ๆ กัน ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่าปริมาณรังสีที่วัดได้ใน 1 หน่วยลูกบาศก์นี้ เป็นส่วนที่เกิดขึ้นในตัวมันเองเท่านั้น และรังสีที่เกิดใน 1 หน่วยลูกบาศก์นี้ได้สูญเสียพลังงานทั้งหมดของมันไปภายใน 1 หน่วยลูกบาศก์ดังกล่าวด้วย ซึ่งการพิจารณาดังกล่าวจะเป็นจริงเมื่ออากาศภายนอกรอบ ๆ 1 หน่วยลูกบาศก์นี้ต้องอยู่ห่างจาก 1 หน่วยลูกบาศก์นี้เป็นระยะทางไม่น้อยกว่าค่าพิสัยสูงสุดของรังสีนั้น ๆ ดราวนี้ถ้าอากาศที่อยู่รอบ ๆ นี้ถูกควบแน่นให้เป็นผนังซึ่งเป็นของแข็ง ก็จะได้ห้องขนาดปลอกสวมนิ้ว ดังแสดงในรูปที่2.4 ผนังด้านในของห้องนี้จะถูกเคลือบไว้ด้วยชั้นบาง ๆ ของตัวนำ และมีขั้วไฟฟ้าต่ออยู่ภายใน ถ้าให้ประจุแก่ขั้วไฟฟ้านี้ ไอออน

ที่เกิดขึ้นก็จะถูกสะสมไว้ได้ จุดสำคัญของห้องขนาดปลอกสวมนิ้วอยู่ที่ผนังอากาศ ซึ่งในทางปฏิบัติทำได้ยาก แต่นักวิทยาศาสตร์สามารถหาวัสดุที่มีเลขอะตอมยังผล (Effective Atomic Number) ใกล้เคียงกับอากาศมาทำเป็นผนังของห้องเพื่อให้มีคุณสมบัติทางรังสีเหมือนอากาศ เวลาเอาไปฉายด้วยรังสีเอกซ์แล้ววัดประจุที่ได้ออกมาก็จะสามารถหาค่าปริมาณรังสีในอากาศออกมาเป็นเรินท์เก้นได้

เนื่องจากบริเวณที่มีพลังงาน (Energy) ต่ำ ๆ รังสีเอกซ์จะทำให้เกิดปฏิกริยาโฟโตอิเลคตริค แอบซอพชั่น (Photoelectric Absorption) เป็นสำคัญ และการดูดกลืนต่ออิเลคตรอน (Absorption per Electron) ขึ้นอยู่กับค่า Z^3 โดยประมาณ เมื่อ Z คือค่าเลขอะตอมของสารนั้น ๆ การดูดกลืนนี้จะไม่ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของสารดังกล่าว นั่นหมายความว่าอิเลคตรอนแต่ละตัวในอะตอมของออกซิเจน ($Z = 8$) จะดูดกลืนพลังงานได้มากกว่าแต่ละอิเลคตรอนในอะตอมของคาร์บอน ($Z = 6$) ถึง $(8/6)^3 = 2.4$ เท่า Mayneord[1] ได้กำหนดวิธีการหาค่าเลขอะตอมยังผล (Effective Atomic Number) ของสารประกอบไว้ดังนี้ :-

$$\bar{Z} = \sqrt[2.94]{a_1 Z_1^{2.94} + a_2 Z_2^{2.94} + a_3 Z_3^{2.94}} \quad \ldots\ldots(2.8)$$

เมื่อ $\bar{Z}$ คือค่าเลขอะตอมยังผลของสารประกอบ

a_1, a_2, a_3 เป็นค่าสัดส่วนของอิเลคตรอนของธาตุ Z_1, Z_2 และ Z_3 ในสารประกอบนั้นตามลำดับ

---

[1] Mayneord, W.V.; The significance of the röentgen. Acta of the International Union Against Cancer, 2: 271, 1937.

ค่ายกกำลัง 2.94 นี้ ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง (Empirical) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.0 โดยสมการ 2.8 นี้ จะหาค่าเลขอะตอมยังผลของอากาศได้ 7.64 ดังนั้นถ้าจะสร้างห้องขนาดปลอกสวมนิ้ว ก็ต้องหาสารซึ่งมีเลขอะตอม 7.6 มาทำผนัง โดยปรกติเขามักสร้างผนังของห้องด้วยเบคเคไลท์ [Bakelite (C_6H_5OH)] แล้วฉาบผนังด้านในของห้องด้วยคาร์บอน (Z = 6)และขั้วไฟฟ้า (Electrode) ทำด้วยอลูมิเนียม (Z = 13)โดยการปรับสัดส่วนและขนาดของคาร์บอนที่ฉาบไว้และขั้วไฟฟ้า ก็จะได้ห้องซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนเป็นห้องซึ่งมีผนังอากาศ ในห้องการแตกตัวมาตรฐาน ซึ่งผนังด้านต่าง ๆ ที่ปกคลุมปริมาตรไวแสง (Sensitive Volume) ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่าพิสัยสูงสุดของอิเลคตรอนทำนองเดียวกันในห้องขนาดปลอกสวมนิ้วก็ต้องมีผนังอากาศหนากว่าพิสัยสูงสุดของรังสีที่เกิดขึ้นด้วย

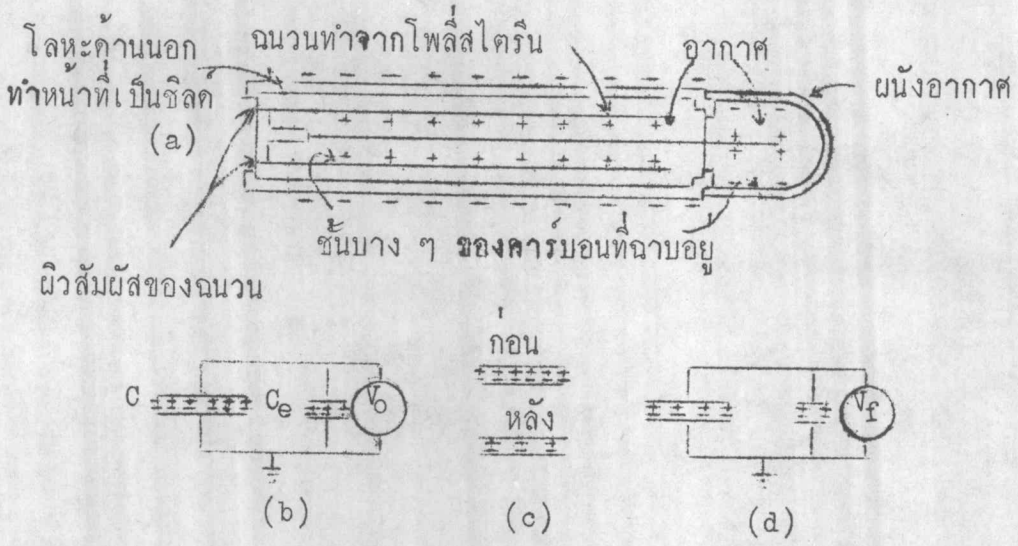
ในการสอบเทียบความแม่นยำของห้องขนาดปลอกสวมนิ้วกับห้องการแตกตัวมาตรฐานจะต้องจัดให้ตำแหน่งของห้องขนาดปลอกสวมนิ้ว และไดอะแฟรมของห้องการแตกตัวมาตรฐานอยู่ตำแหน่งเดียวกันเวลาไปฉายด้วยรังสี แล้วเอาผลที่อ่านได้มาเทียบกันดูก็จะหาค่าตัวประกอบการปรับเทียบ (Calibration Factor) ได้ ซึ่งถ้าตัวประกอบนี้ต่างจาก 1.00 มาก ทางผู้ผลิตก็อาจจะแก้ไขการตอบสนอง (Response) ของมันได้โดย

ก. สมมุติว่า ถ้าห้องขนาดปลอกสวมนิ้วนี้อ่านค่าได้ถูกต้องที่ 200 kV แต่ที่ 100 kV อ่านได้สูงเกินไป ก็ต้องลดการตอบสนองที่ 100 kV ลงโดยการลดค่าเลขอะตอมยังผลของห้องนั้นลง ซึ่งทำได้โดยทำให้ขั้วอลูมิเนียมสั้นลง ซึ่งการลดขนาดของขั้วอลูมิเนียมจะทำให้เลขอะตอมยังผลของห้องซึ่งสูงกว่า 7.6 มีค่าลดลงได้

ข. ถ้าการตอบสนองที่ศักดาไฟฟ้าทั้งสองมีค่าสูงเกินไป เราต้องลดปริมาตรของห้องขนาดปลอกสวมนิ้วลง

2.2.2 ห้องตัวควบแน่น (Condenser Chamber)

ห้องตัวควบแน่นประกอบด้วยห้องขนาดปลอกสวมนิ้ว ซึ่งต่อเข้ากับตัวควบแน่นอย่างถาวร เช่นห้องตัวควบแน่นวิคตอรีน (Victoreen Condenser Chamber) รูปที่ 2.5 แสดงภาพภาคตัดขวางของห้องตัวควบแน่นวิคตอรีน



รูปที่ 2.5 (a)ไดอะแกรมของห้องตัวควบแน่นวิคตอรีนขนาด 25R (b) ห้องตัวควบแน่นที่มีความจุ C ต่อเข้ากับมาตรวัดทางไฟฟ้าซึ่งมีความจุ C_e สำหรับเก็บประจุ (c) แสดงประจุของตัวควบแน่นซึ่งมี 6 ประจุ ก่อนถูกรังสี และเหลือเพียง 3 ประจุ หลังจากถูกรังสีแล้ว (d) แสดงการต่อห้องตัวควบแน่นกลับเข้าไปกับ – มาตรวัดทางไฟฟ้าซึ่งมีประจุอยู่เต็ม ประจุบางส่วนจะถ่ายเทไปยังห้องตัวควบแน่น

จากรูปที่ 2.5 (a)ปลายด้านขวามือจะเป็นห้องขนาดปลอกสวมนิ้ว ซึ่งเมื่อมีรังสีผ่านเข้ามาจะทำให้เกิดการแตกตัวของอากาศภายในได้ ส่วนขั้วสะสมตรงกลางจะต่อเข้ากับตัวควบแน่นทางด้านซ้ายมืออย่างถาวร และจะมีชั้นบาง ๆ ของคาร์บอนฉาบอยู่ด้านในของฉนวนซึ่งทำเป็นโพรงไว้ และด้านนอกของฉนวนนี้จะมีโลหะหุ้มอยู่อีกที่เพื่อทำหน้าที่เป็นชิลด์ (Shield) แล้วด้านนอกนี้จะต่อเข้ากับ

ชั้นของคาร์บอนซึ่งฉาบอยู่ด้านในของห้องขนาดปลอกสวมนิ้ว ห้องขนาดปลอกสวมนิ้วซึ่งต่อเข้ากับตัวควบแน่นนี้อาจแทนได้ด้วยตัวควบแน่นในรูปที่ 2.5 (b) โดยที่ C เป็นค่าความจุทั้งหมดระหว่างขั้วสะสมและเปลือกนอกที่หุ้มอยู่ ความจุส่วนใหญ่เกิดอยู่ทางด้านซ้ายมือของรูปที่ 2.5 (a) ซึ่งประจุบวกและลบจะถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนซึ่งทำด้วยสารโพลี่สไตรีน (Polystyrene)

2.2.2.1 <u>ความไวของห้อง</u>

สมมุติเอาห้องตัวควบแน่นซึ่งมีความจุ C ฟาราด (Farads) ไปฉายรังสี r เรินท์เก้น และให้ห้องนี้เป็นห้องซึ่งมีผนังอากาศ และมีปริมาตร v ลบ.ซม. ดังนั้นประจุที่ได้จะเป็น

$$Q = vr \quad e.s.u.$$

$$= \frac{vr}{3 \times 10^9} \text{ Coulombs}$$

ดังนั้น จะหาค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างขั้วกลางและตัวชิลด์ด้านนอก (Outer Shield) ได้โดยเอาค่าความจุ C ไปหารประจุที่ได้ ก็จะหาค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อมได้

$$\text{ศักดาไฟฟ้าตกคร่อม} = \frac{vr}{3 \times 10^9} \times \frac{1}{C} \quad \text{โวลท์}$$

ซึ่งค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อมต่อหนึ่งเรินท์เก้นนี้ กำหนดว่าเป็นความไว (S) ของห้อง

$$S \text{ (Volts/Roentgen)} = \frac{v}{(3 \times 10^9)\, C}$$

ถ้า C มีหน่วยเป็นไมโครไมโครฟาราด ($1 \mu\mu F = 10^{-12} F$) จะได้ความไวเป็น

$$S \text{ (Volts/Roentgen)} = \frac{v(c.c.)}{C(\mu\mu F)} \times \frac{1000}{3} \quad .....(2.9)$$

จากสมการ 2.9 ที่ได้นี้ จะเห็นว่าความไวของห้องหาได้จากอัตราส่วนของปริมาตรของอากาศและความจุของห้อง ดังนั้นถ้าหากต้องการห้องซึ่งมีความไวสูง คือมีค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อมต่อเรินท์เก้นสูง ควรจะต้องทำให้ – ปริมาตรของอากาศในห้องมีค่าสูง และความจุ C มีค่าน้อย ๆ หรือในทางกลับกันถ้าต้องการห้องซึ่งวัดค่าปริมาณรังสีในอากาศได้สูง ๆ ก็ต้องทำให้ปริมาตรของห้องมีค่าน้อย ๆ (ทำให้ขนาดของห้องเล็กลง) และเพิ่มความจุ C ให้มากขึ้น อย่างไรก็ตามในทางทฤษฎีค่า S หาได้จากค่าความจุและปริมาตรตามสมการ 2.9 ก็จริง แต่ในทางปฏิบัติ การวัดค่าทั้งสองให้ถูกต้องจริง ๆ ทำได้ยาก จึงต้องหาโดยการวัดค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อมสำหรับค่าปริมาณรังสีในอากาศค่าหนึ่ง ๆ

2.2.2.2 <u>การทำงานของห้องประจุ</u>

การทำงานของห้องประจุได้แสดงไว้อย่างคร่าว ๆ ในรูปที่ 2.5 (b), (c), (d) ในรูปที่ 2.5 (b) ห้องซึ่งมีความจุ C ต่อเข้ากับมาตรวัดไฟฟ้าซึ่งมีความจุ C_e โดยทั้ง 2 เก็บประจุไว้เต็มที่แล้วและวัดศักดาไฟฟ้าได้ V_o (ปรกติค่า C จะมีค่าสูงกว่า C_e ซึ่งแสดงไว้ในรูปโดยวาดให้มีขนาดใหญ่กว่าแสดงว่าเก็บประจุได้มากกว่า) จากนั้นก็เอาห้องนี้ไปฉายรังสี เมื่อโดนรังสี – ประจุบางส่วนในห้องจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (c) จากนั้นก็เอาห้องซึ่งถูกดิสชาร์จไปบางส่วนแล้วไปต่อเข้ากับมาตรวัดไฟฟ้าซึ่งเก็บประจุไว้เต็มที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (d) ดังนั้นประจุบางส่วนจากมาตรวัดไฟฟ้าจะไหลไปยังห้องตัวควบแน่น ทำให้ศักดาไฟฟ้าตกคร่อมที่ได้มีค่าลดลง ถ้าให้ศักดาไฟฟ้าตกคร่อมครั้งหลังเป็น V_f ก็จะได้ศักดาไฟฟ้าตกคร่อมที่วัดได้เป็น $V_o - V_f$ ถ้า Q เป็นประจุที่เกิดขึ้นในห้องนั้นเนื่องจากรังสีที่ผ่านเข้ามาก็จะได้ Q/C เป็นค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อมที่แท้จริงของห้องนั้น ส่วนค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อมที่วัดได้จะมีค่าน้อยลงเพราะ

ประจุที่สูญเสียไปนี้จะถูกแบ่งไปยังความจุทั้งหมด $(C + C_e)$ ดังนั้นค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อมที่วัดได้ก็จะเป็น $Q/(C + C_e)$

$$\frac{\text{ศักดาไฟฟ้าตกคร่อมที่แท้จริง}}{\text{ศักดาไฟฟ้าตกคร่อมที่วัดได้}} = \frac{C + C_e}{C} \qquad \ldots\ldots\ldots (2.10)$$

ดังนั้นถ้ารู้ความไวในหน่วย Volts/Roentgen และวัดค่า "ศักดาไฟฟ้าตกคร่อมที่วัดได้" ได้ ก็จะคำนวณหาค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อมที่แท้จริงได้

ในมาตรวัดปริมาณรังสีในอากาศบางชนิดเช่น วิคตอรีนนั้น จะต้องออกแบบให้ห้องเข้าคู่กับ (Matched) มาตรวัดไฟฟ้าและตัวประกอบของสมการ 2.9 และ 2.10 จะต้องนำมาพิจารณาร่วมกันเพื่อให้ได้เป็นค่าความไว

$$S\left(\begin{matrix}\text{Volts/Roentgen for}\\ \text{Chamber and electrometer}\end{matrix}\right) = \frac{V(c.c)}{(C+C_e)(\mu F)} \times \frac{1000}{3} \qquad \ldots(2.11)$$

สมการ 2.11 เป็นค่าความไวของห้องตัวควบแน่นและมาตรวัดไฟฟ้ารวมกัน ในเครื่องวิคตอรีนสามารถจะอ่านค่าปริมาณรังสีในอากาศออกมาได้เลยจากสเกลบนหน้าปัทม์ ซึ่งในห้องตัวควบแน่นบางชนิดจะอ่านออกมาโดยตรงไม่ได้

2.2.2.3 <u>ข้อควรระวังในการใช้ห้องตัวควบแน่น</u>

โดยหลักการแล้วการสร้างห้องตัวควบแน่นทำได้ไม่ยากนัก และสะดวกเวลาใช้งานก็จริง แต่ก็มีข้อควรระวังในการใช้งานอยู่มากเพื่อให้ผลที่ได้มีความถูกต้องมากที่สุด ข้อที่ต้องคำนึงถึงมีดังต่อไปนี้

ก. ต้องระวังมิให้ผนังห้องตัวควบแน่นถูกกระทบกระเทือนแรงเกินไป เพราะจะทำให้ผนังของห้องแตกร้าวซึ่งทำให้ผนังด้านที่แตกร้าวบางกว่าพิสัยสูงสุดของรังสี ค่าที่วัดได้จึงไม่ถูกต้อง หรืออาจทำให้ขั้วตรงกลางบิดเบี้ยวไป ทำให้เกิดการรั่วไหลของประจุได้

ข. ฉนวนซึ่งเป็นที่ยึดของขั้วไฟฟ้าควรจะเป็นสารพวกโพลี่สไตรีน (Polystyene) หรืออำพัน (Amber) เพื่อลดการรั่วไหลของประจุ

ค. ควรเก็บห้องตัวควบแน่นนี้ไว้ในตู้กันความชื้น (Desiccator) เพื่อทำให้ห้องแห้ง และสามารถลดการรั่วไหลของประจุเนื่องจากความชื้นได้ด้วย

ง. โดยปรกติก่อนใช้เครื่องต้องตรวจดูการรั่วไหลก่อนนำเอาห้องนั้นออกใช้งาน โดยเอาห้องนั้นไปใส่ประจุ (Charged)ให้เต็มแล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่ ถ้ามีการรั่วไหลและไม่สามารถแก้ไขให้หมดไปได้ก็อาจต้องแก้โดยการวัดการรั่วไหลในช่วงเวลาเท่ากับเวลาที่ใช้วัดปริมาณรังสีในอากาศจริง ๆ หรืออาจจะทำการวัดอัตราการรั่วไหลก็ได้ แล้วนำไปแก้ค่าปริมาณรังสีในอากาศที่วัดได้

จ. ห้องตัวควบแน่นที่จะเอาไปใช้งานทุกอันจะต้องได้รับการสอบเทียบจากห้องการแตกตัวมาตรฐานก่อน โดยการสอบเทียบนี้กระทำในช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งถ้าผนังของห้องเป็นผนังอากาศ ตัวประกอบการแก้จะมีค่าใกล้ 1.00 มาก

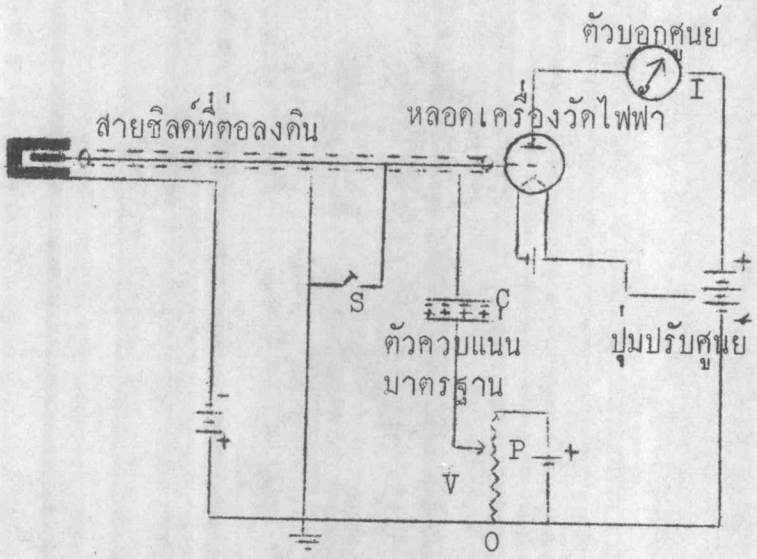
2.2.3 <u>เครื่องวัดรังสีแบบบาลด์วิน ฟาร์เมอร์</u> (Baldwin-Farmer Sub-standard Dosemeter)

ถึงแม้ว่าห้องตัวควบแน่นจะมีขนาดของห้องเล็กสะดวกในการใช้งานก็จริง แต่เวลานำไปวัดรังสีจะต้องถอดเอาเฉพาะห้องไปฉายรังสี เสร็จแล้วจึงนำออกมาอ่านด้วยเครื่องอ่านอีกครั้ง และเวลาถอดเข้าถอดออกจะต้องคอยระวังมิให้ปลายของห้องส่วนที่จะไปต่อเข้ากับเครื่องอ่านไปแตะกับตัวนำหรือฝุ่น ซึ่งจะทำให้เกิดการรั่วไหลของประจุได้ ด้วยเหตุที่เวลาใช้งานมีความยุ่งยากในการระวังรักษาดังกล่าว จึงได้มีผู้คิดเครื่องมือวัดรังสีแบบใหม่ขึ้น โดยให้ห้องที่จะใช้วัดรังสีต่อเข้ากับเครื่องอ่านโดยตรงโดยมีสายยาว ๆ เพื่อจะได้เอาห้องนี้ไปวัดรังสี แล้วอ่านที่เครื่องอ่านได้โดยตรง โดยไม่ต้องถอดเข้าถอดออกอีก เครื่องมือวัดรังสีดังกล่าวนี้คือ เครื่อง

บาลด์วิน ฟาร์เมอร์ สับแสตนดาร์ด โดสมิเตอร์ (Baldwin-Farmer Sub-standard Dosemeter) ซึ่งสามารถวัดรังสีซึ่งมีพลังงานสูงถึง 300 กิโลโวลท์ (kV) ได้ และถ้าจะนำไปทำการวัดกับรังสีแกมม่าจากเครื่องโคบอลต์ ก็จะทำได้โดยใส่บิลด์อัพแคพ (Build up Cap) ที่ห้องนั้น

หัวใจสำคัญของเครื่องบาลด์วิน ก็คือหลอดมาตรวัดไฟฟ้า (Electrometer tube) ซึ่งขากริด (Grid) ของหลอดต่อเข้ากับขั้วตรงกลางของห้อง โดยใช้สายชิลด์ (Shield) อย่างดี (ดูวงจรในรูปที่ 2.6 ประกอบด้วย) โดยตอนแรกปิดสวิทช์ S เพื่อทำให้กริดมีศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์ก่อน จากนั้นก็ปรับที่ปุ่มปรับศูนย์ เพื่อให้ได้กระแสหลอด (Tube Current) ค่าหนึ่ง สมมุติเป็น I_o จากนั้นก็เลื่อนปุ่มสัมผัส P ไปที่ o บนตัวแบ่งความต่างศักย์ หลังจากเปิดเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ จากนั้นก็เปิดสวิทช์ S พร้อมกับเริ่มจับเวลา ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในห้องจะทำให้ประจุลบวิ่งไปที่กริดมาก ซึ่งจะมีผลทำให้กระแสที่เพลต (Plate) ลดลง และตัวบอกศูนย์จะค่อย ๆ เคลื่อนมาทางซ้ายมือ จึงต้องคอยปรับให้ตัวบอกศูนย์อยู่ที่เดิม โดยเลื่อนปุ่มสัมผัส P ขึ้นมาช้า ๆ การเลื่อนปุ่ม P ขึ้นมานี้จะช่วยให้ที่เพลตมีประจุบวกเพิ่มขึ้น และสามารถดึงประจุลบจากกริดได้มากขึ้น ดังนั้นโดยการเลื่อนปุ่มสัมผัส P นี้ ก็จะสามารถปรับกระแสที่เพลตให้มีค่าเท่ากับตอนเริ่มต้น คือ I_o ได้ หลังจากเดินเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์มานานพอแล้วก็ปิดเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ พร้อมกับกดให้นาฬิกาจับเวลาหยุดเดิน แล้วค่อย ๆ ปรับปุ่ม P จนได้ค่า $I = I_o$ พอดี แล้วก็จะอ่านค่า V ได้เลย ประจุทั้งหมดที่สะสมอยู่ในตัวควบแน่น C จะเป็น CV สำหรับตัวมาตรวัดโวลท์(Voltmeter) จะต้องได้รับการปรับเพื่อให้ค่าที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณรังสีในอากาศในหน่วยของเรินท์เก้นให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามเพื่อความถูกต้องในการอ่านจำเป็นต้องคำนึงถึงตัวประกอบการปรับเทียบ (Calibration Factor) ด้วย

ความสะดวกสบายของเครื่องบาลด์วินนี้คือ อ่านได้หลาย ๆ ค่า โดยไม่ต้องวิ่งเข้าวิ่งออกจากห้องรังสีบ่อย ๆ และสามารถวัดรังสีได้สูง บางเครื่องถึง 120 เรินท์เก้น



รูปที่ 2.6 แสดงไดอะแกรมของวงจรของเครื่องบาลด์วิน ฟาร์เมอร์

ข้อที่น่าสังเกตคือเปลือกนอกของสายชิลด์ที่ต่อจากกริดไปยังห้องนั้นจะต้องต่อลงดิน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าตราบใดที่กระแสหลอดเป็น I_o เส้นลวดในสายชิลด์และเปลือกนอกของมันจะมีศักดาไฟฟ้าเท่ากัน ดังนั้นจะไม่มีการรั่วไหลของประจุเกิดขึ้นเลย และนอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันกระแสที่เกิดจากวงจรไฟฟ้า (Stray Ionization) ที่จะเกิดขึ้นแล้วผ่านเข้าไปในหลอดมาตรวัดไฟฟ้าได้ด้วย

ในระหว่างที่ทำการวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่องบาลด์วินนี้ อาจจะเปิดให้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ทำงานอย่างต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ พอต้องการจะวัดก็ปิดสวิทช์ S แล้วเลื่อนปุ่ม P ไปที่ O แล้วปรับปุ่มปรับศูนย์ เพื่อให้ได้ค่า I_o แล้วจึงค่อยเปิดสวิทช์ S พร้อมกับเริ่มจับเวลาหลังจากที่ได้ค่าบนหน้าปัทม์ V โดยต้องตั้ง

ให้เข็มบนหน้าปัทม์ตัวบอกศูนย์เลย I_o ไปเล็กน้อย พอเข็มวิ่งมาถึง I_o ก็ปิดเครื่องบาลด์วินพร้อมกับกดนาฬิกาให้หยุด ก็จะได้ค่าปริมาณรังสีในอากาศบนหน้าปัทม์ของเครื่องบาลด์วิน และเวลาในการฉายรังสีเอกซ์จากหน้าปัทม์นาฬิกา

ในเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์บางเครื่องมักจะต้องใช้เวลาในการปรับตัวเองให้ได้ค่า kV และ mA ตามที่ตั้งเอาไว้ก่อน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณรังสีในอากาศที่ได้ในนาทีแรกจะต่างจากนาทีต่อไปบ้างเล็กน้อย และในบางเครื่องอาจจะมีตัวเปิดปิดลำแสง (Shutter) ซึ่งต้องใช้เวลาในการเปิดและปิดเช่นกัน จึงทำให้เกิดผลคล้ายกับที่กล่าวตอนต้นนี้ ดังนั้นจะเห็นประโยชน์ของเครื่องบาลด์วินในการวัดปริมาณรังสีในอากาศได้ดีกว่าพวกห้องตัวควบแน่นดังกล่าว

2.3 <u>มอนิเตอร์</u> (Monitors)

มอนิเตอร์ก็คือห้องการแตกตัวแบบหนึ่งซึ่งนำเอามาใช้เป็นมาตรบอกการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์หรือแหล่งกำเนิดรังสีอื่น ๆ ที่ให้รังสีออกมาไม่ค่อยจะคงที่นัก เช่น เมกาโวลท์เตจ ลินเนียร์ แอคเซเลอเรเตอร์ (Megavoltage Linear Accelerator) หรือเรียกง่าย ๆ ว่า เครื่องเร่งอนุภาค และบีตาตรอน (Betatron) เครื่องมือเหล่านี้จะให้ปริมาณรังสีออกมาไม่ค่อยจะคงที่นัก[1] จึงต้องอาศัยมอนิเตอร์เป็นมาตรบอกความเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีดังกล่าว ในปัจจุบัน เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการรักษาโรค (Therapy Unit) มักจะมีวงจรควบคุมศักดาไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ให้คงที่ (Voltage Stabilizer) ทำให้ปริมาณรังสีที่ได้ออกมาค่อนข้างคงที่ คือผิด

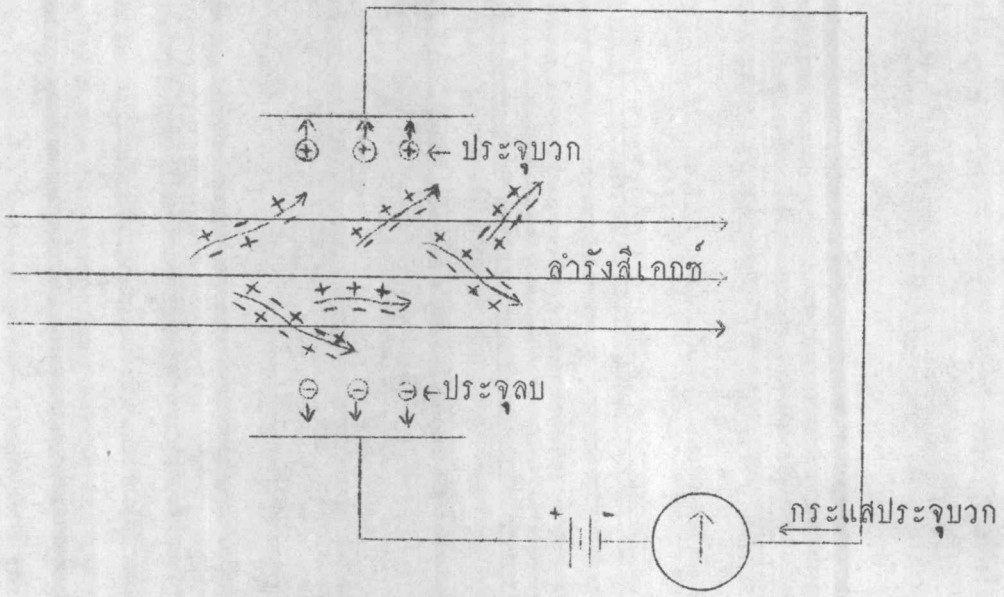
---

[1] John, B. Massey, : Manual of Dosimetry in Radiotherapy, I.A.E.A., Vienna, 1970.

พลาดประมาณ 2% เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามในการสอบเทียบความแม่นยำของเครื่องมือวัดรังสี เราต้องแก้ไขข้อผิดพลาดเหล่านี้ให้หมดไป โดยใช้มอนิเตอร์ช่วยในการทดลอง

2.3.1 หลักการทำงานของมอนิเตอร์

ห้องการแตกตัวที่ใช้เป็นมอนิเตอร์นี้ โดยปรกติจะประกอบด้วยแผ่นบาง ๆ 2 แผ่น ที่ทำจากอลูมิเนียมหรือโพลีสไตรีน แล้วฉาบด้วยคาร์บอนมาวางขนานกัน แล้วห้องการแตกตัวนี้จะต่ออนุกรมเข้ากับแบตเตอรี่ และไมโครแอมมิเตอร์ (Microammeter) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ไดอะแกรม แสดงการทำงานของห้องมอนิเตอร์ซึ่งคล้ายกับการทำงานของห้องการแตกตัวธรรมดา

การจัดแบบนี้ดูค่อนข้างจะง่าย แต่ที่สำคัญคือต้องใช้ไมโครแอมมิเตอร์ที่ไวมาก ๆ เพื่อให้อ่านค่าได้มากพอสมควร ในทางปฏิบัติจะเอาสัญญาณจากห้อง

การแตกตัวนี้ไปผ่านวงจรภาคขยายสัญญาณก่อน แล้วเอาสัญญาณที่ได้จากเครื่องขยายไปเข้าไมโครแอมมิเตอร์เพื่ออ่านค่า ซึ่งวิธีนี้จำเป็นที่จะต้องใช้เครื่อง - ขยายที่มีคุณภาพสูง คือ ต้องมีกำลังขยายคงที่มาก และวงจรภาคขยายนี้จะต้องถูกรบกวนจากวงจรข้างเคียงน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

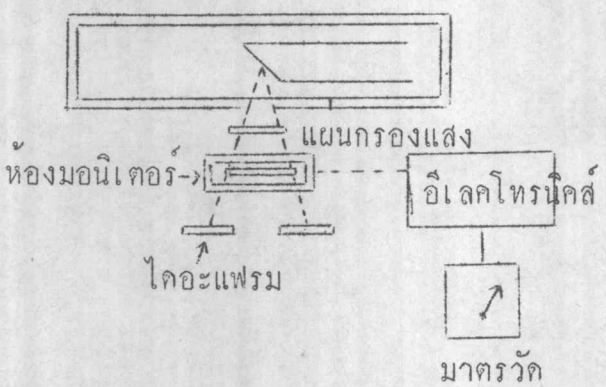
สำหรับมอนิเตอร์ที่จะใช้เป็นตัวบอกความเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีนี้ เมื่อประกอบเข้ากับอุปกรณ์ ประกอบการอ่านอื่น ๆ (Measuring Accessories) แล้ว จะต้องมีความแม่นยำมากกว่าหรือเท่ากับเครื่องมือวัดรังสีที่เราจะนำมาสอบเทียบ นอกจากนี้ยังต้องระวังมิให้ตัวมอนิเตอร์ไปทำให้ความสม่ำเสมอ (Uniformity) ของปริมาณรังสีในลำแสงนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วย คือต้องจัดให้ระนาบของห้องมอนิเตอร์นี้ตั้งได้ฉากกับลำแสงจริง ๆ

2.3.2 <u>แบบของมอนิเตอร์</u>

สำหรับมอนิเตอร์ที่ใช้เป็นบาตรบอกการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ในการทดลองนี้เป็นแบบหนึ่งของห้องการแตกตัว ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ

2.3.2.1 <u>มอนิเตอร์แบบปิดสนิท</u> (Sealed Monitor Chamber) ระบบของมันจะประกอบด้วยห้องการแตกตัวที่วางอยู่ระหว่างจุดโฟกัสของหลอดเอกซเรย์และคนไข้ หรือห้องการแตกตัวที่จะใช้ในการสอบเทียบ ซึ่งปรกติจะอยู่ระหว่างแผ่นกรองแสงและไดอะแฟรม ตัวห้องมอนิเตอร์จะประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 แผ่นวางขนานกัน และแผ่นโลหะคู่ขนานนี้ต้องมีความหนาเท่ากันโดยตลอด เพื่อจะได้ไม่ทำให้ความสม่ำเสมอของลำแสงเอกซ์เปลี่ยนไป และมอนิเตอร์ที่ใช้ควรเป็นแบบปิดสนิท เพื่อว่าปริมาณรังสีที่อ่านได้จะได้ไม่ขึ้นกับค่าอุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนไป กระแสการแตกตัวที่ได้จากห้องการแตกตัวนี้จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรอิเลคโทรนิค และวงจรนี้ต้องออกแบบให้ค่าที่อ่านได้บนหน้าปัทม์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับประจุไฟฟ้าที่ได้จากห้องการแตกตัว หรือพูดง่าย ๆ ก็คือ

ต้องเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีปฐมภูมิที่ผ่านเข้ามายังห้องการแตกตัวนี้ ดังนั้นเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่มีระบบมอนิเตอร์ (Monitor System) แผ่นกรองแสง ตัวกำหนดขนาดลำแสง (Collimator) และศักดาไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์คงที่ จะให้ค่าปริมาณรังสีในอากาศเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าที่อ่านได้จากหน้าปัทม์ของมอนิเตอร์ ดังนั้นจึงอาจพูดถึงปริมาณรังสีที่ได้จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ในเทอมของเรินท์เก้นต่อหนึ่งหน่วยมอนิเตอร์ (Roentgen per monitor division) หรือแรดต่อหนึ่งหน่วยมอนิเตอร์ (Rad per monitor division) แทนที่จะพูดถึงในเทอมของเรินท์เก้นหรือแรดต่อนาที และสามารถคำนวณหาค่าปริมาณรังสีในอากาศตามต้องการได้โดยคำนวณเทียบจากค่าที่อ่านได้จากมอนิเตอร์เหมือนกับที่คำนวณหาปริมาณรังสีในอากาศโดยเทียบจากเวลาเช่นกัน



รูปที่ 2.8 แสดงระบบมอนิเตอร์ที่ใช้บอกปริมาณรังสีที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

2.3.2.2 มอนิเตอร์แบบปิดไม่สนิท (Unsealed Monitor Chamber) ถ้าไม่สามารถทำให้มอนิเตอร์เป็นแบบปิดสนิทได้ ก็ต้องเอาค่าที่อ่านได้จากมอนิเตอร์มาคำนวณแก้ค่าอุณหภูมิและความดันของแกสภายในห้องนั้นให้ถูก

ต้องซึ่งในการที่จะคำนวณแก้ค่านี้ จะต้องระวังให้มากเนื่องจากค่าอุณหภูมิและความดันภายในห้องปฏิบัติการ และภายในห้องการแตกตัวมอนิเตอร์จะต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากในบางกรณีถ้าจัดให้มอนิเตอร์อยู่ใกล้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์มากเกินไป เมื่อเดินเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์นาน ๆ หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์จะร้อนขึ้นและถ่ายเทความร้อนบางส่วนมาให้มอนิเตอร์ ทำให้อุณหภูมิภายในห้องการแตกตัวมอนิเตอร์มีค่าสูงกว่าภายในห้องปฏิบัติการดังกล่าว และอีกประการหนึ่งคือ อุณหภูมิในห้องปฏิบัติการจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงไม่สามารถบอกได้ว่าอุณหภูมิภายในห้องการแตกตัวมอนิเตอร์จริง ๆ เป็นเท่าไรได้ ทางที่ดีที่สุดจึงควรใช้มอนิเตอร์แบบปิดสนิทมากกว่า แต่ถ้ามอนิเตอร์เป็นแบบปิดไม่สนิทก็ต้องคำนวณแก้ค่าอุณหภูมิและความดันด้วยสมการ 2.6 โดยเอาค่าตัวประกอบการแก้สำหรับอุณหภูมิ และความดันที่ได้จากสมการ 2.6 ไปคูณกับค่าที่อ่านได้จากหน้าปัทม์ของมอนิเตอร์ แล้วเอาค่าที่แก้ค่าอุณหภูมิและความดันแล้วนี้ไปเป็นตัวเปรียบเทียบเพื่อดูความคงที่ของปริมาณรังสีที่ได้จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ต่อไป

สำหรับมอนิเตอร์ที่ใช้ในการสอบเทียบนี้เป็นแบบปิดไม่สนิท ซึ่งทาง – ประเทศเยอรมันได้ทำการปรับเทียบให้อ่านค่าได้ถูกต้องที่อุณหภูมิ ๐ ๐ ความดัน 760 มม.ปรอท ดังนั้นตัวประกอบการแก้สำหรับอุณหภูมิและความดันของมอนิเตอร์จึงเป็น

$$C.F._{t\&P} = \frac{273 + t}{273} \times \frac{760}{P} \quad \text{.....(2.12)}$$