บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงพลังงานนิวเคลียร์ ธาตุกัมมันตรังสี กัมมันตภาพรังสี ชนิดของกัมมันตรังสี การสลายให้รังสีแกมมา อันตรกิริยาจากรังสีแกมมา ข้อมูลเบื้องต้นของสารกัมมันตรังสีโคบอลต์-60 การจัดเก็บต้นกำเนิดรังสี และประเภทของวัสดุกัมมันตรังสีอันตราย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 พลังงานนิวเคลียร์ (Nuclear energy)

ทุกสิ่งที่อยู่รอบ ๆ ตัวเราประกอบไปด้วยวัตถุขนาดเล็กมาก ๆ ที่เรียกว่า “อะตอม” และในแกนกลางของอะตอมก็มีมวลที่มีพลังงานสูงที่เรียกว่า “นิวเคลียส” และเมื่อนิวเคลียสของอะตอมเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ขึ้นไม่ว่าจะจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน หรือการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา พลังงานที่ปล่อยออกมานี้เรียกว่าพลังงานนิวเคลียร์

พลังงานนิวเคลียร์ที่ปลดปล่อยออกมาส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ “ความร้อน” และ “รังสี” โดยที่ความร้อนเราสามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนรังสีเราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายเช่น ทางภาคอุตสาหกรรม การเกษตร และการแพทย์ เป็นต้น (ฝ่ายบริหารงานวิศวกรรมโรงไฟฟ้าและพลังงานนิวเคลียร์การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ออนไลน์. 2556)

2.1.2 ชนิดของพลังงานนิวเคลียร์

โดยพลังงานนิวเคลียร์นำมาประยุกต์ใช้ได้ 4 แบบ

2.1.2.1 พลังงานนิวเคลียร์ฟิชชัน (Fission) เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์โดยการแยกตัวหรือแตกตัวของนิวเคลียสของธาตุหนัก เช่น ธาตุยูเรเนียม ธาตุพลูโตเนียม การแตกตัวแต่ละครั้งของนิวเคลียสของธาตุหนัก จะให้พลังงานออกมามากมาย และมีอนุภาคนิวตรอนออกมาด้วย 2 - 3 ตัว ซึ่งนิวตรอนเหล่านี้จะวิ่งต่อไป และชนกับนิวเคลียสของอะตอมอื่น ต่อเนื่องกันไป เรียกว่า “ปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction)” พร้อมทั้งให้พลังงานความร้อนออกมาอย่างมากมายด้วย เราใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์แบบฟิชชัน ในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ และการสร้างเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

2.1.2.2 พลังงานนิวเคลียร์ฟิวชัน (Fusion) เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์โดยการรวมตัวกันของนิวเคลียสของธาตุเบา เช่น ธาตุไฮโดรเจน และธาตุฮีเลียม เรียกว่า ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน ปฏิกิริยานี้จะให้พลังงานออกมาอย่างมากมาย ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันในดวงอาทิตย์ ที่ให้พลังงานแสง และพลังงานความร้อนจำนวนมหาศาลแก่โลกของเรา

2.1.2.3 ไอโซโทปกัมมันตรังสี (Radioisotope) เกิดจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี ซึ่งมีคุณสมบัติในการสลายตัวโดยการปลดปล่อยรังสีหรืออนุภาคต่าง ๆ ออกมาจากนิวเคลียส เช่น รังสีแกมมา รังสีเอกซ์หรือเอกซเรย์ อนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา อนุภาคนิวตรอน และอนุภาคโปรตอน เราใช้ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์จากรังสีแกมมาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากนิวเคลียสของไอโซโทปโคบอลต์-60 ในการรักษาโรคมะเร็งและเนื้องอก

2.1.2.4 พลังงานนิวเคลียร์จากการเร่งอนุภาคให้มีพลังงานสูง เกิดจากการเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน อนุภาคโปรตอน และอนุภาคแอลฟา ด้วยเครื่องเร่งอนุภาค (particle accelerator) ตัวอย่างเช่น เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ได้จากการเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงถึง 1 แสนโวลต์ เครื่องเร่งอนุภาคไซโคลตรอน (Cyclotron) ซึ่งสามารถเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน อนุภาคโปรตอน และอนุภาคแอลฟาในแนววงกลม ให้มีพลังงานสูงถึงหลายสิบล้านโวลต์ เราใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์ที่เกิดจากการเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน ในการรักษาโรคมะเร็งในโรงพยาบาลต่างๆ มากกว่า 10 แห่งในประเทศไทย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ออนไลน์. 2561)

2.1.3 ธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive Element)

ธาตุที่มีสภาพไม่เสถียรซึ่งจะมีการสลายตัวของนิวเคลียสอยู่ตลอดเวลาทำให้กลายเป็นนิวไคลด์ใหม่หรือธาตุในขณะเดียวกันก็สามารถปลดปล่อยรังสีได้ (ธิดารัตน์ แสงฮวด. ออนไลน์. 2555)

2.1.4 กัมมันตภาพรังสี (Radioectivity)

ปรากฏการณ์ที่นิวเคลียสของไอโซโทปที่ไม่เสถียร เกิดการปรับตัวเพื่อให้เสถียรภาพ โดยการปล่อยอนุภาคบางชนิดหรือพลังงานออกมาในรูปของรังสี รังที่แผ่ออกมามีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ รังสีแอลฟา รังสีเบตา และรังสีแกมมา

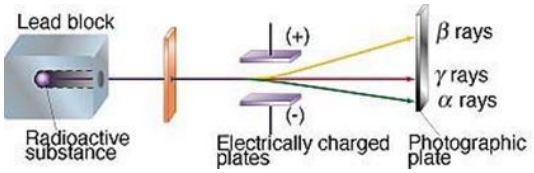
ซึ่งในนิวเคลียสของธาตุประกอบด้วยโปรตอนซึ่งมีประจุบวกและนิวตรอนซึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้า สัดส่วนของจำนวนโปรตอนต่อจำนวนนิวตรอนไม่เหมาะสมจนทำให้ธาตุนั้นไม่เสถียร ธาตุนั้นจึงปล่อยรังสีออกมาเพื่อปรับตัวเองให้เสถียร ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (ปรียา อนุพงษ์องอาจ. ออนไลน์.2556)

2.1.5 กัมมันตภาพ

จำนวนอนุภาคหรือรังสีที่ถูกปลดปล่อยออกมาต่อหนึ่งหนึ่งเวลา มีหน่วยเป็น เบ็กเคอเรล (ปรียา อนุพงษ์องอาจ. ออนไลน์.2556)

2.1.6 ชนิดของกัมมันตรังสี

โดยเมื่อนำสารกัมมันตรังสีใส่ลงในตะกั่วที่เจาะรูเอาไว้ให้รังสีออกทางช่องทางเดียวไปผ่านสนามไฟฟ้าพบว่ารังสีหนึ่งจะเบนเข้าหาขั้วบวกคือรังสีเบตาอีกรังสีหนึ่งเบนเข้าหาขั้วลบคือรังสีแอลฟาหรืออนุภาคแอลฟาส่วนอีกรังสีหนึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้าจึงไม่ถูกดูดหรือผลักด้วยอำนาจแม่เหล็กหรืออำนาจนำไฟฟ้า ให้ชื่อรังสีนี้ว่า รังสีแกมมา ดังภาพที่2.1 (ปรียา อนุพงษ์องอาจ. ออนไลน์. 2556)

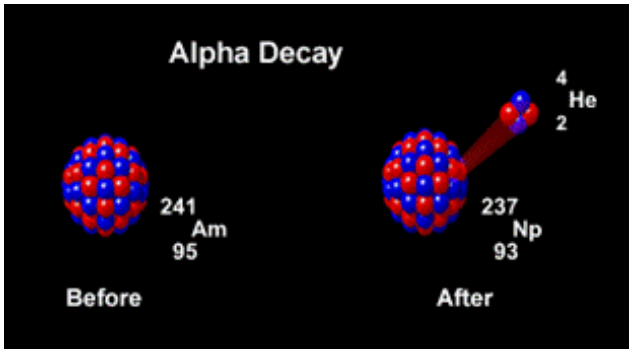


ภาพที่ 2.1 ชนิดของกัมมันตรังสี

(ที่มา : ปรียา อนุพงษ์องอาจ. ออนไลน์. 2556)

2.1.6.1 รังสีแอลฟา (Alpha Ray: α)

เป็นนิวเคลียสของอะตอมของธาตุฮีเลียม มีมวลเท่ากับ 4 และมีประจุไฟฟ้า +2 เขียนสัญลักษณ์จึงได้ $^{4}_{2}He$ มีพลังงาน 4-10 MeV เนื่องจากรังสีแอลฟามีมวลมาก เมื่อเคลื่อนไปชนอนุภาคตัวกลางใด ๆ จะทำให้อนุภาคตัวกลางแตกตัวได้ดี แต่ตัวรังสีแอลฟาจะสูญเสียพลังงานไปมาก จึงทำให้อำนาจในการทะลุทะลวงไปข้างหน้าต่ำ (เคลื่อนที่ได้ 3-5 เซนติเมตร ในอากาศ) เนื่องจากรังสีแอลฟามีองค์ประกอบเป็นอนุภาค จึงอาจเรียกเป็นอนุภาคแอลฟาได้

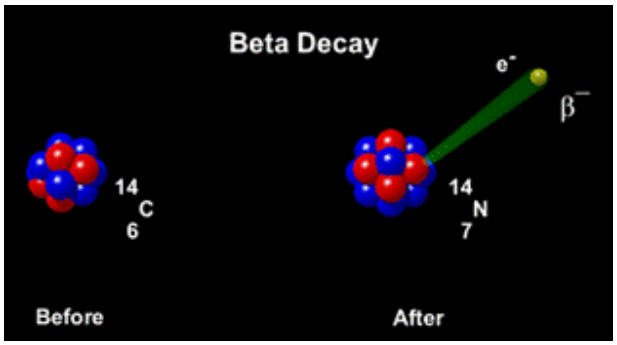


ภาพที่ 2.2 รังสีแอลฟา

(ที่มา : ปรียา อนุพงษ์องอาจ. ออนไลน์. 2556)

2.1.6.2 รังสีเบตา (Beta Ray:β)

เป็นอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงในช่วงประมาณ 0.025-3.5 MeV เขียนเป็นสัญลักษณ์จะได้ $_{-1}^{0}e$ เนื่องจากรังสีเบตามีมวลน้อย เมื่อเคลื่อนที่ไปชนอนุภาคตัวกลางใดๆ จะทำให้อนุภาคตัวกลางแตกตัวได้น้อยสูญเสียพลังงานไม่มากจึงทำให้อำนาจในการทะลุทะลวงไปข้างหน้าสูงกว่าแอลฟา(เคลื่อนที่ได้ 1-3 เมตร) นอกจากนี้รังสีเบตายังเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กได้มากกว่าแอลฟา เพราะอัตราเร็วของการเคลื่อนที่สูงกว่าแอลฟา รังสีเบตาเกิดจากการแตกตัวของนิวตรอนในนิวเคลียส เมื่อนิวตรอนแตกตัวจะได้ โปรตอน 1 ตัวและอิเล็กตรอน 1 ตัว อิเล็กตรอนนี้จะหลุดออกมาจากนิวเคลียสแล้วเกิดการเป็นรังเบตา ส่วนโปรตอนจะยังคงอยู่ในนิวเคลียส ด้วยเหตุนี้ในนิวเคลียสจะมีโปรตอนเพิ่ม 1 ตัว เสมอเมื่อมีการคายรังสีเบตา อีกประการหนึ่งอิเล็กตรอนในการคายออกมานั้นมีมวลน้อยมาก ดังนั้น การคายรังสีเบตาจึงไม่ทำให้มวลของนิวเคลียสเปลี่ยนแปลง

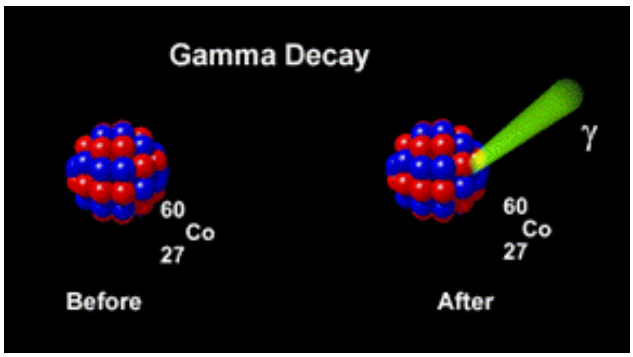


ภาพที่ 2.3 รังสีเบตา

(ที่มา : ปรียา อนุพงษ์องอาจ. ออนไลน์. 2556)

2.1.6.3 รังสีแกมมา (Gamma Ray:γ)

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง จึงเป็นกลางทางไฟฟ้า (ไม่มีประจุ) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียส เพราะนิวเคลียสที่เกิดใหม่ในกัมมันตภาพรังสีนั้นจะอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (Excited Stated) มีพลังงานสูงมาก ซึ่งจะต้องมีการคายพลังงานออกมาบางส่วน พลังงานที่คายออกมานั้นจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในระดับของรังสีแกมมานั่นเองเนื่องจากรังสีแกมมามีพลังงานสูงมาก (0.04-3.2 MeV) และทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของตัวกลางที่ผ่านน้อยมาก ดังนั้น รังสีแกมมาจึงมีอำนาจในการทะลุผ่านสูงมาก (วิจิตรา. ออนไลน์. 2557)

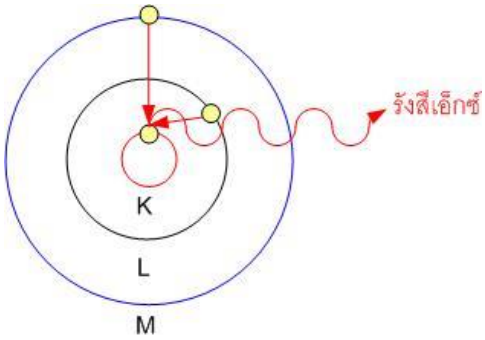


ภาพที่ 2.4 รังสีแกมมา

(ที่มา : ปรียา อนุพงษ์องอาจ. ออนไลน์. 2556)

2.1.6.4 รังสี X-ray

เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสภาวะของระดับพลังงานของอะตอมจากระดับพลังงานสูงไปสู่ระดับพลังงานต่ำ ซึ่งอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (Radioisotope) และที่มนุษย์ผลิตขึ้นจากกลไกทางอิเล็กทรอนิกส์ เมื่ออะตอมได้รับการกระตุ้น (excite) จะทำให้บริเวณวงโคจรอิเล็กตรอนของอะตอมนอกนิวเคลียสได้รับผลกระตุ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนจากสภาวะปกติ (ground state) ไปสู่สภาวะกระตุ้น (excited state) และจะลดระดับพลังงานกลับมาสู่สภาวะปกติ ในกระบวนการกลับเข้าสู่สภาวะปกตินั้นจะเกิดการแทนที่ในที่ว่างจากชั้นอิเล็กตรอนวงนอกซึ่งมีพลังงานสูงเข้าแทนที่อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นให้หลุดออกไปจากวงโคจรการแทนที่นี้ก่อให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยออกมานี้เรียกว่า “รังสีเอกซ์เรือง (fluorescent x-ray)” (ศุภกร จันทร์ประภา. ออนไลน์. 2557)



ภาพที่ 2.5 รังสี X-ray

(ที่มา : ปรียา อนุพงษ์องอาจ. ออนไลน์. 2556)

2.1.6.5 รังสีนิวตรอน

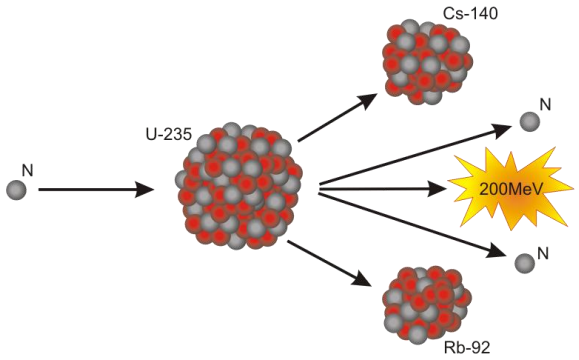
โดยทั่วไปนิวตรอนเกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ จึงจำแนกแหล่งกำเนิดนิวตรอนได้ตามปฏิกิริยานิวเคลียร์ สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท

1) ต้นกำเนิดนิวตรอนที่เป็นสารกัมมันตรังสี เป็นต้นกำเนิดนิวตรอนที่ผลิตขึ้นจากการผสมธาตุกัมมันตรังสี เข้ากับธาตุที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวอนุภาคนิวตรอนตัวสุดท้ายต่ำ ตัวอย่างเช่น เรเดียม-226 + เบอริลเลียม (^{226}Ra+Be) เรเดียม-226 เป็นเรดิโอไอโซโทปที่สลายตัวให้รังสีแอลฟา เมื่อรังสีแอลฟาวิ่งเข้าชนนิวเคลียสของเบอริลเลียม จะทำให้นิวตรอนตัวสุดท้ายในนิวเคลียสของเบอริลเลียมหลุดออกมาคือนิวตรอนออกมาจากปฏิกิริยา

2) เครื่องกำเนิดนิวตรอน เป็นเครื่องผลิตนิวตรอนจากการเร่งอนุภาคที่มีประจุวิ่งเข้าชนเป้าโดยใช้เครื่องเร่งอนุภาค จะทำให้ได้อนุภาคนิวตรอนมากขึ้น เช่น ปฏิกิริยาระหว่างดิวเทอรอน ($^{2}_{1}H$ หรือ $^{2}_{1}D$) กับเป้าที่เป็นดิวเทอเรียม เรียกว่าปฏิกิริยา DD reaction และ ปฏิกิริยาระหว่างดิวเทอรอนกับเป้าที่เป็นตริเตียม ($^{3}_{1}H$ หรือ $^{3}_{1}T$) เรียกว่าปฏิกิริยา DT reaction

ปฏิกิริยา DD และ DT ให้นิวตรอนมีพลังงาน 2.46 และ 14.08 MeV

3) เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นต้นกำเนิดนิวตรอนที่ให้นิวตรอนออกมามากที่สุด ความเข้มของนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูจะอยู่ในช่วง 10^{8}-10^{14} นิวตรอนต่อ ตร.ซม.ต่อวินาที นิวตรอนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเกิดจากปฏิกิริยาฟิชชั่น ของเชื้อเพลิงปรมาณูกับอนุภาคนิวตรอน อนุภาคนิวตรอนนี้เกิดจากปฏิกิริยาการแตกตัวของเชื้อเพลิงปรมาณูยูเรเนียม-235 ในการแตกตัวแต่ละครั้งจะมีการปลดปล่อยนิวตรอนออกมา 2-3 อนุภาค (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน. 2534)

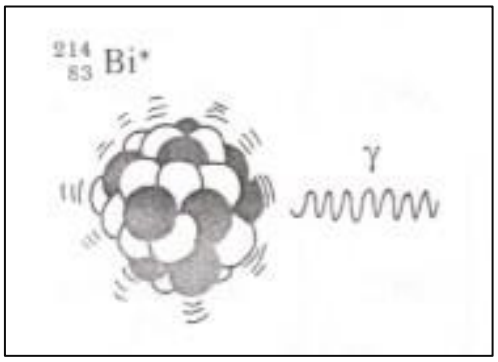


ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาฟิชชั่น

(ที่มา : LongMaaDoo. ออนไลน์. 2562)

2.1.7 การสลายให้รังสีแกมมา

รังสีแกมมาที่แผ่ออกมาเกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของนิวเคลียสจากภาวะที่ถูกกระตุ้นไปสู่สถานะพื้น ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าโดยการแผ่รังสีแกมมาซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา พบว่ารังสีแกมมามักเกิดตามหลังการสลายให้อนุภาคแอลฟาหรืออนุภาคบีตาเสมอ เช่น Pb-214 สลายด้วยการปล่อยอนุภาคบีตาแล้วกลายเป็น Bi-214 พบว่า Bi-214 ที่เกิดขึ้นอยู่ในสภาวะกระตุ้นแล้ว Bi-214 จะลดระดับพลังงานสู่สภาวะปกติและปล่อยรังสีแกมมาออกมา (บ้านจอมยุทธ. ออนไลน์. 2543)



ภาพที่ 2.7 การสลายให้รังสีแกมมา

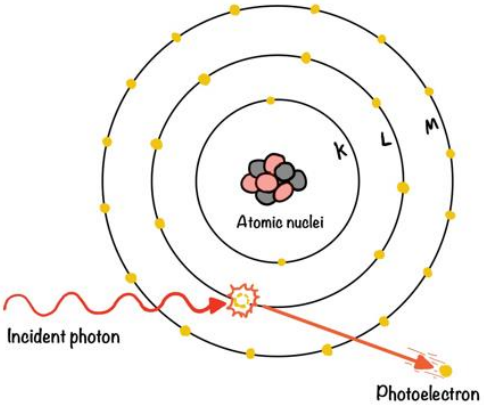
(ที่มา : สุพัตรา โกษฐโสม. ออนไลน์. 2554)

2.1.8 อันตรกิริยาจากรังสีแกมมา

รังสีแกมมาไม่มีประจุและไม่มีมวล จึงไม่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนในสารได้โดยตรงแต่สามารถเกิดทางอ้อมจากอันตรกิริยา 3 ชนิด คือ การเกิดโฟโตอิเล็กตริก, การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการเกิดแพร์โพรดักชัน โอกาสที่จะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนขึ้นกับพลังงานของรังสีแกมมา โครงสร้างอะตอมและนิวเคลียสของสารที่รังสีแกมมาวิ่งผ่า

2.1.8.1 การเกิดโฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric Effect) เป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่ล้อมรอบนิวเคลียสของอะตอมของตัวกลาง ด้วยการชนและถ่ายโอนพลังงานให้อิเล็กตรอนทั้งหมดทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากวงโคจรเป็นอิสระ อะตอมจะกลายเป็นไอออนบวก โดยอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานของโฟตอนหลุดออกไปนี้เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน

โอกาสในการเกิดโฟโตอิเล็กตริกต่อระยะทางที่โฟตอนเคลื่อนที่ในตัวกลางขึ้นกับเลขอะตอมของตัวกลางและพลังงานของโฟตอน จากที่กล่าวมาแล้วว่าการสูญเสียอิเล็กตรอนในชั้นโคจรของอะตอมตัวกลาง จะต้องมีการรักษาสมดุลโครงสร้างและปลดปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic x-ray) ออกมา

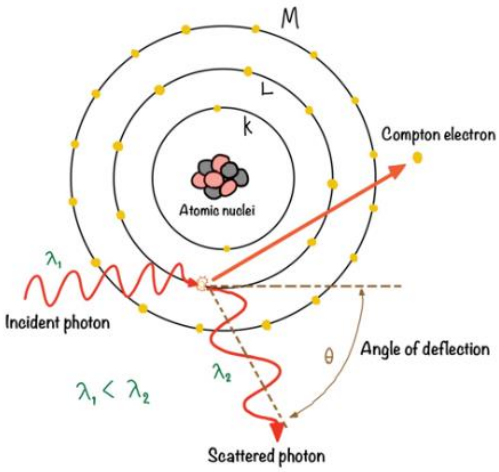


ภาพที่ 2.8 การเกิดโฟโตอิเล็กตริก

(ที่มา : ณัฏฐ์สุพล ชุติธนภานนท์. ออนไลน์. 2562)

2.1.8.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton Scattering) เป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่ล้อมรอบนิวเคลียสแต่การชนทำให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานบางส่วนจากโฟตอน และการกระเจิงออกจากวงโคจรในทิศทางทำมุมกับแนวเคลื่อนที่ของโฟตอนเท่ากับ $\emptyset$ ส่วนโฟตอนที่มีพลังงานเหลืออยู่จะกระเจิงในทิศทางทำมุม θ อันตรกิริยานี้ อิเล็กตรอนซึ่งเรียกว่า recoil electron

โอกาสที่จะเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันต่อระยะทางที่โฟตอนเคลื่อนที่ในตัวกลางขึ้นกับเลขอะตอมของตัวกลางและพลังงานของโฟตอน

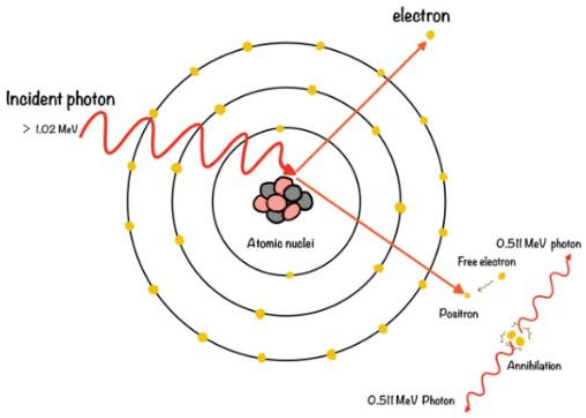


ภาพที่ 2.9 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน

(ที่มา : ณัฏฐ์สุพล ชุติธนภานนท์. ออนไลน์. 2562)

2.1.8.3 การเกิดแพร์โพรดักชัน (Pair Production) เป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับนิวเคลียส ในกรณีที่โฟตอนมีพลังงานสูงมากจะเคลื่อนที่ผ่าบริเวณชั้นโคจรอิเล็กตรอนถ่ายโอนพลังงานบริเวณใกล้นิวเคลียส พลังงานของโฟตอนจะทำให้เกิดแถบพลังงานบริเวณสนามประจุ ซึ่งอธิบายด้วยทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม ดังภาพที่ 2.10 คู่อิเล็กตรอนที่เกิดในแถบพลังงานที่มีการรับพลังงานเพิ่มและหลุดจากแถบพลังงานพร้อมทั้งรับประจุลบและบวกเกิดเป็นอิเล็กตรอนประจุลบและอิเล็กตรอนประจุบวก (โพสิตรอน) คู่หนึ่ง จากนั้นในช่วงเวลาอันสั้นโพสิตรอนจะจับอิเล็กตรอนอิสระบริเวณใกล้เคียงสลายมวลทันทีทันใด (annihilation) กลายเป็นรังสีแกมมา 2 ตัว ปลดปล่อยออกมาในทิศทางทำมุม 180 องศา โดยรังสีแกมมาแต่ละตัวมีพลังงานจากกการสลายมวล 0.511 MeV

โอกาสในการเกิดแพร์โพรดักชันต่อระยะทางที่โฟตอนเคลื่อนที่ในตัวกลางขึ้นกับเลขอะตอมของตัวกลางและพลังงานต้องมากกว่า 1.022 MeV (สุวิทย์ ปุณณชัยยะ.)



ภาพที่ 2.10 การเกิดแพร์โพรดักชัน

(ที่มา : ณัฏฐ์สุพล ชุติธนภานนท์. ออนไลน์. 2562)

2.1.9 ข้อมูลเบื้องต้นของสารกัมมันตรังสีโคบอลต์-60

ธาตุโคบอลต์-60 ไม่มีอยู่ตามธรรมชาติ ผลิตได้โดยการนำธาตุโคบอลต์-59 ซึ่งเป็นธาตุที่เสถียร ไปอาบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งจะได้เป็นธาตุกัมมันตรังสีโคบอลต์-60 มีค่าครึ่งชีวิต 5.27 ปี สลายตัวให้รังสีแกมมา 2 ค่าพลังงาน คือ 1.17 MeV และ 1.33 MeV และ อนุภาคบีตาพลังงาน 0.138 MeV และจะสลายตัวไปเป็นธาตุนิกเกิล-60 (นิธิยา รัตนาปนนท์. ออนไลน์. 2558)

2.1.10 การจัดเก็บต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60

สารกัมมันตรังสีโคบอลต์-60 ที่ใช้อยู่ทั่วไปเป็นแบบปิดผนึก (Sealed Source) เมื่อนำมาใช้ในทางการแพทย์ต้นกำเนิดรังสีจะอยู่ในวัสดุกำบังรังสี เช่น ยูเรเนียม , ตะกั่ว ซึ่งสารกัมมันตรังสีนี้จะมีขนาดเล็ก ๆ (grain) เป็นจำนวนมากโดยบรรจุอยู่ในภาชนะ stainless steel รูปทรงกระบอก เวลาใช้งานต้นกำเนิดรังสีจะถูกเคลื่อนออกมาทางช่องฉายรังสีด้วยระบบลม (Pneumatic) และ กลไกในการควบคุมหรือใช้ระบบขับดันต้นกำเนิดรังสี ให้เลื่อนต้นกำเนิดรังสีมายังตำแหน่งช่องเปิด เมื่อฉายรังสีครบตามเวลาที่ได้ตั้งไว้ ต้นกำเนิดรังสีก็จะเลื่อนเข้าไปอยู่ในที่เก็บปกติโดยอัตโนมัติ เนื่องจากขณะฉายรังสีปริมาณรังสีที่ออกมามีค่าสูง จึงจำเป็นต้องมีห้องฉายรังสีที่ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานและประชาชนทั่วไปปลอดภัยจากรังสี (คณะอนุกรรมการความปลอดภัยทางรังสี. ออนไลน์. 2555)

2.1.11 ประเภทของวัสดุกัมมันตรังสีอันตราย

การกำหนดประเภทของวัสดุกัมมันตรังสีอันตราย 5 ประเภท เป็นการจำแนกประเภทวัสดุ กัมมันตรังสีที่ใช้สำหรับวัสดุกัมมันตรังสีชนิดปิดผนึก (Sealed sources) และชนิดที่ไม่เป็นผนึก (Unsealed sources) เพื่อเป็นการวางระดับความเข้มงวดในการพิจารณาออกใบอนุญาตผลิต โดยการจำแนกประเภทวัสดุกัมมันตรังสีตามความเป็นอันตราย 5 ประเภท มีหลักเกณฑ์ที่เรียงล าดับตามความสำคัญ คือ (1) การจำแนกตามการประยุกต์ใช้/การใช้งาน และ (2) จำแนกตามค่า A/D (ค่า A คือ ค่ากัมมันตภาพของวัสดุกัมมันตรังสีที่กำลังพิจารณา และ ค่า D คือ ค่าความเป็นอันตรายของวัสดุกัมมันตรังสีที่กำลังพิจารณา) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตรายสูงสุด (Extremely dangerous) วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตรายสูงสุดต่อมนุษย์ (Extremely dangerous to the person) แหล่งกำเนิดชนิดนี้ หากไม่มีการป้องกันหรือจัดการให้เกิดความปลอดภัยจะทำให้เกิดการบาดเจ็บอย่างถาวรต่อผู้ได้รับสัมผัสโดยตรงหรือผู้ที่เกี่ยวข้องจำนวนมากภายในไม่กี่นาที และอาจจะทำให้เสียชีวิตได้ กรณีที่เป็นวัสดุกัมมันตรังสีที่ไม่มีการปิดผนึก ในระยะเวลาไม่กี่นาทีถึงหนึ่งชั่วโมง

ตารางที่ 2.1 วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตรายสูงสุด

วัสดุกัมมันตรังสี	การใช้งาน	ชนิดกัมมันตรังสี	ค่ากัมมันตภาพ
เครื่องฉายรังสี (Irradiators)	ใช้ในการฆ่าเชื้อเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ ยับยั้งการงอก จำกัดแมลงที่ปนเปื้อนใน พืชผลทางการเกษตร	โคบอลต์-60 Co-60	190-560,000 TBq 5,000-15,000,000 Ci
		ซีเซียม-137 Cs-137	190-190,000 TBq 5,000-5,000,000 Ci
เครื่องฉายรังสีเลือด/ เนื้อเยื่อ (Blood/tissue Irradiators)	ใช้ฉายรังสีเลือดหรือ ส่วนประกอบของเลือด เพื่อป้องกันอันตรายให้กับผู้ป่วย ที่ภูมิคุ้มกันบกพร่อง และผู้ป่วยที่ต้องได้รับการปลูก ถ่ายอวัยวะ หรือเปลี่ยนถ่าย ไขกระดูก	ซีเซียม-137 Cs-137	37-440 TBq 1,000-12,000 Ci
		โคบอลต์-60 Co-60	56-110 TBq 1,500-3,000 C
เครื่องฉายรังสีระยะไกล (Teletherapy)	ใช้ในการรักษามะเร็งในส่วน ต่างๆ ของร่างกายโดยการ ฉายรังสีจากภายนอกเข้าไป ในร่างกายส่วนใหญ่ใช้ใน โรงพยาบาลเฉพาะทางหรือโรงพยาบาลศูนย์ฯ	โคบอลต์-60 Co-60	37-560 TBq 1,000-15,000 Ci
		ซีเซียม-137 Cs-137	19-56 TBq 500-1,500 Ci
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย ความร้อนซึ่งใช้ไอโซโทปรังสี (Radioisotope thermoelectric generators, RTGs)	ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ใช้ใน กิจการทางการทหาร และ ดาวเทียม	สทรอนเซียม-90 Sr-90	330-25,000 TBq 9,000-680,000 Ci
		พลูโตเนียม-238 Pu-238	1-10 TBq 28-280 Ci

(ที่มา : วงศกร อังคะคำมูล. ออนไลน์. 2557)

2) วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตรายมาก (Very dangerous)

วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตรายมาก (Very dangerous to the person) แหล่งเกิดนี้หากไม่จัดการได้อย่างปลอดภัยหรือการป้องกันอย่างปลอดภัยอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บถาวรไปยังผู้ที่จัดการหรือ ผู้ที่ดูแลหรือผู้ที่ที่เกี่ยวข้องในบริเวณใกล้เคียงในช่วงเวลาสั้นๆ (นาทีถึงชั่วโมง) มันอาจจะเป็นอันตรายถึง ชีวิตได้ในระยะเวลาเป็นชั่วโมงถึงหนึ่งวัน กรณีเมื่ออยู่ใกล้ชิดกับปริมาณของวัสดุกัมมันตรังสีที่ไม่ปิดผนึก

ตารางที่ 2.2 วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตรายมาก

วัสดุกัมมันตรังสี	การใช้งาน	ชนิดวัสดุกัมมันตรังสี	ค่ากัมมันตภาพ
อุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาทางอุตสาหกรรม (Industrial gamma radiography)	ใช้ในการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ส่วนใหญ่ใช้ในการ ตรวจสอบท่อและหอกลั่นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี	โคบอลต์-60 Co-60	0.41-7.4 TBq 11-200 C
		ซีลีเนียม-75 Se-75	3 TBq, 80 Ci
		อิริเดียม-192 Ir-192	0.19-7.4 TBq 5-200 C
เครื่องรังสีรักษาระยะใกล้ชนิดรังสีปริมาณปานกลาง ถึงสูง (High/medium dose rate brachytherapy)	ใช้ในการรักษามะเร็งโดย การใช้ Applicators สอดใส่บริเวณที่ต้องการรักษาแล้วจึงใส่หรือโหลดวัสดุกัมมันตรังสีตามเข้าไป	โคบอลต์-60 Co-60	0.19-0.74 TBq, 5-20 Ci
		ซีลีเนียม-75 Se-75	0.11-0.3 TBq 3-8 Ci
		อิริเดียม-192 Ir-192	0.11-0.44 TBq 3-12 Ci

(ที่มา : วงศกร อังคะคำมูล. ออนไลน์. 2557)

3) วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตราย (dangerous)

วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตราย (dangerous to the person) แหล่งกำเนิดนี้หากไม่จัดการได้ อย่างปลอดภัยหรือการป้องกันอย่างปลอดภัยอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บถาวรไปยังผู้ที่จัดการหรือผู้ดูแล หรือผู้ที่เกี่ยวข้องที่อยู่ใกล้เคียงในระยะเวลาหลายชั่วโมง ซึ่งอาจมีความเป็นไปได้หรือแม้ว่ามันจะไม่น่า เป็นไปได้ ที่จะเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ในระยะเวลาประมาณตั้งแต่หนึ่งวันถึงสัปดาห์ ในผู้ที่อยู่ใกล้ชิดกับ ปริมาณของวัสดุกัมมันตรังสีที่ไม่ปิดผนึก

ตารางที่ 2.3 วัสดุกัมมันตรังสีที่เป็นอันตราย

วัสดุกัมมันตรังสี	การใช้งาน	ชนิดวัสดุกัมมันตรังสี	ค่ากัมมันตภาพ
เครื่องวัดทางอุตสาหกรรมด้วยรังสีแบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed industrial gauges)	ใช้เป็นเครื่องมือวัดทางด้าน อุตสาหกรรม โดยใช้วัดอัตรา การไหล ระดับของเหลว ความหนาแน่นของวัตถุดิบ	โคบอลต์-60 Co-60	0.0037-0.37 TBq 0.1-10 Ci
		ซีลีเนียม-75 Se-75	0.00011-1.5 TBq 0.003-40 Ci
		แคลิฟอร์เนียม-252 Cf-252	0.19-7.4 TBq 5-200 C
เครื่องวัดแบบแท่งสำรวจหลุมลึกด้วยรังสี (Well logging gauges)	ใช้ในงานสำรวจปิโตเคมี	โคบอลต์-60 Co-60	0.0014 TBq 0.037 Ci
		ซีลีเนียม-75 Se-75	0.11-0.3 TBq 3-8 Ci
		อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม Am-241/Be	0.11-0.44 TBq 3-12 Ci

(ที่มา : วงศกร อังคะคำมูล. ออนไลน์. 2557)

4) วัสดุกัมมันตรังสีที่มีโอกาสเป็นอันตราย (Unlikely to be dangerous)

วัสดุกัมมันตรังสีที่มีโอกาสเป็นอันตราย (Unlikely to be dangerous the person) เป็นวัสดุ กัมมันตรังสีที่ไม่น่าจะก่อให้เกิดอันตรายถึงการบาดเจ็บอย่างถาวรในคน อย่างไรก็ตามปริมาณของสาร กัมมันตรังสีที่ไม่ปิดผนึกนี้หากไม่จัดการอย่างปลอดภัยหรือการป้องกันได้อย่างปลอดภัยอาจจะทำให้เกิด การบาดเจ็บชั่วขณะในผู้ที่จัดการหรือดูแล หรือผู้ที่เกี่ยวข้องในบริเวณใกล้เคียงซึ่งต้องใช้เวลาหลายชั่วโมง หรือเป็นเวลาหลายสัปดาห์ในผู้ที่สัมผัสใกล้ชิด

ตารางที่ 2.4 วัสดุกัมมันตรังสีที่มีโอกาสเป็นอันตราย

วัสดุกัมมันตรังสี	การใช้งาน	ชนิดวัสดุกัมมันตรังสี	ค่ากัมมันตภาพ
เครื่องรังสีรักษาระยะใกล้ ชนิดปริมาณรังสีต่ำ (Low dose rate brachytherapy)	ใช้ในการรักษามะเร็งในส่วนต่างๆของร่างกายโดยการฝังวัสดุกัมมันตรังสีเข้าไปในร่างกาย มีทั้งการฝังแบบถาวรและแบบชั่วคราวเมื่อได้รับรังสีตามต้องการแล้ว จึงนำวัสดุกัมมันตรังสีออก จากร่างกาย	โคบอลต์-60 Co-60	0.0015 TBq 0.04 Ci
		ซีเซียม-137 Cs-137	0.00037-0.026 TBq 0.01-0.7 Ci
		แพลลาเดียม-103 Pd-103	0.001-0.0015 Ci
เครื่องวัดความหนา/เคลือบ ผิวด้วยรังสี (Thickness/fill-level gauges)	ใช้ในการวัดความหนาของผลิตภัณฑ์เป็นความหนา ของกระดาษ ความหนา ของสีเคลือบ	โคบอลต์-60 Co-60	0.0014 TBq 0.037 Ci
		สทรอนเซียม-90 Sr-90	0.11-0.3 TBq 3-8 Ci
		ซีเซียม-137 Cs-137	0.0019-0.0024 TBq 0.05-0.065 Ci

(ที่มา : วงศกร อังคะคำมูล. ออนไลน์. 2557)

5) วัสดุกัมมันตรังสีที่ไม่เป็นอันตราย (Not dangerous)

เป็นลักษณะของวัสดุ กัมมันตรังสีที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อคนจากแหล่งกำเนิดวัสดุกัมมันตรังสี

ตารางที่ 2.5 วัสดุกัมมันตรังสีที่ไม่เป็นอันตราย

วัสดุกัมมันตรังสี	การใช้งาน	ชนิดวัสดุกัมมันตรังสี	ค่ากัมมันตภาพ
อุปกรณ์วิเคราะห์แบบ การเรืองรังสีเอกซ์ (X ray fluorescence devices, XRF)	ใช้ในการวิเคราะห์หาธาตุที่ประกอบในตัวอย่างหรือวัสดุ	เหล็ก-55 Fe-55	0.00011-0.005 TBq 0.003-0.14 Ci
อุปกรณ์วิเคราะห์ที่มีวัสดุกัมมันตรังสีเป็น ส่วนประกอบ (Analytical device) เช่น Electron capture Detector sources in Gas chromatography	ใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds) ในตัวอย่าง	นิกเกิล-63 Ni-63	0.00019-0.00074 TBq 0.005-0.02 Ci
หัวสายล่อฟ้า (Lightening Preventers)	ใช้ป้องกันฟ้าผ่าอาคาร และบ้านพักอาศัย	อะเมริเนียม-241 Am-241	0.000048-0.00048 TBq 0.0013-0.013 Ci

(ที่มา : วงศกร อังคะคำมูล. ออนไลน์. 2557)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฑามาศ ฝาชัยภูมิ (2018) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสีของควอตซ์ด้วยการฉายรังสีแกมมา ในระดับความเข้มที่แตกต่างกันโดยใช้เครื่องกำเนิดรังสีแกมมาจากธาตุโคบอลต์-60 ที่ความเข้มรังสี 20 , 40 , 60 และ 80 กิโลเกรย์ หลังจากนั้นทำการศึกษาความเปลี่ยนแปลงภายหลังจากการฉายรังสีเพื่อเปรียบเทียบกับก่อนฉายรังสีในแง่ของโครงสร้างผลึกจากเครื่อง XRD ศึกษาวิเคราะห์ธาตุด้วยเครื่อง XRFและศึกษาการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง UV-Vis เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทั้งก่อนและหลังการฉายรังสีแกมมา พบว่าสีของควอตซ์เปลี่ยนไปจากเดิมจากสีใสเป็นสี น้ำตาลเข้มขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับความเข้มของรังสีในควอตซ์ยังพบว่ามีธาตุหลักส่วนใหญ่เป็น ซิลิกอนไดออกไซด์ 99% และพบว่ามีธาตุอื่นเจือปนมากกว่าก่อนฉายรังสี โครงสร้างผลึกก่อนฉายรังสีและหลังฉายรังสีแกมมาโครงสร้างผลึกของควอตซ์ ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมและในการดูดกลืนแสงหลังการฉายรังสีแกมมามีการดูดกลืนแสงมากขึ้น ในช่วง 400 – 700 นาโนเมตร ทำให้เห็นสีของควอตซ์เป็นสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลอมดำ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เห็นว่าเมื่อฉายรังสีแกมมาด้วยความเข้มที่เพิ่มมากขึ้นจะสามารถเปลี่ยนสีของควอตซ์ให้เข้มขึ้นเรื่อย ๆ เช่นเดียวกัน

ยุทธ์พงศ์ ประชาสิทธิศักดิ์ (2017) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของแหนมด้วยรังสีแกมมา แหนมเป็นอาหารพื้นบ้านที่นิยมบริโภคกันมากชนิดหนึ่งของไทย ทำจากเนื้อหมูดิบ หนังหมูต้ม สุกขาวกระเทียม เกลือ ดินประสิวและผงชูรส นำมาบดหรือสับให้ละเอียดแล้วผสมคลุกเคล้ากันให้ทั่ว บรรจุถุงพลาสติกอัดให้แน่น ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 2-3 วัน ก็สามารถนำไปรับประทานได้ แหนมจะมีรสเปรี้ยวซึ่งเกิดจากการหมักตัวของจุลินทรีย์กลุ่มบักเตรีแลคติก การบริโภคแหนมนิยมบริโภคดิบโดยไม่ผ่านการปรุงให้สุกด้วยความร้อนก่อน ดังนั้นผู้บริโภคจึงมีโอกาสเสี่ยงจะได้รับอันตรายจากพยาธิและเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้ เช่น โรคพยาธิกล้ามเนื้อ และเชื้อโรคท้องร่วงซาลโมเนลลา การฉายรังสีแกมมาเป็นวิธีการหนึ่งที่มีการศึกษาแล้วว่าสามารถใช้ทำลายพยาธิและเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในอาหารได้ เช่น รังสีปริมาณ 2 กิโลเกรย์ พบว่าเพียงพอที่จะทำลายเชื้อโรคท้องร่วงซัลโมเนลลาที่อาจติดมากับเนื้อหมูในแหนมได้สำหรับพยาธิงานวิจัยพบว่า รังสีปริมาณ 0.6 กิโลเกรย์ สามารถใช้ทำลายพยาธิที่พบในเนื้อหมูได้ การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ตรวจไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเรื่อง สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ระหว่างแหนมไม่ฉายรังสีกับแหนมฉายรังสี การนำแหนมไปฉายรังสี ควรให้แหนมหมักตัวเป็นระยะเวลา 1-3 วันก่อนจึงนำไปฉายรังสีที่ปริมาณ 2 กิโลเกรย์ แหนมฉายรังสีสามารถเก็บได้นาน 10 วันที่อุณหภูมิห้อง หรือ 2 เดือน ที่อุณหภูมิตู้เย็น (5-20 องศาเซลเซียส)

ณัฏฐิยา เกื้อทานและคณะ (2018) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของการฉายรังสีแกมมาต่อการงอกของเม็ลดและการเจริญเติบโตของต้นแววมยุราพื้นเมืองในสภาพปลอดเชื้อ แววมยุราเป็นไม้ดอกที่มีสีสันสวยงาม ออกดอกตลอดปี ทางการค้านิยมใช้เป็นไม้ดอกประดับแปลงและไม้กระถาง ได้รับความนิยมมากในญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของการฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตต้นแววมยุราพื้นเมืองในสภาพปลอดเชื้อ โดยนำเมล็ดแววมยุรามาฉายรังสีที่ 0 (ชุดควบคุม), 100, 200, 300, 400 และ 500 เกรย์ จากนั้นนำเมล็ดมาฟอกฆ่าเชื้อและย้ายไปเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS เป็นเวลา 30, 90 และ 120 วัน จากผลการทดลองพบว่าหลังจากฉายรังสี 30 วัน ปริมาณรังสีแกมมามีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดแววมยุราพื้นเมือง ปริมาณรังสีแกมมา 200 เกรย์ ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์การงอกมากที่สุด (25.9%)ส่วนเมล็ดชุดควบคุมเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำที่สุด (7.4 %) รังสีแกมมามีผลต่อการเจริญเติบโตทั้งจำนวนยอด และความสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นที่ได้รับการฉายรังสีที่ปริมาณ 100 และ 200 เกรย์ เกิดลักษณะด่างและเผือก ตามลำดับ