บทที่ 9
อันตรายจากรังสี

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการกระทำของรังสีกับน้ำ
2. ศึกษาผลของรังสีที่มีต่อระบบต่าง ๆในร่างกาย
3. ศึกษาปริมาณรังสีสูงสุดที่ยอมรับได้
4. ศึกษาการระวังป้องกันอันตรายจากรังสี

9.1 บทนำ

ร่างกายประกอบด้วยอวัยวะต่างๆ อวัยวะประกอบจากเซล เซลประกอบจากโมเลกุล โมเลกุลประกอบขึ้นจากอะตอม ดังนั้น เมื่อรังสีพุ่งเข้าชนร่างกาย รังสีจะเกิดการชนกับอะตอมชนิดต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นร่างกาย หลังจากการชนแล้วรังสีจะถ่ายเทพลังงานให้แก่อะตอมที่ถูกชน ก่อให้เกิดความเสียหายขึ้น ถ้าความเสียหายมีมากร่างกายไม่สามารถซ่อมแซมเข้าสู่สภาพเดิม ก็ทำให้ผู้ได้รับรังสีเกิดอาการป่วยได้

ผลของรังสีที่มีต่อร่างกาย อาจจะแบ่งเป็น 2 ชนิด

1. **ผลโดยตรง** (direct action) รังสีทำให้โมเลกุลเกิดการแตกโดยตรง เกิดความเสียหายขึ้น โมเลกุลที่รับรังสีเกิดความเสียหาย

2. **ผลโดยอ้อม** (indirect action) โมเลกุลที่เกิดการเสียหายไม่ได้ถูกรังสีโดยตรง แต่เป็นเพราะว่าได้รับพลังงานจากรังสีโดยอ้อม โดยการเกิดปฏิกริยาทางเคมีแล้วถ่ายทอดต่อๆ กัน จนผลสุดท้ายโมเลกุลที่ไม่ได้ถูกรังสีเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นได้

เนื่องจากร่างกายประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลของรังสีที่มีต่อน้ำ

9.2 การกระทำของรังสีกับน้ำ

เมื่อฉายรังสีลงไปในน้ำจะทำให้น้ำเกิดการแตกตัว อีเล็คตรอนหลุดออกจากโมเลกุล เคลื่อนไปตามส่วนต่างๆ ของตัวกลาง โมเลกุลของน้ำจะเปลี่ยนเป็นประจุบวก

$$H_2O \xrightarrow{\text{รังสี}} H_2O^+ + e \quad \text{(อีเล็คตรอน)}$$

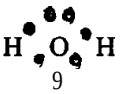
น้ำที่ไม่เกิดการแตกตัวอาจจะจับอีเล็คตรอนไว้เปลี่ยนเป็น H_2O^-

$$e + H_2O \longrightarrow H_2O^-$$

ดังนั้น เมื่อฉายรังสีไปที่น้ำ จะเกิด H_2O^+ และ H_2O^- ขึ้น ทั้งสองตัวนี้จะเกิดปฏิกริยาต่อไป ทำให้ได้ H, OH, H_2O_2 และ HO_2 ซึ่งจะแสดงให้เห็นต่อไป

ไอออน H_2O^+ และ H_2O^- ไม่เสถียร ภายในเวลา 10^{-16} วินาที จะสลายตัวเป็นฟรีเรดิคอล (free radical)

อาจจะแสดงอีเล็คตรอนวงสุดท้ายได้ดังนี้

H_2O^+ = 

H_2O^- =

H_2O^+ และ H_2O^- มีอีเล็คตรอน 7 ตัว และ 9 ตัวตามลำดับ ไอออนทั้งสองไม่อยู่ตัวและจะแตกตัวทันที

$$H_2O^+ \longrightarrow H^+ + OH$$
$$H_2O^- \longrightarrow H + OH^-$$

ไอออนของน้ำทั้งสองตัวแตกตัวได้ไอออนที่เล็กลง (H_2O^+ ได้ H^+ และ H_2O^- ได้ OH^-) ฟรีเรดิคอล คือ H° และ OH° (เครื่องหมาย $^\circ$ แสดงถึงอีเล็คตรอนที่ไม่มีคู่, unpaired electron)

ฟรีเรดิคอลเป็นตัวที่มีความไวในการทำปฏิกริยามาก ในน้ำบริสุทธิ์จะทำปฏิกริยาภายในเวลา 10^{-5} วินาที ปฏิกริยาที่เกิดจากฟรีเรดิคอลเป็นปฏิกริยาโดยอ้อม (indirect action) ดังนั้นฟรีเรดิคอลจึงทำปฏิกริยากับน้ำ, โมเลกุลหรือสารอื่นเกิดปฏิกริยาทางเคมีขึ้น เกิดการถ่ายเทพลังงานของรังสีให้แก่น้ำหรือโมเลกุลอื่น ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

ปฏิกริยาที่เกิดจากฟรีเรดิคอลอาจจะแบ่งเป็น 5 ชนิด คือ

ก. โดยทั่วไป ฟรีเรดิคอลจะทำปฏิกริยากันเอง

1. $H^{\circ} + OH^{\circ} \longrightarrow H_2O$ เกิดน้ำ
2. $H^{\circ} + H^{\circ} \longrightarrow H_2$ เกิดไฮโดรเจน
3. $OH^{\circ} + OH^{\circ} \longrightarrow H_2O_2$ เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ข. ฟรีเรดิคอลทำปฏิกริยากับน้ำ

$$H^{\circ} + H_2O \longrightarrow H_2O + OH^{\circ}$$

ค. ฟรีเรดิคอลทำปฏิกริยากับผลที่เกิดจากปฏิกริยา

1. $H_2 + OH^{\circ} \longrightarrow H_2O + H^{\circ}$
2. $H_2O_2 + OH^{\circ} \longrightarrow HO_2^{\circ} + H_2O$
3. $HO_{2o} + HO_{2o} \longrightarrow H_2O_2 + O_2$
4. $HO_{2o} + OH^{\circ} \longrightarrow H_2O + O_2$

หมายเหตุ HO_{2o} เกิดจากปฏิกริยาระหว่าง H° และโมเลกุลออกซิเจน O_2

ง. ฟรีเรดิคอลทำปฏิกริยากับออกซิเจน

จ. ฟรีเรดิคอลทำปฏิกริยากับอินทรีย์ โมเลกุลซึ่งประกอบขึ้นเป็นเซลและเนื้อเยื่อ ทำให้อินทรีย์โมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นการเกิดปฏิกริยาโดยอ้อม กล่าวคือ รังสีถ่ายเทพลังงานให้แก่น้ำ ชักนำให้เกิดปฏิกริยาทางเคมี ทำให้โมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เซลเกิดความเสียหายขึ้น นั่นคือ รังสีก่อให้เกิดความเสียหายแก่เซล ซึ่งจะแสดงให้เห็นตามสมการต่อไปนี้

1. $HO_2^{\circ} + RH \longrightarrow R^{\circ} + H_2O_2$
2. $RH + HO_2^{\circ} \longrightarrow RO^{\circ} + H_2O$

ถ้า RH เป็นอินทรีย์โมเลกุลพื้นฐาน ซึ่งมีผลต่อขบวนการเจริญเติบโตของเซล และ RO° เป็นฟรีเรดิคอลของอินทรีย์โมเลกุล จะพบว่าอินทรีย์โมเลกุล เกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้การเจริญเติบโตของเซลเปลี่ยนแปลงไปด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ก็เป็นสารที่เป็นพิษต่อเซล ถ้ามีมากจะสามารถทำลายเซลได้

9.3 ผลของรังสีที่มีต่อเซล

รังสีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเซล ดังนี้

1. ยับยั้งการแบ่งตัวของเซล
2. เกิดการเปลี่ยนแปลงในนิวเคลียส
3. ทำให้เซลตาย
4. ทำให้ไมโครโซมเกิดการเปลี่ยนแปลงจากเดิมหรือถูกทำลายได้
5. ทำให้เกิดความผิดปกติของเซล

9.4 ผลของรังสีที่มีต่อระบบต่างๆ ในร่างกาย

รังสีจะทำให้ระบบต่างๆ ในร่างกายเกิดการเปลี่ยนแปลง

1. ระบบสร้างเม็ดโลหิต (hematopoetic system) เซลต่างๆ ในกระดูกถูกทำลาย ทำให้ไขกระดูกไม่สามารถสร้างเม็ดเลือด เป็นผลให้เม็ดเลือดลดลง เกิดโลหิตจาง นอกจากนี้ เม็ดเลือดขาวยังลดลงด้วย ทำให้อำนาจในการต้านทานโรคลดลง เกิดภาวะติดเชื้อได้ง่าย

2. ระบบสืบพันธุ์ (reproductive system) ทำให้การผลิตเซลสืบพันธุ์ลดลง พบว่า รังสีประมาณ 175 เรม สามารถทำให้เกิดการเป็นหมันแบบชั่วคราวได้ นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนที่ยีน (gene) ซึ่งเป็นตัวถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์ ซึ่งอาจจะถ่ายทอดความผิดปกติต่อไปยังลูกหลานได้

3. ระบบน้ำเหลือง (lymphatic system)

4. ระบบทางเดินอาหาร (gastrointestinal tract) ทำให้เกิดแผล โลหิตออก และเกิดการอักเสบตามทางเดินอาหาร รังสีทำลายเซลบุลำไส้ ทำให้พื้นที่ในการดูดซึมอาหารลดลง เกิดภาวะการขาดอาหาร

5. ผิวหนัง (skin) อาการเหมือนกับการถูกความร้อน อาการเริ่มแรกเป็นผื่นแดง มีเลือดมาเลี้ยงบริเวณนั้นมาก เกิดการคลั่งของเลือดตามบริเวณนั้น ต่อมเส้นเลือดฝอยแตก มีน้ำเหลืองไหล เกิดหนองและผิวหนังถูกทำลายในที่สุด

6. ตา ส่วนของตาที่ไวต่อรังสีมากที่สุด คือ เลนซ์ตา อาจจะทำให้เกิดต้อกระจกได้

7. สมอง เป็นส่วนที่ไวต่อรังสีน้อยที่สุด เพราะประกอบขึ้นจากเซลที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว

9.5 ชนิดของผลเนื่องจากรังสี

รังสีไม่เพียงแต่ทำให้เกิดผลแก่ผู้ที่ได้รับรังสีเท่านั้น แต่ยังมีผลต่อลูกหลานของคนนั้น

อีกด้วย ดังนั้นจึงอาจจะแบ่งผลจากการถูกรังสีออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ผลโดยตรง (somatic effect) หมายถึง ผลที่เกิดขึ้นกับร่างกายส่วนหนึ่งส่วนใดของบุคคลที่ถูกรังสี แบ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นทันทีทันใดที่ได้รับรังสี (acute somatic effect) และผลที่ค่อยๆ เกิดขึ้นโดยใช้เวลานาน (chronic somatic effect)

ผลที่เกิดขึ้นทันทีทันใดเกิดจากการรับรังสีปริมาณสูงในช่วงเวลาสั้นๆ เช่น เมื่อเกิดอุบัติเหตุจากการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสี หรือได้รับรังสีจากระเบิดปรมาณู จะมีอาการต่างๆ ขึ้นกับปริมาณรังสีที่ได้รับดังนี้

ก. ปริมาณรังสี 0 - 25 เรม ไม่ ปรากฏอาการเปลี่ยนแปลงในร่างกายที่น่าวิตก

ข. ปริมาณรังสี 25 -50 เรม เกิดอาการเปลี่ยนแปลงในโลหิตแต่ไม่ร้ายแรง

ค. ปริมาณรังสี 50 - 200 เรม มีอาการป่วยเนื่องจากรังสีเกิดขึ้นบ้าง

ง. ปริมาณรังสี 200 - 400 เรม การป่วยเนื่องจากรังสีเกิดขึ้นมากจนอาจถึงตายได้

จ. ปริมาณรังสีมากกว่า 400 เรม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในหลายระบบในร่างกาย ผู้ป่วยมีโอกาสเสียชีวิตมาก

ผลที่เกิดขึ้นจากการรับรังสีจำนวนน้อยแต่เป็นเวลานาน เช่น ผู้ทำงานกับรังสี ขณะนี้กำลังศึกษาค้นคว้าอยู่ซึ่งจะต้องใช้เวลานาน แต่ก็พอสรุปได้ดังนี้

ก. ทำให้เกิดโรคมะเร็ง จากการศึกษาพบว่า รังสีอาจจะทำให้เกิดมะเร็งของปอด มะเร็งของกระดูก มะเร็งของผิวหนัง มะเร็งของต่อมไทรอยด์ และมะเร็งของเม็ดโลหิตขาวได้

ข. ทำให้อายุสั้น พบว่า อายุของรังสีแพทย์สั้นกว่าแพทย์สาขาอื่น อย่างไรก็ตามยังไม่ปรากฏหลักฐานยืนยันแน่นอน

ค. ทำให้เป็นต้อกระจก เนื่องจากเซลบุเลนซ์ตามีความไวต่อรังสีมาก เมื่อได้รับรังสีอาจจะตายได้ ทำให้นัยน์ตาขุ่นมัวขึ้น เกิดเป็นต้อกระจก

2. ผลต่อพันธุกรรม (genetic effect) เป็นผลที่เกิดขึ้นแก่เซลสืบพันธุ์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ยีน ซึ่งจะแสดงออกต่อไปในลูกหลาน เป็นผลซึ่งจะต้องคำนึงถึงมากในอนาคต

9.6 ปริมาณรังสีสูงสุดที่ยอมให้รับได้

คณะกรรมการว่าด้วยการป้องกันรังสีระหว่างประเทศ ได้กำหนดค่าปริมาณรังสีสูงสุดที่ยอมให้รับได้ (maximum permissible dose อักษรย่อ MPD) ดังนี้

ก. **สำหรับผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับรังสี**

1. อวัยวะสืบพันธุ์ ไขกระดูก ยอมให้รับรังสีได้ประมาณไม่เกินปีละ 5 เรม โดยมีข้อกำหนดว่า ภายใน 13 สัปดาห์จะต้องรับไม่เกิน 3 เรม และที่อายุใดๆ จะต้องได้รับรังสีรวมแล้ว

ไม่เกินค่าที่หาได้จากสูตร 5 (อายุ - 18) เรม

2. ผิวหนัง กระดูก ต่อมไทรอยด์ ยอมให้รับรังสีได้ปริมาณไม่เกินปีละ 30 เรม โดยมีข้อกำหนดว่า ภายใน 13 สัปดาห์จะต้องรับไม่เกิน 15 เรม

3. มือและแขน เท้าและข้อเท้า ยอมให้รับรังสีได้ไม่เกินปีละ 75 เรม โดยมีข้อกำนดว่า ภายใน 13 สัปดาห์ จะต้องรับไม่เกิน 40 เรม

4. อวัยวะอื่นๆ ยอมให้รับรังสีได้ ปริมาณไม่เกินปีละ 15 เรม โดยมีข้อกำหนดว่า ภายใน 13 สัปดาห์ จะต้องรับไม่เกิน 8 เรม

หมายเหตุ

1. กรณีที่อายุน้อยกว่า 18 ปี กำหนดว่า ยอมให้รับรังสีปริมาณไม่เกินปีละ 5 เรม และที่อายุ 30 ปี จะต้องไม่เกิน 60 เรม

2. ในกรณีที่บุคคลได้รับรังสีเกิน 5 เรม ในปีหนึ่งแล้ว ปีถัดไปจะต้องให้รับน้อยลง เพื่อว่าที่อายุปีนั้นรวมได้รรังสีแล้วไม่เกินค่าที่หาได้จากสูตร 5 (อายุ - 18) เรม

ข. **สำหรับประชาชนทั่วๆ ไปที่ไม่ได้ทำงานทางรังสี**

มีการกำหนดไว้ว่าในปีหนึ่งๆ ไม่ควรให้ได้รับรังสีเกิน 1/10 เท่าของค่าที่กำหนดสำหรับผู้ที่ทำงานทางรังสี

9.7 แฟคเตอร์ที่มีผลต่ออันตรายจากรังสี

อันตรายจากรังสีจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. ปริมาณรังสีที่ได้รับ ยิ่งได้รับรังสีมากอันตรายยิ่งเกิดขึ้นมาก

2. อัตราการรับรังสี ปริมาณรังสีจำนวนเท่ากัน ถ้ารับในระยะเวลาสั้นๆ จะเป็นอันตรายมากกว่าค่อยๆ รับรังสีเป็นเวลานาน

3. ชนิดของอวัยวะที่รับรังสี อวัยวะต่างๆ มีความไวต่อรังสีไม่เท่ากัน อวัยวะที่มีการแบ่งตัวของเซลมากจะมีความไวต่อรังสีมาก อวัยวะที่ไวต่อรังสีมาก คือ อวัยวะสืบพันธุ์ และไขกระดูก

4. ชนิดของรังสี รังสีเบตามีอันตรายมากกว่ารังสีแกมมา ถ้าแหล่งกำเนิดรังสีอยู่ภายในร่างกาย เพราะว่ารังสีเบตาจะถ่ายเทพลังงานให้กับเนื้อเยื่อในบริเวณเล็กๆ ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นในบริเวณนั้นมาก

5. ชนิดของสารกัมมันตรังสี สารกัมมันตรังสีต่างก็แผ่รังสี และให้รังสีที่มีพลังงานต่างๆ กัน สารบางชนิดให้รังสีเบตาซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายมาก สารที่เหมาะในการนำมาใช้งาน ก็คือ สารที่เกิดการสลายตัวแบบอเล็คตรอนแคฟเจอร์ ซึ่งจะให้รังสีแกมมาออกมา

9.8 การระวังป้องกันอันตรายจากรังสี (radiation protection)

เมื่อทำงานเกี่ยวกับรังสีจะได้รับรังสีด้วย จะต้องพยายามลดปริมาณรังสีที่ได้รับให้มีค่าน้อยที่สุด หลักในการลดปริมาณรังสีมีอยู่ 3 ประการ คือ

1. **เวลา** พยายามใช้เวลาให้น้อยที่สุดเมื่อทำงานกับรังสี

2. **ระยะทาง** ความแรงของรังสีจะเป็นสัดส่วนกลับกับกำลังสองของระยะทาง ถ้าระยะทางมาก ความแรงของรังสีจะน้อย ถ้าระยะทางน้อยความแรงของรังสีจะมีค่ามาก ดังนั้นเวลาทำงานกับรังสี จะต้องพยายามอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีให้มากที่สุด

3. **เครื่องกำบังรังสี** เมื่อจะเข้าใกล้แหล่งกำเนิดรังสี จะต้องหาวัตถุกั้นรังสีที่จะมาถึงตัวไว้ เครื่องกำบังจะต้องทำจากวัตถุที่มีความหนามาก มีน้ำหนักอะตอมสูง

ตารางที่ 9.1 ความหนาของตะกั่วและคอนกรีตที่สามารถสะกัดกั้นรังสีแกมมาจากไอโอดีน-131 และโซเดียม-24

จำนวนที่ผ่าน (เปอร์เซ็นต์)	ไอโอดีน-131		โซเดียม-24	
	ความหนาตะกั่ว (ซม.)	ความหนาคอนกรีต (ซม.)	ความหนาตะกั่ว (ซม.)	ความหนาคอนกรีต (ซม.)
10	1.0	15	5.5	40
1	2.5	30	11.0	70
0.1	5.0	45	16.5	100
0.01	7.5	60	22.0	130

9.9 เครื่องวัดรังสีที่ใช้ในการป้องกันรังสี

1. เครื่องสำรวจรังสี (survery meter) เป็นเครื่องวัดขนาดเล็ก ใช้แบตเตอรี สามารถนำติดตัวไปตามที่ต่างๆ ได้สะดวก

2. เครื่องบันทึกรังสีประจำตัวบุคคล ใช้บันทึกปริมาณรังสีทั้งหมดที่ผู้ทำงานกับรังสีได้รับ จะต้องมีประจำตัวทุกคน มีหลายแบบ คือ

2.1 ฟิล์มแบด

2.2 เครื่องวัดรังสีรูปปากกา

2.3 ทีแอลดี

3. เครื่องเตือนรังสีประจำบุคคล สามารถส่งเสียงได้เมื่อระดับรังสีเกินค่ากำหนดไว้

4. เครื่องวัดรังสีประจำที่ (radiation monitor) ตั้งประจำไว้ในบริเวณที่มีรังสีบางชนิดมีเสียงด้วย

9.10 คอนเด็นเซอร์แชมเบอร์

คอนเด็นเซอร์แชมเบอร์ (condenser chamber) เป็นเครื่องมือวัดรังสีที่มีขนาดเล็ก สามารถนำติดตัวไปตามที่ต่าง ๆ ได้สะดวก หรือใช้วัดรังสีในพื้นที่จำกัด ใช้วัดรังสีเอ็กซ์ที่ใช้ในการวินิจฉัยโรค (diagnostic x-rays) และการรักษาโรค (therapeutic x-rays) ได้ทุกระดับพลังงานโดยการเลือกใช้แชมเบอร์ที่เหมาะสม อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ร่วมกันมีจำนวนน้อยจึงง่ายต่อการซ่อมแซมและรักษาค่าที่อ่านจากสเกล (scale) เป็นผลรวมของปริมาณรังสีในช่วงเวลาหนึ่ง วัดรังสีได้แม่นยำพอควรส่วนมากใช้กับงานด้านการป้องกันรังสี

ในการวัดรังสีจะต้องใช้ทั้งคอนเด็นเซอร์แชมเบอร์และคอนเด็นเซอร์อาร์มิเตอร์ (condenser r-meter) ร่วมกัน โดยที่คอนเด็นเซอร์แชมเบอร์เป็นส่วนรับรังสีและคอนเด็นเซอร์อาร์มิเตอร์เป็นส่วนรายงานผล

9.10.1คอนเด็นเซอร์แชมเบอร์

ประกอบด้วยทิมเบิลแชมเบอร์ (thimble chamber) ต่อขนาดอย่างถาวรกับโพลิสไตรีนคอนเด็นเซอร์ (polystyrene condenser) ตรงกลางทิมเบิลแชมเบอร์มีขั้วไฟฟ้า (central electrode) ต่อกับคอนเด็นเซอร์ ภายในทิมเบิลแชมเบอร์มีอากาศที่ทราบปริมาตรแน่นอนบรรจุอยู่ คอนเด็นเซอร์มีลักษณะเป็นรูปตัวยู โดยมีวัตถุที่นำไฟฟ้าได้เคลือบขนานกับผิวของตัวยูทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วของคอนเด็นเซอร์ ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองนี้มีฉนวนทำจากโพลีสไตรีนแทรกอยู่ ก่อนที่จะนำไปวัดรังสีจะต้องให้ระจุแก่คอนเด็นเซอร์จนมีความต่างศักย์ค่าหนึ่ง

เมื่อรังสีตกกระทบอากาศภายในแซมเบอร์ จะทำให้อากาศเกิดการแตกตัว (ionization) ได้ไอออนบวก (positive ion) และประจุลบ (negative charge) ซึ่งจะถูกดึงดูดโดยขั้วไฟฟ้าที่มีประจุต่างกัน ทำให้ประจุบนคอนเด็นเซอร์ลดลงเนื่องจากปริมาณไอออนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ตกกระทบแซมเบอร์ ดังนั้นประจุบนคอนเด็นเซอร์ที่ลดลงจะเป็นปฏิภาคกับปริมาณรังสี ใช้คอนเด็นเซอร์อาร์มิเตอร์วัดประจุบนคอนเด็นเซอร์จะทราบปริมาณรังสี

นอกจากนี้ยังมีแซมเบอร์แคป (echamber eap) หุ้มคอนเดนเซอร์อีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศภายในคอนเด็นเซอร์เกิดการแตกตัว ซึ่งจะทำให้ปริมาณรังสีที่วัดได้ผิดพลาดไป ไอออนจะต้องเกิดภายในทิมเบิลแซมเบอร์เท่านั้น ดังนั้นเมื่อนำคอนเด็นเซอร์เบอร์ไปวัดรังสีจะต้องพยายามจัดให้ลำรังสีตกกระทบทิมเบิลแซมเบอร์เท่านั้น อย่างไรก็ตามเมื่อวางคอนเด็นเซอร์แซมเบอร์ไว้ในลำรังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงาน 2-24 บ้านอิเล็คตรอนโวลต์ จะทำให้เกิดไอออนเหล่านี้จะรวมตัวกลับสู่สภาวะเดิม เพราะว่าภายในคอนเด็นเซอร์ไม่มีสนามไฟฟ้าที่จะดึงดูดไอออนไว้

ความไวของแซมเบอร์ (Sensitivity of chamber)

เมื่อคอนเด็นเซอร์แซมเบอร์ที่มีความจุ C ฟารัด (Farad) ได้รับรังสีจำนวน R เรินท์เกน (Roentgen) และแซมเบอร์มีปริมาตรของอากาศ V ลูกบาศก์เซ็นติเมตร ดังนั้นประจุที่เกิดขึ้น Q

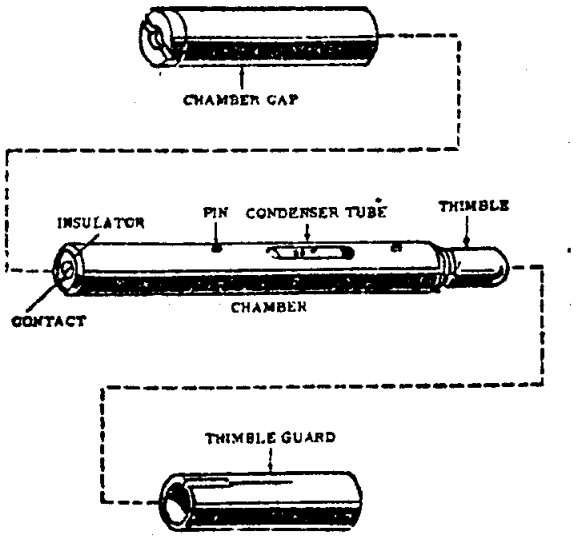
$$Q = VR \text{ อีเอสยู (esu)} = \frac{VR}{3\times10^{9}} \text{ คูลอมป์}$$

ซึ่งจะทำให้เกิดศักย์ตกคร่อมแซมเบอร์ $= \frac{VR}{3\times10^{9}C}$ คูลอมป์

ความไวของแซมเบอร์ (S) = ศักย์ตกคร่อมแซมเบอร์ต่อเรินท์เกน

$$S = \frac{\text{(โวลต์)}}{\text{เรินท์เกน}} = \frac{V}{3\times10^{9}C}$$

ถ้า C มีหน่วยเป็นไมโครไมโครฟารัด ($\mu\mu F$)



รูป 9.1 แชมเบอร์และแชมเบอร์แคป

จะเห็นได้ว่าความไวของแชมเบอร์ขึ้นอยู่กับปริมาตรของอากาศในแชมเบอร์และความจุของแชมเบอร์ ถ้าต้องการสร้างแชมเบอร์ที่มีความไวมาก คือมีศักย์ตกคร่อมต่อเรินท์เกนมาก จะต้องใช้แชมเบอร์ที่มีปริมาตรของอากาศมาก และความจุน้อย แต่ถ้าต้องการให้แชมเบอร์วัดรังสีได้มากจะต้องทำให้ปริมาตรของอากาศมีค่าน้อยและความจุมีค่ามาก ถึงแม้ว่า ตามทฤษฎีจะหาความไวจากปริมาตรและความจุได้ แต่ในทางปฏิบัติจะวัดค่าทั้งสองได้ยากมาก จึงหาความไวโดยการวัดค่าศักย์ตกคร่อมเมื่อได้รับรังสีจำนวนหนึ่ง

คอนเด็นเซอร์แชมเบอร์มีหลายขนาด มีรูปร่างต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการใช้งานแชมเบอร์แต่ละชนิดจะมีความไวต่อรังสีในช่วงพลังงานต่าง ๆ กัน สามารถรับรังสีที่มีความเข้มต่างกันฉนวนที่ใช้อาจเป็นแบคเคไลท์ (bakelite) ไนลอน (nylon) หรือไมลาร์ (mylar)

9.10.2 คอนเด็นเซอร์อาร์มิเตอร์

มีส่วนประกอบคือ อีเลคโทรมิเตอร์ (electrometer) กับวงจรเพิ่มและลดประจุ (charging and discharging circuit) บรรจุอยู่ในกล่อง

อีเล็คโทรมิเตอร์

ใช้วัดประจุบนคอนเด็นเซอร์แชมเบอร์ ชนิดที่จะกล่าวถึง คือ สตริงอีเล็คโทรมิเตอร์ (string electrometer) ซึ่งเป็นเครื่องวัดที่ใช้มานานแล้วปัจจุบันมีอุปกรณ์ทางอีเล็คโทรนิคที่ใช้แทนสตริงอีเล็คโทรมิเตอร์ ส่วนประกอบของสตริงอีเล็คโทรมิเตอร์แสดงในรูป 3 ส่วนสำคัญคือลวดพลาตินัม (platinum string) ขนาดเล็กซึ่งปลายทั้งสองข้างเชื่อมอยู่กับเหล็กรูปเกือกม้า ดีเฟล็กติงอีเล็คโทรด (deflecting electrode) เป็นสกรูยาวยื่นมาจากด้านข้างของกล่องที่หุ้มอีเล็คโทรมิเตอร์ ปลายของสกรูวางอยู่ใกล้กับกึ่งกลางของลวด เมื่อให้ประจุบวกแก่ลวด จะเกิดการดึงดูดกับประจุลบบนดีเฟล็กติง อีเล็คโทรด ทำให้ลวดเบี่ยงเบนจากตำแหน่งเดิม การเบี่ยงเบนของลวดขึ้นอยู่กับประจุบนลวด สังเกตการเบี่ยงเบนโดยใช้กล้องขยายและอ่านค่าบนสเกลที่อยู่บนเลนซ์ใกล้ตา (eyepieca) แต่ละช่วงของสเกลจะเป็นไปตามศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป

ตาราง 9.2 แสดงศักย์ไฟฟ้าที่สอดคล้องกับค่าที่อ่านได้บนสเกล ตารางนี้ได้มาจากการต่อแหล่งจ่ายกำลัง (power supply) กับขั้วไฟฟ้าของอีเล็คโทรมิเตอร์ แล้วเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าต่างๆ ซึ่งจะทำให้สเกลเปลี่ยนตำแหน่งไป

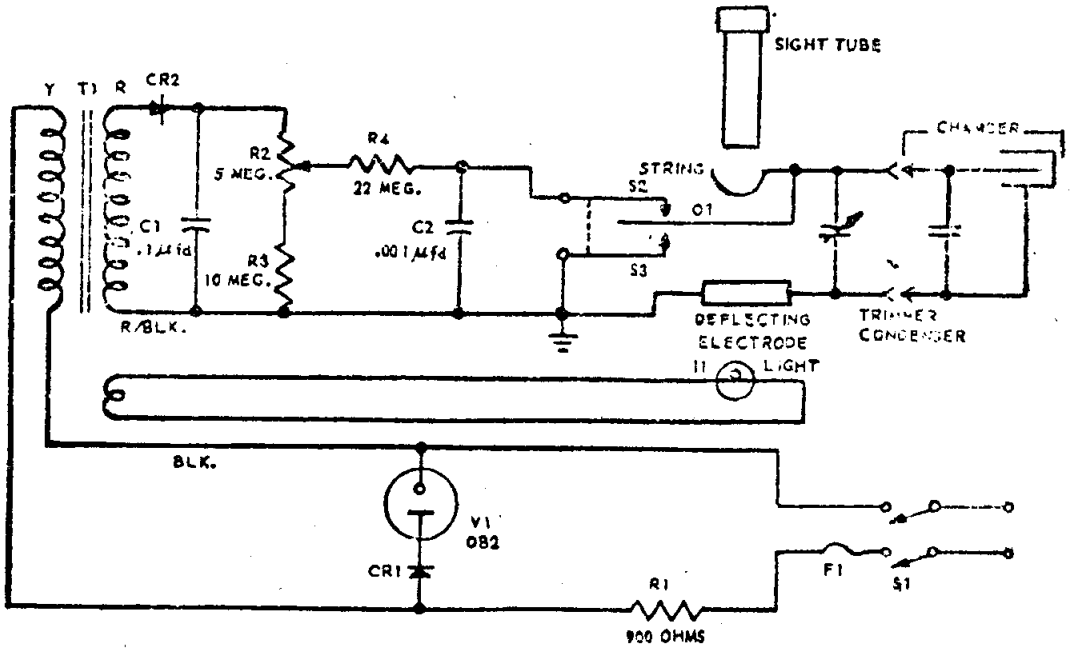
ตาราง 9.2 ศักย์ไฟฟ้าของอีเล็คโทรมิเตอร์

ค่าบนสเกล ช่วง 25 R	ศักย์ (โวลต์)	การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า ต่อ 5R
0	378.0	
5	331.3	46.0
10	283.1	48.0
15	234.2	48.9
20	186.2	48.0
25	138.1	48.1
Z	0	เฉลี่ย 48.1

ความไว $= \frac{48.0}{5} = 9.60$ โวลต์/เรินท์เกน

วงจรเพิ่มประจุและลดประจุ

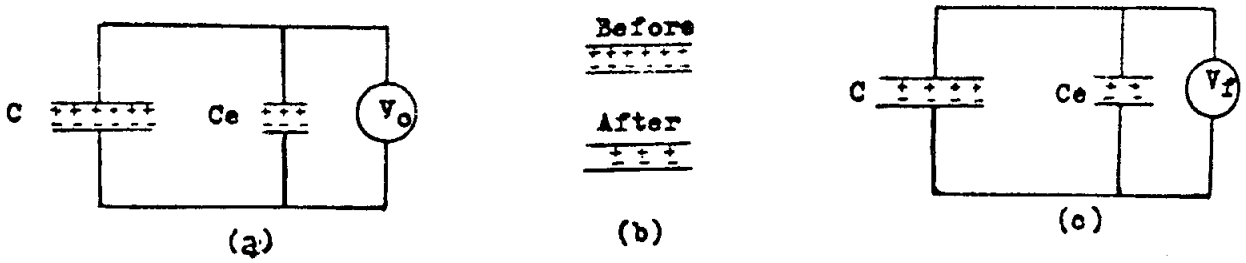
วงจรเพิ่มประจุและลดประจุแสดงในรูป 9.2 เป็นวงจรที่แปลงไฟสลับเป็นไฟตรง เป็นชนิดครึ่งคลื่น (half-wave rectifier) มีทรานสฟอร์เมอร์ (transformer) T1 เปลี่ยนไฟสลับให้ได้โวลต์ตามต้องการ ไดโอด CR2 เปลี่ยนไปสลับเป็นไฟตรง คาปาซิเตอร์ (capacitor) C1, C2 ทำให้ไฟตรงเรียบยิ่งขึ้น เมื่อทำให้สวิทซ์ S2 และจุด 01 สัมผัสกัน จะมีศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมอีเล็คโทรมิเตอร์และคอนเด็นเซอร์แชมเบอร์ที่นำมาต่อ ทำให้คอนเด็นเซอร์แชมเบอร์มีประจุเพิ่มขึ้น หมุนโพเทนซิโอมิเตอร์ (potentiometer) R2 ปรับค่าศักย์ไฟฟ้าของอีเล็คโทรมิเตอร์และแชมเบอร์ เมื่อสวิทซ์ S2 และ 01 ไม่สัมผัสกัน จะไม่มีไฟไปเลี้ยงอีเล็คโทรมิเตอร์และแชมเบอร์ ถ้าสวิทซ์ S3 สัมผัสกับ 01 อีเล็คโทรมิเตอร์และแชมเบอร์จะคายประจุออกจนหมด



รูป 9.2 วงจรเพิ่มประจุและลดประจุ

การทำงานของเครื่องมือ

การวัดประจุแสดงในรูป a, b และ c ในรูป a แชมเบอร์ที่มีความจุด C ต่อกับอีเล็คโทรมิเตอร์ที่มีความจุ Ce ทั้งสองได้รับประจุจนมีศักย์ไฟฟ้า V_0 (ปกติ C > Ce) นำแชมเบอร์ออกจากอีเล็คโทรมิเตอร์วางไว้ในลำรังสีที่ต้องการวัด แชมเบอร์จะสูญเสียประจุเนื่องจากรังสีดังรูป b นำแชมเบอร์ที่สูญเสียประจุบางส่วนนี้ต่อกับอีเล็คโทรมิเตอร์ที่ประจุบางส่วนนี้ต่อกับอีเล็คโทรมิเตอร์ที่ประจุเต็มดังรูป c ประจุบางตัวบนอีเล็คโทรมิเตอร์จะเคลื่อนไปที่แชมเบอร์ทำให้ศักยืไฟฟ้าลดลง ถ้าศักย์ไฟฟ้าสุดท้ายเท่ากับ V_f จะวัดศักย์ไฟฟ้าได้เท่ากับ $V_0 - V_f$ ถ้า Q เป็นประจุที่เกิดจากผลของรังสี ศักย์ไฟฟ้าที่แท้จริงในแชมเบอร์เท่ากับ Q/C แต่ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่านี้เพราะว่าเกิดการถ่ายเทประจุโดยมีความจุรวมเท่ากับ C + Ce ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้คือ Q/(C + Ce) จะได้ว่า



รูป 9.3 การทำงานของเครื่องมือ

$$\frac{\text{ศักย์ไฟฟ้าจริง ๆ}}{\text{ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้}} = \frac{C + Ce}{C}$$

ดังนั้น ถ้ารู้ค่าความไวเป็นโวลต์ต่อเรินท์เกน และรู้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ จะหาศักย์ไฟฟ้าที่แท้จริงได้

S (โวลต์ต่อเรินท์เกนสำหรับแชมเบอร์และอีเล็คโทรมิเตอร์)

$$= \frac{\text{V(ลูกบาศก์เซ็นติเมตร)}}{\text{C+Ce(ไมโครไมโครฟารัด)}} \times \frac{1000}{3}$$

วิธีการใช้เครื่องมือ

ต่อคอนเด็นเซอร์แชมเบอร์กับคอนเด็นเซอร์อามิเตอร์ ซึ่งจะเชื่อมขั้วไฟฟ้าตรงกลางของแชมเบอร์กับลวดพลาสตินัมและแชมเบอร์จะถูกประจุโดยแหล่งจ่ายไฟจนกระทั่งลวดพลาสตินัมชี้ที่จุด "0" บนสเกล ขณะนี้ลวดพลาสตินัมจะเบี่ยงเบนมากที่สุด ถอดแชมเบอร์ออกนำแชมเบอร์ไปวัดรังสี แล้วนำมาต่อกับคอนเด็นเซอร์อาร์มิเตอร์อีกครั้งหนึ่ง ลวดพลาตินัมจะเปลี่ยนตำแหน่งใหม่ อ่านค่าบนสเกลเป็นเรินท์เกน

ตัวอย่าง คอนเด็นเซอร์แชมเบอร์ขนาด 25R มีความจุ 50.3 ไมโครไมโครฟารัด เมื่อนำแชมเบอร์ที่ประจุจนเต็มต่อกับอีเล็คโทรมิเตอร์ที่คายประจุจนหมด อ่านค่าบนสเกลได้ 8R จงหาความจุของอีเล็คโทรมิเตอร์และความไวของแชมเบอร์

วิธีทำ

ความไวเฉลีย = 9.6 โวลต์ต่อเรินท์เกน

8R สอดคล้องกับศักย์ตกคร่อม = 8(9.6) = 76.8 โวลต์

คิดเป็นศักย์ไฟฟ้า = 378.0 - 76.8 = 301.2 โวลต์

ประจุที่สูญเสียจากคอนเด็นเซอร์แชมเบอร์(Q) = 76.8 x 50.3

ซึ่งประจุจำนวนนี้ทำให้ขั้วของอีเล็คโทรมิเตอร์มีศักย์ไฟฟ้า = 301.2 โวลต์

ดังนั้นความจุของอีเล็คโทรมิเตอร์ (Ce) = 76.8 x 50.3 / 301.2

= 12.8 $\mu\mu$ F

$$\frac{\text{ศักย์ไฟฟ้าจริง}}{\text{ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้}} = \frac{50.3 \times 12.8}{50.3} = 1.26$$

ดังนั้นอีเล็คโทรมิเตอร์จึงมีศักย์ไฟฟ้าจริงเป็น 1.26 เท่าของศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ความไวของแชมเบอร์และอีเล็คโทรมิเตอร์รวมกัน = 9.6 โวลต์ต่อเรินท์เกน ฉะนั้นความไวของแชมเบอร์อย่างเดียวคือ 1.26 9.6 = 12.1 โวลต์ต่อเรินท์เกน

ค่าเรินท์เกนบนสเกลเป็นค่าที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 22° เซลเซียส ความดัน 760 มม. ของปรอท ณ อุณหภูมิและความดันอื่นๆ จะต้องคูณด้วยค่าแก้ (correction factor)

การดูแลรักษาและซ่อมแซมเครื่องมือ

คอนเด็นเซอร์แชมเบอร์

1. การรั่วของประจุ (electrical leakage) เป็นปัญหาใหญ่ที่ทำให้แชมเบอร์วัดรังสีผิดพลาดจากค่าที่แท้จริง แก้ไขโดยการทำความสะอาดฉนวน ใช้อากาศแห้งพ่นเอาฝุ่นละอองที่มีอยู่ออก การตรวจการรั่งทำได้ดังนี้ ให้ประจุแก่แชมเบอร์จำนวนหนึ่ง นำแชมเบอร์วางไว้ในบริเวณที่ไม่มีรังสีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดประจุ จะทราบจำนวนประจุที่รั่วไป เมื่อนำแชมเบอร์ไปวัดรังสีจะต้องแก้ค่าการรั่วนี้

2. เก็บแชมเบอร์ไว้ในบริเวณที่มีความชื้นน้อย

3. อย่าสัมผัสฉนวนโดยไม่จำเป็น

4. ก่อนนำมาใช้งานต้องนำไปเปรียบเทียบกับแชมเบอร์มาตรฐานในช่วงพลังงานต่าง ๆ

คอนเด็นเซอร์อาร์มิเตอร์

1. ชิ้นส่วนที่ชำรุดง่ายคือ ฟิวส์ หลอด และหลอดไฟ

2. ถ้ามองเห็นสเกลสว่างไม่เท่ากันตลอด จะต้องจัดตำแหน่งของหลอดไฟ (I1) ใหม่

3. ไม่ปรับหรือหมุนสกรูโดยไม่จำเป็นนอกจากว่าเครื่องมือวัดปริมาณรังสีผิดพลาดจากค่าที่แท้จริงมาก

4. พยายามนำมาตรวจสอบกับเครื่องวัดมาตรฐานเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำการแก้ไขเครื่องมือ

9.11 หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ

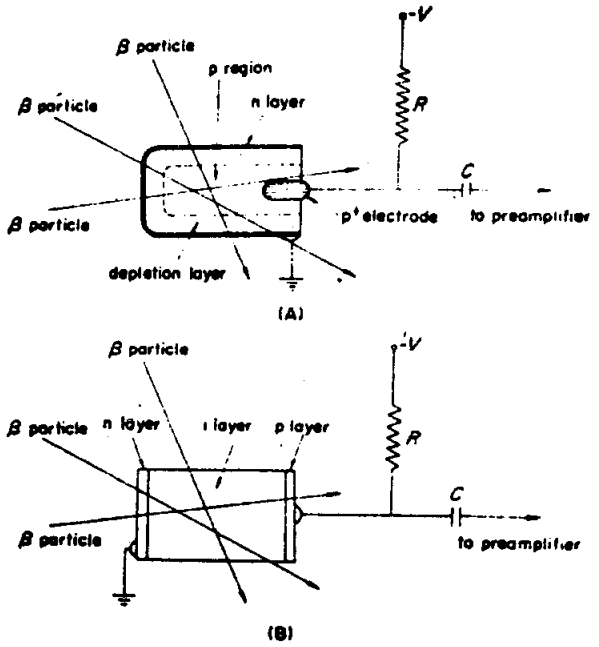
หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำได้รับการพัฒนาขึ้นมาเนื่องจากความก้าวหน้าในการประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการ สารกึ่งตัวนำที่นำมาสร้างเป็นหัววัดรังสี คือเยอรมันเนียม (Germanium) และ ซิลิคอน (Silicon)

แม็คเคย์ (Mckay) (1949) เป็นคนแรกที่วัดสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์กึ่งตัวนำซึ่งวางไว้ในบริเวณที่มีรังสี เขาใช้ไดโอดชนิดรอยต่อ (junction diode) เป็นหัววัดรังสี บริเวณที่ไวต่อรังสีขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10^3 เซ็นติเมตรเท่านั้น จึงมีความไวต่อรังสีน้อยมาก เมเยอร์ และกอสซิค (Mayer and Gossick)(1956) พัฒนาหัววัดรังสีชนิดนี้ให้ดีขึ้นโดยการใช้ทองฉาบที่ผิวของหัววัด ทำให้บริเวณที่ไวต่อรังสีมีขนาดเพิ่มขึ้น ไรกิน (Ryvkin)(1957) พบว่าการทำงานของหัววัดจะดีขึ้นเมื่อทำให้เยอรมันเนียมเย็นลง

หัววัดรังสีในระยะแรกนี้ใช้วัดเฉพาะอนุภาคที่มีประจุเท่านั้น จนกระทั่งในปี 1960 เพล (Pell) ปรับปรุงโดยใช้ลิเธียมเจือลงในสารกึ่งตัวนำ ทำให้บริเวณที่ไวต่อรังสีเพิ่มขึ้นหลายมิลลิเมตร จึงสามารถวัดรังสีแกมมาได้ ปัจจุบันมีผู้ประดิษฐ์หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำหลายชนิดและนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น

หลักการทำงาน

หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำอาศัยหลักการทำงานเช่นเดียวกับหัววัดรังสีแบบแกซ (gas detector) หัววัดรังสีทั้งสองชนิดเป็นไอออนไมเซชันแชมเบอร์ (ionization chamber) เมื่อรังสีวิ่งผ่านหัววัด จะคายพลังงานให้แก่หัววัด ทำให้อะตอมของหัววัดเกิดการแตกตัว (ionization) ได้อีเล็คตรอน (electron) และ โฮล (hole) ปลายทั้งสองข้างของหัววัดมีขั้วไฟฟ้าที่มีศักย์ต่างกัน อีเล็คตรอนจะวิ่งไปยังขั้วบวก ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าขึ้น สัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องขยายและเครื่องนับแสดงผลออกมา ขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับปริมาณของไอออนที่เกิดขึ้น ก็คือเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพลังงานและปริมาณของรังสี ทำให้สามารถวัดพลังงานและปริมาณของรังสีได้



รูปที่ 9.4 ไดอะแกรมแสดงหัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ

คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้เป็นหัววัดรังสี

1. ต้องการพลังงานเพียงเล็กน้อยในการเกิดไอออนคู่ (ion pair)

2. พาหะอิสระมีจำนวนน้อย ถ้าพาหะอิสระมาก จะไปรบกวนสัญญาณที่เกิดจากรังสีทำให้อัตราส่วนระหว่างขนาดของสัญญาณจากรังสี และขนาดของสัญญาณที่ไม่ต้องการ (signal to noise ratio) ลดลง

3. จำนวนกับดัก (trapping center) ที่จับพาหะไว้จะต้องน้อย เพราะว่า จะขัดขวางการเคลื่อนที่ของพาหะ พิจารณากับดักในวัตถุด้วยค่าแทรปปิงไลฟ์ไทม์ (trapping life time π_T) ของพาหะ ซึ่งเป็นเวลาเฉลี่ยที่พาหะเคลื่อนที่อยู่ในสเตทอิสระ (free state) ก่อนที่จะถูกจับดังนั้น π_T ต้องนาน

4. การรวมตัวของอีเล็คตรอนและโฮลต่ำ พิจารณาจากอายุของพาหะ (π_R) ซึ่งจะต้องมีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่เก็บประจุ

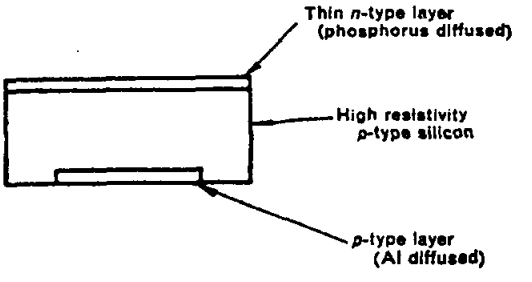
5. ความคล่องตัว (mobility) ในการเคลื่อนที่ของพาหะต้องมีค่าสูง พาหะจะได้เคลื่อนที่ไปถึงขั้วไฟฟ้าได้เร็วขึ้น

6. สามารถทนต่อสนามไฟฟ้าได้โดยไม่เกิดการทะลุ (breakdown)

7. มีน้ำหนักอะตอมและความหนาแน่นสูง เพื่อที่จะสามารถดูดกลืนรังสีที่มีพลังงานสูงได้

ชนิดของเครื่องวัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ

1. ดิฟฟิวส์จังชันดีเท็คเตอร์ (diffuse junction detectors) ลักษณะเหมือนไดโอด (รูปที่ 4) บริเวณที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดที่ (P-type) และชนิดอัน (N-type) แยกกันโดยมีบริเวณปลอดพาหะ (depletion region) กั้นอยู่ตรงกลาง เกิดจากการแพร่สารเจือปน (impurity) ลงไปบริเวณปลอดพาหะ เป็นบริเวณที่ไวต่อรังสี เมื่อนำมาวัดรังสี ต้องให้ไบอัสกลับ (reverse bias) แก่หัววัดรังสี เพื่อให้บริเวณปลอดพาหะมีขนาดกว้างขึ้น ความหนาของย่านปลอดพาหนะมากที่สุดจะอยู่ในช่วง 1 มิลลิเมตร หัววัดรังสีชนิดนี้เหมาะในการตรวจวัดอนุภาคแอลฟา หรือเบตา ที่มีพลังงานต่ำ



รูปที่ 9.5 ดิฟฟิวส์จังชันดีเท็คเตอร์

2. เซอเฟลแบริเออร์ดีเท็คเตอร์ (Surface barrier detertor) ง่ายต่อการผลิต สร้างโดยการทำให้เกิดอ๊อกซิเดชัน (Oxidation) บนผิวของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น บริเวณที่เกิดอ๊อกซิเดชันจะประพฤติตัวเหมือนกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี เกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น มีหลักการทำงานเหมือนกับดิฟฟิวส์จับชันดีเท็คเตอร์ นอกจากนี้ อาจจะฉาบผิวของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นด้วยทองก็จะได้ผลเหมือนกัน

3. ลิเธียมดริฟดีเท็จเตอร์ (Lithium drift detectors) ในการวัดอนุภาคที่มีพลังงานสูงและรังสีแกมมา บริเวณปลายพาหะจะต้องมีความหมายมากเพื่อหยุดยั้งรังสีเหล่านี้ เนื่องจากลิเธียมสามารถแพรเข้าไปในสารกึ่งตัวนำได้มากและมีความคล่องตัวสูง ดังนั้น จึงใช้ลิเธียมเจือลงไปในสารกึ่งตัวนำ เมื่อให้ไปอัสกลับ ลิเธียมไอออนจะเคลื่อนที่จากด้านเอ็นตรงรอยต่อไปยังด้านพีทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างขึ้น ข้อเสียของหัววัดรังสีชนิดนี้ คือ ต้องทำงานที่อุณหภูมิต่ำเท่ากับอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลวจึงไม่สะดวกในการใช้ อย่างไรก็ตาม หัววัดชนิดนี้นิยมใช้วัดและวิเคราะห์รังสีเบตาพลังงานสูง อนุภาคที่เกิดจากเครื่องเร่งอนุภาค และงานด้านวิเคราะห์พลังงานของรังสีเอ็กซ์ (X-ray spectroscopy) เครื่องวัดชนิดนี้ให้รีไซลูชัน (resolution) ดีกว่าเครื่องวัดแบบซิลทิลเลชัน (scintillation counter)

ข้อดีของหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ

1. ความหนาแน่นและความสามารถในการหยุดอนุภาค (stopping power) สูง สามารถดูดกลืนอนุภาคที่มีเรนจ์ (range) ยาว และพลังงานสูงได้ดี อนุภาคที่มีเรนจ์ยาวเป็นเมตรในอากาศจะถูกดูดกลืนด้วยซิลิคอนหนาเพียง 1 มิลลิเมตร เท่านั้น

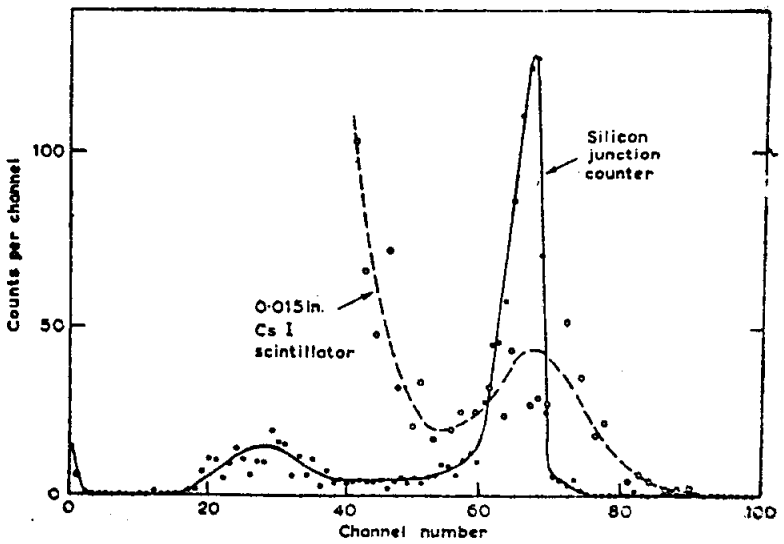
2. ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา

3. ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานของอนุภาคเป็นไอออนสูง ทำให้รีไซลูชันดี

4. ความถูกต้องในการวัดพลังงานมากกว่าไอออนไนเซชันแชมเบอร์ชนิดแกส และซิลทิลเลชันเคาน์เตอร์มาก เพราะว่าพลังงานเฉลี่ยที่ทำให้เกิดไอออนคู่น้อยกว่า ถ้าเป็นซิลิคอนใช้พลังงาน 3.6 อีเล็คตรอนโวลต์ แกสใช้พลังงาน 30 อีเล็คตรอนโวลต์ และ 300 อีเลคตรอนโวลต์ต่อการทำให้เกิดโฟโตอีเล็คตรอน 1 ตัวในซิลทิลเลชันเคาน์เตอร์

5. ต้องการแหล่งจ่ายไฟไม่มากนัก สามารถใช้แบตเตอรี่แห้งได้

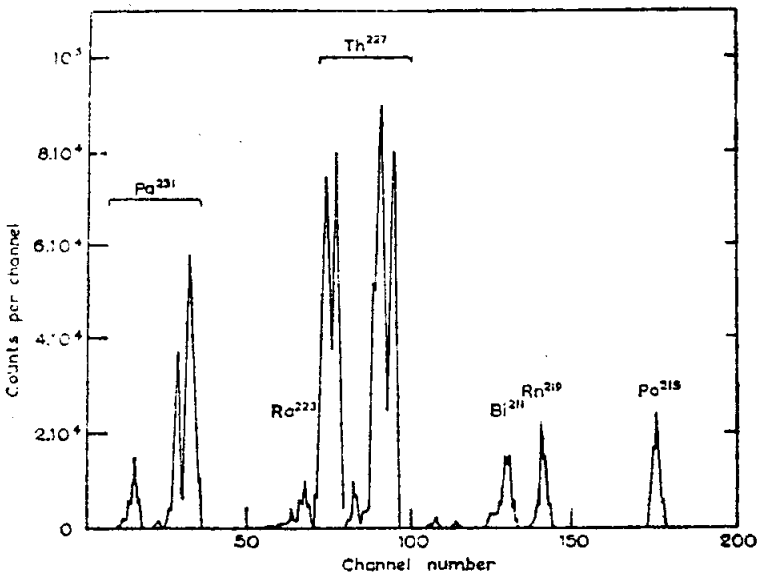
6. วัดรังสีได้แทบทุกชนิด



รูปที่ 9.6 เปรียบเทียบรีโซลูชันของเครื่องวัด

ข้อจำกัดของเครื่องวัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ

1. ขนาดของสัญญาณไม่แปรตามพลังงานของรังสีทีเดียว
2. พาหะที่เกิดขึ้นไม่ได้ถูกเก็บจนหมด
3. มีสัญญาณระเบิดจากพาหะที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อน
4. มีสัญญาณรบกวนจากพาหะที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่เกิดจากความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าทั้งสอง



รูปที่ 9.7 สเปคตรัมของอนุภาคแอลฟาจากธาตุตระกูลแอ็กติเนียม

2. วิเคราะห์พลังงานของอนุภาคที่มีประจุอื่น ๆ (Charged particla spectrometry)
3. หาชนิดของอนุภาค
4. ศึกษาขบวนการแตกตัว (fission) ของนิวเคลียส
5. วิเคราะห์พลังงานของรังสีเบตา (Beta spectrometery)
6. วิเคราะห์พลังงานของรังสีแกมมา (Gamma spectrometry)
7. ใช้เป็นเครื่องเตือนรังสี (Radiation monitoring)
8. ทางการแพทย์ใช้ตรวจวัดรังสีภายในร่างกาย
9. อื่น ๆ

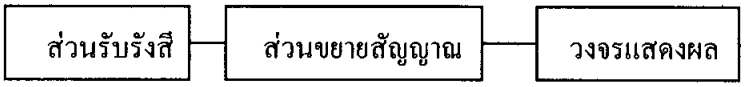
ตาราง 9.3 เปรียบเทียบหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ

ชนิด		ความหนาของบริเวณที่ไวต่อรังสี	รีโซลูชัน	ข้อจำกัด	การใช้งาน
ดิฟฟิวส์จังชัน	เยอรมันเนียมหรือซิลิคอนความต้านทานจำเพาะสูงใช้ได้นาน	มากถึง1มม.	20 เคอีวีสำหรับรังสีแอลฟา 5เอ็มอีวี	ความหนาถูกจำกัดโดยความต้านทานจำเพาะรีโซลูชันถูกจำกัดโดยสัญญาณที่ไม่ต้องการ	เครื่องเตือนรังสีทางการแพทย์
เซอเฟสแบริเออร์	เยอรมันเนียมหรือซิลิคอนความต้านทานจำเพาะสูงใช้ได้นาน	มากถึง 2 มม.	3.8 เคอีวีสำหรับรังสีเบตาจากซีเซียม-137 11 เคอีวีสำหรับรังสีแอลฟา 6 เอ็นอีวี	ความหนาถูกจำกัดโดยความต้านทานจำเพาะรีโซลูชันถูกจำกัดโดยสัญญาณที่ไม่ต้องการ	งานที่ต้องการรีโซลูชันสูง
ลิเธียมไอออนดริฟ	เยอรมันเนียมหรือซิลิคอนต้านทานจำเพาะปานกลางใช้ได้นาน	มากถึง 10 มม.	ซิลิคอน 3.8 เคอีวี สำหรับรังสีเบตาจากซีเซียม-137 15 เคอีวีสำหรับรังสีแอลฟา6เอ็มอีวี เยอรมันเนียม 3.5 เคอีวีสำหรับรังสีเบตาจากซีเซียม-137 2.3 เคอีวีสำหรับรังสีเบตาจายโคบอลท์-57	ความหนาถูกจำกัดโดยเทคนิคที่ใช้ในการทดลอง รีโซลูชัน ถูกจำกัดโดยสัญญาณที่ไม่ต้องการและการรวมตัวของพาหะน	ซิลิคอนงานที่ต้องการรีโซลูชันสูงที่พลังงานสูงเยอรมันเนียมวิเคราะห์พลังงานของรังสีแกมมา

9.12 วงจรเครื่องสำรวจรังสี

เครื่องวัดรังสีขนาดเล็กที่เรียกว่า เครื่องสำรวจรังสี (survey meter) เป็นเครื่องวัดรังสีที่ใช้ทั่วไปในสถานที่ทุกแห่ง ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับรังสี เช่น โรงพยาบาลหรือห้องปฏิบัติการรังสี ทั้งนี้ก็เพราะว่า เครื่องสำรวจรังสีมีข้อดีหลายประการ คือ มีขนาดเล็ก สามารถนำไปวัดรังสีในบริเวณต่าง ๆ ได้สะดวกและรวดเร็ว ใช้วัดรังสีได้ทั้งสามชนิด คือ รังสีแอลฟา รังสีเบตา และรังสีแกมมา ส่วนประกอบของเครื่องวัดไม่ยุ่งยากมากนัก เมื่อเกิดการชำรุดขึ้นสามารถทำการแก้ไขได้ง่าย และราคาย่อมเยา หัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานและส่วนประกอบของวงจรของเครื่องสำรวจรังสีชนิดไอออนไนเซชันแชมเบอร์ (ionization chamber) ที่มีชื่อเรียกว่าคิวตีไพ (Cutie Pie) วงจรที่ใช้ในเครื่องวัดชนิดนี้เป็นวงจรอย่างง่าย เหมาะสำหรับผู้ที่เริ่มศึกษาทางด้านนี้

เครื่องสำรวจรังสีชนิดนี้แบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนรับรังสี (sensig unit) ส่วนขยายสัญญาณ (amplifying unit) และวงจรแสดงผล (metering circuit)

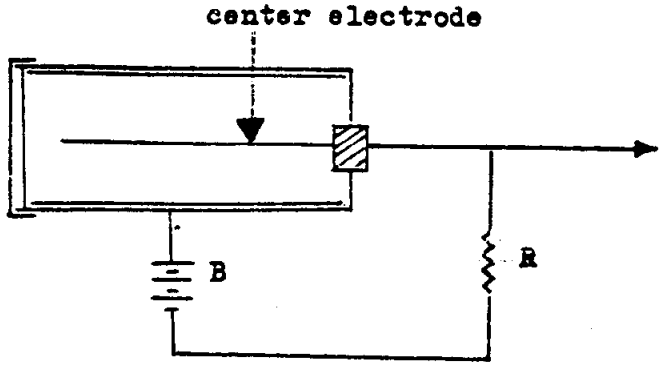


หลักการทำงานอย่างย่อคือ เมื่อวางเครื่องวัดไว้ในบริเวณที่มีรังสี รังสีจะทำให้ส่วนรับรังสีผลิตสัญญาณขึ้นมา ขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับปริมาณรังสี สัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังส่วนขยายซึ่งจะขยายสัญญาณให้มีขนาดเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้เข็มของมิเตอร์ในส่วนแสดงผลเกิดการเบี่ยงเบน ทำให้ทราบปริมาณรังสีได้

ส่วนรับรังสี

ประกอบด้วยเบกเคไลท์ (bakelite) รูปทรงกระบอกกลวง เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว และยาว $6\frac{1}{8}$ นิ้ว ภายในมีอากาศที่ความดันปกติบรรจุอยู่ เรียกส่วนนี้ว่า ไอออนแชมเบอร์ (ion chamber) ด้านปลายของแชมเบอร์ทำจากวัสดุที่บางมาก คือ ไมลาร์ (mylar) หนา 0.0005 นิ้ว เพื่อว่ารังสีเบตาและรังสีแอลฟา ซึ่งมีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำจะสามารถวิ่งผ่านเข้าไปในแชมเบอร์ได้ส่วนนี้เรียกว่าหน้าต่าง (window) ตรงหน้าต่างจะมีแผ่นอลูมิเนียมหนา 0.03 นิ้วหุ้มอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้หน้าต่างเกิดการชำรุด และเพื่อใช้แยกรังสีที่มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงเช่น รังสีแกมมาออกจากอนุภาคที่มีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ เช่น อนุภาคเบตาและอนุภาคแอลฟา เพราะว่าแผ่นอลู

จากอนุภาคที่มีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ เช่น อนุภาคเบตาและอนุภาคแอลฟา เพราะว่าแผ่นอลูมิเนียมจะกั้นอนุภาคเบตาและอนุภาคแอลฟาไว้ เมื่อจะวัดอนุภาคทั้งสองชนิดน้ จะต้องดึงแผ่นอลูมิเนียมออกเสียก่อน ผิวด้านในของแชมเบอร์ฉาบด้วยวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ทำ



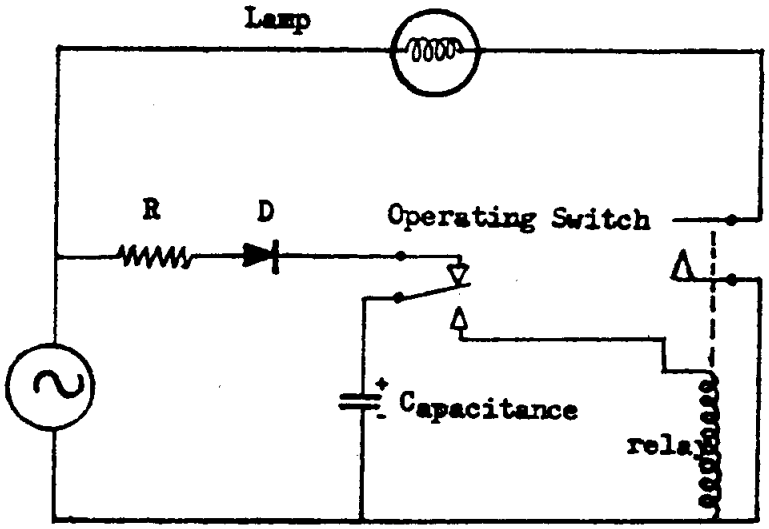
รูปที่ 9.8 ไอออนแชมเบอร์

หน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า โดยต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ อีเล็คตรอนที่เกิดขึ้นในแชมเบอร์จะถูกเก็บโดยขั้วไฟฟ้า ตรงกลางของแชมเบอร์มีขั้วไฟฟ้าอีกอันหนึ่งยึดอยู่กับปลายอีกข้างหนึ่งของแชมเบอร์โดยมีฉนวนทำจากเทฟลอน (teflon) ขนาดหลายแมกกะโอห์ม (mega-ohm) กั้นระหว่างขั้วไฟฟ้านี้กับแชมเบอร์ เรียกขั้วไฟฟ้าอันนี้ว่าเซ็นเตอร์ อีเลคโทรด (center electrode) เซ็นเตอร์อีเลคโทรดต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่ทำหน้าที่เก็บรวบรวมไอออนบวกที่เกิดขึ้นภายในแชมเบอร์ ปลายข้างหนึ่งของเซ็นเตอร์อีเลคโทรดต่อโดยตรงกับกริด (grid) ของหลอดอีเล็คโทรมิเตอร์ (electro meter tube) ดังนั้นสัญญาณที่เกิดขึ้นบนเซ็นเตอร์อีเล็คโทรดจะถูกส่งต่อมายังกริด ศักย์ไฟฟ้าของขั้วที่ผิวของแชมเบอร์จะมีประมาณ +90 ไวลท์ เมื่อเทียบกับขั้วที่อยู่ตรงกลาง

เมื่อรังสีวิ่งผ่านเขามาในแชมเบอร์ จะทำให้อะตอมของอากาศภายในแชมเบอร์เกิดการแตกตัว (ionization) ได้อีเล็คตรอนและไอออนบวก อนุภาคทั้งสองจะถูกจับโดยขั้วที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน คือ ไอออนบวกจะวิ่งเข้าหาขั้วลบ (ตรงกลาง) ส่วนอีเล็คตรอนจะวิ่งเข้าหาขั้วบวกของแชมเบอร์ ทำให้เกิดการไหลของกระแส กระแสที่ได้จากการแตกตัวของอะตอมนี้มีชื่อเรียกว่าไอออนไนเซชั่นเคอเรนท์ (ionization current) ปริมาณของกระแสขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนที่วิ่งมาที่ขั้วทั้งสอง เนื่องจากจำนวนไอออนที่เกิดขึ้นในแชมเบอร์เป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสี ดังนั้นไอออนไนเซชั่นเคอเรนท์จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่วิ่งผ่านเข้ามาในแชมเบอร์

ส่วนขยายสัญญาณ

ประกอบด้วยหลอดอีเล็คโทรมิเตอร์ 1 อัน ทำหน้าที่เป็นตัวขยายไอออไนเซชั่นเคยเรนท์ให้มีขนาดเพิ่มขึ้น ไอออไนเซชั่นเคอเรนท์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยจะวิ่งผ่านตัวต้านทานค่าสูง (Hi-megresistor) ซึ่งต่อกับขั้วกลางของแชมเบอร์และกรดของหลอดอีเลคโทรมิเตอร์ดังรูป 3. เมื่อมีกระแสไหลจะทำให้เกิดสัญญาณตกคร่อมตัวต้านทานค่าสูง ทำให้ความต่างศักย์ระหว่างกริดกับแคโทดเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงมีกระไหลผ่านหลอดอีเลคโทรมิเตอร์เข้าสู่วงจรแสดงผล ไปกระตุ้นเข็มของมิเตอร์ให้เกิดการเบี่ยงเบนต่อไป

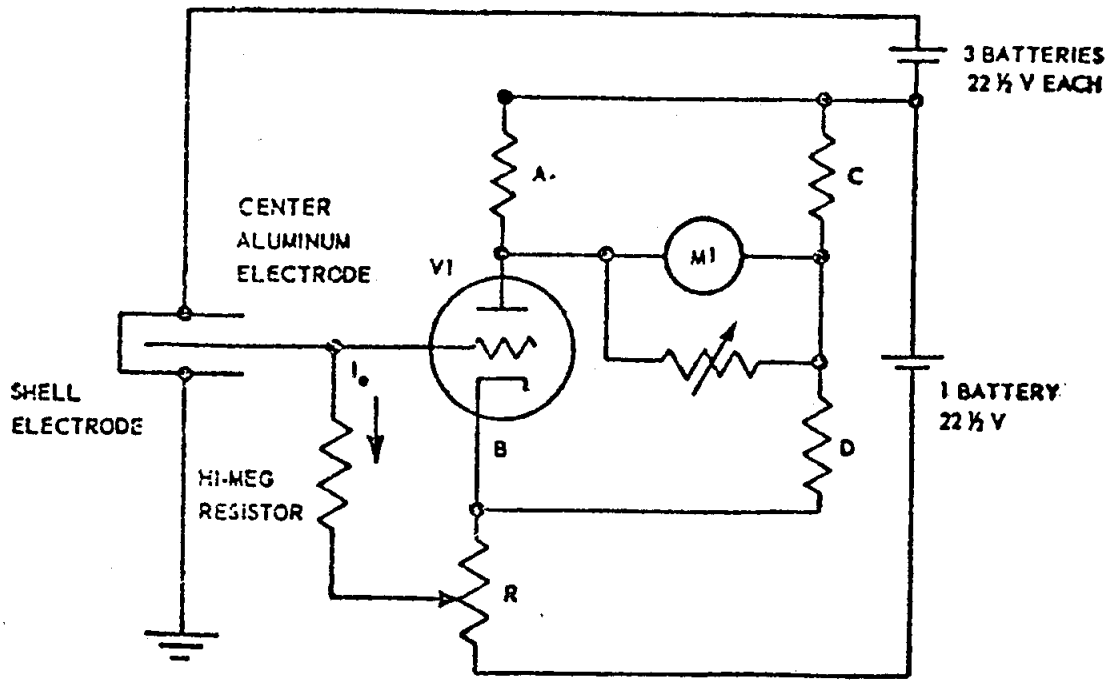


รูปที่ 9.9 วงจรของเครื่องสำรวจรังสี

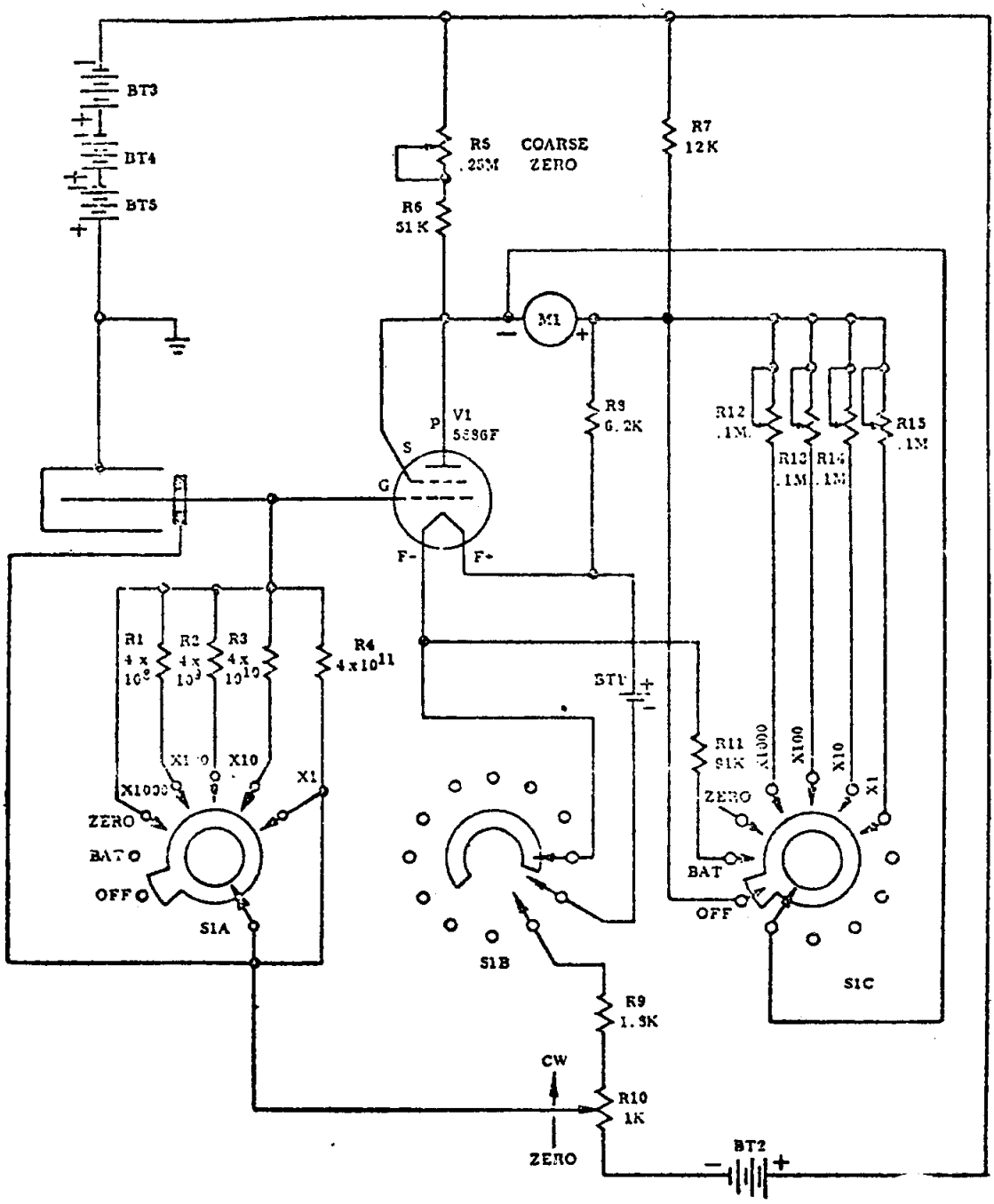
วงจรแสดงผล

จากรูป 9.10 จะเห็นได้ว่า วงจรแสดงผลเป็นวงจรบริดจ์ (bridge circuit) ประกอบด้วยส่วนที่ทำให้เกิดการสมดุลย์ (balancing arms) 4 ส่วนคือ A,B,C และ D โดยที่ A,C และ D เป็นตัวต้านทาน ส่วน B เป็นหลอดอีเล็คโทรมิเตอร์ ที่สามารถปรับค่าความต้านทานของหลอดได้โดยการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าบนกริด ตรงกึ่งกลางระหว่างบริดจ์ (จุด X และ Y) มีแอมมิเตอร์ (M_1) ต่ออยู่ ถ้าอัตราส่วนของความต้านทาน $\frac{A}{B}$ เท่ากับ $\frac{C}{D}$ ศักย์ไฟฟ้าของจุดกึ่งกลางทั้งสองจะเท่ากัน ดังนั้น จะไม่มีกระแสไหลผ่านมิเตอร์ เรียกว่าบริดจ์อยู่ในภาวะสมดุลย์ เมื่อความต้านทานของหลอดอีเล็คโทรมิเตอร์เปลี่ยนไป เพราะว่าศักย์ไฟฟ้าของกริดเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการ

ไหลของไอออนไนเซชันเคอเรนท์ อัตราส่วน $\frac{A}{B}$ จะไม่เท่ากับ $\frac{C}{D}$ นั่นคือ บริดจ์จะไม่สมดุลย์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมิเตอร์ ถ้าหากว่าจัดวงจรอย่างเหมาะสม กระแสที่ไหลผ่านมิเตอร์จะมีสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าที่กริด ดังนั้น การเบี่ยงเบนของเข็มบนมิเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่วิ่งผ่านเข้าไปในแชมเบอร์ ในที่นี้จะอ่านค่าปริมาณรังสีเป็นมิลลิริแกนท์ต่อชั่วโมง



รูปที่ 9.10 วงจรแสดงผล



รูปที่ 9.11 วงจรของเครื่องสำรวจรังสี

มีสวิตซ์ควบคุมสองอันในวงจรแสดงผล เพื่อใช้ในการทำให้บริดจ์อยู่ในภาวะสมดุลย์ก็คือ ปรับไม่ให้มีกระแสไหลผ่านมิเตอร์ขระที่ไม่มีรังสีผ่านเข้ามา จากรูป 9.10 สวิตซ์ควบคุมอันหนึ่ง(ZERO) ต่ออนุภาคกับบริดจ์ สวิตซ์ควบคุมอีกอันหนึ่ง (COARSE ZERO) เป็นส่วนหนึ่งของ A ตามปกติไม่จำเป็นต้องใช้ปุ่ม COARSE ZERO เพราะว่าปุ่ม ZERO ก็เพียงพอที่จะปรับให้บริดจ์อยู่ในภาวะสมดุลย์ได้

นอกจากนี้ยังมีสวิตซ์เลือกอีกหนึ่งอัน ใช้เลือกตำแหน่งต่าง ๆ 7 ตำแหน่งคือ OFF, BATTERYCHECH ZEROSET, X1000, X100, X10 และ X1 ตัวสวิตซ์เป็น 3 ส่วน (ดูรูป 9.11) S1A ใช้เลือกตัวต้านทานที่มีความต้านทานต่าง ๆ เพื่อใช้ในวงจรอินพุทของภาคขยาย ตัวต้านทางเหล่านี้จะเนตัวกำหนดความไว (sensitivity) ของเครื่องมือ ถ้าความต้านทานสูง ไอออไนเซชั่นเคอเรนท์เคลื่อนผ่านตัวต้านทานได้น้อย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าที่กรดเข็มของมิเตอร์เบี่ยงเบนไป เมื่อปริมาณรังสีมากขึ้น ไอออไนเซชันเคอเรนท์เพิ่มขึ้น ศักย์ไฟฟ้าที่กรดยิ่งเปลี่ยนแปลงมาก จนอาจทำให้เข็มของมิเตอร์เบี่ยงเบนไปจนเต็มสเกล ดังนั้น จึงต้องทำให้การเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าที่กรดลดลง โดยการทำให้ไอออไนเซชันเคอเรนท์ไหลผ่านตัวต้านทานมากขึ้น ก็คือลดความต้านทานลง จึงต้องมีความต้านทานหลาย ๆ ค่าในวงจรอินพุทของภาคขยาย ช่วงที่มีความไวมากที่สุดคือ X1 จะมีอินพุทอิมพีแดนซ์ (imput impedance) มากที่สุด คือประมาณ 10^{11} โอห์ม ช่วงที่มีความไวน้อยที่สุด X1000 จะมีอินพุทอิมพีแดนซ์ 10^{8} โอห์ม S1B เป็นตัวเชื่อมแบตเตอรี่กับไส้หลอด และส่วนสุดท้าย S1C เป็นตัวทำให้มิเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ต่อขนานกับตัวทานในวงจรแสดงผล

แบบฝึกหัดที่ 9

1. จงอธิบายปฏิกริยาของรังสีที่มีต่อน้ำ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มากที่สุดของร่างกายมนุษย์
2. จงอธิบายผลของรังสีที่มีต่อระบบต่างๆ ของร่างกาย
3. จงบอกค่าปริมาณรังสีสูงสุดที่ยอมให้ร่างกายรับได้ (MPD)
4. จงอธิบายการระวังป้องกันอันตรายจากรังสี