หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การหาปริมาณสตรอนเตียม 90 ที่ตกลงบนพื้นโลก

4.1 อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของสารกัมมันตรังสีที่วัดได้ต่อสตรอนเตียม 90 ที่เวลาใด ๆ

กัมมันตภาพรังสีของธาตุต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายหลังจากการระเบิดของระเบิดนิวเคลียร์จะมีสัดส่วนคงที่ ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของธาตุต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาฟิชชันโดยตรงเทียบกับ ^{90}Sr ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\alpha(t) = \alpha_0 e^{-\lambda t} \qquad (4.1)$$

$$A = N\lambda \qquad (4.2)$$

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}} \qquad (4.3)$$

เมื่อกำหนดให้

$\alpha(t)$ คือ อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของธาตุใด ๆ ต่อ ^{90}Sr ที่เวลาใด ๆ

α_0 คือ อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของธาตุใด ๆ ต่อ ^{90}Sr ที่เวลาเริ่มต้น (t=0)

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี

t คือ เวลาที่ผ่านไป

A คือ กัมมันตภาพรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

N คือ จำนวนอะตอมของธาตุกัมมันตรังสี

$T_{\frac{1}{2}}$ คือ เวลาครึ่งชีวิต

จากผลการวัดรังสีแกมมาของยูเรเนียมออกไซด์ที่อาบนิวตรอน ธาตุที่สามารถวัดได้คือ ซีเรียม 141 (^{141}Ce) ซีเรียม 144 (^{144}Ce) รูทีเนียม 103(^{103}Ru) เซอร์โคเนียม 95 (^{95}Zr) ไนโอเบียม 95 (^{95}Nb) และแบเรียม 140 (^{140}Ba)-แลนทานัม 140 (^{140}La) สำหรับ ^{95}Nb และ ^{140}La เป็นธาตุที่มิได้เกิดขึ้นโดยตรง แต่เกิดจากการสลายตัวต่อจาก ^{95}Zr และ ^{140}Ba ตามลำดับ ธาตุต่าง ๆ ดังกล่าวนี้มีค่าครึ่งชีวิต (half life) ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant) ค่าฟิชชันยีลด์ (fission yield) ดังตารางที่ 4.1 ฟิชชันยีลด์ คือจำนวนอะตอมของธาตุนั้นๆที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์หนึ่งฟิชชัน

ธาตุ	เวลาครึ่งชีวิต	ค่าคงที่ของการสลายตัว(s^{-1})	ฟิชชันยีลด์ (%)
^{144}Ce	285d	2.81×10^{-8}	4.69
^{141}Ce	33.1d	2.42×10^{-7}	4.58
^{103}Ru	39.8d	2.02×10^{-7}	5.20
^{95}Zr	65.0d	1.23×10^{-7}	5.07
^{140}Ba	12.8d	6.27×10^{-7}	5.18
^{90}Sr	27.7y	7.93×10^{-10}	3.50
^{137}Cs	30.5y	7.20×10^{-10}	5.57

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเวลาครึ่งชีวิต ค่าคงที่ของการสลายตัวและค่าฟิชชันยีลด์ของธาตุต่างๆ[7]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับ ^{90}Sr เป็นธาตุที่ให้รังสีเบตาไม่สามารถวัดได้และ ^{137}Cs จากการทดลองวัดรังสีแกมมาเป็นเวลาประมาณหนึ่งปี ไม่ปรากฏยอดสเปกตรัมของ ^{137}Cs ที่ชัดเจนอัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของธาตุต่าง ๆ ที่วัดได้ต่อ ^{90}Sr สามารถคำนวณหาได้โดยจากสมการที่ 4.2 ดังเช่น อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของ ^{95}Zr ต่อ ^{90}Sr ที่เวลาเริ่มต้น(เวลาเริ่มต้นนี้คือเวลาที่นำสารยูเรเนียมออกไซด์ออกมาจากการอาบนิวตรอน) จะเป็นดังนี้

$$\frac{^{95}Zr}{^{90}Sr} = \frac{5.07\lambda_{Zr}}{3.50\lambda_{Sr}}$$

$$= 225$$

เมื่อ $\frac{^{95}Zr}{^{90}Sr}$ คือ อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของ ^{95}Zr ต่อ ^{90}Sr

λ_{Zr} คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของ ^{95}Zr

λ_{Sr} คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของ ^{90}Sr

อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของ ^{95}Zr ต่อ ^{90}Sr ที่เวลาใดๆ เช่น เมื่อเวลาผ่านไป 30 วันสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 4.1

เมื่อ $\alpha_0 = 225$

$\lambda = 1.23 \times 10^{-7}\ s^{-1}$

$t = 2.59 \times 10^{6}\ s$

ดังนั้น $\alpha(t) = 165$

สำหรับอัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของธาตุอื่นที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชันโดยตรงต่อ ^{90}Sr ที่เวลาใดๆ ก็สามารถคำนวณหาได้ในทำนองเดียวกันกับ ^{95}Zr

ส่วน ^{95}Nb เป็นธาตุที่ไม่ได้เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชันโดยตรง แต่เกิดจากการสลายตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ของ ^{95}Zr สามารถคำนวณหาอัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของ ^{95}Nb ต่อ ^{90}Sr ที่เวลาใด ๆ ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\alpha_B = \alpha_{B0} e^{-\lambda_B t} + \frac{\alpha_{A0} \lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) \qquad (4.4)$$

เมื่อกำหนดให้

α_B คือ อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของ ^{95}Nb ต่อ ^{90}Sr ที่เวลาใด ๆ

α_{B0} คือ อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของ ^{95}Nb ต่อ ^{90}Sr ที่เวลาเริ่มต้น (t=o)

α_{A0} คือ อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของ ^{95}Zr ต่อ ^{90}Sr ที่เวลาเริ่มต้น

λ_A คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของ ^{95}Zr

λ_B คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของ ^{95}Nb

t คือ เวลาที่ผ่านไป

เมื่อเวลาผ่านไป 30 วันภายหลังจากที่มีการทิ้งระเบิดนิวเคลียร์ อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของ ^{95}Nb ต่อ ^{90}Sr หาได้จากสมการที่ 4.4 ดังนี้

เมื่อ $\alpha_{B0} = 0$

$\alpha_{A0} = 225$

$\lambda_A = 1.23 \times 10^{-7}$ s^{-1}

$\lambda_B = 2.29 \times 10^{-7}$ s^{-1}

$t = 30$ d.

$= 2.59 \times 10^{6}$ s.

ดังนั้น $\alpha_B = 85.9$

ภายหลังจากที่เกิดสงครามนิวเคลียร์ อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของธาตุต่าง ๆที่วัดได้ต่อ ^{90}Sr เมื่อเวลาผ่านไปทุกๆเดือน เป็นเวลาหนึ่งปีสามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันดังกล่าวแล้วข้างต้น ซึ่งจะมีค่าดังตารางที่ 4.2

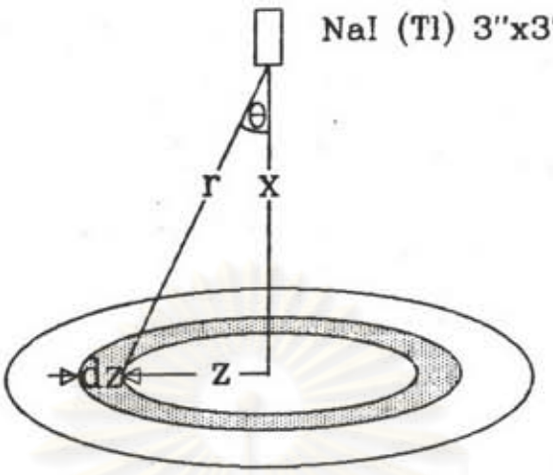
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

t (เดือน)	อัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของธาตุต่อ ^{90}Sr					
	^{144}Ce	^{141}Ce	^{103}Ru	^{95}Zr	^{95}Nb	^{140}Ba-^{140}La
0	47.2	408	387	225	-	1190
1	44.0	216	228	165	85.9	232
2	40.9	115	134	120	110	45.5
3	38.1	60.9	78.9	87.2	106	8.90
4	35.4	32.3	46.5	63.4	91.4	1.72
5	33.0	17.1	27.4	46.0	74.4	-
6	30.7	9.09	16.1	33.4	58.4	-
7	28.6	4.82	9.49	24.3	44.9	-
8	26.6	2.55	5.58	17.6	33.9	-
9	24.8	1.35	3.29	12.8	25.4	-
10	23.1	-	1.93	9.29	18.8	-
11	21.5	-	1.14	6.75	13.9	-
12	20.0	-	-	4.90	10.2	-

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนกัมมันตภาพรังสีของธาตุต่าง ๆ ที่วัดได้ต่อ ^{90}Sr เมื่อเวลาผ่านไปทุก ๆ เดือนเป็นเวลาหนึ่งปีภายหลังจากสงครามนิวเคลียร์

4.2 อัตราการนับของแกมมาสเปกโทรมิเตอร์เมื่อมีสตรอนเตียม 90 อยู่บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$

ในสภาพความความเป็นจริงการวัดปริมาณรังสีบนพื้นดินกลางแจ้ง แหล่งกำเนิดรังสีมีลักษณะเป็นระนาบอนันต์(infinite plane source) ขณะทำการวัดจะวางหัววัด NaI(Tl) สูงจากพื้นดิน 1 เมตร ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการวางหัววัด NaI(Tl) เหนือพื้นดิน 1 เมตรวัดรังสีแกมมาที่กลางแจ้งเพื่อหาอัตราการนับของธาตุต่าง ๆ

เมื่อกำหนดให้

Q คือ ปริมาณรังสีที่วัดได้จริงทั้งหมด (cps)

S คือ กัมมันตภาพรังสีของแหล่งกำเนิด (dps/cm^2)

dQ คือ จำนวนโฟตอนที่เข้าสู่หัววัดจากพื้นที่ $2\pi zdz$ และเกิดการนับที่ยอดของสเปกตรัม (cps)

G คือ จำนวนโฟตอนของรังสีแกมมาต่อ disintegration.

$(1-\exp(-\mu d))$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการนับโฟตอน

A คือ พื้นที่ผิวของหัววัดที่รับโฟตอน (cm^2)

P คือ อัตราส่วนของการนับที่ยอดสเปกตรัมต่อการนับทั้งหมด

μ คือ สัมประสิทธิ์การขวางกั้นของหัววัด NaI(Tl) (cm^{-1})

μ_a คือ สัมประสิทธิ์การขวางกั้นของอากาศ (cm^{-1})

d คือ ระยะที่โฟตอนผ่านหัววัด (cm)

ปริมาณรังสีที่เข้าสู่หัววัดสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$dQ = SG \cdot \frac{2\pi z\,dz}{4\pi r^2} \cdot A \cdot \exp(-\mu_a r) \cdot (1 - \exp(-\mu d))P$$

$$= \frac{PSGAz\,dz}{2r^2} \cdot \exp(-\mu_a r) \cdot (1 - \exp(-\mu d)) \qquad (4.5)$$

ในการอินทิเกรทโดยทั่วไป A และ d มีค่าไม่คงที่ เพราะลักษณะของหัววัดเป็นรูปทรงกระบอก ในกรณีระนาบอนันต์ (infinite plane source) โฟตอนเกือบทั้งหมดพุ่งเข้าสู่หัววัดตั้งฉากกับผิวโค้งคือเข้ามาในแนวระดับ ดังนั้นจึงคิดโดยประมาณว่า A มีค่าคงที่ จากสมการที่ 4.5 เนื่องจาก $r^2 = z^2 + x^2$ ดังนั้น $zdz = rdr$ เพราะฉะนั้น

$$dQ \propto \frac{\exp(-\mu_a r)}{r} dr \qquad (4.6)$$

จากรูปที่ 4.1 จะได้ว่า

$$r = \frac{x}{\cos\theta} \qquad (4.7)$$

ดังนั้น

$$dr = x\,d\sec\theta$$

$$= x\sec\theta\tan\theta\,d\theta \qquad (4.8)$$

และ

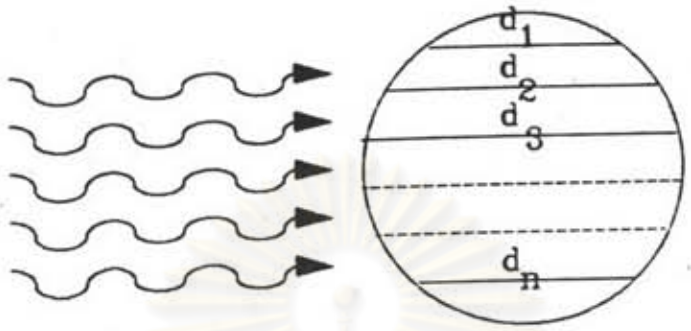
$$\frac{dQ}{d\theta} \propto \exp(-\mu_a x/\cos\theta)\tan\theta \qquad (4.9)$$

สำหรับ ^{95}Zr สัมประสิทธิ์การขวางกั้นของอากาศมีค่าเท่ากับ 9.65×10^{-3} m^{-1} $\frac{dQ}{d\theta}$ และ θ จะมีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่ารังสีส่วนมากพุ่งเข้าสู่หัววัดในแนวระดับ

θ (องศา)	60	70	80	85	89
$\frac{dQ}{d\theta}$	1.70	2.76	5.36	10.2	32.9

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า $\frac{dQ}{d\theta}$ เมื่อ θ มีค่าต่าง ๆ กัน

ดังนั้นในการคำนวณจึงใช้ค่า $A = D^2$ เมื่อ D คือเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาของหัววัด (D=3") แต่ d ต้องคำนวณเฉลี่ยจากระยะต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงพื้นที่หน้าตัดของหัววัด NaI(Tl)

อย่างไรก็ตาม จากการทดลองให้รังสีพุ่งเข้าสู่หัววัดตั้งฉากกับผิวโค้งเปรียบเทียบกับที่พุ่งเข้าตั้งฉากกับผิวราบ พบว่าความน่าจะเป็นที่เกิดการนับโฟตอนในสองกรณีมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในที่นี้จึงใช้ค่าที่คำนวณจากรังสีที่พุ่งเข้าทางผิวราบ ซึ่ง $A = \frac{\pi D^2}{4}$ และ $\bar{d} = D$ ดังนั้น จากสมการที่ (4.5) ปริมาณรังสีที่วัดได้จริงทั้งหมดสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q = \frac{\pi D^2 PSG}{8}(1-\exp(-\mu D))\int_{\mu_a x}^{\infty} \frac{\exp(-\mu_a r)}{\mu_a r} d\mu_a r \qquad (4.10)$$

ในการอินทิเกรทแบบนี้เมื่อ X มีค่าน้อยมากจะได้ว่า

$$\int_x^{\infty} \frac{\exp(-y)}{y} dy = -\left(0.5772 + \ln x - x + \frac{x^2}{4} - \frac{x^3}{18}\right) \qquad (4.11)$$

สำหรับ ^{95}Zr ระดับพลังงาน (E) = 0.756 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์(MeV) สมมติว่ามีปริมาณรังสีของ ^{95}Zr ตกอยู่บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$ ปริมาณรังสีที่วัดได้จริงทั้งหมดของ ^{95}Zr สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 4.10 และ 4.11 ดังนี้

เมื่อ $\mu_a = 9.65 \times 10^{-3}$ m^{-1}

$\mu = 28.0$ m^{-1}

$G = 0.99$

$P = 0.50$

$S = 1$ $\mu Ci/m^2$

$= 3.7$ $dps./cm^2$

ดังนั้น $Q\ (^{95}Zr) = 150$ cps.

ภายหลังจากสงครามนิวเคลียร์สมมติว่ามีสตรอนเตียม 90 ตกอยู่บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$ เมื่อเวลาผ่านไปทุกๆเดือน สามารถคำนวณหาปริมาณรังสีของ ^{95}Zr ได้โดยใช้ตารางที่ 4.2 ประกอบเช่นเมื่อเวลาผ่านไป 5 เดือนหลังจากสงครามนิวเคลียร์ ดังนี้

$Q(^{95}Zr) = 150 \times 46.0$

$= 6900$ cps.

สำหรับ ^{95}Nb ระดับพลังงาน 0.765 MeV. สมมติว่ามีปริมาณรังสี ^{95}Nb ตกอยู่บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$ ปริมาณรังสีของ ^{95}Nb ที่วัดได้จริงทั้งหมด สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 4.10 และ 4.11 ในทำนองเดียวกันกับ ^{95}Zr ดังนี้

เมื่อ $\mu_a = 9.45 \times 10^{-3}$ m^{-1}

$\mu = 24.0$ m^{-1}

$G = 0.99$

$P = 0.49$

$S = 1$ $\mu Ci/m^2$

$= 3.7$ $dps./cm^2$

ดังนั้น $Q(^{95}Nb) = 141$ cps.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และภายหลังจากสงครามนิวเคลียร์ สมมติว่ามี ^{90}Sr ตกอยู่บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$ เมื่อเวลาผ่านไปทุกๆเดือนเป็นเวลาหนึ่งปี โดยใช้ตารางที่ 4.2 ประกอบ สามารถคำนวณหาปริมาณรังสีของ ^{95}Nb ได้ในทำนองเดียวกันกับของ ^{95}Zr ดังกล่าวแล้วข้างต้น

สำหรับ ^{95}Zr และ ^{95}Nb โดยอาศัยวิธีการดังกล่าวสามารถคำนวณหาปริมาณรังสีของธาตุทั้งสองเมื่อเวลาผ่านไปทุกๆเดือนเป็นเวลาหนึ่งปีได้ดังตารางที่ 4.4

t	อัตราการนับ (cps.)		
(เดือน)	^{95}Zr	^{95}Nb	$^{95}Zr+^{95}Nb$
0	34200	-	34200
1	24700	11900	36700
2	18000	15500	33500
3	13000	14900	27900
4	9400	12800	22200
5	6900	10400	17300
6	4950	6330	13100
7	3600	6310	9910
8	2500	4780	7330
9	1950	3510	5460
10	1350	2530	3880
11	1050	1970	3020
12	750	1410	2160

ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราการนับของ ^{95}Zr และ ^{95}Nb เมื่อเวลาผ่านไปทุก ๆ เดือนภายหลังจากสงครามนิวเคลียร์ โดยสมมติว่ามี ^{90}Sr ตกอยู่บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.4 หากเกิดสงครามนิวเคลียร์ และมีฝุ่นกัมมันตรังสีกระจายมาตกในประเทศไทย เมื่อใช้แกมมาสเปกโทรมิเตอร์วัดปริมาณรังสีของ $^{95}Zr+^{95}Nb$ บนพื้นดินโดยใช้หัววัด NaI(Tl) ขนาด 3" x 3" วางสูงจากพื้นดิน 1 เมตร ดังกล่าวแล้วข้างต้น เช่นเมื่อเวลาผ่านไป 5 เดือน ภายหลังจากที่เกิดสงครามนิวเคลียร์ วัดอัตราการนับของ $^{95}Zr+^{95}Nb$ ได้ X cps. สามารถคำนวณได้ว่ามีปริมาณรังสีของ ^{90}Sr ตกอยู่บนพื้นดินเท่าใด ได้ดังนี้

$$^{90}Sr = X/17300 \qquad \mu Ci/m^2$$

สำหรับที่เวลาใด ๆ ของทุก ๆ เดือนภายหลังจากที่เกิดสงครามนิวเคลียร์เป็นเวลาหนึ่งปี จากตารางที่ 4.4 สามารถคำนวณหาปริมาณของ ^{90}Sr ได้ในทำนองเดียวกัน[8]

4.3 อัตราโดสของรังสีแกมมาเมื่อมี ^{90}Sr อยู่บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$

การคำนวณหาอัตราโดสของรังสีแกมมา เมื่อมี ^{90}Sr ตกบนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$ โดยวางเครื่องวัดอัตราโดสสูงจากพื้นดิน 1 เมตร เช่นเดียวกันกับการหาอัตราการนับดังรูปที่ 4.1 อัตราโดสของรังสีแกมมาของธาตุต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$dD = \frac{0.52(2\pi z dz)CE_i \exp(-\mu_a r)}{r^2} \qquad (4.12)$$

เมื่อกำหนดให้

dD คือ อัตราโดสจากพื้นที่ $2\pi z dz$ ($\mu R/h$)

C คือ กัมมันตภาพรังสีต่อพื้นที่ ($\mu Ci/m^2$)

Ei คือ พลังงานทั้งหมดของรังสีแกมมาต่อ disintegration.

μ_a คือ สัมประสิทธิ์การขวางกั้นของอากาศ (m^{-1})

ดังนั้นอัตราโดสจากพื้นที่ทั้งหมด สามารถหาจากสมการที่ 4.12 ได้ดังนี้

$$D = 0.52(2\pi C E_i)\int_{\mu_a x}^{\infty} \frac{\exp(-\mu_a r)}{\mu_a r} d\mu_a r \qquad (4.13)$$

อัตราโดสจากพื้นที่ทั้งหมดของ ^{95}Zr สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 4.11 และ 4.13 ดังนี้

เมื่อ $C = 1$ $\mu Ci/m^2$

$E_i = 0.733$ MeV/disintegration.

$\mu_a = 9.65 \times 10^{-3}$ m^{-1}

$x = 1.00$ m.

ดังนั้น $D = 9.75$ $\mu R/h$.

นั่นคือเมื่อมี ^{90}Zr อยู่บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$ วางเครื่องวัดสูงจากพื้นดิน 1 เมตร สามารถวัดอัตราโดสจากพื้นที่ทั้งหมดได้เท่ากับ 9.75 $\mu R/h$ สำหรับธาตุอื่น ๆ ที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดอัตราโดสนี้ สามารถคำนวณหาอัตราโดสได้ในทำนองเดียวกันดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยที่ E คือ ระดับพลังงานที่ยอดของสเปกตรัม[6]

ธาตุ	E (MeV.)	Ei (MeV/disintegration)	μ_a (m^{-1})	D ($\mu R/h.$)
^{144}Ce	0.133	0.019	1.82×10^{-2}	0.217
^{141}Ce	0.145	0.077	1.76×10^{-2}	0.875
^{103}Ru	0.497	0.485	1.13×10^{-2}	6.10
^{95}Zr	0.756	0.733	9.65×10^{-3}	9.75
^{95}Nb	0.765	0.764	9.45×10^{-3}	10.2
^{140}Ba-^{140}La	1.59	2.497	6.55×10^{-3}	36.4

ตารางที่ 4.5 แสดงอัตราโดสของธาตุต่างๆ ที่คำนวณได้เมื่อคิดว่ามีธาตุนั้นบนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$[9]

จากตารางที่ (4.2) และ (4.5) คำนวณหาอัตราโดสทั้งหมดของแต่ละธาตุที่เวลาใดๆ ของทุกๆเดือนเป็นเวลาหนึ่งปี เมื่อสมมติว่ามี ^{90}Sr ตกอยู่บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$ ได้ดังนี้ เช่น ภายหลังจากที่เกิดสงครามนิวเคลียร์เป็นเวลา 5 เดือน คำนวณอัตราโดสของ ^{95}Zr

อัตราโดสของ ^{95}Zr = 9.75 x 46.0

= 448.0 $\mu R/h.$

สำหรับธาตุอื่นๆ ก็สามารถคำนวณหาได้ในทำนองเดียวกัน และจะมีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

t (เดือน)	อัตราโดสของธาตุเมื่อมี ^{90}Sr บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$						อัตราโดสรวม ($\mu R/h$)
	^{144}Ce	^{141}Ce	^{103}Ru	^{95}Zr	^{95}Nb	^{140}Ba-^{140}La	
0	8.72	342	2360	2220	-	43300	48200
1	8.13	181	1390	1610	878	8450	12500
2	7.55	96.3	817	1170	1120	1660	4870
3	7.04	51.0	481	850	1080	324	2790
4	6.54	27.0	284	618	934	62.4	1930
5	6.10	14.3	167	448	761	-	1400
6	5.67	7.61	98.1	325	596	-	1030
7	5.28	4.04	57.8	237	459	-	763
8	4.91	2.14	34.0	172	347	-	560
9	4.58	1.13	20.0	125	260	-	411
10	4.27	-	11.7	90.5	192	-	298
11	3.97	-	6.95	65.8	142	-	219
12	3.67	-	-	47.8	104	-	150

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าอัตราโดสของรังสีแกมมาของธาตุต่างๆ และผลรวมของอัตราโดสทั้งหมดที่เวลาใด ๆ ของทุก ๆ เดือน ภายหลังจากที่เกิดสงครามนิวเคลียร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หากเกิดสงครามนิวเคลียร์ และมีฝุ่นกัมมันตรังสีกระจายมาตกในประเทศไทยสามารถวัดหาอัตราโดสของรังสี ภายหลังจากที่เกิดสงครามนิวเคลียร์เป็นเวลา 5 เดือน ได้เท่ากับ Y $\mu R/h$. จากตารางที่ 4.6 สามารถคำนวณหาปริมาณของ ^{90}Sr ได้ดังนี้

$$^{90}Sr = Y/1400 \qquad \mu Ci/m^2$$

เมื่อเวลาผ่านไปทุกๆ เดือนเป็นเวลาหนึ่งปีภายหลังจากที่เกิดสงคราม สามารถคำนวณหาปริมาณ ^{90}Sr ได้ในทำนองเดียวกัน

4.4 โดสของรังสีที่ร่างกายได้รับ

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการทดลองระเบิดนิวเคลียร์ และได้มีผู้คิดหาโดสที่คนจะได้รับสูงที่สุด ถ้ามีปริมาณ ^{90}Sr ตกอยู่บนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$ ดังตารางที่ 4.7 [9]

ธาตุ	โดสที่ร่างกายได้รับ (rem)	
	จากภายนอกร่างกาย	จากภายในร่างกาย
^{90}Sr	-	4.6
^{137}Cs	1.5	0.4
ธาตุอายุสั้น	2.0	-

ตารางที่ 4.7 แสดงโดสที่ร่างกายได้รับเมื่อมี ^{90}Sr ตกบนพื้นดิน 1 $\mu Ci/m^2$ [10]

โดยปกติคนที่ทำงานเกี่ยวกับรังสียอมให้ได้รับรังสีปีละไม่เกิน 5 rem. ถ้าคิดว่าทำงาน 40 ปี ก็ได้รับรังสีเท่ากับ 200 rem. สำหรับคนธรรมดาได้รับรังสีตามธรรมชาติ 0.1 rem/yr ตลอดชีวิต 70 ปี จะได้รับรังสี 7 rem.จะเห็นได้ว่าหากเกิดสงครามและวัดปริมาณ ^{90}Sr ได้ 1 $\mu Ci/m^2$ โดสที่คนเราได้รับจากรังสีทั้งหมด 8.5 rem. ถือว่าน้อยมากหากจะเทียบกับคนที่ทำงานเกี่ยวกับรังสีตามเวลาปกติ จึงคิดว่าถ้าหากเกิดสงครามนิวเคลียร์ และในบริเวณนั้นมีฝุ่นกัมมันตรังสีลอยมาตกบนพื้น วัดปริมาณ ^{90}Sr ได้เท่ากับ 1 $\mu Ci/m^2$ ที่บริเวณนี้ยังอาศัยอยู่ได้ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์[11]