บทที่ 2

รังสีนิสิกส์

2.1 รังสี

การค้นพบพลังงานทางนิวเคลียร์ มีผลทำให้เกิดการพัฒนานำเอาพลังงานของรังสีมาประยุกต์ใช้งานทางด้านต่างๆ มากมาย อาทิเช่น ทางด้านการทหาร ทางด้านการแพทย์ ทางด้านการพลังงานต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า ที่อาศัยต้นกำลังจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ การเกษตร และการชลประทาน เป็นต้น ฯลฯ

จะเห็นได้ว่าในขณะนี้สามารถนำเอาพลังงานนิวเคลียร์ มาพัฒนาและประยุกต์ใช้งานได้ในสาขาวิชาต่างๆ มากมาย จนเกือบทุกสาขา

2.2 ชนิดของรังสี(3,10)

รังสีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในขณะนี้อาจแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ
กลุ่มที่ 1 รังสีที่เกิดขึ้นและมีอยู่ในธรรมชาติ (Natural Radiation)
กลุ่มที่ 2 รังสีที่เกิดจากการสังเคราะห์หรือทำขึ้น (Artificial Radiation)

แต่ถ้าจะแบ่งตามคุณสมบัติในตัวของมันเองสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ
กลุ่มรังสีแกมมา และ รังสีเอกซ์
กลุ่มรังสีเบตา
กลุ่มรังสีแอลฟา
กลุ่มรังสีนิวตรอน

2.2.1 รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ (Gamma - ray and X - ray)

รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ จะมีคุณสมบัติและธรรมชาติเหมือนกัน แตกต่างกันที่ต้นกำเนิด (Source) เท่านั้น กล่าวคือทั้งรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์จะมีคุณสมบัติการแผ่รังสีเป็นแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ความยาวคลื่นสั้น ส่วนต้นกำเนินของรังสีแกมมานี้เกิดจากนิวเคลียสของ Compound nucleus และส่วนของรังสีเอกซ์นั้นเกิดจากการที่อิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูง ๆ วิ่งเข้าชนวัตถุใด ๆ ที่เป็นเป้า ซึ่งก็จะเกิดการถ่ายเทพลังงานกันในระดับอะตอม ระหว่างอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าชนกับอะตอมของวัตถุที่เป็นเป้า เกิดเป็นพลังงานความร้อนและรังสีเอกซ์

2.2.2 รังสีเบตา

ในบางครั้งเรียกรังสีเบตาว่าอนุภาคเบตา หรืออิเล็กตรอน ซึ่งทั้งรังสีเบตาและอิเล็กตรอนนั้นมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคเหมือนกัน จะแตกต่างกันที่แหล่งต้นกำเนิดเท่านั้น อนุภาคเบตามีต้นกำเนิดที่นิวเคลียส ส่วนอิเล็กตรอนมีต้นกำเนิดอยู่ที่วงโคจรรอบ ๆ นิวเคลียส

2.2.3 รังสีแอลฟา

เป็นรังสีที่มีอนุภาคใหญ่ มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ แม้แต่ผิวหนังก็ไม่สามารถผ่านได้

2.2.4 นิวตรอน

เป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุไฟฟ้า เกิดจากการสลายตัวภายในนิวเคลียสเอง ซึ่งเป็นผลมาจาก excited energy สูงมาก แต่อย่างไรก็ตาม แหล่งต้นกำเนิดที่สำคัญของนิวตรอน ก็คือ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซึ่งเกิดขึ้นจากการแยกตัว (fission) ของยูเรเนียม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 กัมมันตภาพรังสี

นักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ค้นพบปรากฏการณ์ของสารกัมมันตภาพรังสีคือ Henri Becquerel ในเดือนมีนาคม ค.ศ. 1896 ซึ่งเป็นการบังเอิญที่เขาวางเกลือยูเรเนียมทับบนห่อฟิล์มถ่ายรูปที่ยังไม่ได้ใช้ แล้วมีผลทำให้เกิดรอยดำๆ เป็นรูปก้อนยูเรเนียม ในที่สุด Becquerel จึงสามารถสรุปได้ว่ามีลำแสงที่มองไม่เห็นเป็นรังสีจากยูเรเนียม เปล่งออกมาจนมีผลทำให้ฟิล์มถ่ายรูปดำ การศึกษาในเวลาต่อมาจึงทำให้ค้นพบได้ว่าลำแสงที่มองไม่เห็นนี้ เป็นรังสีที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของอะตอมของตัวยูเรเนียมเอง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดเป็นนิวเคลียสใหม่ที่เสถียรกว่า

เมื่อธาตุใดๆ ในธรรมชาติมีสถานะของนิวคลีไอ (Nuclei) ไม่คงตัว จะเกิดการสลายตัวมันเองไปเป็นธาตุหรือไอโซโทปตัวใหม่ ซึ่งในขณะเดียวกันตัวมันเองก็จะปล่อยกัมมันตรังสีชนิดต่าง ๆ ออกมา เรียกปรากฏการณ์การสลายตัวนี้ว่า "นิวเคลียร์ดิสอินทีเกรชัน (Nuclear disintegration)" หรืออาจเรียกอีกอย่างว่า "การสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสี (Radioactive decay)" กระบวนการต่างๆ ของการสลายตัวนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยใดๆ ที่ใช้ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่นอุณหภูมิ ความชื้น และความดัน เป็นต้น แต่จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของนิวเคลียสที่อยู่ในสภาวะไม่สมดุลย์ อันจะมีผลต่ออัตราการสลายตัวของมันด้วย ทั้งนี้โดยทั่ว ๆ ไปมักพบว่าธาตุที่มีจำนวนอะตอม (Atomic number) มากกว่า 82 จะเป็นสารกัมมันตภาพรังสี

ธาตุแต่ละธาตุจะมีจำนวนโปรตอนแน่นอนเฉพาะตัวของมันอยู่ในนิวเคลียส เช่น คาร์บอน (C) จะมีจำนวนโปรตอนอยู่ 6 ตัว ไนโตรเจน (N) มีจำนวนโปรตอนอยู่ 7 ตัว และออกซิเจน (O) มีโปรตอน 8 ตัว เป็นต้น แต่ธาตุต่าง ๆ เหล่านั้นแต่ละธาตุก็จะมีจำนวนนิวตรอนภายในนิวเคลียสไม่เท่ากันเสมอไป ถึงแม้นว่าจะเป็นนิวคลีไอของธาตุเดียวกันก็ตาม ซึ่งจำนวนนิวตรอนที่ต่าง ๆ กันออกไป

นั้นเรียกว่า "ไอโซโทป (Isotope)" ของธาตุนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ธาตุคาร์บอน (C) มี 5 ไอโซโทป คือ C-11, C-12, C-13, C-14 และ C-15 ซึ่งนั่นก็คือคาร์บอนแต่ละตัว (Isotope) จะมีนิวตรอนต่างกัน ส่วนจำนวนโปรตอนจะเท่ากัน ในที่นี้จะมีคาร์บอนอยู่ 2 ตัว (Isotope) ที่ไม่มีคุณสมบัติเป็นสารรังสี คือ C-12 และ C-13 ซึ่งเรียกว่า "ไอโซโทปคงตัว (Stable Isotope)" ส่วนที่เหลือมีคุณสมบัติเป็นสารรังสี เรียกว่า "ไอโซโทปรังสี (Rodioisotope)"

นิวไคลด์รังสีแต่ละตัวจะสลายตัวด้วยอัตราคงที่ ตัวสำคัญหนึ่งในหลายๆ อย่างที่นำมาบ่งบอกเพื่อการพิจารณาเลือกใช้งาน ว่าจะใช้ไอโซโทปรังสีชนิดใดดี นิยมใช้ค่าครึ่งชีวิต (Half-life) หรือ $T_{1/2}$

2.3.1 กระบวนการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

สารกัมมันตภาพรังสี สามารถนิยามได้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียสอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลมาจากการจัดตัวของธาตุเกิดใหม่ การเปลี่ยนแปลงนี้อาจจะเกิดจากกระบวนการเดียว หรือหลาย ๆ กระบวนการที่แตกต่างกัน เช่น การสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา อนุภาคเบตา อนุภาคโพสิตรอนและกระบวนการจับอิเล็กตรอนในวงโคจรเป็นต้น แต่ละปฏิกิริยาเหล่านี้อาจจะให้หรือไม่ให้รังสีแกมมาออกมาด้วยก็ได้ คุณสมบัติของสารกัมมันตภาพรังสีจะเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละสารกัมมันตภาพรังสี เราไม่สามารถที่จะใช้วิธีการทางเคมีหรือฟิสิกส์ไปเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารกัมมันตภาพรังสีได้ การสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสีขึ้นอยู่ 2 อย่างคือ

1. ลักษณะพิเศษความไม่เสถียรภาพทางนิวเคลียส เช่น อัตราส่วนของนิวตรอนต่อโปรตอนสูงไปหรือต่ำไป

2. ขึ้นอยู่กับมวล พลังงาน ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างนิวเคลียสที่เกิดการสลายตัว (parent nucleus) นิวเคลียสลูก (daughter nucleus) และอนุภาคที่แผ่ออกมา

2.3.1.1 การสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา

อนุภาคแอลฟาหรือนิวเคลียสของฮีเลียม ($_2He^4$) นั่นเอง ประกอบด้วยโปรตอน 2 ตัว และนิวตรอน 2 ตัว มีประจุ + 21.5 x 10^{-9} คูลอมบ์ มีมวล = 4.0 เอเอ็มยู (amu ย่อมาจากคำว่า atomic mass unit) ในการสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา นิวเคลียสลูก (daughter nucleus) ที่เกิดขึ้นมา จะมีเลขอะตอม (atomic number) น้อยกว่านิวเคลียสเดิม (parent nucleus) = 2 และจะมีเลขมวล (atomic mass) น้อยกว่านิวเคลียสเดิม = 4 เราสามารถเขียนสมการของการแผ่อนุภาคแอลฟาได้ดังนี้

$$_zP^A \text{ -------> } _{z-2}D^{A-4} + {}_2He^4 + Q$$

เมื่อ

$_zP^A$ = นิวเคลียสที่เกิดการแผ่รังสีมีเลขมวลเท่ากับ A และเลขอะตอมเท่ากับ z

$_{z-2}D^{A-4}$ = นิวเคลียสลูกที่เกิดหลังจากแผ่รังสีแล้ว โดยมีเลขมวลเท่ากับ A-4 และเลขอะตอมเท่ากับ z-2

$_2He^4$ = อนุภาคแอลฟา

Q = พลังงานที่ส่งออกมาจะอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ของรังสีแอลฟากับนิวเคลียส

2.3.1.2 การสลายตัวให้อนุภาคเบตา

อนุภาคเบตาก็คืออิเล็กตรอนนั่นเอง อนุภาคเบตาต่างจากอิเล็กตรอนโดยที่อนุภาคเบตามีแหล่งกำเนิดออกจากนิวเคลียส ส่วนอิเล็กตรอนมีแหล่งกำเนิดออกมาจากวงโคจรรอบ ๆ นิวเคลียส (หรือแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนอยู่นอกนิวเคลียส) มีมวลเท่ากับ 0.00055 amu อนุภาคเบตาเกิดจากการสลายตัวของนิวตรอน (neutron) จะให้โปรตอน (proton) และอิเล็กตรอน ตามทฤษฎีการสลายตัวของนิวตรอนเราสามารถเขียนสมการการแผ่รังสีเบตาได้ดังนี้

$$ {}_{0}n^{1} \text{ --------} > {}_{1}H^{1} + {}_{-1}e^{0} $$

2.3.1.3 การสลายตัวให้อนุภาคโพสิตรอน (positron)

ในกรณีที่มีสารกัมมันตภาพรังสีมีอัตราส่วนของนิวตรอนต่อโปรตอนมีค่าต่ำและสารกัมมันตภาพรังสีนี้ไม่สลายตัวให้อนุภาคแอลฟาออกมา สารกัมมันตภาพรังสีนี้จะสลายตัวให้อนุภาคโพสิตรอนออกมา อนุภาคโพสิตรอนคล้ายกับอนุภาคเบตา ต่างกันตรงที่อนุภาคโพสิตรอนมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก มีมวล 0.000548 amu เนื่องจากการที่นิวเคลียสสลายตัวให้อนุภาคโพสิตรอนออกมาจะทำให้นิวเคลียสนี้สูญเสียประจุบวกไป ดังนั้นนิวเคลียสลูกจึงมีเลขอะตอมน้อยกว่านิวเคลียสเดิมอยู่ 1 เช่น การสลายตัวของโซเดียม-22 ($_{11}Na^{22}$) จะให้นีออน-22 ($_{10}Ne^{22}$) และอนุภาคโพสิตรอนดังสมการ

$$ {}_{11}Na^{22} \text{ ----} > {}_{10}Ne^{22} + {}_{1}e^{0} + \upsilon $$

2.3.1.4 กระบวนการจับอิเล็กตรอนในวงโคจร (Orbital Electron Capture)

อะตอมมีจำนวนนิวตรอนบกพร่อง อะตอมจะอยู่ในสภาวะเสถียรได้ต่อเมื่อแผ่อนุภาคโพสิตรอนออกมา ซึ่งมันจะมีน้ำหนักมากกว่าอะตอมลูกอย่างน้อยที่สุดเท่ากับมวลของอิเล็กตรอน 2 ตัว ถ้าเงื่อนไขนี้ไม่เกิดขึ้นมาอะตอมที่มีจำนวนของนิวตรอนบกพร่องจะทำให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่ากระบวนการจับอิเล็กตรอนในวงโคจร (orbital electron capture) หรือเรียกว่าเคแคพเจอร์ (K-capture) ในปฏิกิริยานี้นิวเคลียสจะจับอิเล็กตรอนในวงโคจรรวมตัวกับโปรตรอน กลายเป็นนิวตรอนดังสมการดังนี้

$$ {}_{-1}e^{0} + {}_{1}H^{1} \text{-----} > {}_{0}n^{1} + \upsilon $$

เนื่องจากอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นเคอยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุด ดังนั้นโอกาสที่อิเล็กตรอนในชั้นนี้จะถูกนิวเคลียสจับจึงมีมากที่สุด ดังนั้นกระบวนการแผ่รังสีวิธีนี้จึงมีชื่อเรียกว่า เคแคพเจอร์ นิวเคลียสลูกที่ได้จะมีเลขอะตอมน้อยกว่านิวเคลียสที่เกิดจากการสลายตัว (เลขมวล (atomic mass number) ไม่เปลี่ยนแปลง)

2.3.1.5 การสลายตัวให้รังสีแกมมา

รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีพลังงานแบบโมโนเอ็นเนอเจติค เกิดจากการที่นิวเคลียสของสารกัมมันตภาพรังสีสลายตัวให้อนุภาคอื่นๆ และนิวเคลียสลูก นิวเคลียสลูกที่เกิดขึ้นมาอยู่ในสภาวะกระตุ้น เมื่อนิวเคลียสนี้กลับสู่สภาวะปกติจะคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีแกมมาหรืออาจจะเกิดกระบวนการที่เรียกว่าแอนนิไฮเลชัน

2.3.1.6 กระบวนการเกิดอินเทอนัลคอนเวอชัน (Internal conversion)

กระบวนการนี้เกิดจากการที่นิวเคลียสให้รังสีแกมมาออกมา รังสีแกมมานี้ไปชนอิเล็กตรอนที่อยู่รอบๆ นิวเคลียส อิเล็กตรอนรับพลังงานจากรังสีแกมมาหมดและตัวมันเองจะหลุดออกจากอะตอมนั้น อิเล็กตรอนที่หลุดออกอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาทุกตัวจะมีพลังงานแบบโมโนเอ็นเนอเจติค ค่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนจะมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานของรังสีแกมมากับค่า binding energy ของอิเล็กตรอนกับนิวเคลียส กระบวนการนี้จะเหมือนกับปรากฏการณ์โฟโตอิเลคทริคเอฟเฟค (photoelectric effect) เราสามารถเขียนสมการเกิดกระบวนการอินเทอนัลคอนเวอชันในรูปของคณิตศาสตร์ได้ โดย

$$E_{\gamma} = E_{\bullet} + \emptyset$$

เมื่อ

E_{γ} = พลังงานของรังสีแกมมา

E_e = พลังงานจลน์ของคอนเวอชันอิเล็กตรอน (conversion electron)

ϕ = ค่า binding energy ของอิเล็กตรอน

ตัวอย่างเช่นการสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสีซีเซียม-137 ($_{55}Cs^{137}$) ให้อนุภาคเบตาและนิวเคลียสแบเรียม-137 ($_{56}Ba^{137}$) ที่อยู่ในสภาวะกระตุ้น นิวเคลียสแบเรียม-137 (Ba-137) จะคายรังสีแกมมาออกมามีพลังงาน 0.661 MeV รังสีแกมมานี้จะทำให้เกิดกระบวนการอินเทอนัลคอนเวอชัน 11% ค่าสัมประสิทธิ์ของการเกิดอินเทอนัลคอนเวลชัน : α ซึ่งสามารถนิยามได้ โดยเป็นอัตราส่วนจำนวนของคอนเวอชันอิเล็กตรอนต่อรังสีแกมมา

$$\alpha = \frac{N_e}{N_\gamma}$$

ในกรณีของสารกัมมันตภาพรังสีซีเซียม-137 ค่า $\alpha = 0.11$ ภายหลังจากการเกิดอินเทอนัลคอนเวอชันแล้ว อิเล็กตรอนจากวงโคจรอื่น ๆ จะกระโดดไปแทนที่ในที่ว่าง (ที่อิเล็กตรอนหลุดออกไป) จะทำให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะขึ้นมา ถ้ารังสีเอกซ์เฉพาะเหล่านี้ถูกดูดกลืนโดยอิเล็กตรอนเหมือนกับกระบวนการเกิดอินเทอนัลคอนเวอชัน อิเล็กตรอนที่หลุดออกไปจะมีชื่อเรียกว่าออเกอิเล็กตรอน (Auger electron) ซึ่งมีพลังงานน้อยมาก ๆ

2.4 หน่วยวัดรังสี

ในปัจจุบันนิยมเรียกหน่วยต่าง ๆ เป็น SI (International system) พอจะสรุปหน่วยวัดรังสีต่าง ๆ ได้ดังนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วย		นิยาม
เบคเคอเรล (Bq)	เป็นหน่วย SI ของกัมมันตรังสี	1 Bq = 1 dps
คูรี (Ci)	เป็นหน่วยของกัมมันตรังสี	1 Ci = 3.7×10^{10} dps
เกรย์ (Gy)	เป็นหน่วย SI ของโดสที่ถูกดูดกลืน	1 Gy = 1 J/Kg
แรด (rad)	เป็นหน่วยโดสที่ถูกดูดกลืน	1 rad = 0.01 J/Kg
เร็นต์เก้น (R)	เป็นหน่วยของเอ็กซ์โพเชอร์โดส	= 100 เอิร์ก/กรัม
	สำหรับรังสีเอกซ์และแกมมา	1 R = 2.58×10^{-4} Coulomb/Kg
		ของอากาศ
ซีเวิร์ต (Sv)	เป็นหน่วย SI ของโดสเทียบเท่า	1 Sv = 1J/Kg ของอากาศ
เรม (rem)	เป็นหน่วยของโดสเทียบเท่า	rem = rad x QF x DF
		QF = quality factor
		of radiation
		DF = Distribution factor

2.5 อันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับวัตถุ

2.5.1 การดูดกลืนรังสีแกมมา

การดูดกลืนรังสีแกมมามีความแตกต่างจากการดูดกลืนของรังสีแอลฟาหรือรังสีเบตาในขณะที่ดูดกลืนของรังสีทั้งสอง (รังสีแอลฟา รังสีเบตา) กำหนดได้โดยค่าพิสัยในเนื้อวัตถุและจะถูกดูดกลืนหมดสิ้น แต่รังสีแกมมานั้น การดูดกลืนรังสีของตัวดูดกลืนทำได้เพียงแต่การลดความเข้มของรังสีลงมาเท่านั้นเมื่อความหนาของตัวดูดกลืนมีค่ามากขึ้น ตัวดูดกลืนไม่สามารถที่จะดูดกลืนรังสีแกมมาได้หมดสิ้น ดังสมการ

$$I/I_{\circ} = e^{-\mu t} \qquad .....(2.1)$$

เมื่อ

$I_{\circ}$ = ความเข้มของรังสีแกมมาก่อนผ่านเข้าไปในวัตถุ

I = ความเข้มของรังสีแกมมาหลังจากทะลุตัวดูดกลืน (ที่หนา t) ออกมา

t = ความหนาของตัวดูดกลืน

e = ฐานของล็อกธรรมชาติ

μ = ค่าความชันของเส้นกราฟ = ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนรังสี

สมการที่ (2.1) เทอมของ e ยกกำลังจะไม่มีหน่วย ดังนั้น ค่า μ จะมีหน่วยเป็นส่วนกลับของหน่วย t นั่นคือ ถ้าความหนาของตัวดูดกลืนวัดเป็นเซนติเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะมีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนเชิงเส้น (linear absorption coefficient, μl) และจะมีหน่วยเป็น "ต่อเซนติเมตร" ถ้า t มีหน่วยเป็น g/cm^2 สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนมีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนมวล (mass absorption coefficient, μ_m) จะมีหน่วยเป็น "$(g/cm^2)^{-1}$ หรือ cm^2/g" เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง μl กับ μ_m ได้ดังสมการ

$$\mu l(cm^{-1}) = \mu_m\ (cm^2/g) \times \rho\ (g/cm^3) \qquad .....(2.2)$$

เมื่อ

ρ = ความหนาแน่นของตัวดูดกลืน

นิยามของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนคือค่าเศษส่วนของรังสีแกมมา (ที่ทะลุทะลวงออกมา) ต่อหนึ่งหน่วยความหนาของตัวดูดกลืน สามารถเขียนในรูปของคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta I/I}{\Delta t} = -\mu \qquad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ $\Delta I/I$ คือ ค่าอัตราส่วนของรังสีแกมมาที่ทะลุทะลวงออกมาจากตัวดูดกลืนหนา Δt ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนที่นิยามเช่นนี้ มีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนทั้งหมด (total absorption coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์การทะลุทะลวง (attenuation coefficient)

ในบางครั้งเพื่อความสะดวกอาจจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเป็นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีโดยอะตอม (atomic absorption coefficient, μ_a) ค่าสัมประสิทธิ์ การดูดกลืนรังสีโดยอะตอมเป็นค่าเศษส่วนของลำรังสีแกมมาที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมเดี่ยว ๆ ในบางครั้งอาจจะพูดได้ว่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนคือความน่าจะเป็นที่อะตอมของตัวดูดกลืนจะทำปฏิบัติกับโฟตอน 1 ตัว ในลำรังสี ค่าสัมประสิทธิ์ การดูดกลืนรังสีโดยอะตอมสามารถนิยามได้โดยสมการ

$$\mu_a \ (cm^2) = \frac{\mu l \ (cm^{-1})}{N \ (atom/cm^3)} \qquad \text{.....(2.4)}$$

เมื่อ

N = จำนวนอะตอมของตัวดูดกลืน $/cm^3$

เป็นที่น่าสังเกตว่า หน่วยของ μ_a คือ cm^2 ซึ่งเป็นหน่วยของพื้นที่ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีโดยอะตอมจะถูกอ้างถึงค่าภาคตัดขวาง (cross section) ของตัวดูดกลืนบ่อยมาก หน่วยของ Cross section มีชื่อเรียกพิเศษว่า บาร์น (barn)

1 บาร์น $= 10^{-24}$ ซม ^{2}

016195

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีโดยอะตอมจึงเรียกได้ว่า microscopic cross section ในสัญญลักษณ์ σ ในขณะที่สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้นมีชื่อเรียกว่า macroscopic cross section มีสัญญลักษณ์ Σ สมการที่ (2.4) สามารถเขียนได้เป็น

$$\Sigma(cm^{-1}) = \sigma \frac{cm^2}{atom} \times N \frac{atoms}{cm^3} \quad .....(2.5)$$

โดยการใช้ความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.4) และ (2.1) สามารถเขียนได้ใหม่ว่า

$$I/I_o = e^{-\mu_a N t} \quad .....(2.6)$$

หรือ

$$I/I_o = e^{-\sigma N t} \quad .....(2.7)$$

กระบวนการดูดกลืนรังสีแกมมา

กระบวนการดูดกลืนรังสีแกมมามี 4 กระบวนการคือ

1. การดูดกลืนแบบโฟโตอิเลคทริคเอฟเฟค (Photoelectric effect)
2. การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton scattering)
3. การเกิดแพร์โพรดักชัน (pair production)
4. ปฏิกิริยา photodisintegration

กระบวนการที่ 1 และ 2 จะเกิดกับอิเล็กตรอนในวงโคจรตัวดูดกลืน และจะเกิดได้ดีเมื่อพลังงานของโฟตอนไม่เกิน 1.02 MeV ถ้าพลังงานของโฟตอนสูงกว่านี้ กระบวนการที่ 3 จึงจะเกิดขึ้นได้ดี ส่วนกระบวนการที่เกิดจากการที่โฟตอนมีพลังงานสูงมาก ๆ ($E >> m_o C^2$) โฟตอนนี้จะถูกจับโดยนิวเคลียสของตัวดูดกลืน แล้วจะเกิดปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ให้อนุภาคนิวตรอนออกมา เช่น ปฏิกิริยานิวเคลียร์ B^9 (γ, n) B^8