แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 6
เครื่องมือวัดรังสี

หัวข้อเนื้อหาประจำบท

การจำแนกเครื่องมือวัดรังสี หลักการทำงานของหัววัดรังสี การเลือกเครื่องมือวัดรังสี หัววัดรังสีแบบใช้ของก๊าซ หัววัดและการตรวจวัดรังสีแกมมา หัววัดและการตรวจวัดอนุภาคนิวตรอน

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เพื่อให้ผู้ศึกษาสามารถ

1. จำแนกเครื่องมือวัดรังสี
2. อธิบายการหลักการทำงานของเครื่องวัดรังสี
3. อธิบายการเลือกเครื่องมือวัดรังสี
4. อธิบายหัววัดรังสีแบบใช้ของก๊าซ
5. อธิบายหัววัดและการตรวจวัดรังสีแกมมา
6. อธิบายหัววัดและการตรวจวัดอนุภาคนิวตรอน

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. บรรยายและตอบปัญหาซักถามประเด็นข้อสงสัย
2. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน
3. สรุปและทบทวนเนื้อหาเพิ่มเติมเมื่อจบบทที่ 6
4. ศึกษาแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติมด้วยตนเอง

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน
2. วีดีทัศน์
3. สไลด์ประกอบการสอน
4. คำถามท้ายบท

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตจากพฤติกรรมการมีส่วนร่วมในห้องเรียน
2. ประเมินผลจากแบบทดสอบก่อนและหลังเรียน
3. ประเมินจากการนำเสนอรายงาน

บทที่ 6

เครื่องวัดรังสี

เครื่องวัดรังสีเป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้ปฏิบัติงานทางนิวเคลียร์ เนื่องจากรังสีที่แผ่ออกมาจากต้นกำเนิดรังสีนั้นอวัยวะรับความรู้สึกทั้งหมดที่มีอยู่ในมนุษย์ไม่สามารถตอบสนองและรับรู้ต่อการปรากฏของรังสีที่แผ่ออกมาได้ในทันที แต่เครื่องสำรวจและตรวจวัดรังสีสามารถบอกค่าอันตรกิริยาบางอย่างระหว่างรังสีกับสาร โดยอาศัยกระบวนการเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นประจุไฟฟ้า เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำมาใช้ในการป้องกันอันตรายจากรังสีนั้น ดังนั้นในการเลือกใช้เครื่องมือวัดรังสีเหล่านี้จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมและถูกต้องกับวัตถุประสงค์ของงาน

การจำแนกเครื่องมือวัดรังสี

หัววัดรังสีมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน หัววัดรังสีบางชนิดใช้ศึกษาสมบัติหรือพฤติกรรมของรังสีที่สามารถเห็นผลตอบสนองของรังสีกับหัววัดได้ทันที แต่หัววัดต้องอาศัยระบบนับวัดและวิเคราะห์สัญญาณ เพื่อช่วยให้การแปรผลของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการทำอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับสสารที่รังสีเคลื่อนที่ผ่าน โดยสามารถจำแนกลักษณะอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นกับสสารได้ดังนี้ (พัฒนสุข ชำนินอก, 2555)

1. ผลจากการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของก๊าซ เช่น หัววัดรังสีแบบการแตกตัวเป็นไอออน หัววัดรังสีแบบสัดส่วน และหัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มูลเลอร์
2. ผลจากการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของของแข็ง ได้แก่ หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ
3. ผลจากการทำให้เกิดประกายแสง ได้แก่ หัววัดรังสีแบบสารเรืองแสง (scintillation)
4. ผลจากการทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ฟิล์มแบดจ์ (film badge)
5. ผลจากการทำให้เกิดร่องรอย
6. ผลจากการทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์
7. ผลจากการทำให้เกิดความร้อน

หลักการทำงานของหัววัดรังสี

หลักการทำงานของหัววัด คือ เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในหัววัด กัมมันตภาพรังสีที่มีประจุ เช่น อัลฟา บีตา จะทำอันตรกิริยากับอะตอมของก๊าซ ทำให้ก๊าซเกิดการแตกตัวได้อิเล็กตรอนและไอออนบวก เรียกว่า ไอออนคู่ (Ion pair) จำนวนไอออนคู่ที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับจำนวนและชนิดของรังสีที่มีประจุวิ่งผ่านเข้าหัววัด ถ้าไม่มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนด อิเล็กตรอนและไอออนบวกจะเคลื่อนที่แบบสุ่ม (random) ถ้ามีความต่างศักย์ระหว่างขั้วจะมีสนามไฟฟ้าภายในหัววัด ทำให้อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นวิ่งไปยังแอโนด ส่วนไอออนบวกวิ่งไปยังแคโทด ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้า (Electric pulse) เวลาที่อิเล็กตรอนวิ่งไปยังแอโนดประมาณ 1 ไมโครวินาที ส่วนไอออนบวกวิ่งไปยังขั้วลบใช้เวลา 1 มิลลิวินาที ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจะขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนที่เข้ามาที่แอโนด ซึ่งก็ขึ้นกับปริมาณรังสีที่เข้ามาในหัววัดและเกิดอันตรกิริยากับอะตอมของก๊าซ สำหรับผลลัพธ์ที่นำมาประยุกต์ทำเป็นหัววัดรังสีสามารถแบ่งแยกได้ ดังนี้

1. เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของอะตอมตัวกลาง
2. เกิดการประกายแสงวับของอะตอมตัวกลาง
3. เกิดการทำปฏิกิริยาทางเคมี
4. เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ของตัวกลาง
5. เกิดเป็นร่องรอยของตัวกลาง

การเลือกเครื่องมือวัดรังสี

เครื่องวัดรังสีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน การเลือกใช้เครื่องวัดรังสีควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการวัด ต้นกำเนิดของรังสี ระดับรังสีที่ต้องการตรวจวัด การขึ้นกับพลังงานรังสีของเครื่องวัดรังสี ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการตรวจวัดเครื่องวัดรังสี หน่วยที่ต้องการตรวจวัด เป็นต้น

เมื่อต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายนอกร่างกาย สามารถวัดปริมาณรังสีได้ 2 แบบ คือ

1. การวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล เครื่องมือที่ใช้วัด เช่น พอกเก็ตโดสิมิเตอร์ ฟิล์มแบดจ์ และ ทีแอลดี (กอบศิริ วรศรี และ มาลี สุทธิโอภาส, 2556)

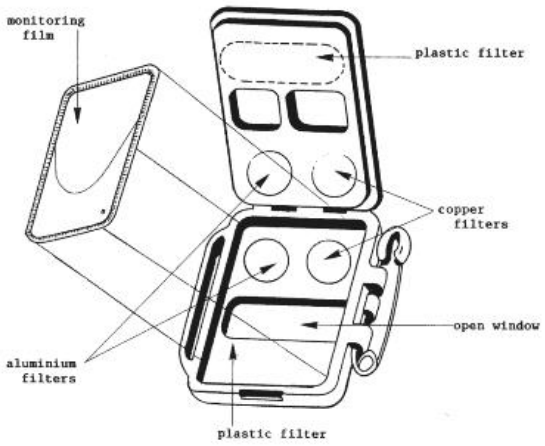
1.1 พอกเก็ตโดสิมิเตอร์ (Pocket dosimeter)

พอกเก็ตโดสิมิเตอร์ ใช้ทั่วไปในรูปของเครื่องมือวัดรังสีส่วนบุคคล ที่ใช้กันทั่วไป คือ แบบคอนเด็นเซอร์ (Condenser) เครื่องมือชนิดนี้ไม่สามารถอ่านค่าโดสได้โดยตรงจะต้องมีเครื่องมือช่วยในการอ่าน เรียกว่า ชาร์จเจอร์-รีดเดอร์ (Charger reader) บางครั้งอาจจะเรียกว่าไมโน

มิเตอร์ (Minometer) โดยทั่วไปเครื่องมือชนิดนี้จะวัดผลรวมโดสของรังสีเอกซ์หรือแกมมา โดยวัดค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 200 mR มีความแม่นยำประมาณ 15% สำหรับรังสีที่มีพลังงานอยู่ระหว่างประมาณ 0.05 ถึง 2 MeV เครื่องนี้สามารถตอบสนองรังสีบีตาที่มีพลังงานมากกว่า 1 MeV โดยการเคลือบสารโบรอน ภายในหัววัดรังสี ซึ่งเครื่องมือนี้จะมีความไวต่ออนุภาคเทอร์มอนิวตรอน ปกติเครื่องมือชนิดนี้ออกแบบมาสำหรับวัดรังสีเอกซ์และแกมมาเท่านั้นและจะสอบเทียบมาตรฐานกับสารกัมมันตภาพรังสีเรเดียมหรือโคบอล -60 พอกเก็ตโดสิมิเตอร์จะถูกดิสชาร์จอย่างช้า ๆ โดยที่ไม่ได้ถูกรังสี ทั้งนี้เนื่องจากรังสีคอสมิคและการรั่วของประจุผ่านตัวฉนวน ถ้ารั่วมากกว่า 5% จากค่าเต็มสเกลที่อ่านได้ต่อวัน ก็ไม่ควรนำเครื่องมือนี้มาใช้งาน

1.2 ฟิล์มแบดจ์ (film badge)

เครื่องมือวัดรังสีประจำตัวบุคคลที่ใช้กันมากได้แก่ ฟิล์มแบดจ์ มีหลักการทำงานโดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อนำฟิล์มถ่ายรูปไปถูกแสงสว่าง ซิลเวอร์แฮไลด์ (silver halide) ที่เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์มจะทำปฏิกิริยากับแสงสว่าง ทำให้ฟิล์มเกิดความดำขึ้นมา รังสีทั้งหลายก็จะมีปฏิกิริยาทางเคมีกับซิลเวอร์แฮไลด์เช่นเดียวกับแสงสว่าง ค่าดีกรีของความดำบนแผ่นฟิล์ม เรียกว่า Optical density of the film สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เดนสิโตมิเตอร์ (Densitometer) ค่าที่อ่านได้จะออกมาในรูปของล็อกการิทึม (logarithm) ของความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านแผ่นฟิล์มออกมา ค่าความดำบนแผ่นฟิล์มจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่อาบแผ่นฟิล์ม ในการเปรียบเทียบค่า Optical density of film สามารถทำได้โดยนำแผ่นฟิล์มไปอาบรังสีที่รู้ค่าโดสในปริมาณต่างๆ อิมัลชันที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยจะมีผลต่อปริมาณการรับรังสีมาก



ภาพที่ 6.1 ฟิล์มแบดจ์

ที่มา: (radsafety, ออนไลน์)

1.3 ทีแอลดี (TLD : Thermo Luminescent dosimeter)

ผลึกบางชนิดเมื่อได้รับรังสีจะเกิดการแตกตัวให้อิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนจะถูกจับอยู่กับแลททิสของผลึก ในสภาวะปกติอิเล็กตรอนจะถูกจับอยู่อย่างถาวร แต่ถ้านำไปเผาด้วยความร้อนจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา ซึ่งจะไปรวมกับประจุตรงกันข้ามพร้อมกับปล่อยแสงออกมา แสงที่ส่งออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน วัตถุที่ใช้กันมากที่สุดคือ ลิเธียมฟลูออไรด์ (LiF) เครื่องวัดรังสีชนิดนี้มีขนาดเล็กสามารถที่จะสอดใส่ในที่ต่างๆ ที่ต้องการรู้ปริมาณรังสีได้ง่าย แต่ประสิทธิภาพยังไม่ดีเท่าที่ควรและมีราคาค่อนข้างแพง เนื่องจากผลึกลิเธียมฟลูออไรด์ใช้ได้เพียงครั้งเดียว ถ้านำมาใช้ใหม่จะทำให้ประสิทธิภาพในการวัดรังสีลดลง จึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้

ภาพที่ 6.2 ทีแอลดี

ที่มา: (NDT resource center, ออนไลน์)

สำหรับการใช้เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคลอย่างเหมาะสมควรปฏิบัติ (ชวลิต ศัยนันทน์, 2541) ดังนี้

1. เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล ควรใช้เฉพาะกับผู้ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น และทำการเก็บเป็นประวัติการได้รับปริมาณรังสีของบุคคลนั้นๆ

2. การใส่เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล ควรใส่บริเวณระหว่างคอและบั้นเอว หรือบริเวณที่ได้รับปริมาณรังสีสูง และระมัดระวังไม่ให้กระแทกกับวัตถุอื่นๆ เพื่อป้องกันความเสียหาย

3. ควรเก็บเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคลในบริเวณที่เหมาะสม เช่น ไม่เก็บในบริเวณที่มีอุณหภูมิ ความชื้นสูง ไม่เก็บใกล้บริเวณที่มีสารรังสี เป็นต้น

4. หันด้านที่รับปริมาณรังสีออกนอกตัวผู้สวมใส่ให้ถูกต้องตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

5. ห้ามใส่เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคลเมื่อจำเป็นต้องเข้ารับบริการทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับรังสีหรือสารรังสี

6. ห้ามนำเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคลไปใช้ในการทดลองใดๆ โดยไม่ได้รับอนุญาตจากหัวหน้า ผู้ควบคุม หรือเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสี

2. การวัดรังสีบริเวณหรือพื้นที่ปฏิบัติงาน เครื่องมือที่ใช้วัด เช่น เครื่องนับไกเกอร์ (Geiger Muller counter) และเครื่องวัดรังสีแบบแสงวับ (Scintillation detector) (พงศกร สุวรรณเดชา , 2540)

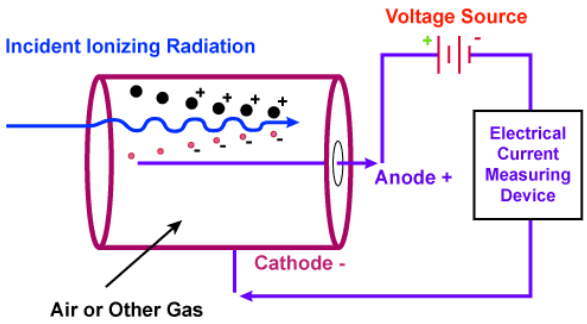
2.1 เครื่องนับไกเกอร์สามารถวัดรังสีแกมมาและบีตาได้ โดยอาศัยการแตกตัวเป็นไอออนของก๊าซที่บรรจุไว้เมื่อรังสีผ่าน แล้วใช้วิธีนับจำนวนของสัญญาณ ซึ่งแปรตรงกับปริมาณรังสีขณะที่ทำการวัด

2.2 เครื่องวัดรังสีแบบแสงวับ เป็นเครื่องวัดรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ โดยอาศัยการเรืองแสงของผลึกของสารเมื่อกระทบรังสี ส่วนผลึกที่ใช้เป็นผลึกของสารโซเดียมไอโอไดด์หรือซีเซียมไอโอไดด์ การตรวจพลังงานของรังสีอาศัยการพิจารณาจากความเข้มแสง เนื่องจากความเข้มแสงแปรตรงกับปริมาณรังสี

หัววัดรังสีแบบใช้ของก๊าซ

เครื่องมือวัดชนิดนี้เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ง่ายและมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น หัววัดรังสีแบบการแตกตัวเป็นไอออน (ionization chamber) หัววัดรังสีแบบสัดส่วน (proportional counter) และหัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มูลเลอร์ (Geiger-Muller counter)

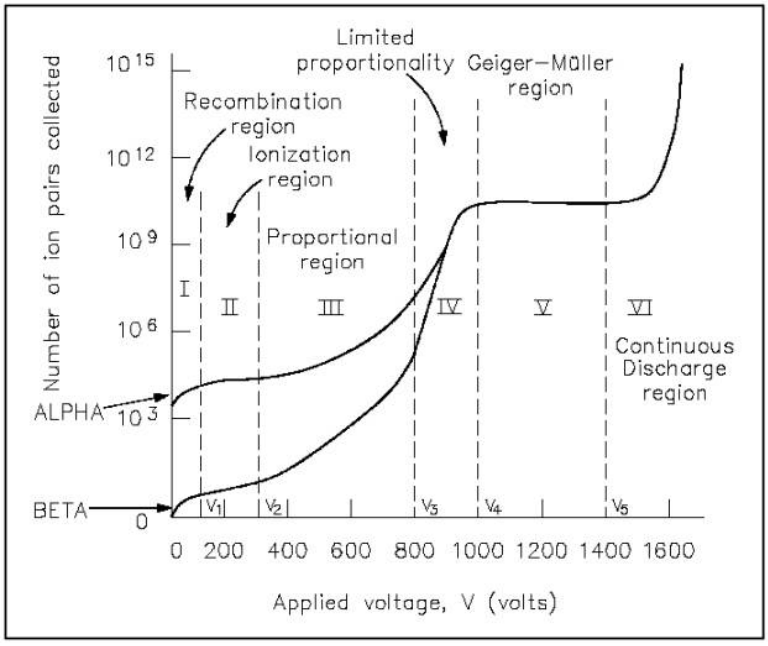
ลักษณะของเครื่องมือวัดรังสีและอนุภาค ประกอบด้วยหลอดบรรจุก๊าซรูปทรงกระบอกที่มีขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวก เรียกว่า ขั้วแอโนด (anode) วางอยู่ที่กึ่งกลางของทรงกระบอกและต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงประมาณ 250 -1,000 โวลต์ ภายในหลอดจะมีขั้วไฟฟ้าทำด้วยเส้นลวดเล็ก ๆ ขึงอยู่ตรงกลางหลอด ซึ่งขั้วไฟฟ้านี้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อเทียบกับผนังหลอด ส่วนที่ผิวของหลอดอีกข้างหนึ่งมีขั้วไฟฟ้าลบ เรียกว่าขั้วแคโทด (cathode) ขั้วแอดโนดและขั้วแคโทดอาจเรียกรวมกันว่า ขั้วอิเล็กโทรด (electrode) แสดงดังภาพที่ 6.1 ส่วนทางด้านหน้าหรือด้านข้างของทรงกระบอกจะถูกเจาะเป็นช่องแล้วนำแผ่นเบอร์ริลเลียมหรือไมกาบาง ๆ มาปิดไว้ เรียกว่า หน้าต่าง (window) เพื่อให้รังสีที่มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำสามารถผ่านเข้าไปได้



ภาพที่ 6.3 เครื่องมือวัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ

ที่มา: (EQUIPCO, ออนไลน์)

การทำงานของเครื่องมือวัดรังสี คือ เมื่อรังสีวิ่งผ่านเข้าไปภายในหัววัดรังสีประเภทอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า จะทำให้ก๊าซภายในหัววัดเกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนและไอออนบวกได้โดยตรง แต่รังสีประเภทที่ไม่มีประจุไฟฟ้านั้นจะทำให้เกิดการแตกตัวโดยวิธีอ้อม อิเล็กตรอนและไอออนบวกที่ได้เรียกว่า คู่ไอออน จำนวนคู่ไอออนที่เกิดขึ้นในหัววัดรังสีจะขึ้นอยู่กับระดับพลังงานของรังสี ชนิดและสมบัติของรังสี ปริมาณพลังงานที่จำเป็นเพื่อใช้ในการทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม เรียกว่า ศักย์การแตกตัวเป็นไอออน (ionization potential) ซึ่งมีค่าในช่วง 5 – 20 eV คู่ไอออนที่เกิดขึ้นจะถูกดึงดูด โดยสนามไฟฟ้าให้ไปสะสมที่ขั้วอิเล็กโทรด เมื่อต่อวงจรภายนอกให้ครบจะเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้านั้นในวงจรจะเป็นผลให้ได้สัญญาณเกิดขึ้น ขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอนที่มาสะสมที่ขั้วแอโนด สัญญาณที่เกิดขึ้นจะส่งต่อไปยังระบบนับและวิเคราะห์สัญญาณต่อไป เมื่อทำการปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้แก่หัววัดรังสี จะทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ขนาดของสัญญาณที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จากผลที่เกิดขึ้นสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับขนาดของสัญญาณที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 6.5



ภาพที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และขนาดของสัญญาณ

ที่มา: (Scrigroup, ออนไลน์)

จากกราฟสามารถอธิบายความสัมพันธ์ในการเกิดสัญญาณของเครื่องมือวัดรังสี (พัฒนสุข ชำนินอก, 2555) โดยแบ่งเป็น 6 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 บริเวณรวมตัวกันใหม่ (recombination region) เป็นช่วงที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำมาก ๆ แรงที่จะดึงไอออนไปสู่อิเล็กโทรดก็ต่ำด้วย ทำให้ไอออนมีโอกาสที่จะรวมตัวกันใหม่ การเก็บสะสมไอออนจึงมีน้อยมาก เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าขึ้น การรวมตัวของไอออนก็จะลดลง การเก็บสะสมไอออนจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ทำให้สัญญาณเพิ่มขึ้น

ช่วงที่ 2 บริเวณการแตกตัวเป็นไอออน (ionization region) เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งจนทำให้การสูญเสียไอออนในกระบวนการรวมตัวกันใหม่มีน้อยมาก ไอออนทั้งหมดที่เกิดขึ้นถูกเก็บสะสมไว้ เป็นช่วงที่กระแสไฟฟ้าอิ่มตัว การเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าทำได้โดยการเพิ่มปริมาณรังสีเท่านั้น ไอออนที่เกิดขึ้นต่างก็ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นในสนามไฟฟ้าขณะที่พุ่งไปสู่อิเล็กโทรด ในช่วงการแตกตัวเป็นไอออน พลังงานที่ไอออนได้รับยังไม่สูงพอที่จะก่อให้เกิดไอออนได้อีก หากได้รับพลังงานสูงพอเมื่อใดจะเกิดกรณีที่ทำให้จำนวนไอออนเพิ่มขึ้นได้โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณรังสี เนื่องจากเกิดการแตกตัวทุติยภูมิ การเพิ่มจำนวนไอออนเรียกว่า ตัวประกอบการขยายของก๊าซ (gas amplification factor, GAF) ซึ่งจะเป็นค่าแสดงจำนวนครั้งการเกิดการแตกตัวทุติยภูมิว่าเป็นกี่เท่าของการแตกตัวปฐมภูมิ

ช่วงที่ 3 บริเวณการเป็นสัดส่วน (proportion region) เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ขนาดของสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดตัวประกอบการขยายของก๊าซโดยไอออนปฐมภูมิ (primary ions) ที่วิ่งผ่านก๊าซจะได้รับพลังงานสูงพอที่จะก่อให้เกิดไอออนได้ แม้แต่ไอออนทุติยภูมิ (secondary ion) ก็ยังสามารถก่อให้เกิดไอออน ดังนั้นไอออนก็จะเกิดเพิ่มขึ้นอย่างมากจากไอออนเดิมเพียงคู่เดียว อาจทำให้เกิดอิเล็กตรอนจำนวนมาก เรียกว่า การถล่มอิเล็กตรอน (electron avalanche) หรือ การถล่มาการแตกตัวเป็นไอออน (ionization avalanche) คือ เกิดไอออนจำนวนมากในช่วงบริเวณการเป็นสัดส่วนนี้ ค่า GAF ประมาณ 10^3

ช่วงที่ 4 บริเวณขีดจำกัดการเป็นสัดส่วน (proportional limit region) เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ขึ้นไปอีกจนถึงค่าหนึ่ง การเป็นสัดส่วนของอัตราการขยายของก๊าซจะสูญเสียไป

ช่วงที่ 5 บริเวณไกเกอร์-มูลเลอร์ (Geiger-Muller region) เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกจนถึงจุดหนึ่ง ขนาดของสัญญาณจากรังสีทุกชนิดมีค่าเท่ากัน เรียกจุดนี้ว่า ค่าความต่างศักย์เริ่มเปลี่ยนไกเกอร์ (Geiger threshold voltage) ขนาดของสัญญาณจะไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนไอออนเริ่มต้น ทั้งนี้เนื่องจากอิเล็กตรอนมีพลังงานสูงมาก จนสามารถเข้าทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับนิวเคลียสในอะตอมของก๊าซเกิดรังสีโฟตอนคือเบรมสตาลุง ซึ่งมีพลังงานมากพอที่จะก่อให้เกิดไอออน จำนวนโฟตอนจะเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็วเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้า โฟตอนเหล่านี้จะก่อให้เกิดอิเล็กตรอนใหม่ ที่จะเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดการถล่มใหม่ ๆ ดังนั้น จากอิเล็กตรอนแรกเพียงตัวเดียวจะนำไปสู่การเกิดการถล่มเป็นจำนวนมาก ในที่สุดจะเกิดมากจนมีไอออนบวกครอบคลุมขั้วแอโนดไว้โดยรอบ เนื่องจากอิเล็กตรอนวิ่งไปสู่ขั้วแอโนดรวดเร็วกว่าไอออนบวกที่วิ่งไปสู่ขั้วแอโนด ทำให้การคายประจุไฟฟ้าสิ้นสุดลง ดังนั้นประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะคงตัว ขนาดของสัญญาณจะมีขนาดคงตัวอยู่ระยะหนึ่ง

ช่วงที่ 6 บริเวณการแตกตัวอย่างเนื่อง (continuous discharge region) ถ้าเพิ่มศักย์ไฟฟ้าเหนือบริเวณไกเกอร์-มูลเลอร์ จะทำให้เกิดการเก็บประจุไฟฟ้าพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดการคายประจุไฟฟ้าต่อเนื่องกันตลอดเวลา บริเวณการคายประจุไฟฟ้าจะขยายออกทั่วภายในหัววัดรังสี ทั้งนี้เนื่องจากไอออนบวก ซึ่งเคลื่อนที่ไปสู่ผนังแคโทดถูกลดการแตกตัวเป็นไอออน (deionization) โดยจับอิเล็กตรอนไว้เพื่อให้เกิดเป็นกลาง ทำให้อะตอมของผนังแคโทดเกิดสถานะถูกกระตุ้นแล้วปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีโฟตอน ซึ่งรังสีนี้สามารถก่อให้เกิดไอออนได้ ในที่สุดจึงทำให้เกิดการถล่มขึ้นอีกจำนวนมากกลายเป็นกระแสไฟฟ้าต่อเนื่องจากอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียว ทำให้เกิดการคายประจุไฟฟ้าติดต่อกันตลอดเวลา ถ้าต้องการให้หัววัดรังสีตอบสนองต่อรังสีได้ใหม่อีกต้องลดศักย์ไฟฟ้า หรือเติมสารบางอย่างที่สามารถดูดพลังงานจากการลดการแตกตัวเป็นไอออน หรือการลดการกระตุ้นไว้ได้ กระบวนการนี้เรียกว่า การดับ (quenching)

หัววัดรังสีที่นิยมใช้งานโดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. หัววัดรังสีและอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าแบบแตกตัวเป็นไอออน (Ionization chamber detector)

หัววัดชนิดนี้ให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหัววัดอยู่ในบริเวณช่วงที่ 2 คือบริเวณไอออไนเซชั่นซึ่งมีค่าประมาณ 300 โวลต์ ก๊าซประเภทต่าง ๆ ที่บรรจุใน chamber ขึ้นกับประเภทของรังสีที่วัด เช่น ก๊าซอาร์กอนที่มีความดันสูงใช้กับรังสีแกมมา ก๊าซไฮโดรเจนใช้กับนิวตรอนพลังงานสูง ส่วนก๊าซ BF_3 ใช้กับนิวตรอนพลังงานต่ำ

เครื่องมือวัดรังสีและอนุภาคชนิดนี้ มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ตรวจวัดลำอนุภาคหรือรังสีที่สามารถเข้าไปในเครื่องมือวัดได้อย่างต่อเนื่อง เช่น รังสีเอกซ์ สำหรับข้อเสียของเครื่องมือชนิดนี้ คือ เมื่อมีสัญญาณของกระแสไฟฟ้าเกิดกระเพื่อมขึ้น เนื่องมาจากมีอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าวิ่งเข้าไปในตัวเครื่องมือวัดชนิดนี้เป็นช่วง ๆ จะทำให้เกิดการจางหายของสัญญาณบางส่วน ทำให้การอ่านตัวเลขที่แสดงจำนวนนับต่อหนึ่งหน่วยเวลา (count rate) น้อยกว่าความเป็นจริง

2. หัววัดรังสีและอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าแบบสัดส่วน (proportional detector)

ลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับหัววัดแบบ Ionization chambers แต่มีการเพิ่มขนาดของศักย์ไฟฟ้าให้สูงมากขึ้นอีก จนไปถึงจุดที่ทำการแตกตัวเป็นไอออนครั้งที่สอง โดยการชนของไอออนแตกตัวเกิดขึ้น ก็จะได้การแตกตัวไอออนเป็นทวีคูณ ได้แฟคเตอร์ทวีคูณขนาด 10-1000 พัลส โดยค่าความต่างศักย์ที่ป้อนให้แก่หัววัดจะอยู่ในช่วงที่ 3 ของภาพที่ 6.2 ซึ่งเป็นบริเวณการเป็นสัดส่วน บริเวณนี้ขนาดของสัญญาณหรือการถล่มที่เกิดขึ้นถูกควบคุมโดยการออกแบบขนาดของหัววัดและศักย์ไฟฟ้าที่คงตัว เนื่องจากขนาดสัญญาณที่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนไอออนแรกเริ่ม ดังนั้น จึงสามารถใช้เครื่องมือวัดชนิดนี้แยกชนิดของรังสีได้สำหรับไอโซโทปที่มีการสลายตัวให้รังสีอัลฟา บีตา

ข้อดีของหัววัดรังสีและอนุภาคแบบนี้ คือ สามารถใช้วัดพลังงานของอนุภาคได้ทุกชนิด แม้ว่าจะมีค่ากัมมันตภาพต่ำ หรือมีค่าพลังงานจลน์ต่ำ ๆ ก็สามารถใช้เครื่องมือวัดรังสีและอนุภาคได้เช่นกัน แต่มักนิยมใช้กับอนุภาคชนิดเบา เช่น อิเล็กตรอน เมซอน และ โปรตอน เป็นต้น ส่วนข้อเสีย คือมีราคาแพงและเป็นเครื่องมือที่ต้องใช้กับแหล่งจ่ายกำลังที่สม่ำเสมอและมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงอีกด้วย

3. หัววัดรังสีและอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าแบบไกเกอร์-มูลเลอร์ (Geiger – Muller counter)

หัววัดรังสีชนิดนี้ทำงานในขอบเขตที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าช่วงที่ 5 เนื่องจากทำงานในช่วงศักย์ไฟฟ้าที่สูงมาก ดังนั้นจากการ avalanche แต่ละครั้งก็เหนี่ยวนำให้เกิดการ secondary avalanche ใหม่ในที่อื่นขึ้นโดยรังสี UV ที่ถูกปลดปล่อยออกมา เรียกว่า Geiger discharge และด้วยเหตุที่แสงเดินทางได้เร็วและไกลกว่าอิเล็กตรอนจากการ avalanche ในครั้งแรก ดังนั้นการ avalanche ก็จะเกิดไปทั่วทั้งหมด ทำให้มีอัตราการขยายสูงมากประมาณ 1010 เท่า จึงไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ต้องมาต่อพ่วงเหมือนกับ Ionization chamber หรือ proportional counter จึงมีส่วนประกอบที่ง่ายไม่ซับซ้อน

หลักการทำงานของหัววัดรังสีและอนุภาคชนิดนี้ เมื่อมีอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าวิ่งผ่านเข้าไปในเครื่องมือชนิดนี้จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนไฟฟ้าของโมเลกุลของก๊าซและอิเล็กตรอนต่างก็วิ่งไปยังขั้วไฟฟ้าที่มีศักย์ไฟฟ้าตรงกันข้าม เนื่องจากความเข้มของศักย์ไฟฟ้าของเส้นลวดตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ตรงกลางมีค่าสูงมาก ดังนั้น อิเล็กตรอนที่วิ่งเข้ามาจะมีพลังงานจลน์มากขึ้นไปด้วย ทำให้ก๊าซบริเวณใกล้ๆ เส้นลวดแตกตัวเป็นไอออนไฟฟ้าต่อไปอีกเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าออกมาค่อนข้างมีค่าสูง การแตกตัวจะมีไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการปลดปล่อยกระแสไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์ตลอดแนวความยาวของเส้นลวดตัวนำ ต่อจากนั้นจะทำให้เกิดสัญญาณกระแสไฟฟ้าในวงจรภายนอกเป็นช่วงๆ (pulse) ถ้าตัวต้านทาน R มีค่ามากก็จะมีค่าของศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานมีค่าสูงไปด้วย ซึ่งจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่เส้นลวดตัวนำลดลง เป็นผลทำให้กระแสที่เกิดจากการปลดปล่อยกระแสไฟฟ้าลดลงจนเป็นศูนย์ ค่าศักย์ไฟฟ้าของลวดตัวนำจึงกลับไปมีค่าเท่าเดิม โดยจะมีค่าเท่ากับตอนที่ยังไม่มีอนุภาคที่มีประจุ

ไฟฟ้าผ่านเข้าไปเครื่องมือวัดรังสีชนิดนี้ ดังนั้น เครื่องมือวัดรังสีและอนุภาคแบบไกเกอร์-มูลเลอร์นี้ ก็กลับมาพร้อมที่จะเริ่มต้นทำการวัดใหม่อีกครั้งหนึ่ง (นคร ไพศาลกิตติสกุล, 2553)

ข้อดีของหัววัดชนิดนี้ คือ มีความไวสูง ใช้ได้กับรังสีแทบทุกชนิด มีรูปร่างต่าง ๆ ตามความเหมาะสมแก่การใช้งาน ให้สัญญาณที่มีขนาดใหญ่ ส่วนข้อเสีย คือ มักมีปัญหาการเกิดการคายประจุไฟฟ้า

หัววัดและการตรวจวัดรังสีแกมมา

หัววัดและการตรวจวัดรังสีแกมมาที่เป็นแบบหัววัดชนิดเรืองแสง (Scintillation detectors) เป็นเครื่องวัดรังสีที่มีความไวสูงมากชนิดหนึ่ง การทำงานเบื้องต้นของเครื่องมืออาศัยหลักดั้งเดิมในสมัยเมื่อครั้งนักวิทยาศาสตร์ค้นพบกัมมันตภาพรังสีกล่าวคือ เมื่อกัมมันตภาพรังสีตกกระทบสารบางชนิด เช่น zinc sulfide ที่ฉาบไว้บนฉาก จะเห็นลักษณะเรืองแสงเกิดขึ้น ณ จุดที่รังสีกระทบ เรียก ปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า การเรืองแสง (Scintillation) โดยเมื่อรังสีผ่านไปในสาร นอกจากจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนก็ยังทำให้อะตอมเกิดสถานะกระตุ้นด้วย หลังจากนั้นอิเล็กตรอนที่สถานะกระตุ้น เมื่อกลับคืนสู่สถานะพื้นก็จะปล่อยพลังงานในรูปของโฟตอนเรียกว่า แสงฟลูออเรสเซนต์ เมื่อผ่านไปในเครื่องมือแยกแสง เช่น เกรทติง หรือปริซึม จะเห็นเป็นสเปกตรัมออกมา เรียกสารลักษณะนี้ว่า สารเรืองแสง (Scintillator) เช่น ซิงซัลไฟด์ โซเดียมไอโดไดด์ และสารพลาสติกบางชนิด เป็นต้น โฟตอนที่เกิดในสารเรืองแสง ซึ่งผนึกกับผิวของหลอดขยายแสงโดยตรงหรือเชื่อมต่อด้วยตัวนำแสงจะกระทบกับแผ่น photocathode ซึ่งจะให้อิเล็กตรอนออกมาด้วยปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก จากนั้นอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าในช่วงแรกแล้วโฟกัสให้ตกกระทบกับไดโนดตัวแรก

เมื่อมีอิเล็กตรอนกระทบแล้วจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนรุ่นที่สองด้วยจำนวนประมาณ 2-5 เท่าของอิเล็กตรอนรุ่นแรก อิเล็กตรอนรุ่นที่สองก็จะถูกเร่งข้ามช่องว่างถึงไดโนดตัวที่สอง ซึ่งจะเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนเป็นทวีคูณขึ้นเรื่อย ๆ ปกติหลอดขยายแสงหนึ่ง ๆ จะมี 10-18 dynodes โดยแต่ละ dynode ให้แฟคเตอร์ทวีคูณถึง 2-5 ทั้งนี้ขึ้นกับค่าโวลต์ที่ใช้ กล่าวโดยสรุปโฟตอนที่กระทบแผ่น photocathode ย่อมทำให้เกิด electron avalanche ซ้ำๆ ซึ่งในที่สุดจะไปถึงขั้ว แอโนด และให้ voltage pulse ตกคร่อมตัว ต้านทาน R สัญญาณที่เกิดขึ้นนี้เป็นปฏิภาคกับพลังงานของรังสีปฐมภูมิที่กระทบสารเรืองแสง

หัววัดและการตรวจวัดอนุภาคนิวตรอน

1. หัววัดนิวตรอนแบบช้า (Slow neutron detectors)

เนื่องจากนิวตรอนไม่มีประจุ ดังนั้นนิวตรอนจึงทำอันตรกิริยาเฉพาะกับนิวเคลียสเท่านั้น โดยการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ ดังนั้นหัววัดนิวตรอนจึงมีหลักการทำงานคือให้นิวตรอนเหนี่ยวนำให้เกิด secondary charged particle ซึ่งสามารถวัดได้ง่ายกว่า ลักษณะสำคัญต่างๆ สำหรับปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ใช้ คือ

1.1 ธาตุที่นำมาใช้ต้องมีค่า cross section ค่อนข้างสูงสำหรับปฏิกิริยานิวเคลียร์นั้นๆ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของมีค่าสูงตามไปด้วย จึงสามารถสร้างเป็นหัววัดที่มีขนาดเหมาะสม ไม่ใหญ่จนเกินไป

1.2 ธาตุเหล่านั้นควรจะมี isotropic abundance ในธรรมชาติที่สูงมากพอ ซึ่งทำให้หาได้ง่าย และมีราคาถูก

1.3 ปฏิกิริยานิวเคลียร์นั้นต้องมีค่า Q-value เป็นบวก และควรจะมีค่าสูงพอที่จะมีผลทำให้พลังงานจลน์ของผลิตผลจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ (reaction products) มีค่าสูงมากพอที่จะแปร เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสามารถแยก (discriminate) ออกจากผลที่มาจากรังสีแกมมา

2. หัววัดนิวตรอนแบบเร็ว (fast neutron detectors)

โดยหลักการแล้วปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดนิวตรอนช้านั้น สามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดนิวตรอนเร็ว (fast neutrons) ได้เพียงแต่ว่าจะมีข้อด้อยคือค่า cross sections จะลดลงอย่างรวดเร็วตามค่าพลังงานของนิวตรอนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหัววัด BF_3 proportional tube แบบธรรมดา ซึ่งจะมีค่า cross sections ที่ต่ำมากจึงไม่สามารถนำมาใช้วัดนิวตรอนเร็วได้ ส่วนหัววัดฮีเลียมนั้นมีค่า cross sections ที่ค่อนข้างสูงกว่าจึงสามารถใช้ตรวจวัดได้ ทั้งนิวตรอนช้าและนิวตรอนเร็ว (ธวัช ชิตตระการ., 2541)

บทสรุป

มนุษย์ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณรังสีที่สัมผัสได้โดยตรง จึงมีความจำเป็นในการใช้เครื่องมือวัดรังสี เพื่อตรวจสอบปริมาณรังสีที่ได้รับและวัดปริมาณรังสีที่ต้องการทราบได้ สำหรับเครื่องวัดรังสีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน การเลือกใช้เครื่องวัดรังสีควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการวัด ต้นกำเนิดของรังสี ระดับรังสีที่ต้องการตรวจวัด การขึ้นกับพลังงานรังสีของเครื่องวัดรังสี ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการตรวจวัดเครื่องวัดรังสี หน่วยที่ต้องการตรวจวัด ถ้าปฏิบัติงานในพื้นที่บริเวณรังสี ควรมีเครื่องมือวัดรังสีประเภทบุคคลที่พกพาสะดวก ง่ายต่อการประเมินค่า เช่น พอกเก็ตโดสิมิเตอร์ ฟิล์มแบดจ์ และ ทีแอลดีเป็นต้น สำหรับเครื่องมือวัดรังสีสามารถแบ่งประเภทของเครื่องมือวัดรังสีเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ หัววัดรังสีแบบใช้ของก๊าซ หัววัดและการตรวจวัดอนุภาครังสีที่มีประจุ หัววัดและการตรวจวัดรังสีแกมมา หัววัดและการตรวจวัดอนุภาคนิวตรอน เป็นต้น โดยเครื่องมือวัดรังสีในแต่ละประเภทจะมีการเลือกใช้งานจากการพิจารณารังสีที่ทำการตรวจวัด

คำถามท้ายบทที่ 6

1. จงอธิบายวิธีการจำแนกเครื่องมือวัดรังสี
2. จงอธิบายหลักการทำงานของเครื่องมือวัดรังสี
3. จงอธิบายเครื่องวัดรังสีแบบการเกิดไอออไนเซชัน
4. ถ้าต้องทำงานในบริเวณที่มีรังสีแกมมา ควรเลือกใช้เครื่องมือวัดรังสีแบบใด
5. จงอธิบายเครื่องวัดรังสีแบบฟิล์มแบดจ์ มีข้อดีและข้อเสียอย่างไร
6. จงเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับขนาดของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการใช้หัววัดรังสีแบบก๊าซ
7. หัววัดรังสีชนิดใดที่สามารถแยกชนิดของรังสีสำหรับไอโซโทปที่มีการสลายตัวให้รังสีอัลฟา บีตา พร้อมอธิบายหลักการทำงาน
8. จงเปรียบเทียบหลักการทำงานของหัววัดรังสีที่มีประจุไฟฟ้าแบบสัดส่วนกับหัววัดรังสีที่มีประจุไฟฟ้าแบบไกเกอร์-มูลเลอร์
9. ถ้านักศึกษาต้องทำงานทางรังสีในบริเวณที่มีอุบัติการณ์ทางรังสี นักศึกษาจะเลือกใช้เครื่องมือชนิดใด จงอธิบาย
10. ถ้านักศึกษาต้องการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยการเก็บตัวอย่างดินไว้ นักศึกษาจะเลือกเครื่องมือชนิดใด จงอธิบาย

เอกสารอ้างอิง

กอบศิริ วรศรี และ มาลี สุทธิโอภาส. (2556). **ฟิสิกส์สำหรับพยาบาล (Physics for Nurse).** กรุงเทพฯ :บริษัท เอเชียเพรส.

ชวลิต ศัยนันทน์ . (2541). **ฟิสิกส์ทั่วไป (สำหรับนักศึกษาวิชาชีพทุกสาขาและนักศึกษาพยาบาล)** . นครราชสีมา : วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี นครราชสีมา.

ธวัช ชิตตระการ. (2541). **การตรวจและวัดรังสี.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นคร ไพศาลกิตติสกุล. (2553). ฟิสิกส์เชิงรังสี (Radiological Physics). กรุงเทพฯ : อักษรโสภณ.

พงศกร สุวรรณเดชา. (2540). **ฟิสิกส์นิวเคลียร์.** ปัตตานี: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

พูนทรัพย์ มิตรสัมพันธ์. (2550). **ฟิสิกส์นิวเคลียร์ 1** . กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.

พัฒนสุข ชำนินอก. (2555). **ฟิสิกส์นิวเคลียร์ 1**. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

EQUIPCO, ออนไลน์ เครื่องมือวัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ สืบค้นจาก http://www.equipcoservices.com/support/tutorials/introduction-to-radiation-monitors/ วันที่สืบค้น 26 มีนาคม 2560

Scrigroup, ออนไลน์ ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และขนาดของสัญญาณ สืบค้นจาก http://www.scrigroup.com/limba/engleza/93/Instrumentation-and-Control-Te62738.php วันที่สืบค้น 20 มีนาคม 2560

Radsafety, ออนไลน์ ฟิล์มแบดจ์ สืบค้นจาก http://radsafetypdrukm.blogspot.com/2016/06/radiation-external-monitoring-film-badge.html วันที่สืบค้น 15 มีนาคม 2560.

NDT resource center, ออนไลน์ TDL สืบค้นจาก httpwwwndeedorgEducationResourcesCommunityCollegeRadiationSafety/radiation_safety_equipment/thermoluminescent.htm วันที่ 27 มีนาคม 2560