

## เอกสารอ้างอิง

1. ลุทธิรัตน์ สุวรรณจรัส, "การศึกษาวัดระดับของเหลวในภาชนะปิดโดยนิวเคลียร์เทคนิค," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตภาคศึกษานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521
2. ชัชชัย สุมิตร และ คณะ, "เครื่องวัดและควบคุมระดับของเหลว," งานวิจัยหมายเลข NTIA-003, รายงานโครงการหน่วยปฏิบัติการวิจัยการประยุกต์เทคนิคนิวเคลียร์เพื่องานอุตสาหกรรมและทรัพยากรของชาติ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2530
3. Gardner, R.P., and Ely, R.L., Radioisotope Measurement Applications in Engineering, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1967
4. Knoll, G.F., Radiation Detection and Measurement, John Willey & Sons Inc., New York, 1979
5. Larmarsh, J.R., Introduction to Nuclear Engineering, Addison-Wesley, New York, 1975
6. Tsoulfandis, Nicholas, Measurement and Detection of Radiation, Hemisphere, Washington, 1983
7. Price, J., William, Radiation Detection, McGraw-Hill, New York, 1964
8. Kaplan, Irving, Nuclear Physic, Addison-Wesley, 2nd London , 1983

ภาคผนวก

ตาราง A1 ตารางแสดงค่าบิลด์อัปแฟกเตอร์ของรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

Coefficients of the Berger Equation for Dose Buildup Factors

$$B = 1 + a\mu r \exp(b\mu r)^\dagger$$

E (MeV)	Concrete <sup>‡</sup>		Air <sup>§</sup>		Water <sup>§</sup>	
	a	b	a	b	a	b
0.015	0.01	0.029	0.08	-0.034	0.09	-0.036
0.02	0.03	0.041	0.23	-0.032	0.26	-0.032
0.03	0.10	-0.036	0.93	-0.009	1.01	-0.006
0.04	0.26	0.035	2.40	0.018	2.58	0.024
0.05	0.52	-0.026	4.05	0.050	4.36	0.057
0.06	0.78	-0.008	5.27	0.075	5.59	0.082
0.08	1.42	0.007	6.11	0.102	6.47	0.108
0.1	1.83	0.028	5.93	0.113	6.11	0.120
0.15	2.19	0.054	4.70	0.121	4.88	0.125
0.2	2.20	0.065	3.94	0.113	4.13	0.118
0.3	2.03	0.067	3.10	0.094	3.18	0.096
0.4	1.87	0.061	2.61	0.079	2.67	0.080
0.5	1.73	0.055	2.29	0.067	2.32	0.068
0.6	1.60	0.049	2.05	0.058	2.07	0.059
0.8	1.41	0.040	1.71	0.045	1.74	0.045
1	1.27	0.032	1.50	0.035	1.50	0.036
1.5	1.02	0.021	1.16	0.021	1.16	0.021
2	0.89	0.014	0.97	0.013	0.97	0.013
3	0.71	0.007	0.75	0.005	0.74	0.005
4	0.59	0.004	0.61	0.001	0.62	0.000
5	0.49	0.004	0.53	-0.002	0.52	-0.002
6	0.45	0.002	0.47	-0.004	0.47	-0.005
8	0.36	0.001	0.37	-0.004	0.38	-0.006
10	0.30	0.003	0.31	-0.004	0.31	-0.005
15	0.21	0.004	0.23	-0.006	0.23	-0.008

<sup>†</sup>Good up to 40 mean free paths, for point isotropic source in infinite medium.

<sup>‡</sup>From A. B. Chilton, *Nuc. Sci. Eng.* 69:436 (1979).

<sup>§</sup>From A. B. Chilton, C. M. Eisenhauer, and G. L. Simmons, *Nuc. Sci. Eng.* 73:97 (1980).



Total Mass Attenuation Coefficients  $\mu/\rho$ , cm<sup>2</sup>/g  
(Ref. 4)

Mat'l	Energy, Mev																	
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2	3	4	5	6	8	10.0
H	0.295	0.265	0.243	0.212	0.189	0.175	0.160	0.140	0.126	0.113	0.103	0.0876	0.0691	0.0579	0.0502	0.0446	0.0371	0.0321
Be	0.132	0.119	0.109	0.0945	0.0847	0.0773	0.0715	0.0628	0.0565	0.0504	0.0459	0.0394	0.0313	0.0266	0.0234	0.0211	0.0180	0.0161
C	0.149	0.134	0.122	0.106	0.0953	0.0870	0.0805	0.0707	0.0636	0.0568	0.0518	0.0444	0.0356	0.0304	0.0270	0.0245	0.0213	0.0194
N	0.150	0.134	0.123	0.106	0.0955	0.0869	0.0805	0.0707	0.0636	0.0568	0.0517	0.0445	0.0357	0.0306	0.0273	0.0249	0.0218	0.0200
O	0.151	0.134	0.123	0.107	0.0953	0.0870	0.0806	0.0708	0.0636	0.0568	0.0518	0.0445	0.0359	0.0309	0.0276	0.0254	0.0224	0.0206
Na	0.151	0.130	0.118	0.102	0.0912	0.0833	0.0770	0.0676	0.0608	0.0546	0.0496	0.0427	0.0348	0.0303	0.0274	0.0254	0.0229	0.0215
Mg	0.160	0.135	0.122	0.106	0.0944	0.0860	0.0795	0.0699	0.0627	0.0560	0.0512	0.0442	0.0360	0.0315	0.0286	0.0266	0.0242	0.0228
Al	0.161	0.134	0.120	0.103	0.0922	0.0840	0.0777	0.0683	0.0614	0.0548	0.0500	0.0432	0.0353	0.0310	0.0282	0.0264	0.0241	0.0229
Si	0.172	0.139	0.125	0.107	0.0954	0.0869	0.0802	0.0706	0.0635	0.0567	0.0517	0.0447	0.0367	0.0323	0.0296	0.0274	0.0254	0.0243
P	0.174	0.137	0.122	0.104	0.0928	0.0846	0.0780	0.0685	0.0617	0.0551	0.0502	0.0436	0.0358	0.0316	0.0290	0.0273	0.0252	0.0242
S	0.188	0.144	0.127	0.108	0.0958	0.0874	0.0806	0.0707	0.0635	0.0568	0.0519	0.0448	0.0371	0.0328	0.0302	0.0284	0.0266	0.0255
A	0.188	0.135	0.117	0.0977	0.0867	0.0790	0.0730	0.0638	0.0573	0.0512	0.0468	0.0407	0.0338	0.0301	0.0279	0.0266	0.0248	0.0241
K	0.215	0.149	0.127	0.106	0.0938	0.0852	0.0786	0.0689	0.0618	0.0552	0.0505	0.0438	0.0365	0.0327	0.0305	0.0289	0.0274	0.0267
Ca	0.238	0.158	0.132	0.109	0.0965	0.0876	0.0809	0.0708	0.0634	0.0566	0.0518	0.0451	0.0376	0.0338	0.0316	0.0302	0.0285	0.0280
Fe	0.344	0.183	0.136	0.106	0.0919	0.0828	0.0762	0.0664	0.0595	0.0531	0.0485	0.0424	0.0361	0.0330	0.0313	0.0304	0.0295	0.0294
Cu	0.427	0.206	0.147	0.108	0.0916	0.0820	0.0751	0.0654	0.0585	0.0521	0.0476	0.0418	0.0357	0.0330	0.0316	0.0309	0.0303	0.0305
Mo	1.03	0.389	0.225	0.130	0.0998	0.0851	0.0761	0.0648	0.0575	0.0510	0.0467	0.0414	0.0365	0.0349	0.0344	0.0344	0.0349	0.0359
Sr	1.58	0.563	0.303	0.153	0.109	0.0886	0.0776	0.0647	0.0568	0.0501	0.0459	0.0408	0.0367	0.0355	0.0355	0.0358	0.0368	0.0383
I	1.83	0.648	0.339	0.165	0.114	0.0913	0.0792	0.0653	0.0571	0.0502	0.0460	0.0409	0.0370	0.0360	0.0361	0.0365	0.0377	0.0394
W	4.21	1.44	0.700	0.293	0.174	0.125	0.101	0.0783	0.0640	0.0544	0.0492	0.0437	0.0405	0.0402	0.0409	0.0418	0.0438	0.0465
Pt	4.75	1.64	0.795	0.324	0.191	0.135	0.107	0.0800	0.0659	0.0554	0.0501	0.0445	0.0414	0.0411	0.0418	0.0427	0.0448	0.0477
Tl	5.16	1.80	0.866	0.346	0.204	0.143	0.112	0.0824	0.0675	0.0563	0.0508	0.0452	0.0420	0.0416	0.0423	0.0433	0.0454	0.0484
Pb	5.29	1.84	0.896	0.356	0.208	0.145	0.114	0.0836	0.0684	0.0569	0.0512	0.0457	0.0421	0.0420	0.0426	0.0436	0.0459	0.0489
U	1.06	2.42	1.17	0.452	0.259	0.176	0.136	0.0952	0.0757	0.0615	0.0548	0.0484	0.0445	0.0440	0.0446	0.0455	0.0479	0.0511
Air	0.151	0.134	0.123	0.106	0.0953	0.0868	0.0804	0.0706	0.0635	0.0567	0.0517	0.0445	0.0357	0.0307	0.0274	0.0250	0.0220	0.0202
NaI	1.57	0.565	0.305	0.155	0.111	0.0901	0.0789	0.0657	0.0577	0.0508	0.0465	0.0412	0.0367	0.0351	0.0347	0.0347	0.0354	0.0366
H <sub>2</sub> O	0.167	0.149	0.136	0.118	0.106	0.0966	0.0896	0.0786	0.0706	0.0630	0.0575	0.0493	0.0396	0.0359	0.0301	0.0275	0.0240	0.0219
Concrete*	0.169	0.139	0.124	0.107	0.0954	0.0870	0.0804	0.0706	0.0635	0.0567	0.0517	0.0445	0.0363	0.0317	0.0287	0.0268	0.0243	0.0229
Tissue†	0.163	0.144	0.132	0.115	0.100	0.0936	0.0867	0.0761	0.0683	0.0600	0.0556	0.0478	0.0384	0.0329	0.0292	0.0267	0.0233	0.0212

\* Ordinary concrete: 0.56 per cent H, 49.5 per cent O, 31.35 per cent Si, 4.56 per cent Al, 8.26 per cent Ca, 1.22 per cent Fe, 0.24 per cent Mg, 1.71 per cent Na, 1.92 per cent K, 0.12 per cent S by weight.  
† Tissue is material of the average composition of man.

ตาราง A2 ค่าสัมประสิทธิ์ในการลดพลังงานรังสีแกมมาของสารต่าง ๆ

## Caesium-137

### Gamma sources

Sources contain the radionuclide as a pellet of caesium ceramic.

Encapsulation is in welded stainless steel. Sources up to 300mCi, 11.1GBq are supplied with single or double encapsulation. Higher activity sources are double encapsulated.

Nominal equivalent activity* mCi	Nominal air kerma rate at 1 metre $\mu\text{Gy/hr}$	Single encapsulation Code (X.7)	Double encapsulation Code (X.8)
1	2.88	CDC.701	CDC.801
3	8.64	CDC.703	CDC.803
5	14.4	CDC.704	CDC.804
10	28.8	CDC.705	CDC.805
20	57.6	CDC.706	CDC.806
30	86.4	CDC.707	CDC.807
50	144	CDC.708	CDC.808
100	288	CDC.709	CDC.809
200	576	CDC.710	CDC.810
300	864	CDC.711	CDC.811

\*Tolerance  $-0, +25\%$   
for definition of equivalent activity, see page 55

**Availability:** within 4 weeks

**Recommended working life:** 15 years

Nominal equivalent activity* mCi	Nominal air kerma rate at 1 metre mGy/hr	Double encapsulation Code (X.9)
500	1.44	CDC.90
1000	2.88	CDC.91
2000	5.76	CDC.92
3000	8.64	CDC.93

\*Tolerance  $-0, +25\%$   
for definition of equivalent activity, see page 55

**Availability:** within 4 weeks

**Recommended working life:** 15 years

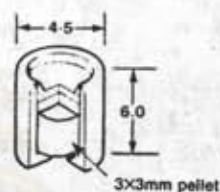
#### Quality Control

Wipe test A  
Bubble test D  
Immersion test M

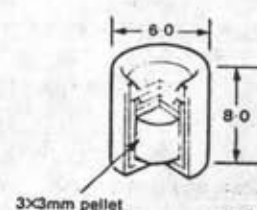
#### Calibrated sources

Caesium-137 sources, 3mCi–3Ci, 0.11GBq–11.1GBq, can be supplied calibrated with measured radiation output code H50. Calibration accuracy:  $\pm 5\%$  overall uncertainty. Further details on request.

X.7



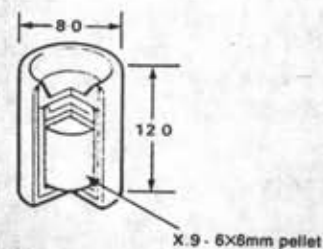
X.8



#### Safety performance testing

Capsule	ISO classification	IAEA special form
X7	C64544	GB/23/S
X8	C64544	GB/24/S

X.9



#### Safety performance testing

ISO classification	IAEA special form
C65545	GB/25/S

ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 50 mCi (1.85 GBq) ของ Amersham

## Technical information

### Specification – SI units

The strength of a radiation source may be specified either by its radiation output or by stating the radioactivity of its contents. For most applications the user is mainly interested in the source's radiation output, and requires information about content only for licensing or commercial reasons.

For many sources the radiation output is not simply related to the activity content because factors such as self absorption, and attenuation by the capsule cause a non-isotropic output distribution. For this reason we always measure the radiation output in a given direction, using the most appropriate method and do not rely on an estimate of the amount of radioactive material in the source.

A real source emits anisotropically, so it is necessary to specify the direction in which a measurement has been made, as well as the distance from the source. The distance is normally taken from the centre of the source and the direction is normally radial for cylindrical sources and axial for disc sources.

The relationship between equivalent activity and exposure rate is different for each radionuclide, depending on the type and quantity of radiation emitted in each nuclear transformation.

The accepted values for the most commonly used high energy gamma-emitting nuclides are given in the table below.

In the SI system, source strengths may be expressed in terms of air kerma rate at 1 metre\* in grays per hour.

This changeover will not however be made until there is a complete change to SI units.

The equivalence between the old units and the new is shown below.

Nuclide	Equivalent activity	Exposure rate at 1 metre	Air kerma rate (K)* in air at 1 metre (approx.)
<sup>137</sup> Cs	1Ci	0.33R/h	2.9mGy/h
<sup>60</sup> Co	1Ci	1.30R/h	11mGy/h

Where the source strengths are expressed in content activity, the curie values are given first with the becquerel values quoted alongside. In cases where the sources strengths are expressed in terms of equivalent activity, the curie values are given first with the air kerma rate at 1 metre (K)\* quoted alongside.

The output of sources is sometimes expressed in terms of photons per second per steradian where this is appropriate for the application.

\*Exposure rate and air kerma rate are fully defined in ICRU Report No. 33.

The following SI units have been recommended by ICRU for radioactivity and absorbed dose.

Physical quantity	SI unit	Traditional unit	Relationship
Radioactivity	becquerel (Bq)	curie (Ci)	1Ci = $3.7 \times 10^{10}$ Bq 1Bq = $2.70 \times 10^{-11}$ Ci
Absorbed dose	gray (Gy)	rad	1rad = 0.01Gy 1Gy = 100rad

1 Bq = 1 nuclear transformation per second

### Calibration

Some of the sources listed in this catalogue can be accurately calibrated.

Certificates of measurement quote the results of calibration in exposure rate at a specified distance.

### Calibration accuracy

The accuracy of measurement of the calibrated sources is expressed as the overall uncertainty in the measurement of the source.

The overall uncertainty is an estimate of the possible divergence of the quoted result from the (unknown) true value, assessed according to the recommendations in ICRU Report 12 (Certification of Standardized Radioactive Sources).

The overall uncertainty is defined as  $\pm(tS_m + \delta)$  where  $S_m$  is the standard error of the mean result of the measurement and  $t$  (the Student 't' statistic) is chosen so that there is at least a 99.7% probability that the true result lies within a range  $\pm tS_m$  about the mean result.

$\pm \delta$  are the limits of the estimated maximum uncertainty attributable to systematic uncertainties in the measurement.

Fuller information about the specification of accuracy will be supplied on request.

### Conversion factors:

1kCi =  $3.7 \times 10^{13}$ Bq = 37 terabecquerels (TBq)  
1Ci =  $3.7 \times 10^{10}$ Bq = 37 gigabecquerels (GBq)  
1mCi =  $3.7 \times 10^7$ Bq = 37 megabecquerels (MBq)  
1 $\mu$ Ci =  $3.7 \times 10^4$ Bq = 37 kilobecquerels (kBq)

การคำนวณการออกแบบอุปกรณ์กำบังรังสี และ บังคับลำรังสี (5)

จากสมการ

$$\frac{\dot{x}}{.0659 E (\mu_n/p)_{air}} = \frac{S B_p (\mu R) e^{-\mu R}}{4 \pi R^2} \dots A.1$$

กำหนด ความแรงรังสีที่ระยะห่าง 1 เมตร เท่ากับ 2.5 มิลลิเรินเกิน ต่อ ชั่วโมง ที่ตำแหน่งผิว shield หนา R ซม. ความแรงรังสีจะสูงกว่าตามกฎกำลังสองผกผัน ดังนี้

$$\dot{x} = \frac{2.5 \times 10^{-3} \times 100^2}{R^2}$$

โดยที่  $E = 0.662 \text{ MeV}$  ,  $S = 50 \times 10^{-3} \times 3.7 \times 10^{10} \text{ dps}$

$(\mu_n/p)_{air} = 0.029383 \text{ cm}^{-1}$  แทนค่าใน A.1

$$\frac{2.5 \times 10^{-3} \times 100^2}{0.0659 \times 0.662 \times 0.029383 R^2} = \frac{50 \times 10^{-3} \times 3.7 \times 10^{10} B_p (e^{-\mu R})}{4 \pi R^2}$$

$$19502.957228 = 147218322.4 B_p (e^{-\mu R})$$

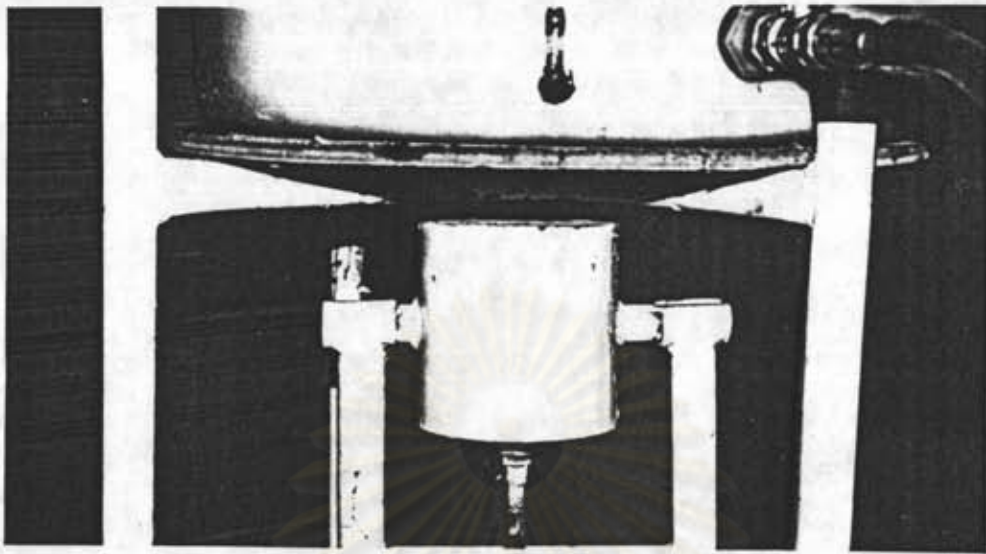
$$1 = 7548.512786 B_p (e^{-\mu R}) \dots A.2$$

ที่  $\mu R = 9.936$  ,  $B_p = 2.237$  ค่าทางขวามือ ของ A2 เป็น 1.00002  $\mu$  ของ ตะกั่วที่พลังงาน 0.662 MeV = 1.186 ซม.<sup>-1</sup>

ความหนาของตะกั่ว คือ

$$\begin{aligned} R &= \mu R / \mu \\ &= 9.936 / 1.186 \\ &= 8.3 \text{ ซม.} \end{aligned}$$

ขนาดช่องบังคับเปลี่ยนได้ 3 ขนาด คือ 0.3, 0.6 และ 2.5 ซม. ดังภาพ A1



รูป A1 อุปกรณ์กำบังรังสี และ บังคับลำรังสี

#### การออกแบบอุปกรณ์หุ้มหัววัดรังสี

อุปกรณ์หุ้มหัววัดรังสี เพื่อกันรังสีกระเจิงจากแนวอื่นเข้าสู่หัววัด ความหนาของตะกั่วที่ใช้ กำหนดโดยปริมาณความเข้มของรังสีกระเจิง ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มรังสีปฐมภูมิกับระดับน้ำ โดยที่ตัวแปรทั้งสองนี้แปรเปลี่ยนไปในทางตรงกันข้ามกัน ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์หุ้มหัววัดรังสี จึงพิจารณาที่ระดับน้ำ 40 ซม. (ครึ่งของระดับสูงสุด) โดยจะยอมให้ปริมาณรังสีกระเจิงผ่านเข้าถึงหัววัดได้ไม่เกินค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma_x$ ) ที่คำนวณจากสถิติของพอยน์ซอง (poisson) ที่ระดับน้ำ 40 ซม. วัดด้วย หัววัด NaI(Tl)  $R = 7314$ (cps)

$$R_o = 7314$$

$$\sigma_x = \sqrt{7314} = 86$$

$$R = R_o e^{-\mu x}$$

$$x = \ln (R_o/R) / \mu$$

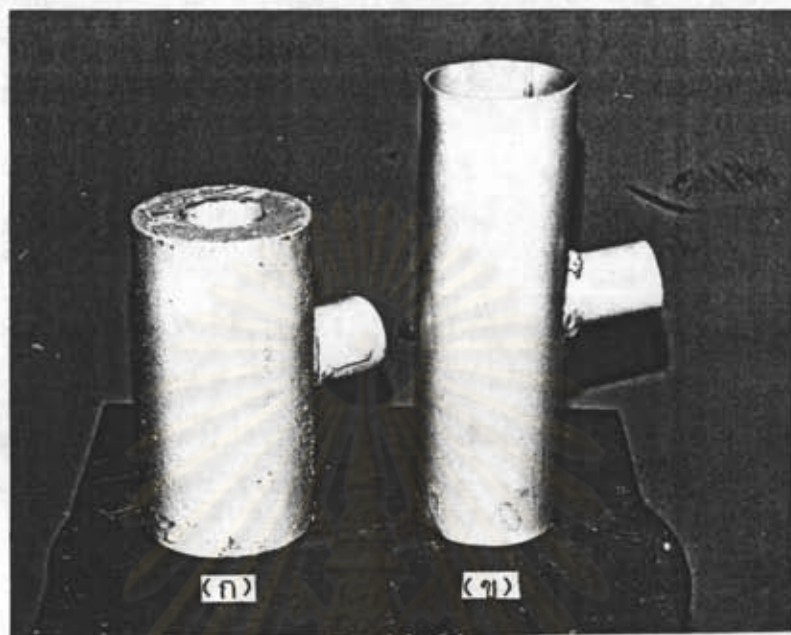
$$[ \mu_{(Pb, 0.662 \text{ MeV})} = 1.186 \text{ 1/cm} ]$$

$$x = \ln (7314/86) / 1.186$$

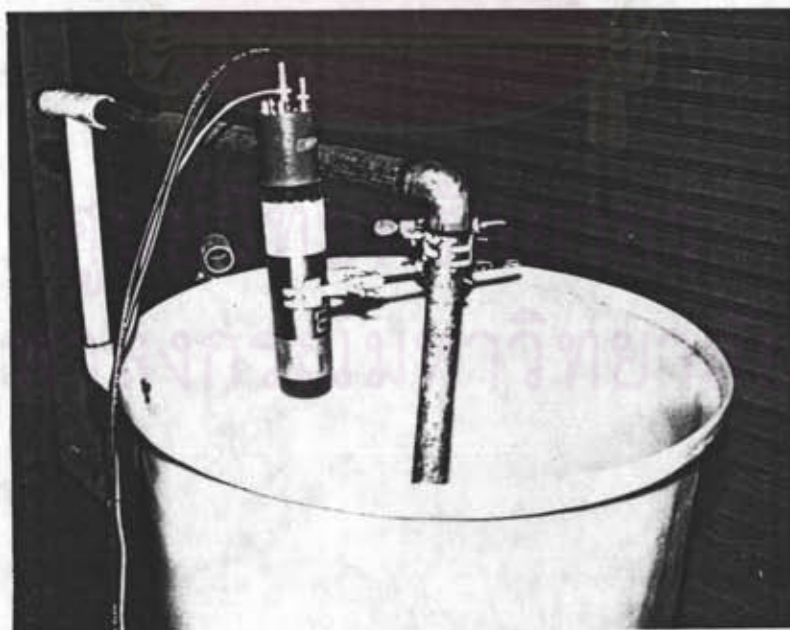
$$= 3.75 \text{ cm}$$

อย่างไรก็ตาม พลังงานรังสีที่กระเจิงจะต่ำกว่า .662 MeV

ในทางปฏิบัติ ได้ใช้ตะกั่วบางกว่าเล็กน้อย เพื่อลดน้ำหนักลง และสะดวกในการติดตั้ง และ ปรับปรุงระบบ

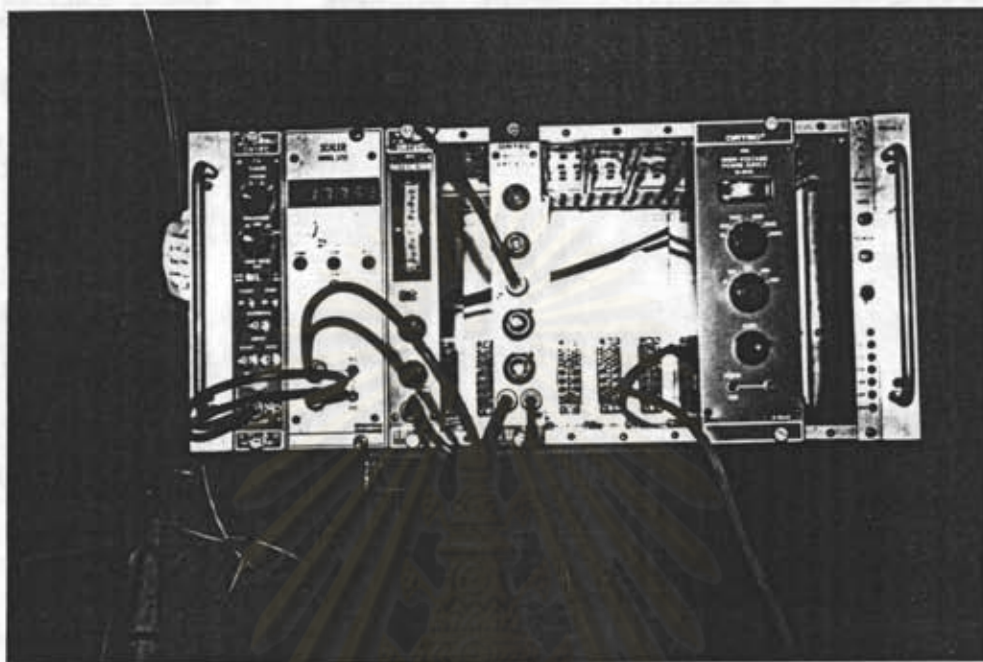


รูป A2      อุปกรณ์หุ้มหัววัดรังสี (ก) สำหรับหัววัดไกเกอร์  
(ข) สำหรับหัววัดเรืองรังสี

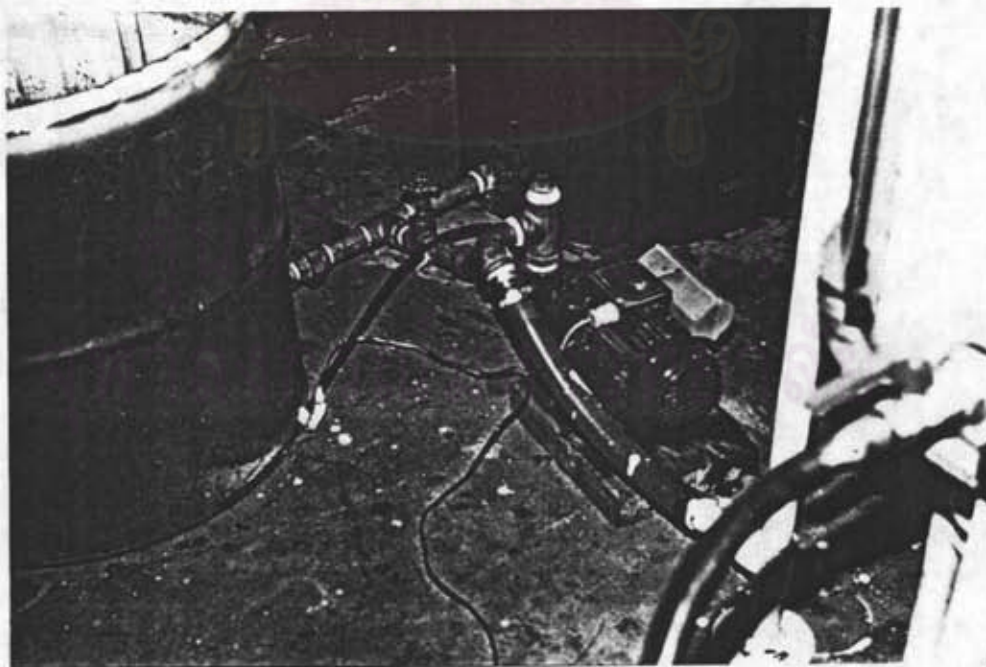


รูป A3      การติดตั้งหัววัดรังสีขณะใช้งานกับระบบจำลองวัดระดับ

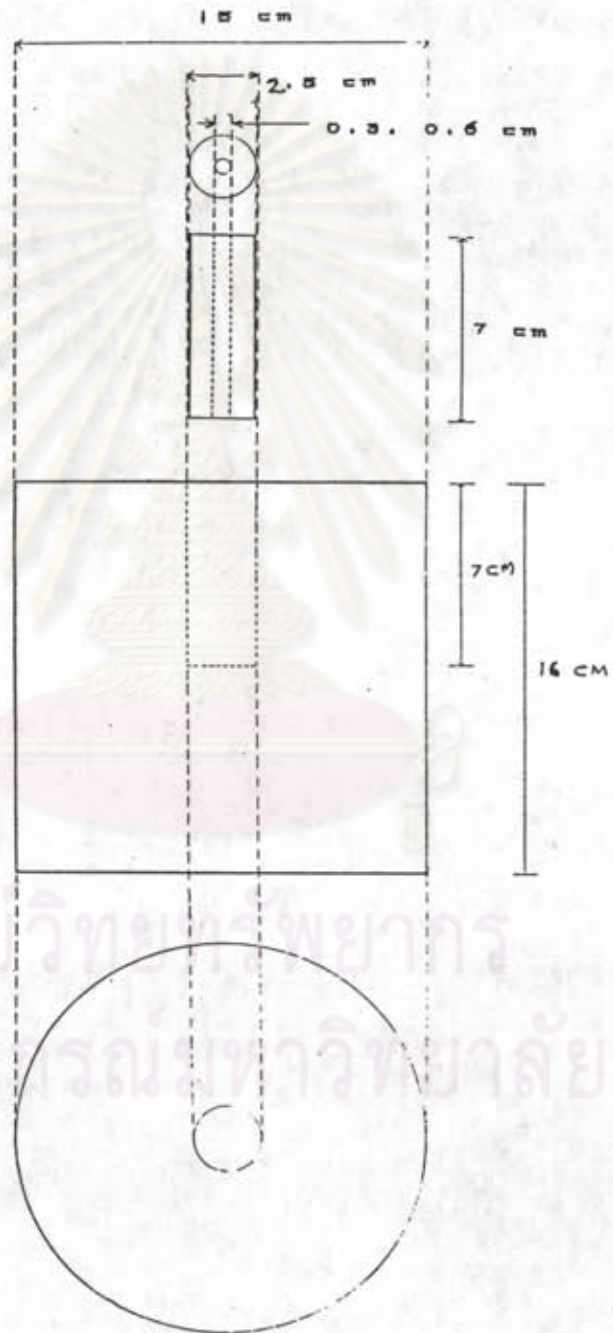




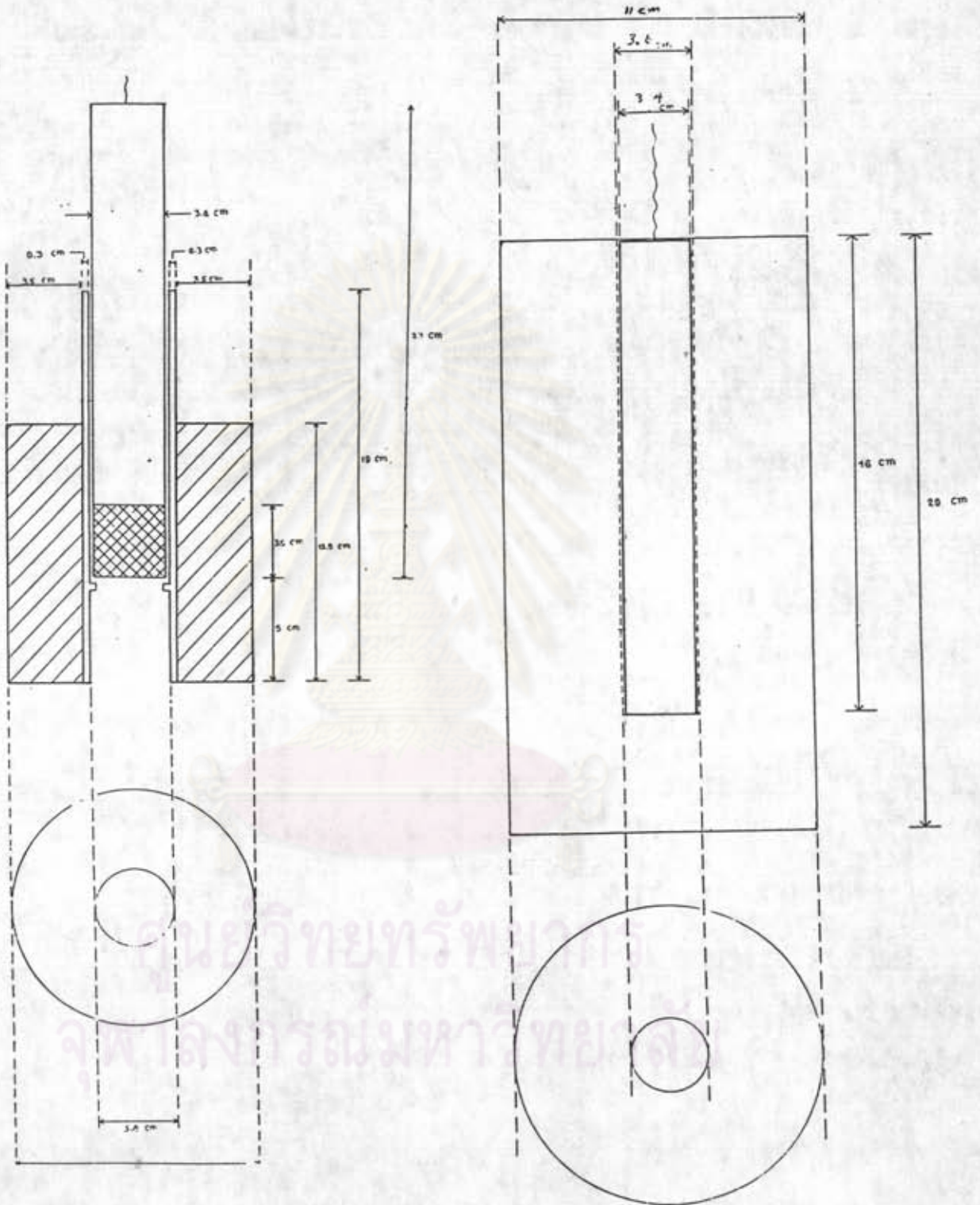
รูป A4 ชุดอุปกรณ์นับและวิเคราะห์ปริมาณรังสี



รูป A5 ระบบไหลเวียนของน้ำ



รูป A6 โครงสร้างของอุปกรณ์ก้ำบังรังสี และ บังคับลำรังสี



(ก)

(ข)

รูป A7 โครงสร้างอุปกรณ์หุ้มหัววัดรังสี (ก) สำหรับหัววัด NaI(Tl) (ข) สำหรับหัววัดไกเกอร์

ตาราง A3 ผลการนับรังสีของหัววัดรังสีทั้ง 2 ชนิด ที่ระดับน้ำไม่เกิน 105 ซม.

ระดับน้ำ	หัววัดไกเกอร์		หัววัด NaI(Tl)	
	cpm	$\pm \sigma$	cps	$\pm \sigma$
5	7227	62	78433	210
10	4822	36	53833	249
15	3208	105	37289	146
20	2126	65	26231	120
25	1466	19	17663	152
30	1004	21	11735	88
35	662	19	8030	36
40	428	11	5279	60
45	298	16	3632	31
50	203	9	2458	46
55	140	8	1735	88
60	98	6	1275	31
65	71	6	929	40
70	52	5	717	36
75	43	2	594	45
80	35	4	471	27
85	30	2	386	25
90	26	3	346	17
95	23	3	313	15
100	21	4	284	12
105	20	2	268	13
$r =$	0.9762		0.9804	
$\mu =$	0.0641		0.0600	

ค่าแบบคกราวนด์ของหัววัดไกเกอร์เฉลี่ย = 22 cpm

ค่าแบบคกราวนด์ของหัววัดเรืองรังสีเฉลี่ย = 16 cps

▪ ค่า  $\sigma$  เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่คำนวณได้จากสมการ 
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}}$$

ตาราง A4 ผลการนับรังสี ด้วยหัววัดไกเกอร์ ที่ระดับน้ำไม่เกิน 75 ซม.

ครั้งที่ ระดับน้ำ	อัตราการนับรังสี (cpm)					$\bar{R}$	$\pm \sigma$	RM (cps)
	1	2	3	4	5			
5	11294	11320	11362	11372	11551	11380	90	200
10	7825	7772	7753	7606	7931	7778	106	130
15	5480	5227	5235	5211	5244	5265	72	90
20	3565	3670	3665	3650	3740	3658	56	72
25	2472	2450	2445	2502	2513	2476	27	42
30	1635	1640	1667	1618	1660	1644	18	30
35	1035	1077	1077	1117	1138	1089	36	20
40	720	731	734	758	768	742	18	15
45	512	515	538	542	481	519	22	10
50	330	334	384	347	352	342	9	8
55	254	251	254	258	248	253	3	6
60	171	177	173	155	184	172	10	3
65	118	134	137	120	126	127	7	2
70	100	93	113	115	98	104	9	-
75	112	89	86	91	87	93	10	-

$$r = 0.99683$$

$$\mu = .0722$$

RM = ค่าที่อ่านได้จากเรทมิเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง A5 ผลการนับรังสี ด้วยหัววัด NaI(Tl) ที่ระดับน้ำไม่เกิน 75 ซม.

ครั้งที่ ระดับน้ำ	อัตราการรังสี (cps)							RM
	1	2	3	4	5	$\bar{R}$	$\pm \sigma$	
5	110170	110411	110377	110413	110703	110416	172	2000
10	75577	76002	75650	75752	76152	75227	218	1500
15	53130	53173	53022	52966	53130	52886	383	900
20	36760	36524	36601	36581	36654	36604	82	610
25	25116	24463	25275	25001	25146	25000	232	420
30	16740	16681	16745	16765	16816	16749	44	280
35	11701	11981	11656	11451	11720	11702	169	200
40	7858	7710	7684	7521	7776	7712	109	140
45	5228	5349	5407	5528	5224	5347	115	90
50	3773	3843	3686	3731	3806	3768	55	64
55	2636	2659	2582	2639	2589	2621	30	44
60	1850	1983	1872	1898	1976	1917	54	32
65	1421	1455	1382	1471	1471	1441	35	26
70	1157	1180	1184	1152	1154	1165	14	20
75	930	960	947	915	929	936	16	16

$$r = 0.99769$$

$$\mu = 0.070565$$

$$RM = \text{ค่าที่อ่านได้จากเรทมิเตอร์ (cps)}$$

ศูนย์วิทยุธรณีวิทยา  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง A6 ผลการนับรังสีเมื่อทำการหุ้มหัววัดรังสี

หัววัดรังสี	GM tube		NaI(Tl)	
	ระดับน้ำ (cm)	cpm	$\pm\sigma$	cps
5	11431	97	107087	173
10	7830	98	74762	72
15	5278	54	51609	160
20	3625	31	36542	176
25	2470	30	24778	168
30	1661	11	16249	125
35	1138	29	10926	211
40	739	12	7314	106
45	482	12	4918	119
50	329	9	3258	40
55	224	15	2244	32
60	152	10	1578	113
65	109	10	1078	27
70	72	4	735	38
75	59	4	551	15
$r =$	.9976		.99975	
$\mu =$	0.07793		0.07477	

ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง A7 ผลการนับรังสีเมื่อช่องบังคั้นขนาด 0.3 และ 2.5 ซม.

หัววัดรังสี	GM				NaI(Tl)			
	0.3		2.5		0.3		2.5	
ระดับน้ำ	cpm	$\pm\sigma$	cpm	$\pm\sigma$	cps	$\pm\sigma$	cps	$\pm\sigma$
5	10646	55	13438	69	93762	279	125420	406
10	7310	40	9514	63	69112	216	93071	473
15	4908	47	6878	82	44036	209	67537	237
20	3387	20	4890	30	30791	174	48633	323
25	2198	38	3559	69	20379	97	35952	62
30	1530	28	2539	22	13753	155	26028	224
35	1015	23	1802	26	9111	149	18870	196
40	647	28	1312	42	6005	97	13229	105
45	441	12	987	11	3926	55	9646	177
50	285	18	753	14	2544	55	6785	98
55	203	7	552	29	1738	49	4881	48
60	145	8	439	22	1168	50	3412	106
65	102	5	327	10	810	17	2495	85
70	71	10	271	22	575	28	1724	50
75	61	11	215	11	418	28	1298	83
$r =$	.9987		.9977		.9996		.9998	
$\mu =$	.0765		.0599		.0795		.0660	



ตาราง A8 แสดงผลการใช้ SCA ที่ LLD = 3.9 volt กับช่องบั้งค้ำขนาดต่าง ๆ  
ULD = 6.1 Volt

ขนาดช่องบั้งค้ำ (cm)	0.3		0.6		2.5	
ระดับน้ำ (cm)	cps	±σ	cps	±σ	cps	±σ
5	44340	362	40956	234	58510	396
10	31902	154	25884	290	40219	328
15	19025	237	21503	231	27311	318
20	12533	130	14838	244	18724	227
25	8164	73	7335	96	13130	104
30	5511	134	4727	101	9017	133
35	3512	90	3476	112	6203	69
40	2334	24	2243	56	4128	50
45	1477	30	1587	83	2896	75
50	972	34	952	39	1922	42
55	669	28	687	70	1352	28
60	478	15	474	23	901	33
65	323	18	349	20	630	37
70	223	15	244	16	431	29
75	150	15	179	17	311	11
r =	0.9994		0.99787		0.9999	
μ =	0.0821		0.07966		0.0754	

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตาราง A9 ผลการวัดระดับน้ำที่กำลังกระเพื่อม

หัววัดรังสี	GM tube		NaI(Tl)	
	ระดับน้ำ(cm)	cpm	$\pm \sigma$	cps
5	10826	183	93903	362
10	7264	24	69183	198
15	4925	48	44059	100
20	3384	37	30830	274
25	2193	40	20398	244
30	1531	40	13681	72
35	1026	25	9068	154
40	657	16	6052	81
45	440	15	3904	58
50	302	15	2580	65
55	207	16	1744	65
60	148	15	1174	50
65	98	7	819	18
70	71	12	564	19
75	53	7	417	8
$r =$	0.9995		0.9996	
$\mu =$	0.07734		0.079473	

หมายเหตุ source slit = 0.3 cm; LLD = 0.5 volt

ตาราง A10 แสดงผลการนับรังสีเมื่อระดับน้ำเปลี่ยนไปทีละ 2 ซม. โดยหัววัด  
ไกเกอร์

ระดับน้ำ cm	อัตราการนับรังสี						
	cpm						±σ
	1	2	3	4	5	R	
30	1496	1510	1573	1517	1552	1530	28
32	1269	1288	1302	1239	1298	1279	23
34	1067	1070	1043	1106	1013	1060	31
36	881	838	893	881	857	870	20
38	812	739	749	778	761	769	25
40	664	661	635	592	664	643	28
42	567	516	536	553	546	544	17
44	475	490	450	482	509	481	19
46	413	361	367	405	409	391	23
48	324	328	332	325	339	330	5
50	290	296	311	317	294	302	10
52	243	254	234	248	267	249	11
54	214	212	209	234	210	216	9
56	184	181	177	183	213	188	13
58	178	169	168	166	172	171	4
60	153	149	151	131	141	145	8
62	121	111	109	132	123	119	8
64	92	102	109	101	110	103	6

หมายเหตุ source slit 0.6 cm

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง A11 แสดงผลการนับรังสีเมื่อระดับน้ำเปลี่ยนไปที่ละ 2 ซม. โดยหัววัด NaI(Tl)

ระดับน้ำ cm	อัตราการนับรังสี						
	cps						
	1	2	3	4	5	R	$\pm \sigma$
40	7452	7316	7127	7316	7354	7314	118
42	6368	6491	6615	6399	6483	6471	96
44	5273	5268	5409	5374	5377	5340	65
46	4572	4641	4532	4619	4496	4572	60
48	3885	3980	3952	3975	3734	3905	103
50	3221	3307	3298	3260	3205	3258	45
52	2759	2760	2778	2817	2834	2789	34
54	2422	2464	2468	2456	2466	2455	19
56	2107	2072	2077	1995	2001	2050	50
58	1847	1805	1836	1790	1791	1814	26
60	1529	1563	1497	1500	1501	1518	28
62	1379	1312	1329	1274	1271	1313	44
64	1167	1121	1089	1113	1141	1126	29
66	936	960	899	988	1022	961	47
68	880	856	879	872	875	873	10
70	787	733	668	739	746	734	47
72	628	674	656	662	698	663	26
74	576	600	588	627	617	601	21

หมายเหตุ source slit 0.6 cm LLD 0.5 V

ตาราง A12 ผลการวัดระดับน้ำมันเครื่อง

LLD (V)	หัววัดไกเกอร์		หัววัด NaI(Tl)			
	0.5		0.5		3.9	
	ระดับ	cpm	$\pm \sigma$	cps	$\pm \sigma$	cps
5	8782	112	76990	574	33152	563
10	6622	109	59402	354	23477	285
15	4725	77	42202	356	16338	219
20	3315	34	31419	558	10893	555
25	2264	29	21783	608	7519	639
30	1574	12	14867	288	5544	194
35	1090	21	10569	284	3628	108
40	755	28	7210	97	2414	69
45	525	21	5462	87	1606	127
50	365	17	3821	104	1061	16
55	278	16	2817	110	744	29
60	189	7	2107	62	564	18
65	137	6	1484	40	361	22
70	110	15	1128	25	272	15
75	92	6	921	50	168	7
80	64	5	697	70	130	8
85	50	2	594	23	107	5
90	45	6	504	34	73	6
$r =$	0.9967		0.9582		0.9991	
$\mu =$	0.0652		0.0647		0.0737	

หมายเหตุ source slit 0.6 cm

ตาราง A13 ผลการวัดระดับซีเลียม

LLD (V)	หัววัดไกเกอร์		หัววัด NaI(Tl)			
	0.5		0.5		3.9 *	
	cps	$\pm \sigma$	cps	$\pm \sigma$	cps	$\pm \sigma$
ระดับ(cm)						
5	6345	72	102603	122	52690	627
10	6092	37	99653	1991	51519	432
15	5417	38	85954	1046	43505	171
20	4936	27	80484	240	39991	298
25	4506	73	72812	113	36110	114
30	4093	36	70553	535	34506	439
35	3742	50	60613	183	30219	156
40	3426	69	56348	205	27719	68
45	3126	59	51192	249	25480	439
50	2949	32	49713	678	23761	323
55	2699	83	45174	574	21625	59
60	2376	68	41827	149	19791	104
65	2254	20	36509	149	17138	192
70	2043		35172	761	16388	478
75	1974	61	32603	552	15463	208
80	1804	29	30963	469	14525	175
85	1700	72	28197	392	13306	82
90	1591	33	26893	272	12425	101
95	1382	56	25127	120	11706	97
r =	.9979		.9963		.9976	
$\mu$ =	.0166		.0161		.01735	

\* ULD = 0.1 Volt

หมายเหตุ source slit 0.6 cm



### ประวัติผู้เขียน

นายประสพ ธงธวัช เกิดเมื่อ วันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2498 ที่ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก สำเร็จปริญญาการศึกษามัธยมศึกษา เอกฟิสิกส์ จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เมื่อปีการศึกษา 2521 ในปีต่อมา เข้ารับราชการตำแหน่งอาจารย์ 1 ระดับ 3 ที่วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช ปี พ.ศ. 2523 โอนไปรับตำแหน่งเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป 3 ประจำสำนักงาน จัดรูปที่ดินจังหวัดพิษณุโลก ลาออกจากราชการเข้าศึกษาในหลักสูตรประกาศนียบัตร บัณฑิตศึกษานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนจบการศึกษา ในปี พ.ศ. 2524 ปีต่อมาศึกษาต่อระดับปริญญาโท ในสาขา เดียวกัน ปี พ.ศ. 2527 กลับเข้ารับราชการ ตำแหน่งอาจารย์ 1 ประจำ โรงเรียนวัดบวรมงคล กรมสามัญศึกษา

ศูนย์วิทยพัชการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย