



1. Cotton, E. A., and Wilkinson, G. Advance Inorganic Chemistry.  
2nd ed. pp. 1102. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1966.
2. Seaborg, G. T., and Katz, J.J. The Actinide Elements.  
pp. 190-358. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1954.
3. UNSCEAR, "Plutonium" in Source and Effects of Ionizing Radiation.  
pp. 147-149. United Nations, New York, 1977.
4. Prosser, D. L. "SNAP-27 on the Moon" in Isotope Radiation  
Technology 7. pp. 443. 1970.
5. Great Britain, Medical Research Council. The Toxicity of Plutonium.  
Her Majesty's Stationary Office, London, 1975.
6. ICRP 2, Report of Committee II on Permissible Dose for Internal  
Radiation. pp. 22, ICRP Publication, Pergamon Press,  
New York, 1959.
7. Eisenbud, M. "Environment, Technology, and Health, Human Ecology".  
in Historical Perspective. New York University Press, 1978.
8. Pallai, K. C. "Plutonium in the Aquatic Environment: Its Behavior,  
Distribution and Significance". In Transuranium Nuclides  
in the Environmental. pp. 28-30. IAEA, Vienna, 1976.
9. Bennett, B. G. "Transuranic Pathways to Man". in Transuranium  
Nuclides in the Environmental. pp. 367-381. IAEA, Vienna,  
1976.

10. Edgington, D. N. "Characterization of Transuranic Element at Environmental Levels." in Techniques for Identifying Transuranic Separation in Aquatic Environment. ISPRA, pp. 20. 24-28 March 1980, IAEA, Vienna, 1981.
11. Fukai, R., Ballestra, S., and Thein, M. "Vertical Distribution Transuranic Nuclides in The Eastern Mediteranian Sea". in Techniques for Identifying Transuranic Separation in Aquatic Environments. PP. 81. ISPRA, 24-28 March 1980, IAEA, VIenna, 1981.
12. Miyaki, Y., and Sugimura, Y. "The plutonium content of Pacific Ocean Waters." in Transuranium Nuclides in the Environmental. pp. 91-95. IAEA, VIenna, 1976.
13. Pentreath, R. J. "The Use of Isotopic ration in determining the relative biological availabilities of transuranium elements." in Techniques for Identifying Transuranium Separation in Aquatic Environments. pp. 143. ISPRA, 24-28 March 1980, IAEA, Vienna, 1981.
14. Jeandel, C., Martin, J. M., and Thomas, A. J. "Plutonium and other artificial radionuclides in the Seine Estuary and adjacent areas." in Techniques for Identifying Transuranium Separation in Aquatic Environment. pp. 92-94. ISPRA, 24-28 March 1980, IAEA, Vienna, 1981.
15. Schuttlekopf, H. "Environmentals Surveillance for plutonium at the Karlsruhe Nuclear Research center from 1970-1973." in Transuranium Nucleides in the Environmental. pp. 472.

16. Hardy, E. P., Jr. and Toonbel, L. E., Environmental Report.,  
EML-405, pp. II-106, II-285-295. New York, N.Y. 10014,  
May 1, 1982.
17. Public Health Services. Radiological Health Handbook. U.S.  
Department of Health, Education, and Welf., Rockville,  
Maryland 20852, 1970.
18. Ledeaeer, C. M., Hollander, J. M., and Pearlman, J. Table of  
Isotopes. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1967.
19. Bair, W. J., and Thompson, R. C. "Plutonium: Biomedical Research."  
Science. 183 (1976):715.
20. Safety Series no. 39. Safe Handling of Plutonium. pp. 3-12.  
IABA, Vienna, 1974.
21. Coleman, G. H. The Radiochemistry of Plutonium. pp. 15-93.  
National Academy Science. National Research Council,  
NAS-NS 3058, California, 1965.
22. Seaborg, S. T., Katz, J. J., and Maning, W. M. The Transuranium  
Element: Research Paper part II. pp. 936. McGraw Hill  
Book Company, Inc., New York, 1946.
23. Milham, R. C., Schubert, J. F., Watts, J. R., Boni, A. L., and  
Crey, J. C. " Measured plutonium resuspension and operations  
on an old field at the Savannah River Plant in the Southeastern  
United States of America." in Transuranium Nuclides  
in the Environmental. pp. 415. IAEA, Vienna, 1976.

24. Cataldo, D. A., Klepper, E. L., and Craig, D. K. "Fate of Plutonium intercepted by leaf surface; Leachability and translocation to seed and root tissue." in Transuranium Nuclides in the Environmental. pp. 291. IAEA, Vienna, 1976.
25. Schulz, R. K., Tompkins, G. A., and Babcock, K. L. "Uptake of plutonium and americium by plants from soil: Uptake by wheat from various soil and effect of oxidation state of plutonium added to soil." in Transuranium Nuclides in the Environmental. pp. 303. IAEA, Vienna, 1976.
26. Samson, B. F. "The transfer of  $^{239}\text{Pu}$  from the diet of a cow to its milk." Be. Vet. J. 129(1964):158.
27. ICRP 19. The Metabolism of Compounds of Plutonium and other Actinides. Publ. 19, Pergamon Press, New York, 1972.
28. Mussalo-Rauhamea, H. "Accumulation of plutonium from fallout in southern Finns and Lapp." in Report Series in Radiochemistry 4/1981, Department of Radiochemistry, U. of Malsinki, Finland, Dec. 22, 1981.
29. \_\_\_\_\_. Silicon Charged Particle Radiation Detectors Instruction Manual. pp. 1-2. EG&G ORTEC, Oka Ridge.
30. Hahn, P. B., Mathews, N. F., and Bretthauer, E. W. "Tentative method of for the analysis of plutonium 239 and plutonium-238 in soil." in Acid Dissolution Technique. EPA-600/7-79-081, Las Vegas, NV 89114, March 1979.



31. Harley, J. H. "Soil sampling". in EML Procedures Manual, Report HASL-300. 1982 ed. pp. B-05-01-B-05-06. Heath and Safety Laboratory, New York, 1982.
32. Sill, C. W., and Hindman, F. D. "Preparation and testing of standard soils containing known quantities of radiounuclides". Anal. Chem. 41 (1974):113-114.
33. Sill, C. W. "Determination of thorium and uranium isotopes in ore and mill tailing by Alpha spectrometry." Anal Chem. 49(1977) 49(1977):618-619.
34. Sill, C. W. "Sequential separation of the actinides and their determination by Alpha spectrometry on cerous hydroxide." n.p. 1978.
35. Sill, c. W. "Critique of current practice in the determination of actinides." n.p. 1979.
36. Sills, C. W. "Rapid determination of gross alpha, plutonium, neptunium, and/ or uranium by grass alpha on barium sulphate." n.p.
37. Sill, C. W. "Sparation of actinides from barium sulphat for alpha spectrometry or gross alpha counting." n.p.
38. Harley, J. H. "Counting Statistics". in EML Procedure Manual, Report HASL-300, 1982 ed. pp. A-06-03. Health and Safety Laboratory, New York, 1982.
39. Harley, J. H. "Reporting data," in EML Procedure Manual, Report HASL-300 , 1982 ed. pp. D-08-04-D-08-06. Health and Safety Laboraty, New York, 1982.

ภาคผนวก ก.

การหาประสิทธิภาพของหัววัดชนิด เซอร์ไพร์แบรีเออร์

โดยทั่วไปการหาประสิทธิภาพของหัววัดจะให้ได้เท่ากับชนิดรังสีซึ่งทราบค่าที่แม่นยำ ความรังสีที่แน่นอน ดังนั้นชนิดรังสีชนิดนี้มักเป็นแผ่นโลหะของเรเดียมโรสซัมหรือทองคำขาวที่มีผิวหน้าเรียบเป็นมัน แต่ในการวัดเพราะห้มได้วัดเพราะห้มกับความแรงรังสีฟลูโทเนียมบนแผ่นโลหะ หากทำการวัดความแรงรังสีฟลูโทเนียมที่อยู่บนแผ่นกระดาษกรองชนิดเมมเบรน ซึ่งผิวของตะกอนบนกระดาษกรองอาจไม่ราบเรียบ ดังนั้นการใช้ต้นกำเนิดรังสีดังกล่าวมาหาประสิทธิภาพของหัววัดที่เข้าในการทดลองจึงอาจทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ผิดพลาดไป จึงจำเป็นต้องหาประสิทธิภาพของหัววัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีสภาพเดียวกับหัววัดอย่างที่ว่า เพราะห้ม

การหาประสิทธิภาพของหัววัดในการทดลองให้ทำโดยการตกตะกอนฟลูโทเนียม

-242 ลงบนกระดาษกรองชนิดเมมเบรน โดยใส่ตัวตกตะกอนฟลูโทเนียม -242 ประมาณ 10 dpm ลงในน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายยาล้าง  $\text{HNO}_3$  0.05 โมลาร์ 6 มิลลิลิตร อุณหภูมิร้อน เติมน้ำกลั่นเตรียม (III) 0.1 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ 5 หยด ต้มให้เดือด 3 นาที เติมน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์อีก 2 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด 10 นาที ทำให้น้ำในถ้วยน้ำเย็น ชงทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ตะกอนของซีรัลไฮดรอกไซด์ตกตะกอนโดยสมบูรณ์จะได้ตะกอนละเอียด นำไปกรองผ่านกระดาษกรองชนิดเมมเบรนที่ฟลูออเรสเซนต์-100 ที่จุดรูของแผ่นเมมเบรนด้วย substrate suspension แล้ว โดยใช้กรวยกรองที่ทำด้วยพลาสติกชนิดโพลิสไตรีน ทำให้ตะกอนแห้งภายใต้แสงอินฟราเรด ภายความแรงฟลูโทเนียม -242 โดยใช้เครื่องนับรังสีโดยการเรียงผลที่ทราบค่าประสิทธิภาพแล้ว ศึกษาค้นหาความแรงรังสีฟลูโทเนียม -242 บนกระดาษกรอง ใช้กระดาษกรองที่มีตะกอนฟลูโทเนียม -242 อยู่นี้เป็นต้นกำเนิดรังสี หาประสิทธิภาพของหัววัดที่เซอร์ไพร์แบรีเออร์จากผลการข้างล่าง

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{อัตราการขึ้นที่หน้าที}}{\text{อัตราการปล่อยที่หน้าที}}$$

ประสิทธิภาพของตัวขับเคลื่อน เซอร์โพรเพลเลอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้พบว่า มีค่า เท่ากับ 0.1645 หรือ 16.45 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ข.

การคำนวณและการหาสถิติเกี่ยวกับผลการวัด

ภาคผนวก ข.1 การคำนวณหาความแรงรังสีฟลูออโรเนียม

การเพิ่มขนาดความแรงรังสีฟลูออโรเนียม -239, 240 ที่นำมาจากสูตร

$$DFM^{239,240}_{Pu} = \frac{DFM^{242}_{Pu} (added)}{NCPM^{242}_{Pu}} \cdot NCPM^{239,240}_{Pu}$$

เมื่อ  $DFM^{239,240}_{Pu}$  = ความแรงรังสีของฟลูออโรเนียม -239, 240 ในตัวอย่าง เป็นซีพีเอ็ม

$DFM^{242}_{Pu}$  = ความแรงรังสีของกัมมันตรังสีฟลูออโรเนียม -242 ที่ใส่ลงไป เป็นซีพีเอ็ม

$NCPM^{239,240}_{Pu}$  = อัตราการนับความแรงรังสีฟลูออโรเนียม -239, 240 ในตัวอย่าง เป็นจำนวนนับต่อวินาที

$NCPM^{242}_{Pu}$  = อัตราการนับความแรงรังสีฟลูออโรเนียม -242 ที่ใส่ลงไป เป็นจำนวนนับต่อวินาที

ภาคผนวก ข.2 การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วน,  $S_C$  สามารถได้จากสูตรข้างล่างต่อไปนี้

$$S_C \text{ ของ } \frac{A}{B} = \frac{A}{B} \sqrt{\left(\frac{S_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{S_B}{B}\right)^2} \quad (33)$$

เมื่อ A = จำนวนนับความแรงรังสีฟลูออโรเนียม -239, 240 ในช่วงเวลาการวัด, CTS 239, 240

B = ค่ารวมกับความแรงรังสีฟลูโทเนียม -239, 240 ในช่องเวลาการวัด.  
 CTS 242

S<sub>A</sub> = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับ A มีค่าเท่ากับ  $\sqrt{A}$

S<sub>B</sub> = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับ B มีค่าเท่ากับ  $\sqrt{B}$

$\frac{A}{B} \cdot DPM^{242}_{Pu}$  = ความแรงรังสีของฟลูโทเนียม -239, 240 ในตัวอย่าง,  
 $DPM^{239,240}_{Pu}$

$$S_G \text{ ของ } \frac{A}{B} = \frac{A}{B} \sqrt{\left(\frac{CTS_{239,240}}{CTS_{239,240}}\right)^2 + \left(\frac{CTS_{242}}{CTS_{242}}\right)^2}$$

$$= \frac{A}{B} \sqrt{\frac{1}{CTS_{239,240}} + \frac{1}{CTS_{242}}}$$

$$\therefore DPM^{239,240}_{Pu} \pm S_G = (DPM^{242}_{Pu}) \left( \frac{NCPM^{239,240}_{Pu}}{NCPM^{242}_{Pu}} \right)$$

$$\pm \left( \frac{NCPM^{239,240}_{Pu}}{NCPM^{242}_{Pu}} \right) \sqrt{\frac{1}{CTS_{239,240}} + \frac{1}{CTS_{242}}}$$

$$= DPM^{239,240}_{Pu} \pm DPM^{239,240}_{Pu} \sqrt{\frac{1}{CTS_{239,240}} + \frac{1}{CTS_{242}}}$$

เนื่องจากในสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หืออาจมีฟลูโทเนียม -239, 240 ปนอยู่  
 ให้ S<sub>B</sub> เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยฟลูโทเนียม -239, 240 ที่อยู่ในสารเคมีที่  
 ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟลูโทเนียม -239, 240 ในดิน, น้ำ  
 หรืออากาศ, S<sub>0</sub> มีค่าเป็น

$$S_0 = \sqrt{S_G^2 + S_B^2}$$



ภาคผนวก ๓.๓ การหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (Lower Limit of Detection, LLD)

$$\text{สำหรับ ค่าเฉลี่ย ค่าพหุคูณค่า LLD} = \frac{K_{\alpha} + K_{\beta}}{C} \sqrt{S_G^2 + S_B^2} \quad (39)$$

เมื่อ  $S_G$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการนับของแหล่งรังสีในตัวอย่าง

$S_B$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการนับแบบสุ่ม

$C$  = calibration factor =  $\frac{\text{cpm}}{\text{dpm}}$  ได้ใช้ค่าเท่ากับ 0.1645

ให้  $K_{\alpha} = K_{\beta} = 1.96$  เป็นค่าเปอร์เซ็นต์สูงสุดของมาตรฐานปกติของการเลือกกำหนดว่ามีความรังสีสูงกว่าแบบสุ่ม ( $\alpha = 0.05$   $\beta = 0.95$ )

ที่ความแรงรังสีต่ำ ๆ  $S_G \approx S_B$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad \text{LLD} &= \frac{2K_{\alpha}}{C} \sqrt{2S_B^2} \\ &= \sqrt{2} \frac{2K_{\alpha}}{C} \sqrt{S_B^2} \end{aligned}$$

ถ้า LLD ของเครื่องเป็น 239, 240 นับ/นาที 1,440 นาที จัดแบบสุ่ม  
ได้ 2 จำนวนนับ

$$\begin{aligned} \therefore \text{LLD} &= \frac{2 \cdot \sqrt{2} (1.96)}{0.1645} \cdot \frac{\sqrt{2}}{1440} \quad \text{cpm} \\ &= 0.027 \quad \text{dpm} \end{aligned}$$

$\therefore$  ค่า LLD สำหรับการวัด 1,440 นาที = 0.012 pCi

ภาคผนวก ค.

ความหมายของหน่วยที่ใช้

ค่ามาตรฐานที่ใช้ในหน้าตัวอย่างสำหรับกรัม (gram, g) ลิตร (liter, l)

และคูรี (curie, Ci) ได้แก่

m - มิลลิ	$10^{-3}$	k - กิโล	$10^3$
$\mu$ - ไมโคร	$10^{-6}$	M - เมกกะ	$10^6$
n - นาโน	$10^{-9}$	G - กิกกะ	$10^9$
p - พิโค	$10^{-12}$	T - เทอรัรา	$10^{12}$
f - เฟมโต	$10^{-15}$	P - ปีตา	$10^{15}$
a - ออตโต	$10^{-18}$	E - เอกซ์ชา	$10^{18}$

ประวัติผู้เขียน

นายชาติ ศุภธรรมย์ เกิดเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2500 กรุงเทพมหานคร  
สำเร็จปริญญาตรีจากคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีการศึกษา 2521  
ปัจจุบันรับราชการเป็นตำแหน่งนักศึกษาระดับ 4 กองข้อมูลภาพ ฝ่ายโรงงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ  
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและ เทคโนโลยีและการพลังงาน

