

บทที่ 6

ปริมาณและหน่วยรังสี

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณและหน่วยของรังสี
2. ศึกษาความหมายและค่าเฉพาะต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับรังสี
3. ศึกษาแกมมันดภาพ
4. ศึกษาค่าคงที่รังสีแกมมาจำเพาะ

6.1 บทนำ

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงปริมาณรังสีในเทอมแกมมันดริงสี (activity) โดยที่หน่วยของแกมมันดภาพเป็นค่านับวัดต่อหน่วยเวลา หรือเป็นคูรี ในบทนี้เราจะได้เรียนถึงปริมาณรังสีอื่นๆ เช่น เอ็กโพเชอร์ (exposure) ซึ่งมีหน่วยเป็นเรนเกนท์, แอ็บสออบโดส (absorbed dose) ซึ่งมีหน่วยเป็นแรด (rad) และ เรม (rem) เป็นต้น

6.2 ความหมายของค่าเฉพาะต่างๆ

อนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยตรง (Directly ionizing particles) เป็นอนุภาคที่มีประจุ (เช่น อิเล็กตรอน, โปรตอน, อนุภาคแอลฟา ฯลฯ) มีพลังงานจลน์มากพอที่จะทำให้เกิดการแตกตัว เมื่อเกิดการชนกับอะตอมของตัวกลาง

อนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อม (Indirectly ionization particles) เป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ (เช่น นิวตรอน, โฟตอน เป็นต้น) สามารถทำให้เกิดอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยตรง หรือสามารถทำให้นิวเคลียสเกิดการเปลี่ยนแปลง (nuclear transformation)

รังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัว (ionization radiation) เป็นรังสีใดๆ ที่ประกอบด้วยอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยตรง หรืออนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อม หรืออนุภาคทั้งสองชนิดรวมกัน

พลังงานถ่ายทอด (energy imparted) จากรังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวแก่ปริมาตรหนึ่งของวัตถุเป็นผลต่างระหว่างพลังงานทั้งหมดของอนุภาค ที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยตรง และอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อมที่เคลื่อนที่เข้าไปในปริมาตรนั้นกับพลังงานทั้งหมดของทุกสิ่งที้ออกจากปริมาตรเดียวกัน, ลบด้วยพลังงานสมมูล (energy equivalent) ของมวลที่เพิ่มขึ้นหรือเกิดขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ภายในปริมาตรนั้น

6.3 แอ็ปสอบโดส (Absorbed dose) ใช้สัญลักษณ์ D เป็นอัตราส่วนระหว่าง ΔE_D กับ Δm เมื่อ ΔE_D เป็นพลังงานถ่ายทอดจากรังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวแก่ปริมาตรหนึ่งของวัตถุ, Δm เป็นมวลของวัตถุภายในปริมาตรนั้น

$$D = \Delta E_D / \Delta m$$

หน่วยของแอ็ปสอบโดส คือ แหรด (rad)

$$1 \text{ แหรด} = 100 \text{ เอ็กส์/กรัม} = 1/100 \text{ (จูล์/กิโลกรัม)}$$

แอ็ปสอบโดสเรท (Absorbed dose rate) เป็นอัตราส่วนระหว่าง ΔD กับ Δt , เมื่อ ΔD เป็นการเพิ่มของแอ็ปสอบโดสในช่วงเวลา Δt

$$\text{แอมป์สออบโดสเรท} = \Delta D / \Delta t$$

หน่วยของแอมป์สออบโดสเรท คือ อัตราส่วนของแอมป์กับเวลา (เช่น แอมป์/นาฬิกา, แอมป์/ชั่วโมง)

6.4 ฟลูเอินซ์ หรือฟลูเอินซ์ ของอนุภาค (fluence หรือ particles fluence) ใช้สัญลักษณ์ ϕ เป็นอัตราส่วนระหว่าง ΔN กับ Δa เมื่อ ΔN เป็นจำนวนที่เคลื่อนที่เข้าไปในทรงกลมที่มีพื้นที่หน้าตัด Δa

$$\phi = \Delta N / \Delta a$$

ความหนาแน่นฟลัก หรือ ความหนาแน่นฟลักของอนุภาค (flux หรือ particle flux density) สัญลักษณ์ ψ เป็นอัตราส่วนระหว่าง $\Delta\phi$ กับ Δt เมื่อ $\Delta\phi$ เป็นฟลูเอินซ์ในช่วงเวลา Δt

$$\psi = \Delta\phi / \Delta t$$

หมายเหตุ ปริมาณนี้ บางครั้งเรียกเป็นอัตราฟลูเอินซ์ของอนุภาค (particle fluence rate)

6.5 พลังงานฟลูเอินซ์ (energy fluence) ใช้สัญลักษณ์ F ของอนุภาคเป็นอัตราส่วนระหว่าง ΔE_F กับ Δa เมื่อ ΔE_F เป็นผลรวมของพลังงาน (ยกเว้นพลังงานนิ่ง, rest energy) ของอนุภาคทั้งหมดที่เคลื่อนที่เข้าไปในทรงกลมที่มีพื้นที่หน้าตัด

$$F = \Delta E_F / \Delta a$$

ความหนาแน่นฟลักพลังงานหรือความเข้ม (energy flux density หรือ intensity) สัญลักษณ์ I เป็นอัตราส่วนของ ΔF กับ Δt เมื่อ ΔF เป็นพลังงานฟลูเอินซ์ในเวลา Δt

$$I = \Delta F / \Delta t$$

หมายเหตุ ปริมาณนี้เรียกว่า อัตราพลังงานฟลูเอินซ์ (energy fluence rate)

6.6 เคอร์มา (Kerma) ใช้สัญลักษณ์ K เป็นอัตราส่วนระหว่าง ΔE_K กับ Δm เมื่อ ΔE_K เป็นผลรวมของพลังงานจลน์เริ่มต้นของอนุภาคที่มีประจุทั้งหมดที่เกิดจากอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อมภายในปริมาตรหนึ่งของวัตถุนั้น, Δm เป็นมวลของวัตถุภายในปริมาตรนั้น

$$K = \Delta E_K / \Delta m$$

หมายเหตุ ก. เนื่องจาก ΔE_K เป็นผลรวมของพลังงานจลน์เริ่มต้นของอนุภาคที่มีประจุที่เกิดจากอนุภาค ที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อม ดังนั้น พลังงานจำนวนนี้ไม่เพียงแต่เป็นพลังงานจลน์ของอนุภาคที่มีประจุเหล่านี้เท่านั้น แต่ยังรวมทั้งพลังงานที่ส่งออกมาในรูปเบรมสตราลิ่งพลังงานของอนุภาคอื่นที่ทำให้เกิดการแตกตัวภายในปริมาตรนี้ก็ให้คิดรวมเข้าไปด้วย ดังนั้น พลังงานของเออเกอร์อิเล็กตรอน (Auger electron) ก็เป็นส่วนหนึ่งของพลังงาน ΔE_K

ข. ในการวัดค่าที่แท้จริง Δm จะต้องมีขนาดเล็กมากจนไม่ไปรบกวนสนามรังสี อย่างไรก็ตาม ถ้าเกิดการรบกวนสนามของรังสี ก็อาจจะต้องใช้ค่าแก้ไขเพื่อให้ได้ค่าถูกต้องยิ่งขึ้น

ค. จะเป็นการสะดวกมากถ้ากล่าวถึง เคอร์มาหรืออัตราเคอร์มาของวัตถุในฟรีสเปซ (free space) หรือที่จุดใดๆ ภายในวัตถุที่ต้องการวัด ในบางกรณี ค่านี้ อาจจะได้จากการวางวัตถุขนาดเล็กลงไปในจุดที่ต้องการจะวัดเคอร์มา ดังนั้น เราจึงกล่าวถึงเคอร์มาว่า เป็นเคอร์มาของอากาศที่จุด ภายในแฟนทอมน้ำ (water phantom) เป็นต้น

ง. ปริมาณที่ใช้ในการกล่าวถึงสนามรังสีก็คือ ความเข้มที่จุดใดๆ ภายในสนามรังสีนั้น ในการศึกษาทางรังสี จะสะดวกกว่าถ้าจะกล่าวถึง สนามของอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อมในเทอมของอัตราเคอร์มา วัตถุที่เหมาะสมสำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานปานกลาง คือ อากาศ วัตถุที่ใช้ทางการแพทย์และชีววิทยาสำหรับรังสีทุกชนิด คือ เนื้อเยื่อ (tissue) หรือวัตถุอื่นใดที่ต้องการศึกษาผลเนื่องจากรังสี

เคอร์มาเป็นประโยชน์มาก เมื่อเกิดการสมมูลย์ของอนุภาคที่มีประจุ ณ ตำแหน่งในวัตถุที่กำลังศึกษา และเมื่อมีเบรมสตราลิ่งเกิดขึ้นน้อยมาก ซึ่งจะมีค่าเท่ากับแอมป์สอยโดสที่จุดนั้น ในลำรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมาหรือนิวตรอนที่มีพลังงานค่อนข้างสูงจะเกิดสมมูลย์ของอนุภาคที่มีประจุอย่างชั่วคราว ในกรณีนี้ เคอร์มาจะมีค่าน้อยกว่าแอมป์สอยโดส ยิ่งพวกที่มีพลังงานสูงมาก ความแตกต่างก็ยิ่งจะมีค่ามาก โดยทั่วไป, ถ้าพิสัยของอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดย

ตรงมีค่าใกล้เคียงกับทางเดินเฉลี่ย (mean free path) ของอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อม จะไม่เกิดภาวะสมดุลขึ้น

อัตราเคอร์มา (Kerma rate) เป็นอัตราส่วนระหว่าง ΔK กับ Δt เมื่อ ΔK เป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของเคอร์มาในช่วงเวลา Δt

6.7 เอ็กซ์โพเชอร์ (exposure) ใช้สัญลักษณ์ X เป็นอัตราส่วนระหว่าง ΔQ กับ Δm เมื่อ ΔQ เป็นผลรวมประจุไฟฟ้าชนิดหนึ่งบนไอออนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอากาศ เมื่ออิเล็กตรอนทั้งสองชนิด (เนกาตรอนและโพสิตรอน) ที่เกิดจากโฟตอนในอากาศที่มีมวล Δm ถูกหยุดโดยอากาศ

$$X = \Delta Q / \Delta m$$

หน่วยของเอ็กซ์โพเชอร์ คือ เรนเกน (roentgen) ใช้สัญลักษณ์ว่า R

$$1 R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ คุลมอมป์/กิโลกรัม}$$

หมายเหตุ ก. คำว่าประจุไฟฟ้าชนิดหนึ่งบนไอออนทั้งหมด หมายความว่าประจุไฟฟ้าชนิดเดียว อาจจะเป็นประจุบวกหรือประจุลบ

ข. การแตกตัวที่เกิดจากการดูดกลืนเบรมสตราลงที่ได้จากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) จะไม่รวมอยู่ใน ΔQ ถ้าไม่คิดความแตกต่างข้อนี้ เอ็กซ์โพเชอร์จะมีค่าเท่ากับเคอร์มาในอากาศ แต่สำหรับพวกที่มีพลังงานสูง ความแตกต่างจะมีค่ามากขึ้น

ค. สำหรับเทคนิคในปัจจุบัน เป็นการยากที่จะวัดเอ็กซ์โพเชอร์ เมื่อพลังงานของโฟตอนมีค่ามากกว่า 2 - 3 เอ็มอีวี หรือมีค่าน้อยกว่า 2 - 3 เคอีวี

ง. เหมือนกับเคอร์มา จะสะดวกกว่า ถ้ากล่าวถึงเอ็กซ์โพเชอร์หรือเอ็กซ์โพเชอร์ในฟรีสเปซ (free space) หรือ ที่จุดใดๆ ในวัตถุที่ไม่ใช่ในอากาศ ในกรณีเช่นนี้ จะหาค่าเอ็กซ์โพเชอร์ได้ โดยวางอากาศปริมาตรเล็กๆ ไว้ในจุดที่ต้องการวัด ดังนั้น เราจึงกล่าวถึงเอ็กซ์โพเชอร์ว่าเป็นเอ็กซ์โพเชอร์ที่จุด ภายในแผ่นทอมน้ำ เป็นต้น

อัตราเอ็กซ์โพเชอร์ (exposure rate) เป็นอัตราส่วนของ ΔX กับ Δt เมื่อ ΔX เป็นการเพิ่มของเอ็กซ์โพเชอร์ในช่วงเวลา Δt

$$\text{อัตราเอ็กซ์โพเชอร์} = \Delta X / \Delta t$$

หน่วยของอัตราเอ็กโพเชอร์ คือ อัตราส่วนของเรินเกนต่อกับเวลา (R/S, R/min, R/h เป็นต้น)

6.8 สัมประสิทธิ์

สัมประสิทธิ์ การลดทอนมวล (mass attenuation coefficient) สัมประสิทธิ์ μ/ρ ของ วัตถุสำหรับอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อม เป็น อัตราส่วนระหว่าง dN กับผลคูณของ ρ , N และ dl เมื่อ N เป็นจำนวนอนุภาคที่ตกกระทบวัตถุที่มีความหนาแน่น ρ และ dN เป็นจำนวนอนุภาคที่เกิดการกระทำขึ้น

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{\rho N} \frac{dN}{dl}$$

หมายเหตุ ก. คำว่า “การกระทำ” หมายถึง ขบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน หรือทิศทางของอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อม

ข. สำหรับรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมา

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\sigma_{\text{coh}}}{\rho} + \frac{K}{\rho}$$

เมื่อ τ/ρ เป็นสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลของขบวนการโฟโตอิเล็กทริก

σ/ρ เป็นสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลรวมของขบวนการคอมป์ตัน

σ_{coh}/ρ เป็นสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลของขบวนการโคเฮเรนต์

และ K/ρ เป็นสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลของขบวนการแพร์โปรดักชัน

สัมประสิทธิ์ การถ่ายทอดพลังงานมวล (mass energy transfer coefficient) สัมประสิทธิ์ μ_k/ρ ของวัตถุสำหรับอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อม เป็นอัตราส่วนระหว่าง dE_k กับ ผลคูณของ E , ρ และ dl เมื่อ E เป็นผลรวมของพลังงาน (ยกเว้นพลังงานนิ่ง) ของอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อม ซึ่งตกกระทบวัตถุหนา dl และความหนาแน่น ρ , และ dE_k เป็นผลรวมของพลังงานจลน์ของอนุภาคที่มีประจุทั้งหมดที่เกิดขึ้นตรงบริเวณที่เกิดการกระทำนี้

$$\frac{\mu_k}{\rho} = \frac{1}{E\rho} \frac{dE_k}{dl}$$

หมายเหตุ ก. ความสัมพันธ์ระหว่างฟลูเอินซ์และเคอร์มา คือ

$$K = E(\mu_K / \rho)$$

ข. สำหรับรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมาที่มีพลังงาน

$$\frac{\mu_K}{\rho} = \frac{\tau_a}{\rho} + \frac{\sigma_a}{\rho} + \frac{K}{\rho}$$

$$\text{เมื่อ } \frac{\tau_a}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} (1 - \delta)$$

(τ/ρ = สัมประสิทธิ์การลดทอนมวลของขบวนการโฟโตอิเล็กทริก, δ = พลังงานเฉลี่ยที่ส่งออกมาในรูปของรังสีฟลูออเรสเซนซ์ต่อจำนวนโฟตอนที่ถูกดูดกลืน)

$$\frac{\sigma_c}{\rho} = \frac{\sigma}{\rho} \frac{E_c}{h\nu}$$

(σ/ρ = สัมประสิทธิ์การลดทอนมวลของขบวนการคอมป์ตัน, E_c = พลังงานเฉลี่ยของคอมป์ตันอิเล็กตรอนต่อโฟตอนสะท้อน)

$$\frac{K_a}{\rho} = \frac{K}{\rho} (1 - \frac{2mc^2}{h\nu})$$

(K/ρ = สัมประสิทธิ์การลดทอนมวลของขบวนการแพร่โปรดักชัน, mc^2 = พลังงานนิ่งของอิเล็กตรอน = พลังงานที่ได้จากการสูญหายของอิเล็กตรอน)

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานมวล (mass energy - absorption coefficient) สัญลักษณ์ μ_m/ρ ของวัตถุสำหรับอนุภาคที่ทำให้เกิดการแตกตัวโดยอ้อม มีค่าเท่ากับ $\mu_K/\rho(1 - G)$ เมื่อ G เป็นสัดส่วนของพลังงานของอนุภาคที่มีประจุ ซึ่งสูญเสียในรูปเบรมสตาจิงในวัตถุ
หมายเหตุ ก. เมื่อวัตถุเป็นอากาศ, μ_m/ρ เป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนระหว่างเอ็กซ์โพเชอร์กับฟลูเอินซ์

ข. μ_K/ρ และ μ_m/ρ ไม่ได้มีค่าต่างกัน ถ้าหากว่าพลังงานจลน์ของอนุภาคทุติยภูมิไม่เท่ากับหรือมากกว่าพลังงานนิ่ง

6.9 แมสสต็อปปิงเพาเวอร์ (mass stopping power) สัญลักษณ์ S/P ของวัตถุสำหรับอนุภาค

ที่มีประจุ เป็นอัตราส่วนระหว่าง dE_s กับผลคูณของ dl และ ρ เมื่อ dE_s เป็นพลังงานเฉลี่ยที่สูญเสีย โดยอนุภาคที่มีประจุพลังงานค่าหนึ่งเมื่อวิ่งได้ระยะทาง dl และ ρ เป็นความหนาแน่นของตัวกลาง

$$\frac{S}{\rho} = \frac{1}{\rho} \frac{dE_s}{dl}$$

หมายเหตุ dE_s เป็นพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการแตกตัว, การกระตุ้น ของรังสี สำหรับจุดประสงค์บางอย่างต้องการพิจารณาสต็อปปิงเพาเวอร์ โดยไม่คิดการสูญเสียเนื่องจากเบรมสตราลิ่ง ในกรณีนี้ S/ρ จะต้องคูณด้วยแฟกเตอร์ที่เหมาะสมซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง

6.10 พลังงานถ่ายทอดเชิงเส้น (linear energy transfer) ใช้สัญลักษณ์ L ของอนุภาคที่มีประจุในตัวกลางเป็นอัตราส่วนระหว่าง dE_L กับ dl เมื่อ dE_L เป็นพลังงานเฉลี่ยที่ถ่ายทอดให้แก่ตัวกลาง โดยอนุภาคที่มีประจุและมีพลังงานจำเพาะวิ่งผ่านตามยาว dl

หมายเหตุ ก. คำว่า พลังงานถ่ายทอด หมายถึง ทั้งระยะไกลที่สุดของทางเดินของอนุภาค หรือ พลังงานที่สูญเสียมากที่สุดของอนุภาค

ข. คำว่า พลังงานถ่ายทอดเชิงเส้นแตกต่างจากคำว่าสต็อปปิงเพาเวอร์ พลังงานถ่ายทอดเชิงเส้นเป็นพลังงานถ่ายทอดในปริมาตรที่จำกัด ส่วนสต็อปปิงเพาเวอร์เป็นพลังงานที่สูญเสียในบริเวณที่ดูคกลืน

6.11 พลังงานเฉลี่ยที่ทำให้แกสเกิดการแตกตัวได้ 1 ไอออนคู่ สัญลักษณ์ W เป็นอัตราส่วนระหว่าง E กับ N_w , เมื่อ N_w เป็นจำนวนไอออนคู่ที่เกิดขึ้น เมื่ออนุภาคที่มีประจุพลังงานเริ่มต้น E ถูกหยุดโดยอากาศ

$$W = E / N_w$$

หมายเหตุ ก. ไอออนที่เกิดจากการดูคกลืนเบรมสตราลิ่งที่เกิดจากอนุภาคที่มีประจุ จะไม่นับเป็น N_w

ข. บางครั้งจะต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ W ด้วย และจะต้องใช้นิยามอื่นซึ่งจะไม่กล่าวในที่นี้

นิวไคลด์ (nuclide) เป็นกลุ่มของอะตอมที่มีจำนวนนิวตรอนและจำนวนโปรตอนจำเพาะ

6.12 กัมมันตภาพ (Activity) ใช้สัญลักษณ์ A ของสารกัมมันตรังสี เป็นอัตราส่วนระหว่าง ΔN กับ Δt เมื่อ ΔN เป็นจำนวนการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ในเวลา Δt

$$A = \Delta N / \Delta t$$

หน่วยของกัมมันตภาพ คือ คูรี ใช้สัญลักษณ์ c

$$1 c = 3.7 \times 10^{10} \text{ วินาที}^{-1}$$

6.13 ค่าคงที่รังสีแกมมาจำเพาะ (specific gamma ray constant) ใช้สัญลักษณ์ Γ ของนิวไคลด์ที่ให้รังสีแกมมาเป็นอัตราส่วนระหว่าง $i^2 (\Delta X / \Delta t)$ กับ A เมื่อ $\Delta X / \Delta t$ เป็นอัตราอิเล็กโพเซอร์ที่ระยะทาง i จากแหล่งกำเนิดขนาดเล็ก (point source) ของนิวไคลด์ที่มีกัมมันตภาพ A

$$\Gamma = \frac{i^2 \Delta X}{A \Delta t}$$

หน่วยของ ค่าคงที่รังสีแกมมาจำเพาะ คือ $\text{Rm}^{-2} \text{h}^{-1} \text{c}^{-1}$ หรือผลคูณของหน่วยนี้

หมายเหตุ ไม่คิดถึงการดูดกลืนของแหล่งกำเนิดรังสีและระยะทาง อย่างไรก็ตาม ในกรณีของเรเดียม ค่า Γ หาจากตัวกรองเป็นพลาสติกหนา 0.5 มิลลิเมตร และในกรณีนี้หน่วยของค่าคงที่รังสีแกมมาเฉพาะ คือ $\text{Rm}^{-2} \text{h}^{-1} \text{gm}^{-1}$ หรือ ผลคูณของหน่วยนี้

ค่าตัวคูณคุณภาพ (Quality factor) สัญลักษณ์ QF ของรังสีที่มีพลังงานถ่ายทอดเชิงเส้นต่างๆ เมื่อได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดภายนอกแสดงในตารางที่ 6.1 จากความรู้ในปัจจุบันเรายังทราบผลของรังสีที่มีต่อสิ่งที่มีชีวิตไม่กว้างขวางมากนัก ดังนั้น ในตารางจึงกล่าวถึงพลังงานถ่ายทอดเชิงเส้นเป็นช่วง แทนที่จะกล่าวจำเพาะค่าใดค่าหนึ่ง ในการคำนวณเพื่อความปลอดภัยจากรังสีให้ใช้ค่าที่สูงที่สุด แต่ค่าที่ได้จากการเทียบบัญญัติใดอย่างหนึ่งก็เป็นค่าที่ยอมรับให้ใช้ได้

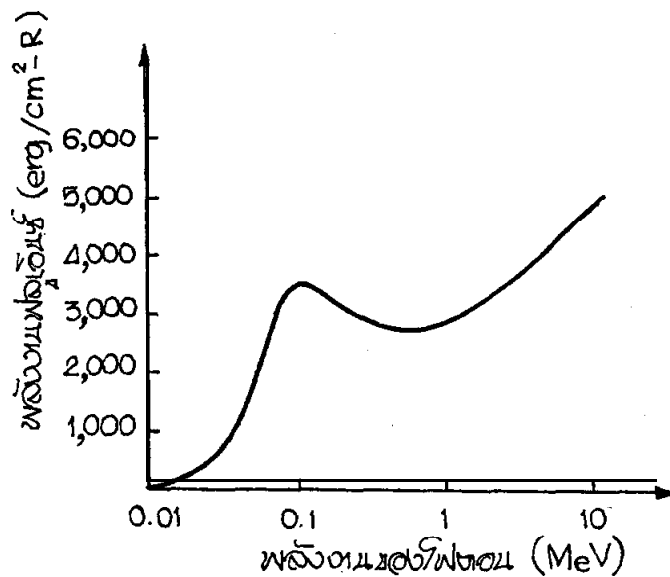
ตารางที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของ LET และ QF

ค่าเฉลี่ยของพลังงานถ่ายเทเชิงเส้น (LET) ในน้ำ (เคอีวีต่อไมครอน)	ค่าตัวคูณคุณภาพ Q.F.
3.5 หรือน้อยกว่า	1
3.5 ถึง 7.0	1 - 2
4.0 ถึง 23	2 - 5
23 ถึง 53	5 - 10
53 ถึง 175	10 - 20

หมายเหตุ รังสีเอ็กซ์, อิเล็กตรอน และโพซิตรอน ไม่ว่าจะมีความพลังงานถ่ายเทเชิงเส้นเท่าไร จะมีค่า Q.F. = 1 เสมอ

6.14 ความสัมพันธ์ ระหว่างความหนาแน่นฟลักซ์ของรังสีแกมมาและอัตราเอ็กโพเชอร์

ในการศึกษาการกระทำของรังสีแกมมากับอากาศ จะได้รับประโยชน์มาก ถ้าใช้ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานฟลูเอินซ์ในอากาศกับเอ็กโพเชอร์ เช่นเดียวกับใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นฟลักซ์ของรังสีแกมมากับอัตราเอ็กโพเชอร์ โดยการใช้นิยามที่กล่าวถึงไปแล้ว จะหาความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.1 อัตราส่วนของพลังงานฟลูเอินซ์ กับเอ็กโพเชอร์ในเทอมพลังงานของโฟตอน

กำหนดให้ $E_f =$ พลังงานฟลูเอินซ์ที่ตกกระทบอากาศต่อเรินเกนท์
 $=$ เอ็กส์ต่อกำลังสองของเส้นติเมตร - เรินเกนท์
 $(\mu_m/\rho)_{air} =$ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานมวล
 $=$ (เส้นติเมตร)²/กรัม

ถ้า $(E_f)(\mu_m/\rho) = 87.7 \text{ ergs / gm} \cdot R$.

ดังนั้น $E_f = \frac{87.7}{(\mu_m/\rho)_{air}} \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^2 \cdot R}$

รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง E_f กับ hV เมื่อ hV เป็นพลังงานของรังสีแกมมา
 จากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานฟลูเอินซ์ที่ตกกระทบกับเอ็กโพเชอร์ เราสามารถหา
 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นฟลักซ์ของรังสีแกมมาและอัตราเอ็กโพเชอร์

พลังงานฟลูเอินซ์ (E_f) อาจเขียนในเทอมของฟลูเอินซ์ของรังสีแกมมา (ϕ) ดังนี้

$$E_f = 1.6 \times 10^{-6} \times \phi E$$

$$\frac{\text{ergs}}{\text{cm}^2 \cdot R} = \frac{\text{ergs}}{\text{MeV}} \times \frac{\text{โฟตอน}}{\text{cm}^2 \cdot R} \times \frac{\text{MeV}}{\text{โฟตอน}}$$

แทนลงไปนสมการ จะได้

$$\phi = \frac{5.48 \times 10^7}{E(\mu_m)_{air}} \frac{\text{โฟตอน}}{\text{cm}^2 \cdot R}$$

จะสะดวกยิ่งขึ้นถ้าเรากำหนดค่าใหม่โดยที่

$$\frac{1 \text{ mR}}{\text{hr}} \approx \frac{0.0196}{E(\mu_m)_{air}} \frac{\text{โฟตอน}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$$

ตัวอย่าง สำหรับโฟตอนพลังงาน 2 เอ็มอีวี เราพบว่า $(\mu_m)_{air} = 3 \times 10^{-5} / \text{cm}$ ดังนั้น

$$\frac{1 \text{ mR}}{\text{hr}} \approx 300 \frac{\text{โฟตอน}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$$

รูปที่ 6.2 เป็นกราฟแสดงความหนาแน่นฟลักซ์ของรังสีแกมมา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 เรินเกนท์/

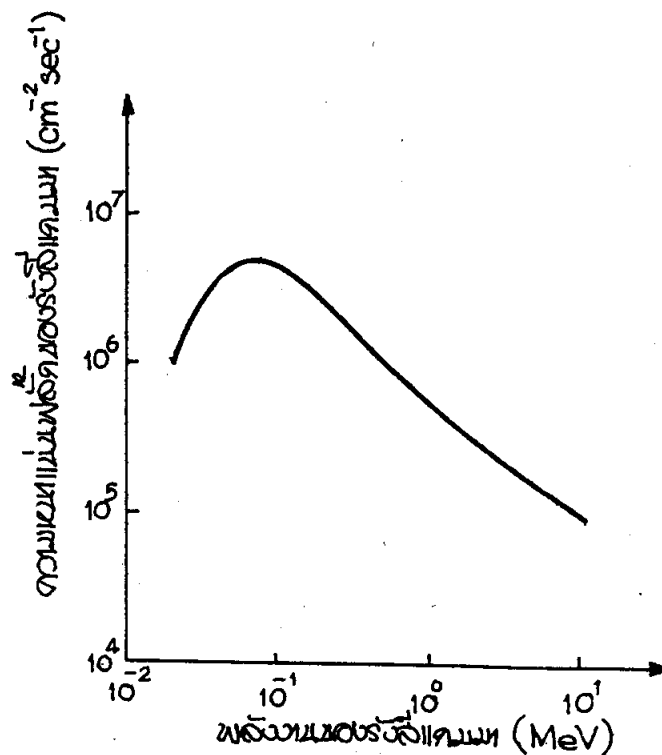
ชั่วโมง กับพลังงานของรังสีแกมมา สำหรับโฟตอนที่มีพลังงานค่าเดียว พลังงานดูดกลืนในหน่วยเอ็กส์ต่อกรัม คือ

$$E_f \left(\frac{\mu_m}{\rho} \right)_{\text{air}} = 1.6 \times 10^{-6} \phi E \left(\frac{\mu_m}{\rho} \right)_{\text{air}}$$

สำหรับลำโฟตอนที่มีพลังงานหลายค่า พลังงานดูดกลืนในหน่วยเอ็กส์ต่อกรัม คือ

$$\int_0^{E_m} 1.6 \times 10^{-6} \phi E \left(\frac{\mu_m}{\rho} \right)_{\text{air}}$$

เมื่อ ϕE เป็นจำนวนโฟตอนต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อหน่วยของพลังงาน ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานมวลก็เป็นฟังก์ชันของพลังงานด้วย



รูปที่ 6.2 ความหนาแน่นฟลักซ์ของรังสีแกมมาซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 เรินเกนท์/ชั่วโมง กับพลังงานของรังสีแกมมา

แบบฝึกหัดที่ 6

1. จงอธิบายเอ็กโพเซอร์
 2. จงอธิบายโดส
 3. จงอธิบายพลังงานถ่ายทอดเชิงเส้น
 4. จงอธิบายค่าคงที่รังสีแกมมาเฉพาะ
-