

บทที่ 7

พลังงานจากรังสี

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการคำนวณพลังงานจากรังสีเมื่อแหล่งกำเนิดรังสีอยู่นอกร่างกาย
2. ศึกษาการคำนวณพลังงานจากรังสีเมื่อแหล่งกำเนิดรังสีอยู่ในร่างกาย
3. ศึกษาผลของรังสีชนิดต่าง ๆ
4. ศึกษาครึ่งชีวิตทางฟิสิกส์และครึ่งชีวิตทางชีววิทยา
5. ศึกษาสารที่ให้รังสีแอลฟา รังสีเบตา และรังสีแกมมา

7.1 บทนำ

การทราบพลังงานของรังสีที่ถ่ายเทให้แก่ร่างกาย เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการนำรังสีมาใช้ประโยชน์ เมื่อทราบพลังงานจะทำให้ทราบว่า จะต้องใช้ปริมาณรังสีจำนวนเท่าไร การนำรังสีมาใช้งานกระทำได้ 2 วิธี คือ

1. โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีอยู่นอกร่างกาย แล้วฉายรังสีตรงไปยังตำแหน่งที่ต้องการ
2. โดยการทำให้แหล่งกำเนิดรังสีเข้าไปในร่างกาย ไปสะสมอยู่ตรงอวัยวะที่ต้องการ

การคำนวณพลังงานที่ร่างกายได้รับจากแหล่งกำเนิดรังสีที่อยู่ในร่างกายกระทำได้ยากกว่า เมื่อแหล่งกำเนิดรังสีอยู่นอกร่างกายมาก มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้การคำนวณผิดพลาด จึงต้องคำนวณเป็นพลังงานสูงสุดที่ร่างกายควรจะได้รับ

7.2 การคำนวณเมื่อแหล่งกำเนิดรังสีอยู่ภายนอกร่างกาย

ความสัมพันธ์ระหว่างเอ็กโพเชอร์และแเอปสอปโดส

พลังงานที่ถูกดูดกลืนในอากาศตรงตำแหน่งที่เอ็กโพเชอร์ เท่ากับ 1 เรินเกนท มีค่าเท่ากับ 87.7 เอ็กส์/กรัม แเอปสอปโดสที่จุดใดๆ ในอากาศ ซึ่งเอ็กโพเชอร์ เท่ากับ R เรินเกนท มีค่าเท่ากับ

$$D_{\text{air}} = 0.877 R$$

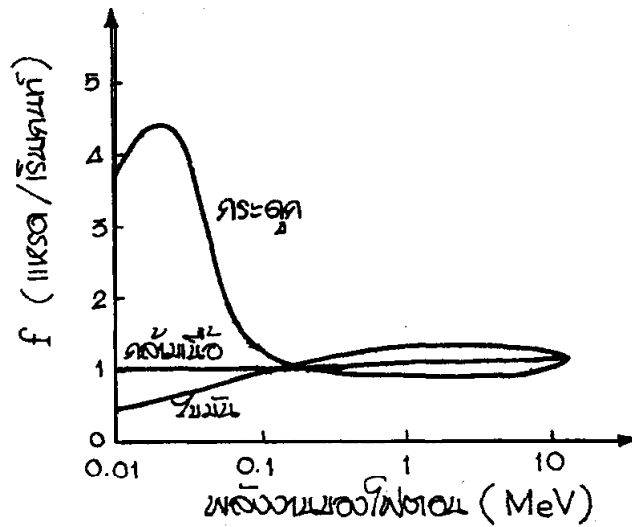
จำนวนแหรคต่อเรินเกนทในอากาศเท่ากับ 0.877 ในทางปฏิบัติสามารถวัดเอ็กโพเชอร์ได้ แล้วจึงคำนวณหาแเอปสอปโดส โดยใช้สมการข้างบน

ถ้าหากว่าตัวกลางไม่ใช่ในอากาศและถ้าเกิดภาวะสมดุลย์ สมการข้างบนจะต้องคูณด้วยอัตราระหว่างสัมประสิทธิ์ การดูดกลืนมวลของตัวกลางกับของอากาศ

$$\text{ดังนั้น } D_m = 0.877 \frac{(\mu_m/\rho)_m}{(\mu_m/\rho)_{\text{air}}} = f R$$

จำนวนแหรคต่อเรินเกนทในตัวกลาง ใช้สัญลักษณ์ f รูปที่ 7.1 แสดง f เป็นฟังก์ชันของพลังงานของรังสีแกมมาสำหรับตัวกลาง เช่น กระจก, กล้ามเนื้อ และไขมัน

ถ้าไม่เกิดภาวะสมดุลย์ ก็ยังคงคำนวณแเอปสอปโดสได้ โดยใช้ทฤษฎีแบรค-เกรย์ (Bragg - Gray principle) โดยทั่วไปในการหาแเอปสอปโดสจะแบ่งพลังงานของรังสีของรังสีแกมมาเป็น 3 ส่วน คือ พลังงานต่ำ, พลังงานปานกลาง และพลังงานสูง ซึ่งจะทำให้สะดวกต่อการคำนวณยิ่งขึ้น



รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง f และพลังงานของโฟตอน

พลังงานต่ำ (น้อยกว่า 0.1 เอ็มอีวี)

ถ้าโฟตอนมีพลังงานต่ำ จะเกิดขบวนการโฟโตอิเล็กทริก ดังนั้น $\mu_m \cong \tau$ เราทราบว่า $\tau \propto Z^2$ เมื่อ Z เป็นเลขอะตอมของตัวดูดกลืน ดังนั้น

$$D_m \propto (Z_m / Z_{air})^2$$

แอมป์สอบโดสเป็นแตรดแปรตามกำลังสี่ของอัตราส่วนของเลขอะตอมของตัวดูดกลืนและอากาศ ดังนั้นแอมป์สอบโดสจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงไปมาก เมื่อโฟตอนมีพลังงานต่ำ

พลังงานปานกลาง (ระหว่าง 0.1 เอ็มอีวี และ 1 เอ็มอีวี)

เมื่อโฟตอนมีพลังงานปานกลาง จะเกิดขบวนการคอมป์ตันมาก ดังนั้น $\mu_m \cong \sigma_a$ เนื่องจาก $\sigma_a \propto Z/A$ จะได้ว่า

$$D_m \propto \frac{(Z/A)_m}{(Z/A)_{air}}$$

รูปที่ 7.1 แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงในช่วงนี้มีค่าน้อยมาก

พลังงานสูง (มากกว่า 1 เอ็มอีวี)

เกิดขบวนการแพร่โปรคักชัน ดังนั้น $\mu_m \cong K$ เนื่องจากขบวนการแพร่โปรคักชันเปลี่ยนแปลงตามกำลังสองของเลขมวลของตัวดูดกลืน จะได้ว่า

$$D_m \propto \left(\frac{Z_m}{Z_{air}} \right)^2$$

การเปลี่ยนแปลงของแเอปสอบโดสกับพลังงานในช่วงนี้ จะมีค่ามากกว่าบริเวณที่เกิดขบวนการคอมปีตัน แต่มีค่าน้อยกว่าบริเวณที่เกิดขบวนการโฟโตอิเล็กทริก

สำหรับลำรังสีที่มีพลังงานหลายค่า เช่น ลำรังสีเอ็กซ์ จะต้องแก้ไขสูตรข้างเล็กน้อยกำหนดให้

$$f(E) = \text{แหรดต่อเรินเกนท์ที่พลังงาน } E$$

และ $R(E) = \text{เรินเกนท์ต่อช่วงพลังงาน}$

= การกระจายของโฟตอนในเทอมของเรินเกนท์

$$\text{ดังนั้น } D = \int_0^{E_{max}} R(E) \cdot f(E) \cdot dE$$

$$\text{และ } R = \int_0^{E_{max}} R(E) dE$$

ดังนั้น $\bar{f} = D/R = \text{ค่าเฉลี่ยของแหรดต่อเรินเกนท์เมื่อลำโฟตอนมีพลังงานหลายค่า}$

7.3 การประยุกต์นิยามเบื้องต้น

การนำนิยามของคำว่าเอ็กโพเชอร์ และแเอปสอบโดสไปใช้งาน จะต้องเพิ่มเติมเทอมขึ้นอีกเล็กน้อยดังนี้

$$R_a = \text{เอ็กโพเชอร์เป็นเรินเกนท์ที่จุด } P \text{ ในอากาศ}$$

= โดสของอากาศที่จุด P

$$R_s = \text{เอ็กโพเชอร์เป็นเรินเกนท์ที่จุด } P \text{ ถ้าผิวของร่างกายหรือแฟนทอมอยู่ที่จุดนี้}$$

= โดสที่ผิวที่จุด P

$$R_d = \text{เอ็กโพเชอร์เป็นเรินเกนท์ที่จุดใดๆ ในร่างกายหรือภายในแฟนทอม, วัดโดย}$$

ใช้เครื่องวัดเรินเกนท์

$R_s / R_a =$ แแบคสแกทเทอแฟคเตอร์ (backscatter factor)

$(R_d / R_s) =$ เปอร์เซนต์เดปโดส (percent depth dose)

ตัวอย่างที่ 7.1 กำหนดให้ ลำรังสีเอ็กซ์ขนาด 250 เควีที (KVP) ขนาดของลำรังสีเท่ากับ 100 ตารางเซนติเมตร และความหนาครึ่งหนึ่ง (HVL) เท่ากับ 1 มม. ทองแดง สมมติว่า $\bar{f} = 0.95$ (เนื้อเยื่ออ่อน) $\bar{f} = 1.76$ (กระดูก) และแบคสแกทเทอแฟคเตอร์เท่ากับ 1.36 กำหนดให้ $R_a = 1000$ R, ดังนั้น $D_a = 0.877$ R = 877 rad. ที่รอยต่อระหว่างอากาศและเนื้อเยื่อ จะได้ว่า

$$R_s = 1000 \times 1.36 = 1360 \text{ R}$$

$$D_s = 0.877 \times 1360 = 1193 \text{ rad ในอากาศ}$$

$$D_s = 0.95 \times 1360 = 1290 \text{ rad ในเนื้อเยื่อ}$$

ที่ 80 ไอโซโดส (isodose)

$$D_t = 0.80 \times 0.95 \times 1360 = 1030 \text{ rad ในเนื้อเยื่อ}$$

$$D_b = 0.80 \times 1.76 \times 1360 = 1920 \text{ rad ในกระดูก}$$

ตัวอย่างข้างบนนี้ แสดงถึงวิธีการหาโดสจากเอ็กซ์โพเชอร์ ซึ่งอาจจะสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. วัดเอ็กซ์โพเชอร์ในอากาศที่ผิวของเนื้อเยื่อ
2. คำนวณหาเอ็กซ์โพเชอร์ที่ความลึกตามที่ต้องการโดยใช้กราฟไอโซโดส
3. คำนวณแอมป์สอยโดส

ตัวอย่างที่ 7.2 กำหนดให้ กราฟแสดงโดสที่ความลึกต่างๆ ของลำรังสีเอ็กซ์ 500 เควีที (KVP) ที่ความลึก 5 ซม. ซึ่งเป็นความลึกที่พบระบบสร้างเม็ดโลหิต, เอ็กซ์โพเชอร์ จะมีค่าเท่ากับในฟรีแอร์ที่จุดบนพื้นผิวของร่างกาย ดังนั้น, เนื่องจากพลังลดลงในช่วงที่เกิดคอมป์ตัน, $f \cong 1$ ดังนั้น, จาก $D_t = fR$ จะได้ว่า $|D_t| = |R|$

เน็ดรังสีภายในร่างกายขึ้นอยู่กับ

1. ครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสี
2. พลังงานและชนิดของรังสีที่ได้จากการสลายตัว
3. ปริมาตรของเนื้อเยื่อที่สารกัมมันตรังสีกระจายอยู่
4. ลักษณะการกระจายของสารกัมมันตรังสี
5. การขับถ่ายออกจากร่างกาย

สำหรับค่าทางฟิสิกส์ เช่น ครึ่งชีวิต พลังงาน สามารถวัดได้โดยมีความแม่นยำมาก แต่ค่าทางชีววิทยา เช่น การขับถ่าย ไม่สามารถทราบค่าถูกต้องได้ การคำนวณพลังงานจากรังสีจากกัมมันตรังสีที่มีอยู่ภายในร่างกาย จึงให้ผลถูกต้องน้อยกว่า เมื่อแหล่งกำเนิดรังสีอยู่ภายนอก ร่างกายมาก

7.5 ผลเนื่องมาจากชนิดของรังสีซึ่งที่ส่งออกมาจากสารกัมมันตรังสีอาจจะเป็นรังสีที่มีอนุภาค เช่น รังสีแอลฟา, อิเล็กตรอน, โฟซิตรอน หรือ เป็นรังสีที่ไม่มีอนุภาค เช่น รังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมา สำหรับรังสีเบตาเคลื่อนที่ในเนื้อเยื่อระยะทางน้อยอยู่ในช่วงมิลลิเมตรเท่านั้น จึงสามารถถ่ายเทพลังงานทั้งหมดแก่เนื้อเยื่อตรงบริเวณที่แหล่งกำเนิดรังสีเบตากระจายอยู่ แต่

